



Enrico Kalb

Landnutzungsinterpretation und Erosionsmodellierung der Küstenregion von Nordost Bali, Indonesien



Enrico Kalb

**Landnutzungsinterpretation und
Erosionsmodellierung der Küstenregion von
Nordost Bali, Indonesien**

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

- 6 *Sören Steinbach*
Visualisierung und Quantifizierung von Überschwemmungsbereichen am Mittellauf
der Elbe
GIS-gestützte Modellierung von Überschwemmungen
ISBN 3-89821-530-X
- 7 *Jobst Augustin*
Das Seegangsklima der Ostsee zwischen 1958 und 2002 auf Grundlage numerischer
Daten
ISBN 3-89821-572-5
- 8 *Martin Kappas*
Naturraumpotential und Landnutzung im Oudalan – eine Fallstudie aus dem Sahel
Burkina Fasos zur Anwendbarkeit von Fernerkundungsmethoden im regionalen
Maßstab
ISBN 3-89821-664-0
- 9 *Ortwin Kessels*
Qualitätsanalyse verschiedener digitaler Geländemodelle und deren Eignung für die
Prozessierung von Satellitenbilddaten in den Tropen
ISBN 3-89821-603-9
- 10 *Christian Knieper*
Remote Sensing Based Analysis of Land Cover and Land Cover Change in Central
Sulawesi, Indonesia
ISBN 3-89821-646-2
- 11 *Mareike Lehrling*
Klimaentwicklung in Alaska - eine GIS-gestützte Erfassung und Analyse der raum-
zeitlichen Entwicklung von Temperatur und Niederschlag
ISBN 3-89821-670-5
- 12 *Daniel Karthe*
Trinkwasser in Calcutta
Versorgungsproblematik einer indischen Megastadt
ISBN 3-89821-661-6

Enrico Kalb

**LANDNUTZUNGSINTERPRETATION
UND EROSIONSMODELLIERUNG DER
KÜSTENREGION VON
NORDOST BALI, INDONESIA**

ibidem-Verlag
Stuttgart

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

∞

ISBN: 978-3-8382-5666-5

© *ibidem*-Verlag
Stuttgart 2006
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.

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 vorliegende Studie untersucht die Veränderung der Landnutzung in einer Küstenregion von Nord-Bali und schließt an die Veränderungen der Nutzung eine Modellierung der Bodenerosionsanfälligkeit an. Die Arbeit war in ein Projekt der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit dem Titel „Gegenwart und Vergangenheit einer altbalinesischen Küstensiedlung, regionale Tempel- und Ritualnetzwerke und ihre Bedeutung für die frühstaatliche Integration“ eingebettet. Ziel der Arbeit war es zunächst ein GIS-gestütztes Modell des Landnutzungswandels für einen langen Zeitraum zu generieren. Insgesamt konnte ein Zeitraum von 1923 bis 2004 erfasst werden. Die aktuelle Landnutzung wurde über die Auswertung Hochauflösender Satellitendaten (Quickbird) erreicht. Die Arbeit ist ein gelungenes Beispiel für das Zusammenspiel informationstechnischer Methoden (GIS, Fernerkundung) und historischer bis jetztzeitlicher Quellen. Aufgrund der Einspeisung historischer Karteninformatio-

nen und deren Abbildung auf ein hoch genaues Geländemodell konnte ein besseres Verständnis über den Prozess und die Beweggründe der Landnutzungsveränderungen in Nordbali erzielt werden. Im zweiten Teil der Arbeit schließt sich die Bewertung der Bodenerosion für diese Region an. Über die allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG), die zur Prognose der Bodenerosion genutzt wurde, konnte eine ^{14}C -Alterdatierung zur stratigraphischen Abfolge von Ablagerungen im Küstenbereich bei Pacung in die Erosionsabtragrechnung eingehen. Insgesamt ist die Studie durch einen sehr starken interdisziplinären Ansatz geprägt und zeigt die Möglichkeiten des Einsatzes von GIS und Fernerkundung über die Fachgrenzen der Geographie hinaus auf.

Martin Kappas

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand am Geographischen Institut der Georg-August-Universität Göttingen. Sie beschäftigt sich mit der langjährigen Abschätzung von Erosionsraten im tropischen Raum und beschreibt die Veränderung der landwirtschaftlichen Nutzung in der nördlichen Küstenregion von Bali.

Die Idee der zugrunde liegenden Untersuchung wurde im Mai 2004 im Rahmen meiner Tätigkeit als studentische Hilfskraft im interdisziplinären DFG-Projekt mit dem Titel: „Gegenwart und Vergangenheit einer ‚altbalinesischen‘ Küstensiedlung, regionale Tempel- und Ritualnetzwerke und ihre Bedeutung für die frühstaatliche Integration“ unter Leitung von Frau Prof. Dr. Brigitta Hauser-Schäublin vom Institut für Ethnologie der Universität Göttingen aufgenommen.

Herr Prof. Dr. Martin Kappas übernahm die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit. Ihm gilt mein herzlicher Dank für die Anregung zu dieser Arbeit sowie die Betreuung, die er mir über dem gesamten Zeitraum zukommen ließ. Vor allem für das Vertrauen, das er mir bei der Planung, Vorbereitung und Durchführung von Anfang an entgegenbrachte, möchte ich mich bei ihm bedanken.

Ein ganz besonderer Dank geht an Prof. Dr. Brigitta Hauser-Schäublin, die diese Arbeit als Koreferentin betreute. Sie stand mir bei Bedarf jederzeit als Ansprechpartnerin mit wertvollen Hinweisen zur Verfügung. Ihr Engagement und ihre Bereitschaft, mir die erforderliche wissenschaftliche Freiheit zu lassen, haben diese Arbeit erst ermöglicht.

Für die großzügige Bereitstellung der benötigten Kapazitäten und der Nutzung des bodenphysikalischen Labors bedanke ich mich nachdrücklich beim Geographischen Institut der Universität Göttingen.

Mein Dank gilt allen Mitgliedern der Abteilung Kartographie, GIS & Fernerkundung des Geographischen Instituts Göttingen, die durch Diskussionen zur Lösung von Problemen beigetragen haben.

Außerdem danke ich Christian Knöchel, Heinrich Kreipe und Ingo Aufderheide für die fachliche und orthographische Korrektur dieser Arbeit.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, die mit sehr viel Geduld und manchen Zweifeln, mein Studium in jeder Hinsicht ermöglicht haben. Ihr gilt mein besonderer Dank dafür, dass ich bei ihr immer einen Rückhalt gefunden habe.

Göttingen, August 2005

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
I Verzeichnis der Abbildungen	IV
II Verzeichnis der Tabellen	VI
III Verzeichnis der Diagramme	VII
IV Verzeichnis der Abkürzungen	VIII
IV Verzeichnis der Abkürzungen	VIII
1 Einleitung	1
2 Physisch-Geographische Aspekte des Untersuchungsgebietes	3
2.1 Geographische Lage	3
2.2 Geologie und Böden	4
2.2.1 Allgemeines	4
2.2.2 Geologie im Untersuchungsraum	5
2.2.3 Böden im Untersuchungsraum	7
2.3 Klima	8
2.3.1 Niederschlagsverteilung im Untersuchungsraum	10
2.3.2 Probleme von punktuellen Niederschlagsmessungen	15
3 Vorbereitende Arbeiten	17
3.1 Satellitenbild	17
3.1.1 Mosaikieren der Satellitendaten	21
3.1.2 Geometrische Korrektur	23
3.1.3 Atmosphärenkorrektur	28
3.2 Digitales Geländemodell	29
3.2.1 Erstellung des Geländemodells	31
3.3 Topographische und Geologische Karten	32
4 Vegetationsanalyse	33
4.1 Einleitung	33
4.2 Vegetationsanalyse mittels Satellitenbild	34
4.2.1 Klassifizierung	34
4.2.1.1 Methodik der ISODATA Klassifikation	35
4.2.1.2 Ergebnisse der ISODATA Klassifikation	36

4.3	Vegetationsanalyse mittels Kartierung.....	37
4.3.1	Methodik.....	37
4.3.2	Kartierung des Gebietes.....	38
4.4	Landnutzungsklassifizierung des Gebietes.....	40
4.4.1	Gärten.....	41
4.4.2	Spärliche Gärten	45
4.4.3	Plantagen.....	45
4.4.4	Wald	50
4.4.5	Savanne	50
4.4.6	Ergebnisdarstellung	52
4.5	Landnutzungsklassifizierung aus historischen Karten	52
4.5.1	Gemischte Gärten	54
4.5.2	Spärliche Gärten	54
4.5.3	Plantage Kaffee.....	54
4.5.4	Savanne	55
4.5.5	Vegetationslos und Siedlungen	55
4.5.6	Ergebnisdarstellung	56
4.6	Genauigkeitsauswertung der Vegetationsanalyse	56
4.7	Change Detection	57
4.8	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse.....	58
5	Grundlegendes und aktueller Stand der Bodenerosionsforschung	61
5.1	Bodenerosion	61
5.2	Erosionsfaktoren.....	61
5.2.1	Erosivität.....	62
5.2.1	Erodibilität	62
5.2.3	Morphologische Faktoren.....	63
5.2.4	Einfluss der Vegetation.....	64
5.3	Erosionsformen.....	65
5.4	Bodenerosionsmodelle.....	67
5.5	Erosionsmodelltypen	67

5.6	Modellierung der Bodenerosion	69
5.6.1	Empirische Modelle	70
5.6.2	Physikalische Modelle	70
5.6.3	Forschungsbedarf	72
6	Allgemeine Bodenabtragsgleichung	73
6.1	Anwendung der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung	75
6.1.1	Einleitung	75
6.1.2	Regenerositätsfaktor	76
6.1.2.1	Grundlagen zur Bestimmung des R-Faktors	76
6.1.2.2	Ergebnis	77
6.1.3	Bodenerodierbarkeitsfaktor	78
6.1.3.1	Grundlagen zur Bestimmung des K-Faktors	78
6.1.3.2	Korngrößenanalyse	81
6.1.3.3	Organische Substanz und Aggregatklassen	84
6.1.3.4	Wasserdurchlässigkeit	85
6.1.3.4	Ergebnisse	88
6.1.4	Topographiefaktor	95
6.1.4.1	Ergebnis	96
6.1.5	Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor	98
6.1.5.1	Ergebnis	100
6.1.6	Erosionsschutzfaktor	102
6.1.6.1	Ergebnis	103
6.2	Bestimmung des mittleren jährlichen Bodenabtrags	103
6.3	Bestimmung des ¹⁴ C-Gehaltes	107
6.4	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	110
7	Zusammenfassung	113
	Literaturverzeichnis	i
	Internetverzeichnis	vi
	Anhang 1	
	Anhang 2	
	Anhang 3	

I Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Die Geographische Lage des Untersuchungsgebietes.	4
Abbildung 2: Die tektonische Situation Indonesiens.	5
Abbildung 3: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes.	7
Abbildung 4: Hellmann-Niederschlagsmesser in Bukti.	11
Abbildung 5: Verteilung der Niederschlagsstationen	12
Abbildung 6: Die räumliche Verteilung der Niederschlagsjahressummen.	15
Abbildung 7: Der QuickBird Sensor.	18
Abbildung 8: Vergleich des multispektralen Bildes mit dem fusionierten Bild	22
Abbildung 9: Spektrale Eigenschaften von a) atmosphärischen Effekten und b) Fernerkundungs- systemen.	25
Abbildung 10: Das spektrale Reflexionsvermögen von Vegetation, Boden und Wasser	26
Abbildung 11: Dreidimensionale Darstellung des Untersuchungsgebiets mit 3-facher Überhöhung.	31
Abbildung 12: Vereinfachte Darstellung der Zuordnungsproblematik von gebildeten Clustern zu Objektklassen.	36
Abbildung 13: Verteilung der Testflächen im Satellitenbild	40
Abbildung 14: Die Landnutzung der Untersuchungsregion im Jahr 2004 mit Höhenangaben.	41
Abbildung 15: Balinesischer Garten.	42
Abbildung 16: Eine Kaffeeplantage unter Gewürznelken und Palmen	48
Abbildung 17: Der Mittlere Flussabschnitt des Mungal.	51
Abbildung 18: Die Landnutzung der Untersuchungsregion im Jahr 1923 mit Höhenangaben.	53
Abbildung 19: Die Nordküste Balis um 1940.	55
Abbildung 20: Der Landnutzungswandel des Untersuchungsgebietes zwischen 1923 und 2004.	60
Abbildung 21: Ablösung und Transport von Bodenbestandteilen.	63
Abbildung 22: Relative Veränderung des Bodenabtrags durch Regen in Abhängigkeit von Bodenbedeckung und ihrer Entfernung zur Bodenoberfläche.	65
Abbildung 23: Feststoffmassenstrom, Ein- und Austrag dargestellt an einem konvex- konkaven Hangprofil.	72

Abbildung 24: Das K-Faktor-Nomagramm	79
Abbildung 25: Das Untersuchungsgebiet mit den Probenentnahmepunkten.	80
Abbildung 26: Aufschluss der Bodenprobe 1	86
Abbildung 27: kf-Messung am Aufschluss 1	81
Abbildung 28: Schematische Darstellung der kf-Apparatur im Gelände.	88
Abbildung 29: K-Wert Verteilung nach Hennings in NE Bali.	94
Abbildung 30: Der Topographiefaktor im Untersuchungsgebiet.	98
Abbildung 31: C-Faktoren bezogen auf die Landnutzungsklassen im Untersuchungsgebiet mit den Probepunkten der zu untersuchenden Flächen..	101
Abbildung 32: Karte des mittleren jährlichen Bodenabtrags in NE Bali.....	106
Abbildung 33: Archäologische Ausgrabung in Pacung	108
Abbildung 34: Stratigraphie der archäologischen Ausgrabung in Pacung.	108

II Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Übersicht über ultrahochauflösende Satellitensysteme.	17
Tabelle 2: Anwendungsmöglichkeiten der Kanäle des QuickBird-Sensors.	20
Tabelle 3: Eine Zusammenfassung der Spektralbereiche mit ihren potentiellen Anwendungsgebieten.	28
Tabelle 4: Die Ergebnisse der unüberwachten Klassifikation.	40
Tabelle 5: Das Artenspektrum der Einheit Gärten.	44
Tabelle 6: Das Artenspektrum der Einheit Plantage A.	46
Tabelle 7: Das Artenspektrum der Einheit Plantage B.	47
Tabelle 8: Das Artenspektrum der Einheit Wald.	50
Tabelle 9: Die Resultate der Landnutzungsklassifizierung für das Jahr 2004.	52
Tabelle 10: Die Resultate der Landnutzungsklassifizierung um 1923.	56
Tabelle 11: Prozentualer Vergleich der Landnutzungsanteile zwischen 1923 und 2004.	58
Tabelle 12: Ein Überblick über die am meist bekanntesten Erosionsmodelle.	69
Tabelle 13: Korngrößenklassen des Feinbodens nach den Einteilungssystem Europas, der USA und der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft (ISSS).	83
Tabelle 14: Ermittlung der humusabhängigen Anteile (KH).	84
Tabelle 15: Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (kf) in Abhängigkeit von Bodenart und trockener Rohdichte (pt).	86
Tabelle 16: Ergebnisse der Korngrößen- und Pipettanalyse.	89
Tabelle 17: Ergebnisse der organischen Substanz an den Probeentnahmestandorten.	90
Tabelle 18: Durchschnittliche kf-Werte.	91
Tabelle 19: Zusammenstellung der ermittelten K-Faktoren.	93
Tabelle 20: Ermittlung des Hanglängenexponenten.	95
Tabelle 21: Zusammenstellung der ermittelten.	97
Tabelle 22: Langjährig ermittelte C-Faktor-Werte für die ABAG.	99
Tabelle 23: Schätzung des mittleren jährlichen C-Faktorwertes der Plantage B.	101
Tabelle 24: P-Faktorenwerte für die ABAG bei verschiedenen Bodenschutzmaßnahmen.	102
Tabelle 25: Zusammenstellung der ermittelten P-Faktoren.	103
Tabelle 26: Berechnung der Bodenabtragswerte nach der ABAG in NE Bali.	104

III Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 1: Mittlere Jahressummen der sechs Niederschlagsstationen im Zeitraum 1983 bis 2000, mit Darstellung der Regressionsgeraden.	14
Diagramm 2: Die Resultate der Landnutzungsklassifizierung für das Jahr 2004.....	52
Diagramm 3: Die Resultate der Landnutzungsklassifizierung um 1923.	56
Diagramm 4: Prozentualer Vergleich der Landnutzungsanteile zwischen 1923 und 2004.	58
Diagramm 5: Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsklassen in kf-Stufen aus dem Untersuchungsgebiet.	91
Diagramm 6: Die ermittelten Werte des Nomogramms und der berechneten Werte für den LS-Faktor.	97
Diagramm 7: Die prozentualen Anteile der Gefährdungsklassen aus der punktuellen Untersuchung.....	105
Diagramm 8: Flächenstatistik potentieller Bodenabtrag im Untersuchungsgebiet...	107
Diagramm 9: Probe: PCN IV. R6/ II, rechter Oberschenkelknochen aus der Ausgrabung Pacung.....	109
Diagramm 10: Probe: PCN IV. R6/ III, linker Oberarmknochen aus der Ausgrabung Pacung	110

IV Verzeichnis der Abkürzungen

°	Grad	km	Kilometer
a	Jahre	km ²	Quadratkilometer
ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung	kf	gesättigte, hydraulische Leitfähigkeit
B.P.	before present (bevor heute)	m	Meter
bzw.	beziehungsweise	m ü. Msp.	Meter über dem Meerespiegel
C	Kohlenstoff	Mio.	Millionen
cm	Zentimeter	mm/a	Millimeter pro Jahr
d	Tage	NASA	National Aeronautics and Space Administration
d.h.	das heißt	NIR	Nahes Infrarot
DGM	Digitales Geländemodell	nm	Nanometer
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	pan	panchromatisch
ENVI	Environment for Visualizing Images	SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
et al.	Und anderen (lat.: et altera)	t	Tonnen
etc.	et cetera	TIN	Triangulated Irregular Networks
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	TIR	Thermales Infrarot
GCP	Ground Control Point	u.a.	unter anderem
GIS	Geographisches Informationssystem	u.ä.	und ähnlichen
GPS	Global Positioning System	USGS	United States Geological Survey
h	Stunde	vgl.	vergleich
ha	Hektar	WGS 84	World Geodetic System 1984
i.d.R.	in der Regel	µm	Mikrometer
IR	Infrarot		
K	Kelvin		