

## 5 Der Stoff, aus dem die Bäume bestehen

Wie alle Pflanzen, so bestehen auch unsere Obstgehölze hauptsächlich aus Wasser (Holz 50%, Blätter 90%, Früchte 85%). Nach Trocknung aller Pflanzenbestandteile verbleibt die sogenannte pflanzliche Trockensubstanz, die aus überwiegend aus vier Stoffen besteht:

- Kohlenstoff (45%)
- Sauerstoff (40%)
- Wasserstoff (8%) und
- Stickstoffhaltigen Verbindungen (1-4%)

Diese vier Stoffe sind Bestandteil der wichtigsten pflanzlichen Verbindungen: den Kohlenhydraten (Zucker), Proteinen (Eiweiß) und den Lipiden (fettähnliche Substanzen).

Wird der Rest verbrannt, bleiben ein Ascherest sowie unsere bekannten Nährelemente (N, P, K, Ca, Mg u.a.)

### 5.1 Wasser

#### 5.1.1 Wasserverbrauch

Wasser ist das „Lebenselixier“ aller Lebewesen auf unserem Planeten und somit auch unserer Obstgehölze. Alle chemischen und biochemischen Vorgänge, also alle Lebensvorgänge in der Pflanze, laufen grundsätzlich immer mit Wasser ab. **Ein Apfelbaum benötigt pro Jahr 300 bis 1000 Liter**, je nach Sorte, Alter, Temperatur und Wasserverfügbarkeit. Ein 4-jähriger Baum der Sorte Braeburn auf der Unterlage M.9 verbraucht täglich 1,8 bis 5 Liter Wasser, was vergleichbar ist mit 0,4 bis 1 Liter pro Tag und m<sup>2</sup> Blattfläche (M. Backes, M. Blanke; 1999).

#### 5.1.2 Die Aufgaben des Wassers

Die Funktionen des Wassers in der Pflanze lassen sich wie folgt skizzieren:

- Wasser erhält das Protoplasma in den Zellen in einem ausgewogenen Quellungszustand und sorgt auf diese Weise für einen ausreichenden Turgor Druck. Hierunter ist der Druck zu verstehen, den die Zellflüssigkeit auf die Zellwand ausübt. Die Sättigung der Pflanzengewebe mit Wasser (Turgeszenz) ist Voraussetzung für den ungestörten Ablauf aller Stoffwechselfvorgänge. Teilungsaktives Gewebe reagiert besonders sensibel auf den Abfall des Turgor Druckes.
- Wasser dient darüber hinaus als Lösungs- und Transportmittel von organischen (Assimilate) und mineralischen Stoffen (Nährelemente).
- Wasser dient der Pflanze als Kühlmittel.
- Wasser wird bei der Photosynthese benötigt und wird in deren Verlauf in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Für eine hohe Photosyntheseleistung ist ein ständiger Wasser-nachschub erforderlich.

#### 5.1.3 Wassermangel

Bei Wassermangel ist mit folgenden Reaktionen der Bäume zu rechnen:

- Die Spaltöffnungen (Stomata) schließen sich. Infolgedessen werden u.a. der Transpirationsstrom und die Photosynthese (= CO<sub>2</sub>-Aufnahme) gestört.
- Die Struktur und Funktion verschiedener Enzyme verändern sich.

- Der Transport von Phytohormonen und Nährelementen wird beeinträchtigt.
- Die Pflanze wird wegen mangelnder Verdunstungskälte ungenügend gekühlt.
- Der Turgor Druck in den Zellen lässt nach.
- Es entstehen Lufteinschlüsse in den Gefäßen (Embolien).

**Die negativen Reaktionen auf Wachstum und Ertrag bei Wassermangel** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Fruchtansatz im Frühjahr wird negativ beeinflusst. Im April/Mai wird Wassermangel oft an sonnigen Tagen induziert, an denen gleichzeitig der Boden noch kalt und trocken ist.
- Das vegetative Wachstum wird gehemmt. Das Triebwachstum schließt vorzeitig ab. Es werden weniger und kleinere Blätter gebildet.
- Die Fruchtgrößen- und Deckfarbenentwicklung wird behindert - im Extremfall bildet sich Trockensubstanz zurück und die Früchte werden leichter.
- Häufigeres Auftreten von Nährelementmangel (besonders Kali, Magnesium, Calcium).
- Vermehrte Hitzeschäden an Blättern und Früchten (Sonnenbrand).
- Die Blüteninitiation und Blütenknospendifferenzierung verlaufen suboptimal.
- Im darauffolgenden Jahr erscheinen weniger Blüten mit einer insgesamt schlechteren Qualität.
- Im Endstadium zeigen die Bäume vorzeitigen Blatt- und Fruchtfall. Ganze Astpartien entlauben allmählich, was auf Embolien im Xylem zurückzuführen ist. Dabei reißt der durch Kohäsion zusammengehaltene dünne Wasserfaden in den Gefäßen ab und dieses Gefäß kann kein Wasser mehr nach oben transportieren.



Abbildung 2 Früchte mit Sonnenbrandsymptomen

Von der Wasserversorgung und damit von der Transpirationskühlung abgeschnittene Früchte zeigen an Hitzetagen, vor allen in Kombination mit niedriger Luftfeuchte und Windstille, sofort Sonnenbrandsymptome.

#### 5.1.4 Die Wasserbereitstellung

Die Verfügbarkeit von Wasser hängt in erster Linie vom Wassergehalt des Bodens und dessen Struktur ab. Mittelschwere, humose Böden mit nicht allzu hohen Ton- und Sandanteilen, einer guten Bodendurchlüftung und einem intakten Kapillarsystem bieten gute Voraussetzungen für eine zufriedenstellende Wasserversorgung. Zur Optimierung der Wasserbereitstellung ist im modernen Obstbau eine **Zusatzbewässerung** fast schon obligat.

Sehr leichte, trockene Standorte, vor allem aber stark tonhaltige, verdichtete und zur Staunässe neigende Böden sollten, wenn möglich, gemieden werden. Auf Wasserüberschuss, der zu Sauerstoffmangel führt, d.h. auf **Staunässe**, reagieren unsere Obstgehölze noch sensibler als auf Wassermangel.

Die Versorgung mit ausreichend Wasser setzt außerdem ein **vitales Wurzelwachstum** voraus. Diesbezüglich sind jungfräuliche Böden Nachbaustandorten immer vorzuziehen, vorausgesetzt man hat die Wahl. Auf Nachbaustandorten entwickeln sich vor allem bei Äpfeln weitaus schwächere, kurzlebige Wurzelsysteme als auf jungfräulichen Böden.

Letztendlich spielt offenbar auch die **Struktur der Wurzeln** eine Rolle bei der Wasseraufnahme. Vor jeder Neupflanzung empfiehlt es sich, die Bäume mindestens 24 Stunden ins Wasser zu stellen, damit sie sich ausreichend mit Wasser vollsaugen können. Bei einigen Unterlagen reicht das aber nicht aus. Birnbäume auf Quitte Eline und Apfelbäume auf den neuen CG-Unterlagen sollten vor der Pflanzung mindestens 2, besser 3 Tage (48-72 Stunden) in Wasser gestellt werden, damit sie problemlos anwachsen.

Pflanzt man Bäume im Frühjahr in kalte, trockene Böden können sie bei warmer Frühjahrsluft Trockenschäden erleiden und erhebliche Anwachsprobleme bekommen. In solchen Fällen müssen die Bäume vorher ausreichend lange in Wasser gestellt werden. Darüber hinaus sollten sie bei der Pflanzung eingeschlämmt werden und unmittelbar nach der Pflanzung zusätzlich bewässert werden. Auch der sofortige Einsatz transpirationshemmender Stoffe (etwa 10 l Mineralöl pro Hektar) ist dringend angeraten.

#### 5.1.5 Der Wassertransport

Der **Wassertransport in unseren Bäumen** wird von drei Kräften bestimmt: Dem Wurzeldruck, den Kapillarkräften in den Xylemgefäßen und vor allem dem Transpirationssog.

Da Obstgehölze mit ihrem Blattwerk einer Atmosphäre ausgesetzt sind, die ein Wassersättigungsdefizit aufweist (Luftfeuchte immer unter 100%), wird ihrer gesamten Oberfläche Wasser entzogen. Dies geschieht in sehr geringem Umfang über die Kutikula, einer auf der Epidermis aufliegenden Wachsschicht, vor allem aber über die blattunterseits befindlichen Spaltöffnungen, den Stomata. Deren Öffnungs- und Schließbewegungen sind auch für die CO<sub>2</sub>-Versorgung des Photosyntheseapparates ausschlaggebend. Dieser Öffnungs- und Schließmechanismus orientiert sich unter anderem am Licht sowie an den Außentemperaturen. Einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Verdunstung übt die Größe und Zahl der Stomata aus. Je nach Sorte schwankt die Zahl der Spaltöffnungen zwischen 200 und 700 pro mm<sup>2</sup>.

Das Ausmaß dieses Wasserentzuges aus den Blättern hängt vom Nachschub aus dem Boden sowie vom Wassersättigungsdefizit zwischen den Blättern und der umgebenden Atmosphäre ab. Dieses Defizit wird von der Luftfeuchte und von der Energieeinstrahlung bestimmt und ist der eigentliche „Transpirationsantreiber“. Mit abnehmender Luftfeuchte und zunehmenden Temperaturen vergrößert sich dieses Defizit. Auf diese Weise baut sich ein mehr oder weniger starker **Transpirationssog** auf. Der Sog bleibt stabil, solange das Wasserpotential in den Blättern ausreichend hoch ist. Er bewirkt, dass Wasser zusammen mit Nährelement-Ionen mit einer Geschwindigkeit von 1 bis 3 Meter pro Stunde in einem ununterbrochenen Wasserfaden von der Wurzel durch die Sprossachse nach oben in die Blätter gesaugt wird. Auf diese Weise wird die Wasser- und Nährelementversorgung aller Pflanzenteile sichergestellt. Über die bei der Transpiration entstehende Kälte werden die Bäume und damit der gesamte Bestand heruntergekühlt und bei Hitze vor übermäßigem Stress geschützt.

Blätter können auch über ihre Kutikula Wasser transpirieren. Die Wasserabgabe über die Kutikula ist allerdings von den Pflanzen nicht steuerbar. Die kutikuläre Transpiration beläuft sich auf etwa ein Zehntel der stomatären Wasserabgabe.

In geringem Umfang befinden sich Stomata auch in der Schale junger Früchte (sie verkorken später zu den Lentizellen) und in der Rinde junger Triebe. Sie werden zum Gasaustausch benötigt und um die Früchte über den Transpirationssog mit Nährelementen wie Kalium und Calcium zu versorgen. Die Ausstattung mit diesen Nährelementen steht daher auch in einem direkten Zusammenhang mit der Lichtexposition der Früchte. Im Verlauf der Vegetation verkorken die Stomata und entwickeln sich zu Lentizellen. Die Transpiration erfolgt dann vermehrt über die Kutikula.

Wenn **bei anhaltender Trockenheit bzw. unzureichender Wasserbereitstellung**, oder bei Hitze und gleichzeitig niedriger Luftfeuchte mehr Wasser abgegeben als aufgenommen wird, kann Luft in die Wasserleitungskapillaren eindringen. Normalerweise schließen unsere Bäume nach Erreichen der 30°C- Marke allmählich die Stomata. Die kutikuläre Transpiration läuft jedoch weiter und spätestens ab 40 °C werden alle Spaltöffnungen wieder geöffnet und die Pflanze verliert unkontrolliert Wasser. Daraufhin entstehen im Tracheensystem des Xylem regelrechte „Embolien“. Dabei handelt es sich um Luftblasen, die den Zusammenhalt der Wassermoleküle (Kohäsion) unterbrechen, was zum irreversiblen Abriss der kapillaren Wasserverbindungen führt. Die Unterbrechung des Kapillarkontinuums von der Wurzel in die Sprossachse bewirkt eine Dehydration der einzelnen Astpartien und später des gesamten Baumes. In der Praxis geht dieses allmähliche fortschreitende hydraulische Versagen mit stagnierender Fruchtgrößenentwicklung, Blattfallerscheinungen bis hin zum Fruchtfall einher. Ist ein wesentlicher Teil der Wasserleitungen im Splintholz von Embolien unterbrochen, ist früher oder später das Absterben der Bäume die logische Folge.



Symptome von Wasser- und Hitzestress unmittelbar vor der Ernte bei 'Golden Delicious'

- 1: Temperaturen von >30°C führen zur Stagnation der Fruchtgrößenentwicklung wegen erhöhter Licht- und Dunkelatmung
- 2: Geringes Wasserangebot und/oder zu hohe Wasserverluste durch niedrige Luftfeuchte ( $\pm 30\%$ ) führen zu „Embolien“ im Leitungssystem und damit zum Blatt- und Fruchtfall

*Abbildung 3 Hitzeschäden bei ‚Golden Delicious‘*

Die Schäden durch Hitzetage beruhen aber nicht nur auf der Dehydration der Bäume, sondern auch auf Kohlenhydratmangel. An trockenen, heißen Tagen mit Temperaturen über 30°C schließen die Pflanzen zunächst die Stomata, um Wasser zu sparen. Daraufhin nimmt die Photosyntheserate ab und zum Schutz vor Photostress nimmt die Energie verbrauchende Lichtatmung zu. Diese steigt ab ca. 40°C bei dann weit geöffneten Stomata dramatisch an. Sie

führt zu hohen Energie- und Kohlenhydratverlusten. Die Trockenmasseproduktion beginnt zu stagnieren, die Bäume veratmen unter diesem Stress teilweise die Kohlenhydrate der Früchte, die dazu aus den Früchten rückverlagert werden.

**Selbst in unbelaubten Zustand transpirieren Bäume**, wenn auch wenig. Man rechnet, dass bei einem Baum auf M.9 durchschnittlich eine Wassermenge von insgesamt etwa 1,5 Liter / Baum von Mitte Dezember bis Mitte März, also über eine Zeitspanne von etwa 3 Monaten „verlorengeht“ (Thalheimer 2022). Das scheint auf den ersten Blick wenig zu sein. Bei hoher Sonneneinstrahlung und gleichzeitig trockenen Böden, etwa bei „Frostrocknis“ (=winterlicher Wassermangel) können jedoch Embolien in den Xylemgefäßen auftreten, in deren Folge die Bäume Wachstumsprobleme während des Austriebs bekommen können.

#### 5.1.5.1 Kapillarkräfte

Kapillarkräfte entstehen bei Flüssigkeiten in Kontakt mit Kapillarwänden, also engen Röhren wie den Tracheen im Gefäßsystem der Bäume. Der Effekt wird durch die Wechselwirkung zwischen der Oberflächenspannung der Flüssigkeit (Kohäsion) und der Grenzflächenspannung zwischen der Flüssigkeit und der festen Oberfläche hervorgerufen (Adhäsion). Da das Gewicht der Flüssigkeit in engen Hohlräumen gering ist, überwiegt die Kapillarkraft gegenüber der Schwerkraft. Das hilft den Bäumen dabei, den Wasserfaden bis in die Sprossspitze aufrecht zu halten und das Wasser aus den Wurzeln in Höhen aufsteigen zu lassen, die durch den Transpirationssog allein niemals erreicht werden könnten.

#### 5.1.5.2 Wurzeldruck



*Abbildung 4 „Blutender“ Stamm von 'Gala' auf M.9 an Frostrissen – durch zu viel Wasser bei großer Hitze und Trockenheit?*

Der **Wassertransport in unbelaubtem Zustand** kommt in der Regel durch Wurzeldruck zustande. Diesen Transportweg kennt man z.B. vom Frühjahrsblutungssaft des Zuckerahorns. Bei unseren Bäumen tritt so etwas auch auf, allerdings in einer weniger spektakulären Weise. Wurzeldruck entsteht, wenn osmotisch wirksame Substanzen wie Zucker oder bestimmte Nährelemente (beispielsweise Kalium) von der Wurzelrinde in die Gefäße geleitet werden. Auf diese Weise entsteht in den Tracheen ein erhöhter osmotischer Druck, der einen Wassersog aus der Umgebung der Wurzelhaare auslöst. Dieses Wasser wird mit den darin gelösten Kohlenhydraten, Nährelementen, Aminosäuren und Hormonen im Xylem nach oben transportiert. Es tritt an Wundstellen aus. Höhere Temperaturen begünstigen dabei die Neigung zum sogenannten „Bluten“.

Bei ausgewachsenen Bäumen sind keine nachteiligen Folgen zu befürchten. Bei Veredelungen (Okulate oder Schnittstellen von Knipbäumen) hingegen können die jungen Meristeme im Frühjahr „überflutet“ und geschädigt werden („absaufen“).

## 5.2 Kohlenhydrate

### 5.2.1 Entstehung der Kohlenhydrate

Kohlenhydrate entstehen im Verlauf der Photosynthese. Diese findet in allen grünen Pflanzenteilen statt, überwiegend in den Blättern, aber auch in der Fruchtschale. Die Endprodukte der Photosynthese sind Sauerstoff und Glucose (Traubenzucker). Die Blätter sind somit die wichtigsten Kohlenhydratquellen der Pflanze.

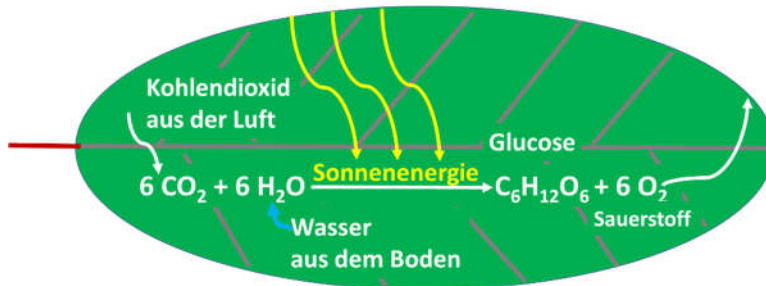


Abbildung 5 Photosynthese (TROMP J., WEBSTER A.D., WERTHEIM S. J. 2005)

Vom auftreffenden Sonnenlicht werden etwa:

- 48% durchgelassen
- 20% reflektiert
- 30 % in Wärme umgewandelt
- nur 2% zur Photosynthese genutzt

Voraussetzung für einen optimalen Verlauf der Photosynthese sind:

- gesunde, vitale, große Blätter
- günstige Lichtverhältnisse
- optimale Wasser- und Nährelementversorgung der Blätter (vor allem mit Stickstoff, Kalium, Magnesium, Mangan, Zink und Eisen)
- ausreichend hohe Chlorophyllgehalte
- genügend Kohlendioxid in der umgebenden Luft
- Temperaturen zwischen 18 und 28°C

Der **Prozess der Photosynthese** läuft wie folgt ab:

1. Zuerst wird die elektromagnetische Energie in Form von Licht geeigneter Wellenlänge (blaues und rotes Licht) durch Chlorophyll absorbiert.
2. Direkt daran anschließend erfolgt eine Umwandlung der elektromagnetischen Energie in chemische Energie in Form der beiden Energiecarrier ATP und NADPH.
3. Im letzten Schritt, im sogenannten Calvin-Zyklus, wird diese chemische Energie zur Synthese energiereicher organischer Verbindungen genutzt, d.h. die Kohlenstoffatome aus dem Kohlenstoffdioxid der Luft werden in Glucose (Traubenzucker) verbaut. Der entscheidende Stoffwechselschritt im Calvin-Zyklus wird von dem weltweit wichtigsten Enzym katalysiert, dem RuBisCO (Ribulose-1,5-bisphosphat-carboxylase/-oxygenase). Dieses überträgt das über die Spaltöffnungen aufgenommene CO<sub>2</sub> auf ein Zuckermolekül, dem Ribulose-1,5-bisphosphat, woraus dann letztendlich Traubenzucker entsteht. Dieser wird im Baustoffwechsel für verschiedenste Wachstumsprozesse verwendet oder dient bei Veratmung im Energiestoffwechsel der Gewinnung von Energie. Schließen sich bei Hitze und Trockenheit die Spaltöffnungen der Blätter, tritt in den Atemhöhlen relativ rasch CO<sub>2</sub>-Mangel auf. Infolgedessen kommt der Calvin-Zyklus

zum Erliegen, während die Photosynthese durch die Lichteinstrahlung weiter geht. Um „Photostress“ zu verhindern, versucht die Pflanze den Calvinzyklus aufrecht zu erhalten und setzt dafür die sogenannte Lichtatmung (Photorespiration) in Gang.

- Die Bedeutung des Wassers bei der Photosynthese wird häufig unterschätzt. Wasser wird in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der Sauerstoff wird dabei zunächst nicht weiter genutzt, er wird aber von allen lebenden Zellen zur Energiegewinnung, d.h. zur Atmung, benötigt. Der Wasserstoff hingegen wird in einer energiereichen Form gespeichert und dient schließlich als Grundstoff zur Herstellung verschiedenster Baustoffe der Pflanze.

**Neben dem Sauerstoff ist die Glucose das wichtigste Endprodukt der Photosynthese.** Aus der Glucose werden schlussendlich alle weiteren Kohlenhydratverbindungen auf enzymatischem Weg aufgebaut. Zu der Stoffgruppe der Kohlenhydrate zählen zum einen die klassischen Zuckerverbindungen, d.h. Einfachzucker wie Glucose oder Fructose, Zweifachzucker wie Saccharose und Dreifachzucker wie Raffinose (= Galactose plus Glucose plus Fructose) und Zuckeralkohole wie Sorbitol. Die Zuckerverbindungen sind in der Regel wasserlöslich und haben einen süßen Geschmack. Die Vielfachzucker oder Polysaccharide wie Stärke, Kallose und Zellulose sind hingegen oftmals schlecht oder gar nicht in Wasser löslich und geschmacksneutral.

**Kohlenhydrate** repräsentieren die mit Abstand wichtigste Grundsubstanz der pflanzlichen Trockenmasse (= Frischmasse minus Wasser) und sie sind gleichzeitig **der wichtigste Energielieferant der Pflanze**. Beim Verbrennen (Veratmen) der Kohlenhydrate wird die gleiche Energie freigesetzt, die im Verlauf der Photosynthese in Form von Sonnenenergie investiert wurde. Quelle aller Kohlenstoffverbindungen ist das CO<sub>2</sub> unserer Atmosphäre!

Je höher die Lichtintensität, desto höher die Photosyntheserate und desto mehr Kohlenhydrate werden gebildet. Doch das gilt nur für eine bestimmte Fraktion der Globalstrahlung und für einen definierten Bereich an Lichtstärke. Relevant ist nämlich nur die Photosynthetisch Aktive Strahlung (PAR). Sie liegt im Wellenlängenbereich von 440 bis 760 nm. Die Intensität der PAR (Photosynthetic Active Radiation) wird in W/m<sup>2</sup> (Watt pro Quadratmeter) angegeben.

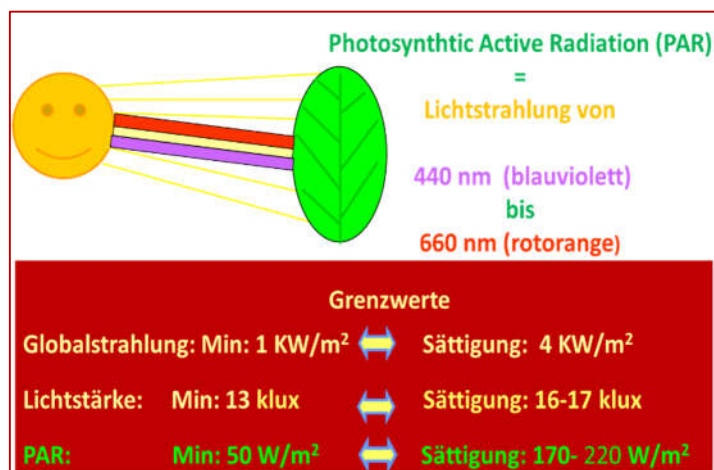


Abbildung 6 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)

Die Photosyntheserate wird gemessen und ausgedrückt in mg CO<sub>2</sub> pro h und dm<sup>2</sup> Blattfläche. **Die Photosyntheserate unserer Obstgehölze ist vergleichsweise gering.** Sie liegt je nach Lichtintensität und Blattposition (Licht- oder Schattenblatt) zwischen 5 – 30 mg CO<sub>2</sub>/h\*dm<sup>2</sup> Blattfläche, während der Mais 70 mg und die Zuckerrübe 40-50 mg erreichen. Während des

Tages wie auch bei Nacht wird ein Teil dieser assimilierten Kohlenstoffe wieder veratmet, weil die Zellen ihren eigenen Energiebedarf decken müssen.

Die **Zellatmung** ist ein Stoffwechselfvorgang, der für die Energiegewinnung in Zellen verantwortlich ist. Dieser Vorgang findet in den Mitochondrien, den Kraftwerken der Zellen statt, und zwar Tag und Nacht, im Sommer wie im Winter. Dabei wird mehr Wasser freigesetzt als benötigt wird. Bei der dabei entstehenden Energie handelt es sich um chemische Energie in Form von ATP (Adenosintriphosphat). Die Formel und Energiebilanz der Zellatmung lauten:  $C_6H_{12}O_6 + 6 H_2O + 6 O_2 = 6 CO_2 + 12 H_2O + 38 ATP$

Die Formel besagt unter anderem, dass während der Atmung wieder Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser „verbrannt“ werden. Damit schließt sich der Kreislauf. Was die Menschen jetzt mit vielen Mühen „neu“ entdeckt haben, nämlich eine Wasserstoff-Kreislaufwirtschaft – das praktizieren die höheren Pflanzen seit ca. 600 Millionen Jahren!

Die Atmungs- oder Respirationsrate wird logischerweise ebenfalls in  $mg CO_2/h \cdot dm^2$  Blattfläche angegeben. Die Atmungsrate steigt und fällt linear mit der Temperatur. Bei erhöhten Temperaturen können die Atmungsverluste tagsüber durch die Zunahme der Photosyntheseleistung wieder kompensiert werden. Während der Nacht, in der natürlich keine Kompensation möglich ist, kommt es zu mehr oder weniger starken Atmungsverlusten. So wirkt z.B. der Wirkstoff Metamitron dann stark ausdünnend, wenn die Temperaturen während der Nacht über  $10^\circ C$  liegen, weil dann neben der von Metamitron ausgelösten Reduktion der Photosyntheseleistung der Blätter noch ein hoher Atmungsverlust in der Nacht dazu kommt.

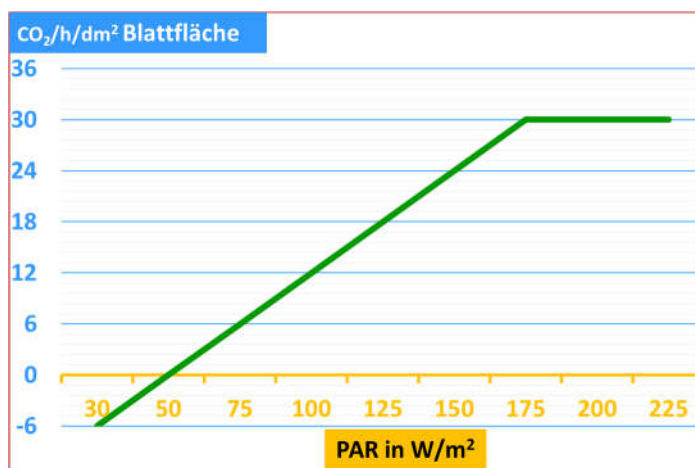


Abbildung 7 Lichtkompensations- und Lichtsättigungspunkt (LENZ 1986)

Das Minimum an Licht, das erforderlich ist, damit genauso viel Kohlenhydrate neu gebildet werden wie durch Atmung verlorengehen, nennt man **Lichtkompensationspunkt**.

Bei Obstgehölzen entspricht das einem PAR-Wert von circa  $50 W/m^2$ . Die Enzyme und Pigmente in der Thylakoidmembran der Chloroplasten sind bei derart niedrigen Lichtmengen nicht ausgelastet. Ausgehend von dieser minimalen Lichtintensität erfolgt ein linearer Anstieg der Photosyntheserate bis hin zur Lichtsättigung, die bei einem PAR-Wert von etwa  $170 W/m^2$  erreicht wird.

Bei höheren Lichtintensitäten liegt ein typisches Sättigungsverhalten vor. Und bei noch höheren Lichtintensitäten sollte die Photosyntheserate sogar wieder geringer werden, weil das Licht bei zu hohen Intensitäten zu einem Stressfaktor wird, der die Pflanze schädigt (Photostress).

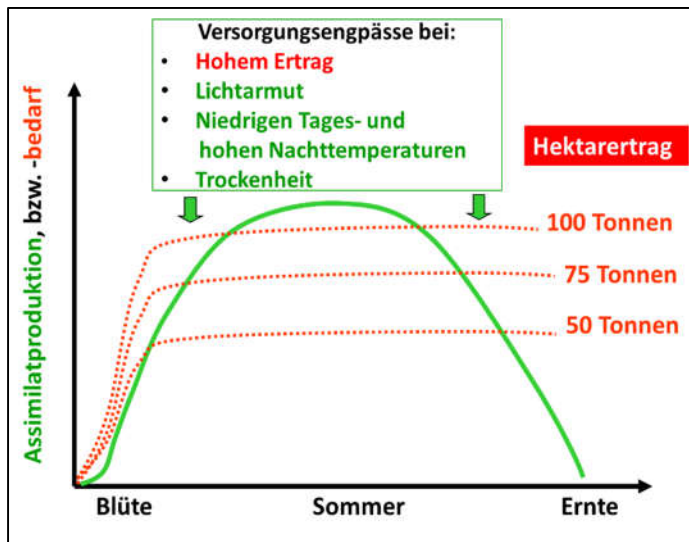


Abbildung 8 Angebot (grün) und Nachfrage (rot) um Kohlenhydrate (WÜNSCHE und LAKSO)

gel kann beispielsweise den Fruchtansatz und beeinträchtigen als das konkurrierende Triebwachstum.

Für das Ertragsniveau einer Anlage ist daher eine möglichst hohe Lichtabsorption in den ersten vier Wochen nach der Blüte (Abbildung) von großer Bedeutung. Dabei geht es vor allem um die Lichtabsorption der Blätter, die sich in der unmittelbaren Umgebung der Früchte befinden, denn diese liefern ihre gebildeten Assimilate hauptsächlich an die Früchte und nicht zu den wachsenden Triebspitzen. Einer der wahrscheinlichsten Zeiträume für ein Kohlenstoffdefizit ist zwei bis vier Wochen (14-28 Tage) nach der Blüte. Wenn in diesem Zeitfenster an drei bis vier aufeinander folgenden Tagen Lichtmangel herrscht, d.h. starke Bewölkung, wird der Junifruchtfall signifikant verstärkt. Werden in diesem Zeitraum chemische Ausdünnmittel wie Metamitron, 6-BA oder NAA appliziert, erreichen sie ihren höchsten Wirkungsgrad, vor allem wenn dies bei Fruchtgrößen zwischen 10 und 20 mm geschieht. Eine weitere Phase, in der ein Defizit an Kohlenhydraten auftreten kann, ist der Zeitraum vor der Ernte. Bei hohen Erträgen müssen die Bäume bereits im August ihre frischen Reserven angreifen, um den hohen Bedarf zu decken. Ein Befall mit Rostmilben, Hagelschlag oder eine verspätete Ernte kosten die Bäume dann manchmal entscheidende Kohlenstoff-Ressourcen, die im kommenden Frühjahr nicht mehr zur Verfügung stehen.

### 5.2.2 Transport der Kohlenhydrate

Zum Langstreckentransport von Kohlenhydraten wird die bei der Photosynthese gebildete Glucose in die Transportzucker-Formen Saccharose und Sorbitol umgewandelt und in die schnell wachsenden Gewebeteile verfrachtet, d.h. in junge Blätter, Triebspitzen, Wurzeln und Früchte. Die wichtigste Transportzuckerform beim Apfel ist dabei das Sorbitol. Der Transport erfolgt im sowohl im Siebteil (Phloem), wie auch in den Gefäßen (Xylem). Gesteuert werden die Transportzucker von einem phytohormongesteuerten Verteilungsschlüssel. In diesen teilungsaktiven Geweben findet das eigentliche Wachstum statt, d.h. Zellteilung und Zellstreckung. Die Photosynthese stellt die dazu erforderlichen Kohlenhydrate als „Baukomponenten“ zur Verfügung - nicht mehr und nicht weniger.

Geraten die systemrelevanten Einflussgrößen der Photosynthese in eine Schiefelage, wirkt sich das früher oder später nachteilig auf die Bereitstellung von Kohlenhydraten aus und damit mittelbar auf Erträge und Qualitäten. Dazu zählen vor allem geringe Einstrahlung, ein suboptimales Lichtregime in der Anlage, eine defizitäre Wasserversorgung, „schlechte“ Blattqualität sowie Hitze oder Kälte. Schatten, Bewölkung, oder/und Hageleinnetzung und niedrige Tagestemperaturen können zu Beginn der Saison zu einer signifikanten Verminderung des Fruchtansatzes beitragen. Lichtman-

gel kann beispielsweise den Fruchtansatz und das Fruchtwachstum noch stärker

### 5.2.3 Einfluss hoher Temperaturen

Unsere Obstanlagen leiden mit der Zunahme an Hitzetagen zunehmend an **Hitzestress**. Da sich solche Situationen von Jahr zu Jahr mehren, wollen wir genauer betrachten wie sich Photosynthese und Atmung unter diesen Extrembedingungen verhalten. Wenn über mehrere Tage oder Wochen auf Hitzetage tropische Nächte und umgekehrt folgen, tritt neben Wassermangel auch Kohlenhydratmangel auf, und zwar teilweise in erheblichen Ausmaß:

- Hohe Nachttemperaturen, vor allem „tropische Nächte“ mit mehr als 20°C, führen zu einer deutlichen Erhöhung der Atmungsraten (Verdoppelung in 10°C-Schritten) und damit zur Abnahme der Nettophotosynthese und daher einem geringeren Kohlenhydratangebot. In Krisenzeiten, vor allem in den ersten Wochen nach der Blüte können sich hohe Nachttemperaturen deswegen negativ auf den Fruchtansatz auswirken. Solche Stresssituationen sind bekanntlich sogar wichtige Indikatoren zur Terminierung bestimmter Ausdünnwirkstoffe wie Metamitron.

Tropische Nächte (>20°C), gepaart mit Hitzetagen (>30°C) wirken sich mehrfach nachteilig auf die Nettophotosyntheserate aus, ganz abgesehen von direkten Sonnenbrandschäden oder Trockenschäden:

- An heißen, trockenen und hellen Tagen mit Temperaturen von über 30°C werden die Stomata zur Minimierung von Wasserverlusten geschlossen. Damit einhergehend nimmt die Photosyntheserate zunehmend ab und die Lichtatmung (=Photorespiration) wird gefördert. Hintergrund dafür ist, dass unter diesen Bedingungen (durch das Schließen der Spaltöffnungen) letztendlich CO<sub>2</sub> Mangel in den Chloroplasten entsteht, was zwangsläufig zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Fixierung führt. Darüber hinaus kommt nun auch der sogenannte Calvin-Zyklus (Aufbau von Zucker aus CO<sub>2</sub>) zum Erliegen, während die Photosynthese weiterläuft. Die Sonnenenergie kann nun aber nicht mehr auf Energieträger (ADP, NADP) übertragen werden, weil diese durch den Zusammenbruch des Calvinzyklus nicht mehr frei werden. Die Folge ist eine Art Stau der ankommenden Elektronen, durch den die Chloroplasten geschädigt werden können. Dem Photosyntheseapparat droht daher Schaden (=Photostress).  
Zum Schutz des Systems setzt besagte Lichtatmung ein, bei der der Energiestau aufgehoben wird, indem die bereits aufgeladenen Energieträger ATP und NADPH unter Sauerstoffverbrauch wieder zu ADP und NADP abgebaut werden und CO<sub>2</sub> abgegeben wird. Die überschüssige Energie wird dadurch abgegriffen, der Calvinzyklus kann nun fortgesetzt werden. Das System ist repariert, allerdings auf Kosten eines erheblichen Energieverbrauches. Trockenstress und Hitze reduzieren somit die photosynthetische Leistungsfähigkeit der Bäume erheblich.
- Bei weiter steigenden Temperaturen (ab 40°C) verschärft sich parallel dazu der Wasserstress. Die Spaltöffnungen öffnen sich plötzlich wieder und es kommt zusätzlich zu unkontrollierbarem Wasserverlust und zur Dehydration der Bäume.

#### 5.2.4 Proteine (EiweiÙe)

Proteine stellen neben Kohlenhydraten und Fettsäuren den Hauptbestandteil der organischen Substanz pflanzlicher Organismen dar. Sie enthalten Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Schwefel. Proteine sind hochmolekulare Verbindungen, die aus verschiedenen, in langen Ketten von mehreren hundert miteinander verbundenen Aminosäuren bestehen. Der Stickstoffanteil verschiedener Proteine liegt zwischen 15 % und 24 %. Hier erkennt man schon die zentrale Bedeutung des Nährelementes Stickstoff für die Pflanze!

Die Proteine unterscheiden sich durch die unterschiedliche Reihenfolge der Aminosäuren. Der genetische Bauplan liegt in den Erbanlagen der DNA vor. Die für den Proteinaufbau notwendige genetische Information wird dann auf die mRNA kopiert und gelangt mit dieser zu den Ribosomen, den „Eiweißfabriken“ der Zelle. Gemäß dem Bauplan findet dort die Biosynthese der Proteine statt. Von den rund 250 bekannten in der Pflanze vorkommenden Aminosäuren sind nur 20 für den Aufbau von Proteinen relevant.

Proteine sind universelle Bau- und Betriebsstoffe in der Pflanze.

Einige Aminosäuren zählen unter anderem zu den Vorstufen von Pflanzenhormonen: Das Methionin etwa ist Ausgangsstoff der Ethylenbiosynthese und das Tryptophan die Vorstufe von Auxinen.

Eiweißstrukturen sind wichtige Bestandteile von Membranen und verleihen damit Zellen und Gewebeverbänden Stabilität.

Ein erheblicher Anteil an Eiweißstoffen ist Bestandteil der sogenannten FunktionseiweiÙe, d.h. von den Enzymen, die innerhalb der Pflanze eine schier unendliche Zahl von An-, Auf- und Abbauprozessen katalysieren. Aus den immer gleichen Ausgangsstoffen könnten im Prinzip nahezu unendlich viele Endprodukte hergestellt werden. Aber die An- oder Abwesenheit der speziell dafür nötigen Enzyme entscheidet, was davon wirklich entsteht.

Bei der Proteinsynthese werden zunächst die Aminosäuren aneinander gekoppelt (Primärstruktur). Danach werden sie in einer genau bestimmten Weise gefaltet, um später ihre spezifische Wirkung entfalten zu können (Sekundärstruktur). Schließlich wird dann dieses Gebilde noch im dreidimensionalen Raum durch chemische Brückenbindungen fixiert. Nur dann entfalten später z.B. die Enzyme ihre ganz spezifische Wirkung (Tertiärstruktur).

### 5.2.5 Nährelemente

Jedem Auszubildenden im Obstbau wird vermittelt, dass es zahlreiche sogenannte Nährelemente gibt, die für das Wachstum eines Baumes unverzichtbar sind. Dabei sind es nur wenige Elemente, die wirklich in nennenswerten Mengen in den Baum „eingebaut“ werden. Viele andere Elemente sind daran beteiligt, wichtige Funktionen der Pflanze zu steuern und/oder zu unterstützen.

Aus welchen Elementen ist der Baum aufgebaut?

Die wichtigsten, auch mengenmäßig bedeutsamsten **Pflanzennährstoffe sind Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff**, erst dann folgen die mineralischen Nährstoffe, die auch als **Nährelemente** bezeichnet werden.

prozentualer Gehalt	Bestandteile	Herkunft
75 – 85 %	Wasser	Boden
15 – 25%	Trockenmasse	
davon 45 %	Kohlenstoff (C)	Luft (CO <sub>2</sub> )
davon 40 %	Sauerstoff (O)	Luft, Boden (O <sub>2</sub> )
davon 8 %	Wasserstoff (H)	Boden (H <sub>2</sub> O), Blatt
davon 7 %	Mineralische Nährelemente	Boden/Luft

*Abbildung 9 Hauptbestandteile der Pflanze (Nährelemente)*

Die **nicht-mineralischen Nährstoffe**, insbesondere Kohlenstoffdioxid und Wasser, benötigt die Pflanze für die Photosynthese und Transpiration. Sauerstoffmangel kann sich äußerst limitierend auf das Wachstum auswirken, wenn beispielsweise den Wurzeln bei Bodenverdichtung oder -vernässung zu wenig Luft für ihre Atmungsprozesse zur Verfügung steht. Deswegen sollte der Optimierung des Wasser- und Lufthaushaltes im Boden sowie der Photosyntheseleistung der Pflanze (Belichtung, Wasser, Temperatur, Blattqualität usw.) bei allen Bewirtschaftungsmaßnahmen ausreichend Beachtung geschenkt werden. Bei der Pflanzenernährung reduziert sich der Fokus leider viel zu häufig auf die mineralischen Nährelemente.

Neben den nichtmineralischen Nährstoffen gibt es nach heutiger Kenntnis der Wissenschaft essenzielle mineralische Nährelemente. Diese mineralischen Nährelemente sind per Definition für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanze unabdingbar und können von keinem anderen chemischen Element ersetzt werden.:

Eine Reihe von Nährelementen, wie Stickstoff, Phosphor, Calcium, Magnesium und Schwefel, sind Baustein pflanzlicher Substanzen.

Andere wie Kalium, Eisen, Mangan, Zink, Molybdän, Bor, Nickel oder Kupfer fungieren als sogenannte Funktionsnährelemente, etwa als Co-Baustein von Enzymen und sind damit an verschiedensten Stoffwechselfvorgängen beteiligt.

Einige wie Kalium, Natrium und Chlor befinden sich in den Zell-Vakuolen und Gefäßen und leisten über ihre osmotische Wirkung einen wichtigen Beitrag zur Regulierung des Wasserhaushaltes in der Pflanze.

Bei den **mineralischen Nährelementen** unterscheidet man dabei, gemäß ihrer Konzentration in der pflanzlichen Biomasse, Haupt- und Spurennährelemente.

Die sogenannten Hauptnährelemente (=Makronährstoffe) liegen in vergleichsweise hoher Konzentration im Pflanzengewebe vor. Deren Bedarf entspricht mehreren kg/ha. Es gibt sechs Hauptnährelemente.

Stickstoff (N)	Magnesium (Mg)
Phosphor (P)	Calcium (Ca)
Kalium (K)	Schwefel (S)

*Abbildung 10 Hauptnährelemente der Pflanze*

Die Spurennährelemente (= Mikronährstoffe) kommen in vergleichsweise geringer Konzentration im Pflanzengewebe vor (< 1 mg/kg Trockenmasse). Deren Bedarf entspricht nur mehreren g/ha. Acht Spurenelemente sind heute bekannt:

Eisen (Fe)	Bor (B)
Mangan (Mn)	Molybdän (Mo)
Zink (Zn)	Kupfer (Cu)
Chlor (Cl)	Nickel (Ni)

*Abbildung 11 Spurennährelemente der Pflanze*

Neben den 14 (6+8) essenziellen Nährelementen gibt es auch die Gruppe der sogenannten Nützlichen Nährelemente:

- sie können das Pflanzenwachstum fördern oder die Qualität von Pflanzenteilen verbessern,
- sie wirken nicht bei allen Pflanzenarten gleichermaßen fördernd auf Wachstum und Entwicklung und
- vielfach liegen über sie noch keine eindeutigen Erkenntnisse vor.

Beispiele für solche nützlichen Elemente sind Silizium (Si), Natrium (Na), Kobalt (Co), Selen (Se) und Aluminium (Al).