

Erdbeobachtung zur Unterstützung nachhaltiger Waldbewirtschaftung mit Fokus auf Ökosystemdienstleistungsbeurteilung

Clemens Holzer^{1,2}, Dominik Reisinger², Eva Haas¹, Armin Heller²

¹GeoVille, Innsbruck · holzer@geoville.com

²Universität Innsbruck

Zusammenfassung: Erdbeobachtungsdaten liefern für eine Vielzahl unterschiedlicher Thematiken nützliche Anwendungsmöglichkeiten. Speziell im Bereich der Ökosystemdienstleistungen sind diese Anwendungen noch relativ neu. Daher zielt das von der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) finanzierte G-ECO-MON Projekt darauf ab, die Anwendbarkeit von Erdbeobachtung im Forschungsbereich der Ökosystemdienstleistungen zu zeigen. Durch Fallstudien in Georgien und Liberia soll aufgezeigt werden, wie Erdbeobachtung eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und Ökosystemdienstleistungsbeurteilung unterstützt. Die zentralen Fragestellungen dieser Demonstrationsstudien befassen sich mit den Möglichkeiten von Erdbeobachtung zur Erfassung von Biomasse und Waldveränderungen, sogenannten Bereitstellungsdienstleistungen.

Schlüsselwörter: Ökosystemdienstleistungen, Waldmanagement, Biomasse, erneuerbare Energie, Erdbeobachtungsmethoden

Abstract: *Earth observation data provides useful applications for a variety of different themes. Especially in the field of ecosystem services these applications are still relatively new. Therefore, the objective of the G-ECO-MON project, funded by the European Space Agency (ESA), is to demonstrate the applicability of Earth observation in the research field of ecosystem services. Case studies in Georgia and Liberia should show how Earth observation supports sustainable forest management and ecosystem service assessment. These case studies focus on the potential of Earth observation to support the detection of provisioning services, particularly the detection of biomass and forest change.*

Keywords: *Ecosystem services, forest management, biomass, renewable energy, earth observation*

1 Einleitung

Rund 4 Milliarden Hektar (31 %) der Landoberfläche der Erde werden von Waldökosystemen abgedeckt (FAO 2010) und bieten eine Vielzahl von Funktionen und Dienstleistungen für die ländlichen Gemeinden weltweit. Rund 1,6 Milliarden Menschen aus ländlichen Gebieten sind zu einem gewissen Grad von Waldressourcen abhängig (WORLD BANK 2004). Hiervon sind 350 Millionen Menschen völlig auf Güter und Dienstleistungen, die aus Waldökosystemen stammen, angewiesen (CHAO 2012).

Wälder auf der ganzen Welt gelten als ein wichtiger Hotspot der biologischen Vielfalt der Erde, bieten Unterkunft und Schutz für unzählige Tier- und Pflanzenarten und dienen als ein zentrales Element den biogeochemischen Systemen der Erde. In den letzten Jahrhunderten haben sich jedoch die Fläche und die Qualität der Wälder auf der ganzen Welt messbar verändert. Rund 40 % der weltweiten Waldlandschaft sind in den letzten drei Jahrhunderten zurückgegangen, wobei 25 Länder einen vollständigen Verlust der Waldfläche aufweisen und 29 Länder eine 90 %-ige Abnahme zeigen. Besonders Naturwälder in den Tropen unterliegen massiven Abholzungen und Abbauprozessen. Mit einer jährlichen Entwaldungsrate

von über 10 Millionen Hektar werden Wälder in diesen Regionen fortlaufend Umweltstress und -schäden ausgesetzt, was zu einem unwiederbringlichen Verlust von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen führt (SHVIDENKO et al. 2005).

Der Schutz natürlicher Boden-, Kohlenstoff-, Wasser- und Atmosphärenkreisläufe von Wäldern ist aber gleichermaßen wichtig für den Klimaschutz, den Erhalt der biologischen Vielfalt sowie für eine gesunde Entwicklung des forstwirtschaftlichen Sektors. Darüber hinaus sind Waldressourcen und die daraus entstehenden Erträge wichtige Faktoren für eine Verbesserung des Wohlbefindens ländlicher Gemeinden und Haushalte und tragen dadurch zu einer Linderung von Armut bei (APPIAH et al. 2009). Neben Feuerholz als Energiequelle dienen Nichtholzprodukte (Englisch: non-timber forest products – NTFP) als wesentliche Grundlage für den Erhalt der Lebensgrundlagen in ländlichen ärmeren Gemeinden (SCHERR et al. 2004).

Laut dem Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005) stellen Wälder und Waldgebiete eine Vielzahl an verschiedenen versorgenden, regulierenden, kulturellen und unterstützenden Ökosystemdienstleistungen (im weiteren ÖSD) auf allen räumlichen und zeitlichen Skalen zur Verfügung. Aktuelle Schätzungen zu Folge wird die Nachfrage an diesen ÖSD in den nächsten Dekaden rapide ansteigen (MEA 2005). Das Problem dieser wachsenden Nachfrage nach ÖSD wird durch einen damit verbundenen drastischen Rückgang der Kapazitäten von Waldökosystemen verstärkt. Politische Entscheidungsträger und Manager müssen oft Entscheidungen treffen, um die Natur zu schützen und zu regulieren. Das Konzept der ÖSD ist dabei in der Lage, diese Entscheidungen zu unterstützen und zu beeinflussen. Grundsätzlich werden ÖSD, die von Bäumen und Wäldern erhalten werden, in erster Linie von ihrer Lage und der Art, wie sie verwaltet, kontrolliert und bewirtschaftet werden, beeinflusst. Daher kann die Charakterisierung, Erfassung und Bewertung von ÖSD eine nachhaltige Waldbewirtschaftung (Sustainable Forest Management – SFM) stark unterstützen.

Im Jahr 2008 verabschiedete die Vollversammlung der Vereinten Nationen (Resolution 62/98) erstmals eine einheitliche und weltweit gültige Definition von nachhaltiger Waldbewirtschaftung. Gemäß dieser Waldübereinkunft wird nachhaltige Waldbewirtschaftung *„als dynamisches und sich entwickelndes Konzept mit dem Ziel, die wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Werte aller Arten von Wäldern zum Wohle gegenwärtiger und künftiger Generationen zu erhalten und zu verbessern“*, beschrieben. Charakterisiert wird dieses nachhaltige Konzept durch sieben zentrale Themenbereiche: *„(i) Erhaltung der Waldflächen, (ii) biologische Vielfalt der Wälder, (iii) Gesundheit und Vitalität der Wälder, (iv) Produktionsfunktionen der Wälder, (v) Schutzfunktion der Wälder, (vi) sozio-ökonomische Funktionen der Wälder und (vii) der rechtliche, politische und institutionelle Rahmen.“*

Nachhaltige Waldbewirtschaftung tendiert daher dazu, Wälder so zu managen, dass Leistungen und Erträge, wie zum Beispiel Nutzholz, erhöht werden. Darüber hinaus zielt SFM darauf ab, soziale Bedürfnisse so zu erkennen und zu berücksichtigen, dass Wälder und ihre ÖSD für gegenwärtige und zukünftige Generationen erhalten und bewahrt werden. Deshalb und um nachhaltige Waldbewirtschaftung besser planen und überwachen zu können, ist die Quantifizierung und Kartierung von ÖSD eine strategisch wichtige Komponente (SING et al. 2015).

Grundsätzlich wird nachhaltiges Waldmanagement als eine anerkannte und konkrete Methode gesehen, Wälder gemäß dem Ökosystem Ansatz zu bewirtschaften. In den letzten Jahren hat sich der internationale und europäische Forstsektor drastisch in Bezug auf die wirt-

schaftliche Bedeutung und den wirtschaftlichen Status geändert. Forstwirtschaftliche Organisationen und Agenturen haben eine einzigartige, wichtige und kritische Rolle bei nationaler Governance. Viele staatliche Förster haben aufgezeigt, dass räumliche Informationstechnologien und Erdbeobachtungstechnologien eine unschätzbare Ressource sind, wenn es um das Verstehen, die Kommunikation und das effektive Treffen von Entscheidungen über die Bedingungen vor Ort geht.

2 Erdbeobachtung zur Unterstützung nachhaltiger Waldbewirtschaftung mit Fokus auf Ökosystemdienstleistungsbeurteilung

Erdbeobachtung (EO) liefert objektive und wiederholte Datenerfassung über der gleichen Fläche, und ermöglicht dadurch, sowohl Saisonalität als auch zeitliche Landbedeckungsveränderungen zu verfolgen. Die Europäische Raumfahrtagentur (ESA) ist weltweit führend in der Umweltüberwachung und verstärkt nun ihre Anstrengungen in Ökosystemdienstleistungsbeurteilungen und -bewertungen. Das G-ECO-MON – Geographic Ecosystem Monitoring and Assessment Service – Projekt wurde von der ESA finanziert, um den Wert von EO auf Basis von Informationsprodukten für die Ökosystemdienstleistungsbeurteilung zu demonstrieren. Es zielt darauf ab, den Einsatz von EO basierten Informationen auf mehreren Anwendungen zur Beurteilung von ÖSD auszudehnen. Grundsätzlich gibt es vier Schwellenmarktsegmente für Erdbeobachtungsprodukte im Ökosystemdienstleistungsbewertungskonzept, das Produkt- und Produktionsmanagement, die Umweltfolgenabschätzung, Zahlungen für ÖSD sowie Ökosystemmanagement.

Im Zuge dieses Projekts wurde durch elf Demonstrationsstudien, die den Bereich der ÖSD umspannen, gezeigt, wie Interessenvertreter und Akteure maßgeschneiderte, Best-Practice-EO Leistungen erhalten, die ihre betrieblichen Anforderungen und Bedingungen erfüllen. In diesem Artikel werden zwei Studien hervorgehoben, die Fragestellungen zu Waldökosystemen und ihrer Dienstleistungen in Georgien und in Liberia beinhalten. Dies zeigt das Potenzial der EO, um die Anforderungen des Produkt- und Produktionsmanagements zu erfüllen. Dabei werden das direkte oder indirekte Management von Ökosystemen für die Bereitstellung von Produkten, wie Nahrung, Fasern, Holz, tierische Rohstoffe und Biokraftstoffe mithilfe von EO unterstützt.

2.1 G-ECO-MON Fallstudie „Georgien“

Rund 47 % der 4,5 Millionen Einwohner Georgiens leben in ländlichen Gemeinden. Eine große Anzahl dieser Bevölkerung hängt direkt oder indirekt von Wäldern und ihren ÖSD ab. Daher stellen diese Ökosysteme eine entscheidende Quelle für das menschliche Wohlergehen in ländlichen Gemeinden dar. Sie stellen essenzielle ÖSD wie Brennholz, Nutzholz, NTFP oder Nahrung dar. Darüber hinaus haben die georgischen Wälder einen großen Einfluss auf Klimaregulierung, den Schutz vor Naturgefahren, die Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität, die Bodenbildung und Bodenstabilität, Habitate oder ästhetische und kulturelle Dienstleistungen. Aufgrund von nichtnachhaltigen Waldmanagementpraktiken, wie zum Beispiel illegalen Holzeinschlag, alten Holzabbautechniken, Überweidung oder dem Klimawandel, wird eine große Anzahl der Wälder Georgiens bedroht. In weiterer Folge beeinträchtigen diese

Handlungen die ländlichen Gemeinden, die von Brennholz, NTFP, Lebensräumen und Süßwasser abhängig sind, oft negativ.

Das Hauptziel in Georgien ist die Unterstützung und Verbesserung der Waldgovernance sowie der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und ihrer ÖSD mithilfe von EO-Methoden. Die Studie ist in das ENPI FLEG Programm eingebunden, welches von der International Union for Conservation of Nature (IUCN), der Weltbank und dem WWF initiiert wurde.

Waldüberwachung zur Unterstützung von nachhaltiger Forstwirtschaft und Ökosystemdienstleistungsbewertung

Nach der Definition einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung kann EO notwendige und nützliche Informationen zu einem nachhaltigen Waldmanagement und der Beurteilung von Waldökosystemdienstleistungen beitragen. LIQUETE et al. (2016) zeigen in ihrem Artikel auf, wie durch die Erfassung von sogenannten primären und sekundären Indikatoren viele Waldökosystemdienstleistungen und Funktionen erfasst und quantifiziert werden können. In weiterer Folge dienen diese Informationen als wichtige Variablen für nachhaltige Waldbewirtschaftungsstrategien. Solche Überwachungs- und Erfassungsmöglichkeiten mit Erdbeobachtungstechnologien beinhalten Waldtypenklassifizierungen, Waldveränderungskartierungen oder Modellierungen von Ökosystemprozessen (FRANKLIN 2001). Daher stellen EO Produkte wichtige Fortschritte und Vorteile für nationale und subnationale Waldmanagementinitiativen bei Überwachungen und Bewertungen von Wäldern und ÖSD dar (DEFRIES 2012).

Informationen bezüglich Waldveränderungen sind für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung von essenzieller Bedeutung. Laut ANDREW et al. (2014) und EGOH et al. (2012) gehen Abholzungen und Walddegradierungen immer mit einem Rückgang der Fähigkeit und Kapazität von Wäldern, ÖSD bereitzustellen, einher. Durch die Identifizierung solcher Waldveränderungen sind Förster in der Lage, illegale Holzeinschläge zu identifizieren und können zudem beurteilen, ob und wie erfolgreich die umgesetzten und installierten Waldmanagementstrategien sind. Abgeleitete Biomassemodellierungen unterstützten die Strategien und Überwachungsmethoden in Georgien zusätzlich.

Des Weiteren wurden von IUCN im Zuge des ENPI FLEG Projektes Haushaltsbefragungen durchgeführt, um die Abhängigkeit der lokalen Bevölkerung von Waldressourcen abzuschätzen. Hierbei wurden statistische Daten über die Art und Menge von Bereitstellungsdienstleistungen erhoben, die die ländliche Bevölkerung Georgiens von Waldökosystemen erhalten. Durch die Verknüpfung von EO-Technologien zur Waldüberwachung mit den vorhandenen Daten der Waldabhängigkeitsstudie von IUCN können zuverlässige und relevante Aussagen und Prognosen bezüglich der Verfügbarkeit, Verteilung, Zustand und Auswirkungen von Waldökosystemdienstleistungen getätigt werden.

2.2 G-ECO-MON Fallstudie „Liberia“

Der Verlust der elektrischen Infrastruktur, unter anderem durch Bürgerkrieg, ist ein großes Hemmnis für die regionale Entwicklung der ländlichen Gebiete Liberias. Daher ist es für die Bevölkerung von größter Bedeutung, diesen Umstand zu beheben, um die Lebensqualität der dortigen Bevölkerung zu sichern. Aufgrund des Vorhandenseins großer Biomassevorkommen in Wäldern könnte diese Ressource ein Weg sein, um auf nachhaltige Art und Weise eine dezentrale Energieversorgung zu errichten. Mit genau diesem Ziel unterstützt USAID

das LESSP (Liberia Energy Sector Support Program) Programm der liberischen Regierung. Im Rahmen dieses Unternehmens wurde Kwendin, ein Dorf im Bezirk Nimba, als Pilotprojekt für ein Biomassevergasungskraftwerk ausgewählt. Als Brennstoff soll dabei Biomasse aus alten Kautschukbäumen fungieren (USAID 2012). Um eine permanente Versorgungskette des Kraftwerkes zu gewährleisten, müssen die Standorte der alten Kautschukplantagen großflächig bekannt sein. Die primäre Fragestellung der Liberia Fallstudie, innerhalb des G-ECO-MON Projekts, war daher die Bestimmung der Position und des relativen Alters von Kautschukplantagen.

Kartierung einer bereitstellenden Ökosystemdienstleistung in Form von Biomasse

Wie bereits erwähnt, ist eines der Ziele von G-ECO-MON eine Verbindung zwischen Fragestellungen hinsichtlich ÖSD und Erdbeobachtungsanwendungen zu schaffen. Unter Ökosystemdienstleistung versteht man die Vorteile, die Menschen, direkt oder indirekt, aus Ökosystemen ziehen können (COSTANZA et al. 1997). In der Gegend um Kwendin leisten diese ÖSD einen essenziellen Beitrag zur Lebensqualität der ansässigen Bevölkerung. Laut des Millennium Ecosystem Assessment (2005) können diese in vier Kategorien eingeteilt werden: Unterstützende, bereitstellende, regulierende und kulturelle Dienstleistungen. Den Kernpunkt dieser Studie stellt die bereitstellende Dienstleistung in Form von Biomasse dar. Indes gibt es dort durchaus weitere ÖSD, welche zu beachten sind. So kann etwa die Kenntnis der vorhandenen Biomasse auf die potenzielle Kohlenstoffeinlagerungskapazität eines Gebietes geschlossen werden, was wiederum eine regulierende Dienstleistung darstellt. Des Weiteren lassen Änderungen in der Landbedeckung Rückschlüsse über Bodenbildung, Primärproduktion und Nährstoffkreisläufe zu. All diese Faktoren können zur regionalen Entwicklung dort beitragen und sind ein wichtiger Teil, in Bezug auf ein nachhaltiges Waldmanagement. Daher gilt es, für diese Fragestellungen die passenden Erdbeobachtungsprodukte zu finden.

Da die zentrale Fragestellung auf die Biomasse-Versorgungskette abzielt, liegt der Schwerpunkt dieser Untersuchung auf den bereitstellenden Dienstleistungen. Es gilt also, dahingehend die passenden Anforderungen an die Fernerkundung zu finden. LIQUETE et al. (2016) kombinierten dafür eine Vielzahl an ÖSD Indikatoren und Fernerkundungsprodukttypen und zeigten dabei deren direkte und indirekte Beziehungen auf. Diese Zusammenstellung erlaubt eine schnelle Beurteilung des geeigneten Produkttyps für eine bestimmte Fragestellung. Der Kapazitätsindikator Holzbrennstoff beispielsweise hängt direkt mit den charakteristischen Eigenschaften der Landnutzung eines Gebietes zusammen. Diese zu bestimmen ist eine grundlegende Fähigkeit der Fernerkundung. Ebenso kann die vorhandene oberirdische Biomasse direkt aus Satellitendaten abgeleitet werden.

3 Methoden

Im Zuge der Fallstudie in Georgien wurden für den Bezirk Tianeti insgesamt vier verschiedene EO Produkte erstellt, um wertvolle und nützliche Beiträge zur dortigen Waldwirtschaft zu leisten. Die generierten Produkte setzen sich aus einer Landbedeckungs-/Landnutzungsklassifizierung mit dem Fokus auf einer hohen Genauigkeit der Waldausdehnung, einer Walddichteklassifizierung, einer Waldveränderungserfassung (Waldzunahme, Waldabnahme) sowie einer Modellierung der vorhandenen Biomasse zusammen. Hochauflösende Landbedeckungs-/Landnutzungsklassifizierungen können direkt mit der Bereitstellung von ÖSD,

beispielsweise der Nahrungsverfügbarkeit, der Kohlenstoffbindung/Lagerung, der Wasserregulierung oder Erholungsdienstleistungen verknüpft werden (AYANU et al. 2012). Zwei Landsat-8-Bilder, aufgenommen im August 2014 und August 2015, dienten als Referenzdaten für die Ableitung der zuvor genannten EO Produkte. In einem ersten Schritt wurde eine Status Landbedeckungs-/Landnutzungsklassifizierung, die eine Unterscheidung zwischen Bäumen, Grasland, landwirtschaftlichen Flächen, offenem Boden, Wasser und bebauten Flächen beinhaltet, für das Jahr 2014 generiert. Die aus den Landsat-8-Daten gewonnene Karte wurde durch die Kombination biophysikalischer Variablen (NDVI, NDWI) und einer unüberwachten Klassifizierung berechnet. Im Anschluss daran wurde die Walddichte im Untersuchungsgebiet modelliert, indem unter anderem eine ISO-Clustermethode verwendet wurde um in Folge vorhandene, visuell interpretierte, Stichproben der Walddichte zu extrapolieren. Darauffolgend konnten Hotspots von Waldrückgang und Waldzunahme identifiziert werden. Abholzungen und Aufforstungen wurden basierend auf einer automatischen Erfassung von Veränderungen des normalisierten differenzierten Vegetationsindex (NDVI) berechnet. Für die Ermittlung von Waldegradierung und Waldverdichtung wurden hingegen Veränderungen der zuvor berechneten Walddichtekarten berücksichtigt. In einem finalen Schritt wurde die Waldbiomasse im Untersuchungsgebiet modelliert. Hierbei wurde ein Ansatz zu Rate gezogen, welcher die zuvor berechnete Walddichte, den global verfügbaren Baumkronenhöhendatensatz von SIMARD et al. (2011) und die von IPCC veröffentlichte Bandbreite von Biomasse in Wäldern der gemäßigten Zone miteinbezieht.

Die zentrale Frage der Liberia Studie stellt die Identifizierung und Bestimmung des relativen Alters der Kautschukplantagen dar, basierend auf dem Vorgang des Laubwerfens von Kautschukbäumen in der Trockenzeit, welcher mittels eines multitemporalen Ansatzes nachgewiesen werden kann. Daher wurde eine Landbedeckungs-/Landnutzungskarte des Untersuchungsgebietes mit den Resultaten eines Multitemporalansatzes zur Erkennung der Kautschukplantagen kombiniert. Zusätzlichen Mehrwert erhielten diese Kartierungen durch die Biomasseabschätzung auf Basis der verfügbaren Satellitendaten. Die Methode dabei entspricht selbiger wie bereits im Fall Georgien beschrieben, jedoch mit dem, für tropischen Regenwald in Afrika gemessenen Biomassebereich. Die Klassifikation basiert auf WorldView-2- und RapidEye-Daten von März 2012 und Januar 2013. Zwischen Januar und März beginnt die Regenzeit in dieser Region (climate-data.org), wodurch die, von VERHEYE (2010) beschriebenen Stadien der Kautschukbäume, mit und ohne Laub, auf den Daten zu erkennen sind. Dieser Effekt lässt sich durch die Berechnung einer NDVI-Differenz bestimmen, welche in Kombination mit einer Bildsegmentierung die Kautschukplantagen genau einzugrenzen vermag. Durch die höhere Rückstrahlung im Nahinfrarot-Bereich von jungen Pflanzen (DUNAGAN et al. 2007) und der Tatsache, dass bei jüngeren Plantagen die Anbaumuster, aufgrund des geringeren Kronendurchmesser, besser mit visueller Bildinterpretation erkennbar sind, wurde das relative Alter bestimmt. Der von FRIEDL & BRODLEY (1997) beschriebene Ansatz des hierarchischen Entscheidungsbaumes diente als Vorlage für die Klassifikation der allgemeinen Landbedeckung. Diese wurde durch iteratives ISO-Clustering, kombiniert mit visueller Bildinterpretation erstellt. Siedlungen wurden mit einem objektbasierten Ansatz klassifiziert. Kombiniert mit der Kenntnis über die Lage der Plantagen, können somit weitere Analysen angestellt werden, um die Versorgungskette des Kraftwerks zu garantieren und verbessern. Informationen wie diese liefern einen wesentlichen Beitrag bezüglich der Nutzung vorhandener ÖSD und der nachhaltigen Energiegewinnung.

4 Resultate

EO Satellitendaten ermöglichen einen schnellen und zeitlich dichten Überblick über die Lage, Ausdehnung und Veränderung der Waldflächen (siehe Abb. 1). Somit stellen solche Bilddaten geeignete operative Mittel dar, um Waldausdehnungen und Waldveränderung schnell und vergleichsweise günstig zu erfassen. Durch die Kombination dieser Informationen mit In-situ-Daten und Statistiken über ÖSD von Wäldern, können für das Untersuchungsgebiet leistungsfähige Werkzeuge zur Unterstützung nachhaltiger Waldbewirtschaftungsstrategien geschaffen werden. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass es möglich ist, Ökosystemdienstleistungsindikatoren mit EO-Technologien zu identifizieren.

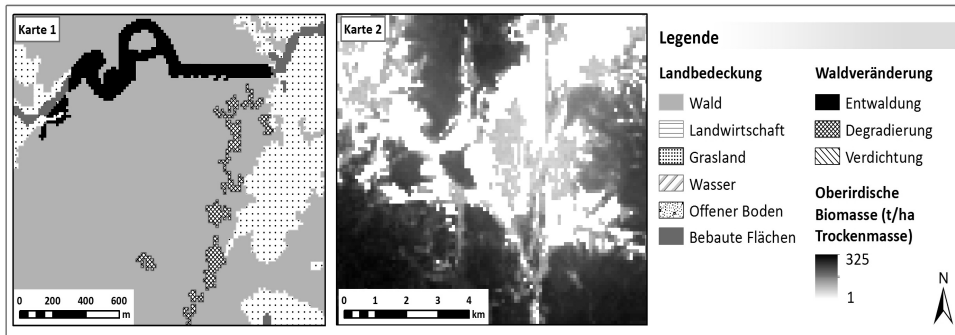


Abb. 1: Landbedeckungs-/Landnutzungsklassifizierung inklusive Waldveränderungsidentifikation (Karte 1) und oberirdischer Biomasse (Karte 2) in Georgien

Darüber hinaus liefern die generierten Biomasseschätzungen in Georgien den politischen Entscheidungsträgern wichtige Informationen. Solche Karten geben Auskünfte über den Zustand des Waldes und seiner ÖSD sowie des wirtschaftlichen Marktwertes. Zudem dienen Biomasseschätzungen und Veränderungen als entscheidender Indikator für die Quantifizierung der Produktionskapazität von Wäldern, für die Wasserregulierung oder die Bereitstellung von Holz- und weiteren Rohstoffen. Weiter kann durch die Quantifizierung und Veränderung von Biomasse direkt auf die Menge an gespeichertem oder ausgestoßenem Kohlenstoff geschlossen werden. Dadurch liefern diese Produkte entscheidende Beiträge für nationale und internationale Klimaschutzstrategien.

Die finalen Ergebnisse der Untersuchung in Liberia bestehen aus zwei Landbedeckungs-/Landnutzungskarten aus den Jahren 2012 und 2013 und einer Karte der Landnutzungsänderung innerhalb dieser Zeitspanne, basierend auf einer NDVI-Differenzrechnung. All diese Karten beinhalten die Kartierung der Kautschukplantagen, basierend auf der zuvor erläuterten Methodik. Schlussendlich wurde für das Untersuchungsgebiet eine Abschätzung der oberirdischen Biomasse erstellt. Ausschnitte dieser Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt.

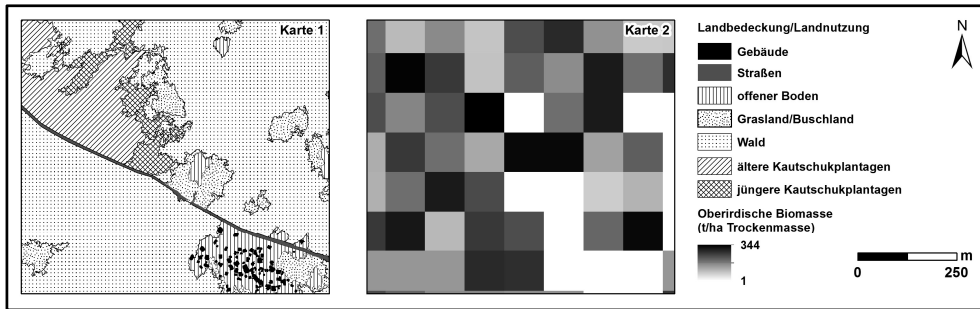


Abb. 2: Landbedeckungs-/Landnutzungskarte 2012 (Karte 1) und Biomasse (Karte 2) in Liberia

5 Diskussion und Fazit

Zusammenfassend hat die Studie in Liberia gezeigt, dass mit hoch aufgelösten Daten, auf lokalem Maßstab, Fragestellungen hinsichtlich ÖSD erfolgreich beantwortet werden können. Dennoch gilt zu beachten, dass die Aussagekraft solcher Resultate stark von den verfügbaren Eingangsdaten abhängig ist. Die Berechnung der Biomasse beispielsweise nutzt, unter anderem, den von SIMARD et al. (2011) erstellten globalen Datensatz für Baumkronenhöhen, welcher relativ grob aufgelöst ist (1 km). Dieser eignet sich daher weniger für Untersuchungen auf einer lokalen Maßstabsebene. Eine deutliche Steigerung des Informationsgehalts würden zusätzliche In-situ-Daten mit sich bringen. Bedenkt man allerdings die Ausgangssituation, bei der keinerlei Kartenmaterial hinsichtlich einer Biomasse ÖSD verfügbar war, liefern Ergebnisse wie diese dennoch einen wertvollen Beitrag, um die Herausforderungen in den ländlichen Regionen Liberias bewältigen zu können.

Bei Betrachtung der Untersuchung in Georgien zeigt sich, dass Erdbeobachtung ein nützliches Werkzeug zur Erkennung von illegalen Rodungen und dem Verlust von Waldfläche ist. Im Hinblick auf eine nachhaltige Nutzung dieser ÖSD liefern Erkenntnisse aus der Erdbeobachtung die Grundlagen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung. Dabei ist es wichtig, das Gleichgewicht zwischen Nutzung und Regeneration dieser Ressource zu finden. Es ist daher nötig, eine verlässliche Überwachung des Zustandes dieser Ökosysteme zu garantieren, welche eine Grundlage für die jeweiligen Entscheidungsträger darstellt. Beide Studien haben gezeigt, dass die Erdbeobachtung dazu in der Lage ist. Trotz des Potenzials der Erdbeobachtung in Bezug auf die Bewertung von Ökosystemen und deren Dienstleistungen, bleibt die zeitliche und räumliche Verfügbarkeit von Daten eine Schlüsselfrage.

In direktem Zusammenhang mit der Diskussion über Datenverfügbarkeit steht die Frage nach der Auflösung der Karten. Hier gilt es, die passende Detailgenauigkeit für den entsprechenden Entscheidungsfindungsprozess zu finden (HAUCK et al. 2013). Im Fall Georgien wurden großräumig detaillierte Daten benötigt, um auf nationaler Ebene eine nachhaltige Strategie des Waldmanagements zu entwickeln. Es gilt zu hinterfragen, ob diese Daten auch ausreichen, um Veränderungen im Wald auf kleinräumiger Ebene festzustellen und damit deren Gründe zu identifizieren. Jedoch werden mit neuen Satellitenmissionen, wie die Sentinel-Reihe, zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Daten immer mehr frei zur Verfügung stehen.

Eine weitere Herausforderung ist die Kommunikation zwischen Erdbeobachtungsexperten und Anwendern auf der einen Seite und Interessenvertretern und lokalen Entscheidungsträgern auf der anderen Seite. Karten können bei der Vermittlung zwischen den Richtlinien von Behörden und den direkt vor Ort Betroffenen als wesentliche Unterstützung dienen, da sie, wie HAUCK et al. (2013) es formulierten, einen Hauch von Autorität versprühen. Diese Lücke zwischen Theorie und Praxis zu schließen und die Unsicherheiten bezüglich des Verständnisses von ÖSD und deren weitere Verflechtungen zu minimieren, wird ein zukünftiges Ziel im Feld der Bewertung von ÖSD bleiben (CROSSMAN et al. 2013). Fernerkundung kann diesen Entwicklungsprozess dabei mit zeitnahen, verlässlichen und auf verschiedensten Maßstabsebenen angesiedelten Informationen über Ökosysteme und deren Zustand unterstützen.

Literatur

- ANDREW, M. E., WULDER, M. A. & NELSON, T. A. (2014), Potential contributions of remote sensing to ecosystem service assessments. *Progress in Physical Geography*, 38 (3), 328-353.
- APPIAH, M., BLAY, D., DAMNYAG, L., DWOMOH, F.K., PAPPINEN, A. & LUUKKANEN, O. (2009), Dependence on forest resources and tropical deforestation in Ghana. In: *Environ Dev Sustain*, 11, 471-487.
- AYANU, Y. Z., CONRAD, C., NAUSS, T., WEGMANN, M. & KOELLNER, T. (2012), Quantifying and mapping ecosystem services supplies and demands: A review of remote sensing applications. *Environmental Science and Technology*, 46, 8529-8541.
- CHAO, S. (2012), *Forest Peoples: Numbers across the world*. Moreton-in-Marsh. United Kingdom: Forest Peoples Programme.
- CLIMATE-DATA.ORG (o. J.), Climate: Kwendin. <http://en.climate-data.org/location/881542/>.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R., PARUELO, J. et al. (1997), The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-262.
- CROSSMAN, N. D., BURKHARD, B., NEDKOV, S., WILLEMEN, L., PETZ, K., PALOMO, I., DRAKOU, G. D., MARTIN-LOPEZ, B., MCPHEARSON, T., BOYANOVA, K., ALKEMADE, R., EGOH, B., DUNBAR, M. B. & MEAS, J. (2013), A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services*, 4, 4-14.
- DEFRIES, R. (2012), Why Forest Monitoring Matters for People and the Planet. In: ACHARD, F. & HANSEN, M. C. (Eds.), *Global Forest Monitoring from Earth Observation*.
- DUNAGAN, S. C., GILMORE, M. S. & VAREKAMP, J. C. (2007), Effects of mercury on visible/near-infrared reflectance spectra of mustard spinach plants (*Brassica rapa* P.). *Environmental Pollution*, 148 (1), 301-311.
- EGOH, B., DRAKOU, E.G., DUNBAR, M. B., MAES, J. & WILEMEN, L. (2012), Indicators for mapping ecosystem services: a review.
- FAO (2010), *Global Forest Resources Assessment 2010. Main report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FRANKLIN, ST. E. (2001), *Remote sensing for sustainable forest management*. Lewis Publishers, Boca Raton/London/New York/Washington, D.C.
- FRIEDL, M. A. & BRODLEY, C. E. (1997), Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 61 (3), 399-409.

- HAUCK, J., GÖRG, C., VARJOPURO, R., RATAMÄKI, O., MAES, J., WITTMER, H. & JAX, K. (2013), "Maps have an air of authority": potential benefits and challenges of ecosystem service maps at different levels of decision making. *Ecosystem Services*, 4, 25-32.
- LIQUETE, C., HAAS, E., BONDO, T., HIRZINGER, C., SCHNELLE, M., REISINGER, D., LYON, D., FINISDORE, J. & LEDWITH, M. (2016), A practical approach to mapping of ecosystems and ecosystem services using remote sensing. In: POTSCHIN, M., HAINES-YOUNG, R., FISH, R. & TURNER, R. (Eds.), *Routledge Handbook of Ecosystem Services*, Routledge, London/New York, 205-212 (in Vorbereitung).
- MEA – MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2003), *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Island Press, 1-25.
- SCHERR, S. J., WHITE, A. & KAIMOWITZ, D. (2004), A new agenda for forest conservation and poverty reduction: masking forest markets work for low-income producers. Centre for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.
- SHVIDENKO, A., BARBER, CH. V. & PERSSON, R. (2005), Forest and Woodland Systems. In: *Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press.
- SIMARD, M., PINTO, N., FISHER, J. B. & BACCINI, A. (2011), Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. *J. Geophys. Res.*, 116.
- SING, L., RAY, D. & WATTS, K. (2015), *Ecosystem services and forest management*. UK Forestry Commission.
- UN – United Nations (2008), Resolution adopted by the General Assembly 62/98: Non-legally binding instruments on all types of forests.
- USAID – U.S. AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (2012), *Detailed Project Feasibility Report, Volume 1 – Main Report Kwendin Biomass Project*. Submitted by: Winrock International, LESSP Office, Monrovia, Liberia.
- VERHEYE, W. H. (2010), *Growth and production of rubber*. UNESCO-EOLSS Publishers.