

# **Monitoring restoration and aboveground biomass in tropical peat swamp forests on Borneo using multi-sensoral remote sensing data**

Dissertation an der Fakultät für Biologie der Ludwig-Maximilians-Universität München

Sandra Enghart

Tropische Wälder bilden einen gigantischen Kohlenstoffspeicher und verursachen enorme Kohlenstoffemissionen durch Entwaldung und Walddegradierung, die jährlichen ca. 6 – 17 % der globalen anthropogenen Kohlenstoffdioxidemissionen ausmachen. Besonders tropische, bewaldete Torfgebiete bilden einen zusätzlichen Kohlenstoffspeicher durch tiefe, unterirdische Torfvorkommen (bis zu 20 m). Das größte, bekannte Vorkommen tropischer Torfmoore befindet sich in Indonesien. Starke anthropogene Einflüsse gefährden diese Gebiete, hauptsächlich aufgrund von Holzeinschlag und großflächigen Plantagen (überwiegend für Palmöl), was eine Reduktion des Baumbestandes und eine Trockenlegung des Torfes zur Folge hat. Dies führt zu einer hohen Anfälligkeit für Feuer, welches üblicherweise dazu genutzt wird, bewaldete Flächen zu roden. Dadurch wurde Indonesien zu einem der größten globalen Treibhausgasemittenten und rückte in den Fokus von REDD+ Projekten, die auf eine Verringerung der Emissionen durch Entwaldung und Walddegradierung abzielen. Diese Projekte benötigen eine genaue Kontrolle und Abschätzung der Kohlenstoffbestände in den Wäldern, welche von der oberirdischen Biomasse abgeleitet wird. Die Analyse von Fernerkundungsdaten erweist sich hierbei als die wirtschaftlichste Methode, abgelegene und kaum zugängliche Wälder zu überwachen. Auch wenn die Erhebung von Felddaten arbeitsintensiv, zeitaufwendig und teuer ist, sind diese dennoch zwingend erforderlich für die Kalibrierung von luft- oder satellitengestützten Fernerkundungsdaten im Hinblick auf die Bestimmung der Biomasse.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Themengebiete, die sich mit dem besonderen Ökosystem tropischer Torfwälder auf Borneo befassen: 1.) Untersuchung hydrologischer Effekte der Torfrenaturierung auf Basis von Radardatenzeitreihen und 2.) Möglichkeit und Genauigkeit der oberirdischen Biomasseabschätzung mithilfe von Felddaten und multisensoralen Fernerkundungsdaten sowie unterschiedlicher Methoden.

Die erfolgreiche Renaturierung degradierter Torfgebiete ist besonders im Hinblick auf die Wiedervernässung und das hydrologische Gleichgewicht sowie die damit verbundene Verringerung der Waldbrandgefahr wichtig. Das Blockieren der Drainagekanäle durch den Bau zahlreicher Dämme erwies sich als die effizienteste Renaturierungsmethode. Die Sensitivität des Radarsignals auf Feuchtigkeit wird hierbei genutzt, um Veränderungen der Bodenfeuchte zu beobachten. Multitemporale Radarzeitreihen zeigten erfolgreich die Wiedervernässung drainierter Torfgebieten. Das Radarsignal stieg nach gelungener Wiederbefeuchtung an, besonders in abgeholzten Gebieten mit einer hohen Dammdichte. Außerdem wurde eine starke Korrelation zwischen Radarsignal und Grundwasserständen nachgewiesen. Das Monitoring von Wiedervernässung der Torfgebiete sowie die Quantifizierung der schwankenden Grundwasserstände sind essentiell, um eine Aussage über den Erfolg der Torfrenaturierung treffen zu können.

Die Bestimmung der oberirdischen Biomasse in tropischen Wäldern ist gerade im Hinblick auf REDD+ Projekte von besonderer Bedeutung. Um Emissionen aus Entwaldung und Walddegradierung einen monetären Wert zu geben, ist eine möglichst genaue Abschätzung des in der Vegetation gespeicherten Kohlenstoffs wichtig. In mehreren Studien wurde hier die Verwendung von verschiedenen Fernerkundungsdaten mithilfe von Felddaten zur Abschätzung der oberirdischen Biomasse in tropischen Torfsumpfwäldern analysiert. Die Verwendung von multitemporalen Radardaten verschiedener Frequenzen zeigte vielversprechende Ergebnisse für Biomasseschätzungen bis zu 300 t/ha. Die degradierten Torfwälder im Studiengebiet umfassen schätzungsweise eine oberirdische Biomasse bis zu 350 t/ha wobei primäre Torfwälder laut Literatur bis zu 600 t/ha beinhalten können. Ein Methodenvergleich zeigte, dass künstliche neuronale Netze genauere Biomasseschätzungen lieferten als multivariate lineare Regressionen oder Support Vektor Regressionen. Multispektrale RapidEye Daten hingegen erzielten genauere Biomasseschätzungen, welche jedoch durch eine relativ niedrige Sättigung des Signals bei ca. 100 t/ha limitiert wurden. Die Aufnahme multispektraler Satellitenbilder wird durch die häufige Bewölkung in den Tropen oftmals beeinträchtigt, was eine wiederholte und flächenendeckende Biomasseabschätzung erschwert. Das Radarsignal kann hingegen Wolken und Rauch durchdringen, wird aber durch Feuchtigkeit beeinträchtigt. Daher ist es wichtig, multitemporale Radardaten aus der Trockenzeit zu verwenden, um einem möglichen Einfluss von Regen oder Feuchtigkeit entgegenzuwirken. Flugzeuggetragene LiDAR (Light detection and ranging) Messungen ermöglichten die genauesten Biomasseschätzungen ohne Sättigungsrestriktionen in hohen Bereichen. Sogar kleinräumige Biomasseänderungen konnten aufgrund der detailgetreuen Darstellung der vertikalen Vegetationsstruktur quantifiziert werden. Die großflächige und wiederholte Anwendbarkeit ist allerdings durch hohe Aufnahmekosten je nach Budget limitiert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit helfen Klimaschutzprojekten bei der effektiven Überwachung ihres Schutzgebietes, insbesondere bei der Quantifizierung des im Wald gespeicherten Kohlenstoffs. Dadurch können Kohlenstoffzertifikate umgesetzt werden und deren Verkauf auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt kann zum Naturschutz und zur Erhaltung der Ökosysteme beitragen.