

Mandy Bahnwart

**Ökophysiologische Untersuchungen zu den
steuernden Faktoren der Phytoplanktonsuccession
im Verlauf der Fließstrecke der Warnow**

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Bahnwart, Mandy:

Ökophysiologische Untersuchungen zu den steuernden Faktoren der Phytoplankton Sukzession im Verlauf der Warnow / Mandy Bahnwart. -

Berlin : Weißensee-Verl., 2001

Zugl.: Rostock, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-934479-59-6

Diese Arbeit entstand am Lehrstuhl für Allgemeine und Spezielle Botanik des Institutes für Biodiversitätsforschung der Universität Rostock.

Als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock eingereicht von Mandy Bahnwart.

Tag der Verteidigung: 16. Juli 2001

Gutachter:

Prof. Dr. U. Schiewer, Universität Rostock

Prof. Dr. H. Schubert, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

PD Dr. H. Zimmermann-Timm, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Gedruckt auf holz- und säurefreiem Papier, 100 % chlorfrei gebleicht.

© Weißensee Verlag, Berlin 2001
Wilhelm-Wagenfeld-Str. 1, 13086 Berlin
Tel. 0 30 / 91 20 7-100
www.weissensee-verlag.de
e-mail: mail@weissensee-verlag.de

Alle Rechte vorbehalten

Umschlag: Chili Grafik-Design, Berlin

Umschlagbild: Colorinfrarot-Luftbildaufnahme der Warnow bei Kambs (Mecklenburg-Vorpommern), 1991. (Quelle: StAUN Rostock)

Printed in Germany

ISBN 3-934479-59-6

INHALTSVERZEICHNIS**Abkürzungsverzeichnis**

1 Einleitung	11
2 Material und Methoden	15
2.1 Untersuchungsgebiet	15
2.2 Probenahme	17
2.3 Erfassung hydrologischer Parameter	18
2.3.1 Induktive Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeiten und mittleren Durchflüsse	19
2.3.2 Tracerversuch	19
2.3.2.1 Durchführung	19
2.3.2.2 Berechnung der Integrale der Tracerdurchgangskurven	20
2.3.2.3 Photochemischer Abbau von Fluorescein	21
2.4 Erfassung abiotischer Parameter	21
2.4.1 Nährstoffkonzentrationen	21
2.4.2 Licht	22
2.4.2.1 Lichttagesgänge	22
2.4.2.2 Attenuation	22
2.5 Erfassung biotischer Parameter	22
2.5.1 Phytoplankton	22
2.5.1.1 Chlorophyll <i>a</i>	22
2.5.1.2 Abundanz- und Biomassebestimmung	22
2.5.1.3 Bestimmung von Bruttowachstumsraten (Inkubationsversuche), Änderungsraten und Bruttoverlustraten	23
2.5.1.4 Bestimmung der potentiellen Primärproduktion mit ¹⁴ C	25
2.5.1.5 Aufnahme von Photosynthese-Licht-Kurven (P-I-Kurven)	25
2.5.2 Erfassung der relativen Beschattung des Flußlaufes durch Ufervegetation	26
2.5.3 Erfassung der Makrophytenbestände im Oberlauf der Warnow	27
2.5.4 Sedimentationsmessungen	27
2.5.5 Ermittlung der Abundanzen und Filtrationsraten des Zooplanktons	28
2.5.6 Erfassung des Muschelbestandes	28
2.5.6.1 Kartierung	28
2.5.6.2 Berechnung der Filtrationsraten	29

2.6	Statistische Analysen.....	29
3	Ergebnisse.....	30
3.1	Entwicklung des Phytoplanktons im Verlauf der Fließstrecke der Warnow (Zulauf Barniner See - Rostock/Schleuse) in Abhängigkeit hydrologischer und abiotischer Parameter.....	30
3.1.1	Erfassung hydrologischer Parameter.....	30
3.1.1.1	Mittlerer Durchfluß.....	30
3.1.1.2	Mittlere Fließgeschwindigkeit und mittlere Flußtiefe.....	31
3.1.2	Abiotische Parameter.....	32
3.1.2.1	Wassertemperaturen.....	32
3.1.2.2	Sauerstoffsättigung.....	32
3.1.2.3	pH-Wert.....	33
3.1.2.4	Nährstoffe.....	34
3.1.2.5	Licht.....	36
3.1.3	Entwicklung der Phytoplanktonzusammensetzung und Biomasseentwicklung.....	40
3.1.3.1	Saisonale und longitudinale Chl <i>a</i> - Entwicklung.....	40
3.1.3.2	Saisonale Zusammensetzung des Phytoplanktons.....	41
3.1.3.3	Longitudinale Veränderungen in der Phytoplanktonzusammensetzung.....	44
3.1.3.4	Longitudinale Veränderungen innerhalb der Algengruppen (Sommer/Herbst).....	47
3.1.4	Kurzzusammenfassung.....	51
3.2	Phytoplanktodynamik im Oberlauf der Warnow.....	53
3.2.1	Einleitung.....	53
3.2.2	Hydrologische Untersuchungen.....	53
3.2.2.1	Mittlere Fließgeschwindigkeiten, Flußtiefen und Durchflüsse (punktuelle Messungen).....	53
3.2.2.2	Charakteristik der Durchgangskurven des Tracerversuches.....	54
3.2.2.3	Vergleich der Fließabschnitte hinsichtlich der Totzonenanteile mittels ADZ-Modell.....	58
3.2.2.4	Vergleich der mittleren Fließzeiten zwischen Flo-Mate und Tracer.....	60
3.2.2.5	Kurzzusammenfassung.....	62
3.2.3	Phytoplanktonentwicklung.....	63
3.2.3.1	Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft im Oberlauf.....	63
3.2.3.2	Longitudinale Biomasseentwicklung.....	63
3.2.3.3	Bestimmung der Bruttowachstumsraten (Inkubationsversuche).....	65
3.2.3.4	Bruttoverlusten des Phytoplanktons.....	68
3.2.3.5	Primärproduktionsmessung.....	71

3.2.3.6 Kurzzusammenfassung.....	73
3.2.4 Abiotische und biotische Steuerfaktoren der longitudinalen Phytoplankton- sukzession	74
3.2.4.1 Wassertemperatur, Sauerstoff und pH-Wert	74
3.2.4.2 Nährstoffe.....	74
3.2.4.3 Unterwasserlichtklima.....	76
3.2.4.4 Beschattung des Flußlaufes durch Ufervegetation und Lichtanpassung des Phytoplanktons	76
3.2.4.5 Deckungsgrad und Zusammensetzung der Makrophytenbestände	79
3.2.4.6 Sedimentationsraten und Sestontrockenmasse-Konzentration im Freiwasser ...	80
3.2.4.7 Zooplanktonabundanzen und -grazing	81
3.2.4.8 Abundanzen, Artenzusammensetzung und Filtrationsraten der Muschelbestände	82
3.2.4.9 Kurzzusammenfassung.....	85
4 Diskussion	87
4.1 Potentielle Steuerungsmechanismen der longitudinalen Phytoplankton- sukzession im Flußlauf der Warnow	87
4.2 Steuerung der Phytoplanktondynamik im Oberlauf der Warnow.....	94
4.2.1 Prinzipielle Steuermechanismen im Übergang vom See- zum Flußsystem	94
4.2.2 Nährstoffkonzentrationen als Steuerungsfaktoren der longitudinalen Phyto- plankton- sukzession	95
4.2.3 Steuerung der Planktondynamik durch Licht.....	96
4.2.4 Einfluß weiterer physiko-chemischer Faktoren	99
4.2.5 Steuerung der Phytoplanktonentwicklung durch Sedimentationsprozesse in Abhängigkeit vom Fließregime	101
4.2.6 Steuerung der Phytoplanktonentwicklung durch Grazing	107
5 Zusammenfassung.....	113
6 Literaturverzeichnis.....	117

Danksagung

Anhang

Anhang A: Abbildungen 39 - 40

Anhang B: Tabellen 11 - 15

Anhang C: Artenverzeichnisse

Erklärung

Lebenslauf

Publikationen und Beiträge zu wissenschaftlichen Tagungen

1 EINLEITUNG

Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden erste Untersuchungen des Planktons von Fließgewässern vorgenommen, nachdem schon recht detaillierte Kenntnisse über Vorkommen, Entwicklung und Zusammensetzung des Phytoplanktons in Standgewässern vorlagen. Diese frühen Arbeiten zum Plankton der Fließgewässer konzentrierten sich hauptsächlich auf dessen Verbreitung, Abundanz und taxonomische Zusammensetzung (Cummins *et al.* 1995). Aus dieser Zeit stammen jedoch auch erste grundlegende Arbeiten zur Verbreitung benthischer Fließgewässerorganismen entlang eines Gradienten der organischen Belastung (Kolkwitz & Marsson 1908, 1909). Das darauf basierende Saprobiensystem ist in veränderter und erweiterter Form bis heute in die Praxis der routinemäßigen biologischen Gewässerüberwachung integriert.

In den Mittelpunkt des Interesses der limnologischen Forschung gelangte das Flußplankton jedoch erst in den 50er Jahren. In diesem Zeitraum traten erstmals die Auswirkungen der zunehmenden industriellen und kommunalen Nutzung des Flußwassers bei gleichzeitiger Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung der Einzugsgebiete in das Bewußtsein der Öffentlichkeit. Die verstärkte anthropogene Belastung der Fließgewässer bestand zunächst hauptsächlich in der Einleitung organischer, sauerstoffzehrender Stoffe. Nach Einführung der 3. Reinigungsstufe in zahlreichen Klärwerken verlagerte sich die Problematik auf den verstärkten Eintrag mineralisierter Nährstoffe, die für Algen direkt verfügbar sind. Es kam zur Entwicklung massiver Algenblüten, wie sie beispielsweise ab den 80er Jahren in der Maas (Descy 1992) und vielen anderen europäischen Flachlandflüssen beobachtet wurden. Dies wirkte sich ebenfalls negativ auf das Sauerstoffbudget der Fließgewässer aus und machte sich, insbesondere in großen Flüssen bzw. in Flachlandflüssen mit geringem Gefälle, in einem ausgeprägten Tagesgang der Sauerstoffkonzentration mit hohen Übersättigungen am Tage und entsprechenden nächtlichen Defiziten bemerkbar.

Die damit verbundene Qualitätsverschlechterung der Fließgewässer führte dazu, daß der Aufwand für die Aufbereitung des Flußwassers als Trinkwasser z.T. dramatisch anstieg (Descy 1992, Vandavelde & Da-Molo 1992, Bauer *et al.* 1998). Das trifft auch auf das in dieser Arbeit untersuchte Fließgewässersystem der Warnow zu, aus deren Oberflächenabfluß die Trinkwasserversorgung der ca. 200000 Einwohner zählenden Stadt Rostock gespeist wird. Das Einzugsgebiet der Warnow ist stark durch intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt, so daß sich das Gewässersystem auch heute noch, obwohl die N- und P-Belastung in den letzten 10 Jahren deutlich geringer wurde, in einem hocheutrophen bis hypertrophen Zustand befindet (Thiele & Mehl 1995). Die sich daraus ergebenden Schwierigkeiten bei der Trinkwasseraufbereitung führten dazu, daß die Warnow seit der grundlegenden Studie von Keil *et al.* (1963) ein planktologisch (Hübener 1987, Hübener *et al.* 1989, Schumann *et al.* 1992), chemisch-physikalisch (Kleeberg & Schlunbaum 1993, Behrendt 1996, Schlunbaum & Selig 1996) sowie makrofaunistisch (Zettler 1996) gut untersuchtes Fließgewässerökosystem darstellt.

Aus den oben erwähnten Problemen heraus ergab sich die Notwendigkeit, wirksame Sanierungskonzepte für die Einzugsgebiete der Fließgewässer zu entwickeln. Ein solches Konzept wurde 1995 auch für das Einzugsgebiet der Warnow erarbeitet (Thiele & Mehl 1995). Für die Überwachung der Erfolge derartiger Sanierungskonzepte werden neben der Erfassung der physikalisch-chemischen Parameter auch biotische Komponenten als sogenannte Bioindikatoren eingesetzt, da sie eine zeitlich integrierende Aussage über den Zustand des Ökosystems ermöglichen. So werden für die Trophiebewertung und die Gewässerüberwachung von Fließgewässern verstärkt Algen aller taxonomischen Gruppen als Bioindikatoren hinzugezogen (siehe Whitton & Rott 1996). Um planktische Algen jedoch erfolgreich als Indikatoren der Flußwasserqualität bzw. zur Einschätzung des ökologischen Status' von Flachlandflüssen zu nutzen, bedarf es eines besseren Verständnisses der ökophysiologischen Ansprüche und der Wachstumskinetik suspendierter Flußalgen (Wehr & Descy 1998). Hinzu kommt, daß die Kenntnisse über die Herkunft des Phytoplanktons in Flüssen ebenso lückenhaft sind, wie die der Mechanismen, die die Phytoplanktonentwicklung in Fließgewässern steuern (Reynolds 1988, Reynolds & Glaister 1993).

Die vorliegende Studie soll dazu beitragen, einige dieser Lücken im Verständnis der Steuerprozesse der Phytoplanktonentwicklung in kleinen Fließgewässern zu schließen.

Zur saisonalen Zusammensetzung und Biomasseentwicklung des Phytoplanktons in Fließgewässern liegen zahlreiche Untersuchungen vor, allerdings wird nur in wenigen dieser Arbeiten auf den Aspekt der longitudinalen Phytoplanktonentwicklung und deren Steuerungsmechanismen eingegangen. Die hierzu publizierten Arbeiten konzentrierten sich zudem fast ausnahmslos auf Flußsysteme höherer Ordnungen, während in kleineren Fließgewässern nur eine sehr geringe Anzahl von Untersuchungen durchgeführt wurde (z.B. Köhler 1993, Yang *et al.* 1997). Erst in den 80er Jahren begann man zu erkennen, daß einige Aspekte der Fließgewässerökologie erst durch eine räumliche und zeitliche Analyse des Systems erfaßbar sind (Cummins *et al.* 1995). Erste Ansätze dazu lieferte das bis heute gültige und mittlerweile als verifiziert geltende River Continuum Concept (RCC) (Vannote *et al.* 1980). Es beschreibt die Veränderungen der ökologischen Funktion eines Flusses im Längsverlauf auf Basis der Flußgröße und in Abhängigkeit von der Betrachtungsposition im Flußgradienten. Dabei wird davon ausgegangen, daß ein Fließkontinuum entlang eines Fließgewässers vorliegt, d.h. daß sich die physikalischen Bedingungen nur allmählich ändern, was gleichzeitig kontinuierliche Veränderungen der biotischen Lebensgemeinschaft nach sich zieht.

Häufig wird dieses Fließkontinuum jedoch durch zwischengeschaltete Seen oder Staufstufen unterbrochen (Ward & Stanford 1983). Bei der Warnow handelt es sich um ein solches „river-lake“-System, dessen Flußlauf von einem ständigen Wechsel zwischen frei fließenden Flußabschnitten, Durchbruchstätern und durchflossenen Seen geprägt ist. Flußseen können in erster Linie als Impfquellen für den nachfolgenden Flußabschnitt fungieren (z.B. Moss *et al.* 1989, Moss & Balls 1989, Köhler 1993). Beim Eintrag des Seenplanktons (Limnoplankton) in lotische Bereiche ist das Phytoplankton einem abrupten Wechsel der hydrologischen, abiotischen und biotischen Bedingungen ausgesetzt. Turbulenter Transport bewirkt eine Ver-

änderung des Lichtklimas, der Nährstoffverfügbarkeit und der auf die Organismen einwirkenden Scherkräfte und beeinflusst die Verluste durch Sedimentation und benthische Fraßaktivität (Köhler 1997, 1998). Ob eine positive Netto-Biomasseentwicklung der eingepflichten Phytoplankter im Verlauf der Fließstrecke auftritt, hängt demnach davon ab, inwieweit diese in der Lage sind, sich innerhalb kürzester Zeit an derart veränderte Bedingungen anzupassen.

Neben diesen Veränderungen beim Übergang vom Stand- zum Fließgewässer spielt die Regulation des Phytoplanktonwachstums durch die entlang der Fließstrecke wirkenden Faktoren eine wichtige Rolle. Als potentielle Steuerfaktoren kommen dabei in erster Linie physikalische (Temperatur, Strahlungsklima), hydrologische (Durchfluß, Verweilzeit des Wassers), chemische (Nährstoffkonzentration) und biotische (z.B. Fraßaktivität planktischer und benthischer Organismen) Parameter in Betracht (Reynolds 1988), deren Interaktionen für die Etablierung, Selektion und Produktivität von Phytoplanktonpopulationen in Flüssen von großer Bedeutung sind (Reynolds & Descy 1996).

Im Längsverlauf der Warnow variieren vor allem hydrologische Faktoren, die sich aus der unterschiedlichen Flußmorphometrie ableiten. Während der Oberlauf durch flache, turbulente Fließstrecken und starkes Gefälle in den Durchbruchstätern gekennzeichnet ist, weist der wesentlich tiefere Unterlauf bei einem durchschnittlichen Sohlgefälle von nur 0.09 ‰ sehr niedrige Fließgeschwindigkeiten auf, die ihm einen seeähnlichen Charakter verleihen. Daraus ergibt sich die naheliegende Vermutung, daß sich diese grundlegenden Unterschiede in den morphometrischen und hydrologischen Gegebenheiten im Ober- und Unterlauf der Warnow auf das Gefüge der jeweils steuernden Faktoren und damit auch auf die longitudinale Phytoplanktonentwicklung auswirken.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung stand daher die Klärung folgender Fragen:

- 1) *Wie verändert sich die Biomasseentwicklung und taxonomische Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft entlang des Flußlaufes?*
- 2) *Welchen Einfluß haben die durchflossenen Seen auf die Stromabwärtsentwicklung des Phytoplanktons? Welche Taxa können sich nach ihrer Einimpfung in der nachfolgenden Fließstrecke etablieren, welche werden hingegen ausgesiekt?*
- 3) *Welche Steuerfaktoren sind für das aufgefundene longitudinale Sukzessionsmuster potentiell verantwortlich und sind diese Erkenntnisse auf vergleichbare Fließgewässer übertragbar?*

Dazu wurden sowohl die Phytoplanktonentwicklung als auch die Veränderungen abiotischer und biotischer Faktoren entlang des Flußlaufes analysiert. Die Probenahme erfolgte dabei in der „fließenden Welle“, d.h. es wurde versucht, einen Wasserkörper in Abhängigkeit von der aktuellen Fließgeschwindigkeit stromabwärts zu verfolgen. In den meisten Studien wurde die Beprobung des Flußlaufes von festen Meßstationen ausgehend vorgenommen, ohne daß die Transportzeit der Algen berücksichtigt wurde (z.B. Lack 1971, Moss & Balls 1989, Hudon *et al.* 1996). Im Gegensatz dazu bot die hier angewandte Methode den Vorteil, daß die

reale Verweilzeit des Wassers und damit des Phytoplanktons in einem Flußabschnitt ermittelt werden konnte. Dies erlaubte eine Quantifizierung der Wachstums- und Verlustaten des Phytoplanktons in Abhängigkeit von der Fließzeit. Dieser Komplex der Bestimmung von realen Wachstums- und Verlustaten stellt zugleich den Kernpunkt der vorliegenden Arbeit dar.