

Primärsukzession in einem Kleingewässer (Hühnerwasserteich) - Teil 2: Vergleich der Produktion von Phytoplankton, Makrophyten und heterotrophen Bakterien

*Gudrun Lippert¹, Brigitte Nixdorf¹, Dieter Leßmann¹, Ingo Henschke¹, Maik Veste²
& Michael Böhme³*

Brandenburgische Technische Universität Cottbus, ¹Lehrstuhl Gewässerschutz, ²Forschungszentrum Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaft - FZLB, ³Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, ¹E-Mail: gudrun.lippert@tu-cottbus.de

Keywords: Kleingewässer, Initialbesiedlung, Phytoplankton, Makrophyten, Primärproduktion, Bakterien

Einleitung

Flache Seen und Kleingewässer unterliegen oft hohen trophischen Belastungen, wobei die Nährstoffeinträge stark variieren können. Die organismische Reaktion dieser Systeme kann sehr verschiedene Ausprägungen haben und in einer Dominanz von Makrophyten bzw. Mikrophytobenthos münden. Welchen Anteil dabei die verschiedenen Organismengruppen an der Primärproduktion haben, ist bislang wenig untersucht. Im Jahre 2009 wurden im Hühnerwasserteich, einem Kleingewässer in einem künstlichen Einzugsgebiet in der Initialphase mit Dominanz von Makrophyten und fädigen Algen, die planktische und benthische Primärproduktion und die pelagische bakterielle Produktion untersucht. Ziel dieser Untersuchungen war es, saisonale Muster und Intensitäten der einzelnen Prozesse zu analysieren und die Fragen zu beantworten: Wie vollzieht sich die Erstbesiedlung durch Primärproduzenten und pelagische Bakterien in einem Kleingewässer in der Initialphase? Welche Produktionsintensitäten treten auf?

Untersuchungsgebiet

Das Hühnerwasser ist ein Teich in einem 2005 geschaffenen künstlichen Einzugsgebiet auf einer Bergbauhalde im Tagebau Welzow-Süd südlich von Cottbus mit einer Fläche von 3896 m² und einem Volumen von 4109 m³ (Kleeberg et al. in press, Leßmann et al. 2010, Leßmann et al., dieser Band). Die maximale Tiefe beträgt 2,4 und die mittlere Tiefe 1,1 m (Vermessung Oktober 2008).

Methodische Ansätze

Monatlich wurden im Jahre 2009 Mischproben in 0,5 m Abstand an der tiefsten Stelle entnommen, an der auch das Tiefenprofil der abiotischen Parameter und das Unterwasserlicht gemessen wurden. Alle Phytoplanktonproben wurden fixiert und dunkel bei 4 °C gelagert und nach der Utermöhl-Methode (1958) gezählt. Das Bakterienplankton wurde von der Gewässermischprobe entnommen 100 ml mit 3 % Formalin fixiert und nach der Methode von Porter und Feig (1980) auf ihre Abundanz analysiert.

Die angewendeten Methoden zur Bestimmung der abiotischen (Nährstoffe, Seston, Feucht- und Trockengewicht, Alkalinität) und biotischen Parameter vom Hühnerwasserteich erfolgten nach DIN Vorschriften (s. Leßmann et al. 2010). Die Probennahmen der Makrophyten wurden entlang eines Transekts durchgeführt. Er entsprach der maximalen Ausdehnung des Teiches von Südost nach Nordwest. Dort wurden an 14 Messstellen in äquidistanten Abständen mit dem Van Veen-Greifer je eine Probe entnommen und als Mischprobe vereinigt. Die Bestimmungen der Primärproduktion des Phytoplanktons und der Makrophyten erfolgten mittels ^{14}C Methode (Inkubation im Lichtgradienten: 0-100% Licht und I_{mix} , modifiziert nach Vollenweider, 1974), wobei die Makrophytenproben in 25 ml Vials mit Zugabe von 6 kBq als $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ -Lösung versetzt wurden. Nach 3 Stunden Inkubation wurde aus der Differenz der zugegebenen ^{14}C -Aktivität und der in der Lösung verbliebenen die Primärproduktion ermittelt und auf das Feucht- bzw. Trockengewicht der inkubierten Makrophytenarten bezogen. Eine Hochrechnung auf die flächenspezifische Primärproduktion der Makrophyten wurde unter Berücksichtigung ihrer tatsächlichen Besiedlung und des Unterwasserlichtklimas vorgenommen.

Die Sauerstoffganglinienanalyse fand Anwendung zur stündlich aufgelösten Ermittlung der gesamten Nettoprimärproduktion im Gewässerkörper. Dazu zeichnete eine Multisonde Hydrolab MS5 vom 26. bis 28. August 2009 stündlich Messwerte von Sauerstoffkonzentration, Wassertemperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert in 80 cm Tiefe auf. Die Anstiege/Rückgänge der O_2 -Konzentration entsprachen weitgehend dem modellhaft zu erwartenden Tagesgang und waren relativ stetig. Dies ermöglichte die Berechnung der Primärproduktion aus den Sauerstoff-Tagesgängen nach Odum (1956). Dabei entspricht die Nettoproduktion der zeitlichen Änderung der O_2 -Konzentration unter Berücksichtigung eines Korrekturgliedes zur atmosphärischen Belüftung nach Odum (1956) und Hickey (1988).

Die Photosynthese-Leistung der Makrophyten aus dem Hühnerwasserteich wurde mit dem Chlorophyllfluoreszenz-Meßsystem PAM-2000 (Heinz Walz GmbH, Effeltrich) bestimmt. Die physiologischen Messungen wurden im August 2009 an jeweils 6 Blättern der unterschiedlichen Arten im Wasser bei Raumtemperatur durchgeführt

Ergebnisse

Phytoplankton und pelagische Primärproduktion

Die Zusammensetzung des Phytoplanktons und die Höhe der Biomasse ist in der Abb. 1 zusammen mit der Konzentration des Chl a dargestellt. Maxima treten im Sommer auf und sind auf zeitweise günstige Nährstoffversorgung zurückzuführen. Die Artenzusammensetzung folgt keinem saisonalen Muster, sondern zeigt Maxima ganz unterschiedlicher Taxa: Vertreter der Chrysophyceen und Diatomeen 2008, Dinoflagelaten und Conjugatophyceen 2009.

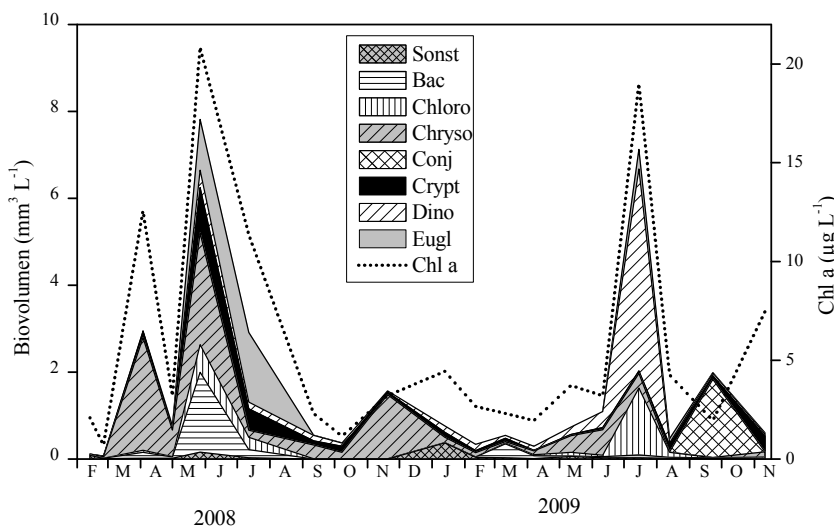


Abb. 1: Chlorophyll-a-Konzentration und Phytoplanktonbiomasse und -zusammensetzung 2008 und 2009 im Hühnerwasserteich

Die pelagische Primärproduktion ist im Vergleich zu den Produktionsintensitäten der Bakterien und der Makrophyten in der Abb. 4 dargestellt. Sie ist insgesamt gering und bewegt sich wegen der P- und Si-Limitation (s. Leßmann et al., dieser Band) auf mesotrophem Niveau. Ein Vergleich von stündlichen bzw. täglichen Primärproduktionsraten zu gering produktiven Tagebauseen, mesotrophen und polytrophen Gewässern der Scharmützelseeregion ist in Tab. 1 enthalten. Er belegt die außerordentlich geringe pelagische Primärproduktion im Hühnerwasserteich.

Tab. 1: Pelagische Primärproduktion in eutrophen Hartwasserseen und Tagebauseen sowie im Hühnerwasserteich – ein Vergleich

Gewässer	PP pro Std. [mg C*m ⁻³ *h ⁻¹]	PP pro Tag [mg C*m ⁻³ *d ⁻¹]
Langer See (LAN) ¹	228,23	1141,15
Wolziger See (WOL) ¹	45,85	229,25
Melangsee (MEL) ²	44,95	224,77
Scharmützelsee (RIE) ¹	27,38	136,90
Tagebausee (ML) ¹	6,17	30,85
Hühnerwasser (HUST) ²	3,22	16,10

(1) Daten von Lehrstuhl Gewässerschutz BTU Cottbus (Nixdorf et al. 2003)

(2) Die Primärproduktionen des MEL und HUST wurden aus den Chl a Konzentrationen 2008 nach Nixdorf et al. (2006) ermittelt. Um von der stündlichen PP auf die Produktion pro Tag zu schließen, wurden die Primärproduktionen pro Stunde mit dem Faktor 5 multipliziert.

Abundanz pelagischer Bakterien und bakterielle Produktion

Die Zellzahlen der meist suspendierten Bakterien liegen zwischen 3 und 8 Mio. Zellen/mL in einem mittleren Bereich. Die Produktion steigt bis zum Mai auf 6 µg C/(L*h) an und verbleibt auf einem relativ hohen Niveau zwischen 4 und 6 µg C/(L*h). Der zeitliche Verlauf der bakteriellen Produktion ist in Abb. 4 dargestellt.

Makrophytenproduktion

- a) ¹⁴C-Produktion: In Abb. 2 ist die flächenbezogene als auch die spezifische (bezogen auf das Trockengewicht) Produktion der Makrophyten für die Untersuchungsperiode 2009 dargestellt. Die spezifische Produktion folgt zunächst dem Verlauf der flächenbezogenen Produktion und sinkt dann im Gegensatz zur Flächenproduktion, die im Oktober aufgrund des Maximums der Biomasseentwicklung (s. Leßmann et al., dieser Band) ebenfalls ihr Maximum erreicht. Sie umspannt einen Bereich von 5-180 mg C/(m²*h) und ist damit z. T. um Größenordnungen höher als die pelagische Primärproduktion des Phytoplanktons (s. Abb. 4).
- b) Sauerstoffganglinienanalyse: Die Ergebnisse zur Sauerstoffnettoproduktion und Community Respiration umfassen die photosynthetische und respiratorische Aktivität ALLER Organismen des Pelagials und Benthals. Die Produktion der Makrophyten im Hühnerwasserteich übersteigt erheblich die des Phytoplanktons. So konnten diese Ergebnisse direkt mit der ¹⁴C-Makrophytenproduktion (als Maß für eine Bruttoprimärproduktion) verglichen werden (Tab. 2). Als Tagesdurchschnittswert der Primärproduktion der Makrophyten ergibt sich eine Rate von 1,5 g C/(m² *d), was in sehr guter Übereinstimmung mit den Bruttoprimärproduktionswerten aus den Analysen der Sauerstoffganglinien steht (3 g C/(m² *d)).

Tab. 2: Primärproduktion und Respiration ermittelt aus der Analyse der Sauerstoffganglinien im August 2009 im Hühnerwasserteich

Tagessummen	Primärproduktion	
	g O ₂ /(m ² d)	g C/(m ² d)
Respiration Tag 1	10.917	3.493
NPP Tag 2	0.191	0.061
Respiration Tag 2	7.861	2.516
BPP Tag 2	9.580	3.066

Die Ergebnisse aus den Messungen mittels Analyse der Sauerstoffganglinien weisen auf eine hohe respiratorische Aktivität der pelagischen und benthischen Organismen des Hühnerwasserteiches hin. Diese Vermutung wird bestätigt durch den hier nicht dargestellten Verlauf der Sauerstoffsättigung im Hühnerwasserteich. Im Jahre 2008 war der See häufig durch Phasen der Untersättigung charakterisiert (Dörschel 2009), was die Vermutung einer Nettoheterotrophie des Systems nahe legte. 2009 entwickelten sich die Makrophyten sehr stark und bedingten bei gleich bleibend geringer Phytoplanktonproduktion eine höhere Sauerstoffnettoproduktion im System, was mit Phasen der Sauerstoffsättigung und z. T. der Übersättigung begleitet wurde.

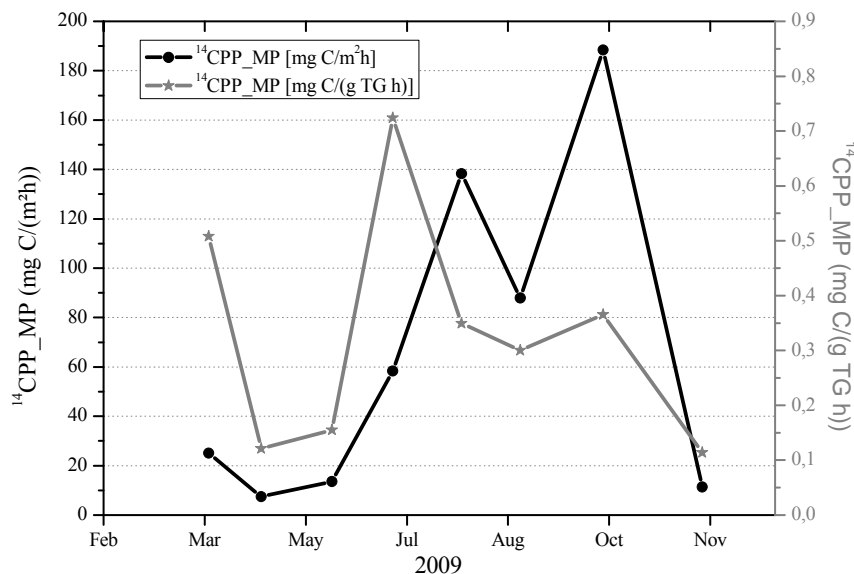


Abb. 2: Primärproduktion der Makrophyten (flächenbezogen sowie auf Trockengewicht) im Hühnerwasserteich mit der ¹⁴C-Methode ermittelt

- c) Die Messung der spezifischen Photosyntheseleistungen mit der PAM-Methode erlaubte einen Vergleich der artspezifischen Produktion der Makrophyten im Hühnerwasserteich. Die höchste Photosynthese-Leistung wiesen *Chara globularis* und *Potamogeton pectinatus* auf (Abb. 3). Da diese Makrophyten nahe bzw. auf der Wasseroberfläche siedeln, ist ihre Photosynthese erst bei höheren Lichtintensitäten ($>1100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) gesättigt. Eine deutlich geringere Photosyntheseleistung hingegen wurde bei *P. natans* und *Myriophyllum spicatum* festgestellt. Die Lichtsättigung der Photosynthese von *Myriophyllum spicatum* ist bereits bei $800\text{-}900 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ erreicht.

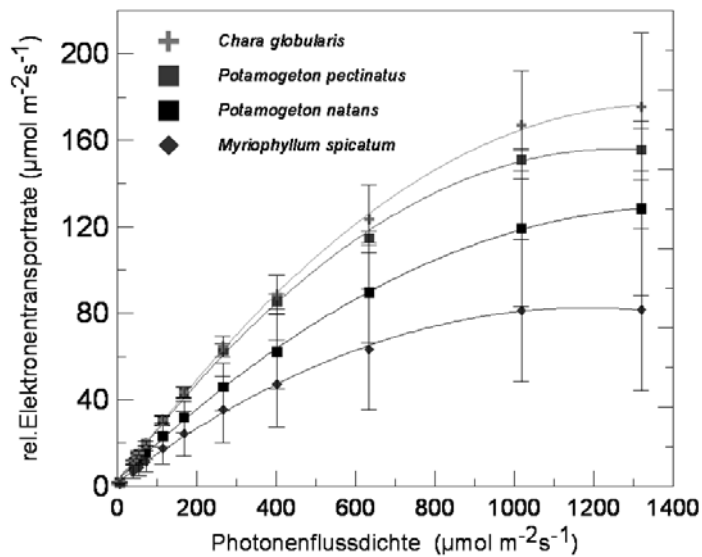


Abb. 3: Relative Elektronentransportrate des Photosystems II von vier Makrophyten aus dem Hühnerwasserteich in Abhängigkeit von der Lichtintensität (PPFD)

Vergleich der Ergebnisse

Die Primärproduktion der Makrophyten (PP_MP) von März bis November 2009 hat einen ähnlichen Verlauf wie die phytoplanktische Produktion (PP_PH), die Intensität der Primärproduktion der Makrophyten (PP_MP) ist aber 4 - 10 mal höher! Im Juli trat jeweils ein Maximum der Makrophyten- und Phytoplanktonproduktion auf. Die Makrophytenproduktion erlangte im Oktober 2009 ein zweites Maximum (185 mg C/(m²*h)). Die bakterielle Produktion ist relativ ausgeglichen und übersteigt bei Kalkulation der Tageswerte die planktische Primärproduktion geringfügig.

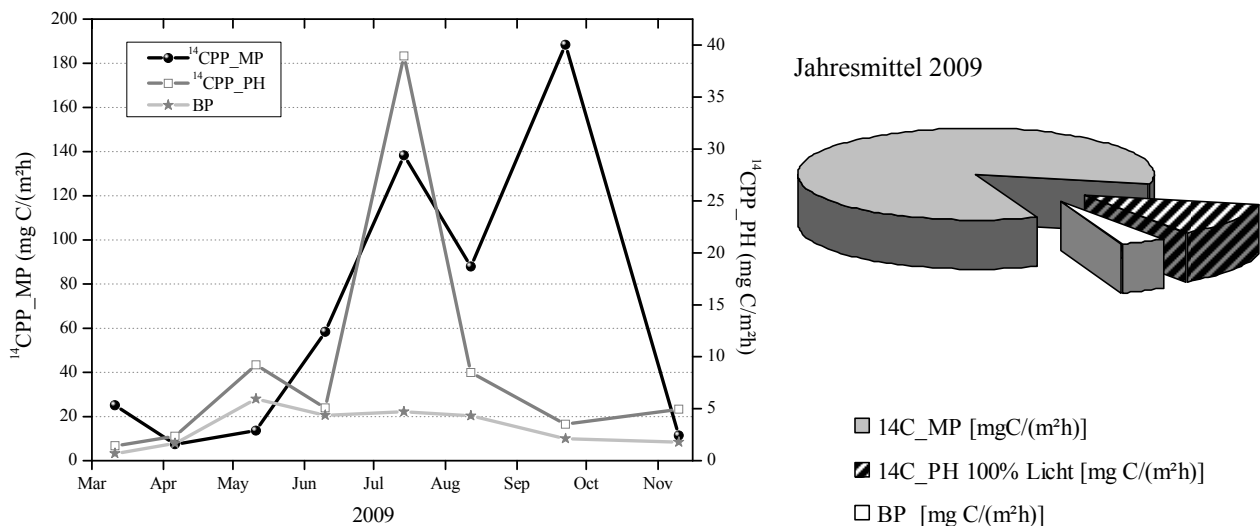


Abb. 4: Verlauf der Primärproduktion der Makrophyten (¹⁴C_MP), des Phytoplanktons (¹⁴C_PH) und der bakteriellen Produktion (BP) im Hühnerwasserteich 2009 (unterschiedliche Skalierung beachten!) sowie die Anteile der Produktion von Makrophyten (MP), Phytoplankton (PH) und der Bakterien (BP) im Jahresmittel 2009

Diskussion und Zusammenfassung

Die autotrophe Besiedlung während der Initialphase des Hühnerwasserteiches war geprägt von hoher Variation der phytoplanktischen Besiedlung auf insgesamt mesotrophem Niveau ohne typische saisonale Muster. Seit 2008 entwickelten sich Makrophyten und erreichten im Sommer 2009 eine etwa 10-fach höhere Primärproduktion im Vergleich zum Phytoplankton. Somit dominierten seit Etablierung der Makrophyten die autotrophen Stoffumsätze das System zum Ende der Initialphase und es fand ein Wechsel von der Nettoheterotrophie zur Nettoautotrophie statt. Der methodische Vergleich zwischen den Produktionswerten aus der modifizierten ^{14}C -Methode und der Analyse der Sauerstoffganglinien ergab eine sehr gute Übereinstimmung. Letztere ergab ein relativ hohes Respirationspotenzial im Hühnerwasserteich, dessen Ursachen bislang nicht geklärt sind. Die bakteriellen Umsätze sind relativ hoch und unterstützen die Hypothese einer hohen heterotrophen Aktivität. Weitere Untersuchungen sollen dem Vergleich der artspezifischen Produktion von Makrophyten und einer weiteren methodischen Prüfung des hier vorgestellten ^{14}C -Messansatzes für Makrophyten dienen.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des von der DFG und dem Land Brandenburg geförderten SFB/Transregio 38 „Strukturen und Prozesse der initialen Ökosystementwicklung in einem künstlichen Einzugsgebiet“ durchgeführt. Wir bedanken uns für die Förderung. Anette Tworeck (LBH Freiburg) analysierte die Phytoplanktonproben und Jörn Jander die Bakterienproben. Die abiotischen und biotischen Parameter der Proben bestimmte Ute Abel und Remo Ender unterstützte uns tatkräftig bei der Probenahme und Auswertung. Das PAM-Messsystem stellte Werner B. Herppich (ATB, Potsdam) zur Verfügung. Auch dafür unseren Dank.

Literatur

- Dörschel, Ch. (2009): Limnologie von Kleingewässern: Pelagische Stoffumsätze und Besiedlungsmuster im Winter und Frühjahr 2008 am Beispiel Hühnerwassersee. Diplomarbeit an der BTU Cottbus.
- Hickey, C.W. (1988): River oxygen uptake and respiratory decay of sewage fungus biofilms. *Water Research* 22(11): 1375-1380.
- Kleeberg, A., Herzog, C., Jordan, S., Hupfer, M. (in press): What drives the evolution of the sedimentary phosphorus cycle? *Limnologica*.
- Leßmann, D., Henschke, I., Lippert, G., Ender, R., Nixdorf, B. (2010): Primärsukzession in einem Kleingewässer (Hühnerwasserteich) - Teil 1: Physikalisch-chemische Bedingungen, Chlorophyll a und Makrophyten. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht 2009 (Oldenburg): in diesem Band.
- Leßmann, D., Deneke, R., Ender, R., Nixdorf, B. (2010): Limnological development of Hühnerwasserteich. In: Schaaf, W., Biemelt, D., Veste, M., Hüttl, R.F. (eds.), Initial development of the artificial catchment 'Chicken Creek' – monitoring program and survey 2005-2008. *Ecosystem Development* 2.
- Odum, H.T. (1956): Primary production in flowing water. *Limnol. Oceanogr* 1: 102-117.
- Porter, K.G., Feig, Y. S. (1980): The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 25: 943-948.
- Vollenweider, R.A. (1974): A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. Blackwell Scientific Publications, London: 225p.