

Großräumige Analyse von Verbuschungsflächen mit NOAA-AVHRR- und Landsat TM-Daten im Etosha Nationalpark (Namibia)

Mathias BESSER, Johan LE ROUX, Cyrus SAMIMI und Hendrik WAGENSEIL

Zusammenfassung

Der NDVI-Verlauf einer multitemporalen NOAA-AVHRR-Datenreihe wird mittels harmonischer Analyse modelliert und die Parameter Amplitude und Phase der ersten drei Schwingungen zur Klassifikation des Datensatzes verwendet. Damit lassen sich entsprechend der charakteristischen Phänologie der Vegetationseinheiten Flächen mit ähnlicher Entwicklung abgrenzen. Eine Landsat-TM Klassifikation, die mit entsprechenden Geländeaufnahmen überprüft wird, dient zur Identifikation dieser Flächen.

1 Einleitung

Seit 1978 erfassen NOAA-Satelliten die Erdoberfläche und liefern damit eine der umfangreichsten multitemporalen Datenreihen. Trotz der geringen räumlichen Auflösung eignen sich diese Daten durch die großräumige Abdeckung, die hohe zeitliche Auflösung und die kostenlose Datenverfügbarkeit hervorragend zum Monitoring von Umweltparametern. Dies bestätigen erfolgreiche Arbeiten mit NOAA-AVHRR-Daten auch in afrikanischen Trockengebieten (JUSTICE et al. 1986, EIDEN 2000). Vielfach werden dabei spektral und räumlich höher aufgelöste Daten eingesetzt, um weitere Parameter für die Analyse der NOAA-Zeitreihen zu gewinnen und die daraus erhaltenen Ergebnisse zu überprüfen (z.B. VOGT 1992, MASELLI et al. 1998). Die Kombination von hochauflösenden mit multitemporalen Daten ermöglicht vor allem unter dem Kostenaspekt betrachtet bessere und aktuellere Klassifizierungsergebnisse als andere Methoden.

2 Fragestellung und Zielsetzung

In den semiariden Savannenökosystemen des südlichen Afrika weisen Nationalparks und insbesondere Weideflächen Landdegradierungserscheinungen in Form von Verbuschung auf, die vielfach auf Überweidung zurückgeführt werden kann. Einhergehend mit der Zunahme bestimmter Gehölzpflanzen ist ein Rückgang des Weidenutzungspotentials mit entsprechenden Produktionsausfällen in der Farmwirtschaft (KEMPF 1996).

Im Rahmen des vorliegenden Projekts soll ein methodischer Beitrag zur großräumigen Erfassung der Verbuschung geleistet werden. Dazu wird untersucht, ob sich in multitemporalen NOAA-AVHRR-Daten über eine Modellierung des zeitlichen NDVI-Verlaufs Unterschiede in der Vegetationsdichte und -zusammensetzung feststellen lassen. Als Referenz und zur Kontrolle der Ergebnisse dient eine Landsat TM-Klassifikation.

Exemplarisch wird diese methodische Untersuchung in Zusammenarbeit mit dem Etosha Ecological Institute (EEI), das über eine eigene NOAA-Empfangsstation verfügt, im Etosha Nationalpark in Namibia durchgeführt.

3 Methodik

3.1 Datengrundlage und -aufbereitung

Im EEI werden die Aufnahmen der NOAA-Satelliten täglich im High Resolution Picture Transmission - Format (HRPT) mit einer räumlichen Auflösung von 1,1 x 1,1 km² empfangen. In einem Vorverarbeitungsprozess werden die übermittelten Daten kalibriert, georeferenziert zu dekadischen Maximum Value Composites (MVC) des NDVI verrechnet. Dadurch wird der Anteil bewölkter Pixel reduziert (HOLBEN 1986). Derartige Composites stehen für den Zeitraum von April 1993 bis April 2001 zur Verfügung.

Da die vorliegende Datenreihe trotz Vorverarbeitung Wolkenlücken und Datenübertragungsfehler enthielt, wurden in einem weiteren Schritt der Datenaufbereitung unbrauchbare Pixel interpoliert und damit der zeitliche Verlauf des NDVI geglättet.

Zudem steht eine Landsat TM-Szene (179/073) von 1997 zur Verfügung, die annähernd wolkenfrei ist. Für die Klassifikation wurden an insgesamt 120 mit GPS vermessenen Geländepunkten die Deckungswerte der Vegetation aufgenommen und mittels eines Zuordnungsschlüssels in Vegetationsklassen eingeteilt. Aus den punktuellen Geländebeobachtungen wurden mittels visueller Bildinterpretation insgesamt 101 Flächen ähnlicher Deckungsgrade ermittelt, wobei besonders auf deren Homogenität und den Ausschluss von Randeinflüssen der Straßen geachtet wurde.

3.2 Modellierung multitemporaler NOAA-NDVI-Daten mittels harmonischer Analyse

Die Grundüberlegung bei der Modellierung der Zeitreihe besteht darin, dass sich der NDVI der einzelnen Vegetationsstrukturen (Grasland, Buschland, Wald, etc.) unter dem Einfluss von Regen- und Trockenzeiten innerhalb eines Jahres entsprechend der Phänologie charakteristisch entwickelt. Damit kann der zeitliche Verlauf als Abgrenzungskriterium dienen. Beispielsweise wird der Vegetationsindex eines reinen Graslandes sehr viel schneller auf das Einsetzen der Regenzeit reagieren als der eines Buschlandes. Dafür weist Buschland selbst dann noch einen hohen Vegetationsindex auf, wenn Grasland schon vertrocknet ist und somit sein Vegetationsindex gering ist.

Der NDVI einer bestimmten Fläche kann im zeitlichen Verlauf als eine kontinuierliche und im Intervall $[0, L]$ periodische Funktion $f(x)$ angenommen werden. Eine derartige Funktion kann mathematisch durch die Superposition harmonischer Schwingungen gemäß folgender Gleichung beschrieben werden:

$$f(x) = \overline{f(x)} + \sum_{n=1}^{L/2} \left(a_n \cos \frac{2\pi nx}{L} + b_n \sin \frac{2\pi nx}{L} \right) \quad (1)$$

Die rechte Seite bildet die Fourierreihe von $f(x)$ mit den Fourierkoeffizienten a_n und b_n , welche definiert sind als:

$$a_n = \frac{2}{L} \sum_1^L f(x) \cos \frac{2\pi nx}{L} \quad \text{für } n > 0 \quad (2)$$

$$b_n = \frac{2}{L} \sum_1^L f(x) \sin \frac{2\pi nx}{L} \quad \text{für } n > 0 \quad (3)$$

Dieser Ansatz wird als harmonische Analyse bezeichnet (SCHÖNWIESE 2000) und wurde bereits erfolgreich für Vegetationsstudien verwendet (z.B. EIDEN 2000, JAKUBAUSKAS et al. 2001).

Der Vorteil der Modellierung besteht darin, dass nicht mehr die absoluten NDVI-Werte, die neben der Vegetationsinformation auch unerwünschtes „Rauschen“ enthalten, für die Analyse verwendet werden, sondern der zeitliche Verlauf interpretiert wird.

Zur Parametrisierung wurden die realen NDVI-Werte des vorliegenden Datensatzes für jedes Jahr beginnend mit Juli bis zum Juni des Folgejahres gemäß (2) und (3) mathematisch in harmonische Anteile aufgeschlüsselt, um damit die Beiträge einzelner Vegetationstypen zum NDVI-Verlauf eines Bestandes zu erfassen. Dazu wurden aus den Fourierkoeffizienten die Amplitude und Phase jeder einzelnen harmonischen Schwingung sowie der jeweils erklärte Varianzanteil errechnet. Im mehrjährigen Vergleich scheinen die ersten drei harmonischen Schwingungen den realen NDVI-Verlauf ausreichend genau zu beschreiben. Die Parameter der ersten drei Schwingungen dienten als Eingangsvariablen zur unüberwachten Klassifizierung der NOAA-AVHRR-NDVI Daten, um jahresweise Flächen mit ähnlichem zeitlichem Verlauf auszuweisen.

3.3 Klassifikation der Landsat TM-Daten

Die Auswahl der Aufnahmepunkte entlang der Straßen erfolgte nach einem Zufallsverfahren. Daher ist nicht gewährleistet, dass ausreichende Informationen für eine überwachte Klassifikation zur Verfügung stehen. Erfolgversprechender sind Ansätze zur unüberwachten Klassifikation, deren Ergebnisse mit den Geländedaten abgeglichen werden. Da das Ziel der Klassifizierung nicht eine in allen Bereichen möglichst exakte Vegetationskarte ist, sondern insbesondere für die Untersuchung von Verbuschungsprozessen interessante Flächen genauer klassifiziert werden sollen, wurde ein hierarchischer Klassifikationsansatz (Baum) gewählt. Bei derartigen Verfahren werden ausgehend von der gesamten Szene über ein Entscheidungskriterium oder einen Klassifikationsalgorithmus zwei Klassen ausgewiesen und in einem weiteren Schritt jeweils wieder in zwei Klassen aufgeteilt (FRIEDL & BRODLEY 1997). Für die Untersuchung wichtige Äste werden weiter verfolgt, andere aufgegeben.

Im vorliegenden Fall wurden für die Aufteilung der Klassen ISODATA-Klassifikationen mit den Kanälen 1 bis 5 und 7 sowie zwei Indizes für die Grasbedeckung (4/3) und die grüne Blattmasse (5/7) verwendet (KRAUS & SAMIMI 2002). Ein Ast wurde gestoppt, wenn in einer Klasse keine Testflächen zur Verifizierung mehr zur Verfügung standen oder wenn der fünfte Klassifikationsschritt erreicht wurde. Die resultierenden 16 Klassen wurden zu einem Datensatz verrechnet und mit Hilfe einer Zuordnungsmatrix auf Basis der Geländedaten zu 7 Klassen zusammengefasst.

Die bisher erreichte Genauigkeit ist allerdings noch ungenügend und muss im weiteren Verlauf der Bearbeitung verbessert werden.

4 Ergebnisse

4.1 Multitemporale Klassifikation für das Jahr 1997 mit NOAA-AVHRR-Daten

Das Resultat einer multitemporalen Klassifikation für den Zeitraum Juni 1996 bis Juli 1997 zeigt Abbildung 1. Als Eingangsparameter dienten der Mittelwert sowie Amplitude und Phase der ersten drei harmonischen Schwingungen, welche zusammen im untersuchten Jahr im Mittel 71,9 % der Varianz der Originaldaten erklären.

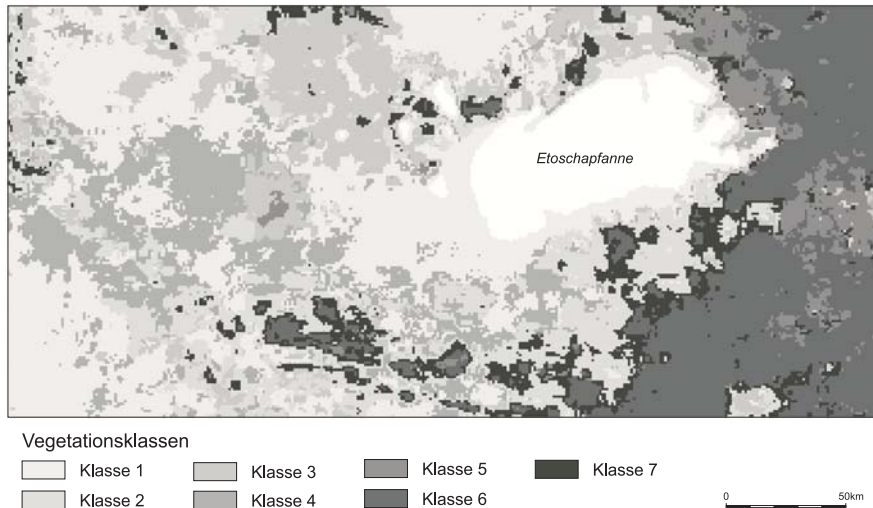


Abb. 1: Multitemporale Klassifikation des Etoscha Nationalparks

Ein visueller Vergleich der modellierten NDVI-Schwingungsverläufe für die 16 errechneten Klassen zeigte ein undifferenziertes Bild. Daraufhin wurden Klassen mit ähnlichen Kurvenprofilen zusammengefasst und die Klassenzahl auf 7 reduziert. In Abbildung 2 sind die entsprechenden Schwingungen sowie die mittleren monatlichen Niederschläge der Regenzeit 1996/97 graphisch dargestellt.

Alle Klassen zeigen einen bimodalen Jahresverlauf mit ausgeprägter saisonaler Komponente des NDVI. Dabei spiegeln sich im zeitlichen Auftreten und der Lage verschiedener Maxima charakteristische Oberflächeneigenschaften wider.

Mit Ausnahme von Klasse 5 zeigen die Profile zumindest ein sekundäres Maximum während der Regenzeit, resultierend aus der Zunahme der grünen Blattmasse von Vegetationseinheiten, die kurzfristig auf das erhöhte Wasserangebot reagieren können. Gerade bei den Klassen 5 und 6 ist das primäre Maximum bei insgesamt höheren Werten weit in die Trockenzeit verschoben. Dies spricht für eine stark verzögerte, aber intensive Vergrünungsphase bei insgesamt höherer Biomasse. Im prinzipiellen Verlauf ähnlich, aber mit abweichendem Eintritt der Vergrünung, verhalten sich die Kurven der Klassen 1 bis 4 und 7.

Die Bimodalität des NDVI bei eingipfliger Regenzeit deutet an, dass viele Klassen nicht nur eine Vegetationseinheit enthalten, sondern Mischbestände vorliegen. Ohne endgültige Aussagen treffen zu wollen, kann vermutet werden, dass Klasse 1 bei primärem Maximum während der Regenzeit Bereiche mit erhöhtem Grasanteil repräsentiert, Klasse 6 dagegen einen hohen Prozentsatz an Gehölzpflanzen enthält, der sich in insgesamt höheren Biomassewerten respektive NDVIs und einer stark verzögerten Reaktion auf Niederschläge ausdrückt.

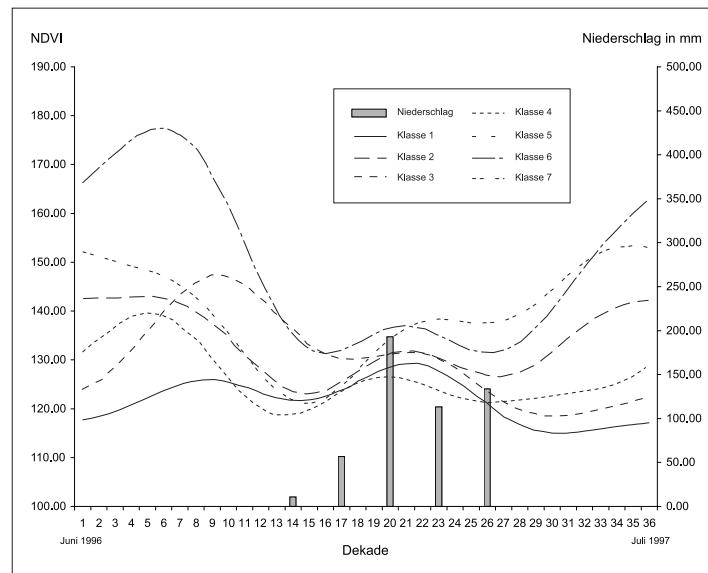


Abb. 2: NDVI-Profile der 7 ermittelten Klassen und Niederschläge für die Saison 1996/97

4.2 Klassifikationsvergleich

Für einen quantitativen Vergleich wurden die Pixel der NOAA-Klassifikation auf eine Größe von 30 x 30 m² umgerechnet und beide Raster über eine Anpassung der Georeferenzierung zur Deckung gebracht. Die Verrechnung beider Raster ergab eine 7x7 Zuordnungsmatrix, in welcher jeder NOAA-Klasse die Anzahl der entsprechenden TM-Pixel zugewiesen wurden.

Die Auswertung der Matrix zeigte, dass zwei TM-Klassen jeweils zwischen 80 % und 90 % aller NOAA-Klassen erklären. Daraufhin wurden weitere Matrices auf Grundlage von unüberwachten Fuzzy-C-Means- und ISODATA-Klassifikationen der TM-Daten erstellt. Dabei konnten nur geringfügig bessere Ergebnisse erzielt werden.

Die schlechte Übereinstimmung kann zum einen durch die grundsätzlich verschiedenen Klassifikationsverfahren - Momentaufnahme im Fall der TM-Daten gegenüber einer Zeitreihenanalyse bei den NOAA-Daten - begründet werden. Zum anderen erlauben die noch ungenauen TM-Klassifikationen keine eindeutigen Aussagen über die einzelnen Klassen der NOAA-Zeitreihe.

5 Ausblick

Für eine genauere Identifikation der NOAA-Klassen wird die TM-Klassifikation überarbeitet und verbessert. Hierfür werden zum einen die Klassen der Testgebiete aus den aufgenommenen Deckungswerten neu festgelegt und die Klassifikationsparameter verändert. Zum anderen bietet das hierarchische Verfahren die Möglichkeit, verschiedene Algorithmen anzuwenden. Im Fall einer verbesserten Übereinstimmung können den einzelnen NOAA-Klassen charakteristische Vegetationsparameter zugeordnet werden. Die Klassifikation aller NOAA-Daten kann in einem multitemporalen Vergleich dazu verwendet werden, Änderungen in der Vegetationsbedeckung flächenmäßig quantitativ zu erfassen.

Literaturverzeichnis

- EIDEN, G. (2000): *Charakterisierung der raum - zeitlichen Vegetationsdynamik von dürre- und desertifikationsgefährdeten, ariden und semi-ariden Regionen*. Materialien zur Ostafrika – Forschung, H. 22, Trier, 223 S.
- FRIEDL, M.A. & C.E. BRODLEY (1997): *Decision Tree Classification of Land Cover from Remotely Sensed Data*. Remote Sensing of Environment, Vol. 61, pp. 399-409.
- HOLBEN, B.N. (1986): *Characteristics of Maximum Value Composite Images from Temporal AVHRR Data*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, No. 11, pp. 1417-1434.
- JAKUBAUSKAS, M.E., LEGATES, D.R. & J.H. KASTENS (2001): *Harmonic Analysis of Time-Series AVHRR NDVI Data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 67, No. 4, pp. 461-470.
- JUSTICE, C.O., HOLBEN, B.N. & M.D. GWYNNE (1986): *Monitoring East African vegetation using AVHRR data*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, No. 11, pp. 1453-1474.
- KEMPF, J. (1996): *Land-Degradation in Namibia nördlich des Wendekreise: Eine Problem-skizze*. Die Erde, Bd. 127, H. 4, S. 265-278.
- KRAUS, T. & C. Samimi (2002): *Biomass Estimations for Land Use Management and Fire Management Using Landsat-TM and -ETM+*. Erdkunde (in press).
- MASELLI, F., GILABERT, M.A. & C. CONESE (1998): *Integration of High and Low Resolution NDVI Data for Monitoring Vegetation in Mediterranean Environments*. Remote Sensing of Environments, Vol. 63, pp. 208-218.
- SCHÖNWIESE, C.D. (2000): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. 3. Auflage, Berlin, 298 S.