

Rostocker Meeresbiologische Beiträge

**Vorträge des Ehrenkolloquiums zum
85. Geburtstag von
Prof. Dr. habil. Helmut Pankow († 19.12.1996)
am 10.Oktober 2014 im Botanischen Garten der
Universität Rostock**

Heft 26

Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften
2015

HERAUSGEBER DIESES HEFTES: Hendrik Schubert

REDAKTION: Stefan Porembski
Thomas Hübener

HERSTELLUNG DER DRUCKVORLAGE:
Thomas Hübener
Petra Kiehl

CIP-KURZTITELAUFNahme Rostocker Meeresbiologische Beiträge / Universität
Rostock, Institut für Biowissenschaften. – Rostock,
2015. – 78 S. –
(Rostocker Meeresbiologische Beiträge ; 26)

ISSN 0943-822X

© Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, 18051 Rostock

REDAKTIONSADRESSE: Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften
18051 Rostock
e-mail: dagmar.heinrich@uni-rostock.de
Tel. 0381 / 498-6071
Fax. 0381 / 498-6072

BEZUGSMÖGLICHKEITEN: Universität Rostock
Universitätsbibliothek, Schriftentausch
18051 Rostock
e-mail: maria.schumacher@ub.uni-rostock.de

DRUCK: Westarp & Partner Digitaldruck UG, Hohenwarsleben

Umschlagfoto Titel: Ehemaliges Botanisches Institut, Rostock, Doberaner Str. 143
Rückseite: Cover der "Flora von Rostock und Umgebung", Helmut Pankow
1967.

Inhalt

	Seite
POREMBSKI, STEFAN Vorwort	1
TÄUSCHER, LOTHAR Laudatio - Prof. Dr. rer. nat. habil. Helmut Pankow	2-16
RATTEY, VOLKER Das atlantische Element in der Flora der nordwestlichen Altmark (Sachsen-Anhalt)	17-24
BRAGINA, ANASTASIA; MÜLLER, CHRISTINA & BERG, GABRIELE The moss microbiome: new insights into the microbial world of plants and its biotechnological potential	25-33
SCHUBERT, HENDRIK; MARQUARDT, RONNY; SCHORRIES, DIRK & BLINDOW, IRMGARD Makroalgentaxonomie und -biogeographie an der Universität Rostock heute am Beispiel der Bearbeitung der Characeenflora Chiles	34-48
WITKOWSKI, ANDRZEJ; DABEK, PRZEMYSŁAW; LI, CHUNLIAN; GUSEV, EVGENIY; GÓRECKA, EWA; KRZYWDA, MARTA; ASHWORTH, MATT; DAVIDOVICH, NICKOLAI; DAVIDOVICH, OLGA; DANISZEWSKA-KOWALCZYK, GENOWEFA & KIERZEK, AGNIESZKA From microbial mats in Puck Bay to the Szczecin Diatom Culture Collection. A three decade long research on marine benthic diatoms inspired by Professor Helmut Pankow.	49-64
HÜBENER, THOMAS Diatomeen als Indikatororganismen in norddeutschen Seen – Wie weit zurück müssen wir schauen, um sichere seetypspezifische Referenzbedingungen im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu ermitteln?	65-78

Vorwort

Prof. Dr. habil. Helmut Pankow war ein äußerst renommierter Botaniker, der ein breites Spektrum (von den Algen bis zu den Höheren Pflanzen) der Pflanzenwissenschaften abdeckte. Als Hochschullehrer an der Universität Rostock war er außerordentlich erfolgreich und brachte zahlreiche Absolventen zum erfolgreichen Abschluss. Er war langjähriger Direktor des Botanischen Gartens Rostock in dem seit 2015 das Pankow-Rondell an diesen begeisterten Biologen erinnert.

Am 10. Oktober 2014 fand im Botanischen Garten Rostock ein Kolloquium anlässlich des 85. Geburtstag des 1996 verstorbenen Helmut Pankow statt, das mit Hilfe des Instituts für Biowissenschaften der Universität Rostock durchgeführt wurde. Das Programm bot neben persönlichen Erinnerungen an Helmut Pankow einen breiten Überblick über die wissenschaftlichen Arbeiten seiner Schüler.

Ich selbst habe Helmut Pankow nicht persönlich kennengelernt, aber seine wissenschaftlichen Hauptwerke waren mir aus meiner eigenen Studienzeit an der Freien Universität Berlin bestens bekannt. Ein, in meinen Augen, besonderes Verdienst von Helmut Pankow liegt in der Erstellung der „Flora von Rostock“, die 1967 erschien und die eine der wenigen Städteflora aus dieser Epoche in der DDR darstellt.

Möge der vorliegende Band dem Gedenken an den großen Botaniker Helmut Pankow gerecht werden.

Rostock, Juli 2015

Stefan Porembski

Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, Lehrstuhl für Allgemeine & Spezielle Botanik, Wismarsche Str. 8, 18051 Rostock, stefan.porembski@uni-rostock.de



Abb. 1 Teilnehmer am Festkolloquium im Kalhaus des Botanischen Gartens, Universität Rostock.

Lothar TÄUSCHER

Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH, Schlunkendorfer Straße 2e, D-14554 Seddiner See
lothar.taeuscher@iag-gmbh.info

Prof. Dr. rer. nat. habil. Helmut Pankow (29.10.1929-19.12.1996)

Abstract

Helmut Pankow was born in Grabow (Mecklenburg-Western Pomerania, North Germany) October 29th, 1929. Since 1949 he had been living and working in Rostock. Helmut Pankow studied biology in Rostock, made his diploma certificate (1953) and took doctor's degrees (1955, 1961) at Rostock University. Among others Professor Dr. Dr. h. c. Hermann von Guttenberg (1881-1969) and Professor Dr. Franz Pohl (1896-1988) were two of his academic teachers, with whom he conducted studies concerning the anatomy of plants and who promoted Helmut Pankow in the investigation of algae. Professor Helmut Pankow holds a professorship for common and special botany and director of the Botanical Garden at Rostock University for more than 30 years. In addition to studies of plant anatomy, the floristics of bryophytes and spermatophytes in Mecklenburg-Western Pomerania, investigations of algal distribution in Mecklenburg-Western Pomerania and of the Baltic Sea, their sociology, their use for bioindication and their threat were of great importance in his scientific work. Professor Helmut Pankow also investigated the algal flora in the cause of frequent working stays in Iraq, in Sudan and in the Antarctic. The results of his investigations of systematic, aut- and synecology and sociology of micro and macro algae are the subject of many of Professor Pankow's publications. Lots of new descriptions of taxa and syntaxa, new combinations and emendations were made by him. He had a special interest in hydrosociology and sociology of microphytes and their use for bioindication. The Halobion System founded in 1927 by Dr. Robert Wilhelm Kolbe (1882-1960), in the modification by Dr. h. c. Friedrich Hustedt (1886-1968) in 1957 and by Dr. Reimer Simonsen (1931-2012) in 1962, was the basis for investigations of algal distribution by Professor Helmut Pankow in the Baltic Sea including coastal waters (River Warnow Estuary, bays, backwaters, shallow coastal inlets or lagoons) and in inland salt waters in Mecklenburg-Western Pomerania. Professor Helmut Pankow helped with more than one hundred theses and was always a helpful and critical academic teacher. The results of his extensive knowledge are summed up in several books, book chapters, monographs and in more than one hundred scientific publications. Of these the extensive and thorough treatment of the algal flora of the Baltic Sea done by Professor Helmut Pankow and his colleagues (Dr. Volkbert Kell [1937-2014], Dr. Norbert Wasmund, Brunhilde Martens/Zander) is of the highest importance. The "Pankow" has become worldwide an elementary book for all biologists who deal with the ecology of the Baltic Sea and fresh, brackish and marine water algae. His works of cyanobacteria / blue green algae and algae in the book "Exkursionsflora of Germany" founded by Professor Dr. Werner Rothmaler (1908-1962) is also widely known. The diatom *Encyonema*

pankowskii LANGE-BERTALOT et KRAMMER in KRAMMER 1997 is named in honour of Professor Helmut Pankow. In December 12th, 1996 Professor Helmut Pankow died in Rostock at the age of 67. For his students and colleagues was Professor Helmut Pankow an experienced colleague and fatherly friend who shaped their scientific work and who will always be remembered in their continued studies.

Keywords: botany, algae, bryophytes, spermatophytes, Mecklenburg-Western Pomerania, Baltic Sea, Antarctic



Abb. 1 Dr. rer. nat. habil. Helmut Pankow (1929-1996) (Foto: H. Pankow privat 1995)

Helmut Pankow wurde am 29. Oktober 1929 in Grabow (Mecklenburg-Vorpommern) geboren. Nach dem Schulbesuch in seiner Heimatstadt und in Ludwigslust bestand er 1949 das Abitur.

Helmut Pankow studierte von 1949 bis 1953 an der Universität Rostock Biologie und diplomierte („Über die Entwicklung der Wurzelanlagen bei Gramineen [*Poa annua* L.]“ 1953), promovierte („Vergleichende Studien über die Entwicklung monokotyler Embryonen“ 1955) und habilitierte („Histogenetische Studien an den

Blüten einiger Phanerogamen“ 1961) an dieser Hochschule. Zu seinen akademischen Lehrern zählten Prof. Dr. h. c. Hermann von Guttenberg (1881-1969; Lehrstuhl für Botanik 1923 bis 1957), bei dem er Arbeiten zur Pflanzenanatomie durchführte, und Prof. Dr. Franz Pohl (1896-1988; Lehrstuhl für Systematische Botanik und Pharmakognosie 1949 bis 1961), der Helmut Pankow zum Studium der Algen anregte.

Nach Assistenten- und Oberassistentenzeit wurde Helmut Pankow 1961 zum Dozenten für Spezielle Botanik ernannt. 1964 wurde er Direktor des Botanischen Gartens und 1965 erfolgte die Bestellung zum Professor. Über 30 Jahre war Professor Pankow Lehrstuhlinhaber für Allgemeine und Spezielle Botanik und Direktor des Botanischen Gartens der Universität Rostock.

Neben pflanzenanatomischen Studien standen vor allem Untersuchungen zur Gefäßpflanzen- und Moosflora Mecklenburg-Vorpommerns und Arbeiten zur Algenbesiedlung nordostdeutscher Gewässer und der Ostsee, ihre Soziologie, ihre Nutzung zur Bioindikation und ihre Gefährdung im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Tätigkeit von Professor Pankow. Auch Arbeitsaufenthalte bzw. Studienreisen im Irak, im Sudan und in der Antarktis nutzte er für hydrobotanische Studien.

In zahlreichen Veröffentlichungen von Professor Pankow sind die Untersuchungsergebnisse zur Systematik, zur Aut- und Synökologie und zur Soziologie der Algen, Moose und Gefäßpflanzen zu finden. Mehrere Taxa- und Syntaxa-Neubeschreibungen, -Neukombinationen und -Emendierungen wurden von ihm vorgenommen (s. GUIRY 2005, GUIRY & GUIRY 1996-2014, SILVA 1949-2014; SILVA & MOE 1999, Anhang). Der noch bearbeitungsbedürftigen Hydrosoziologie und Soziologie der Mikrophyten und ihrer Nutzung zur Bioindikation galt sein besonderes Interesse.

Das von Dr. Robert Wilhelm Kolbe (1882-1960) 1927 begründete Halobiensystem, das durch Dr. h. c. Friedrich Hustedt (1886-1968) 1957 und Dr. Reimer Simonsen (1931-2012) 1962 erweitert und modifiziert wurde, kam durch Professor Helmut Pankow bei Untersuchungen der Algenbesiedlung in der Ostsee einschließlich ihrer Küstengewässer (Ästuar: z. B. Unterwarnow, Buchten, Haffe, Bodden) und in binnenländischen Salzstellen von Mecklenburg-Vorpommern zu einer breiten Anwendung (s. TÄUSCHER 2013).

Als Hochschullehrer betreute Professor Pankow über 100 Staatsexamens-, Diplom-, Doktor- und Habilitationsarbeiten, und er war für seine Schüler stets ein hilfreicher und kritischer akademischer Lehrer. Im Mittelpunkt dieser Arbeiten standen vor allem Untersuchungen zur Taxonomie und Verbreitung von Gefäßpflanzen (z.B. Verbreitungskarten zur Pflanzengeographie Mecklenburgs, Floristische Mitteilungen aus Mecklenburg I.-VI.), zur Moosvegetation und -soziologie in Mecklenburg (z.B. Beiträge zur Moosflora Mecklenburgs I.-VI.) und zur Mikro- und Makroalgenbesiedlung nordostdeutscher Still- und Fließgewässer, der Darß-Zingster Boddenkette und der Ostsee einschließlich soziologischer und produktionsbiologischer Fragestellungen und der Bioindikation.

Die Ergebnisse seiner umfangreichen Studien sind in mehreren Büchern, Buchbeiträgen, Monographien und in über 100 wissenschaftlichen Publikationen zusammengefasst. Die umfangreiche und gründliche Bearbeitung der „Algenflora der Ostsee“ (1971, 1976) und der „Ostsee-Algenflora“ (1990) durch Professor Pankow und seine Mitarbeiter (Dr. Volkbert Kell [1937-2014], Dr. Norbert Wasmund, Brunhilde Martens/Zander) waren von großer praktischer Bedeutung. Der „Pankow“

ist weltweit ein grundlegendes Arbeitsmittel für alle Biologen geworden, die sich speziell mit der Ökologie dieses Brackwassergebietes und allgemein mit Süßwasser-, Brackwasser- und Meeresalgen beschäftigen (s. umfangreiche Rezensionen von Inka Bartsch [Helgoländer Meeresuntersuchungen], Bertil Hägerbäll & Torgny von Wadenfeldt [Botaniska Notiser], Hermann Heynig [Acta hydrochimica et hydrobiologica], Christaan van den Hoek [Phycologia], Elfriede Kaminski [Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie], Harri Kuosa [Annales Botanici Fennici], Gerhard Rheinheimer [Journal of Basic Microbiology], Reimer Simonsen [Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie]). Auch die Bearbeitung der „Blualgen und Algen - Cyanophyta und Phycophyta“ in der von Professor Dr. Werner Rothmaler (1908-1962) begründeten „Exkursionsflora von Deutschland“ hat eine weite Verbreitung gefunden (s. JÄGER & WERNER 2008).

Von Professor Dr. Dr. h. c. Horst Lange-Bertalot und Dr. Kurt Krammer wurde die Kieselalge *Encyonema pankowii* LANGE-BERTALOT et KRAMMER in KRAMMER 1997 ihm zu Ehren benannt (KRAMMER.1997, S. 70: „Die Art ist dem Rostocker Botaniker Prof. Dr. Pankow für seine Verdienste um die Erforschung der Algenflora der Ostsee gewidmet.“; s. auch S. 69, 1992, Tafel 142: Abb. 9-11; KUSBER & JAHN 2003, LANGE-BERTALOT & METZELTIN 2010). Professor Pankow war 15 Jahre Vorsitzender der Bezirkssektion Biologie der URANIA und wurde mit der Ehrennadel in Gold der URANIA ausgezeichnet. Außerdem war er Mitglied des Redaktionskollegiums der „Wissenschaftlichen Zeitschrift der Universität Rostock“, des „Archivs der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg“ und der „Rostocker Meeresbiologischen Beiträge“.

Professor Pankow starb am 19. Dezember 1996 in Rostock im Alter von 67 Jahren.

Seine Schüler und Mitarbeiter hatten einen wissensreichen Kollegen und väterlichen Freund, der sie in ihrer wissenschaftlichen Arbeit prägte und dem sie in der Fortsetzung seiner Arbeiten immer gedenken werden.



Abb. 2 Professor Pankow während der Botanik-Vorlesung (Foto: Archiv M. Hupfer)

So schrieb der Verfasser seine Diplomarbeit („Ökologische Untersuchungen am Mikrophytobenthos im Zingster Strom der Darß-Zingster Boddenkette [südliche Ostsee]“) 1976 bei Professor Pankow (Abb. 3).

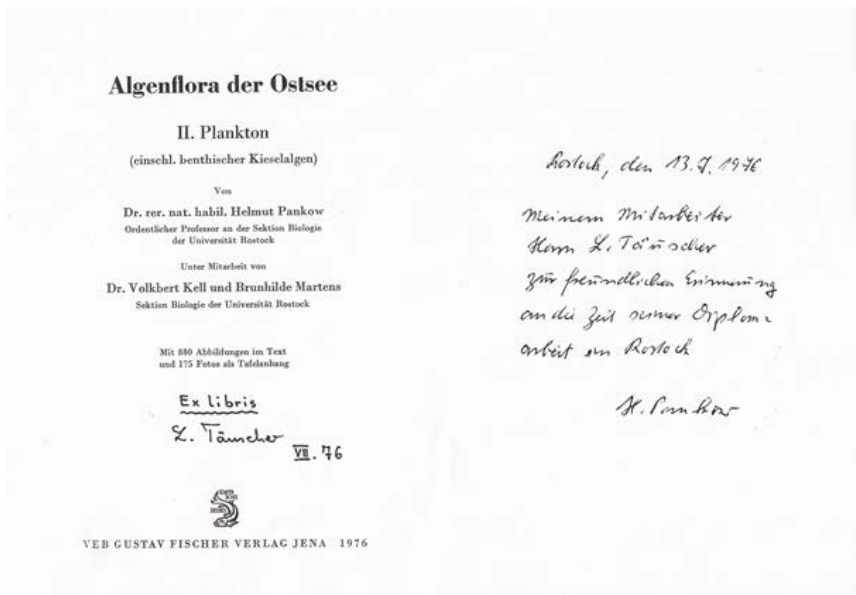


Abb. 3 Widmung von Professor Pankow (H. Pankow) für Lothar Täuscher (Ex libris, L. Täuscher, Foto: H. Täuscher)

Für die von mir 1980 erfolgreich abgeschlossene Dissertation an der Humboldt-Universität zu Berlin („Untersuchungen zur Art- und Biozönosestruktur des Phytoplanktons des Großen Müggelsees [Berlin] unter Berücksichtigung produktions- und saprobiologischer Aspekte“) war mein akademischer Lehrer und Diplomvater einer der Gutachter. 1989 sollte ich als Nachfolger von Doz. Dr. Fritz Holst die Botanik-Dozentur an der Pädagogischen Hochschule in Güstrow übernehmen. Dabei unterstützte mich Professor Pankow und schlug ein Dissertation B (= Habilitationsarbeit)-Thema vor: „Ich habe über Sie nachgedacht und schlage Ihnen folgendes vor: es bietet sich für Sie ein gutes B-Thema an. Wir haben große Probleme, mehr Mitarbeiter für unsere Warnowforschung zu finden. Da Sie schon algologisch gearbeitet haben, sollten Sie in Ihrer B-Arbeit auch ein algologisches Thema aufgreifen, und zwar in der Warnow oder in der Nebel und somit unmittelbar in Ihrem neuen Wirkungskreis. Das ist günstiger als im Salzhaff usw. Deshalb schlage ich Ihnen vor, setzen Sie sich umgehend mit mir in Verbindung, am besten ist Sie kommen mal her, dann können wir alles diskutieren. Ich würde mich jedenfalls freuen, wenn ich Sie zur Mitarbeit bewegen könnte, damit wäre auch uns sehr gedient, und wir hätten noch mehr Interesse an Ihrer Arbeit. Auf jeden Fall bin ich Prof. Buschbeck sehr dankbar, daß er Sie an mich verwiesen hat, und ich bitte Sie,

ihn herzlich zu grüßen. ... Ich grüße Sie herzlichst Ihr H. Pankow“ (briefliche Mitteilung PANKOW 2.1.1989).

Rostock, den 2.1.1989

Lieber Herr Täuscher!

Zuerst wünsche ich Ihnen und Ihrer Familie ein gutes neues Jahr.
Bleiben Sie alle gesund, und geben Sie Ihren Weg!
Und wie könnte dieser aussehen? Ich habe über Sie nachgedacht und schla-
ge Ihnen folgendes vor:
es bietet sich für Sie ein gutes B-Thema an. Wir haben große Probleme,
mehr Mitarbeiter für unsere Warnowforschung zu finden. Da Sie schon
algologisch gearbeitet haben, sollten Sie in Ihrer B-Arbeit auch ein
algologisches Thema aufgreifen, und zwar in der Warnow oder in der Nebel
und somit unmittelbar in Ihrem neuen Wirkungskreis. Das ist günstiger
als z.B. im Salzhäff usw. Deswegen schlage ich Ihnen vor, setzen Sie
sich umgehend mit mir in Verbindung, am besten ist, Sie kommen mal
her, dann können wir alles diskutieren. Ich würde mich jedenfalls freuen,
wenn ich Sie zur Mitarbeit bewegen könnte, damit wäre auch uns sehr ge-
dient, und wir hätten noch mehr Interesse an Ihrer Arbeit. Auf jedem Fall
bin ich Prof. Buschbeck sehr dankbar, daß er Sie an mich verwiesen hat,
und ich bitte Sie, ihn herzlich zu grüßen.
Sie hören hier dann auch, was ~~ich~~ für Probleme und Erfolge haben.
Ich grüße Sie herzlichst

Ihr
H. Pankow

Abb. 4 Brief von Professor Pankow an Lothar Täuscher (Archiv: L. Täuscher, Foto: H. Täuscher)

Leider konnte dieser Plan durch die „Wende“ 1989/1990 nicht realisiert werden, denn die Pädagogische Hochschule in Güstrow wurde geschlossen. Ich habe mich aber trotzdem in der Folgezeit für die Umweltbildung eingesetzt (SchülerInnen: Arbeitsgemeinschaft „Mikroalgenökologie“; StudentenInnen: Sommerworkshop und Vorlesungen „Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchungen“; Erwachsenenqualifizierung: „Aquatische und mikrobielle Ökologie“) und werde dies auch weiterhin tun (s. TÄUSCHER 2012). Als „Ersatz“ für die geplante Graduationsarbeit (Dissertation B = Habilitationsarbeit) schrieb ich 1998 eine zusammenfassende Veröffentlichung über „Mikroalgenesellschaften der Gewässer Nordostdeutschlands und ihre Nutzung zur Bioindikation“, die ich in memoriam meinem hochverehrten akademischen Lehrer und väterlichen Freund Professor Pankow gewidmet habe (TÄUSCHER 1998).

Schriftenverzeichnis von Helmut Pankow

Graduierungsarbeiten

- PANKOW, H. (1953): Über die Entwicklung der Wurzelanlagen bei Gramineen (*Poa annua* L.). - Dipl.-Arb. Universität Rostock.
- PANKOW, H. (1955): Vergleichende Studien über die Entwicklung monokotyler Embryonen. - Diss. Universität Rostock.
- PANKOW, H. (1961): Histogenetische Studien an den Blüten einiger Phanerogamen. - Habil.-Arb. Universität Rostock.

Bücher, Buchbeiträge und Monographien

- PANKOW, H. (1962): Histogenetische Studien an den Blüten einiger Phanerogamen. - Bot. Studien 13: 1-106.
- PANKOW, H. (1966): Führer durch den Botanischen Garten der Universität Rostock. - Rostock.
- PANKOW, H. (ed.) (1967): Flora von Rostock und Umgebung. - Rostock.
- PANKOW, H. (1969): Kleinalgen der Ostsee. - In: ARNDT, E.-A. (ed.): Zwischen Düne und Meeresgrund. - Leipzig, Jena, Berlin: 51-74.
- PANKOW, H. (ed.) (1969): Führer durch den Botanischen Garten der Universität Rostock. - Rostock (2. Aufl.).
- PANKOW, H. (1971): Algenflora der Ostsee, I. Benthos (Blau-, Grün, Braun- und Rotalgen). - Jena + Stuttgart.
- PANKOW, H.** unter Mitarbeit von KELL, V. & MARTENS, B. (1976): Algenflora der Ostsee II. Plankton (einschl. benthischer Kieselalgen). - Jena + Stuttgart.
- PANKOW, H. (1976, 1978, 1981): Gewebe und Organe der Pflanzen; Entwicklung der Pflanzen, System des Pflanzenreiches. - In: GEISSLER, E., LIBBERT, E., NITSCHMANN, J. & THOMAS-PETERSEIN, G. (eds.): Kleine Enzyklopädie Leben. - Leipzig: 327-361; 643-664 (1978 2. Aufl., 1981 3. Aufl.).
- PANKOW, H. & GEISSLER, I.** (1977-1987): Führer durch den Botanischen Garten der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock. - Rostock (3.-5. Auflage).
- PANKOW, H. (1983-2005): Blaualgen und Algen – Cyanophyta und Phycophyta. - In: SCHUBERT, R., HANKE, H. H. & PANKOW, H. (eds.): Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und der BRD / von Deutschland, Band I: Niedere Pflanzen – Grundband. - Berlin, Jena, Heidelberg: 10-196 (1. Auflage und weitere bis Neuausgabe 1994 der 3. Auflage 1990, unveränd. Nachdruck 2005).
- PANKOW, H.** unter Mitarbeit von KELL, V., WASMUND, N. & ZANDER, B. (1990): Ostsee-Algenflora. - Jena.
- PANKOW, H., HAENDEL, D. & RICHTER, W.** (1991): Die Algenflora der Schirmacheroase (Ostantarktika). - Nova Hedwigia, Beih. 103: 1-197.
- PANKOW, H. (1996): Von „Tintenstrichen“ und Algenteppichen. - In: LANGE, G. (ed.): Sonne, Sturm und weiße Finsternis. Eine Chronik der ostdeutschen Antarktisforschung. - Schriften des Deutschen Schifffahrtsmuseums (Hamburg) 43: 239-242.

Pflanzenanatomie

- GUTTENBERG, H. VON, HEYDEL, H.-R. & **PANKOW, H.** (1953): Embryologische Studien an Monokotyledonen. I. Die Entstehung der Primärwurzel bei *Poa annua* L. - Flora oder Allg. Bot. Ztg. 141: 298-311.
- GUTTENBERG, H. VON, HEYDEL, H.-R. & **PANKOW, H.** (1954): Embryologische Studien an Monokotyledonen. II. Die Entwicklung des Embryos von *Allium giganteum* RGL. - Flora oder Allg. Bot. Ztg. 141: 476-500.
- PANKOW, H. & GUTTENBERG, H. VON** (1958): Vergleichende Studien über die Entwicklung monokotyler Embryonen und Keimpflanzen. - Bot. Studien 7: 1-39.
- PANKOW, H. (1958): Über den Pollenkitt bei *Galanthus nivalis* L. - Flora oder Allg. Bot. Ztg. 146: 240-253.
- PANKOW, H. & GUTTENBERG, H. VON** (1958/59): Studien über die Anlage der Achselknospen und Blattprimordien bei Gramineen. - Planta 52: 629-643.
- PANKOW, H. (1959): Histogenetische Untersuchungen an der Plazenta der Primulaceen. - Ber. Dt. Bot. Ges. 72: 111-122.

PANKOW, H. & GUTTENBERG, H. VON (1963): Der Bau des Wurzelscheitels von *Casuarina suberosa* OTTO et DIETR. - Österr. Bot. Ztschr. 110: 132-136.

Cyanobakterien/Blaualggen und Algen (Cyanobacteria/Cyanophyta und Phycophyta)

- PANKOW, H. (1959/60): Beitrag zur Algenflora Mecklenburgs. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 9: 35-39.
- PANKOW, H. (1961): Die Gattung *Uronema* LAGERH. - Arch. Protistenkd. 105: 117-130.
- PANKOW, H. (1961): Über die Ursachen des Fehlens von Epiphyten auf Zygmenalen. - Arch. Protistenkd. 105: 417-444.
- PANKOW, H. (1963): Über eine reversible Trichomdeformation bei *Spirulina jenneri* (STIZ.) GEITLER. - Österr. Bot. Ztschr. 110: 137-139.
- PANKOW, H. (1963): Bemerkungen zur Ökologie von *Synura uvella* E. - Österr. Bot. Ztschr. 110: 410-416.
- PANKOW, H. & MAHNKE, W.** (1963): Die Vegetation der Insel Walfisch. - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 9: 135-150.
- PANKOW, H. (1964): Bemerkungen über die Schädlichkeit von Blaualggenwasserblüten für Tiere. - Die Naturwissenschaften 51: 146-147.
- PANKOW, H. (1964): Die Bindung von Luftstickstoff durch zwei weitere Blaualggen-Arten: *Fischerella muscicola* und *F. major*. - Die Naturwissenschaften 51: 274-275.
- PANKOW, H. & JAHNKE, E. (1964): *Lyngbya irregularis* nova spec., *Oscillatoria lutescens* nova spec. und *Pseudospirulina amoena* nov. gen., nova spec., drei neue hormogonale Blaualggen. - Österr. Bot. Ztschr. 111: 331-336
- PANKOW, H. & MARTENS, B.** (1964): Über *Nostoc sphaericum* VAUCH. - Arch. Mikrobiol. 48: 203-212.
- PANKOW, H. (1965): Beitrag zur Kenntnis der Kieselalgenflora der Peene. - Arch. Hydrobiol. 61: 205-214.
- PANKOW, H. (1965): Bemerkungen zur Systematik der *Anabaena*-Formen mit spiralig, schraubig oder kreisförmig gewundenen Trichomen. - Limnologica 3:163-172.
- PANKOW, H. (1965): *Aegagropila sauteri* (NEES) KÜTZING in Mecklenburg (Norddeutschland). - Nova Hedwigia 9: 177-184.
- PANKOW, H. & ETZRODT, R.** (1965): Bemerkungen zur Limnologie des Zarrentiner Beckens (Schaalsee). - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 14: 545-551.
- PANKOW, H. & JAHNKE, E.** (1965): Corrigendum: *Pseudospirulina amoena*. - Österr. Bot. Ztschr. 112: 190.
- ARNDT, E.-A., **PANKOW, H. & KELL, V.** (1966): Über das Phytoplankton der Wismarer Bucht. - Int. Revue ges. Hydrobiol. 51: 127-146.
- BOMBOR, G. & **PANKOW, H.** (1966): Notiz zur Kieselalgenflora des Kreises Ribnitz-Damgarten. - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 12: 47-51.
- PANKOW, H., ARNDT, E.-A. & DOLL, R.** (1967): Über das Netz-Phytoplankton an der Südküste der Mecklenburger Bucht in den Jahren 1961 bis 1964. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 16: 1193-1198.
- PANKOW, H., SPITTLER, P. & STÖLZNER, W.** (1967): Beitrag zur Kenntnis der Pflanzengesellschaften vor der Insel Langenwerder (Ostsee, Wismar-Bucht). - Botanica Marina 10: 240-251.
- HOPPE, E. & **PANKOW, H.** (1968): Ein Beitrag zur Kenntnis der Vegetation der Boddengewässer südlich der Halbinsel Zingst und der Insel Bock (südliche Ostsee). - Natur und Naturschutz in Mecklenburg 6: 139-151.
- PANKOW, H. (1970): Notizen über die Blaualge *Aphanothece stagnina* (SPRENGEL) BOYE PETERSEN. - Int. Revue ges. Hydrobiol. 55: 805-811.
- PANKOW, H. (1970): Die Kieselalgenflora mecklenburgischer Salzstellen. - Int. Revue ges. Hydrobiol. 55: 815-843.
- PANKOW, H., FESTERLING, E. & FESTERLING, H.** (1971): Beitrag zur Kenntnis der Algenflora der mecklenburgischen Küste (südliche Ostsee: Lübecker Bucht - Darß). - Int. Revue ges. Hydrobiol. 56: 241-263.
- MARTENS, B. & **PANKOW, H.** (1972): Taxonomische Bemerkungen zu einigen Algen aus den Boddengewässern des Darß und des Zingst (südliche Ostsee). - Int. Revue ges. Hydrobiol. 57: 779-800.
- MÖLLER, B. & **PANKOW, H.** (1973): Beitrag zur Algenflora der Elde (Mecklenburg). - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 22: 741-748.

- PANKOW, H.** & **MARTENS, B.** (1973): Die Beziehung der Kleinalgenflora der Darßer Boddenkette (südliche Ostsee) zur Qualität dieser Gewässer. - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 22: 1147-1151.
- PANKOW, H.** & **TRAMPE, H.** (1973): Die Verbreitung der Grünalge *Chaetophora incrassata* im Raum südlich der Ostsee. - *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 58: 587-592.
- KELL, V.**, **MARTENS, B.**, **PANKOW, H.** & **RIESENWEBER, S.** (1975): Die Mikroalgenbesiedlung der Darßer Boddengewässer (südliche Ostsee) - Artenliste -. - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 24: 725-734.
- PANKOW, H.** (1975): Über die systematische Stellung von *Sphacelaria arctica* f. *plumigera*. - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 24: 803-804.
- PANKOW, H.** (1976): Taxonomische Bemerkungen zu einigen Algen aus den Boddengewässern des Darß und des Zingst (südliche Ostsee) II. - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 25: 255-262.
- PANKOW, H.** & **MÖLLER, B.** (1976): Über einige interessante Algen aus der Dömnitz (Prignitz, Bezirk Potsdam). - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 25: 345-349.
- NASEV, S.**, **NASEV, D.** & **PANKOW, H.** (1977): Eine statistische Auswertung von Phytoplankton- und Nährstoffwerten aus den Boddengewässern des Darß und des Zingst (südliche Ostsee) unter Anwendung des nichtparametrischen Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman. - *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 62: 337-344.
- AL-SAAD, H.A.**, **PANKOW, H.** & **HUQ, M. F.** (1979): Algological Investigations in the Polluted Ashar Canal and Shat al-Arab in Basrah (Iraq). - *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 64: 527-540.
- PANKOW, H.** (1979): Algae from Sudan. - *Willdenowia* 8: 485-491.
- PANKOW, H.** (1979): Taxonomische Bemerkungen über eine *Compsopogon*-Art aus dem Shatt al-Arab bei Basrah (Irak). - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 28: 555-559.
- PANKOW, H.**, **AL-SAAD, H.**, **HUQ, M. F.** & **HADI, R. A. M.** (1979): On the algal flora of the marshes near Qurna (Southern Iraq). - *Willdenowia* 8: 493-506.
- PANKOW, H.** & **HUQ, M. F.** (1979): Diatoms in the stomach content of *Pseudapocryptes dentatus* a mud skipper from the Shatt al-Arab estuary (Iraq). - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 28: 547-554.
- PANKOW, H.** (1980): Die benthischen Kieselalgenesellschaften der Boddengewässer des Darß und des Zingst (südliche Ostsee). *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 29: 131-137.
- PANKOW, H.** & **TÄUSCHER, L.** (1980): Über eine *Pithophora*-Art aus den Gewächshäusern des Botanischen Gartens in Rostock. - *Nova Hedwigia* 33: 465-474.
- AL-SAAD, H.A.**, **EERGASCHEV, A. E.** & **PANKOW, H.** (1981): On the ecology, sociology and distribution of the blue-green alga *Spirulina platensis* (GOMONT) GEITLER. - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 30: 23-26. (= *Usbek. Biol. J.*, No. 2 [1980]).
- MÖLLER, B.** & **PANKOW, H.** (1981): Algensoziologische und saprobiologische Untersuchungen an Vorflutern der Elbe. - *Limnologica* 13: 291-350.
- PANKOW, H.** (1982): *Paulinella chromatophora* LAUTERB., eine bisher nur im Süßwasser nachgewiesene Thekamöbe, in den Boddengewässern des Darß und des Zingst (südliche Ostsee). - *Arch. Protistenkd.* 126: 261-263.
- UHLMANN, D.**, **BENNDORF, J.** & **PANKOW, H.** (1982): A Note on Thermal and Oxygen Stratification and Phytoplankton Composition in Some Reservoirs in Tamil Nadu and Kerala, India. - *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 67: 63-84.
- PANKOW, H.** & **BOLBRINKER, P.** (1984): Über die Verbreitung und Soziologie von *Cladophora aegagropila* (L.) RBH. (= *Aegagropila sauteri* (NEES ex KÜTZ.) KÜTZ.) in den Nordbezirken der DDR. - *Gleditschia* 12: 279-283.
- PANKOW, H.** (1985): Verschollene, gefährdete und interessante Großalgen im nördlichen Gebiet der DDR. - *Botanischer Rundbrief für den Bezirk Neubrandenburg* 16: 65-72.
- PANKOW, H.** (1986): Taxonomische und nomenklatorische Änderungen in der Gattung *Scenedesmus* MEYEN 1829. - *Arch. Protistenkd.* 132: 137-166.
- PANKOW, H.** (1986): Über endophytische und epiphytische Algen in bzw. auf der Gallerthülle von *Microcystis*-Kolonien. - *Arch. Protistenkd.* 132: 377-380.
- PODELLECK, R.** & **PANKOW, H.** (1986): Saprobiologische Untersuchungen der Kleinalgenflora in einem Brackgewässer (Darß-Zingster Boddenkette). - *Acta hydrochim. hydrobiol.* 14: 135-151.
- PANKOW, H.**, **HAENDEL, D.**, **RICHTER, W.** & **WAND, U.** (1987): Algologische Beobachtungen in der Schirmacher- und Unterseeoase (Dronning-Maud-Land, East Antarctica). - *Arch. Protistenkd.* 134: 59-82.
- JERJOUR, S.**, **PANKOW, H.** & **KELL, V.** (1990): Die Algenvegetation der Unterwarnow. - *Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R.* 39: 29-37.

- PANKOW, H.** & WASMUND, N. (1994): Produktionsbiologie und Soziologie des Makro- und Mikrophytobenthos der Darß-Zingster Boddenkette. - Rostock. Meeresbiol. Beitr. 2: 61-68.
- KAMINSKI, E., KELL, V., KÜHNER, E., **PANKOW, H.** & SCHORIES, D. (1996): Rote Liste und Artenliste der Makroalgen des deutschen Meeres- und Küstenbereichs der Ostsee. - Schriftenr. Landschaftspfl. u. Naturschutz 48: 15-28.
- SCHORIES, D., HÄRDLE, W., KAMINSKI, E., KELL, V., KÜHNER, E. & **PANKOW, H.** (1996): Rote Liste und Florenliste der marinen Makroalgen (*Chlorophyceae*, *Rhodophyceae* et *Fucophyceae*) Deutschlands. - Schr.-R. f. Vegetationskde. 28:577-607.

Moose (Bryophyta)

- PANKOW, H.** & KÜHNER, E. (1963): Beiträge zur Moosflora Mecklenburgs I. Das Gebiet zwischen Boize und Schaale nordöstlich Boizenburg. - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 9: 89-100.
- PANKOW, H.** & LINDNER, A. (1964): *Orthodontium germanicum* F. und K. KOPPE, ein für Mecklenburg neues Laubmoos. - Ber. Dt. Bot. Ges. 77: 76-81.
- PANKOW, H.** & LINDNER, A. (1964): Beiträge zur Moosflora Mecklenburgs II. Das Gebiet zwischen Schilde und Sude. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 13: 595-610.
- PANKOW, H. (1965): Die Verbreitung und das soziologische Verhalten von *Plagiothecium undulatum* ap. HEDW.) BR. EUR. In Mecklenburg. - Feddes Repertorium 70: 170-179.
- PANKOW, H. (1965): Beiträge zur Moosflora Mecklenburgs IV. Der Schweriner Raum. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 14: 503-510.
- PANKOW, H. (1965): Moosneufunde aus dem Rostocker Raum. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 14: 537-539.
- PANKOW, H.** & FISCHER, P. (1965): Beiträge zur Moosflora Mecklenburgs V. Die Lewitz. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 14: 511-532.
- PANKOW, H.** & HAUFE, R. (1965): Beiträge zur Moosflora Mecklenburgs VI. Die Umgebung von Güstrow. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 14: 533-535.
- PANKOW, H.** & PULZ, R. (1965): Die Vegetation des Naturschutzgebietes „Sabelsee“. - Natur und Naturschutz in Mecklenburg 3: 161-183.
- PANKOW, H.** & SCHOLZ, G. (1965): Beiträge zur Moosflora Mecklenburgs III. Das Naturschutzgebiet „Ostufer der Müritz“. - Archiv f. Natursh. u. Landsch.forsch. 5: 63-87.
- PANKOW, H. (1966): Die Verbreitung einiger pflanzensoziologisch interessanter Moosarten in Mecklenburg und den angrenzenden Gebieten. - Feddes Repertorium 73: 59-77.
- KÜHNER, E. & **PANKOW, H.** (1967): Die Verbreitung atlantischer Moose in Nordostdeutschland. 1. Mitteilung. - Flora 157 B: 165-178.
- PANKOW, H.** & KÜHNER, E. (1967): Die Verbreitung atlantischer Moose in Nordostdeutschland. 2. Mitteilung. - Nova Hedwigia 14: 17-30.
- CÖSTER, I. & **PANKOW, H.** (1968): Illustrierter Schlüssel zur Bestimmung einiger mitteleuropäischer *Sphagnum*-Arten. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 17: 285-323.
- PANKOW, H. (1969): Über epiphytische und epixyle Moosvereine in Mecklenburg. - Natur und Naturschutz in Mecklenburg 7: 15-26.
- PANKOW, H. (1985): Verschollene und gefährdete Moose der nördlichen Bezirke der DDR. - Botanischer Rundbrief für den Bezirk Neubrandenburg 16: 45-64.

Gefäßpflanzen/Samenpflanzen (Tracheophyta/Spermatophytina)

- PANKOW, H. (1963): Ein reichliches Gagelstrauch-Vorkommen in der Nähe Rostocks. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 12: 1-3.
- PANKOW, H.** & RATTEY, F. (1963): Verbreitungskarten zur Pflanzengeographie Mecklenburgs. II. Reihe. - Wiss. Ztschr. Univ. Greifswald, Math.-nat. R. 12: 359-376.
- PANKOW, H. (1965): Floristische Mitteilungen aus Mecklenburg I. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 14: 541-543.
- FIEDLER, H. & **PANKOW, H.** (1966): Ein neuentdecktes Vorkommen der Blasenbinse (*Scheuchzeria palustris* L.) in der Nähe Rostocks. - Naturschutzarbeit in Mecklenburg 9: 41-42.
- JAHNKE, E. & **PANKOW, H.** (1967): Floristische Mitteilungen über das Große Moor bei Graal-Müritz. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 16: 97-98.
- BÖHME, A.-R., **PANKOW, H.** & KÜHNER, E. (1968): Floristische Mitteilungen aus Mecklenburg II. Ein Beitrag zur Kenntnis der Flora der Kreise Neustrelitz und Neubrandenburg. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 17: 351-354.

- DOLL, R. & PANKOW, H. (1968): Über die Verbreitung von *Taraxacum laevigatum* in Mecklenburg. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 17: 325-347.
- DOLL, R. & PANKOW, H. (1971): Floristische Mitteilungen aus Mecklenburg III. Ein Beitrag zur Kenntnis der Flora der Kreise Gadebusch und Schwerin. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 20: 69-70.
- LINDNER, A., PANKOW, H. et al. (1971): Floristische Mitteilungen aus Mecklenburg IV., Ein Beitrag zur Kenntnis der Flora des Kreises Hagenow. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 20: 71-75.
- NIEJAHR, K. & PANKOW, H. (1972): Über einige boreale Pflanzen im Kreise Waren (Mecklenburg). - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 21: 695-696.
- PANKOW, H. & PETERS, B. (1973): Floristische Mitteilungen aus Mecklenburg V., Der Raum östlich Sternberg. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 22: 759-762.
- TREICHEL, L. & PANKOW, H. (1975): Über ein Vorkommen des Langblättrigen Blauweiderich (*Pseudolysimachion longifolium* (L.) OPIZ im Kreis Malchin. - Naturschutzarbeit in Mecklenburg 18: 42-45.
- PANKOW, H. & HÜLSMEYER, B. (1976): Über die Entstehung, Entwicklungsgeschichte und Vegetation des „Großen Moores“ bei Graal-Müritz. - Gleditschia 4: 161-196.
- PANKOW, H. & KRENZIN, S. (1981): Floristische Mitteilungen aus Mecklenburg VI. 2. Beitrag zur Kenntnis der Flora des Kreises Gadebusch. - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 21: 75-81.
- DOLL, R. & PANKOW, H. (1989): Die Verbreitung der Sippen der Gattung *Najas* L. in den Nordbezirken der DDR. - Feddes Repertorium 100: 431-438.

Zoologie

- PANKOW, H. (1989): Neues vom Siebenschläfer in Mecklenburg. - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 29: 73-74.
- RICHTER, T. & H. PANKOW (1989): Über Bachneunaugen (*Lampetra planeri*) in Mecklenburg. - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 29: 16-23.

Personalia

- PANKOW, H. (1969): Hermann von Guttenberg 13. Januar 1881 bis 8. Juni 1969. - Berichte Deutsche Botanische Gesellschaft 82: 665-670.
- PANKOW, H. (1971): Hermann von Guttenberg 13.1.1881-8.6.1969. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 20: 1-5.
- PANKOW, H. (1977): Rudolf Krambeer (12. September 1896 bis 29. Juli 1969). - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 17: 213-215.

Taxa-Neubeschreibungen, -Neukombinationen und Emendierungen

fett → akzeptierte / zitierte Taxa; normal → Synonyme

Australian Antarctic Data Centre: akzeptiertes Taxon

https://data.aad.gov.au/aadc/biodiversity/taxon_profile.cfm?taxon_id=116471

GUIRY & GUIRY (1996-2014): Algae Base.

<http://www.algaebase.org>

SILVA (1940-2014): Index Nominum Algarum.

<http://ucjeps.berkeley.edu/INA.html>

- 1964: ***Lyngbya irregularis* PANKOW et JAHNKE 1964**
***Oscillatoria lutescens* PANKOW et JAHNKE 1964**
Pseudospirulina amoena PANKOW et JAHNKE 1964
- 1965: ***Anabaena spiroides* KLEBAHN sensu PANKOW 1965**
f. ***africana* (NYGAARD) PANKOW 1965**
f. ***baltica* (SCHMIDT) PANKOW 1965**
= ***Anabaena baltica* E. J. SCHMIDT 1899**
f. ***hassallii* (KÜTZING) PANKOW 1965**
= ***Anabaena circinalis* RABENHORST ex BORNET et FLAHAULT 1888**

- = ***Dolichospermum circinalis*** (RABENHORST ex BORNET et FLAHAULT) WACKLIN et al. 2009
 f. *longicellularis* PANKOW 1965
- = *Anabaena longicellularis* (PANKOW) KOMARKOVA-LEGNEROVA et ELORANTA 1992
- = *Anabaena longicellularis* (PANKOW) HÄLLFORS 2004
- = ***Dolichospermum longicellularis*** (PANKOW) WACKLIN et al. 2009
 f. *tumida* (NYGAARD) PANKOW 1965
- = *Anabaena spiroides* var. *tumida* NYGAARD 1949
- = ***Dolichospermum perturbatum*** (H. Hill) WACKLIN et al. 2009
- Pseudospirulina amoena* PANKOW et JAHNKE 1964 – Corrigendum:
 Es handelt es sich nicht um eine Alge, sondern um die Stiele einer *Vorticella*-Art:
 (s. auch <http://www.cvanodb.cz/excludenda#P>)
- 1971: *Ectochaete cladophorae* (HORNBY) PANKOW 1971
 = ***Endoderma cladophorae*** HORNBY 1918
Kylinia kylinoides (FELDMANN) PANKOW 1971
Myrionema ramosum (WAERN) PANKOW 1971
Rhodomela conferoides (HUDSON) P. C. SILVA 1952
 f. *abyssicola* (ROSENINGE) PANKOW 1971
 f. *gracilis* (KÜTZING) PANKOW 1971
 f. *tenuior* (C. A. AGARDH) PANKOW 1971
Sphacelaria arctica HARVEY 1858
 = ***Battersia arctica*** (HARVEY) DRAISMA, PRUD'HOMME et H. KAWAI 2010
 f. *plumigera* (HOLMES) PANKOW 1971
 = *Sphacelaria plumigera* HOLMES ex HAUCK 1884
 = ***Battersia plumigera*** (HOLMES ex HAUCK) DRAISMA, PRUD'HOMME et H. KAWAI 2010
- 1972: *Gloeotheca composita* (G.M. SMITH) MARTENS et PANKOW 1972
 = ***Rhabdoderma compositum*** (G.M. SMITH) FEDOROV 1967
Microcystis halophila MARTENS et PANKOW 1972
 = ***Aphanocapsa litoralis*** HANSGIRG 1892
Scenedesmus quadricauda (TURPIN) BREBISSON in BREBISSON et GODAY 1835
 var. *microspina* MARTENS et PANKOW 1972
 = ? ***Scenedesmus microspina*** CHODAT 1926
 = ? ***Desmodesmus microspina*** (CHODAT) TSARENKO 2000
Spirulina baltica MARTENS et PANKOW 1972
- 1976: ***Chlorosarcina rivularis*** PANKOW et MÖLLER 1976
Lyngbya contorta LEMMERMANN 1898
 = ***Planktolyngbya contorta*** (LEMMERMANN) ANAGNOSTIDIS et KOMAREK 1988
 f. *smithii* PANKOW 1976
Lyngbya lagerheimii (MÖBIUS) GOMONT ex GOMONT 1892
 = ***Leptolyngbya lagerheimii*** (GOMONT ex GOMONT) ANAGNOSTIDIS et KOMAREK 1988
 f. *circumcreta* (G.S. WEST) PANKOW 1976
 = ***Planktolyngbya circumcreta*** (G.S. WEST) ANAGNOSTIDIS et KOMAREK 1988
 f. *gelatinicola* (GHOSE) PANKOW 1976
Lyngbya benthonica (SKUJA) PANKOW 1976
 = *Lyngbya bipunctata* LEMMERMANN 1899 var. *benthonica* SKUJA 1964
 = ***Leptolyngbya benthonica*** (SKUJA) ANAGNOSTIDIS 2001
Monoraphidium mirabile (W. et G.S. WEST) PANKOW 1976
- 1979: ***Navicula faoensis*** PANKOW et HUQ 1979
Microcystales PANKOW et al. 1979
- 1980: *Pithophora oedogonia* (MONTAGNE) WITTRÖCK 1877
 = ***Pithophora roettleri*** (ROTH) WITTRÖCK 1877
 var. *cleveana* (WITTRÖCK) PANKOW et TÄUSCHER 1980
 = *Pithophora cleveana* WITTRÖCK 1877
Pithophora roettleri (ROTH) WITTRÖCK 1877
 var. *polyspora* (VAN DEN HOEK) PANKOW et TÄUSCHER 1980
- 1986: ***Amphikrikos minutissimus*** KORSCHIKOFF 1953
 f. ***bicassidatus*** (HAJDU) PANKOW in KRIENITZ 1986
Scenedesmus:
mirabilis (GLEISBERG) PANKOW 1986
monospinosus PANKOW 1986
papillosus PANKOW 1986

- = ***Scenedesmus parvus* (G. M. SMITH) BOURRELLY in BOURRELLY et MANGIUN 1952**
pseudobrevispina PANKOW 1986
pseudolinearis PANKOW 1986
 und zahlreiche Varietäten (var.) und Formen (f.): „comb. nov.“, „nom. nov.“, „stat. nov.“
 (vgl. Originalarbeit und SILVA: Index Nominum Algarum)
- 1990: ***Caloneis amphisbaena* (BORY) CLEVE 1894**
 f. *vukotinivicii* (PANTOCSEK) PANKOW 1990
 = ***Caloneis amphisbaena* (BORY) CLEVE 1894**
 var. ***vukotinivicii* (PANTOCSEK) CLEVE 1894**
Entomoneis decussata (GRUNOW in VAN HEURCK) PANKOW 1990
 = ***Entomoneis decussata* (GRUNOW in VAN HEURCK) K. OSADA et H. KOBAYASI 1990**
Entomoneis kjellmanii (CLEVE) PANKOW 1990
 = ***Entomoneis kjellmanii* (CLEVE) M. POULIN et A. CARDINAL 1983**
***Entomoneis paludosa* (W. SMITH) REIMER 1975**
 var. *duplex* (DONKIN) PANKOW 1990
 = var. ***duplex* (DONKIN) MAKAROVA et AKHNETOVA 1987**
Entomoneis surirelloides (HENDEY) PANKOW 1990
 = ***Entomoneis surirelloides* (HENDEY) M. POULIN, BERARD-THERRIault et A. CARDINAL 1987**
***Rhoicosphenia abbreviate* (C. A. AGARDH) LANGE-BERTALOT 1980**
 var. *elongata* (CLEVE-EULER) PANKOW 1990
***Rhoicosphenia abbreviate* (C. A. AGARDH) LANGE-BERTALOT 1980**
 var. *baltica* (SCHUMANN) PANKOW 1990
 = ***Rhoicosphenia baltica* (SCHUMANN) Z. LEVKOV in LEVKOV et al. 2010**
***Rhoicosphenia abbreviate* (C. A. AGARDH) LANGE-BERTALOT 1980**
 var. *fracta* (SCHUMANN) PANKOW 1990
 = ***Rhoicosphenia fracta* (SCHUMANN) DE TONI 1891**
- 1991: ***Calothrix austrogeorgica* (CARLSON) PANKOW 1991**
 = ***Dichothrix austrogeorgica* CARLSON 1913**
***Lyngbya fritschii* PANKOW 1991**
 = *Lyngbya aestuarii* LIEBMAN ex GOMONT 1892
 var. *antarctica* FRITSCH 1912
 = ***Lyngbya fritschii* ANAGNOSTIDIS 2001**
***Bicosoeca antarctica* PANKOW 1991**
***Fragilaria ulna* (NITZSCH) LANGE-BERTALOT 1980**
 var. *aequalis* (KÜTZING) PANKOW 1991
 = ***Ulnaria ulna* (NITZSCH) P. COMPERE 2001**
 var. ***aequalis* (KÜTZING) M. ABOAL 2003**

Syntaxa-Neubeschreibungen, -Neukombinationen und Emendierungen
 fett → akzeptierte / zitierte Syntaxa; normal → Synonyme

TÄUSCHER (1998, 2007), TÄUSCHER in BÜLTMANN et al. (2014)

- 1965: ***Aegagropileum sauteri* PANKOW 1965**
 = ***Aegagropileum linnaei* PANKOW 1965 corr. TÄUSCHER 2008**
- 1974: ***Spirulinetum subsalsae* PANKOW 1974**
- 1980: ***Naviculetea* PANKOW n.n. 1980**
 = ***Naviculetea gregariae* PANKOW 1980 ex TÄUSCHER in BÜLTMANN et al. 2014**
Naviculetalia PANKOW n.n. 1980
 = ***Naviculetalia gregariae* PANKOW 1980 ex TÄUSCHER in BÜLTMANN et al. 2014**
Cocconeidetum placentulae MÖLLER 1977
 melosiretosum *juergensii* PANKOW 1980
 = ***Cocconeidetum placentulae* MÖLLER 1977**
 melosiretosum ***lineatae* PANKOW 1980 corr. TÄUSCHER 1998**
Diatomo elongati - *Synedretum pulchellae* (BUDE) PANKOW 1980
 = ***Diatomo tenuis* - *Fragilarietum pulchellae* (BUDE) PANKOW 1980 corr. TÄUSCHER 1998**
Melosiretum juergensii PANKOW 1980
 = ***Melosiretum lineatae* PANKOW 1980 corr. TÄUSCHER 1998**
Naviculetum cryptocephalae (BUDE) PANKOW 1980
 = ***Naviculetum cryptocephalo* - *venetae* (BUDE) PANKOW 1980 corr. TÄUSCHER 1998**

- 1981: Asterionellion MÖLLER et PANKOW n.n. 1981
 = Asterionellion gracillimae MÖLLER et PANKOW 1981 in BÜLTMANN et al. 2014
 Oscillatorietum limosae MÖLLER et PANKOW 1981 ex TÄUSCHER in BÜLTMANN et al. 2014
- 1984: Cladophoretum aegagropilae (JÖNS) PANKOW et BOLBRINKER 1984
 = Aegagropiletum linnaei PANKOW 1965 corr. TÄUSCHER 2008
- 1991: Aphanocapsetum endolithicae PANKOW 1991
 Chlamydomonadetum nivalis PANKOW 1991
 Gloeocapsetum FRIEDMANN et al. emend. PANKOW 1991
 Naviculo - Cosmarietum laevis PANKOW 1991
 Stigonemo - Nostocetum PANKOW 1991

Wissenschaftsgeschichte, Bibliographien, Würdigungen, Nekrologe, Taxa- und Syntaxa-Zitate

- ARNDT, E.-A. (2003): 50 Jahre Biologie an der Universität Rostock (1945-1995). - Verband ehemaliger Rostocker Studenten (VERS) Dannenberg (ed.), Rostock.
- BAUDLER, H., BIRR, H.-D., DAHLKE, S., HUPFER, P., KOZERSKI, H.-P., LAMPE, R., SCHÖNFELDER, H.-J., SCHUMANN, R. & VON WEBER, M. (2012): Die Erforschung der nordostdeutschen Boddengewässer an der Ostsee. - Historisch-Meereskundliches Jahrbuch 18: 73-134.
- BERG, C. (1993): Bibliographie vegetationskundlicher Literatur in Mecklenburg-Vorpommern (Bundesrepublik Deutschland) bis 1993. - Botanischer Rundbrief für Mecklenburg-Vorpommern 25: 5-34.
- BOTANISCHER GARTEN – UNIVERSITÄT ROSTOCK: Geschichte – Helmut Pankow, Lehrstuhlinhaber und Gartendirektor 1961-1996.
<http://www.garten.uni-rostock.de/geschichte/>
- BÜLTMANN, H., ROUX, C., EGEE, J. M., JULVE, P., BRICAUD, O., GIACCONE, G., TÄUSCHER, L., TAKEUCHI, N., CREVELD, M., GOLUBIĆ, S. & V. DI MARTINO (2014): Die Erforschung der nordostdeutschen Boddengewässer an der Ostsee. - Historisch-Meereskundliches Jahrbuch 18: 73-134.
- CATALOGUS PROFESSORUM ROSTOCHIENSIIUM: Pankow, Helmut Prof. Dr. rer. nat. habil.
http://cpr.uni-rostock.de/metadata/cpr_professor_00000002146
- DIE BIOWISSENSCHAFTEN AN DER UNIVERSITÄT ROSTOCK: Helmut Pankow (1929-1996)
<http://www.biologie.uni-rostock.de/institut/geschichte.html>
- GUIRY, M.D. (2005): Algae Base – Listing the world's algae. - The Irish Scientist 2005 Year Book: 74-75.
<http://www.seaweedafrica.org/pdf/NIUG%20MRI%20Guiry%20AlgaeBase.pdf?session=abv3:9BE8FA331b3921624CIRUWBFAFE2>
- GUIRY, M.D. & GUIRY, G. M. (1996-2014): Algae Base version 4.1 World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway.
<http://www.algaebase.org>
- HÄLLFORS, G. (2004): Checklist of Baltic Sea Phytoplankton Species (including some heterotrophic protistan groups). - Baltic Sea Environment Proceedings 95: 1-208.
<http://helcom.fi/L/Lists/Publications/BSEP95.pdf#search=checklist>
- JÄGER, E. J. & WERNER, K. (2008): Die Geschichte der „Exkursionsflora“ von Werner Rothmaler. - Feddes Repertorium 119: 124-143.
- KARSTEN, U. (2001): Phykologische Forschung in Rostock. - Rundschreiben Sektion Phykologie in der Deutschen Botanischen Gesellschaft Dezember 2001: 3-4.
- KELL, V. (2014): Kuriose Episoden in der Tätigkeit eines Botanikers und Pilzberaters. - Borsdorf.
- KRAMMER, K. (1997): Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2. *Encyonema* part. *Encyonopsis* und *Cymbellopsis*. – Bibliotheca Diatomologica 37. – Berlin, Stuttgart (*Encyonema pankowii*: p. 69, 192, pl. 142, fig. 9-11).
- KRIENITZ, L. (1986): Drei neue Arten coccaler Grünalgen (Chlorellales) aus dem Plankton der Elbe. - Arch. Protistenkd. 132: 299-311.
- KUSBER, W.-H. & JAHN, R. (2003): Annotated list of diatom names by Horst Lange-Bertalot and co-workers. – Version 3.0.
http://www.algatera.org/Names_Version3_0.pdf
- LANGE-BERTALOT, H. & METZELTIN, D. (2010): On the occasion of Dr. Kurt Krammer's 85th birthday: List of new names and combinations by Kurt Krammer. – Polish Botanical Journal 55: 11-26.
http://bomax.botany.pl/pubs/data/article_pdf?id=2163
- LESKE, S., BERG, C., KABUS, T. & TÄUSCHER, L. (2005): Bibliographie „Submerse Makrophyten in Seen Mecklenburg-Vorpommerns“. - Botanischer Rundbrief für Mecklenburg-Vorpommern 40: 79-104.
http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/bibliographie_seen_2005.pdf
http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/makrophyten_liste_seen_2005.xls

- LIBBERT, E. (1965): Die Forschung am Botanischen Institut der Universität Rostock. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 14: 453-458.
- MADAUS, C. (ed.) (1999): Grabow. Geschichte und Geschichten: Helmut Pankow. - Schwerin: 116.
- RICHTER, R., VON GUTTENBERG, H. & LIBBERT, E. (1968): Die Entwicklung der Botanik in Rostock. - Wiss. Ztschr. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 17: 263-275.
- SCHADEWALDT, J. (1989): Erlebnis Antarktis: Der Rostocker Botanik-Professor Dr. Helmut Pankow war im Oktober/November 1988 Teilnehmer der 2. DDR-Antarktis-Expedition. - Ostseezeitung / Wochenende 9: 4./5. März 1989.
- SILVA, P. C. (1949-2014): Center for Phycological Documentation: Index Nominum Algae, University Herbarium, University of California, Berkeley. - Submit name: Pankow. <http://ucjeps.berkeley.edu/INA.html>
- SILVA, P. C. & MOE, R. L. (1999): The Index Nominum Algae. - Taxon 48: 351-353. <http://images.algaebase.org/pdf/8CCBC95A0a6d6275DC0wg21AC447/1224441.pdf>
- SCHORIES, D., KUHNENKAMP, R., SCHUBERT, H. & SELIG, U. (2013): Rote Liste und Gesamtartenliste der marinen Makroalgen (*Chlorophyta*, *Phaeophyceae* et *Rhodophyta*) Deutschlands. – In: BECKER, N., HAUPT, H., HOFBAUER, N., LUDWIG, G. & NEHRING, S. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 2: Meeresorganismen. - Naturschutz und Biologische Vielfalt 70: 179-229.
- SCHORIES, D., SELIG, U. SCHUBERT, H. (2009): Species and Synonym list of German marine macroalgae based on historical and recent records. - Rostock. Meeresbiolog. Beitr. 21: 7-135. <http://www.biologie.uni-rostock.de/oekologie/RMB.htm#21>
- TÄUSCHER, L. (1997): Nachruf Prof. Helmut Pankow (1929-1996). - Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)-Mitteilungen I/97: 14.
- TÄUSCHER, L. (1997): In memoriam HELMUT PANKOW (1929-1996) (incl. Verzeichnis hydrobotanisch-ökologischer Arbeiten von H. P.). - Limnologica 27: 267-269.
- TÄUSCHER, L. (1997): In memoriam HELMUT PANKOW (1929-1996) (incl. List of hydrobotanical and ecological studies of Prof. H. P.). - Int. Revue ges. Hydrobiol. 82: 287-290.
- TÄUSCHER, L. (1998): Mikroalgenesellschaften der Gewässer Nordostdeutschlands und ihre Nutzung zur Bioindikation. - Feddes Repertorium 109: 617-638.
- TÄUSCHER, L. (2000): Der Beitrag von Helmut Pankow (1929-1996) für die botanische Erforschung Mecklenburg-Vorpommerns (incl. Verzeichnis der Taxa- und Syntaxa-Neubeschreibungen, -Neukombinationen und Emendierungen, hydrobotanisch-ökologischer Arbeiten, Arbeiten zur Pflanzenanatomie, Gefäßpflanzen- und Moosflora Mecklenburgs und Bücher und Buchbeiträge). - Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)-Tagungsbericht 1999 (Rostock), Bd. II: 1033-1046.
- TÄUSCHER, L. (2005): 50 Jahre Erforschung der Algen-Besiedlung von Gewässern in Mecklenburg-Vorpommern – ein bibliographischer Überblick. - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 44: 183-206.
- TÄUSCHER, L. (2007): Studies on diatoms of inland waters and of the southern Baltic Sea in Mecklenburg-Western Pomerania (Germany) since the middle of the last century. – In: KUSBER, W.-H. & R. JAHN (eds.): Proceedings of the 1st Central European Diatom Meeting 2007, Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem, Freie Universität Berlin ISBN 978-3-921800-63-8, © BGBM, Berlin: 159-162. <http://www.bgbm.org/sites/default/files/documents/cediatom133Taeuscher.pdf>
- TÄUSCHER, L. (2009): Auf alten Spuren - eine „Exkursion“ während der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie e.V. 1999 an der Universität Rostock. - Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) – 25 Jahre (2009). - Manuskript: 2 S..
- TÄUSCHER, L. (2012): Umweltbildung für Schüler, Studenten und in der Erwachsenenqualifizierung vor und nach der „Wende“ (1979-2012). - Studienarchiv Umweltgeschichte 17: 67-76. http://www.iugr.hs-nb.de/fileadmin/IUGR/Publikationen/Studienarchiv_Umweltgeschichte/Stug17_A5_green.pdf
- TÄUSCHER, L. (2013): Untersuchungen der Algenbesiedlung von Küstengewässern in Mecklenburg-Vorpommern vor dem 2. Weltkrieg (1892-1940). - Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 52: 157-172.
- TÄUSCHER, L. (2015): Ehrenkolloquium anlässlich des 85. Geburtstages von Professor Dr. rer. nat. habil. Helmut Pankow (1929-1996). - Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)-Mitteilungen I/2015: im Druck.
- THE INTERNATIONAL PLANT NAMES INDEX (IPNI): AUTHORS OF PLANT NAMES ROYAL BOTANIC GARDENS, KEW, THE HARVARD UNIVERSITY HERBARIA & AUSTRALIAN NATIONAL HERBARIUM. - Search Authors: Pankow, Helmut (1929-1996). <http://www.ipni.org/index.html>
- UNIVERSITÄT ROSTOCK: Matrikelportal Rostock (mpr) ab 1419 – Wintersemester 1949/50 Nr. 98: Immatrikulation von Helmut Pankow am 21.09.1949. <http://matrikel.uni-rostock.de/id/510031643>

Folker RATTEY

August-Bebel-Straße 18, 38489 Beetzendorf, fo.ratthey@web.de

Das atlantische Element in der Flora der nordwestlichen Altmark (Sachsen-Anhalt)

Abstract

The flora of north-western part of the Altmark in the federal state Saxony-Anhalt is characterised by atlantic species, living on eastern periphery of distribution. Some of them (e.g. *Ranunculus hederaceus*, *Isolepis fluitans* = *Scirpidiella fluitans*, *Apium inundatum* and *Pilularia globulifera*) are living isolated populations of their typical distribution. Others their eastern distribution border in this area (*Genista anglica*, *Ilex aquifolium*, *Hypericum pulchrum*, *Chrysosplenium oppositifolium* and *Gagea spathacea*). Two atlantic species (*Myrica gale* and *Ceratocapnos claviculata*) have expanded to the Altmark in the last decades. The atlantic floristic elements, their special habitats and the most important sites in the Altmark are briefly presented.

Zusammenfassung

Die Flora der nordwestlichen Altmark im Land Sachsen-Anhalt ist durch das Auftreten atlantischer Florenelemente an der östlichen Arealgrenze gekennzeichnet. Zum einen gibt es Arten, die in der Altmark einen Vorpostenstandort besitzen. Das sind der Efeublättrige Hahnenfuß (*Ranunculus hederaceus*), die Flutende Moorbirse / Tauchsimsse (*Isolepis fluitans* = *Scirpidiella fluitans*), der Flutende Sellerie / Scheiberich (*Apium inundatum*) und der Pillenfarn (*Pilularia globulifera*). Zum anderen finden Arten in der Altmark ihre absolute Ostgrenze. Dazu gehören der Englische Ginster (*Genista anglica*), die Stechpalme (*Ilex aquifolium*), das Schöne Hartheu (*Hypericum pulchrum*), das Gegenblättrige Milzkraut (*Chrysosplenium oppositifolium*) und der Scheidige Goldstern (*Gagea spathacea*). Zwei Arten sind in den letzten Jahrzehnten in das Gebiet vorgedrungen. Es handelt sich dabei um den Gagelstrauch (*Myrica gale*) und um den Rankenden Lerchensporn (*Ceratocapnos claviculata*). Es werden die atlantischen Florenelemente, ihr jeweiliges Vorkommen und die wichtigsten Standorte in der Altmark kurz beschrieben.

Keywords: Floristik, atlantische Florenelemente, Altmark

Diese Arbeit ist Teil der Festschrift anlässlich des 85. Geburtstages meines akademischen Lehrers Prof. Dr. Helmut Pankow

1 Einleitung

Das Thema für meine Staatsexamensarbeit „Das atlantische Element in der Flora Mecklenburgs“ (RATTEY 1961) erhielt ich von Prof. Dr. Franz Pohl (1896-1988). Helmut Pankow, damals Oberassistent am Botanischen Institut der Universität Rostock, zeigte sich an diesem Thema interessiert und sprach oft mit mir darüber. Teile dieser Arbeit waren die Grundlage einer gemeinsamen Veröffentlichung (PANKOW & RATTEY 1963). Ich konnte mich anschließend während meiner Tätigkeit als Lehrer in Beetzendorf (Altmark) über Jahrzehnte dem atlantischen Florenelement widmen (s. RATTEY 1984, 2009). Der Nordwesten der Altmark bot günstige Voraussetzungen dafür. Denn in den ostdeutschen Ländern (ehemalige DDR) gehören die Prignitz (Land Brandenburg, s. FISCHER 2012), die Altmark (Sachsen-Anhalt), Westmecklenburg und die Ostseeküste (Mecklenburg-Vorpommern) zum atlantischen Klimabereich. Die altdiluviale Landschaft der nordwestlichen Altmark ist atlantisch geprägt und bietet dadurch den atlantischen Florenelementen gute Existenzbedingungen. Kennzeichen dieses Klimas sind relativ milde Winter, mäßig warme Sommer und Jahresniederschlagssummen von 550 bis 590 (600) mm. Im Zusammenhang mit der Arealgrenze der Atlantiker gibt es markante klimatische Begrenzungslinien. Das sind die 0°C-Januarisotherme als Ausdruck milder Winter und die 18°C-Jahresschwankung der Monatsmittel als Ausdruck mäßig warmer Sommer. Das Vorkommen der atlantischen Florenelemente ist klimatisch und edaphisch bedingt. Sie besiedeln hauptsächlich ausgelaugte, oligotrophe und saure Böden und reagieren empfindlich auf strenge Winter. Auch die Hydrophyten unter den Atlantikern bevorzugen nährstoffarme und saure bis schwach saure Gewässer. Die hydrochemische Beschaffenheit der Standorte mit hohem Anteil atlantischer Florenelemente im Drömling (Jeggauer Moor) ist beispielsweise durch einen, pH-Wert von 6,2 – 6,7, sehr geringe Ammonium- und Phosphationen, aber relativ viel Calcium- und Sulfationen gekennzeichnet (PIETSCH 1979). Es sind also elektrolytreiche und nährstoffarme Gewässer von schwachsaurem Charakter.

Ich konnte nun bei meinen jahrzehntelangen Beobachtungen viele Atlantiker finden bzw. in ihrem Vorkommen bestätigen. Das möchte ich im Folgenden darlegen. Ich treffe eine Auswahl und erläutere die Arten, die pflanzengeografisch für das Vorkommen in der Altmark besonders interessant sind. Dabei klassifiziere ich die in Frage kommenden Arten nach folgenden Gesichtspunkten:

1. Arten mit einem Vorpostenstandort
2. Arten mit klarer Ostgrenze
3. Arten mit weiter ostwärts aufgelockertem Vorkommen
4. Arten, die erst in den letzten Jahrzehnten nachgewiesen wurden

2 Ergebnisse - Diskussion

2.1 Arten mit einem Vorpostenstandort

Efeublättriger Hahnenfuß (*Ranunculus hederaceus* L.) (Abb. 1, 2).

Der Efeublättrige Hahnenfuß ist an den dunkelgrün glänzenden derben Laubblättern, die an Efeublätter erinnern, recht gut zu erkennen. Die weißen Blüten sind sehr klein und fallen erst beim genauen Hinsehen auf. Ich habe diese Art erstmalig 1964 bei Salzwedel (Böddenstedt), dann bei Klein Gischau (1975), im Jeggauer Moor (1980) und bei Breitenfelde (1981) gefunden. Im Jeggauer Moor (s. RATTEY 2009) und einem quelligen Wiesenstück bei Klein Gischau gelingt heute noch der Nachweis. Ansonsten sind die Vorkommen unstat, und viele frühere Funde können nicht mehr bestätigt werden. Für Mecklenburg sind alle Nachweise erloschen (VOIGTLÄNDER & HENKER 2005). Für die Prignitz (Land Brandenburg) gibt es keine Funde von dieser Art (FISCHER 2012). Der Efeublättrige Hahnenfuß gilt für Sachsen-Anhalt als gefährdet (FRANK et al. 2004) und für Deutschland als stark gefährdet (KORNNECK et al. 1996). Er zeigt im Gebiet eine Vorliebe für flache sandige aber auch schlammige Gräben, wo er in großen einartigen Beständen auftreten kann. Das ist mir besonders im Quarnebecker Moorgraben (Jeggauer Moor) und einem Abflussgraben bei Klein Gischau aufgefallen. Aber auch tieferes Wasser oder kleine feuchte Senken wurden im Gebiet besiedelt. Diese amphibische Lebensweise macht diesen Hydrophyten recht anpassungsfähig. Auf Eutrophierung und zunehmenden Besiedlungsdruck durch andere Makrophyten reagiert er aber doch sehr empfindlich.

Flutende Moorbirse (*Isolepis fluitans* (L.) R. BR. = *Scirpidiella fluitans* (L.) RAUSCHERT (Abb. 3)

Dieses submerse Riedgras bildet lange oberwärts ästige Sprosse und besitzt kleine Ährchen, die zur Blütezeit über die Wasseroberfläche ragen. Die ganze Pflanze fällt durch ihre hellgrüne Farbe auf.

Im Jeggauer Moor und angrenzenden Gräben besiedelt die Flutende Moorbirse stehende und langsam fließende Gewässer und bildet stellenweise dichte Dominanzbestände, die den Wasserkörper großräumig ausfüllen (RATTEY 2009). Weitere Vorkommen in der Altmark sind nicht bekannt. Die östlichsten Vorpostenstandorte befinden sich in der Lausitz. Für die Prignitz (Land Brandenburg) gibt es keine Funde von dieser Art (FISCHER 2012). Sie ist konkurrenzschwach, gilt für Mecklenburg als verschollen (VOIGTLÄNDER & HENKER 2005) und ist in Sachsen-Anhalt und deutschlandweit stark gefährdet (FRANK et al. 2004, KORNNECK et al. 1996).

Flutender Sellerie / Scheiberich (*Apium inundatum* L.) (Abb. 4)

Diese zarte Wasser- und Sumpfpflanze besitzt mehrfach gefiederte Tauchblätter und einfach gefiederte Landblätter, die dreilappige keilförmige Teilblätter besitzen. Die unauffällige weiße Blütendolde ist 2 – 3 –strahlig. Als konkurrenzschwache Pionierpflanze bevorzugt sie flache nährstoffarme Gewässer und bildet bei günstigen Bedingungen einartige dichtschießende Bestände. Bei trockenfallenden Gräben konnte ich auch Landformen beobachten.

Der Flutende Scheiberich konnte im nordöstlichen Drömling in Stichgräben und Vorflutern nachgewiesen werden. Darüber hinaus gelangen in der Altmark Funde südwestlich von Mieste, in einem Kleingewässer und Abflussgräben bei Neue

Krug und in einem Vorfluter bei Schmölau. In der Lausitz befinden sich die östlichsten Vorpostenstandorte. In Mecklenburg sind bis auf Westrügen alle Funde erloschen (VOIGTLÄNDER & HENKER 2005). In der Prignitz (Land Brandenburg) ist die Art fehlend (FISCHER 2012). Für Sachsen-Anhalt und für Deutschland ist diese Art sehr stark bzw. stark gefährdet (FRANK et al. 2004, KORNNECK et al. 1996). Nährstoffeintrag und Verschmutzung führten zum Rückgang.

Pillenfarn (*Pilularia globulifera* L.) (Abb. 5, 6)

Der Pillenfarn ist eine Wasser- und Uferpflanze, die binsenartige stielrunde Blätter besitzt und damit erheblich vom typischen Farnhabitus abweicht. Bei oberflächlichem Betrachten kann es daher leicht zur Verwechslung mit der Nadelsimse (*Eleocharis acicularis* (L.) Roemer et SCHULTES kommen. Im Drömling kommen beide Arten nebeneinander vor. Die Blätter stehen oft dichtgedrängt und bilden auf dem Boden frisch geräumter Gräben nicht selten großflächige Rasen. Davon zeigte sich Prof. Helmut Pankow anlässlich einer Exkursion in den 80'er Jahren, die ihn auch in den Drömling führte, sehr beeindruckt. Der Pillenfarn gilt auch als wettbewerbsschwache Pionierpflanze, die nährstoffarme und schwach saure Gewässer bevorzugt. Nach Osten hin wird er immer seltener. Für Mecklenburg liegen keine aktuellen Nachweise vor (VOIGTLÄNDER & HENKER 2005). In der Prignitz (Land Brandenburg) ist die Art ausgestorben (FISCHER 2012). Östliche Vorpostenstandorte existieren auch in der Lausitz. Viele Vorkommen sind erloschen. Es besteht eine starke Gefährdung (FRANK et al. 2004, KORNNECK et al. 1996).

In der Altmark gelangen noch Neufunde in einem Verlandungsgürtel eines Grabens zwischen Wendisch-Brome und Nettgau und in einem Kleingewässer bei Waddekath.

Diese vier beschriebenen Atlantiker zeigen in der Altmark ein übereinstimmendes ökologisches Verhalten. Es handelt sich um konkurrenzschwache Primärbesiedler, die bei zunehmender Verschlammung und Verlandung stark zurückgehen. Offene mineralische Standorte werden bevorzugt und führen nicht selten zu einartigen Dominanzbeständen. In folgenden Sukzessionsphasen werden sie durch andere Makrophyten u. U. total verdrängt. Das Vorkommen dieser ozeanischen Hydrophyten stellt eine Brücke zwischen ihrem west- und südwesteuropäischen Hauptverbreitungsgebiet und dem östlichsten Vorposten in der Lausitz dar. Besonders im Nordosten des Drömling, im Jeggauer Moor und den angrenzenden Flächen kommt es zu einer Artenkombination atlantischer Florenelemente, die so in Deutschland wohl einmalig ist. Aus diesem Grunde ist dieses Gebiet pflanzengeografisch sehr bedeutsam.

Beim Drömling handelt es sich um eine Niedermoorlandschaft, die durch eine Moordammkultur gekennzeichnet ist. (Abb. 7) Heute gibt es in diesem Naturpark 1725 Wasserlaufkilometer, davon sind 950 km Dammgräben und 650 km Vorfluter. Im Nordosten des Drömling liegt das NSG „Jeggauer Moor“, das als atlantisches Wiesenmoor eingestuft werden muss (RATTEY 2009). Schon in den 60-er Jahren wurde das Jeggauer Moor durch das Auffinden atlantischer Florenelemente bekannt. (JAGE & JAGE 1967). Im Jahre 1978 erfolgte die Unterschutzstellung als NSG. Das Jeggauer Moor liegt am Südrand eines Endmoränenzuges („Hellberge“) und wird von den dort auftretenden Stauniederschlägen beeinflusst. Das schafft günstige Bedingungen für die Atlantiker, die dort elektrolytreiche aber nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche, saure bis schwach saure Gewässer besiedeln. Erst mit fortschreitender Gewässergenese kommt es im Zusammenhang mit der

Akkumulation von organischen Stoffen zu einer Erhöhung von Ammonium-, Nitrat- und Phosphationen, die dann zur Verdrängung der Vertreter des atlantischen Florenelementes führen. Daher ist es im Sinne der Bestandserhaltung und -verbesserung unbedingt erforderlich, die Gräben regelmäßig zu beräumen. Entkrautung und Entschlammung führen immer wieder zur spontanen Besiedlung der neu geschaffenen Pionierstandorte und starken Ausdehnung der seltenen Pflanzen.

2.2 Arten mit klarer Ostgrenze sowie solche mit weiter ostwärts aufgelockertem Vorkommen

Eine deutliche östliche Verbreitungsgrenze im Untersuchungsgebiet zeigen der Englische Ginster (*Genista anglica* L.), die Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.), das Schöne Hartheu (*Hypericum pulchrum* L.) (Abb. 8), das Gegenblättrige Milzkraut (*Chrysosplenium oppositifolium* L.) und der Scheidige Goldstern (*Gagea spathacea* (HAYNE) SALISB.) (Abb. 9).

Diese Arten kommen in gehäufterem Maße in der nordwestlichen Altmark vor und erreichen dann doch ziemlich schnell ihre Ostgrenze.

Ähnlich verhält es sich mit der Glockenheide (*Erica tetralix* L.) und dem Salbeigamander (*Teucrium scorodonia* L.) (Abb. 10), nur dass diese beiden Arten noch über ein aufgelockertes östlicheres Verbreitungsgebiet verfügen. Der Englische Ginster und die Glockenheide gelten als Kennarten atlantischer Zwergstrauchheiden und es ist auffallend, dass beide Arten häufig vergesellschaftet auftreten und ein ähnliches Verbreitungsgebiet haben. Ein Seltener werden ist unübersehbar. Die Stechpalme zeigt eine noch engere Bindung an die nordwestliche Altmark. Die abnehmenden winterlichen Temperaturen begrenzen maßgeblich die Verbreitung dieser mediterran atlantischen Art. In kalten Wintern traten im Gebiet Frostschäden auf, die ganze Triebe betrafen. Die Ostgrenze ist wahrscheinlich eine Kältengrenze. Stattliche Exemplare existieren im Ferchauer Wald. Für das als gefährdet geltende Schöne Hartheu gelangen mir von 1968 bis 2011 elf Nachweise. In nährstoffarmen Laubmischwäldern, in verheideten Waldrändern und an Waldwegen in Kiefernforsten war diese Art zu finden. In Mecklenburg existieren nur noch drei aktuelle Fundorte. Der im Flachland nur zerstreut vorkommende Salbeigamander hat im Nordwesten der Altmark ein Häufungszentrum und tritt teilweise in größeren Beständen auf. Das Gegenblättrige Milzkraut als Charakterart beschatteter Silikatquellfluren ist im Flachland der ostdeutschen Länder auf den Westen konzentriert, in den Mittelgebirgen allerdings häufig. Für die nordwestliche Altmark sind mir fünf Vorkommen bekannt.

2.3 Arten, die erst in den letzten Jahrzehnten nachgewiesen wurden

Abschließend möchte ich mich noch zwei Neuankömmlingen widmen, die in den letzten Jahrzehnten in der Altmark nachgewiesen werden konnten. Es handelt sich um den Rankenden Lerchensporn (*Ceratocarpus claviculata* (L.) LIDEN) und um den Gagalstrauch (*Myrica gale* L.).

Den Rankenden Lerchensporn konnte ich im Jahre 1973 erstmalig für die Altmark in der Nähe von Mellin nachweisen. Im Jahre 1984 gelang mir auch der Nachweis für das Jeggauer Moor am Rande eines Moorwaldkomplexes. (BENKERT et al. 1995) In den darauffolgenden Jahren vollzog sich in unserem Gebiet eine

beispielslose Arealausweitung. Dank des großen Klettervermögens überwucherte dieser zarte Atlantiker die Bodenvegetation in den Kiefernforsten großflächig und heute gibt es kaum ein Waldstück, wo dieser Lerchensporn nicht zu finden ist. Es ergaben sich echte Schleiergesellschaften. Dabei zeigt dieses atlantische Florenelement eine Vorliebe für forstliche Monokulturen und besiedelt Schlagfluren mit dichten Beständen. Als Ursache für diese enorme Expansion werden das milde Winterwetter und die Stickstoffimmissionen diskutiert. Eine weitere Zunahme der Vorkommen ist zu erwarten. Im Vergleich dazu unternahm der Gagelstrauch nur eine zaghafte Einwanderung in die Altmark. Er wurde 1992 dicht an der Grenze zum benachbarten Niedersachsen erstmalig für die Altmark nachgewiesen (BRENNSTUHL 2010).



Abb.1



Abb.2



Abb.3



Abb.4



Abb.5



Abb.6

Abb. 1-6 Aufnahmen des Autors von den im Text genannten atlantischen Arten in der Altmark (Sachsen- Anhalt). 1,2: *Ranunculus hederaceus* (Efeublättriger Hahnenfuß), 3: *Isoplepis fluitans* (Flutende Moorbirse), 4: *Apium inundatum* (Flutender Sellerie / Scheiberich), 5, 6: *Pilularia globulifera* (Pillenfarne).



Abb.7



Abb.8



Abb.9



Abb.10



Abb.11

Abb. 7-11 Aufnahmen des Autors von den im Text genannten atlantischen Arten in der Altmark (Sachsen-Anhalt). 7: Moordammkultur im Drömling, 8: *Hypericum pulchrum* (Schöner Hartheu), 9: *Gagea spathacea* (Scheidiger Goldstern), 10: *Teucrium scorodonia* (Salbeigamander), 11: *Myrica gale* (Gagelstrauch).

Westlich von Neue Krug wurden an einem anthropogen beeinflussten Kleingewässer einige große Büsche gefunden (Abb. 11). Der angrenzende ehemalige Grenzstreifen wurde mit jüngeren Exemplaren ebenfalls besiedelt. Diese Vorkommen markieren den östlichsten Punkt der geschlossenen Verbreitung. Im Nachbarland Niedersachsen und auch in der Küstenregion von Mecklenburg befinden sich noch großflächige Bestände des ansonsten seltener werdenden zweihäusigen Strauches.

Literatur

- BENKERT, D., HOFFMANN, J. & FISCHER, W. (1995): *Corydalis claviculata* (L.) DC. – ein Neubürger der märkischen Flora – Schr.-R. f. Vegetationskunde., 27 (Sukopp-Festschrift): 353-363.
- BRENNSTUHL, G. (2010): Bemerkenswerte Pflanzenarten im ehemaligen Grenzgebiet des Altmarkkreises Salzwedel – Mitt. Flor. Kart. Sachs. – Anh. 15: 111 – 119.
- FISCHER, W. (2012): Flora der Prignitz. Die Blütenpflanzen und Farne im Gebiet der früheren Kreise West- und Ostprignitz (Land Brandenburg). Beobachtungen in sechs Jahrzehnten von 1948 bis 2008. – Mnskr. 362 S.
- FRANK, D.; HERDAM, H.; JAGE, H.; JOHN, H.-U.; KISON, H.; KORSCH, H. & STOLLE, J. (2004): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) des Landes Sachsen-Anhalt. – In: LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (Hrsg.): Rote Listen Sachsen-Anhalt. - Ber.Landesamt Umweltsch. Sachsen-Anhalt. (Halle) 39: 91-110.
- JAGE, H. & JAGE, I. (1967): Zur Flora der Altmark – Verh. Bot. Prov. Brandenburg 104: 54 -62.
- KORNECK, D., SCHNITTLER, M. & VOLLMER, I. (1996): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. – Schr.-R. f. Vegetationskde. 28: 21-187.
- KRUMMBIEGEL, A., (2001): Zur aktuellen Bestandssituation ozeanischer Pflanzenarten im Gebiet des Jeggauer Moores (Altmark). – Gleditschia 29: 5-11.
- PANKOW, H. & RATTEY, F. (1963): Verbreitungskarten zur Pflanzengeografie Mecklenburgs. II.Reihe. – Wiss. Ztschr. Univ. Greifswald, Math.- nat. R. 12::359 -376.
- PIETSCH, W. (1979): Zur Bioindikation einiger Vertreter des atlantischen Florenelementes in der Altmark und in der Lausitz. – Docum. Phytosoc. N.S. 4: 827 – 840.
- RATTEY, F. (1961): Das atlantische Element in der Flora Mecklenburgs. – Staatsexamensarbeit Universität Rostock.
- RATTEY, F. (1984): Zum Auftreten von einigen atlantischen Florenelementen in der nordwestlichen Altmark. – Gleditschia 11:125 – 130.
- RATTEY, F. (2009): Das Jeggauer Moor, ein pflanzengeografischer Glanzpunkt in der nordwestlichen Altmark. – Untere Havel – naturkundliche Berichte aus Altmark und Prignitz 19: 2 – 8.
- VOIGTLÄNDER, U. & HENKER, H. (2005): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen Mecklenburg-Vorpommerns, 5. Fassung. Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern (ed.)– Schwerin.

Anastasia BRAGINA¹, Christina MÜLLER² & Gabriele BERG^{1,2}

¹Institute of Environmental Biotechnology, Graz University of Technology, 8010 Graz, Petersgasse 12, Austria, gabriele.berg@tugraz.at

²Austrian Centre of Industrial Biotechnology (ACIB GmbH), Petersgasse 14, 8010 Graz, Austria

The moss microbiome: new insights into the microbial world of plants and its biotechnological potential

Abstract

Mosses have a key position in the evolution of green plants and are used as model organisms to understand plant development and genetics as well as the plant microbiome. Here we summarize the knowledge about the moss microbiome with special focus on the genus *Sphagnum*. *Sphagnum* mosses harbor a highly diverse microbiome with essential functions for the host including nutrient supply, growth promotion and stress protection. Moreover, moss-associated bacteria fulfill important functions for the whole (bog) ecosystem: they are able to oxidize methane and form a cooling net on the bog surface. All the unique properties of the moss microbiome are an immense treasure box for biotechnology.

Zusammenfassung

Moose haben als erste Landpflanzen eine Schlüsselstellung in der Evolution der Pflanzen und werden deshalb als Modellorganismen für Untersuchungen zur Pflanzenentwicklung und –genetik sowie des Mikrobioms herangezogen. In diesem Artikel diskutieren wir die Struktur und Funktion des Moosmikrobioms mit einem speziellen Fokus auf die Gattung *Sphagnum*. Diese moorbildenden Moosarten enthalten ein vielseitiges Mikrobiom, was für essentielle Funktionen wie Nährstoffversorgung, Wachstumsförderung und Stressschutz verantwortlich ist. Darüber hinaus kommt dem *Sphagnum*-Mikrobiom eine wichtige Bedeutung für das gesamte Ökosystem zu; Bakterien oxidieren Methan und bilden somit eine wichtige Schutzschicht für unser Klima. All diese einzigartigen Eigenschaften machen das Moosmikrobiom zu einer Schatzkiste für die Biotechnologie.

Keywords: moss microbiome, *Sphagnum*, biotechnology

This manuscript is dedicated to Prof. Dr. Helmut Pankow, who was the teacher and diploma supervisor of G.B. and a great friend of the small plantlets like algae and mosses.

1 The plant microbiome and mosses as model organisms

Plants have recently been recognized as meta-organisms due to a close symbiotic relationship with their microbiome (BULGARELLI et al. 2012; LUNDBERG et al. 2012; HIRSCH & MAUCLINE 2012). Comparable to humans and other eukaryotic hosts, plants also harbor a “second genome” that fulfils important host functions (BERG 2009; BERG et al. 2013). These findings were driven by both ‘omic’-technologies guided by next-generation sequencing (NGS) and microscopic advances (JANSSON et al. 2012; CARDINALE 2014). The rhizosphere was already defined by LORENZ HILTNER in 1904 as root-surrounding soil influenced by root exudates (HARTMANN et al. 2008). This microenvironment is of central importance not only for plant nutrition, health, and quality, but also for microorganism-driven carbon sequestration, ecosystem functioning, and nutrient cycling in terrestrial ecosystems (MENDES et al. 2012; BERG et al. 2014). The colonization of the root by microbes is triggered by a complex interplay between soil, root exudates, plant defense signaling, and inter-microbial competition (BAIS et al. 2006; DOORNBOS et al. 2012). Root-associated microorganisms, especially mycorrhizal fungi, have played a decisive role in establishment and evolution of terrestrial plants due to enhanced nutrient recovery, plant stress tolerance, and pathogenic resistance. The phyllosphere is also an important habitat because it connects the above-ground part of the plant with its environment (VORHOLT 2012). Although the phyllosphere of several plant species has already been extensively studied, less is known about their microbial diversity, which could be influenced by different surface structures, antimicrobial waxes and other plant defense mechanisms. The highly specific plant-associated niche is occupied by endophytes that establish diverse metabolic interactions with their host and support plant growth and health (BERG et al. 2005). Moreover, plants were suggested to select competent endophytes from the environment for their own ecological benefit.

Plants are complex organisms with the largest genomes known, and, they are divided into different phylogenetical branches. Mosses – the phylogenetically oldest land plants – were identified as important models to study plant development and genetics as well as the moss microbiome due to their unique features. Mosses have evolved alternating generations from a purely haplontic life cycle and, therefore, have a key position in the evolution of green plants. Moss plantlets spend their life cycle mainly as gametophytes in a haploid state, while the sporophyte represents the diploid phase. Mosses can be easily cultured in fluid media and bioreactors allowing the application of experimental techniques similar to those used for microbes and yeast (DECKER & RESKI 2007). Their development is relatively simple, and they generate only a few tissues that contain a limited number of cell types. Although most of the mosses lack vascular tissue, true roots/stems/leaves, flowers and seeds, many signaling pathways found in angiosperms are intact in moss (rev. in COVE et al. 2009). The moss *Physcomitrella patens* is an important model organism; it has been used as an experimental organism for more than 80 years and, within the last 15 years, its use as a model to explore plant functions has increased enormously (rev. in COVE et al. 2009). Besides *Physcomitrella*, *Ceratodon purpureus*, *Funaria hygrometrica* and *Sphagnum* spp. have been used as model organisms (WHINAM & COPSON 2006; JASSEY et al. 2011).

2 *Sphagnum* mosses and ecosystems and their specific microbiome

Mosses of the genus *Sphagnum* are among the most abundant and cosmopolitan vegetation of bogs in the Northern hemisphere and greatly contribute to both global carbon turnover and global climate. The ecological significance of bogs is directly related to the physical, morphological and chemical characteristics of *Sphagnum* peat mosses, which sets *Sphagnum* apart from other mosses at practically every stage of the life cycle (DANIELS & EDDY 1985). Moreover, *Sphagnum* mosses are able to change their environments: living *Sphagna* have extraordinarily high cation exchange capacity and therefore acidify their environment by exchanging tissue-bound protons for basic cations in surrounding water (SOUZILOVSKAIA et al. 2010). Bog ecosystems belong to the oldest vegetation forms, with more or less constant conditions for thousands of years (SUCCOW & JOOSTEN 2001). They cover 4 million km², approximately 3% of the earth's surface, and have a high value for biodiversity conservation, as reservoir of fresh water, for human welfare, and our world climate due to their extraordinary role in carbon sequestration (RAGHOEBARSING et al. 2005). The latter resulted in a net cooling effect on the global radiation balance (DISE 2009). Besides, these long-existing ecosystems are extremely sensitive to changing abiotic factors connected with climate change (STRACK 2008; DISE 2009). When peatlands degrade, their stored carbon is released. For example, drainage of peat soils results in CO₂ and N₂O emissions of globally 2–3 Gt CO₂-eq per year (JOOSTEN & COUWENBERG 2009).

In the past, research interest was mainly attracted by the microbial populations involved in CH₄ cycling and colonizing mostly dead *Sphagna* (DEDYSH et al. 1998, 2001; HORN et al. 2003, TUOMIVIRTA et al. 2009), and in the cultivation of uncultured bacteria (DEDYSH 2011). Now, there are several reports on specific bacterial groups associated with the living *Sphagna*, e.g. methanotrophic symbionts (RAGHOEBARSING et al. 2005; LAMORLA et al. 2010; KIP et al. 2011; PUTKINEN et al. 2012, LARMOLA et al. 2014) since *Sphagnum* mosses were identified as indicators for climate change (WHINAM & COPSON 2006; JASSEY et al. 2011). Recently, we showed that living *Sphagnum* mosses are colonized in high abundance with specific microorganisms (OPELT et al. 2007a; BRAGINA et al. 2012a). Due to the fact that this phylogenetically old plant group has no roots, the leaf-associated bacteria fulfil important functions like nutrient supply and pathogen defense for moss growth and health (OPELT et al. 2007b, c). During the last years we investigated microbial communities of several cosmopolitan *Sphagnum* species in Austrian and Russian bogs with a special focus on their ecology and potential for biotechnological applications. Host specificity of moss-associated microbiomes was detected independent of geographic region at both structural and functional levels (BRAGINA et al. 2012b, 2013). The degree of host specificity varied between distant and closely related moss species and corresponded to spectra of secondary metabolites produced by plants (OPELT et al. 2007c; BRAGINA et al. 2012b). Moreover, environmental factors such as acidity and nutrient richness were defined as the main ecological drivers for microbial diversity. We showed that plant specificity of functional bacterial groups is determined by their role within the ecosystem (BRAGINA et al. 2013). Furthermore, visualization of the intact plant-microbial consortia revealed dense and well-structured microbial colonization patterns in/on *Sphagnum* plants, and showed that stems and leaves of mosses were occupied by various taxonomic groups of bacteria (Fig. 1). *Sphagnum* leaves consist of a network of (dead) hyalocysts and (living) chlorocysts. Although

the hyalocysts are densely colonized by bacterial cells, they are closely connected to the photosynthetically active chlorocysts (Fig. 1). Notably, we showed that associated microbial communities are maintained during the entire lifecycle of the host plants which contributes to the host specificity (BRAGINA et al. 2013). Additionally, the core microbiome not only contained mostly potential beneficials, but was also shared between the moss generations and transferred within the spore capsules. These facts emphasize the importance of the microbiome for mosses as the phylogenetically oldest land plants on Earth.

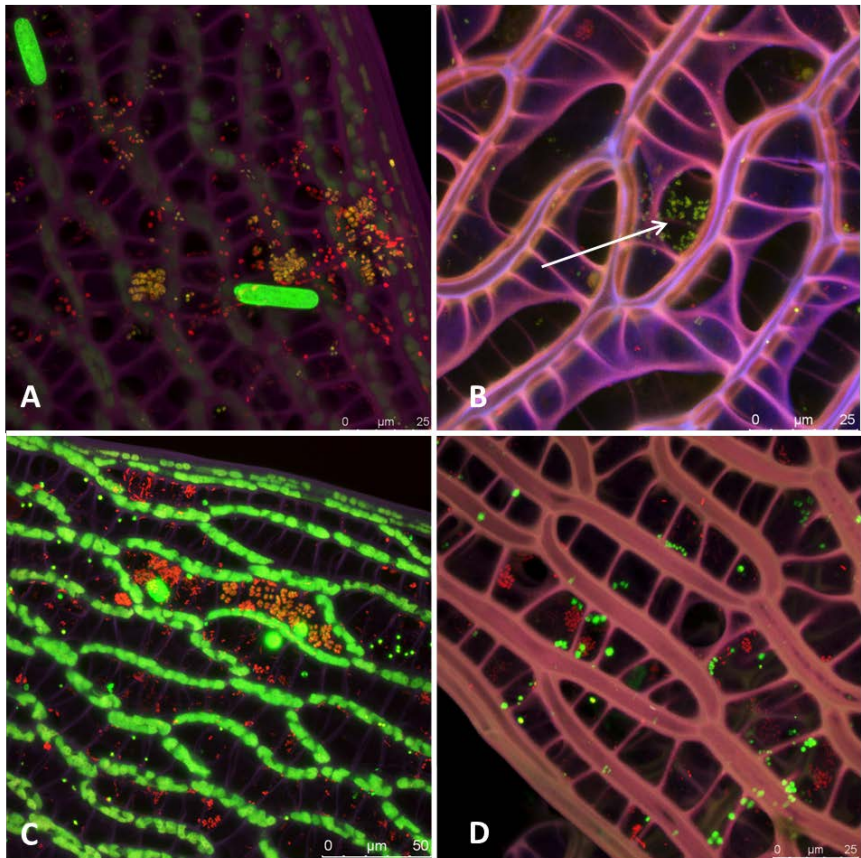


Fig. 1 The moss microbiome visualized by Fluorescence *in situ* hybridization and confocal laser scanning microscopy. A) Phyllosphere of a *Sphagnum* leaf showing the network of cells combining hyalocysts and chlorocysts as well as *Alphaproteobacteria* (yellow), bacterial colonies (red) and eukaryotic organisms, B) Phyllosphere of a *Sphagnum magellanicum* leaf showing *Alphaproteobacteria* (yellow) and other bacterial colonies (red) C) phyllosphere of a *Sphagnum fallax* leaf showing *Planctomycetes* (yellow) and other bacterial colonies (red), D) Phyllosphere of a *Sphagnum magellanicum* leaf showing *Planctomycetes* (yellow) and other bacterial colonies (red).

3 Exploiting the first moss metagenome

A high functional diversity within the *Sphagnum* microbiome applying an Illumina-based metagenomic approach followed by *de novo* assembly and MG-RAST annotation was identified (BRAGINA et al. 2014). An inter-environmental comparison revealed that the *Sphagnum* microbiome harbors specific genetic features that distinguish it significantly from microbiomes of higher plants and peat soils. The differential traits especially support an ecosystem functioning by a symbiotic life style under poikilohydric and ombrotrophic conditions. In accordance to a plasticity-stability balance, we found abundant metagenomic subsystems responsible to cope with oxidative and drought stresses, to exchange (mobile) genetic elements, and genes that encode for resistance to detrimental environmental factors, repair, and self-controlling mechanisms. Multiple microbe-microbe and plant-microbe interactions were also found to play a crucial role as indicated by diverse genes necessary for biofilm formation, interaction via quorum sensing and nutrient exchange. A high proportion of genes involved in nitrogen cycle and recycling of organic material supported the role of bacteria for nutrient supply. 16S rDNA analysis indicated a higher structural diversity than previously detected by PCR-dependent techniques. The *Sphagnum* microbiome possesses a highly versatile genetic potential for sustainable functioning in association with the host plant and within the peatland ecosystem.

4 The biotechnological potential of moss-associated bacteria

Bioprospecting is the process of discovery and commercialization of new products based on biological resources (STROBEL & DAISY 2003). Plants and their associated microorganism constitute a rich source of such valuable bioactive natural products. In the recent time we have demonstrated that the moss microbiome is a promising bio-resource for environmental biotechnology – with respect to novel bioactive substances, biocatalysts or stress-protecting bacteria. It represents a habitat underlying extreme environmental conditions, a feature that allows the discovery of extraordinary metabolic capabilities or unknown enzymes. Currently we are investigating the potential biotechnological application of moss-associated bacteria for sustainable agriculture and green biotechnological processes.

The use of isolated microorganisms or microbial consortia as biological control agents (BCAs) is a promising alternative to conventional agricultural techniques (BERG et al. 2013), and in the case of the moss microbiome, this was shown especially for stress protection and growth promotion of economically relevant crops (ZACHOW et al. 2013). Several endophytic bacterial isolates, belonging mainly to the genera *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Serratia* and *Collimonas*, were able to colonize and promote plant growth (SCHERBAKOV et al. 2013). Other isolated bacterial strains (mainly *Pseudomonas* sp.) demonstrated high potential as stress protection mediators, displaying good growth under several stress conditions (low temperature, desiccation and oxidative stress resistance) (ZACHOW et al. 2013).

The moss microbiome demonstrates likewise great potential for the discovery of novel biocatalytic enzymes that can be employed in sustainable industrial processes, for example for production of pharmaceuticals. Enzymatic reactions are in general environmentally benign when compared to traditional chemical synthesis routes (FERRER et al., 2005). Besides, high selectivity and a diverse product scope

make the discovery of new enzymes a very attractive research field. The ability of *Sphagnum* species to produce numerous bioactive secondary metabolites, a property that is directly related to its specific microbial colonization, was reported before (BASILE et al. 1999; ZHU et al. 2006). Culture-dependent analysis of *Sphagnum* moss associated endo- and ectophytic bacteria indicated a high occurrence of antifungal and to a lesser extent of antibacterial isolates (OPELT et al., 2007c). However, the majority of the microbial population in the investigated mosses (up to 97 %) is not accessible by current cultivation methods. Metagenome mining circumvents this problem, offering the possibility to discover new enzymes from uncultured microbes (FERRER et al., 2005). As part of our *Sphagnum* moss metagenomic approach we established a screening platform consisting of a fosmid clone library in *E. coli* to analyze metagenomic sequences of the moss microbiome. Several antibiotic, antifungal and anticancer agents of microbial origin are synthesized by large multi-modular enzymes, such as non-ribosomal peptide synthetases (NRPSs) and polyketide synthases (PKSs) (WALSH 2008). Screening for PKS and NRPS genes by PCR-amplification in the clone library, combined with *in silico* analysis of the metagenomic database, revealed high diversity of the targeted enzymes. Especially, the identified NRPS gene sequences revealed identities ranging from 47 to 99.4% to the closest homologs in GenBank, belonging mainly to the bacterial phyla *Proteobacteria* and *Actinobacteria* (MÜLLER et al., pers. communication). The occurrence of other industrially relevant enzyme classes in the *Sphagnum* microbiome – such as decarboxylases, lipases and phosphatases - was also demonstrated by further screening approaches. A novel moss metagenomic decarboxylase, showing a homology of 74% with a polyprenyl-4-hydroxybenzoate decarboxylase from *Ralstonia* sp. PBA, could be isolated and is currently being evaluated as a novel biocatalyst for enzymatic carboxylation processes (MÜLLER et al., pers. communication). To date, most of the studied microbiomes for enzyme mining were originated from soil, the ocean or the human gut (SIMON & DANIEL 2011). However, exploitation of the plant-associated microorganism has been underrepresented so far. The moss microbiome demonstrates not only high versatility of its inhabitants but also an enormous potential - a treasure box - for biomedical, biotechnological and agricultural applications.

Acknowledgement

This manuscript was supported by different grants from the Austrian Science Foundation FWF (I183-B16; I 882-B16) to G.B. The cooperation of C.M. and G.B. was funded by a project in the Austrian Centre of Industrial Biotechnology, which has been supported by the Austrian BMWFJ, BMVIT, SFG, Standortagentur Tirol and ZIT through the Austrian FFG-COMET-Funding Program. We also gratefully acknowledge support from NAWI Graz.

References

- BAIS, H.P., WEIR, T.L., PERRY, L.G., GILROY, S. & VIVANCO, J.M. (2006): The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. - *Annu Rev Plant Biol* 57: 233–266.
- BASILE, A., GIORDANO, S., LÓPEZ-SÁEZ, J.A. & COBIANCHI, R.C. (1999): Antibacterial activity of pure flavonoids isolated from mosses. - *Phytochemistry* 52: 1479-1482.
- BERG, G., KRECHEL, A., DITZ, M., SIKORA, R.A., ULRICH, A. & HALLMANN, J. (2005): Endophytic and ectophytic potato-associated bacterial communities differ in structure and antagonistic function against plant pathogenic fungi. - *FEMS Microbiol Ecol* 51: 215–29.
- BERG, G. (2009): Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. - *J Appl Microbiol Biotechnol* 84, 11–18.
- BERG, G., ZACHOW, Z., MÜLLER, H., PHILIPPS, J. & TILCHER, R. (2013): Next-generation bio-products sowing the seeds of success for sustainable agriculture. - *Agronomy* 3: 648-656.
- BERG, G., GRUBE, M., SCHLOTTER, M. & SMALLA, K. (2014): Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. - *Front Microbiol* 5: 148.
- BRAGINA, A., BERG, C., CARDINALE, M., SHCHERBAKOV, A., CHEBOTAR, V. & BERG, G. (2012a): *Sphagnum* mosses harbour highly specific bacterial diversity during their whole lifecycle. - *ISME J* 6: 802–813.
- BRAGINA, A., MAIER, S., BERG, C., MÜLLER, H., CHOBOT, V., HADACEK, F. & BERG, G. (2012b): Similar diversity of *Alphaproteobacteria* and nitrogenase gene amplicons on two related *Sphagnum* mosses. - *Front Microbiol* 2: 275.
- BRAGINA, A., BERG, C., MÜLLER, H., MOSER, D. & BERG, G. (2013): Insights into functional bacterial diversity and its effects on Alpine bog ecosystem. - *Sci Rep* 3: 1955.
- BRAGINA, A., OBERAUNER-WAPPIS, L., ZACHOW, C., HALWACHS, B., THALLINGER, G.G., MÜLLER, H. & BERG, G. (2014): The *Sphagnum* microbiome supports greatly ecosystem functioning under extreme conditions. - *Mol Ecol*, 23: 4498-44510.
- BULGARELLI, D., ROTT, M., SCHLAEPI, K., VER LOREN VAN THEMAAT, E., AHMADINEJAD, N., & ASSENZA, F. (2012): Revealing structure and assembly cues for *Arabidopsis* root-inhabiting bacterial microbiota. - *Nature* 488: 91–95.
- CARDINALE, M. (2014): Scanning a microhabitat: plant-microbe interactions revealed by confocal laser microscopy. - *Front Microbiol* 5: 94.
- COVE, D.J., PERROUD, P., CHARRON, A.J., MCDANIEL, S.F., KHANDELWAL, A. & QUATRANO, R.S. (2009): The moss *Physcomitrella patens*: a novel model system for plant development and genomic studies. In: *Emerging model organisms: a laboratory manual*, Vol. 1. Cold Spring Harbor Laboratory Press: New York.
- DANIELS, R.E. & EDDY, A. (1985): *Handbook of European Sphagna*. Institute of Terrestrial Ecology, Natural Environment Research Council. - *Cambrian News*: Aberystwyth.
- DECKER, E.L. & RESKI, R. (2007): Moss bioreactors producing improved biopharmaceuticals. - *Curr Opin Biotechnol* 18: 393–398.
- DEDYSH, S.N., PANIKOV, N.S. & TIEDJE, J.M. (1998): Acidophilic methanotrophic communities from *Sphagnum* peat bogs. - *Appl Environ Microbiol* 64: 922–929.

- DEDYSH, S.N., DERAKSHANI, M. & LIESACK, W. (2001): Detection and enumeration of methanotrophs in acidic *Sphagnum* peat by 16S rRNA fluorescence in situ hybridization, including the use of newly developed oligonucleotide probes for *Methylocella palustris*. - Appl. Environ Microbiol 67: 4850–4857.
- DEDYSH, S.N. (2011): Cultivating uncultured bacteria from northern wetlands: knowledge gained and remaining gaps. - Front Microbiol 2: 184.
- DISE, N.B. (2009): Environmental science. Peatland response to global change. - Science 326: 810–811.
- DOORNBOOS, R.F., VAN LOON, L.C. & BAKKER, P.A. (2012): Impact of root exudates and plant defense signaling on bacterial communities in the rhizosphere. - Agron Sustain 32: 227–243.
- FERRER, M., MARTÍNEZ-ABARCA, F. & GOLYSHIN, P.N. (2005): Mining genomes and 'metagenomes' for novel catalysts. - Current Opin.Biotechnol 16: 588–593.
- HARTMANN, A., ROTHBALLER, M. & SCHMID, M. (2008): Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. - Plant Soil 312: 7–14.
- HIRSCH, P.R. & MAUCLINE, T.H. (2012): Who's who in the plant root microbiome? - Nat Biotechnol 30: 961–962.
- HORN, M.A., MATTHIES, C., KÜSEL, K., SCHRAMM, A. & DRAKE, H.L. (2003): Hydrogenotrophic methanogenesis by moderately acid-tolerant methanogens of a methane-emitting acidic peat. - Appl Environ Microbiol 69: 74–83.
- JANSSON, J.K., NEUFELD, J.D., MORAN, M.A. & GILBERT, J.A. (2012): Omics for understanding microbial functional dynamics. - Environ Microbiol 14: 1–3.
- JASSEY, V.E., GILBERT, D., BINET, P., TOUSSAINT, M.L. & CHIAPUSIO, G. (2011): Effect on temperature gradient on *Sphagnum fallax* and its associated living microbial communities: a study under controlled conditions. - Protist 57: 226–235.
- JOOSTEN, H. & COUWENBERG, J. (2009): Are emissions reductions from peatlands MRV- able? Report in: Wetlands International, Ede.
- KIP, N., DUTILH, B.E., PAN, Y., BODROSSY, L., NEVELING, K. & KWINT, M.P. (2011): Ultra-deep pyrosequencing of *pmoA* amplicons confirms the prevalence of *Methylomonas* and *Methylocystis* in *Sphagnum* mosses from Dutch peat bog. - Environ Microbiol Rep 3: 667–673.
- LARMOLA, T., TUUTTILA, E.S., TIROLA, M., NYKÄNEN, H., MARTIKAINEN, P.J. & YRJÄLÄ, K.. (2010). The role of *Sphagnum* mosses in the methane cycling of a boreal mire. - Ecology 91: 2356–2365.
- LARMOLA, T., LEPPÄNEN, S.M., TUUTTILA, E.S., AARVA, M. & MERILÄ, P. (2014). Methanotrophy induces nitrogen fixation during peatland development. - Proc Natl Acad Sci USA 111: 734–739.
- LUNDBERG, D.S., LEBEIS, S.L., PAREDES, S.H., YOURSTONE, S., GEHRING, J. & MALFATTI, S. (2012): Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. - Nature 7409: 86–90.
- MENDES, R., KRUIJT, M., DE BRUIJN, I., DEKKERS, E., VAN DER VOORT, M. & SCHNEIDER, J.H.M. (2012): Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. - Science 332: 1097–1100.

- OPELT, K., CHOBOT, V., HADACEK, F., SCHÖNMANN, S., EBERL, L. & BERG, G. (2007a). Investigations of the structure and function of bacterial communities associated with *Sphagnum* mosses. - *Environ Microbiol* 91: 2795–2809.
- OPELT, K., BERG, C. & BERG, G. (2007b) The bryophyte genus *Sphagnum* is a reservoir for powerful and extraordinary antagonists and potentially facultative human pathogens. - *FEMS Microbiol Ecol* 61: 38–53.
- OPELT, K., BERG, C., SCHÖNMANN, S., EBERL, L. & BERG, G. (2007c): High specificity but contrasting biodiversity of *Sphagnum*-associated bacterial and plant communities in bog ecosystems independent of the geographical region.- *ISME J* 1: 502–516.
- PUTKINEN, A., LARMOLA, T., TUOMIVIRTA, T., SILJANEN, H.M., BODROSSY, L., TUUTTILA, E.S. & FRITZE, H. (2012): Water dispersal of methanotrophic bacteria maintains functional methane oxidation in *Sphagnum* mosses. - *Front Microbiol* 3: 15.
- RAGHOEBARSING, A.A., SMOLDERS, A.J.P., SCHMID, M.C., RIJPSTRA, W.I.C., WOLTERS-ARTS & DERKSEN, J.M. (2005): Methanotrophic symbionts provide carbon for photosynthesis in peat bogs. - *Nature* 436: 1153–1156.
- SHCHERBAKOV, A.V., BRAGINA, A.V., KUZMINA, E. Y., BERG, C., MUNTYAN, A.N. & MAKAROVA, N.M. (2013): Endophytic bacteria of *Sphagnum* mosses as promising objects for agricultural microbiology. - *Microbiology* 82: 306–315.
- SIMON, C. & DANIEL, R. (2011): Metagenomic analyses: past and future trends. - *Appl Environ Microbiol*. 77: 1153-1161.
- SOUDZILOVSKAIA, N.A., CORNELISSEN, J.H.C., DURING, H.J., VAN LOGTESTIJN, R.S.P., LANG, S.I. & AERTS R. (2010): Similar cation exchange capacities among bryophyte species refute a presumed mechanism of peatland acidification. - *Ecology* 91: 2716–2726.
- STRACK, M. (2008): Peatlands and climate change. International Peat Society: Jyväskylä.
- STROBEL, G. & DAISY, B. (2003): Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. - *Microbiol Mol Biol Rev* 67(4): 491-502.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart.
- TUOMIVIRTA, T.T., YRJÄLÄ, K. & FRITZE, H. (2009): Quantitative PCR of *pmoA* using a novel reverse primer correlates with potential methane oxidation in Finnish fen. - *Res Microbiol* 160: 751–756.
- VORHOLT, J. A. (2012): Microbial life in the phyllosphere.- *Nat Rev Microbiol* 10: 828–840.
- WALSH, C.T. (2008): The chemical versatility of natural-product assembly lines. - *Acc Chem Res* 41(1): 4-10.
- WHINAM, J. & COPSON, G. (2006): *Sphagnum* moss: an indicator of climate change in the sub-Antarctic. - *Polar Record* 42: 43–49.
- ZACHOW, C., MÜLLER, H., TILCHER, R., DONAT, C. & BERG, G. (2013): Catch The Best – Novel screening strategy to select Stress Protecting Agents for crop plants. - *Agronomy* 3: 794-815.
- ZHU, R.L., WANG, D., XU, L., SHI, R.P., WANG, J. & ZHENG, M. (2006): Antibacterial activity in extracts of some bryophytes from China and Mongolia. - *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 100: 603-615.

Hendrik SCHUBERT*, Ronny MARQUARDT¹, Dirk SCHORIES² & Irmgard BLINDOW³

* corresponding author: Biosciences, University Rostock, Albert-Einsteinstraße 3, D-18055 Rostock, Germany, hendrik.schubert@uni-rostock.de, ++49 381 498 6070

¹ Fraunhofer Institut für Marine Biotechnologie, Paul-Ehrlich Str. 1, D-23562 Lübeck, ronny.marquardt@emb-fraunhofer.de

² Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, dirk.schories@gmx.de

³ Biologische Station Hiddensee, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Biologenweg 15, D-18565 Kloster, blindi@uni-greifswald.de

Makroalgentaxonomie und -biogeographie an der Universität Rostock heute am Beispiel der Bearbeitung der Characeenflora Chiles

Abstract

Prof. Pankow, who initiated phycological research at the University of Rostock, compiled the knowledge about Baltic Algae. His book „Ostsee-Algenflora“ is still the only comprehensive basis of knowledge for phycologists in this region. His scholars, following the paths he paved, are working all over the world. This article is giving an example from South America. A consortium of scientists, who started with taxonomic and biogeographical studies in the Baltic region, got the chance to study charophytes in Chile. This resulted in the discovery of 17 species not described before from this country; some of them are described for the first time from South America. Based on the results from these expeditions, the distribution patterns of the species as well as aspects of their biogeography are discussed.

Keywords: Characeae, biogeography, Chile

1 Einleitung

Characeen sind eine morphologisch hochgradig differenzierte Gruppe der Grünalgen, die in der gegenwärtigen Systematik zu den Streptophyta gestellt werden (Jeffrey 1967, Mattox & Stewart 1984). Das Interesse an dieser Algengruppe ist nicht nur durch ihre Nähe zum Ursprung der Landpflanzen begründet (MC COURT 1995, KAROL et al. 2001, MARTIN-CLOSAS 2003), auch ihre Bedeutung als „Schlüsselorganismen“ in Flachgewässern (Blindow et al. 2014) oder angewandte Aspekte wie ihre Nutzung in Bioremediationsanlagen (MARQUARDT & SCHUBERT 2009), und ihre Eignung als Bioindikatoren für den Gewässerzustand führten zu intensiver Forschung (BRAUN et al. 2007). In Norddeutschland war es zunächst vor allem die Universität Greifswald, an der Prof. L. Holtz (1824-1907) in der zweiten

Hälfte des 19. Jahrhunderts sich intensiv mit dieser Algengruppe beschäftigte. Diese Tradition setzte sich bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts fort; als Folge der DDR-Hochschulreform erhielt die Biologie in Greifswald eine Neuausrichtung, und der Schwerpunkt der floristisch-aquatischen Forschung verlagerte sich nach Rostock. Am Lehrstuhl von Prof. Helmut Pankow entstanden in der Folge eine Reihe von Arbeiten, die u.a. Fragen der Verbreitung (LINDNER 1972) wie auch der Produktionsbiologie (Festerling 1973) dieser Algengruppe aufgriffen und heute eine unschätzbare Quelle für die Abschätzungen von Veränderungen im Gebiet darstellen. Dieser Tradition folgend, schlossen sich ab den neunziger Jahren eine Reihe von Untersuchungen an, die sowohl die Verbreitung der Characeen entlang der gesamten Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns (Yousef & Schubert 1997) als auch physiologische Aspekte der Anpassungsleistungen dieser Algen untersuchten (KÜSTER et al. 2000, 2004; BLINDOW et al. 2003). Anfang des 21. Jahrhunderts gelang es dann einer Arbeitsgruppe der Baltic Marine Biologists (BMB-WG33) das Wissen zur Verbreitung und Taxonomie der Characeen der Ostsee in einer Monographie („Charophytes of the Baltic Sea“, SCHUBERT & BLINDOW 2004), an deren Erstellung Wissenschaftler aus allen Ostseeanrainerstaaten beteiligt waren, zusammen zu fassen.

Mit diesem Werk war auch ein Grundstein gelegt, um die Eignung von Characeen als Bioindikatoren in Brackwassergebieten und salzbeeinflussten Strandseen zu untersuchen. Auf diese Habitate ließen sich bislang die aus dem limnischen Gebiet bekannten Indikationssysteme (z.B. KRAUSE 1981) nicht problemlos übertragen; im limnischen Bereich würde man unter den hier vorherrschenden eutrophen bis hypertrophen Bedingungen keine Characeenbestände mehr erwarten – es gab sie aber nachweislich (z.B. BLINDOW 1992) doch! Da die EU-Wasserrahmenrichtlinie die Einbeziehung des Makrophytobenthos in die Bewertungssysteme explizit fordert, wurden an den Universitäten Greifswald und Rostock eine Serie von Projekten initiiert, die sich diesem Thema widmeten und entsprechende Bewertungssysteme entwickeln konnten (STEINHARDT et al. 2009).

Ein großes Problem bei all diesen Arbeiten war die Definition des Referenzzustandes, d.h. des Gewässerzustandes, der ohne menschlichen Einfluss zu erwarten wäre. Systeme ohne menschlichen Einfluss existieren schlichtweg nicht mehr entlang der deutschen Ostseeküste. Auch die wenigen historischen Quellen stammen aus einer Zeit, in der Abholzung und landwirtschaftliche Nutzung der Einzugsgebiete bereits deutliche Spuren in den Küstengewässern hinterlassen hatten. Es war daher ein Glücksfall, dass im Rahmen eines Deutsch-Chilenischen Kooperationsprojektes zu Fragen der Aquakultur eine Projektidee entstand, an der beide Seiten ein komplementäres Interesse hatten. Von chilenischer Seite bestand großes Interesse an einer Untersuchung, inwieweit deutsche Indikationssysteme auf chilenische Gewässer übertragbar sind. Für die deutsche Seite ergab sich hier die einmalige Chance zur Einbeziehung von tatsächlich rezent nahezu unbeeinflussten Gewässern.

Bereits in Vorbereitung der Expeditionen wurde klar, dass die Arbeit weit umfangreicher als zunächst gedacht sein würde. Dabei ist Chile keineswegs ein „weißer Fleck“ bezüglich Characeen. Zahlreiche berühmte Spezialisten des 19. Jahrhunderts arbeiteten mit Material aus Chile, und eine erste Monographie, die sich der Verbreitung dieser Algengruppe in Südamerika widmet, erschien 1950 (HORN & RANTZIEN 1950a). Doch während in den Nachbarländern Chiles seitdem eine Fülle

von Arbeiten zur Biogeographie der Characeen publiziert wurde (z.B. BICUDO & MARTAU 1974, CACERES 1978, 1979, GARCIA 1993, GUERLESQUIN 1981), liegt über Chile, abgesehen von einigen Einzelnachweisen (BUCHLER 1964, EDDING 1977, PARRA & GONZALES 1977), nach 1950 nur eine Übersichtsarbeit vor. Diese Arbeit (FALCON & HAUENSTEIN 2000) beschränkt sich zudem auf eine Sichtung der in Chile vorhandenen Herbarbelege. Die in dieser Arbeit aufgeführte Anzahl von 12 Taxa überrascht selbst dann, wenn man die im gleichen Jahr erschienene Publikation von PEREIRA et al. (2000) berücksichtigt, in der ein weiteres Taxon (*Nitella acuminata*) für Chile beschrieben wurde. Kontinental-Chile erstreckt sich über 4400 km in Nord-Süd Richtung. Durch die Lage am Westrand der Anden kommt dazu noch ein starker Höhengradient, so dass in diesem Land 10 bioklimatische Regionen nachweisbar sind (WALTER & BRECKLE 1991). Eine derartige bioklimatische Variabilität sollte eigentlich eine entsprechende Artendiversität aufweisen. Vom benachbarten Argentinien sind z.B. 32 Arten bekannt (TELL 1985); die bekannte Artenzahl für Südamerika liegt bei 58 Arten (VAN RAAM 2009).

Für die Erklärung dieser Diskrepanz lassen sich 2 Hypothesen aufstellen:

1. Chile ist durch die Wüstengebiete im Norden sowie die Anden im Osten und die Gletschergebiete im Süden weitgehend biogeographisch isoliert, so dass eine Verbreitungsbarriere in alle Richtungen effizient die Einwanderung von Arten aus den Nachbarregionen verhindert. Diese Isolation wird durch den steilen Höhengradienten noch zusätzlich verstärkt. Die biogeographischen Regionen weisen dementsprechend nur vergleichsweise kleine Areale auf; die geringe beobachtete Artenzahl ist somit das Produkt aus Isolation und Arten-Arealbeziehung (ARRHENIUS 1921).
2. Die geringe Artenzahl ist lediglich unzureichender Untersuchungsintensität geschuldet; weder Anzahl noch regionale Abdeckung der bisherigen Untersuchungen lassen eine Abschätzung der tatsächlich vorhandenen Diversität zu.

Der Test der ersten Hypothese erforderte zwingend eine intensive Beprobung des südlichen Teils Chiles (Zona Magallanes). Hier entfallen die Anden als Barriere, so dass von weitgehend ungehindertem Austausch zwischen Argentinien und Chile ausgegangen werden kann. FALCON & HAUENSTEIN (2000) geben keine Characeennachweise aus diesem Gebiet an, während von argentinischer Seite mehrere Belege bekannt sind, also die Annahme von Kenntnislücken von vornherein begründet erscheint. Ein Nachweis, inwieweit die südliche Barriere des patagonischen Gletschergebietes die Verbreitung der Arten beeinflusst, setzt voraus, dass zunächst eine ausreichende Beprobung dieser Kontaktzone zwischen argentinischer und chilenischer Characeenflora erfolgt.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der chilenischen Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) gemeinsam geförderten Projektes wurden 3 Expeditionen durchgeführt, mit denen der gesamte Nord-Süd Gradient Chiles beprobt werden konnte. Im Folgenden wird eine Übersicht der wesentlichen Ergebnisse dieses Projektes zur Biogeographie der Characeen Chiles vorgestellt.

2 Untersuchungsgebiet und Methoden

Die Expeditionen fanden in den Jahren 2011, 2012 und 2013 statt. Die Untersuchungen erfolgten stets im Februar und März, einem Zeitraum, der auf der Südhalbkugel dem Spätsommer entspricht.

Der kontinentale Teil Chiles wird in 4 Makrobioklimatische Zonen eingeteilt (WALTER 1968). Diese Zonen müssen im Fall Chiles weiter unterteilt werden, da zum Einen an den Grenzen der Makrobioklimatischen Zonen Sonderbedingungen auftreten, die zur Abgrenzung von „Zonoökotonen“ führen, zum anderen der steile Höhengradient an den Andenhängen die Abgrenzung von Gebirgsbiomen („Orobiomen“) notwendig macht (WALTER & BRECKLE 1991).

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die sich daraus ergebende bioklimatische Vegetationszonierung des Untersuchungsgebietes.

Mit Ausnahme des Zonoökotons VIII/IX (tundrenähnliche Vegetation der kalten Zone) wurden während der Expeditionen alle Vegetationsgebiete Chiles beprobt. Eine Vorauswahl der zu beprobenden Gewässer fand anhand von Satellitenaufnahmen statt (Google Earth), um sicherzustellen, dass zumindest alle größeren Seen Berücksichtigung finden. Kleingewässer, Flüsse, Bäche und Mooregebiete, die sich entlang der Route zwischen diesen vorselektierten Gewässern befinden, wurden ebenfalls beprobt. In allen Fällen, in denen nicht sofort Submersvegetation sichtbar war, wurde die Beprobung an mindestens 2 weiteren Stellen des Ufers mit einer Wurfhake, wie bei KRAUSE (1997) beschrieben, wiederholt.

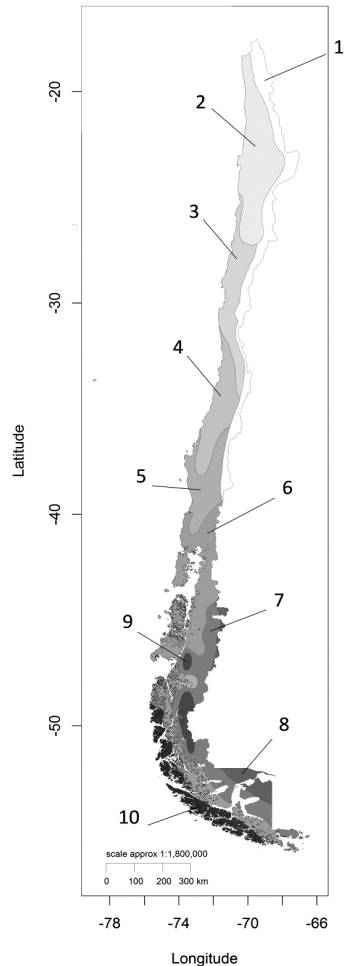


Abb. 1 Vegetationsgebiete des kontinentalen Teils Chiles. Dargestellt ist die bioklimatische Zonierung Chiles entsprechend der Einteilung nach Walter (1968): 1- nördliche Hochanden (Orobiom III und IV); 2 – Wüstengürtel (Zonobiom III); 3 – Zwergstrauchgebiet und xerophytische Strauchvegetation (Zonoökoton III/IV); 4 – Hartlaubgebiet (Zonobiom IV); 5 – Gebiet des sommergrünen Waldes (Zonobiom V); 6 – Immergrüne Regenwälder der gemäßigten Zone (Zonoökoton V/VIII); 7 – subantarktischer Sommerwald (Zonobiom VIII); 8 – patagonische Steppe (Zonobiom VII); 9 – südliche Anden (Orobiom VIII); 10 – tundrenähnliche Vegetation der kalten Zone (Zonoökoton VIII/IX).

Größere Seen wurden prinzipiell von mehreren Uferstellen aus beprobt. In ca. 100 Fällen waren Tauchuntersuchungen notwendig; vor allem in größeren Gewässern mit reichem Arteninventar bzw. stark schwankenden Wasserständen wäre anders keine vollständige Erfassung der Submersvegetation möglich gewesen.

Von allen hier aufgeführten Funden wurden Herbarexemplare angefertigt, die Belege befinden sich gegenwärtig im Herbarium der Universität Rostock, ein Satz Dubletten soll an das Herbarium der EMAU Greifswald übergeben werden.

Die Koordinaten der Fundorte wurden vor Ort mittels GPS bestimmt, nur in wenigen Fällen erfolgte eine nachträgliche Bestimmung über Satellitenaufnahmen (Google Earth). Eine komplette Liste der Fundorte mit Koordinaten und gefundenen Arten ist in Schubert et al. (2014) veröffentlicht.

Die Bestimmung erfolgte anhand vegetativer Merkmale sowie, soweit vorhanden, den Gametangien. Zur Bestimmung wurden der Schlüssel sowie die Artbeschreibungen von WOOD & IMAHORI (1965) verwendet. Zusätzlich wurden die Originalbeschreibungen zu Rate gezogen und, soweit möglich, Typusmaterial zum Vergleich herangezogen. Arten, die erst nach 1965 beschrieben wurden, sind an Hand der Originalbeschreibungen bestimmt worden. Um die Auffindbarkeit der Arten zu gewährleisten, wurden Namensänderungen, die seit Erscheinen von WOOD & IMAHORI (1965) vorgenommen wurden, nicht berücksichtigt. Das betrifft konkret „*Nitellopsis bulbilifera*“, eine Art, deren systematische Position in der Vergangenheit kontrovers diskutiert wurde und die gegenwärtig der Gattung *Chara* zugordnet werden soll (DAILY 1967, GARCIA 1990, SOULIE-MÄRSCHÉ & GARCIA 2014). Eine Ausnahme von der Bindung an Wood's Artkonzept (WOOD 1962) wurde lediglich im Fall von *Nitella opaca* gemacht. *Nitella opaca* (Bruz.) Ag. wurde von WOOD (1962) *Nitella flexilis* var. *flexilis* f. *flexilis* zugeschlagen, da er den Wert der Häufigkeit als Merkmal prinzipiell anzweifelte. Diese Auffassung rief unmittelbar nach Veröffentlichung seines Artkonzeptes Widerspruch hervor (SAWA 1965, SARMA & KHAN 1967). Zahlreiche seitdem erschienene Monographien verwenden die Häufigkeit wieder als Merkmal (z.B. KRAUSE 1997). BLÜMEL (2004) befasste sich mit dem Problem der Einordnung von *N. opaca* in das Artkonzept Wood's und kam zu dem Schluss, dass der korrekte Name dieses Taxons dann „*Nitella flexilis* var. *flexilis* f. *opacoides* (Bruzelius) R. D. Wood 1962, Taxon 11: 15, incl. *Nitella flexilis* var. *flexilis* f. *flexilis* (L.) R. D. Wood 1962, Taxon 11: 15, excl. *Nitella flexilis* (L.) C. Agardh 1824, Syst. Alg., p. 124“ lauten müsste – eine wenig praktikable Lösung, so dass hier vom Konzept Wood's abgewichen wurde und *Nitella opaca* sensu C. Agardh (*Nitella opaca* (Bruzelius) C. Agardh 1824) verwendet wird.

3 Ergebnisse

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die während der Expeditionen nachgewiesenen Characeen-Arten. Die vollständige Liste der beprobten Gewässer mit Angabe der darin angetroffenen Arten ist in SCHUBERT et al. (2014) enthalten. Insgesamt wurden 31 Taxa nachgewiesen; für 3 Taxa (*Chara* sp. 1, *Chara* sp. 2 und *Nitella* sp.) ist gegenwärtig keine Zuordnung zu einer bereits beschriebenen Art möglich. Da eine eindeutige Zuordnung steriler Exemplare von *Nitella opaca* bzw. *Nitella flexilis* nicht möglich ist, wurden derartige Funde als *Nitella flexilis/opaca* zusammengefasst.

Tabelle 1 Artenliste der während der Expeditionen nachgewiesenen Characeen in Chile.

In der Tabelle sind alle während der Expeditionen nachgewiesenen Characeentaxa mit der Anzahl der Fundorte (Anzahl), den Habitattypen (B=beach lagoon; C=creek; L=lake; M=mire; P=pond; R=river) und ihrem Macrospecies Synonym (nach WOOD & IMAHORI, 1965, soweit darin bereits aufgeführt) gelistet. Für *Nitella gracilis* und *Nitella pygmaea* besteht ggw. noch keine abschließende Klarheit, ob diese Exemplare tatsächlich mit den Typexemplaren vollständig übereinstimmen.

Microspecies	Anzahl	Habitat	Macrospecies Synonym
<i>Chara andina</i> (A. Br.) R.D.W. (1882)	1	L	<i>C. vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i> f. <i>andina</i>
<i>Chara braunii</i> Gm. (1826)	17	L, R, C	<i>C. braunii</i> f. <i>braunii</i>
<i>Chara calveraënsis</i> R.D.W. (1962)	1	R	<i>C. vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i> f. <i>calveraënsis</i>
<i>Chara contraria</i> A. Br. ex Kütz.(1845)	2	L	<i>C. vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i> f. <i>contraria</i>
<i>Chara contraria</i> var. <i>longilinea</i> E.J.Cáceres (1978)	1	P	-
<i>Chara fulgens</i> Fil. (1934)	3	B	<i>C. socotrensis</i> f. <i>fulgens</i>
<i>Chara globularis</i> Thuill. (1799)	1	B	<i>C. globularis</i> var. <i>globularis</i> f. <i>globularis</i>
<i>Chara leptosperma</i> A. Br. (1882)	5	L, P	<i>C. globularis</i> var. <i>leptosperma</i> f. <i>leptosperma</i>
<i>Chara leptospora</i> H.Sakayama (2009)	1	L	-
<i>Chara magellanica</i> nom. ined.	3	L, P	excluded by Wo&I
<i>Chara nitelloides</i> (A. Br.) R.D.W. (1882)	1	R	<i>C. vulgaris</i> var. <i>nitelloides</i>
<i>Chara poopoensis</i> G.O.A. (1940)	2	L, P	<i>C. globularis</i> var. <i>leptosperma</i> f. <i>poopoensis</i>
<i>Chara</i> sp. 1	3	L, P	-
<i>Chara</i> sp. 2	3	L	-
<i>Chara squamosa</i> Desf. (1800)	2	L	<i>C. vulgaris</i> var. <i>gymnophylla</i> f. <i>gymnophylla</i>
<i>Chara vulgaris</i> L. (1753)	30	L, P, R, C	<i>C. vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i> f. <i>vulgaris</i>
<i>Nitella acuminata</i> A. Br. ex Wallm. (1853)	3	L, R	<i>N. acuminata</i> var. <i>acuminata</i> f. <i>acuminata</i>
<i>Nitella arechavaletae</i> Speg. (1883)	1	L	<i>Nitella arechavaletae</i>
<i>Nitella asagrayana</i> Schaffn. ex Nordst. in A. Br. & Nordst. (1882)	33	L, R, P, M	<i>N. gracilis</i> ssp. <i>gloeostachys</i> var. <i>asagrayana</i> f. <i>asagrayana</i>
<i>Nitella bonaërensis</i> Speg. (1883)	2	L, R	<i>N. furcata</i> ssp. <i>bonaërensis</i> var. <i>bonaërensis</i> f. <i>bonaërensis</i>
<i>Nitella californica</i> T.F.A. (1994)	2	L	<i>N. flexilis</i> var. <i>flexilis</i> f. <i>nidifica</i>
<i>Nitella clavata</i> Kütz. (1849)	40	L, R, B	<i>N. clavata</i> var. <i>clavata</i>
<i>Nitella flexilis</i> (L.) Ag. (1824)	22	L, P, C	<i>N. flexilis</i> var. <i>flexilis</i> f. <i>flexilis</i>
<i>Nitella flexilis</i> / <i>opaca</i>	31	L, R, C, P	-
<i>Nitella gracilis</i> (Sm.) Ag. (1824) ?	1	L	<i>N. gracilis</i> ssp. <i>gracilis</i> var. <i>gracilis</i> f. <i>gracilis</i>
<i>Nitella hyalina</i> (DC.) Ag. (1824)	20	L, P	<i>N. hyalina</i> var. <i>hyalina</i> f. <i>hyalina</i>
<i>Nitella lechleri</i> A. Br. ex H.af R. (1950)	6	L, B	<i>N. gracilis</i> ssp. <i>lechleri</i>
<i>Nitella mucronata</i> (A. Br.) Miq (1840).	2	L	<i>N. furcata</i> ssp. <i>mucronata</i> var. <i>mucronata</i> f. <i>mucronata</i>
<i>Nitella opaca</i> (Bruz.) Ag.	8	L, R, P	<i>N. flexilis</i> var. <i>flexilis</i> f. <i>flexilis</i>
<i>Nitella pygmaea</i> A.Br.? (1882)	2	L, R	<i>N. furcata</i> ssp. <i>mucronata</i> var. <i>mucronata</i> f. <i>wrightii</i>
<i>Nitella</i> sp.	2	L	-
<i>Nitella tenuissima</i> (Desv.) Kütz. (1843)	8	L	<i>N. tenuissima</i> ssp. <i>tenuissima</i> var. <i>tenuissima</i> f. <i>tenuissima</i>
<i>Nitelopsis bulbilifera</i> C. Dont. (1960)	1	L	<i>Nitelopsis bulbilifera</i>
<i>Tolypella glomerata</i> (Desv. in Lois.) Leonh. (1863)	1	P	<i>T. nidifica</i> var. <i>glomerata</i>

Der taxonomische Status von '*Nitellopsis bulbilifera*' C. Dont. (1960) wird kontrovers diskutiert (DAILY 1967, GARCÍA 1990). Der Name wurde hier trotzdem verwendet, um die Auffindbarkeit des Taxons in WOOD & IMAHORI (1965) zu gewährleisten. Während der Expeditionen konnten sämtliche für Chile bisher beschriebene Characeen nachgewiesen werden mit Ausnahme von *Tolypella apiculata* A.Br. (1882). Diese Art ist für Chile aus mehreren Quellen gut belegt (z.B. BRAUN 1883, ALLEN & HERTER 1934, HORN AF RANTZIEN 1950b, PARRA & GONZALES 1977, FALCON & HAUENSTEIN 2000), so dass ihr Vorkommen als gesichert gelten kann. Die Gattung *Tolypella* wird in Europa meist sehr früh im Jahr fertil und ist oft bereits zu Beginn des Sommers nicht mehr anzutreffen; eventuell liegt in dieser Phänologie auch der Grund, warum diese Art bei den im Spätsommer durchgeführten Expeditionen nicht angetroffen wurde.

Abbildung 2 zeigt die geographische Verteilung der Fundorte der einzelnen Gattungen. Während im äußersten Norden vor allem die Seltenheit geeigneter Gewässer als Grund für die großen Lücken angeführt werden kann, ist der Bereich um Santiago während der Kampagnen weitgehend unberücksichtigt geblieben, da hier bereits eine Vielzahl von historischen Belegen vorlag (vgl. FALCON & HAUENSTEIN 2000). Die Lücke im Süden Chiles wird durch den „Campo de Hielo Sur“, einem ausgedehnten Gletschergebiet, verursacht; die Beprobungen erstreckten sich auf beiden Seiten bis in die Gletscherseen hinein.

Abb. 2 Übersichtskarte der Characeenstandorte Chiles.

Dargestellt sind die während der Expeditionen nachgewiesenen Fundorte der Gattungen *Chara*, *Nitella*, *Tolypella* und „*Nitellopsis*“. Bezüglich der Gattung „*Nitellopsis*“ sind unbedingt die Hinweise im Text zum systematischen Status der hier angetroffenen Art '*Nitellopsis bulbilifera*' C. Dont. (1960) zu beachten.

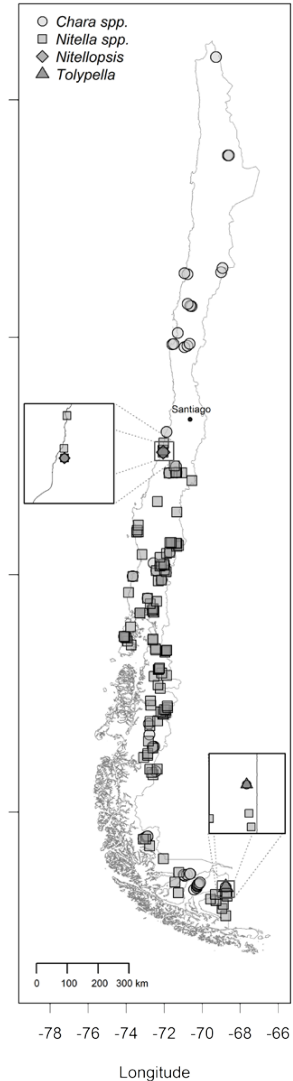


Tabelle 2 zeigt den Beprobungserfolg, geordnet nach Breitengrad, Habitattyp und Höhenlage. Unter Beprobungserfolg wird hier der prozentuale Anteil von Gewässern mit Characeenvorkommen an der Gesamtmenge der jeweils beprobten Gewässer verstanden (zur Erläuterung bitte Abbildung 3 beachten).

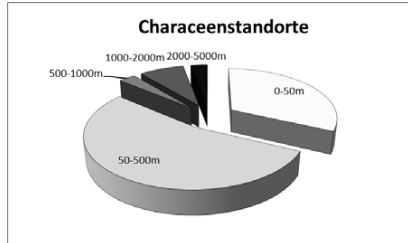
Breitengrad	Anzahl	Characeenfundorte	%
<35°S	47	22	47
35°S to 40°S	57	35	61
40°S to 45°S	56	42	75
45°S to 50°S	43	29	67
>50°S	114	39	34
Habitattyp			
Strandsee	24	8	33
Bach	40	13	33
See	141	101	72
Moorgewässer	5	1	20
Kleingewässer	61	26	43
Fluss	37	18	49
Salzsee	9	0	0
Höhenbereich			
500-5000	47	30	64
50-500	159	96	60
0-50	111	41	37

Tabelle 2 Beprobungserfolg (in %) nach Breitengrad, Habitattyp und Höhenbereich der im Verlauf der Expeditionen beprobten Standorte.

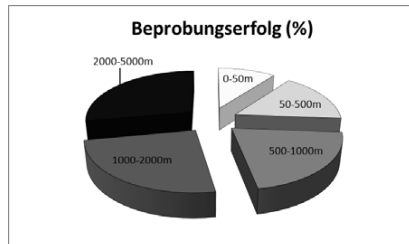
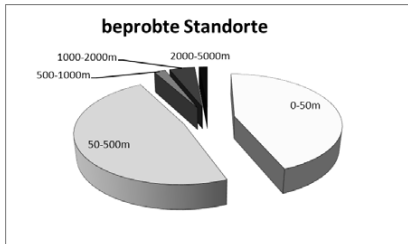
Die hier angegebene Anzahl ist nicht mit der Gesamtzahl der untersuchten Standorte gleichzusetzen da Beprobungen, die am gleichen Gewässer stattfanden, nicht separat aufgeführt werden. Das betrifft vor allem Flüsse und größere Seen, die prinzipiell an mehreren Stellen beprobzt wurden, hier jedoch nur einmal berücksichtigt werden.

Abb. 3 „Beprobungserfolg“.

Die Abbildung soll den Begriff „Beprobungserfolg“ verdeutlichen. Werden die Characeen-Standorte nach bestimmten Kriterien getrennt gelistet, ergibt sich ein Bild, das stark von der Anzahl der in den jeweiligen Kategorien vorhandenen Grundgesamtheit an Gewässern abhängig ist. Die obere Abbildung zeigt die Anzahl der Characeenstandorte nach Höhenstufen getrennt; mit Abstand die meisten Standorte befanden sich zwischen 50 und 500 m über Meeresebene.



Die rechte untere Abbildung zeigt das Ergebnis, wenn man die prozentuale Häufigkeit des Vorkommens von Gewässern mit Characeen-Vorkommen in der jeweiligen Kategorie aus den beiden oberen Abbildungen berechnet (prozentualer Beprobungserfolg). Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Characeen war demnach in Gewässern der Höhenstufe 2000-5000m am größten.



4 Diskussion

Während der hier vorgestellten Expeditionen wurden knapp 500 Beprobungen an ca. 300 Gewässern durchgeführt. Das sich daraus ergebende Muster (Tab. 2) weist zunächst auf einen erhöhten Anteil von Characeengewässern im Mittelteil Chiles hin – ein Befund, der zunächst überraschend ist, da sich hier die Ballungsgebiete mit den auch von Europa bekannten Umweltproblemen befinden. Das Ergebnis sollte nicht überinterpretiert werden; im Nordteil ist vor allem durch Schwefelsäureeinleitungen der Bergbauindustrie ein Großteil der ohnehin nur in geringer Anzahl vorhandenen Gewässer stark verschmutzt. Dieser Einfluss geht bis in die Küstenlagunen, die sich hier ausschließlich im Bereich der Flussmündungen finden, fort. Im südlichen Teil dagegen befand sich ein Großteil der Gewässer mit generell und unabhängig vom Breitengrad geringem Beprobungserfolg wie Moorgewässer, Bäche und Salzseen. Die vorzugsweise besiedelten Habitate entsprechen nahezu dem von Europa bekanntem Muster mit Ausnahme der hohen Anzahl an Fundorten in Flussgebieten – hier haben die Fluss Begradigungen zum weitgehenden Verlust von Habitaten wie Altwässern geführt, die in Chile sehr häufig reiche Characeenbestände aufwiesen. Bezüglich der Höhenstufen zeigt sich ebenfalls ein den europäischen Verhältnissen vergleichbares Bild – mit abnehmender Höhe sind weniger Gewässer in einem Zustand, der ein Characeenwachstum ermöglicht. Die noch ausstehende Analyse der Wasserchemiedaten wird weitergehende Aussagen zu evtl. Zusammenhängen mit anthropogenen Belastungen ermöglichen.

Durch die hier vorgestellten Untersuchungen erhöhte sich die Anzahl der für Chile beschriebenen Characeenarten auf zumindest 31; der Status von 2 Taxa ist dabei noch nicht abschließend geklärt (*Nitella gracilis* und *Nitella pygmaea*). Für 3 Morphotypen (*Chara* sp. 1, *Chara* sp. 2, *Nitella* sp.; vgl. Tabelle 1) konnte noch keine Zuordnung erfolgen. Damit ergibt sich, trotz aller Unsicherheiten bezüglich der endgültigen Artzahl, eine Diversität, die mit der des benachbarten Argentinien (32 Arten, Tell, 1985) vergleichbar ist. Für Südamerika sind 58 Arten bekannt (Van Raam 2009); berücksichtigt man, dass Chile nicht alle Klimazonen Südamerikas umfasst, erscheinen die ca. 30 Arten auch in dieser Hinsicht als realistische Anzahl.

Von den hier erstmals angetroffenen Arten sind 2, *Chara fulgens* und *Nitella asagrayana*, bisher noch nicht in Südamerika nachgewiesen worden. Eine dritte Art, *Nitella gracilis*, wurde ebenfalls bislang noch nicht in Südamerika angetroffen, allerdings steht hier noch der Vergleich mit Typusmaterial aus, so dass der Befund noch nicht endgültig ist.

Das überrascht zumindest bei *Nitella asagrayana*, da es sich hier um die zweithäufigste Characeenart Chiles handelte. Eventuell wurde die Art bislang im benachbarten Argentinien übersehen; zumindest einer der Fundorte (Lago General Carrera/Lago Bertrand - Seengebiet) liegt auf der Grenze zwischen Chile und Argentinien und es erscheint unwahrscheinlich, dass die Art ausschließlich am Westufer vorkommen soll.

Die Ergebnisse könnten auf jeden Fall dahingehend gedeutet werden, dass tatsächlich vornehmlich Kenntnislücken für die eingangs erwähnte Diskrepanz zwischen der Artendiversität Chiles und seiner östlichen Nachbarstaaten verantwortlich gemacht werden müssen. Diese Aussage darf jedoch nicht zur

Ablehnung der Hypothese, die von einer geographischen Isolation des chilenischen Characeenflorengebietes ausgeht, benutzt werden.

Hinweise auf eine derartige Isolation bieten vor allem das vollständige Fehlen von Arten der Willdenowia-Gruppe innerhalb der Gattung *Chara*, die in Südamerika generell, einschließlich Argentinien, weit verbreitet vorkommt (BRAUN 1883, BUENO et al. 2009). Die Abwesenheit von Arten dieser Gruppe in Chile könnte zunächst mit klimatischen Faktoren erklärt werden, da sie in Südamerika fast vollständig auf feucht-tropische Gebiete beschränkt ist, die in Chile nicht existieren. Andererseits ist die Gruppe in Nordamerika bis in das Gebiet der großen Seen hinein nachgewiesen (WOOD & IMAHORI 1965); die hier vorherrschenden klimatischen Bedingungen sind in Chile durchaus anzutreffen und wurden auch beprobt. Inwiefern hier die Anden als Barriere fungieren oder ob die Isolation durch die äquatorialen Regionen des amerikanischen Kontinentes erfolgt, die eine Ausbreitung evtl. kälteangepasster Formen von Nord- nach Südamerika verhindern, kann an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden.

Auch die Migularia-Gruppe, für die bislang eine zirkumpolare Verbreitung angenommen wurde (CASANOVA et al. 2007, CASANOVA 2009), konnte für Chile nicht nachgewiesen werden. Hier kann aber kein abschließendes Urteil gefällt werden, da das Zonoökoton VIII/IX, das einen Großteil des vermuteten Verbreitungsgebiet der Migularia-Gruppe darstellt, nicht beprobt wurde. Dieses Zonoökoton ist in Chile nur auf den dem Festland vorgelagerten Inseln anzutreffen, nur eine Siedlung (Puerto Eden) mit < 1000 Einwohnern befindet sich hier; Straßen fehlen, die reguläre Verbindung beschränkt sich auf eine wöchentlich verkehrende Fährverbindung. Unter diesen Bedingungen wurde bei der Planung das Gebiet nicht berücksichtigt, da der wesentliche Unterschied zum intensiv beprobten Zonoökoton V/VIII in der Abwesenheit von Frostwechsellagen besteht – ein Faktor, dessen Relevanz für Submersvegetation zweifelhaft erschien (vgl. Abbildung 4). Die aus dieser Entscheidung resultierende Kartierungslücke mag in den meisten Fällen bedeutungslos sein, in diesem speziellen Fall jedoch verhindert sie ein abschließendes Urteil.

Folgt man der Annahme, dass die Ostandenländer vergleichsweise gut untersucht sind, kommt man zu dem Schluss, dass die Anden nicht ausschließlich in Ost-West Richtung eine Verbreitungsbarriere darstellen. *Chara fulgens* war bislang in Südamerika unbekannt, wurde jedoch in Chile in Küstensalzstellen angetroffen. Beide Vorkommen befinden sich im Zonoökoton II/IV, was auf eine gewisse Wärmebedürftigkeit hinweist. Weiter südlich sind Strandseen von Arten wie z.B. *Chara braunii* besiedelt, Arten also, die zwar eine gewisse Salztoleranz aufweisen, ihren Verbreitungsschwerpunkt aber klar im Süßwasser haben. Die oben erwähnten Salzstellen sind nun nicht auf Chile beschränkt; *Chara fulgens* fehlt aber in Argentinien genauso wie die dort vorkommenden spezialisierten Salzwasserarten (z.B. *Chara halina*, *Lamprothamnium haesseliae*, *L. succinctum*) in Chile zu fehlen scheinen. Offenbar ist die Distanz zwischen den atlantischen und pazifischen Küstensalzstellen zu groß, um überwunden werden zu können.

Eine weitere Art, die offenbar in Südamerika auf Chile beschränkt ist, ist *Nitella lechleri*. Diese Art wurde ausschließlich in einem schmalen Küstenstreifen zwischen Lebu und der Isla Chiloe angetroffen, besiedelt hier aber nahezu alle untersuchten Gewässer. Dass sie trotzdem nur 6 Mal nachgewiesen werden konnte liegt auch daran, dass mehrere 100 km dieses Küstenstreifens in einem Reservat liegen, das nicht beprobt werden konnte.



Abb. 4 Characeen in Frostwechsel. In den Hochandenlagen sind Frostwechselsituationen alltäglich. Hier ist ein Bestand von *Chara vulgaris* (Bildmitte) abgebildet, der auf 4000m Höhe täglich einfriert. Das Bild entstand im Südsommer (März) gegen 10 Uhr vormittags; das Kleingewässer am Rio Gallico war zu dieser Uhrzeit noch komplett von einer ca. 1cm dicken Eisschicht bedeckt. Teile der Pflanzen waren, ohne sichtbare Schädigung, vom Eis umschlossen, erst gegen Mittag wurde das Gewässer eisfrei.

Abb. 5 (rechts) Campo de Hielo Sur. Zwischen 48°S und 51°S erstreckt sich in Chile ein geschlossenes Gletscherfeld. Auf dem Photo ist der Lago Grey am Südennde des Gletschers abgebildet in dem, wie auch am Nordende (Lago O'Higgins), keine Characeen gefunden wurden.



Abb. 6 (unten) See bei Porvenir. In den entwaldeten Bereichen des Zonobioms VIII bilden sich unter dem Einfluß antarktischer Fallwinde bei entsprechendem Untergrund permanente Salzseen. Die gesättigte Lösung lässt keine höheren Lebensformen zu.



Auf der anderen Seite wurde deutlich, dass zumindest das südliche Gletschergebiet, der Campo de Hielo Sur, keine unüberwindbare Barriere darstellt (Abbildung 5). *Nitella clavata*, die häufigste der von uns gefundenen Characeen-Arten, wurde südlich des Nationalparks Torres del Paine nicht mehr angetroffen. Ihr Vorkommen in diesem Nationalpark, der sich bereits südlich des Gletscherfeldes befindet, belegt aber, dass die Art die Gletscherbarriere überschreiten konnte.

Nitella asagrayana und *Nitella tenuissima* wiesen eine unerwartet strenge klimatische Abhängigkeit auf – beide Arten kamen ausschließlich im Zonoökoton VI, immergrüner Regenwald der gemäßigten Zone, vor. Während hier für selten vorkommende Arten nur eingeschränkt belastbare Aussagen möglich sind, kann der Befund einer strengen klimatischen Präferenz zumindest für *N. asagrayana*, die zweithäufigste der von uns gefundenen Characeenarten Chiles, als hinreichend begründet angesehen werden. *Nitella tenuissima* ist mit 6 Fundorten wesentlich seltener, auffallend war hier vor allem, dass diese Art auf den nördlichen Teil des Zonoökotons beschränkt blieb und nur in einem Fall gemeinsam mit *N. asagrayana* angetroffen wurde. Die Verbreitungsgebiete dieser beiden an das Zonoökoton VI gebundenen Arten überlappen ansonsten nicht. Während nördlich Pt. Montt *N. tenuissima* vorkommt, wird sie südlich Pt. Montts von *N. asagrayana* abgelöst.

Ein weiterer interessanter Befund ergab sich bei der Auswertung der Daten, die in der Region Magallanes erhoben wurden, also dem Gebiet, in dem die Andenbarriere fehlt und dementsprechend ein ungehinderter Austausch zwischen argentinischen und chilenischen Characeen vermutet werden kann. Dieser Bereich wies eine außerordentliche Artendiversität auf; 17 Arten kamen hier auf vergleichsweise beschränktem Gebiet vor. Das kann zunächst als Bestätigung der bereits von MANN et al. (1999) geäußerten Vermutung gewertet werden, dass Characeen im Gegensatz zu vielen anderen Organismengruppen keinen starken Abfall der Diversität mit zunehmender geographischer Breite aufweisen. Berücksichtigt werden muss hier aber auch, dass die Region Magallanes eine extreme geologische und klimatische Variabilität aufweist. Auf einer Strecke von max. 300 km passiert man einen Gradienten von granitischem Gestein bis zu kalkhaltigen Sedimenten als geologischem Untergrund und überstreicht gleichzeitig 4 bioklimatische Regionen. Diese Heterogenität der abiotischen Umweltfaktoren trägt hier mit Sicherheit ebenfalls zur hohen beobachteten Diversität bei; das Realisierungspotential ist durch die zahlreichen hier rastenden Zugvögel wahrscheinlich sehr groß. Als Trittstein für die Verbindung atlantischer und pazifischer Küstensalzstellenarten eignet sich die Region jedoch offenbar nicht. In den hier bebropften Strandseen kamen Characeen nicht vor; die Binnensalzstellen, durchaus reichlich vorhanden, waren unter dem Einfluss der antarktischen Fallwinde derart hypersalin, dass kein höheres Leben beobachtet wurde (Abbildung 6).

Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass tatsächlich Kenntnislücken für einen großen Teil der Diskrepanz zwischen der Characeen-Artendiversität der Gebiete östlich und westlich der Anden verantwortlich waren – hier konnte das Projekt Lücken schließen. Darüber hinaus konnte aber auch wahrscheinlich gemacht werden, dass die Anden eine effektive Verbreitungsbarriere darstellen, über die nur in begrenztem Maße ein Austausch erfolgt. Klimatische Präferenzen behindern dabei offenbar den Austausch über die südlich der Höhenzüge der Anden befindliche Trittsteinregion Magallanes.

Danksagung

Die Expeditionen erfolgten mit Förderung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes sowie des chilenischen CONICYT (Projekt 01DN12026 CHL 2009-182). Die Autoren danken Joop van Raam, Anders Langangen, Norma Catharina Bueno und Eduardo Cáceres für Hilfe und Diskussion bei der Bestimmung kritischer Arten. Kenneth Karol (NY), Jo Wilbraham (BM) und Willem Prud'homme (L) seien für die Bereitstellung von Typusmaterial, William Perez für die Bestimmung der *Tolypella*-Exemplare und Christian Porsche für die Erstellung der Karten gedankt.

Literatur

- ALLEN, G.O. & HERTER, W.G. (1934): Charales Uruguayensis. - Revista Sudamericana de Botánica, 1: 87-91.
- ARRHENIUS, O. (1921): Species and Area. - Journal of Ecology, 9: 95-99.
- BICUDO, C.E.M. & MARTAU, L. (1974): Catálogo dos algas de águas continentais do Estado de Rio Grande do Sul, Brasil: II - Charophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cyanophyceae, Rodophyceae e Xantophyceae. - Iheringia, sér. Bot. 19: 31-48.
- BLINDOW, I. (1992): Decline of charophytes during eutrophication: comparison with angiosperms. - Freshwater Biology 28: 9-14.
- BLINDOW, I., DIETRICH, J., MÖLLMANN, N. & SCHUBERT, H. (2003): Growth, photosynthesis and fertility of *Chara aspera* under different light and salinity conditions. - Aquatic Botany 76: 213-234.
- BLINDOW, I., HARGEBY, A. & HILT, S. (2014): Facilitation of clear-water conditions in shallow lakes by macrophytes: differences between charophyte and angiosperm dominance. - Hydrobiologia 737: 99-110.
- BLÜMEL, C. (2004): Taxonomy and Nomenclature. In: Schubert, H. and Blindow, I. (eds.) Charophytes of the Baltic Sea. - Gantner-Verlag, Ruggell: 261-284.
- BRAUN, A. (1883): Fragmente einer Monographie der Characeen. Nach den hinterlassenen Manuscripten A. Braun's herausgegeben von Hrn. Dr. Otto Nordstedt. - Physikalische Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin aus dem Jahre 1882: 1-211.
- BRAUN, M., FOISSNER, I., LÜHRING, H., SCHUBERT, H. & THIEL, G. (2007): Characean green algae: still a valid model system to examine fundamental principles in plants. - Progress in Botany 68: 193-220.
- BUCHLER, R.B. (1964): Sobre Algunas Caraceas Chilenas. - Tesis de Chimico Pharmaceutico aprobada con fecha 12 de Diciembre de 1964. University of Santiago, Chile.
- BUENO, N.C., BICUDO, C.E.M., BILOLO, S. & MEURER, T. (2009): Levantamento taxonomico das Characeae (Chlorophyta) de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Brasil: Chara. - Revista Brasileira de Botanica 32: 735-750.
- CÁCERES, E.J. (1978): Contribución al conocimiento de los cárofitos del centro de Argentina. - Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 52: 315-372.
- CACERES, E.J. (1979) : Novedades carológicas II. Sobre el genero Chara (sect. Gymnobasalia) en Argentina. - Kurtziana 12/13: 63-74.

- CASANOVA, M.T. (2009): An overview of *Nitella* in Australia (Characeae, Charophyta). - Australian Systematic Botany 22: 193-218.
- CASANOVA, M.T., DE WINTON, M.D., KAROL, K.G. & CLAYTON, J.S. (2007): *Nitella hookeri* A. Braun (Characeae, Charophyceae) in New Zealand and Australia: implications for endemism, speciation and biogeography. - Charophytes 1: 2-18.
- DAILY, F.K. (1967): *Lamprothamnium* in America. - Journal of Phycology 3: 201-207.
- EDDING, M.E. (1977): La vegetación ribereña del Lago Cayutué, Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, Llanquihue. - Medio Ambiente 2: 149-153.
- FALCON, L. & HAUENSTEIN, E. (2000) : Catastro de las Especies de Characeae (Charophyta) presentes en Chile. - Noticiario Mensual de Museo Nacional de Historia Natural 342: 20-26.
- FESTERLING, E. (1973): Ökologische und produktionsbiologische Untersuchungen am Phytobenthos der Darsser Boddengewässer. - Dissertation Universität Rostock.
- GARCÍA, A. (1990): Contribucion al conocimiento de la Characeae del Lago Pellegrini, provincia de Rio Negro, Argentina. - Candollea 45: 643-651.
- GARCÍA, A. (1993): Quaternary and recent *Lamprothamnium* Groves (Charophyta) from Argentina. - Hydrobiologia 267: 143-154.
- GARCÍA, A. & SOULIE-MÄRSCHKE, I. (2014): Gyrogonites and oospores, complementary viewpoints to improve the study of the charophytes (Charales). - Aquatic Botany: DOI: 10.1016/j.aquabot.2014.06.003.
- GUERLESQUIN, M. (1981) : Contribution a la connaissance des Characées d'Amerique du Sud (Bolivie, Equateur, Guyane de Française). - Revue d'Hydrobiologie Tropicale 14: 381-404.
- HORN AF RANTZIEN, H. (1950a) : Charophyta reported from Latin America. - Arkiv för Botanik 1: 355-411.
- HORN AF RANTZIEN, H. (1950b): Studies in the series Pluricellulatae of *Nitella*, with special reference to the American species. - Meddelanden från Göteborgs Botaniska Trädgård. Acta Horti Gothoburgensis 18: 199-212.
- JEFFREY, C. (1967): The origin and differentiation of the Archegoniate Land Plants: a second contribution. - Kew Bulletin 21: 335-349.
- KAROL, K.G., MCCOURT, R.M., CIMINO, M.T. & DELWICHE, C.F. (2001): The closest living relatives of land plants. - Science 294: 2351-2353.
- KRAUSE, W. (1981): Characeen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand. - Limnologica 13: 399-418.
- KRAUSE, W. (1997): Charales (Charophyceae). In: Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H., Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 18. - Gustav Fischer Verlag, Jena, 202 pp..
- KÜSTER, A., SCHAIBLE, R. & SCHUBERT, H. (2000): Light acclimation of the charophyte *Lamprothamnium papulosum*. - Aquat. Bot. 68: 205-216.
- KÜSTER, A., SCHAIBLE, R. & SCHUBERT, H. (2004): Light acclimation of photosynthesis in three charophyte species. - Aquat Bot 79:111-124.
- LINDNER, A. (1972): Soziologisch-ökologische Untersuchungen an der submersen Vegetation in der Boddenkette südlich des Darß und des Zingst. - Dissertation Universität Rostock.

- MANN, H., PROCTOR, V.W. & TAYLOR, A.S. (1999): Towards a biogeography of North American charophytes. - *Australian Journal of Botany*: 47: 445-458.
- MARQUARDT, R. & SCHUBERT, H. (2009): Photosynthetic characterisation of *Chara vulgaris* in bioremediation ponds. - *Charophytes* 2: 1-8.
- MARTIN-CLOSAS, C. (2003): The fossil record and evolution of freshwater plants: a review. - *Geologica Acta* 1: 315-338.
- MATTOX, K.R. & STEWART, K.D. (1984): Classification of the green algae: a concept based on comparative cytology. In: Irvine, D.E.G., John, D.M. (eds.): *Systematics of the green algae*. - Academic Press, London, pp.29-72.
- MCCOURT, R.M. (1995): Green algal phylogeny. - *Trends in Ecology and Evolution* 10: 159-163.
- PARRA, O., GONZÁLEZ, M., 1977. Catálogo de las algas dulceacuícolas de Chile. Pyrrhophyta, Chrysophyta – Chrysophyceae, Chrysophyta – Xanthophyceae, Rhodophyta, Euglenophyta y Chlorophyta. - *Gayana* 33: 1-102.
- PEREIRA, I., REYES, G. & KRAMM, V. (2000): Cyanophyceae, Euglenophyceae, Chlorophyceae, Zygnematophyceae y Charophyceae en arrozales de Chile. - *Gayana* 57: 29-53.
- SARMA, Y.S.R.K. & KHAN, M. (1967): Dioecism and monoecism as taxonomic criteria in Charophyta. - *Current Science* 36: 243.
- SAWA, T. (1965): Cytotaxonomy of the Characeae: Karyotype analysis of *Nitella opaca* and *Nitella flexilis*. - *American Journal of Botany* 52: 962-970.
- SCHUBERT, H. & BLINDOW, I., (eds., 2004): *Charophytes of the Baltic Sea*. - Gantner, Ruggell, 326pp..
- SCHUBERT, H., MARQUARDT, R., SCHORIES, D., BLINDOW, I. (2014): Biogeography of Chilean charophytes. - *Aquatic Botany*. DOI: 10.1016/j.aquabot.2014.06.005.
- STEINHARDT, T., KAREZ, R., SELIG, U. & SCHUBERT, H. (2009): The German procedure for the assessment of ecological status in relation to the biological quality element "Macroalgae & Angiosperms" pursuant to the European Water Framework Directive (WFD) for inner coastal waters of the Baltic Sea. - *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 22: 7-42.
- TELL, G. (1985): *Catálogo de las Algas de Agua Dulce de la Republica Argentina*. - *Bibliotheca Phycologica* 70: 191-194.
- VAN RAAM, J. (2009): A matrix key for the determination of Characeae. - *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 22: 53-55.
- WALTER, H. (1968): *Die Vegetation der Erde in ökophysiologischer Betrachtung*. Band 2: die gemäßigten und arktischen Zonen. - Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1001 pp.
- WALTER, H. & BRECKLE, S.-W. (1991): *Ökologie der Erde*, Band 4: Gemäßigte Arktische Zonen außerhalb Euro-Nordasiens. - Fischer-Verlag, Stuttgart, p.9.
- WOOD, R.D. (1962): New combinations and taxa in the revision of Characeae. - *Taxon* 11: 7-25.
- WOOD, R.D. & IMAHORI, K. (1965): A revision of the Characeae. First part. Monograph of the Characeae. - J Cramer Verlag, Weinheim, 903 pp..
- YOUSEF, M. A. M. & SCHUBERT, H. (2001): Assessment of the occurrence of Charophytes in shallow coastal waters of Mecklenburg Vorpommern, Germany. - *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 72: 9-16.

Andrzej Witkowski^{1*}, Przemysław Dabek¹, Chunlian Li¹, Evgeniy Gusev², Ewa Górecka¹, Marta Krzywda¹, Matt Ashworth³, Nikolai Davidovich⁴, Olga Davidovich⁴, Genowefa Daniszewska-Kowalczyk¹, Agnieszka Kierzek¹

¹ Palaeoceanology Unit, Faculty of Geosciences, University of Szczecin, Szczecin, Poland

² I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouz, Yaroslavl, Russia

³ Section of Integrative Biology, Biological Laboratories, University of Texas at Austin, Austin, Texas, United States of America

⁴ Karadag Nature Reserve, p/o Kurortnoe, Feodosiya, Crimea

* corresponding author: email - witkowsk@univ.szczecin.pl

From microbial mats in Puck Bay to the Szczecin Diatom Culture Collection. A three decade long research on marine benthic diatoms inspired by Professor Helmut Pankow

Abstract

During the second half of the 1980s and first half of the 1990s the first author has been visiting Professor Helmut Pankow's algological Research Group (Arbeitskreis Algologie) at the University of Rostock. This activity has been carried out within a frame of scientific cooperation between the Universities of Gdańsk and Rostock. Research visits to the University of Rostock have been dedicated to the taxonomy and ecology of the unicellular organisms inhabiting microbial mats in the littoral zone of Puck Bay in Poland. Through these efforts, the importance of diatoms within the microbial mats has been revealed, which has focused the scientific career of the senior author on marine diatoms from the littoral zone worldwide. While this research has previously been based purely on cleaned diatom frustules and their morphology, it has now reached the point where cytological features (chloroplasts), cell cycle (sexual reproduction) and molecular markers (nuclear and chloroplasts encoded genes) are applied to characterize these organisms. This has been made possible through the establishment of a culture collection at the University of Szczecin (due to changes in employment). About 700 strains of diatoms from marine littoral are now grown and are available through the Szczecin Diatom Culture Collection (SZCZ) for cytological and molecular studies on the taxonomy, biogeography and phylogeny of diatoms.

Keywords: Professor Helmut Pankow, Rostock University, Algology, microbial mats, diatoms, marine littoral, culture collection, molecular markers

1 Introduction

During the period of 1985-1996, within a framework of scientific cooperation between partner Universities in Gdańsk and Rostock, the first author conducted numerous research visits to Rostock. The major aim of these visits was to analyze the species composition of unicellular organisms inhabiting microbial mats in the littoral and supralittoral of Puck Bay, Poland. Visits to Rostock University and the laboratory of Professor Helmut Pankow helped in the identification of the Cyanobacteria and other photosynthetic bacteria (*Beggiattoa* spp. and purple sulfur bacteria), green algae (Chlorophyta) and diatoms (Bacillariophyta) found in these mats. It was an introduction to the techniques of sampling, processing those samples and of microscopic identification, resulting in the publication of species composition lists of the microbial mat biota in the Puck Bay coastal shallows (WITKOWSKI 1990, 1994b). In the early 1990s, the scientific focus changed from investigations of general floristic species composition to that of diatoms specifically. This early period of diatomological studies has resulted in a general description of the species compositions of diatom assemblages of the Puck Bay coastal shallows, in addition to the description of a few dozen new species (WITKOWSKI 1991, 1992, WITKOWSKI & LANGE-BERTALOT 1993, WITKOWSKI et al. 1996, WITKOWSKI et al. 1998) and even new genera (WITKOWSKI et al. 1997, 2000). This research of the microbial mat biota of Puck Bay was pioneering in the Baltic Sea basin. During the first decade of the 21st century, research on species composition and eco-physiology of the so-called “wind flats” of the western Baltic Sea was performed (e.g. WOELFEL et al. 2007, HEYL et al. 2010). Studies on microbial mats developing in quartz sandy sediments of the temperate climatic zone is rather limited, as their fossilization potential is believed to be rather low, though not negligible (e.g. WITKOWSKI 1990). Major research on this topic has been principally performed in the North Sea tidal flats (e.g. NOFFKE et al. 1996, 1997a).

Regardless of locality, diatoms seem to play an important role in the stabilization of the sediment (PATTERSON 1989, NOFFKE et al. 1997b, UNDERWOOD & PATERSON 2003). Unique environmental conditions, shallow water, changes in water inundation and frequent exposure to strong irradiation, high organic matter content and high content of organic matter degradation products (e.g. hydrogen sulfide) result in specialized diatom assemblages, such as the assemblage characterized by high abundances of very small-celled diatoms (WITKOWSKI 1990, 1991a, PNIEWSKI 2010). As the research on marine littoral benthic diatom assemblages has expanded, many of the diatom taxa described from the Puck Bay microbial mat seem to exhibit a world wide geographic distribution. This group includes *Amicula specululum* (Witkowski) Witkowski, *Cocconeis hauniensis* Witkowski, *Fragilaria gedanensis* Witkowski, *Fragilaria geocollegarum* Witkowski & Lange-Bertalot, *Fragilaria guentergrassii* Witkowski & Lange-Bertalot, *Opephora krumbeinii* Witkowski, Witak & Stachura and *Navicula wiktoria* Witkowski & Lange-Bertalot (e.g. WITKOWSKI et al. 2000, MORALES 2002, RIBEIRO 2010, SEDDON et al. 2011). Interestingly, in the microbial mat of Puck Bay there occur also a group of taxa which have been established elsewhere, but apparently have worldwide distribution. Here included are: *Opephora mutabilis* (Grun.) Sabbe & Wyverman, *Catenula adhaerens* (Mereschkowsky) Mereschkowsky, *Planothidium delicatulum* (Kützing) Round & Bukhtiyarova, *Navicula vimineoides* Giffen, (GIFFEN 1975, SUNDBÄCK & MEDLIN 1986, SABBE 1997, WITKOWSKI et al. 2000). From these assemblages and reports we see further examples of marine benthic diatoms exhibiting a cosmopolitan distribution.

The idea of cosmopolitanism among marine littoral diatoms has always been a strongly-debated issue. Among the most extreme opinions, FINLAY et al. (2002) proposed there should be no dispersal limit to diatoms due to their microscopic size and fast reproduction rates: the “everything occurs everywhere” hypothesis. Purely morphological approaches have been shown to be inconclusive on their own in the light of expanding use of molecular methods (DNA sequence analysis) — for biogeography and phylogeny estimation of both freshwater and marine diatoms (e.g. MEDLIN & KACZMARSKA 2004, SORHANNUS 2004, THERIOT et al. 2010, RIMET et al. 2011, ASHWORTH et al. 2013, TROBAJO et al. 2013). As DNA data in these studies have forced us to reconsider the evolution of diatoms, it became obvious that morphological approaches must be combined with molecular methods. Further progress in studying the biogeography of marine benthic diatoms by means of these molecular methods has been made possible with the establishment of the culture collection of diatoms at the Palaeoceanology Unit, Faculty of Geosciences at the University of Szczecin in 2010. This was founded by the Polish Ministry of Science and Higher Education and further developed with assistance from the National Science Centre in 2012. In this paper we introduce and describe the Szczecin Diatom Culture Collection (SZCZ), highlighting the process of isolation and purification of clonal cultures, which began in late 2011. Clonal cultures are harvested in order to extract the genomic DNA, which is then amplified by PCR and sent out for DNA sequencing. Routinely three genes are amplified and sequenced: nuclear-encoded ribosomal RNA (SSU) and chloroplast-encoded *rbcl* and *psbC*, which are three of the most commonly-sequenced genes across diatoms (THERIOT et al. 2010). In parallel, cleaned material from the extracted cultures is examined and documented by light (LM) and electron microscopy (EM).

2 Methods

2.1 Sampling and cultures

2.1.1 Procedure for growing monoclonal diatom cultures at the University of Szczecin.

The culturing process starts with samples taken from marine littoral zones. Whenever possible, parameters such as salinity, temperature, pH, oxygen content and oxygen saturation are measured at the sampling site by means of a portable instrument (HI 9828 of Hanna Instruments). Samples are collected into small plastic tubes (25 ml) from sediment, small pieces of seaweeds or from dead mineral detritus of organic origin (such as mollusk shells). If the substrate is either rocky or composed of large cobbles, scrapings from those rocks or boulders are also taken into the tubes. Frequently material is also sampled from the subtidal zone with a 20 µm plankton net. Special care is taken that the tubes are not filled with a mixture of sample and the sea water entirely to leave some air inside. Our experience shows that samples left without an access to the air are usually dying during the transport to the laboratory facilities. To prolong the life of the sampled material during expeditions, the Palaeoceanology Unit team will typically add a few ml of culture medium (f/2 medium) to the sampled material. Samples collected in multi-day expeditions are also stored in natural light, although care is taken in regions with very

strong sun (e.g. in South Africa), as the elevated temperatures from excess solar irradiation can stress and kill the collected diatoms.

Before starting field sample processing in laboratory in Szczecin, lab surfaces and hands are disinfected to avoid contamination by other diatoms or bacteria and fungus which can contaminate the strains. In the first step, a small amount of the field sample is transferred into plastic petri dish and enriched with f/2 culture medium (GUILLARD 1975) with the salinity of the medium based on the field measurements or on data from the literature. Freshly enriched samples are regularly (daily and later on weekly) checked under the inverted microscope to observe the ratio of live versus dead diatom cells. After as many as a dozen days, single cells of living diatoms are isolated by means of micropipettes under the inverted microscope by means of capillary tube technique (ANDERSON & KAWACHI 2005). A drop of sample with an isolated diatom cell is transferred onto a microscope slide. A drop of culture medium might be added at this stage to a drop of sample placed on a microscopic slide in order to dilute any suspended particles that were isolated with the diatom cell. Additional (separate) drops of culture medium are placed on microscopic slide near the isolated diatom cell. The isolated diatom cell is then transferred into one of the fresh drops, leaving unwanted particles in the previous drop of culture medium. This operation is repeated several times until only the desired, isolated diatom cell remains in a drop of culture medium. Glass pipettes are washed or replaced entirely each time the cell is transferred in order to avoid contamination. After these cleaning steps, the selected diatom cell is placed either in plastic petri dish or DNA well plate filled with culture medium. The Petri dish is labeled with the date of inoculation, type of culture medium and name of strain and put into a growth chamber. During the period of ca. one to two weeks, the inoculated petri dish (DNA well plate) is checked for diatom growth and any potential contamination. Successfully-growing diatom cells are kept in the growth chamber, while in petri dishes with contamination (bacteria, fungus or other microeukaryotes) the cleaning process is repeated. Diatom strains in the growth chamber are grown in enriched seawater (f/2)-medium at 18°C under a 12 h light–12 h dark cycle, illuminated by 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of white light.

Once the culture in a petri dish has been demonstrated to be uncontaminated and monoclonal, the strain is ready for further analyses. Pictures of diatom plastids are taken; portions of the cultured material is taken for genomic DNA analysis, and part is taken for microscopic slides as a voucher for the Palaeoceanology Unit diatom collection (SZCZ), and the rest is stored in illuminated refrigerator. Once the slides are prepared and the DNA is extracted Szczecin diatom culture collection number is given to it with the prefix of SZCZ, the name of the person registering it and 5 digits. The record of SZCZ_P_00001, means strain number 1 in the Szczecin diatom culture collection registered by Przemysław Dąbek (Tab. 1). Registered strains are re-inoculated at regular intervals to keep the strains alive.

2.2 Microscopy

Live cells of the cultured clones are photographed in counting chambers using a Nikon TS300 inverted microscope (Nikon Corporation, Tokyo, Japan) equipped with a 100 \times PlanApochromatic oil immersion lens (n.a.=1.40) and differential interference contrast (DIC) optics. For light microscopy (LM), scanning (SEM) and transmission (TEM) electron microscopy, suspensions of the diatom cultures are boiled with 12 ml of hydrogen peroxide for a few hours. An alternative method for

processing the cultured cells is based on the use of a Rorax® bio-power-gel (Erdal Rex, Germany), a strong domestic drain cleaner, modified from SATO et al. (2008). The cleaned diatom suspension is mounted with Naphrax® (Brunel Microscopes Ltd, Wiltshire, U.K.) for LM observations, which are conducted with a Zeiss Axio Imager 2M (Carl Zeiss, Jena, Germany) using a 100× oil immersion PlanApo objective (n.a.=1.46). For scanning electron microscopy (SEM) examination, few drops of cleaned material are put onto Whatman Nuclepore polycarbonate membranes (Fisher Scientific, Schwerte, Germany) and allowed to dry. Dry membranes are mounted onto aluminum stubs and coated with gold-palladium. SEM observations were made at the Warsaw University of Technology, Faculty of Materials Science and Engineering using a Hitachi SEM/STEM S-5500 or SU8000 and at the J.W. Goethe University, Frankfurt am Main, Germany by means of a Hitachi SEM/STEM S-4500.

2.2.1 DNA extraction and PCR

Depending on the cell density, several milliliters of cell suspension in the exponential phase growth are centrifuged for 15 min at 8,000rpm to harvest cells for genomic DNA extraction. For this, the Genomic DNA NucleoSpin Plant II Kit ® (Macherey-Nagel, Germany) is applied in accordance to the manufacturer's instruction. The small subunit (SSU) of nuclear ribosomal RNA, and two chloroplast genes (*rbcL* and *psbC*) are amplified using the primers and following the protocols of THERIOT et al. (2010). PCR products are visualized in 1% agarose (Maximus, Poland) gel and then are purified using Exonuclease I & Polar-BAP (EURx, Gdańsk, Poland) protocol (Witkowski et al. 2014). The PCR products are sent to oligo.pl DNA Sequencing Laboratory IBB PAS, Warsaw, Poland for Sanger sequencing with the use of BigDye Terminator v. 3.1 chemistry and ABI3730 xl sequencer.

2.2.2 Phylogenetic analysis

Maximum likelihood (ML) trees of the diatoms are constructed with three markers (SSU, *rbcL* and *psbC*). Phylogenetic trees are constructed with our own sequences and those accessed from the GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>). The datasets are partitioned by gene and codon position (in case of chloroplast markers). The analysis typically consists of 20 times of ML research and 1000 bootstrap replicates were conducted using rapid Bootstrap analysis by RAxML v8.1. The best-scoring ML tree drawn with bootstrap values are chosen as the final tree.

3 Results and discussion

3.1 Taxonomy

At present, almost 700 diatom strains are currently housed in the Szczecin Diatom Culture Collection (SZCZ). The largest number of strains originate from the coasts of southern Africa (Madagascar, Mozambique, Republic of South Africa, Namibia and Angola; Figs 1-3) and east and south-east Asia (Korea, China and

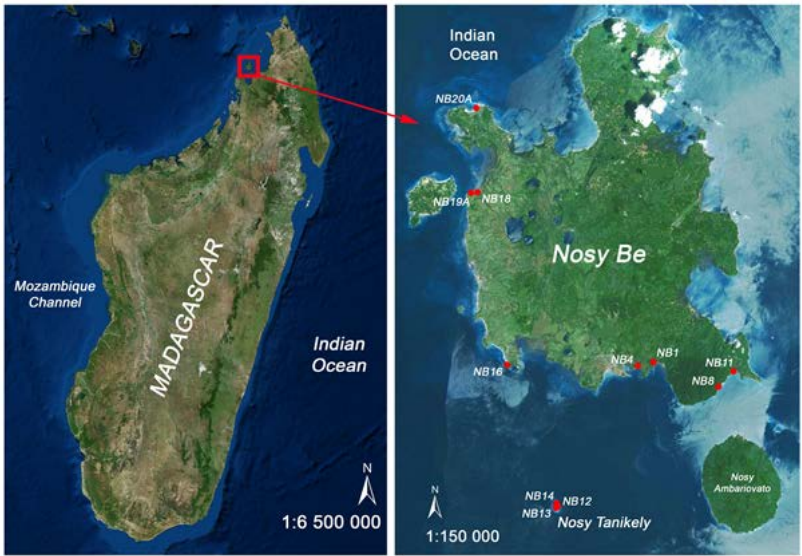


Fig. 1 Location of sampling sites in Nosy Be NW Madagascar

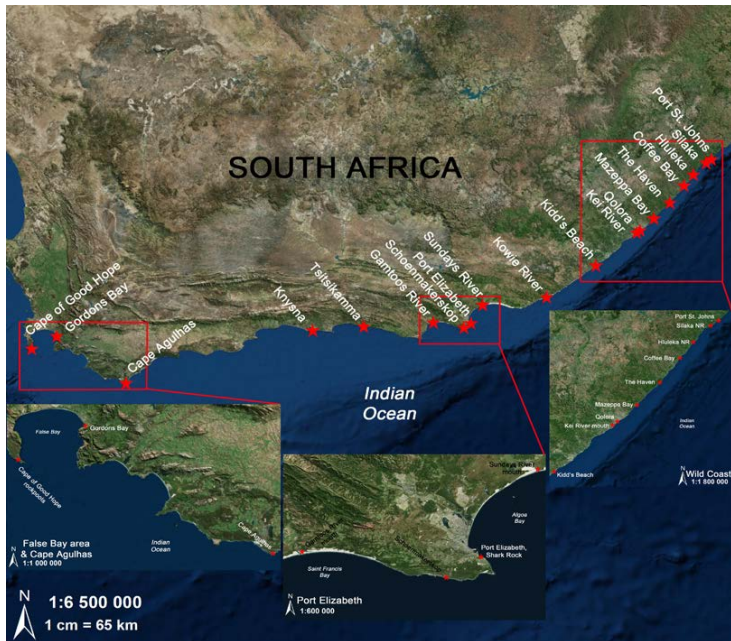


Fig. 2 Location of sampling sites in South Africa, south and east coasts.

Vietnam). Less numerous are the strains which originate from the Gulf of Gdańsk and Puck Bay microbial mats (Baltic Sea), the Algarve coast in Portugal, Tagus Estuary (Lisbon), Adriatic Sea (Croatia), Turkish coasts (Mediterranean, Aegean, Marmara and Black Seas Fig. 4), Canary Islands, Florida, Gulf of Mexico (Corpus Christi, Texas), Martinique, New Zealand and French Polynesia. In addition, a few diatom strains are being grown from high latitudes in the north (Nuuk Fiord, Greenland) and in the south (King George Island, Antarctica).

In the study areas, diatom sampling is accompanied by environmental parameters. Most of the samples are taken from the fully oceanic salinities; however, the Gulf of Gdańsk culture medium is prepared with 7 psu sea water, whereas the Zhuhai region (South China Sea, Pearl River Estuary) is prepared with 10 psu seawater, the Marmara Sea and Black Sea with 15 psu seawater and Tagus Estuary with 20 psu sea water.

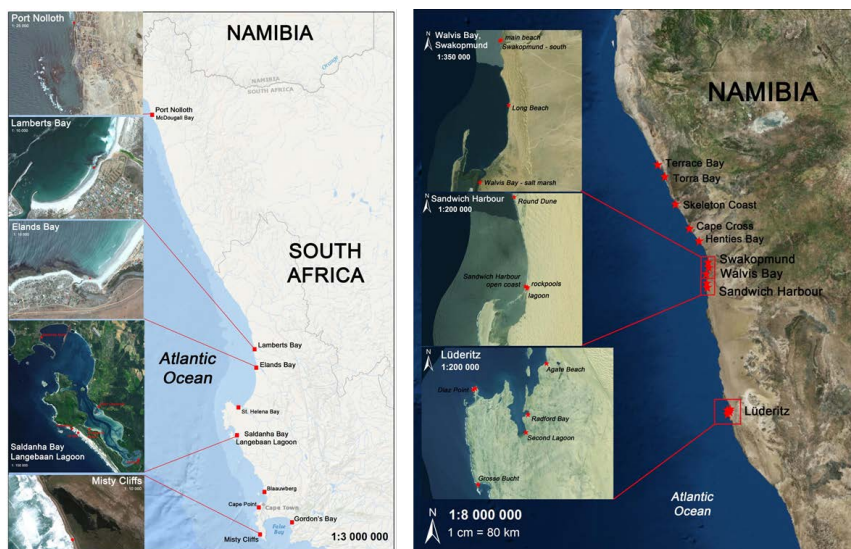


Fig. 3 Location of sampling sites along the South Africa West- and Namibia coast

Special efforts have been taken to collect and isolate the diatom taxa living within a biofilm grown on loggerhead turtles nesting at the Turkish coast of the Aegean Sea and from Holothurians sampled in Nosy Tanikely, Madagascar. At present, 37 diatom strains of potentially diatoms epizotic on loggerhead turtles and a few on Holothuria are successfully grown in the Szczecin Diatom Culture Collection.

The original field material from which the diatoms are sampled for culturing are cleaned of organic matter and the material is prepared for further study by means of light and electron microscopy. The aim of this approach is to find, identify and document natural population of diatoms isolated in culture. Some diatoms can significantly change their morphology in the culture (e.g., *Odontella aurita* Fig. 5) or

representatives of the family Cymatosiraceae). The culture conditions provide them unlimited opportunities to grow and reproduce by supplying an optimal concentrations of nutrients and light, in contrast to the natural conditions, which may limit their growth due to the nutrients depletion, variability of other physico-chemical conditions of the water or zooplankton activity.

Most of the diatom clones grown in our culture collection represent taxa identified to the generic level. Their identification as a matter of routine procedure based on observation in the inverted microscope with the 40x objective lens. Such observations are usually carried out during the isolation and purification of the respective clones. In parallel, chloroplasts are photo-documented in monoclonal cultures, which can assist in the identification of taxa. Our collection contains diatoms from a diversity of taxonomic families; Table 1 shows the first page of our Index Table, but the complete table will be accessible soon online at:

<http://www.marinebenthicdiatoms.univ.szczecin.pl>



Fig. 4 Location of the sampling sites along the coasts of Turkey

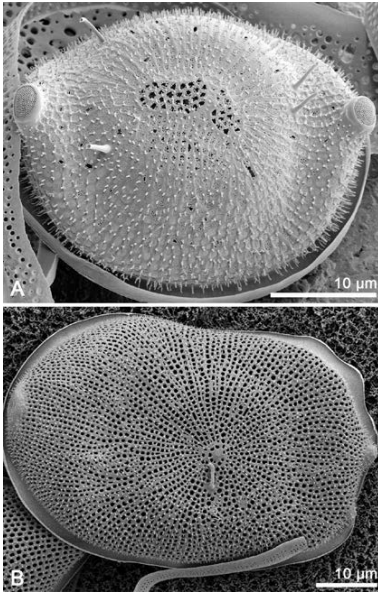


Fig. 5 SEM images of *Odontella* sp. (strain SZCZ_P_00160 from Szczecin Culture Collection) from the Langebaan Lagoon west coast (South Africa).

Out of ca. 700 clones 40 represent radial centrics with *Melosira*, *Paralia*, *Cyclotella*, *Actinoptychus*, *Actinocyclus* and a few *Thalassiosira* spp. The number of multipolar centrics amounts to 20, whereas of bipolar centrics including Biddulphiaceae and Cymatosiraceae amount to 60. Some taxa of Cymatosiraceae recently described as new to science are grown in culture as well. Araphid forms, represented mostly by Fragilariaceae and Plagiogrammaceae are ca. 100 clones. Three distinct clades represent monoraphid diatoms. The first one represented by 18 clones belongs in *Achnanthes* sp., the second with 16 clones in Cocconeidae (*Cocconeis*, *Planothidium* and some most likely new genera) and the third one with 8 clones involving *Schizostauron* spp. is grouping together with Stauroneidaceae. It

seems that the highest number of clones (more than 400) represents naviculoid diatoms (e.g. *Navicula*, *Seminavis*, *Pinnularia*, *Amphora*, *Halamphora*, *Caloneis*, *Parlibellus*, *Biremis*, *Lunella*, *Amicula*) and Bacillariaceae (*Nitzschia*, *Psammodictyon*, *Tryblionella*, *Bacillaria*), Rhopalodiaceae (*Auricula*, *Rhopalodia*, *Protokeelia*), Entomoneidaceae (*Entomoneis*) and Surirellaceae (*Surirella*, *Petrodictyon*).

Following identification, clonal cultures are re-inoculated, indexed in the culture collection and harvested. From part of harvested clonal culture DNA is extracted and amplified, whereas the remaining part is cleaned from cell content and the voucher slides for LM and suspended material for EM investigations are prepared. We find DNA extractions and sequencing important for identifying diatoms based solely on DNA sequences. This is one of the most important feature tasks of our culture collection; our database of vouchered sequenced genomic DNA, is a very important reference for metagenomic work conducted with environmental DNA extractions and descriptive phylogenetic work, in addition to the biogeography issues we discuss in the following section.

3.2 Biogeography

With such a broad sampling, several diatom taxa in the SZCZ Diatom Culture Collection can be considered to be cosmopolitan in geographic distribution, such as *Odontella* cf. *aurita*, *Odontella* cf. *rostrata*, *Melosira nummuloides*, *M. moniliformis*, *Plagiogrammopsis vanheurckii*, *Achnanthes* cf. *brevipes*, *Nitzschia aurariae*, *Nanofrustulum* spp., *Dimeregramma minor*, *Entomoneis* spp., *Planothidium*

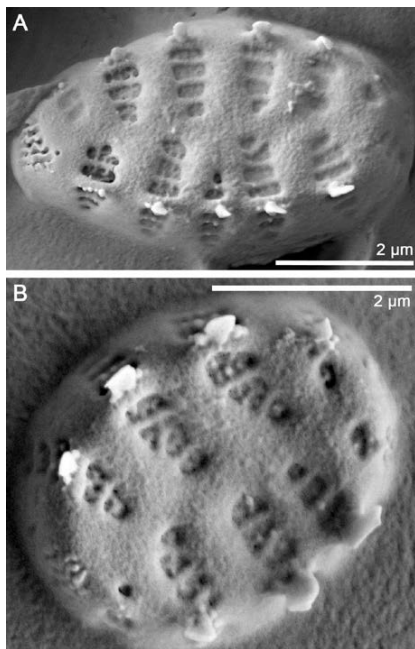


Fig. 6 SEM images of *Opephora* cf. *mutabilis* from the Puck Bay littoral zone (strain SZCZ_Ch_00153) from Szczecin Culture Collection.

delicatulum, *Amphora* cf. *helenensis*, *Halamphora* spp. and *Opephora* cf. *mutabilis* (Fig. 6). Particularly interesting is *Nanofrustulum* spp., which was thus far isolated from all oceans except the Antarctic waters. Our *Nanofrustulum* sp. strains originate from Greenland (Nuuk fjord), Baltic Sea (Puck Bay), Adriatic Sea (Croatia), Mediterranean Sea (Turkey), Atlantic coasts (Portugal, Angola, Namibia and South Africa), Indian Ocean (Madagascar, Mozambique) and Pacific Ocean (Korea, South China Sea and Vietnam). As numerous are *Odontella* cf. *aurita* clones, which originate from Portugal, Canary Islands, Namibia, South Africa, Madagascar, Vietnam and China. Similarly widespread in terms of geography are clones of *Achnanthes* cf. *brevipes*. For some clones of these

widespread taxa, the *rbcl* gene has been sequenced and downloaded from GenBank, in some cases with puzzling results (Fig. 7). For example, strains identified as *Nanofrustulum* have been resolved in two different clades across the phylogenetic tree of diatoms. Even more as our unpublished results show they can group with other *Nanofrustulum* taxa, or with the unrelated genera e.g. with *Dimeregramma* (Li & Witkowski unpublished observations). We are not able yet to determine the reason of such “wandering” of *Nanofrustulum* taxa across the diatom phylogenetic tree, though with morphological analyses of *Nanofrustulum* in progress, we expect some possible solutions to this discrepancy during further study.

A large group of taxa in the SZCZ Diatom Culture Collection appear to be widespread, but bound to a certain climatic zone. Such taxa, like *Biddulphia tridens*, *Schizostauron* spp., *Cocconeis* spp., *Astartiella* sp., *Delphineis* sp., *Seminavis* sp., *Cymatosira lorenziana*, have been isolated from the littoral zone of the subtropical and tropical regions from several different ocean basins. They have been isolated from samples collected from the tropical waters across the western Pacific (China and Vietnam), Indian Ocean (Madagascar, Mozambique), and the western Atlantic (Florida and Gulf of Mexico). Results of our morphological and molecular studies show that while some of these taxa do appear cosmopolitan across climate zones (e.g., *B. tridens* and *C. lorenziana*) we find numerous strains which are potentially new species e.g., *Astartiella* sp., *Cocconeis* sp. and even new genera (gen. and sp. indet. monoraphid). Additionally, there are numerous strains grown in the SZCZ Diatom Culture Collection known only from one sampling site and never appear again in either culture or in cleaned natural samples. Examples of these strains include *Diploneis* sp. (Canary Island – SZCZ_P_00035), *Rhopalodia* cf. *pacifica*

Krammer (Corpus Christi, Gulf of Mexico – SZCZ_Ch_00163) or *Minutocellus africana* Dąbek & Witkowski (Lamberts Bay, South Africa, in Dąbek et al. 2014, SZCZ_P_00074).

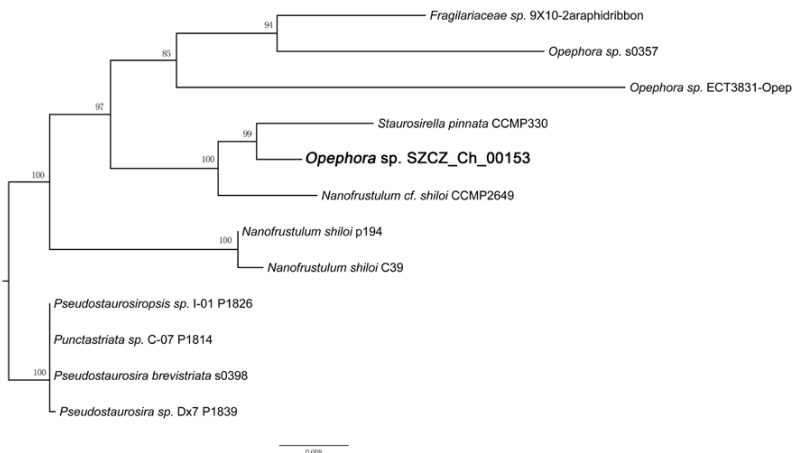


Fig. 7 Close up of the phylogenetic tree of diatoms to show changing position of *Nanofrustulum* spp.

3.3 Physiological experiments

Establishing the culture collection has enabled us also to design and perform ecophysiological experiments on certain diatom species like *Odontella aurita* or *Melosia nummuloides* using different environmental factors (i.e., temperature, salinity or concentration of basic nutrients – N, P, Si). The aim of this study is to define the tolerance ranges under these varying conditions of the selected taxa and to determine the limits of the maximum range of occurrence for those diatoms in the oceans. It turned out, e.g., that *Odontella aurita* strain, isolated from the Langebaan Lagoon (South Africa), is mostly limited by phosphorus (DĄBEK, 2014 – unpublished observations). A deficit of this nutrient in the water negatively affects the growth rate and cell number in the culture. In addition, depletion of silica usually limits the auxospore production. The taxa referred to are considered widespread marine diatoms occurring all over the world in the different habitats, e.g., attached to the sand grains, rocks, macroalgae or floating in the water. Therefore, they are particularly interesting to perform such experiments to find out what conditions are optimal for their growth.

Table 1 First page of the Szczecin Culture Collection index.

Strain Number	Taxon	Origin of the sample / date	LM Slide (number)	DNA extraction (date)	LM Availability of images	Live	SEM	Remarks
SZCZ_P_00001	<i>Seminavis</i> sp.	Schoenmakerskop, Port Elizabeth, Eastern Cape Province, South Africa / 22.4.2013	✓	21.6.2013	✓	✓		P8-205/1/F4
SZCZ_P_00002	<i>Seminavis</i> sp. 1	Sandwich Harbour - open coast, Namibia / 10.4.2013	✓	21.6.2013		<input type="checkbox"/>		P31-138/2/G1
SZCZ_P_00003	<i>Seminavis</i> sp.	Schoenmakerskop, Port Elizabeth, Eastern Cape Province, South Africa / 22.4.2013	✓	21.6.2013		✓		P34-205/1/F6
SZCZ_P_00004	<i>Cymatosira lorenziana</i>	Indian Ocean, Bazaruto sand beach / 24.5.2013	✓	15.7.2013		✓		P89-Ba/5/G2
SZCZ_P_00005	<i>Nitzschia/ Entomoneis</i>	Qolora 27, sediment 2m deep, Eastern Cape Province, South Africa / 1-21.6.2012	✓	✓	<input type="checkbox"/>	✓		P184
SZCZ_P_00006	<i>Amphora</i> sp.	Dias Point - brown diatom sand from rockpool, Namibia	✓	15.7.2013		✓	✓	P95-102/8/B2
SZCZ_P_00007	<i>Navicula</i> ss	Long Beach, rocks, Namibia - 11.4.2013	✓	15.7.2013		✓		P100 - 145/6/G11
SZCZ_P_00008	<i>Auricula</i> sp.	Indian Ocean, Tofo Sand, 22.5.2013	✓	21.6.2013		✓	✓	P32 - TS/2/D11
SZCZ_P_00009	<i>Amphora</i> sp.	Dias Point - brown diatom sand from rockpool, Namibia	✓	15.7.2013		✓	✓	P96-102/8/G2
SZCZ_P_00010	<i>Nanofrustulum</i> sp.	Sandwich Harbour - open coast, Namibia / 10.4.2013	✓	21.6.2013		✓		P33-138/1/C12

4 Conclusion

It must be stated clearly that all diatom strains grown in the SZCZ Diatom Culture Collection at the University of Szczecin are freely accessible for to the scientific community in the spirit of cooperation and collaboration. A list of the available strains kept in culture will be soon accessible online. At present, intensive cooperation is realized between the SZCZ Diatom Culture Collection and University of Texas in Austin, Research Station in Karadag in Crimea, Nelson Mandela Metropolitan University in Port Elizabeth, South Africa, Institute of Agriculture and Food Research and Technology (IRTA), Sant Carles de la Ràpita, Spain, and Perpignan University, France. The first results of joint research have already been published and included description of a new *Biremis* species from Pacific Ocean coast of Panama. Using molecular and auxosporulation data we have been able showing that *Biremis* as a genus is closely related to Neidiaceae not to Scoliotropidaceae (WITKOWSKI et al. 2014). The current task is revision of Plagiogrammaceae in terms of morphological and molecular data. In this paper a new taxa will be described and new knowledge on phylogeny of the Plagiogrammaceae will be published (Li, Ashworth, Witkowski unpublished observations). Also experiments on auxosporulation of monoraphid taxa of *Schizostauron* are realized in collaboration (Davidovich N. et al. unpublished observations). These global collaborations are the realization of the early inspiration of the first author by Professor Pankow in studying marine littoral benthic diatoms. In the last 30 years since those important initial studies on the diatoms of microbial mats in Puck Bay, we are now building a set of morphological, physiological and molecular tools to ask bigger questions about the biogeography and phylogeny of marine diatoms. Our preliminary data both agree and disagree with the Finlay et al. (2002) hypothesis: everything is not everywhere, although we also find some examples of widely-distributed benthic diatoms which support this hypothesis. Molecular methods are not a panacea on the problems with geographic distribution of diatoms as microbial eukaryotes, but are just another way to study this problem. Morphological data in combination with information on cell biology, life cycle and reproduction processes are also very important for solving all these puzzles.

Acknowledgments

Polish Ministry of Science and higher Education grant no. N306 468 538 and Polish National Science Centre (NCN) in Cracow grant no. N2012/04/A/ST10/00544 funded the culture collection and the molecular analysis facilities at the Palaeoceanology Unit, University of Szczecin. Additional funding originated from Polish Ministry of Science and Higher Education's topical subsidy. Authors are grateful to Professor David G. Mann, Dr. Rosa Trobajo, Dr. Ana Car, Dr. Catherine Desrosiers, Dr. Catherine Gobin, Dr. Vitor Gonçalves, Dr. Thomas G. Bornman, Dr. Ana Gomes, Dr. Lourenco Ribeiro, Dr. Cuneyt Solak, Dr. Rinat Gogoriev, Dr. Frederik Barka, Dr. John Bemiasa for providing living diatom samples and merit cooperation. Authors wish to express their gratitude to Professor Krzysztof J. Kurzydłowski, Izabela Zgłobicka, Dr. Tomasz Płociński and Dr. Justyna Grzonka for sharing the EM facilities at the Warsaw University of Technology and for help in operating SEM and TEM. Manfred Ruppel is acknowledged for operating SEM at Goethe University in Frankfurt am Main.

References

- ANDERSEN, R.A. & KAWACHI, M. (2005): Traditional microalgae isolation techniques. [In:] Andersen R.A. Algal Culturing Techniques. Elsevier, London. Pp. 83-100.
- ASHWORTH, M.P., NAKOV, T. & THERIOT, E.C. (2013): Revisiting Ross and Sims (1971); toward a molecular phylogeny of the Biddulphiaceae and Eupodisceaceae (Bacillariophyceae). – Journal of Phycology, 49(6): 1207–1222.
- DAŁBEK, P., WITKOWSKI, A. & ARCHIBALD, C. (2014): *Minutocellus africana* Dałbek & Witkowski sp. nov.: a new marine benthic diatom (Bacillariophyta, Cymatosiraceae) from Lamberts Bay, Western Cape Province, South Africa. – Nova Hedwigia, 99(1-2): 223–232.
- FINLAY BJ, MONAGHAN EB & MABERLY SC (2002): Hypothesis: the rate and scale of dispersal of freshwater diatom species is a function of their global abundance. - Protist 153: 261-273.
- GIFFEN, M.H. (1975): An account of the littoral diatoms from Langebaan, Saldanha Bay, Cape Province, South Africa. – Botanica Marina, 18: 71–95.
- GUILLARD, R.R.L. (1975): Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. [In:] Smith, W.L. & Chanley, M.H.: Culture of marine invertebrate animals. – Plenum Book Publ. Corp., New York, 29–60.
- HEYL, K., WOELFEL, J., SCHUMANN, R. & KARSTEN, U. (2010): Microbial Mats from Wind Flats of the Southern Baltic Sea. – [In:] Seckbach, J. & Oren, A.: Microbial Mats. – Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology Volume 14, 301–319.
- MEDLIN, L.K. & KACZMARSKA, I. (2004): Evolution of the diatoms V: Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. – Phycologia, 43: 245–270.
- MORALES, E.A. (2002): Studies on fragilarioid diatoms of potential indicator value from Florida (USA) with notes on the genus *Opephora* Petit (Bacillariophyceae). – Limnologia, 32: 102-113.
- NOFFKE, N., GERDES, G., KLENKE, TH. & KRUMBEIN, W.E. (1996): Microbially induced sedimentary structures - examples from modern sediments of siliciclastic tidal flats. –Zbl. Geol. Palaontol., I, 1995H 1 2, 307–316.
- NOFFKE, N., GERDES, G., KLENKE, TH. & KRUMBEIN, W.E. (1997a): A microscopic sedimentary succession of graded sand and microbial mats in modern siliciclastic tidal flats. – Sediment. Geol., 110, 1–6.
- NOFFKE, N., GERDES, G., KLENKE, TH. & KRUMBEIN, W.E. (1997b): The impact of sediment-stabilizing biofilms on the architecture of sedimentary structures (Mellum Island, southern North Sea). – Cour. Forsch.- Inst. Senck., 201, 297–305.
- PATERSON, D.M. (1989): Short-Term Changes in the Erodability of Intertidal Cohesive Sediments Related to the Migratory Behaviour of Epipellic Diatoms. – Limnology and Oceanography, 34: 223–234.
- PNIEWSKI, F. (2010): Taxonomical and ecophysiological characterization of benthic diatoms from the intertidal flats of Marennes-Oléron Bay (Atlantic) and non-tidal Gdańsk Bay (Baltic). PhD dissertation, Institute of Oceanography, University of Gdańsk, Poland.
- RIBEIRO, L.L.C.S. (2010): Intertidal benthic diatoms of the Tagus estuary : taxonomic composition and spatial-temporal variation. PhD dissertation, University of Lisboa, Portugal.
- RIMET, F., KERMARREC, L., BOUCHEZ, A., HOFFMANN, L., ECTOR, L. & MEDLIN, L. (2011): Molecular

- phylogeny of the family Bacillariaceae based on 18S rDNA sequences: focus on freshwater Nitzschia of the section Lanceolatae. – *Diatom Research*, 26: 273–291.
- ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. (1990): The diatoms. Biology and morphology of the genera. – New York: Cambridge University Press, 747 p.
- SABBE, K. (1997): Systematics and ecology of intertidal benthic diatoms of the Westerschelde estuary (The Netherlands). PhD dissertation, University of Gent, Belgium.
- SATO, S., KOOISTRA, W.H.C.F., WATANABE, T., MATSUMOTO, S. & MEDLIN, L.K. (2008): A new araphid diatom genus *Psammoneis* gen. nov. (Plagiogrammaceae, Bacillariophyta) with three new species based on SSU and LSU rDNA sequence data and morphology. – *Phycologia*, 47: 510–528.
- SEDDON, A.W.R., FROYD, C.A. & WITKOWSKI, A. (2011): Diatom (Bacillariophyta) of isolated islands: new taxa in the genus *Navicula* sensu stricto from the Galápagos Islands. – *Journal of Phycology*, 47(4): 861–879.
- SORHANNUS, U. (2004): Diatom phylogenetics inferred based on direct optimization of nuclear-encoded SSU rRNA sequences. – *Cladistics*, 20: 487–497.
- STAL, L.J., VAN GERMELEN, H. & KRUMBEIN, W.E. (1985): Structure and development of a benthic marine microbial mat. – *Microbial Ecology*, 31: 111–125.
- SUNDBÄCK, K. & MEDLIN, L. K. (1986): A light and electron microscopic study of the epipsammic diatom *Catenula adhaerens* Mereschkowsky. – *Diatom Research*, 2: 283–90.
- THERIOT, E.C., ASHWORTH, M., RUCK, E., NAKOV, T. & JANSEN, R.K. (2010): A preliminary multigene phylogeny of the diatoms (Bacillariophyta): challenges for future research. – *Plant Ecology and Evolution*, 143 (3): 278–296.
- TROBAJO, R., ROVIRA, L., ECTOR, L., WETZEL, C.E., KELLY, M. & MANN, D.G. (2013): Morphology and identity of some ecologically important small Nitzschia species. *Diatom Research* 28: 37-59.
- UNDERWOOD, G.J.C. & PATERSON, D.M. (2003): The importance of extracellular carbohydrate production by marine epipellic diatoms. – *Advances in Botanical Research*, 40: 183–240.
- WITKOWSKI, A. (1990): Fossilization processes of the microbial mat developing in clastic sediments of the Puck Bay (southern Baltic Sea, Poland). – *Acta Geologica Polonica*, 40: 1–27.
- WITKOWSKI, A. (1991a): Diatoms of the Puck Bay coastal shallows (Poland, Southern Baltic). – *Nordic Journal of Botany*, 11: 689–701.
- WITKOWSKI, A. (1991b): *Fallacia cassubiae* sp. nov., a new brackish water diatom from the Puck Bay (Southern Baltic Sea), Poland. – *Diatom Research*, 6: 401–409.
- WITKOWSKI, A. (1991c): An occurrence of living *Terpsinoe americana* (Bailey) Ralfs in bottom sediments of the Puck Bay (The Southern Baltic Sea), Poland. – *Diatom Research*, 6: 413–415.
- WITKOWSKI, A. (1993a): *Fallacia florinae* (Moeller) comb. nov., the marine, epipsammic diatom. – *Diatom Research*, 8: 215–219.
- WITKOWSKI, A. (1993b): *Fragilaria gedanensis* (Bacillariophyceae) sp. nov., a new brackish water diatom from the Baltic Sea. – *Nova Hedwigia*, 56: 497–503.
- WITKOWSKI, A. (1993c): *Cocconeis hauniensis* sp. nov., new epipsammic diatom species from Puck Bay (Southern Baltic Sea). – *Nordic Journal of Botany*, 13: 467–471.

- WITKOWSKI, A. (1994a): Recent and fossil diatom flora of the Gulf of Gdańsk, the Southern Baltic Sea. – *Bibliotheca Diatomologica*, 28: 313 pp. J. Cramer Berlin-Stuttgart.
- WITKOWSKI, A. (1994b): Species composition and ecology of the Puck Bay (southern Baltic Sea) coastal shallow microbial mat. – *Zeszyty Naukowe UG Oceanografia*, 13: 85–99.
- WITKOWSKI, A. & LANGE-BERALOT, H. (1993): Established and new diatom taxa related to *Fragilaria schulzii* Brockmann. – *Limnologica*, 23: 59–70.
- WITKOWSKI, A., LANGE-BERALOT, H. & METZELTIN, D. (1996): The diatom species *Fragilaria martyi* (Heribaud) Lange-Beralot, identity and ecology. – *Archiv Protist.*, 146: 281–292.
- WITKOWSKI, A., LANGE-BERALOT, H. & STACHURA, K. (1998): New and confused species in the genus *Navicula* s. str. (Bacillariophyceae) and consequences of a restrictive generic circumscription. – *Cryptogamie Algologie*, 19: 83–108.
- WITKOWSKI, A., LANGE-BERALOT, H. & METZELTIN, D. (2000): Diatom flora of marine coasts I. *Iconographia Diatomologica* 7, Gantner Verlag K.G., 925 pp.
- WITKOWSKI, A., BARKA, F., MANN, D.G., LI, CH., WEISENBORN, J.L.F., ASHWORTH, M.P., KURZYDŁOWSKI, K.J., ZGLOBICKA, I. & DOBOSZ, S. (2014): A description of *Biremis panamae* sp. nov., a new diatom species from the marine littoral, with an account of the phylogenetic position of *Biremis* D.G. Mann et E.J. Cox (Bacillariophyceae). – *PLoS ONE* 9(12): e114508.
- WOELFEL, J., SCHUMANN, R., ADLER, S., HÜBENER, T. & KARSTEN, U. (2007): Diatoms inhabiting a wind flat of the Baltic Sea: Species diversity and seasonal succession. – *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75: 296–307.

THOMAS HÜBENER

Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, Lehrstuhl für Allgemeine & Spezielle Botanik,
Wismarsche Str. 8, 18051 Rostock, thomas.huebener@uni-rostock.de

Diatomeen als Indikatororganismen in norddeutschen Seen - Wie weit zurück müssen wir schauen, um sichere seetypspezifische Referenzbedingungen im Sinne der EU- Wasserrahmenrichtlinie zu ermitteln?

Abstract

Using published paleolimnological results from 22 calcareous lakes in northern Germany, this study identifies total phosphorous (TP) reference values for German lake types 10, 11, 13 and 14, respectively European lake type CB1, CB2 and intermediate CB1/2. The initial increase in settlement-associated pollen occurred in the catchments between AD ~750 and ~1820. A departure from diatom-inferred TP reference conditions occurred during periods of increased human activities during Early to Late Medieval Times (AD ~750 – 1325; six lakes), early Modern Times (AD ~1525 – 1600; three lakes), after the Thirty Years' War (~AD 1650; two lakes) and during the Anthropocene (after AD ~1850, six lakes). Three additional lakes continuously have TP reference values until recent days, while TP reference values could not be detected in two cases. Thus, we refrain from setting a fixed point in time for defining reference conditions for lakes of the north German lowlands as well as in the European Central Plains.

Keywords: Paläolimnologie, Norddeutschland, EU-WRRL, Diatomeen

Die Arbeit widme ich meinem akademischen Lehrer Prof. Dr. Helmut Pankow, der mein Interesse und meine Freude an den Algen geweckt hat.

1 Einleitung

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; EU 2000) fordert bis zum Jahr 2015 zumindestens die Erreichung eines guten ökologischen Zustandes für Küstengewässer, Fließgewässer und auch alle Seen >50 ha. Diese Forderung initiierte umfangreiche Arbeiten sowohl zur Klassifikation und Bewertung in den einzelnen Mitgliedsstaaten (z.B. MATHES et al. 2002) als auch zur Abstimmung der europäischen Staaten untereinander (REFCOND 2003).

Schwerpunktaufgaben waren die Festlegung von ökologischen Gewässertypen, z.B. Seetypen, die auf historische und aktuelle anthropogene Einflüsse ähnlich

reagieren. Weiterhin war es wesentlich, für diese Gewässer typspezifische Referenzzustände, d.h. den `sehr guten` ökologischen Zustand als Bezug zu definieren. Als Referenzzustände im Sinne der WRRL sind Gewässerzustände definiert, die keinen oder nur minimalen menschlichen Beeinträchtigungen ausgesetzt sind bzw. waren. Derartige Referenzzustände sind in den meisten europäischen Regionen nur selten direkt mess- oder beobachtbar, so dass diese über die Nutzung verschiedener Hilfsmittel wie die Modellierung, Auswertung historischer Daten oder paläolimnologische Methoden ermittelt werden können.

Die paläolimnologische Analyse von Seesedimenten bzw. der in den Sedimenten nachweisbaren Indikatororganismen ist mittlerweile eine etablierte Methode der retrospektiven Analyse von ökologischen Gewässerzuständen bzw. deren Beeinflussung. Zum Beispiel werden Pollenanalysen genutzt, um menschliche Aktivitäten (Siedlung, Landnutzungsänderungen) im Polleneinzugsgebiet zu rekonstruieren. Als Indikatororganismen für Veränderungen des Gewässerökosystems fungieren Ostracoden, Cladoceren und vorzugsweise Diatomeen.

Die AG Phykologie am Lehrstuhl für Allgemeine & Spezielle Botanik der Universität Rostock befasst sich in Weiterführung der von Prof. Helmut Pankow initiierten Arbeiten zur Indikationsnutzung von Algen seit ca. 15 Jahren mit der Ermittlung von seetypspezifischen Referenzzuständen in Seen Norddeutschlands. Im Folgenden werden Ergebnisse dieser Untersuchungen an insgesamt 22 Seen in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern dargestellt.

2 Material & Methoden

In insgesamt 22 Seen in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein (Fig. 1) wurden zwischen 1998 und 2011 Sedimentbohrungen mit dem Ziel der Rekonstruktion gewässergüterrelevanter Parameter (Trophie, Gesamtphosphat) vorgenommen. Nach der europäischen Seen-Klassifizierung (CARVALHO et al. 2008, POIKANE et al. 2010) sollten diese kalkreichen Flachlandseen entweder dem Seetyp CB1 (mittlere Tiefe 3-15 m, Verweilzeit >1 Jahr) oder CB2 (Mittlere Tiefe <3 m, Verweilzeit <1 Jahr) entsprechen. Zehn Seen entsprechen jedoch mit einer mittleren Tiefe von >3 m und einer Verweilzeit von <1 Jahr weder dem einen noch dem anderen Typ (Tab. 1), so dass diese als intermediäre CB1/2 Typen charakterisiert werden. Bei Zugrundelegung der deutschen Seen-Klassifizierung (Mathes et al. 2002) schließen die 22 Seen bis auf den Typ 12 (Flusseen;) alle relevanten morphometrischen Seentypen des norddeutschen Flachlandes ein (vgl. Tab. 1).

Die Sedimentbohrungen erfolgten von einer verankerten Plattform über der Seemitte bzw. dem Seetiefsten mithilfe verschiedener Varianten eines Kolbenlots (UWITEC-Pistencorer, Kolbenlot nach Usinger (Mingram et al. 2007) oder mit einem freeze-corer (UWITEC) (vgl. Tab1). Die Aufbereitung der geochemischen Analysen, der Pollen- und Diatomeenaufschlüsse und -präparierungen erfolgte nach Standardmethoden (vgl. HÜBENER et al. 2009, 2015). Zur Pollenanalyse wurde der relative Anteil aller Pollentypen bei Zählung von mindestens 600 - 800 Landpflanzenpollen ermittelt. Ein Wechsel von unbeeinträchtigten zu menschlich beeinflussten Bedingungen im Einzugsgebiet wurde angenommen, wenn

Getreidepollen und die Summe sonstiger synanthroper Pollenanteile ausgehend von einer Basislinie von ~0-2% (Getreidepollen) bzw. 3-5% (Pollen sonstiger synanthroper Pflanzen) auf >5% (Getreidepollen) bzw. >8% (Pollen sonstiger synanthroper Pflanzen) anstieg. Die Diatomeenanalyse erfolgte auf Basis relativer Anteile aus mindestens 400-500 bis zur Art bestimmter Schalenhälften (Valven). Die Datierung der jüngeren Sedimente (seit ca. 1850 AD) erfolgte mittels einer $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ -Datierung nach dem 'Constant Initial Concentration Model' (ROBBINS & EDGINGTON 1975); darunterliegende Sedimente wurden mit der ^{14}C -AMS Technik an Makroresten sicherer terrestrischer Herkunft datiert (NADEAU et al. 1998).

Die paläolimnologische Rekonstruktion von Gesamtphosphat erfolgte durch Anwendung eines regionalen Eichdatensatzes aus Norddeutschland (<http://www.biologie.uni-rostock.de/abt/botanik/AG-Phykologie/eichdatensatz-ua-n.htm>), eines europaweiten Eichdatensatzes (EDDI - European Diatom Database Initiative; Battarbee et al. 2000) sowie der moving-window Methode nach HÜBENER et al. (2008a) bzw. dem R-modul paltran (ADLER 2008).

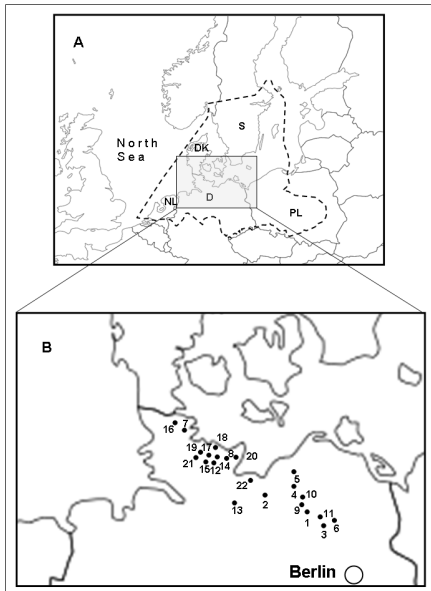


Abb. 1 Lage der 22 Seen im norddeutschen Tiefland (Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein) sowie Begrenzung der betreffenden Ökoregion des Zentraleuropäischen Tieflandes gemäß EU-WRRL. (Seenamen bzw. -nummern gemäß Tab. 1).

3 Ergebnisse

Der Fokus dieser zusammenfassenden Darstellung liegt auf der Gegenüberstellung der vornehmlich siedlungsbeeinflussten Pollenentwicklung und der trophischen Entwicklung im Gewässer, dargestellt als diatomeenbasierte Gesamtposphorkonzentration (DI-TP). Für weitere Informationen zum detaillierten Verlauf einzelner geochemischer, palynologischer und diatomologischer Parameter wird auf die in Tab. 1 erwähnten Publikationen verwiesen.

3.1 Siedlungsaktivitäten im Gewässer-Umfeld

Der Siedlungseinfluss im Gewässer-Umfeld wurde auf Basis von Pollenanalysen aus den jeweiligen See-Sedimenten ermittelt. Die Tab. 1 listet den Beginn nachhaltigen Siedlungseinflusses im Polleneinzugsgebiet eines jeden Sees auf. Die Abb. 2 stellt charakteristische Verläufe des Siedlungseinflusses dar.

An einem See (GUD) erfolgte ein signifikanter Anstieg der synanthropen Pollen erst in der ersten Hälfte des 19. Jh., an drei weiteren Seen (TRE, LAN, PAS) zu Beginn der Neuzeit. An der Mehrzahl der Seen (13 von 22) erfolgten die ersten auffälligen siedlungsbedingten Vegetationsveränderungen während des Hochmittelalters, an zwei dieser 13 Seen (GÜL, KRU) wiederum finden sich durch Nutzungsauffassung und Wiederaufforstungen in den letzten Jahrzehnten bzw. Jahrhunderten wieder beinahe vollständig geschlossene Wälder, d.h. naturnahe Waldbedingungen (Abb. 3). An drei der 22 Seen sind signifikante Siedlungseinflüsse bereits während der slawischen Besiedlung im Frühmittelalter nachweisbar (STE, VIE, SCH). Für die in dieser Studie verbleibenden zwei Seen (STO, KPS) sind bezüglich des Beginns signifikanter Siedlungseinflüsse im Polleneinzugsgebiet keine Aussagen möglich; die basalen Kernabschnitte zeigen bereits Anteile siedlungsassoziierter Pollen, die deutlich über dem Niveau liegen, welches allgemein als naturnah eingestuft wird. Aussagen zum Referenzzustand wären nur möglich, wenn an beiden Seen weiter vertiefende Sedimentanalysen durchgeführt würden.

Somit erfolgten an allen hier betrachteten 22 norddeutschen Seen signifikante Siedlungseinflüsse im Polleneinzugsbereich der Seen zwischen dem Frühmittelalter bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, überwiegend bereits während des Hochmittelalters.

3.2 trophische Reaktionen in den Seen

Als TP Referenz-Konzentrationen wurden die DI-TP Werte während fehlender oder nur mäßiger anthropogener Einflüsse im Einzugsgebiet, d.h. DI-TP Konzentrationen vor einer signifikanten Erhöhung der siedlungsassozierten Pollen angenommen. Die Zuordnung dieser Referenz-trophie (trophische Einstufung `sehr gut`) erfolgte zu den trophischen Klassen nach VOLLENWEIDER & KERÉKES (1982). Der Wechsel in die nächsthöhere, nur noch `gute` Trophieklasse charakterisiert den Verlust der Referenzbedingungen. Vielfach erfolgten die signifikanten DI-TP Veränderungen im See deutlich später als die nachgewiesenen Nutzungsänderungen im Einzugsgebiet der Seen (Tab. 1, Abb. 2).

Insgesamt erfolgte der Verlust der Referenz-trophie in 11 der 22 Seen vor dem vielfach diskutierten Referenzzeitraum um 1850 AD, d.h. in 50% der hier untersuchten Seen. In zwei dieser Seen (GÜL, KOS) werden heute wieder sehr gute, d.h. TP-Referenzkonzentrationen ermittelt. In sechs Seen wechselten die DI-TP

Werte nach 1850 bzw. 1950 AD in den guten Status. In drei Seen gab es im betrachteten Zeitraum seit ca. 500 AD keine Veränderungen der sehr guten trophischen Ausgangsbedingungen (KRU, SAN, PAS). Für die verbleibenden Seen (KPS und STO) konnte die Referenztrophie, d.h. der sehr gute Ausgangszustand, nicht ermittelt werden. Insofern sind auch keine weiteren Bewertungen möglich. Es konnten insgesamt vier Typen des DI-TP Verlaufes mit permanentem oder zwischenzeitlichem Verlust der Referenztrophie sowie zweier Typen mehr oder weniger konstanter TP-Werte unterschieden werden.

3.2.1 permanenter Verlust des Referenzzustandes

13 der 22 Seen verloren die Referenzbedingungen dauerhaft während fünf charakteristischer Perioden und sind seither durch ein permanent höheres trophisches Niveau charakterisiert. Die Abb. 2 zeigt jeweils charakteristische typische Vertreter dieser konkreten Entwicklungen. Im TIE und GUD (Abb. 2a) erfolgte dieser Trophiewechsel ab den 1950`er Jahren, im DUD und EIS (Abb. 2b) während des wirtschaftlichen Aufschwungs zu Ende des 19. bzw. zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Der nächst typische Zeitraum war die Zeit wirtschaftlicher, hauptsächlich landwirtschaftlicher Konsolidierung nach den Pestwüstungen und dem 30-jährigen Krieg. Dies betraf fünf der 22 Seen (DRE, BIS, TRE, KES, BOS; Abb. 2c). Vier weitere Seen wurden durch Siedlungsaktivitäten während des Hochmittelalters (RUG, SCH, VIE; Abb. 2d) oder gar des Frühmittelalters (STE; Abb. 2e) nachhaltig trophisch beeinträchtigt.

3.2.2 zwischenzeitlicher Verlust des Referenzzustandes

In vier der 22 Seen (GÜL, KOS, MÜR, LAN; Tab. 1, Abb. 2f) konnte ein zwischenzeitlicher Verlust der Referenzbedingungen nachgewiesen werden, d.h. die DI-TP Werte und Diatomeen-Assoziationen änderten sich nach zwischenzeitlichem Verlust wieder derart, dass in diesen Seen heute Referenzbedingungen vorhanden sind. In drei dieser Seen (GÜL, MÜR, KOS) erfolgte der zwischenzeitliche Verlust der Referenzzustandes bereits während des Hochmittelalters, im Lanker See (LAN) erst in den 1950`er Jahren. In der Müritz, dem Gülzsee und dem Lanker See lagen die zwischenzeitlichen TP-Erhöhungen um eine Stufe über dem Referenzniveau, d.h. bei guten trophischen Bedingungen. Im Krakower Obersee stiegen die DI-TP Werte von oligo - mesotrophen Referenzwerten (12-28 mg/l) als Folge der Seespiegelanhebungen nach 1296 AD auf zunächst eutrophe Werte (HÜBENER & DÖRFLER 2004), bis nach 1970 auch polytrophe DI-TP Werte erreicht wurden. Diese TP-Rekonstruktion wird durch Monitoringdaten aus diesen Jahren bestätigt, hingegen spiegeln sich die aktuell wieder gemessenen mesotrophen TP Konzentrationen noch nicht in den Diatomeen-Assoziationen der oberen Sedimentschichten wieder.

Tab. 1 Morphometrische, limnologische Parameter sowie paläolimnologische Ergebnisse zu DI-TP Referenzwerten der 22 untersuchten Seen in MV und SH. VQ = Volumen-Quotient, TN = Gesamtstickstoff, TP = Gesamtphosphor. Trophische Stufen o = oligotroph, Im = schwach mesotroph, m = mesotroph, le = schwach eutrophic, e = eutrophic, ve = hoch eutrophic. ¹ Tiefengradient F (LAWA 1999) = maximale Tiefe [m]/4.785(effektive Länge [km] + effektive Breite [km])^{2,26}, Maß für das Schichtungsverhalten: F=1.5 trennt polymiktische von dimiktischen Seen (MIETZ & VIETINGHOFF 1994). ²nach CARVALHO et al. (2008) ³ nach MATHES et al. (2002), ⁴Ergebnisse dieser Studie.

Abkürzung	DRE	RUG	SCH	TIE	Düdinghau- ner-See	Kammer-See	Bistensee	Kellersee	Gülzsee	Kakower Obensee	Müritzer
					DUD	KRU	BIS	KES	GÜL	KOS	MÜR
Lfd. Nr. gemäß Abb. 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Seefläche [km ²]	6,918	0,354	0,48	0,16	0,18	0,53	1,456	5,51	0,39	7,99	104,6
Maximale Tiefe [m]	31,3	27,5	21,7	30,6	15,2	15	14,7	25,8	14,3	28,3	29
Mittlere Tiefe [m]	9,7	11	7,3	10,7	6,9	5,2	7,5	11,7	5	7,5	6,4
F (Tiefengradient) ¹	4,58	4,61	3,91	6,01	3,6	2,45	2,14	3,13	2,44	3,35	2,62
Volumenquotient [km ³ /10 ⁶ m ³]	0,36	0,51	0,43	0,72	0,98	1,48	2,1	2,3	2,52	2,78	0,99
Verweilzeit [yrs]	>10	12,89	>5	>10	>10	8,82	1,51	1,37	>10	0,98	10,1
Europäischer Seen-Typ ²	CBI	CBI	CBI	CBI	CBI	CBI	CBI	CBI	CBI	CBI	CBI
LAWA Seen-Typ ³	13	13	13	13	13	13	10	10	10	10	14
Untersuchung	2005 / 1998	2000 / 2010	1999 / 2000	1998 / 2000	1998 / 2001	2007 / 2008	2005 / 2005	2005 / 2002	2008 / 2003	2003 / 1999	2006 / 2010
(Bohrung / letzte chemische Analysen)											
Chla Sommer-MW [µg/l]	4,12	4,3	4-15,2	1,18-10,73	4,3	3,9	22,96	13,81	2,7-4,3	5,26	4,1
Seechl-Tiefe MW (min. - max)	5,5	3,1 (2,5-4)	2,5-4	0,8-2,2	1-2	4,3(2,7-6,4)		1,33	2,25-4	2(1,2-2,6)	3,1
TN MW [mg/l]	0,83	1,034	9,99	0,81	1,49	0,987	1,73	1,44	1,84	1,44	0,78
TP MW [µg/l]	30,7	59	14-78	33-97	20-70	8	47	63,5	20-40	26	2,4
Bohr-Position [N]	53° 32' 07,80"	53° 43' 33,95"	53° 14' 49,45"	53° 47' 29,56"	53° 54' 24,37"	53° 19' 40,68"	54° 23' 64,43"	54° 10' 42,49"	53° 35' 21,80"	53° 36' 39,24"	53° 25' 46,78"
Bohr-Position [E]	12° 21' 49,76"	11° 22' 51,39"	12° 50' 51,60"	12° 17' 25,69"	12° 12' 49,47"	12° 56' 14,87"	9° 41' 55,85"	10° 35' 41,09"	12° 18' 58,32"	12° 16' 37,94"	12° 35' 47,11"
bei n [m] Wassertiefe	910	1328	1650	992	1064	831	150	140	149	1984	1491
Kern-Länge [cm]	31,0	23,5	20,5	30,0	15,0	14,8	11,2	16,0	14,0	24,7	6,3
Alter an Kernbasis [cal.yrs BC/AD]	11900 BC	7650 BC	1200 BC	12550 BC	2800 BC	4270 BC	950 AD	390 AD	1150 AD	3900 BC	11600 BC
sign. Anstieg synanthr. Ph. [yrs AD] ⁴	1280	1180	1000	1320	1400	1330	1375	1150	1250	1280	1210
TP-Variabilität während TP-Vorbildungen [µg TP/l] ⁴	5-25	15-65	8-30	10-30	10-25	12-25	30-45	15-35	8-22	10-25	23-45
sign. DI-TP Anstieg seit [yrs AD] ⁴	11600	1210	1110	1955	1890	ohne	1750	1575	1250	1325	1985
Publiziert in	Hübener et al. 2008	Hübener et al. 2008 Dreßler et al. 2011	Schwarz 2006	Schwarz 2006 Dreßler et al. 2011	Dreßler et al. 2006	Küster et al. 2012	Hübener et al. 2009	Hübener et al. 2009	unpublished	Hübener & Dörlter 2004	Lampe et al. 2009

Tab. 1 Fortsetzung

Abkürzung	KPS	GUID	Tressdorfer See	Stolper See	SankeImarker See	Lanker See	Passauer See	Bondsholmer See	Stendorfer See	Einfelder See	Vielbecker See
			TRE	SIO	SAN	LAN	PAS	BOB	STE	BIS	VIE
Lfd. Nr gemäß Abb. 1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Seefläche [km ²]	2,641	0,707	1,111	1,33	0,568	3,7	2,73	0,71	0,55	1,78	0,272
Maximale Tiefe [m]	31,4	9,7	14,7	14,6	11,2	20,5	10,7	8,0	7,9	8,4	4,1
Mittlere Tiefe [m]	9	4,9	7,6	6,9	6,5	3,6	4,9	3,3	3,9	3,4	2,2
F (Tiefengradient) ¹	4,43	1,64	2,26	2,18	1,9	1,75	1,41	1,32	1,03	1,05	0,82
Volumenquotient [km ³ /10 ⁶ m ³]	18,6	17,6	7,3	6,1	5,2	32,3	9,2	6	8,9	1,4	7,4
Verweilzeit [yrs]	0,17	0,18	0,43	0,52	0,61	0,1	0,34	0,53	0,36	2,27	0,88
Europäischer Seen-Typ ²	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2	CBI/2
LAWA-Seen-Typ ³	10	11	10	10	10	11	11	11	11	14	11
Untersuchung	2005/2002	2005/2003	2005/2005	2005/2001	2005/2001	2007/2002	2007/2004	2007/2006	2007/2002	2007/2007	2002/2002
(Bohrung/letzte chemische Analysen)											
Chl-a Sommer-MW [µg/l]	13,14	49,53	18,44	16,85	41,15	41,3	43,3	48,9	60,5	44,9	73
Secchi-Tiefe MW (min - max)	0,84	3,43	2,99	1	3,15	1,1	1,1(0,7 - 2,1)	1(0,75 - 2)	1(0,6 - 1,5)	1(0,6 - 1,7)	0,7
TP MW [µg/l]	85,2	91,2	44	58,2	83,5	96	79	116	130	1,44	140
Bohr-Position [°N]	54°09'59,41"	53°32'99,75"	54°13'59,81"	54°07'78,49"	54°42'51,60"	54°11'59,14"	54°20'52,52"	54°09'52,72"	54°08'41,15"	54°08'41,15"	53°52'21,37"
Bohr-Position [°E]	10°23'18,44"	10°46'02,04"	10°28'21,04"	10°13'96,03"	9°25'55,07"	10°18'08,43"	10°18'59,54"	10°01'11,06"	10°42'18,90"	10°00'04,50"	11°10'18,57"
bei in [m] Wassertiefe	17,8	9,2	14,0	11,1	9	6,2	9,2	7,2	7,0	6,5	2,0
Kern-Lage [cm]	197	191	202	167	178	142	285	662	280	612	1330
Alter an Kernbasis [cal yrs BC/AD]	1720 AD	1410 AD	1450 AD	1630 AD	830 AD	500 AD	480 AD	1735 BC	370 AD	3650 BC	4000 BC
sign. Anstieg synanthr. PL [yrs AD] ⁴	< 1720	1820	1780	< 1630	1200	1550	1380	1280	720	1440	1080
TP-Variabilität während Referenzbedingungen [µg TP/d] ⁴	?	55 - 85	5 - 25	?	60 - 110	55 - 105	50 - 125	37 - 44	20 - 47	25 - 75	20 - 65
sign.-DI-TP Anstieg seit [yrs AD] ⁴	?	1950	1780	?	ohne	1950	ohne	1600	750	1890	1100
Publiziert in	Hübener et al. 2009	Hübener et al. 2009	Hübener et al. 2009	Hübener et al. 2009	Hübener et al. 2008b	Hübener et al. 2008b	Hübener et al. 2008b	Hübener et al. 2008b	Hübener et al. 2008b	Hübener et al. 2008b	Dreibler & Hübener 2006 Dreibler et al. 2011

3.2.3 TP Werte ohne auffällige Tendenz

In fünf der 22 Seen konnten TP Referenzkonzentrationen durchgängig bis heute nachgewiesen werden (KRU, SAN, PAS; Abb. 2g) oder konnten im betrachteten Sedimentabschnitt nicht definiert werden, da aus dem Pollendiagramm bereits mehr als nur geringe menschliche Beeinflussungen anzunehmen waren (KPS, STO; Abb. 2h).

Im KRU, SAN und PAS konnten die DI-TP Referenzwerte während der letzten ca. 1500 Jahre bis auf nur kurzzeitige Ausschläge von ca. 1500 - 1525 AD im KRU (Abb. 2g) durchgängig nachgewiesen werden. Im Sankelmarker (SAN) und Passader See (PAS) sind die TP Werte im Referenzzeitraum während nur minimaler menschlicher Beeinflussung sehr variabel und erreichen im SAN bereits Maxima von 110 $\mu\text{g TP/I}$; im PAS sogar 125 $\mu\text{g TP/I}$ (Tab. 1). Diese hoch eutrophen Phosphatwerte werden sowohl im SAN als auch PAS auch aktuell ermittelt (Tab. 1).

4 Diskussion

Paläolimnologische Studien an 22 kalkreichen Seen im norddeutschen Tiefland zeigen eine große Variabilität des Beginns nachhaltiger menschlicher Einflüsse. Basierend auf palynologischen Analysen liegt der auffällige Beginn menschlicher Siedlungseinflüsse im Einzugsgebiet der Seen zwischen ca. 750 (STE) und ca. 1820 AD (GUD) und damit durchgängig vor Beginn des Anthropozäns. Auffällige Siedlungspollenentwicklungen waren während slawischer Siedlungsphasen im Frühmittelalter (AD 750 - 1000), während deutscher Siedlungen im Hochmittelalter (AD 1150 - 1450) oder Phasen ökonomischer Erholung nach den Pestwüstungen und dem 30-jährigen Krieg nachweisbar. Diese Nutzungsänderungen im Polleneinzugsgebiet der Seen werden vielfach von synchronen Veränderungen gewässerinterner Güteparameter begleitet (RUG, GÜL, KOS, TRE; vgl. auch BRADSHAW et al. 2005). In anderen Fällen erfolgen diese seeinternen Veränderungen mit mehr oder weniger großer Verzögerung (DRE, SCH, TIE, DUD, BIS, KES; vgl. auch HÜBENER et al. 2009).

Vielfach erklärt sich dieser zeitliche Unterschied aus Differenzen in der Lage und Dimensionierung zwischen dem Pollen- und dem hydrologischen Einzugsgebiet des betreffenden Sees (DREBLER & HÜBENER 2011). Limnologische Prozesse können ebenfalls die Beziehungen zwischen dem Siedlungseinfluss und der seeinternen trophischen Reaktion beeinflussen. Im Dudinghausener See (DUD) erklärt sich die zeitliche Verzögerung des DI-TP Anstieges im Vergleich zu den im Pollendiagramm seit ca. 1400 AD (Tab. 1) nachgewiesenen verstärkten Siedlungsaktivitäten aus der Phosphatfällung durch Zustrom Fe-reichen Grundwassers (DREBLER et al. 2006). Ein anderes Beispiel ist der Kleine Plöner See, bei welchem die in der Schwentiner Seenkette oberhalb gelegenen Seen als Nährstoffalle fungieren, so dass der TP Input deutlich geringer ausfällt, als die über das Einzugsgebiet kalkulierte Menge (HÜBENER et al. 2009).

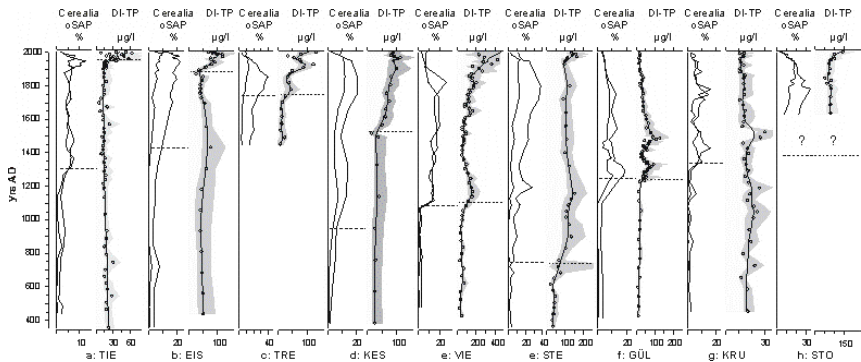


Abb. 2 Repräsentative Beispiele für Pollen- und DI-TP Entwicklungen aus Untersuchungen an 22 Seen in Norddeutschland. Getreidepollen (Cerealia, fette Linien) und sonstige synanthrope Pflanzen (oSAP, dünne Linien; jeweils als % Landpflanzen) als Indikatoren eines potentiellen Siedlungseinflusses im Einzugsgebiet. Der trophische Status des Gewässers wird durch den Diatomeen-basierten Gesamtphosphorgehalt (DI-TP; Einzelwerte, Trend und 95% Konfidenzintervall) dargestellt. Für mehr Details siehe Text, See-Abkürzungen nach Tab. 1.

Auch der Zeitpunkt des erstmalig deutlichen DI-TP Anstieges in den 22 Seen ist sehr variabel. 11 der 22 untersuchten Seen verloren die TP-Referenzbedingungen vor dem Beginn des Anthropozäns Mitte des 19. Jh., konkret zwischen ca. 750 AD (STE) und 1780 AD (TRE). Für zwei weitere Seen, den Kleinen Plöner und den Stolper See ließen sich die Referenzbedingungen nicht ermitteln, da im untersuchten Sedimentabschnitt kein Zeitraum fehlenden oder nur minimalen Siedlungseinflusses nachweisbar war. Da jedoch in beiden Seen die basalen DI-TP Werte oberhalb der für diesen Seetyp empfohlenen TP-Grenzwerte für den sehr guten Zustand liegen (MATHES et al. 2002, CARVALHO et al. 2008), wird angenommen, dass diese an der Sedimentbasis, d.h. ~1720 bzw. ~1630 AD ebenfalls keine Referenzzustände mehr aufwiesen. Damit erhöht sich der Anteil der Seen, die bereits vor 1850 AD keine Referenzzustände aufwiesen auf 13 von 22 (59 %). Jeweils drei Seen verloren den Referenzzustand nach 1850 oder nach 1950; in ebenfalls drei Seen gab es im betrachteten Zeitraum seit AD 500 keine Veränderung der trophischen Einstufung auf Basis der Diatomeen-Kernassoziationen.

BATTARBEE et al. (2011) erstellten einen Datensatz über paläolimnologische Studien in vielen Teilen Europas. In der Einschätzung des Einflusses der Intensivierung der Landwirtschaft in der 2. Hälfte des 20. Jh. besteht weitgehend Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen des Datensatzes von BATTARBEE et al. (2011) und dieser Studie: die größten trophischen Veränderungen der Gewässer vollzogen sich europaweit während der zweiten Hälfte des 20. Jh. Viele Seen waren jedoch bereits mehr oder weniger stark beeinträchtigt, so dass sich hier eine Veränderung, ausgehend von nur guten oder bereits schlechteren trophischen Bedingungen vollzog.

Nach BATTARBEE et al. (2011) ist die zweite Hälfte des 19. Jh. der zweitwichtigste Zeitraum für Veränderungen der Gewässerqualität in vielen Regionen Europas. Dies geht einher mit Diskussionen, wonach der Zeitraum vor 1850 AD als

Zeitpunkt empfohlen wird, vor welchem (i) generell Referenzzustände anzunehmen seien (BATTARBEE 1999, FOZZARD et al. 1999, BENNION et al. 2004, BJERRING et al. 2008) oder (ii) zumindest als Referenz für die aktuelle Etablierung eines `good ecological status` gemäß EU-WFD (EU 2000) empfohlen wird (BATTARBEE et al. 2011, BENNION et al. 2011). Dies wird mit in großen Teilen Europas nachweislichen Landnutzungsänderungen infolge der industriellen Revolution ab Mitte des 19. Jh. begründet.

Hier ergibt sich ein wichtiger Unterschied zu den Ergebnissen an 22 norddeutschen Seen, wonach das Hochmittelalter für große Gebiete des norddeutschen und zentraleuropäischen Flachlandes der nächstwichtigste Zeitraum für Veränderungen in der Landnutzung, verbunden mit negativen Einflüssen auf Seen und Fließgewässer, darstellt. In dem Gebiet nördlich und östlich der Elbe wurden ein Großteil der Städte, Kirchen und Klöster zwischen 1150 und 1450 AD erbaut. Dies war verbunden mit massiven und großflächigen Rodungsereignissen sowie Eingriffen in das hydrologische System (Anlage von Mühlenwehren, Fischzuchtanlagen etc.), was für das norddeutsche Flachland vielfach dokumentiert wurde. Ohle (1973, 1979) weist nach, dass Veränderungen des Seespiegelniveaus des Großen Plöner Sees um ca. 2 m im Jahr 1256 AD massive, bis in die Gegenwart andauernde Eutrophierungen zur Folge hatten. Vergleichbare Eutrophierungsursachen ergeben sich z.B. für Seespiegelerhöhungen am Krakower Obersee (HÜBENER & DÖRFLER 2004), die Müritz (LAMPE et al. 2009) und den Großen Eutiner See (WIECKOSKA et al. 2012).



Abb. 3 Entwicklung des Wald-Bestandes im Umfeld des Gölzsee (GÜL) basierend auf historischen und aktuellen Karten. links: Wiebeking'sche Karte (1786), mitte: preußische Karte (1888), rechts: aktuelle topographische Karte (Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen, Mecklenburg-Vorpommern; Maßstab = 500 m).

Die großflächigen Rodungen ab dem 13. Jh. sowie die bis ins 18. Jh. praktizierte Ackernutzung ohne Humusersatz führte zu einer großflächigen Versteppung ehemaliger geschlossener Waldgebiete (SCHMIDT 2006). Weiterhin unterlagen die verbliebenen Waldbestände des norddeutschen Raumes auch nach den massiven Rodungen des Hochmittelalters einer vielfältigen Nutzung (Schiffs-, Hafen- und Deichbau, Waldweide, Holzkohlegewinnung, Glasverhüttung), so dass weite Landstriche bis zum Ende des 18. Jh. fast waldfrei waren (HASE 1983). Erst nach regionalen Wiederaufforstungserlassen ab 1720 AD in Mecklenburg (SCHMIDT 2006) und 1784 in Schleswig-Holstein kam es zu umfangreichen Aufforstungen (vgl. Abb. 3). Die stabilen mesotrophen Referenzzustände des Krummen Sees bzw. die wiederhergestellten Referenzzustände im Gölzsee sind ein positiver Effekt der Wiederbewaldung um diese Seen (dokumentiert durch historische und aktuelle

Karten: WIEBEKING & ENGEL 1786, PREUßISCHE LANDESAUFNAHME 1888, UMWELT-MINISTERIUM MECKLENBURG-VORPOMMERN 2003 und Studien: KÜSTER et al. 2012).

BRADSHAW et al. (2005) weisen ähnliche Einflüsse für den Dallund See auf der Insel Fyn (Dänemark) nach und zeigen, dass diese Einflüsse nicht auf das norddeutsche Flachland beschränkt waren. Nach ROSEN et al. (2011) vollzog sich im südlichen Schweden der während des Holozäns umfangreichste Einfluss auf die natürlichen Vegetation zwischen 1000 und 1750 AD, welches wiederum zu einem massiven mineralischen Eintrag in die Gewässer führte. In Südschweden wurde das Maximum der Entwaldung zur Mitte des 19. Jh. erreicht, erst anschließend griffen Wiederaufforstungsprogramme (RENBERG et al. 1993).

Der hohe Anteil von Seen bei denen sich im Gegensatz zu der Studie von BATTARBEE et al. (2011) teilweise deutlich vor 1850 AD massive Veränderungen nachweisen lassen, liegt an der Fokussierung auf ein Untersuchungsgebiet welches eine bereits jahrhundertelange Nutzungsgeschichte mit teilweise massiven Einflüssen auf die Gewässer des Gebietes aufweist. Weiterhin illustriert diese Studie, dass jeder See einmalig ist. Es ist einerseits notwendig, die Referenzzustände seetypspezifisch zu bestimmen, andererseits wird deutlich dass jeder See auch ganz spezifisch reagieren kann. Die hohe Variabilität des Verlustes von Referenzzuständen begründet die Annahme, dass es keinen einheitlich geltenden Zeitpunkt gibt, vor welchem generell Referenzzustände angenommen werden können.

Danksagung

An den paläolimnologischen Analysen, vornehmlich den Diatomeen-Analysen dieser Arbeit waren viele Absolventen, Projektmitarbeiter und Kollegen der AG Phykologie am Lehrstuhl für Allgemeine & Spezielle Botanik beteiligt. Das sind im Einzelnen Petra Werner, Anja Schwarz, Kirsten Langner, Anna-Marie Klammt, Mirko Dreßler und Sven Adler. Die sedimentchemischen Analysen stammen von Uwe Selig (Universität Rostock) und Hinrich Meyer (Universität Greifswald), die Pollenanalysen von Walter Dörfler (Universität Kiel) und Manuela Schult (Universität Greifswald). Die Datierung erfolgte durch Helmut Erlenkeuser, Pieter M. Grootes und Matthias Huels (Universität Kiel). Bei der Bohrung wurden wir über die Jahre unterstützt durch Burkhardt Scharf (Bremen), Walter Dörfler und Oliver Nelle (Universität Kiel) sowie Reinhardt Lampe und Sebastian Lorenz (Universität Greifswald). Regine Paschen und Karin Fink sei für die langjährige technische Assistenz gedankt. Jürgen Mathes (Seenprojekt im Umweltministerium MV) und Mandy Bahnwart (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes SH) danken wir für die Überlassung der Gewässerdaten.

Literatur

- ADLER, S. (2008): New package paltran 1.0: WA, WA-PLS, (POM) and MW for paleolimnology in R 2.6.1. <http://www.r-project.org>
- BATTARBEE, R.W. (1999): The importance of paleolimnology to lake restoration. - *Hydrobiologia*, 395/396: 149–159.
- BATTARBEE, R. W., JUGGINS, S., GASSE, F., ANDERSON, N.J., BENNION, H. & CAMERON, N.G. (2000): European Diatom Database (EDDI). An information system for paleoenvironmental reconstruction. European Climate Science Conference, European Commission, Vienna, Austria 1998: 1-10.
- BATTARBEE, R.W., MORLEY, D., BENNION, H., SIMPSON, G.L., HUGHES, M. & BAUERE, V. (2011): A palaeolimnological meta-database for assessing the ecological status of lakes. - *Journal of Paleolimnology*, 45: 405–414.
- BENNION, H., FLUIN, J. & SIMPSON, G.L. (2004): Assessing eutrophication and reference conditions for Scottish freshwater lochs using subfossil diatoms. - *Journal Applied Ecology*, 41:124–138.
- BENNION, H., BATTARBEE, R.W., SAYER, C.D., SIMPSON, G.L. & DAVIDSON, T.A. (2011): Defining reference conditions and restoration targets for lake ecosystems using palaeolimnology: a synthesis. - *Journal of Paleolimnology*, 45: 533-544.
- BJERRING, R., BRADSHAW, E.G., AMSINCK, S.L., JOHANSSON, L.S., ODGAARD, B.V., NIELSEN, A.B. & JEPSEN, E. (2008): Inferring recent changes in the ecological state of 21 Danish candidate reference lakes (EU Water Framework Directive) using palaeolimnology. - *Journal of Applied Ecology*, 45: 1566–1575.
- BRADSHAW, E.G., RASMUSSEN, P., & ODGAARD, B.V. (2005): Mid- to late-Holocene land-use change and lake development at Dallund Sø, Denmark: synthesis of multiproxy data, linking land and lake. - *The Holocene*, 15: 1152-1162.
- CARVALHO, L., SOLIMINI, A., PHILLIPS, G., VAN DEN BERG, M., PIETILÄINEN, O.-P., LYCHE SOLHEIM, A., POIKANE, S. & MISCHKE, U. (2008): Chlorophyll reference conditions for European lake types used for intercalibration of ecological status. - *Aquatic Ecology*, 42: 203–211.
- DREßLER, M., SELIG, U., DÖRFLER, W., ADLER, S., SCHUBERT, H. & HÜBENER, Th. (2006): Environmental changes and the migration period in Europe by the example of Lake Dudinghausen (northern Germany). - *Quaternary Research*, 66: 25-37.
- DREßLER, M. & HÜBENER, Th. (2011): Diatomeenuntersuchungen zur Trophieentwicklung des Rugensees nördlich von Schwerin (Mecklenburg-Vorpommern) während des Holozäns. In: Schülke, Almut: Landschaften – Eine archäologische Untersuchung der Region zwischen Schweriner See und Stepenitz. Römisch-Germanische Forschungen, 68: 337-359.
- EDDI (Europaen Diatom Database Initiative). <http://craticula.nc.ac.uk/eddi/jsp>
- EUROPEAN UNION (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23.10.2000 Establishing a framework for Community action in the field of water policy. - *Official Journal of the EC L*, 327: 1-72.
- FOZZARD, I.R., DOUGHTY, C.R., FERRIER, R.C., LEATHERLAND, T.M. & OWEN, R. (1999): A quality classification for management of Scottish standing waters. - *Hydrobiologia*, 395/396: 433–453.

- HASE, W. (1983): Abriß der Wald- und Forstgeschichte Schleswig-Holsteins im letzten Jahrtausend. - Schriftenreihe Naturwissenschaftlicher Verein Schleswig-Holstein, 53: 83-124.
- HÜBENER, TH. & DÖRFLER, W. (2004): Reconstruction of the trophic development of the Lake Krakower Obersee (Mecklenburg, Germany) by means of sediment-diatom- and pollen-analysis. - *Studia Quaternaria*, 21: 101-108.
- HÜBENER, TH., DREßLER, M., SCHWARZ, A., LANGNER, K. & ADLER, S. (2008a): Dynamic adjustment of training sets ('moving-window' reconstruction) by using transfer functions in paleolimnology – a new approach. - *Journal of Paleolimnology*, 40: 79-95.
- HÜBENER, TH., ADLER, S., SCHULT, M., BARTHELMES, A., MICHAELIS, D., MEYER, H., GROOTES, P.M., HUELS, M. & ERLLENKEUSER, H. (2008b): Paläolimnologische Untersuchungen zur Rekonstruktion von typspezifischen Referenzzuständen in schleswig-holsteinischen Seen (Seetypen 11, 14). Projektbericht i.A. des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel-Flintbeck.
- HÜBENER, TH., ADLER, S., WERNER, P., SCHULT, M., EERLENKEUSER, H., MEYER, H. & BAHNWART, M. (2009): A multi-proxy paleolimnological reconstruction of trophic state reference conditions for stratified carbonate-rich lakes in Northern Germany. - *Hydrobiologia*, 631: 1, 303-327. (DOI 10.1007/s10750-009-9819-4)
- HÜBENER, TH., ADLER, S., WERNER, P., SCHWARZ, A. & DREßLER, M. (2015): Identifying reference conditions for dimictic north German lowland lakes: implications from paleoecological studies for implementing the EU-Water Framework Directive. - *Hydrobiologia*, 742: 295-312 (DOI 10.1007/s10750-014-1992-4).
- KÜSTER, M., JAHNKE, W., MEYER, H., LORENZ, S., LAMPE, R., HÜBENER, TH. & KLAMMT, A.M. (2012): Zur jungquartären Landschaftsentwicklung der Mecklenburgischen Kleinseenplatte. Geomorphologische, bodenkundliche und limnogeologische Untersuchungen am Krümmen See bei Blankenförde (Mecklenburg). - *Forschung und Monitoring*, 3: 1-79.
- LAMPE, R., LORENZ, S., JAHNKE, W., MEYER, H., KÜSTER, M., HÜBENER, TH. & SCHWARZ, A. (2009): Zur Landschafts- und Gewässergeschichte der Müritz Umweltgeschichtlich orientierte Bohrungen 2004 –2006 zur Rekonstruktion der nacheiszeitlichen Entwicklung. *Forschung und Monitoring* 2: 1-95.
- MATHES, J., PLAMBECK, G. & SCHAUMBURG, J. (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. - Aktuelle Reihe Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 5: 15-23.
- MIETZ, O. & VIETINGHOFF, H. (1994): Zu den funktionellen Abhängigkeiten zwischen morphometrischen topographischen und trophischen Kriterien von Seen. - *Wasserwirtschaft*, 84: 662-667.
- MINGRAM, J., NEGENDANK, J.F.W., BRAUER, A., BERGER, D., HENDRICH, A., KOHLER, M. & USINGER, H. (2007): Long cores from small lakes—recovering up to 100 m-long lake sediment sequences with a high-precision rod-operated piston corer (Usinger-corer). - *Journal of Paleolimnology*, 37: 517–528.
- NADÉAU, M.J., GROOTES, P.M., SCHLEICHER, M., HASSELBERG, P., RIECK, A. & BITTERLING, M. (1998): Sample throughput and data quality at the Leibniz-Labor AMS facility. *Radiocarbon*, 40: 239-245.

- OHLE, W. (1973): Rasante Eutrophierung des Großen Plöner Sees in frühgeschichtlicher Zeit. - *Naturwissenschaften*, 60: 47.
- OHLE, W. (1979): Ontogeny of the Lake Grosser Plöner See. *Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese pleistocene* 3-33. Kyoto University.
- POIKANE, S., ALVES, M.H., ARGILLIER, C., VAN DEN BERG, M., BUZZI, F., HOEHN, E., DE HOYOS, C., KAROTTKI, I., LAPLACE-TREYTURE, C., LYCHE SOLHEIM, A., ORTIZ-CASAS, J., OTT, I., PHILLIPS, G., PILKE, A., PÁDUA, A., REMEC-REKAR, S., RIEDMÜLLER, U., SCHAUMBURG, J., SERRANO, M.S., SOSZKA, H., TIERNEY, D., URBANIC, G. & WOLFRAM, G. (2010): Defining Chlorophyll-a Reference Conditions in European Lakes. - *Environmental Management*, 45: 1286–1298.
- PREUßISCHE LANDESAUFNAHME (1888): Messtischblatt 2439 Karow. <http://www.geoportal-mv.de/>
- REFCOND (2003): Final guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries from inland surface waters. Common Implementation Strategy (CIS) Working Group 2.3, Version 7.0, 5.3.2003
- RENBERG, I., KORSMAN, T., & BIRKS, H.J.B. (1993): Prehistoric increases in the pH of acid-sensitive Swedish lakes caused by land-use changes. - *Nature*, 362: 824–826.
- ROBBINS, A. & EDINGTON, D.N. (1975): Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39: 285–304.
- ROSEN, P., BINDLER, R., KORSMAN, T., MIGHALL, T. & BISHOP, K. (2011): The complementary power of pH and lake water organic carbon reconstructions for discerning the influences on surface waters across decadal to millennial time scales. - *Biogeosciences Discussion*, 8: 2439–2466.
- SCHMIDT, G. (2006): Veränderungen der Waldfläche in Mecklenburg-Vorpommern vom Beginn der Ostkolonisation bis zum 20. Jahrhundert – dargestellt an einzelnen Beispielen. In: Schorcht, M.: Beiträge zur Geschichte des Forstwesens in Mecklenburg-Vorpommern. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei: 26-62.
- UMWELTMINISTERIUM MECKLENBURG-VORPOMMERN (2003): Die Naturschutzgebiete in Mecklenburg-Vorpommern. Demmler Verlag.
- VOLLENWEIDER, R.A., KEREKES, K. (1982): Eutrophication of waters. Monitoring, assesment and control. Organisation for economic co-operation and development, Paris.
- WIEBEKING, K.F. VON & ENGEL, F. (1786): Historischer Atlas von Mecklenburg. Bölau-Verlag 1962, reprint.
- WIECKOWSKA, M., DÖRFLE, W. (2012): Vegetation and settlement history of the past 9000 years as recorded by lake deposits from Großer Eutiner See (Northern Germany). - *Review of Palaeobotany and Palynology*, 174: 79–90.