

Landesbibliothek Oldenburg

Digitalisierung von Drucken

Oldenburger Jahrbuch

**Oldenburger Landesverein für Geschichte, Natur- und
Heimatkunde**

Oldenburg, 1957-

[Teil III: Naturkunde]

urn:nbn:de:gbv:45:1-3267

Ummo Lübben

Zum Vorkommen der Moltebeere (*Rubus chamaemorus* L.) im Ipweger Moor

Verbreitung

Fast ununterbrochen erstreckt sich das Hauptareal der Moltebeere (*Rubus chamaemorus* L.) von Nordeuropa über Sibirien und Alaska bis Labrador (Abb. 1). Isolierte Vorkommen außerhalb dieses zirkumpolaren Gürtels lassen vermuten, dass es sich um Reste eiszeitlicher Verbreitung handelt. Mit zunehmender Erwärmung folgte die Pflanze dem zurückweichenden Eisrand nach Norden. Restbestände konnten sich im kühlfeuchten Kleinklima mooriger Mittelgebirgslagen und in Hochmooren der Ebene bis in unsere Zeit halten. In Mitteleuropa gibt es derartige Reliktorkommen nur noch im Riesen- und Isergebirge, im Lebamoor in Pommern und in zwei nordwestdeutschen Geestrandmooren: im Neuenlander Moor südlich Bremerhavens und im Ipweger Moor nordöstlich von Oldenburg.

Schon länger erloschen sind die Fundstellen am Kniebis im Nordschwarzwald, auf dem Hohen Meißner, dem Darß und auf Usedom. Noch um die Mitte des letzten Jahrhunderts war die Moltebeere auch auf der nördlichen Fortsetzung des Ipweger Moores anzutreffen: im Oldenbroker Moor, im Mentzhausener Moor und im Jader Kreuzmoor. Weitere Bestände gab es im Kehdinger Moor nordwestlich von Stade und im Weißen Moor bei Heide in Schleswig-Holstein.

Zweihäusigkeit

Eine Besonderheit der Moltebeere ist ihre Zweihäusigkeit. Nie findet man männliche (Abb. 3) und weibliche Blüten (Abb. 4) auf ein und derselben Pflanze. Sogar ganze Bestände können sich als rein männlich oder rein weiblich erweisen. Die Ausbreitung erfolgt dann allein durch die kräftigen Wurzeläusläufer. Früchte (Abb. 2) entwickeln sich nur dort, wo beide Geschlechter nebeneinander auftreten. Diese in Deutschland einmalige Situation liegt im Ipweger Moor vor. Hier kennt man am Ufer eines inzwischen verlandeten Kolks einen Bestand, in dem sich die Bereiche männlicher und weiblicher Pflanzen teilweise überschneiden. Als Blüten besuchende Insekten und mögliche Bestäuber wurden vor allem Tanzfliegen (Empididae) und Glanzkäfer (Nitidulidae) beobachtet.

Anschrift des Verfassers: Ummo Lübben, An der Bäke 1, D-26215 Wiefelstede

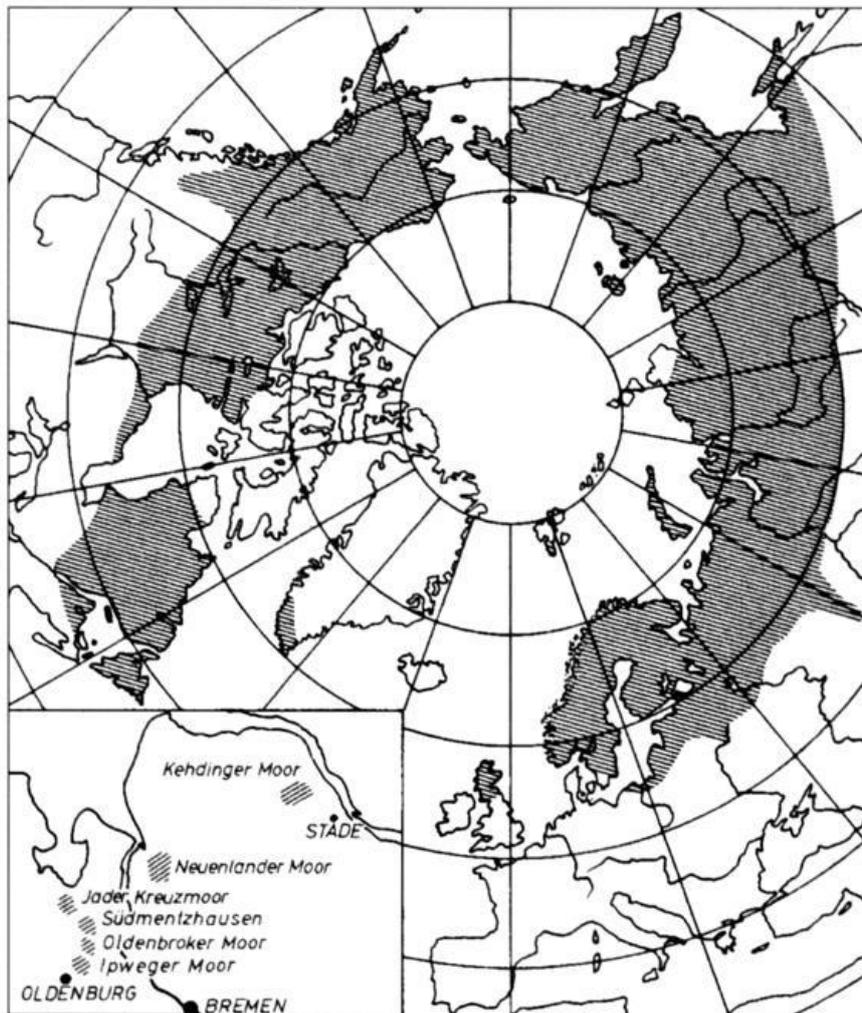


Abb. 1: Das Hauptareal der Moltebeere und die Vorkommen in Nordwestdeutschland um 1960 (nach HARDER et al. 1962 und Angaben des Verfassers).

Von dem 3.200 m² umfassenden männlich-weiblichen Bestand entfallen etwa 200 m² auf das weibliche Teilareal. Zwei weitere im Nahbereich gelegene Moltebeerflächen von 400 m² bzw. 200 m² (vgl. Abb. 15) weisen, wie auch das rezente Vorkommen im Neuenlander Moor, nur männliche Pflanzen auf. Von den erloschenen norddeutschen Beständen waren alle bis auf einen männlich.

Auch im subarktischen Hauptareal stellte man die eigenartige Verbreitung der Geschlechter fest. Auf Spitzbergen z. B. wurde die Pflanze „ausschließlich in weiblichen Exemplaren“ gefunden. Für Grönland wird ihre Verbreitung mit „streckenweise nur weiblich, in anderen Gegenden nur männlich“ beschrieben (KNUTH 1898 ff.). Da keimende Samen und Keimpflanzen „im allgemeinen verhältnismäßig seltene Erscheinungen in der Natur“ sind, sieht RESVOLL (1925) die große Bedeutung der Molte-Ausläufer in ihrer Rolle als „Verbreitungsorgane der Individuen“. Die starke vegetative Ausbreitung lässt EBER (2001) vermuten, dass „jeder Bestand nur ein einzelner Klon“ ist.



Abb. 2: Fruchtende Moltebeere (Foto: G. Hahn).



Abb. 3: Männliche Blüte der Moltebeere mit Staubblättern (Foto: G. Hahn).



Abb. 4: Weibliche Blüte der Moltebeere mit grünlichen Fruchtblättern (Foto: H. Kokko).

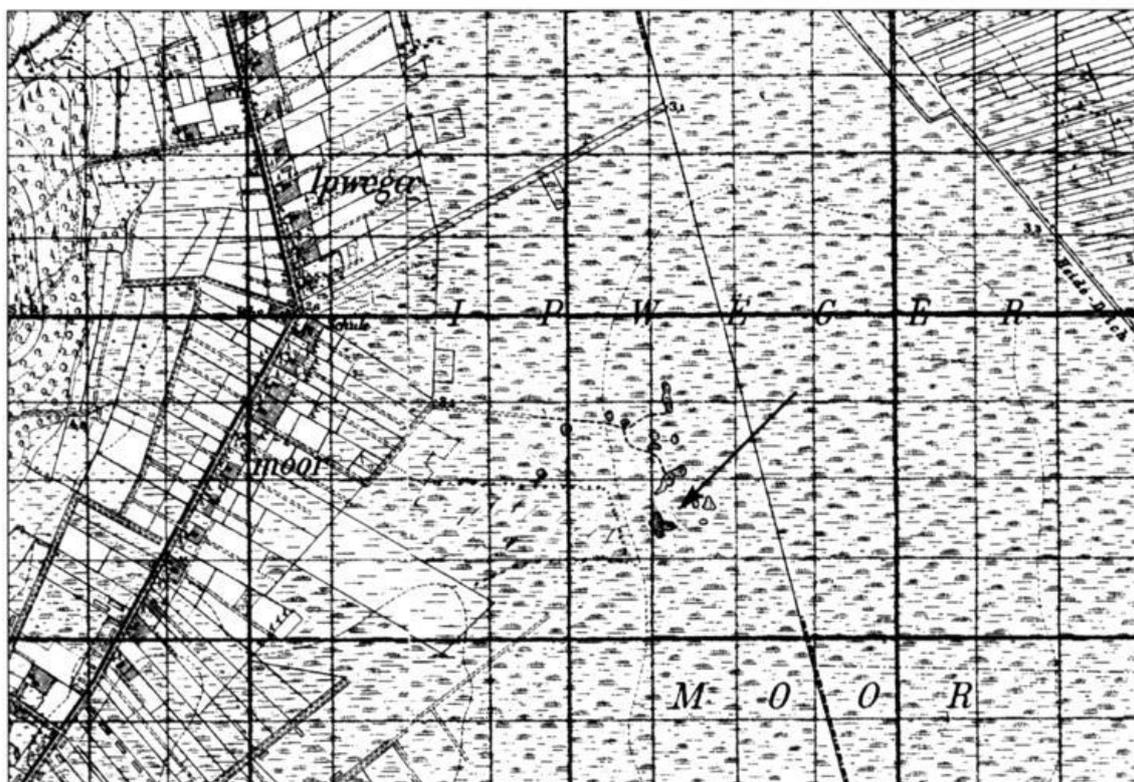


Abb. 5: Die „Barkenkuhlen“ im Ipweger Moor um 1920: Der Pfeil zeigt auf den Kolk, an dem F. Minder 1913 die Moltebeere fand (Ausschnitt aus der Preußischen Landesaufnahme PL 2715 Rastede).

Die „Beere“ ist eine Sammelfrucht, die aus mehreren Steinfrüchtchen besteht. Die anfangs hellroten, später orangefarbenen Früchte schmecken angenehm säuerlich. Zum Zeitpunkt ihrer vollen Reife zergehen sie fast auf der Zunge, was auch der Name „Moltebeere“ ausdrückt. Die Bezeichnung „Molte-“ ist aus dem Skandinavischen entlehnt und bezieht sich auf die im Reifezustand sehr weiche Frucht. Im Norwegischen hat „molten“ die Bedeutung „weich, mürbe“. Der Begriff ist verwandt mit dem Wort „schmelzen“.

Kolk A der „Barkenkuhlen“

Das Vorkommen der Moltebeere im Ipweger Moor wurde bekannt durch den Braker Studienrat Dr. Friedrich Minder. Durch Zufall fand er am 12. Juli 1913 die seltene Zwergbrombeerart am südlichsten der auf dem Messtischblatt eingezeichneten Kolke (vgl. Abb. 5). Am Westufer bildete die Moltebeere damals einen Gürtel von 90 m Länge und durchschnittlich 15 m Breite. Besonders gut schien sie auf dem erhöhten Kolkrand zwischen üppiger Besenheide (*Calluna vulgaris*) zu gedeihen. Etwa zwei Dutzend dicht beieinander stehender Sprosse trugen Früchte. An weiteren seltenen Arten wuchsen „in der Nähe“ z. B. die Blumenbinse (*Scheuchzeria pa-*



Abb. 6: Mai 1960: Blick über den Calluna-reichen Moltebeerstandort in Südrichtung auf Kolk A (Foto: U. Lübben).



Abb. 7: April 1980: Blick über den von Pfeifengras und Moorbirken dominierten Moltebeerstandort in Südrichtung auf Kolk A. Im Vordergrund eine vom Rehbock „gefegte“ Birke (Foto: U. Lübben).

lustris), die Moorlilie (*Narthecium ossifragum*) und alle drei Sonnentauarten (*Drosera rotundifolia*, *D. intermedia* und *D. anglica*). Über seine Begegnung mit dem bis dahin als „völlig unzugänglich“ geltenden Ipweger Moor schrieb MINDER (1914): „Das Moor ist ziemlich mühsam zu begehen, bald hemmen die Gräben, bald Wasserlachen das Vordringen und im Innern ermüdet die hohe *Calluna* den Schritt.“ Noch 1937 gehörte das in seinem zentralen Bereich nur wenig entwässerte Ipweger Moor zu den baumfreien Mooren (SCHOENICHEN 1937).

Zur Soziologie

Im System der nordwestdeutschen Pflanzengesellschaften zählt die Moltebeere zu den Pflanzen des Erico-Sphagnetum magellanici, der charakteristischen Bultengesellschaft lebender Hochmoore. Die Gesellschaft ist „nur noch in kleinflächigen Relikten im Kontakt mit schlenkenartigen Torfmoosdecken vor allem in Kolknähe zu finden“ (EBER 2001). Kennarten sind die Glockenheide (*Erica tetralix*) und die Torfmoose *Sphagnum magellanicum*, *S. rubellum* sowie das seltenere *S. papillosum*. Zum Artenbestand gehören auch die Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*), die Moosbeere (*Vaccinium oxycoccus*), die Besenheide (*Calluna vulgaris*), die Krähenbeere (*Empetrum nigrum*), das Scheidige Wollgras (*Eriophorum vaginatum*), der Rundblättrige Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) und die Moorlilie (*Narthecium ossifragum*) (vgl. Abb. 8-14 und 16-17). Letztere ist eine typisch atlantische Heidemoorpflanze, die das mitteleuropäische Florengebiet nur im Nordwesten berührt.

Vegetationsaufnahmen, die im Sommer 1956 am Nordufer des Kolks A durchgeführt wurden, ergaben z. T. deutliche Abweichungen vom typischen Bild des Erico-Sphagnetum magellanici. Allgemein fortgeschritten war die Entwicklung zum *Calluna*-reichen Folgestadium, einem Degenerationsstadium der Hochmoor-Bultengesellschaft. Die Besenheide und das Scheidige Wollgras wiesen in allen Probeflächen Deckungsgrade von 50-70 % auf. Die Moltebeere stand am Kolkrand mit über 50 % am dichtesten. Sie mied den nassen Schwingrasen mit seinen dichten Polstern aus *Sphagnum fallax*. In weiterer Entfernung vom Kolk erreichte sie Werte zwischen 25 und 50 %. Hier zeigten an einer Stelle das Weiße Schnabelried (*Rhynchospora alba*) und ein reichliches Vorkommen des Lebermooses *Odontoschisma sphagni* einen feuchteren Standort an. Die Deckungswerte der Moorbirke (*Betula pubescens*) lagen unter 5 %. Das Pfeifengras (*Molinia caerulea*) war nur sporadisch zu finden. In der Mooschicht traten Flechten dominant auf. Das Lebermoos *Leptoscyphus anomalus* wurde mit durchgehend hohen, das Torfmoos *Sphagnum molle* mit kleineren Werten notiert.

Gefährdung der Pflanze

Die Dichte des Moltebeerbestandes am Kolk A ging in den letzten Jahrzehnten drastisch zurück (Abb. 15). Das gilt insbesondere für die zwei Ar große, von weiblichen Pflanzen besiedelte Teilfläche am Nordostufer, wo um die Mitte der 1950er Jahre manchmal 250 bis 300 Früchte heranreiften. An derselben Stelle bot sich bei Kartie-



Abb. 8: Glockenheide (*Erica tetralix*).



Abb. 9: Besenheide (*Calluna vulgaris*).



Abb. 10: Krähenbeere (*Empetrum nigrum*).



Abb. 11: Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) (Fotos: 8-11: G. Hahn).

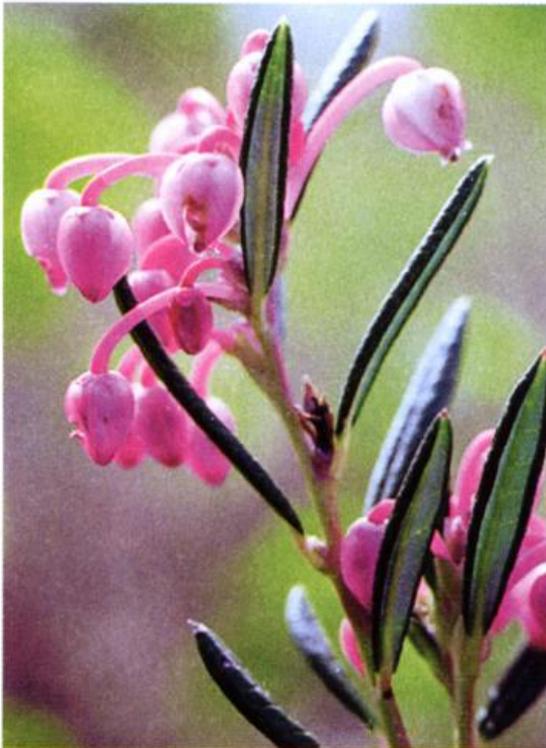


Abb. 12: Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*) (Foto: G. Hahn).



Abb. 13: Moorlilie (*Narthecium ossifragum*) (Foto: U. Lübben).



Abb. 14: Rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) (Foto aus ZIT 1990).

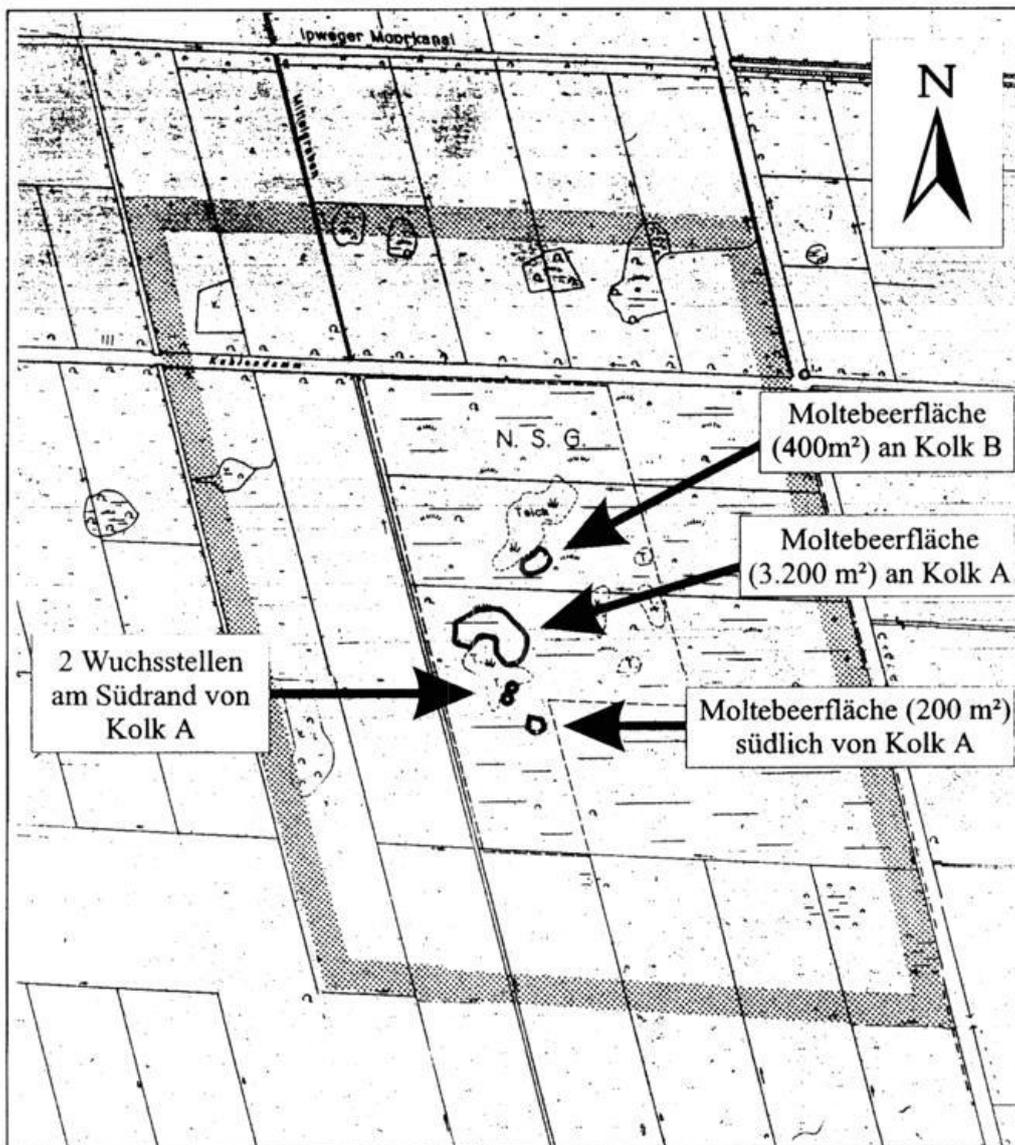


Abb. 15: Das NSG „Barkenkuhlen im Ipweger Moor“ im Jahr 2002: Lage der Moltebeerflächen (unmaßstäblich aus TK 2715 Rastede, aus MEYER-RAHMEL 2002).

rungsarbeiten während der Blüh- und Fruchtphase von Mai bis Juli 2002 ein schüchteres Gesamtbild blütenloser (!) Sprosse.

Am Schicksal der erloschenen nordwestdeutschen Moltebeerbestände lässt sich ablesen, dass die Kultivierung der Moore auch die kleinflächigen Schutzgebiete berührt. Entwässerungsgräben nehmen ihnen das Wasser. Langjähriger Eintrag von Düngestaub aus den umliegenden intensiv gedüngten landwirtschaftlichen Nutzflächen schadet der hochmoorspezifischen Flora. Üppige Pfeifengrashorste und Moorbirkendickichte zeigen die fortgeschrittene Austrocknung und höhere Nährstoffversorgung des Moores an. In der Enge und im Schatten gesellschaftsfremder Pflanzen kommt die Moltebeere jahrelang nicht zur vollen Entfaltung und unterliegt schließlich.



Abb. 16: Das fadendünne Rankenwerk der Moosbeere (*Vaccinium oxycoccus*) überzieht ein *Sphagnum magellanicum*-Polster (Foto: G. Hahn).



Abb. 17: Das Torfmoos *Sphagnum rubellum* ist nur noch in einzelnen Bulten anzutreffen (Foto: J. C. Schou).

Maßnahmen zur Bestandserhaltung

Von 1997 bis 2000 führte die Bezirksregierung Weser-Ems im NSG „Barkenkuhlen“ großflächige Wiedervernässungsmaßnahmen durch. Zusätzlich zur üblichen Schließung von Gruppen und Gräben wurden am Rande und innerhalb des Mooregebietes Weißtorfdämme aufgeschüttet. Sie sollen die Wasserstandsschwankungen verringern und damit indirekt die Ausbreitung des Pfeifengrases einschränken. Des Weiteren wurde der gesamte Wald aus Moorbirken, Kiefern und Faulbaum entkusselt und dadurch ein bedeutender Wasserzehrer aus dem NSG genommen. Eine stellenweise erfolgte Mahd überalterter Besenheide brachte der Moltebeere mehr Licht. Wo das Pfeifengras dominiert, wird es alljährlich einmal im August gemäht und aus dem Moor entfernt. Der Erfolg dieser Arbeiten soll im Rahmen eines Monitorings in regelmäßigen Abständen gemessen werden, sodass gegebenenfalls weitere Schritte zur Erhaltung des Moltebeerbstandes unternommen werden können. Dazu wurden im Auftrag des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie die drei Teilareale vermessen und, ausgehend von festen Markierungspunkten, in Rasterquadrate aufgeteilt. Für jedes Quadrat wurde die Zahl der Moltebeersprosse ermittelt und das Vegetationsbild fotodokumentarisch festgehalten. „Wie die Moltebeere auf die sich verändernden Standortbedingungen, – direkt durch den Anstieg des Wasserspiegels oder indirekt durch eine Veränderung der Artenzusammensetzung –, reagiert, kann nicht vorhergesagt werden“ (MEYER-RAHMEL 2002).

Blick nach Lappland

Moltebeeren, die als Relief die Rückseite der finnischen 2-Euro-Münze zieren (Abb. 18), lenken unseren Blick auf die noch ursprüngliche und reiche Natur der Moore im Norden Europas.

Nördlich des Polarkreises, in den subarktischen Nadelwäldern, Mooren und Sümpfen Lapplands, hat die Moltebeere einen ihrer großen Verbreitungsschwerpunkte. Ein typisches Element dieser Landschaft sind die sogenannten Zwergstrauchbänke, dammförmige Bulten aus Moospolstern, Sauergräsern und Zwergsträuchern zwischen den offenen Moor- und Wasserflächen. Darüber schreibt L. Zier (1977) nach der Durchquerung des Muddus-Nationalparks in Schwedisch-Lappland: „Besonders hier wachsen die bei uns fehlenden oder zumindest seltenen Moltebeeren, Sumpfporst und Zwergbirken. (...) Auf diesen Zwergstrauchbänken wandern die Pflanzen der Sumpfwälder hinaus in die offenen Moore.“



Abb. 18: Moltebeeren auf der Rückseite der finnischen 2-Euro-Münze.



Abb. 19: Die Gemeinde Unjárga/Nesseby am Varangerfjord im Norden Norwegens führt einen fruchtenden Spross der Moltebeere in ihrem Wappen. Für viele Einwohner der Gemeinde ist das Sammeln von Moltebeeren ein lohnender Nebenerwerb (Entwurf und Gestaltung des Wappens: Arvid Sveen (1986); Foto: © Arvid Sveen, N-9015 Tromsø).

Moltebeeren als Agrarpflanzen

Wenn nicht als Frucht in freier Wildbahn, so vielleicht doch als Konfitüre, Konfekt oder Likör ist die Moltebeere schon vielen Besuchern der nördlichen Breiten Europas zum Begriff geworden. Die Nachfrage nach den delikaten Früchten übersteigt das Angebot bei weitem (Abb. 20). Mit großem

Abb. 20: Juli 1992. Markttag in Inari/ Nordfinnland: Moltebeeren – Gold des Nordens (Foto: E. Strauß).



Abb. 21: 1958 stellt eine zugunsten des Finnischen Roten Kreuzes herausgegebene Sonderbriefmarke die Moltebeere als Heilpflanze vor.



Abb. 22: Eine weitere finnische Briefmarke mit dem Motiv der Moltebeere erschien 2005. Sie hat die Verwendung der Früchte als wertvolles Lebensmittel zum Thema.

Interesse verfolgte man daher die Bemühungen norwegischer, schwedischer, finnischer, schottischer und russischer Stellen, im gemeinsamen Forschungsprojekt „Northern Berries“ neben anderen Wildbeeren vor allem die Moltebeere als Agrarpflanze zu kultivieren. Leitung und Koordination des Projektes (2002-2005) lagen bei Wissenschaftlern der finnischen Universität Kuopio. Der Anbau optimierter Moltebeeren hat inzwischen begonnen. Eine zweisprachige DVD informiert über den Weg von der Wild- zur Agrarpflanze. Der Titel lautet: „Marjat – pohjolan kultaa“ / „Berries – Gold of the North“.

Literatur

- EBER, W. (2001): Die Pflanzenwelt im Oldenburger Land. – Oldenb. Forsch. N. F. 16: 1-232.
- HARDER R., F. FIRBAS, W. SCHUMACHER & D. VON DENFFER (Bearb.) (1962): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Stuttgart.
- HAYEN, H. (1969): Hochmoore in Schottland und Lappland: Wiedergabe eines Vortrags von J. Tüxen im Oldenburger Museum für Naturkunde und Vorgeschichte über „Nordwesteuropäische Hochmoore“. – In: Ostfriesen-Zeitung vom 20.03.1969.
- HEGL, G. (1961): Illustrierte Flora von Mittel-Europa. Bd. IV, 2. Teil. München.
- KLINGER, P. U. (1967): Zur Vegetation des Weißen Moores bei Heide. – Schr. Naturwiss. Ver. Schlesw.-Holst. 37: 100-105.
- KNUTH, P. (1898 ff.): Handbuch der Blütenbiologie. Leipzig.

- LÜBBEN, U. (1957): Beitrag zur Verbreitung und Biologie der in Nordwestdeutschland vorkommenden Moltebeere (*Rubus chamaemorus* L.). – Oldenb. Jahrb. **56**: 199-210.
- LÜBBEN, U. (1966): Reife Moltebeeren in einem nordwestdeutschen Moor. – Kosmos **62**: 250-253.
- MEYER, W. & J. VAN DIEKEN (1949): Pflanzenbestimmungsbuch für die Landschaften Oldenburg und Ostfriesland sowie ihre Inseln mit Berücksichtigung der Nachbargebiete. Bd. 1. Oldenburg.
- MEYER-RAHMEL, S. (2002): *Rubus chamaemorus*. Monitoring 2002 im Ipweger Moor für NLÖ Hildesheim. Harpstedt.
- MINDER, F. (1914): *Rubus chamaemorus* in Nordwestdeutschland. – Abh. Naturwiss. Ver. Bremen **23**: 108.
- NORDHAGEN, R. (1947): Hjortron og Hjortinger: Komparative Studier over Nordiske Dialektnavn på *Rubus chamaemorus*. – Nysvenska Studier **27**: 1-47.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde. Neumünster.
- RESVOLL, T. (1925): *Rubus chamaemorus* L. Die geographische Verbreitung der Pflanze und ihre Verbreitungsmittel. – Veröff. Geobot. Inst. der ETH, Stiftung Rübel, Zürich **3**: 224-241.
- SCHOENICHEN, W. (1937): Urdeutschland. Bd. 2. Neudamm.
- WEBER, H. E. (1972): Die Gattung *Rubus* L. (Rosaceae) im nordwestlichen Europa. – Phanerogamarum monographiae **7**. Vaduz.
- ZENTRALE INFORMATIONSTELLE TORF UND HUMUS (ZIT) (Hrsg.) (1990): Der Rohstoff Torf. Hannover.
- ZIER, L. (1977): Streifzüge durch Naturparadiese in Europa. Stuttgart.

Andere Quellen

Universität Kuopio: Marjat – pohjolan kultaa / Berries – Gold of the North. Video DVD (ISBN 951/27-0314-9)



Simon Orth und Stephan Hacker

EVI – ein neues Verfahren zur Flechtenkartierung*

Einleitung

Umweltschutz und Luftreinhaltung spielen in der heutigen Zeit eine immer wichtiger werdende Rolle. Allerdings ist es schwierig, an verlässliche Werte für die tatsächliche Luftverschmutzung heranzukommen, da nur wenige Institutionen die Möglichkeit haben, physikalisch-chemische Messwerte zu erzeugen und diese daher nur für wenige Gebiete vorliegen.

Eine gute Alternative zu den physikalisch-chemischen Messungen stellen Bioindikationen dar. Diese Methoden sind in den meisten Fällen sehr kostengünstig, schnell und einfach durchzuführen und lassen sich nahezu überall einsetzen. Des Weiteren haben Bioindikatoren den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu einer physikalisch-chemischen Messung nicht nur einzelne Schadstoffe erfassen. Viel mehr wird die Auswirkung der Gesamtheit aller Schadstoffe auf den Organismus untersucht, was in vielen Fällen einen Rückschluss auf das Ausmaß der Beeinträchtigung auf den Menschen zulässt (KRICKE 2002).

Eine Gruppe von Organismen, die die Fähigkeit besitzt, Veränderungen der Luftqualität kurzfristig und verlässlich anzuzeigen, ist die der epiphytischen Flechten, die in Europa nahezu überall vorkommt. Diese Organismengruppe setzt sich aus sehr vielen Vertretern zusammen, die durch ihr Vorkommen sehr unterschiedliche Luftqualitäten anzeigen. Die Toleranz der einzelnen Arten auf verschiedene Grade der Luftverschmutzung ist hierbei sehr eingehend untersucht (z. B. WIRTH 1992, UMWELTAMT DER STADT DORTMUND 1997). Dies macht zusammen mit der leichten Identifizierung der einzelnen Arten sowie der einfachen Charakterisierung ihrer Vitalität den Reiz dieser Methode aus.

Ein großes Problem der Bioindikation mit Flechten ist, dass in einem realen Untersuchungsgebiet immer Vertreter vieler verschiedener Empfindlichkeiten vorkommen und diese ins Verhältnis gesetzt werden müssen. Für diese Auswertung gibt es im Wesentlichen vier etablierte Methoden – den Toxitolanzdurchschnitt (vgl. KIRSCH-

* Die Arbeit wurde im Wettbewerb „Schülerpreis für Regionalforschung 2007“ des Oldenburger Landesvereins mit dem 1. Preis ausgezeichnet.

Anschrift der Verfasser: Simon Orth, Neue Straße 33, D-26689 Augustfehn,
Stephan Hacker, Buchnerstraße 19, D-78464 Konstanz

BAUM & WIRTH 1997), die VDI-Richtlinie 3799(1), den Luftgüteindex (UMWELTAMT DER STADT DORTMUND 1990) und den Häufigkeits-Toxizitätsindex (HTI) (vgl. KRICKE & FEIGE 2000). Alle diese Methoden setzen verschiedene Schwerpunkte bei der Berücksichtigung der Faktoren, die für die Flechtenkartierung von Bedeutung sind.

In unserer Gruppe konnte in Vorarbeiten gezeigt werden, dass alle diese Auswertungsmethoden im Weser-Ems-Gebiet keine reproduzierbaren Ergebnisse liefern. Als wesentliche Ursache hierfür vermuten wir den starken Nordseeinfluss auf die Flechtenvegetation (vgl. ORTH & SCHULZ 2003). Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung einer neuen Auswertungsmethode zur Flechtenkartierung, die besonders an die Situation im Einflussbereich des Nordseeklimas angepasst ist.

Vergleich der vorhandenen Methoden

Für die Bewertung der einzelnen Methoden lassen sich sechs wichtige Kriterien aufstellen, die in jedem Fall berücksichtigt werden sollten:

1. Zeigerwerte der Flechtenarten: Die unterschiedliche Empfindlichkeit der Flechtenarten sollte einen zentralen Einfluss auf das Messergebnis haben. Entscheidend ist hierbei aber auch die Anwendung einer guten Skala, wobei die Skala nach WIRTH (1992) der Skala des Umweltamts der Stadt Dortmund vorzuziehen ist, da letztere nur die Toleranz gegenüber Schwefeldioxid berücksichtigt (vgl. UMWELTAMT DER STADT DORTMUND 1997).
2. Artenvielfalt: Die Artenvielfalt an einem Messpunkt liefert eine sehr wichtige Information über allgemein gute Standortbedingungen und sollte daher ebenso entscheidend in die Berechnung eingehen.
3. Vollständigkeit: Alle Flechtenlager am Baum sollten berücksichtigt werden, da die Benutzung eines Zählgitters, wie z. B. beim VDI und beim LuGI, eine subjektive Vorauswahl darstellt, die die Reproduzierbarkeit behindert (KRICKE 2002).
4. Ausprägung der Flechtenlager: Die Vitalität der Flechtenart sollte ebenso beurteilt werden, da sie ergänzend zur Empfindlichkeit der Arten eine Aussage zulässt, ob diese gute Bedingungen vorfinden oder gerade noch überleben können.
5. Häufigkeit der einzelnen Arten: Der Häufigkeit der einzelnen Arten sollte bei der Gewichtung der Empfindlichkeiten eine entscheidende Bedeutung zukommen, damit einzelne, nicht-charakteristische Arten das Messergebnis nicht zu stark verfälschen.
6. Deckung: Neben der Häufigkeit der Arten sollte zusätzlich berücksichtigt werden, wie sehr diese die Oberfläche des Baumes bedecken. Besonders die Art oder Arten, die die Flechtenflora auf dem Baum prägen, sollten hierbei im Messwert einen größeren Einfluss haben als alle anderen (KRICKE 2002).

Basierend auf diesen sechs Kriterien lässt sich Tab. 1 mit den Vor- und Nachteilen der einzelnen Methoden erstellen. Die Einträge für unser neues Verfahren, den EVI, sind hier als Anforderungen an die Methode zu verstehen, die bei der Herleitung dieser die wesentliche Grundlage darstellen sollen.

Tab. 1: Vergleich der Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden.

	TOXI	VDI	LuGI	HTI	EVI
	Toxitolernanz-durchschnitt	VDI-Richtlinie	Luftgüte-Index	Häufigkeits-Toxitolernanz-Index	Empfindlichkeits-Vielfalts-Index
Zeigerwerte	Toxitolernanzwert nach Wirth	finden keine Berücksichtigung	Toxitolernanzwert des Umweltamts der Stadt Dortmund	umgekehrter Toxitolernanzwert nach Wirth	umgekehrter Toxitolernanzwert nach Wirth
Artenvielfalt	wird vernachlässigt	ein zentraler Punkt dieser Methode	wird vernachlässigt	ein zentraler Punkt dieser Methode	ein zentraler Punkt dieser Methode
Vollständigkeit	vollständig	nur im Gitter	nur im Gitter	vollständig	vollständig
Ausprägung der Flechtenlager	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt	über die Vitalität berücksichtigt	nicht berücksichtigt	über die Vitalität berücksichtigt
Häufigkeit der Flechtenarten	nicht berücksichtigt	innerhalb des Gitters gut bestimmt	nicht berücksichtigt	durch Auszählen überall gut bestimmt	durch Auszählen überall gut bestimmt
Deckung der Flechtenlager	wird vernachlässigt	innerhalb des Gitters gut bewertet	innerhalb des Gitters gut bewertet	nicht berücksichtigt	herausragende Arten werden hervorgehoben
Fazit	Es entsteht ein sehr guter erster Eindruck, mehr aber nicht.	Durch das Fehlen der Zeigerwerte wird der Ansatz der Bioindikation vernachlässigt.	Es werden nur die Empfindlichkeiten der Flechten ins Verhältnis gesetzt - dies aber besonders gut.	Es ergibt sich ein guter Überblick über das Messgebiet, wobei aber viele Ausreißer entstehen.	Diese Methode ergibt einen guten Eindruck über das Messgebiet ohne viele Ausreißer.

Legende: Gut berücksichtigt - Schlecht berücksichtigt - Nicht berücksichtigt

Man sieht in dieser Darstellung sehr gut, dass alle vorhandenen Methoden mehrere der allgemein als wichtig angenommenen Kriterien nicht berücksichtigen. In unseren Augen könnte hierin ein Grund für das Problem dieser Auswertungsmethoden bei unserer Kartierung im Nordwesten Deutschlands liegen.

Herleitung des EVI

Die Grundaufgabe und damit auch das Grundproblem bei der Erstellung des neuen Auswertungsverfahrens ist es, alle oben genannten Faktoren in einem möglichst sinnvollen Verhältnis in einer Formel zu berücksichtigen. Um dieser Anforderung gerecht werden zu können, haben wir uns entschieden, einen modularen Aufbau der Formel in der folgenden Form zu realisieren:

$$(1) \quad EVI = \text{Empfindlichkeitsdurchschnitt} \cdot \text{Artenvielfalt}$$

Wir haben uns für diese Aufspaltung entschieden, da diese beiden Faktoren – die Artenvielfalt und der Empfindlichkeitsdurchschnitt – aus unserer Sicht unter den sechs Kriterien die entscheidenden Parameter darstellen, wobei die anderen vier im Wesentlichen bei der Berechnung des Empfindlichkeitsdurchschnitts ihren Einfluss ausüben sollten. Aufgrund dieser zwei wesentlichen Module der Formel erhält die Methode ihren Namen – Empfindlichkeits-Vielfalts-Index (EVI).

Tab. 2: Vergabe der Artenvielfaltsklassen.

Artenvielfalt	Artenvielfaltsklasse
Monokultur	1
geringe Artenvielfalt (2-3 Arten)	2
mittlere Artenvielfalt (4-5 Arten)	3
große Artenvielfalt (>5 Arten)	4

Mit diesem Aufbau lässt sich ein Teil der Anforderungen an die Formel, nämlich die Berücksichtigung der Artenvielfalt, sehr einfach realisieren. Wir haben uns hierbei für Artenvielfaltsklassen nach dem Vorbild der Häufigkeitsklassen des HAT (vgl. UMWELTAMT DER STADT DORTMUND 1997) entschieden. Die Einführung der Artenvielfaltsklassen ist hierbei allerdings eine neue, einzigartige Eigenschaft unserer Auswertungsmethode. Sie ermöglicht es, die Artenvielfalt nicht aufwendig über andere Größen ausdrücken zu müssen und mindert auf diese Weise die Fehleranfälligkeit der Methode. Die Artenvielfaltsklassen können für jeden Baum einfach nach Tab. 2 vergeben werden, und es ergibt sich dann die neue Formel für den EVI:

$$(2) \quad EVI = \text{Empfindlichkeitsdurchschnitt} \cdot \text{Artenvielfaltsklasse}$$

Auch wenn auf den ersten Blick die Aufgabe noch nicht viel einfacher geworden ist, ist dies doch der entscheidende Schritt bei der Herleitung der neuen Methode. Nachdem man nämlich den zweiten Faktor in der Gleichung (2) ausgedrückt hat, kann man sich alleine darauf beschränken, einen geeigneten, gerichteten Mittelwert über die Empfindlichkeiten der einzelnen Arten zu errechnen.

Für diese Aufgabe ist die wesentliche Grundlage der Luftgüteindex (LuGI) (vgl. UMWELTAMT DER STADT DORTMUND 1997), dessen Berechnungsformel wie folgt aussieht:

$$(3) \quad LuGI = \frac{\sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Deckungsgradklasse} \cdot \text{Vitalitätsfaktor} \cdot \text{Empfindlichkeitswert der Stadt Dortmund}^{[3]}}{\sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Deckungsgradklasse}}$$

Wie schon beim Methodenvergleich diskutiert wurde, ist die wesentliche Kritik an diesem Verfahren, dass es die Artenvielfalt nicht berücksichtigt. Da diese beim EVI allerdings separat behandelt wird, tritt dieser Kritikpunkt hier nicht auf. Als Empfindlichkeitsdurchschnitt ist die Grundidee des LuGI von allen Methoden am besten geeignet, so dass er die Grundlage für diesen Teil unseres neuen Verfahrens darstellt.

Für die Anwendung in der neuen Formel unterzieht man ihn allerdings noch einigen Änderungen, um die weiteren Schwächen des LuGI zu beheben. Als Ausgangspunkt für unseren Empfindlichkeitsdurchschnitt haben wir daher die folgende aus dem LuGI abgeleitete Grundformel verwendet:

$$(4) \quad \text{Empfindlichkeitsdurchschnitt} = \frac{\sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Häufigkeit} * \text{Empfindlichkeit} * \text{Ausprägung}}{\sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Häufigkeit}}$$

Die Häufigkeit der Arten wird unserer Meinung nach am besten durch die Häufigkeitsklassen des HTI^[7] beschrieben, so dass diese als Maß für die Häufigkeit übernommen werden können. Ein wichtiger Unterschied ist hierbei allerdings, dass die Gesamtzahl der Flechtenlager beim EVI anders als beim HTI keine Rolle spielt (vgl. KRICKE & FEIGE 2000). Die Häufigkeitsklassen werden hier nur zur Gewichtung verwendet. Dieses Vorgehen scheint uns sinnvoll, da es eher die Artenvielfalt als die reine Zahl der Flechtenlager sein sollte, die den Messwert positiv beeinflusst.

Eine zusätzliche Änderung an den Häufigkeitsklassen ist die Einführung einer fünften Häufigkeitsklasse. Sie wird für Arten vergeben, die durch ihre sehr hohe Deckung für die Flechtenflora des Baumes prägend sind. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass die prägenden Arten auch tatsächlich den größten Einfluss auf den Messwert haben. Die Einordnung der Flechtenarten in die Häufigkeitsklassen erfolgt nach Tab. 3.

Tab. 3: Vergabe der Häufigkeitsklassen.

Häufigkeit der Flechtenart	Häufigkeitsklasse
eine Flechte	1
wenige Flechten (2-4 Lager)	2
einige Flechten (5-10 Lager)	3
viele Flechten (> 10 Lager)	4
Flechtenart prägend für den Baum	5

Für die Empfindlichkeit der Arten wird aus oben genanntem Grund die Skala nach WIRTH (1992) verwendet. Aus mathematischen Überlegungen ist hierbei die umgekehrte Skala vorzuziehen, wie sie auch beim HAT (vgl. Krick & Feige 2000) verwendet wird. Der Wert nach Wirth lässt sich wie folgt einfach in den umgekehrten Wert umrechnen:

$$(5) \quad \text{umgekehrter Empfindlichkeitswert nach Wirth} = 10 - \text{Empfindlichkeitswert nach Wirth}$$

Bei der Bewertung der Ausprägung wird der Vitalitätsfaktor des LuGI (vgl. UMWELTAMT DER STADT DORTMUND 1997) übernommen, wobei die Skala aus mathematischen Gründen von 0,8 bis 1,2 auf 0,75 bis 1,5 erweitert wird. Die Vitalitätsfaktoren werden den einzelnen Arten nach Tab. 4 zugeordnet. Eine gute Darstellung zur Bewertung der Vitalität ist bei KIRSCHBAUM & WIRTH (1997) zu finden.

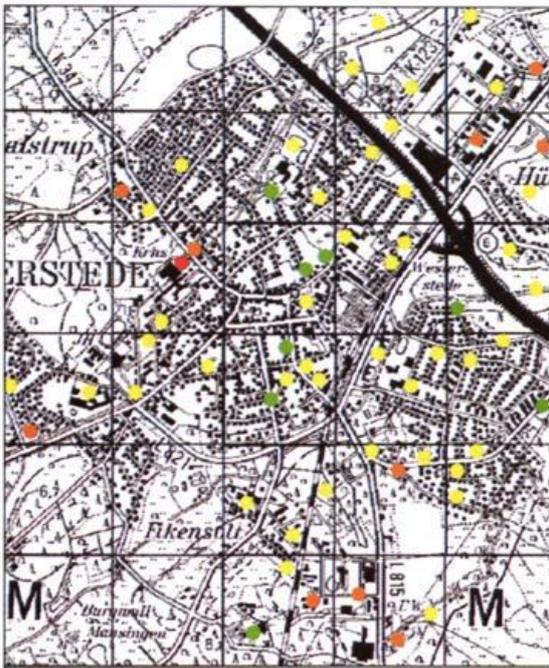


Abb. 1: Ergebnis der Kartierung nach dem EVI-Verfahren für Westerstede im Jahr 2003 mit Ahornen, Pappeln, Linden, Ulmen und Eschen.



Abb. 2: Ergebnis der Kartierung nach dem EVI-Verfahren für Westerstede im Jahr 2005 mit Ahornen, Pappeln, Linden, Ulmen und Eschen.



Abb. 3: Ergebnis der Kartierung nach dem EVI-Verfahren für Westerstede im Jahr 2007 mit Ahornen, Pappeln, Linden, Ulmen und Eschen.

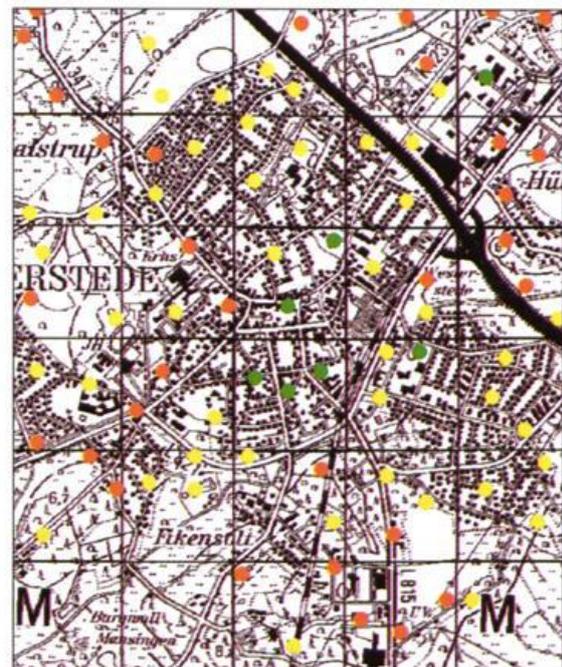
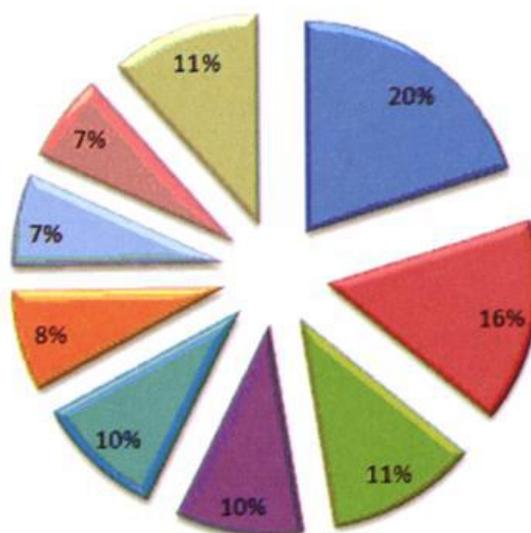


Abb. 4: Ergebnis der Kartierung nach dem EVI-Verfahren für Westerstede im Jahr 2005 mit Eichen.

- 1 *Physcia stellaris*
- 2 *Xanthoria parietina*
- 3 *Lecanora expallens*
- 4 *Lecanora carpinea*
- 5 *Parmelia sulcata*
- 6 *Buellia punctata*
- 7 *Candelariella xanthostigma*
- 8 *Lepraria incana*
- 9 Sonstige



- 1 *Physcia stellaris*
- 2 *Xanthoria parietina*
- 3 *Lepraria incana*
- 4 *Lecanora expallens*
- 5 *Parmelia sulcata*
- 6 *Evernia prunastri*
- 7 *Lecanora carpinea*
- 8 *Candelariella xanthostigma*
- 9 *Buellia punctata*
- 10 *Parmelia subaurifera*
- 11 *Physcia adscendens*
- 12 Sonstige

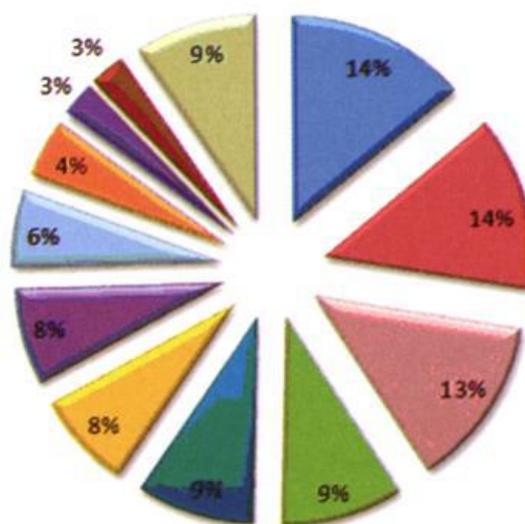


Abb. 5: Vorkommen der Flechtenarten an verschiedenen Bäumen; oben: an Pappeln, Ahornen, Linden, Eschen sowie Ulmen; unten: an Eichen.

Tab. 4: Vergabe der Vitalitätsfaktoren.

Ausprägung der Flechte	Vitalitätsfaktor
kümmertlich	0,75
normal	1,0
üppig	1,5

Mit diesen Änderungen können alle Kriterien, die in Tab. 1 für den EVI gefordert sind, erfüllt werden, und die finale Berechnungsformel ergibt sich wie folgt:

$$(6) \text{ EVI} = \frac{\sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Häufigkeitsklasse} * \text{umgekehrter Toxizitätswert} * \text{Vitalitätsfaktor}}{\sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Häufigkeitsklasse}} \cdot \text{Artenvielfaltsklasse}$$

Mit dieser Formel lässt sich jedem untersuchten Baum sein EVI zuweisen. Will man allerdings großflächige Untersuchungen durchführen, bietet es sich an, mehrere Bäume zu einem Messwert zusammenzufassen. Hierbei ist es ungünstig, den Mittelwert der einzelnen Messwerte zu bilden. Eine bessere Möglichkeit stellt die Berechnung des EVI für die gesamte Station nach der folgenden Formel dar:

$$(7) \text{ EVI} = \frac{\sum_{\text{Baum } 1}^{\text{Baum } n} \sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Häufigkeitsklasse} * \text{umgekehrter Toxizitätswert} * \text{Vitalitätsfaktor}}{\sum_{\text{Baum } 1}^{\text{Baum } n} \sum_{\text{Art } 1}^{\text{Art } n} \text{Häufigkeitsklasse}} \cdot \frac{\sum_{\text{Baum } 1}^{\text{Baum } n} \text{Artenvielfaltsklasse}}{\text{Zahl der Bäume}}$$

Mit diesen neu erstellten Formeln können nun prinzipiell Ergebnisse einer Flechtenkartierung ausgewertet werden. Das Problem hierbei ist, dass die so erhaltenen Werte noch keine Aussagekraft haben. Um eine Aussage machen zu können, ist zusätzlich eine vorherige Eichung der Methode notwendig.

Zunächst wird der Rahmen der Messwerte festgelegt, indem der EVI für eine Flechtenpopulation aus wenigen Arten von Krustenflechten als Repräsentation für eine sehr hohe Luftbelastung und für eine Flechtenpopulation aus sehr vielen empfindlichen Arten als Repräsentation für eine sehr niedrige Luftbelastung berechnet wird. Diese Grenzwerte liegen bei Werten für den EVI von 1 bzw. 36. Zwischen diesen beiden Extremwerten wird die Skala in sechs Teile geteilt, die den sechs verschiedenen Luftbelastungsstufen entsprechen.

Diese sehr grobe Skalierung wird in einem zweiten Schritt auf der Basis von Werten für den EVI für verschiedene, charakteristische Flechtenpopulationen der einzelnen Kategorien, wie sie z. B. bei KRICKE (2002), veröffentlicht sind, verfeinert. Die endgültige Skala für die Messmethode ist in Tab. 5 zusammen mit der Legende für die grafische Darstellung wiedergegeben.

Tab. 5: Bewertung der Luftqualität nach dem EVI.

EVI	Bewertung	Farbe
< 5	sehr hohe Luftbelastung	Rot
5-8,5	hohe Luftbelastung	Orange
8,5-14	mäßige Luftbelastung	Gelb
14-19	ziemlich geringe Luftbelastung	Hellgrün
19-27	geringe Luftbelastung	Grün
> 27	sehr geringe Luftbelastung	Blau

Mit dieser Eichung sind alle Grundlagen gegeben, um mit der neuen Methode Flechtenkartierungen auswerten zu können.

Durchführung der Kartierungen

Für die Kartierungen werden freistehende Bäume von mindestens 60 cm Durchmesser genutzt. Es werden für vergleichbare Rindeneigenschaften nur Pappeln, Ahorne, Linden, Eschen sowie Ulmen herangezogen. An jedem Baum werden alle verschiedenen Flechtenarten bestimmt und die jeweilige Anzahl der Lager ausgezählt. Die Identifizierung erfolgt hierbei nach optischen Kriterien und, falls nötig, durch chemische Nachweise (vgl. KIRSCHBAUM & WIRTH 1997). Falls vorhanden, werden die für das Erscheinungsbild der Flechtenflora prägenden Arten markiert. Für jede Art wird die Einteilung der durchschnittlichen Vitalität in die drei Klassen – kümmerlich, normal, üppig – vorgenommen. Alle Messergebnisse wurden den jeweiligen Klassen aus Tab. 2 bis 4 zugeordnet und der EVI wird nach Formel 6 oder Formel 7 berechnet, wozu ein selbst programmiertes Auswertungsprogramm benutzt wird. Der Wert wird nach Tab. 5 der jeweiligen Luftgüteklasse zugeordnet. Zur grafischen Auswertung wird der Standpunkt eines jeden untersuchten Messpunkts in einer Karte mit einem Punkt der nach Tab. 5 zugeordneten Farbe markiert.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Flechtenbewuchs im Stadtgebiet der Stadt Westerstede in vier Kartierungen an insgesamt über 250 Bäumen untersucht. Drei Kartierungen wurden genau nach den oben genannten Kriterien in den Jahren 2003, 2005 und 2007 durchgeführt. Im Jahr 2005 wurde zudem eine Kartierung nur mit Eichen durchgeführt. Auf diese Weise sollte untersucht werden, ob dies tatsächlich die Ergebnisse beeinflusst, da es im Nordwesten sehr wünschenswert wäre Eichen nutzen zu können, da diese Art am häufigsten vorkommt. Bei allen Kartierungen wurde darauf geachtet, dass in jedem Planquadrat der Kantenlänge 500 m mindestens drei Bäume untersucht wurden. Die Ergebnisse wurden nach Formel 6 ausgewertet und alle Bäume einzeln in den entsprechenden Karten markiert.

Für einen Überblick über das Weser-Ems-Gebiet wurden 23 Stationen ausgewählt, die einen ungefähren Abstand von 10 km zueinander aufwiesen. An jeder Station wurden drei Bäume in einem Planquadrat von 500 m Kantenlänge aufgenommen, und der EVI wurde nach Formel 7 berechnet.



Abb. 6: Gesamtergebnis der Flechtenkartierung nach dem EVI-Verfahren für Westerstede (2003-2007).

Ergebnisse

Die Ergebnisse der insgesamt fünf Kartierungen sind in den Abb. 1-4 sowie 7 zu sehen. In Abb. 1-3 sieht man sehr schön, dass sich mit dem EVI beim Einhalten aller oben genannten Kriterien im Gegensatz zu allen anderen Methoden ein sehr einheitliches Bild für die Stadt Westerstede ergibt. Alle Ergebnisse lassen sich über die Jahre hinweg reproduzieren und die Zahl der Abweichungen ist sehr niedrig. Alle Messungen ergeben, dass die Luft der Stadt Westerstede als mäßig belastet gelten kann. Die Flechtenpopulationen, die vorgefunden werden, stimmen hierbei sehr schön mit den Musterpopulationen (KRICKE 2002) für diese Kategorie überein. Auch ein Vergleich mit den physikalisch-chemischen Messdaten des Niedersächsischen Landesamts für Ökologie stützt diese Einordnung der Luftqualität.

Besonders fällt bei diesen Kartierungen auf, dass mit unserer Methode sogar die Zufahrtsstraßen im Nordwesten, Westen und Süden der Karte durch eine schlechtere Luftqualität und der Innenstadtbereich mit verkehrsberuhigten Zonen im Zentrum der Karte durch eine bessere Luftqualität zu erkennen sind. Dies zeigt das sehr gute Auflösungsvermögen der Methode an.

Beim Vergleich der Abb. 1-3 mit der Abb. 4, die nur unter Berücksichtigung von Eichen erstellt wurde, fällt auf, dass die Ergebnisse für die Luftqualität nahezu identisch sind. In einem Vergleich der vorkommenden Arten, wie er in Grafik 5 wiedergegeben ist, fällt zwar auf, dass einzelne Arten auf Eichen vermehrt, andere hingegen weniger häufig auftreten; dies scheint das Messergebnis allerdings nicht zu

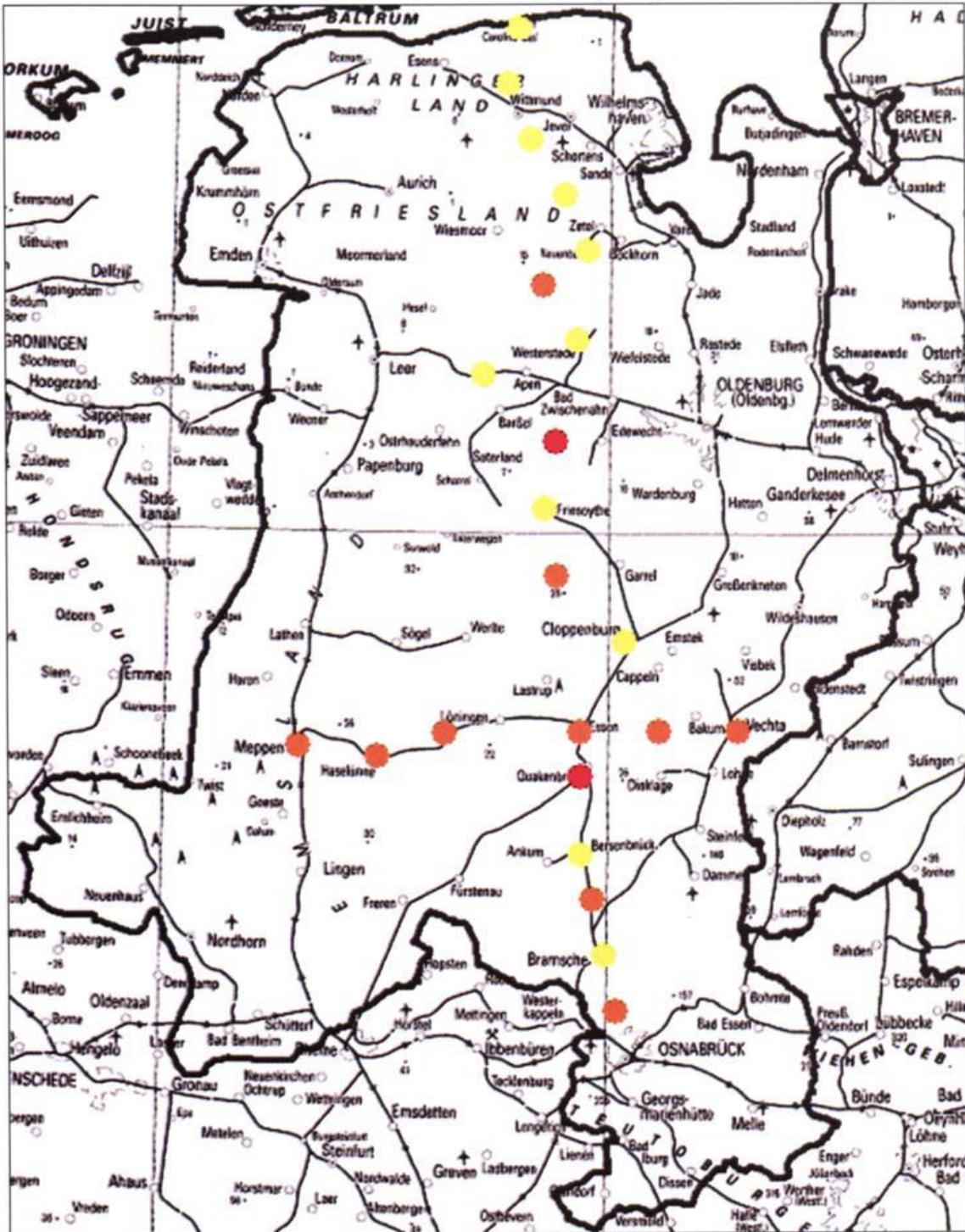


Abb. 7: Ergebnis der Kartierung nach dem EVI-Verfahren für das Weser-Ems-Gebiet.

beeinflussen. Aus unserer Sicht scheint es daher gerechtfertigt, für eine Flechtenkartierung zumindest auch Eichen zu verwenden und so die Suche nach geeigneten Bäumen deutlich zu erleichtern.

Aufgrund der kleinen Unterschiede der einzelnen Kartierungen erscheint es gerechtfertigt, alle Ergebnisse zu einer Karte zusammenzufassen, wie dies in Abb. 6 geschehen ist, und so eine sehr breite Datengrundlage für die Bewertung der Luftqualität in Westerstede zu erhalten.

Bei der Kartierung des gesamten Weser-Ems-Gebietes (Abb. 7) ergibt sich erneut ein sehr einheitliches Bild dieses Gebietes. Die Luftqualität nimmt generell vom Binnenland zur Küste hin zu, und die Absolutwerte liegen im Bereich mäßiger Luftbelastung. Auch kann gezeigt werden, dass die Luftqualität im Bereich der Kreise Cloppenburg und Vechta tendenziell schlechter ist als in den umliegenden Bereichen, was auf die intensive landwirtschaftliche Nutzung dieser Gebiete zurückgeführt werden kann.

Ausblick

Nachdem in dieser Arbeit gezeigt werden konnte, dass die neue Methode EVI im Nordwesten Deutschlands sehr effektiv für die Flechtenkartierung eingesetzt werden kann, ist es für die Zukunft erstrebenswert, durch weitere Kartierungen dieses Bereiches die Datengrundlage über die Luftverschmutzung im Nordwesten und nicht nur für die Stadt Westerstede zu vergrößern und, basierend auf diesen Daten, eine Grundlage für etwaige Maßnahmen zum Umweltschutz zu schaffen. Darüber hinaus wäre es sehr interessant festzustellen, ob die neue Methode auch unter anderen klimatischen Gegebenheiten ihre sehr guten Ergebnisse reproduzieren kann, oder ob die Anwendung nur auf den Nordwesten Deutschlands beschränkt ist.

Insgesamt liegt mit dem EVI auf jeden Fall eine neue Auswertungsmethode für die Bioindikation der Luftqualität mit Flechten mit großem Potential vor, deren breitere Anwendung sehr vielversprechend erscheint.

Zusammenfassung

In Vorarbeiten in unserer Gruppe konnte gezeigt werden, dass die traditionellen Auswertungsmethoden der Flechtenkartierung zur Luftgütebestimmung im Nordwesten Deutschlands keine reproduzierbaren Ergebnisse liefern. Daher wird in dieser vorliegenden Arbeit mit dem Empfindlichkeits-Vielfalts-Index (EVI) eine neue Auswertungsmethode vorgestellt. Die neue Methode wird durch gezielten Vergleich der Vor- und Nachteile der vorhandenen Methoden anhand von sechs Hauptkriterien konstruiert und, basierend auf den biologischen Grundlagen der Flechten, als Bioindikatoren geeicht. Die Einsatzmöglichkeiten werden in vier groß angelegten Kartierungen in der Stadt Westerstede und einer im Weser-Ems-Gebiet aufgezeigt. Alle Kartierungen zeigen eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Methode. Aufgrund dieser hohen Reproduzierbarkeit und der wenigen Abweichungen, die diese Methode liefert, kann beiden Messgebieten mit großer Sicherheit eine mäßige Luftbelastung zugeordnet werden. Besonders hervorzuheben ist, dass die neue Methode in Westerstede mit einer so guten Auflösung funktioniert, dass selbst der negative Einfluss der Zufahrtsstraßen und der positive Einfluss der verkehrsberuhigten Bereiche nachgewiesen werden können.

Literatur

- KIRSCHBAUM, U. & V. WIRTH (1997): Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen. Ulmer-Verlag.
- KRICKE, R. & G. B. FEIGE (2000): Eine neue Methode zur Bioindikation mit Hilfe von Flechten. – Allgemeine Lichenologische Mitteilungen N. F.1: 11-18.
- KRICKE, R. (2002): Flechten und Bioindikation. http://www.flechten-im-ruhrgebiet.de/Bioindikation/Flechten_und_bioindikation.htm
- ORTH, S. & R. SCHULZ (2003): Flechtenerhebung im Ammerland mit einem Analyse-Programm. Beitrag für „Jugend forscht“.
- UMWELTAMT DER STADT DORTMUND (1990): Ermittlung der Luftqualität in Dortmund mit Flechten als Bioindikatoren, Stadt Dortmund, Band II.
- UMWELTAMT DER STADT DORTMUND (1997): Ermittlung der Luftqualität in Dortmund mit Flechten als Bioindikatoren. Stadt Dortmund, Band II.
- VDI-Richtlinie 3799(1)
- WIRTH, V. (1992): Zeigerwerte von Flechten – In: ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER & D. PAULIßEN: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, S. 215-237.



Christina Kronenberg, Marielouise Sander und Kim Tappe

Die jährliche Invasion der „blauen Giftzwerge“ – Algenblüten im Banter See*

1. Einleitung

Der Banter See ist seit seiner Trennung vom Großen Hafen im Jahre 1949 – durch die Errichtung des Grodendamms – ein bevorzugtes Naherholungsgebiet der Wilhelmshavener Bevölkerung.

Da das Wasser des Banter Sees eine relativ geringe Salinität (ca. 6 ‰) aufweist, ist die Nutzung als Badesee (Badestelle „Klein Wangerooge“) und als Eldorado anderer Wassersportarten (Segeln, Surfen, Tauchen, Rudern und Kanu fahren) sehr gut möglich. Diverse Kleingartenkolonien mit Wasserzugang haben sich angesiedelt. Seit einigen Jahren ist das öffentliche Interesse an einem intakten Badegewässer immens gestiegen, da die Stadt Wilhelmshaven aus Kostengründen ein Freibad hat schließen müssen und durch die Planung des Jade-Weser-Port die Wilhelmshavener Bevölkerung einen beliebten Strandabschnitt (Geniusstrand) als Badestrand verloren hat.

Die Nutzung des Banter Sees als Freizeitgelände und Naherholungsgebiet ist jedoch seit einiger Zeit stark gefährdet. Seit dem Jahre 1990 kommt es azyklisch zu toxischen Wasserblüten bedingt durch die Massenvermehrung von Cyanobakterien. Vor allem das Cyanobakterium *Nodularia spumigena* vermehrt sich dabei explosionsartig. Die von diesem Organismus produzierten Toxine können andere Planktonorganismen in ihrer Entwicklung hemmen. Zeitweise ist die Konzentration der Toxine so hoch, dass sie beim Menschen gesundheitliche Schäden hervorrufen können; einige Tiere, die in der Vergangenheit vom kontaminierten Seewasser getrunken haben, sind bereits gestorben.

Der Banter See kann daher während einer Wasserblüte in seiner Freizeitfunktion nicht genutzt werden, da das Risiko einer Vergiftung zu hoch ist. Deshalb ist die Stadt Wilhelmshaven gezwungen, für den Banter See während der warmen Sommermonate ein Badeverbot auszusprechen. Für die Stadt Wilhelmshaven ist es von

* Die Arbeit wurde im Wettbewerb „Schülerpreis für Regionalforschung 2007“ des Oldenburger Landesvereins mit dem 2. Preis ausgezeichnet.

Anschriften der Verfasserinnen: Christina Kronenberg, Langeoogstraße 54, D-26384 Wilhelmshaven, Marielouise Sander, Neuruppiner Straße 2, D-26388 Wilhelmshaven, Kim Tappe, Warthestraße 27, D-26388 Wilhelmshaven

großem Interesse, Ursachen für das Auftreten der Wasserblüten zu finden, um diese künftig verhindern zu können.

Kontrollierte Wachstumsexperimente von *Nodularia spumigena* sollen Erkenntnisse über die verantwortlichen abiotischen Ökofaktoren liefern, die das Auftreten der Massenvermehrung günstig beeinflussen.

Ein Teil der Untersuchung beschäftigt sich mit der Auswirkung des Temperaturfaktors auf die Entstehung von Wasserblüten. Dabei wird versucht, die vorliegende Witterungssituation vor und während der Algenblüten darzustellen und mögliche Zusammenhänge zu finden.

Eine weitere Vermutung besteht darin, dass das Wachstum von *Nodularia spumigena* durch hohe Salinitäten verhindert werden kann, da im angrenzenden Großen Hafen (Salinität ca. 18 ‰) – bei gleicher Witterungslage – es bisher zu keinerlei Algenblüten gekommen ist. Die Stadt Wilhelmshaven diskutiert aufgrund dessen die Option, den Grodendamms zu öffnen, damit sich die beiden Wasserkörper durchmischen und sich im Banter See eine höhere Salinität einstellt. Die Auswirkung der Salinität auf das Populationswachstum von *Nodularia spumigena* soll als Grundlage für die Entscheidung über die Öffnung des Grodendamms dienen.

Weiter ist zu klären, inwiefern unterschiedliche Nährsalzkonzentrationen das Wachstum von Cyanobakterien fördern, zumal der Banter See viele Zuflüsse besitzt und zum Teil es immer noch zu unkontrollierten nährstoffhaltigen Einleitungen kommt. Wachstumsversuche, die die Ökofaktoren Licht und Temperatur in Kombination berücksichtigen, werden sowohl mit vegetativen Zellen von *Nodularia spumigena* als auch mit Überdauerungsstadien (Akineten) durchgeführt. Aufgrund der großen Zahl an gebildeten Akineten stellt eine vergangene Algenblüte ein hohes Potenzial für eine künftige Blüte dar. Daher ist es interessant die Keimungsbedingungen der Akineten experimentell zu erforschen.

Auf der Grundlage der unter Laborbedingungen erzielten experimentellen Ergebnisse mit *Nodularia spumigena* sollen Argumente zur Verifizierung bzw. Falsifizierung der verschiedenen von der Stadt Wilhelmshaven diskutierten Lösungsansätze erarbeitet werden.

2. Stand des Wissens

2.1 Entstehung und Geschichte des Banter Sees

Der Banter See ist ein Bracksee mit einer Ausdehnung von 2620 x 580 m. Er liegt im Süden der Stadt Wilhelmshaven, am Jadebusen. Der Banter See war während des Zweiten Weltkrieges ein Teil des Kriegshafens und ist erst nach der Aufschüttung des Grodendamms im Jahre 1949 durch die Trennung des West- und Zwischenhafens vom Großen Hafen entstanden (Abb. 1). Durch diese Trennung vom Hafenbecken süßt der Banter See immer mehr aus.

Im Westhafen wurde 1910 die „UTO“-Werft errichtet, die U-Boote und Torpedoboote herstellte. Die Anlegebrücken waren mit Wasser- und Stromanschlüssen sowie mit Ölanschlussleitungen versehen. 1937 wurde im Zwischenhafen eine 19 m tiefe Dockgrube zur Aufnahme eines 40.000-t-Schwimmdocks ausgehoben. Außerdem wurden Werkstätten errichtet.



Abb. 1: Das Gebiet des heutigen Banter Sees vor 1945 (Luftbildaufnahme vom 14.04.1945; Quelle: Michael Meyer).

Nach dem Zweiten Weltkrieg und der Aufschüttung des Grodendamms wurde der Banter See als Lagerstätte für Kriegsreste und anderweitigen Schrott genutzt. Heute ist der Banter See in erster Linie ein wichtiges Naherholungs- und Wassersportgebiet, was unter anderem auf den geringen Salzgehalt (ca. 6 ‰) zurückzuführen ist. Die bereits 1914 entstandene Badestelle „Klein-Wangerooog“ ist eine der beliebtesten Anlaufstellen am Banter See. Wassersportvereine (Segler, Taucher, Surfer) haben am Banter See ebenfalls ihren Sitz. Das nordwestliche Ufer wird weiterhin industriell genutzt. Trotz der industriellen und freizeitlichen Nutzung weist der Banter See naturnahe Uferzonen auf, die den See als Erholungsgebiet zusätzlich attraktiv machen.

2.2 Zur Biologie der *Nodularia spumigena*

2.2.1 Systematische Einordnung und Stand des Wissens

Nodularia spumigena gehört zum Stamm der Cyanobakterien, zur Ordnung der Nostocales und zur Familie der Nostocaceae.

Cyanobakterien sind Prokaryonten, die unter Nutzung von Lichtenergie und Chlorophyll-a anorganische Verbindungen in organische umwandeln. Sie besitzen das Pigment Phycocyanin, so dass Cyanobakterien auch als Blaualgen (blue-greens) bezeichnet werden.

Nodularia spumigena kommt in den Gewässern überwiegend in Zellfäden (Trichome) vor, die aus bis zu 400 Einzelzellen bestehen können. Die Einzelzellen sind ca. 12 µm breit und 8-9 µm lang. Die Trichome können gerade, gebogen oder spiralsch gewunden sein. In Kultur sind sie jedoch meist gerade. Die Zellwand der Cyanobakterien ist aus vier Schichten aufgebaut, welche mit L_I bis L_{IV} bezeichnet wer-

den. Die Schicht LII ist die Stüttschicht. Eine so genannte Gallertscheide kann die Cyanobakterien zusätzlich umgeben (MASALON 2002: 18 ff.).

Die Zellorganellen Mitochondrien, Dictyosomen, Plastiden und das endoplasmatische Retikulum fehlen in den Zellen des Cyanobakteriums (NULTSCH 1982: 155).

Für die Toxizität der Algenblüte von *Nodularia spumigena* ist das von ihr produzierte Gift Nodularin verantwortlich. Es gehört zur Familie der Hepatotoxine und ist für Vögel und Haustiere oft tödlich. Es kann auch die Gesundheit von Menschen beeinträchtigen (MASALON 2002).

2.2.2 Vermehrung

Die vegetative Vermehrung erfolgt durch Zellteilung oder durch Fragmentation. Bei der Zellteilung teilen sich beliebige Zellen im Faden, bei der Fadenfragmentation werden Fadenabschnitte abgetrennt, die dann einen selbstständigen Organismus bilden.

Eine Besonderheit innerhalb des Vermehrungszyklus ist die Ausbildung von so genannten Akineten. Diese sind an ihrer dickeren Zellwand und ihrer größeren Gestalt zu erkennen. Sie bilden sich bei ungünstigen Umwelteinflüssen und können diese (zum Beispiel im Winter) überstehen. Durch ihr Keimen sichern sie den Fortbestand der Population in Zeiten besserer Lebensbedingungen (STRASBURGER 1998: 532).

2.2.3 Stickstofffixierung

Nodularia spumigena ist in der Lage den atmosphärischen Stickstoff zu binden. Dabei wird das N_2 -Gas zu NH_4^+ -Ionen (Ammonium) umgewandelt. Da die Anwesenheit von Sauerstoff das für die Fixierung verantwortliche Enzym, die Nitrogenase, hemmt, findet der Prozess in bestimmten Zellen statt. Diese werden Heterocysten genannt (Abb. 2). Die Heterocysten schaffen bei aerober Umgebung anaerobe Bedingungen, so dass die Fixierung ablaufen kann. Diesen speziellen Zellen fehlt das Photosystem II, dadurch entsteht in den Zellen kein Sauerstoff. Weitere Kennzeichen sind die dickere Zellwand und eine dreischichtige Hülle, die ebenfalls die Heterocysten umgeben (MASALON 2002: 33 ff.).

2.3 Wasserblüten

2.3.1 Entstehung von Wasserblüten

Eine Wasserblüte ist eine Massenansammlung planktischer Organismen an der Wasseroberfläche, darunter auch Cyanobakterien. Die Entwicklung bzw. die Vermehrung der an der Oberfläche zusammengetriebenen Cyanobakterien findet zuvor innerhalb der Wassersäule eines Sees statt.

Die Ursache für das Auftreten einer Algenblüte ist eine Störung des sensiblen Gleichgewichts zwischen biotischen und abiotischen Faktoren des Ökosystems See. Ne-



Abb. 2: Zellfaden von *Nodularia spumigena* mit Heterocyste (Bildmitte); (Lichtmikroskop, Hellfeld).

ben der in dieser Arbeit untersuchten Salinität ist dies vor allem die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Sauerstoff, die wiederum entscheidend von der jahreszeitlich unterschiedlichen Schichtung des Wasserkörpers abhängig sind.

Abhängig von der Topografie und der geografischen Lage kann es in Seen aufgrund der physikalischen Dichteigenschaften des Wassers zu jahreszeitlich stabilen Schichtungen des Wasserkörpers kommen. Beginnend mit dem Frühjahr können sich im Sommer folgende Schichten bilden:

- Epilimnion (Deckschicht), obere Schicht mit guter Licht- und Sauerstoffversorgung. Nährstoffe stehen wegen des hohen Verbrauchs durch Planktonorganismen nur eingeschränkt zur Verfügung
- Metalimnion (Sprungschicht), trennt das Epilimnion von der unteren Schicht, dem
- Hypolimnion (Tiefenzone), mit geringer Licht- und Sauerstoffversorgung. Hoher Eintrag von organischen Stoffen aus dem oberen Wasserkörper und teils anaerobe Zersetzungsprozesse im Sediment des Seebodens bilden ein großes Nährstoffreservoir, das hier festliegt.

Mit veränderten Bedingungen der Sonneneinstrahlung, Temperatur und dem Aufkommen von starkem Wind oder Stürmen im Herbst, kann es zur Durchmischung der Schichten kommen.

Dadurch werden die im Hypolimnion festliegenden Nährstoffe schlagartig freigesetzt und stehen den Kleinstorganismen des Planktons bei noch guter Licht- und Sauerstoffversorgung zur Verfügung.

Während der Überdauerung der Cyanobakterien im Hypolimnion mit eingeschränkter Fotosynthese bilden die Zellen vermehrt Gasvesikel, in denen sich Gärgase stauen. Mit dem dadurch gebildeten Auftrieb kommt es bei Beginn der Durchmischung des Wasserkörpers zu einer Freisetzung und einem beschleunigten Aufstei-

gen der Cyanobakterien an die Oberfläche. Hier kommt es aufgrund der besseren Bedingungen zusätzlich zu einer Vermehrung dieser Organismen.

Die an der Oberfläche zusammengetriebene Massenansammlung von Organismen ist als Wasserblüte bekannt. Durch zu intensive Lichteinstrahlung an der Oberfläche stirbt die Blüte und entwickelt einen üblen Geruch (MASALON 2002: 10 ff.).

Im Banter See kann es ebenfalls zu der beschriebenen Schichtung kommen, jedoch ist diese aufgrund der geringen Tiefe an einigen Stellen nicht so stark ausgebildet.

2.3.2 Wasserblüten im Banter See

Erstmals im Jahre 1990 kam es mit einer Massenvermehrung des toxischen Cyanobakteriums *Nodularia spumigena* zu einer Wasserblüte. Am 14.08.1990 meldete die Wilhelmshavener Zeitung (WZ) einen Algenteppich am Nordufer des Banter Sees. Durch Ostwind waren die Algen an das Westufer des Sees gedrückt worden – hier entdeckte man Ende August einen mehrere Zentimeter dicken Algenteppich. Dieser wurde am 29. August von der Berufsfeuerwehr abgepumpt (WZ, 30.08.1990). Am 01.09.1990 wies man in einer Wasserprobe erneut toxische Cyanobakterien nach und verhängte daraufhin ein Badeverbot (WZ, 01.09.1990). Allerdings starben zwei Hunde durch den Kontakt mit kontaminiertem Wasser.

Als Ursache für die Blüte sah man die Nährstoffanreicherung im Banter See, die durch die noch fehlende Kanalisation der Kleingartenkolonien und der Wassersportvereine sowie durch die im Zuge der Deichdüngung eingeschwemmte Gülle hervorgerufen wurde.

Im Jahr 2000 kam es zu zwei Algenblüten im Banter See. Die erste trat am 28.08.2000 auf. Im Oktober gab es erneut eine Cyanobakterienblüte, bei der wieder ein Hund nach Aufnahme von Wasser starb (WZ, 10.10.2000). Bis Ende November verhängte das Umweltamt ein Badeverbot.

Im Juli des Jahres 2003 musste aufgrund einer Algenblüte der Banter See nochmals für den Badebetrieb gesperrt werden. Die Blüte starb relativ schnell wieder ab – zwischen der Massenansammlung der Algen und deren Sterben lag ca. eine Woche (WZ, 18.07.2003).

Am 19.07.2004 gab die Stadtverwaltung ein erneutes Anwachsen der Cyanobakterien bekannt. Es wurde wie in den anderen Jahren ein Badeverbot ausgesprochen und außerdem davor gewarnt, im Banter See geangelte Fische zu essen (WZ, 20.07.2004). Das Badeverbot wurde am 31.07.2004 aufgehoben. Es wurde jedoch in einem weiteren Zeitungsartikel darauf hingewiesen, dass vor dem Baden auf mögliche Algenansammlungen zu achten sei.

Am 14.07.2005 musste der Banter See wiederholt aufgrund einer Algenblüte gesperrt werden (WZ, 15.07.2005). Die Algenblüte dauerte drei Wochen bis zur Aufhebung des Badeverbots am 07.08.2005.

Die Witterungsdaten der Jahre 2000 bis 2005 zeigen, dass vor dem Auftreten der Algenblüten stets höhere Temperaturen vorherrschten. Die maximalen Temperaturen der Zeit vor der Blüte lagen zwischen 15 °C bis 25 °C.

Die Temperaturen während der Blüten in den Jahren 2000, 2004 und 2005 lagen zwischen 16 °C und 27 °C. Diese Blüten hielten sich über einen Zeitraum von ca.

drei Wochen und länger. Im Jahr 2003 dauerte die Algenblüte nur eine Woche an. Die Temperaturen zur Zeit der Blüte waren durchgehend zwischen 23 °C und 33 °C, also sehr hoch.

3. Material und Methoden

3.1 Organismen und Beprobung des Banter Sees

Für die Experimente wird das Cyanobakterium *Nodularia spumigena* und dessen Überdauerungsstadium verwendet. Die Organismen für die Wachstumsversuche mit den Parametern Salinität, Temperatur, Nährsalze sowie von Temperatur und Licht in Kombination entstammen einer Algenkultursammlung der Universität Rostock.

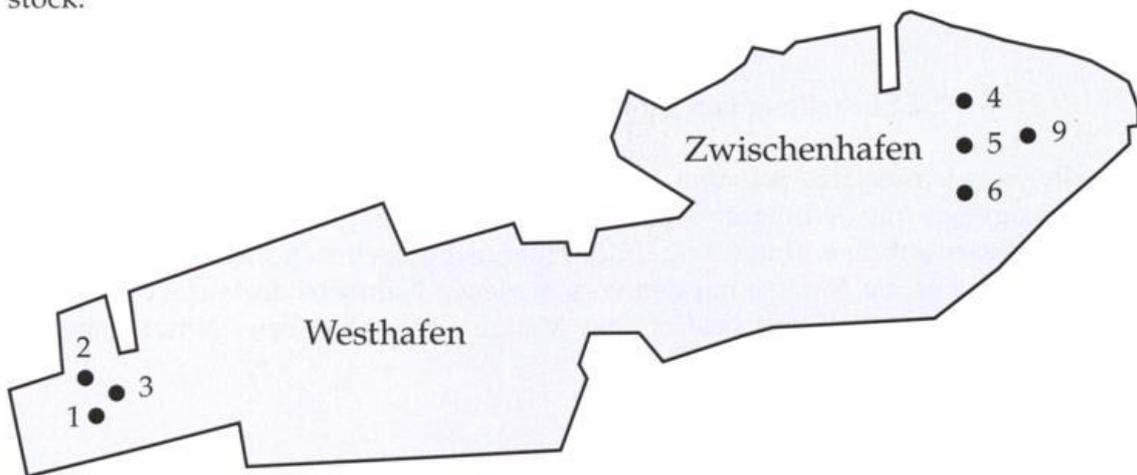


Abb. 3: Stationen der Probennahmen.

Für die Versuche mit den Akineten wurden aus dem Banter See Sedimentproben gewonnen (vgl. Abb. 3). Diese Sedimentproben wurden zunächst von Tauchern des ortsansässigen Tauchclubs (UWC Manta) entnommen (Abb. 4). Da unvorhersehbare technische Fehler während der Versuchsreihe auftraten, mussten diese Proben verworfen werden. Eine erneute Probenentnahme wurde mithilfe eines speziellen Greifers des Forschungsinstituts Terramare durchgeführt.



Abb. 4: Probennahme auf dem Banter See.

3.2 Herstellung des Nährmediums

3.2.1 Stammlösungen

Für alle durchzuführenden Versuche wird das Nährmedium f/2 benötigt. Dieses setzt sich aus drei Stammlösungen zusammen, die separat voneinander angesetzt und autoklaviert bzw. steril filtriert werden müssen.

Die Stammlösung für die Spurenmetalle wird nach dem Autoklavieren steril unter der Clean-Bench (SterilGard/The Baker Company Class II Type A/B3) in das Nährmedium pipettiert. Die Stammlösung für Vitamine wird steril filtriert und dann ebenfalls unter der Clean-Bench in das Nährmedium pipettiert.

Für die Experimente (Akineten und vegetative Zellen), die bei verschiedenen Temperaturen und einer Kombination von Licht und Temperatur durchgeführt werden, wird ein Nährmedium mit einer Salinität von 10 ‰ verwendet.

3.2.2 Einstellung von Salinität und Nährsalzkonzentration

Für die Versuchsansätze mit den unterschiedlichen Salinitäten werden die drei Stammlösungen mit definierten Anteilen von Seewasser gemischt und mit destilliertem Wasser auf einen Liter aufgefüllt. Hieraus ergeben sich vier verschiedenen Nährmedien. Für die Ansätze mit den verschiedenen Nährsalzkonzentrationen wird das Grundnährmedium mit bestimmten Mengen Phosphat bzw. Nitrat angereichert.

3.2.3 Sterilisation

Die Sterilisation der verschiedenen Komponenten des Nährmediums erfolgt durch Autoklavierung bei 121 °C und einer Sterilisationszeit von 20 Minuten. Die Vitaminstammlösung wird durch Sterilfiltration mit 0,2 µm Rotrand Einmalsterilfiltern (Schleicher & Schuell FP030/3) entkeimt.

3.2.4 pH-Messung und Korrektur

Zur Einstellung des pH-Wertes (ca. 8,0) wird eine pH-Elektrode der Firma Schott (pH-Meter CG 840) verwendet. Die pH-Korrektur wird unter Verwendung der verschiedenen Substanzen durchgeführt (Tab. 1).

Tab. 1: Substanzen zur pH-Korrektur.

1N HCL	1N = 36,461 g/l	32 % (Merck, Darmstadt)
1N NaOH	1N = 39,997 g/l	95-97 % (Ferak, Berlin)

3.3 Anzucht von *Nodularia spumigena*

3.3.1 Vorkulturführung

Im Vorfeld der eigentlichen Versuche mit den vegetativen Zellen muss die Biomasse der erhaltenen Algenkultursammlung erhöht werden. Dazu wird ein 500 ml Erlenmeyerkolben (Schott, Duran Glas) mit 200 ml f/2-Nährmedium (10 ‰) gefüllt. Es wird *Nodularia spumigena* nach sterilen Bedingungen unter der Clean-Bench in das Nährmedium pipettiert. Die Zelldichte soll 29.000 Zellen pro ml betragen. Die Vorkultur wird im 4 °C-Raum gehalten und mit einer Lichtintensität von 500 lux (Leuchtstoffröhre: Philips TLD 18W/84) bestrahlt.

3.3.2 Stammhaltung

Die Stammhaltung erfolgt auf Petrischalen mit modifizierten f/2-Nährmedium (+Agarzusatz 10 g/l). Nach einer Erhitzung wird das modifizierte f/2-Nährmedium (10 ‰) unter der Clean-Bench in die Petrischalen gegossen. Nach der Abkühlung erfolgt die Überimpfung der *Nodularia spumigena*. Hierzu wird 1 ml der Vorkulturführung auf die Platten pipettiert. Dies muss ebenfalls unter der Clean-Bench geschehen. Die Platten werden in den 4 °C-Raum gestellt und einer Lichtintensität von 500 lux (Leuchtstoffröhre: Philips TLD 18W/84) ausgesetzt. Diese Stammhaltung gilt nicht für die Versuche mit den Akineten.

3.3.3 Versuchsansätze – Salinität, Temperatur und Nährsalzkonzentration

Das Wachstum der Cyanobakterien wird bei vier Variationen pro Parameter beobachtet:

Salinität: 6 ‰, 10 ‰, 14 ‰ und 22 ‰

Temperatur: 4 °C, 10 °C, 18 °C und 26 °C

Nährsalzkonzentration: 150 µg/l Phosphat, 300 µg/l Phosphat, 600 µg/l Phosphat, 300 µg/l Phosphat und 150 µg/l Nitrat

Für jede Variation der Parameter werden zwei Ansätze mit je 30 ml des entsprechenden Flüssignährmediums benötigt. Es ergeben sich demnach acht Ansätze pro Parameter. Das Nährmedium wird unter der Clean-Bench in Erlenmeyerkolben (Schott, Duran Glas, 50 ml) gefüllt.

Nach der Zugabe des Nährmediums in die Erlenmeyerkolben wird ebenfalls unter der Clean-Bench in jeden Ansatz 1 ml der Vorkulturführung der *Nodularia spumigena* pipettiert.

Die Ansätze der Salinität und der Nährsalzkonzentration werden in einem 4 °C-Raum gehalten und sind einer Lichtintensität von 500 lux (Leuchtstoffröhre: Philips TLD 18W/84) ausgesetzt.

Die Anzucht der Temperaturansätze erfolgt bei den oben genannten Temperaturen und werden bei einer Lichtintensität von 500 lux (Leuchtstoffröhre: Philips TLD 18W/84) gehalten. Die Temperierung erfolgt durch verschiedene Inkubatoren der Firma Gallenkamp (ILLUMINATED COOLED ORBITAL INCUBATOR).

3.3.4 Versuchsansätze – Kombination von Licht- und Temperaturfaktor

Für das Wachstum von *Nodularia spumigena* werden Temperaturen von 8 °C und 18 °C gewählt. Die Ansätze der unterschiedlichen Temperaturen werden verschiedenen Lichtintensitäten (0,25 klux, 1 klux und 2 klux) ausgesetzt. Somit ergeben sich sechs Ansätze. Die Experimente erfolgen in speziellen Reaktoren, die für diesen Zweck von der Werkstatt des Forschungsinstituts Terramare hergestellt wurden. Diese Behältnisse werden mit 1 Liter Nährmedium und 100 ml Vorkultur von *Nodularia spumigena* angefüllt. Die Wachstumsversuche werden nicht steril durchgeführt, da dies aufgrund der Haltung im Inkubator (Gallenkamp) nicht möglich ist. Als Verdunstungsschutz dient eine über den Reaktor gespannte Frischhaltefolie, die mit Löchern für den Gasaustausch versehen ist.

3.3.5 Akinetenkeimung – Kombination von Licht- und Temperaturfaktor

Die für die Versuche verwendeten Sedimentproben entstammen dem westlichen und östlichen Teil des Banter Sees.

Den Sedimentproben der Stationen 1, 2 und 3 aus dem Westen des Sees werden jeweils 33,33 g Sediment entnommen und zusammen mit 1 l Nährmedium in einen Reaktor gegeben (Abb. 5). Somit ist in jedem Reaktor ca. 100 g Sediment enthalten. Ebenso wird mit den Sedimentproben der Stationen 4, 5 und 6 des Ostteils des Sees verfahren (Abb. 3).

Die Reaktoren mit den Sedimentproben sowohl des Ostens als auch des Westens werden Temperaturen von 8 °C und 18 °C ausgesetzt. Pro Temperatur variieren die Lichtintensitäten (0,25 klux, 1 klux und 2 klux). Zusätzlich werden Proben des Ostens und Westens des Sees als Dunkelansätze bei 8 °C und 18 °C gehalten. Damit ergeben sich 16 Ansätze.

Die Haltung erfolgt nicht steril. Als Verdunstungsschutz dient wieder eine Frischhaltefolie. Bei den Dunkelansätzen wird diese durch Alufolie ersetzt.



Abb. 5: Probenaufbereitung.

3.4 Auswertung der Wachstumsexperimente

3.4.1 Beprobung zur Auswertung

Probennahme für die Wachstumsversuche –
Salinität, Temperatur und Nährsalzkonzentration:

Pro Zählung wird aus jedem Ansatz ein Milliliter Probe entnommen. Dies erfolgt unter der Clean-Bench. Um die Volumina der Ansätze von 30 ml zu erhalten wird nach der Entnahme der Probe ein Milliliter frisches Nährmedium (je nach Ansatz) in die Versuchsansätze pipettiert. Die entnommenen Proben werden zum Transport in kleine, verschließbare Gefäße gefüllt.

Probennahme für die Wachstumsversuche – Kombination des Licht- und
Temperaturfaktors mit vegetativen Zellen sowie Akineten:

Vor der Entnahme der Probe muss ein Verdunstungsausgleich vorgenommen werden. Der Verlust an Flüssigkeit wird mit destilliertem Wasser ausgeglichen. Für jede Zählung werden pro Ansatz vier Milliliter Probe entnommen. Anschließend werden zu jedem Ansatz vier Milliliter entsprechend frisches Nährmedium dazugegeben.

Verarbeitung der Proben:

Die Proben werden jeweils in eine Utermöhl-Zählkammer gegeben und je nach Ansatz mit dem entsprechenden Nährmedium auf 5 ml aufgefüllt (Abb. 6). Danach werden zwei Tropfen Lugolsche Lösung in die aufkonzentrierte Probe gegeben. Diese Lösung bewirkt das Absterben der *Nodularia spumigena*. Die fixierten Proben lässt man für 24 Stunden bei 4 °C in der Utermöhl-Zählkammer absinken, so dass alle Zellfäden erfassbar werden.

Die Zählung und die Umrechnung der Einzelzellen auf die Anzahl pro Liter erfolgen nach einem bewährten Verfahren.



Abb. 6: Utermöhlzählkammer.



Abb. 7: Kalibrierung zur Zellzahlbestimmung.

3.4.2 Kalibrierung

Im Vorfeld der eigentlichen Zählungen muss die durchschnittliche Zelllänge einer Zelle innerhalb des Zellfadens ermittelt werden. Dies ist notwendig, da man während der Zählung mit dem Computer lediglich die Zellfadenlänge misst. Um die Anzahl der Zellen innerhalb der Probe zu ermitteln, muss man demnach die addierten Zellfadenlängen durch die durchschnittliche Zelllänge dividieren.

Die durchschnittliche Zelllänge wird wie folgt ermittelt: man misst einen Zellfaden aus und zählt zusätzlich seine Anzahl an Einzelzellen. Die ermittelte Zellfadenlänge wird nun durch die Anzahl der Einzelzellen dividiert (Abb. 7). Diesen Vorgang wiederholt man mehrmals an verschiedenen Zellfäden und bildet einen Mittelwert. Auf diese Weise erhält man die durchschnittliche Zelllänge.

3.4.3 Zellzählung

Um das Wachstum der *Nodularia spumigena* beobachten zu können, werden einmal pro Woche die Versuchsansätze ausgezählt. Hierzu wird ein Computer mit dem Programm ANALYSIS verwendet, welcher über eine Kamera (Hitachi Denshi HV-C20) mit einem Utermöhl-Mikroskop (Zeiss Axiovert 100) verbunden ist. Das mikroskopische Bild wird somit auf den Computer übertragen und dort ausgezählt. Bei den Versuchen mit den Überdauerungsstadien werden diese nicht ausgezählt, sondern es wird die Zahl der ausgekeimten vegetativen Zellen bestimmt.

3.4.4 Berechnung der Wachstumsfaktoren

Die durch die Zellzählung bestimmten Einzelzellzahlen von *Nodularia spumigena* werden mit dem Statistik/Listeneditor des Rechners „voyage 200“ von Texas Instruments auf das exponentielle Wachstumsverhalten untersucht.

Die Exponentialregression passt dabei die Daten an die Modellgleichung $y = a \cdot b^x$ an, bei der a der Y-Achsenabschnitt ist (Nullwert der Population) und b der Wachstumsfaktor der Cyanobakterienpopulation. Das Rechnerprogramm verwendet dafür die Methode der kleinsten Quadrate sowie umgeformte x - und $\ln(y)$ -Werte. Die ermittelten Wachstumsfaktoren können anschließend zu den experimentell variierten Ökofaktoren in Beziehung gesetzt werden.

4. Ergebnisse

Alle Ansätze werden im Zeitintervall von 7 Tagen (168 Stunden) ausgezählt. Das Populationswachstum der *Nodularia*-Populationen und der exponentielle Wachstumsfaktor werden mit dem Windows-Programm EXCEL in X/Y-Diagrammen (X-Achse: Zeit; Y-Achse: Zellzahl) dargestellt.

4.1 Wachstumsverhalten in Abhängigkeit von der Temperatur

Die in der Untersuchung ausgewählten Temperaturen umfassen eine Skala von 10 °C bis 26 °C und die Kontrolltemperatur von 4 °C, die der Temperatur der Vorkulturführung entspricht.

Zu Beginn des betrachteten Untersuchungszeitraumes verhalten sich ausgehend von einem in etwa gleich hohen Wert an Einzelzellen die Populationen ähnlich. Nach einer Adaptionsphase von 336 Stunden (14 Tage) ist ein gleichartiges, langsames, exponentielles Populationswachstum zu verzeichnen, das sich nach 504 Stunden (21 Tage) in ein verschieden hohes, exponentielles Wachstum verändert. Die Versuchsansätze bei 18 °C, 10 °C und sogar 4 °C wachsen deutlich stärker als der Ansatz bei 26 °C. Diese Tendenz wird im weiteren Verlauf der Untersuchung noch klarer, so dass festgestellt werden kann, dass 26 °C eine für das Wachstum von *Nodularia spumigena* ungünstig hohe Temperatur darstellt. In Anbetracht der gegebenen klimatischen Bedingungen im freien Wasserkörper wird diese Temperatur allerdings auch nicht erreicht.

Die hohen Wachstumsraten bei 18 °C (504-840 Stunden) und bei 10 °C (840-1008 Stunden) verdeutlichen, dass sowohl hohe sommerliche Oberflächentemperaturen als auch gemäßigte Temperaturen in der Wassersäule sich positiv auf das Populationswachstum auswirken (Abb. 11).

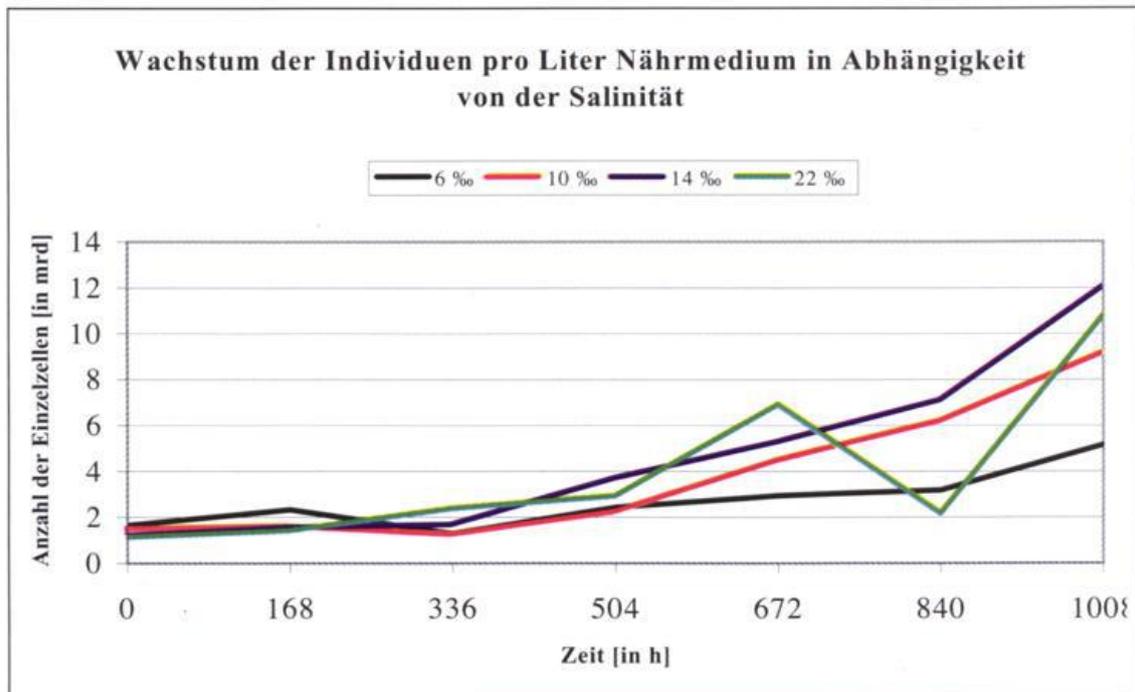


Abb. 8: Wachstumsverhalten von *Nodularia*-Populationen über einen Zeitraum von 6 Wochen (7 Zellobestimmungen) bei verschiedenen Salzkonzentrationen.

4.2 Wachstumsverhalten in Abhängigkeit von der Salinität

Die unterschiedlichen Salinitäten (6 ‰, 10 ‰, 14 ‰ und 22 ‰) sollen zum einen die natürliche Salinitätssituation im Banter Sees (6 ‰) und zum anderen annähernd die Situation im Großen Hafen (18 ‰) simulieren. Außerdem sollten die Salinitätswerte in gleichartiger Abstufung verändert werden.

Prinzipiell zeigen die vier betrachteten *Nodularia*-Populationen ein ähnliches Wachstumsverhalten. Nach einer Adaptionsphase von 336 Stunden (14 Tage) beginnt ein deutliches Populationswachstum. Die Graphen verlaufen exponentiell mit unterschiedlichen Wachstumsfaktoren (Abb. 8). Dieser Grafik kann man entnehmen, dass zwischen dem Parameter Salinität und dem Wachstumsfaktor annähernd eine lineare Abhängigkeit besteht – mit steigender Salinität nimmt ebenfalls die Wachstumsrate von *Nodularia spumigena* zu (Abb. 9).

Der Abbruch der *Nodularia*-Population nach 840 Stunden (35 Tage) bei einer Salinität von 22 ‰ ist vermutlich auf einen methodischen Fehler zurückzuführen, da nach 1008 Stunden (42 Tage) die Population aufgrund eines enormen Zuwachses fast alle anderen Populationen (6 ‰, 10 ‰) wieder übersteigt (Abb. 8).

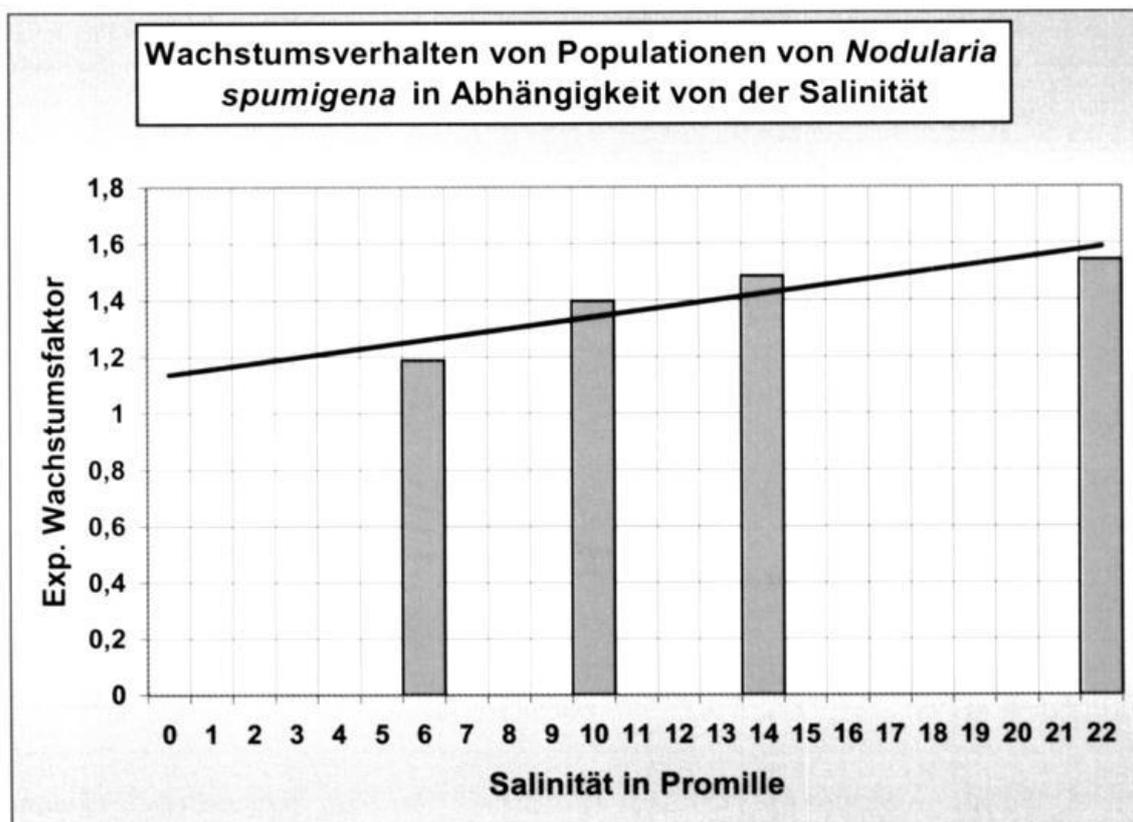


Abb. 9: Berechnete exponentielle Wachstumsfaktoren unterschiedlicher *Nodularia*-Populationen bei verschiedenen Salzkonzentrationen.

4.3 Wachstumsverhalten in Abhängigkeit von der Nährsalzkonzentration

Die untersuchten Nährsalzkonzentrationen (150 µg/l Phosphat, 300 µg/l Phosphat und 600 µg/l Phosphat) sind linear abgestuft. Zur Simulation der natürlichen Situation der Nährsalzkonzentration im Banter See wurde eine Kombination aus 300 µg/l Phosphat mit 150 µg/l Nitrat gewählt.

Die Wachstumskurven der Versuchsansätze beginnen bei einem Nullwert von ca. $2,5 \cdot 10^9$ Einzelzellen pro Liter Nährmedium. Bis zum Zeitpunkt 336 Stunden (14 Tage) zeigen die Populationen keine wesentlichen Zuwächse. In dieser Zeit findet eine Adaption an die verschiedenen Nährsalzkonzentrationen statt.

Die eigentliche exponentielle Wachstumsphase findet im Zeitraum 336 Stunden (14 Tage) bis 840 Stunden (35 Tage) statt, wobei der stärkste Zuwachs im Ansatz PIV zu verzeichnen ist, dessen Nährmedium aus einer Kombination von 300 µg/l Phosphat und 150 µg/l Nitrat besteht (Abb. 10).

Es ergeben sich keine deutlichen Unterschiede im Populationswachstum durch die Steigerung der Phosphatkonzentration im Nährmedium. Nach 840 Stunden (35 Tage) verringern sich die Zellzahlen in allen Populationen in gleichartiger Weise.

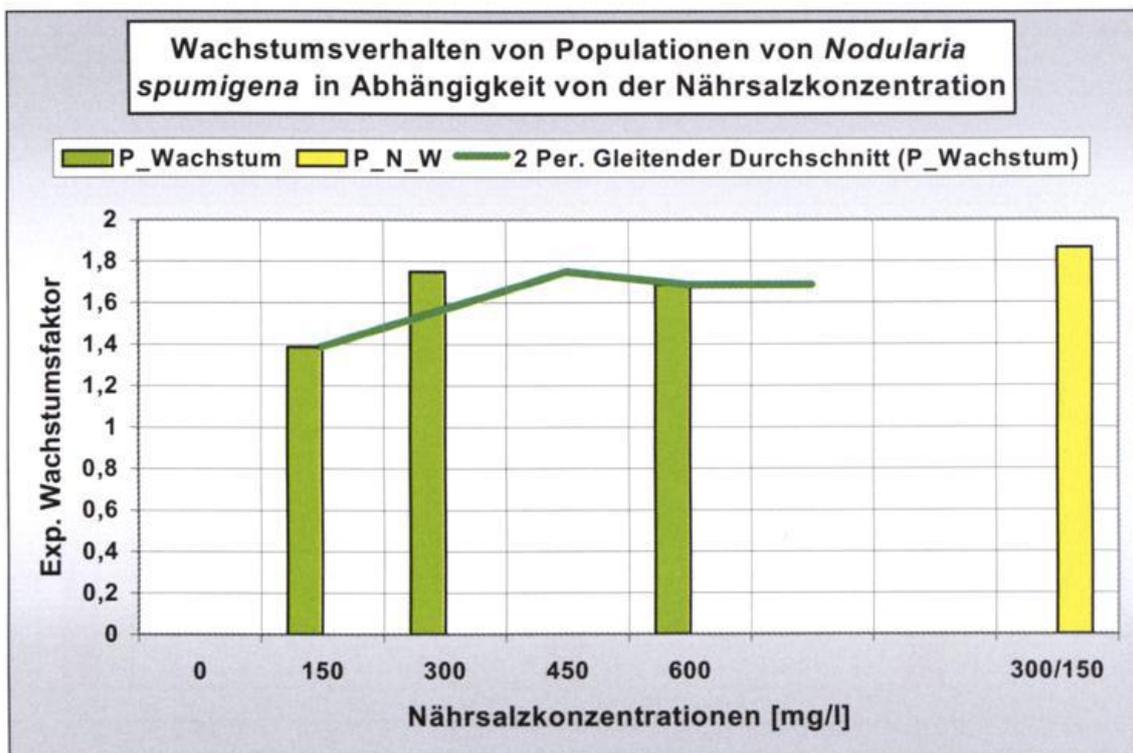


Abb. 10: Einfluss verschiedener Mineralsalze auf den Wachstumsfaktor verschiedener *Nodularia*-Populationen.

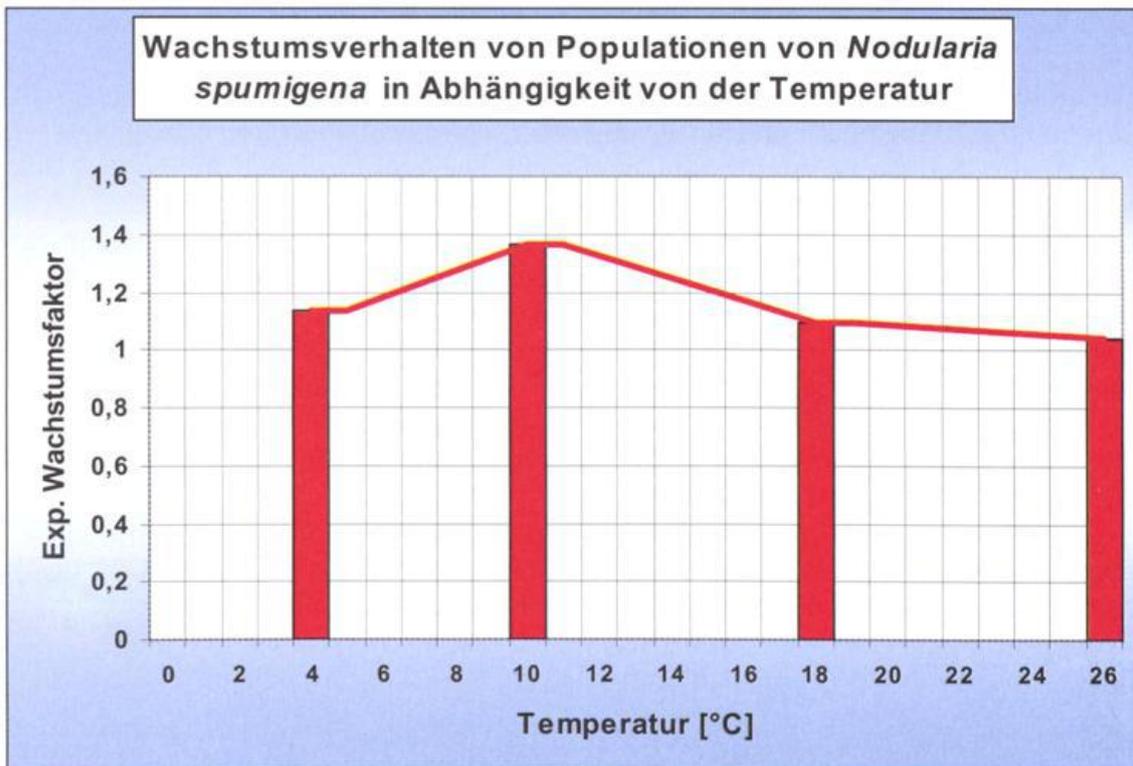


Abb. 11: Temperatureinfluss auf den Wachstumsfaktor der *Nodularia*-Populationen.

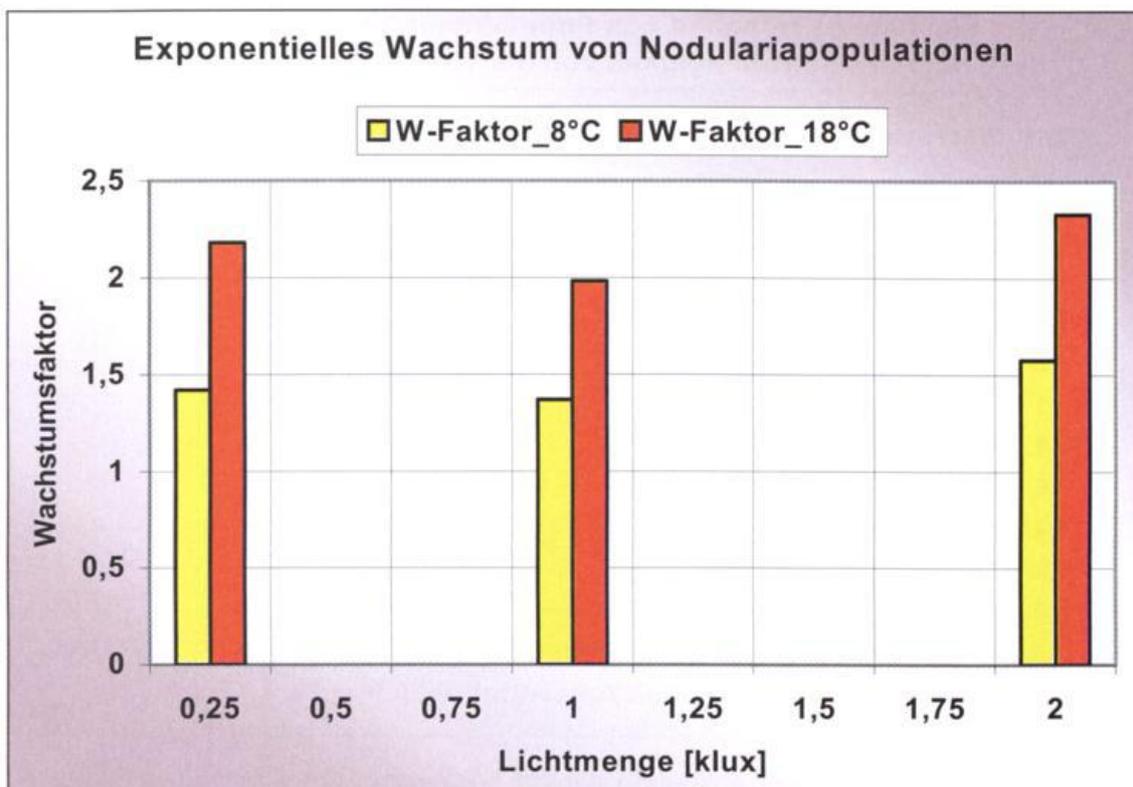


Abb. 12: Einfluss der Kombination Licht/Temperatur auf das Populationswachstum von *Nodularia*-Populationen.

4.4 Wachstumsverhalten in Abhängigkeit von der Kombination Temperatur/Licht

Die Temperatur von 18 °C wurde gewählt, da diese die natürliche Situation an der Wasseroberfläche des Banter Sees im Sommer widerspiegelt (Abb. 12). Die Lichtintensitäten im Versuch entsprechen den Lichtintensitäten, die im Sommer in den Wassertiefen 2 m, 5 m und 10 m des Banter Sees herrschen.

Bis zum Zeitpunkt von 168 Stunden (7 Tage) verhalten sich die Populationen ausgehend von einem in etwa gleich hohen Wert an Einzelzellen ähnlich. Nach dieser Adaptionsphase wächst die Population des Ansatzes bei 2 klux deutlich stärker als die übrigen. Die Populationen der Ansätze bei 2 klux und 1 klux zeigen bis zur Stunde 504 (21 Tage) ein exponentielles Wachstum. Ab diesem Zeitpunkt nimmt die Zahl der Einzelzellen ab. Die Population des Ansatzes bei 0,25 klux weist während der Versuchsreihe keine wesentlichen Zuwächse auf. Somit lässt sich sagen, dass höhere Lichtintensitäten das Wachstum von *Nodularia spumigena* fördern.

Die ausgewählte Temperatur 8 °C soll im Vergleich zu den Ergebnissen der Versuche bei 18 °C Aufschluss darüber geben, in welchen Tiefenbereich das Wachstum gefördert wird.

In der Adaptionsphase, die 168 Stunden (7 Tage) dauert, sind keine Zuwächse in den Populationen festzustellen. Die Population bei 0,25 klux weist kein wesentliches Wachstum auf, lediglich am Ende der Versuchsreihe nach 840 Stunden (35 Tage) lässt sich eine Tendenz zum positiven Wachstum erkennen. Bis zum Zeitpunkt 504 Stunden (21 Tage) verzeichnen die Populationen bei 2 klux und 1 klux ein ähnliches exponentielles Wachstum, wobei der Einbruch der Population bei 1 klux vermutlich auf einen methodischen Fehler zurückzuführen ist. Aus der Graphik lässt sich entnehmen, dass das exponentielle Wachstum der beiden zuvor genannten Populationen am Ende der Versuchsreihe noch nicht abgeschlossen ist.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen bei 8 °C und 18 °C zeigen, dass prinzipiell höhere Lichtintensitäten das Wachstum von *Nodularia spumigena* positiv beeinflussen. Im Vergleich zeigt sich zudem, dass bei gleichen Lichtintensitäten die Wachstumsrate bei 18 °C höher ist als bei 8 °C (Abb. 12). Somit kann man sagen, dass die Verhältnisse im Bereich der Wasseroberfläche (18 °C, 2 klux) optimale Bedingungen für ein verstärktes Wachstum darstellen.

4.5 Auskeimung der Akineten in Abhängigkeit von der Kombination Temperatur/Licht

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den Versuchsansätzen 8 °C – West/0,25 klux; 8 °C – West/1 klux; 8 °C – West/Dunkel; 18 °C – West/2 klux und 18 °C – Ost/1 klux kein Wachstum festzustellen ist.

Lediglich bei den übrigen Versuchsansätzen ist ein minimales Wachstum zu verzeichnen. Auffällig ist jedoch, dass nach Auftreten von ausgekeimten Zellen bei der nächsten Zählung keine Zellen mehr vorhanden waren. Ausnahmen bilden die beiden Ansätze 18 °C – Ost/0,25 klux und 18 °C – Ost/2 klux. Hier treten bei drei und mehr Zählungen ausgekeimte Zellen auf.

5. Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse der Experimente geben nur annähernd die natürliche Situation des Ökosystems Banter See wieder, da lediglich ansatzweise die Vernetztheit verschiedener Parameter untersucht wurde. Trotzdem können die erzielten Ergebnisse Aussagen über die Toleranzbereiche liefern, in denen Populationen von *Nodularia spumigena* ein exponentielles Wachstumsverhalten zeigen, welches als Grundlage jeder Algenblüte zu sehen ist.

Abgesehen von möglichen Fehlerquellen, die bei der Laborarbeit auftreten können, lassen die Experimentalergebnisse Grundaussagen zu, welche zur Entscheidung der Problemlösung argumentativ herangezogen werden können.

Diskussion der Ergebnisse der Temperaturen:

Die Ergebnisse zeigen, dass das Wachstum von *Nodularia spumigena* bei gemäßigten bzw. erhöhten Temperaturen im Bereich von 10 °C bis 18°C besonders gefördert wird. Bezogen auf die Situation am Banter See bedeutet das also, dass diese, für den Frühsommer typischen Wetterlagen, über einen Zeitraum von 2-3 Wochen ideale Voraussetzungen für das Entstehen einer Algenblüte sind. Vor dem Auftreten der Blüte gab es generell eine Zeitperiode mit erhöhten Temperaturen oder einen plötzlichen Temperaturanstieg. Das Wachstumsverhalten der Kultur bei 18 °C lässt Aufschluss darüber geben, warum die Algenblüten nur für eine kurze Zeit (2-3 Wochen) und zeitlich versetzt zur Veränderung der Temperatur auftreten. Zum einen braucht das Auskeimen der Akineten einige Zeit. Zum anderen erwärmt sich das Wasser nur sehr langsam und auch die Adaption von *Nodularia spumigena* an die veränderte Temperatursituation benötigt zusätzlich Zeit.

In Hinblick auf die Veränderungen in der Atmosphäre der Erde ist es denkbar, dass es die so genannten „Schönwetterperioden“, die das Auftreten der Algenblüten erheblich fördern, auch in den Früh- und Hochsommern der nächsten Jahren geben wird.

Diskussion der Ergebnisse der Salinitäten:

Bei den Ergebnissen der Salinitätsversuche ist es auffällig, dass das Wachstum bei 6 ‰ am geringsten ist, obwohl diese Salinität der natürlichen Situation des Banter Sees am nächsten ist. Relativ unerwartet ist die Erkenntnis, dass das Wachstum von höheren Salinitäten (14 ‰ und 22 ‰) positiv beeinflusst wird.

Diese vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Öffnung des Grodenhamms eine Algenblüte eher begünstigt. Eine Öffnung hätte eine Durchmischung beider Wasserkörper zur Folge, woraufhin sich die Salinität im Banter See maximal an die des Großen Hafens von 18 ‰ angleichen würde. Diese höhere Salinität ist für das Wachstum von *Nodularia spumigena* jedoch von Vorteil.

Fraglich ist jedoch, wie sich das Wachstum bei noch höheren Salinitäten verhält. Nach G.E. Fogg et al. sinkt das Wachstum des Cyanobakteriums *Calothrix scopulorum* bei einer Salinität von ca. 30 ‰ wieder ab. Die optimale Wachstumsrate stellt sich – ähnlich wie bei den vorhandenen Ergebnissen von *Nodularia spumigena* – bei ca. 15-20 ‰ ein. Diese Ergebnisse lassen sich durch Anzuchtsexperimente mit *Nodularia spumigena* von LASSUS et al. (1995) unterstreichen. *Nodularia spumigena* wuchs bei Salinitäten von 0 ‰, 12 ‰, 24 ‰ und 35 ‰ in etwa gleich gut an. Bei 35 ‰ ließ

sich jedoch eine erhöhte Entwicklung von Akineten (Überdauerungsstadien) beobachten, außerdem färbten sich die Trichome gelb-grün. Diese Anzeichen deuten auf ein Absterben des Cyanobakteriums hin. Die negative Auswirkung der Salinität auf das Wachstum steigt somit erst bei höheren Salzgehalten (ab ca. 30 ‰) an, welche sich im Banter See durch eine Öffnung des Grodendamms jedoch nicht einstellen würden.

Diskussion der Ergebnisse der Nährsalzkonzentrationsversuche:

Die Ergebnisse der Versuche mit verschiedenen Nährsalzkonzentrationen zeigen, dass das Wachstum der Populationen von *Nodularia spumigena* durch eine Kombination von Phosphat und Nitrat im Nährmedium positiv gefördert wird. Dieses Ergebnis ist aufgrund der Tatsache, dass Cyanobakterien die Fähigkeit zur Stickstofffixierung besitzen, verwunderlich. Mutmaßlich bevorzugen sie jedoch den Stickstoff, der ihnen im Nährmedium frei zur Verfügung steht, da der Vorgang der Stickstofffixierung in den Heterocysten viel Energie bedarf. Somit lässt sich festhalten, dass der Vorgang in den Heterocysten nur unter schlechten Bedingungen angewandt wird. Aus den Versuchen hat sich nicht ergeben, dass eine hohe Konzentration an Nährsalzen (Phosphat) das Wachstum von *Nodularia spumigena* fördert. Dies war jedoch zu erwarten, da bekannt ist, dass viel Phosphat zur Eutrophikation des Ökosystems See und damit zur Begünstigung des Wachstums von Cyanobakterien führt (SCHLEGEL 1981).

Trotzdem ist künftig davon auszugehen, dass die Nährsalzkonzentration des Banter Sees zu überwachen ist und nicht unkontrolliert Mineralsalze eingeleitet werden dürfen, da gerade die Kombination der entscheidenden Elemente N und P den positivsten Effekt gezeigt hat. Es wird daher empfohlen, den Nährsalzeintrag zu minimieren.

Diskussion der Ergebnisse der Kombination von Temperatur und Lichtintensität mit vegetativen Zellen:

Tendenziell lässt sich erkennen, dass höhere Lichtintensitäten (2 klux) das Wachstum von *Nodularia spumigena* fördern. Die Beobachtung trifft auf beide Temperaturansätze zu. Diese positive Beeinflussung höherer Lichtintensitäten ist auf die photosynthetische Aktivität von *Nodularia spumigena* zurückzuführen.

Ein Lichtprofil vom 02.06.2005 des Banter Sees verdeutlicht die typischen Verhältnisse der Lichteinstrahlung im Wasserkörper des Sees. Die Tatsache, dass in einer Tiefe von 2 m immer noch eine Lichtintensität von 2 klux und in einer Tiefe von 9,5 m immerhin noch eine Lichtintensität von 0,25 klux vorherrscht, könnten das Wachstum der Cyanobakterien positiv beeinflussen und zu einer Algenblüte beitragen haben.

Unterschiede lassen sich beim Wachstum der Populationen der verschiedenen Temperaturansätze feststellen. Die Populationen von *Nodularia spumigena* der Versuchsansätze bei 18 °C besitzen eine höhere Wachstumsrate als die der Ansätze bei 8 °C. Jedoch geht das explosionsartige Wachstum der Kultur bei 18 °C schnell wieder zurück, sodass am Ende der Versuchsreihe die Population bei 8 °C eine höhere Anzahl an Einzelzellen besitzt als die Population bei 18 °C. Folglich wird das Wachstum von *Nodularia spumigena* bei höheren Temperaturen und höheren Lichtintensitäten

im Bereich von 1-2 klux über einen kurzen Zeitraum positiv beeinflusst. Bei niedrigen Temperaturen dagegen wird das Wachstum zwar auch durch höhere Lichtintensitäten positiv beeinflusst, doch erst über einen längeren Zeitraum. Dies liegt vermutlich daran, dass die Stoffwechselfvorgänge der Cyanobakterien durch die niedrigen Temperaturen verlangsamt werden und die Population deshalb nicht so schnell zunimmt. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass in den Versuchansätzen von 18 °C zunehmend wachsende Flagellatenpopulationen auftraten, die möglicherweise das Wachstum von *Nodularia spumigena* beeinflussen und somit den Rückgang der Population verursacht haben könnten.

Diskussion der Ergebnisse der Kombination von Temperatur und Lichtintensität mit Akineten:

Anzunehmen ist, dass der Versuch, Akineten zum Auskeimen zu bringen nur teilweise gelungen ist.

Beabsichtigt war, dass die Akineten bei höheren Temperaturen und niedrigen Lichtintensitäten auskeimen, da sie im Sediment des Sees vorliegen.

Bei den Versuchansätzen 18 °C – Ost/0,25 klux und 18 °C – West/Dunkel ist ein minimales Wachstum an vegetativen Zellen zu verzeichnen, welches den Erwartungen entspricht. Jedoch ist ebenfalls ein Wachstum beim Versuchansatz 18 °C – Ost/2 klux aufgetreten. Dies widerspricht den Erwartungen.

Es kann dennoch sein, dass in den anderen Versuchansätzen ebenfalls ein Wachstum vegetativer Zellen von *Nodularia spumigena* stattgefunden hat, dieses jedoch nicht registriert wurde, da beim Entnehmen der Proben die Zellen aufgrund der großen Volumina der Ansätze nicht herauspipettiert wurden.

Außerdem ist nicht bekannt, wie viele Akineten sich im entnommenen Sediment befanden, da eine Nullzählung ausblieb. Es wurden mehrere Methoden zur Trennung der Akineten vom Sediment und zur Anreicherung der Akineten herangezogen (Zinkchloridmethode, Methode mit ultrafeiner Gaze). Diese Methoden wurden ausprobiert, sind jedoch fehlgeschlagen und haben so nicht zum gewünschten Ergebnis geführt. Auffällig ist, dass bei den Zählungen der Ansätze der Proben aus dem Osten des Sees häufiger vegetative Zellen festgestellt werden konnten. Dies liegt womöglich daran, dass die Algenblüte des Jahres 2005 vom Wind im Osten des Sees zusammengetrieben wurde. Dort bildeten die Organismen Akineten, starben ab und sanken zum Grund des Sees ins Sediment.

6. Ausblick

Eine mögliche Lösung des Algenblütenproblems beschreibt Prof. Dr.-Ing. Jürgen Michele vom Institut für Energie-, Verfahrens- und Umwelttechnik (EVU) der Fachhochschule Wilhelmshaven (Vortrag vom 13.12.2005, FH Wilhelmshaven).

Sein Lösungsansatz besteht darin, die sommerlich bedingte Schichtung des Sees aufzuheben und durch einen künstlich erzeugten Freistrahle eine Sauerstoffanreicherung im Hypolimnion herbeizuführen.

Der Freistrahle wird von einem kleinen schwimmenden Windrad erzeugt, welches an einem Ende des Sees platziert werden soll. Durch die Windenergie wird der Ro-

tor des Windrades angetrieben, der die Bewegungsenergie auf einen Propeller unterhalb der Wasseroberfläche überträgt. Durch den Propeller wird das Oberflächenwasser in einem Winkel von 45° in die Tiefe des Sees gedrückt. Nach technischen Untersuchungen gewährleistet dieser Winkel, dass die angestrebte Destratifikation erreicht und somit die Sauerstoffanreicherung des Hypolimnions bewirkt wird. Durch die Einleitung des Sauerstoffes in das Hypolimnion soll zum einen die Rücklöslichkeit von Phosphaten geringer werden und zum anderen sollen sich günstigere Bedingungen für Fressfeinde von *Nodularia spumigena* in den Tiefen einstellen. Dadurch soll die Nahrungskette angeregt und eine Algenblüte verhindert werden. Dieses Verfahren wird zunächst im Jahre 2006 im Accumer See getestet. Ob es zur Verhinderung der Algenblüte führt ist fraglich, da sowohl die Aspekte Temperatur und Licht als auch die Salinität und die Nährsalzkonzentration überhaupt nicht oder nur langfristig graduell zu verändern sind.

7. Danksagung

Bei Herrn K. Schöpfer bedanken wir uns für die kompetente Unterstützung und Betreuung dieser Arbeit.

Dem Forschungsinstitut Terramare danken wir für die Möglichkeit, die Experimente in den Laborräumen unter sterilen Arbeitsbedingungen durchführen zu können und alle Geräte benutzen zu dürfen. Außerdem danken wir den Mitarbeitern des Instituts für die ausführliche Sicherheitsbelehrung, die Einweisung in die technischen Gerätschaften und die freundliche Unterstützung.

Wir danken der Stadtparkasse Wilhelmshaven für die finanzielle Unterstützung zum Kauf von Chemikalien, Karten und zur Anfertigung von Kopien und Fotos.

Unser Dank gilt der Universität Rostock für die Bereitstellung vegetativer Zellen von *Nodularia spumigena*.

Vielen Dank den Mitgliedern des UWC Manta (Tauchclub) für die Probennahme von Seesedimenten zur Bestimmung der Keimfähigkeit von Akineten.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Michele (Institut für Energie-, Verfahrens- und Umwelttechnik der Fachhochschule Oldenburg, Ostfriesland, Wilhelmshaven) möchten wir uns für die Möglichkeit bedanken, das Freistahlverfahren in einem Vortrag kennen lernen zu können.

Wir danken den Mitarbeitern der Stadt Wilhelmshaven – Fachbereich Stadtplanung und Stadterneuerung – für die Luftbilder und die Beratung bei der Anlage der Kartierung des Banter Sees.

8. Zusammenfassung

In den Jahren 1990, 2000, 2003, 2004 und 2005 traten in dem Brackgewässer „Banter See“ wiederholt Wasserblüten des Cyanobakteriums *Nodularia spumigena* auf. Aufgrund der Toxizität der Algenblüte musste der See in den Sommermonaten gesperrt werden, sodass die freizeitliche Nutzung nicht möglich war.

Untersucht wird die Entwicklung des Cyanobakteriums *Nodularia spumigena* in Abhängigkeit der Salinität, der Nährsalzkonzentration, der Temperatur sowie einer Kombination der Parameter Lichtintensität und Temperatur unter Laborbedingungen. Zusätzlich wird der Einfluss von Lichtintensität und Temperatur auf das Auskeimen der Überdauerungsstadien von *Nodularia spumigena* experimentell erforscht. Die Ergebnisse sollen als Grundlage für mögliche Lösungsvorschläge zur Verhinderung einer Algenblüte dienen.

9. Literaturverzeichnis

- FAY, P., G. E. FOGG, W. D. P. STEWART & A. E. WALSBY (1973): The blue-green Algae. Academic Press Inc., London Ltd.: 298-299.
- LASSUS, P., G. ARZUL, E. ERARD, P. GIENNIEN & C. MARCAILLOU (1995). Harmful Marine Algal Blooms, Lavoisier, Intercept Ltd., Paris, New York.
- MASALON, R. (2002) Akineten von Cyanobakterien im Sediment des Brackwassersees Banter See/Wilhelmshaven, nordwestliches Niedersachsen, als potentielle Quelle für Blüten von *Nodularia spumigena*. Studienarbeit, Institut für Aufbereitung und Deponietechnik, Technische Universität Clausthal.
- MICHELE, J. & V. MICHELE (2002): The free jet as a means to improve water quality: Destratification and oxygen enrichment. – *Limnologica* 32: 329-337.
- NULTSCH, W. (1982) Allgemeine Botanik. 7. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- RAVEN, P. H., R. F. EVERT & S. E. EICHHORN (2000) Biologie der Pflanzen. 3. Aufl.; ins Deutsche übertragen von R. Langenfeld-Heyser unter Mitwirkung von Beckmann, S., B. Biskup, J. C. Biskup, S. Blechschmidt-Schneider, B. Ebert, S. Findel, J. P. Frahm, W. Frey, K. Gellersen, E. M. Gillet, H. H. Hilger, H. Koch, C. Mai, S. Peschel, U.-G. Schlösser, E. Schneider, R. Tiedemann, H. Uhlarz, B. Vornam & M. Worbes. Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- SCHLEGEL, H. G. (1981): Allgemeine Mikrobiologie. 5. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- SCHOLZ, B. (1998): Nährmedienauswahl und Optimierung der wachstumsrelevanten Parameter für die Massenkultivierung phototropher Mikroorganismen am Beispiel der Cyanophyceae *Microcystis aeruginosa* (Stamm NFUP (19): Studienarbeit TU Berlin.
- STRASBURGER, E., F. NOLL, H. SCHENCK & A. SCHIMPER (1998): Strasburger: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 34. Aufl. neubearbeitet von SITTE, P., H. ZIEGLER, F. EHRENDORFER & A. BRESINSKY. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin.
- WHITTON, B. A. & M. POTTS (2000): The Ecology of Cyanobacteria. Their diversity in time and space. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht.

Wolfgang Büsing 1928-2008 Ehrenmitglied des OLV seit 1998



Am 25. Juni 2008 starb der Apotheker Wolfgang Büsing, geboren am 29. August 1928, bei einem Urlaub auf Wangerooge und wurde am 2. Juli unter großer Anteilnahme auf dem Gertrudenkirchhof beigesetzt. Beinahe 80 Jahre alt hatte er sich als gebürtiger Oldenburger und Nachfahre einer Familie, die seit 1345 eng mit der Geschichte seiner Heimatstadt verbunden ist, über sechs Jahrzehnte mit Familiengeschichtsforschung beschäftigt. Bereits in jungen Jahren hatte sich sein Interesse entwickelt, und so trat er 1947 in den Oldenburger Landesverein (OLV) und die Oldenburgische Gesellschaft für Familienkunde (OGF) ein, denen er über 61 Jahre die Treue halten sollte und in denen er sich aktiv am Vereinsgeschehen beteiligte.

Ein Beispiel seines frühen Wirkens findet sich bereits im 50. Band des Oldenburger Jahrbuches (OJb; Festgabe), erschienen 1950 anlässlich des 100-jährigen Jubiläums des OLV und der 600-Jahrfeier Oldenburgs, mit dem Beitrag: „Geschichte der Oldenburger Stadtapotheken mit 3 Stammtafeln“. Bald nach seinem Examen folgte 1954 in Heft 8 der Oldenburger Quellen zur Familienkunde seine Arbeit über „5 Stammbücher Oldenburger Studenten 1764-1815“. Im Oldenburger Balkenschild erschien 1955 der Beitrag über den „Magister Essenius, Pfarrer zu Peine und Berne (1603-1629)“ und das OJb (55. Band) von 1955 enthält eine Arbeit, worin er sich erstmals mit dem gesamten Oldenburger Land beschäftigte: „Personengeschichtliche Nachrichten aus den Oldenburgischen wöchentlichen Anzeigen 1746-1800“. Ab 1962 folgten teilweise bis zuletzt regelmäßige Beiträge, u.a. in der Nordwest-Heimat und im Oldenburgischen Hauskalender.