

**Dynamische Simulation
der Planktonentwicklung und interner Stoffflüsse
in einem eutrophen Flachsee**

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der
RWTH Aachen University zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Biologe

Tido Strauß

aus Marl

Berichter:

Apl. Professor Dr. Hans Toni Ratte

Universitätsprofessor Dr. Henner Hollert

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Juni 2009

Akademische Edition Umweltforschung

Publikationsreihe des interdisziplinären
Umwelt-Forums der RWTH Aachen

Band 44/2009

Tido Strauß

**Dynamische Simulation der Planktonentwicklung und
interner Stoffflüsse in einem eutrophen Flachsee**

Herausgeber:
Prof. Dr. Hans Toni Ratte
Institut für Umweltforschung (Biologie V)

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2009)

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8501-2

ISSN 1437-532X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Hans Toni Ratte danke ich ganz herzlich für seine vielfältige Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. Henner Hollert möchte ich mich für die Übernahme des Korreferats und die damit verbundene Zeit und Mühe bedanken.

Dr. Thomas Jankowski gilt mein besonderer Dank für die zahlreichen erfrischenden Gespräche und sein konstruktives Korrekturlesen.

Bei Herrn Dr. Joachim Jahnke möchte ich mich für seine stete Diskussionsfreudigkeit bei planktologischen Fragen bedanken.

Dr. Jost Borchering und Dr. Frank Molls danke ich für die mehrfache Ausleihe des Echolots und die Hilfe bei der Auswertung der Echogramme. Der Sportfischerverein Alsdorf e.V. ermöglichte durch die Durchführung der Elektrobefischungen die Charakterisierung der Fischzönose.

Gedankt sei an dieser Stelle Frau Eleonore Prömpers (Stadt Alsdorf, Fachgebiet Umwelt) für die freundliche Zusammenarbeit.

Des weiteren gilt mein Dank meinen Kollegen für die freundliche Arbeitsatmosphäre, die mich immer wieder gerne in das Institut für Biologie V an der RWTH Aachen kommen ließ. Silke Claßen möchte ich für die Durchführung des Algenassays danken, Brigitta Goffart trug als BTA und Laborleiterin durch ihren Einsatz zum Gelingen der Analysen und Experimente bei.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Nährstoffflüsse in Seen: Bedeutung und Quantifizierung	5
2.1	Nährstoffbilanzierung in Seen	5
2.2	Ökologische Stöchiometrie	10
3	Methoden der Freiland- und Laboranalysen	14
3.1	Der Alsdorfer Weiher	14
3.2	Bestimmung pelagischer Parameter	16
3.2.1	Abundanz und Biomasse des Planktons	16
3.2.2	Physikalisch-chemische Parameter	18
3.2.3	Biochemischer Sauerstoffbedarf und Sauerstoffproduktionspotential	19
3.3	Zu- und Abflüsse, Niederschläge	19
3.4	Fische	20
3.4.1	Erhebung des Fischbestands	20
3.4.2	Magenanalysen	20
3.5	Sedimentationsmessungen	21
3.5.1	Konstruktion und Beprobung der Sedimentfallen	21
3.5.2	Plankton	23
3.5.3	Phosphor, Stickstoff und Silizium	23
3.5.4	Seston und POM	24
3.5.5	Resuspension	24
3.6	Sedimentfreisetzung	25
3.6.1	Entnahme und Transport der Sedimentkerne	25
3.6.2	Charakterisierung des Sediments	26
3.6.3	Messung der Nährstofffreisetzung	26
3.7	Algenassay zur Phosphor-Bioverfügbarkeit	27
3.8	Nährstoff-Massenbilanzen	28
3.9	Wetterdaten	30
4	Freilandergebnisse und Diskussion	31
4.1	Zu- und Abflüsse, Niederschläge	31
4.2	Pelagial	32
4.2.1	Physikalisch-chemische Parameter	33
4.2.2	Zooplankton	37
4.2.2.1	Nahrungswahl des omnivoren Rädertieres <i>Asplanchna priodonta</i>	39
4.2.3	Phytoplankton	40
4.2.3.1	Vertikalwanderung des Dinoflagellaten <i>Ceratium hirundinella</i>	42
4.2.3.2	N ₂ -Fixierung durch <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	43
4.2.4	Sauerstoffproduktion (SPP) und -verbrauch (BSB)	47
4.2.5	Lichtattenuation und Sichttiefe	48
4.2.6	Horizontale Homogenität der Parameter	50

4.3	Fische.....	53
4.3.1	Fischabundanz, Artenzusammensetzung, Altersstruktur	54
4.3.2	Nahrungswahl der Rotaugen.....	56
4.3.2.1	Zusammensetzung der Nahrungskomponenten.....	56
4.3.2.2	Größenselektive Prädation von <i>Bosmina longirostris</i>	58
4.3.2.3	Einfluss der Beutegröße auf die Nahrungswahl der Rotaugen.....	60
4.3.3	Nährstoffumsatz individueller Rotaugen.....	64
4.3.4	Nährstoffeintrag der Fischpopulation durch Benthivorie.....	67
4.3.5	Diskussion	69
4.4	Interaktionen zwischen Sediment und Wasserkörper.....	72
4.4.1	Resuspension	72
4.4.1.1	Methodische Fehler der Sedimentationsmessung	75
4.4.1.2	Algenverfügbarkeit von Phosphor aus resuspendierten Sedimenten	76
4.4.1.3	Windinduzierter P-Eintrag aus Sedimentporenwasser	76
4.4.2	Sedimentation.....	77
4.4.2.1	Kalk	77
4.4.2.2	Plankton und partikuläres organisches Material (POM)	78
4.4.3	Nährstofffreisetzung aus Sedimentkernen.....	82
4.4.3.1	Phosphorfreisetzung	82
4.4.3.2	Siliziumfreisetzung.....	84
4.4.3.3	Stickstofffreisetzung.....	85
4.4.4	Nitrifikation.....	86
4.5	Bilanzierung der Nährstoffflüsse	87
4.5.1	Denitrifikation	87
4.5.2	Nährstoffbilanzen für den Alsdorfer Weiher.....	90
5	Modellbildung und Simulation	97
5.1	Methoden der Modellentwicklung.....	98
5.2	Hydrodynamisches Modell – HyLaM	101
5.2.1	Konzept	101
5.2.2	HyLaM – Modellergebnisse.....	104
5.3	Stöchiometrisches Modell – StoLaM.....	109
5.3.1	Konzept	109
5.3.1.1	Nahrungsnetz.....	110
5.3.1.2	Stoffumsätze.....	113
5.3.1.3	Phytoplankton.....	116
5.3.1.4	Zooplankton	119
5.3.1.5	Fische	120
5.3.2	StoLaM – Modellergebnisse	121
5.3.2.1	Kalibrierung	121
5.3.2.2	Sensitivitätsanalyse	122
5.3.2.3	Nährstoff- und Planktodynamik	126
5.3.2.4	Nährstoffstöchiometrie des Planktons.....	142
5.3.2.5	Benthivorie und Zooplanktivorie der Fische.....	146
5.3.2.6	N ₂ -Fixierung durch <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	148
5.3.2.7	Vertikalwanderung des Dinoflagellaten <i>Ceratium hirundinella</i>	151
5.3.2.8	Konkurrenz sommerlicher K-Strategen des Phytoplanktons	159
5.3.2.9	Simulation der Nährstoffdynamik bei variierten Nährstoffeinträgen.....	165

6	Zusammenfassung.....	168
7	Summary.....	170
8	Literaturverzeichnis.....	172
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	194
10	Anhang.....	199
10.1	Dokumentation HyLaM	199
10.1.1	Modellgleichungen.....	199
10.1.1.1	Temperatur	200
10.1.1.2	Sauerstoff	205
10.1.2	Modellparameter und Abkürzungsverzeichnis.....	208
10.2	Dokumentation StoLaM.....	211
10.2.1	Modellgleichungen.....	211
10.2.1.1	Licht	211
10.2.1.2	Sauerstoff	212
10.2.1.3	Zu- und Abflüsse, vertikaler Transport.....	213
10.2.1.4	Sedimentfreisetzung, Nitrifikation und Denitrifikation	214
10.2.1.5	Silizium	215
10.2.1.6	Phosphat	215
10.2.1.7	Nitrat und Ammonium	215
10.2.1.8	Phytoplankton (inklusive N ₂ -Fixierung).....	216
10.2.1.9	Detritus, DOP und DON	222
10.2.1.10	Zooplankton	223
10.2.1.11	Fische	228
10.2.2	Modellparameter	230
10.2.3	Abkürzungsverzeichnis	235
10.3	Datenanhang.....	238
10.3.1	Sedimentanalysen.....	238
10.3.2	Bioassay mit <i>Scenedesmus subspicatus</i> ($\equiv$ <i>Desmodesmus subspicatus</i>).....	239
10.3.3	Magenanalysen <i>Asplanchna priodonta</i> (Rotatoria).....	240
10.3.4	Magenanalysen Rotaugen (<i>Rutilus rutilus</i>)	241
10.3.5	Nährstoffbilanzen 1997	243
10.4	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis Anhang.....	244