

# Feuerholzbedarf und Angebot im Hochland von Äthiopien

Holz ist im Hochland von Äthiopien der wichtigste Energieträger der privaten Haushalte.

Laut FAO-Statistiken beträgt der Bedarf an Feuerholz jährlich 0,75 bis 1 t pro Person. Dynamisches Bevölkerungswachstum, zunehmender Viehbestand, aber auch der Klimawandel, verstärken den Trend:

Feuerholz wird zunehmend zur Mangelware. Die Studie im Gebiet um den Tana-See quantifiziert die Änderungen zwischen 1993 und 2016 anhand von Satellitendaten und amtlicher Statistiken.

Thomas Schneider, Alexandra Ivanova,  
Susanne Lichtenwald, Mengistie Kindu,  
Thomas Knoke

Das Hochland von Äthiopien gilt als „Wiege der Menschheit“. Bekannte Hominidenfunde wie „Lucy“ oder „Ardi“ zeugen von abertausenden Jahren der Besiedlung. Die biblische Gestalt der Königin von Saba, in Äthiopien Makeda genannt, wird in der Gegend um Axum verortet. Um den Tana-See verstreut liegen kunsthistorisch wertvolle äthiopisch-orthodoxe Kirchen und Klöster, deren Geschichte bis ins 13. Jahrhundert zurückreicht. Rund um diese Kirchen und Klöster findet man die letzten Reste des früheren afro-montanen Trockenwaldes. Der Tana-See und seine Feuchtgebiete sind Teil des „Biodiversitäts-Hotspots“ der Ostafrikanischen Hochlandregion. Die Region gilt als Genzentrum für einheimische Nutzpflanzen. Der Tana-See und seine unmittelbare Umgebung wurden Dezember 2015 offiziell zum UNESCO Biosphärenreservat erklärt [1]. Heute leben mehr als zwei Millionen Menschen im Einzugsgebiet des Tana-Sees. Bahir Dar, das lokale Zentrum der Region, gilt als Boomtown und zieht

immer mehr Menschen an. Dies hat zur Expansion der ackerbaulich genutzten Flächen in immer steilere Lagen geführt. Bodenverlust durch Erosion und Zurückdrängen der Wälder sind unmittelbare Folgen dieser Entwicklung. Rezente Untersuchungen zur Landnutzung im Gebiet des Tana-Sees anhand von Landsat TM/ETM+ und Landsat-8-Daten haben dramatische Änderungen über die letzten 30 bis 40 Jahre aufgezeigt [2].

Die hier vorgestellte Studie untersucht die Zusammenhänge zwischen Landnutzungsänderungen und Holzbiomasse, dem wichtigsten Energieträger in der Region. Die Studie greift auf Methodik und Ergebnisse eines Vorhabens von Mitte der 1990er-Jahre zurück, um die Änderungen des Angebots und des Bedarfs an Feuerholz im Gebiet der Gemeinde Tis Abay zwischen 1993 und 2016 zu quantifizieren [3]. Tis Abay liegt an den Fällen des Blauen Nils, etwa 40 km östlich des Tana-Sees. Die damalige Studie wurde anhand von Datensätzen des experimentellen deutschen Systems MOMS-02/D2 (Modularer Optoelektronischer Multispektraler Stereo Scanner 02) im Rahmen eines durch die Deutsche Raumfahrt

## Schneller Überblick

- Landnutzung wurde über Satellitendaten aus dem Jahr 1993 und 2016 bestimmt
- Über amtliche Statistiken wurden die Holzbiomassen per Hektar sowie der jährliche Zuwachs pro Landnutzungs-kategorie geschätzt
- Feuerholzbedarf und Angebot wurden anhand von Bevölkerungsstatistiken berechnet
- 1993 übertraf das Angebot den Bedarf um das Dreifache, 2016 fehlt ein Drittel des kalkulatorischen Bedarfs

Agentur (DARA) geförderten Vorhabens (50 QS 9009-2) durchgeführt. Der Datensatz wurde am 30.04.1993 im Mode 3 von dem amerikanischen Space Shuttle Columbia im Rahmen der deutschen D2 Mission [4] aufgenommen. Aus technischen Gründen konnte Mode 3 lediglich den roten und nahen Infraroten Spektralkanal in Ergänzung der beiden vorwärts und rückwärts gerichteten Stereobänder erfassen. Das über die Stereodaten abgeleitete digitale Geländemodell (DGM) mit

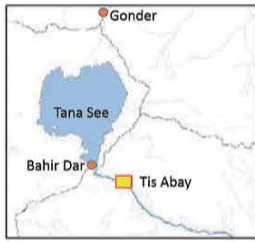
Spektralbänder:	MOMS-02/D2	Pixelgröße	RapidEye	Pixelgröße
Blau	440 bis 505 nm	13,5 m	440 bis 510 nm	5 m
Grün	530 bis 575 nm	13,5 m	520 bis 590 nm	5 m
Rot	645 bis 680 nm	13,5 m	630 bis 685 nm	5 m
Red Edge			690 bis 730 nm	5 m
Nahes Infrarot	770 bis 810 nm	13,5 m	760 bis 850 nm	5 m
Nadir, HR	520 bis 760 nm	4,5 m		
6/7 Stereo, 22,4 ° vor/rück	520 bis 760 nm	13,5 m		
Erfassungsdatum	30.04.1993		30.01.2016	

Tab. 1: Technische Rahmendaten der verwendeten Satellitensysteme. In Fettdruck hervorgehoben sind die Bänder, die bei der jeweiligen Aufnahme erfasst wurden [4, 6].

Heizwert, Äthiopisches Hochland	Werte [SI-Einheit]
Holzbiomasse gesamt Gcal	397.164,7 [GCal]
Umrechnung Kalorien/Joule	4,2 (Faktor)
Mittlere Holzbiomasse für Laubbäume	12,54 [MJ/kg]
Jährlicher Zuwachs	10 %

Tab. 2: Konversion von Heizwert (in Tonnen Holzbiomasse) anhand von Berechnungen für das Hochland von Äthiopien (verändert nach [3, 9, 12])

### Klassifikation des Gebiets von Tis Abay, Äthiopien, berechnet für 1993 anhand von MOMS-02/D2 (links) und für 2016 anhand von RapidEye-Daten (rechts)



Lage:  
UTM Zone 37 N  
Eckkoordinaten  
unten links:  
x: 342781  
y: 1267204  
oben rechts:  
x: 351781  
y: 1274181

- Wald
- Baumsavanne
- Buschland
- Strauchland
- Grasland trocken
- Grasland, feucht
- Ackerland gepflügt
- Ackerland geerntet
- Ackerland, Brache
- Blauer Nil
- Infrastruktur

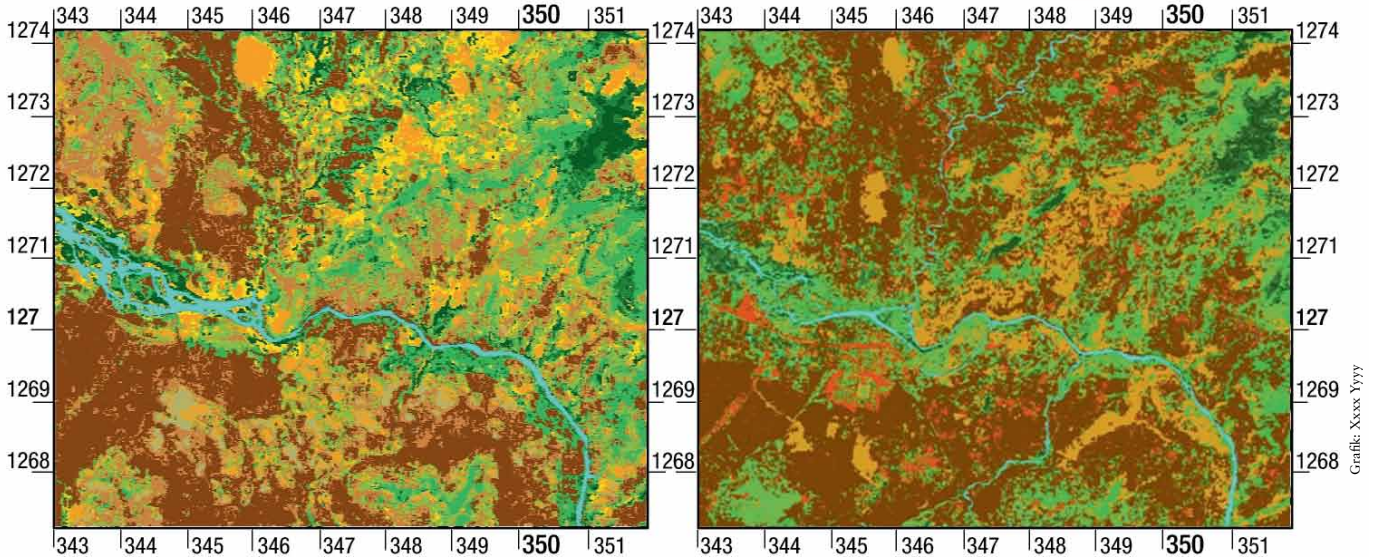
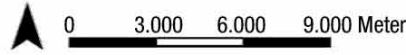


Abb. 1: Landnutzungs-/Landoberflächentypen-Klassifikation des Studiengebietes Tis Abay, Äthiopien, beruhend auf MOMS-02/D2 Mode 3-Daten von 1993 (links) und RapidEye-Daten von 2016 (rechts)

### Holzbiomasse Vorrat im Gebiet von Tis Abay, Äthiopien, berechnet für 1993 (links) und 2016 (rechts)



Lage:  
UTM Zone 37 N  
Eckkoordinaten  
unten links:  
x: 342781  
y: 1267204  
oben rechts:  
x: 351781  
y: 1274181

- 375 t/ha
- 120 t/ha
- 30 t/ha
- 0.75 t/ha
- <0.03 t/ha
- Blue Nile
- Built area

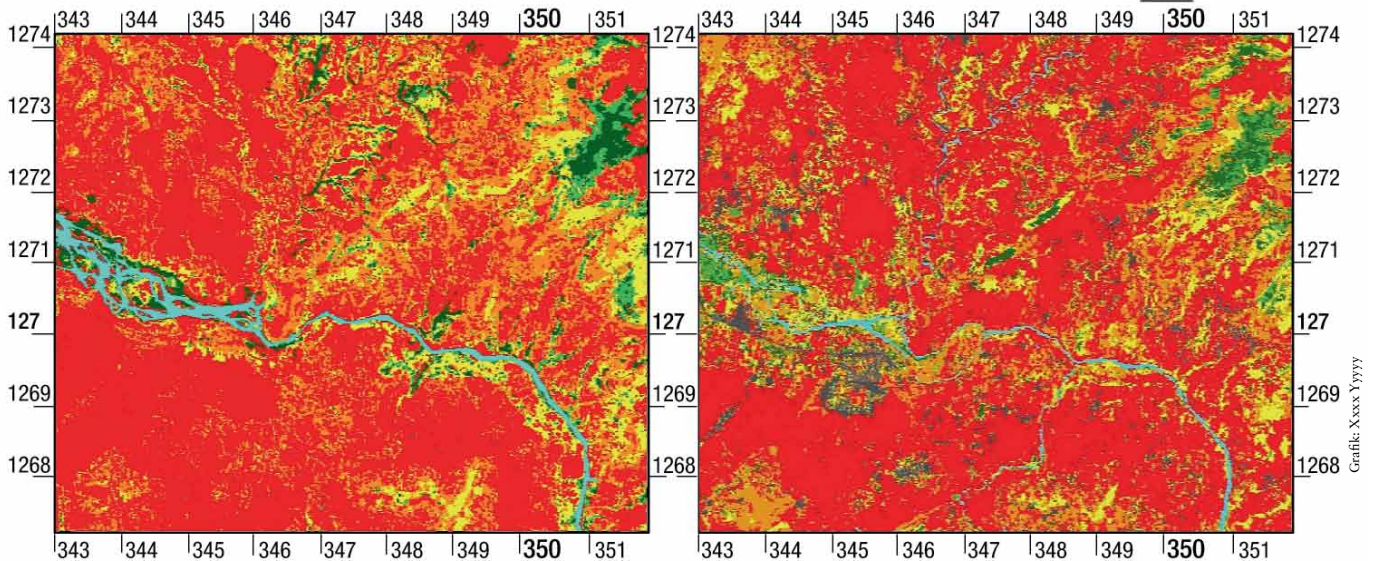
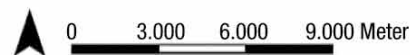


Abb. 2: Holzbiomasse-Vorrat im Gebiet von Tis Abay, Äthiopien, berechnet über MOMS-02/D2 Mode 3-Daten von 1993 (links) und RapidEye-Daten von 2016 (rechts). Die Vorratsbestimmung beruht auf Landnutzungs-/Landoberflächentypen-Klassifikation aus (Abb. 1) und amtliche Statistiken.

Landnutzungs-/ Landoberflächentyp	Heizwert [GCal/ha]	Fläche [ha] 1993	Verfügbar 1993 (10 %) [GCal/Jahr]	Fläche [ha] 2016	Verfügbar 2016 (10 %) [GCal/Jahr]
Wald (mit „Einzelbäume“)	1.123,1	232	26.055,92	205	23.123,55
Baumsavanne	269,6	194	6.976,24	147	5.286,12
Buschland	87,1	735	6.401,85	643	5.600,53
Strauchland	2,2	1.223	29,06	1.127	247,94
Grasland	0,1	851	8,51	827	8,27
Ackerbau	0	2.939	0	2.933	0
Blauer Nil	0	101	0	88	0
Siedlung/Infrastruktur	0	0	0	305	0
<b>Gesamt:</b>		<b>6.275</b>	<b>39.716,47</b>	<b>6.275</b>	<b>34.166,41</b>

Tab. 3: Berechnung der Holzbiomasse pro Landoberflächen/Landnutzungstyp für die Gemeinde Tis Abay, berechnet aufgrund der Flächenanteile der Klassifikationen der MOMS-02/D2; Daten aus dem Jahr 1993 und der RapidEye-Daten von 2016

einer Auflösung von ca. 13 m, das erste über Daten aus dem Weltraum überhaupt, wurde in demselben Vorhaben zur Ableitung des Erosionsrisikos genutzt [5]. In den hier gezeigten Untersuchungen fließt dieses DGM nur indirekt im Rahmen der Vorverarbeitung ein.

Um den Entwicklungstrend zwischen 1993 und 2016 quantifizieren zu können, wurde mit denselben analytischen Ansätzen ein am 30.01.2016 erfasster Datensatz des deutlich höher auflösenden operationellen RapidEye-Systems ausgewertet (Tab. 1). Die RapidEye-Daten wurden durch das RapidEye Science Archive (RESA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Rahmen des RESA-Vorhabens 50EE1312 zur Verfügung gestellt. Das Satellitensystem RapidEye besteht aus fünf baugleichen Satelliten, die Ende 2008 in die Umlaufbahn geschickt wurden [6]. Die Konstellation erlaubt Aufnahmewiederholungen innerhalb weniger Tage. Jeder Satellit des Systems zeichnet Informationen in fünf verschiedenen Wellenlängen-Bereichen (Tab. 1) mit jeweils einer räumlichen Pixelauflösung von 6,5 m auf, die dann zu 5 m Pixeln umgerechnet werden.

## Klassifikation der Satellitendaten

Ausgangspunkt für die Berechnung des Holzbiomasse-Vorrates waren Klassifikationen der Landoberflächen/Landnutzungstypen. Der Klassifikationsschlüssel wurde in Anlehnung an FAO Schlüssel, wie in [8, 9] umgesetzt, und nationaler Vorgaben [10] erstellt und bei beiden Datensätzen angewendet. Die Definitionen der Klassen sind wie folgt:

- **Wald:** Waldbäume bilden ein- bis mehrschichtige, geschlossene Bestände von potenziell 7 bis 40 m Höhe, das Kronendach ist geschlossen.
- **Baumsavanne:** offene Bestände mit bis zu 20 m hohen, meist einzeln stehenden Bäumen. Deckungsgrad beträgt über 20 %.
- **Buschland:** Holzgewächse mit ein- bis mehrschichtiger Struktur und einem Deckungsgrad von > 20 %, dominiert von Büschen, einzelne Bäume < 10 m.
- **Strauchland:** Sträucher/Dornenbüsche < 6m bei einem Deckungsgrad von > 20 %. Einzelne Bäume < 10 m und < 10 % der Bestandbildenden Holzgewächse.
- **Grasland feucht/trocken:** Gräser sind der dominierende Vegetationstyp auf frischen bis trockenen Standorten. Holzgewächse auf < 2 % der Fläche.
- **Ackerbau frisch gepflügt/abgeerntet/Brache/bewässert:** Ackerbaulich genutzte Flächen in unterschiedlichem Bearbeitungszustand, meist regelmäßige geometrische Formen.
- **Feuchtgebiete:** Sümpfe, Moore, im Außenbereich Papyrus, Schilf, Seggen-Gesellschaften.

Heizwert, Gemeinde Tis Abay:	1993	2016
Fläche in Hektar [ha]	6.275,0	6.275,0
Bewohner 1993/2016 (gerundet)	5.600	28.000
Feuerholz Bedarf pro Person [t/Pers/Jahr]	0,88	0,76
Feuerholz Bedarf/Jahr gesamt [t]	4.928,0	21.280,0
Feuerholz Angebot/Jahr [t]	13.302,2	11.443,3
Feuerholz Angebot pro Kopf [t]	2,38	0,54

Tab. 4: Bilanz von Feuerholz Angebot und Bedarf der Gemeinde Tis Abay im Hochland von Äthiopien (verändert nach [3, 13, 6, 14])

- **Wasserflächen:** Blauer Nil und Zuflüsse.
- **Siedlungen:** dörfliche Siedlungen mit teilweise Schilfdächern, unbefestigte Straßen.

Beide Datensätze sind in der zweiten Hälfte der großen Trockenzeit (Oktober bis April) erfasst worden. Die Ackerflächen waren abgeerntet und teilweise bereits für die Neubestellung vorbereitet. Über die Klassifikation der MOMS-02/D2-Daten konnten keine Feuchtgebiete und kein bewässerter Ackerbau detektiert werden. Da die Holzbiomasse im Vordergrund der vergleichenden Untersuchungen stand, wurden im Falle der RapidEye-Daten von 2016 die Ackerbaulichen Klassen zusammengefasst.

Im Falle der MOMS-02/D2 Mode 3 Daten mit lediglich zwei Spektralkanälen (Rot, Nahes Infrarot) wurde ergänzend der ‚Relative Vegetation Index‘ ( $RVI = ([NIR - rot] - 255) * (-1)$ ) genutzt. Die Klassifikation erfolgte pixelbasiert mit einer Kombination aus Box- und Maximum-Likelihood-Verfahren, wie im ‚Ties‘-Ansatz des PCI Geomatica Bildanalysepaketes von 1993 [11] bereitgestellt. Siedlungen und unbefestigte Straßen konnten lediglich visuell detektiert werden. Die RapidEye-Daten hingegen wurden mit dem objektorientierten Verfahren der eCognition-Software (9.2) von Trimble ausgewertet [12]. Die für die Segmentierung gesetzten Werte erlauben es, große Einzelbäume auf dem Ackerland als Objekt auszuweisen. Die Ergebnisse der Klassifikationen der Landoberflächentypen/Landnutzungsklassen sind in Abb. 1 wiedergegeben.

## Analyse des Feuerholzbedarfs und des Angebots

Die in [12] beschriebene Methode wurde für 1993 und 2016 angewendet. Vegetationseinheiten, die potenziell Holzbiomasse produzieren, – Afro-Montaner Trockenwald (forestland), Baumsavanne (woodland), Buschland (bushland), Strauchartige (shrubland) –, wurden über offizielle Statistiken des äthiopischen Ministeriums für nachwachsende Rohstoffe (Biomass Energy Resources) [8, 9, 10] in stehende Biomasse pro Hektar, Brennwert in GCal sowie jährlichen Zuwachs umgerechnet (Tab. 3, Tab. 4). Unter Einbeziehung der amtlichen Bevölkerungszahlen [13, 14] wurde der kalkulatorische Bedarf

berechnet. Die Differenz aus den Ergebnissen der Biomasseverfügbarkeit und dem Bedarf wurde dann einer Änderungsanalyse unterzogen. Die Berechnung des Holz-Biomasse-Angebotes und -Bedarfs erfolgte nach Umrechnung anhand von Werten aus der Literatur (wie in Tab. 2 angegeben).

## Ergebnisse

In Abb. 2 sind die berechneten Holzbiomasse-Vorräte dargestellt. In Tab. 5 sind diese Ergebnisse der Änderungsanalyse in Hektar und Prozent tabellarisch aufgelistet. Laut unseren Analysen lag das Angebot (jährlicher Zuwachs) für das Studiengebiet im Jahre 1993 bei 13.302,2 t gesamt oder 2,38 t pro Einwohner. Bis 2016 hat sich das Angebot für die Gemeinde Tis Abay auf 11.443,33 t verringert. Aufgrund der um das Fünffache gestiegenen Bevölkerung ist das pro Kopf-Angebot auf 0,54 t pro Einwohner gesunken. Die kalkulatorisch benötigte jährliche Holzbiomasse von 0,76 t ist somit um nahezu ein Drittel unterschritten. Es herrscht akuter Brennstoffmangel.

## Literaturhinweise:

[1] (2015): <http://www.succoww-stiftung.de/aethiopien-aufbau-eines-biosphaerenreservats-am-tanasee.html>. [2] DEMISSIE, F.; YESHITILA, K.; KINDU, M.; SCHNEIDER, T. (2017): Land use/land cover changes and their causes in Libokemkem District of South Gonder, Ethiopia. *Remote Sensing Applications, Society and Environment*, 8, S. 224-230. [3] SCHNEIDER, TH.; STÖHR, H.; LICHTENWALD, S.; AMMER, U. (1995): Land cover mapping approaches with MOMS-02/D2 MODE 3 data and the application in a fuelwood demand and supply analysis in the Lake Tana region of Ethiopia. *Proc. of the MOMS-02/D2 Symposium, Köln, 5.-7. Juli 1995*, S. 185-192. [4] SEIGE, P.; MEISSNER, D. (1993): MOMS-02: An advanced high resolution multispectral stereo scanner for Earth observation. *GIS, 1/1993*, S. 4-11. [5] REUSING, M.; SCHNEIDER, T.; AMMER, U. (2000): Modelling soil loss rates in the Ethiopian Highlands by integration of high resolution MOMS-02/D2-stereo-data in a GIS. *Int. Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, Nr. 9; S. 1885-1896. [6] RapidEye:DLR Raumfahrtmanagement: [http://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2440/3586\\_read-5336/](http://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2440/3586_read-5336/). [7] HELLDÉN, U. (1987): An assessment of woody biomass, community forests, land use and soil erosion in Ethiopia. SIDA contract 30/86, ETI 52, final report, Lund, Schweden. [8] HARTL, P.; KAULE, G.; TIRFIE, A.; TREUNER, P. 1990): Agricultural carrying capacity and regional development planning in Ethiopia. *Application of Remote Sensing Procedures for Development Planning*. IREUS Schriftenreihe, Band 14. [9] (1986): Biomass Energy Resources. GTZ Technical report 1; Ministry of Mines and Energy of the Provisional Military Government of Socialist Ethiopia. [10] (1994): Addis Bar Forestry Project, Technical report. [11] PCI User Guide (1993): Pace Multispectral Analysis Package; chapter 1.17.2, Maximum Likelihood Classification. [12] BENZ, U. C.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M., (2004): Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58, (3-4), S. 239-258. [13] FF (2016): Factfish – database. Ethiopia: fuelwood, consumption by households. <http://www.factfish.com/statistic-country/ethiopia/fuelwood,+consumption+-by+households>. [14] QData (2015): Quandl – financial, economic and alternative data. [https://www.quandl.com/data/CITYPOP/CITY\\_TISABAYAMETHIOPIA-Population-of-Tis-Abay-AM-Ethiopia](https://www.quandl.com/data/CITYPOP/CITY_TISABAYAMETHIOPIA-Population-of-Tis-Abay-AM-Ethiopia). [15] BREHANU, A.; FUFA, B. (2008): Repayment rate of loans from semi-formal financial institutions among small-scale farmers in Ethiopia: Two-limit Tobit analysis. *The Journal of Socio-Economics*, 37, (6), S. 2221-2230.

## Diskussion

Die Studie stützt sich auf die Auswertung von Satellitendaten sowie auf amtliche Statistiken. Um die Fehler durch diese Informationsquellen möglichst gering zu halten, wurden vergleichbare Ansätze bei der Bestimmung der relevanten Landoberflächen/Landnutzungsclassen gewählt. Bei den Statistiken wurde auf die gleichen Quellen zurückgegriffen, Unschärfen sind durch die Schätzung der Bevölkerungszahlen, aber auch der Klassifikation der Satellitendaten zu erwarten. Trotz dieser Unsicherheiten zeigt sich ein klarer Trend: die Holzbiomasse ist zur Mangelware geworden. Das Feuerholz-Angebot im Studiengebiet hat sich über die Untersuchungsperiode verringert, dieses Minus fällt aber mit lediglich 8,6 % gegenüber 1993 vergleichsweise gering aus, zumal wenn das Bevölkerungswachstum von annähernd 500 % über denselben Zeitraum betrachtet wird. Bei einem Besuch vor Ort 2015 hat sich herausgestellt, dass der Rückgang der Waldflächen, also den Landoberflächentypen mit dem größten Holzvorrat, durch schnell wachsende Eukalyptus-Plantagen bzw. als grüne Hecken rund um die Höfe gepflanzte Bäume, teilweise kompensiert wurde. Allerdings sind parallel dazu potenzielle Waldgebiete im Nordosten des Studiengebietes unter Schutz gestellt worden, ein Status der streng überwacht wird, aber den Druck auf die weiterhin zugänglichen Ressourcen erhöht. Positiv auf den Verbrauch hat sich die Einführung von Öfen herausgestellt, durch die der pro Kopf-Verbrauch im Gebiet von 0,88 t auf 0,76 t pro Kopf und Jahr reduziert werden konnte.

Das festgestellte Defizit im Studiengebiet muss somit in erster Linie auf die steigenden Bevölkerungszahlen zurückgeführt werden. Weitere sozio-ökonomische Auswirkungen, etwa durch die zunehmend schwierigere Bedarfsdeckung und den dadurch bedingten höheren Zeitaufwand, der hauptsächlich von Frauen und Mädchen aufgebracht wird und nach derzeitigen Schätzungen etwa vier Stunden täglich beträgt [15], soll hier nicht weiter vertieft werden.

## Fazit

Landnutzungsplanungen mit dem Ziel nachhaltiger Entwicklung werden durch Satellitengestützte retrospektive Analysen optimal unterstützt. Anhand der darüber möglichen Trendanalysen werden alternative Szenarien unter sich ändernden Rahmenbedingungen (Demographie, Klima, Politik) entwickelt. Die Ergebnisse solcher Szenarien werden den Entscheidungsträgern der unterschiedlichen hierarchischen Ebenen der Verwaltung zur Verfügung gestellt. Auf dass sie weise Entscheidungen treffen mögen!!

Dipl.-Geologe Dr. Thomas Schneider, [Torni.schneider@tum.de](mailto:Torni.schneider@tum.de), ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Leiter der Arbeitsgruppe Fernerkundung am FG Waldinventur und nachhaltige Nutzung der TU München. Alexandra Ivanova und Susanne Lichtenwald haben ihre Master- bzw. Diplomarbeit über die Feuerholz-Angebots und Bedarfsanalyse 2016 bzw. 1993 geschrieben. Dr. Mengistie Kindu ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am FG Waldinventur und nachhaltige Nutzung und Experte in Fernerkundung und Ökosystemdienstleistungen. Prof. Dr. Thomas Knoke leitet das Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung.

