

Landschaftsausschnitt Munessa-Shashemene des äthiopischen Hochlandes

Monetäre Bewertung der Landnutzungs-/Landoberflächentypen

Mengistie Kindu, Thomas Schneider und Thomas Knoke

Ein Ansatz zur Bewertung von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) eines Landschaftsausschnittes des äthiopischen Hochlandes sowie der zugehörigen Landoberflächen-/Landnutzungstypen (LO/LN) soll in diesem Beitrag vorgestellt werden. In der Fallstudie des Munessa-Shashemene Landschaftsausschnittes werden siebzehn ÖSD bewertet. Als Bewertungsgrundlage für die Bilanzierung auf der Fläche dient eine Klassifikation von RapidEye-Satellitendaten des Jahres 2012. Für das 1 091 km² große Untersuchungsgebiet wird der Wert der ÖSD mit 118,67 Millionen US \$/Jahr berechnet, eine Zahl, die als Minimalschätzung angesehen werden muss, da wegen Unsicherheiten der aus der Literatur übernommenen Koeffizienten konservativ gerechnet wurde.

mit einem Koeffizienten, der den Beitrag der Klasse für die Bewertung des Ökosystems einbringt. Dieser Koeffizient muss durch vorherige Studien bekannt sein. Als gängige Methode für die Bestimmung der Flächen, die zu bewertende LO/LN-Typen in einem bestimmten Landschaftsausschnitt einnehmen, hat sich die Fernerkundung bewährt [3].

Äthiopien ist eines der Länder des afrikanischen Kontinents, das sich durch eine Vielzahl unterschiedlicher Ökosysteme auszeichnet. Der Bevölkerungszuwachs zwingt zu großflächigen Umwandlungen der Landoberflächentypen, meist in Richtung ackerbaulicher Nutzung [10]. Folge ist ein zunehmender Druck auf natürliche Ökosysteme [9]. Die Herausforderung ist, diese Vorgänge ökologisch verträglich und mit dem Ziel der Nachhaltigkeit zu gestalten. Das derzeitige Wissen über quantitative Zusammenhänge solcher Nutzungsänderungen und der damit zusammenhängenden ÖSD ist bisher unvollständig.

Die Studie demonstriert, wie über die Methode nach COSTANZA et al. [1] mithilfe einer LO/LN-Klassifikation über hochauflösende Satellitendaten, ein Landschaftsausschnitt anhand der ÖSD der einzelnen Klassen monetär bewertet werden kann. Ergänzend wurde auch die Verteilung der ÖSD im Untersuchungsgebiet analysiert.

Untersuchungsgebiet

Der bearbeitete Landschaftsausschnitt des äthiopischen Hochlandes liegt 200 km südlich der Hauptstadt Addis Abeba, zwischen 7°20'01.23" und 7°35'13.3" nördliche Breite bzw. 38°39'43.3" und 38°59'57.31" östliche Länge. Das Munessa-Shashemene genannte Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 1 091 km². Die westlichen Teile liegen im ostafrikanischen Graben (Rift Valley) auf 1 500 m ü. NN. Hier haben sich mehrere Seen gebildet. Der Langanosee ist ein beliebtes Naherholungsgebiet für die Bewohner der Hauptstadt

Methode

Das hier angewandte Landschaftsmodell nach COSTANZA et al. [1] baut auf empirisch festgelegte Koeffizienten auf, die den ÖSD-„Wert“ eines LO/LN-Typen darstellen. Die Analysen greifen auf einen LO/LN-Typen-Datensatz von KINDU et al. [10] zurück. Dieser wurde mit objektbasierter Methodik durch Klassifikation von RapidEye-Daten aus dem Jahre 2012 erstellt. Koeffizienten vergleichbarer Biome nach [1] wurden übernommen und mit Arc-GIS in das ÖSD-Modell des Munessa-Shashemene Untersuchungsgebietes integriert. Der Gesamtwert der ÖSD des Untersuchungsgebietes sowie deren Aufgliederung nach ÖSD-Funktionen der einzelnen LO/LN-Typen wird entsprechend der Formeln 1 und 2 berechnet:

$$\text{ÖSD} = \sum (A_k \times VC_k) \quad (1)$$

ÖSD = Gesamtwert der ÖSD (englisch: total estimated ecosystem service value, ÖSD)

A_k = Fläche in ha

VC_k = Wert des Koeffizienten in US\$/ha/Jahr für den LO/LN-Typ „k“

$$\text{ÖSD}_f = \sum (A_k \times VC_{f,k}) \quad (2)$$

ÖSD_f = berechneter Wert der ÖSD-Funktion „f“

A_k = Fläche in ha

$VC_{f,k}$ = Wert des Koeffizienten der Funktion „f“ in US\$/ha/Jahr für den LO/LN-Typ „k“

Die Werte der Koeffizienten der Funktion für die entsprechenden LO/LN-Typen wurden von [1] übernommen und sind in Tab. 1 gelistet.

Unter Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) werden direkte und indirekte Beiträge des Ökosystems zum, allgemein ausgedrückt, menschlichen Wohlbefinden bezeichnet [1]. Über das Mittel der Quantifizierung der ÖSD wird die Wahrnehmung dieser allgemein als selbstverständlich angesehenen Leistungen gefördert [2]. Die monetäre Bewertung unterstützt Entscheidungsfindungsprozesse und dient als Stimulus zum pfleglichen Umgang mit den kostbaren natürlichen Ressourcen des Ökosystems [3, 4].

Der hier verfolgte und heute weltweit angewandte Bewertungsansatz [5 bis 9] geht auf COSTANZA et al. [1] zurück. Die von ihnen vorgeschlagene Methode bewertet die ÖSD der einzelnen LO/LN-Klassen durch Multiplikation der jeweiligen Fläche

M. Kindu ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München (TUM). Dr. T. Schneider ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der TUM. Prof. Dr. T. Knoke ist Leiter des Fachgebietes für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der TUM.



Mengistie Kindu
mengistie@tum.de

Addis Abeba. Nach Osten erstreckt sich das Untersuchungsgebiet über die steile Seitenflanke des Grabenbruchs bis in das östliche Hochland, wo im Arsi Bale Nationalpark 3 400 m ü. NN erreicht werden. Morphologisch wechseln sich flachere Plateaubereiche und Hügelketten mit steilen Flanken ab.

Die Hauptnutzungsart ist Ackerbau, der in allen untersuchten Landschaftsteilen dominiert. Mosaikartig eingesprenkelt sind andere Landoberflächentypen wie natürliche Wälder, Forstplantagen, Akazienwälder, Buschland, Weideland, Siedlungsgebiete und Seen (Abb. 1). Nach [11] ist der natürliche Wald als tropischer afro-montaner Trockenwald anzusprechen.

Geschätzte Werte der Ökosystemdienstleistungen auf Landschaftsebene

Der Gesamtwert der ÖSD des Untersuchungsgebietes wurde mit 118,675 Millionen US \$ berechnet (Abb. 2). Der Anteil der einzelnen LO/LN-Klassen ist unterschiedlich. So wurde für Grasland mit 6,134 Millionen US \$ lediglich 5,2 % des Gesamtwertes, für Ackerland 4,629 Mio US \$ (3,9 %) und für Savanne mit verstreut auftretenden Baumgruppen 0,88 Mio US \$ (0,7 %) berechnet.

Der Löwenanteil des Gesamtwertes der ÖSD wird mit 87 % oder 103,13 Mio US \$ von Seen und natürlichen Wäldern erbracht. Rechnerisch steuert die Klasse „Wasserflächen“ mit 83,88 Mio US \$ oder 71 % den mit Abstand höchsten Wert der ÖSD bei. Die aggregierten ÖSD-Werte der natürlichen bis naturnahen LO/LN-Typen Wasserflächen, Naturwald, Forstplantagen, Akazienwälder und Savanne mit Baumgruppen, summieren sich auf 107,03 Mio US \$ oder 90 % des ÖSD-Wertes des untersuchten Landschaftsausschnittes.

Geschätzte Werte der ÖSD-Funktionen für jede LO/LN-Klasse

Ausgehend vom Gesamtwert der ÖSD für das Untersuchungsgebiet wurde der jeweilige Anteil für siebzehn ÖSD-Funktionen berechnet (Tab. 2). Als Grundlage diente auch hier die Klassifikation des RapidEye-Datensatzes¹⁾ von 2012. Die fünf ÖSD-Funktionen mit dem größten Beitrag zum Gesamtwert sind Wasserrückhaltung, Wasserversorgung, Nährstoffkreislauf, Wasserreinhaltung und Lebensmittelproduktion. Sie tragen insgesamt mit 84 % zum ÖSD-Wert bei. Den höchsten Anteil

¹⁾ Die RapidEye-Daten über das Vorhaben mit dem FöKZ 463 wurden von RapidEye Science Archiv (RESA) bereitgestellt.

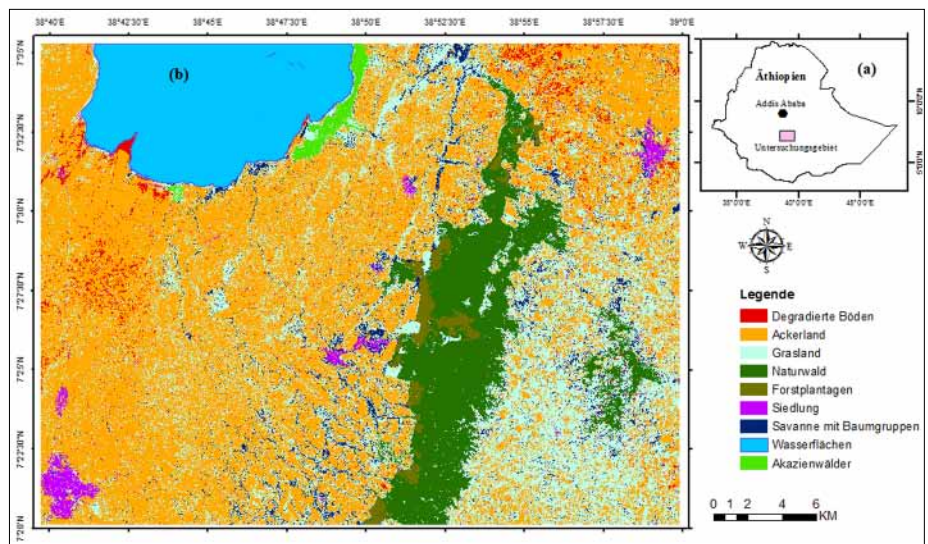


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes in Äthiopien (a) und Klassifikationsergebnis der Landnutzungs-/Landoberflächentypen auf Basis von RapidEye-Satellitendaten von 2012 [10]

LO/LN-Typ nach [10]	Fläche	Equivalentes „Biom“ nach [1]	Koeffizient der Ökosystemdienstleistung [1]
Degradierte Böden	1 765 ha	Wüste	0 US \$/ha/Jahr
Naturwald	9 588 ha	Tropischer Wald	2 008 US \$/ha/Jahr
Forstplantagen	1 284 ha	Tropischer Wald	2 008 US \$/ha/Jahr
Ackerland	50 317 ha	Ackerland	92 US \$/ha/Jahr
Grasland	25 139 ha	Grasland/Weide	244 US \$/ha/Jahr
Siedlung	1 586 ha	Urban	0 US \$/ha/Jahr
Savanne mit Baumgruppen	3 606 ha	Grasland/Weide	244 US \$/ha/Jahr
Akazienwälder	656 ha	Tropischer Wald	2 008 US \$/ha/Jahr
Wasserflächen	9 871 ha	Seen/Flüsse	8 498 US \$/ha/Jahr

trägt die Wasserrückhaltefunktion mit über 45 % bei, gefolgt von der Wasserversorgungsfunktion mit 17 %. Der aggregierte Beitrag der restlichen zwölf ÖSD-Funktionen (Rohstoffe, Erosionskontrolle, Erholungsnutzung, Beitrag zum Mikroklima und zur biologischen Kontrolle, Bestäubung, genetische Reserven, Luftreinhaltung, Habitate und Rückzugsgebiete, Bodenbildung, Störungskontrolle

und auch kulturlandschaftliche Beiträge) beläuft sich auf ca. 15 % des geschätzten ÖSD-Wertes des Untersuchungsgebiet.

Diskussion und Folgerungen

Die Bewertung der ÖSD im Landschaftsausschnitt Munessa-Shashemene des äthiopischen Hochlandes erfolgte anhand von Klassen, die über die objektbasierte

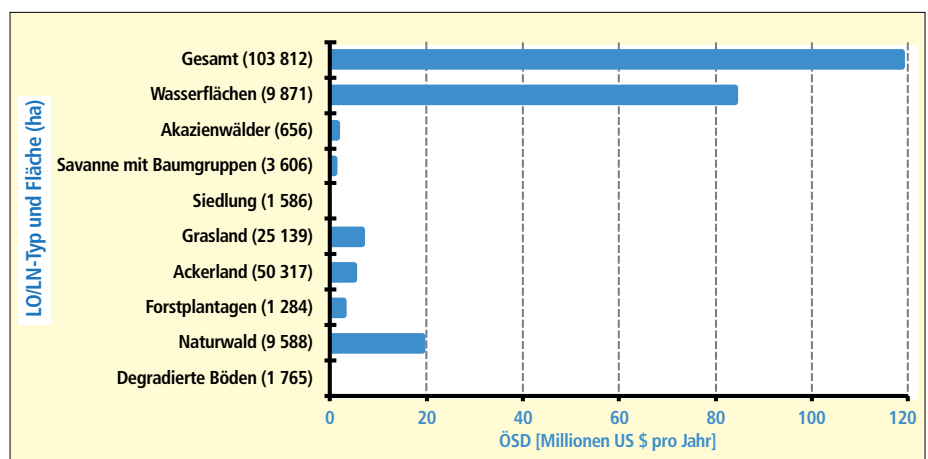


Abb. 2: Nach [1] geschätzter Wert der Ökosystemdienstleistungen für jeden Landoberflächen-/Landnutzungs-Typ (LO/LN) sowie für das gesamte Untersuchungsgebiet in US \$ pro Jahr. In Klammern ist die zugehörige Fläche in Hektar angegeben.

Klassifikation eines RapidEye-Datensatzes aus dem Jahre 2012 ausgewiesen wurden. Schon frühere Studien [3] haben gezeigt, dass eine auf LO/LN-Klassen beruhende Schätzung den Bewertungsprozess vereinfacht. Im vorliegenden Fall wurden ÖSD für das Gesamtgebiet in US \$ pro Jahr anhand der LO/LN-Typen-Klassifikation von KINDU et al. [10] und den ÖSD-Koeffizienten nach COSTANZA et al. [1] nach Formel (1) berechnet. Dieser von [1] vorgeschlagene und häufig für lokale Studien angewendete Ansatz [5, 6, 7, 8, 9], beruht auf der Multiplikation der Fläche jeder LO/LN-Klasse mit dem ÖSD-Koeffizienten für diese Klasse. Die Genauigkeit der Schätzung fließt direkt in Management-Entscheidungsprozesse ein und hat entsprechenden Einfluss auf den Aufbau von ÖSD.

Die Güte der Schätzung von ÖSD hängt von zwei Eingangsgrößen ab: der Qualität der Klassifikation der LO/LN-Typen und der zugeordneten Koeffizienten [1, 3]. Die Nutzergenauigkeit der hier verwendeten Klassifikation der RapidEye-Szene von KINDU et al. [10] erreicht 93,2 % und kann somit für diesen Datentyp als hervorragend bezeichnet werden. Nicht zu vermeiden sind Unschärfen durch die Übertragung der Koeffizientenwerte nach [1] auf die hier untersuchte Landschaft. Bei dem berechneten Wert von 118,67 Mio US \$ der ÖSD für das Untersuchungsgebiet, sprechen wir von einer konservativen Schätzung.

Die Analyse der anteiligen Beiträge der LO/LN-Klassen zeigt, dass die Summe der berechneten ÖSD-Werte von vier Klas-



Abb. 3: Getreidefeld vor Naturwald sowie Erosionserscheinungen im Munessa-Shashemene Landschaftsausschnitt
Foto: T. Schneider

sen, nämlich Wasserfläche, Naturwald, Forstplantagen und Akazienwald, bereits 90 % des Wertes der ÖSD des Landschaftsausschnittes ausmachen. Da diese Klassen jedoch lediglich 20,6 % der Fläche abdecken, empfiehlt es sich bei der Landschaftsentwicklung diesen LO/LN-Klassen besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Bei Betrachtung der ÖSD-Funktionen wird ersichtlich, dass Wasserrückhalte- und Wasserversorgungsfunktion bereits über 62 % des berechneten Gesamtwertes beisteuern. Die Wasserrückhaltefunktion wird vor allem durch Wälder und Forstplantagen erbracht. Der Wert der Wasserversorgungsfunktion wird durch den Langanosee im NW kontrolliert, dem einzigen relevanten Wasserkörper des Untersuchungsgebietes. Der Zusammenhang zwischen Wasserrückhaltefähigkeit von Wäldern und der Sicherheit der Wasserversorgung ist bekannt (Abb. 3). Diese Ergebnisse sind ein deutlicher Hinweis, dass vor allem die LO/LN-Typen der Waldklassen pfleglich und nachhaltig zu bewirtschaften sind, um ihre ÖSD-Funktionen nicht zu gefährden. Dieses gilt umso mehr unter den klimatischen Bedingungen des Untersuchungsgebietes, die bei dieser Studie nicht gesondert berücksichtigt wurden.

In Anbetracht der Unsicherheiten bei der ökonomischen Bewertung der ÖSD durch die Eingangsdaten des Modells sind die hier gezeigten Ergebnisse als Schätzungen zu werten. Die ökonomische Bewertung erfolgte konservativ, d. h. vor allem bei Mischklassen wie etwa der Baumgruppen-Savanne wurden die Koeffizienten des Flächenanteils mit der geringeren Bewertung der ÖSD der LO/LN-Klasse eingesetzt. Zusätzlich wurden die ÖSD-

Werte von Siedlungen, die dem „urbanen“ Biom-Typ nach [1] zuzuordnen sind, nicht berücksichtigt, obwohl innerhalb der Siedlungsflächen ein hoher Baum-/Strauch-Grünland-Anteil nachweisbar ist. Vor Einbindung in ein Entscheidungsunterstützungssystem, etwa zur Landschaftsplanung, empfehlen wir, die Koeffizienten für die Bewertung der ÖSD an die lokalen Verhältnisse anzupassen.

Trotz der genannten Einschränkungen kann die hier gezeigte Analyse der ÖSD den Entscheidungsträgern Hilfestellung leisten bei der Entwicklung von angepassten, nachhaltigen Konzepten der Landschaftsentwicklung im Untersuchungsgebiet. Auch mit all den aufgedeckten Unzulänglichkeiten vermittelt die Analyse einen treffenden ersten Eindruck der Verhältnisse im Untersuchungsgebiet. Gut geeignet erscheint uns die Methode nach [1] auch für Änderungsanalysen. In so einem Fall bleiben die Koeffizienten der LO/LN-Typen für beide Zeitpunkte gleich, lediglich die Flächenanteile der einzelnen LO/LN-Typen verändern sich [5,6]. Solcherart Trendanalysen dienen dem besseren Verständnis der Landschaftsentwicklung. Entscheidungsträger können darüber wertvolle Hinweise auf prioritär durchzuführende Schutzmaßnahmen ableiten. Trends der Degradierung von Ökosystemen sowie deren Kosten können anhand des Wertes der ÖSD berechnet und Alternativen mit ökonomischer oder ökologischer Priorisierung entwickelt werden.

Literaturhinweise:

- [1] COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R. DE; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J. et al. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. [2] LIU, S.; COSTANZA, R.; TROY, A.; D'AAGOSTINO, J.; MATES, W. (2010): Valuing New Jersey's ecosystem services and natural capital: A spatially explicit benefit transfer Approach. *Environmental Management*, 45, S. 1271-1285. [3] KONARSKA, K. M.; SUTTON, P.C.; CASTELLON, M. (2002): Evaluating scale dependence of ecosystem service valuation: A comparison of NOAA-AVHRR and Landsat TM datasets. *Ecological Economics*, Vol. 41, S. 491-507. [4] SCHÄGNER, J. P.; BRANDER, L.; MAES, J.; HARTJE, V. (2013): Mapping ecosystem services' values: Current practice and future prospects. *Ecosystem Services*, 4, S. 33-46. [5] KREUTER, U. P.; HARRIS, H. G.; MATLOCK, M. D.; LACEY, R. E. (2001): Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics*, Vol. 39, S. 333-346. [6] ZHAO, B.; KREUTER, U.; LI, B.; MA, Z.; CHEN, J.; NAKAGOSHI, N. (2004): An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China. *Land Use Policy*, Vol. 21, S. 139-148. [7] WANG, Z.; ZHANG, B.; ZHANG, S.; LI, X.; LIU, D.; SONG, K.; LI, J.; LI, F.; DUAN, H. (2006): Changes of land use and of ecosystem service values in Sanjiang Plain, Northeast China. *Environ Monit Assess*, Vol. 112, S. 69-91. [8] LI, R.-Q.; DONG, M.; CUI, J.-Y.; ZHANG, L.-L.; CUI, Q.-G.; HE, W.-M. (2007): Quantification of the impact of land-use changes on ecosystem Services: A case study in Pingbian County, China. *Environ Monit Assess*, Vol. 128, S. 503-510. [9] HU, H.; LIU, W.; CAO, M. (2008): Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, Southwest China. *Environ Monit Assess*, Vol. 146, S. 147-156. [10] KINDU, M.; SCHNEIDER, T.; TEKETAY, D.; KNOKE, T. (2013): Land use/land cover change analysis using object-based classification approach in Munessa-Shashemene Landscape of the Ethiopian Highlands. *Remote Sensing*, Vol. 5, S. 2411-2435. [11] TEKETAY, D.; GRANSTRÖM, A. (1995): Soil seed banks in dry afro-montane forests of Ethiopia. *Journal of Vegetation Science*, Vol. 6, S. 777-786.

Tab. 2: Geschätzter jährlicher Wert der ÖSD-Funktionen für das Jahr 2012 in Millionen US \$			
ÖSD-Funktion	ÖSDf ₂₀₁₂	%	Rang
Wasserrückhaltung	53,90	45,4	1
Wasserversorgung	20,99	17,7	2
Nährstoffkreislauf	10,63	9,0	3
Wasserreinhaltung	10,07	8,5	4
Nahrungsmittelproduktion	5,18	4,4	5
Rohstoffe	3,69	3,1	6
Erosionskontrolle	3,66	3,1	7
Erholung	3,56	3,0	8
Mikroklima	2,57	2,2	9
Biologische Kontrolle	1,87	1,6	10
Bestäubung	1,42	1,2	11
Genetische Reserven	0,47	0,4	12
Habitat/Rückzugsgebiet	0,24	0,2	13
Luftreinhaltung	0,20	0,2	14
Bodenbildung	0,14	0,1	15
Störungskontrolle	0,06	0,1	16
Kulturlandschaft	0,02	0,0	17
Gesamt	118,68	100	