

Christian Knieper

**Remote Sensing Based Analysis of  
Land Cover and Land Cover Change  
in Central Sulawesi, Indonesia**

**ERDSICHT - EINBLICKE IN GEOGRAPHISCHE  
UND GEOINFORMATIONSTECHNISCHE ARBEITSWEISEN**

Schriftenreihe des Geographischen Instituts der Universität Göttingen,  
Abteilung Kartographie, GIS und Fernerkundung

Herausgegeben von Prof. Dr. Martin Kappas

ISSN 1614-4716

Christian Knieper

**REMOTE SENSING BASED ANALYSIS  
OF LAND COVER AND  
LAND COVER CHANGE IN  
CENTRAL SULAWESI, INDONESIA**

*ibidem*-Verlag  
Stuttgart

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

### **Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Coverbild: Dorf Toro im STORMA-Untersuchungsgebiet. Photograph André Twele

Dieser Titel ist als Printversion im Buchhandel  
oder direkt bei *ibidem* ([www.ibidem-verlag.de](http://www.ibidem-verlag.de)) zu beziehen unter der

ISBN 978-3-89821-646-3.

∞

ISSN: 1614-4716

ISBN-13: 978-3-8382-5646-7

© *ibidem*-Verlag  
Stuttgart 2012

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und elektronische Speicherformen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form, or by any means (electronical, mechanical, photocopying, recording or otherwise) without the prior written permission of the publisher. Any person who does any unauthorized act in relation to this publication may be liable to criminal prosecution and civil claims for damages.

## VORWORT DES HERAUSGEBERS

Die Reihe „Erdsicht – Einblicke in Geographische und Geoinformationstechnische Arbeitsweisen“ soll Forschungsergebnisse und Arbeiten im Bereich der Erdsystemforschung vorstellen. Die Betrachtung der Erde als System ist als Inhalt heutiger und zukünftiger Geowissenschaftlicher Gemeinschaftsforschung dringend gefordert. Die Herausforderungen liegen zum einen in der Erforschung der vielfältigen Interaktionen zwischen den verschiedenen Teilbereichen des Systems Erde. Hierzu zählen Wechselwirkungen zwischen fester Erde und Atmosphäre, zwischen der Landoberfläche und der Hydrosphäre oder zwischen Biosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre. Der Mensch steht dabei mit seinen zentralen Nutzungsansprüchen (Ernährung – landwirtschaftliche Nutzung – Ressourcennutzung) im Mittelpunkt eines vielfach vernetzten Erdsystems. Der Mensch verändert Landschaften und Atmosphäre und greift somit in alle Skalenbereiche des Erdsystems ein. Insofern müssen diese Veränderungen beobachtet und bewertet werden, damit Konzepte für ein nachhaltiges Erdsystemmanagement auf den unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen entwickelt werden können. Die neuen Geoinformationstechniken (Geostatistik; Geographische Informationssysteme – GIS; luft- und Satellitengestützte Fernerkundungssysteme – Remote Sensing) helfen dabei das System Erde zu beobachten und zu begreifen. Ohne diese Techniken ist eine ganzheitliche Betrachtung der Erde und eine flächenhafte Bereitstellung von Informationen über das Erdsystem nicht möglich.

Die Arbeit von Christian Knieper beschäftigt sich mit der Thematik des Landschaftswandels vor dem Hintergrund des wachsenden und zum Teil dramatischen Verlustes der Artenvielfalt in den Tropen. Die Landnutzung und intensive Bewirtschaftung des Regenwaldrandbereichs durch den Menschen stellt einen wesentlichen Faktor dar, der - neben dem globalen Klimawandel - die Stabilität des Ökosystems „immergrüner tropischer Regenwald“ beeinflusst. Der Sonderforschungsbereich SFB-552 „Stability of Rainforest Margins in Indonesia“ (STORMA) untersucht in diesem Zusammenhang die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten und anderer Faktoren und Prozesse auf den Zustand eines tropischen Ökosystems in einem Testgebiet in Zentral Sulawesi.

Die Studie von Herrn Knieper liefert im Rahmen dieses multi-disziplinären Forschungsprojekts wichtige Basisinformationen über den Zustand und die Dynamik der Landoberfläche in der Übergangszone zwischen Naturwald und Kulturlandschaft.

Martin Kappas

# TABLE OF CONTENTS

1 INTRODUCTION .....	1
1.1 Background .....	1
1.2 The Research Project STORMA .....	2
1.3 Framework of the Present Work .....	3
1.4 Survey Region .....	4
2 METHODOLOGY .....	12
2.1 Satellite Data .....	12
2.1.1 Overview .....	12
2.1.2 Landsat 7/ETM+ .....	13
2.1.3 Other Satellite Data .....	16
2.2 Software .....	18
2.2.1 eCognition 3.0 .....	18
2.2.2 ENVI 4.1 .....	19
2.2.3 ArcView GIS 3.2 .....	19
2.3 Land Cover Classification System .....	20
2.3.1 Basics .....	20
2.3.2 Classification System LCCS .....	21
3 ANALYSIS .....	22
3.1 Ancillary Data .....	22
3.1.1 Image Layers .....	22
3.1.2 Thematic Layers .....	23
3.1.3 Synthetic Layers .....	27
3.2 Classes .....	32
3.3 Segmentation .....	43
3.3.1 Determination of Segmentation Parameters for the Landsat Data of 2002 .....	44
3.3.2 Transfer of the Segmentation Parameters to the Landsat Data of 1999 and 2001 .....	47
3.4 Training Areas .....	50
3.5 Classification .....	55
3.5.1 Classification Approach .....	55
3.5.2 Classification Scheme .....	55
3.5.3 Monotemporal Class Rulesets .....	57
3.5.4 Adjustment of the Class Rulesets for Multitemporal Classification .....	77
3.6 Accuracy Assessment .....	78
3.6.1 Reference Data .....	78
3.6.2 Indicators and Assessment Results .....	80
4 RESULTS .....	86
4.1 Land Cover 2002 .....	86

4.2 Land Cover Change 1999 - 2002 .....	103
4.3 Land Cover Change in the Dongi-Dongi Valley 2002 - 2004 .....	114
5 CONCLUSIONS AND OUTLOOK .....	116
5.1 The Threat of Lore Lindu National Park .....	116
5.2 Review of Applied Methods .....	118
REFERENCES .....	122



## LIST OF FIGURES

Figure 1: Reduction of relief influence on the Landsat scene of 2002 by means of topographic normalisation .....	15
Figure 2: Agroforestry systems in the Palolo valley, as detected by Landsat 7/ETM+ (multispectral), Landsat 7/ETM+ (pan-sharpened), SPOT 4 (HRVIR sensor, panchromatic), IKONOS (pan-sharpened) and Quickbird (pan-sharpened) .....	18
Figure 3: Closed rain forest .....	32
Figure 4: Open rain forest .....	33
Figure 5: Cloud Forest.....	35
Figure 6: Broadleaved Evergreen Medium To High Shrubland.....	36
Figure 7: Grassland in the Napu basin .....	37
Figure 8: Cocoa plantation .....	38
Figure 9: Coconut plantation.....	39
Figure 10: Rice paddy .....	40
Figure 11: Maize field .....	40
Figure 12: Mix of cropland and tree cover.....	41
Figure 13: Small river near the Toro valley .....	42
Figure 14: Adjacent pixels to a centred pixel, as realised by edge-neighbourhood and corner-edge neighbourhood.....	45
Figure 15: Segmentation results in the Palolo valley (2002).....	47
Figure 16: Classification scheme of this work .....	56
Figure 17: Area share of forest and cropland at different slope levels in the STORMA research area, on elevations below 750 m (2000) .....	86
Figure 18: Share of forest land cover types in the STORMA research area (2002), related to altitude .....	87
Figure 19: Distribution of shifting cultivation area on different slope levels in the Pikipikoro region (2002).....	101

Figure 20: Share of land cover (2002) on areas that have been detected as clear-cuttings in 2001 ..... 114

## LIST OF TABLES

Table 1: Technical data of Landsat 7/ETM+ .....	14
Table 2: Coefficients for the 2nd and 3rd Tasseled Cap component.....	29
Table 3: Correlation matrix of the 2002 Landsat scene .....	44
Table 4: Relationship between scale parameter, number of segments and average segment size, as detected on the Palolo subset of 2002 .....	46
Table 5: Number of segments in subsets of the Landsat scenes (1999, 2001 and 2002), resulting from different scale parameter values .....	48
Table 6: Rulesets for the discrimination <i>Survey Region - Not Survey Region</i> .....	57
Table 7: Rulesets for the discrimination <i>Natural Waterbodies (Flowing)(1) - Classified by Image Layers</i> .....	58
Table 8: Rulesets for the discrimination <i>Reliable Data - No Reliable Data</i> .....	59
Table 9: Rulesets for the discrimination <i>Broadleaved Evergreen Trees: Heath Forest - Not Heath Forest</i> .....	60
Table 10: Rulesets for the discrimination <i>Broadleaved Evergreen Trees: Cloud Forest - Not Cloud Forest</i> .....	61
Table 11: Rulesets for the discrim. <i>Further Forest - Not Further Forest</i> .....	63
Table 12: Rulesets for the discrimination <i>Broadleaved Evergreen Woodland: Open Rain Forest – Broadleaved Evergreen Trees: Closed Rain Forest</i> .....	64
Table 13: Rulesets for the discrimination <i>Water Surface – Not Water Surface</i> .....	66
Table 14: Rulesets for the discrimination <i>Natural Waterbodies (Flowing) (2) - Natural Waterbodies (Standing) (1) – Natural Waterbodies (Standing) (2) – Graminoid Crops, Dominant Crop: Cereals - Rice (Oryza spp.) (1)</i> .....	68
Table 15: Rulesets for the discrimination <i>Urban Area(s) – Not Urban Areas</i> .....	69
Table 16: Rulesets for the discrimination <i>Grassland or Maize – Not Grassland or Maize</i> .....	70
Table 17: Rulesets for the discrimination <i>Herbaceous Closed to Open Vegetation – Graminoid Crop(s), Dominant Crop: Cereals - Maize (Zea mays L.)</i> .....	72

Table 18: Rulesets for the discrimination <i>Herbaceous Closed to Open Vegetation – Not Reed Cover</i> .....	73
Table 19: Rulesets for the discrimination <i>Shrubland or Mix – Not Shrubland or Mix</i> . .....	75
Table 20: Rulesets for the discrimination <i>Mosaic of Cropland/ Tree Cover/ Other Natural Vegetation - Broadleaved Evergreen Medium To High Shrubland</i> .....	76
Table 21: Rulesets for the discrimination <i>Tree Crop(s), Dominant Crop: Fruits &amp; Nuts - Coconut (Cocos nucifera L.), Crop Cover: Plantation(s) – Tree Crop(s), Dominant Crop: Beverage - Cocoa (Theobroma cacao L.), Crop Cover: Plantation(s) – Graminoid Crops, Dominant Crop: Cereals - Rice (Oryza spp.) (2)</i> .....	77
Table 22: Error matrix of the classification from 1999.....	81
Table 23: Error matrix of the classification from 2001.....	82
Table 24: Error matrix of the classification from 2002.....	83
Table 25: Overall accuracy of the classifications from 1999, 2001 and 2002.....	84
Table 26: User's accuracy and producer's accuracy for selected classes of the classifications from 1999, 2001 and 2002.....	84
Table 27: Land cover in the STORMA research area, 2002.....	90
Table 28: Land cover in the LLNP and the north-western extension area, 2002 .....	91
Table 29: Land cover (ha) in the STORMA research region 1999, 2001 and 2002	104
Table 30: Land cover (ha) in the Lore Lindu National Park, 1999, 2001 and 2002	105
Table 31: Share of area losses (%) of open rain forest and closed rain forest to agricultural land cover in the STORMA survey region, 1999 to 2002.....	107

## LIST OF MAPS

Map 1: Geographic position of Sulawesi and the survey region .....	4
Map 2: The survey area .....	7
Map 3: Position of the IKONOS and Quickbird scenes .....	17
Map 4: Areas with and without potential agricultural use, according to the related ancillary layer .....	26
Map 5: Land cover in the Palu Valley, 2002 .....	92
Map 6: Land cover in the Palolo Valley, 2002 .....	93
Map 7: Land cover in the Napu valley, 2002 .....	95
Map 8: Land cover in the Besoa enclave, 2002 .....	96
Map 9: Land cover in the Bada valley, 2002 .....	97
Map 10: Land cover in the Kulawi valley, 2002.....	98
Map 11: Land cover in the Lindu enclave, 2002 .....	99
Map 12: Land cover in the Dongi-Dongi valley, 2002 .....	100
Map 13: Land cover in the Pipikoro area, 2002.....	102
Map 14: Shifts of the vegetation gradient on the eastern slope of the Palu valley, 1999 - 2001 .....	109
Map 15: Zones of human encroachment (clear-cuttings) inside Lore Lindu National Park, 1999 - 2002 .....	112
Map 16: Land cover in the Dongi-Dongi valley, 2004 .....	115

## **APPENDIX**

Map A.1: Used pre-processed Landsat scene of 2002 .....	132
Map A.2: Used pre-processed Landsat scene of 2001 .....	133
Map A.3: Used pre-processed Landsat scene of 1999 .....	134
Map A.4: Classification result of 2002 .....	135
Map A.5: Classification result of 2001 .....	136
Map A.6: Classification result of 1999 .....	137

## LIST OF ABBREVIATIONS

A.	André
a.s.l.	above sea level
B	blue
BI	Bare Soil Index
BPS	Badan Pusat Statistik
BTNLL	Balai Taman Nasional Lore Lindu
CA	Tree Crop(s), Dominant Crop: Beverage - Cocoa ( <i>Theobroma cacao</i> L.), Crop Cover: Plantation(s)
CCRS	Canada Centre for Remote Sensing
CF	Broadleaved Evergreen Trees: Cloud Forest
Classif.	Classification
CN	Tree Crop(s), Dominant Crop: Fruits & Nuts - Coconut ( <i>Cocos nucifera</i> L.), Crop Cover: Plantation(s)
COH	Closed to Open Herbaceous Vegetation
CRF	Broadleaved Evergreen Trees: Closed Rain Forest
discrim.	discrimination
DJPHKA	Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam
ed(s).	editor(s)
e.g.	exempli gratia
etc.	et cetera
ENVI	the Environment for Visualizing Images
ESRI	Environmental Systems Research Institute
et al.	et alii
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
f.	and the following page
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
fig.	figure

FWB	Natural Waterbodies (Flowing)
FWI	Forest Watch Indonesia
GFW	Global Forest Watch
GIS	geoinformation system
GLC2000	Global Land Cover 2000
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPS	Global Positioning System
HCO	Herbaceous Closed to Open Vegetation
HF	Broadleaved Evergreen Trees: Heath Forest
HRVIR	Haute Resolution Visible Infrarouge
i.e.	id est
IMPENSO	the Impact of El Niño Southern Oscillation
Inc.	Incorporated
iss.	issue
JRC	Joint Research Centre
LCCS	Land Cover Classification system
M	Graminoid Crop(s), Dominant Crop: Cereals - Maize ( <i>Zea mays</i> L.)
MC	Mosaic of Cropland / Tree cover/ Other Natural Vegetation
MIR	middle-infrared
MSS	Multispectral Scanner
n.a.	no author(s) known
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalised Difference Vegetation Index
NDVI <sub>c</sub>	MIR corrected NDVI
NGO	non-governmental organisation
NIR	near-infrared
N.l.	No location(s) known
n.p.	no page(s) known
ORF	Broadleaved Evergreen Woodland: Open Rain Forest
p.	page