

6 Wie funktioniert Wachstum?

6.1 Was für das Wachstum erforderlich ist

Nachdem wir die einzelnen Komponenten, die am Wachstumsprozess beteiligt sind, ausführlich kennengelernt haben, wollen wir uns nun anschauen, wie Wachstum überhaupt funktioniert. Häufig wird der Prozess der **Photosynthese** mit Pflanzenwachstum gleichgesetzt. Das ist aus pflanzenphysiologischer Sicht nur bedingt richtig. Die Blätter stellen zwar die wichtigsten Kohlenhydratquellen der Pflanze dar, aber Pflanzenwachstum verläuft nicht linear zum bloßen Angebot an Wachstumskomponenten. Das System Wachstum verhält sich weitaus intelligenter: Die Nachfrage steuert das Angebot (KÖRNER C., 2012). Um das besser verstehen zu können, betrachten wir uns den Wachstumsprozess etwas genauer.

Die etwas überpointierte Wahrnehmung der Photosynthese resultiert unter anderem aus den Erfahrungen, die jeder Obstbauer schon einmal mit Lichtmangel in Obstanlagen gemacht hat. **Lichtmangel** ist in dicht gepflanzten Raumkulturen keine Seltenheit, vor allem im Herbst unter Hagelnetzen und bei falschem Pflanzdesign (Ost-West-Pflanzung und hohe Bäume). Das Resultat sind nachlassende Qualitätserträge, zuallererst Einbußen bei Fruchtgröße und Deckfarbe. Die eingeschränkte Bereitstellung von Wachstumskomponenten (Zucker) wirkt sich dann limitierend auf Wachstumsprozesse aus. Die Photosynthese ist aus dieser Perspektive betrachtet aber eher ein Wachstumslimitierer als ein Wachstumstreiber.

Wachstum selbst findet in allen pflanzlichen Geweben statt, in denen Zellteilungen und Zellstreckungen ablaufen. Das sind vor allem Trieb- und Wurzelspitzen, das Kambium in Spross und Wurzel, aber auch das teilungsfähige Gewebe in Früchten (vom Blütenboden ausgehend) und in den sich neu entwickelnden Blütenknospen. Zu diesen Kohlehydratverbrauchern (= Senken) werden die Assimilate befördert, und zwar nach dem bereits erwähnten Prinzip von Nachfrage und Angebot.

Der Langstreckentransport erfolgt im Siebteil, dem sogenannten Phloem. Unmittelbar vorher wird die bei der Photosynthese gebildete Glucose in die Transportzuckerform Saccharose (= Glukose + Fruktose) umgewandelt.

„Navigiert“ werden die Transportzucker von einem phytohormongesteuerten Verteilungsschlüssel. Dabei spielen die Auxine eine herausragende Rolle. Sie fungieren als Signalstoffe für Kohlenhydrate, teilweise aber auch für Nährelemente.

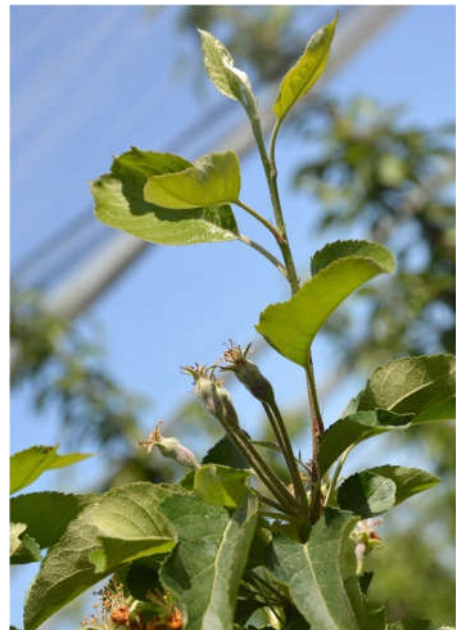


Abbildung 31 Zwei „Senken“ nebeneinander: wachsende Jungfrüchte und wachsende Triebspitzen

An den wachsenden Geweben werden die Transportkohlenhydrate vom Phloem „heruntergeladen“. Vom Xylem werden Wasser und Nährelemente entnommen.

Da die Gefäßzellen in den Fruchtstielen nach der Zellteilungsphase rasch verholzen, sind die jungen Apfel- und Birnenfrüchte ab Walnussgröße (BBC74) hinsichtlich ihrer Wasser- und Nährelementversorgung überwiegend auf das Phloem angewiesen, d.h. auf den von den Blättern ausgehenden Assimilatstrom.

Die **Senken** (= wachsende Gewebe) **sind** somit die eigentlichen „**Wachstumstreiber**“. In dem Maße in dem dort Wachstum stattfindet, werden Assimilate nachgefragt, und zwar mit Hilfe der Phytohormone, die als Signalgeber dienen (Abbildung).

Wir können durch Zusatzbewässerung und Düngung das teilungsfähige Gewebe beim **Wachstum unterstützen**. Mit Hilfe gezielter Schnitteingriffe (z.B. durch Klick-Schnitt) können wir Wachstum zu bestimmten Punkten leiten und auf diese Weise dort die Nachfrage nach und damit auch die Produktion von Kohlehydraten forcieren.

Solange die Photosynthese problemlos funktioniert, d.h. bei genügend Licht, CO₂, Wasser, Blättern (20-30 pro Frucht) und Chlorophyll (N, Mg, Mn, Fe), wird das Wachstum der Pflanze direkt durch die Nachfrage der teilungsfähigen Gewebe bestimmt.

Für das Wachstum der Meristeme sind wiederum ähnliche Begleitfaktoren maßgebend wie für die Photosynthese: Eine optimale Ausstattung mit Enzymen, Nährelementen, Wasser und ausreichend Temperatur.

Wenn wir den Bogen zur obstbaulichen Praxis spannen, können wir aus diesen Zusammenhängen wichtige Voraussetzungen für hohe Qualitätserträge ableiten: Eine optimale Versorgung der Kambial-, Knospen- und Fruchtmeristeme mit Wasser, Nährelementen und Phytohormonen setzt kurze und leistungsfähige Leitungsbahnen voraus.



Abbildung 32 Orte mit teilungsfähigem Gewebe, die als Senken für Kohlenhydrate, Wasser und Nährstoffe dienen



Abbildung 33 Starkes, kurzes einjähriges Holz mit vitalem Kambium und starken Leitungsbahnen -> leistungsfähige Knospenmeristeme, optimale Fruchtqualität ('Nicoter'/ Kanzi®, 'Wurtwinning'/Bloss®)

Das bedeutet junges, vitales, stammnahes Holz im Kontext mit moderaten Temperaturen und ausreichenden Niederschlägen. Dünnes, hängendes Holz hingegen kann die Versorgung von Knospen und Früchten nur bedingt gewährleisten.

Wachsendes Gewebe verhält sich bei defizitärer Ausstattung viel sensibler als der Photosyntheseapparat:

- Schon **bei geringer Trockenheitsbelastung oder Hitze** kommen die Zellteilungs- und Zellstreckungsprozesse ins Stocken. Das ist auf den reduzierten Turgordruck zurückzuführen, der sich wegen der hohen Verdunstung einstellt. Darauf reagiert die Zellneubildung äußerst sensibel. Die Blätter hingegen assimilieren so lange wie irgend möglich weiter, da es sonst leicht zu Phototoxizität (Lichtschäden) kommt. Das Beste für die „biochemische Maschinerie“ ist unter solchen Umständen die Zuckerproduktion. Alle umweltinduzierten Beschränkungen und jeglicher weiterer Stress beeinträchtigen daher zuerst die Gewebesynthese und dann erst die Photosynthese.
- **Zunehmende Trockenheit, Hitze, Kälte und Nährelementmangel** hemmt das Gewebewachstum nachhaltig, was sich unmittelbar auf die Nachfrage nach Assimilaten auswirkt. Infolgedessen kommt es zum „Rückstau“ an Kohlenhydraten. Sie reichern sich dann in den Speichergeweben als Reservekohlehydrate an, z.B. als Stärke im Holzgewebe und in den Chloroplasten oder als Stärke oder Sorbitol in Früchten. In reifenden Früchten verzögert und verlangsamt sich daher der Stärkeabbau. Aus genau diesem Grund ist auf diesen sonst so zuverlässigen Reifeindikator in Hitzeperioden kein Verlass mehr.

In der Praxis sind bei zunehmendem Hitze- und Trockenstress das Trieb-, Wurzel-, Kambial- und Fruchtwachstum sowie die Fruchtausfärbung betroffen. Auch wenn sich moderater Stress sogar fördernd auf die Reproduktion auswirken kann - irgendwann werden auch die Blütenknospenmeristeme davon tangiert, so dass mit einer geringeren Zahl gut ausgebildeter Blütenknospen für das kommende Jahr zu rechnen ist.

Stockt die Assimilatabnahme über längere Zeit, wird die Photosyntheseleistung durch Inaktivierung bestimmter Enzyme zurückgefahren („down regulation“), um eine Selbstzerstörung des Photosyntheseapparates zu verhindern.

Eine weitere Möglichkeit der „Entgiftung“ kennen wir von der Sorte ‘Honeycrisp’ und deren Abkömmlingen. Werden die Zuckerverbindungen aus den Blättern nicht andauernd abtransportiert, kann das zu regelrechten **Glucosevergiftungen** führen. Das geschieht dann, wenn sich zu wenig oder keine Kohlenhydratabnehmer (= Früchte) in der direkten Umgebung befinden oder wenn der Assimilattransport gestört ist, was beispielsweise bei Phosphormangel der Fall ist. Um einer Entgiftung vorzubeugen, wird die Glucose in den Chloroplasten zu Stärke umgewandelt und raumsparend gelagert. Halten die „Exportbeschränkungen“ an, füllen sich die Stärkelager in den Chloroplasten immer mehr, bis sie nahezu „zum Bersten“ gefüllt sind. Um der nun drohenden Glucosevergiftung vorzubeugen, werden in den betroffenen Gewebeteilen vermehrt Anthocyane gebildet, die zur Entgiftung beitragen. Deswegen verfärben sich die betroffenen Blattareale und damit ganze Astpartien violettrot (siehe Abbildung).



Abbildung 34 a und b: Blätter der 'Honeycrisp'- Abkömmlinge 'Wurtwinning'/Bloss® und 'NY1' /SnapDragon® c: Blätter der Sorte Tentation® mit Assimilatüberschuss (=Violettverfärbung), ausgelöst durch Phosphormangel, der wiederum durch Magnesiummangel hervorgerufen wurde

Befinden sich hingegen ausreichend viele Kohlenhydratsenken (= Früchte) in der Umgebung der Blätter, verläuft der Abtransport in Form von Saccharose problemlos. An den Orten des Verbrauchs angekommen, findet dann die eigentliche Verstoffwechselung der Kohlenhydrate statt. Darunter versteht man deren ständigen Auf-, Um- und Abbau. Diese Prozesse werden vor allem von Enzymen in die Wege geleitet.

Wenn das Angebot an Assimilaten den Bedarf für das Wachstum übersteigt, können die Bäume in neue Blätter (= neue Quellen) oder/ und in Reserven investieren. Bei Bedarf bedienen sich die Bäume (Blätter, Früchte, Wurzeln usw.) aus diesen Reserven. Blätter fungieren dabei als regelrechte „Mineralstoffdepots“ aus denen bei Bedarf kurzfristig

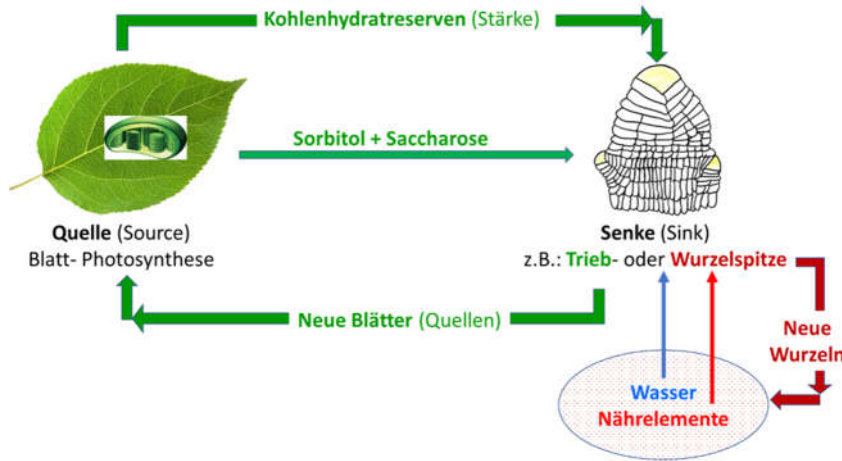


Abbildung 35 Wechselspiel zwischen Quellen (source) und Senken (sinks) der Assimilate (KRÖMER 2012)

Nährelemente in wachsende Gewebe verlagert werden.

Ein besseres Verständnis des Systems Wachstum erhält man, wenn man es mit einem Hausbau vergleicht. Die Blätter wären in dieser Analogie die Fabriken für Baumaterial. Kohlenhydrate wären den Steinen gleichzusetzen. Der Bauplan wäre gleichbedeutend mit den Erbinformationen

und der Rest wäre eine einzige Baustelle, in der die Maurer mit den Enzymen verglichen werden könnten und der Mörtel mit den Nährelementen, dem Wasser und den vorherrschenden Temperaturen. Die Phytohormone stellen in diesem Vergleich das Telefonnetz von der Baustelle zum Baustoffproduzenten dar. Der Hausbau käme dem Wachstumsprozess gleich.

Bei „Baustellenproblemen“ etwa bei Schlechtwetter, Unterbezahlung oder Hitze sinkt dort die Nachfrage nach Steinen, was zu Staus auf dem Transportweg, überfüllten Lagern und letztendlich auch zur „Kurzarbeit“ führt. Im umgekehrten Fall können fehlende Steine (Lichtmangel, Rote Spinne, Hagel...) oder Transportprobleme (Frostschäden am Holz) trotz bester Personalausstattung und Mörtel den Hausbau ins Stocken bringen.



Abbildung 36 Analogie zwischen Hausbau und Wachstum (KRÖMER 2012)

6.2 Wer steuert das Wachstum unserer Bäume?

Wir Obstbauern sind, was Pflanzenwachstum anbetrifft, auf der stetigen Suche nach einem Spiritus Rektor, wohl mit dem heimlichen Ziel diesen Steuermann (und damit unsere Bäume) beeinflussen oder gar manipulieren zu können.

Bei den in den vorangegangenen Kapiteln behandelten Stoffen wie Wasser, Nährelementen, Kohlenhydraten, Proteinen, Enzymen und Phytohormonen handelt es sich lediglich um Bausteine (Kohlenhydrate, Proteine, Nährelemente), Werkzeuge (Phytohormone) und Bauarbeiter (Enzyme).

Den eigentlichen Bauplan stellt das **genetische Programm** der Pflanze dar. Dieses Programm steuert an unendlich vielen Stellen das komplexe System des Pflanzenwachstums. Das genetische Programm arbeitet aber nicht autark. Es wird von den verschiedensten Umwelteinflüssen stimuliert beispielsweise von Kälte, Wärme, Tageslänge und Lichtintensität. Dabei greifen sehr viele Stoffwechselfvorgänge ineinander und es finden unendlich viele Ab- und Umbauprozesse statt.

Wie das im Einzelnen funktioniert, wollen wir exemplarisch an einem sehr simplen Beispiel studieren: Wir verfolgen dazu die Anthocyan synthese und deren Verlauf von der genetischen Information bis hin zum Zielmolekül. Dazu werfen wir einige Wochen vor der Ernte einen Blick in die Apfelschale.

Ausgangsstoff der Anthocyanbiosynthese ist das Phenylalanin. Phenylalanin ist (wie Tryptophan) eine Aminosäure.

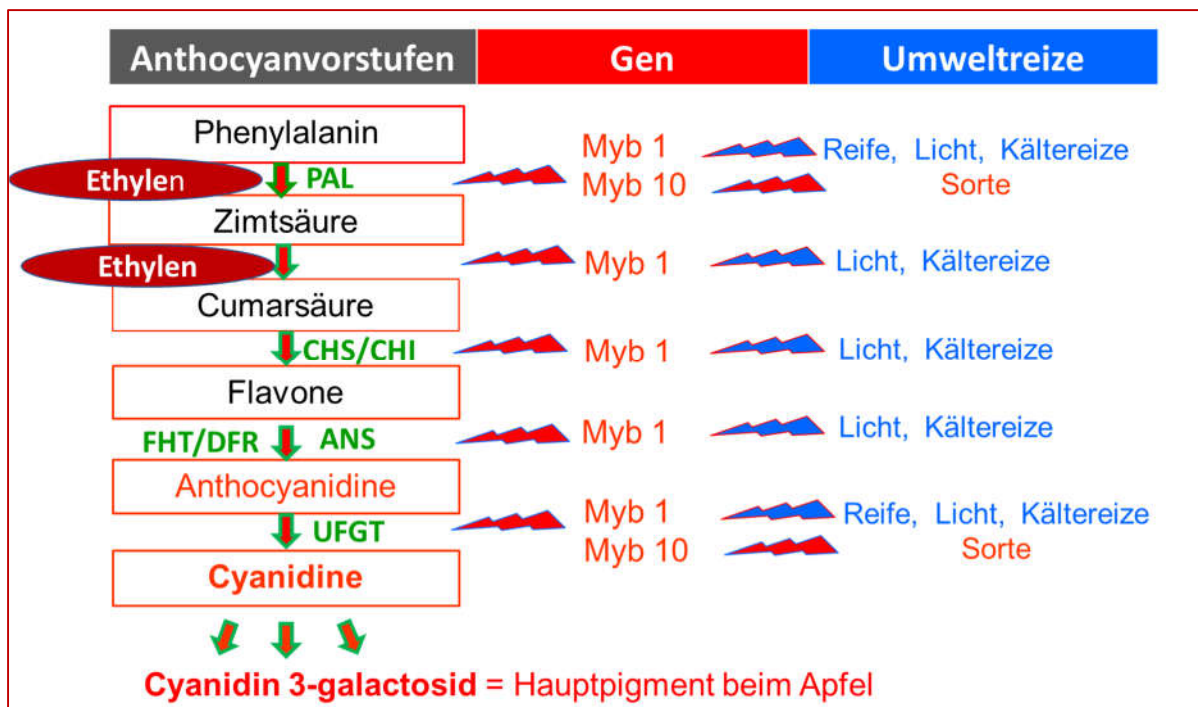


Abbildung 37 Genetische und enzymatische Steuerung der Anthocyan-synthese (BLANKE 2015)

Unterschreitet Wochen vor der Ernte die Nachttemperatur einmal die 10°C Marke, so wird das Gen Myb 1 aktiviert, was die Bildung des Enzyms PAL (Phenylalanin-Ammonium-Lyase) in die Wege leitet. Dieser Reaktionsschritt ist die Initialzündung der Anthocyan-synthese.

Bei weiter anhaltend kühlen Nacht-temperaturen werden über den Code von Gen Myb 1 und von dem des sortenspezifischen „Rot-Gens“ Myb 10 nach und nach weitere 6 Enzyme gebildet, welche die Anthocyan-Zwischenstufen katalysieren: Phenylalanin zu Zimtsäure zu Cumarsäure zu Flavonen zu Anthocyanidin bis hin zum Cyanidin, dem roten Farbstoff. Je nach Intensität der Deckfarbe werden die den Enzymen zugehörigen Proteine von den beteiligten Genen nur einmal gebildet oder mehrfach reproduziert.



Abbildung 38 Die Farbgebung verschiedener Sorten variiert wegen der unterschiedlichen Vervielfältigung des „Rot-Gens“ Myb 10

Wie ein „Kapellmeister“ dirigiert das Ethylen all diese geschilderten Vorgänge. Wochen vor der Reife beginnt die Ethylenbiosynthese in der Frucht. Auch daran sind wiederum Enzyme beteiligt, deren Bildung von Umwelteinflüssen (Temperatur) gefördert oder gehemmt werden. Letztendlich ist die Ethylenwirkung auch auf den kontinuierlichen Auxinabbau in

unseren Bäumen zurückzuführen. Ab einem gewissen Auxin/Ethylen-Level beginnt das Ethylen, Reifeprozesse im Apfel in die Wege zu leiten, zu steuern und zu koordinieren. Es stimuliert in diesem Zusammenhang auch die Bildung einiger Enzyme, die an der Anthocyan synthese beteiligt sind. Unter anderem die des Enzyms PAL. Gleichzeitig leitet es die Bildung des Enzyms Chlorophyllase ein, welches maßgeblich am Chlorophyllabbau beteiligt ist. Auf diese Weise werden bereits vorhandene Farbstoffe demaskiert (gelb) und neue gebildet (rot), so dass die Frucht rechtzeitig zur Reife ihre sortentypische Ausfärbung erhält.

Schon dieses kleine Beispiel lässt erahnen, dass es sich bei den Stoffwechselfvorgängen in unseren Pflanzen keineswegs nur um einfache, ausschließlich pflanzeninterne Prozesse handelt. Im Gegenteil: Wir haben es hier vielmehr mit einem ziemlich **komplizierten interaktiven Netzwerk** zu tun, in dem alles miteinander in Verbindung steht und voneinander abhängt. Die Früchte, die wir ernten, verkörpern eine perfekte 'Komposition' verschiedenster Stoffe, an deren Entstehung und Zusammenstellung alle möglichen Umweltfaktoren beteiligt sind, zu denen wir Obstbauern am Ende ja auch selbst zählen. Es handelt sich hier offensichtlich um ein evolutionäres Grundprinzip, mit deren Hilfe es unseren Bäumen gelingt, sich präzise und beständig an wechselnde Umweltbedingungen anzupassen (SAURE; 1985).

Wer die vorangegangenen Gedankengänge bis zu Ende führt, der steht schon fast an einer philosophischen Schwelle: Wir erahnen, bei aller Vorsicht und bei der Gewissheit der eigenen Unwissenheit der Dinge, wie man vielleicht das Gesamtsystem „Pflanze“ verstehen könnte: Eine Vielzahl an- oder abgeschalteter Gene, die sich in einem bestimmten Wärme- und Lichtmilieu exprimieren in einem Umfeld aus Kohlenhydraten, Wasser, Nährelementen, Phytohormonen und Enzymen, die untereinander Wechselwirkungen aufweisen. Das Ganze entstand in einem Zeitraum von etwa 640 Millionen Jahren Evolution seit dem „Landgang“ der Pflanzen.

Zwei Erkenntnisse machen sich breit:

Einmal der große Respekt vor dem „System“, das da vor uns steht, und das weitaus vielfältiger reagiert als so mancher Zeitgenosse vielleicht denken möchte, wenn er das Wort „Pflanze“ hört.

Und dann die Genugtuung, die Freude daran, dass man die Möglichkeit hat, als Obstbauer mit diesen Pflanzen arbeiten zu können, ja, durch ein tieferes Verständnis ihrer Funktionsweise eine gewisse „Erfüllung“ bei seiner Arbeit zu fühlen.

6.3 Die wichtigsten Bestandteile eines Baumes

Die wichtigsten Bestandteile eines Baumes sind **Wurzel und Sprossachse**.

Physiologisch sind die beiden Symmetriehälften des Baumes in vielfältigster Weise voneinander abhängig und über **Leitungssysteme** miteinander verbunden. Im folgenden Kapitel werden wir uns intensiv mit den Wechselwirkungen innerhalb der Sprossachse (= Krone) und zwischen Sprossachse und Wurzel beschäftigen.

6.3.1 Die Wurzel

Die ureigenste Aufgabe der Wurzel besteht in der:

- Verankerung der Bäume im Boden
- Aufnahme, Speicherung und Weiterleitung von Wasser und Nährelementen
- Speicherung von Kohlenhydraten vor allem in Form von Stärke
- Veratmung von Kohlenhydraten zur Energiegewinnung
- Synthetisierung wichtiger Verbindungen
 - ✓ Aminosäuren (Proteinvorstufen)
 - ✓ Phytohormonen, vor allem den Cytokininen und der Abscisinsäure

6.3.1.1 Aufbau der Wurzelspitze

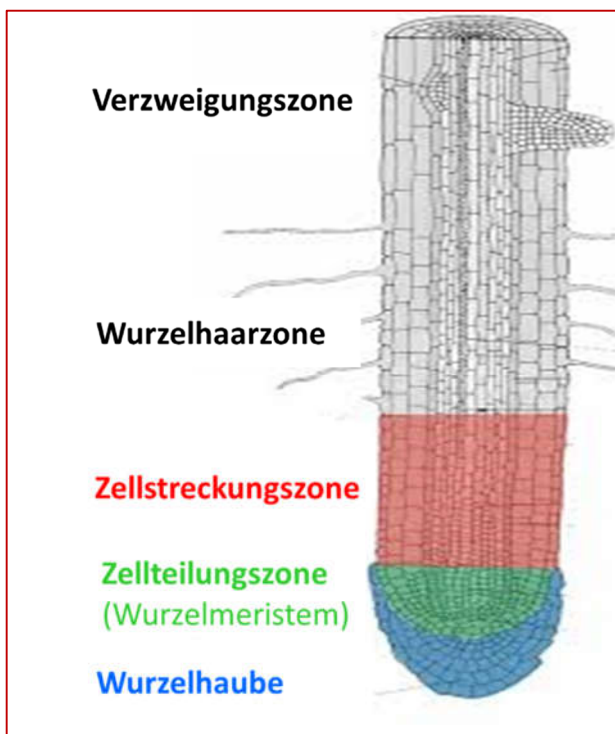


Abbildung 39 Aufbau der Wurzelspitze (TAIZ & ZEIGER, 2000)

Die weißen aktiven Wurzelspitzen, weisen in ihrer Längsrichtung vier Zonen auf:

1. An der Spitze befindet sich die Zellteilungszone, das Wurzelmeristem (Abbildung, grün), welches von der Wurzelhaube (blau) geschützt wird. Die Wurzelhaube sekretiert Mucopolysaccharide (Schleim), die den Wurzeln das Durchdringen des Bodens erleichtern.
2. Unmittelbar hinter dem Meristem befindet sich die knapp 1 cm lange Zellstreckungszone (rot), in der die neugebildeten Zellen zu raschem, fast ausschließlich entlang der Wurzelachse gerichtetem Streckungswachstum übergehen. Wurzelhaube, Meristem und die Streckungszone stellen die eigentliche Wurzelspitze dar.
3. Direkt dahinter schließt sich die nur wenige Zentimeter breite Wurzelhaarzone an, die auch als Ernährungszone bezeichnet wird. Bei den Wurzelhaaren handelt es sich um Zellausstülpungen der Epidermis, welche die aufnahmefähige Oberfläche enorm vergrößern. Die Wurzelhaare sind zwischen 0,5-2 cm lang und mit einer Lebensdauer von nur 2-10 Tagen recht kurzlebig. Sie dienen zur Wasser- und Nährelementaufnahme, zur

besseren Verankerung der Wurzel im Boden und sie bilden ein effektives Widerlager beim tieferen Eindringen der Wurzel in den Boden. Ein einjähriger Apfelbaum kann bis zu 17 Millionen Wurzelhaare mit einer Gesamtlänge von bis zu 3 km ausbilden.

In der Wurzelhaarzone etablieren sich bei Äpfeln und Birnen darüber hinaus in der Regel VA- Mykorrhizen. Bei diesem Typ von Endomykorrhiza wachsen symbiontische Pilze in die Wurzel hinein. In den Pflanzenzellen bildet der Pilz sogenannte Vesikel und Arbuskel (daher VA-Mykorrhiza). Diese Vesikel bleiben jedoch von einer Membran der Pflanzenzelle umgeben, so dass aus Pilz und Pflanze natürlich nicht „ein Organismus“ wird. Allerdings ist der Stoffaustausch an diesen Stellen denkbar einfach. Die Wurzel liefert dem Pilz lebensnotwendige Assimilate und erhält im Gegenzug schwer aufnehmbare Nährelemente wie z.B. Phosphor und Zink, die sonst häufig für die Wurzel nicht verfügbar wären, die jedoch von den vielfach dünneren und längeren Pilz-Hyphen aus den Mineralien des Bodens freigesetzt und zur Wurzel geliefert werden.

Die Wurzel gibt weiterhin z.B. Zuckerverbindungen in den Boden ab, die dazu beitragen, dass sich praktisch eine Lebensgemeinschaft zahlreicher Boden-Organismen und der Wurzel herausbildet. Das kann viele positive Wirkungen hervorrufen, von denen sicher noch viele nicht bekannt sind, die aber dafür sprechen, dass wir als praktische Obstbauern einem aktiven Bodenleben größte Bedeutung beimessen sollten. Es reicht daher sicher nicht, Mineraldünger auszubringen und vor diesen Zusammenhängen die Augen verschließen zu wollen!

Es zeigen sich auch negative Wirkungen: Im Bereich der Wurzelhaarzone kann die Pflanze durch Abgabe von Wurzelausscheidungen Nährstoffe mobilisieren und den pH-Wert beeinflussen. Diese sogenannten Wurzelexudate, die sich über Jahre hinweg im Boden akkumulieren, werden mitverantwortlich gemacht für das Zustandekommen der sogenannten Nachbaukrankheit, die sich während der Lebensdauer einer Anlage etabliert und das Wachstum der darauffolgenden Anlage (z.B. Apfel auf Apfel) nachhaltig beeinträchtigt.

4. Direkt hinter der Wurzelhaarzone beginnt die Verzweigungszone, in der neue Seitenwurzeln entstehen. Die äußeren Zellen der Verzweigungszone verholzen.

6.3.1.2 Die räumliche Verteilung der Wurzeln von Apfel und Birne

Das Wurzelsystem von Apfel und Birne entwickelt sich in erster Linie gemäß der genetischen Disposition von Sorte und Unterlage. Starkwachsende Sorten und Unterlagen üben dabei jeweils einen entsprechend stärkeren Einfluss auf das Wurzelwachstum aus.



Abbildung 40 M.9 - ein klassischer Flachwurzler

Die Wurzel von Apfelbäumen, genauer gesagt die der gebräuchlichsten Apfelunterlagen, sind Flachwurzler. Ein Großteil ihres Wurzelkörpers befindet sich in den ersten 30 cm, der Oberkrume des Bodens. Das gilt ganz besonders für die Unterlage M9.

Birnenwurzeln, ob aus Birnensämlingen oder Quitten selektiert, bilden ein deutlich stärkeres und vertikaleres Wurzelsystem aus, regelrechte Pfahlwurzeln. Selbst das Wurzelsystem der schwächsten Quittenunterlagen, der Quitte C ist stärker als das von M9, der meistverwendeten Apfelunterlage. Außerdem ist der Wurzelapparat der Birnenunterlagen vitaler und längerlebiger als der von Äpfeln. Deswegen werden Birnenanlagen auch deutlich älter als Apfelanlagen.

Die vertikale Verteilung der Wurzeln steht in einem sehr engen Verhältnis mit dem Sauerstoffgehalt des Bodens, mit der Bodenbearbeitung (Mulch + chemisch=flach; mechanisch=tief) und mit der Bodenart. Während sich auf leichteren Böden meist flache Systeme entwickeln, orientieren sich die Wurzeln auf schweren Böden mehr in tiefere Bodenschichten.

Die horizontale Ausladung der Wurzeln ist in der Regel deutlich größer als die der Baumkrone, je nach Baumalter um circa 50 bis 100 Prozent. Dieser Zusammenhang sollte besonders beim Wurzelschnitt bedacht werden, wenn es um die Entscheidung geht, in welchem Abstand vom Stamm das Schnittmesser eingesetzt werden soll. In der Abbildung auf der nächsten Seite kann man erkennen, dass die horizontale Verteilung der Wurzelmasse nicht gleichmäßig verläuft. Die größte Konzentration an Wurzeln befindet sich im Bereich direkt unterhalb des Stammes.

Während der Wurzelkörper den Bodenraum schneller und umfassender ausfüllt als die Baumkrone, verhält es sich mit der Massenentwicklung umgekehrt: Der prozentuale Gewichtsanteil der Wurzel beträgt nämlich nur 25-30 % des Kronengewichtes. Diese Kronen-Wurzel-Relation verändert sich bei Trockenheit.

Auch das Baumalter spielt bei der Raumerschließung eine wichtige Rolle: Während der Jugendphase wachsen die Wurzeln mehr in die Tiefe ihres potenziellen Wurzelraums, mit zunehmendem Alter mehr in die Breite.

Einen wichtigen Einfluss auf die Breiten- und Tiefenentwicklung der Wurzel hat auch die Pflanzdichte: Je enger die Baumabstände, desto stärker ist das Bestreben der Bäume, neuen Wurzelraum in tieferen Bodenschichten zu besiedeln.



Abbildung 41 Wurzelentwicklung eines 25-jährigen Apfelbaumes der Sorte 'Laxton's' auf der Unterlage M.9 in East Malling

Die Wurzeln der Obstgehölze verzweigen sich in verschiedenen Rangordnungen. Apfelunterlagen bilden beispielsweise zwei Formen von stärkeren Leit- oder Gerüstwurzeln, die im Grunde genommen das grobe Wurzelgerüst bilden:

- Bogenförmige Verankerungswurzeln (Abbildung), aber auch
- sehr flach verlaufende, waagerechte Leitwurzeln.

Die Wurzeln haben neben der Verankerung die Aufgabe, den Boden in unterschiedlichen Tiefen für die Aufnahme von Wasser- und Nährelementen zu erschließen. Die flachen Wurzeln sind dabei vor allem für Aufnahme geringer Niederschlagsmengen von großer Bedeutung und sind deshalb in Trockengebieten besonders wertvoll. Sie werden bei (vertikalem) Wurzelschnitt oder mechanischer Bodenbearbeitung besonders geschädigt. Ab einer gewissen Stärke dienen sie auch zur Speicherung von Reserven.

An den Verzweigungen dieser Leitwurzeln entstehen die Faserwurzeln (=90 % der Gesamtwurzelmasse), an denen sich die typischen weißen wachstumsaktiven Wurzelspitzen befinden.

6.3.1.3 Bodentemperatur

Wurzeln haben keine Ruheperiode wie die oberirdischen Organe. Ihr Wachstum setzt zeitig im Frühjahr ein, noch bevor das Triebwachstum beginnt, sobald entsprechende Bodentemperaturen vorliegen:

- Die Wurzeln von Apfelbäumen beginnen bei Bodentemperaturen von + 5°C mit ihrem Wachstum, die von Birnen ab +7 °C.
- Das Temperaturoptimum für Wurzelwachstum liegt zwischen 15 °C und 25 °C.
- Oberhalb von 25 °C Bodentemperatur lässt das Wurzelwachstum allmählich nach.
- bei Temperaturen über 30°C stagniert das Wurzelwachstum. Die Abbildung macht deutlich, dass unter gemäßigten Klimabedingungen am Standort Klein-Altendorf die niedrigen Frühjahrstemperaturen den eigentlich begrenzenden Faktor für das Wurzelwachstum darstellen. Dieser Zusammenhang sollte unbedingt bei der Terminierung eines Wurzelschnittes und von Neupflanzungen berücksichtigt werden.

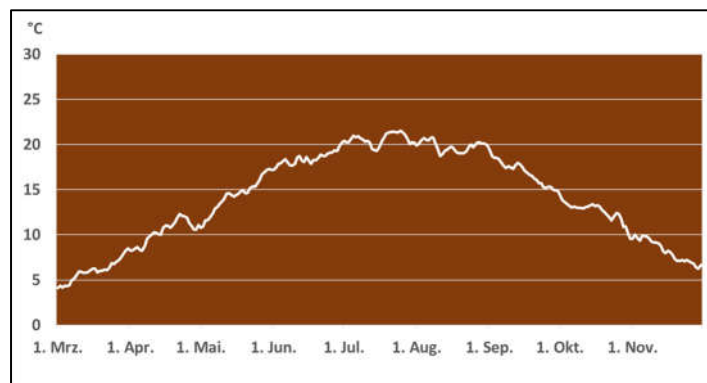


Abbildung 42 Bodentemperatur in 20 cm Tiefe im fünfjährigen Mittel in Klein-Altendorf

Der Einfluss der Bodentemperatur auf das Wurzelwachstum geht sogar so weit, dass sich unter den Sonnenseiten von Baumreihen, d.h. der Süd- und Westseite, deutlich mehr auf-

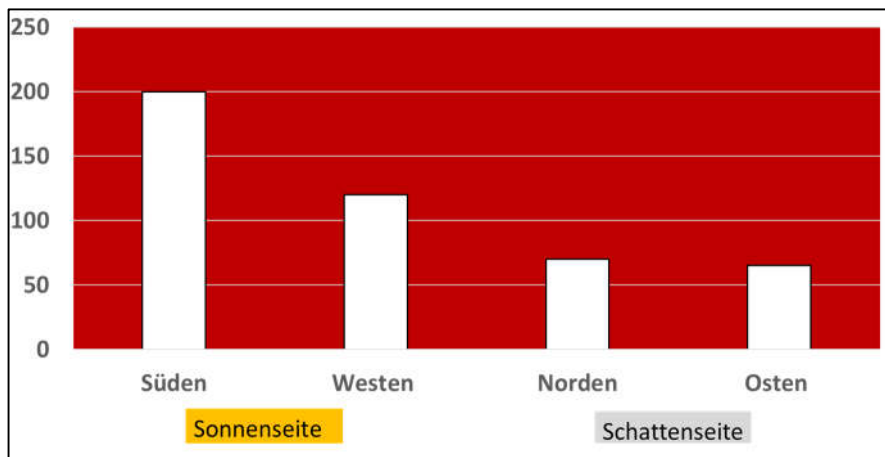


Abbildung 43 Anzahl Wurzelspitzen pro 100 cm³ in Abhängigkeit von der Erwärmung des Bodens (WELLER 1965)

nahmeaktive Wurzelspitzen etablieren als unter den jeweiligen Schattenseiten, d.h. der Nord- oder Ostseite. Vor allem in Reihen mit Ost-West-Ausrichtung ist das Gefälle derart eklatant, dass bei Maßnahmen wie Wurzelschnitt genau überlegt werden sollte, welche Reihenseite

behandelt werden sollte, um den gewünschten wuchsmindernden Effekt zu erzielen.

Bei allen Wachstumsprozessen, so auch beim Wurzelwachstum, kommt dem Nährelement Stickstoff eine besondere Bedeutung zu. Denn Stickstoff ist Baustein der DNA und RNA von Aminosäuren bzw. Proteinen und somit auch Baustein von Enzymen und Hormonen. Die Hauptkomponenten der Stickstoffverbindungen in der Wurzel sind die Aminosäuren Arginin und Asparagin.

6.3.1.4 Bodenverdichtung

Eine Bodenverdichtung wird dann zu einer Bodenschadverdichtung, wenn das Porensystem im Boden so weit verformt ist, dass die Versorgungsleistungen (Luft, Wasser) für den



Abbildung 44 Optische Hinweise auf Verdichtungen: a und b. Mauerartige Plattengefüge weisen auf mechanische Verdichtungen hin, etwa nach Befahren mit schwerem Gerät bei wassergesättigtem Boden c. Rost- und Reduktionsflecken sind Indikatoren für temporären Staunässe Einfluss oberhalb von Verdichtungshorizonten, beispielsweise auf Pseudogleyböden. (SCHULTE-KARRING M., 2016)

Pflanzenbestand und damit die Ertragsfähigkeit und Ertragssicherheit dauerhaft beeinträchtigt sind. Diese Gefügeänderung hat negative Auswirkungen auf die Produktionsfunktion (Ertrag,

Kosten), die Regulationsfunktion (Puffer, Speicher und Leiter für Wasser, Sauerstoff, Nähr- und Schadstoffe) und auf die Lebensraumfunktion für Bodenorganismen.

6.3.1.4.1 Die Folgen von Bodenverdichtungen

Verdichtungen und Gefügeveränderungen wirken sich wie folgt auf das Pflanzenwachstum aus:

- Beeinträchtigung der Wurzelatmung, des Wurzelwachstum, der Nährelementaufnahme und des Bodenlebens (selteneres Auftreten von Regenwürmern)
- Sauerstoffmangel und reduzierende Bodenbedingungen. Dadurch erhöhte Denitrifikation und gasförmige Stickstoffverluste und verstärkte Austragung von Treibhausgasen (besonders Methan und Lachgas)
- Erhöhte Krankheitsbereitschaft der Bäume bis hin zum Absterben von Wurzeln und Bäumen
- Stark reduzierter Austausch von Luft und Wasser zwischen Ober- und Unterboden
- Störung des Wasserhaushaltes infolge von:
 - geringerem Speichervolumen für pflanzenverfügbares Wasser
 - geringeren Wasserversickerungsraten in den Unterboden
 - schlechterer Wasserversorgung der Pflanzen in niederschlagsarmen Gebieten
 - langsamerem Abtrocknen des Bodens durch die verringerten Versickerungsraten
- Steigende Hochwassergefahr bei Starkniederschlägen, durch verstärkten oberirdischen Abfluss
- Verkleinerter Wurzelraum, da die Pflanzenwurzeln bevorzugt in den Grobporen wachsen und verdichtete Horizonte aus eigener Kraft äußerst selten durchdringen. Keine Erschließung des Unterbodens durch die Pflanzenwurzeln als Quelle für Nährstoffe und Wasser
- Nachlassende Nährstoffausnutzung und-aufnahme der Pflanze
- Zunehmende Verschlämmung der Poren von lehmigen und schluffreichen Böden
- Verstärkte Wassererosion und Nährstoffabspülung durch die verringerte Wasserinfiltration
- Ertragsausfälle von 5 bis 40 % je nach Ausprägung der Bodenschadverdichtung

Der wirtschaftliche Erfolg unserer obstbaulichen Dauerkulturen fußt zwangsläufig auf einem gut durchwurzelbaren Bodenraum und einer optimalen Wasserversorgung, zumal unsere Früchte größtenteils daraus bestehen. Daher sollten wir diese beiden Aspekte noch einmal genauer betrachten.

6.3.1.4.2 Die Bedeutung des durchwurzelbaren Raums

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für ein optimales Wuchs- und Ertragsverhalten einer Obstanlage ist der verfügbare Wurzelraum für die zukünftig dort wachsenden Bäume.

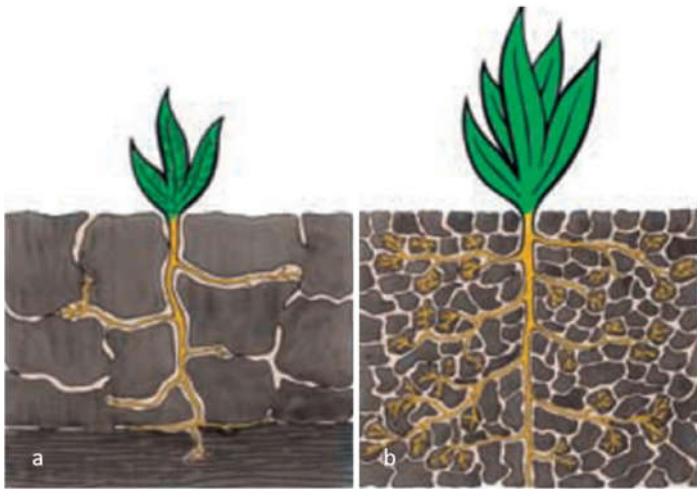


Abbildung 45 Einfluss guter Bodenlockerung auf die Durchwurzelung: a. schlechte Struktur b. gute Durchdringung bei guter Krümelstruktur

Dabei geht es nicht nur um die maximal durchwurzelbare Bodentiefe, sondern auch um die möglichst vollständige Durchdringung der nutzbaren Schichten. Denn zahlreiche Nährstoffe werden nicht mit dem zu den Wurzeln strömenden Bodenwasser zur Wurzel transportiert, sondern sie müssen, wie beispielsweise Phosphor auch, aktiv durch Kontakt mit den Bodenpartikeln von diesen aufgenommen werden. Zudem ermöglicht eine gute Krümelstruktur der Mycorrhiza eine bessere Ausnutzung der im Boden vorhandenen Nährstoff-Reserven.

Ein Boden mit schlechter, grobscholliger Struktur führt zwangsläufig zu einem geringeren Nährstoffaneignungsvermögen der Wurzeln und macht daher eine höhere Gabe von Mineraldüngern erforderlich. Dies erhöht Kosten und kann darüber hinaus zu erhöhten Auswaschungsverlusten führen.

Da, solange die Bodentemperatur über ca. 5°C liegt, eine ständige Neubildung von Wurzeln stattfindet, ist es von entscheidender Bedeutung, hier schon bei der Planung dafür zu sorgen, dass die Wurzeln später eine möglichst ungestörte Entwicklung durchlaufen können.

Auch wenn es manchmal wünschenswert erscheint, einen Baum schwächer wachsen zu sehen, weil vielleicht im Wurzelraum Störungen auftreten, so muss es doch klar sein, dass eine Anlage nur dann ihre volle Leistung über viele Jahre erbringen kann, wenn der „Motor“ des Wachstums, also die Wurzel, sich zufriedenstellend entwickeln kann.

Auch die Wurzel eines Baumes auf der Unterlage M.9 kann, optimale Bedingungen vorausgesetzt, bis in eine Tiefe von 2m (!) vordringen, auch wenn unter normalen Praxisbedingungen deutlich geringere Werte erreicht werden dürften.

Um wachsen zu können, muss im Boden für die Wurzel Sauerstoff vorhanden sein. Und hier kommt das Bodenwasser ins Spiel: Nachdem natürlich jederzeit ausreichend Wasser für die Wurzeln verfügbar sein muss, so führt doch ein Überschuss davon, z.B. bei Staunässe oder schlechter Wasserdurchlässigkeit (Drämfähigkeit) schnell zu einem Mangel an Sauerstoff. Wurzeln können dann nicht weiter in dieser Schicht vordringen; evtl. dort bereits vorhandene Wurzeln sterben ab. Gerade die Unterlage M.9 leidet unter Staunässe, und zwar sehr viel mehr als unter Trockenheit. Der damit verbundene Stress verstärkt im Übrigen auch die Krankheitsbereitschaft für *Neonectria ditissima* oder *Phytophthora cactorum*.

Wir versuchen also, einerseits eine möglichst ausgeglichene Versorgung der Bäume mit Bodenwasser sicherzustellen, ohne andererseits einen Mangel an Sauerstoff heraufzubeschwören.

6.3.1.4.3 Wurzelraum und verfügbares Bodenwasser

Für die Verfügbarkeit von Bodenwasser sind 2 Hauptfaktoren von Bedeutung:

- wieviel Prozent des Bodenwassers sind pflanzenverfügbar?
- wie tief ist der durchwurzelbare Bodenhorizont?

Bei der **Wasserverfügbarkeit** für die Bäume gehen wir davon aus, dass ein Boden nach vollständiger Durchnässung bis ca. 1 m Tiefe vollkommen wassergesättigt ist und damit seine „Feldkapazität“ erreicht hat. Dann beträgt die aktuelle Wasserspannung für die Wurzeln 100 cm Wassersäule (\cong 10 centibar). Im Folgenden entnimmt nun die Pflanze Wasser. Dadurch steigt die Wasserspannung an. Für die Praxis gehen wir schätzungsweise davon aus, dass die Bäume noch bis ca. 600 cm WS Wasser (\cong 60 centibar) über die Wurzeln aufnehmen können, ohne dass übermäßiger Wasserstress für die Pflanzen auftritt. Schwere Böden könnten also bis zu diesem Wert entwässern, ohne dass nennenswerter Wassermangel auftritt. Auf leichteren Böden wäre dies gefährlich, weil dort aufgrund fehlender Feinporen die Wasserspannung oberhalb von ca. 300 cm WS (\cong 30 centibar) rapide ansteigt, ohne dass noch nennenswerte Mengen Wasser für die Bäume zur Verfügung stünden. Wir setzen also den oberen Grenzwert für leichtere Böden niedriger an, z.B. bei 300 cm WS.

Für die Praxis bedeutet dies, dass wir für unsere Bäume Wasser im Bereich von 100 cm WS bis 300 bzw. 600 cm WS zur Verfügung stellen sollten.

Für die durchwurzelbare Bodentiefe gilt: Im Rahmen des genetisch vorhandenen Spektrums der Wurzelentwicklung eines Baumes wird seine Wurzel so tief in den Boden vordringen, wie noch ausreichend Sauerstoff für ihre Entwicklung vorhanden ist.

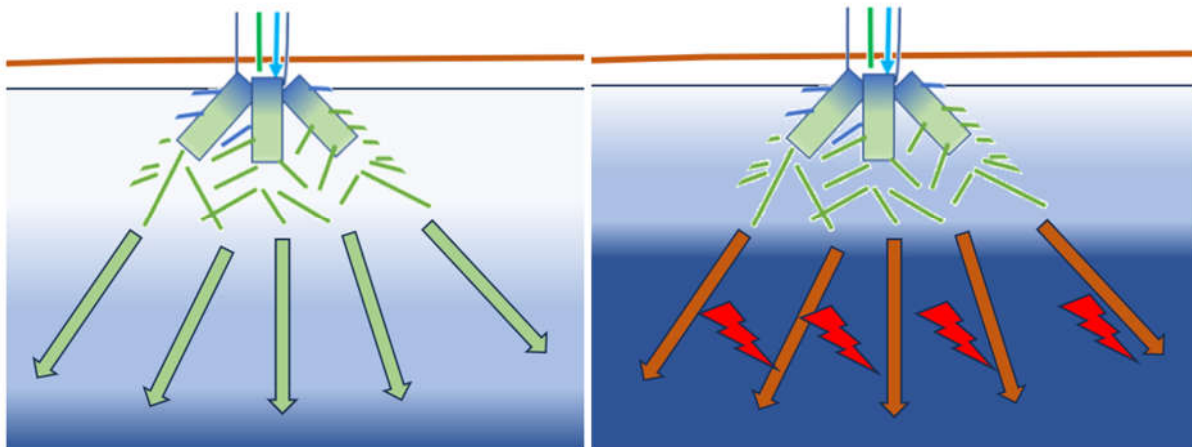


Abbildung 46 Luftmangel im Boden schränkt das durchwurzelbare Volumen ein

In der Abbildung erkennt man, dass ein Boden, der tiefgründig entwässert ist und in dem also auch in tieferen Bodenschichten noch Sauerstoff vorhanden ist, tiefer durchwurzelt werden kann. Das bedeutet für die Bäume, dass sie über eine größere Reserve an nutzbarem Bodenwasser verfügen können.

Betrachten wir diese Zusammenhänge an zwei Beispielen:

Ein **Marschboden** mit einem hohen Tongehalt hat bei Feldkapazität einen Wassergehalt von ca. 35% seines Gesamtvolumens. Dieses Wasser ist jedoch zum großen Teil in Feinporen

gehalten, die aufgrund ihrer hohen Kapillarität der Aufnahme durch die Wurzeln einen hohen Widerstand entgegensetzen. Die dafür notwendige Saugspannung können die Baumwurzeln nicht aufbauen. Insofern stehen auf Marschböden den Bäumen lediglich 9% des im Boden befindlichen Wassers zur Verfügung – der übrige Anteil von 26% wird zu festgehalten.

Ein **leichterer Boden auf Sand (Geestboden)** dagegen beinhaltet bei Feldkapazität lediglich 25% Wasser im Gesamtvolumen. Davon sind jedoch bei nur 300 cm WS bereits 10% verfügbar – ein Anteil, für den die Bäume auf dem schweren Standort eine sehr viel höhere Saugspannung von 600 cm WS aufbringen müssten. Bei 600 cm WS stünden auf Geestböden sogar 20 Vol.% zur Verfügung. Diesen Wert anzustreben wäre allerdings viel zu gefährlich, weil oberhalb dieser Schwelle praktisch gar kein Wasser mehr zur Verfügung steht und die Bäume dann sofort geschädigt werden würden. Daher sollte auf den leichten Geestöden die Wasserspannung nicht über 300 cm WS (\cong 30 centibar) ansteigen.

6.3.1.4.4 Auswirkungen auf die Baumentwicklung

In der Praxis werden die tatsächlichen Verhältnisse irgendwo zwischen diesen Extremen liegen. Aber schon bei der Planung und Erstellung von Anlagen sollte man sich dessen bewusst sein.

	Marschboden		Geestboden	
	50cm	100 cm	50cm	100 cm
Durchwurzelbar				
Vol. % bei Feldkapazität	35%	35%	25%	25%
Vol.% bei 300 cm WS			15%	15%
Vol.% bei 600 cm WS	26%	26%		
Differenz Vol. %	9%	9%	10%	10%
Pflanzenverfügbar mm	45	90	50	100

Abbildung 47 Durchwurzelbare Tiefe und pflanzenverfügbares Wasser, abhängig von der Bodenart (LUCAS et al. 2018)

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass

- eine bessere Durchwurzelbarkeit des Bodens eine größere Menge pflanzenverfügbares Wasser bedeutet, und das bedeutet ein ausgeglicheneres Wachstum auch bei Trockenheitsperioden.
- ein schwerer Boden eine höhere Saugleistung für die Bäume erforderlich macht, wenn sie eine vergleichbare Menge Wasser aufnehmen wollen.

Ein tiefer entwässerter Boden stellt den Pflanzen mehr pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung.

Die oben dargestellten Zusammenhänge werden insbesondere dann problematisch, wenn der Bereich, in dem Wurzeln überleben können, während einer Vegetationsperiode starken Schwankungen unterworfen ist. Dieses Problem zeigt sich vor allem bei Böden mit hohem Gehalten an Feinporen (hoher Tongehalt) und/oder mit Verdichtungen (z.B. Pseudogley-Standorte) d.h. auf Standorten, die naturgemäß einen geringeren Anteil pflanzenverfügbaren Wassers aufweisen:

Vom späten Frühjahr bis zum Herbst hinein 'entwässern' die Bäume den Boden regelrecht, da ihr Verdunstungsapparat über ihre zunehmende Blattmasse und steigende Lufttemperaturen

auf Hochtouren läuft. Aufgrund dessen können die Wurzeln die allmählich entwässerten Horizonte im Unterboden für ihre Wurzelentwicklung erschließen.

Dies ändert sich allerdings ab dem Herbst: Die mit nachlassenden Temperaturen einhergehende verminderte Verdunstung, gepaart mit stärkeren Niederschlägen, hat zur Folge, dass nur noch in einem stark verkleinerten, oberen Horizont genügend Sauerstoff für ein optimales Wurzelwachstum der Wurzeln zur Verfügung steht. Wurzeln in tieferen Bereichen sterben ab. Dies wiederum hat zur Folge, dass im kommenden Frühjahr/Sommer, wenn der „Wasserhorizont“ wieder nach unten wandert, die „vergleyten“ Bereiche erst wieder neu durchwurzelt werden müssen.

Solche Standorte weisen im Vergleich zu anderen Böden, die ganzjährig einen gleichmäßigen Wasserhaushalt aufweisen, deutliche Nachteile auf: Diese reichen von verminderter Ertragsleistung über verstärkte Alternanz bis hin zu verstärkter Neigung zu Fruchtberostungen. Eine Baumwurzel, deren Volumen und damit auch Produktion von Cytokininen und Gibberellinen ständig stark schwankt, führt nicht zu einer ausgeglichenen oberirdischen Baum-, Blüten- und Fruchtentwicklung.

Eine jährlich stark schwankende durchwurzeltbare Tiefe des Bodens vermindert die Leistung der Pflanzen.

Möglicherweise wird uns die Unterlagenzüchtung neue Klone beschere, die aufgrund ihrer Wurzelarchitektur oder über ein erhöhtes Saugspannungsvermögen bei extremen Wasserverhältnissen im Boden besser zurechtkommen. Bei den Geneva-Unteralagen zeigen sich dazu erste aussichtsreiche Hinweise. G.41 beispielsweise zeigt sowohl unter Staunässebedingungen wie auch bei Trockenheit weniger Probleme als M.9. Unabhängig davon, was wir von solchen Entwicklungen in Zukunft erwarten dürfen, sollte vor einer Neupflanzung alles dafür getan werden, einen möglichst großen durchwurzeltbaren Raum nachhaltig sicherzustellen. Wenn dieser Bereich nachweislich durch Verdichtungen eingeschränkt wurde, muss der Boden rechtzeitig vor der Neupflanzung gelockert werden.

6.3.1.5 Nachbaukrankheit – Apple Replant Disease



Abbildung 48 Wurzelentwicklung auf gleicher Unterlage. Links frischer Boden, rechts Nachbau

Die spezifische Nachbaukrankheit beim Apfel, früher „Bodenmüdigkeit“ genannt - heute Apple Replant Disease (ARD) - ist ein seit langem bekanntes Phänomen, das generell beim Nachbau von Pflanzen aus der Familie der Rosaceae, vor allem aber bei der Gattung *Malus* beobachtet wird. Nach wie vor sind die eigentlichen Ursachen des Phänomens Nachbau nicht vollständig geklärt. Man vermutet, dass Wurzelausscheidungen zu einer einseitigen Selektion der Mikroflora in der Rhizosphäre beitragen. In Folge wiederholten Anbaus von Apfelkulturen treten demzufolge allmählich Veränderungen im Mikrobiom des Bodens zugunsten bodenbürtiger Pathogene auf. Diese sind dann letztendlich die Auslöser der klassischen Nachbausymptome.

Die eigentlichen Schäden sind auf die Besiedlung und nachfolgende Zerstörung der Wurzelrinde durch bodenpathogene Pilze zurückzuführen. Bisher wurden mit *Cylindrocarpon destructans*, *Rhizoctonia solani* zwei Pilzgattungen und mit *Phythium ssp.* und *Phytophthora cactorum* zwei Oomyceten in befallenen Apfelwurzeln isoliert und eindeutig als Auslöser der Nachbaukrankheit identifiziert. Sie können einzeln oder im Verbund zu Wurzeldeformationen beitragen. Die Rolle phytopathogener Bakterien, etwa die von *Pseudomonas spp.* und *Streptomyces spp.*, sowie die Rolle freilebender Nematoden am Verursacherkomplex der Nachbaukrankheit wird bis heute kontrovers diskutiert. Eine direkte Beteiligung an ARD konnte ihnen aber bis heute nicht nachgewiesen werden (BAAB G., 2009, WINKELMANN T. et. al. 2018).

Die Infektionen mit den o.a. pathogenen Pilzen und Oomyceten können aber durchaus über Läsionen erfolgen, die von freilebenden Nematoden der Gattung *Pratylenchus penetrans* geschaffen wurden. *Pratylenchus penetrans* lebt zeitweise in der Rhizosphäre, aber den überwiegenden Teil ihres Lebenszyklus verbringen diese Endoparasiten im Innern der Apfelwurzeln. Auf sandigen Standorten kann die Population von *Pratylenchus penetrans* kritische Grenzwerte überschreiten, was dann zu einer direkten und massiven Schädigung der Wurzelrinde führt und signifikante Wachstums- und Ertragseinbußen auslöst. Diese Schäden kann man auf solchen Standorten weitgehend vermeiden, in dem man eine Vorkultur mit bestimmten Tagetes-Arten (etwa Nemamix) zwischenschaltet oder Nematizide (Sareptasenmehl, Dazomet) einsetzt. Auf den klassischen ARD-Standorten sind diese Maßnahmen aber nur bedingt oder gar nicht erfolgversprechend.

Betroffene Wurzeln bilden deutlich weniger Seitenverzweigungen. Die Lebensdauer der aufnahmeaktiven weißen Wurzelspitzen verkürzt sich dramatisch. Bereits nach wenigen Tagen verändern sie ihre Farbe in Richtung braun mit einzelnen schwarzen Stellen (= 'blackening'). Daraus resultiert ein signifikanter Verlust an Feinwurzelmasse. Die Wurzelrinde wird allmählich zerstört und die Wurzeln werden brüchiger. Die Auswirkungen der nachbaubedingten Wurzelverluste betreffen in erster Linie das Wasser- und Nährelementaufnahmevermögen der Wurzeln und deren Cytokininproduktion. In der Abbildung auf der vorherigen Seite sind die Folgen von ARD auf das Wurzelwachstum der Apfelunterlage M.26 eindrucksvoll belegt. Das Bild zeigt die Resultate eines Experimentes, das der Arbeitsgruppe M. Lucas, K. Smalla und D. Vetterlein in einem ihm Rahmen des ORDIAmur -Projektes (= Overcoming Replant Disease in Apple) durchgeführt wurde. Dabei wurde nachgestellt, wie sich Wurzeln der gleichen Unterlage in einer Bodensektion entwickeln die (links) mit frischer Erde (= sterilisierte Erde) und die (rechts) mit Nachbauerde (Apple Replant Disease) gefüllt war.

Das typische äußere Erscheinungsbild von Nachbaus Schäden an Jungbäumen ist früherer Triebabschluss, kürzere Internodien, gestauchtes Wachstum, rosettenartige Blätter und schlechtere Verzweigung. Die Folgen davon sind Ertragseinbußen, die vor allem bei Jungbäumen bis zum 4./ 5. Standjahr sehr gravierend sein können.

Der Schweregrad der Nachbaudepression schwankt von Standort zu Standort, hängt mit der Häufigkeit des Nachbaus zusammen wie auch mit den begleitenden Kulturmaßnahmen.

Beim **Nachbau ein und der gleichen Art** treten die meisten Schäden auf, insbesondere wenn eine Apfelkultur auf die andere folgt. Birnen sind im Nachbau weniger empfindlich als Apfel. Quitten, auch als Unterlagen für Birnen weisen nur sehr geringe Nachbausymptome auf. Auch Kirschen zeigen im Anschluss an eine Apfel- oder Quittenkultur (als Unterlage für Birne) kaum Nachbauerscheinungen.

Die Nachbaukrankheit ist immobil. Das bedeutet, dass lediglich die Bodenbereiche betroffen sind, in der ehemals Bäume standen. Daher empfiehlt sich in erster Linie ein **Flächen- oder Reihenwechsel** (Pflanzung in die bisherige Fahrgasse).

Dort wo ein Flächen- oder Reihenwechsel nicht (mehr) möglich ist, beispielsweise bei vorhandenen Hagelnetz- oder Bewässerungskonstruktionen, kann der **Bodenaustausch** eine praktikable Alternative darstellen. Mit Hilfe spezieller Geräte (Abbildung) wird der Boden im ehemaligen Baumstreifen herausgefräst und im gleichen Arbeitsgang durch Boden aus der noch jungfräulichen Reihenmitte ersetzt. Auf schweren Böden stößt das Verfahren allerdings auf natürliche Grenzen, da der feingefräste Boden anschließend zu Verschlammung neigt.



Abbildung 49 Vimas-Baumpflanz- Doppelfräse im Einsatz

Um die Aktivität der Krankheitserreger zu begrenzen kann man bodeneigene Abwehrmechanismen fördern, etwa durch den **Einsatz von Kompost (Champost)** oder durch Einbringung spezieller antagonistischer Mikroorganismen. Alle diese Maßnahmen führen zu einer Diversifizierung und Intensivierung des Bodenlebens (FRANKE-WHITTLE i. H. et.al. 2018).

Eine **direkte Bekämpfung** der bodenpathogenen Pilze ist mit chemischer Bodenentseuchung



Abbildung 50 -a- Mikroorganismen-Suspensionen müssen z.T. mehrfach nachgelegt werden. -b- 50 t Champost/ha unmittelbar vor der Einarbeitung BAAB G., HENFREY J. 2015; MANICI L.M. et al. 2014).

(Dazomet), Biofumigation (Sareptasenfmehl), mit anaerober Bodenentseuchung (Flutung) oder thermischen Verfahren (Flächendämpfung) mehr oder weniger gut möglich.

Der Königsweg im Apfelanbau wäre die Nutzung nachbautoleranter Unterlagen, wenn möglich in Kombination mit dem Einsatz von Kompost (Champost).

Ansonsten bleiben nur die klassischen Instrumentarien, die einen Beitrag zum Anwacherfolg und Wachstumsstart leisten, beispielsweise voluminöse und gut bewurzelte Jungbäume im Herbst tief pflanzen und einschlämmen oder die Verwendung starker wachsender Unterlagen.

6.3.1.6 Einfluss der Belichtung auf die Wurzelentwicklung

Die im Verlauf der Photosynthese gebildeten Kohlenhydrate können entweder in Form von Stärke gespeichert oder in eine Transportform umgewandelt werden. Am häufigsten werden Kohlenhydrate in Form von Saccharose in die Wurzel verfrachtet. Die Kohlenhydrate sind in der Wurzel für die Aufrechterhaltung energieabhängiger Prozesse (Atmungsenergie) sowie für die Bildung von Strukturkomponenten in den Zellen oder Zellwänden essenziell. Die **größte Kohlenhydrat-Senke** stellt die **Wurzelatmung** dar.

Die Kohlenhydratgehalte in den Wurzeln schwanken dabei je nach Jahreszeit:

- Der Gesamtkohlenhydratgehalt der Wurzeln (Stärke, Sorbitol, Glucose, Fructose) bleibt während der Vegetationszeit relativ niedrig. Die Stärke dominiert in dieser Zeit mit circa 10% der Trockensubstanz.
- Ab September kommt es zu einer starken Anreicherung von Stärke in den Wurzeln mit Höhepunkt (25%) im Oktober-November. Danach nehmen die Stärkekonzentrationen langsam wieder ab und erreichen mit Vegetationsbeginn wieder etwa 10%.
- Die Wurzeln behalten bis zu 10% Stärke i. d. Trockensubstanz als eiserne Reserve, die nur abnimmt, wenn der Baum laufend entblättert wird.

**Licht reguliert das Wurzelwachstum
über den Import von Kohlenhydraten aus dem Spross.**

Auch der Stickstoffhaushalt der Pflanzen steht in gewissem Umfang mit Licht in Verbindung. etwa die Verarbeitung des aufgenommenen Nitrats zu Aminosäuren, die über das lichtabhängig funktionierende Enzym Nitratreduktase erfolgt. Umgekehrt hängt die CO₂-Assimilation von einer stetigen Versorgung mit Stickstoff ab, der über das Wurzelsystem aufgenommen wird.

Letztendlich steht sogar die Stärke des Auxinexports in Richtung Wurzel mit der Belichtung einzelner Kronenregionen in engem Zusammenhang. Insofern haben auch alle Kulturmaßnahmen, die zur Belichtung der Krone beitragen oder abträglich sind, einen nicht unerheblichen **Einfluss auf die Intensität des Wurzelwachstums**. Beispielsweise die

- Hageleinnetzung
- Reihenausrichtung
- Pflanzabstände
- Kronenform
- Schnitt- und Erziehungssysteme
- Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen

Das Wurzelwachstum reagiert mit abnehmender Lichtstärke dabei nahezu genauso sensibel wie unter abnehmender Wasser-Verfügbarkeit.

6.3.1.7 Phytohormone

Die Apfelwurzel wächst immer etwas, vor allem die Feinwurzeln. Gleichzeitig sterben auch laufend Faserwurzeln ab. Im Verlauf der Vegetation weist das Wurzelwachstums jedoch deutliche Amplituden auf. Diese Rhythmik steht in enger Wechselwirkung mit dem Sprosswachstum. Neben der Verfügbarkeit von Kohlenhydraten und Stickstoffverbindungen spielen Phytohormone als Signalstoffe dabei eine wichtige Rolle. Vor allem dem **Zusammenspiel der Phytohormone Auxin und Cytokinin** kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu.

Das Wurzelwachstum und damit die Cytokininproduktion der Wurzeln setzt im Jahresverlauf früher ein als das Kronenwachstum und endet auch später. Grundsätzlich aber dominiert die Krone die Wachstumsprozesse im Wurzelkörper, denn dort werden neben den Kohlenhydraten auch die Auxine produziert, die ihrerseits an der Regulierung des Wurzelwachstums beteiligt sind. Die Auxinproduktion im Spross stimuliert das Wurzelwachstum, regelt es aber ab einer gewissen Menge wieder ab. Mit der Stimulation des Wurzelwachstums wird wiederum, über die vermehrte Cytokininbildung, das Austriebsverhalten im Spross angeregt. SAURE hat die Interaktion der beiden Phytohormone in seinem Modell ausführlich erörtert.

Das Zusammenspiel beider Phytohormone stellt den eigentlichen „Motor“ der Wachstumsvorgänge dar, die Kohlenhydrate den Treibstoff und die Enzyme die Zündkerzen.

6.3.1.8 Wurzelentwicklung und Schnitt

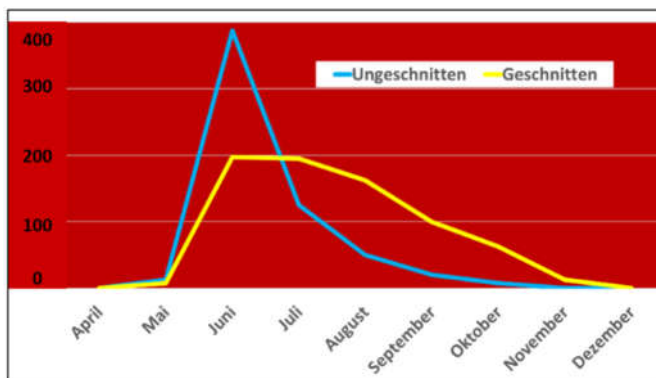


Abbildung 51 Summe Wurzelzuwachs in cm bei Birne auf Unterlage Quitte geschnitten und ungeschnitten (HEAD 1968)

Dass der **Schnitt im Sommer** durch die Wegnahme von Assimilationsmasse zu einer **Schwächung des Wurzelwachstums** führt ist logisch erklärbar und wissenschaftlich mehrfach erwiesen. Ganz anders sieht es beim Winterschnitt aus, der viel komplexere Auswirkungen auf Wachstum und Ertragsverhalten zur Folge hat. Bis auf wenige wissenschaftliche Arbeiten (HEAD 1968, DE HAAS und HEIN, 1973) gibt es dazu kaum Untersuchungen. Die Zusammenhänge

sind vielschichtig und würden komplizierte und umfangreiche Experimente erforderlich machen, zumal auch die Baumerträge als wichtige Einflussgröße zu berücksichtigen sind. Sie werden direkt vom Winterschnitt beeinflusst und üben ihrerseits einen großen Einfluss auf das Wurzelwachstum aus. HEADs Untersuchungen aus dem Jahr 1968 (Abbildung) belegen zwar einen ziemlich deutlichen negativen Einfluss des Winterschnitts auf das Wurzelwachstum, allerdings mit den damaligen Schnittmethoden und ohne Berücksichtigung der Erträge. Wenn man all diese Parameter mit einkalkuliert und den Einfluss moderner Erziehungs- und Schnittmethoden einbezieht, kann per se daraus nicht unbedingt abgeleitet werden, dass der Winterschnitt zu einem geringeren Wachstum der Sorten-Unterlagen-Kombination führt, im Gegenteil:

- Bei der Verteilung der Kohlehydrate im Baum üben laut den Untersuchungen von HANSEN 1980 die Früchte die mit Abstand stärkste Sinkwirkung aus, überwiegend zu Lasten der Wurzel. Schnittverfahren, die eine deutlich ausdünnende „Begleitwirkung“ haben, beispielsweise der **Kurze Fruchtholzschnitt**, werden voraussichtlich das Wurzelwachstum deutlich weniger belasten als Schnitteingriffe, die fruchtansatzschonender vorgenommen wurden wie beispielsweise der **Lange Fruchtholzschnitt**. Die Austriebreaktion beim langen Fruchtholzchnitt erfolgt darüber hinaus meist zeitverzögert, zumal sie in der Regel über schlafende Augen stattfindet. Der wichtigste Impuls für das initiale Wurzelwachstum im Frühjahr wird jedoch durch die Anzahl und Intensität der Austriebe im zeitigen Frühjahr gesetzt.
- **Beim langen Fruchtholzchnitt**, bei dem ganze Äste entfernt werden, werden auch verhältnismäßig viel potenzielle Blattmasse (Kohlehydrate), eingelagerte Reservestoffe im (entfernten) Holz und gleichzeitig viele Triebspitzen (Auxine) beseitigt, ohne dass sofort mit einer heftigen Wuchsreaktion zu rechnen ist, weil durch das Entfernen von Reservestoffen auch die damit verbundene Wurzel geschwächt wird. Der wichtigste Impuls für das initiale Wurzelwachstum im Frühjahr wird durch die Anzahl und Intensität der Austriebe im zeitigen Frühjahr gesetzt, und diese wurden vorher reduziert. Vom langen Fruchtholzchnitt geht daher ein eher schwacher Auxinstoß in Richtung Wurzel aus, weswegen er bekanntermaßen eher wachstumsberuhigend und fruchtansatzstabilisierend wirkt.

Eine Beeinträchtigung des Wurzelwachstums ist am ehesten nach langem Fruchtholzchnitt zu erwarten.

- **Kurzer Fruchtholzchnitt** ist aber nicht gleich kurzer Fruchtholzchnitt. Prinzipiell müssen an dieser Stelle zwei Verfahren sorgfältig getrennt voneinander betrachtet werden:
 Zum einen das sogenannte **Querschneiden**, was unter anderem auch den Schnitt ins mehrjährige Holz bedeutet, ein Sakrileg in den Augen der Klickschnitt-Anhänger. Dabei wird zurecht darauf verwiesen, dass derartige „Amputations-Schnitte“ (= Querschnitte in mehrjähriges Holz) oft unkalkulierbare Reaktionen hervorrufen. Erfolgt das Querschneiden auf schlafende Augen, findet der Austrieb, wie beim langen Fruchtholzchnitt, zeitverzögert oder gar nicht statt. Wird auf schwächere Äste umgelenkt, erfolgt oft eine unkontrollierte Reaktion. Ziel des Querschneidens ist eine Vorausedünnung. Je zeitsparender oder planloser dieses Verfahren durchgeführt wird, umso heterogener fällt dieser Ausdüneffekt aus.
 Im Gegensatz dazu konzentrieren sich die modernen Verfahren des kurzen Fruchtholzchnittes, beispielsweise der **Klick- oder Mathaschnitt**, auf den Schnitt ins einjährige Holz. Auf diese Weise macht man sich die besser kontrollierbare Reaktion des einjährigen Holzes auf das Querschneiden zu eigen:
 - ✓ Dort erfolgt unmittelbar und ganz sicher immer ein Austrieb.
 - ✓ Da der Eingriff an „dünnem“ Holz geschieht und mehrere Austriebe entstehen, ist die Wuchsreaktion eher schwach.
 - ✓ Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, dass in der Regel auf „schlafende Augen“ geschnitten wird, die zwangsläufig später und dadurch schwächer austreiben werden.

- ✓ Der Rückschnitt auf schwache Augen im Basisbereich der einjährigen Triebe ist ein weiteres Instrument, um einerseits einen sicheren andererseits aber kompakten Austrieb sicherzustellen.

Diese Schnittverfahren führen unmittelbar bei Austrieb zu einer Vervielfältigung an Triebspitzen und rascher Regeneration an Blattmasse. Das wiederum löst einen heftigen Auxinimpuls in Richtung Wurzeln aus, was dort zu einem entsprechenden Wachstumsschub führt. Genauso intensiv werden die vielen Auxin produzierenden Triebspitzen Wochen später das Wurzelwachstum wieder abregulieren. Da bei richtiger Ausführung des Klickschnittes überwiegend Kurztriebe entstehen, laufen beide Prozesse, Auf- und Abregulierung, kontrollierter ab als beim blinden Querschneiden bzw. „Amputieren“.

- Die Ergebnisse von HEADs Untersuchungen unterstützen diese Annahme. Bei seinem Experiment dürfte wohl eine Kombination aus langen und kurzen Schnitteingriffen erfolgt sein. Das Ergebnis ist ein etwas später einsetzendes, schwächer verlaufendes, aber länger anhaltendes Wurzelwachstum, das mit dem zeitweiligen Verlust Auxin-produzierender Triebspitzen und potenzieller Blattmasse erklärbar ist. Das Wachstum der Wurzeln wird langsamer herunter gefahren, wodurch aber auch mehr Nährelement-Reserven für das Folgejahr aufgenommen werden können.
- Bei frisch gepflanzten Bäumen sollten die von HEAD erzielten Ergebnisse jedoch stärker berücksichtigt werden. Dort kann sich ein scharfer Rückschnitt durch den Verlust von allzu viel Blattmasse und Auxin produzierenden Triebspitzen kontraproduktiv auf das Wachstum im Pflanzjahr auswirken.

6.3.1.9 Prohexadion- Calcium

Behandlungen mit Prohexadion-Calcium hemmen die Gibberellinbiosynthese im Spross und somit das Triebwachstum, indem sich die Internodien verkürzen.

Prohexadion-Calcium übt keinen wuchshemmenden Einfluss auf die Wurzeln aus. Sie wachsen weiter, woraufhin sich das Wurzel-Spross-Verhältnis allmählich zugunsten der Wurzeln verschiebt. Sobald der Wirkstoff in der Krone abgebaut ist, kann es daher zu einem **unerwünschten Wiederaustrieb** kommen. Die regelmäßige Anwendung von Prohexadion-Calcium hat deshalb in der Praxis zur Folge, dass man dieses Verhältnis irgendwann mit einem Wurzelschnitt angleichen muss. Besser wäre es, wenn man von vorneherein Wurzelschnitt mit Prohexadion-Calcium-Behandlungen kombinieren würde. Ein Vorteil dieser Strategie ist, dass man geringere Wirkstoffmengen benötigt.



Abbildung 52 Blattflächenentwicklung bei Winterhandveredlungen im Spätsommer, die mit mehreren Prohexadion- Behandlungen zum Triebabschluss gebracht wurden.

In jüngster Zeit wurden in der Praxis, insbesondere in Baumschulen, Beobachtungen gemacht, die einen direkten positiven Einfluss von Prohexadion-Calcium auf das Wurzelwachstum erkennen lassen. Dieser Zusammenhang lässt sich wie folgt erklären:

Der verfrühte Triebabschluss, der sich nach Prohexadion-Behandlungen einstellt, bewirkt ein vorzeitiges Umlenken der Kohlenhydratströme zugunsten der Wurzel. Darüber hinaus verändert sich auch die Blattmorphologie. Wenn die Zahl der photosynthetisch aktiven Blätter in etwa gleich bleibt, deren Blattspreite jedoch zunimmt (Abbildung) und die Blätter

photosynthetisch länger aktiv bleiben (verringertes Chlorophyllabbau) können mit Prohexadion-Calcium behandelte Kronen sogar mehr Kohlenhydrate in die Wurzel exportieren und damit dort zu mehr Wachstum beitragen als unbehandelte Kronen.

Wenn eine Obstanlage über die gesamte Standzeit leistungsfähig bleiben soll, dann muss das Augenmerk auf den Erhalt der Leistungsfähigkeit der Wurzel gerichtet werden. Eine zu stark wachsende Anlage kann man „bremsen“ – zu schwach wachsende Bäume kann man häufig nicht mehr wirklich „reaktivieren“, insbesondere dann, wenn die Wurzel zu schwach geworden ist.

6.3.2 Das Leitgewebe

Die **Sprossachse**, die bei den Obstgehölzen den Stamm, die Stammverlängerung und das gesamte Seitenastsystem ausmacht, **verbindet die beiden Grundorgane Wurzel und Blatt** in beiden Richtungen miteinander und zwar **mit Hilfe eines gegenläufigen Leitungssystems**.

Dieses gegenläufige Leitungsnetz durchzieht den Baum in Form von Bündeln, den sogenannten **Leitbündeln**. Sie reichen von den Wurzelspitzen bis in die Triebspitzen; bestimmte Bereiche in der Wurzel sind mit bestimmten Bereichen in Stamm und Krone des Baumes verbunden. In diesen Leitbündeln, die von Festigungsgewebe umgeben sind, befinden sich die **Gefäße (Xylem)** und das **Siebteil (Phloem)**.

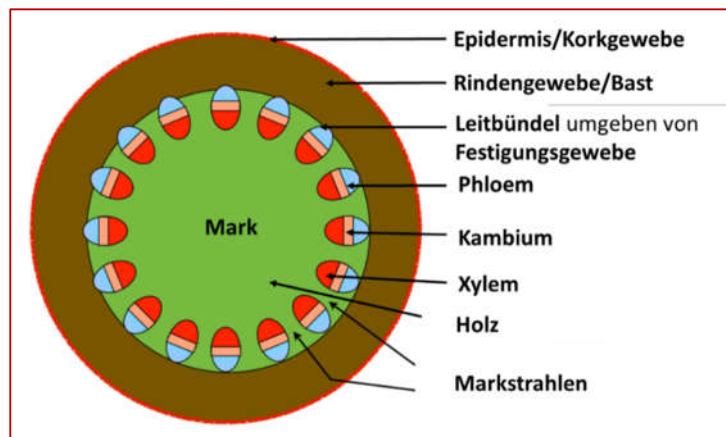


Abbildung 53 Querschnitt durch eine Sprossachse

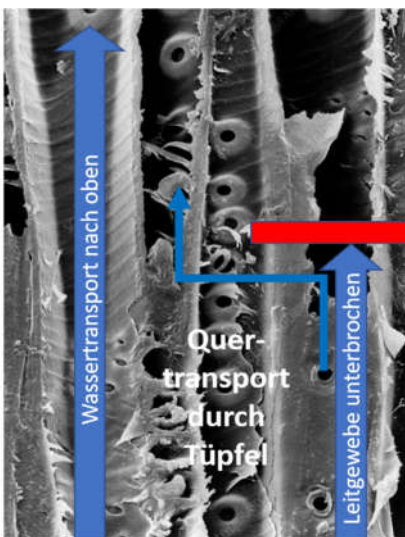


Abbildung 54 Tracheen im Xylem. Transportrichtung nach oben; bei Störungen auch durch die seitlichen Tüpfel (Quelle: KORA Holzschutz)

Zwischen Xylem und Phloem befindet sich bei allen zweikeimblättrigen Pflanzenarten, also auch bei unseren Obstgehölzen, ein aus 2-8 Zellschichten bestehendes, teilungsfähiges Gewebe, das sogenannte Kambium. Zusammen mit dem sogenannten interfasciculären Kambium bildet dieses meristematische Gewebe einen dünnen, zylindrischen Mantel. Das Kambium ist verantwortlich für das sekundäre Dickenwachstum. Die Zellteilungsaktivität des Kambiums wird im Frühjahr durch die Auxinproduktion der Knospen in Gang gesetzt. Vor Eintritt der Winterruhe stellt das Kambium dann seine Aktivität wieder ein.

Nach innen werden Xylemzellen gebildet, gefördert durch die Cytokininsynthese der Wurzeln und deren Transport durch den Stamm in Richtung Krone. In den Xylemzellen werden überwiegend Wasser und Nährelemente aus den Wurzeln in die Blätter transportiert. Die Wasser- und Nährelementleitung im Xylem erfolgt in sogenannten Tracheen. Dabei handelt es sich um tote, langgestreckte Zellen deren Querwände teilweise aufgelöst sind. In diesen langen Röhren kann der Wassertransport wesentlich schneller erfolgen. Die Schrägwände der Xylemzellen sind perforiert („getüpfelt“), so dass ein Quertransport („Umleitung“) von Wasser- und Nährelementen bei Verletzungen oder nach Schnitteingriffen möglich ist.

Die obige Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Xylemgewebe eines Baumes. Links erkennen wir einen ungehinderten Transport des Wassers nach oben. Rechts ist das Leitgewebe blockiert, möglicherweise durch einen Schnitteingriff. Durch die seitlichen

Zellöffnungen, den sogenannten „Tüpfeln“ strömt nun ein Teil des Wassers durch die Tüpfel und wird so immer weiter seitlich geleitet, bis es wieder auf funktionsfähige Leitbahnen trifft. So kann der Transport die geschädigte Stelle „umgehen“ – allerdings ist die Transportleistung deutlich vermindert. Diese Zusammenhänge funktionieren grundsätzlich auch im Phloem. Wir werden sie in vielen Situationen wiedererkennen, so z.B. beim (Kronen)-Schnitt, beim Kerben und Einsägen, beim Wurzelschnitt – sie stellen ein wichtiges Element dar, wenn es darum geht, einen Baum in seiner Entwicklung zu „bremsen“.

Die treibenden Kräfte des Wassertransports in unseren Bäumen sind der Wurzeldruck, die Kapillarkräfte in den Xylemgefäßen und vor allem der Transpirationssog. Der Transpirationssog baut sich mit Hilfe der Kapillarkräfte gegen die Schwerkraft des Wassers von der Baumwurzel bis hoch in die Krone auf. Werden die Spaltöffnungen geöffnet, verdunstet Wasser und es entsteht ein Transpirationssog in den Leitungsbahnen, durch den das Wasser nach oben steigt. Der Wasserfaden wird mit Hilfe der Kohäsionskräfte in den engen Tracheen des Xylems aufrecht gehalten. Im Verlauf von Hitzeperioden kann das System kollabieren.

Die Jahresringe im Holz sind das Resultat unterschiedlicher Wachstumsgeschwindigkeiten im Xylemgewebe. Im Frühjahr werden eher weitleumige und im Herbst überwiegend englumige Zellen gebildet. Auf diese Weise entstehen die im Querschnitt von Stämmen und Ästen erkennbaren Jahresringe. Zur Stammmitte hin verdicken und verholzen die Wände der Gefäßzellen zunehmend.

Im Zentrum des Stammes befindet sich das Mark, ein klassisches Speichergewebe, welches mit Hilfe sogenannter Markstrahlen mit dem Rindenbereich verbunden ist. Die Markstrahlen dienen dabei u.a. dem Gasaustausch.

Nach außen bildet das Kambium Siebzellen. Auch sie sind langgestreckt, allerdings nicht abgestorben, sondern aktiv. Ihre Querwände sind siebartig durchlöchert, weshalb sie auch als Siebröhren bezeichnet werden. In diesem Siebteil, dem sogenannten **Phloem**, werden Assimilate, d.h. die Transportzucker Saccharose und Sorbitol sowie Enzyme und Phytohormone, beispielsweise Auxine und Gibberelline, in umgekehrter Richtung von den Blättern zu den Früchten bzw. zur Wurzel (basipetal) transportiert. Das Phloem ist dabei außerordentlich flexibel: In den gleichen Siebröhrenzellen können zeitgleich unterschiedliche Stoffe in Gegenrichtung transportiert werden! Versorgen z.B. Blätter am Langtrieb eine wachsende Triebspitze, dann werden deren Assimilate zur Spitze transportiert. Entfernt man diese, dann fließen die Assimilate in wenigen Minuten nach unten zu anderen „sinks“, z.B. den Früchten. Im Winter kommt die Phloemaktivität in Ermangelung von Assimilaten weitgehend zur Ruhe, aber sie wird nicht vollständig eingestellt. Um die Leitbahnen vor Schäden durch Frost oder Austrocknung zu schützen, kann die Pflanze Callose in den Siebröhren an den Siebplatten ablagern, wodurch der Stofffluss vorübergehend oder teilweise blockiert wird. Lediglich die Siebröhren im Wurzelsystem, in dem die Reservekohlehydrate eingelagert wurden, sind auch im Winter weiterhin vollkommen intakt. Im Frühjahr wird von diesen Speichern ausgehend der Spross mit Kohlenhydraten versorgt, d.h. der Stofffluss im Phloem dreht sich bis etwa zur Blüte um. In diesem Zusammenhang entstehen wieder neue Phloemzellen. Unmittelbar nach der Blüte sind die Bäume dann wieder vollständig auf die Produktion frischer Assimilate angewiesen.

Das sich unmittelbar anschließende dünne **Rindengewebe (Bast)** schützt den Stamm vor äußeren Einflüssen wie Hitze, Kälte, Temperaturwechsel, Pilz- und Insektenbefall. Außerdem dient das Bastgewebe der Reservestoffspeicherung.

Den äußeren Abschluss der Sprossachse bildet ein mit Lentizellen versetztes **Korkgewebe**.

Bei Seitenverzweigungen verzweigen sich auch die Leitungsbahnen. Dadurch weist die Mittelachse oberhalb der Verzweigung einen geringeren Durchmesser auf als unterhalb der Verzweigung. Auf diese Weise verjüngt sich die Mittelachse, und zwar mit der Zahl der Seitenäste und mit deren Stärke.

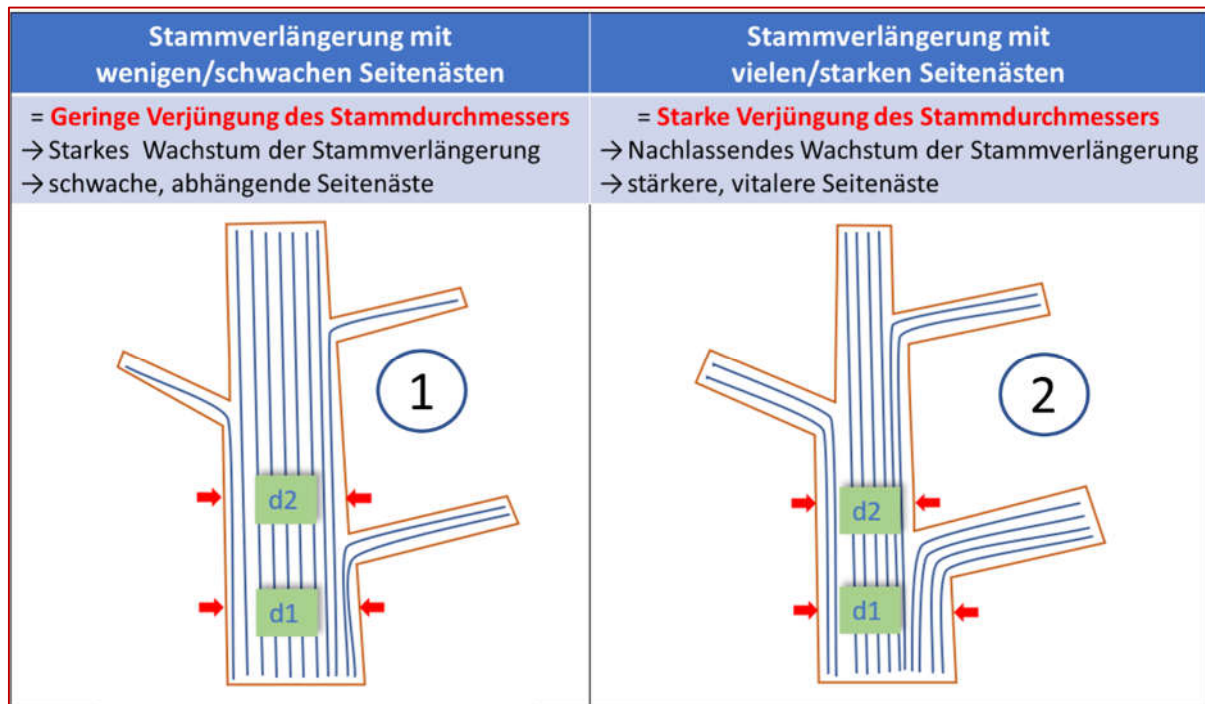


Abbildung 55 Einfluss der Seitenäste auf die Verjüngung der Mittelachse oberhalb der Verzweigung

In **Abbildung links** erkennen wir eine Mittelachse, von der lediglich **schwache Seitenäste** abgehen. Da nur wenige Leitbahnen in sie hineinführen, erhält auch das sich neu entwickelnde Xylemgewebe der Seitenäste nur schwache Cytokinin-Impulse aus der Wurzel. In den unteren Bereichen der Krone, wo sowieso eine geringe Wachsförderung herrscht, büßen die Seitenäste dadurch rasch an Vitalität ein. Die Basisäste sind nicht mehr in der Lage, die Mitte wirkungsvoll zu schwächen – ihr Durchmesser bleibt nahezu konstant. Gerade bei Birnen kann daraus rasch eine irreversible Schiefelage zwischen dem Wachstumspotential an der Basis und im Kopfbereich entstehen. Eine Fruchtholz-Erneuerung im Baum, besonders auch im Basalbereich setzt eine ausreichend starke Wachsförderung von geschnittenen Zapfen voraus. Diese ist in solchen Fällen oft nicht mehr gegeben.

Anders in **Abbildung rechts**: Hier entwickelten sich ausreichend **starke Seitenäste** an der Mittelachse. In diese verzweigt jeweils ein bedeutender Anteil der Leitbahnen. Der Durchmesser der Mitte nach der Verzweigung (d_2) ist wesentlich geringer als vorher (d_1). Sind mehrere solcher Seitenäste vorhanden, dann beobachten wir ein ständiges Abnehmen des Durchmessers der Mittelachse. Eine solche Konstellation bietet gute Voraussetzungen für eine ausreichende Wachsbberuhigung im Kronenbereich.

Mit einer guten Garnierung der Stammverlängerung mit Seitentrieben (jeder Seitenrieb ist ein Tritt auf die Wachstumsbremse) kann man daher sehr gut das Wachstum der oberen Baumkronen kontrollieren. Die modernen Schnittsysteme, der Klick- und Mathaschnitt, bauen auf diesem natürlichen Wachstumsmuster auf.

Bei Sorten, die schlecht verzweigen, sollte man daher von vorneherein auf gut garniertes Pflanzmaterial achten und in Problemfällen zu Sondermaßnahmen greifen, um die Verzweigung zu fördern. Dazu werden an Jungbäumen im Frühjahr des 2. Laubes die Kahlstellen oder schwachen Seitenästen gekerbt und/oder Cytokinine plus Gibberelline (Promalin) appliziert.

6.3.3 Die Sprossachse (Baumkrone)

Bei den Obstgehölzen besteht die **Sprossachse aus Stamm, Gerüstästen, Fruchtholz und diesjährigen Trieben**. Ihre Aufgabe sind Blätter, Neutriebe und Früchte auszubilden und die dafür erforderlichen Wasser-, Kohlehydrat- und Nährstoffmengen an die Bedarfsorte zu leiten, Reservestoffe zu speichern und in Bedarfszeiten zu mobilisieren. Während bei den klassischen Hochstämmen eine klare, regelrecht hierarchische Aufteilung der einzelnen Sprossachsenbestandteile (Stamm, Gerüstäste, Leitäste, Fruchtäste, usw.) üblich war, gehen heutzutage bei den modernen, schlanken, kompakten Baumformen alle oberirdischen Elemente mehr oder weniger ineinander über. Neben einem (oder mehreren) dünnen und kurzen Stamm/Stämmen bestehen sie aus einer einzigen fruchttragenden Zone, die im Folgenden als Baumkrone bezeichnet wird. Sie erstreckt sich bei der sogenannten schlanken Spindel aus ergonomischen Gründen vertikal über eine Höhe von 50 cm bis maximal 3,50 m und horizontal über eine Breite von circa 20 -130 cm.

Trotzdem sollte jeder, der sich um ein tieferes Verständnis unserer Bäume bemüht, nie außer Acht lassen, wo unsere Kulturpflanzen ihren Ursprung hatten. Unsere Apfelbäume stammen aus den Apfelwäldern des Kaukasus und Kasachstans, wo sie sich ähnlich wie unsere Waldbäume unter ihresgleichen behaupten mussten. Das hat ihnen ihre charakteristische Gestalt verliehen. Das geschulte Auge erkennt daher bereits auf weite Entfernung, ob es sich bei einem freistehenden alten Baum um einen Apfel- oder einen Birnenbaum handelt. Diese Gestalt und alles, was dahinter steckt ist ein Entwicklungsprogramm, das bestimmte Kronenbereiche in eine bestimmte „gewollte“ Form bringt. Alle Obstgehölze „erinnern“ sich immer noch, dass sie evolutionsgeschichtlich einmal Waldbäume waren und sich gegen andere durchsetzen mussten. Dazu gehört der den Obstbauern oft zur Verzweiflung bringende Drang der Bäume, schnell und steil nach oben zu wachsen, während er selbst bodennahe Produktion und waagerechte Äste bevorzugt. All diese nach oben gerichtete Vitalität ist Ausdruck des angeborenen, also genetischen „Drangs“ ans Licht und über den Nachbarn hinweg zu wachsen. Wer grösser ist, hat letztlich die bessere Chance Nachkommen zu haben.

Dieser „Drang“ wurde im modernen Apfel- und Birnenanbau mit Hilfe schwachwuchs-induzierender Unterlagen, reichtragender Sorten und moderner Schnitt- und Erziehungssysteme weitgehend „domestiziert“. Die schwachen Wurzelsysteme produzieren weitaus weniger Cytokinin, woraufhin sich das Sprosswachstum schneller beruhigt und generativ wird. Der regelmäßige hohe Ertrag sorgt wiederum für eine rasche Abregulierung des Wurzelwachstums. Der Obstbauer steuert im „Feintuning“ über den Schnitt, wo und wie stark die Sprossachse und damit die Wurzel wachsen soll. Im Bedarfsfall greift er zum Wurzelschnitt.

Trotzdem: Wenn wir genau auf unsere modernen Apfel- und Birnbäume schauen, können wir noch immer die archaischen Reaktionen auf Lichtmangel und Konkurrenz beobachten; nicht nur, aber vor allem in Anlagen unter Hagelnetzen. Wenn wir auch mittlerweile mit unseren Unterlagen schwache und eher strauchförmig wachsende Malus Unterlagen verwenden, tun wir gut daran, uns ständig daran zu erinnern, dass auch in unseren neuen Sorten immer noch die alte „Waldbaum-DNA“ steckt. Ansonsten wachsen die Bäume schneller als uns lieb ist über ihren vorgesehenen Standraum hinaus.



Abbildung 56 Apfelriese im Schweizer Kanton Thurgau

In den Abbildungen sehen wir zunächst einen wahren „Apfelriese“ auf Sämlingsunterlage mit Oeschberg-Krone (Höhenbegrenzung auf „Saftwaage“). Die „Apfelwald-DNA“ ist nicht zu verleugnen! Darunter ein sogenannter „Minitree“.



Abbildung 57 Der Gelber Metzger Paradies ist ein „Minitree“.

Da die Leistungsfähigkeit der Baumkrone auch im modernen Obstbau nach wie vor in engem Zusammenhang mit dem **Wachstumsfaktor Licht** steht, sollte man als Obstbauer nicht nur ein guter Land- und Pflanzenwirt sein, sondern auch ein guter „Lichtmanager“. Ob bei einem alten Streuobstbaum oder bei einem Bibaum®: Die Baumkrone, besser gesagt die Sprossachse, ist alles andere als eine wahllose Zusammenstellung verschiedener unabhängig voneinander funktionierender Bestandteile, vielmehr ein miteinander in Pflanzensprache kommunizierendes intelligentes System. Um die Funktionsweise näher kennenzulernen, betrachten wir uns im Folgenden seine einzelnen „Organe“ etwas näher.

Diese Abbildung zeigt uns das vorläufige Endergebnis der Evolution im Apfelanbau: Auf der



Abbildung 58 Evolution im Apfelanbau- Vorläufiger Stand

Schwachwuchs induzierenden Unterlage M.9 sind fruchtbare und regelmäßig tragende Sorten wie ‘Gala’ aufveredelt. Mit Hilfe moderner Schnittsysteme wie dem Klick-Schnitt und Erziehungsformen wie der Super-spindel oder dem Multileadersystem entstehen schmale Kronen mit kontrolliertem Wachstum und optimaler Belichtung in allen Kronenbereichen.

6.3.4 Architektur

Die Krone der Bäume sollte eine Architektur besitzen, die eine **optimale Lichtaufnahme** ermöglicht und einen Aufbau, der einen möglichst guten Lichtdurchlass zulässt. Aus den Arbeiten von WANGENMAKERS, die in Abbildung zusammengefasst sind, kann abgeleitet werden, dass ein optimaler Qualitätsertrag nur in den Baumregionen zu erwarten ist, die einer möglichst hohen photosynthetisch aktiven Strahlung ausgesetzt sind, also in der Peripherie der Bäume und nicht im Bauminnern.

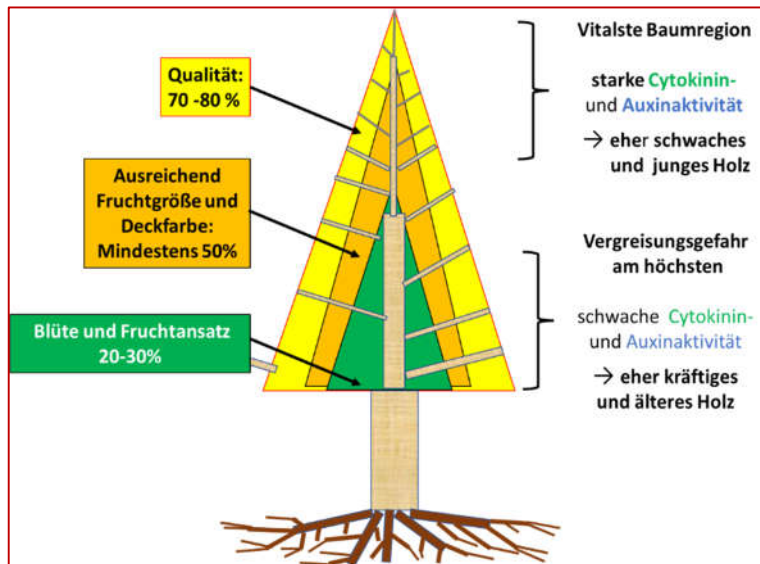


Abbildung 59 Erforderliche Lichtmengen für Qualitätsproduktion in % von Gesamtstrahlung (WANGENMAKERS P. 1995)

In der Abbildung sehen wir die notwendigen Lichtmengen in Prozent von der Gesamtstrahlung, die wir für Ertragsqualität, -quantität und -stabilität benötigen.

In den gut belichteten Bereichen des Baumes ist im Übrigen auch mit einer höheren Auxinproduktion zu rechnen und damit auch mit einer erhöhten Sinkwirkung für Assimilate, die den dort positionierten Früchten zugutekommt, aber auch dem

Austriebsverhalten der Knospen. Höhere Lichteinstrahlung fördert zudem den Abtransport von Auxin in die Wurzel, wodurch der Baum früher abgeregelt wird und dadurch das Wachstum gebremst wird. **Daher zeigen schlecht belichtete, dichte Bäume ein stärkeres vegetatives Wachstum.**

Für eine optimale Lichtaufnahme bietet eine schlanke, pyramidal aufgebaute Krone sehr gute Voraussetzungen. Sie kommt der natürlichen Wuchsform von Apfel- und Birnbäumen wohl am nächsten und stellt daher gewissermaßen eine naturnahe Kronenform dar. Dem dreidimensionalen Aufbau sind allerdings auch Bereiche geschuldet, die weniger gut belichtet sind, und zwar in Abhängigkeit von der Ausladung der Krone. Daher bevorzugt man heute schlanke und eher etwas höhere Spindelformen, bei denen das Verhältnis von gut belichteter Peripherie zu dem weniger gut belichteten Bauminneren so günstig wie möglich ist. Die breitere stärkere Basis der Bäume dient dabei nicht nur zur besseren Belichtung der unteren Astpartien, sondern soll mithelfen deren Vitalität zu erhalten. Auf diese Weise soll Vergreisungstendenzen vorgebeugt werden, die naturgemäß in diesem Bereich ihren Anfang nehmen. Die Pyramide hat sich als Kronenform in den zurückliegenden Jahrzehnten bei verschiedenen Baumobstarten bewährt.

Hinsichtlich der Mechanisierungsmöglichkeiten (maschineller Schnitt – Entblätterung - Ernte) ist sie nicht ganz ideal. Diesbezüglich geht der Trend eindeutig zu zweidimensionalen Kronenformen, für die sie nicht gerade ideale Voraussetzungen liefert. Diese neuen Kronenformen werden später ausgiebig erörtert.

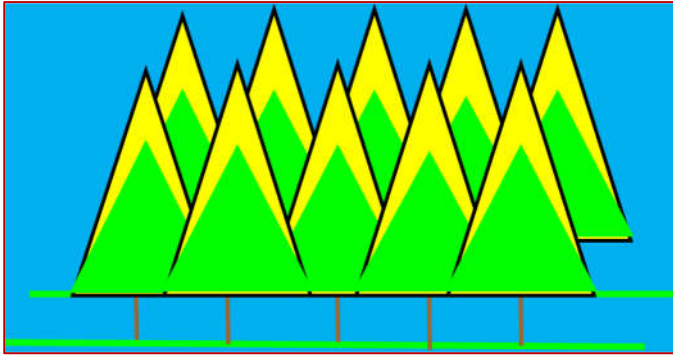


Abbildung 60 Belichtung bei pyramidalem Baumaufbau (BAAB G., LAFER G. 2005)

Die Abbildung zeigt die Belichtung bei pyramidalem Baumaufbau:

- ✓ **Stärken:** große gut belichtete Oberfläche, wenig Kopfwachstum
- ✓ **Schwächen:** Schattenbereiche im Baum, vor allem an der Basis

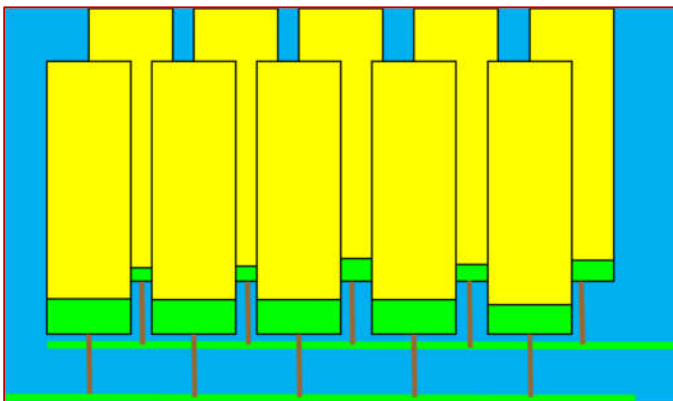


Abbildung 61 Belichtung bei 2-dimensionalem Baumaufbau (BAAB G., LAFER. 2005)

Die Abbildung zeigt die Belichtung bei 2-dimensionalem Baumaufbau:

- ✓ **Stärken:** sehr große, gut belichtete Oberfläche, Mechanisierung möglich
- ✓ **Schwächen:** Kopfwachstum wegen fehlender Basis. daher: Multileader!

Der optimale Lichtdurchlass durch die Krone wird aber nicht nur von ihrer eigenen Konstruktion beeinflusst. Zur optimalen Lichtausbeute der gesamten Anlage gehört unbedingt das passende Arrangement der Bäume. Dazu zählt richtige Reihenausrichtung (Nord-Süd) und ein angemessenes Verhältnis von Kronenhöhe zum Reihenabstand (1:1). Dazu gehören aber auch ebenso konsequente Schnitteingriffe, die genügend Lichtkanäle und Lichtfenster schaffen.

6.3.5 Knospen

Knospen sind Triebe, Blüten und Blätter in der Ruhephase. In ihnen sind bereits alle Bestandteile des späteren Pflanzenorgans ausdifferenziert vorhanden. Je nach Bildungsort unterscheidet man Terminalknospen oder Lateralknospen.



Abbildung 62 40 cm lange Langtriebe

In dieser Abbildung erkennen wir Langtriebe (Länge 40 cm):

- ✓ Links: ohne Terminalknospe und mit lateralen Blattknospen
- ✓ Rechts: mit terminaler Blattknospe und mit lateralen Blattknospen

Blattknospen werden im belaubten Zustand als Nodien („Augen“) bezeichnet und der Zwischenraum als Internodium.



Abbildung 63 Endständige Blütenknospen an Fruchtspiessen

Die Abbildung zeigt kurze Fruchtspieße, die mit einer Blütenknospe abschließen.



Abbildung 64 Endständige Blütenknospe und laterale Blattknospen an Kurztrieb

Die Abbildung zeigt einen Kurztrieb, der mit einer Blütenknospe abgeschlossen hat.

Neben bereits „fertigen“ Knospen gibt es bei Kernobst auch „schlafende“ Knospen bzw. „**schlafende Augen**“. Dabei handelt es sich um undifferenzierte Meristeme. Schlafende Augen fungieren als Reserveknospen. Sie können über mehrere Jahre untätig, aber lebensfähig sein und treiben nur bei besonderer Veranlassung, beispielsweise bei Schnitteingriffen, Verletzungen, Frostschäden aus. Jeder Blattansatz, jeder Astring und Fruchtkuchen enthalten schlafende Augen. Bei gezielten Schnitteingriffen auf Zapfen, Sattel, in Astringe und

Fruchtkuchen (Abbildungen unten) treiben sie zeitverzögert aus. Daher entwickeln sich dort häufig nur Kurztriebe oder kurze Spieße.



Abbildung 65 Austrieb aus schlafenden Augen nach Sattelschnitt

Blütenknospen sind bei Kernobst immer „gemischte Knospen“. Das heißt aus richtigen Blütenknospen entwickeln sich sowohl **Blütenorgane wie auch Blätter** (Rosettenblätter). Meist unterscheiden sie sich in Umfang und Durchmesser recht gut von Blattknospen. Aber manchmal trägt auch der Schein und vermeintliche Blütenknospen entpuppen sich Wahrheit als Blattknospen. Im Zweifelsfall gibt eine Blütenknospenuntersuchung darüber Aufschluss.



Abbildung 66 Austrieb schlafender Augen an Astring (Übergang verschiedener Holzaltersstufen) nach Anschnitt

6.3.6 Sprossklassen (Triebkategorien)

Die Länge, Dicke und Position der einjährigen Triebe entscheiden über ihren „Charakter“. Dazu passend haben sich unterschiedliche Namensgebungen etabliert.

6.3.6.1 Kurztriebe

Als Kurztriebe (englisch: „brindels“) werden bei Apfel und Birne einjährige Triebe zwischen 5,0 und 20 cm Länge genannt, an deren Ende sich in der Regel eine Blütenknospe befindet. Da sie ein hohes Fruchtansatzvermögen besitzen und wenig beschatten zählen sie zum sichersten und hochwertigsten Fruchtholz (BAAB, G. CASAR, D. 2014).

6.3.6.2 Fruchtspieße

Fruchtspieße (englisch: „spurs“) nennt man einjährige Kurztriebe von 0,5 bis 5 cm Länge, an deren Ende in der Regel ebenfalls eine Blütenknospe entsteht. Auch Fruchtspieße haben eine sehr hohe Fruchtungstendenz und zählen daher zum wertvollsten Fruchtholz, besonders die 3 bis 5 cm langen.

6.3.6.3 Langtriebe

Laut internationaler Terminologie zählen dazu bei Apfel und Birne einjährige Triebe mit einer Länge von mehr als 20 cm Länge, da deren terminale Blühneigung und das Fruchtansatzvermögen von dort an linear nachlässt.

- Aber die Grenze von 20 cm ist dabei eigentlich viel zu scharf gezogen. Bei den meisten modernen, ertragreichen diploiden Sorten (‘Gala’, ‘Braeburn’, ‘Golden’ usw.) liegt sie zwischen 20 und 30 cm und bei den triploiden Sorten (‘Jonagold’, ‘Boskoop’, ‘Ligol’ usw.) und Birnen liegt sie zwischen 30 und 40 cm Länge.
- Insofern stellen auch kurze Langtriebe (20 bis maximal 40 cm Länge) wertvolles Fruchtholz dar. Vor allem in der Jugendphase der Bäume helfen sie den Standraum zügig auszufüllen. Bei konventionellen Spindeln im Vollertrag bilden sie die Grundlage für die zweijährigen Fruchtholzabschnitte. Bei den meisten Birnensorten ist diese Holzaltersstufe besonders ertragsrelevant.
- Einjährige Zuwächse in dieser Länge sind außerdem wichtige Indikatoren für ausreichend Vitalität. Kurze Langtriebe lassen sich relativ einfach mit Hilfe des Klick- oder Mathaschnittes zu kürzerem Fruchtholz umgestalten. Hingegen ist es sehr viel schwieriger, vergreisende Bäume zu revitalisieren.
- Nachteilig an Langtrieben ist deren nachlassende Blühneigung und dass mit zunehmender Trieb länge die Beschattung zunimmt. Die terminalen und lateralen Neuaustriebe verschärfen diese Situation. Darüber hinaus neigen Langtriebe bei terminalem Fruchtansatz auch zum Abhängen, was zwangsläufig zum Verlust an Vitalität und Qualität führt.

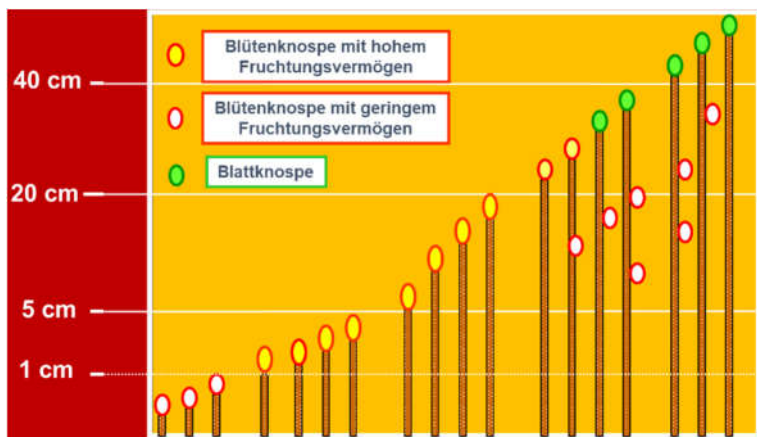


Abbildung 67 Optimaler Triebblängenbereich für die Anlage von Blütenknospen (FEUCHT 1982)

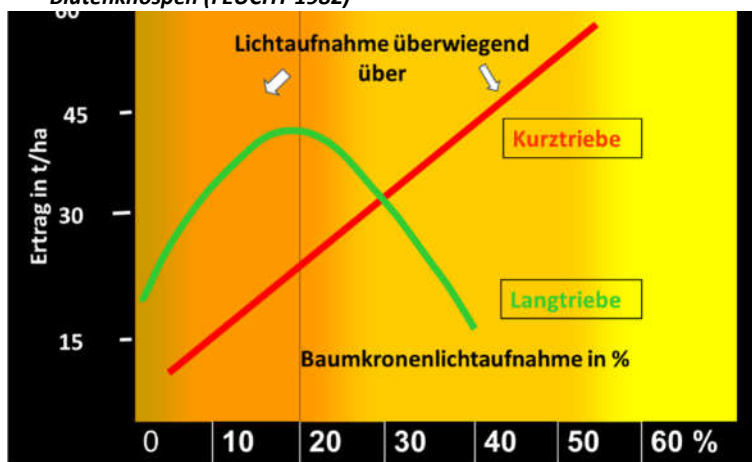


Abbildung 68 Beziehung zwischen Apfeltrug und saisonaler Lichtaufnahme bei Kurz- und Langtrieben (WÜNSCHE und LAKSO 2000)

6.3.6.4 Fruchtspieße und Kurztriebe versus Langtriebe

Eine überwiegend aus Fruchtspießen und Kurztrieben aufgebaute Krone ermöglicht eine erheblich bessere Lichtdurchdringung als eine vorwiegend mit Langtrieben aufgebaute Krone.

Auf diese Weise verschiebt sich das Verhältnis von Schattenblättern zu sonnenexponierten Blättern, woraufhin sich das Ertragspotential der Krone nachhaltig verbessert. Darüber hinaus beanspruchen Fruchtspieße und Kurztriebe nur eine kurze Zeit des Kohlenhydratverbrauchs, bevor ihre Blätter benachbarten Früchten als Kohlenhydratquelle dienen. Langtriebe verhalten sich demgegenüber sehr viel eigenütziger. Sie verbrauchen ihre Assimilate, solange sie wachsen, ausschließlich für sich selbst und fangen erst nach Triebabschluss damit an, die benachbarten Früchte mitzuversorgen.

6.3.6.5 Wasserschosser

Hierunter subsumiert man sehr lange und oft dicke, häufig steil inserierte einjährige Triebe, die aufgrund von starken Schnitteingriffen oder einer dichten, lichtarmen Krone entstehen, längere Internodien (Knospenabstände) aufweisen und als Fruchtholz ungeeignet sind. Das Gewebe ist „juvenil“, was bedeutet, dass, wenn man aus diesem Holz Veredlungsmaterial gewinnen würde, die daraus entstehenden Bäume über mehrere Anfangsjahre keine Blütenknospen bilden würden.

6.3.6.6 Leittrieb

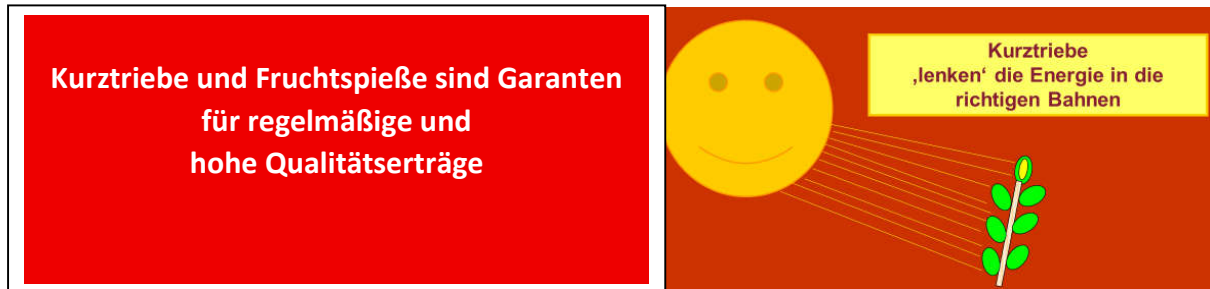
Als Leittrieb wird die einjährige Verlängerung des Stammes oder der seitlicher Fruchstäbe bezeichnet.

6.3.6.7 Afterleittrieb

Als solcher wird der auf den Leittrieb folgende Konkurrenz- oder Ersatztrieb deklariert, der sich in der Regel durch einen für den Baufbau ungünstigen, spitzwinkligen Astabgangswinkel auszeichnet. Oft gehen aus ihnen Schlitzäste hervor.

6.3.6.8 Vorzeitige Triebe

Hierbei handelt es sich um Seitentriebe, die noch im Frühsommer an diesjährigen Trieben entstehen, meist, nachdem die apikale Dominanz der Endknospe erlischt (beispielsweise durch Pinzieren), oder aufgrund starker Wuchsförderung aus der Wurzel (Cytokinin) nicht ausreicht bzw. aufgehoben wird durch einen künstlichen Cytokinin-Schub nach 6-BA - Applikation.



6.3.7 Fruchtholz beim Apfel

6.3.7.1 Alter

Neben den nicht fruchttragenden diesjährigen Trieben sollte die Baumkrone ausschließlich aus fruchttragendem Holz bestehen. Da die Blühwilligkeit mit zunehmendem Holzalter abnimmt, sollte das Fruchtholz, welches nach dem Schnitt im Baum verbleibt

- jung und vital sein,
- wenn möglich nicht abhängen, sondern
- am besten leicht schräg bis maximal waagrecht inseriert sein, so dass es bei Behang möglichst stabil bleibt und nicht unter die Waagerechte abkippt.

Wenn es um sicheren Fruchtansatz und Fruchtqualität geht, spielt deswegen Alter und Länge des Fruchtholzes eine zentrale Rolle. Blütenknospen bei Apfel und Birne sitzen grundsätzlich am einjährigen Holz, und zwar überwiegend an den Terminalen von Fruchtspeien (0,5 - 5 cm Länge) und Kurztrieben (5,0 - 20 cm Länge).

6.3.7.2 Position

Diese Fruchtspeie und Kurztriebe befinden sich an der mehrjährigen Stammverlängerung und an mehrjährigen Fruchtästen.

Die fruchtbarsten Triebe (Speie, Kurztriebe, kurze Langtriebe), die von der Stammverlängerung abgehen, weisen meist eine Länge auf von:

- 3,0 - 30 cm bei Apfel- Jungbäumen
- 3,0 - 20 cm bei Vollertragsbäumen

An diesem vitalen Fruchtholz ergibt sich in der Regel ein günstiges Blatt-Frucht-Verhältnis. Es ist ausreichend, um die Kohlenhydratversorgung des Fruchtansatzes sicherzustellen und aus dem Blütenstand (später Fruchtkuchen) einen kurzen Neutrieb auszulösen. Dieser einjährige Zuwachs verlängert den Astabschnitt um circa 30-50 % und schließt gewöhnlich mit einer Blütenknospe (englisch: „bourse“) ab. Aus diesem meist kompakteren Kurztrieb oder Fruchtspeie entsteht im darauffolgenden Jahr in der Regel ein Weiterer („bourse over

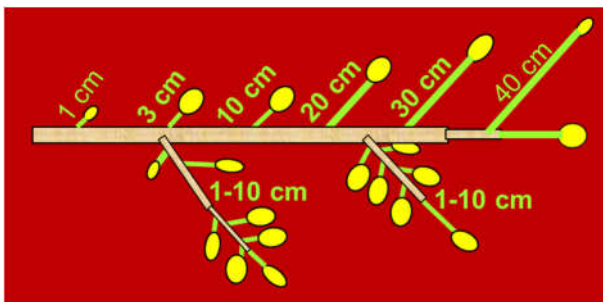
bourse“). Mit den Jahren werden die Zuwächse immer kürzer,-die Äste hängen zusehends ab und vergreisen.



Abbildung 69 Wiederholter Neutrieb aus Blütenstand/Fruchtkuchen („bourse over bourse“)

Betrachtet man das mehrjährige Fruchtholz, befinden sich die meisten dieser fruchtbaren Fruchtspieße (3-5 cm lang) und Kurztriebe (5-20 cm lang)

- am zweijährigen Holz (Abbildung 73 a)
 - ✓ Lateral
überwiegend an 1-10 cm langen Fruchtspießen und Kurztrieben
 - ✓ Terminal am einjährigen Zuwachs
- teilweise noch am dreijährigen Holz
- nur noch vereinzelt am vierjährigen Holz



Hier (b) ein 3-jähriger Astabschnitt bei Apfel. Man erkennt:

- Blütenknospen an lateral inserierten Fruchtspießen und Kurztrieben
- Blütenknospen am 1-jährigen terminalen Zuwachs
- Blattknospen an der Terminale von Langtrieben (> 30 cm)



Abbildung 70
a, 2-jähriger Astabschnitt bei Apfel (schematisch)
b, 3-jähriger Astabschnitt bei Apfel

Bei kürzeren Fruchtspießen (<3 cm, < 1,0 cm, < 0,5 cm) nimmt die Blühwilligkeit und das Fruchtansatzvermögen linear mit der Länge ab, da es dort meist an der erforderlichen Blattmasse fehlt, um den Fruchtansatz ausreichend gut ernähren zu können und gleichzeitig einen vitalen Neutrieb auszulösen. Aus einer Aufeinanderfolge von solch kurzen Fruchtspießen entsteht daher mit der Zeit das blühunsichere, unproduktive Quirlholz (englisch: 'chicken legs'). Die Abbildung zeigt die Degeneration eines kurzen Fruchtspießes. Aus dem jährlich immer kürzer werdenden Zuwachs an diesem Fruchtspieß („bourse over bourse“) entsteht mit den Jahren **unfruchtbares Quirlholz**. Dieser Prozess erfolgt in Abhängigkeit von der Sortenneigung ('Braeburn'!), dem Baumalter, dem Wurzelwachstum (Boden, Unterlage, Düngung) sowie der Schnittintensität.



Abbildung 71 Quirlholz: Produkt immer kürzerer Zuwächse
Aufgrund des ungünstigen Blatt/Frucht-Verhältnisses Garant für schlechte Fruchtqualität und Alternanz



Abbildung 72 3-jähriger Fruchtast von 'Morgana®'

Die meisten Blütenanlagen an einjährigen Langtrieben sind lateral inseriert und wurden im Vorjahr erst sehr spät angelegt. Daher gehen sie verspätet auf (roter Pfeil in der Abbildung), meist erst mehrere Tage nach den Blüten am mehrjährigen Holz, die sich dort an Fruchtspiessen und Kurztrieben befinden. Aus ihnen entwickeln sich daher kleinere Früchte. Sie sind bei Jungbäumen

willkommen und stellen in Ertragsanlagen bei Blütenfrost wichtige Ertragsreserven dar. Bei normalen Blühverläufen werden sie rigoros ausgedünnt.

Quirlholz, dünne Fruchtspeie, älteres hängendes Fruchtholz (englisch: „droopy wood“) und laterale Blüten am einjährigen Holz sind Garanten für schlechte Fruchtqualität und Alternanz.

6.3.7.3 Maßstab für optimale Baumvitalität

Die einjährigen Kurztriebe, welche direkt von der Stammverlängerung abgehen, sind Maßstab für die Vitalität eines Baumes.

Bei „normalen“ Spindelbäumen, die auf 0,8 bis 1,0 m Abstand von Baum zu Baum gepflanzt werden, beträgt der wünschenswerte **durchschnittliche Jahreszuwachs**:

- Bei Apfel- Jungbäumen: 30 - 40 cm
- Bei Apfel im Vollertrag: 20 - 30 cm
- Bei Birnen- Jungbäumen: 30 - 60 cm
- Bei Birnen im Vollertrag: 20 - 50 cm

Diese Durchschnittswerte beinhalten sowohl kürzere wie längere Triebe die je nach Baumabstand, Alter der Bäume und Sorte unterschiedlich präferiert werden. Bei modernen Multileadersystemen werden aus belichtungstechnischen Gründen kompakte einjährige Zuwächse bevorzugt, die nicht wesentlich über die oben angeführten Optimalwerte hinausgehen sollten. Eine klassische Apfel- und Birnenspindel hingegen benötigt an der Stammverlängerung mehrere kräftige, längere einjährige Triebe. Sie stellen die Fruchttäste für die kommenden zwei Jahre dar und damit die Grundlage für Mengen- und Qualitätsertrag (Abbildung nächste Seite). Darüber hinaus ermöglichen sie das „Herausrotieren“ von älterem, unfruchtbarem Fruchtholz.

Gehen die durchschnittliche Jahreszuwächse deutlich über diese Optimalbereiche hinaus, dann wirkt sich das früher oder später negativ auf den finalen Fruchtansatz und auf die Fruchtqualitäten aus. Sie weisen auf eine entsprechend starke Wurzelentwicklung hin, die voraussichtlich nach der Blüte einen starken Austrieb in Gang setzt. Dieser Austriebimpuls verändert die Auxinhierarchie zuungunsten der jungen Früchte und führt daher zwangsläufig zu einem stärkeren Junifall. Ungünstige Begleitumstände wie etwa eine schwache Blüte oder

ungünstiges Blühwetter können dann zu einem Unterbehang führen. Wenn solche Entwicklungen in Aussicht stehen, gilt es die Bäume rechtzeitig auf ein geringeres Wuchslevel herunterzufahren, beispielsweise Hilfe von Wurzelschnitt oder/und Prohexadion-Calcium. Diese Vorkehrungen sollten vor allem für ertragsinstabile Sorten getroffen werden. Darunter fallen nicht nur Apfelsorten, wie etwa 'Elstar' oder 'Fuji', sondern auch und vor allem anfällige Birnensorten wie beispielsweise Novembra[®]/ Xenia[®] oder 'Doyenne de Comice'.

Andererseits setzen ausreichend hohe Qualitätserträge unbedingt eine **hinreichende Baumvitalität** voraus. „Abregulierte Holzgestelle“ sind dafür vollkommen ungeeignet. Dieser Zusammenhang gilt sowohl für Apfel wie auch für Birnen und er ist bei der derzeit zunehmenden Nachbauproblematik von besonderer Relevanz. Die unten stehenden Abbildungen belegen dies Kausalität sehr eindrucksvoll. Sie zeigen Bäume der Sorte 'Alexander Lucas' mit unterschiedlichem Wachstumsniveau. Es ist unschwer erkennbar, welche gravierenden Auswirkungen die nachlassende Baumvitalität auf die Ertragsleistung hat. Für eine ausreichende Ertragsentwicklung ist in Birnenertragsanlagen mit normaler Spindelerziehung ein Jahreszuwachs von durchschnittlich 20-50 cm erforderlich. Nur dadurch wird die Entwicklung von genügend zweijährigem Fruchtholz sichergestellt.



Abbildung 73 Vergreiste Kronenpartie 6-jähriger Bäume von 'Alexander Lucas' - niedriges Ertragspotential



Abbildung 74 Vitale Kronenpartie 6-jähriger Bäume von 'Alexander Lucas' - hohes Ertragspotential

6.3.8 Fruchtholz bei Birnen

Der „Bauplan“ von Birnbäumen ähnelt in vielem dem des Apfelbaumes. Deshalb verteilen sich auch die Blüten auf die gleichen Sprossgruppen. Birnen blühen und fruchten demzufolge überwiegend an der Terminale von:

- Kurztrieben („brindels“) und von kurzen Langtrieben
- Fruchtspießen („spurs“).

Fruchtspieße (1,0- 5 cm) befinden sich lateral am mehrjährigen Holz). Bei Birnen ist vor allem das zweijährige Holz mit Fruchtspießen ausgestattet und nimmt deshalb bei vielen Sorten eine herausragende Rolle im Ertragsverhalten ein.

Kurztriebe (5-20 cm) und kurze Langtriebe (20-30 cm) entwickeln sich an der Stammverlängerung wie auch am mehrjährigen Seitenholz. Sie repräsentieren den jährlichen einjährigen Zuwachs, der gerade bei der herkömmlichen **Spindelerziehung** ausreichend vital sein sollte. Bei dieser Erziehungsmethode sind an der Stammverlängerung **Langtriebe von 30 bis 50 cm** Länge zur Fruchtholzerneuerung sehr willkommen. Mit dem Gewicht der endständigen Früchte hängen sich fruchttragende Langtriebe, wenn sie nicht steil inseriert sind, tief durch.

Mit zunehmendem Alter der Bäume verzichtet man daher gerne auf diese Früchte und kürzt die Terminale im Verlauf des Winterschnittes ein. Vor möglichen Ertragsausfalljahren sollte

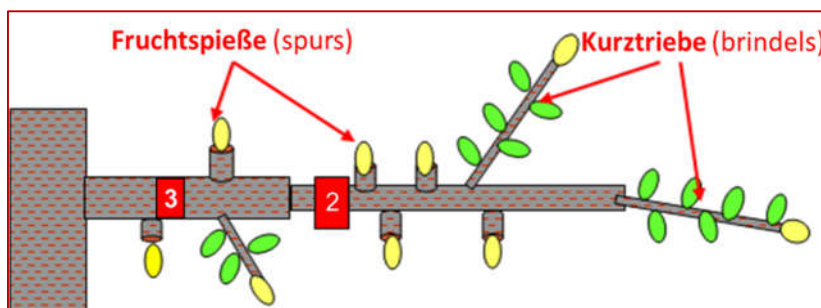


Abbildung 75 Blüten- und Fruchtpositionen bei Birnen

man aber besser das Einkürzen unterlassen. Zur Garnierung der Seitenäste einer Spindel sind neben den Fruchtspießen die klassischen Kurztriebe und kurze Langtriebe (soweit sie seitlich abgehen) wünschenswerter.



Abbildung 76 'Celina' im 2. Laub: Fruchtspieße (spurs) am zweijährigen Holz



Abbildung 77 'Condo' - Fruchtspieße (Spurs) am dreijährigen Holz

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Birnen, ähnlich wie Äpfel, sowohl am einjährigen Holz fruchten (Kurz- und Langtriebe) wie auch am zwei-, drei-, und vierjährigen Holz und dort bevorzugt an Fruchtspießen. Das **Eigentümliche bei Birnen** ist jedoch, dass die **Verteilung des Fruchtansatzes**:

1. nicht bei allen Sorten gleich, sondern ganz unterschiedlich ist. SANSAVINI und MUSSACHI konnten 2002 in ihrem Fruchtastmodell bei Birnen 5 verschiedene Sortengruppen identifizieren (SANSAVINI et al. 2002).
2. sich mit zunehmendem Alter der Bäume verändert. Beispielsweise befindet sich in der Jugendphase der größte Teil des Fruchtansatzes an einjährigem Holz an Kurz- und Langtrieben. Im darauffolgenden Entwicklungsabschnitt der Bäume nehmen hinsichtlich



Abbildung 78 'Alexander Lucas': Fruchtspieße (spurs) und Kurztriebe (brindels) am zweijährigen Holz

des Ertragsverhaltens die Fruchtspieße am mehrjährigen Holz, auf Kosten der Ertragsbildung an den Kurztrieben, eine immer dominantere Rolle ein. An alten Bäumen etabliert sich ein Großteil des Fruchtertrags an Fruchtspießen. Bei nachlassender Vitalität degenerieren diese an älteren Astabschnitten zu unproduktivem Quirlholz.

Fruchtansatz am/an Sorte	% am einjährigem Holz	% am zweijährigen Holz	% am dreijährigen Holz	% am vierjährigen Holz
	Kurztrieben	Fruchtspießen	Fruchtspießen	Fruchtspießen
Xenia ^R	35	29	32	4
'Alexander Lucas'	33	40	14	13
'Verdi'	17	26	43	14
'Conference'	14	36	36	14
'Thimo'	10	67	18	5
'Abate Fetel'	14	81	2	3
'Williams'	13	58	29	
'Condo'	3	48	35	14
'Concorde'	7	76	12	5
'Doyenne de Comice'	5	71	24	

Abbildung 79 Fruchtansatz an einjährigem Holz in Form von Kurztrieben und am mehrjährigen Holz in Form von Fruchtspießen bei verschiedenen Sorten im 7. Standjahr (SANSAVINI et al. 2002)

Analog zu den Kriterien, die von SANSAVINI und MUSSACHI zur Gruppierung der Sorten herangezogen wurden, wurden am DLR Rheinpfalz die in Abbildung 79 aufgeführten Sorten in folgende vier Sortengruppen eingeordnet:

Sortengruppe 1 ('Alexander Lucas'-Gruppe)

Der Ertrag stellt sich bis ins hohe Alter gleichmäßig verteilt am einjährigen, zweijährigen und dreijährigen (z. T. auch vierjährigen) Holz ein, beispielsweise bei den Sorten Xenia®/-'Novobriskaja', 'Alexander Lucas' und nach unseren Beobachtungen auch bei 'Williams'. Das Fruchtansatzverhalten solcher Sorten ähnelt dem von Apfelbäumen. Insofern können Bäume dieser Sortengruppe ohne große gedankliche Umstellung wie Apfelbäume geschnitten werden.

Bei dieser Sortengruppe besteht allerdings immer die Gefahr, dass eine hohe Blühintensität am einjährigen Holz in Verbindung mit einer hohen Blühintensität am zweijährigen Holz die Alternanzgefahr drastisch erhöht. Daher sollten vor Vollertragsjahren Schnitt und Düngung intensiviert werden, um eine „Rundumerneuerung“ mit vitalem, einjährigem Holz sicherzustellen und um Ausdünnmaßnahmen und den Junifall zu unterstützen.

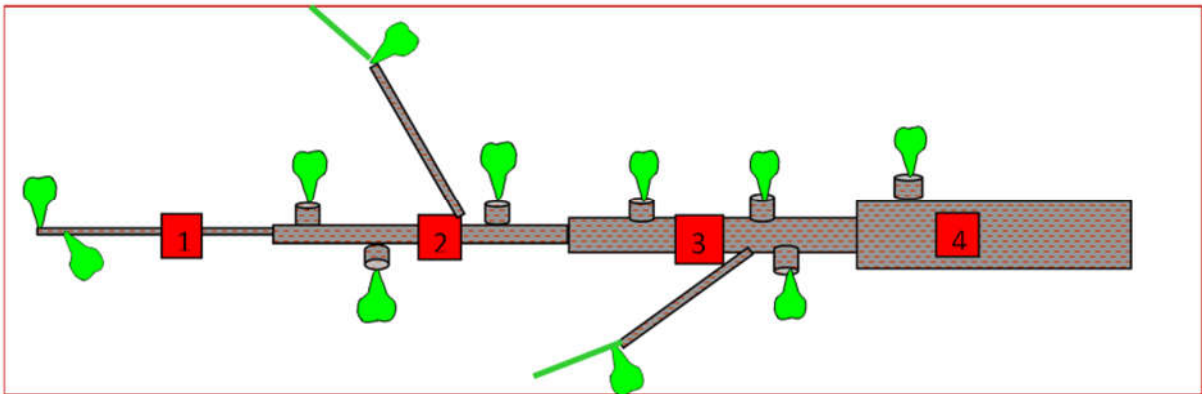


Abbildung 80 Fruchtungsverhalten der Sortengruppe 1 (Xenia®/'Novobriskaja')

Sortenruepe 2: ('Abate Fetel' Gruppe)

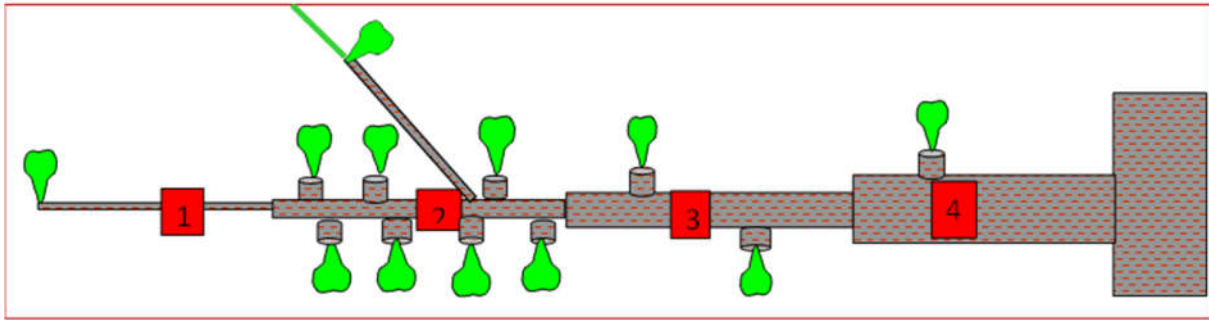


Abbildung 81 Fruchtansatzverhalten der Sortenruepe 2, z.B. 'Concorde'

Bei der zweiten Sortenruepe verlagert sich das Ertragsverhalten mit zunehmendem Alter der Bäume (> 4. Standjahr) überwiegend auf das **zweijährige Holz**. Sowohl das einjährige wie auch das drei- und vierjährige Fruchtholz spielen eine untergeordnete Rolle.

Zu dieser Gruppe zählen beispielsweise die Sorten 'Abate Fetel', 'Concorde', 'Santa Maria', 'Doyenne du Comice', 'Cepuna'/Migo®, 'Thimo' und 'Clapp's Liebling'. Die Beschränkung der Ertragszone und der Blühperiode auf (überwiegend) einen Holzaltersabschnitt führt häufig zu Ertragsproblemen. In Jahren, in denen die Blüten durch Frost oder Kälte geschädigt oder dezimiert werden, fehlt ein-



Abbildung 82 'Abate Fetel' - Fruchtertrag fast ausschließlich am 2-jährigen Holz

fach der Puffer am ein- und mehrjährigen Holz. Bei unsachgemäßem Schnitt ist möglicherweise nicht genügend zweijähriges Holz vorhanden. Beim Schnitt von Bäumen dieser Sortenruepe sollte daher die kontinuierliche und konsequente Fruchtholzerneuerung (1-2-3 Schnitt) im Vordergrund stehen. Ausreichend viele und lange zweijährige Astzonen setzen ausreichend vitale Bäume voraus (Abbildung).

Wegen der eingeschränkten Blühperiode sollte darüber hinaus ein hoher Anteil an Befruchtern und genügend Bestäuber (alternativ der Einsatz von Gibberellinen) zur Verfügung stehen.

Bei Sorten, die fast ausschließlich am 2-jährigen Holz fruchten, muss eine ständige Fruchtholzrotation gewährleistet sein, weil nur so regelmäßige Erträge zu erzielen sind.

Sortengruppe 3 ('Conference'-Gruppe)

Bei den Sorten, die der dritten Gruppe zugeordnet wurden, verlagert sich der Fruchtansatz vom Jugendstadium bis zum Vollertragsstadium sukzessive (aber nicht vollends) vom einjährigen Holz auf das zwei- drei und vierjährige Holz.



Abbildung 83 'Conference' im Vierast-System (Mikado) an 7-jährigen Achsen blüht und fruchtet an Fruchtspießen und Quirlholz



Abbildung 84 'Conference' als junge Spindel im 3. Laub. Sie blüht an Kurztrieben und Fruchtspießen



Abbildung 85 Fruchtungsverhalten bei der Sorte 'CH201' /Fred® die ebenfalls zur Sortengruppe 3 zählt

Im Gegensatz zur Sortengruppe 2 weisen die Sorten aus Gruppe 3 aber immer noch einen erklecklich hohen Fruchtansatz am einjährigen Holz auf, und zwar an den Terminalen von Kurz- und Langtrieben. Dort können durchaus auch mehrere Früchte ansetzen, es sei denn die Triebe werden im Winter eingekürzt. Dieser „Fruchtbarkeitspuffer“ kann in Alteranz Jahren einen wichtigen Beitrag zur Ertragsstabilität leisten. Durch gezielte Schnitteingriffe und Düngemaßnahmen kann bei einigen Sorten die Fruchtbarkeit am einjährigen Holz konserviert werden. Damit unterscheidet sich Sortengruppe 3 wiederum von Gruppe 4.

Zu Sortengruppe 3 zählen u. a. die Sorten, 'Conference', 'Verdi', 'CH201' /Fred®, 'Celi-na' /QTee®, 'Condo' und 'Gellerts Butterbirne'. Der mehrjährige Fruchtholzbereich spielt aus Lichtgründen bei den modernen Vierasthecken eine wichtige Rolle. 'Conference'-Anlagen, die in dieser „Mikadoform“ erzogen wurden, tragen vornehmlich am Quirlholz, welches allerdings von Zeit zu Zeit ersetzt werden sollte.

Sortengruppe 4 ('Passe Crassane' –Gruppe)

Die Sorte 'Passe Crassane' hat zwar wegen ihrer sehr hohen Feuerbrandanfälligkeit vollends an Bedeutung verloren, trotzdem besitzt sie ein sehr charakteristisches Fruchtansatzverhalten, was sie von anderen Sorten deutlich unterscheidet. Zuerst einmal ist sie ein Spurtyp, die anfangs zwar sehr stark auf einjähriges Holz angewiesen ist (90%) später jedoch zu 65-75% überwiegend an Fruchtspießen des mehrjährigen Holzes trägt.

An jungen Fruchttästen sieht man gleichzeitig eine vegetative (Wachstum) und generative Entwicklung (Fruchtbildung). Bei der Sorte 'Passe Crassane' kann, im Gegensatz zu allen anderen Sorten, der Fruchtansatz durch den Umfang der Schnitteingriffe deutlich beeinflusst werden.

6.3.8.1 Einfluss des **Holzalters** auf Ertragsverhalten und Qualität

An den verschiedenen Holzaltersstufen bilden sich bekanntermaßen unterschiedliche Quantitäten und Qualitäten, was in engem Zusammenhang mit dem vegetativen Zustand und dem Blatt-Frucht-Verhältnis steht:

- **Am einjährigen Holz** entwickeln sich bei Birnen meist wenige, aber dafür große Früchte. Das ist bei Sorten mit geringen Fruchtgrößen (z.B. 'Williams') vorteilhaft, aber bei großfruchtigen Sorten wie Xenia[®]/'Novobriskaja' oder 'Alexander Lucas' eher negativ. Eine reiche Blüte am einjährigen Holz beeinträchtigt zudem die Bildung von fruchtbarem, mit Blütenknospen vollbesetztem zweijährigen Holz im darauffolgenden Jahr.
- Der Fruchtansatz an den Fruchtspießen des **zweijährigen Holzes** (Anzahl Früchte /Fruchtspieß) ist demgegenüber sicherer. Die Fruchtqualitäten sind gut und gleichmäßig. Das zweijährige Holz ist deshalb das wertvollste Fruchtholz. Um bei Problemsorten den Fruchtansatz zu fördern, sollte ein Teil dieses Holzes um ca. 50 % bzw. auf ca. 6 -10 Blütenknospen eingekürzt werden.
- Sowohl der Fruchtansatz wie auch die Fruchtqualität nehmen mit zunehmendem Holzalter tendenziell ab. Hintergrund ist das nachlassende Blatt-Frucht-Verhältnis und die zunehmende Bildung von Quirlholz.

6.3.9 Blätter

Blätter sind Seitenorgane der Sprossachse und bestehen aus Blattspreite und Blattstiel. Sie haben zwei wichtige Funktionen:

Zum einen die **Transpiration von Wasser** durch die Spaltöffnungen. Über den Transpirationsstrom wird die Nährelement- und Cytokininversorgung in der Sprossachse sichergestellt und das ganze System durch die Verdunstungskälte heruntergekühlt. Für einen funktionsfähigen Transpirationsstrom sind transpirationsaktive Blätter erforderlich und kurze, funktionsfähige Transportwege. Zu diesem Zweck ist junges, vitales stammnahes Holz vorteilhaft. Altes vergreistes Quirlholz ist dafür hingegen abträglich.

Des Weiteren fungieren die Blätter als „**Kohlenhydratfabriken**“ (Kohlenhydratquellen). Sie haben die Aufgabe allen wichtigen Kohlenhydratverbrauchern (Kohlenhydratsenken) des Baumes genügend Assimilate anzubieten.

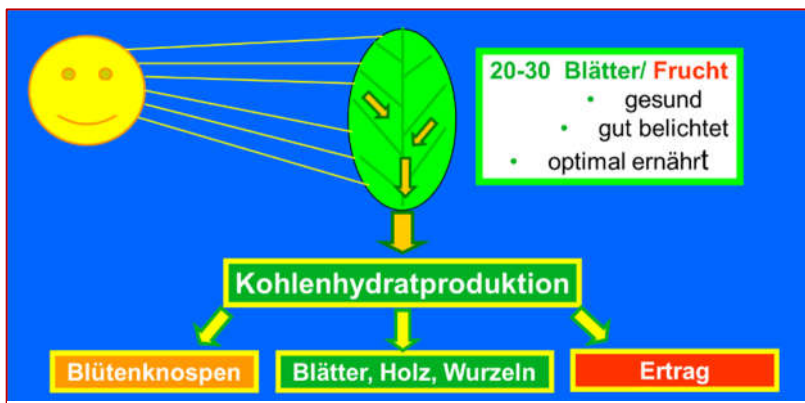


Abbildung 86 Voraussetzungen für ausreichende Kohlenhydratproduktion und -Verteilung im Baum

Zu den wichtigsten Kohlenhydratsenken zählen alle wachstumsaktiven Gewebe, in denen Zellteilungen und Zellstreckungen stattfinden. Eine „normale“ Apfelspindel (3,0 x 1,0 m mit 3 m Kronenhöhe) benötigt für die Produktion von Kohlenhydraten, je nach Sorte und Alter,

ungefähr 2000 - 2500 gesunde, gut ernährte und gut belichtete Blätter. Auf den Fruchtertrag heruntergerechnet sind das 20 bis 30 Blätter pro Frucht. Nach HANSEN (1978) können Apfelbäume je nach Lichteinfall und -ausnutzung pro m² Blattfläche 1 - 4,5 kg Früchte ernähren.

Die assimilatorische Leistung der Blätter verläuft konform mit der **Belichtung der Blätter**. Starklichtblätter sind breiter und dicker als sogenannte Schattenblätter und verfügen über erheblich mehr Stomata und Stickstoff. In den gut belichteten Bereichen der Krone werden darüber hinaus mehr Auxine gebildet als in den Schattenbereichen, wodurch sie eine vergleichsweise höhere Sinkwirkung auf Assimilate ausüben. Licht hat unmittelbare Auswirkungen auf die Austriebbereitschaft von Knospen, auch auf die der schlafenden Augen. Aus all diesen Gründen sollte man als guter Kultivateur ständig darauf achten, das Licht in die richtigen Bahnen zu lenken; beginnend mit der Pflanzung bis hin zum jährlichen Schnitt der Bäume.

Einbußen an Blattmasse (Hagel, Schädlinge, Krankheiten...) haben nicht nur negative Auswirkungen auf den aktuellen Qualitätsertrag. Sie können darüber hinaus die Blütenqualität für das Folgejahr nachhaltig beeinträchtigen. Meist manifestieren sich Ernährungsdefizite im Verlauf der Blütenknospendifferenzierung sogar direkt in Form von morphologischen Veränderungen einzelner Blütenorgane (kürzere Blütenstiele, kleinere Blüten).

**Eine leistungsfähige Krone setzt eine möglichst hohe transpiratorische und photosynthetische Leistung in allen Kronenbereichen voraus.
Alle geläufigen Kulturmaßnahmen des Obstbauern zielen im Grunde darauf ab, diese Leistung zu optimieren.**

6.3.10 Die Verteilung der Kohlenhydrate im Baum

Nachdem wir im einzelnen Wurzeln, Leitungssysteme und Krone betrachtet haben, wollen wir ein klein wenig näher beleuchten wie das 'System Baum' funktioniert.

Hierzu werfen wir einen Blick auf die Kohlehydratverteilung im Baum und deren Hintergründe. Immerhin handelt es sich dabei um den wichtigsten Baustoff und die bedeutendste Energieressource im Baum.

Im Kapitel über die Wachstumsprozesse wurde ausgeführt, dass Blätter als Kohlenhydratquellen (Source) anzusehen sind und teilungsaktive Gewebe wie Kohlenhydratsenken (Sink) funktionieren. Wir wissen bereits, dass der Transport der Kohlenhydrate innerhalb des Baumes im Phloem erfolgt und meist in Form von Saccharose geschieht. Die Senken fragen nach Kohlenhydraten an. Auxine und Gibberelline spielen dabei wichtige Rollen als Signalgeber und Navigatoren. Im Folgenden wollen wir uns die hormonellen Steuerungsprinzipien noch einmal genauer anschauen:

6.3.10.1 Die Kohlehydratquellen (Source)

Die Kohlenhydratquellen (=Source) eines Baumes rekrutieren sich aus der assimilatorischen Leistungsfähigkeit der vorhandenen Blattmasse.

Die photosynthetische Leistungsfähigkeit einer Obstanlage drückt sich in der **Bereitstellung des Bausteins Zucker** aus und ist primär vom Standort, der Sorte, vom Pflanzdesign und der Kulturführung abhängig.

Überschüsse an Kohlenhydraten werden meist in Form von Sorbitol und Stärke in den Kohlenhydratspeichern (Blättern, Holz und Wurzeln) gelagert und bei Bedarf wieder „abgeholt“. Diese Depots spielen beim Wachstums- und Ertragsverhalten der Bäume als Puffersystem eine wichtige Rolle. Wenn genügend gesunde, gut belichtete und ernährte Blätter (= Kohlenhydratproduzenten) an den Bäumen vorhanden sind und sich der Kohlenhydratverbrauch der Früchte in Form von abgeführtem Ertrag in Grenzen hält, können die Bäume ausreichend Kohlenhydratreserven bilden und diese in Form von Stärke und

Sorbitol ins Holz und in die Wurzeln zurückverlagern.

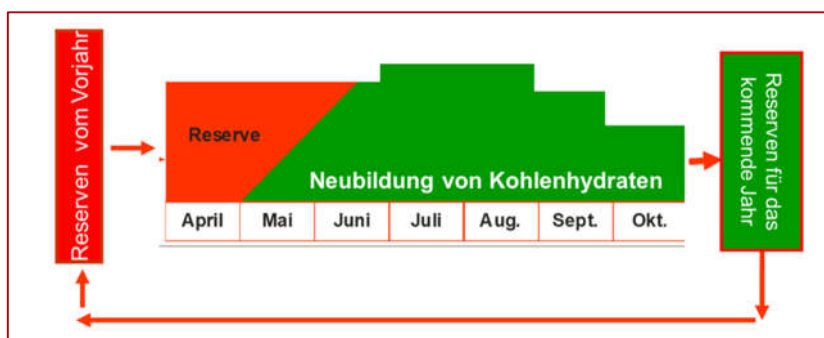


Abbildung 87 Kohlenhydrat-Reserven und ihre Bedeutung für die Ernährung von Blüten, jungen Früchten und Blättern im Folgejahr

Bei sehr hohen Baum-erträgen greifen die Bäume aber schon Wochen vor der Ernte auf ihre eigenen, unmittelbar zuvor gebildeten Kohlenhydratreserven zurück, so dass die Bäume entsprechend weniger einlagern können und mit diesem Defizit in den Winter und ins kommende Frühjahr gehen.

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass die Kohlenhydrat-Reserven, die im Herbst aus den Blättern in den Baum zurückverlagert werden, zu Beginn des Folgejahres eine überragende Rolle in der Kohlenhydratversorgung von jungen Blättern, Blüten und jungen Früchten einnehmen. Im Frühjahr beziehen Blätter und Blüten und Früchte ihren Energiebedarf hauptsächlich aus

diesen Reserven. Daher ist eine optimale Reservestoff-Einlagerung im Vorjahr die Grundlage für eine erfolgreiche Blüte und eine gute Fruchtqualität im Folgejahr. Die Jungfrüchte selbst werden nur bis etwa 14 Tage nach der Blüte mit Sorbitol versorgt, dann erlischt der Einfluss der Reserven auf die Ernährung des Fruchtansatzes allmählich.

Die Bedeutung der Kohlenhydratreserven für das Wuchs- und Ertragsverhalten von Apfelbäumen wurde von LENZ et.al. an der Universität Bonn mit Hilfe zahlreicher Experimente ausführlich beleuchtet:

Pflanzenorgan	Fruchtbehang			
	Ohne Früchte (0 Früchte/Baum)		Mit Früchten (100 F/Baum)	
	g	%	g	%
Wurzel	287,4	29,9	187,6	11,1
Stamm/Äste	411,7	42,8	317,5	18,7
Blätter	262,4	27,3	190,0	11,2
Früchte			1000,5	59,0
Gesamt	961,5	100	1695,6	100

Abbildung 88 Kohlenstoffgehalt (g C pro Baum) in verschiedenen Pflanzenteilen von Apfelbäumen der Sorte 'Golden Delicious' im 4. Laub auf M.9 in Abhängigkeit vom Fruchtbehang (LENZ et.al.)

In einem Versuch überprüfte die Forschergruppe die Auswirkungen von Fruchterträgen auf die Bildung von Kohlenhydratreserven bei der Sorte 'Golden Delicious'. Hierzu wurden die Auswirkungen eines einzelnen Ertragsjahres (1 x 100 Früchte) und mehrerer aufeinander folgender Ertragsjahre (3 x 100 Früchte) betrachtet. Bei der Auswertung wurden die

Pflanzenorgan	Fruchtbehang			
	Ohne Früchte (3 x 0 Früchte/Baum)		Mit Früchten (3 x 100 Früchte/Baum)	
	g	%	g	%
Wurzel	856,4	16,7	205,9	4,3
Stamm/Äste	2438,1	47,6	667,5	13,8
Blätter	1826,6	35,7	775,8	16,1
Früchte			3169,6	65,8
Gesamt	5121,1	100	4818,8	100

Abbildung 89 Gesamtkohlenstoffeinlagerung (kumulativ g C/Baum) in fünfjährigen Bäumen der Sorte 'Golden Delicious' auf M9 in Abhängigkeit eines wiederholt hohen Fruchtbehangs. Im darauffolgenden Jahr setzte der Ertrag aus (LENZ et al.)

Trockensubstanzgehalte (=überwiegend Kohlenhydrate) der verschiedenen Baumfraktionen in fruchttragenden und nicht fruchttragenden Bäumen analysiert.

Man erkennt, dass

- der Fruchtertrag die Produktion von Kohlehydraten fördert und daraus folgernd
- die **Sinkstärke der Früchte**, im Zweifelsfall vor anderen „Mitbewerbern“, über die Kohlenhydratverteilung **entscheidet**, denn Früchte sichern ja auch über ihre Samen das Überleben der Pflanze.
- Mehrere aufeinander folgende Ertragsjahre (3x 100 Früchte) ein deutliches **Nachlassen der Kohlenhydratreserven** (C-Gehalte in Wurzel und Stamm) zur Folge haben.
- Nachfolgend kam es bei den Versuchsbäumen zu einem vollständigen Ertragsausfalljahr.

Diese Ergebnisse stimmen mit den Praxiserfahrungen überein. Ähnliche Beobachtungen lassen sich dort vor allem bei Alternanz anfälligen Sorten machen, beispielsweise bei 'Boskoop', 'Elstar', 'Honeycrisp' oder 'Fuji':

- Überhöhte Erträge oder/ und sehr späte Beerntung führen zu einer **Verknappung der Reserven**, vor allem wenn sich solche Situationen mehrfach hintereinander wiederholen.
- In deren Folge treten zuerst **Einbußen bei der Fruchtqualität**, der Baumvitalität und der Winterfrosthärte auf.
- Darüber hinaus kommt es zu **Beeinträchtigungen der Blütenknospenqualität**.
- Zwei bis drei richtige Vollertragsjahre in Folge führen zu einem allmählichen Aufbrauchen der Kohlenhydratreserven in Wurzel und Holz, woraufhin der Ertrag bei Sorten, die zu Ertragsschwankungen neigen, vollständig aussetzen kann.

Damit wurde der Beweis angetreten, dass **Ertragsschwankungen** nicht nur auf ein zu hohes Gibberellinniveau in der Phase der Blühinduktion und der Blüteninitiation zurückzuführen sind, sondern teilweise auch auf das Entleeren der Kohlenhydratspeicher. Vergleichbare Erfahrungen hat der ein oder andere Praktiker vielleicht schon mit der Sorte 'Boskoop' gemacht: Nach zweimaligem Vollertrag folgt trotz erfolgreicher Ausdünnarbeit nicht selten ein Ertragsausfalljahr.

6.3.10.2 Kohlehydratsenken (Sinks)

Wachstum selbst wird, wie oben bereits dargestellt, von den teilungsfähigen Geweben ausgelöst und angetrieben. Sie gelten als Kohlenhydratsenken. Zu den wichtigsten Senken zählen etwa

- die sich ständig entwickelnden jungen Blätter, die Trieb- und Wurzelspitzen,
- das Kambium,
- die vorhandenen Früchte sowie
- die sich entwickelnden Blütenknospen.

Der Hintergrund ist, dass dort die meisten Kohlenhydrate benötigt werden, vor allem für den Strukturaufbau und zur Energiegewinnung. Deshalb werden dort auch die meisten „Signalstoffe“, d.h. Phytohormone, gebildet. Vor allem die Auxine und die sie stets begleitenden Gibberelline stellen quasi das Stellwerk des ganzen Verteilungssystems dar. Der Auxinexport aus den Geweben entscheidet über deren Sinkstärke und damit über das Ausmaß ihrer Kohlenhydratversorgung. Basierend auf der Signalstärke der Phytohormone fordern die Kohlenhydratsenken die Assimilate aktiv bei den Kohlenhydratquellen an. Übersteigt das

Angebot den Verbrauch, werden die überschüssigen Assimilate in Form von Kohlenhydratreserven vorübergehend in Blättern, Holz und Wurzeln zwischengelagert.

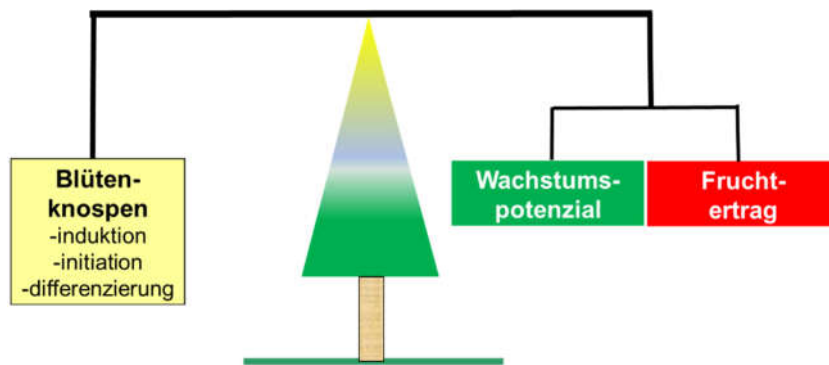


Abbildung 90 Anzustrebendes Gleichgewicht zwischen vegetativem und generativem Wachstum

Ein Baum befindet sich dann im **physiologischen Gleichgewicht**, wenn sich auch die Kohlenhydratsenken (Sinks) einigermaßen im Gleichgewicht befinden. Voraussetzung dafür ist, dass sich das vegetative Wachstum beruhigt, der Fruchtbehang auf ein tolerierbares Maß eingestellt ist und damit ausreichend Kohlenhydratressourcen für die Bildung neuer Blütenknospen zur Verfügung stehen.

6.3.10.3 Die Verteilung von Kohlehydraten zwischen Krone und Wurzel

HANSEN hat 1978 mit einem wegweisenden Experiment den Einfluss der Früchte auf das vegetative Wachstum sehr eindrucksvoll gezeigt (Abbildung). Er bestimmte die Trockensubstanz in allen Baumfraktionen eines fruchtenden und nicht fruchtenden Baumes der Sorte 'Golden Delicious'. Die Trockensubstanz entspricht der Pflanzensubstanz, die nach Abzug des darin enthaltenen Wassers übrigbleibt, d.h. sie besteht überwiegend aus Kohlenhydraten (Zucker und Stärke) sowie zu kleinen Teilen aus den mineralischen Nährelementen.

Die Ergebnisse belegen zum einen, dass Fruchtbehang den Baum zu assimilatorischen Höchstleistungen anregt. Senken (in diesem Fall die Früchte) stimulieren also mit ihrer Nachfrage nach Kohlenhydraten regelrecht deren Produktion.

Zum anderen wird, wie bei den

Untersuchungen von LENZ, die **enorme Sink-Stärke des Fruchtbehangs** noch einmal unter Beweis gestellt. Die produzierten Kohlenhydrate werden überwiegend in die Früchte verlagert, zu Ungunsten von Wurzel, Stamm und Ästen und damit leider auch der Reserven.

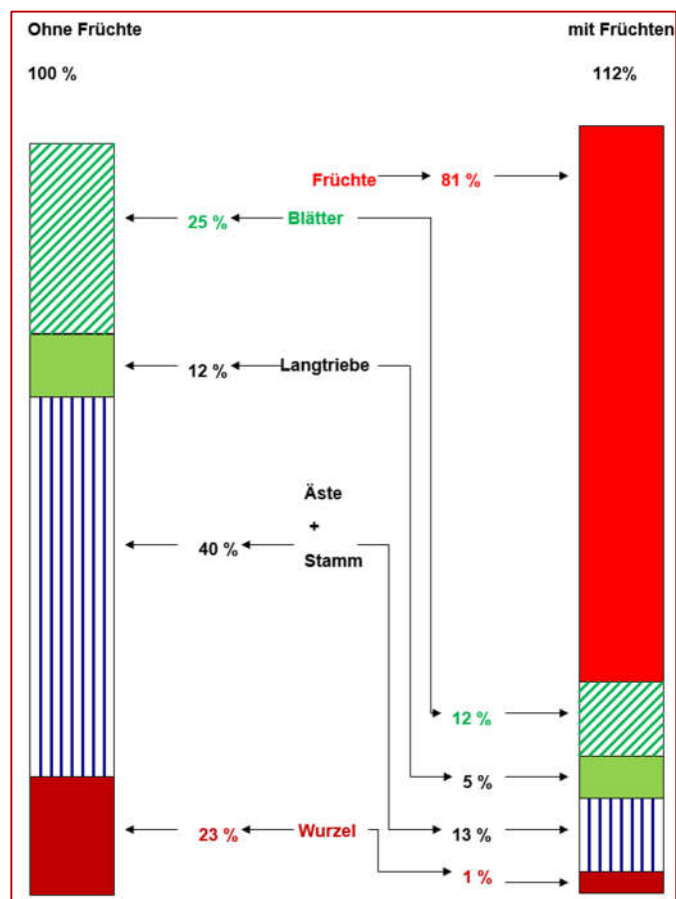


Abbildung 91 Trockensubstanzverteilung in nicht fruchtenden und fruchtenden Bäumen der Sorte 'Golden Delicious' (HANSEN 1978)

Einmal mehr wird augenfällig, welche ausgeprägt „bremsende“ Wirkung die Früchte auf das Wachstum eines Baumes ausüben können. Sie sind die wichtigsten Wachstumsregulatoren.

**Früchte stellen die treibenden Kräfte dar,
die hinter dem Verteilungsschlüssel der Assimilate zwischen Krone und Wurzel stehen.
Früchte sind die wichtigsten Wachstumsregulatoren.**

6.3.10.4 Die Verteilung der Kohlehydrate innerhalb der Krone

Im Wettbewerb um Kohlenhydrate zeigt sich ein klassisches Dominanzverhalten, welches auf die Stärke der jeweiligen Kohlenhydratsenke zurückzuführen ist:

- Im Frühjahr tritt zunächst eine Konkurrenz um Assimilate zwischen den sich neu entwickelnden Blättern und den Früchten auf. Während der Blattentwicklung brauchen die Blätter einen Großteil der von ihnen gebildeten Assimilate für sich selbst, so dass es bei hohem Fruchtansatz zu Versorgungsengpässen kommen kann. Die Früchte sind dann vornehmlich auf die Reserven des Vorjahres angewiesen. Sind die Kohlenhydratreserven weitgehend aufgebraucht oder werden im Frühjahr die gebildeten Kohlenhydrate zu schnell veratmet, so kommt es **im Verlauf des Junifalls zum Abwurf überschüssiger „Kohlenhydratverbraucher“**.
Der Wirkungserfolg des die Photosynthese hemmenden Ausdünnmittels Metamitron beruht bekannterweise darauf, dass dessen Einsatz gezielt in eine Zeitspanne geringer Nettphotosynthese gelegt wird (bedeckter Himmel + hohe Nachttemperaturen). Auch eine Verknappung der Nährelement- oder Wasserversorgung in den Blättern kann im Frühjahr den Fruchtfall verstärken.
- **Wachsende Triebe und Früchte** stehen in einem heftigen **Wettbewerb um Kohlenhydrate**. Solange sich Triebe im Wachstum befinden, dominieren sie gemäß der „Auxinhierarchie“ (Abbildung 92) über laterale Früchte und sich entwickelnde Blütenanlagen. Dies führt im Frühsommer zum Abstoßen schwach entwickelter Früchte während des Junifalls und bei den verbleibenden Früchten zu Versorgungsdefiziten und damit zu Qualitätseinbußen. Analog dem gleichen Prinzip dominieren Zentralfrüchte die lateralen Früchte.
- **Erst nach Triebabschluss** liefern die einjährigen Triebe ihre Assimilate an laterale Früchte und an die Meristeme der sich entwickelnden Blütenanlagen. **Bei hohem Fruchtbehang** werden dann in erster Linie die Früchte mit Kohlenhydraten versorgt und dann erst die sich entwickelnden Blütenanlagen und Wurzeln (Abbildung 92).
- Früchte blockieren verschiedene Enzyme, die direkt mit Wachstumsprozessen in Verbindung stehen, wie beispielsweise die Nitratreduktase. Damit kommt die Synthese von Aminosäuren ins Stocken. Dieser Umstand führt wiederum zwangsläufig zu Wachstumseinbußen, denn:
 - Aminosäuren sind Bausteine von Proteinen
 - Proteine sind Bausteine von Enzymen und
 - Enzyme sind „Antreiber“ unzähliger biochemischer Stoffwechselprozesse

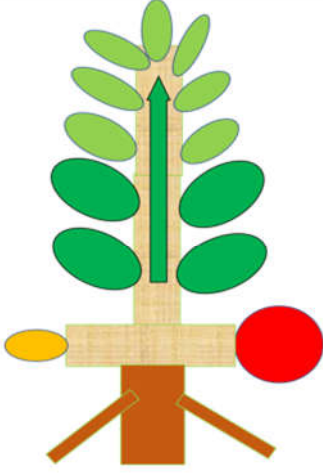
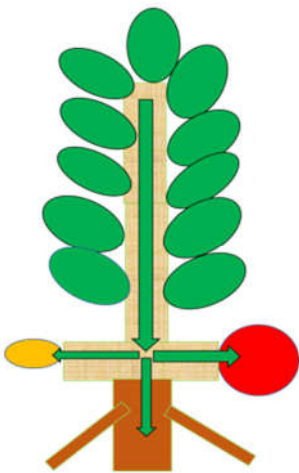
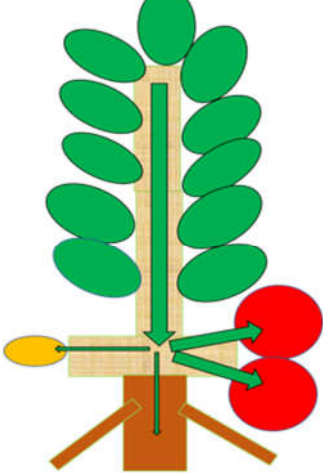
Triebe im Wachstum Moderater Fruchtansatz	Triebeabschluss Moderater Fruchtansatz	Triebeabschluss Hoher Fruchtansatz
<p>Kohlenhydratexport vor allem in junge Blätter</p> <p>kein Kohlenhydratexport in Früchte, Blüten und Wurzel</p>	<p>Kohlenhydratexport vor allem in Früchte</p> <p>dann in Blüten und Wurzel</p>	<p>Kohlenhydratexport fast ausschliesslich in Früchte</p> <p>kaum mehr in Blüten und Wurzel</p>
		

Abbildung 92 Einfluss des Fruchtbehangs auf die Assimilateverteilung zwischen Trieben und Früchten

Starkes vegetatives Wachstum
beeinträchtigt den Fruchtansatz/ Fruchtqualität und die Blütenknospenbildung.

Starkes vegetatives Wachstum und gleichzeitig **hoher Fruchtansatz**
„blockiert“ die Blütenknospenbildung.

Ein hoher Fruchtbehang bremst das Wachstum und behindert die Blütenknospenbildung.

6.3.10.5 Die Kapazitätsgrenzen des Ertrages

Unsere heutigen modernen Standardapfelanlagen mit 3000 bis 4000 Bäumen (3,0 x 1,0 m oder 3 x 0,8 m mit 3 m Kronenhöhe) mit schlanken hohen Spindeln bilden im Vollertrag pro Hektar rund 35.000 m² photosynthetisch aktiver Blätter. Bisher ging man davon aus, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Zahl an Kohlenhydratquellen (Blättern) und dem Wachstum (= vegetativer und generativer Ertrag) der Bäume besteht. Diese Annahme ist in Raumkulturen nach wie vor zutreffend, denn unzureichendes **Licht ist eine wichtige Ressourcenbeschränkung** in verschiedenen Klimazonen und innerhalb der Baumkronen. Schatten zu Beginn der Saison verringert den Fruchtansatz, da er das Fruchtwachstum stärker beeinträchtigt als das konkurrierende Triebwachstum.

Allerdings dürfen wir auch das System der Kohlenhydratnachfrager, die Senken, nicht außer Acht lassen. Die wachstumsaktiven Gewebe stimulieren mit ihrer hormonell gesteuerten Nachfrage nach Kohlenhydraten **Wachstum und Ertrag**. Bereits oben wurde darauf hingewiesen, dass beide Systeme, das heißt Quellen und Senken, eng aneinander gekoppelt sind. Will man Wachstums- und Ertragsverhalten optimieren, sollte man sie niemals getrennt

voneinander betrachten. Zu diesen wachstumsaktiven Geweben zählen unter anderem Früchte und benachbarte Triebe, d.h. wachstumsaktive Baumzonen.

In diesem Kontext sei daran erinnert, dass diese hormonell gesteuerte Nachfrage nach Kohlenhydraten durch die teilungsaktiven Gewebe mit moderaten Temperaturen und einer ausreichend guten Wasser- und Nährelementversorgung einhergeht. Nicht zu vergessen und zu unterschätzen sind in diesem Zusammenhang unsere Schnitteingriffe. Mit ihnen können wir Wachstum plus Blattmasse an verschiedensten Stellen des Baumes gezielt initiieren und damit **Wuchs- und Ertragsverhalten stimulieren und steuern**. Darin ist auch der Grund zu sehen, warum manchmal auf benachbarten Flächen mit der gleichen Sorte/Mutante und dem gleichen Pflanzdesign vollkommen unterschiedliche Hektarerträge erwirtschaftet werden.

Da die verschiedenen Kulturverfahren messtechnisch nicht erfassbar sind, legen wir an dieser Stelle der Einfachheit halber die Bereitstellung von Kohlenhydraten als Maßstab für die Ertragsbildung zugrunde.



Abbildung 93 Die hohe (3m) schlanke Spindel (3,0x1,0m), Sorte 'Ladina'

Gerade **bei Sorten, die zur Alternanz neigen**, stellt sich in der Praxis in gewisser Regelmäßigkeit die Frage, bis zu welchem Ertragsniveau auch noch alle restlichen Stoffwechselprozesse ausreichend gut mit Kohlenhydraten versorgt werden? Reichen die produzierten Assimilate auch noch für die Bildung von Blütenknospen und Reserven aus? Inwieweit beeinträchtigen Trockenheit, Hagelschlag, Spinnmilbenbefall diese Prozesse.?

Diesbezüglich existieren zwar keine klaren, festlegbaren Ertragsgrenzen, denn die photosynthetische Leistung einer Anlage variiert je nach Standort, Sorte, Pflanzdesign und Kulturtechnik. Allerdings kann je nach Sorte man 'Leitplanken' berechnen, an denen man sich orientieren kann.

Bei einer normalen Apfelspindelanlage mit 3000 bis 4000 Bäumen pro Hektar und 3m hohen Bäumen liegt diese Schwelle in Mitteleuropa irgendwo zwischen 50 und 75 Tonnen Apfelertrag. Spindelbäume solcher Anlagen bilden im Vollertrag bei einem Pflanzdesign von 3 x 1m, je nach Sorte und Alter und Höhe, circa 2000 - 2500 Blätter pro Baum.

Sorten, die zum Massenertrag neigen, wie etwa Red Jonaprince® oder 'RoHo3615'/Evelina®, kommen mit einem Blatt-Frucht-Verhältnis von 20:1 sehr gut zurecht und können daher 100 bis maximal 125 Früchte pro Baum ernähren.

- Bei rund 6 Äpfeln pro kg (= 'RoHo3615'/Evelina®, 'Braeburn', 'Gala') resultiert daraus ein Baumertrag von 17 bis 20 kg und bei 3000 Bäumen ein Hektarertrag von rund 50 bis 60 Tonnen. Dies wiederum entspricht einer Menge von 3000 bzw. 3600 kg Kohlenstoff die in die Früchte und nicht in Holz, Stamm und Wurzeln investiert wurden.
- Bei durchschnittlich 5 Äpfeln pro kg (=Red Jonaprince®) errechnet sich daraus ein Baumertrag von 20-25 kg und bei 3000 Bäumen ein Hektarertrag von 60 bis 75 Tonnen,

was einer Menge von 3600 bzw. 4500 kg Kohlenstoff entspricht. Anspruchsvollere Sorten, beispielsweise zur Alternanz neigende wie 'Elstar', 'Fuji', 'Honeycrisp' oder geschmacklich sehr hochwertige Sorten wie 'SQ159'/Magic Star® oder 'Fresco'/Wellant® benötigen

- 28-30 Blätter pro Frucht. Sie können deshalb nur 80 bis maximal 90 Früchte pro Baum vollwertig ernähren.
- Ihre physiologischen Ertragsgrenzen liegen bei durchschnittlich 15 -17,5 kg pro Baum oder 45-50 Tonnen pro Hektar.
- Diese Grenzen können lediglich mit mehr und höheren Bäumen etwas nach oben korrigiert werden, ohne dass sie nennenswert an Qualität und Ertragssicherheit einbüßen.
- bei den Sorten, deren Marktwert vornehmlich von der inneren Fruchtqualität abhängt wie 'Fresco'/Wellant® oder 'SQ159'/Magic Star® sollte man sich stets vergegenwärtigen, dass mit zunehmendem Massenertrag die innere und äußere Fruchtqualität beeinträchtigt wird und sie somit zwangsläufig an Marktwert verlieren.

Ebenfalls mit etwas niedrigeren Durchschnittserträgen sollte kalkuliert werden mit **naturgemäß ertragsschwachen Sorten** ('Berlepsch', 'Cox', Frühsorten).

Höhere Durchschnittserträge sind möglich

- in allen Anbaugebieten mit Sorten, die eine genetische Disposition für hohe Erträge besitzen und zum Overcropping neigen wie etwa 'Pinova', 'Golden', 'Jonagold'.
Aber: Damit ist in der Regel eine lineare Abnahme der inneren und äußeren Fruchtqualität verbunden, denn daraus resultieren zwangsläufig Engpässe in der Zucker-Säure-Anthocyan-Ausstattung der Früchte.
- in Anbaugebieten mit höherer Photosyntheseleistung (Südtirol) meist gekoppelt mit höheren Bäumen. Unter solchen Voraussetzungen gehen höhere Erträge nicht in gleichem Maß mit der Abnahme innerer und äußerer Fruchtqualität einher.

Auf ein noch höheres Niveau an Kohlenhydratquellen gelangen wir, wenn wir durch geschicktes Pflanzdesign die vorhandene Fläche so gut wie möglich lichttechnisch ausnutzen, d.h. auf der zur Verfügung stehenden Grundfläche (10.000 m²) so viele gut belichtete Blätter wie nur möglich schaffen. Optimal wären 40.000 m² an gut belichteten Blättern pro Hektar, was einem Blattflächenindex von 4 entspricht (= BFI 4). Daraus resultiert aber nicht automatisch ein optimaler Hektarertrag. Das Mehr an Blättern und Früchten setzt eine entsprechende Optimierung der Wasser- und Nährelementversorgung voraus. Mehr transpirierende Blätter und wasserbedürftige Früchte machen zwangsläufig einen entsprechend höheren Bedarf geltend.

Betrachten wir unter diesen Gesichtspunkten die **modernen 2 D-Anlagen** wie etwa die neuen **Guyotsysteme**. Von ihnen werden Höchsterträge mit niedrigeren Kronenformen erwartet. Das Verteilungsmuster der Bäume, mit geringen Fahrgassenanteilen, verspricht einen hohen Blattflächenindex. Die schräg gestellten Bäume mit den vielen Leadern leisten einen wichtigen Beitrag zur Höhenbegrenzung (rund 2,75 m) - gute Voraussetzungen also für eine ausreichend gute Belichtung der Blattmasse. Welche Erfolgsaussichten haben diese neuen Pflanzsysteme, wenn man die ökonomische Seite erst einmal ganz außer Betracht nimmt?

Die abgebildeten 2D-Systeme verstellen mit ihrem beeindruckenden Fruchtbehang den Blick



Abbildung 94 Schrägpflanzung bei 'Gala' mit 5 vertikalen Achsen/Baum (2,8x1,5m, LAIMBURG)

dafür, dass wir als Obstbauern keine Reihen, sondern Bäume kultivieren und darauf zu achten haben, ob und womit wir sie belasten oder entlasten. Früchte üben einen hemmenden Einfluss auf Wurzel- und Sprosswachstum aus. Dieser Zusammenhang wurde bereits im vorangehenden Kapitel ausführlich erläutert. Infolgedessen nimmt die Vitalität der Bäume mit einer zunehmenden Zahl an Früchten ab.



Abbildung 95 Doppel-Guyot-System bei Pink Lady® mit 8 vertikalen Achsen/Baum (2,30x1,80m, ST. MICHELE)

Bei den 3m hohen Doppelguyot-system mit der Sorte 'Cripps Pink'/Pink Lady® und einem Baumabstand von 1,80 m hängen an einer Achse rund 25 Früchte. Bei 8 Achsen macht das 200 Früchte oder 40 kg pro Baum (bei 200 g pro Frucht).

Würde man stattdessen schlanke hohe Spindeln mit einem Baumabstand von 1m pflanzen, würde man circa 110 Früchte beziehungsweise 22 kg pro Baum ernten.

Die Bäume des Guyotsystemes müssen also jedes Jahr rund **100 Früchte mehr pro Baum** ernähren. Wenn beide Baumtypen auf einer schwachwuchsinduzierenden Unterlage wie M.9 abveredelt werden, bleibt das zwangsläufig nicht ohne Konsequenzen für den Guyotbaum. Wenn man sich den Wurzel- und Sprosswachstum hemmenden Einfluss des Fruchtertrags vor Augen führt, werden die Wurzeln der Guyotbäume mit den Jahren weitaus stärker den wachstumsbeeinträchtigenden Einflüssen des Fruchtertrags ausgesetzt wie die Spindel. Um diesem Stress etwas entgegensetzen zu können, nämlich ausreichende Cytokininproduktion sicherzustellen, müssen solche Bäume noch besser und zielgerichteter mit Wasser und Nährelementen versorgt werden als die Spindel.

- **Unter optimalen Wachstumsbedingungen** stellt sich beim Guyotsystem sicher rasch der gewünschte wachstumshemmende und ertragsfördernde Effekt ein. Das System kann dann auch mit der Unterlage M.9 ausreichend wuchsfreudig bleiben.
- **Bei suboptimalen Wachstums Voraussetzungen** kann der anhaltende Ertragsstress (Assimilatmangel in der Wurzel mit nachfolgendem Cytokininmangel) zur nachhaltigen Beeinträchtigung oder sogar Schädigung des Wurzelwachstums führen; im schlimmsten Fall zu deren vollständiger Abregulierung.

All das wird sich aber erst in der Vollertragsphase nach etwa 7 bis 8 Jahren zeigen. Dann wird sich erst zeigen, ob man mit wachstumsstimulierenden Schnitteingriffen für genügend Vitalität sorgen konnte, oder ob es nicht besser gewesen wäre, etwas stärker wachsende Unterlagen zu verwenden – eine Frage, die aktuell Gegenstand zahlreicher Untersuchungen ist.

Werden beim Multileadersystem die Säulen regelmäßig ausgetauscht, entsteht immer neues vitales Fruchtholz - allerdings auf Kosten von zusätzlichem Formierungsaufwand .

Will man diesen Aufwand aus ökonomischen Gründen vermeiden und belässt alle Leader im Baum, überaltert das Fruchtholz in der unteren Baumregion sehr schnell. Dem kann man nur mit sehr viel zusätzlichem Schnittaufwand entgegenwirken.

Überhaupt spielt der Kultivateur die wohl entscheidendste Rolle, um gerade in sehr intensiven Systemen dauerhaft ausreichend Licht und Vitalität in den Bäumen sicherzustellen

6.3.10.6 Hintergründe für das unterschiedliche Leistungsniveau der Bäume

Reaktion eines nicht fruchtenden Baumes	Wachstumsprozesse		Reaktion eines fruchtenden Baumes
Erhöhte Abscisinsäuregehalte hemmen das Sprosswachstum	← schwach	Sprosswachstum → stark	Niedrige Abscisinsäuregehalte heben Hemmeffekt auf
Erhöhte Stärkegehalte, dafür niedrige Transportzuckerhalte hemmen das Blattwachstum	← schwach	Blattwachstum → stark	Niedrige Stärkegehalte, dafür hohe Transportzuckerhalte fördern das Blattwachstum
→ verringert		Photosynthese	← erhöht
		Fruchtansatz (Auxinregler)	
Erhöhte Lichtatmung Geringere CO ₂ -u. Nährstoffaufnahme Hohe Stärke- u. Hemmstoffgehalte In den Blättern → veranlassen Spaltöffnungen zum schließen	← stark	Wurzelwachstum → schwach	Verringerte Lichtatmung Hohe CO ₂ -und Nährstoffaufnahme Geringe Stärke- u. Hemmstoffgehalte in den Blättern → Ständig geöffnete Spaltöffnungen
Niedrige Trockensubstanzproduktion			Hohe Trockensubstanzproduktion

Abbildung 96 Ausschnitt aus dem Selbstregulierungs-System eines fruchtenden und eines nicht fruchtenden Baumes (LENZ)

Im Verlauf der Evolution wurden Pflanzen dazu befähigt, sich den unterschiedlichsten Bedingungen anzupassen. Genauso haben auch unsere Obstgehölze gelernt, mit unterschiedlichen Erträgen umzugehen, d.h. ihre Leistung in Abhängigkeit vom Ertrag selbst zu regulieren. Sie läuft dann entweder auf „Sparflamme“ oder auf „Hochtouren“. Die Abbildung

beschreibt einen Teil der Stoffwechseleränderungen, die von einem Fruchtertrag „entfesselt“ werden. An deren Ende steht eine erhöhte Photosyntheseleistung und Trockensubstanzproduktion. Umgekehrt sind unsere Bäume aber genauso in der Lage, bei geringem oder fehlendem Behang ihren Stoffwechsel herunterzufahren.

**Unsere Bäume sind „denkende“ Systeme,
die ihre Leistungsfähigkeit über ausgeklügelte Mechanismen selbst regulieren können.
Ein kluger Kultivateur arbeitet mit ihnen und nicht gegen sie.**