Forschungsthema des Monats November 2017: Topic 3
Regionale Klimaänderungen in der Arktis

SynSenPFT: ein globaler Datensatz zur Verteilung von funktionalen Gruppen von Phytoplankton im Ozean

Um die Rolle des Ozeans als Mediator von Klimaveränderungen zu verstehen, ist es unerlässlich, Informationen über die Verteilung der funktionalen Gruppen von Phytoplankton (sog. PFTs) zu gewinnen, die unterschiedlich das globale marine Ökosystem und die biogeochemischen Kreisläufe entscheidend beeinflussen. Dies geschieht insbesondere in Gebieten, in denen sich die Veränderungen der Umweltbedingungen am stärksten bemerkbar machen, wie z.B. im Arktischen Ozean. Satellitenbeobachtungen ermöglichen es, diese Informationen auf der Grundlage spezifischer optischer Eigenschaften von Phytoplankton und anderer Licht absorbierender Stoffe im Ozean und in atmosphärischen Bestandteilen abzuleiten. Die in den letzten Jahren gewonnenen Erkenntnisse zur Phytoplanktondiversität basieren auf der Anwendung unterschiedlicher Algorithmen und auf Daten von multi- und hyperspektralen Satellitensensoren. Die relativ hohe räumliche und zeitliche Auflösung der multispektralen "ocean colour"-Daten (Ozeanfarbe) bieten eine gute Grundlage, um weitere Studien zur Dynamik und Phänologie des Phytoplanktons zu erstellen. Die Multispektralsensoren liefern jedoch nur Informationen über diejenige Strahlung, die die Wasseroberfläche in einer begrenzten Anzahl von Spektralbändern verlässt (es werden 6 bis 10 Spektralbänder für die Detektion der „ocean colour" verwendet), wobei die Bandbreiten von 7,5 nm bis 20 nm variieren. Diese spektrale Auflösung ist zwar genau genug, um die Konzentration von Chlorophyll-a (Chla; Pigment, das von allen Phytoplanktonarten produziert wird) zu erhalten, aber sie ist nicht geeignet, um die Blüte unterschiedlicher Phytoplanktongruppen zu unterscheiden. Daher ist die Nutzung dieser Produkte darauf beschränkt, entweder die Größenfraktion oder aber die Dominanz von Phytoplanktongruppen anzuzeigen. Dies geschieht, indem man den Zusammenhang zwischen in-situ gemessenen Konzentrationen von Chla und entsprechenden Phytoplanktongruppen-Marker-Pigmenten ableitet. Diese Konzentrationen werden mit Hilfe eines Hochleistungsflüssigkeitschromatographen (HPLC) bestimmt. Der empirische Ursprung dieser Zusammenhänge (gewöhnlich auf Grundlage eines globalen in-situ Datensatz) führt zu einigen Einschränkungen dieser sogenannten Abundanz-basierten Ansätze: sie können keine atypischen Zusammenhänge vorhersagen und die erhaltenen Zusammenhänge können sich regional unterscheiden (Soppa et al. 2014).

Satelliteninstrumente mit einer hohen spektralen Auflösung (<1 nm) bieten nun die Möglichkeit zur genaueren Unterscheidung multipler PFTs, indem sie explizit auf die spektralen Signaturen eines spezifischen PFT zurückgreifen, die direkt aus der Eingangsinformation abgeleitet werden (spektrale Ansätze). Die Möglichkeit zur quantitativen Erfassung der wesentlichen PFTs im offenen Ozean, welche auf deren Absorptionseigenschaften basiert, wurde anhand der PhytoDOAS-Methode nachgewiesen (**Phyto**plankton **D**ifferential **O**ptical **A**bsorption **S**pectroscopy Methode; entwickelt von der AWI „Phytooptics" Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umweltphysik der Universität Bremen; Bracher et al. 2009). Dabei wurden hyperspektrale Satellitendaten des Sensors „**Sc**anning **I**maging **A**bsorption Spectro**m**eter for **A**tmospheric **CH**arograph**Y**" (SCIAMACHY) genutzt. Allerdings ist die globale Nutzung von hyperspek-

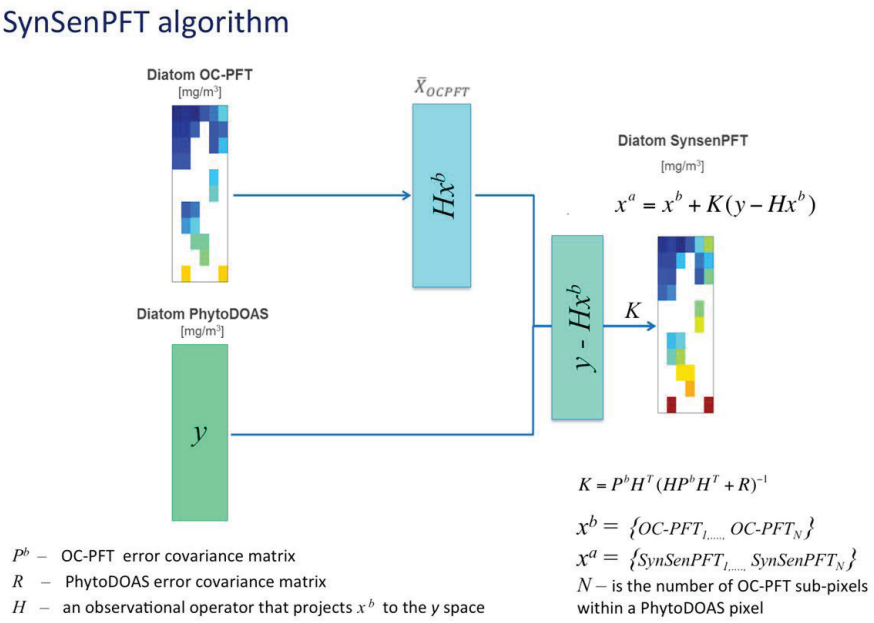

Abb. 1: Beispiel für die Prozessierung der Satellitendaten mit dem SynSenPFT Algorithmus. Hier wird die PFT Information in jedem OC-PFT Pixel (x^b), welcher ein Subpixel („Teilbildpunkt") des PhytoDOAS Pixels ist, zusammen mit der PhytoDOAS PFT Chlorophyll-a Konzentration (y) und der vorgegebenen („a priori") Fehler-Statistik in den Kalman-Filter eingeführt, der es dann ermöglicht, SynSenPFT Chlorophyll-a Konzentration (x^a) in jedem OC-PFT pixel zu berechnen.

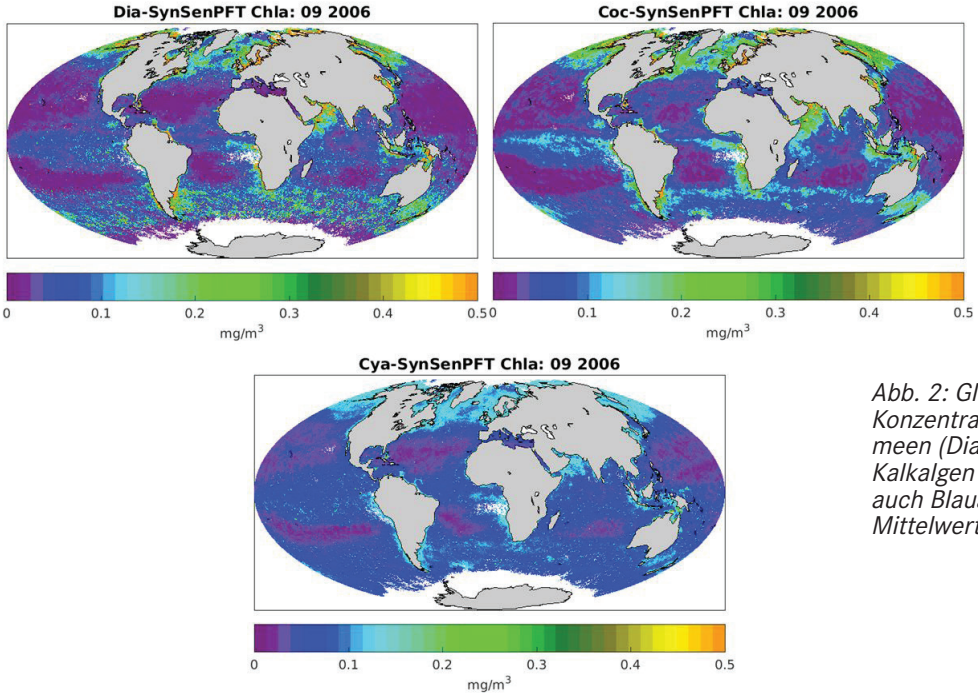

Abb. 2: Globale SynSenPFT Chlorophyll-a Konzentration (Chla)-Produkt für Diatomeen (Dia, auch Kiesealgen genannt), Kalkalgen (Coc) and Cyanobakterien (Cya, auch Blaualgen genannt) als monatlicher Mittelwert für September 2006.

tralen Satellitendaten für Anwendungen im Bereich der „ocean colour“ bis heute sehr begrenzt, da die Pixelgröße dieser Daten sehr groß ist (30 km x 60 km pro Pixel) und eine globale Abdeckung dieser Messungen erst nach einem Zeitraum von sechs Tagen erreicht wird.

Eine Studie der Arbeitsgruppe „Phytooptics“ am AWI, die in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umweltphysik der Universität Bremen (IUP-UB), dem Laboratoire d’Océanographie de Villefranche (LOV, Villefranche, Frankreich) und dem Plymouth Marine Laboratory (PML, Plymouth, UK) durchgeführt wurde, entwickelte eine Methode, die oben genannten Mängel der gegenwärtigen multispektralen PFT Produkte (Bereitstellen von entweder nur dominanten Phytoplanktongruppen oder Datenprodukte mit einer besonderen Koppelung an a priori Information, Bracher et al. 2017a) und der gegenwärtigen PhytoDOAS-Datenprodukten (niedrige zeitliche und räumliche Abdeckung) beheben kann. Die Autoren kombinierten die hyperspektralen Daten, welche durch eine hohe spektrale und eine grobe räumliche Auflösung charakterisiert sind, mit multispektralen Daten, die eine höhere räumliche und zeitliche Auflösung besitzen (SynSenPFT, Losa et al. 2017a). Der SynSenPFT Algorithmus (Abbildung 1) basiert auf den ursprünglichen Eingabedaten überarbeiteter Versionen (Bracher et al. 2017b, Losa et al. 2017a) der existierenden PFT Algorithmen, die auf hyper- und multispektralen Informationen basieren – PhytoDOAS (Bracher et al. 2009, Sadeghi et al. 2012) und OC-PFT (Hirata et al. 2011, Soppa et al. 2014). Durch eine synergistische Verknüpfung mittels optimaler Interpolation leitet der neue Algorithmus PFT Produkte mit zeitlicher und räumlicher Auflösung von multispektralen „ocean colour“-Daten ab, allerdings basierend auf der Nutzung der spektralen Informationen der hyperspektralen Daten. Die Grundzüge des Algorithmus, die die größte Herausforderung bei der späteren Implementierung darstellen, zusammen mit Sensitivitätsstudien und Evaluierung anhand eines großen globalen in-situ PFT Chla-Datensatzes (Soppa et al. 2017), wurden in Losa et al. 2017a veröffentlicht. In der Veröffentlichung heben die Autoren die Perspektiven des SynSenPFT-Systems für zukünftige Anwendungen hervor, bezogen auf die hyperspektralen Sensoren Sentinel-5-Precursor, Sentinel-4 und Sentinel-5 und dem multispektralen Sensor OLCI auf Sentinel-3. Ziel dabei ist die weiter verbesserte räumliche Auflösung des erhaltenen PFT Chla-Produktes und die Verlängerung der Zeitserien über die nächsten Dekaden mit Hilfe der Sentinel-Missionen.

Das SynSenPFT-Datenprodukt enthält die Chlorophyll-a Konzentrationen (Chla) drei maßgeblicher Phytoplankton-Gruppen: Diatomeen, Coccolithophoriden und prokariotischer Phytoplankton (auch Cyanobakterien genannt). Der Datensatz mit einer Auflösung von 4 km x 4 km deckt alle Ozeane der Erde für die gesamte Zeitdauer der ESA ENIVSAT (ENVIronmental SATellite) Mission (August 2002 – April 2012) ab. Die SynSenPFT Chla Zeitserien sind unter https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.875873 öffentlich abrufbar (Losa et al. 2017b). Abbildung 2 zeigt das monatliche Mittel der SynSenPFT Chla Produkte des globalen Ozeans für September 2006.

Abbildung 3 stellt das monatliche SynSenPFT Chla-Mittel für den Arktischen Ozean im Juni 2010 dar. Mit Hilfe der arktischen SynSenPFT Chla-Zeitserien für Diatomeen, Coccolithophoriden and Zyanobakterien werden zukünftige Arbeiten im Rahmen des REKLIM Verbundes bzw. eine gekoppelte physikalisch/biochemische (MITgcm-Darwin-basierte) Modellstudie zur Dynamik des Phytoplanktons und zum biogeochemischen Kreislauf unter Berücksichtigung gegenwärtiger Klimaänderungen unterstützt und vervoll-

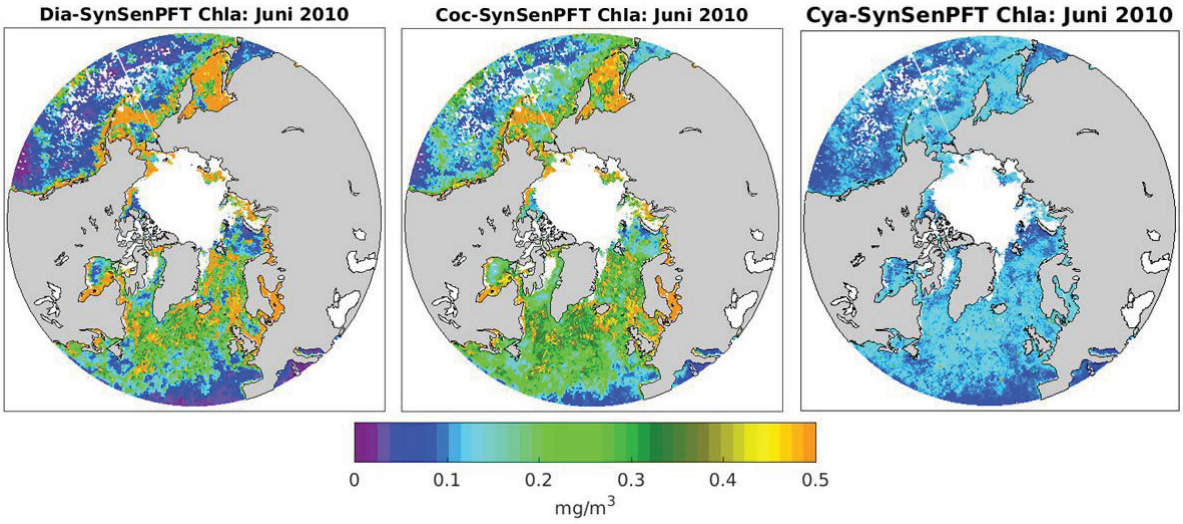

Abb. 3: SynSenPFT Chlorophyll-a Konzentration (Chla)-Produkt für Diatomeen (Dia, auch Kiesealgen genannt), Kalkalgen (Coc) and Cyanobakterien (Cya, auch Blaualgen genannt) im arktischen Ozean als monatlicher Mittelwert für Juni 2010.

ständigt. Setzt man plausible Ergebnisse der PFT-Simulationen voraus, würde es im Gegenzug wiederum möglich sein, zum einen das SynSenPFT-System weiter zu verbessern, indem die über Satellitenfernerkundung gewonnenen PFT Chla-Informationen mit den biogeochemischen Modellergebnissen verknüpft werden. Zum anderen bietet sich infolge dessen auch die Gelegenheit, die vertikale Struktur der Phytoplanktondiversität abzubilden und Gebiete und Zeiträume abzudecken, für die keine Satellitendaten erhältlich sind. Bezogen auf den Arktischen Ozean spielt diese Möglichkeit insbesondere dann eine entscheidende Rolle, wenn die Satelliten-Informationen eine geringere räumliche Abdeckung aufgrund von Wolken oder nur eine sehr dünne obere Wasserschicht aufgrund eines niedrigen solaren Zenithwinkels repräsentieren. Alle weiteren Verbesserungen des SynSenPFT – wie z.B. ein Phytoplankton-Diversitäts-Produkt für den Arktischen Ozean und ein sich dynamisch entwickelndes System selbst – basieren stark auf den sich ergänzenden Expertisen innerhalb der ganzen „PHYTOOPTICS"-Gruppe (Abbildung 4).

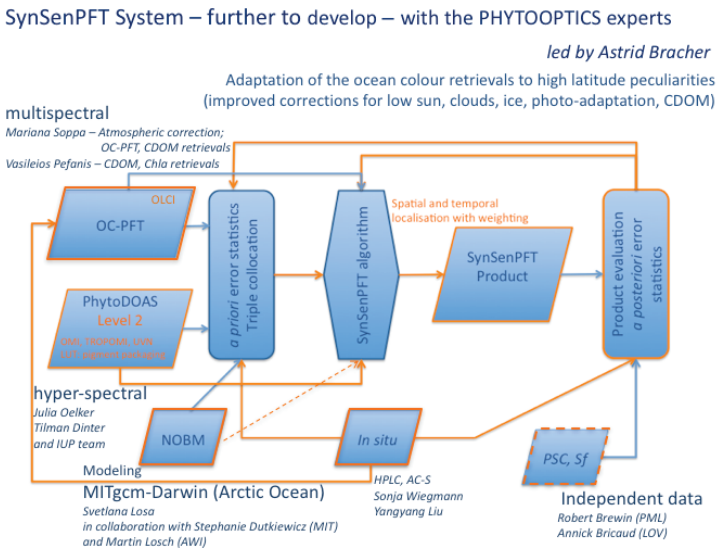

Abb. 4: Schema zur Veranschaulichung der Weiterentwicklung des SynSenPFT-Algorithmus-Systems. Orange hervorgehoben sind Möglichkeiten für weitere Verbesserungen. Hervorgehoben ist auch die Expertise der einzelnen PHYTOOPTICS-Wissenschaftler.

Referenzen:

Bracher, A., Bouman, H., Brewin, R., Bricaud, A., Brotas, V., Ciotti, A., et al. (2017a). Obtaining phytoplankton diversity from ocean color: A scientific roadmap for future development. Frontiers in Marine Science 4, 55. doi:10.3389/fmars.2017.00055.

Bracher, A., Dinter, T., Wolanin, A., Rozanov, V. V., Losa, S., and Soppa, M. A. (2017b). Global monthly mean chlorophyll a surface concentrations from August 2002 to April 2012 for diatoms, coccolithophores and cyanobacteria from PhytoDOAS algorithm version 3.3 applied to SCIAMACHY data, link to NetCDF files in ZIP archive. doi:10.1594/PANGAEA.870486.

Bracher, A., Vountas, M., Dinter, T., Burrows, J. P., Röttgers, R., and Peeken, I. (2009). Quantitative observation of cyanobacteria and diatoms from space using PhytoDOAS on SCIAMACHY data. Biogeosciences 6, 751–764. doi:10.5194/bg-6-751-2009.

Hirata, T., Hardman-Mountford, N., Brewin, R., Aiken, J., Barlow, R., Suzuki, K., et al. (2011). Synoptic relationships between surface chlorophyll-a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types. Biogeosciences 8, 311–327. doi: 10.5194/bg-8-311-2011

Losa, S. N., Soppa, M. A., Dinter, T., Wolanin, A., Brewin, R. J. W., Bricaud A., Oelker, J., Peeken, I., Gentili, B., Rozanov, V., Bracher, A. (2017a). Synergistic exploitation of hyper- and multispectral precursor Sentinel measurements to determine Phytoplankton Functional Types at high spatial and temporal resolution (SynSenPFT), Frontiers in Marine Science, 4, 203, doi: 10.3389/fmars.2017.00203

Losa, S. N.; Soppa, M. A.; Dinter, T.; Wolanin, A.; Oelker, J.; Bracher, A. (2017b): Global chlorophyll „a“ surface concentrations for diatoms, coccolithophores and cyanobacteria as the synergistic SynSenPFT product combined PhytoDOAS and OC-PFT for the period of time August 2002 – April 2012, links to NetCDF files. PANGAEA, doi: 10.1594/PANGAEA.875873.

Sadeghi, A., Dinter, T., Vountas, M., Taylor, B., Altenburg-Soppa, M., and Bracher, A. (2012). Remote sensing of coccolithophore blooms in selected oceanic regions using the PhytoDOAS method applied to hyper-spectral satellite data. Biogeosciences 9, 2127–2143. Doi:10.5194/bg-9-2127-2012.

Soppa, M. A., Hirata, T., Silva, B., Dinter, T., Peeken, I., Wiegmann, S., et al. (2014). Global retrieval of diatom abundance based on phytoplankton pigments and satellite data. Remote Sensing 6, 10089–10106. doi:10.3390/rs61010089.

Soppa, M. A., Peeken, I., and Bracher, A. (2017). Global chlorophyll “a” concentrations for diatoms, haptophytes and prokaryotes obtained with the Diagnostic Pigment Analysis of HPLC data compiled from several databases and individual cruises. doi:10.1594/PANGAEA.875879.

Ansprechpartnerinnen:

Prof. Dr. Astrid Bracher
Leiterin der PHYTOOPTICS-Gruppe am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

Dr. Svetlana Losa
REKLIM Ansprechpartnerin der PHYTOOPTICS-Gruppe am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven

PHYTOOPTICS
Helmholtz Young Investigators Group

Die PHYTOOPTICS-Gruppe am AWI konzentriert ihre Arbeiten auf die Entwicklung von Auswerteverfahren für Satellitenbeobachtungen der Phytoplankton-Diversität und anderer Wasserinhaltsstoffe wie farbige gelöste organische Stoffe (colored dissolved organic matter – CDOM). Unterstützt werden diese Untersuchungen mit bio-optischen in-situ Messungen und numerischen Modellstudien. Ziel der Untersuchungen ist das bessere Verständnis hinsichtlich anthropogener und natürlicher Beiträge von Klimaveränderungen und wie sich diese auf das marine Ökosystem und die biochemischen Kreisläufe auswirken.

Kurzbiografie REKLIM Wissenschaftlerin

Svetlana Losa (Alfred-Wegener-Institut)

Svetlana Losa erhielt 1998 ihren Doktor in Physik und MathematiK an der Russischen Hydrometeorologischen Staatsuniversität (Fachbereich Ozeanographie). Danach arbeitete sie an gekoppelter physikalischen-biogeochemischen Ozeanmodellierung und Datenassimilierung in St. Petersburg (Russland) beim P.P. Shirshov Institut für Ozeanologie, in Bremerhaven am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI, Deutschland) und an der Dalhousie Universität (Fachbereich Ozeanographie, Kanada). Im Jahr 2004 nahm sie ihre Tätigkeit am AWI-Fachbereich Klima auf, um an der Synergie von Beobachtungen und Modellierung im Rahmen von verschiedenen EU- (DIADEM, MERSEA, MyOcean) und nationalen Projekten (DeMarine Environment) zu forschen. Ihr Fokus lag dabei auf der Entwicklung von Datenassimilierung-Vorhersagesystemen für operationelle Anwendungen. Seit 2015 ist Svetlana Mitglied in der AWI-PHYTOOPTICS-Gruppe, die von Astrid Bracher geleitet wird, und arbeitet an der gekoppelten Ozean-biogeochemischen Modellierung als Unterstützung von Auswerteverfahren aus Satellitendaten zur Bestimmung der Phytoplankton-Diversität infolge der starken Klimaveränderungen in den Polarregionen.