

## B1 Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern

### 6 Fragen

#### 6.1 Allgemein

- a) Beschreibe, wie Pflanzen das Wasser aufnehmen, das sie verdunsten.

**Antwort:** Zunächst nehmen sie das Wasser vor allem über ihre Wurzeln auf. Da die Wurzeln mehr mineralische Salze und wasserlösliche organische Stoffe enthalten als das Wasser in der Erdumgebung, entsteht ein osmotischer Druck, der für das Eindiffundieren von Wasser in das Wurzelwerk der Pflanze sorgt. (Salze, die in der Erde in höherer Konzentration enthalten sind als in den Wurzeln, diffundieren ebenfalls ein). Durch eine Mischung von Osmose und Kapillareffekten wird das Wasser weitertransportiert bis in die Blätter am höchsten Punkt der Pflanze. An den Blättern beginnt dann die Verdunstung, wodurch wieder Konzentrationsunterschiede der gelösten Mineralien und osmotischer Druck entstehen. Zusätzlich entsteht ein sog. Transpirationssog, der dafür sorgt, dass ständig Wasser bzw. Pflanzensaft von den Wurzeln her nachfließt. Ein gewisses Maß an Verdunstung ist für Pflanzen also lebensnotwendig. Man kann sagen, es ist eine Art Kreiselpumpeneffekt, solange die Flüssigkeitssäule nicht abreißt, zieht der Verdunstungssog Flüssigkeit nach. Der Verdunstungssog reicht zwar nur für 10 m Steighöhe, aber Osmose und Kapillareffekte sorgen dafür, dass es auch in größere Höhen geht. (Botaniker haben abgeschätzt, bis auf maximal ca. 130 m Baumhöhe). Kurzum: Durch das Zusammenwirken von Kapillarkräften (Adhäsion), Osmose und Transpirationssog kommt der Wasser- und Nährstofftransport von den Wurzeln zu den Blättern in Gang.

Die Pflanze kann dabei die Verdunstungsrate, welche auch von Wind, Luftfeuchte und Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, steuern: Ihre Blätter sind von einer Hülle aus Epidermiszellen umgeben, welche durch eine Wachsschicht (Cuticula) auf der Außenseite geschützt ist und für Wasserdampf (genauso wie für Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid) schlecht durchdringbar ist. Durch Spaltöffnungen (Stomata) erfolgt der Gasaustausch nach außen. Diese Spaltöffnungen bestehen aus zwei bohnenförmigen Schließzellen, durch die das Blatt den Gasaustausch regulieren und somit auch die Verdunstungsrate im Bereich von zwei Größenordnungen steuern kann.

- b) Erläutere, warum bestimmte Pflanzen von Natur aus nur in bestimmten geografischen Regionen mit bestimmten Klimabedingungen gedeihen. Als Beispiel könntest du zwei so unterschiedliche Pflanzen wie Kakteen und Tomaten nehmen.

**Antwort:** Allgemein gilt, je besser eine Pflanze sich an ihre Umgebung angepasst hat, desto besser gedeiht sie. Dabei spielt der Wasserhaushalt meistens die größte Rolle. Kakteen z. B. besitzen hohes Wasserspeichervermögen, denn sie besitzen eine robuste Epidermisschicht mit sehr dicker Cuticula. Die Blattoberfläche ist, um eine übermäßige Erwärmung durch die Sonne zu vermeiden, mit reflektierendem Wachs und/oder mit reflektierenden feinen Härchen („Stacheln“) besetzt. Die Spaltöffnungen befinden sich z. T. nur an der Blattunterseite und sind kleiner und „versenkt“ angebracht. Folge ist, dass die Kaktee nur ca. 1/10 des Wassers verdampft im Vergleich zu „normalen“ Blattpflanzen. Im Extremfall kann eine Kaktee bis zu 2 Jahre ohne Wasser auskommen, oh-

ne abzusterben. Bei Tomatenblättern verhält es sich genau umgekehrt, die Tomaten benötigen deshalb auch sehr viel Wasser. Daran erkennt man, dass die Tomate ursprünglich aus dem südamerikanischen Regenwald stammt. Im Regenwald ist Wasser keine Seltenheit und es kommt beim Überleben einer Pflanze dort viel mehr drauf an, ob sie mehr Licht aufnehmen kann als ihre Konkurrenten oder ob sie mit weniger Licht auskommt als die Konkurrenzpflanzen. Zwar verlangen moderne, „hochgezüchtete“ Tomaten auch relativ viel Licht, aber der Wasserhunger ist geblieben. Kakteen dagegen brauchen viel Licht, was in wüstenartigen Gebieten auch ausreichend zur Verfügung steht. Dafür kommen sie mit dem dort knappen Wasser aus.

- c) Überlege, warum es zur Kondensation von Wasser an den Becherwänden kommt, auch wenn diese nicht gekühlt werden.

**Antwort:** Dadurch, dass im frischen Schnittgut noch relativ viel Wasser gespeichert ist, besteht ein Ungleichgewicht bezüglich der Menge an Wasser in der Luft und Wasser in der Pflanze. Durch das Einwirken der Strahlung der Sonne (oder der Lampe) erwärmen sich die Pflanzenteile und das Wasser verdunstet. Gleichzeitig erwärmt sich die Luft und die Wasserlöslichkeit der Luft steigt an. Da die Becherwand für das eingestrahelte Licht (sichtbares Licht und Wärmestrahlung) weitgehend durchlässig ist, wird sie von dem Licht nicht so stark aufgewärmt wie der Inhalt des Bechers. Durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit und die relativ kühle Becherwand kommt es deshalb zu Kondensation.

- d) Begründe, wieso der Versuch besser funktioniert, wenn die Becherwand gekühlt wird.

**Antwort:** Wird die Becherwand gekühlt, gibt es ein Ungleichgewicht zwischen der Wasserdampfsättigungskonzentration der Luft im Inneren (höher, da wärmer) und an der Becherwand (kleiner, da kälter). Es scheidet sich mehr Wasser an der Wand ab.

- e) Erkläre, warum es an heißen Sommertagen im Schatten eines Baumes mit dichtem Blätterdach meist kühler ist als im Schatten eines Sonnenschirms mit Stoffdach.

**Antwort:** Pflanzen geben, im Gegensatz zu Gebäuden, Wasser ab, indem dieses an der Oberfläche der Blätter verdunstet. Diese Verdunstung erzeugt sog. „Verdunstungskälte“ (siehe Experiment „A4 Verdampfungswärme – So kühlt man mit Wärme“). Dadurch wird die unmittelbare Umgebung der Pflanze kühler als durch den Schatten alleine, was eine natürliche Klimaanlage darstellt. Dieser Effekt wurde schon früher, nicht nur in Bayern, mit der Kastanienbepflanzung sog. Biergärten zur Kühlung der darunterliegenden Bierkeller genutzt. Auch die Bepflanzung der Innenhöfe arabischer Wohnhäuser oder der traditionelle Versammlungsbaum afrikanischer Dörfer dient diesem Zweck.

## 6.2 Vertiefende Frage zum Klimawandel am Fallbeispiel Paraguay

In Paraguay wurden in den letzten 30 Jahren 60 % des tropischen Regenwaldes gerodet und das Land wird nun zum Anbau vor allem von Soja als Viehfutter für Europa verwendet. Früher regnete es im Regenwald fast täglich. Heute kommt es zu Dürren und Missernten. Warum?

**Antwort:** Regenwälder sind dicht mit Pflanzen bewachsen. Regenwälder haben ein enormes Wasserspeichervermögen aufgrund einer Vielzahl großer, bis zu 40 m hoher und z. T. hundertjähriger Bäume mit enormen Volumina sowie aufgrund des gesamten Unterholzes, mit Moosen, Farnen und Flechten. Durch das relativ warme Klima verdunstet ständig ein großer Teil des Wassers, wird aber aufgrund der großen, dichten Waldflächen kaum durch Winde abtransportiert, sondern regnet größtenteils lokal, z. B. in Form von Gewittern, in vielen Jahreszeiten fast täglich ab. Dieses Wasser fließt größtenteils nicht ab, sondern wird vom Wald wieder „aufgesaugt“. Je nach geographischer Lage und Jahreszeit kommt es zusätzlich zu Niederschlägen durch vom Meer kommende Wolken.

Sojafelder haben im Vergleich dazu nur wenige Prozent des Wasserspeichervermögens des Regenwalds. Die im Boden enthaltene oder durch Bewässerung zugeführte Wassermenge verdunstet schnell und wird durch Luftströmungen abtransportiert. So trocknet das Land innerhalb weniger Jahre stark aus. Kommt es dann durch Regenwolken, die je nach Wetterlage vom Meer kommen, hin und wieder zu starken Regenfällen, fließt das Wasser größtenteils oberflächlich sehr schnell ab. Dabei wird die ohnehin dünne Humusschicht mit weggespült (Bodenerosion). Folge: Innerhalb weniger Jahrzehnte verstept und verwüstet die gesamte Region.

## 6.3 Vertiefende Frage zum Klimawandel am Fallbeispiel Biomasse aus Monokulturen

Da fossile Energieträger (Kohle, Erdgas, Öl) knappe Ressourcen sind, versucht man, durch Anbau von sog. Energiepflanzen alternative Energiequellen zu erschließen. Dabei werden diese Pflanzen (z. B. Soja, Sonnenblumen, Mais) in Monokulturen gezogen.

a) Wie gelingt es, mit diesen Pflanzen die Sonnenenergie technisch verfügbar zu machen?

**Antwort:** Die Pflanzen werden angebaut und nutzen in Form der Photosynthese die Sonnenenergie, um zu gedeihen. Nach der Ernte könnten die Pflanzen direkt über die Verbrennung in Kraftwerken zur Stromerzeugung genutzt werden oder sie werden durch Vergärung mit Mikroorganismen in sog. Biogas (hauptsächlich Methan) umgewandelt oder man gewinnt Treibstoffe wie sog. Biodiesel oder Bioethanol. Scheinbar ist die energetische Nutzung dieser Pflanzen klimaneutral. Beim Wachsen verbrauchen sie nämlich genauso viel Kohlenstoffdioxid wie z. B. bei ihrer späteren Verbrennung wieder freigesetzt wird. Bezieht man aber die Klima- und Umweltbelastung durch Düngung und Spritzmittel ein, ist in den meisten Fällen sowohl die Klima- als auch die Ökobilanz negativ.

- b) Welche negativen Auswirkungen haben diese Monokulturen auf das Klima?

**Antwort:** Ein großes Problem der Monokulturen ist, dass sie dem Boden bestimmte Nährstoffe entnehmen, nämlich die, die die Pflanzen der Monokultur am meisten benötigen. Um diesem Ressourcenentzug entgegenzuwirken wird es nötig, besonders viel Dünger einzusetzen (z. B. Stickstoffdünger, der das Treibhausgas  $N_2O$  freisetzt, das 310-mal klimaschädlicher ist als  $CO_2$ ). Wird auf derselben Fläche mehrjährig dieselbe Pflanze angebaut, vermehren sich darüber hinaus die für diese Pflanze typischen Schädlinge, Krankheitserreger und Unkräuter extrem schnell. (Früher machte man deshalb Fruchtwechsel mit bis zu 5 Jahren Wartezeit). Deshalb müssen nun verstärkt Insektizide, Fungizide und Herbizide eingesetzt werden.

- c) Welche Auswirkungen ergeben sich für die Menschen in den Anbauländern von solchen Monokulturen?

**Antwort:** Für die Menschen in diesen Regionen werden Nahrungsmittel teurer. Die Landwirte, die die Nahrungsmittel anbauen, oder die Großhändler haben ja nun die Wahl, ihre Produkte entweder an Energieproduzenten oder als Nahrungsmittel zu verkaufen. So hat sich z. B. der Maispreis (Hauptpflanze für Biogasgewinnung und Biokunststoff) als Folge der zunehmenden Nonfood-Verwendung seit 2005 vervierfacht. Infolge dessen ziehen die Preise für andere Getreidearten, die nun die Maislücke in der Ernährung füllen müssen, ebenfalls an. Folge: Die Unterernährung nimmt weltweit wieder zu.