

Sylter Algenfarm: Makroalgen als Nährstoff-Filter für Fischfarmen und neues Nahrungsmittel in Deutschland

Klaus Lüning, Shaojun Pang, Carsten Pape, Petra Kadel

Die globale Jahresproduktion an marinen Fischen, Krebsen und Weichtieren (Muscheln, Schnecken) von ca. 120 Millionen Tonnen wird heute bereits zu etwa einem Viertel aus Aquakultur gewonnen, in Netzkäfigen in Küstennähe oder auf dem Land in Meerwasser-durchströmten Tanks. Seit Mitte der 1980er Jahre stagnierte der globale Fischfang aus natürlichen Beständen, während die Produktion aus Aquakultur jährlich um vier bis elf Prozent zunahm. Die rasche Entwicklung der intensiven, gefütterten Aquakultur trägt aber zur Überdüngung (Eutrophierung) der Küstengewässer bei. Aus nicht aufgenommenem Fischfutter und Ausscheidungen der Fisch-Monokulturen strömen im Fall von Lachs pro Tonne Fisch 35 Kilogramm Stickstoff und sieben Kilogramm Phosphat in das umgebende Meerwasser.

Diese Mineralien sind ideale Pflanzennährstoffe für marine Makroalgen und können durch Massenkultur von Algen herausgefiltert werden, bevor sie das Meer erreichen. Daher wird heute weltweit versucht, die Fisch-Monokultur durch die Polykultur Fisch/Algen zu ersetzen, so auch mit dem vom AWI auf Sylt koordinierten EU-Projekt SEAPURA. Nach dem Motto „Abfallstoff der einen Monokultur wird zum Rohstoff der zweiten Monokultur“ kombiniert man die Nährstoff extrahierende Algenkultur mit der gefütterten Fischkultur zur integrierten Aquakultur oder Polykultur. Hauptzielrichtung des SEAPURA-Projektes mit Algenforschern aus fünf Ländern ist die Erprobung einer größeren Artenzahl mariner Makroalgen, die

Sylt Algal Farm: marine macroalgae as nutrient filters for fish farms and as a new food resource for Germany

Klaus Lüning, Shaojun Pang, Carsten Pape, Petra Kadel

Aquaculture produces today one quarter of the global supply of 120 million tons of marine fish, crustaceans and molluscs, with production in cages in the sea or in sea-water tanks on land. Since the mid 1980s, aquaculture production increased annually by 4-11 %, while fish catches in the sea declined steadily. The rapid development of intensive aquaculture produced, however, also environmental problems, mainly eutrophication of coastal areas. As an example, a nutrient load of 35 kg nitrogen and 7 kg phosphate per ton of fish may be discharged from a salmon culture into the surrounding sea water.

These discharged minerals are ideal plant nutrients for marine macroalgae and can be filtered out by algal mass cultures before entering the sea. Hence, there are today world-wide research activities trying to replace fed fish monocultures by fish/algae polycultures, e. g. as an activity of the EU project SEAPURA coordinated by AWI on Sylt. Nutrient extracting algal cultures are combined with fish cultures to an integrated aquaculture according to the motto "The discharged waste of one monoculture becomes an important raw material for the next monoculture". In the SEAPURA project, algal researchers from 5 countries tested a variety of marine macroalgal (seaweed) species from different climatic zones as possible nutrient filters for fish farms. Appropriate algal candidates should fulfil the follo-

in verschiedenen Klimazonen als Nährstoff-Filter für Fischfarmen eingesetzt werden können. Erfolgreiche Algen-Kandidaten sollen folgenden Bedingungen genügen: (1) Kommerzieller Wert für die Nahrungsmittel-, Futter- oder Kosmetikindustrie, (2) gute Wachstumsraten über das Jahr hinweg, (3) hohe Nährstoff-Filterleistung und (4) aufwuchssarme, „saubere“ Algenbiomasse.

Sechs von etwa 40 im SEAPURA-Projekt untersuchten Algenarten genügten diesen Anforderungen. Als Spitzenreiter hinsichtlich Wachstumsrate und Filterleistung erwies sich die fädige Rotalge *Falkenbergia rufolanosa*. Extrakte dieser Alge sind zudem wegen des hohen Gehalts an Chlor-, Brom- und Jodsubstanzen als Basis eines Mikroben-abweisenden Hautkosmetikums geeignet, was zu einem Patentantrag seitens der SEAPURA-Partner führte. Der kommerzielle Wert anderer Algenkandidaten auf dem deutschen Nahrungsmittelmarkt wird in einem begleitenden Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) erprobt. Die Rotalge *Palmaria palmata* sowie die Braunalge *Laminaria saccharina* werden bereits in deutschen Restaurants als gesundes Meeress Gemüse angeboten.

Heute werden weltweit, vor allem für die Nahrungsmittelindustrie, jährlich etwa zehn Millionen Tonnen Frischgewicht an marinen Makroalgen verarbeitet, die je zur Hälfte aus Wildbeständen oder aus Aquakultur vor allem in Fernost stammen. Die Weiterentwicklung des „marinen Ackerbaus“ zur Erzeugung von Pflanzenbiomasse unter Verwendung von Meerwasser ist notwendig, um den Verbrauch des kostbaren und knappen Rohstoffs Süßwasser zu verringern.

wing conditions: (1) Commercial value of the alga for the food, feed or cosmetics industry, (2) good growth rates throughout the year, (3) high nutrient filtering capacity, and (4) epiphyte-poor, "clean" algal biomass.

*Six out of the 40 algal species investigated by the SEAPURA partners fulfilled these conditions, with the filamentous red alga *Falkenbergia rufolanosa* among the top candidates. The extract of this alga exhibits a high content of chlorinated, brominated or iodine containing substances and can be used as a basic material for microbe-deterrent cosmetics, which lead to a patent application presented by the SEAPURA partners. The commercial value of other algal candidates on the German food market is tested in the course of an accompanying project of the German Environmental Foundation (DBU). The red alga *Palmaria palmata* and the brown alga *Laminaria saccharina* produced in tank culture by the Sylt algal farm (Fig. 6) are already eaten as healthy sea vegetables in German restaurants.*

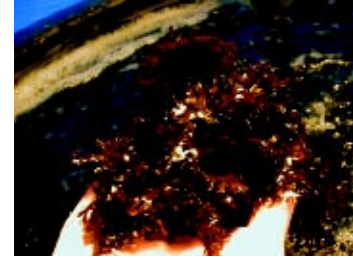


Abb. 6: In der Sylter Algenfarm werden marine Makroalgen im Gewächshaus ganzjährig in 2000-Liter-Tanks mit Luftumwälzung in lebensmittelsauberer Qualität gezüchtet. Die Rotalge *Palmaria palmata* sowie die Braunalge *Laminaria saccharina* sind bereits in Restaurants als gesundes Meeresgemüse erhältlich.

*Fig. 6: Marine macroalgae are cultivated all through the year in a greenhouse in the Sylt algal farm. Air-agitated 2000 litre tanks are used for cultivating seaweeds at life food quality standard. The red alga *Palmaria palmata* and the brown alga *Laminaria saccharina* produced by the Sylt algal farm are to be found already as healthy sea vegetables on the menu of German restaurants. (Photos: P. Kadel)*

Überleben unter hochantarktischen Bedingungen, Untersuchungen an Pectiniden

Daniela Storch, Olaf Heilmayer, Thomas Brey,
Christian Bock, Hans-O. Pörtner, Wolf Arntz

Kammuscheln (Pectiniden) sind außergewöhnliche Muscheln. Sie können mit ihren vielen kleinen Linsenaugen recht gut sehen und sie schwimmen gut und schnell, wodurch sie Boden lebenden Räubern, z. B. Seesternen, leicht entkommen können. Diese Fähigkeiten machen die Pectiniden zu einer der erfolgreichsten Muschelgruppen, die mit 400 Arten in allen Weltmeeren vorkommt. Auch die Antarktis wurde schon vor einigen Millionen Jahren erfolgreich von Kammuscheln besiedelt. *Adamussium colbecki* ist die häufigste der elf im Südpolarmeer vorkommenden Arten (Abb. 7). Sie gehört zu den streng wechsel-



Making a living in high-Antarctic waters, a study on pectinids

Daniela Storch, Olaf Heilmayer, Thomas Brey,
Christian Bock, Hans-O. Pörtner, Wolf Arntz

Scallops (pectinids) are exceptional bivalves. They can see well with their large number of little eyes and they are very good swimmers, thereby easily escaping bottom living predators like starfish. These abilities make the pectinids one of the most successful groups of bivalves, with 400 species in all oceans of the world. Even Antarctica was successfully colonised by scallops several million years ago. Adamussium colbecki is the most abundant of 11 species occurring in the Southern Ocean. They are cold-

Abb. 7: Die antarktische Kammuschel *Adamussium colbecki* kommt stellenweise in sehr hohen Dichten am Meeresgrund vor.

Fig. 7: The Antarctic scallop Adamussium colbecki has a high density though patchy distribution. (Photo: A. Starmans)

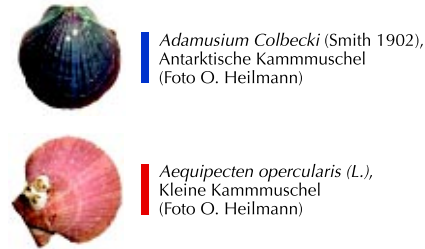
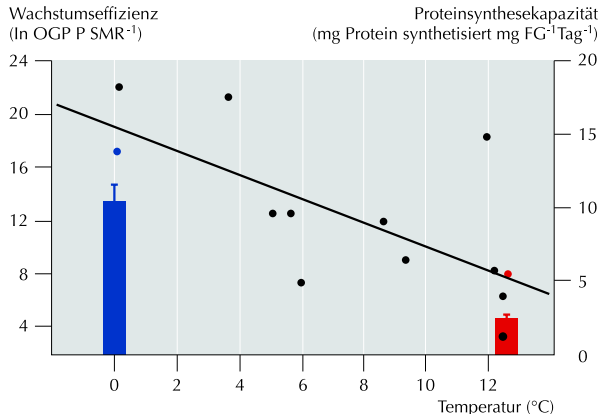


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur und Wachstumseffizienz (linke Achse: Quotient aus Gesamtwachstumsleistung und Standardstoffwechselrate) sowie Proteinsynthesekapazitäten (rechte Achse).

Fig. 8: Correlation between ambient temperature and growth efficiency (left axis: ratio of growth efficiency and standard metabolic rate) as well as protein synthesis capacities (right axis).

warmen Tieren, deren Körpertemperatur immer dem Umgebungswasser entspricht. In Zusammenarbeit mit dem British Antarctic Survey und dem italienischen Antarktisprogramm wollen wir herausfinden, wie es *Adamusium colbecki* schafft, den aus menschlicher Sicht gesehenen, „lebensfeindlichen“ Bedingungen der Antarktis, vor allem den niedrigen Wassertemperaturen, zu trotzen.

Anfang der 70er Jahre glaubte man, dass für wechselwarme Tiere das Leben in eiskaltem Wasser „teuer“ ist, da sie im Vergleich zu Tieren aus wärmeren Gebieten, wesentlich mehr Energie aufwenden müssen, um aktiv bleiben zu können. Heute wissen wir jedoch, dass das Leben im kalten Wasser sogar erhebliche energetische Vorteile mit sich bringen kann. Wechselwarme Tiere der Antarktis haben generell sehr

blooded animals, which means that their body temperature corresponds to the temperature of the surrounding sea-water. In cooperation with the British Antarctic Survey and the Italian Antarctic program we intended to explore, how *Adamusium colbecki* is able to live under conditions, which are, from an anthropocentric point of view, ‘hostile’, particularly due to very low water temperatures.

In the early 70s it was thought that living in ice-cold waters would be ‘expensive’ because cold-blooded animals would need much more energy to remain active than species living in warmer waters. At present we know that living in the permanent cold even can have energetic advantages. Poikilothermic animals from Antarctica generally have very low standard metabolic rates. At 0 °C the Antarctic scallop *Adamusium colbecki* spends half of the energy compared to the queen scallop *Aequipecten opercularis* from the French coast which was investigated at 10 °C. Nevertheless the swimming performance of both species is the same and also the growth performance scarcely differs. How does *Adamusium*

niedrige Stoffwechselraten. Die antarktische Kammmuschel *Adamussium colbecki* verbraucht bei 0 °C halb so viel Energie wie ihre an der französischen Küste lebende Verwandte *Aequipecten opercularis* bei 10 °C. Dennoch ist die Schwimmleistung der beiden Arten gleich, und auch in der Lebenswachstumsleistung unterscheiden sie sich kaum. Wie schafft *Adamussium* das, obwohl sie doch einen niedrigeren Stoffwechsel hat als *Aequipecten*? Der Vergleich vieler Kammmuschelarten aus allen Weltmeeren gibt uns einen Hinweis: Je niedriger die Temperatur ist, bei der eine Art lebt, desto effizienter wächst sie (Abb. 8, linke Achse und Gerade). Dies bedeutet, dass *Adamussium* einen größeren Anteil ihrer verfügbaren Energie für das Wachstum nutzt als *Aequipecten*. Aber welche Stoffwechselprozesse sind so gut an niedrige Temperaturen angepasst, dass dieser Vorsprung in der Wachstumseffizienz möglich wird? Auf zellulärer Ebene ist Wachstum eng an die Proteinsynthese (Eiweißaufbau) gekoppelt. Tatsächlich konnten wir beobachten, dass der isolierte Wachstumsapparat von *Adamussium* bei 0 °C schneller Proteine synthetisieren kann als der Proteinsyntheseapparat von *Aequipecten* bei ihrer Umgebungstemperatur (Abb. 8, rechte Achse und Balken). Die hohe Proteinsynthesekapazität der antarktischen Kammmuschel unterstützt also die auf ökologischer Ebene gefundene höhere Wachstumseffizienz im Kalten.

Weitere Studien werden zeigen, ob andere antarktische Weichtiere ähnlich hohe Wachstumseffizienzen erreichen und ob die evolutionäre Anpassung an die Kälte bei allen Arten auf den gleichen physiologischen Grundlagen beruht.

accomplish this, even though it exhibits a lower metabolic rate than Aequipecten? The comparison of many scallop species from around the world provides some evidence: The lower the temperature, at which the species lives, the more efficiently it grows (Fig. 8, left axis and straight line). This indicates that Adamussium allocates a larger fraction of metabolic energy to growth than Aequipecten does. However, which metabolic processes are optimised to support enhanced growth efficiency? At the cellular level growth is closely associated with protein synthesis. In fact we could observe that the isolated growth machinery of Adamussium at 0 °C synthesises proteins as fast as the protein synthesis apparatus of Aequipecten at their ambient temperature (Fig. 8, right axis and bars). Accordingly, high protein synthesis capacities of the Antarctic scallop corroborate higher growth efficiencies found at the ecological level.

Further studies will show, whether other Antarctic invertebrates attain similar growth efficiencies and whether the evolutionary adaptation to cold relies on the same physiological principles in all species.

Antarctica's cold freshwater sources

Hartmut H. Hellmer

Die „süßen“ kalten Quellen der Antarktis

Hartmut H. Hellmer

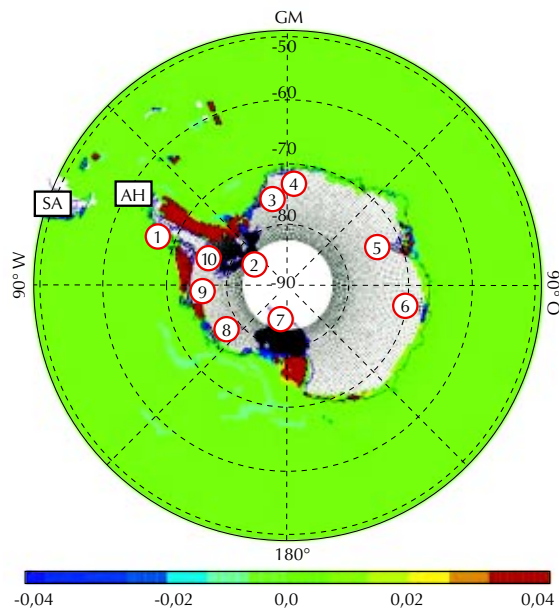
Einer der ersten Erforscher der Antarktis, James Clark Ross (1800-1862), traf bei seiner Suche nach dem magnetischen Südpol im Februar 1841 auf die Victoria Barrier, das heutige Ross-Schelfeis. Er resignierte: „Wir könnten mit ebensoviel Aussicht auf Erfolg versuchen, durch das Kliff von Dover zu segeln, wie durch diese Eismasse zu dringen“. Er wusste damals nicht, dass einer der größten „Kühlschränke“ der Antarktis – das Ross-Schelfeis – ihm den Weg versperrte. Das Volumen der sog. Kaverne (Wasserkörper zwischen Meeresboden, Schelfeis und Kontinent) beträgt ca. 100 000 Kubikkilometer. An der Basis schmelzendes Schelfeis modifizierte wohl schon damals Wassermassen des kontinentalen Schelfes derart, dass sie einen wesentlichen Bestandteil bei der Bodenwasserbildung darstellten und somit zur Kühlung der globalen Tiefsee beitrugen. Ein vollständiges „Abtauen“ wird dabei durch die ständige Zufuhr neuen Eises vom antarktischen Inlandeis verhindert.

Im Mittelpunkt der komplexen Kavernenprozesse steht die sogenannte „Eispumpe“. Um ihre Sensitivitäten und ihre natürliche Variabilität zu beleuchten, bleibt der Wissenschaft wegen der Unzugänglichkeit der Schelfeisregionen als einziges Werkzeug nur das numerische Modell. Am Alfred-Wegener-Institut bedient man sich dafür eines gekoppelten Eis-Ozean-Modells, dessen zirkumpolar gleichförmige Auflösung erlaubt, die wesentlichen Schelfeiskavernen des Süd-ozeans (Abb. 9) zu berücksichtigen. Die Analyse der Modelldaten ergab, dass auf dem Kontinentalschelf der Süßwassereintrag durch Schmelzen der Schelf-

In February 1841 the Antarctic explorer, James Clark Ross (1800-1862), encountered on his search for the south magnetic pole what he named Victoria Barrier, today's Ross Ice Shelf. Demotivated by its size he wrote: "We might with equal chance of success try to sail through the cliffs of Dover, as to penetrate such a mass (of ice)". He did not know that one of the biggest melting Antarctic "refrigerators" with a cavern volume of ca. 100 000 km³ was blocking his way to the south. Like today, this ice shelf certainly modified continental shelf waters to contribute significantly to the formation of deep and bottom waters and the ventilation of the global abyss. Ice shelf melting is roughly balanced by the steady flow of ice from the Antarctic ice sheet.

The central mechanism controlling the complex cavern processes is called "ice pump". Due to its inaccessibility, researches are forced to use numerical models to study the sensitivity and natural variability of the sub-ice shelf environment. At the Alfred Wegener Institute we use a coupled ice-ocean model with a circumpolar resolution high enough to resolve major Antarctic ice shelves (Fig. 9). The results show that the freshwater flux on the continental shelf due to melting at deep ice shelf bases amounts to 28 Milli Sverdrup ($1 \text{ mSv} = 1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$). This is a huge value considering that most freshwater from iceberg melting (70 mSv) is released to the ocean far away from the continent within the Antarctic Circumpolar Current.

The importance of the freshwater from the caverns is illustrated by comparing the results of two con-



eisbasis 28 Milli Sverdrup (1 mSv = 1000 Kubikmeter pro Sekunde) beträgt. Eine beträchtliche Rate, berücksichtigt man, dass Eisbergschmelzen (ca. 70 mSv) erst fern ab der Antarktis im Bereich des Zirkumpolarstroms große Süßwassermengen freisetzt.

Die Bedeutung des Süßwassereintrages durch Schelfeisschmelzen zeigt eine vergleichende Studie, in der der Strom aus der Kaverne unterbunden wurde. Dies führte zu einer Abnahme der Meereisdicke auf weiten Teilen des Kontinentalschelfs, verbunden mit einer Salzanreicherung in den Wassermassen des Schelfgebiets (Abb. 9) und einer Zunahme des Transports dichten Wassers gen Norden, durch den eine stärkere Ventilation der Tiefsee erfolgt. Fehlendes Süßwasser mindert die ohnehin nur geringe Stabilität der Wassersäule so weit, dass Meereisbildung verstärkt die Tiefenkonvektion anregt. Dieser Prozess bringt frisch belüftetes, dichtes Oberflächenwasser in die Tiefe, aber auch wärmeres Tiefenwasser an die Oberfläche. Letzteres führt zu der simulierten Abnahme der Meer-

Abb. 9: Salzgehaltsdifferenz in der Bodenschicht des Südozeans für September des 20. Integrationsjahres zwischen den Modellläufen ohne minus mit Schelfeiskavernen. Eingekreiste Zahlen markieren die Lage der im Modell berücksichtigten Schelfeise: 1-Larsen, 2-Filchner-Ronne, 3-Östliches Weddellmeer, 4-Fimbulisen, 5-Amery, 6-Shackleton, 7-Ross, 8-Getz, 9-Abbot, 10-George VI. SA-Südamerika, AH-Antarktische Halbinsel.

Fig. 9: Salinity difference in the bottom layer of the Southern Ocean for September of the 20th model year between configurations without minus with ice shelf caverns. Circled numbers mark the location of the ice shelves considered in the model: 1-Larsen, 2-Filchner-Ronne, 3-Eastern Weddell Sea, 4-Fimbulisen, 5-Amery, 6-Shackleton, 7-Ross, 8-Getz, 9-Abbot, 10-George VI. SA-South America, AH-Antarctic Peninsula.

trasting model configurations, with and without ice shelf caverns. A cessation of the freshwater causes a thinning of the ice cover for most of the continental shelf combined with a salinization of its water masses (Fig. 9) and an increase in dense water transport to the north which enhances the ventilation of the global abyss. These far-reaching consequences are related to the brine released during sea ice formation which destabilizes the weakly stratified water column causing deep convection. The latter transports cold surface waters to great depth forming dense shelf waters and warm deep waters to the surface causing a thinning of the ice cover.

Cavern processes influence the Southern Ocean deep water export and, therefore, are of global importance. Today both hemispheres host deep water sour-

eisdicke, ersteres zu den salzreicheren Schelfwassermassen und einer Zunahme der Produktion dichten Wassers.

Die Prozesse in den Schelfeiskavernen haben einen großen Einfluss auf den regionalen Tiefenwasserexport und sind damit sicherlich von globaler Bedeutung. Heutzutage befinden sich im Nordatlantik wie auch im Südozean gleich starke Quellen der globalen thermohalinen Zirkulation. Schon geringe Störungen im Süßwasserhaushalt der Südhemisphäre und insbesondere in der Konfiguration der Schelfeise könnten diese Balance ins Wanken bringen und globale Veränderungen verursachen.

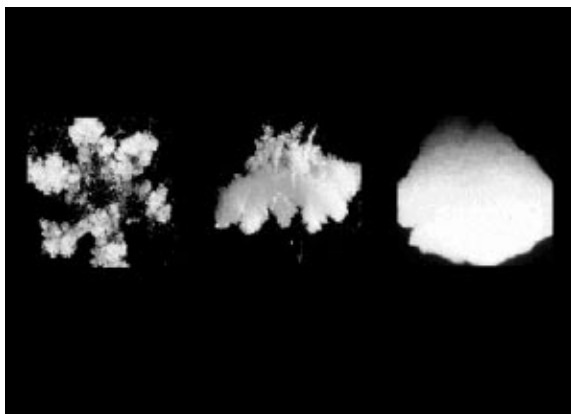
ces of equal strength. However, small disturbances in the freshwater fluxes due to, e. g., changes in Antarctica's ice shelf configuration might shake this balance – with global consequences.

Eigenschaften von Eisteilchen und ihre Auswirkung auf die Wolkenstruktur

Ulrike Wacker, Thorsten Reinhardt

In Wettervorhersagemodellen und in Klimamodellen werden Wolken berücksichtigt, um zum einen Niederschlag und Wolkenbedeckung zu simulieren, denn diese Größen prägen das Wetter und das Klima, und zum anderen um ihren Einfluss auf das Temperaturfeld zu erfassen. Eine Wolke besteht aus vielen Kondensatteilchen, die sich hinsichtlich ihres Aggregatzustandes (Wassertropfen, Eisteilchen) und ihrer Größe unterscheiden. Außerdem treten atmosphärische Eisteilchen in vielen Formen auf, beispielsweise als hexagonale Dendrite, Schneeflocken oder Graupel. Entsprechend den Feuchte- und Temperaturbedingungen ändern die Teilchen nicht nur ihre Größe, sondern auch ihre Form (Abb. 10).

Zur Simulation von Wolken müsste im Prinzip die Lebensgeschichte jedes einzelnen Kondensatteilchens beschrieben werden. Diese Vorgehensweise ist aber allein schon wegen des gigantischen Rechenauf-



Attributes of ice particles and their effects on the cloud structure

Ulrike Wacker, Thorsten Reinhardt

Clouds are considered in weather prediction and climate models to simulate precipitation and cloud cover, because these properties characterize weather and climate, and also to seize the impact of clouds on the temperature field. A cloud is composed of many condensate particles, which differ with respect to their state of aggregate (water drops, ice particles) and their size. Moreover, atmospheric ice particles appear in many different forms, e. g. as hexagonal dendrites, snow flakes or graupel. According to the moisture and temperature conditions, the particles do not change only their size, but also their form (Fig. 10).

To simulate clouds, in principle, the full life cycle of each condensate particle should be described. Such a procedure, however, is not feasible due to the large computational expense. Instead, the overall effect of the cloud microphysical processes is described. This requires many assumptions, amongst some related to the form of the ice particles. It is common procedure to assign the ice particles a certain shape,

Abb. 10: Übergang von einem leicht bereiften Eisteilchen durch Einsammeln und Anfrieren von Wolkenröpfchen zu einem Graupel.

Fig. 10: Transformation from a lightly rimed ice particle to a graupel due to collection and freezing of cloud droplets.

Source: http://www.essc.psu.edu/~dbabb/Chapter_12/ice2.html

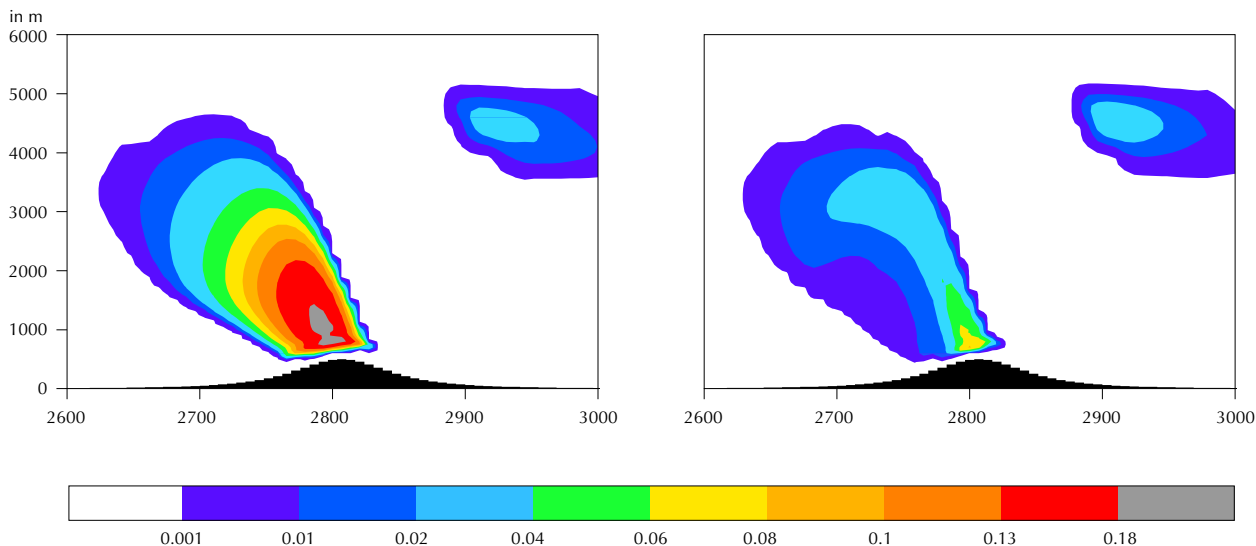
wandes unpraktikabel. Stattdessen wird die Wirkung der wolkenmikrophysikalischen Prozesse pauschal beschrieben. Dies erfordert eine Reihe von Annahmen, u. a. auch in Bezug auf die Form der Eisteilchen. Üblicherweise wird allen Eisteilchen eine bestimmte Form zugewiesen, und diese Form bleibt immer und überall gleich. Die natürliche Formenvielfalt und -variation können so nicht erfasst werden.

Wir haben in unseren Forschungsarbeiten zur Simulation von Wolken und Niederschlag mit dem operationellen mesoskaligen Wettervorhersagemodell ‚Lokal-Modell‘ (LM) des Deutschen Wetterdienstes u. a. die Auswirkung des vorzugebenden Eisteilchentyps untersucht. In der Abbildung 11 ist das Resultat einer Vergleichsstudie wiedergegeben. Bei der Überströmung eines Berges bilden sich in Aufwindbereichen Wolken, und zwar im Luv sowie in größerer Höhe auch im Lee des Berges. Die beiden Modellläufe unterscheiden sich allein darin, dass einmal die Eisteilchen als Graupel und einmal als flache, nahezu unbereifte Aggregate interpretiert werden. Da Wachstum und Fallgeschwindigkeit eines Eisteilchens von seinen geometrischen Eigenschaften abhängen, werden in den Simulationen Wolkenwasser und Wasserdampf in unterschiedlichem Umfang in Eis umgewandelt. Die Auswirkung ist in der Abbildung 11 zu erkennen: Der Wassergehalt der Wolke im Luv ist wesentlich höher, wenn die Eisteilchen als Graupel als wenn sie als Aggregate interpretiert werden. Unterschiedliche Ergebnisse erhält man auch für die Menge und die Phase des Niederschlags, in der Konzentration von Wasserdampf und infolge der unterschiedlichen Menge an freigesetzter latenter Wärme in der Temperatur. Die hohe Wolke im Lee ist zu schwach ausgebildet, als dass die Form der Eisteilchen einen

and this shape varies neither in time nor in space. In doing so, the natural diversity and variation in shape cannot be reproduced.

In our research on simulation of clouds and precipitation using the operational mesoscale weather forecast model ‚Lokal-Modell‘ of the Deutscher Wetterdienst (DWD), we investigated, among others, the impact of the prescribed type of ice particles. In Figure 11, the result of a comparative study is presented. During the air flow over a hill, clouds are formed in regions with upwind, that are in the luff as well as in a high layer in the lee of the mountain. The two model runs distinguish only by the fact, that in one case the ice particles are interpreted as graupel, while in the other case they are interpreted as flat, nearly unrimed aggregates. Since growth and fall velocity of an ice particle depends on its geometric properties, different amounts of cloud water and water vapour are transformed to ice. The implication can be seen from Figure 11. The cloud water content of the cloud in the luff is considerably higher, if the ice particles are interpreted as graupel than in the case with ice particles interpreted as aggregates. Different results are also found for the concentration of water vapor and, due to differences in the amount of latent heat released, in the temperature. The high cloud in the lee of the mountain is too weakly developed to show a noteworthy influence of the ice particle type.

This example shows that the assumptions on the treatment of clouds may exert considerable impacts on the model results. The treatment of clouds is a significant source of errors, and it will remain a challenge in weather forecast and climate modeling for still some time.



nennenswerten Einfluss haben kann.

Dieses Beispiel zeigt, dass Annahmen zur Behandlung von Wolken erhebliche Auswirkungen auf die Modellresultate haben können. Die Behandlung von Wolken ist eine signifikante Fehlerquelle und wird noch für einige Zeit eine Herausforderung in der Wettervorhersage und Klimamodellierung bleiben.

Abb. 11: Vertikalschnitt der Verteilung des Wolkenwassergehaltes (in Gramm Wolkenwasser pro Kilogramm Luft) für Modellsimulationen einer Bergüberströmung mit Eisteilchen interpretiert als Graupel (links) bzw. als flache Aggregate (rechts). Die Abszisse bezeichnet den Abstand (in Kilometer) vom Einströmrand des Modellgebietes.

Fig. 11: Vertical cross section of the distribution of cloud water concentration (in gram cloud water per kilogram air) for model simulations of the flow over a hill; ice particles are interpreted as graupel (left) and as flat aggregates (right). The abscissa denotes the distance (in kilometer) from the inflow boundary of the model domain.