

Myint-Oo

**Untersuchungen zur Anwendung von Satelliten-
fernerkundung und terrestrischen Aufnahmen
zum forstlichen Monitoring und zur Planung
im tropischen Regenwald, am Beispiel
in Bago District in Myanmar**



Cuvillier Verlag Göttingen

**Untersuchungen zur Anwendung von Satellitenfernerkundung und
terrestrischen Aufnahmen zum forstlichen Monitoring und zur Planung im
tropischen Regenwald, am Beispiel in Bago District in Myanmar**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Myint-Oo
geboren in Hpa-an/ Myanmar

Göttingen im Juni 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Myint-Oo:

Untersuchungen zur Anwendung von Satellitenfernerkundung und terrestrischen Aufnahmen zum forstlichen Monitoring und zur Planung im tropischen Regenwald, am Beispiel in Bago District in Myanmar / vorgelegt von Myint-Oo. -

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2001
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2001
ISBN 3-89873-167-7

1. Berichterstatter: Prof. Dr. A. Akça
2. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Saborowski

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Juni 2001

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2001
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2001
Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 3-89873-167-7

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde unter der Leitung von Herrn Professor Dr. Alparslan Akça am Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen durchgeführt. Ihm danke ich herzlich für seine technische Hilfe und Ratschläge bei der Feldarbeit und für die vielfältigen Anregungen und die ständigen Unterstützungen bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr. Joachim Saborowski möchte ich mich für die wertvollen Gespräche sowie für die Hinweise zur Bearbeitung und Lösung statistischer Probleme bedanken.

Mein herzlicher Dank gilt auch Herrn Professor Klaus von Gadow für besonderes Verständnis und Unterstützung während meines Aufenthalts im Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde.

Dem DAAD möchte ich meinen Dank für die finanzielle Unterstützung aussprechen, durch die mein Studium in der Bundesrepublik Deutschland ermöglicht wurde. Ebenso möchte ich der Forstverwaltung (*Forest Department*) Myanmars und dem *Tropical Rain Forest Information Center, BSRSI/ Michigan State University, USA* für die Bereitstellung der Satellitendaten danken.

Ein herzlicher Dank gilt außerdem allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für die verständnisvolle Hilfe. Für die Hilfe bei der Durchführung der Feldarbeit bedanke ich mich bei den Kollegen der Bezirksforstverwaltung von Bago.

Nicht zuletzt danke ich meiner Frau für ihr Verständnis und ihre moralische Unterstützung während der mehrjährigen Trennung.

Privat widme ich diese Arbeit meinen Eltern, die meine wissenschaftlichen Tätigkeiten beständig verstehen und unterstützen.

Göttingen, im Juni 2001

Myint Oo

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einführung, Problemstellung und Zielsetzung	1
1.1 Überblick	1
1.2 Zielsetzung	3
2 Fernerkundungsdaten als Hilfsinformation	5
2.1 Fernerkundung für die forstliche Planung und das forstliche Monitoring in Myanmar	5
2.11 Datenerhebungssystem zur forstlichen Planung	5
2.12 Einsatz der Fernerkundung in der Forstwirtschaft	6
2.2 Bisherige Untersuchungen	7
2.21 Fernerkundung als Hilfe zur Stratifizierung von Waldgebieten	7
2.22 Untersuchungen der Beziehung zwischen Fernerkundungsdaten und terrestrisch ermittelten Bestandesparametern	8
2.23 Mehrphasiges Inventurkonzept	10
3 Das Untersuchungsgebiet	12
3.1 Geographische Lage	12
3.2 Das Klima	14
3.3 Geologie und Böden	14
3.4 Vegetation	15
4 Material und Methoden	17
4.1 Datenmaterial	17
4.11 Landsat TM Datensätze	17
4.12 Terrestrische Inventurdaten	18
4.2 Vorverarbeitung der Landsat-TM-Daten	20
4.21 Atmosphärenkorrektur und Normalisierung der multitemporalen Datensätze .	20
4.22 Geometrische Entzerrung	21
4.3 Auswahl der Kanalkombination für visuelle Interpretation	22

4.4 Digitale Klassifizierung der Landsat TM-Daten	22
4.41 Überwachte Klassifizierung mit „ <i>Maximum Likelihood</i> “-Methode	23
4.411 Klassifizierungsschema	23
4.412 Referenzflächenauswahl	24
4.413 Spektrale Signaturanalyse	24
4.414 Klassifizierungsphase	24
4.42 Hybride Klassifizierung	25
4.43 Hierarchische Klassifizierung mit Diskriminanzfunktionen	28
4.431 Aufbau einer Baumstruktur	28
4.432 Klassifizierungsphase	29
4.44 Verifizierung der Klassifizierungsergebnisse und Ermittlung der Genauigkeit	30
4.5 Zweiphasige Stichprobe mit Regressionsschätzer	31
4.51 Bestimmung der Hilfsvariablen in der ersten Phase	32
4.511 Spektrale Strahldichte (<i>Radiance</i>) von TM-Kanälen	33
4.512 Ratios und Vegetationsindizes	34
4.513 „ <i>Tasseled Cap</i> “-Transformation	36
4.514 Texturvariablen	36
4.52 Bestandesparameter und Zielvariablen der zweiten Phase	37
4.53 Regressionsanalyse	37
4.531 Verwendete Regressionsmodelle	38
4.532 Auswahlkriterien	39
4.533 Auswahlprozeduren	40
4.534 Transformation der Zielvariablen	41
4.54 Verknüpfung zweier Inventurphasen	41
4.6 Stratifizierung des Inventurgebietes	43
4.61 Stratifizierung mit Hilfe von Klassifizierungsergebnissen	43
4.62 Verfeinerte Stratifizierung mit Kombination von thematischen Klassen und quantitativen Variablen der TM-Szene	43

4.7 Kombination der zweiphasigen Stichprobe mit Regressionsschätzer und Stratifizierung	46
4.71 Schätzung durch Regressionsmodelle für einzelne Straten	47
4.72 Schätzung durch Regressionsmodell mit qualitativen Variablen (Indikatorvariablen)	47
4.8 Erfassung der Veränderung	47
4.81 Erfassung der Flächenänderung mit den multitemporalen TM-Datensätzen	47
4.82 Schätzung der Veränderung durch die Kombination von zwei terrestrischen Aufnahmen und Flächeninformation	49
4.83 Zusammenhang zwischen Volumenänderung und Variablen der TM-Szene ...	50
5 Ergebnisse	51
5.1 Terrestrische Aufnahme	51
5.11 Inventurdaten der ersten Aufnahme	51
5.12 Inventurdaten der zweiten Aufnahme	53
5.2 Optimale Bandkombination zur visuellen Interpretation	53
5.3. Klassifizierung der Landsat TM-Daten	54
5.31 Multispektrale Signaturenanalyse	54
5.32 Verifizierung der Klassifizierungsergebnisse und Schätzung der Genauigkeit ..	56
5.4 Regressionsanalyse	57
5.41 Zusammenhang zwischen Hilfs- und Zielvariablen	57
5.42 Lineare Regressionsmodelle zur Schätzung der Bestandesvariablen	60
5.43 Modellauswahl zur Schätzung des Gesamtvolumens	61
5.431 Beste Modelle nach R_a^2 - und C_p -Kriterien	61
5.432 Ausgewählte Modelle nach den verwendeten Auswahlmethoden	62
5.433 Auswahl der optimalen Modelle	63
5.44 Modellauswahl zur Schätzung der Gesamtstammzahl	65
5.45 Regressionsmodelle für die Volumen der kommerziell nutzbaren Baumarten- gruppen	67
5.46 Regressionsanalyse mit den Daten von 1999	70

5.5 Zweiphasige Stichprobe mit Regressionsschätzer	71
5.6 Stratifizierung des Inventurgebiets	71
5.61 Stratifizierung mit Hilfe von Klassifizierungsergebnisse	71
5.62 Verfeinerte Stratifizierung mit thematischen Klassen und quantitativen TM-Variablen	72
5.63 Kombination der Zweiphasigen Stichprobe mit Regressionschätzer und Stratifizierung	75
5.7 Erfassung der Veränderung	78
5.71 Erfassung der Flächenänderung mit den multitemporalen TM-Datensätzen	78
5.72 Schätzung der Veränderung durch die Kombination von zwei terrestrischen Aufnahmen	82
5.73 Zusammenhang zwischen Volumenänderung und TM-Variablen	83
6 Diskussion und Folgerungen	85
6.1 Terrestrische Aufnahme	85
6.2 Satellitendaten und digitale Klassifizierung	85
6.3 Thematische Kartierung und Stratifizierung	86
6.4 Verfahren der zweiphasigen Stichprobe	87
6.5 Auswahl des optimalen Stichprobenverfahren	91
6.6 Nutzung der TM-Daten für die Erfassung der Veränderung und für Folgeinventuren	92
6.7 Schlussfolgerungen	92
7 Zusammenfassung	94
8 Literaturverzeichnis	99

1 Einführung, Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Überblick

In einem tropischen Entwicklungsland wie Myanmar leisten die Wälder im allgemeinen als erneuerbare natürliche Ressourcen zur Entwicklung der Nation einen großen Beitrag. Mit einer Waldbedeckung von 52,1% (nach „*FAO Global Forest Resources Assessment 2000*“) steht der Wirtschaftssektor Forstwirtschaft in Myanmar neben der Landwirtschaft an zweiter Stelle. Eine nachhaltige Nutzung ist ohne eine effiziente Forstplanung und Bewirtschaftung nicht möglich. Die Ermittlung vorhandener Ressourcen ist der erste Schritt eines Planungsprozesses, bei dem die Erfassung der vielfältigen aktuellen Informationen mit ausreichender Genauigkeit auf den Planungszweck ausgerichtet ist. Für eine effiziente Planung sind sowohl die Kenntnisse über den Zustand als auch über die Dynamik der Wälder grundlegende Voraussetzungen.

Nach den Prinzipien des in der Forstwirtschaft Myanmars praktizierten selektiven Nutzungssystems, das „*Burma (Myanmar) Selection System*“ genannt wird, werden die forstlichen Betriebspläne (*Working Plans*) für jeden Bezirk von der Forstverwaltung (*Forest Department*) erstellt und regelmäßig revidiert. Zunächst konzentrierte sich die Bewirtschaftung hauptsächlich auf „*Teak*“, welches das wertvollste Nutzholz in Myanmar ist. Durch eine Vollaufnahme der Bäume, bei der nur bestimmte Stärkeklassen in bestimmten Waldflächen inventarisiert wurden, erfolgte die Datenerhebung für die Planung. Die Erfassung der Zustandsveränderung wurde in die vergangene Waldinventurprozedur nicht mit einbezogen (vgl. Kap. 2.11).

1996 begann die Reformierung der „*Management Plans*“, in der wegen geänderter Prinzipien der Forstpolitik neue Aufgaben gestellt und infolgedessen komplexere und genauere Informationen über existierende Ressourcen erforderlich wurden. Der Mangel des vorher verwendeten Datenerhebungssystems wurde deutlich, so daß eine geeignetere Waldinventurmethodik gefunden werden mußte, um Rückschlüsse auf die Genauigkeit der Schätzung und den Kostenaufwand ziehen zu können.

Gegenüber der traditionellen Datenerhebungsmethoden wurde in den sechziger und siebziger Jahren die Eignung einiger auf Stichproben basierter, terrestrischer Waldinventurmethode in

bestimmten Gebieten untersucht (TIN et al., 1975). Die Anwendung der stichprobengestützten Waldinventurmethode konnten in der Praxis bis Anfang der achtziger Jahre nicht realisiert werden. Erst danach konnten systematische Stichproben bei Waldinventuren auf regionaler und nationaler Ebene (*National Forest survey and Inventory*) verwendet werden (CUNIA und TINT, 1983). Für Planungszwecke auf Bezirks- und Betriebsebene, in denen eine genauere Schätzung der Parameter gefordert wurde, wurde die Stichprobendichte erhöht, um eine ausreichende Genauigkeit der Schätzung zu erreichen. Andererseits führt der vergrößerte Stichprobenumfang bei tropischen Waldinventuren wegen ungünstiger Walderschließung und Arbeitsbedingungen zu hohem Zeit- und Kostenaufwand. Neben der Durchführung terrestrischer Inventurarbeiten in einem zeitlich begrenzten Aufnahmezeitraum kommt der Mangel an Personal und technischer Infrastruktur hinzu. Die Rationalisierung von terrestrischen Inventuren insbesondere auf Betriebsebene ist damit unerlässlich geworden.

Die kombinierte Anwendung von Fernerkundungsdaten ermöglicht eine Effektivitätssteigerung von stichprobenbasierten Waldinventuren. Mit der Einführung der Fernerkundungsmethoden in die Forstwirtschaft Myanmars ist das Interesse, synoptische und thematische Flächeninformationen von Waldgebieten zu gewinnen, gestiegen (vgl. Kap. 2.12). Daher stand für die zur Kartierung bereits ausgewählten Gebiete Fernerkundungsmaterial unabhängig von der terrestrischen Waldinventur flächendeckend zur Verfügung. Wenngleich die Fernerkundung, sowohl Luftbilder als auch Satellitenaufzeichnungen, zur forstlichen Kartierung zwei Jahrzehntlang weit verbreitet herangezogen wurde, war ihr Einsatz in Verbindung mit terrestrischen Inventuren sehr selten. Die von LYNN et al. (1982) vorgeschlagene Nachstratifizierung mit Hilfe von Luftbildinterpretation zur Verbesserung der Effizienz der systematischen terrestrischen Stichprobe konnte bei der Durchführung von Inventuren wegen unterschiedlicher, praktischer Restriktionen bisher nicht realisiert werden. Ebenfalls wurden auf die zu Beginn des Inventurprojektes berücksichtigten alternativen Stichprobenverfahren außer der systematischen Stichprobe aus technischen Gründen verzichtet. Das einzige Beispiel für die Anwendung von Fernerkundung zur Gewinnung von Hilfsinformationen innerhalb der letzten zwanzig Jahre, waren die Prästratifizierungsarbeiten anhand der Luftbilder bei der Waldinventur in der westlichen Gebirgsregion (SUTTER, 1988).

Neben der Zustandserfassung sind die Kenntnisse über die Veränderungen unentbehrliche Voraussetzungen für effektiven Schutz, Kontrolle und Bewirtschaftung der tropischen Wälder. Ein Monitoringsystem, bei dem die Veränderung der Waldflächen und deren

räumliche Verteilung identifiziert, quantifiziert und kartiert werden können, beinhaltet Stichprobenverfahren, Fernerkundungsverfahren und Geo-Informationssysteme als Elemente (AKÇA et al., 1996). Obwohl ein Stichprobensystem mit permanenten Probestellen für Folgeinventuren (*Continuous Forest Inventory* - CFI) bei der Planung des nationalen Inventurprojektes einbezogen wurde, wurde ein Monitoringsystem auf sowohl regionaler als auch betrieblicher Ebene nicht vorgesehen. Wegen der zunehmend rapiden Degradierung und Vernichtung der Waldressourcen, ist ein effektives und kostengünstiges Monitoringsystem zur Erfassung, Analyse und Kontrolle der Veränderungen dringend erforderlich geworden.

Die vorliegende Arbeit hat daher den Schwerpunkt in der Entwicklung einer effizienten Fernerkundungsmethode zur Erfassung der Veränderung, Analyse und Kontrolle des Waldzustandes.

1.2 Zielsetzung

Mit dem oben erwähnten Hauptziel stellt die Arbeit eine Fallstudie in einem repräsentativen Untersuchungsgebiet dar, deren Ergebnisse und dabei gewonnenen methodischen Kenntnisse als Grundlage für zukünftige Inventuren anwendbar und auf andere Waldgebiete übertragbar sein sollen. Anhand terrestrischer Inventurdaten an zwei unterschiedlichen Zeitpunkten und multitemporaler Landsat-TM-Datensätze, die zeitlich nahe denen der terrestrischen Aufnahmen liegen, soll die Effizienz einer kombinierten Methode zur Datenerfassung und Kartierung untersucht werden.

In der ersten Auswertungsphase soll die Möglichkeit einer Nachstratifizierung mit Hilfe von digitaler Klassifizierung der Landsat-TM-Daten überprüft werden. Aus einer Reihe von Klassifizierungsalgorithmen sind zwei auf Standardmethoden basierende Alternativen zur Verbesserung der Klassifizierungsgenauigkeit zu untersuchen. Anschließend sollen zwei fernerkundungsgestützte zweiphasige Stichprobenverfahren zur Effektivitätssteigerung vergleichend überprüft werden. In einem weiteren Schritt soll die Flächenveränderung mit Hilfe von zwei Landsat-TM-Datensätzen quantifiziert und ihre Beziehung zu terrestrisch erfaßten Veränderungen der waldmeßkundlichen Parameter untersucht werden. Weiterhin ist zu analysieren, ob die Erfassung von Vorratsänderungen anhand zwei terrestrischer Aufnahmen durch die Einbeziehung der Flächeninformationen aus TM-Datensätzen verbessert werden kann.