



2. Ausgewählte Forschungsthemen | *Selected research topics*



Algen im Klimawandel: Neue Messmethoden zeigen den Gasaustausch der Zellen in Echtzeit

Björn Rost, Klaus-Uwe Richter

Im Oberflächenwasser der Ozeane sorgen Mikroalgen (Phytoplankton) für die Nahrungsgrundlage der marinen Artengemeinschaft. Als Energiequelle für ihr Wachstum nutzen sie das Sonnenlicht, um Kohlendioxid (CO_2) zu organischen Verbindungen wie Zucker umzuwandeln. So bindet das Phytoplankton große Mengen an CO_2 und beeinflusst maßgeblich das Klima auf unserem Planeten. Im Rahmen des globalen Klimawandels sind große Veränderungen im marinen Ökosystem zu erwarten. Der Anstieg im atmosphärischen CO_2 -Gehalt wird neben höheren CO_2 -Konzentrationen im Meerwasser einen niedrigeren pH-Wert zur Folge haben, d.h. der Ozean wird saurer. Die zunehmende Erwärmung des Oberflächenwassers wird Durchmischungstiefe und damit Lichtklima und Nährstoffeintrag aus tieferen Wasserschichten beeinflussen. Erste Ergebnisse zeigen, dass solche Veränderungen nachhaltige Auswirkungen auf das Phytoplankton haben werden.

Wir haben den Einfluss unterschiedlicher CO_2 -Verfügbarkeit auf verschiedene Aspekte der Photosynthese bei wichtigen Phytoplanktonarten untersucht (Abb. 1). Obwohl im Meerwasser überreichlich vorhanden, ist die Nutzung von anorganischem Kohlenstoff mit erheblichem Aufwand für die Zelle verbunden. So kann das für die Kohlenstofffixierung verantwortliche Enzym RubisCO Kohlenstoff nur in Form von CO_2 nutzen, welches nur etwa ein Prozent des im Meerwasser gelösten anorganischen Kohlen-

Algae and climate change: new methods show the gas exchange of cells in real time

Björn Rost, Klaus-Uwe Richter

In the oceans' surface microalgae (phytoplankton) provide the nutritional basis for the marine food web. Using the sunlight as their source of energy for growth, they fix carbon dioxide (CO_2) into organic compounds like sugars. This way phytoplankton binds large quantities of CO_2 , hereby strongly influencing the climate on our planet. Global climate change will induce large changes in the marine ecosystem. Apart from higher aquatic CO_2 concentrations, the increase in atmospheric CO_2 will cause lower pH values, i.e. the oceans will get more acidic. Rising temperatures will impact surface ocean stratification, which in turn affect light climate and nutrient input from deeper layers. These environmental changes are bound to affect phytoplankton.

We studied the effect of CO_2 availability on different aspects of photosynthesis in important phytoplankton species (Figure 1). Despite relatively high concentrations of inorganic carbon in the ocean, phytoplankton cells have to invest considerable resources in carbon acquisition. The responsible enzyme for carbon fixation RubisCO is restricted to CO_2 , which represents less than 1% of the inorganic carbon dissolved in seawater and cannot use the predominant carbon species bicarbonate (HCO_3^-). Moreover, RubisCO requires CO_2 concentrations far above those found in seawater to work efficiently. Most microalgae have thus developed mechanisms that enhance the CO_2 concentration at the site of RubisCO.

Abb. 1: Schematisierte Gaswechselprozesse bei Phytoplanktern (links): Neben der photosynthetischen Sauerstoffentwicklung am Photosystem II und der CO_2 -Fixierung durch das Enzym RubisCO sind auch die Mechanismen des Kohlenstoffwechsels skizziert. Anorganischen Kohlenstoff (Ci) kann als CO_2 oder als HCO_3^- über Transporter in die Zelle und den Chloroplasten aufgenommen werden. Häufig spielt auch das Enzym Karboanhydrase (CA) eine große Rolle, da es die ansonsten langsame Einstellung des chemischen Gleichgewichts zwischen CO_2 und HCO_3^- beschleunigt und somit CO_2 schnell nachliefern kann. Membraneinlass-Massenspektrometrie (MIMS) dient der Betrachtung dieser Prozesse (unten): Die im Seewasser gelösten Gasmoleküle wandern durch die Membran und werden nur wenige Sekunden später im Massenspektrometer ionisiert, nach Masse/Ladungsverhältnis (m/z) getrennt und detektiert. Einige der wichtigsten Kollektoren-Kombinationen für spezielle Messaufgaben sind dargestellt. Das Diagramm (rechts) zeigt einen typischen Kurvenverlauf der CO_2 - und O_2 -Konzentrationen über einen Licht/Dunkel-Zyklus bei einer Photosynthesemessung.

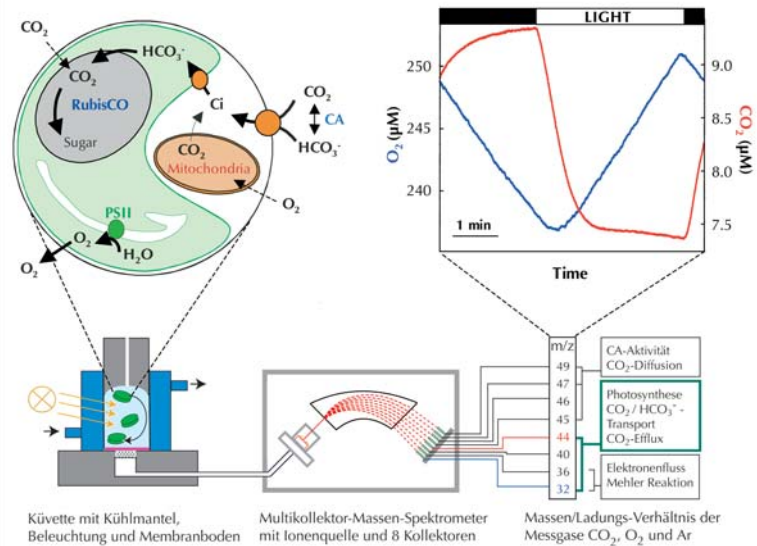


Fig. 1: Schematized gas exchange processes in phytoplankton (left): In addition to photosynthetic oxygen evolution at photosystem II and CO_2 fixation by the enzyme RubisCO, mechanisms of carbon acquisition are outlined. Inorganic carbon (Ci) can be taken up as CO_2 or HCO_3^- via transporters into the cell and chloroplast. The enzyme carbonic anhydrase (CA) is also involved in most species, since it accelerates the otherwise slow inter-conversion between HCO_3^- and CO_2 , hereby supplying CO_2 from the large HCO_3^- pool in seawater. Membrane-inlet mass spectrometry (MIMS) allows the monitoring of these processes (below): Gas molecules dissolved in seawater permeate through the membrane and are get ionised only seconds later in the mass spectrometer. Depending on their mass/charge ratio (m/z), ions are then separated and detected. Collector combinations are given for most important assays. The diagram shows a typical time-course of O_2 and CO_2 concentrations over a light/dark-cycle during a photosynthesis assay.

stoffs ausmacht. Der überwiegende Teil liegt allerdings als Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) vor. Um effizient wirken zu können, benötigt RubisCO zudem CO_2 -Konzentrationen, die weit über denen im Meerwasser liegen. Algen haben daher verschiedene Mechanismen entwickelt, welche die CO_2 -Konzentration am Ort von RubisCO erhöhen.

Zur Untersuchung des Kohlenstoffwechsels und anderer Aspekte der Photosynthese wurde die Membraneinlass-Massenspektrometrie (MIMS) am Alfred-Wegener-Institut etabliert (Abb. 1). Sie ermöglicht die Betrachtung von Gaswechselprozessen in Echtzeit. Eine Anwendung erlaubt es, zwischen CO_2 und HCO_3^- als Kohlenstoffquelle zu unterscheiden und deren konzentrationsabhängigen Transportraten zu bestimmen. In anderen Anwendungen ermöglicht der Einsatz von stabilen Isotopen, Aktivitäten der Karboanhydrasen (CA) oder photosynthetische Elektronenflussraten zu bestimmen. Der Vorteil der unterschiedlichen MIMS-Techniken liegt darin, dass mehrere Prozesse gleichzeitig und unter naturnahen Bedingungen untersucht werden können.

Verschiedene Phytoplanktongruppen haben unterschiedliche Wege des Kohlenstoffwechsels entwickelt. Alle bislang untersuchten Arten können neben CO_2 auch HCO_3^- aufnehmen, unterschieden sich jedoch stark in Regulierbarkeit und Effizienz dieser Prozesse. Auch in anderen Aspekten des Kohlenstoffwechsels gibt es große Unterschiede. Während einige Arten auch bei niedrigsten CO_2 -Konzentrationen keine CA-Aktivität zeigen, können wir bei Diatomeen z.T. sehr hohe und stark mit der CO_2 -Verfügbarkeit regulierte CA-Aktivitäten beobachten. Je nach Effizienz und Anpassungsfähigkeit des Kohlenstoffwechsels ergeben sich folglich auch CO_2 -abhängige Photosyntheseleis-

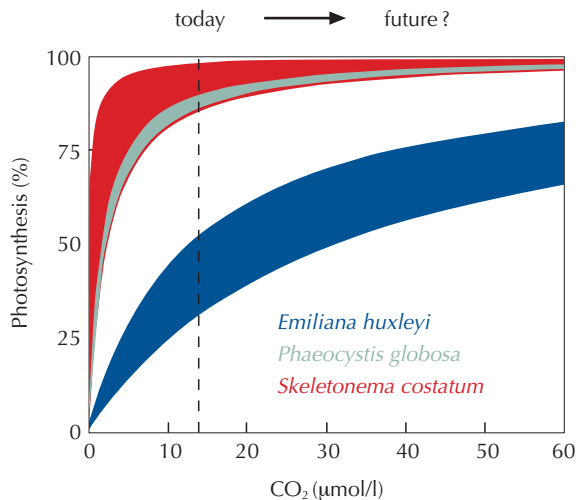
To examine the acquisition of carbon and other aspects of photosynthesis, the membrane-inlet mass spectrometry (MIMS) was established at the Alfred Wegener Institute (Figure 1). It allows monitoring gas exchange processes in real time. One application allows distinguishing between CO_2 and HCO_3^- as carbon sources and determines the uptake rates as function of concentration. In other applications, the use of stable isotopes enables CA-activities to be measured or photosynthetic electron fluxes. The advantage of the MIMS approach is that multiple processes can be investigated under conditions similar to those in the natural environment.

Phytoplankton groups have developed different modes of carbon acquisition. All hitherto investigated species were able to take up both CO_2 and HCO_3^- . They differed, however, strongly in terms of regulation and efficiency in their uptake systems. We also found large differences in other aspects of carbon acquisition. While some species showed no CA-activities even at lowest CO_2 concentrations, we often measured high and tightly regulated CA-activities in diatoms. Depending on efficiency and flexibility in carbon acquisition, we consequently observed differences in the CO_2 -sensitivity of photosynthesis (Figure 2). These findings suggest that the increase in CO_2 will have profound effects on phytoplankton communities, such as a shift in the dominance of species.

In future experiments on acclimation of microalgae, we will investigate representatives of other phytoplankton groups, such as the nitrogen-fixing cyanobacteria. In addition to CO_2 , the influence of other environmental parameters like light and nutrient availability on gas exchange processes will be

tungen (Abb. 2). Diese artspezifischen Unterschiede können zu einer veränderten Zusammensetzung des Phytoplanktons als Folge des Klimawandels führen.

In zukünftigen Experimenten zur Anpassung von Mikroalgen sollen weitere Vertreter der Phytoplanktongruppen, wie z.B. die stickstofffixierenden Cyanobakterien, untersucht werden. Neben CO_2 werden hierbei auch andere Umwelteinflüsse wie Licht und Nährstoffverfügbarkeit auf die Gaswechselprozesse betrachtet. Ein verbessertes Verständnis der Photosyntheseleistung, insbesondere des Kohlenstoffwechsels von Phytoplanktern, ist Grundvoraussetzung, um Folgen des Klimawandels auf die marine Lebensgemeinschaft abschätzen zu können.



assessed. A better understanding of photosynthesis, especially carbon acquisition, will improve our predictive capabilities of the responses of marine phytoplankton to global changes.

Abb. 2: Die Photosyntheseleistung verschiedener Phytoplanktonarten unterscheidet sich in ihrer CO_2 -Abhängigkeit. Während viele Arten maximale Raten bei den heutigen CO_2 -Konzentrationen (ca. 15 $\mu\text{mol/l}$) erreichen, zeigen andere Arten wie der Coccolithophoriden *Emiliana huxleyi* höhere Photosyntheseraten, wenn CO_2 die heutige Konzentration übersteigt. Solche Arten können von einem Anstieg im atmosphärischen CO_2 profitieren. Der hier dargestellte Bereich in den Photosyntheseraten reflektiert die artspezifische Fähigkeit, auf veränderte CO_2 -Konzentrationen während des Wachstums zu reagieren.

Fig. 2: Photosynthesis of phytoplankton species differ in their CO_2 sensitivity. Although many species are close to their maximum rates of photosynthesis under present-day CO_2 levels (approx. 15 $\mu\text{mol/l}$), some species such as the coccolithophorid *Emiliana huxleyi* show higher rates when CO_2 is increased above present levels. This raises the possibility that such species may benefit directly from the current increase in atmospheric CO_2 . The range in responses reflects the species-specific ability to respond to changes in CO_2 concentrations during growth.