

## Erster Schritt:

Mit dem Wasser aus dem Pflanzsubstrat werden die darin gelösten Düngesalze in die Wurzelhaare eingesaugt (graue Zone in Zeichnung 1).

## Zweiter Schritt:

Um in den Stengel zu gelangen, müssen die Salze erst in das Innere der Wurzelzellen eindringen (Blaue Zellen in Zeichnung 1).

## Dritter Schritt:

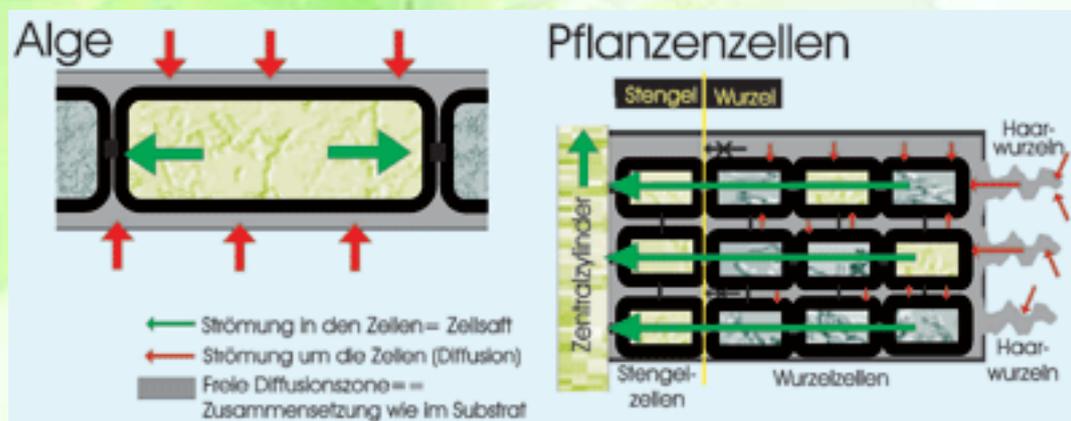
Über das komplexe Netzwerk aller Wurzelzellen-Innenräume werden die Düngesalze zum Zentralzylinder im Stengel transportiert (Grüne Zellen in Zeichnung 1).

**Im folgenden werden wir auf die einzelnen exakter eingehen.**

### Schritt 1:

Die Haarwurzeln sind die einzigen Wurzelteile, die nach außen offen sind. Die dünne Außenhaut der Haarwurzeln ermöglicht eine ungehinderte Passage von Wasser und darin gelösten Salzen. Die Zone in die Wasser ungehindert eindringen kann, bezeichnen wir als Freie Diffusionszone. Diese liegt zwischen Außenhaut der Haarwurzel und der eigentlichen Zelle, in einer Zwischenzone.

Diffusion bedeutet Verteilung. Wenn zwei wässrige Medien miteinander in Verbindung stehen (hier Pflanzsubstrat und Medium in der Haarwurzel), so haben die Inhaltsstoffe die Neigung, sich solange ineinander und miteinander zu verteilen, bis in allen Medien alle Stoffe gleich verteilt sind. In der Freien Diffusionszone verbreiten und vermischen sich alle Stoffe aus dem Wurzelsubstrat. Die freie Diffusionszone durchzieht das gesamte Wurzelgebilde und formt ein Netzwerk. Bei Veränderung der Zusammenstellung des Pflanzsubstrates (zum Beispiel durch eine frische Düngergabe) stellt sich durch Diffusion ein Gleichgewicht zwischen Wurzelumgebung und Freier Diffusionszone in den Wurzeln (graue Flächen in Zeichnung 1)

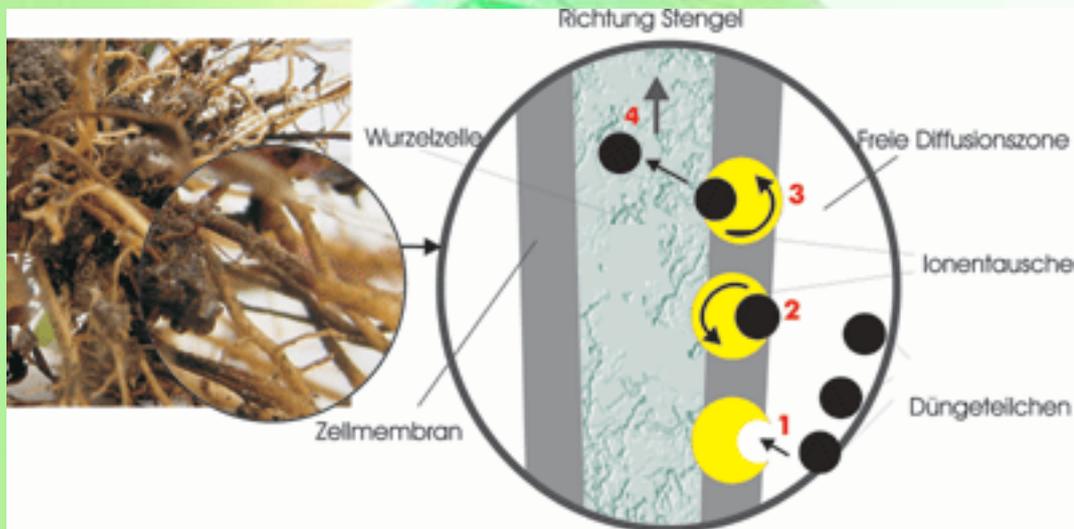


Jede Zelle inmitten eines Wurzelstranges ist von außen umspült mit einer Salzlösung, die permanent versucht die gleiche Konzentration wie im Pflanzsubstrat anzunehmen.

### 2. Schritt

## Das Eindringen in die Wurzelzellen – ein Kraftakt für die Pflanze

Das Wurzelmedium variiert täglich. Wenn wir düngen oder wenn wir gießen, wenn die Pflanzen Stoffe dem Boden entziehen oder etwas abgeben, ändert sich die Zusammensetzung des Pflanzsubstrates. Die Zusammenstellung des Pflanzensaftes in einem Stengel dagegen ist nahezu konstant, unabhängig davon, ob der Boden gerade gedüngt worden ist oder lange nicht. Und nicht nur die Verteilung der Salze bleibt konstant, auch der pH-Wert, die Zähigkeit und der Leitwert des Pflanzensaftes bleibt stabil. Auch finden wir im Pflanzensaft eine vom Bodrn stark abweichende Salzverteilung. Einige Stoffe wie Natrium und Chlorid (gelöstes Küchensalz) sind kaum vorhanden, andere Stoffe, wie zum Beispiel Spurenelemente können im Pflanzensaft in wesentlich höherer Konzentration als im Substrat vorkommen. Es muß also von der Pflanze eine aktive Sortierung vorgenommen werden.



**Am Beispiel einer Teichalge (der einfachsten Pflanzenzelle) sehen wir, wo die Selektion der Düngesalze stattfindet.** Das Teichwasser ist einzige Nahrungsquelle der Alge, hier bezieht sie alle ihre Mineralen. Trotzdem hat die Algezelle eine vollkommen andere Zusammensetzung als das Teichwasser: %  
**Aschegehalt**AlgeTeichwasserKalium (K<sub>2</sub>O)185Phosphor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)113Eisen (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)101Calcium (CaO)2246Einige Mineralen wie z.B. Eisen, Phosphor, Kalium sind 3-10fach konzentriert, während andere, wie z.B. Calcium, in der Algezelle weniger vorkommen als in der Umgebung. **Die Düngesalze werden beim Durchdringen der Zellmembran ins Innere einer Zelle selektiert.**

*Wurzeln können wir auch verstehen als eine Vielzahl aneinandergereihter „Algen“zellen, die alle nach demselben Prinzip arbeiten. Das wurzelnahe Wasser umspült jede Wurzelzelle (im Freien Diffusionsraum) wie das Teichwasser die Alge. Wie auch in der Alge findet die Auswahl der Düngesalze, beim Durchdringen der Zellmembran statt.*

Da die Bodenzusammenstellung variiert, der Pflanzensaft dagegen konstant bleibt, muß die Pflanze aktiv auf die Auswahl der Düngeteile einwirken können. Aktiver Transport heißt aber : Energieverbrauch. Und den können wir messen

Die Selektion der Düngeteile kostet der Pflanze Energie, dies zeigt das **Experiment**, daß in Zeichnung 2 skizziert ist: Eine Pflanze wird in ein Gefäß mit Wasser gesetzt und in ein lichtsicheres System gebracht. Durch Messung des Kohlendioxidverbrauches kann man die Atmungsaktivität der Pflanze messen (ihren Grundumsatz). Ergebnisse

Auf salzarmen Leitungswasser atmet die Pflanze minimal. Gibt man Dünger in das Wasser, so steigt die Atemintensität der Pflanze stark an. Setzt man die Pflanze dann wieder auf Leitungswasser, so vermindert ihre Atmung auch wieder. Setzt man dem Wasser statt Dünger Salze zu, die die Pflanze nicht gebraucht (wie Küchensalz) steigt ihre Atemintensität wieder auf ein hohes Level. **Bei ansteigender Salzkonzentration muß eine Pflanze immer mehr atmen, um die Nährlösung zu verarbeiten (ohne dabei auch nur einen Millimeter zu wachsen).** Sie benötigt die Energie, um das Salzangebot zu sortieren und dabei die Zusammensetzung ihres Pflanzensaftes konstant zu halten.

**Das bedeutet:** Je mehr Salzteilchen, umso mehr Stress (extra Energie) für die Pflanze.

Die Selektion der Düngesalze Siehe auch Zeichnung 3 Bevor die Salzteilchen in die Zelle eindringen, werden sie an der Außenhaut der Zelle festgehalten. Die Kontaktpunkte an der Außenseite der Zellen arbeiten nach dem Prinzip eines Ionentauschers. Bei Nichtgebrauch sind sie versiegelt durch ein Wasserstoffteilchen. Kommt ein Salzteilchen, z.B. ein Kalium in die Nähe dieser Kontaktpunkte, geht das Wasserstoffteilchen ab und das Kalium heftet sich an, sie tauschen sich also aus. **Die Außenseite der Zelle ist eine Art Wartezimmer für die Düngesalze.** Nach einem (bisher nur ansatzweise geklärten) Prinzip werden die Salzteilchen einzeln durch komplexe Schleusen nach innen transportiert oder auch einfach draußen gelassen, je nachdem, ob sie benötigt werden oder nicht.