

UPSCALING PLANT PHOTOSYNTHESIS TO GROSS PRIMARY PRODUCTIVITY

– An experimental approach in a temperate peatland –



Hartshoper Moor in March 2012

Wiebke Münchberger
born on 26th December 1985
April 2013

First supervisor: Prof. Dr. Lars Kutzbach

Second supervisor: Prof. Dr. Kai Jensen

Abstract

A thorough understanding of carbon cycling and an accurate quantification of carbon fluxes has become increasingly important during the past decades. As photosynthesis and respiration are important processes in the carbon cycle of the biosphere, approaches on different spatial scales are used to investigate the CO₂ gas exchange of plants and ecosystems. This study aims to characterize and quantify CO₂ fluxes of leaf and closed chamber scale measurements of photosynthesis and to assess the comparability of these two methods on the two spatial scales in a temperate peatland. Peatland ecosystems play a crucial role in the carbon cycle because of their carbon storage function.

Leaf and plant community CO₂ exchange fluxes were measured in early spring in March and April 2012 in a temperate peatland. Leaf chamber measurements were conducted with the three dominant vascular plant species *E. angustifolium*, *E. vaginatum* and *M. caerulea* and dominating *Sphagnum* mosses. Leaf chamber-based CO₂ flux estimates were upscaled to compare with the closed chamber flux estimates. Therefore, data of leaf scale net photosynthesis measurements were weighed by the respective LAI of photosynthetic active vascular plant leaves and *Sphagnum* cover. Dry mass of *Sphagnum* capitula samples was standardized to an area basis. Nonlinear regression analysis was applied to characterize spring photosynthesis for the different species and on the two scales and to model and compare upscaled gross photosynthesis of the investigated species and gross primary productivity on the plant community scale.

Spring gross primary productivity was low, and peat-forming *Sphagnum* mosses were responsible for the spring CO₂ uptake in the investigated peatland. The green LAI of vascular plants was very low, so that these species did not contribute substantially to modeled gross primary productivity. The leaf chamber method led to higher but not statistically different flux estimates than the closed chamber method because the propagated uncertainty of modeled upscaled *Sphagnum* gross photosynthesis and modeled gross primary productivity overlapped. A successful upscaling of small-scale photosynthesis fluxes was demonstrated. *Sphagnum* modeled upscaled gross photosynthesis was afflicted with a high uncertainty due to natural variability of *Sphagnum* capitula of different microhabitats and in their photosynthesis performance. Upscaling of CO₂ fluxes introduced considerable uncertainties related to natural variability even for a simple ecosystem, and the importance of a good integration of natural variability for a valid upscaling of CO₂ fluxes was demonstrated.

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahrzehnten haben das Verständnis des Kohlenstoffkreislaufes sowie eine zuverlässige Quantifizierung von Kohlenstoffflüssen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Photosynthese und Respiration sind wichtige Prozesse des Kohlenstoffkreislaufes der Biosphäre. Daher werden Methoden auf unterschiedlichen räumlichen Skalen angewandt, um den CO₂-Gasaustausch sowohl auf Ebene einzelner Blätter als auch auf ökosystemarer Ebene zu untersuchen. Moore sind aufgrund ihrer Kohlenstoffspeicherfunktion Ökosysteme mit einer besonderen Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Charakterisierung und Quantifizierung von CO₂-Flüssen auf der Ebene einzelner Blätter sowie auf der Ebene der Pflanzengemeinschaft. Darüber hinaus werden die angewandten Methoden zur Messung von CO₂-Flüssen - Blattkammer- und Haubenmessungen - miteinander verglichen.

Dazu wurden CO₂-Gaswechsellmessungen im Frühjahr 2012 von März bis April in einem temperaten Hochmoor durchgeführt. Blattkammermessungen wurden an den dominierenden Gefäßpflanzen *E. angustifolium*, *E. vaginatum* und *M. caerulea* sowie *Sphagnum* durchgeführt. Die CO₂-Flüsse der Blattkammermessungen wurden hochskaliert, um sie mit den Flüssen der Haubenmessung zu vergleichen. Dazu wurden die Daten nach dem Index photosynthetisch aktiver Blattflächen der Gefäßpflanzen sowie der Deckung an *Sphagnum* auf den Untersuchungsflächen gewichtet. Die Trockenmasse der *Sphagnum* capitula - Proben wurde auf ein Flächenmaß standardisiert. Nichtlineare Regressionsanalysen wurden angewandt, um die Photosynthese auf beiden Skalen zu charakterisieren. Diese Regressionsanalysen wurden auch durchgeführt, um die hochskalierte Bruttophotosynthese zu modellieren und diese mit der Bruttoprimärproduktion der Pflanzengemeinschaft zu vergleichen.

Die Bruttoprimärproduktion des Hochmoores im Frühjahr war gering und *Sphagnum* für die CO₂-Aufnahme des Moores verantwortlich. Da der Index photosynthetisch aktiver Blattflächen der Gefäßpflanzen sehr gering war, haben diese Arten kaum zur Bruttoprimärproduktion des Moores beigetragen. Die CO₂-Flüsse, welche auf Grundlage der Blattkammermessungen berechnet wurden, führten zu höheren Flüssen als diejenigen, die durch die Haubenmessung gewonnen wurden. Diese Differenzen waren jedoch nicht statistisch unterschiedlich, da sich der Fehler des Modells der Bruttophotosynthese und der Fehler des Modells für die Bruttoprimärproduktion überlagerten. Daher konnte gezeigt werden, dass beide Methoden zu übereinstimmenden Abschätzungen der Photosyntheserate führen. Die modellierte *Sphagnum*-Bruttophotosynthese war mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Diese Unsicherheit resultiert aus der natürlichen Variabilität der *Sphagnum* capitula unterschiedlicher Mikrohabitate und aus ihrer Variabilität in der Photosyntheseleistung. Die Hochskalierung

der Photosyntheserate ging einher mit der Einführung von bedeutenden Unsicherheiten, auch wenn ein vergleichsweise einfaches System untersucht wurde. Dieses Ergebnis zeigt die Bedeutung einer guten Integration der natürlichen Variabilität für die Hochskalierung von CO₂-Flüssen.

Content

I	List of Figures.....	6
II	List of Tables.....	10
III	List of Abbreviations	11
1	Introduction	15
2	Methodological theory.....	18
2.1	Closed chamber method.....	18
2.2	Leaf chamber method	19
3	Material and Methods	22
3.1	Study Site	22
3.2	Sampling and strategy of gas exchange measurements	22
3.3	Vegetation survey and leaf area index	25
3.4	Laboratory work.....	26
3.5	Data processing and analysis.....	28
4	Results	34
4.1	Vascular plants: Vegetation survey and chlorophyll content	36
4.2	Characteristics of <i>Sphagnum</i> samples and data processing	37
4.3	Quality control of the leaf chamber dataset.....	39
4.4	Closed chamber method: flux calculation and quality of the dataset.....	39
4.5	Curve fitting: Light and temperature response	41
4.6	Upscaling small-scale CO ₂ fluxes to the plant community scale.....	49
5	Discussion.....	54
5.1	Photosynthesis of vascular plants and <i>Sphagnum</i>	54
5.2	NEE and characterization of modeled upscaled P _{gross} and modeled GPP.....	59
5.3	<i>Sphagnum</i> and ecosystem respiration.....	61
5.4	Comparability of the leaf and closed chamber method.....	63
6	Conclusion	69
7	References	71
8	Appendix	77
	Danksagung.....	90
	Erklärung	91