

## 8.5 Unterlagen

### 8.5.1 Die kulturtechnische Bedeutung von Unterlagen

Der Spross teil der Bäume ist für uns immer allgegenwärtig. Das Wurzelsystem hingegen sehen wir eigentlich nur bei der Pflanzung und Rodung. Das ist wahrscheinlich mit einer der Gründe dafür, warum wir zu den Unterlagen oft einen weitaus geringeren Bezug entwickeln. Nichtsdestotrotz leisten sie einen erheblichen Beitrag zum Erfolg der Kulturführung. Unterlagen verleihen dem Baum ein bestimmtes Maß an Wuchsstärke, Produktivität und Krankheitsresistenz, was sie zu einem integralen Bestandteil der Apfelproduktionsysteme macht. Eine Unterlage ist eben nicht nur eine Verankerung der Bäume im Boden, sondern eine wesentliche Stellschraube für eine Vielzahl an Mechanismen und Eigenschaften, die direkt oder indirekt das Wachstum der veredelten Apfelsorte beeinflussen.

Während das Edelreis den oberirdischen Teil des Baumes bildet und für die Photosynthese und Fruchtbildung zuständig ist, unterstützt die Unterlage den Baum, indem sie dessen Verankerung gewährleistet, die Aufnahme von Nährstoffen und Wasser aus dem Boden sichert und Abwehrmechanismen gegen bodenbürtige Krankheiten initiiert.

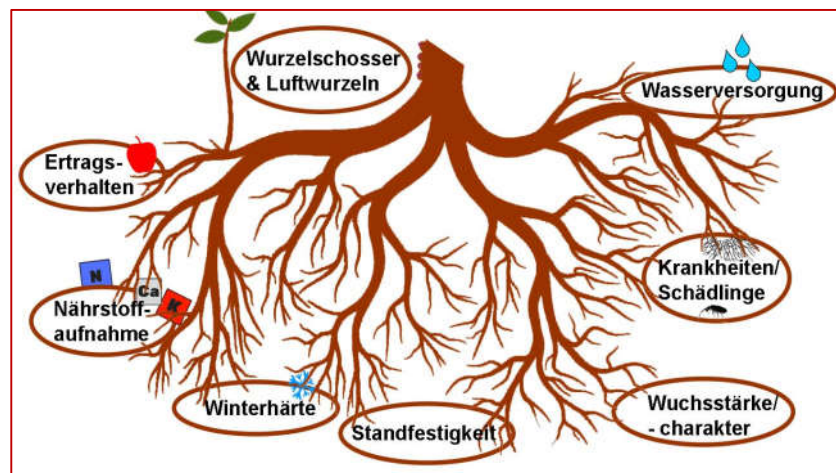


Abbildung 148 Allgemeine Merkmale und Eigenschaften von Apfelunterlagen (SIEFEN, N. 2021)

Zudem divergiert die Rhizosphäre der verschiedenen Genotypen, wodurch unterschiedliche mikrobielle Gemeinschaften (Mikrobiome) begünstigt werden. Diese haben ebenfalls einen großen Einfluss auf das Abwehrverhalten gegenüber Krankheiten und Schädlingen. Zudem können im Boden lebende Gemeinschaften von Mikroorganismen mit den Wurzeln interagieren und die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen beeinflussen.

### 8.5.2 Die Geschichte der Unterlagen

Schon die allerersten Apfel- und Birnenkultivateure stellten sich wahrscheinlich die Frage, wie Wachstum am besten reguliert werden kann. Denn in der Heimat des Apfels, im Kaukasus und in Kasachstan, bemühten sich bereits vor einigen tausend Jahren die ersten Menschen darum, die am besten schmeckenden, großfrüchtigsten und lagerfähigsten Wildapfelsorten zu vermehren. Irgendwann ging es ihnen nicht nur um die Bestandssicherung ihrer Liebessorte, sondern auch um die Auswahl ganz bestimmter Veredlungspartner, die früher einsetzende Erträge und kleinere, fruchtbare Bäume garantierten. Als dann in Europa, im ausgehenden Mittelalter, in Klöstern oder Fürstenhöfen die ersten Apfelsorten in größerem Stil kultiviert wurden, entwickelten sich auch in Europa neue Kulturtechniken, mit deren Hilfe die favorisierten Apfel- und Birnensorten schnell in den Ertrag gebracht werden konnten. Zur Bändigung der Wuchskraft stark wachsender Sämlingsunterlagen wurden dazu Mehrstammsysteme herangezogen. Bei der Auswahl der Sämlingsunterlagen versuchte man schon bald, das Wachstumspotenzial der Nachkommenschaft mit Hilfe bestimmter Provenienzen so gleichmäßig wie möglich zu halten. Aus diesem Grund nutzte man vornehmlich Handelssaatgut, Edelsaatgut oder gar muttersortenreines Saatgut. Die 'Kirchensaller Mostbirne', der 'Grahams Jubiläumsapfel' und der 'Bittenfelder' sind Überbleibsel dieser jahrzehntelangen Selektionsarbeit. Alle drei Unterlagen finden auch heute noch wegen ihrer Robustheit, Standfestigkeit, Frosthärte, Starkwüchsigkeit und Langlebigkeit im Streuobstanbau Verwendung.



**Abbildung 149** Naturgemäße Kronenpflege an einem Hochstamm auf Sämlingsunterlage Quelle KOB

Für den intensiveren Anbau hielt man schon im 18. Jahrhundert Ausschau nach noch gleichmäßigeren und vor allem schwachwachsenden Unterlagen. Sie wurden mit verschiedensten Namen und Pseudonymen in ganz Europa angeboten, und zwar überwiegend auf Wochenmärkten, den damaligen Handels- und Gartenzentren. Zur Sicherstellung gleichmäßig wachsender Nachkommen wurden sie (über Abrisse) vegetativ vermehrt und mussten auch dazu eine entsprechende Eignung (= möglichst hohe Abrissleistung) besitzen. Bereits damals wurde man auf zwei Apfelunterlagen aus Nordfrankreich aufmerksam: Den 'Gelben Metzger Paradies' und den rotblättrigen 'Roten Metzger Paradies.'

### 8.5.3 Der lange Weg des Gelben 'Metzger Paradies' (M.9)

Die Unterlage M.9, ein eher strauchartiger *Malus*-typ, der im 19. Jahrhundert noch als 'Gelber Metzger Paradies' bezeichnet wurde, führte einen fast jahrhundertelangen Dornröschenschlaf.

Einige Obstbaupioniere wie **OTTO SCHMITZ-HÜBSCH** in Merten bei Bonn erkannten bereits sehr früh das große obstbauliche Potenzial von M.9. Im Jahre 1904 machte er auf dem Wochenmarkt eines Pariser Vorortes eine bahnbrechende Entdeckung. Einer der dort ansässigen Baumschuler verkaufte hier eine neue Apfelunterlage mit dem Namen **'Gelber Metzger Paradies'**, (dem späteren M.9), von dessen Vorteilen sich OTTO SCHMITZ-HÜBSCH vor Ort überzeugen konnte (SCHMITZ-HÜBSCH, 2023). Der **'Rote Metzger Paradies'**, (dem späteren M.8), den er schon seit mehr als 40 Jahren vermehrte, zeigte in seinen Plantagen immer starke Wachstumsunterschiede, die man sich damals noch nicht erklären konnte. Neben dem **'Roten Metzger Paradies'** wurde in den darauffolgenden Jahren daher der **'Gelbe Metzger Paradies'** zur wichtigsten Apfelunterlage im Betrieb Schmitz-Hübsch. Von dort aus wurden viele Bäume auf M.9 an andere Obstbaubetriebe im Rheinland verkauft.



*Abbildung 150 Dreiarmlige Apfel-Verrier-Palmette mit langem Fruchtholz auf M.9 im Jahr 1904 Quelle: Archiv OTTO SCHMITZ-HÜBSCH, Merten*

Allerdings musste mit hohem Handhacke-Einsatz dafür Sorge getragen werden, den Baumstreifen unkrautfrei zu halten; eine wichtige Voraussetzung, um den Infektionsdruck durch **Kragenfäule** und durch **Scher- und Wühlmäuse** in Grenzen zu halten. Im Verlauf der beiden Weltkriege standen dafür aber nicht mehr genügend Arbeitskräfte zur Verfügung. Viele Anlagen auf M.9 fielen daraufhin den Wühlmäusen zum Opfer.

Nach dem 2. Weltkrieg setzte man mehr auf mittelstark wachsende Unterlagen, beispielsweise M.2, M.4, M.7 und M.11. Sie gewährleisteten noch immer eine gewisse Standfestigkeit. Sie wurden staatlicherseits empfohlen und gefördert.

Erst ab 1960 entstanden wieder erste Apfelanlagen auf M.9. Mit der Zulassung geeigneter Herbizide Mitte der 60er Jahre schaffte M.9 dann den endgültigen Durchbruch. Unter den verschiedensten Unterlagen, die in den zurückliegenden Jahrzehnten in Versuchsstationen und in der Praxis getestet wurden, hat sich **M.9** immer wieder gegen neue Konkurrenten durchgesetzt und sich als **weltweit wichtigste Apfelunterlage** etabliert. Diesen Status behält sie bis heute. In Europa werden nach wie vor mehr als 90 Prozent aller verkauften Apfelbäume auf M.9 veredelt. Die dominierende Rolle verdankt die Unterlage M.9 ihren **ausgezeichneten (Schwach-)Wuchseigenschaften** mit den verschiedensten Sorten, ihrer **guten Vermehrbarkeit** im Mutterbeet, **ihrer hohen Standortvariabilität**, der hohen Robustheit und vor allem ihrem **positiven Einfluss auf das Ertragsverhalten, sowie auf Fruchtgröße und Deckfarbe**. Zusammengenommen bilden diese in der Unterlage M.9 gebündelten Wuchs- und Ertrageigenschaften die Voraussetzungen für den heutigen modernen intensiven Apfelanbau mit Pflanzdichten von rund 3000 Bäumen pro Hektar.

#### 8.5.4 M.9 forever?

Trotz der vielen Vorteile der Unterlage M.9 war man nie mit allen Eigenschaften vollständig zufrieden. Auf frischen Böden löste sie mit triploiden Sorten oft ein viel zu starkes Wachstum aus, weshalb jahrzehntelang Unterlagen mit etwas geringerer Wuchsstärke gesucht wurden, beispielsweise M.27, P.22, P.16 oder B.9.

Mittlerweile ist aber das Zeitalter, in dem man mit M.9 überall mit zu starkem vegetativem Wachstum rechnen muss, vorbei. Die meisten Betriebe pflanzen ihre Neuanlagen in der zweiten oder gar dritten Nachbaugeneration. Unter diesen Voraussetzungen stellen sich bei Verwendung der Unterlage M.9 regelmäßig gravierende Einbußen im Wuchs- und Ertragsverhalten ein, insbesondere mit schwachwüchsigen Sorten.



*Abbildung 151 Mutterbeet von M.9 T337. Bis zum Horizont!*

Neben den Mängeln im **Nachbauverhalten** zeigt die M.9-Gruppe auch bei weiteren wichtigen biotischen und abiotischen Einflüssen unzureichende Resistenzeigenschaften. Schwachstellen hat die Unterlage vor allem wegen ihrer **Winterfrost-, Blutlaus-, Feuerbrand-, Apfelfriebsucht-, Obstbaumkrebs- und Staunässeanfälligkeit**. Zunehmend nachteilig erweisen sich die auftretenden **Luftwurzeln und Wurzelausschläge**, auch wenn sie bei M.9 nur in moderatem Ausmaß auftreten. In Folge des Klimawandels wird in bestimmten Regionen bei der Auswahl von Unterlagen die **Trockenheitsoleranz** ein gesteigertes Gewicht einnehmen. M.9 zählt zwar diesbezüglich nicht zu den anfälligsten Unterlagen, denn sie kann als klassischer Flachwurzler auch geringe Sommerniederschläge 'verarbeiten'. Trotzdem werden in Zukunft noch effizientere Wurzelsysteme erforderlich sein, um das knappe Wasserangebot auf Trockenstandorten optimal nutzen zu können. Das gleiche gilt für die Anfälligkeit der Unterlage M.9 gegenüber der **Kragenfäule**. Sie weist zwar eine durchaus zufriedenstellende Robustheit auf. Unter ungünstigen Bedingungen (Regen, Staunässe, anfällige Sorten) wäre aber ein nachhaltigeres Resistenzverhalten von Vorteil.

Aus diesen Gründen wird seit Jahrzehnten an der **Züchtung neuer Apfelunterlagen** gearbeitet. Dabei standen bisher bei den meisten Züchtungsprogrammen vor allem die Schwachwuchs induzierenden Nachkommen, zwischen M.27 und M.26, im Focus.

Mit der sich verschärfenden Nachbauproblematik wird mittlerweile besonders auf die etwas stärker wachsenden Klone Wert gelegt. Ziel ist der Erhalt vergleichbarer Wuchs- und Ertragseigenschaften, aber auch gleichzeitig die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten, Schädlingen und wenn möglich Winterfrost. Ferner wird darauf Wert gelegt, dass die Unterlagen kaum oder nur wenige Luftwurzeln und Wurzelschösser bilden. Die bisher verfügbaren stärker wachsenden Unterlagen wie M.26 oder M.7 oder MM.106 usw. stellten nämlich im Nachbau nie eine wahre Alternative zu M.9 dar. Meist verlief das Ertragsverhalten dieser alten Unterlagengeneration nie synchron zum Mehrwachstum oder

sie erwiesen sich als zu anfällig für Feuerbrand, Kragenfäule oder Blutläuse oder/und bekamen zu viel Wurzelschosser oder Luftwurzelfelder.

Von daher stellt sich auch an dieser Stelle die schon sehr oft gestellte Frage: Hat M.9 ausgedient und bricht nun allmählich das Zeitalter neuer Unterlagen an?

Um darüber ein genaueres Urteil fällen zu können, sollte man sich die Eigenschaften der neuen Zuchtklone und die bisherigen Versuchs- und Anbauerfahrungen genau anschauen. Zuvor werden die wichtigsten Züchtungsziele erörtert, ob und in welchem Umfang sie realisiert werden konnten und wer sich hinsichtlich der Apfelunterlagenzüchtung in den vergangenen Jahrzehnten hervorgetan hat.

Aber Vorsicht: Realistisch gesehen dauern die Entwicklung und erfolgreiche Markteinführung einer neuen Sorte bereits 15 bis 20 Jahre. Bei Unterlagen muss man, bevor man ein genaues Urteil über deren Anbauwürdigkeit mit unterschiedlichen Sorten auf unterschiedlichen Standorten treffen kann, eine Zeitdauer von 30 bis 50 Jahren einkalkulieren.

In Anbetracht der differenzierten Wuchs-, Resistenz- und Ertragseigenschaften der neuen, derzeit in Prüfung befindlichen Unterlagen steht zu erwarten, dass nicht nur eine, sondern eher mehrere verschieden Unterlagen allmählich den Platz von M.9 einnehmen werden.

#### 8.5.5 Züchtungsziele

Bei der Selektion und Züchtung neuer Unterlagen standen früher vor allem deren Wuchs- und Ertragsverhalten sowie das baumschulische Leistungsvermögen im Vordergrund.

Es ist aber davon auszugehen, dass bei der Auslese immer schon auf eine gewisse Robustheit gegenüber biotischen und abiotischen Schäden geachtet wurde. Die Suche nach krankheits-, schädlings- und frost- toleranten bzw. -resistenten Unterlagen zieht sich geradezu wie ein roter Faden durch die Geschichte der Unterlagenzüchtung und -selektion. Wegen der restriktiveren Zulassungssituation bei Pflanzenschutzmitteln kommt heutzutage bei der Beurteilung einer Unterlage dem Resistenzverhalten und der obstbaulichen Leistung eine nahezu gleichberechtigte Bedeutung zu.

Die Begriffe **Resistenz, Anfälligkeit und Toleranz** und, die im Folgenden verwendet werden, um das Abwehrverhalten der Unterlagen gegenüber unterschiedlichen Krankheiten und Umwelteinflüssen der Unterlagen zu umschreiben, sind wie folgt zu verstehen:

##### 1. Resistenz

Im Englischen wird der Begriff Resistenz oft missverständlich verwendet und meint in der Regel eine verminderte Anfälligkeit. Das wäre gleichzusetzen mit nur bedingter Widerstandsfähigkeit. Vor allem bei der Beschreibung der Geneva-Unterlagen wird der Begriff Resistenz nicht immer im Sinne der in der deutschen Literatur üblichen Definition benutzt.

Im deutschen Sprachgebrauch versteht man unter Resistenz nämlich die Fähigkeit eines Genotyps, Infektionen durch biotische Schadfaktoren zu verhindern und keine Schadsymptome auszubilden. Eine vorhandene Resistenz wird, meist durch ein oder mehrere Gene bedingt, kann allerdings durch virulente Schaderreger gebrochen werden. Der Begriff **Widerstandsfähigkeit** trifft diesen Sachverhalt besser.

## 2. Anfälligkeit

Anfälligkeit bedeutet das Gegenteil von Resistenz. Anfällige Sorten und Unterlagen besitzen keine Widerstandsfähigkeit gegenüber biotischen oder abiotischen Schaderregern. Insofern treten immer wirtschaftlich relevante Schäden auf.

## 3. Toleranz

Im folgenden Text wird Toleranz mit einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Widerstandsfähigkeit der Pflanze gegenüber Schadfaktoren umschrieben. Im Gegensatz zu resistenten Pflanzen treten bei toleranten Pflanzen durchaus Infektionen bzw. Schadsymptome auf. Im Gegensatz zu anfälligen Pflanzen **können tolerante Pflanzen durch die (nicht genetisch bedingte) Aktivierung unterschiedlicher Abwehrmechanismen die Schäden in Grenzen halten**, so dass sie gering ausfallen oder gar belanglos sind.



Abbildung 152

a: M.9 mit Obstbaumkrebs

b: Feldmaus und

c: Feldmausschaden. M.9 ist besonders attraktiv Bilder. J. Zimmer

Eine entscheidende Rolle spielen dabei die Stressfaktoren, unter denen die Pflanze steht, die Virulenz der Erreger sowie die Infektions- und Umweltbedingungen. Sie bestimmen den Toleranzgrad von Sorten und Unterlagen. Bestes Beispiel hierfür ist deren mehr oder weniger ausgeprägte Toleranz gegenüber dem Obstbaumkrebs (*Neonectria ditissima*). Das bedeutet, dass im Grunde genommen jede Sorte vom Obstbaumkrebs befallen werden kann, wenn der Infektionsdruck ausreichend hoch ist (befallene Bäume = viele Ascosporen + Wunden + Regen) vor allem wenn die Bäume, etwa staunässebedingt, geschwächt sind.

### 8.5.5.1 Resistenz/Toleranz gegen gefährliche Krankheiten und Schädlinge an Unterlagen

Zu den gefährlichsten Krankheiten für Apfelunterlagen zählen **Kragenfäule** (*Phytophthora cactorum*), **Obstbaumkrebs** (*Neonectria ditissima*), vor allem **Feuerbrand** (*Erwinia*

*amylovora*) sowie **Wurzelkropf** (*Agrobacterium tumefaciens*), die **Haarwurzelkrankheit** (*Agrobacterium rhizogenes*) und die **Apfeltriebsucht** (*Candidatus Phytoplasma mali*).

Zu den Schädlingen, die den Unterlagen zur Gefahr werden können, zählen vor allem der **Apfelbaumglasflügler** (*Synanthedon myopaeformis*), **Blutläuse** (*Eriosoma lanigerum*) sowie **Feld- und Schermäuse** (*Microtus arvalis* und *Arvicola terrestris*). In den folgenden Abschnitten werden einige dieser Züchtungsziele etwas ausführlicher erörtert.

#### 8.5.5.2 Resistenz/Toleranz gegen Feuerbrand

Dass Unterlagen mit der **Manifestation und Verbreitung von Feuerbrand** mehr zu tun haben als gemeinhin angenommen wird, ist den Beobachtungen, Untersuchungen und Forschungsarbeiten von ALDWINCKLE und CUMMINS in den 60er und 70er Jahren des letzten Jahrhunderts an der Cornell Universität in Geneva, USA zu verdanken. Sie beschäftigten sich mit den Ursachen des systematischen Absterbens von Junganlagen nach Feuerbrandinfektion in der Praxis. Trotz exzessiven Einsatzes von Antibiotika und wiederholtem Ausschneiden befallener Astpartien gelang es den amerikanischen Obstbauern häufig nicht mehr, ihre Bestände zu retten. Betroffen waren vor allem Anlagen auf M.9. ALDWINCKLE (2000) stellte fest, dass sich in Jungbäumen nach Blüten- und Triebinfektionen die Erwinia-Bakterien systemisch und schnell in der Pflanze verbreiten, bis in die Unterlage hinein, und zwar ohne erkennbare Symptome. Dies führt spätestens im Folgejahr unweigerlich zum Absterben des betroffenen Baumes. Darüber hinaus erweisen sich solche vollkommen



**Abbildung 153 Extrem Gefährlich! Feuerbrandbefall an M.9 mit austretendem Bakterien Schleim Bild: Dr. K Richter(a) und LTZ Augustenberg (b)**

„unscheinbare“ Befallsbäume als gefährliche Infektionsquellen, denn am oberirdischen Teil der Unterlagen bilden sich im Folgejahr sogenannte „Cancer“ (Abbildung 156), über die Bakterien Schleim durch Wind und Regen auf benachbarte Bäume geschleudert wird. Bei anfälligen Unterlagen sind die Bäume bzw. der gesamte Bestand mit den o.a. „Bordmitteln“ nicht mehr zu retten. Das Fazit von ALDWINCKLE war, dass ein Unterlagensebefall zum sicheren Absterben der Bäume führt sowie zur Etablierung der Krankheit in den betroffenen Anlagen. Eine nachhaltige **Bekämpfung des Feuerbrandes** setzt deswegen nicht nur resistente Sorten, sondern auch **resistente Unterlagen** voraus. Sie bieten vor allem Jungbäumen, an denen die ersten Infektionen oft direkt an der Stammverlängerung oder in deren unmittelbarer Nähe gesetzt werden, einen besseren Schutz vor der Manifestation der Krankheit im gesamten Baum. Aus dieser wichtigen Erkenntnis heraus entstand damals das nordamerikanische Unterlagenzüchtungsprogramm, als deren Väter man die beiden Forscher bezeichnen kann. Ihnen verdanken wir es, dass uns heute eine Fülle resistenter Unterlagen aus diesem Programm zur Verfügung steht. Im Rahmen dieser Forschungsarbeiten in Geneva stellte man aber auch unter zwei Unterlagen aus der russischen Budagovsky - Züchtungsserie Feuerbrandtoleranz (bei B.9) bzw. Feuerbrandresistenz (bei B.10<sup>®</sup>) fest. Die für den europäischen

Markt derzeit wichtigsten resistenten /toleranten Unterlagen werden im Kapitel Apfelunterlagen in steckbrieflicher Form vorgestellt.

#### 8.5.5.3 Resistenz /Toleranz gegen Apfeltriebsucht

Die Apfeltriebsucht (= Besenwuchs = Hexenbesen = Apple Proliferation Phytoplasma), eine Krankheit (*Phytoplasma*), die seit Jahrzehnten im europäischen Apfelanbau bekannt und gefürchtet ist, wird durch das parasitische, zellwandlose Bakterium *Candidatus Phytoplasma mali* hervorgerufen. Dieses lebt im Phloem (Siebröhren) von *Malus domestica* und wird durch den Phloem-saugenden Weißdornblattsauger (*Cacopsylla melanoneura*) vor allem aber vom Sommerapfelblattsauger (*Cacopsylla picta*) von Baum zu Baum übertragen. Die **Apfeltriebsucht, abgekürzt ApPL**, kann aber auch durch Pfropfung und Wurzelverwachsungen verbreitet werden.

Bei den Hauptsorten 'Golden Delicious', 'Gala', 'Jonagold' und 'Elstar' schmälert der Befall mit ApPL die Wuchs- und Ertragsleistung ganz erheblich und führt darüber hinaus zu fad schmeckenden schlecht ausgefärbten, kleinen Früchten.

Nach einer akuten Befallsphase folgt eine Latenzphase und damit Jahre ohne oder mit nur geringer Symptomausprägung. Latent befallene Bäume sind aber weiter infektiös. Da es weder möglich ist den Erreger direkt zu bekämpfen und auch der Vektor nur unzureichend mit den derzeit zugelassenen Pflanzenschutzmitteln unter Kontrolle gehalten werden kann, führt der Weg zu triebsuchtfreien Beständen nur über die Resistenz der Pflanzen.

Auch hier spielen die Unterlagen eine Schlüsselrolle, denn Erreger von ApPL überdauern den Winter in den Unterlagen. Im Wurzelsystem der Bäume sind die Siebröhren nämlich auch im Winter intakt und mit Reservekohlenhydraten befüllt, während sie im Sprossenteil des Baumes, mangels Assimilaten, weitgehend inaktiv werden, was letztendlich zum Absterben der Phytoplasmen führt. In den Wurzeln von einigen *Malus sieboldii*-Nachkommen kann der Erreger der Apfeltriebsucht allerdings nicht überwintern. Bäume, die mit der Phytoplasmaose infiziert wurden, aber auf resistenten Unterlagen veredelt wurden, entledigen sich auf diese Weise von dem Bakterium und treiben im darauffolgenden Frühjahr wieder befallsfrei aus. Die grundlegenden Forschungsarbeiten hierzu wurden von H. SCHMID an der Universität Gießen später der BBA Dossenheim bei der AgroScience in Neustadt/Weinstr. und am FEM in San Michele durchgeführt. Mittlerweile gibt es drei Tochtergenerationen, die alle auf der Triebsuchtresistenten Wildart *Malus sieboldii* basieren. Leider konnte aus diesem Genpool bisher noch kein brauchbarer Klon für intensive Anbausysteme selektiert werden.

Aus diesem Grund macht es Sinn auch andere, interessante Unterlagen auf deren Anfälligkeit für ApPL zu testen. Zu diesem Zweck infizierten C. LANKES (INRES Uni Bonn) und G. BAAB (DLR Rheinpfalz) im Jahr 2005 insgesamt 16 Apfelunterlagen mit dem Erreger, darunter auch ein

nachweislich triebsuchtresistenter *Malus sieboldii* - Abkömmling (AP 4551) aus der ersten Zuchtlinie von H. SCHMID. Dazu wurde Reisermaterial von sehr stark befallenen Bäumen der Sorte 'Boskoop' verwandt. Über drei Jahre hinweg wurden jeweils im Oktober an 10 Pflanzen pro Unterlage Hexenbesen - Symptome (witches broom) bonitiert und der Krankheitsverlauf (Infektionsrate in %) mit Hilfe eines ELISA-Tests festgehalten. Von 2001 bis 2007 wurden parallel dazu die gleichen Unterlagen von RICHTER in Gatersleben auf ihre Feuerbrandanfälligkeit überprüft. Die Ergebnisse sind in Abbildung 154 aufgeführt. Zu erwarten war, dass der Klon AP 4551 nur geringe oder gar keine Apfeltriebsuchtsymptome aufweisen würde. Nicht zu erwarten war hingegen, dass sich auch die beiden Geneva-Unterlagen G.16 und G.41 nicht nur gegen Feuerbrand, sondern auch gegenüber ApPL als wenig anfällig bzw. robust erwiesen. Diese vielversprechenden Resultate sollten in weiteren Versuchsanstellungen überprüft werden. Die hohe Feuerbrandanfälligkeit der Unterlage B.9 ist bekannt. In Kombination mit einer Edelsorte ist B.9 jedoch nach bisherigen Erfahrungen und Untersuchungen (ALDWINCKLE; Cornell Geneva) feuerbrandtolerant.

Unterlage	ApPL-Infektionsrate in %	Hexenbesensymptome	Feuerbrand
AP 4551	0	nein	0
M.200	50	nein	xx
AR 628-2	30	Ja	xx
B.9	40	nein	xx
B.491	40	nein	x
G.16	0	nein	0
G.41	10	nein	0
J-TE-F	50	ja	-
M.8	0	nein	xxx
M.9	40	ja	xx
M.20	40	nein	xxx
M.25	30	ja	xx
M.27	40	ja	xxx
MM.111	40	ja	x
P.16	20	nein	xxx
Supporter 2	0	nein	-

Abbildung 154 Anfälligkeit verschiedener Apfelunterlagen auf künstliche Infektion mit ApPL und *Erwinia amylovora* (Quelle: C. LANKES, INRES Uni Bonn und G. BAAB, DLR)

0= nicht x= wenig xx= mittel xxx= stark Feuerbrand anfällig

#### 8.5.5.4 Toleranz (Resilienz) gegen European Cancer bzw. Obstbaumkrebs (*Neonectria ditissima*)



Abbildung 155 Große Krebswunde bei ‚Gala‘

Infektionen mit **Obstbaumkrebs** werden durch den Pilz *Neonectria ditissima* verursacht, sowohl bei Apfel wie auch bei Birnen. Wegen der Härte des Holzes treten Krebsinfektionen bei Birnen allerdings seltener und in geringerer Intensität auf (**KOTS K. et. al 2024**). Unsere Standardunterlage M.9 zeichnet sich diesbezüglich leider durch eine überdurchschnittliche Anfälligkeit aus.

##### **Die Verbreitung von *Neonectria ditissima***

Die Verbreitung kann über kontaminiertes Baumschulmaterial erfolgen. Infektionen mit dem Wundparasit *Neonectria* können bereits im Mutterbeet oder in der Baumschule, etwa über Verletzungen oder Blattnarben, gesetzt werden. Das Auftreten der Krankheit erfolgt erst nach einer Latenzzeit von bis zu 3 Jahren. Bis dahin hat sich der Erreger in alle Baumteile verbreitet und löst selbst an peripheren Kronenteilen Krebs Symptome aus, meist in Form abgestorbener Seitentriebe. Solche Bäume sind nicht mehr zu retten, zumal mit der Zentralachse die Lebensader des Baumes betroffen ist, in der der Erreger sehr schnell verbreitet wird. Um eine rasche Ausbreitung im Bestand, soweit es geht, zu unterbinden, müssen solche Bäume **sofort gerodet** werden (SAVILLE, R. et al. 1995).

Ausgehend von solchen vorinfizierten Jungbäumen, wie auch von krebsbefallenen Bäumen aus der unmittelbaren Nachbarschaft und von (in der Anlage verblieben) Früchten, die mit *Neonectria*-Fruchtfäule befallen sind, erfolgt dann die **Weiterverbreitung des Schaderregers** innerhalb des Bestandes. Das Sporenangebot stellt einen entscheidenden Beitrag zum Infektionsdruck und damit zur Krebsgefährdung einer Anlage dar (VAN DER WEG E. et.al 2024). In diesem Zusammenhang sollte im angrenzenden Bereich auch auf andere Pflanzengattungen geachtet werden die von *Neonectria ditissima* befallen werden können, wie etwa *Sorbus aucuparia* (Vogelbeere, Mehlbeere), *Alnus glutinosa* (Schwarzerle), *Corylus avellana* (Gemeine Hasel), *Fagus sylvatica* (Buche) *Quercus rubra*, (Roteiche), *Carpinus betulus* (Hainbuche), *Betula pendula* (Hängebirke) usw. (KOTS K. et. al 2024).

##### **Infektionsbedingungen**

Für das Zustandekommen einer Infektion sind spezielle **Wetterbedingungen** maßgebend. Die Verbreitung von *Neonectria* geschieht von Frühjahr bis Herbst über Konidien, die über Wasser (Regen, Beregnung) verfrachtet werden. Im Herbst und im Frühjahr erfolgen die Infektionen über Ascosporen. Deren Freisetzung setzt Regen voraus und für deren Transport ist Wind erforderlich. Dabei reichen Regenereignisse von 0,2 mm aus, um den Ascosporenflug auszulösen. Der Flug hält bis zu 2 Tage nach dem Regenereignis an (LE BERRE F.et.al. 2024). Zusammengefasst hängt der **Infektionsdruck**, dem die Bäume ausgesetzt sind, vom **Sporenangebot**, der **Regenhäufigkeit**, der **Blattnässezeit** und der **Luftfeuchte** ab.

## Die Eintrittspforten

Die wichtigste Voraussetzung für eine Infektion mit *Neonectria ditissima* ist eine infektionsfähige, d.h. noch nicht verheilte **Wunde**. Sie treten in Apfel- und Birnenanlagen beispielsweise zahlreich als Fruchtkuchen nach dem Pflücken auf (circa 100 pro Baum) oder im Verlauf des Blattfalls als Blattnarben (2000-3000 pro Baum) und später in Form Schnittwunden auf (WEBER, R.W.S. 2014). Bei Birnen werden sogar Infektionen beobachtet, die über die Lentizellen im Holz verlaufen. Die natürlichen Wundverschlussprozesse dauern in Abhängigkeit von der Wundgröße und von den Temperaturen unterschiedlich lange. Die (kleinen) Blattnarben sind 2-3 Tage infektiös (WALTER M. et.al. 2024). Die (größeren) Fruchtkuchen bis zu 4 Wochen (4,5 Wochen bei 6°C und 4 Tage bei 24°C). Größere Wunden, wie solche, die beim Winterschnitt entstehen, sind besonders gefährdet, zumal bei Temperaturen unter 8°C keine Wundheilungsprozesse stattfinden, aber die Keimung der Ascosporen in einem sehr weiten Temperaturbereich erfolgt. Sie können genauer gesagt zwischen 2° und 30 °C stattfinden, auch wenn sie unter 5°C etwas nachlassen (LE BERRE F.et. al. 2024). Diese großen Wunden stellen daher im Herbst und Winter monatelang potenzielle Krebs- Eintrittspforten dar, die mit Fungizidbehandlungen nur temporär geschützt werden können. Das gilt auch für Rinden-Risse, die nach Frostereignissen im Winter auftreten und ebenfalls nur sehr langsam verheilen.

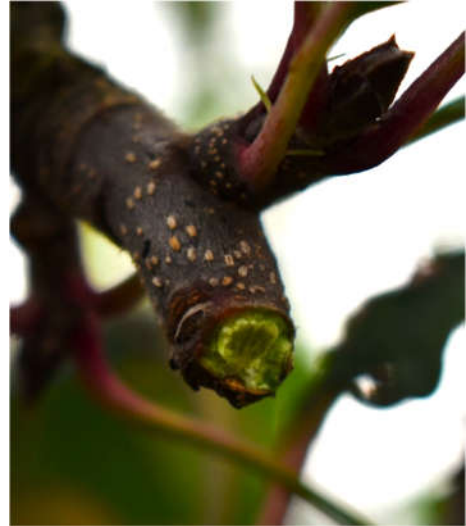


Abbildung 156 Frischer Fruchtkuchen bei 'SQ 159'/Magic Star®: Er bleibt bis zu 4 Wochen infektiös

## Die charakteristischen Krebs Symptome

Früher oder später können an all diesen Wunden die **klassischen Krebs Symptome** in Erscheinung treten. Die Symptomatik beginnt an den Blatt- oder Fruchtnarben mit eingesunkenen, graubraunen Stellen rund um die Wunde. Dieser Bereich reißt früher oder später auf. Die Infektion führt häufig zu Gegenreaktionen der Pflanze. An den betroffenen Holzteilen bilden sich dann tumorartige Gewebewucherungen, mit deren Hilfe der Baum versucht, die Befallsstellen zu verschließen. Diese Gegenreaktion kann mehr oder weniger erfolgreich verlaufen. Ein solches aktives 'Abwehrverhalten' ist vielen Obstbauern beispielsweise von der Sorte 'Gloster' bekannt, die in der Lage ist, Krebsinfektionsstellen immer wieder mit gesundem Gewebe wulstartig zu überwuchern. Die Ausbreitung des Pilzes geht jedoch ungeachtet dessen weiter. Auf der abgestorbenen Rinde bilden sich anfangs gut sichtbare, weißliche Konidienlager, später erscheinen kugelige, rötliche Fruchtkörper, die sogenannten Perithezien, in denen die Ascosporen gebildet werden.

## Die Rolle der Sorten

Bislang standen bei der Beurteilung der Krebsempfindlichkeit immer nur die Edelsorten im Vordergrund, denn der Obstbaumkrebs war und ist in manchen Gebieten für sehr anfällige Sorten wie 'Nicoter'/Kanzi® und 'Civni'/Rubens® und 'Gala' im Grunde genommen ein Ausschlusskriterium. Aus marktpolitischen Gründen kann sich aber kein Gebiet mehr erlauben, vollständig auf krebsanfällige Sorten zu verzichten, wie etwa auf 'Gala', 'Braeburn', 'Fresco'/Wellant®, 'SQ 159'/Magic Star® oder auch 'Elstar' (WENNEKER, M. et al. 2017). Aber es gibt weder eine krebsresistente Sorte noch eine krebsresistente



Abbildung 157 Bei 'Gala' entstehen sogar bis hoch in die Baumkrone Luftwurzelfelder und tragen damit zur Krebsanfälligkeit bei

Unterlage, sondern nur solche, die der Infektion und Verbreitung mehr Widerstandskraft entgegensetzen als andere. Diese Widerstandsfähigkeit konnte bisher nicht auf eine direkte genetische Veranlagung zurückgeführt werden. Dafür ist vielmehr eine ganze Matrix verschiedener **pflanzlicher Abwehrmechanismen** verantwortlich, die im Regelfall den Bäumen ausreichend Schutz vor einer Infektion verleihen kann. Diesem „Abwehrbollwerk“ steht allerdings ein **aggressiver Krankheitserreger gegenüber**, der bei hohem Infektionsdruck durchaus Erfolgsaussichten hat, seinen Wirt zu besiedeln. Die Anzahl an *Neonectria*-Sporen, die Infektionsbedingungen (Regentage, Blattnäse, Temperaturen), sowie die Anzahl infektiöser Wunden ist daher von zentraler Bedeutung für das Zustandekommen von Krebsinfektionen. Das heißt: Über die Anfälligkeit einer Sorte entscheiden immer die jeweiligen Rahmenbedingungen. Insofern kann Krebsbefall durchaus auch bei vermeintlich gering anfälligen Sorten wie 'Honeycrisp', 'Golden Delicious', 'Santana' oder 'Maribelle' auftreten. Das erklärt auch, warum die Krebsanfälligkeit der Sorten in der Vergangenheit oft unterschiedlich eingestuft wurde. Darüber hinaus kann man den Grad des Krebsbefalls auch unterschiedlich interpretieren, denn er manifestiert sich bei den Sorten auch verschiedenartig. Bei 'Elstar' entstehen beispielsweise verhältnismäßig wenige, dafür aber ausgesprochen große Krebswunden (VAN DER WEG E. et.al 2024). Bei den Sorten 'Gala' und 'Braeburn' wird *Neonectria* hingegen sehr viel mehr über Blattnarben verbreitet und verursacht daher dort zahlreiche kleine Krebsstellen - den sogenannten „Flugkrebs“.

## Die Rolle der Unterlagen

In einem Bestand sind Krebsinfektionen auch über die Unterlagen möglich, beispielsweise über mechanische Verletzungen, die sich ab und zu z.B. bei der maschinellen Unkrautbekämpfung einstellen. Welche Bedeutung Luftwurzelfeldern in diesem Zusammenhang zukommt, ist noch nicht endgültig geklärt. Tatsache ist jedoch, dass an solchen Stellen häufig Infektionen stattfinden. Offensichtlich können Blutläuse, die sich gerne in Luftwurzelfeldern einnisten, mit ihrer Saugtätigkeit dazu beitragen. Und nicht nur das. Sie können von dort aus im Frühjahr bei ihrer Wanderung in die Baumkrone *Neonectria*-Sporen verschleppen. Daher entstehen im Bereich der neuen Blutlauskolonien oft auch gleichzeitig neue Krebsinfektionen (WALTER, M. et.al. 2024).

Die Unterlagen selbst zeigen unterschiedliche Anfälligkeiten für Obstbaumkrebs. LARISA GARKAVA-GUSTAVSSON (2024) stellte bei M.9, bei der polnischen Unterlage P.60 und bei den beiden russischen Unterlagen B.9. und B.10 eine erhöhte Krebsanfälligkeit fest. Die Unterlagen P.67, die Geneva-Unterlagen G.935 und G.41 wie auch die „alte“ MM.116 zeigten sich demgegenüber deutlich toleranter. **G.969** erwies sich unter den geprüften Unterlagen als die mit Abstand Robusteste.

Aber der Einfluss der Unterlagen beim Zustandekommen von Krebsinfektionen lässt sich offenbar nicht nur auf deren direktes Anfälligkeits- oder Abwehrverhalten reduzieren. Sie beherbergen vielmehr ein Inventar an Mikroorganismen, dass offenbar mit dem Boden- und Sprossmikrobiom in sehr enger Wechselwirkung steht. Nicht anders ist es zu erklären, dass bestimmte Unterlagen zu einer schwächeren, andere zu einer stärkeren Symptomausprägung bei ein und dergleichen Edelsorte beitragen. Das stellte sowohl GARKAVA-GUSTAVSSON (2024) bei einzelnen Sorten fest wie auch Henk KEMP (2023 mündl. Mitt.) KEMP fasste 2023 seine bisherigen Erfahrungen mit den Geneva<sup>®</sup>-Unterlagen in Bezug auf *Neonectria ditissima* wie folgt zusammen:

- G.16 gilt als die mit Abstand Krebsfesteste.
- Bei den Unterlagen **G.11**, G.210, G.214 und **G.969** vermutet man, dass die Weiterverbreitung des Pilzes im Baum gehemmt wird, weil sie die Härte des Holzes der aufveredelten Sorten erhöhen.
- Bei **G.41** wurde ein verbessertes Abwehrverhalten der Bäume beobachtet, die zu einer Erholung befallener Bäume beiträgt und damit die Bestandssicherheit verbessert.

Die Abbildungen dokumentieren dieses Abwehrverhalten sehr eindrucksvoll.



Abbildung 158 a-c: Mit Obstbaumkrebs befallene Unterlagen (Bilder H. KEMP, ACI b.v.) Deutlich ausgeprägte Abwehrreaktionen (Regeneration) bei G.11 und vor allem bei G.41 gegenüber M.9

L. A. SHUTTELWORTH et. al. (CABI Agriculture, UK) hat sich diesem komplexen Sachverhalt mit einem entsprechend umfangreichen Versuchsaufbau gestellt:

- Er infizierte insgesamt 14 verschiedene Unterlagen mit *Neonectria ditissima*
- Darauf veredelte er die krebsanfällige Sorte 'Gala' und pflanzte die Bäume auf zwei verschiedenen Versuchsstandorten in Großbritannien.
- Anschließend, von 2017 – 2020, bonitierte er alle Baumteile auf den Befall mit Obstbaumkrebs.

Am besten schnitten drei englische Zuchtklone ab. Allen voran die Unterlage MM.116, gefolgt von AR86-1-20 und AR682-2, zwei neuen Unterlagen aus East Malling. Alle drei Unterlagen wiesen an der Unterlage selbst die wenigsten Krebsstellen auf und vor allem trugen sie auf beiden Standorten auch nur wenig zur Verbreitung des Pilzes im Baum bei. Insgesamt führte das zu den geringsten Baumausfällen. Von den Geneva®-Unterlagen wurden lediglich G.11 und G.41 mitgeprüft. Nach der künstlichen Infektion zeigten beide deutlich weniger Krebsstellen als M.9 oder M.26. Die Weiterverbreitung des Pilzes im Baum erfolgte jedoch nahezu genauso schnell. Von den 14 geprüften Unterlagen belegten M.9 EMLA, M.9 337 und AR295-6 (= M.200) die drei letzten Ränge. Die neue englische Unterlage M.200 stellt also, betreffend die Anfälligkeit für *Neonectria ditissima*, keine Verbesserung zu M.9 dar.

Sehr robust	Robust	Wenig robust
Robusta 5	G.11	M.9, M.26, M.27
G.16	G.210	M.200
G.969	G.214	M.7, M.2
G.41	P.67	MM.106
EMR. 006		A.2
EMR. 004		B.9, B.10
M.116		P.1, P.60

Abbildung 159 Anfälligkeit ('Robustheit') verschiedener Apfelunterlagen gegenüber Obstbaumkrebs (*Neonectria ditissima*) - Erfahrungen, einzelnen Beobachtungen und Untersuchungen zufolge; Quelle: Verschiedene Autoren

Auf die Unterlagen bezogen kann man leider noch auf keine umfassende wissenschaftliche Reihenuntersuchung zurückgreifen, die genauen Aufschluss über die unterschiedliche Anfälligkeit der aktuellen Unterlagen gäbe. Sie wäre in dieser Form womöglich auch gar nicht ausreichend aussagekräftig, denn die Infektion der Unterlage

selbst ist nicht gleichzusetzen mit dem Infektionsverlauf innerhalb des jungen Baumes. Unterlagen, bei denen nach künstlicher Infektion wenig Krebsstellen auftreten, können beispielsweise trotzdem zu einer raschen Weiterverbreitung des Pilzes im Jungbaum beitragen. Das macht die Beurteilung der Krebsanfälligkeit der Unterlagen nicht einfacher. Die Einteilung der Unterlagenanfälligkeit für Obstbaumkrebs in der Abbildung beruht daher aufgrund der geschilderten Umstände auf Untersuchungen und Einzel-Erfahrungen verschiedener Versuchsansteller. Sie erhebt daher keinerlei Anspruch auf fachliche Nachhaltigkeit. Dazu fehlt es an fundierten Untersuchungen und an Versuchsanstellungen, die diesem komplexen System, das sich aus Infektions- und Abwehrverhalten zusammensetzt, einigermaßen gerecht wird.

### Vorläufiges Krebsbekämpfungskonzept

Zu einer erfolgreichen Krebsbekämpfungsstrategie gehört die **Vermeidung von Wunden und Schäden und deren Behandlung** und Abdeckung, inklusive der Blatt- und Fruchtnarben, mit

Hilfe fungizider Wirkstoffe - gestützt auf Infektionsmodelle wie das von BODATA oder RIMpro. Eine nachhaltige Bekämpfung von *Neonectria ditissima* lässt sich aber niemals allein auf chemische Maßnahmen reduzieren. Krebs kann man nicht „wegspritzen“ (VAN DER WEG E. et.al 2024)! Auch nicht mit kupferhaltigen Produkten (Funguran, Cuprozin). Einen deutlich höheren Wirkungsgrad besitzen demgegenüber die Wirkstoffe Captan (Malvin), Tebuconazol (Luna Experience), Fludioxonil (Geoxe) und vor allem die nicht mehr zugelassenen Wirkstoffe Carbendazim (Bavistin) und Thiofanatmethyl (Topsin). Vor dem Hintergrund einer zunehmend restriktiveren Zulassungssituation bei Insektiziden und Fungiziden wird man in Zukunft aber immer mehr auf ganzheitliche Krebs-Vermeidungs- und -Abwehrkonzepte bauen müssen, zu dem auch gesundes Jungbaummaterial zählt. In Zukunft wäre dafür eine größere Auswahl resilienterer Sorten wünschenswert, aber auch robuste, widerstandsfähige Unterlagen. Eine weitere, sehr wichtige Voraussetzung für ein solches Konzept sind **befallsfreie Jungbäume und saubere Anzuchtverfahren** mit allen dazugehörigen Pflanzenschutz- und Hygienemaßnahmen. In diesem Kontext muss in der Baumschule besonders viel Wert auf eine ausreichende Holzausreife gelegt werden. Das bedeutet unter anderem, die Stickstoff-Versorgung in der Baumschule so restriktiv wie möglich zu handhaben, was allerdings nicht immer geschieht, weil viele Kunden großen Wert auf voluminöse Bäume legen. Derartiges Ausgangsmaterial zahlt sich bei krebsanfälligen Sorten selten aus. Der Baumschulstandort, so lehrt die Erfahrung überdies, ist vor allem auch aus der Perspektive der Infektionsgefährdung von großer Relevanz. Von Baumschulflächen, auf denen suboptimale Infektionsbedingungen herrschen (nicht zu viele Niederschläge, niedrige Luftfeuchte, gut drainierter Boden, keine Altanlagen in unmittelbarer Nähe) kommt meist auch das am wenigsten kontaminierte Baumaterial.

Um eine Ausbreitung innerhalb des frisch gepflanzten Bestands zu verhindern bzw. zu reduzieren, sollten mindestens bis zum dritten Standjahr regelmäßige Befallskontrollen vorgenommen werden, besonders wenn es sich um krebsanfällige Sorten handelt. Bäume mit Krebsymptomen sind **in Junganlagen sofort zu roden!** Zu einer massiven Verbreitung kommt es im Übrigen, wenn aus befallenen Parzellen Vermehrungsmaterial entnommen wird. Da hohe Stickstoffgehalte im Gewebe junger Bäume offenbar die Krankheitsbereitschaft fördern, sollte eine exzessive Düngung auf jeden Fall vermieden werden. Bedarfsgerechte N-Mengen haben sich in Bezug auf die Krebsanfälligkeit der Bäume als vorteilhafter erwiesen, vor allem wenn sie aufgesplittet in mehreren kleinen Gaben erfolgen. Ebenso sollte man auf hohe N-Gaben im Herbst über das Blatt (mittels Harnstoff oder Vinasse) zur Anhebung der N-Reserven oder zur besseren Laubverrottung verzichten, da sie nach jüngsten neuseeländischen Untersuchungen (WALTER M. et.al 2024) die Krebsanfälligkeit der Bäume erhöhen. In älteren Anlagen sollten **befallene Astpartien bei trockenem, warmem Wetter** konsequent bis tief ins gesunde Holz hinein herausgeschnitten bzw. herausgefräst und wenn möglich auch mit einem fungizidhaltigen Wundverschlussmittel verstrichen werden. Bei extremem Krebsdruck sollte sogar der Baumschnitt wegen der schnelleren und besseren Wundheilung ins Frühjahr verlagert werden.

Eine einigermaßen erfolgversprechende Bekämpfungsstrategie gegen *Neonectria* erfordert darüber hinaus, Maßnahmen, die das Abwehrverhalten der Bäume stärken zu unterstützen und jegliche Form von Stress zu reduzieren oder unterbinden.

An dieser Stelle muss der altbekannte, enge Zusammenhang zwischen dem Auftreten von **Staunässe und** der Krankheitsbereitschaft für **Obstbaumkrebs** herausgestellt werden. Gerade die Unterlage M.9 zeigt wenig Toleranz gegenüber Sauerstoffmangel, insbesondere bei hohen Temperaturen, d.h. vor allem nicht im Sommer. In solchen Fällen sollte über Hügelpflanzungen und Staunäsetolerantere CG-Unterlagen nachgedacht werden. In jedem Fall müssen solche Standorte vor der Pflanzung drainiert, tiefengelockert, und falls erforderlich, mit organischem Material aufgewertet werden.

Am Beispiel Staunässe und Krebs wird offensichtlich, dass ein Organismus, in unserem Fall *Neonectria ditissima*, nie allein und unabhängig existiert. Seine Entwicklung steht jederzeit in Wechselwirkung mit unzähligen weiteren Organismen, die im Boden-, Wurzel- und Sprossmikrobiom verankert sind und die wiederum selbst von Umwelteinflüssen getriggert werden. Erst bei speziellen Konstellationen, die wir aus Unkenntnis mit „Stress“ umschreiben, tritt dann die Krankheit in Form spezifischer Symptome zu Tage. Das bedeutet aber auch im Umkehrschluss, dass die Bäume bereits vorher mit Obstbaumkrebs infiziert waren. Sie wären womöglich ohne diesen Staunässe - Stressor symptomlos geblieben. Wenn wir in Zukunft mit der Methodik des Next-Generation Sequencing (NGS, schnelle, umfassende DNA-Analyse) in der Lage sind, Baumschulware vor der Pflanzung (wenigstens stichprobenweise) auf bereits vorhandene *Neonectria*-Infektionen zu überprüfen, wird uns mit großer Wahrscheinlichkeit die hohe Dunkelziffer befallener Jungbäume überraschen.

#### 8.5.5.5 Resistenz/Toleranz gegen Kragenfäule (*Phytophthora cactorum*)

Die Kragenfäule ist ein bodenbürtiger Pilz, der auf infiziertem Fallobst oder im Boden als Oospore überwintert und in dieser Form mehrere Jahre überdauern kann. In der Vegetationsruhe sind die Erreger nicht aktiv.

Günstige Infektionsbedingungen

- setzen im Frühjahr **zur Zeit der Blüte** ein,
- bei länger andauernden Niederschlägen,
- gekoppelt mit ausreichend hohen Temperaturen im Bereich von **16 bis 25°C**.
- Betroffen sind vor allem Anlagen mit schweren, tonreichen Böden und staunasse Standorte.
- Zuerst werden die auf dem Boden liegenden Äpfel infiziert,
- Von dort aus wird der Erreger durch die **Zoosporen** des Pilzes
  - über das **Spritzwasser**
  - im **bodennahen** Bereich
  - auf die Unterlage, den Stamm und tieferhängende Äpfel verbreitet
  - Unkrautbewuchs im unmittelbaren Stammbereich begünstigt das für die Infektion erforderliche Kleinklima



Abbildung 160: Kragenfäule (*Phytophthora cactorum*)

a. An der Unterlage (= Crown rot): Zerstört die Rinde der Unterlagen bis maximal 20 cm Tiefe, der Rest bleibt gesund.

b: An der Edelsorte (= Collar rot): Typische Violettfröbung, Verbräunung plus modriger, an Bittermandelöl erinnernder Geruch

c. Befallener Baum der Sorte 'Kizuri'/Morgana® im 5. Laub

**An den Unterlagen** sind **Luftwurzeln** die wichtigsten Eintrittspforten für die Zoosporen von *Phytophthora cactorum*. Der Befall der Unterlage wird im angelsächsischen Sprachgebrauch auch als Crown rot umschrieben, der der Wurzeln als Root rot.

**Eine Infektion des Stammes** ist nur **über Verletzungen** möglich. Er wird im Englischen als Collar rot bezeichnet und tritt vor allem bei anfälligen Sorten auf, vor allem dort, wo es bei der maschinellen Unkrautregulierung zu Stammschäden kam, oder wo der Winterfrost Risse und Platten hinterlassen hat (KOB Bavendorf).

**Symptome** treten meistens erst **ab dem 5. Standjahr** auf:

- Die Blätter betroffener Bäume hellen sich auf
- später werden sie rötlich und fallen vorzeitig ab
- Die Früchte sind kleiner und stärker ausgefärbt („Notreife“). Sie schmecken fade und bleiben meist am Baum hängen
- Insgesamt ist das Baumwachstum stark gehemmt, was sich an kurzen oder zum Teil fehlenden Jahrestrieben zeigt.
- Im Ertrag stehende Bäume können 2 bis 4 Jahre, nachdem sich die ersten Symptome zeigten, absterben.

Ursache für das Absterben ist der Befall des Rindengewebes. Infolge der Infektion und der Zerstörung des betroffenen Gefäßsystems ist die Wasser- und Nährelementversorgung und der Assimilattransport eingeschränkt.

**Die Befallsstellen** befinden sich in der Regel **an der Stammbasis**. Dort entstehen weiche Faulstellen, welche sich ausweiten und bald den gesamten Stamm umfassen. Diese Faulstellen sinken leicht ein und **verfärben sich violett**. Der Befallsbereich grenzt sich durch Risse deutlich vom gesunden Gewebe ab. Schneidet man die Befallsstellen an, geben die verbräunten Gewebebereiche einen **modrigen**, beißenden, an Bittermandelöl erinnernden **Geruch** ab.

Zu den wichtigsten Vorkehrungen, die man zur Vorbeugung eines Befalls treffen kann, gehört die **Standortwahl**. Vor allem für den Fall, dass anfällige Sorten angebaut werden, sollte man Wert auf tiefgründige, gut drainierte und eher leichte Böden legen. Schwere, zur Staunässe neigende Standorte sollte man meiden.

In niederschlagsreichen Regionen, auf schweren Böden, sollte der Anbau anfälliger Sorten reiflich überdacht werden, denn die Kragenfäule stellt eine echte Gefahr für die Bestandssicherheit einer Anlage dar. Als besonders anfällig gelten die Sorten ‘Topaz’, ‘Berlepsch’, ‘Cox Orange’, ‘Alkmene’ und ‘Idared’.

Werden anfällige Sorten wie etwa ‘Topaz’ trotzdem auf grenzwertige Böden gepflanzt, sollten vorbeugend kragenfäuleresistente Unterlagen und tolerante Zwischenveredlungen verwendet werden. Zu den resistenten bzw. robusten Unterlagen zählen einige der neuen CG-Unterlagen. Bei den Sorten, die zur Zwischenveredlung in Frage kommen, haben sich vor allem ‘Golden Delicious’ und ‘Maunzen’ bewährt (SCHMIDLE, A. 1968).

Auf schweren, zur Staunässe neigenden Standorten lässt sich die Wasserführung im Wurzelbereich mit Hilfe von Hügelplantagen und Kompostgaben verbessern. Auf solchen Böden darf die Zusatzbewässerung nur mit moderaten Mengen erfolgen unter Berücksichtigung eines ausreichend hohen Restsauerstoffgehaltes. Exzessive Wassergaben hingegen sollten vermieden werden.

Bei gefährdeten Sorten stehen **eine konsequente Unkrautregulierung** und das **Entfernen infizierter Äpfel** (= Fallobst!) an vorderster Stelle, um von vorneherein die Ausbreitung der Krankheit einzuschränken. Außerdem sollte bei einer Umstellung auf mechanische Bodenbearbeitung berücksichtigt werden, dass damit der Ausbreitung des Schaderregers über Oosporen sowie über mögliche Stammverletzungen Vorschub geleistet wird.

Da die Kragenfäule bei anfälligen Sorten zum **Totalausfall von Bäumen im besten Ertragsalter** führen kann, sollten bereits beim ersten Anzeichen eines Befalls alle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Eindämmung der Krankheit ergriffen werden. Damit nicht mit der Zeit regelrechte „Sporenmutterschiffe“ entstehen, darf man befallene Bäume nicht tatenlos dahinvegetieren lassen, sondern muss:

- Befallsstellen gründlich ausschneiden und mit Kupferlösung (maximal 1%) anstreichen
- Betroffene Bäume markieren und im Frühjahr mit einer Lösung aus Fungiziden (Phosphorige Säure, Dimetomorph) Aminosäuren und Huminsäuren angießen.
- Anstatt mit mineralischen Düngern sollten gefährdete Anlagen mit Rizinusschrot oder Kompost gedüngt werden, um damit bodenbürtige Antagonisten zu fördern.

Im Rahmen des Unterlagen-Züchtungsprogrammes der Cornell Universität hat man besonderen Wert auf die Kragenfäuleresistenz der Zuchtklone gelegt, zumal man den Erreger, *Phytophthora cactorum*, als einen der sogenannten „dirty five“ dem Verursacherkomplex der Bodenmüdigkeit (= ARD Apple Replant Disease) zuordnete. Der Einfluss von **Kragenfäule - robusten Unterlagen** auf den Gesundheitsstatus einer Anlage sollte nämlich nicht unterschätzt werden. Diesbezüglich konnten wir bisher mit der einigermaßen toleranten Unterlage M.9 durchaus zufrieden sein. Eine höhere Anfälligkeit neuerer Unterlagen wäre ein Ausschlussgrund - eine erhöhte Resistenz wünschenswert. Denn die Sensibilität der Unterlagen für Kragenfäule wirkt sich in gewissem Maß auch auf den gesamten Baum aus. Sehr eindrucksvoll wird dieser Zusammenhang in der Abbildung belegt.



Abbildung 161: Kragenfäule am Stamm von Elstar auf verschiedenen Unterlagen a: M.9 (+ Krebs) b: G.11 c: G.41; Quelle: H. Kemp

Unterlagen, die eine geringere Ausprägung von Luftwurzeln aufweisen, sind diesbezüglich im Vorteil. Sie bieten zusätzlich einen höheren Schutz gegen Krebs- und Feuerbrandinfektionen, die deshalb nicht selten gemeinsam in Erscheinung treten.

Bei den Unterlagen sind MM.104, MM. 106 und M.8 besonders gefährdet. M.9, M.26, M.27, B.9, G.11, MM.111 und M.25 gelten als relativ unempfindlich. Einige Geneva-Unterlagen gelten gar als kragenfäule-resistent. Allen voran G.16, G.41, G.202, G.214 und G.935 (GENEVA® APPLE ROOTSTOCKS COMPARISON CHART).

Resistent	Tolerant	Anfällig
Supporter-Serie	M.9, M.27	MM.104
MM.116	MM.111, M.25	MM.106
M.200	G.11, B.9	M.8
G.16, G.41	M.7, M.26	P.67
G.202, G.210		
G.213, G.214		
G.814, G.935		
G.969		

Abbildung 162 Anfälligkeit verschiedener Unterlagen gegen Kragenfäule. Quellen: S. Tianna DuPont, WSU; Shashika Hewavitharana, Cal Poly; Mark Mazzola, USDA-ARS, G. Fazio und T.Robinson; Cornell, Dalival

#### 8.5.5.6 Resistenz/ Toleranz gegen Blutläuse (*Eriosoma lanigerum*)

Die Blutlaus wurde gegen Ende des 18. Jahrhunderts von Nordamerika nach Mitteleuropa eingeschleppt. Seitdem ist sie bei uns ein häufig auftretender und weitverbreiteter Schädling im Apfelanbau. Zerdrückt man die Blutlauskolonien, tritt eine rote Flüssigkeit aus. Diese Eigenschaft ist auch der Grund für ihren Namen.

Die Gefahr, die von Blutläusen ausgeht, beruht auf deren **Fähigkeit zur Massenvermehrung** und ihrer **intensiven Saugtätigkeit**. Blätter werden dabei nie geschädigt. Die Saugtätigkeit beschränkt sich vielmehr auf verholzte Partien und weiche Triebe. Durch die Speichelabgabe während des Saugvorgangs entsteht schwammiges, später wucherndes Gewebe, das (fälschlicherweise) auch „Blutlauskrebs“ genannt wird. Neuseeländischen Untersuchungen zufolge (WALTER M. 2024 mündliche Mitt.) können Blutläuse, die in Krebsstellen Kolonien bilden, mit den dort entstehenden *Neoneectria*-Sporen kontaminiert werden, diese bei der Besiedlung der Baumkronen mitverteilen und in Folge ihrer Saugtätigkeit dazu beitragen, dass in ihren neuen Kolonien tatsächlich Krebsinfektionen stattfinden. Der starke Assimilatentzug führt oft zur **Besiedlung mit Rußtaupilzen**, darüber hinaus zu **verringertem Triebwachstum** und damit zur Abnahme der **Baumvitalität** sowie zu **Störungen bei der Holzreife** und damit zur **Herabsetzung der Winterfrosthärte**.

Wegen ihrer starken **Wachsausscheidungen** hat man der Blutlaus im Angelsächsischen den Namen *woolly apple aphid* verliehen. Das Wachs stellt eine wirkungsvolle Schutzbarriere für Regen und Fressfeinde, aber auch für insektizide Wirkstoffe dar. Deswegen entfalten lediglich vollsystemische Insektizide, oder solche mit einer ausgeprägten Dampfphase einen ausreichenden Wirkungsgrad gegen Blutläuse. Im ökologischen Anbau zählt die Blutlaus zu den am **schwierigsten zu bekämpfenden Schädlingen**. Sollte der Wirkstoff Spirotetramat (Movento®) demnächst seine Zulassung verlieren, entsteht jedoch auch im integrierten Obstbau eine gewaltige Bekämpfungslücke. Spätestens dann wird man bei der Wahl von Sorten und Unterlagen sehr viel genauer darauf schauen müssen, welche mehr oder weniger blutlausanfällig sind.

Innerhalb des Apfelsortiments zählen ganz besonders die Sorten ‘Booskop’, ‘Fuji’ und ‘Jonagold’ zu den Anfälligsten. An ihnen sollte man zuallererst Befallskontrollen durchführen. In Phasen intensiven Wachstums sind mehr oder weniger **alle Apfelsorten gefährdet**, vor allem wenn zu viel Stickstoff gedüngt wurde oder das Wachstum der Bäume außer Kontrolle gerät.

**Bei den Unterlagen** wurde bereits in den 30er Jahren des zurückliegenden Jahrhunderts in Großbritannien ein Sonderprogramm aufgelegt, und zwar am John Innes Institute in Merton und in East Malling. Ziel war es, blutlausresistente Unterlagen zu züchten, d.h. solche, die der Blutlaus nicht mehr als Winterwirt dienen können. Daraus resultierte die sogenannte MM-Reihe, von der heute lediglich einige wenige Nummern (MM.106, MM.111 und MM.116) eine gewisse Bedeutung im extensiven Anbau behielten. In den 60-er Jahren starteten ALDWINCKLE und CUMMINS an der Cornell Universität in Geneva das nordamerikanische Unterlagenprogramm, dessen Zielsetzung unter anderem auch die Züchtung blutlaus-resistenter Unterlagen war. Um die Rolle der Unterlagen bei der Bekämpfung der Blutläuse

beurteilen zu können, ist es wichtig, sich die **Lebensweise der Blutläuse** noch einmal genauer vor Augen zu führen:

- Die weiblichen Tiere überwintern im Larvenstadium in kleinen Kolonien ohne Wachsausscheidungen
  - an Schnittstellen der Äste
  - in Rindenritzen
  - an Luftwurzelfeldern
  - und zum Teil im oberen Wurzelbereich (> 25 cm)
- In sehr strengen Wintern stirbt ein Großteil der Jungläuse ab, vor allem bei Temperaturen unter -20°C. Nach solchen Frösten überleben lediglich die unterirdisch überwinterten Tiere. Allerdings existieren auch im oberirdischen Baumteil geschützte Rückzugsräume. Die Luftwurzelfelder an den Unterlagen stellen diesbezüglich willkommene Winterverstecke dar. Einige wenige oberirdisch überlebende Läuse reichen bereits aus, um in den kommenden Monaten eine Kalamität zu verursachen.
- Ende März, wenn die Temperaturen über 7° C ansteigen, werden die überwinterten Läuse aktiv.
- Sie entwickeln sich zu ungeflügelten, adulten Tieren, die vom Wurzelhals oder Stammgrund ausgehend mit der Neubesiedelung der Baumkrone beginnen.
- Bei dieser Besiedlung werden Schattenbereiche bevorzugt, besonders wenn sich dort Wunden, Risse oder Krebsstellen befinden. Auch starke Jahrestriebe und Wasserschosser einschließlich Wurzelschossern und Stockaustriebe sind beliebte Habitate, an denen die Blutläuse ihre neuen Kolonien bilden.
- Ab Ende April beginnt die Vermehrung. Sie verläuft parthenogenetisch, das heißt ohne Zutun eines Männchens. Die Weibchen legen keine Eier, sondern gebären lebend 100 und mehr Junglarven.
- Ab Ende Juni werden neben ungeflügelten auch geflügelte Tiere gebildet, die sich über Flug auf andere Bäume verbreiten.
- Im Laufe der Vegetationsperiode werden in Abhängigkeit von der Witterung 8-12 Generationen gebildet, die zu einer massiven Ausbreitung im Bestand beitragen können.
- Nach einem natürlichen Populationsrückgang im Juli und August, der in erster Linie mit dem zunehmenden Auftreten der Blutlauszehrwespe in Zusammenhang steht, treten im September die Blutläuse wieder gehäuft auf (KOB Bavendorf *Die Blutlaus*. <https://www.kob-bavendorf.de/blutlaus.html>).

Eine **nachhaltige Bekämpfung** der Blutlaus setzt die konsequente Umsetzung einer ganzen Reihe von Kulturmaßnahmen voraus:



*Abbildung 163: Der klassische Blutlausbesiedelungsweg von der Unterlage (M.9) über deren Wurzelhals zur Edelsorte (Jonagold) und zurück kann durch eine blutlausresistente Unterlage unterbrochen werden, vorausgesetzt, die oberirdischen Kolonien erfrieren im Winter. Laue Winter führen jedoch zu einer erfolgreichen Überwinterung im oberen Kronenbereich und machen eine Resistenz der Unterlage hinfällig.*

1. Eine Spritzfolge, welche die Blutlauszehrwespe, Schwebfliegen- und Florfliegenlarven, Marienkäfer und Ohrwürmer verschont
2. Offene, flache Kronen mit Licht und wenig Schattenbereichen
3. Moderates Wachstum
4. Vermeidung großer Schnittwunden
5. Verwendung von Unterlagen, die keine Luftwurzeln und Wurzelschösser bilden
6. Verwendung blutlausresistenter Unterlagen

Die in der Abbildung getroffene Einteilung der Anfälligkeiten verschiedener Unterlagen besitzt nur bedingte Aussagekraft. Die klimatischen Verhältnisse des Standortes, die aufveredelten Sorten, die Bestandsführung und die spezifischen Blutlausrassen einer Apfelanlage beeinflussen den tatsächlichen Befallsdruck. Das vom Züchter ermittelte Resistenzverhalten ist daher, gerade was Blutläuse angeht, nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragbar. Infolgedessen kommt es bei der Beurteilung der Anfälligkeit von Unterlagen durchaus nicht selten zu divergierende Beobachtungen und Erkenntnissen.

Resistent	Wenig anfällig	Mäßig anfällig	Sehr anfällig
G.202	'Northern Spy'	Mark	M.9
G.210	MM.111	J.9	M.26
G.213	Supporter 1 - 4	B.9	M.27
G.214	G.11	B.10	P.16
G.969	G.16	B.491	P.22
G.202	G.41	M.8	P.67
	Merton 793	M.25	M.9
	MM. 106	G.935	M.26
	'Northern Spy'	M.200	

*Abbildung 164 Die Anfälligkeit verschiedener Unterlagen gegen Blutläuse; u.a. (FAZIO, G. 2022, ROBINSON, T. 2022)*

noch fehlen also die Erfahrungen, welchen Beitrag in Mittel- und Südeuropa die neuen resistenten Unterlagen aus Geneva in der Praxis tatsächlich leisten können. Selbst wenn die Unterlage selbst als Winterquartier 'ausgeschaltet' wird, muss in diesen Regionen regelmäßig mit einer Neubesiedlung gerechnet werden, die von oberirdisch überlebenden Läusen ausgeht. Nichtsdestotrotz sind wahrscheinlich alle Geneva-Unterlagen weniger blutlausanfällig als M.9.

Wachstumsregulierung Baab/van Arkel /Feindt - 187 -

#### 8.5.5.7 Unterlagen sollten frei von Luftwurzeln und Wurzelschossen sein

Luftwurzeln und Wurzelschossen sind nicht nur **wichtige Habitate für Blutläuse**, wie aus der Abbildung hervorgeht. Luftwurzeln sind darüber hinaus auch Eintrittspforten für Frost, Obstbaumkrebs, Feuerbrand, Kragenfäule und Apfelglasflügler. Wurzelschossen erschweren den Einsatz chemischer und mechanischer Unkrautbekämpfungstechniken.

**Unterlagen, die viele Luftwurzeln und Wurzelschossen bilden, sollten in Zukunft nicht mehr in der obstbaulichen Praxis verwendet werden.**



Abbildung 165 Wurzelschossen und Luftwurzeln sind ideale Verstecke für Blutläuse

Unterlagen mit ausgeprägter Neigung zur Bildung von Luftwurzeln und Wurzelschossen werden allgemein als „**juvenil**“ bezeichnet. Sie lassen sich wegen dieser Eigenschaften besonders gut in Mutterbeeten vermehren und sind daher in Unterlagenbaumschulen beliebter als die sogenannten „adulten“ Unterlagen. Das sind eigentlich die obstbaulich interessanteren. Beim M.9 hat sich mit dem Klon T337 ein Hybrid durchgesetzt.

Die Bildung von Luftwurzeln **nimmt erfahrungsgemäß mit dem Alter der Mutterbeete zu**. Man führt das auf die mit der Zeit immer dichter werdenden Bestände zurück und die höhere Luftfeuchte, die darin vorherrscht. Ein Grund dürfte allerdings auch darin liegen, dass die Pflanzen durch den ständigen, massiven „Rückschnitt“ beim Ernten der Unterlagen immer stärker in den juvenilen Zustand zurückversetzt werden.

Vor diesem Hintergrund sollte man die durchweg positiven Bewertungen zu den neuen Unterlagen aus Geneva und East Malling betrachten. Sie zeichnen sich bislang meist durch fehlende Luftwurzeln aus oder sie sind nur vereinzelt vorzufinden. Das kann ein Stück weit auf die noch jungen Mutterbeete zurückzuführen sein, von denen diese Unterlagen gewonnen wurden. Es ist ferner nicht auszuschließen, dass solche Unterlagen in Verbindung mit bestimmten Sorten oder bei sehr engen Pflanzabständen in der Baumschule bzw. nach In-Vitro-Vermehrung mehr Luftwurzeln bilden.

#### 8.5.5.8 Nachbautoleranz

Die meisten Böden in den traditionellen Apfelanbaugebieten sind mittlerweile, wegen des wiederholten Anbaus auf dem gleichen Standort von der **Nachbaukrankheit** betroffen. Diese sogenannte Apple Replant Disease (= ARD) oder „Bodenmüdigkeit“ führt auf allen ehemaligen

Produktionsflächen zu **Wuchs- und Ertragsdepressionen**, vor allem wenn bei der Neupflanzung die Unterlagen **M.9 und M.26** verwendet werden.

Bei der Nachbaukrankheit des Apfels handelt es sich um ein nach wie vor ungeklärtes Phänomen. Man weiß, dass die Symptome auf die Besiedlung der Wurzelrinde mit pathogenen Pilzen der Gattungen *Cylindrocarpon destructans*, *Rhizoctonia solani* und Oomyceten der Gattungen *Pythium ultimum*, *Pythium sylvaticum* und *Phytophthora cactorum* zurückzuführen ist. Sie können sowohl gemeinsam wie auch einzeln die klassischen Nachbausymptome hervorrufen. Phytopathogenen Bodenbakterien (*Pseudomonas spp.*, *Streptomyces spp.*) und freilebenden Nematoden der Gattung *Pratylenchus penetrans* konnte bis heute keine direkte Beteiligung an ARD nachgewiesen werden. Letztere können aber in einer Art „Türöffner“- Funktion die Schäden an ARD-befallenen Wurzeln erhöhen (WREDE, A. et al. 2013).

Aufgrund der Besiedlung und Zerstörung der Wurzelrinde durch die verschiedenen Krankheitserreger entsteht ein kompakteres Wurzelsystem mit beeinträchtigter physiologischer Funktion. Betroffene Wurzeln verbräunen und zeigen schwarze Stellen. Diese **geschwächten Wurzelsysteme** sind **Grund für die Wachstums- und Ertragsdepressionen**.

Besonders stark wirkt sich der Nachbau in den ersten vier bis fünf Standjahren aus, speziell wenn obendrein noch schwach wachsende Sorten wie ‘Gala’, ‘Braeburn’ oder ‘SQ159’/Magic Star<sup>®</sup>/Natyra<sup>®</sup>, oder ‘Honeycrisp’ angebaut werden.

Jungfräuliche Ausweichflächen stehen vielerorts nicht mehr zur Verfügung und es gibt kaum praxistaugliche Verfahren zur Bekämpfung der Bodenmüdigkeit, bis auf den Einsatz von Basamid<sup>®</sup> (= Wirkstoff Dazomet). Eine vielversprechende Strategie gegen die Nachbaukrankheit ist die Verwendung von Apfelunterlagen mit gesteigerter Toleranz gegenüber ARD. Dort, wo Wachstumsprobleme vermutet wurden, griff man in der Praxis bisher gerne auf die starken M.9-Klone zurück und pflanzte sie tief (8-10 cm). Das funktioniert aber nicht immer zur vollsten Zufriedenheit. Oft sind die daraus resultierenden Wachstumsimpulse nicht ausreichend. Die Kollateralschäden der Nachbaukrankheit konnten mit diesen Maßnahmen bei weitem nicht kompensiert werden. Spätestens nach dem 7./ 8. Standjahr stößt M.9 mit schwachwachsenden Sorten an seine natürlichen Wachstumsgrenzen. Verwendet man anstatt M.9 die Unterlage M.26, wird man aber ziemlich sicher von deren Problemen eingeholt (siehe Beschreibung M.26).

Deshalb hat man in den zurückliegenden Jahren bei der Apfelunterlagenzüchtung deutlich mehr Wert auf (im Vergleich zu M.9) stärker wachsende Unterlagen gelegt, um ausreichend Vitalität über die gesamte Lebensdauer in einer Anlage sicherstellen zu können.

Auch an der Cornell-Universität in Geneva zählte Nachbauresistenz zu den wichtigen Züchtungszielen. In diesem Zusammenhang wurden deren Zuchtklone weltweit zahlreichen Prüfungen ausgesetzt. Bereits bei ihrer Anzucht werden sie mittels eines Anstauverfahrens einem „*Phytophthora-Härtetest*“ unterzogen. Das legt die Vermutung einer erhöhten ARD-Toleranz der überlebenden Nachkommenschaft nahe (FAZIO, G. et al. 2021).

Bei der Beschreibung der neuen Geneva®- Unterlagen werden die Begriffe **Nachbautolerant** und **Nachbauresistent** nicht immer zutreffend verwendet oder wiedergegeben.

- Unter Toleranz sollten wir in diesem Zusammenhang die Fähigkeit des Baumes respektive der Unterlage verstehen, ausreichend gut zu wachsen und zu produzieren, obwohl eine Anfälligkeit für den Verursacherkomplex von Apple Replant Disease (ARD) vorliegt.
- Unter Resistenz hingegen wäre zu verstehen, dass sich die Unterlage aktiv durch Aktivierung bestimmter Gene gezielt gegen die Infektion bodenbürtiger Pathogene zur Wehr setzen kann. Dieser Nachweis konnte bisher aber noch bei keiner Unterlage geführt werden. Alle bisherigen Bemühungen, entsprechende Gene oder QTL's (d.h. „Quantitative Trait Locus“ - Bereiche im Genom, die bestimmte Eigenschaften wie z.B. Resistenzen kodieren) zu identifizieren, die theoretisch bei besonders wuchsfreudigen Unterlagen im Nachbau exprimiert (d.h. aktiviert) werden könnten, schlugen bisher fehl.

Solange dieser Nachweis fehlt, ist eine weiterführende züchterische Bearbeitung wenig aussichtsreich. Daher ist, wenn es um die Umschreibung wuchsfreudigen Verhaltens einer Unterlage unter ARD-Bedingungen geht, der Begriff Nachbautolerant zutreffender.

**Tolerante Unterlagen** verwenden offensichtlich **mehr Ressourcen** (Kohlenhydrate) **für die Produktion von Wurzelbiomasse** (darauf deuten bereits die „glatten“ Veredelungsstellen hin), wachsen daher häufig stärker als M.9 und können auf diese Weise nachbaubedingte Wurzelverluste besser kompensieren als andere. Diese Eigenschaften sind andererseits mitverantwortlich für die oft unterschiedlichen Wuchsstärke- Angaben bei den nachbautoleranten Unterlagen. Sie schwanken teilweise beachtlich, je nach Nachbausituation, Boden und Sorte (MAZZOLA, M. SOMERA, T. 2022).

#### 8.5.6 Toleranz gegen abiotische Stressoren

##### 8.5.6.1 Hitze- und Wasserstress



**Abbildung 166:** Da wo nichts mehr zu gehen scheint, geht 'SQ 159' /Natyra® auf G.41 im Öko-Anbau. Bäume im 5. Laub im Nachbau und unter Staunässebedingungen. Zwischen den Bäumen auf G.41: Bäume auf M.9 Bild H. Kemp; Agrow Consult International

Wegen der Folgen des Klimawandels wird man in Zukunft züchterisch vermehrt auf die Widerstandsfähigkeit der Unterlagen gegenüber Salinität, Alkalität, Staunässe und Trockenheit achten. In den ariden Gebieten Europas sind Bewässerungssysteme längst zum festen Bestandteil der Apfelproduktion geworden, aber auch in humiden Regionen werden sie immer häufiger eingesetzt. Die Unterlage M.9 hat sich auf guten Böden bisher immer als einigermaßen trockenheitstolerant erwiesen, zumal sie als Flachwurzler auch

geringe Niederschlagsmengen zu nutzen vermag. Bei anhaltender Trockenheit und extremer Hitze treten aber auch bei M.9 Embolien im Gefäßsystem auf, denn dann reicht das über die Tropfer bereitgestellte Wasser nicht mehr aus, um die Transpirationsverluste auszugleichen. Da jedoch Trockenheitsperioden und Hitzewellen in vielen Apfelanbaugebieten im Zuge des Klimawandels voraussichtlich immer häufiger auftreten werden, wird in Zukunft die Prüfung von Zuchtklonen auf Trockenheitstoleranz verstärkt bei der Selektion von Unterlagen berücksichtigt werden. Denn das Wurzelsystem kann die Wasseraufnahme und den -transport beeinflussen sowie Signale senden, die die Funktion der Stomata regulieren. Wenig erforscht ist beispielsweise auch die Rolle der Wurzelarchitektur von neuen Unterlagenzüchtungen, welche sich morphologisch durch einen unterschiedlich hohen Feinwurzelanteil und unterschiedliche Durchwurzelungstiefen unterscheiden. Ein internationales Projekt unter Beteiligung von Plant & Food Research aus Neuseeland, IFO aus Frankreich, der Cornell-Universität in Geneva und einem chinesischen Agrarinstitut bemüht sich mit Hilfe von lokalem Genmaterial aus China um die Züchtung trockenheitsresistenter Unterlagen. Erste Ergebnisse sind in 20 bis 30 Jahren zu erwarten.

#### *8.5.6.2 Toleranz gegen Winterfrost*

**Unter kontinentalen Klimabedingungen** entscheidet auch die Winterfrosthärte über den Anbauwert von Sorten und Unterlagen. Im Verlauf der Evolution hat sich der Apfelbaum auch an kalte Temperaturen angepasst und komplexe Strategien entwickelt, um Frostschäden zu vermeiden. Mit Hilfe zahlreicher stoffwechselphysiologischer Manöver können die meisten Sorten auch sehr tiefe Temperaturen überstehen, vor allem wenn diese in der tiefsten Winterruhe auftreten. Mit Frostschäden ist zu rechnen, wenn die Temperaturen im Winter unter  $-18^{\circ}\text{C}$  (für alle Unterlagen) bzw. unter  $-30^{\circ}\text{C}$  (für alle Sorten) sinken. Deren Ausmaß hängt ab von den betroffenen Sorten und Unterlagen, vom Baumalter, dem Wintermonat, vom vorangegangenen Ertrag sowie vom Ernährungs- und Gesundheitsstatus der Bäume.

**Frostschäden am Holz** manifestieren sich in der Regel zuerst an den frostexponierten Teilen des Baumes, also am Sprossenteil. Dort wiederum treten sie meist im Basisbereich der Stämme sowie in den Astwinkeln tief inserierter Gerüstäste auf, denn in den bodennahen Bereichen sammelt sich die kälteste Luft und nicht selten befindet sich dort auch noch eine Schneedecke, die zur weiteren Abkühlung beiträgt. Zum Schutz dieser erdnahen Baumzone verwendete man früher frostharte Stammbildner bzw. Zwischenveredelungen, wie etwa 'Hibernal'.

**Bei Unterschreitung kritischer Temperaturen** bilden sich in den Zellen des Rindengewebes Eiskristalle. Dieser Prozess führt am Ende zur Zerstörung ganzer Zellverbände. Die Schäden zeigen sich in den darauffolgenden Wochen und Monaten in Form von **Frostrissen und -platten**. Unter dieser beschädigten Rinde befindet sich verbräuntes Kambial- und Xylemgewebe (= black heart) (MORAN et al. 2011).

Die geschilderten Zellschäden können durch zwei unterschiedliche Prozesse hervorgerufen werden:

1. Bei sehr rascher Abkühlung entstehen irgendwann Eiskristalle innerhalb der Zelle, welche die Zellmembranen irreversibel schädigen.
2. Um das zu verhindern, wird die Eiskristallbildung gezielt vom Zellinnern in die Zellzwischenräume verlagert, denn dort richten die Eiskristalle weitaus weniger Schaden

an. Dieser Vorgang beruht auf der Anwesenheit von Eiskeimen in den Interzellularen und deren Abwesenheit innerhalb der Zellen. Infolgedessen wachsen die Eiskristalle „extrazellulär“ indem sie der Zelle Wasser entziehen. Die Zellen unterkühlen mit sinkenden Temperaturen immer weiter, können aber ihre Lebensvorgänge auf diese Weise bis  $-38^{\circ}\text{C}$  aufrechterhalten. Irgendwann findet dann entweder eine vollständige Dehydration der Zellen statt, oder es setzt eine spontane Eisbildung ein. Beides führt zum Zelltod.



Abbildung 167 a-c: 'Fuji' im 2. Laub auf M.9 im Juni, nach mehreren Frösten im vorangegangenen November und Dezember mit  $-15^{\circ}\text{C}$  bis  $-19^{\circ}\text{C}$



Abbildung 168: Frostschaden mit *Cytospora*-Infektion via Schnittstelle

In Folge der Frostschädigung findet oft ein Sekundärbefall mit pathogenen Pilzen statt, wie etwa mit *Cytospora Canker* (= *Leucocytospora cincta* und *Leucocytospora leucostoma*), der zu einer weiteren Schwächung der Bäume beiträgt. **Das ganze Ausmaß des Frostschadens** wird oft erst im Sommer erkennbar, wenn die Bäume stark transpirieren, aber der Wassertransport durch die geschädigten Leitungsbahnen nicht mehr richtig funktioniert. Im Extremfall oder nach wiederholten Frosteinwirkungen können die Bäume absterben. In abgeschwächter Form kommt es zur Beeinträchtigung des Wuchs- und Ertragsverhaltens. **Leichte Schäden** im Xylemgewebe kann der Baum durchaus wieder „reparieren“. Besonders drastisch wirken sich Frostschäden in Junganlagen aus, vor allem an frisch gepflanzten Bäumen.

Die Fähigkeit von Apfelbäumen, niedrige Temperaturen zu überstehen, wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst:

1. **Dem Härtingsprozess** kommt in diesem Zusammenhang eine zentrale Bedeutung zu. Dabei akklimatisiert sich der Baum, im günstigsten Fall langsam und allmählich, an die kalte Jahreszeit. Dieser Vorgang wird im Herbst durch **kurze Tage und kältere Temperaturen** angestoßen. Unter dem Einfluss dieser „Signale“ leiten die Bäume eine regelrechte Kaskade an Frostschutzmaßnahmen ein:
  - Der rechtzeitige und vollständige Blattfall ist eine wichtige Voraussetzung und auch ein Indiz für den Härtingsprozess, zumal damit die Rückverlagerung von Kohlenhydraten und Nährelementen ins benachbarte Holz sichergestellt wird.
  - Die Bäume synthetisieren darüber hinaus osmotisch wirksame Substanzen wie Zuckerverbindungen und Proteine, die den **Gefrierpunkt in den Zellen erniedrigen**, so dass dort keine Eiskristallbildung einsetzt.
2. Die Eiskristallbildung wird, wie bereits ausgeführt, vom Zellinnern in die interzellularen Zwischenräume verlegt.

Ort der Messung	°C
Oberfläche Schneedecke	-22,9
1 cm darüber	-22,9
50 cm darüber	-18,7
150 cm darüber	-18,0
350 cm darüber	-15,9

*Abbildung 169 Temperaturen in verschiedenen Luftschichten oberhalb einer Schneedecke in einer Frostnacht  
Quelle: HILDEBRANDSON & JULCHIN; Upsala, 1988*

Je früher dieser **Anpassungsprozess im Herbst** beginnt, desto schneller und sicherer gelangen die Bäume in ihre Ruhephase und desto toleranter werden sie gegenüber extrem niedrigen Temperaturen. Wenn das Holz im Herbst noch nicht vollständig abgehärtet ist und sich die Bäume noch nicht vollständig im Stadium ihrer tiefsten Winterruhe befinden, sind sie besonders frostanfällig. Besonders **große Schäden** richten daher **frühe Fröste im November und Dezember an**. Wenn die Bäume **im Februar in die Nachruhephase** eintreten,

kann es noch einmal gefährlich werden: Wärmeperioden mit Temperaturen über 15°C können dann bereits Enthärtungsvorgänge einleiten, so dass ein darauffolgender scharfer Winterfrost erhebliche Schäden anrichten kann.

Neben dem Zeitpunkt ist weiterhin auch der Grad der Frosteinwirkung für das Ausmaß der Schädigung entscheidend. Einige Sorten ertragen im Januar, bei tiefster Winterruhe, bis zu -40°C, ohne Schaden zu nehmen, andere wiederum erleiden bereits bei -20 °C erhebliche Schäden.

Die **Winterfrosthärte des Baumes** wird insofern

- vor allem von der genetischen Disposition von Sorte und Unterlage beeinflusst,
- von deren Kohlehydrat- und Nährelementausstattung (Ertragsverhalten) und
- wie die Frostwinter 1984/85 und 1985/86 unter Beweis stellten, sogar von Zwischenveredelungen mitbestimmt.

Unterlagen sind weitaus weniger kältetolerant als Edelsorten. Selbst robusteste Unterlagen sterben bei Temperaturen unter -18°C ab. Da sie aber den Wärmeschutz des Bodens genießen, können ihnen deutlich niedrige Lufttemperaturen natürlich nichts anhaben, es sei denn sie ragen zu weit aus dem Boden. Daher ist auf frostexponierten Standorten ganz besonders auf

die Pflanzhöhe zu achten, d.h. auf den Abstand der Veredelungsstelle zum Erdniveau. Er sollte nicht mehr als 8 cm betragen.

**Die verschiedenen Unterlagen sind unterschiedlich kältetolerant.**

- Robusta 5, B.9, B.10, P.22, P.2, A.2, Antonovka 313 und zahlreiche Geneva®-Unterlagen gelten beispielsweise als verhältnismäßig winterfrosthart.
- Zu den noch bedingt frostharten Unterlagen zählen MM.111, Pi 80, P.60 und M.26.
- M.7 und M.9 hingegen gehören eindeutig zu den frostanfälligen Unterlagen.

Monat	Frosthärte			
	Sehr Hoch	Hoch	Mittel	Niedrig
November/ Dezember	G.935 G.210	G.41 G.213 G.214	B.9 G.11	M.9
Januar/ Februar	G.935 G.210	G.41 G.213 G.214 G.202	B.9 G.11	M.9

Frostharte Unterlagen üben zwar keinen direkten Schutz auf den Spross teil des Baumes aus, zumindest ist darüber noch kein konkreter Zusammenhang bekannt. Trotzdem kann man davon ausgehen, dass sie über verschiedenste Stoffwechselforgänge das Abwehrverhalten der Bäume unterstützen, etwa über Zeitpunkt und Ausmaß des Blattfalls.

Abbildung 170 Ergebnisse von Frostungsversuchen mit verschiedenen Unterlagen Quelle: Robinson; Cornell Geneva

Außerdem wird ihr eigenes Vermögen, Fröste zu überstehen, von enzymatischen und hormonellen Prozessen gesteuert, deren Auswirkungen sicher nicht an der Veredelungsstelle enden. Die unterschiedlichen Kälteansprüche der verschiedenen Unterlagen sind dafür ein gutes Beispiel. Insofern kann man davon ausgehen, dass sie gemeinsam mit der Edelsorte und ggf. einer Zwischenveredlung immer als interaktives System agieren, also niemals getrennt oder unabhängig voneinander. Der trennende Faktor ist allenfalls eine Schneedecke, der die Unterlage vor Frost schützt, die Edelsorte dafür eher in Gefahr bringt.

**Allerdings können auch Unterlagen erfrieren** (vor allem bei fehlender Schneedecke), was dann besonders nachhaltige Auswirkungen auf das Leistungsvermögen des Baumes bzw. dessen Überleben hat. Wie die Edelsorten, sind auch Unterlagen bei nicht vollständig vollzogenem Härtungsprozess am frostgefährdetsten. Die kritischste Jahreszeit ist daher der Spätherbst und nicht unbedingt der tiefste Winter. Dieser Aspekt wurde auch bei einer Versuchsanstellung in Geneva berücksichtigt, bei der in Klimakammern verschiedene Unterlagen in den Monaten November, Dezember, Januar und Februar Minustemperaturen ausgesetzt wurden. In obiger Tabelle sind die Resultate zusammengefasst aufgeführt. Sie belegen die hohe Frosthärte der Geneva®- Unterlagen, insbesondere die von G.935 und G.210. Beide besitzen den Elternteil ‘Robusta 5’, ein Abkömmling des sibirischen Holzapfels. In Russland verwendete man dazu frostharte Lokalsorten wie beispielsweise ‘Red Standard’.

*8.5.6.3 Maßnahmen zur Verhütung von Winterfrostschäden*

Bereits beim Pflanzmaterial sollte auf eine ausgewogene Stickstoffernährung geachtet werden. In Folge eines Luxuskonsums entsteht nämlich in der Regel großvolumiges, dünnwandiges Holzgewebe. Bäume, deren Volumen in der Baumschule mit Hilfe von (zu)viel Stickstoff vergrößert wurde, sind deshalb anfälliger für Winterfröste als kompakte

Jungbäume, bei denen anstatt dessen die Kaliumversorgung optimiert wurde. Beobachtungen weisen ferner darauf hin, dass Vermehrungsmaterial, welches wiederholt sehr tiefen Winterfrösten ausgesetzt war eine höhere Frosthärte vererbt als solches, das unter 'normalen' Bedingungen herangezogen wurde. Sollte sich dies bestätigen, dann läge hier ein Fall von Epigenetik (Vererbung von während der Lebenszeit erworbenen Eigenschaften) vor.

### Maßnahmen zur Vermeidung von Frostschäden können sein:

1. Vermeidung von Frostlagen bei der Standortwahl
2. Verwendung von:
  - frostharten Sorten ('Honeycrisp', 'Liberty', 'Gloster', 'Spartan', 'Red Delicious')
  - frostharten Unterlagen (Geneva<sup>®</sup>-, Budakovsky<sup>®</sup>- sowie polnische Unterlagen) und
  - Zwischenveredelungen ('Hibernal')
3. N-Düngung reduzieren, dafür Kali- und Zinkdüngung optimieren
4. Schnitttermin ins Frühjahr verlegen
5. Den natürlichen Blattfall unterstützen durch Einsatz von Ethephon, Zinksulfat und Kupfer
6. Leistungsfähige Windmaschinen installieren. Sie können Winterfrostschäden verhindern bzw. reduzieren.
7. Stämme zur Wärmeabstrahlung vor Wintereintritt mit Latexfarbe (plus Kupfer) streichen.



*Abbildung 171 Frischer Anstrich der Stämme mit matter Latexfarbe plus Kupfer, Mitte Oktober in Kasachstan*

Hintergrund: Die frostgefährdetste Zone befindet sich unmittelbar oberhalb der Schneedecke im Bereich der Edelsorte. Nachts kühlt sich die oberste Schneesicht und damit auch die direkt darüber befindliche Luftschicht stark ab, denn wegen der guten Isoliereigenschaften des Schnees erfolgt kein Wärmenachschub aus dem Boden. Deswegen kühlt auch das Pflanzengewebe über der Schneedecke stark aus, unterkühlt und gefriert, was sich später nach außen hin als **braune Frostplatte** darstellt. An der Süd- und Süd-

westseite der Stämme treten die Schäden meist noch in verschärfter Weise auf, nämlich in Form von **Frostrissen**.

Diese Frostrisse entstehen in Folge von Spannungen zwischen teilweise gefrorenem und teils wärmeaufgeladenem Gewebe: Tagsüber reflektiert nämlich der Schnee die auftreffende Strahlung viel stärker zurück als gewachsener Boden. Nach Reflexion wird Licht langwelliger und damit wärmer. Das wiederum führt zu einer Erwärmung der direkt

über der Schneedecke befindlichen gefrorenen Stammregion. Besonders stark fällt die Wärmeaufladung dabei an der sonnenexponierten Seite der Stämme aus, also der der Nachmittagssonne zugewandten Südwestseite der Stämme. KESNER und HANSEN (1976) stellten in diesem Stammareal Temperaturunterschiede von mehr als 16°C fest. Die dadurch ausgelösten Spannungen im Gewebe führen schließlich zum Aufreißen der Rinde.

Um diese starken Spannungen im Gewebe zu vermeiden, muss man den tagsüber stattfindenden Erwärmungsprozess unterbinden. Dies geschieht am effektivsten, in dem man die Stämme vor Wintereintritt sorgfältig mit hochwertiger mattweißer Latexfarbe streicht, um damit deren Wärmeaufladung zu reduzieren.

## 8.6 Das obstbauliche und baumschulische Leistungsvermögen von Unterlagen

### 8.6.1 Stabiles Ertragsverhalten

Derzeit wird von den Züchtern nach wie vor in Richtung schwach bis mittelstarken Wachstums und Resistenz (Krankheiten und Schädlinge, Nachbau, Frost) gezüchtet. Gleichzeitig wird aber auch das Ertragsverhalten bei der Auslese neuer Klone berücksichtigt, insbesondere frühzeitiger Ertragseintritt sowie regelmäßiger und hoher Qualitätsertrag.

### 8.6.2 Verbesserte Fruchtqualität

Bei der Auslese neuer Unterlagen achtet man heutzutage schon sehr genau auf deren Einfluss auf innere (Geschmack, physiologische Krankheiten) und äußere Fruchtqualität (Fruchtgröße und -farbe). Dabei kommt dem Calcium- Kalium- und Stickstoffaufnahmevermögen besondere Bedeutung zu, vor allem, was die Prädisposition der Früchte für physiologische Krankheiten wie Stippe, Schalen- und Fleischbräune anbetrifft.

### 8.6.3 Standfestigkeit

Im eher extensiven Obstbau der zurückliegenden Jahrhunderte galt Standfestigkeit als wichtiges Attribut bei der Beurteilung von Unterlagen. Diese Eigenschaft wünscht man sich auch heute noch gerne bei Schwachwuchs induzierenden Unterlagen. Man hat allerdings längst realisiert, dass diese Forderung illusorisch ist. Wer einen schwachwachsenden Spross wünscht, muss zwangsläufig auch ein schwaches Wurzelsystem ohne Pfahlwurzel akzeptieren, und den Bäumen dafür ein adäquates Unterstützungsgerüst zur Verfügung stellen. Lediglich im modernen Mostobstanbau besteht weiterhin die berechnete Forderung nach standfesten und schüttelfähigen Bäumen. Dafür werden auch heute noch starkwachsende Unterlagen wie M.25 oder MM.111 verwendet. Ansonsten dominieren im modernen Apfelanbau nicht standfeste Unterlagen. Die einzige neue Unterlage, der eine erhöhte Standfestigkeit nachgesagt wird, ist die mittelstarkwachsende Geneva<sup>®</sup>-Unterlage G.210. Sie soll angeblich dem Baum eine höhere Standfestigkeit verleihen, so dass er mit einem einfacheren Unterstützungsgerüst auskommen würde (KEMP, H., 2023 mündl. Mitt.).

#### 8.6.4 Gute Vermehrungsmöglichkeiten



*Abbildung 172 Rodung von M9 T337-Unterlagen nach Anzucht in Mutterbeeten – ‘Absägen’ anstatt ‘Abreißen’. Bilder: R. Nicolai*

Ein sehr wichtiger Aspekt, der über Zustimmung oder Ablehnung einer neuen Unterlage entscheidet, ist beispielsweise ihre **Baum-schul-tauglichkeit**. Denn die Etablierung von neuen Mutterbeeten ist ein langer und kostspieliger Prozess. Für einen Unterlagenerzeuger ist die Anlage eines Mutterbeetes ein Sprung ins Ungewisse. Er erstellt das Mutterbeet in der Hoffnung, dort 15 Jahre oder länger Unterlagen produzieren zu

können. Zur ausreichenden Performance einer neuen Unterlage gehört deshalb eine **hohe Abrissleistung, gute Bewurzelung, kein Wurzelbruch und gerades Wachstum** sowie ein möglichst hohes Interesse seitens der Baumschuler und Obstbauern. Die meisten **Apfelunterlagen werden nach wie vor in Mutterbeeten vermehrt**. Diese Methode ist jedoch auch kosten- und zeitaufwendig und bringt teil- oder zeitweise verschiedene Probleme mit sich, wie etwa geringe Abrissleistung, schlechte Bewurzelung, krumme Pflanzen oder Wurzelbruch bei der Rodung.

**Die Meristemvermehrung** ermöglicht eine rasche Vermehrung von krankheitsfreien Pflanzen mit genetisch identischer Herkunft. Darüber hinaus ist man mithilfe der Mikrovermehrung, im Gegensatz zu konventionellen Methoden, in der Lage, das Pflanzenmaterial das ganze Jahr über zu vermehren. Allerdings ist In-Vitro-Vermehrung bei weitem nicht bei jeder Unterlage möglich oder wirtschaftlich sinnvoll. Ganz allgemein muss man bei der Mikrovermehrung von Apfelunterlagen beachten, dass ein für einen bestimmten Apfelgenotyp entwickeltes Vermehrungsverfahren nicht immer mit dem gleichen Erfolg auf einen anderen Apfelgenotyp übertragen werden kann. Genotypen- abhängige Unterschiede zeigen sich beispielsweise zwischen M.26 und M.9. Die Stecklinge von M.26 bilden unter In-Vitro-Bedingungen leicht Wurzeln aus. Die Apfelunterlage M.9 hingegen gilt als schwer bewurzelbar und ist deswegen für dieses Vermehrungsverfahren de facto ungeeignet.

Nicht zuletzt wird das Verfahren von konventionellen Unterlagenbaumschulen zu Recht auch mit einem gewissen Argwohn betrachtet. Für die erfolgreiche Massenvermehrung einer Unterlage sind eine präzise Kulturführung, Laboreinrichtungen, spezielles technisches Equipment, Gewächshäuser und gut ausgebildetes Personal erforderlich, was das Verfahren gegenüber der herkömmlichen Mutterbeetvermehrung komplizierter und auf jeden Fall teurer macht. Die Meristemvermehrung bleibt deshalb Spezialbetrieben vorbehalten, die wie z.B. Agromillora teilweise bereits weltweit aktiv sind und die sich aufgrund ihrer Finanzkraft irgendwann auch besonders interessante Unterlagen lizenzrechtlich sichern können. Das wird

nicht unbedingt zu einer höheren Akzeptanz des neuen Verfahrens und neuer Unterlagen seitens der Praxis beitragen. Darüber hinaus sind aus der Vergangenheit Beispiele bekannt, bei denen sich nach der In-Vitro-Vermehrung von Unterlagen plötzlich unliebsame Folgen einstellen, etwa in Form von Juvenilität. Das drückte sich z.B. vor etlichen Jahren bei der polnischen Unterlage P.22 durch eine massive Zunahme an Wurzelschossern aus.



*Abbildung 173: In vitro Vermehrung von G.41. Labor und Folientunnel ersetzen das Mutterbeet. Sehr gute Bewurzelungsleistung. Für jeden Baumschuler schnell verfügbar, gesund, aber teuer; Bilder: Agromillora*

Andererseits kann die In-Vitro-Vermehrung **für eine schnelle Markteinführung von neuen Unterlagen** (etwa G.213) eine Zukunft darstellen. Zudem bleiben hierdurch **Unterlagen interessant**, von denen man sich wegen ihrer **schlechten Vermehrungseigenschaften in Mutterbeeten längst getrennt hätte**, wie z. B. **G.41** oder G.202 (flacher Wuchs im Mutterbeet und schlechte Bewurzelung). Mit in vitro vermehrtem Material können Unterlagenbaumschuler zur Etablierung neuer Mutterbeetbestände auf gesundes und sehr gut bewurzelungsfähiges Ausgangsmaterial zurückgreifen. Dies kann ebenfalls dazu beitragen, von Anfang an ein stärkeres Wurzelsystem aufzubauen und und gut bewurzelte Abrisse zu produzieren. Meristemvermehrung wurde von den Forschern in Geneva bereits Ende der 90er-Jahre empfohlen. Die Unterlage G.11 wird beispielsweise in den USA standardmäßig in vitro vermehrt. Jedoch wurde diese Methode durch die europäischen Partner (CTIFL, NAKB) zunächst nicht als Vermehrungsmethode für die Produktion von zertifizierten Unterlagen anerkannt. Seit 2007 hat die CTIFL sie in Frankreich für Apfel genehmigt, woraufhin seit 2008 die spanische **Firma Agromillora** mit der Meristemvermehrung für Europa begonnen hat. Agromillora trieb in den letzten Jahren die In-Vitro-Vermehrung von Unterlagen weltweit voran, indem sie spezielle Vermehrungssysteme für Apfelunterlagen entwickelte. Bislang werden vor allem G.41 und G.213 über das Unternehmen produziert. Dies könnte auch ein Schlüssel für weitere neue, im Mutterbeet schwer vermehrbare Unterlagen sein, indem gesunde Pflanzen ohne diesen „Umweg“ in größerem Stil angezogen und verbreitet werden können (DALABETTA, N. 2022). Nicht (ganz) auszuschliessen ist allerdings, dass die im Kapitel Inkompatibilität geschilderten Affinitätsprobleme mit der Geneva-Unterlage G.213 mit der In-Vitro-Vermehrung der Unterlage in Zusammenhang steht.

### 8.6.5 Kompatibilität mit Edelsorten

Auch in den Obstbaumschulen brechen nicht immer Jubelstürme los, wenn neue Unterlagen von Züchtern vorgestellt werden. Dort stellt sich sofort die Frage, um wie viel teurer man die Unterlage einkaufen muss, wie hoch die Anwachsquoten mit den Edelsorten sein werden, wie einheitlich die Bestände wachsen und wie sich die Bäume verzweigen werden. Denn letztendlich verlangen die Obstbauern verständlicherweise immer nach guten Baumqualitäten zu günstigen Preisen. Der Obstbaumschuler selbst wünscht sich von einer neuen Unterlage eine möglichst hohe Anwachsleistung (Kompatibilität) und einen positiven Einfluss auf Wachstum und Verzweigung der Bäume. Über **Unverträglichkeit in Form von schlechter Edelaugennahme, geringen Anwachsquoten, Windbruch und schlechtem Anwachsen** in der Obstanlage wird neuerdings wieder öfter in Zusammenhang mit einigen Geneva<sup>®</sup>-Unterlagen diskutiert, vor allem bei G.41. Solche Probleme können das Image und die Akzeptanz einer neuen Unterlage nachhaltig erschüttern. Eine reibungslose Markteinführung setzt ein ausreichendes „Pack-Out“ in den Baumschulen voraus.

Unverträglichkeit wurde nicht erst bei der neuen Apfelunterlage G.41 entdeckt. Sie wurde bereits bei einigen älteren Unterlagen beobachtet etwa bei:

- M.26 in Verbindung mit den Sorten ‘Golden Delicious’ und ‘Granny Smith’
- Ottawa 3, einer kanadischen Apfelunterlage in Verbindung mit ‘Jonagold’
- Quittenunterlagen in Verbindung mit einigen Birnensorten

Eine vermeintliche Unverträglichkeit sollte man dabei sauber von **‘normalen Anwachsproblemen’** trennen. Diese können beispielsweise durch erhöhtem Wasserbedarf bestimmter Unterlagen (Quitte Eline, Geneva<sup>®</sup>) oder **Bewurzelungsproblemen** (Wurzelbruch beim Roden, P.16, M.20, G.202) hervorgerufen werden. Unter der **klassischen Inkompatibilität** ist hingegen zu verstehen, dass nach anfänglichem, erfolgreichem Wachstum früher oder später (oft erst nach Wochen, Monaten oder Jahren) entweder ein deutlicher Rückgang des vegetativen Wachstums zu verzeichnen ist, der teilweise sogar zum vorzeitigen Absterben der Bäume führt, oder die Veredlungsstelle bricht.

Optisches Zeichen mangelnder Kompatibilität kann ein **zu starkes Über-oder Unterwachsen an der Veredlungsstelle** sein, was auf einen gestörten Transport von Wasser (hydraulische Leitfähigkeit), Nährstoffen, Kohlenhydraten oder Hormonen (Auxine, Cytokinine) über die Veredlungsstelle zurückzuführen ist. Bis zu einem bestimmten Grad ist ein solcher Veredlungsknoten normal und vollkommen ungefährlich. Und nicht nur das: In gewissem Umfang sind diese Störungen auch Ursache des gewünschten Schwachwuchsinduzierenden Effektes der Unterlagen. Derartige anatomisch sichtbare Symptome treten bei der Unterlage G.41 nicht auf, vielmehr sind es physiologische Vorgänge, die zu Störungen in der Entwicklung führen können.



**Abbildung 174:**

*a. M.20 Assimilatstau bei 'Elstar'*

*b. P.67 mit starkem Unterlagenüberwuchs*

*c. P.67 zu hoch veredelt und gepflanzt: Unverträglichkeit. Bildquelle: W. Guerra (VZ Laimburg)*

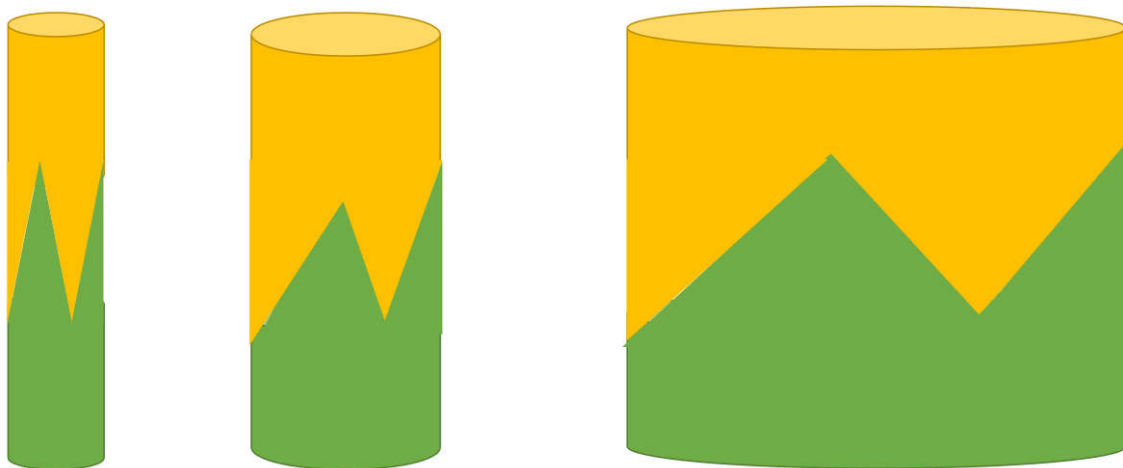
*d. G.213 mit Unverträglichkeitssymptomen. Bildquelle: G. Fazio (Cornell Geneva))*

Die Ursachen der lokalen/mechanischen Inkompatibilität sind sehr vielschichtig. Es kann sich sowohl um Störungen des Kambialwachstums handeln wie auch um Störungen bei der Differenzierung von neuem Phloem- und Xylemgewebe, oder um Gefäßfusionsprobleme. All diese „Schäden“ **stören die Kontinuität des Wasser-, Nährelement-, Auxin- und microRNA-** (das sind kurze RNA-Ketten, die Gene an- und ausschalten) **Transportes** (RASOOL, A. et al. 2020).

- Die Bedeutung eines ungehinderten Wasser- und Nährelementtransportes für das An-, Zusammen- und Weiterwachsen von Jungpflanzen steht außerhalb jeglicher Diskussion. Bei einzelnen Sorte-Unterlagen-Kombinationen ist Inkompatibilität auf Komplikationen bei der Gefäßdifferenzierung zurückzuführen, die an den aufeinandertreffenden Leitungsbahnen der beiden Veredelungspartner auftreten und dort „Wasser- oder Assimilatestaus“ verursachen. In deren Folge kommt es zu Wachstumsdepressionen im Spross- oder Wurzelsystem oder sogar zum Absterben von Bäumen, manchmal auch zum Bruch an der Veredelungsstelle.
- Auxine gelten als Hauptregulator der Gefäßdifferenzierung. Sie können sich an defekten Phloembereichen zur Sprosseite hin gefährlich hoch „aufstauen“, während die Unterlagenseite einen ausgesprochenen Mangel aufweist.
- Zahlreiche transportable microRNA's leisten entscheidende Beiträge zur Kallus- und Gefäßneubildung, wie auch beim Abbau von „Zellschrott“, der bei der Veredelung zwangsläufig entsteht. Diese microRNA's stellen ein genetisches Roll- und Aufräumkommando dar, das an der Veredelungsstelle eine Fülle wichtiger Enzyme „ausschüttet“. Ihr Langstreckentransfer dorthin verläuft über das Phloem. Wird er durch „Unterbrechungen“ behindert, setzt dort unweigerlich eine Degeneration des Gewebes ein.

Auch bei der neuen Geneva-Unterlage G.213, die derzeit vorwiegend über in-Vitro-Kultur vermehrt wird, treten an einzelnen Bäumen solche Probleme in Kombination mit sichtbarer Wulstbildung an der Veredelungsstelle auf. Dabei handelt es sich laut Züchter nicht unbedingt um eine klassische Inkompatibilität, sondern eher um ein hormonbedingtes Syndrom, das in der Veredelungsstelle bestimmter Bäume die Bildung von überschüssigem Kallusgewebe initiiert. Diese Gewebeanomalien beeinträchtigen dann die ordnungsgemäße Gefäßaktivität

an der Veredelungsstelle. Da mikrovermehrte Pflanzen manchmal eine erhöhte Juvenilität aufweisen, etwa in Form von Luftwurzeln oder Wurzelschossern, ist nicht ganz auszuschließen, dass die Affinitätsprobleme mit dieser speziellen Anzuchtmethode in Verbindung stehen. Das Ganze kann bereits in der Baumschule zu Anwuchsproblemen führen (G. GAZIO 2024; persönliche Mitteilung). Selbst 2-3 Jahre nach der Pflanzung können Bäume, unter Ausbildung der in der Abbildung dargestellten Symptome absterben. Betroffen sind bisher Einzelbäume, unter anderem mit den Sorten 'WA 38'/Cosmic Crisp® und 'Inored'/Story®. Bei 'Gala', 'Golden Delicious' und 'Red Delicious' wurden (bislang) noch keine Ausfälle beobachtet. Bei Bäumen, die per Winterhandveredelung oder durch Chip-budding vermehrt wurden, sollen sich die Baumausfälle angeblich in Grenzen halten (weniger als 2%). Offensichtlich kommt es dabei auch auf die Qualität der Winterhandveredelung an. Je gleichmäßiger die jeweils zueinander gehörenden Gewebepartien von Unterlage und Sorte aneinander angepasst werden und je enger und gleichmäßiger die Veredelungsstellen aneinander liegen (siehe Abbildung), desto geringer fällt die Bildung von chaotisch wucherndem Kallusgewebe aus und umso kompatibler wird die Verbindung von Unterlage und Sorte.

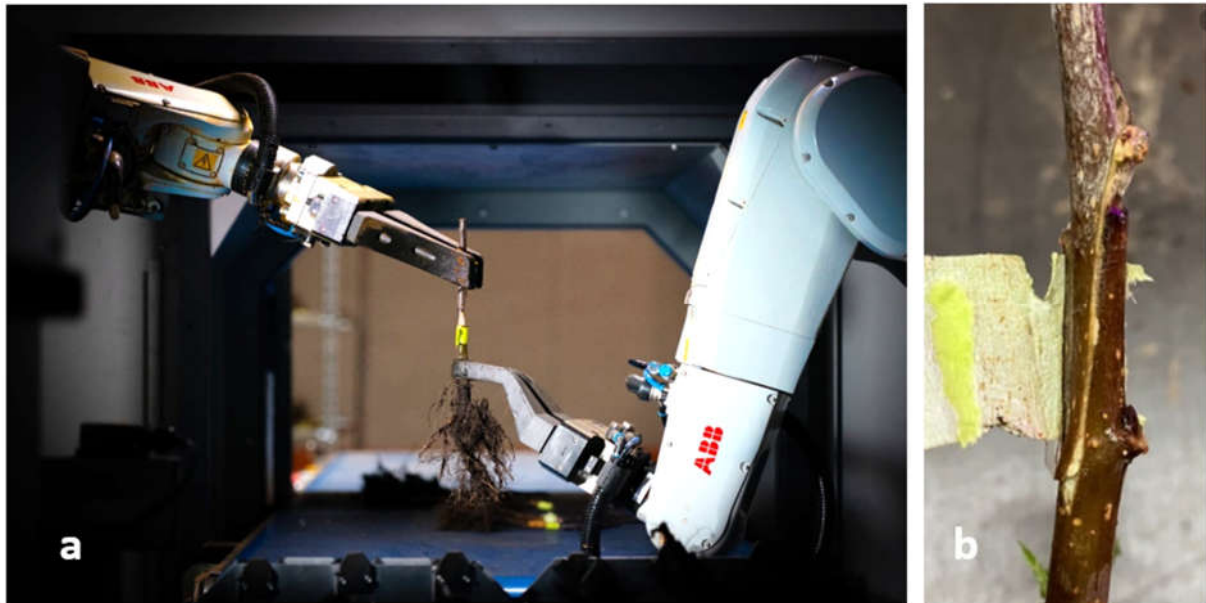


*Abbildung 175: Ideale Pfropfverbindung, vor allem für Sorten/Unterlagen-Kombinationen mit Kompatibilitätsproblemen wie G.213 mit Sorten wie 'WA 38'/Cosmic Crisp® und 'Inored'/Story®. Nach der Veredelung wachsen die zueinander gehörigen Gewebepartien von Sorte und Unterlage synchron weiter. Bildquelle: Genaro Fazio, Cornell University Geneva)*

Eine höchstmögliche Präzision, wie sie im konkreten Fall erwünscht wäre, könnte beispielsweise von einem **Veredelungsroboter** gewährleistet werden, der in der Lage ist, exakte und passgenaue Geißfußveredelungen anzufertigen. Zu dieser innovativen Technik liegen allerdings noch keine ausreichenden Praxiserfahrungen vor. Welche positiven und negativen Begleiterscheinungen die neue Veredelungsmethode nach sich zieht und wie sie sich auf die Baumpreise und die Baumqualitäten auswirkt, bleibt abzuwarten.

Derzeit stellt sich die Kostenfrage noch recht übersichtlich dar. Mit dem Veredelungsroboter, besser gesagt mit dem in der Abbildung aufgeführten Prototypen, kalkuliert man circa 70 Eurocent pro Veredelung. Für eine normale Winterhandveredelung veranschlagt man in Europa im Augenblick nur 15 bis 28 Eurocent, je nachdem in welchem Land sie angefertigt wird.

Für das Verwachsen und Anwachsen der Winterhandveredelungen ist eine **gute Kallusbildung unumgänglich**. Dafür sind die Rahmenbedingungen um den Veredelungsprozess und das Auspflanzen von besonderer Bedeutung. Die fertigen Veredelungen sollten sofort (bis zur



*Abbildung 176 a und b: Die „Geißfuß-KI“. Mit Hilfe der in modernen Veredelungsrobotern eingebauten Kameras werden Unterlagen und Edelreiser exakt vermessen, bevor mit hoher Geschwindigkeit aus beiden Teilen absolut deckungsgleiche 3-eckige Holzausschnitte herausgeschnitten werden, die ein enges Aufeinanderliegen zueinander passender, großer Gewebeoberflächen ermöglichen und somit eine erfolgreiche Verbindung und hohe Anwachsquote sicherstellen (Bilder: Henk Nooteboom; Fruit Tree Consultancy)*

Auspflanzung) ins Kühllager gestellt werden. Dort beginnt bereits die Kallusbildung. Die Länge der Kühllagerdauer entscheidet daher mit über den Anwacherfolg. Sie sollte mindestens 4 Wochen betragen. Nach dem Aufpflanzen **fördern warme und trockene Bedingungen** das Zusammenwachsen, während kühle und regnerische Bedingungen den Anwacherfolg deutlich mindern.

Die höchsten Anwachsquoten wären aus jetziger Betrachtung dann zu erwarten, wenn mit dem Veredelungsroboter hergestellte Winterhandveredelungen mindestens 4 Wochen in einem Kühllager zwischengelagert werden würden und anschließend in einer warmen trockenen Lage in einen gut vorbereiteten, frischen und humosen Boden gepflanzt würden.

**Bei Birnen** gilt es im Übrigen zu bedenken, dass die Verbindung **mit der artfremden Quitte** häufig zu Gewebeschäden führen kann, die dann Inkompatibilität zur Folge haben können. Die Schäden werden durch die Freisetzung von Toxinen ausgelöst, in dem Fall von Prunasin, einem cyanogenen Glykosid der Quitten.

## Ergebnisse der bisherigen Unterlagenforschung und -züchtung

Derzeit beschäftigen sich, weltweit betrachtet, im Wesentlichen noch vier Einrichtungen intensiv mit der Züchtung neuer Apfelunterlagen: In den USA die **Cornell-Universität** in Geneva, in Großbritannien das **NIAB in East Malling**, in Neuseeland das **PFR** (= Plant & Food Research-Institut) und in Russland das **College of Horticulture in Michurinsk**.

Nach wie vor bestimmen aber immer noch die Nachkommen vergangener Züchtungs- und Selektionsarbeiten den Unterlagenmarkt. Die wichtigsten werden daher auch in den folgenden Abschnitten in Kurzform beschrieben.

Ende des 19. Jahrhunderts wurden in Westeuropa bei Äpfeln im Wesentlichen drei verschiedene Unterlagen verwendet: Die Sämlings- Unterlage für Hoch- und Halbstämme, die in Deutschland am weitesten verbreitet waren, die 'Doucin'-Unterlage für Halb- und Viertelstämme, die vielfach im Erwerbsobstanbau verwendet wurde, und die Paradies- oder Johannis-Apfelunterlage aus Frankreich; in Deutschland jedoch im Erwerbsobstanbau noch unbekannt, für die Kordons, Spaliere und kleineren Palmetten.

M.1	=	'Breitblättriger englischer Doucin'
M.2	=	'Echter Doucin', English Paradise
M.4	=	'Holsteiner/Gelber Doucin'
M.7	=	Ohne Namen
M.8	=	'Roter Metzger Paradies'
M.9	=	'Gelber Metzger Paradies'
M.11	=	'Grüner Doucin'
M.20	=	'Spurious M9', erst in den 80er Jahren wiederentdeckt

*Abbildung 177: Die wichtigsten Unterlagen aus HATTONS East Malling Reihe ab 1912. Die damalige Namensgebung belegt teilweise deren Herkunft*

Die ersten wissenschaftlichen Arbeiten, die zu den Apfelunterlagen stattfanden, bestanden daher keinesfalls aus spektakulären Kreuzungen, sondern vielmehr in der Sondierung aller auf dem europäischen Markt befindlichen Apfelunterlagen. Um einen Überblick über deren Wachstums-, Ertrags- und Resistenzverhalten zu erhalten, begann man Anfang des 20. Jahrhunderts an verschiedenen neu gegründeten Obstbauinstituten Europas mit der Sammlung, Registrierung und Beschreibung dieser Unterlagen (BAAB, G. 1998).

Diese Form der Unterlagenforschung wurde von SPÄTH 1910 in Berlin, von SCHINDLER ab 1911 in Proskau und Pillnitz (Pillnitzer-Reihe abgekürzt PIR, später PI) sowie von SPRENGER ab 1911 in Wageningen und Wilhelminadorp durchgeführt. Diese Sammlungen gingen leider durch die Kriegswirren verloren.

Dass trotzdem viele dieser wertvollen Klone/Typen für den Apfelanbau erhalten blieben und für die spätere Züchtungsarbeit weiter genutzt werden konnten, bleibt das Verdienst von Sir Ronald HATTON (1886-1965), dem Direktor der Versuchsstation „East Malling“ in der Grafschaft Kent in England. Denn im Gegensatz zu den Unterlagenansammlungen seiner Kollegen überdauerte HATTONS Sammlung schadlos den 2. Weltkrieg. Auch er sammelte wie seine Kollegen alle verfügbaren europäischen Unterlagen, unter anderem die in Abbildung 180 Aufgeführten. Zwischen 1920 und 1930 las er zunächst 16, später 24 Typen aus dieser Sammlung heraus und bezeichnete sie als **East-Malling-Reihe**, abgekürzt **EM**, später **M**.



**Abbildung 178: M.4 -Anlage nach dem Schnitt im Betrieb Jakob Linden, Meckenheim, 1967**

HATTON ordnete die Unterlagen nach Wuchsstärke und Wuchsform, beschrieb deren Austriebsverhalten sowie deren Einfluss auf Ertrags- und Fruchtigenschaften und auf die Bildung von Luftwurzeln und Wurzelschössern.

Neben der Sammlung und Auslese von HATTON, die als East Malling-Reihe be-

kannt wurde, setzte man in Großbritannien schon sehr früh auf eigene Züchtungsarbeit. TYDEMAN züchtete in East Malling die Unterlagen M.27 (1929) und M.26 (Markteinführung 1958).

In den 1950er bis 1970er Jahren wurden die Malling-Unterlagen hitzebehandelt, um bekannte Viren zu eliminieren. Sie wurden nach ihrer Herkunft East Malling-Long Ashton benannt. Der erste virusfreie M.9-Klon erhielt daher den Namen M.9 EMLA. Im Rahmen eines Sonderzüchtungsprogramms des John Innes Institutes in Merton und East Malling wurden blutlausresistente und gleichzeitig standfeste Unterlagen entwickelt. Hierzu wurden die Unterlagen aus der East-Malling Reihe mit der blutlausresistenten Sorte 'Northern Spy' gekreuzt. Von dieser MM-Reihe (MM.101–115), die ab 1953 den Baumschulen übergeben wurde, werden heute nur noch die mittelstark wachsenden Unterlagen MM.116, MM.106 und MM.111 vermehrt. Wegen ihrer Standfestigkeit und Schüttelfähigkeit geschieht das überwiegend für den Mostobstanbau.

Die neuen, aus East Malling stammenden Unterlagenklone werden mit dem Kürzel AR (=Apple Rootstock) versehen. Die neue Apfelunterlage M.200 (ehemals AR295-6) wurde am Institut für Horticultural Research in East Malling, dem heutigen NIAB EMR, gezüchtet. Weitere neue East Malling-Nummern (EM 01 bis EM 05) befinden sich derzeit in Prüfung.

Auch in anderen Ländern arbeitete man intensiv an der Züchtung neuer Apfelunterlagen. Hierzu nur einige Beispiele:

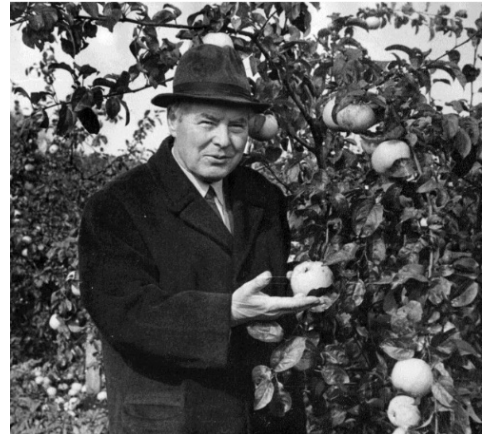
SCHINDLER begann 1930 in Pillnitz 'Paradies'- und 'Doucin'-Unterlagen zu kreuzen, aus denen FISCHER später Pi-80 ausselektierte. Pi-80, auch bekannt als Supporter<sup>®</sup>4 (M.9 x M.4) zeigte eine gute Kältetoleranz und eine vergleichbare Leistungsfähigkeit wie M.26. In der ehemaligen DDR setzte FISCHER am Institut für Züchtungsforschung das Pillnitzer Züchtungsprogramm mit den Supporter-Unterlagen fort. Sie zeichnen sich durch eine hohe Kragefäuletoleranz aus.

In jüngster Zeit arbeitete man in Deutschland auch an der Züchtung und Testung Apfeltrieb-suchresistenter Unterlagen. H SCHMID selektierte bereits vor rund 60 Jahren in Gießen und

Ahrensburg aussichtsreiche Zuchtklone aus Kreuzungen mit der triebsuchtresistenten Wildart *Malus sieboldii*. Ihr ursprüngliches Ziel war es, eine preisgünstige Vermehrungstechnik für Unterlagen zu entwickeln. Anstatt Unterlagen über teure Mutterbeete wollte sie die Apomixis (d.h. Samenbildung ohne vorherige Kombination zweier Eltern, also ungeschlechtlich) nutzen, um muttergleiche Nachkommen über einfache Aussaaten zu gewinnen. Ihre Klone aus der ersten Tochtergeneration (D 2212, 4608, 4556) erwiesen sich zwar gegenüber der Apfeltriebssucht (=Apple Proliferation Phytoplasma), als hoch Resistent waren aber viel zu starkwachsend und ertragsschwach. An der BBA in Dossenheim (heute JKI) verfolgte man mit D 2212, einer Kreuzung aus 'Laxton's Superb' mit *Malus sieboldii*, einen besonders vielversprechender Zuchtklon weiter. Die Unterlage wurde von Möller an der LVWO in Weinsberg und Petruschke an der LZT Augustenberg auf ihre Anbaueignung und ihre Resistenzeigenschaften geprüft und später zum Sortenschutz angemeldet. D 2212 ist zwar hochgradig resistent gegen Apfeltriebssucht, wächst aber ähnlich stark wie M.7. Sie kann aber als Pendant zu 'Bittenfelder' Sämling, M.25 oder MM.106 in Triebssucht-Befallsgebieten, beispielsweise für Streu- und Mostobstanlagen genutzt werden oder für Bäume, die in Hausgärten gepflanzt werden sollen.

Die Resistenzeigenschaften dieser *Malus sieboldii*-Abkömmlinge nutzte SEEMÜLLER in Dossenheim und später AgroScience in Neustadt/Weinstr., sowie das FEM in San Michele für die Fortführung von H. SCHMIDS Züchtungsarbeit. In der Hauptsache kombinierte man dabei M.9 wie auch Supporter® 1 mit den aussichtsreichsten, resistenten Klonen der F1-Generation. Auslesen der daraus entstandenen F2-Generation wurden in den vergangenen Jahren vom Arbeitskreis obstbauliche Leistungsprüfung auf mehreren Standorten auf ihr Wuchs- und Ertragsverhalten geprüft, und zwar mit der Sorte 'Gala Schnitzer'/Schniga®. Das Ergebnis fiel leider ernüchternd aus. Die Unterlagen (B-Serie, LO 33, AA 117, DD 45, KK 39) wachsen nach wie vor viel zu stark und sind daher für intensive Anbauformen ungeeignet. Allerdings stellten sie hinsichtlich ihres Ertragsverhaltens und der Fruchtqualität eine deutliche Verbesserung gegenüber der 1. Generation dar. Es besteht also durchaus die Möglichkeit, dass sich innerhalb der aktuellen F3-Generation, die aus Rückkreuzungen von Klonen der F2-Generation mit generativen Unterlagen entstand, brauchbare triebssuchtresistente Unterlagen für den Erwerbsanbau befinden (RUEß F., DIEREND W., GUERRA W. 2015). In Anbetracht der wirtschaftlichen Bedeutung dieser Phytoplasmaose und dem Fehlen direkter Bekämpfungsmaßnahmen wäre es wichtig, dass die züchterischen Bemühungen weitergeführt werden würden.

Bereits vor dem zweiten Weltkrieg selektierte und züchtete der berühmte russische Botaniker und Züchter Ivan Vladimirovich **MITCHURIN** mehr als 300 Obstsorten bei Apfel, Birne, Süß- und Sauerkirsche, Pflaume, Aprikose, Pfirsich, Mandel, Eberesche, Beerenobst und Weinrebe für die nördlichen Gebiete Russlands. Der Obstanbau wurde dadurch in klimatisch rauen Gebieten mit kalten Wintern möglich. Zur Ehrung seiner Verdienste wurde die Stadt Koslov, in der er wirkte, in Mitschurinsk umbenannt. Dort entstanden in Folge zwei große Institute, die zusammen mit der Hochschule ein Zentrum der gartenbauwissenschaftlichen Forschung in Russland bildeten. Prof. Dr. Valentin **BUDAKOVSKY** nahm in den 1930er Jahren dort seine Arbeit auf. Er war ein außerordentlich guter Botaniker, ein leidenschaftlicher Züchter und vor allem ein richtiger Obstbaupionier. Sein Ziel war es, mit Hilfe Schwachwuchs-induzierender, frostharter und produktiver Unterlagen den russischen Apfelanbau zu intensivieren, der damals noch in der Hauptsache aus sehr extensiven Anlagen bestand - meistens mit der Sorte 'Antonowka' auf eigener Wurzel. Letztendlich erreichte er dieses Ziel mit seinem Team, trotz der Kriegswirren und zahlreicher Rückschläge.



*Abbildung 179 : Valentin Ivanovich Budakovsky im Herbst 1965.*



*Abbildung 180: Züchtungsarbeit am heutigen College of Horticulture in Michurinsk.*

Vor der eigentlichen Züchtungsarbeit sammelte Budakovsky in allen Gebieten der ehemaligen UDSSR aus unzähligen Hausgärten frostharte, kleinwüchsige Lokalsorten. Dafür unternahm er zahlreiche Reisen, vor allem nach Armenien, Georgien, Aserbaidschan, Nagorny-Karabach, Kirgistan und Dagestan. Er verglich anschließend alle gesammelten Klone untereinander, aber auch mit HATTONS M-Unterlagen, die dem Allrussischen Forschungsinstitut für Genetik und Züchtung in Mitschurinsk von den Kollegen aus East Malling zur Verfügung gestellt worden waren. Dabei kam er zu der Erkenntnis, dass offensichtlich alle schwachwachsenden Apfelbäume einschließlich des 'Roten Metzger Paradies' (= M.8) und des 'Gelben Metzger Paradies' (= M.9) ihren eigentlichen Ursprung in Vorderasien bzw. Transkaukasien haben. Dies veröffentlichte er unter dem Titel: „Herkunft der schwachwachsenden Apfel-

unterlagen“ 1957 im Botanical Journal. In den Ursprungsregionen wurden diese zwergwüchsigen Apfelbäume im Übrigen immer schon als Schwachwuchsinduzierende Unterlagen oder Zwischenveredelungen verwendet. Einige davon gelangten offenbar genau zu diesem Zweck, neben zahlreichen Edelsorten, über die Seidenstraße in das Gebiet des fruchtbaren Halbmondes und von dort aus während des Neolithikums bzw. zur Römerzeit nach Europa.

Budakovsky nutzte diese Sammlung, zusammen mit einigen M-Unterlagen, als Ausgangsmaterial für Neuzüchtungen. Von den Unterlagen aus East Malling fand dabei besonders der 'Rote Metzger Paradiesapfel' (= M.8) Verwendung.

Aus den Hybriden selektierte er die sogenannte **B-Serie (Budakovsky-Serie)**, von denen später verschiedene Klone sortenrechtlich geschützt und freigegeben wurden. Dazu gehören beispielsweise die Unterlagen B.118, B.491, B.9 und 62-396/B.10<sup>®</sup>, die sich durch außerordentlich hohe Frosthärte und gute Vermehrungseigenschaften, teilweise auch durch eine erhöhte Calciumaufnahme auszeichnen. Sie sind mittlerweile weltweit verfügbar. Neben den angeführten positiven Eigenschaften müssen der Vollständigkeit halber auch deren Anfälligkeit für die Nachbakterkrankheit, für Blutlausbefall und teilweise für Obstbaumkrebs erwähnt werden.

Von den neuen Zuchtklonen stehen mangels ausreichender Anbauerfahrungen bisher nur wenige Informationen zur Verfügung. Lediglich folgende:

- B.76-3-6 (= M.27 x M.8) soll vom Wuchs mit M.9 vergleichbar sein. Die Unterlage soll frosthart sein, resistent gegen Schorf und Mehltau und kaum Wurzelschösser bilden.
- B.83-1-15 (B.64-143 x B.118) soll hinsichtlich ihrer Wuchsstärke bei bzw. etwas oberhalb von 62-396/B.10<sup>®</sup> einzustufen sein. Auch ihr wird eine hohe Frosthärte attestiert, sowie Resistenz gegen Schorf und Mehltau. B.83-1-15 soll ebenfalls kaum Wurzelschösser bilden.
- B.87-7-12. (B.118 x M.8) ist eine mittelstarkwachsende Unterlage, vergleichbar mit B.118. Der Wuchs von B.118 ist identisch mit dem von MM.106, d.h. die Unterlage wächst stärker als M.7 und ist daher allenfalls für Nachbaustandorte in Verbindung mit Multileadererziehung interessant. Sie soll sehr winterhart sein, Schorf- und Mehltaresistent und kaum Wurzelausträge produzieren.

Budakovsky's wertvolle Züchtungsarbeit wird heute am College of Horticulture in Michurinsk weitergeführt (LENZ, mündliche Mitteilung 2021). Die aktuellen Züchtungsziele konzentrieren sich auf gute Baumschulleistung (= hohe Bewurzelungsfähigkeit, Abrissleistung und Anwachsquoten), schwaches Wachstum, günstigen Einfluss auf Ertragsbeginn und -höhe, Winterfrosthärte und Resistenz gegenüber Schädlingen und Krankheiten einschließlich Feuerbrand (SOLOMAKHIN mündliche Mitteilung 2024).

**In Polen** wurde im Jahr 1954 an der Forschungsanstalt **Skierniewice** ein Unterlagenzüchtungsprogramm begonnen mit dem Ziel erhöhter Frosthärte, denn die Winterhärte der M- und MM-Unterlagen wurde für osteuropäische Verhältnisse allgemein als unzureichend erachtet. Zusätzlich wurde auf gute Vermehrungseigenschaften im Mutterbeet, auf Produktivität und Phytophthora-Resistenz Wert gelegt. Für die Kreuzungen wurden M-Unterlagen sowie die frostharte Apfelsorte 'Antonowka' herangezogen. Die polnischen Züchtungsnummern wurden **mit dem Buchstaben P** gekennzeichnet, der Abkürzung von Podswaska (= Unterlage). Die meisten Erfahrungen der ersten Züchtungsgeneration liegen derzeit mit P.22, P.16 und P.60 vor. Neuere Züchtungen wie P.66 und P.67 haben das Ziel, noch produktiver zu sein und setzen auf Krankheitsresistenzen.

An der **Cornell-Universität in Geneva**, New York starteten 1968 CUMMINS und ALDWINCKLE mit dem nordamerikanischen Unterlagenzüchtungsprogramm (in Zusammenarbeit mit dem

U.S. Department of Agriculture Research Service seit 1998). Ziel ist es, die Schwächen der Malling-Reihe durch Mehrfachresistenzen zu ergänzen, und zwar u.a. gegen Feuerbrand, Phytophthora und Blutlaus. Gleichzeitig sollten die Unterlagen frosthart, schwachwüchsig und für Nachbaustandorte geeignet sein. Als Kreuzungspartner wurden M.8, M.27, M.26, 'Ottawa 3', *Malus floribunda*, 'Beauty Crab', 'Dolgo Crab' und 'Manchurian Crab' herangezogen. Vor allem aber wurde der mehrfachresistente Zuchtklon 'Robusta 5' als Elternteil verwendet, eine Unterlage, die vom sibirischen Holzapfel abstammt, einer natürlichen Wildapfel- Arthybride. Die Züchtungsarbeiten in Geneva werden mittlerweile von FAZIO und ROBINSON fortgeführt. Aus Hunderttausenden von Sämlingen wurden zahlreiche Klone ausgelesen, und die aussichtsreichsten weltweit unter der Bezeichnung **CG (= Cornell-Geneva)** geprüft. Mittlerweile befindet sich eine ganze Reihe davon im Handel. Sie erhalten dann das Kürzel **G (für Geneva)**. Die Züchtungsarbeit in Geneva ist derzeit weltweit führend. Mittlerweile kamen auch neue Auslesekriterien hinzu, wie flache Verzweigung (offene Baumarchitektur), eine erhöhte Nährstoffaufnahme, die Induktion einheitlichen Knospenaufbruchs in wärmeren Regionen sowie Toleranz gegenüber Trockenheit.

In **Neuseeland** hat man am Institut für '**Plant & Food Research**' gemeinsam mit der **IFO** (Frankreich) die Züchtung neuer Apfelunterlagen aufgenommen. Züchtungsziel sind mehrfachresistente Apfelunterlagen, vor allem im Hinblick auf Feuerbrand, Blutlaus und Nachbau, durch Kreuzungen von 'Robusta 5' mit 'Aotea' von TUSTIN im Jahre 1986 und 1987. Die ersten Elite-Selektionen (PFR- Nummern) befinden sich mittlerweile im Teststadium, unter anderem auch in europäischen Versuchsstationen. Darunter befinden sich offenbar einzelne vielversprechende Klone.

An den modernen Forschungsinstituten werden neue Züchtungsprogramme mit molekularen Techniken etabliert, um die Gene zu identifizieren, die die Wechselwirkungen zwischen Unterlage und Edelreis steuern. Diese modernen Züchtungsprogramme kombinieren molekulare und traditionelle Techniken, um Unterlagen zu entwickeln, die schwachwüchsig, produktiv und ebenso tolerant gegenüber biotischen Erregern (Krankheiten, Nachbau) wie abiotischen Ursachen (Trockenheit, Hitze) sind.

Im Gegensatz zur Züchtung von Apfelunterlagen wird die Züchtung neuer Birnenunterlagen leider eher stiefmütterlich betrieben.

## 8.7 Augen auf bei der Unterlagenwahl

Wegen der sich verschärfenden Nachbauproblematik nimmt sowohl das Angebot wie auch die Nachfrage nach stärker wachsenden Unterlagen (semi-dwarfing) kontinuierlich zu. Die Erfahrungen mit ihnen sind hingegen noch dürftig. Trotz des Hypes, der derzeit von den neuen, stärker als M.9 wachsenden Unterlagen ausgeht, und der vielen Vorzüge, die aus den Beschreibungen hervorgehen, sollte man das Ziel eines ausgeglichenen Wachstums- und Ertragsverhaltens nie aus dem Auge verlieren.

Bei den im folgenden Abschnitt aufgeführten neuen Unterlagen wissen wir beispielsweise noch lange nicht alles über deren endgültige Wuchsstärke. Die Angaben von Züchtern und Versuchsanstellern divergieren bei einigen der neuen Unterlagen um 10-20 % nach oben und unten, je nachdem, ob es sich um Nachbau oder frischen Boden handelt (wobei auch beim Nachbau noch Abstufungen zu machen sind), welche Sorten aufveredelt wurden, welche