

In den letzten Ausgaben haben wir uns auf die grünen Teile der Pflanze konzentriert und die Teilnehmer der Photosynthese unter die Lupe genommen. Wasser ist der Brennstoff, Licht der Motor und Kohlendioxid der Baustein für die Zucker.

Im Folgenden werden wir den Einfluss von Pflanzennährstoffen auf die Photosynthese beleuchten. Beginnen will ich mit den Spurenelementen, die in komplexen Riesenmolekülen integriert, wichtige Aufgaben übernehmen. Die meisten Spurenelemente, vorwiegend die Metalle **Kupfer, Mangan, Zink Molybdän und Eisen, sind Bestandteile von Enzymen.**

## Enzyme sind die Katalysatoren von Mensch, Tier und Pflanze.

**In der Photosynthese** wird die Lichtenergie gebraucht, um aus Kohlendioxid Zucker zu formen. Der Zucker (Glucose) ist als Energiespeicher zu betrachten, in dem tagsüber die Lichtenergie gespeichert wird. Zucker wird gebraucht, um wieder andere Stoffe aufzubauen. Dieser Aufbau der Pflanzenteile geschieht vor allem in der Nacht, bzw. in der Dunkelphase. Die Energiegewinnung aus Zucker arbeitet bei Tier (Mensch) und Pflanzen nach demselben Prinzip. Ebenso wie wir braucht die Pflanze für die Zuckerverbrennung Sauerstoff und atmet CO<sub>2</sub> aus, hierbei werden die notwendigen Pflanzenbausteine wie Zellwand, Eiweiße, Blattgrün usw. produziert.

**Für die Bauarbeiten sind Katalysatoren notwendig, das sind die Enzyme.** Die von einer Pflanze verwendeten Enzyme sind vielfach identisch mit den Enzymen, die wir selbst zum täglichen Stoffwechsel benötigen. Der Unterschied des tierischen Organismus zur Pflanzenzelle ist, daß Tiere abhängig sind von der Aufnahme von fix und fertiger Nahrung (Fett, Eiweiß, Kohlenhydrate). Die Pflanze dagegen kann aus den "toten" Mineralen eines Substrates lebendige Moleküle produzieren. Sobald diese lebenden Moleküle aufgebaut sind, beginnen sie in der Pflanzenzelle ein eigenes Leben mit speziellen Funktionen. Die Enzyme sind hierbei die komplexesten und selbstständigsten Stoffe, die zielgerichtet ihre ganz speziellen Aufgaben erfüllen.

## ENZYME und SPURENELEMENTE

Ein Enzym ist ein großes Eiweißmolekül mit einem aktiven Reaktionszentrum und einer spezifischen Gestalt. Oftmals besteht der aktive Teil eines Enzyms aus einem Spurenelement. Enzyme sind die ausführenden Organe von nahezu allen Reaktionen, die im Stoffwechsel stattfinden und für jede Handlung ist ein ganz spezielles Enzym anwesend.

*Tatsächlich ist es noch etwas komplizierter. Die Enzyme arbeiten zusammen mit den Co-Enzymen. Die Co-Enzyme bringen die Stoffe, die verändert werden sollen, zu den Enzymen (Transport), die Enzyme bringen an diesen Stoffen dann die Veränderungen an.*

## Enzyme sind selbständige Einheiten

Wenn man Enzyme isoliert und in ein Reagenzglas packt, so arbeiten sie einfach weiter. Sie funktionieren 100% unabhängig von den Organismen, in denen sie eigentlich wohnen.

### Beispiel

Das Enzym mit dem Namen Zellulase wird niemals mit seiner Aufgabe stoppen, Zellulose abzubauen, wenn Zellulose in der Nähe ist. Diese Eigenschaft macht sich der Mensch zunutze und lässt isolierte Enzyme in Bioreaktoren für sich arbeiten (Biotechnologie). Aber nicht nur in der neuesten Zeit, schon seit tausenden Jahren werden enzymatische Reaktionen gebraucht um das Leben angenehmer zu gestalten, so wie zur Herstellung von Käse und von Bier.

## Photosynthese-Enzyme

In der Photosynthese findet man die kuriosesten Enzyme, z.B. mit den Spurenelementen (Metallen) verbundenen Biomoleküle. Beinahe alle Spurenelemente, die mittels Düngung in die Pflanze gelangen, werden in Enzyme als zentrale Reaktionszentren eingebaut. (siehe Abbildung 1).



Abb. 1

## Spurenelemente für die Photosynthese

Nicht allein Licht, Wasser und Kohlendioxid halten die Photosynthese in Gang, Die metallischen Spurenelemente Eisen, Zink, Kupfer und Mangan sind Bestandteile von Photosynthese-Enzymen. Die Metallenzyme nehmen die bei der Photosynthese gewonnene Lichtenergie auf und reichen sie weiter, bis am Ende der Energieleiter Zucker entstanden ist. **Fehlt eines dieser Spurenelemente, kann die Lichtenergie nicht genutzt werden.**

Hier die Beispiele für die Praxis:

Von folgenden Spurenelementen ist bekannt, daß sie für die Pflanzen essentiell sind und durch Düngung zugeführt werden müssen: Eisen, Zink, Mangan, Kupfer, Bor, Molybdän.

**Eisen** nimmt eine Sonderstellung ein, da es in relativ hohen Konzentrationen benötigt wird und nicht "in Spuren". Zum Eisen aber später.

### **Kupfer**

Ein wichtiges Enzym, daß mit Kupfer gebildet wird, ist das Plastocyanin. Dies ist ein wichtiger Energieträger im Photosystem. In der Lichtreaktion, bei der das Licht in chemische Energie umgeformt wird, steht das Plastocyanin auf der untersten Stufe der Energieleiter.

Bei Kupfermangel bedeutet das: Licht wird zwar eingefangen und die Energie von Enzym zu Enzym gereicht, aber auf einer der letzten Stufen vor der Bildung von Zucker stoppt der Vorgang. Das heißt, die Photosynthese bringt keine Energie und die Pflanze wird langsam immer schwächer.

*Ein anderes Pflanzenenzym, daß mit Kupfer aufgebaut wird, kann jedermann in Arbeit sehen, wenn man einen Apfel aufschneidet. Nach kurzer Zeit verfärbt sich die Schnittfläche braun, dies ist die Auswirkung der kupferhaltigen Phenoloxidase, die mit dem Sauerstoff der Luft reagiert. Durch Antioxidantien wie Zitronensaft oder Vitamin C wird das Enzym unwirksam gemacht und der Apfel bleibt weiß.*



Das Plastocyanin ist ein Enzym der Lichtreaktion mit Kupferkern. Inmitten einer komplexen Kette aus Proteinen (langen Eiweißketten) befindet sich das zentrale Metall. Enzyme mit Metallkern sind besonders geeignet zur Energieübertragung.

### **Mangan**

In den vorangegangenen Kapiteln haben wir die Photosynthese und hierbei den Brennstoff Wasser kennengelernt. Die Lichtenergie spaltet das Wasser in seine Elemente Sauerstoff und Wasserstoff. Diese Spaltung wird gesteuert durch einen Enzym-Komplex mit zwei Manganteilchen, wobei ich in keiner Literatur eine Formel; oder einen Namen für diesen Mangan-Komplex gefunden habe. Vermutlich ist seine Struktur noch nicht geklärt.

Das Spurenelement Mangan hat also eine sehr wichtige Funktion in der Lichtreaktion in den grünen Blättern. Bei Mangel an Mangan verläuft die Spaltung des Wassers mangelhaft und die Photosynthese stoppt wegen Brennstoffmangel.

#### *Mangan und Mensch*

*Bei sportlichen Hochleistungen muss schnell Energie zur Verfügung gestellt werden. Hierzu bedient sich der Körper einer verkürzten Energiegewinnung, die Milchsäure als Endprodukt hat. Bei untrainierten Muskeln bleibt dann Milchsäure in den Muskeln zurück und wir empfinden dann einen lokalen Schmerz in den überanspruchten Muskelpartien, den wir als Muskelkater bezeichnen.*

*Manganhaltige Enzymkomplexe sind dafür verantwortlich, daß diese Milchsäure in Zucker umgebaut wird und somit der Milchsäureüberschuß schnell verschwindet.*

### **Zink**

Zink-Enzyme sind überall im Stoffwechsel anzutreffen. Zink dient als Co-Faktor von Enzymen, vor allem von solchen Enzymen die Alkohol und Milchsäure verarbeiten.

Diese Reaktionen bestimmen den gesamten Stoffwechsel und sind sowohl für die Lichtreaktion als auch für die im Dunkeln stattfindenden „Bauarbeiten“ unverzichtbar.

Die für den menschlichen Gebrauch wohl wichtigste Zinkverbindung ist die Alkohol-Dehydrogenase, die Zucker zum Zwecke der Energiegewinnung in Alkohol umformt.

#### *Zwischendurch*

*Beim Mann befindet sich der größte Zinkanteil in der Prostata und ist verantwortlich für die Mobilität der Spermien. Unfruchtbarkeit, die auf mangelnder Beweglichkeit der Spermien beruht, können dann mit Zinkgaben therapiert werden. Interessanterweise sind Austern eines der zinkhaltigsten Lebensmittel.*

### **Molybdän ist Teil eines Enzyms, das Nitrat-Stickstoff für die Pflanze verwertbar macht.**

Es ist ein Bestandteil eines Enzyms mit Namen Nitratreduktase. Dieses ist ein für Pflanzen lebensnotwendiges Enzym zur Formung von organischen Stickstoffverbindungen (Aminosäuren) aus anorganischen Stickstoffsalzen (Mineraldünger).

Die Nitratreduktase ist somit verantwortlich für die Umwandlung von Nitrat in biologisch aktiven Stickstoff.

Das heißt auch, wenn viel Nitratstickstoff im Dünger ist, muss auch ausreichend Molybdän zur Verfügung stehen damit der Stickstoff aus Nitrat auch verwendet werden kann

Das heißt bei Mangel an Molybdän und im vermehrten Masse bei gleichzeitigem Kupfermangel kann der angebotene Nitratstickstoff im Substrat nicht oder nur unvollständig verarbeitet werden und die Pflanze wird letztendlich an Stickstoffmangel (Verkümmern von jungen Trieben, Gelbfärbung der Blätter, Wachstumsstopp) leiden.

### Für biochemisch Interessierte:

Nitrat wird reduziert zu Nitrit (Nitrat-Reduktase), Nitrit wird durch die Nitrit-Reduktase (ein kupferhaltiges Enzym) in für die Biosynthese geeigneten Stickstoff (Ammonium= $\text{NH}_4^+$ ) umgewandelt. Als erstes biologisches Stickstoff-Molekül entsteht dann die Glutaminsäure (eine Aminosäure).

### **Bor**

Bor bildet, da Bor kein Metall ist, bei den Spurenelementen der Pflanzen eine Ausnahme. Es gehört ebenso wie Schwefel, Phosphor und Stickstoff zu den Nichtmetallen. Die Aufgaben von Bor in der Pflanze sind nicht so deutlich abgegrenzt wie die der anderen Mikronährstoffe.

Durch einen lang andauernden Bormangel werden die Pflanzen brüchig. Wenn man die Borzufuhr stoppt, kann im Labor nach kurzer Zeit bereits eine Lockerung des Zellwandgefüges gezeigt werden.

Bor bildet in der Pflanzenzelle negativ geladene **komplexe Verbindungen**, die durch positive Teilchen, insbesondere Calcium, stabilisiert wird.

Bor und Calcium stehen also im engen Zusammenhang und Bormangel behindert dann auch die Aufnahme und Verwertbarkeit von Calcium.

**Fortsetzung in der folgenden Ausgabe: Die Bedeutung weiterer Nährstoffe wie Eisen und Magnesium für die Photosynthese**



**HESI OrchiVit.** Optimal abgestimmter organisch mineralischer Komplettdünger mit vielen Vitaminen und Vitalstoffen