

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Saarbrücken 1973.

## DER CO<sub>2</sub>-STOFFWECHSEL DER SUKKULENTEN ALS ANPASSUNG AN WASSERMANGEL

M. KLUGE

### *Abstract*

Certain succulent plants (Aizoaceae, Cactaceae, Crassulaceae, Euphorbiaceae, Agavaceae, Bromeliaceae, Orchidaceae) exhibit net CO<sub>2</sub> uptake from the atmosphere during the night which causes malate accumulation in the leaves. During the day the malate stored in the night before is depleted to CO<sub>2</sub> which is fed into the photosynthesis. So, the photosynthesis in succulent plants is independent from the uptake of CO<sub>2</sub> during the day. This enables the plants to keep the stomata closed during the day which lowers the loss of water by transpiration.

The CO<sub>2</sub>- and acid-metabolism of the assimilating cells is regulated by a malate induced feed back control of PEP carboxylase (i.e. the enzyme responsible for the CO<sub>2</sub> dark fixation) and by changing malate fluxes into and from the vacuoles of the assimilating cells.

### *Kurzfassung*

Bei der Besiedlung wasserarmer Standorte genießen vor allem solche Pflanzen einen Selektionsvorteil, die den Verlust des lebenswichtigen Wassers auf ein Minimum zu reduzieren vermögen. Das Schliessen der Spaltöffnungen der Blätter könnte den durch die Transpiration verursachten Wasserverlust drastisch herabsetzen und dadurch die Wasserbilanz der Pflanzen stützen. Diese Massnahme würde jedoch die Kohlenstoffbilanz der Pflanze gefährden, denn sie behindert oder blockiert zwangsläufig den CO<sub>2</sub>-Austausch und damit die photosynthetische Kohlenstoffassimilation. Viele Sukkulenten, vor allem Vertreter der Crassulaceae, haben jedoch einen Ausweg aus dieser Zwickmühle gefunden. Sie sind in der Lage, Kohlendioxid im grossen Umfang während der Nacht zu fixieren. Das im Dunkeln gebundene CO<sub>2</sub> wird zunächst als Äpfelsäure festgelegt und in dieser Form in den Vakuolen der assimilierenden Zellen gespeichert. Dies führt zu einer Akkumulation von Äpfelsäure in den Assimilationsorganen der Sukkulenten während der Nacht. Am Tage überwiegt der Abbau der Äpfelsäure deren Neusynthese, sodass der Säurespiegel im Verlauf der Lichtperiode wieder absinkt.

Der Abbau der Äpfelsäure im Licht erfolgt durch mehr oder weniger vollständige Zerlegung zu CO<sub>2</sub>, das direkt der Photosynthese als Substrat zugeführt wird und das die Photosynthese daher am Tage unabhängig vom CO<sub>2</sub> der Atmosphäre macht. Es ist den Sukkulenten also möglich, am Tage die Spaltöffnungen geschlossen zu halten, das heisst die Transpiration zu drosseln, ohne die Kohlenstoffbilanz zu gefährden.

Die vom Säurestoffwechsel im Blattparenchym verursachte Fluktuation im CO<sub>2</sub>-Gaswechsel (Netto-CO<sub>2</sub>-Fixierung in der Nacht, CO<sub>2</sub>-Produktion am Tage) scheinen die Spaltöffnungsbewegungen zu steuern, sodass der Kohlenstoffhaushalt und der Wasserhaushalt ursächlich miteinander verknüpft sind.

Die Erforschung des Säurestoffwechsels der Sukkulenten konzentriert sich derzeit auf die Frage nach der biochemischen Kontrolle dieses Vorganges. Es muss z.B. geklärt werden, wie es die Zellen verhindern, dass im Licht die zum Malat führende CO<sub>2</sub>-"Dunkelfixierung" mit der Photosynthese um das Substrat CO<sub>2</sub> konkurriert.

Es gibt stichhaltige Belege dafür, dass die PEP-Carboxylase (das für die CO<sub>2</sub>-Dunkelfixierung verantwortliche Enzym) bei hohem Äpfelsäuregehalt in der Zelle gehemmt ist, und zwar durch die Äpfelsäure selbst (feedback-Kontrolle). Damit ist dieses Enzym während eines grossen Teils des Tages als Konkurrent um das CO<sub>2</sub> geschwächt und erst dann wieder aktiv, wenn der Äpfelsäurevorrat verarbeitet ist. Indirekt scheinen auch die Vakuolen an dieser Stoffwechselregulation beteiligt zu sein, indem sie den Äpfelsäurespiegel im Cytoplasma, also am Wirkungsort der PEP-Carboxylase kontrollieren und so die Aktivität dieses Enzyms beeinflussen. Die Sukkulenten sind ein Beispiel dafür, dass sich Pflanzen nicht nur durch ihre anatomischen und morphologischen Anpassungen gegenüber übermässigem Wasserverlust schützen, sondern sich auch durch Spezialisierung im CO<sub>2</sub>-Stoffwechsel wasserarme Standorte als ökologische Nischen erobern können.

## LITERATUR

- BEEVERS, H.M., M.N. STILLER & V.S. BÜTT (1966): Metabolism of the organic acids. In: F.C. STEWARD, Plant physiology, vol IV B. New York and London, Academic Press.
- KLUGE, M. (1969): Veränderliche Markierungsmuster bei <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>-Fütterung von *Bryophyllum tubiflorum* zu verschiedenen Zeitpunkten der Hell/Dunkel-Periode. I. Die CO<sub>2</sub>-Fixierung unter Belichtung. *Planta* 88: 113–129.
- KLUGE, M. (1971): Der CO<sub>2</sub>-Austausch der Sukkulenten: Biochemische Grundlagen einer ökologischen Anpassung. *Ber.Dtsch.Bot.Ges.* 84: 417–424.
- TING, I. (1971): Nonautotrophic CO<sub>2</sub>-fixation and Crassulacean Acid Metabolism. In: Hatch, Osmond and Slatyer: Photosynthesis and Photorespiration. Wiley - Interscience: New York - London - Sydney - Toronto.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. M. KLUGE, Botanisches Institut am Fachbereich Biologie, Technische Hochschule, 61 Darmstadt, Schmittspahnstr. 3-5.