

## Marine Genomik – Von den Genen zur Evolution und Ökologie mariner Organismen

Klaus Valentin

Genomik, die Ermittlung der DNA-Sequenz sämtlicher Gene eines Organismus, ist in der Öffentlichkeit vor allem durch das „Human Genome Project“ bekannt geworden. Mit Hilfe der Genomik kann der Stoffwechsel eines Organismus rekonstruiert werden und es sind Rückschlüsse über die Genomevolution möglich. Nun hält die Genomik auch Einzug in die Marine Biologie.

Mit Beteiligung des Alfred-Wegener-Instituts wurde erstmals das Genom einer marinen Alge, das der Diatomee *Thalassiosira pseudonana*, vollständig sequenziert (Abb. 15, Armbrust et al. (2004) Science 306: 79-86). Die Wahl war auf eine Diatomee gefallen, weil diese Algengruppe eine besonders wichtige Rolle im marinen Phytoplankton spielt und mit geschätzten 20 % zur globalen Photosynthese beiträgt. Diatomeen besitzen filigran ornamentierte Silikatschalen und sind auch aus evolutionärer Sicht von besonderem Interesse. Ihre photosynthetischen Einheiten, die Plastiden, waren einmal frei lebende Rotalgen, die erst durch die so genannte „sekundäre Endosymbiose“ zu Plastiden wurden – zwei eukaryotische Zellen mit zusammen 5 Genomen (2 Zellkerne, 2 Typen Mitochondrien und eine Plastide) haben sich so in einer neuen, besonders erfolgreichen Symbiose zusammengefunden. Von den einmal vorhandenen 2 Kernen blieb nur einer übrig, ebenso nur einer von den beiden Mitochondrientypen. Diatomeen bieten also die Möglichkeit, Spuren von

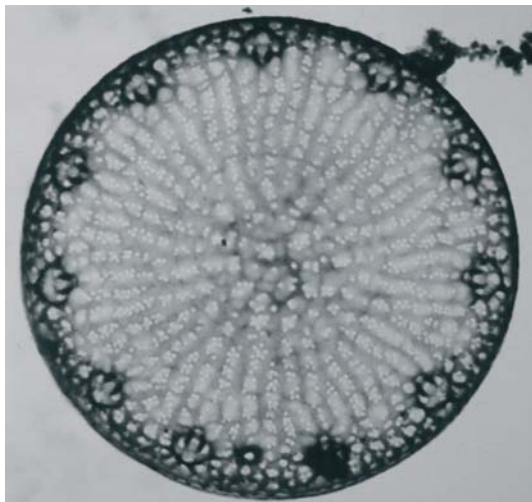
## Marine Genomics – through genomes to evolution and ecology of marine organisms

Klaus Valentin

*Genomics, aiming at the determination of the DNA sequence of all genes of an organism, has gained public interest through the human genome project. It allows reconstruction of metabolic pathways of an organism but also can be used to draw conclusions on genome evolution. Now genomics have entered the field of marine biology.*

*The Alfred Wegener Institute was involved in sequencing of the first genome from a marine alga, *Thalassiosira pseudonana* (Figure 15, Armbrust et al. (2004) Science 306: 79-86). This species, a diatom, was chosen because the taxon plays a pivotal role in the marine phytoplankton, diatoms contribute an estimated 20 % to global CO<sub>2</sub> fixation. Diatoms possess complex and beautifully ornamented silica shells and they are also interesting from an evolutionary point of view. Their photosynthetic entities, the plastids, once were free-living red algae which were transformed into organelles through a process called “secondary endosymbiosis” – two eukaryotic cells, together possessing 5 genomes (2 nuclei, 2 types of mitochondria and one plastid) formed a novel, very successful symbiosis. From the 2 nuclei only one survived as did only one of the two mitochondrial types. As a consequence diatoms offer the possibility to unravel traces of the ancestral 5 genomes in the extant three ones (nucleus, mitochondrion, plastid).*

*Perhaps the biggest challenge in genomics is the determination of the functions of thousands of puta-*



**Abb. 15:** Erstmals vollständig sequenziert, die Diatomee *Thalassiosira pseudonana*

**Fig. 15:** *The first marine alga to be completely sequenced, the diatom Thalassiosira pseudonana (Photo courtesy of Grete Hasle, University Oslo, Norway)*

ursprünglich einmal 5 Genomen der beteiligten Zellen in den heute noch vorhandenen drei Genomen (Kern, Plastid, Mitochondrion) zu finden.

Die größte Herausforderung der Genomik ist die Bestimmung der Funktion tausender von Genen, die durch die Sequenzierung identifiziert wurden. Bei *T. pseudonana* galt es die Funktionen und die evolutionären Ursprünge von bis zu 11 400 Genen zu identifizieren um so die Biologie dieser Algengruppe besser verstehen zu können. Die Analyse konnte große Teile des Stoffwechsels aufklären und einige Gentransferereignisse nachweisen. So wurden Kopien des Photosynthese-Gens *psbW* sowohl im Plastiden als auch im Kern gefunden, ein Hinweis für einen aktuellen Gentransfer. Weiterhin fanden sich Gene für Phytochrom, ein Signalpigment, dass bisher nur

in *T. pseudonana* identifiziert wurde. In *T. pseudonana* wurde die Aufgabe bis zu 11,400 Genen mit dem Ziel der weiteren Aufklärung der Diatombiologie. Die Analyse hat wichtige Teile der *T. pseudonana* Metabolismus entschlüsselt und identifiziert eine Reihe von Gentransferereignissen, z.B. das Photosynthesegen *psbW* war im Zellkern und im Plastid, was einen jüngeren Gentransfer demonstriert. Ein Gen wurde gefunden, das für Phytochrom, ein Signalfarbstoff, das bisher nur von grünen Landpflanzen und Cyanobakterien bekannt ist, kodiert. Dieses Pigment wird durch rotes Licht stimuliert, das in der marinen Umgebung fast vollständig fehlt, daher bleibt seine Funktion bei Diatomen rätselhaft.

Im Gegensatz zu Pflanzen oder Tieren besitzen Diatomee alle Gene, die für zwei Stoffwechselwege der Fettsäureabbau notwendig sind. Dies könnte erklären ihren großen Erfolg in der polaren Umgebung durch die schnelle und effektive Nutzung von Speicherglipiden. Besonders bemerkenswert war die Entdeckung aller Gene des Harnstoffzyklus, ein Stoffwechselweg, der bisher nur bei Tieren bekannt war. Dieser Stoffwechselweg hat viele Funktionen bei Diatomee, z.B. für die Synthese von Signalmolekülen oder die Bildung der Siliziumhülle. Jüngere Ergebnisse deuten darauf hin, dass sie auch in der Lage sind, Prolin über den Harnstoffzyklus zu produzieren. Prolin ist ein wichtiges osmotisches Stabilisierendes, das Wasser binden kann, was den Wasserverlust in salzigen Umgebungen verhindert.

Das *T. pseudonana* Genomprojekt war erst zu Beginn. Ende 2005 wurde ein zweites Diatom Genomprojekt abgeschlossen und die AWI wird bei der Analyse helfen. Die Art, *Phaeodactylum tricoratum* (Figure 16), ist ein Cosmopolit, der eine wichtige Rolle bei der kommerziellen Nutzung von Diatomee spielt, z.B. für die Fettsäureproduktion. Die AWI ist einer der 9 europäischen Partner des *Ectocarpus siliculosus* Genomprojekt. *E. siliculosus* (Figure 16) gehört zu

aus grünen Landpflanzen und Cyanobakterien bekannt war. Es bleibt zu klären, welche Funktion dieses, auf rotes Licht reagierende Pigment hat, da im marinen Milieu kaum Rotlicht vorkommt.

Abgeleitet von ihrer Genausstattung könnten Diatomeen, anders als Tiere oder Landpflanzen, Fettsäuren auf zwei Wegen abbauen. Möglicherweise sind sie in Polargebieten deshalb so erfolgreich, weil sie Reserve-Lipide besonders schnell und effektiv nutzen können. Spektakulär war die Entdeckung sämtlicher Gene des Harnstoffzyklus, der bisher nur aus Tieren bekannt war. Dieser könnte in Diatomeen vielfältige Funktionen haben, zum Beispiel die Synthese von Signalstoffen oder die der Herstellung der Silikat-Zellwand. Jüngste Ergebnisse zeigen, dass Diatomeen den wichtigen Osmolyten Prolin über den Harnstoffzyklus synthetisieren könnten. Osmolyte wie Prolin können Wasser binden und so verhindern, dass der Zelle im salzigen Milieu über Osmose Wasser entzogen wird.

Das Genomprojekt um *T. pseudonana* ist erst der Anfang. Ende 2005 wurde die Sequenzierung einer weiteren Diatomee, *Phaeodactylum tricornutum*, mit Beteiligung von Wissenschaftlern des Alfred-Wegener-Instituts abgeschlossen. *P. tricornutum* (Abb. 16,

the brown algae which play an important global role in structuring ecosystems on rocky shores or the intertidal. Future genome projects the AWI is involved in concern a sea ice bacterium and a red macroalgae.

links) ist weltweit verbreitet und spielt auch eine bei der kommerziellen Nutzung von Diatomeen wichtige Rolle, zum Beispiel bei der Herstellung von Fettsäuren. Das Alfred-Wegener-Institut ist einer von neun europäischen Partnern eines Genomprojektes für die Braunalge *Ectocarpus siliculosus* (Abb. 16, rechts), das derzeit in Frankreich durchgeführt wird. Braunalgen haben bei der Strukturierung von Ökosystemen an Küsten eine wichtige Funktion, speziell an Felsküsten oder Küsten mit ausgeprägten Gezeiten von den tropischen bis zu den polaren Gebieten. Weitere Genomprojekte mit Beteiligung des Alfred-Wegener-Instituts sehen die Sequenzierung eines Meereisbakteriums und einer roten Makroalge vor.



**Abb. 16: Im Blickpunkt der Genomforscher – Die Diatomee *Phaeodactylum tricornutum* (links) und die Braunalge *Ectocarpus siliculosus* (rechts).**

*Fig. 16: Current focus of marine genomics – the diatom *Phaeodactylum tricornutum* and the brown macroalgae *Ectocarpus siliculosus*. (Photos: left, A. de Martino and Ch. Bowler, Stazione Zoologica and Ecole Normale Supérieure, France)*