

Fernerkundung und Geodatenverarbeitung zum Monitoring von Desertifikation und Degradation im mediterranen Raum

ACHIM RÖDER, JOACHIM HILL, Trier & PATRICK HOSTERT, Berlin

Keywords: remote sensing, geomatics, monitoring, land degradation, desertification

Zusammenfassung: Die Abteilung Fernerkundung an der Universität Trier beschäftigt sich seit Jahren mit der Entwicklung und Anwendung fernerkundlicher Methoden zur Erfassung und zum Monitoring von Degradationsprozessen in semi-ariden bis sub-humiden Regionen, insbesondere dem europäischen Mittelmeerraum. Der folgende Beitrag bietet einen Überblick über die methodischen Entwicklungen der letzten Jahre, die im Rahmen mehrerer, von der Europäischen Union geförderter Forschungsprojekte vorangetrieben wurden. Während erste Arbeiten von der Suche nach geeigneten, raumdifferenzierenden Indikatoren und Möglichkeiten ihrer fernerkundlichen Ableitung geprägt waren, stand anschließend die Fortentwicklung von Methoden und ihre operationelle Anwendung zur Erfassung der zeitlichen Dynamik im Mittelpunkt. Zunehmende Bedeutung erlangt dabei die Integration fernerkundlich gewonnener Informationen mit Prozessorientierten Ansätzen anderer Disziplinen, um ausgehend von einer beschreibenden räumlichen Darstellung Möglichkeiten zur Minderung von Degradationsprozessen oder deren Vermeidung aufzuzeigen.

Summary: *Remote Sensing and Geomatics for Desertification and Degradation Monitoring in the Mediterranean Basin.* One of the major fields of research at the Remote Sensing Department at the University of Trier is the development and application of methodologies to assess and monitor desertification and land degradation processes, especially in the European Mediterranean. This contribution provides a brief overview of the achievements attained in the context of several, EU-funded research projects. While initial efforts were confined to the evaluation of potential spatial indicators of degradation and how these could be inferred from spatial data sources, current approaches focus on methodological improvements, their multi-temporal application, and the development of remote sensing based environmental process models. In this context, an increasing integration with different disciplines is of utmost importance to proceed from purely descriptive approaches towards the definition of alternative management strategies to support the prevention or mitigation of land degradation.

1 Einleitung

Nach jahrelanger Diskussion definierte die 1994 ratifizierte United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) in ihrem Artikel 1 Desertifikation als „die Landverödung in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Gebieten infolge verschiedener Faktoren einschließlich Klimaschwankungen und menschlicher Tätigkeiten“, und stellt in ihrem Annex IV explizit die „besonderen Bedingungen der Regionen Nördliches Mittelmeer“ heraus, als

deren Kernpunkte die negativen Einflüsse nicht nachhaltiger Wassernutzung, unkontrollierter Waldbrände und inadäquater Landnutzungsformen genannt werden (UNCCD 1994). Damit betonte sie erstmals die gleichberechtigte Betrachtung natürlicher Einflussgrößen und sozio-ökonomischer Randbedingungen. In den europäischen Mittelmeerländern wurden daraufhin sogenannte „Nationale Aktionspläne“ (NAP) zur Bekämpfung der Desertifikation erstellt und für die Koordination nationaler und internationaler Bemühungen entspre-

chende Kontaktstellen („Focal Points“) etabliert.

Auf europäischer Ebene wurden die Bekämpfung von Desertifikation und Degradation in den Mitgliedsländern der EU und die Forderung nach einer nachhaltigen Entwicklung ländlicher Gebiete zentrale Bestandteile der folgenden Forschungs-Rahmenprogramme. Dabei trat neben den Begriff der Desertifikation immer stärker der politisch weniger stark besetzte Terminus der Degradation. (JOHNSON & LEWIS 1995, THOMAS & MIDDLETON 1994).

Von besonderer Bedeutung ist im Bereich der Degradationsforschung die Betrachtung des jeweiligen regionalen Kontextes. Generell ist die Degradation von Ressourcen jedoch immer das Resultat eines komplexen Zusammenspiels physisch-geographischer und sozio-ökonomischer Faktorenkomplexe (Abb. 1). Sie tritt insbesondere dann auf, wenn beide Komplexe mit negativem Vorzeichen interagieren.

Der europäisch-mediterrane Raum stellt einen äußerst heterogenen Naturraum dar, in dem sich infolge jahrtausendelanger Nutzung ein dementsprechendes Mosaik unterschiedlichster Nutzungsstrukturen bzw. -intensitäten ausbildete. Eine Reihe von Arbeiten beschäftigt sich mit daraus folgenden Implikationen (z. B. PEREZ-TREJO 1994, NOY-MEIR 1997). Generell führt diese europäische Besonderheit jedoch dazu, dass Konzepte aus anderen Regionen der Erde oftmals nicht direkt übertragbar sind. An-

dererseits kann gerade für die europäischen Mittelmeerländer festgestellt werden, dass Schutz natürlicher Ressourcen und Entwicklung sich keinesfalls ausschließen, sondern vielmehr gegenseitig bedingen.

2 Erste Ansätze zur fernerkundlichen Erfassung und Beschreibung degradationsbezogener Indikatoren und Prozesse

Seit den frühen 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts reagierte die Europäische Union auf das Thema Desertifikation im Rahmen mehrerer großangelegter Forschungsprogramme. Neben einem verbesserten Prozessverständnis wurde als wichtiges Ziel die Beschaffung entsprechender Daten und Informationen definiert, und in das 4. Rahmenprogramm für Forschung und Entwicklung integriert. Damit erschien ein substantieller Beitrag der Fernerkundung notwendig, denn nur satellitengestützte Verfahren erlauben die regelmäßige und flächenhafte Erfassung großer Gebiete. Innerhalb des Teilprogrammes für Umwelt und Klima wurde deshalb von der Kommission das Projekt „*De Mon-Integrated Approaches to Desertification Mapping and Monitoring in the Mediterranean Basin*“ (1992–1995) ins Leben gerufen. Neben methodischen Entwicklungen mit dem Ziel, den quantitativen Vergleich optischer Fernerkundungsdaten zu ermöglichen, galt das Hauptaugenmerk der Definition räumlicher Indikatoren für Degradation und ihrer Ableitung. Von Seiten der Fernerkundung erschienen dabei vor allen Dingen boden- und vegetationsbezogene Informationen als geeignet, um den Degradationsstatus von Oberflächen zu charakterisieren (GRAETZ 1996, HILL et al. 1995, IMESON 1996, PICKUP & CHEWINGS 1994). Dabei wurde aber auch deutlich, dass insbesondere im Bereich der Bodenerosion einige geeignete Indikatoren maßstabsbedingt nicht mit Fernerkundungsdaten erhoben werden können und deshalb alternative, oftmals indirekte Indikatoren herangezogen werden müssen.

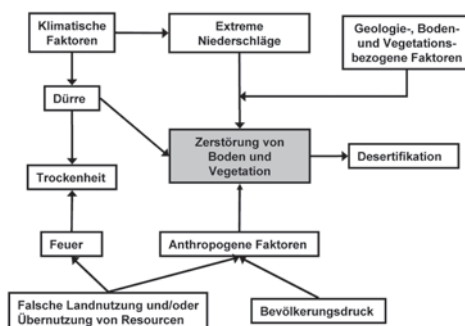


Abb. 1: Interaktion von Degradations-relevanten Prozessen (verändert nach PEREZ-TREJO 1994).

Eines der wichtigsten Ziele von DeMon war daneben der Aufbau einer Prozessierungskette für optisch-reflektive Fernerkundungsdaten, um nach einer geometrischen und bildbasierten, radiometrischen Korrektur schließlich multi-temporal vergleichbare Reflexionswerte als physikalisch definierte Messwerte zu erhalten. Zur Beschreibung des aktuellen Stands der Methodik siehe auch den Beitrag von HILL & MEHL in diesem Heft. Eine erste Validierung erfolgte im Rahmen von DeMon für Arbeitsgebiete in der Ardèche (Frankreich) und Xilokastron (Griechenland) bezogen auf eine Reihe von Landsat-TM Aufnahmen sowie hyperspektrale Befliegungsdaten des Sensors AVIRIS (Advanced Visible and Infrared Imaging Spectrometer) (HILL et al. 1995).

Nach der radiometrischen Prozessierung ist in einem nächsten Schritt die Ableitung sekundärer Information bzw. Indikatoren erforderlich. Dazu stand eine Reihe erprobter Verfahren zur Verfügung, wie beispielsweise die Bildklassifizierung oder empirische Ansätze, wie die Verwendung von Vegetationsindizes. Während die Klassifizierung in heterogen strukturierten Gebieten aufgrund von Mischpixeln und mangelnder spektraler Trennbarkeit von Klassen problembehaftet ist, unterliegen Vegetationsindizes vor allem in Gebieten mit geringer Vegetationsdichte vielfältigen Fehlerquellen (HILL et al. 1995). Eine Alternative dazu bietet beispielsweise das semi-empirische Verfahren der Spektralen Mischungsanalyse (Spectral Mixture Analysis, SMA) zur Ableitung quantitativer, oberflächenbezogener Information. Der Ansatz beruht auf der Annahme, dass die spektrale Varianz einer gegebenen Oberfläche als Kombination verschiedener, reiner Oberflächentypen interpretiert werden kann (SMITH et al. 1990). Das in einem Pixel einer Satellitenaufnahme aufgezeichnete Signal setzt sich demnach aus einer Mischung des Reflexionssignals verschiedener Referenz-Oberflächen zusammen, so genannter „Endmember“. Sind diese Oberflächen, beispielsweise in Form einer Spektraldatenbank (PREISLER et al. 1998) bekannt, so kann durch Invertierung der entsprechenden Matrix der jeweilige Flächenanteil am Pixel bestimmt werden.

Während der Einsatz von SMA zur Schätzung von Vegetations-Anteilen bereits erfolgreich angewendet wurde, wurde in DeMon das Verfahren erstmals zur Charakterisierung des Bodenzustands in Wert gesetzt (HILL et al. 1995). Mittels Spektraler Mischungsanalyse konnten dabei unter Verwendung des Konzeptes progressiver und regressiver Bodenbildung von BIRKELAND (1990) Bodenzustandsstufen in den Untersuchungsgebieten erfasst werden, und die Anwendung des Ansatzes auf AVIRIS-Hyperspektraldaten sowie optische EOS-Daten ergab ein räumlich klar differenzierendes Bild (HILL et al. 1996b).

Darüber hinaus wurde in einem weiteren Schritt untersucht, wie mithilfe der Entmischung (SMA) der Anteil grüner Vegetation optimiert abgeleitet werden kann. Basierend auf Versuchen mit synthetischen Spektren konnte gezeigt werden, dass mittels der Beurteilung der Entmischungsresiduen die Auswahl eines korrekten „Hintergrund“-Spektrums möglich ist, was zumindest beim Einsatz von Hyperspektraldaten wie AVIRIS zu einer verbesserten Vegetationsschätzung führt (HILL et al. 1996b).

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Methodik wurden die vorgestellten Ansätze auf zwei Landsat-TM Szenen für das Arbeitsgebiet in Xilokastron angewandt. Dabei zeigte sich, dass trotz geologischer und pedologischer Unterschiede beider Gebiete eine Differenzierung in Bodenzustandsgruppen möglich ist. Eine synoptische Analyse entmischungsbasierter Information zu Böden und Vegetation ermöglichte darüber hinaus die großräumige Identifizierung der Dynamik von Oberflächenveränderungen, was einen ersten Schritt hin zu einem Degradations- bzw. Gefährdungsindex darstellt (HILL et al. 1996a).

Neben der großräumigen, eher deskriptiven Erfassung degradationsbezogener Indikatoren stand die Bewertung von Modellen zur Simulation von Bodenerosion auf lokalen und regionalen Maßstabsebenen. Während diese Modelle einen wertvollen Beitrag zum allgemeinen Prozessverständnis lieferten, zeigte sich doch eine Limitierung durch die notwendige starke Generalisierung, bzw.

den enorm hohen Bedarf räumlich verteilter Eingangsdaten bei lokalen Modellen (HILL et al. 1996a). Auch dieses Ergebnis unterstreicht die Notwendigkeit optimierter fernerkundungsbasierter Verfahren zur Bereitstellung der erforderlichen Daten.

3 Methodische Erweiterungen und Wege zur operationellen Anwendung

Eine zweite Projektphase (*DeMon-II, 1996–1999*) innerhalb des 4. Rahmenprogrammes zielte vor allem auf eine methodische Weiterentwicklung, konzeptionelle Erweiterung und operationelle Anwendung der bisher gewonnenen Erkenntnisse. Schwerpunkte waren dabei unter anderen die konzeptionelle und methodische Optimierung von Indikatoren zur Entwicklung der Vegetationsdichte bzw. des Bodenzustandes, die Integration ökologischer Modelle mit Fernerkundungsmethoden und insbesondere die Erfassung der zeitlichen Komponente von Degradationsprozessen. Diese Ergebnisse mündeten in die Konzeption eines Gefährdungs-Index und die Integration der verschiedenen Komponenten im Rahmen einer interdisziplinären Fallstudie für Zentral-Kreta.

Basierend auf den im Rahmen von DeMon-I erarbeiteten Grundlagen wurden zunächst die geometrische und radiometrische Datenprozessierung weiter optimiert, insbesondere wurde die Strahlungstransfermodellierung um eine Komponente zur Einbeziehung topographieabhängiger Beleuchtungseffekte erweitert (siehe Beitrag von HILL & MEHL in diesem Heft). Ein wichtiges Ziel dieser Prozessierungskette war der Aufbau langer Zeitreihen vergleichbarer Daten. Die Basis bilden Satellitendaten des Landsat Programms, das seit 1972 eine ganze Reihe von Satelliten mit vergleichbaren Sensorsystemen in Betrieb nahm und dadurch überhaupt die Grundvoraussetzung für lange Reihen kompatibler Daten schaffte. Es existieren eine Reihe qualitativer Unterschiede zwischen dem „jüngeren“ TM- und dem „älteren“ MSS-System. Die entschei-

dende Herausforderung liegt allerdings im Fehlen von Informationen über die Entwicklung der Sensorsensitivität für die radiometrische Korrektur von MSS-Daten.

Um diese Einschränkung zu überwinden wurde ein Verfahren entwickelt, das eine Ableitung der MSS-Kalibrierkonstanten unter Zuhilfenahme des TM-Sensors als kalibrierter Referenz und damit eine radiometrische Prozessierung der Landsat-MSS Daten erlaubt (RÖDER et al. 2001).

Mit seiner großen naturräumlichen Heterogenität und den extremen Reliefunterschieden stellt Kreta auf technisch-methodischer Ebene ein ideales Testfeld für die geometrische und radiometrische Korrektur dar. Zudem ist Kreta ein wichtiges Beispiel der sozio-ökonomischen Entwicklung vieler europäischer Mittelmeerländer, mit einer infolge von Agrar- und Infrastruktursubventionen stark intensivierten Nutzung, insbesondere durch Beweidung und Olivenanbau. Vor diesem Hintergrund wurde das Auftreten von Anzeichen einer fortschreitenden Degradation durch eine etwaige Übernutzung unter Zuhilfenahme einer Vielzahl von Datenebenen untersucht (Abb. 2).

Um die dynamische Komponente der Entwicklung der betrachteten Indikatoren bestmöglich zu erfassen, wurde eine Zeitreihe von Landsat-TM- und -MSS-Daten (1977 bis 1997) geometrisch und radiometrisch korrigiert bzw. interkalibriert und anschließend spektral entmischt. Zur Interpretation dieses Datensatzes wurde ein pixelbasiertes, lineares Trendmodell genutzt. Neben Steigung und Offset der Trendfunktion ist das Niveau, auf welchem sich Änderungen manifestieren ein zweiter wichtiger Aspekt bei der Interpretation der Vegetationsentwicklung. Das mittlere Vegetationsniveau wurde zu diesem Zweck mit der Stärke und der Richtung des Trends zu einem Degradationsindex kombiniert (HOSTERT 2001). Für die beweideten Gebiete des zentralen Psiloritis-Gebirge ergibt sich daraus eine deutliche Differenzierung des Gebietes in unterschiedliche Degradationsstufen, die eine hohe Übereinstimmung mit Ergebnissen aus Geländebegehungen aufweisen (Abb. 3).

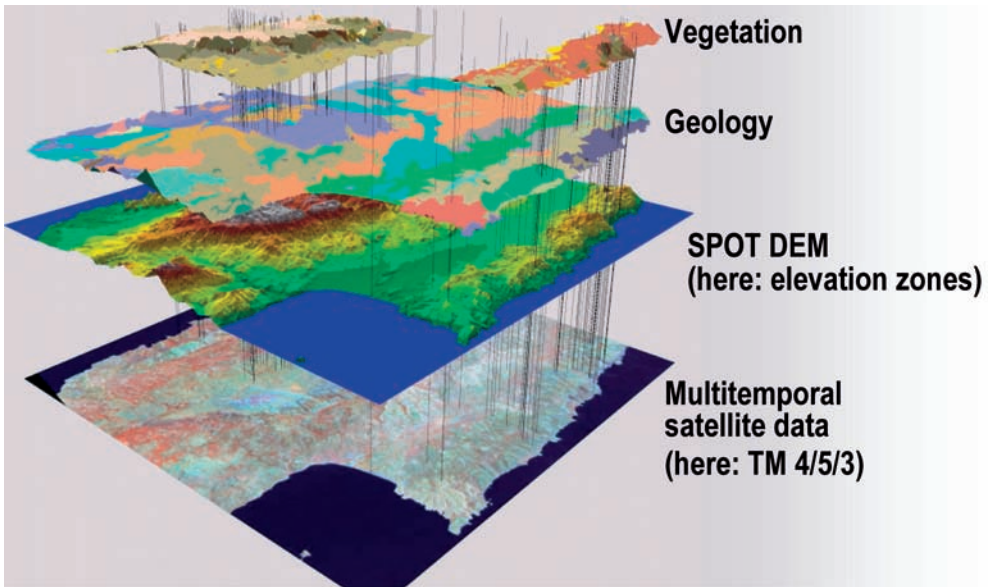


Abb. 2: Integration verschiedener Datenebenen zur thematischen Interpretation mit Lage der Messpunkte im Gelände.

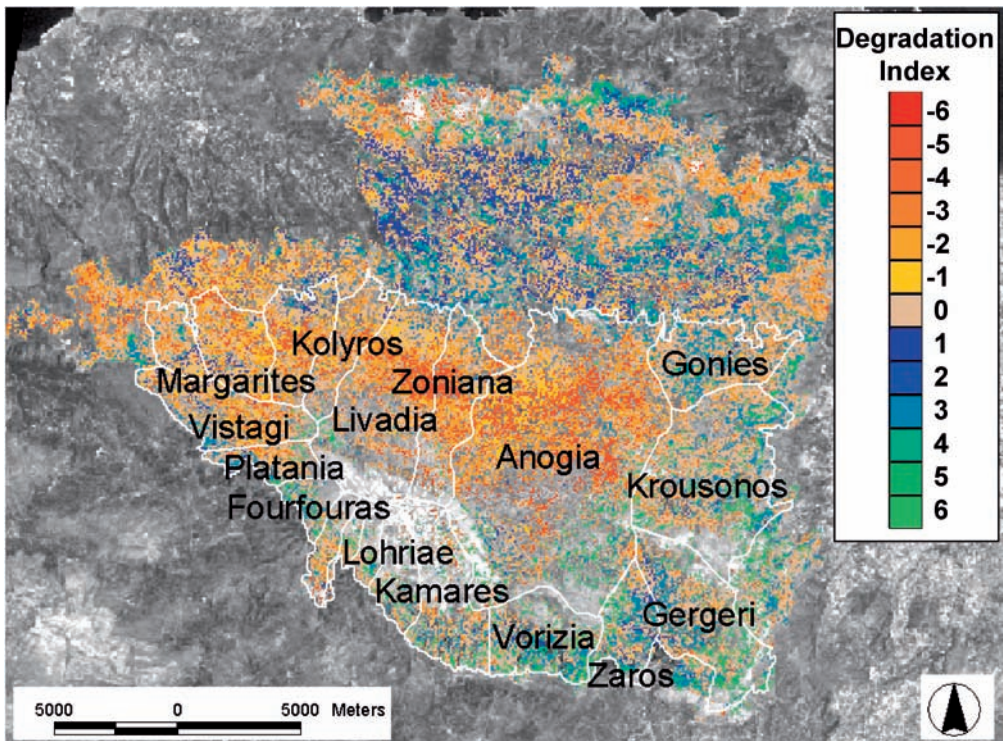


Abb. 3: Differenzierung der Psiloritis-Region in Degradations-Gefährdungsklassen.

In einem weiteren Interpretationsschritt wurde untersucht, inwiefern sich die aufgezeigten Veränderungen durch sozio-ökonomische und physisch-geographische Determinanten erklären lassen (HOSTERT 2001). Während für die letzteren kaum ein direkter Einfluss aufgezeigt werden konnte, ergab eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Vegetationsveränderung und Entwicklung der Tierzahlen auf Gemeindeebene zumindest in Teilen eine deutlich positive Korrelation (Abb. 4).

Neben dem erwarteten positiven Zusammenhang zeigen sich auch Bereiche, in denen sich trotz zunehmender Bestockungsdichten eine mittlere Zunahme der Vegeta-

tion zeigt. Eine mögliche Ursache ist der massive Straßenausbau in ehemals entlegenen Bergregionen, der einen Transport von Tieren in andere Regionen sowie eine Zufütterung ermöglicht. Zudem ist die in vielen ländlichen Gebieten zu beobachtende Überalterung der Bevölkerung häufig ein Grund dafür, dass Herden nur noch in der Nähe der Ortschaften gehalten werden; ein Effekt, der durch die Mittelung des Trends auf Gemeindeebene maskiert wird. Zudem erlaubt der Ansatz in Bereichen dichter, hochstämmiger Vegetation keine Erfassung der beweideten, tieferen Vegetationsschicht (HOSTERT 2001).

Neben dieser zeitlichen Analyse wurde die Ableitung quantitativer Parameter zur Beurteilung des aktuellen Zustandes von Ökosystemen auf räumlicher Basis untersucht. Der verwendete Ansatz basiert auf der Verbindung traditionell erhobener Geländebzw. Labordaten mit fernerkundlicher Information. Dabei wurden im Rahmen mehrerer Geländekampagnen eine Vielzahl von Vegetationsbeständen bezüglich ihrer Dichte und Artenzusammensetzung kartiert und mittels Laboranalyse ihre Biomasse ermittelt. So konnten für die Biomasse empirische Beziehungen mit der Vegetationsdichte bestimmt und in einem weiteren Schritt auf die aus Satellitendaten abgeleiteten Daten der Vegetationsdichte angewendet werden (RÖDER et al. 2001) (Abb. 5).

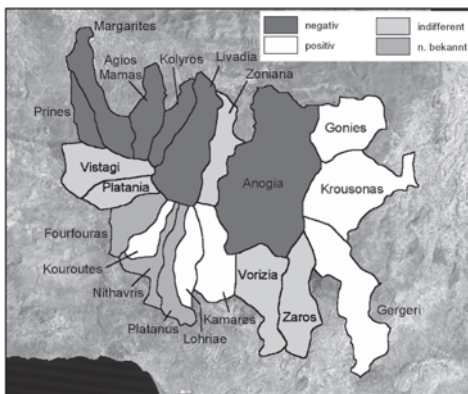


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Bestockungsdichte und Vegetationsentwicklung auf Gemeindeebene.

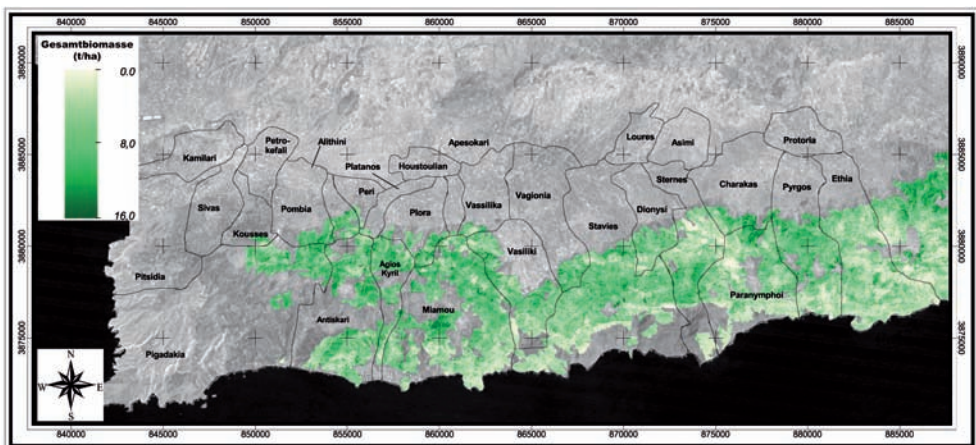


Abb. 5: Aus Fernerkundungs-, Boden- und Labordaten abgeleitete Biomasse-Karte (t/ha).

Im Hinblick auf das angestrebte Konzept eines flächendeckenden europäischen Degradations-Monitoring muss aber auch festgestellt werden, dass eine Ausdehnung vieler Ansätze auf weitaus größere Gebiete kaum realisierbar erscheint. Im Rahmen von DeMon-II wurde deshalb ein Ansatz zum „Ecozoning“ entwickelt, der Faktoren wie z. B. klimatische Parameter, Lithologie und Böden bzw. Bodeneigenschaften betrachtet, um ein konsistentes und transparentes System zur Einteilung von Regionen in Ökozonen zu schaffen (BROUWER et al. 1998). Daneben wurden die Bemühungen intensiviert, Fernerkundungsdaten mit der Modellierung ökologischer Prozesse zu kombinieren. So wurden für das Arbeitsgebiet in Languedoc/Frankreich basierend auf dem Forest BGC-Modell Stickstoff-, Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe in einem mediterranen *Quercus-coccifera*-Bestand nachgebildet, und unter Verwendung meteorologischer und bestandsspezifischer Parameter LAI, Evapotranspiration und Biomasse simuliert. Zur Validierung wurde eine Serie von Landsat-TM Daten prozessiert, und über eine empirische Beziehung aus proportionaler Vegetationsdichte flächenhafte LAI-Werte abgeleitet. Die übereinstimmenden Ergebnisse aus Modell und Satellitenbildkartierung zeigten, dass nach einer substantiellen Reduzierung der Belastung durch Beweidung in der Regel eine Stabilisierung der Vegetationsdichte auf relativ hohem Niveau erreicht wird (TABARANT 1999).

Insgesamt zeigte also DeMon-II, dass ein räumlich differenzierter Ansatz eines Langzeitmonitorings für Degradations-gefährdete mediterrane Räume möglich ist. In Gebieten unterschiedlicher historischer und rezenter Entwicklung konnten die jeweils relevanten Prozesse durch die Entwicklung angepasster Indikatoren abgebildet werden. Außerdem wurde mit der Kombination fernerkundlicher Datenanalyse und ökologischer Modellierung das künftige Potential einer solchen Integration verschiedener Disziplinen verdeutlicht.

4 Bewertung mediterraner Ökosysteme und Strategien zu ihrer nachhaltigen Nutzung

Innerhalb des 5. europäischen Rahmenprogramms wurde erneut ein Fokus auf die Erforschung der Ursachen und der relevanten Prozesse von Degradation und Desertifikation, sowie Möglichkeiten zu deren Bekämpfung gelegt. Im Rückblick auf bisherige Arbeiten wurde kritisiert, dass diese trotz hochwertiger Ergebnisse für einzelne Testgebiete kaum vergleichbar seien, und für künftige Projekte eine höhere Integrationsstufe verschiedener Disziplinen gefordert. Außerdem legte die Europäische Kommission größten Wert darauf, dass Projektergebnisse den Anforderungen der jeweiligen Planungs- und politischen Entscheidungsträger an eine konkrete Umsetzbarkeit Rechnung tragen.

Folglich konzentriert sich das Projekt „GeoRange – Geomatics in the Assessment and Sustainable Management of Mediterranean Rangelands“ (2001–2003) auf die Entwicklung und Anwendung von Konzepten in so genannten „rangelands“, den marginalen Gebieten, welche aus Gründen physisch-geographischer Beschränkungen nicht oder nicht mehr für Siedlung oder Landwirtschaft genutzt werden, sondern als Nahrungsquelle für Weidetiere, zur Gewinnung von Brennholz, als Frischwasserquelle oder zur Regeneration dienen. Eine Reihe von Arbeiten beschäftigt sich mit der Abschätzung des Degradationsstatus solcher Gebiete unter Verwendung räumlicher Daten (z. B. BOER et al. 1996, TUELLER 1995, PICKUP & CHEWINGS 1994), bzw. eines verbesserten Managements basierend auf den Ergebnissen raumbezogener Analysen. Neben der Konzentration auf die Bereiche Boden und Vegetation als Degradations-Indikatoren erlangt gerade in semi-ariden bis ariden Regionen auch immer stärker die Frage der Wasserverfügbarkeit bzw. -Verwertung Bedeutung (PUIGDEFABREGAS et al. 1999, BOER 1999).

Ein erster Schritt in Richtung einer angepassten Nutzung solcher multi-funktionaler Räume ist die Bewertung ihres momentanen

Zustands in Relation zu ihrem Potential sowie ihrer zurückliegenden Entwicklung. Die zur Formulierung von Vorschlägen einer nachhaltigen Nutzung benötigten räumlich differenzierten Daten können im Gelände meist nur unter großem Aufwand und für begrenzte Gebiete erfasst werden. Deshalb werden in GeoRange Fernerkundung, räumliche Datenanalyse und GIS-Techniken mit konzeptioneller Forschung und spezifischen Geländearbeiten kombiniert. Das Ziel ist dabei die Etablierung eines thematischen und konzeptionellen Bewertungsschemas, welches auf die Bedürfnisse von Ökologen, Landnutzungsplanern und Planungsbehörden zugeschnitten ist. Neben der Erfassung des gegenwärtigen Landschaftszustandes ist dabei vor allen Dingen die retrospektive Analyse basierend auf Fernerkundungsdaten von Bedeutung, mittels derer Auswirkungen zurückliegender planerischer Interventionen bewertet werden können. Dazu tritt eine modellbasierte Identifizierung der steuernden physisch-geographischen und sozio-ökonomischen Parameter, um schließlich die Formulierung angepasster Management Szenarien zu ermöglichen. Neben technischen Aspekten eines transparenten Daten-Managements und der Kommunikation von Projektergebnissen ist hierfür vor allen Dingen die Einbindung lokaler Expertise von größter Bedeutung.

Die untersuchten Arbeitsgebiete in Spanien, Griechenland und Sardinien spiegeln dabei für den Mittelmeerraum typische Problemfelder wieder, wie beispielsweise die Auffassung von Flächen gefolgt von Verbuschung und Feuergefährdung, die Intensivierung der Nutzung durch Beweidung und Ackerbau, oder die Kombination dieser Faktoren. Im Hinblick auf die geforderte regionale Relevanz und Umsetzung der Ergebnisse wurden für alle Gebiete die für die lokale Planung zuständigen Institutionen bzw. Behörden in das Projektkonsortium eingebunden. Unter Einbeziehung dieser Nutzer wurde zunächst ein konzeptioneller Rahmen entwickelt, welcher auch die Basis für den zu entwickelnden, GIS-basierten Entscheidungsbaum zur Bewertung von Ranglands bilden soll. Daneben wurde ein

Katalog von Indikatoren entwickelt, der sowohl die Vergleichbarkeit von Arbeitsgebieten als auch die Charakterisierung jeweiliger Besonderheiten gewährleisten soll. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf Schnittpunkte zwischen Gelände- und fernerkundungsbasierten Daten gelegt, um eine Kombination bzw. ein Upscaling zu ermöglichen. Basierend auf einem gemeinsamen Datenmodell wurden zunächst für alle Arbeitsgebiete räumliche Datenbanken erstellt. Ein essentielles Element dieses Modells ist eine Metadaten-Struktur, die durch einen schnellen Überblick über Inhalte und Erstellungsmethoden eines Datensatzes die gemeinsame Nutzung von Daten und Ergebnissen durch verschiedene Anwender erlaubt, und welche unter www.georange.org im Internet zur Verfügung gestellt wird.

Die Vorprozessierung der für alle Arbeitsgebiete beschafften Zeitserien von Satellitendaten erfolgte nach dem in DeMon-II bewährten Schema. Nach der Prozessierung ergaben sich Differenzen von maximal $\pm 2,5\%$ beim übergreifenden Vergleich der Reflexion pseudo-invarianter Flächen über die Zeitreihen. Diese Rasterdatenebene der räumlichen Datenbank wurde durch gebietsspezifische Informationen im Vektorformat ergänzt. Sie reichen von thematischen Karten bis hin zu den Ergebnissen der Geländeerhebungen an exakt lokalisierten Messpunkten. Zusätzlich fließen die im Rahmen des Projekts gewonnenen Ergebnisse in die Datenbank mit ein. Schließlich erfordern die Interpretations-Ansätze eine Charakterisierung von Oberflächentypen mittels spektraler Messungen, welche ergänzend zu vorhandenen Datenbanken im Gelände bzw. auf Basis von Proben im Labor vorgenommen wurden.

Das Hauptaugenmerk der letzten, derzeit laufenden Projektphase liegt auf der Integration der verschiedenen Teilaspekte mit dem Ziel der konsistenten Bewertung multifunktionaler Räume und der Formulierung angepasster Management-Strategien vor dem Hintergrund der von Planungsseite ausgesprochenen Vorgaben.

Außerdem werden einige experimentelle Studien durchgeführt, die das Potential in-

novativer Verfahren für die Fragestellung bewerten sollen. Dabei ist vor allen Dingen die Anwendung physikalisch-basierter Bestandsreflexionsmodelle für mediterrane Strauchgesellschaften zu nennen. Dabei soll untersucht werden, ob solche Modelle für die nicht-landwirtschaftlichen und dispers im Raum verteilten *Quercus-coccifera*-Bestände des Arbeitsgebietes in Nordgriechenland (Lagadas) anzupassen. Dabei soll eine Kopplung erprobter Modelle, wie z. B. SAIL (VERHOEF 1984) und PROSPECT (JACQUEMOUD & BARET 1990) mittels geometrisch-optischer Modelle an die tatsächlichen Geländeeinheiten angepasst, und unter Zuhilfenahme neuronaler Netze und im Gelände gemessener Parameter für Kombinationen von LAI, Blattwassergehalt und Chlorophyll-Konzentration invertiert werden (siehe dazu auch ATZBERGER 2001).

5 Ausblick

Im Bereich der Charakterisierung von Degradationsprozessen erfuhr die Bedeutung von Fernerkundung und Geodatenverarbeitung eine stetige Zunahme. Neben der Fortentwicklung von Ansätzen für Studien auf lokalem bis regionalen Maßstab und der zunehmenden Integration so gewonnener Daten mit anderen Disziplinen liegt in den kommenden Jahren das Augenmerk auf einer Erweiterung der Methodik hin zu größeren Raumeinheiten. Während auch künftig detaillierte Studien einen essentiellen Beitrag zu Prozessverständnis und lokaler Planung liefern werden, erscheinen kleinmaßstäbige Ansätze als wichtiger Schritt, um politische Entscheidungsträger und national wie international agierende Umweltplaner mit adäquaten, räumlichen Informationsprodukten zu versorgen. In allerjüngster Vergangenheit wurde dieser Aspekt im Rahmen des Aktionsplans für „Global Monitoring for Environment and Security“ erneut betont, welcher die europäische Kompetenz im großräumigen Monitoring von Umweltprozessen nachhaltig verbessern soll. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Produkt-Orientierung aller Ansätze im Hinblick auf die Bedürfnisse potenzieller

Nutzer. Daneben steht die Identifizierung momentan noch existierender Lücken bei der Datenbeschaffung bzw. -Verfügbarkeit sowie der methodischen Seite im Vordergrund. In diesem Kontext zielt das Projekt Ladamer – „*Land Degradation Assessment in Mediterranean Europe*“ darauf ab, eine kleinmaßstäbige Charakterisierung des Degradations-Status großer Räume bzw. die Identifizierung von „Hot Spots“ zu ermöglichen. Größter Wert liegt dabei auf dem Aufbau einer auf vorhandenen Datensätzen basierenden Datenbank. Die darauf aufbauenden Arbeiten konzentrieren sich auf eine Integration vielfältiger Ansätze von Landschaftsökologie, Bodenkunde, Fernerkundung, Geodatenverarbeitung und Landnutzungsmodellierung. Dabei sollen auf lokaler bis sub-regionaler Ebene erprobte Modelle so modifiziert werden, dass sie mit angemessener Signifikanz auf große Räume angewendet werden können, wie beispielsweise den europäisch-mediterranen Bereich.

Danksagung

Der überwiegende Anteil der hier dargestellten Projektarbeiten konnte nur dank der finanziellen Unterstützung durch die Europäische Kommission, DG Science, Research and Development realisiert werden (DeMon-II: ENV4-CT95-0166; GeoRange: EVK2-CT-2000-22089; Ladamer: EVK2-2002-00599). Unser Dank gilt hierbei vor allen Dingen Dr. DENIS PETER, der die Arbeiten stets konstruktiv begleitete. Darüber hinaus gebührt unser Dank den in den Projekten involvierten Partnern, die mit ihrem fachlichen und persönlichen Engagement maßgeblich zum Gelingen der Arbeiten beitrugen.

Literatur

ATZBERGER, C., 2001: Development on an invertible forest reflectance model: the INFORM model. – In: BUCHROITHNER, M.F. (Hrsg.): A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation. – Proceedings of the 20th EAR-SeL Symposium, 14–16 Juni, 2000, Dresden, Germany, 39–44.

- BIRKELAND, P.W. 1990: Soil-geomorphic Research – a Selective Overview. – *Geomorphology*, **3**: 207–224.
- BOER, M., DEL BARRIO, G. & PUIGDEFABREGAS, J., 1996: Mapping soil depth classes in dry Mediterranean areas using terrain attributes derived from a digital elevation model. – *Geoderma*, **72**: 99–118.
- BOER, M., 1999: Assessment of dryland degradation, linking theory and practice through water balance modelling. – *Netherlands Geographical Studies* 25, 294 S., KNAG, Utrecht.
- BROUWER, L.C., DE JONG, S.M. & RIEZEBOS, H.T., 1998: Ecozones in Mediterranean Europe. – Unveröffentlichter Projektbericht.
- GRAETZ, R.D., 1996: Empirical and Practical Approaches to Land Surface Characterisation and Change Detection. – In: HILL, J. & PETER, D. (Hrsg.): *The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin. State of the Art and Future Research*. – Proceedings of an expert workshop jointly organized by JRC/IRSA and DG XIII, 13–15 June, 1994, Valencia, Spain, 9–22.
- HILL, J., MÉGIER, J. & MEHL, W., 1995: Land Degradation, soil Erosion and Desertification Monitoring in Mediterranean Ecosystems. – *Remote Sensing Reviews*, 1995, **12**: 107–130.
- HILL, J. (Hrsg.), 1996a: DeMon – Integrated Approaches to Desertification Mapping and Monitoring in the Mediterranean Basin. – Final Report of the DeMon-1 Project, EUR 16448 EN, Brussels/Luxembourg.
- HILL, J., SOMMER, S., MEHL, W. & MÉGIER, J., 1996b: A Conceptual Framework for Mapping and Monitoring the Degradation of Mediterranean Ecosystems with Remote Sensing. – In: HILL, J. & PETER, D. (Hrsg.): *The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin. State of the Art and Future Research*. – Proceedings of an expert workshop jointly organized by JRC/IRSA and DG XIII, 13–15 June, 1994, Valencia, Spain, 23–44.
- HOSTERT, P., 2001: Monitoring von Degradationserscheinungen im europäisch-mediterranen Raum mit Methoden der Fernerkundung und GIS. Untersuchungen am Beispiel der Weidegebiete Zentralkretas. – 219 S., Dissertation Universität Trier, Trier.
- HOSTERT, P., RÖDER, A., JARMER, Th., UDELHOVEN, Th. & HILL, J., 2002: The potential of Remote Sensing and GIS for Desertification Monitoring and Assessment. – *Annals of Arid Zone*, **40** (2): 103–140.
- IMESON, A., 1996: Desertification Research – Thematic Issues and Spatial and Temporal Scaling. – In: HILL, J. & PETER, D. (Hrsg.): *The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin. State of the Art and Future Research*. – Proceedings of an expert workshop jointly organized by JRC/IRSA and DG XIII, 13–15 June, 1994, Valencia, Spain, 1–8.
- JACQUEMOUD, S. & BARET, F., 1990: PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. – *Remote Sensing of Environment*, **34**: 75–91.
- JOHNSON, D.L. & LEWIS, L.A., 1995: *Land Degradation. Creation and Destruction*. – Blackwell, Oxford/Cambridge.
- NOY-MEIR, I., 1997: Effects of grazing on Mediterranean grasslands: the community level. – In: PAPANASTATIS, V.P. & PETER, D. (Hrsg.): *Ecological Basis of Livestock Grazing in Mediterranean Ecosystems*. – Proceedings of the International Workshop held in Thessaloniki (Greece), October 23–25, 1997. 350 S., Luxembourg.
- PEREZ-TREJO, F., 1994: Desertification and land Degradation in the European Mediterranean. – EUR 14850 EN, Official for Official Publications of the European communities, Luxembourg.
- PICKUP G. & CHEWINGS, V.H., 1994: A grazing gradient approach to land degradation assessment in arid areas from remotely-sensed data. – *International Journal of Remote Sensing*, **15**: 597–617.
- PREISSLER, H., BOHBOT, H., MEHL, W. & SOMMER, S., 1998: MEDSPEC – a Spectral Database as a Tool to Support the Use of Imaging Spectroscopy Data for Environmental Monitoring. – In: SCHAEPMAN, M., SCHLAEPFER, D. & ITTEN, K. (Hrsg.): *1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Zurich, 6–8 October 1998, 455–462.
- PUIGDEFABREGAS, J., SOLE, A., GUTIER-REZ, L., DEL BARRIO, G. & BOER, M., 1999: Scales and processes of water redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in southeast Spain. – *Earth Science Reviews*, **48**: 39–70.
- RÖDER, A., HILL, J. & HOSTERT, P., 2001, Radiometric intercalibration of Landsat-TM and –MSS data for quantitative long-term environmental monitoring. – In: BUCHROITHNER, M.F. (Hrsg.): *A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*. – Proceedings of the 20th EARSeL Symposium, 14–16 Juni, 2000, Dresden, Germany, 213–218.

- RÖDER, A., HOSTERT, P., HILL, J., TSIOURLIS, G. & KASAPIDIS, P., 2001: Resource assessment to support the sustainable management of Mediterranean ecosystems. An approach integrating remote sensing and ecology. – Proceedings of the International Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management, 28–29 Juni 2001, Varese, Italy, 303–309.
- SMITH, M.O., USTIN, S.L., ADAMS, J.B. & GILLESPIE, A.R., 1990: Vegetation in Deserts: I. A Regional Measure of Abundance from Multi-spectral Images. – Remote Sensing of Environment, **31**: 1–26.
- TABARANT, F., 1999: Apport de la télédétection et de la modélisation à l'étude de la dynamique de production d'un écosystème méditerranéen de chêne vert (*Quercus ilex*) dans le sud de la France. – Laboratoire d'Ecologie Vegetale, Université Orsay–Paris.
- TUELLER, P., 1995: Remote Sensing in the Management of Rangelands. Annals of the Arid Zone, **34** (3): 191–207.
- THOMAS, D.S. & MIDDLETON, N.J., 1994: Desertification – Exploding the Myth. – 208 S, Wiley and Sons, London.
- United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD (Hrsg.), 1994: Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung in den von Dürre und/oder Wüstenbildung schwer betroffenen Ländern, insbesondere in Afrika. – Dt. Übersetzung 1998, Bonn.
- VERHOEF, W., 1984: Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. – Remote Sensing of Environment, **16**: 125–141.
- Anschriften der Autoren:
Dipl.-Geogr. ACHIM RÖDER, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4606, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: roeder@uni-trier.de
Prof. Dr. rer. nat. JOACHIM HILL, Abteilung Fernerkundung, Universität Trier, Geozentrum, D-54286 Trier, Tel.: +49-651-201-4592, Fax: +49-651-201-3815, e-mail: hillj@uni-trier.de
Prof. Dr. rer. nat. PATRICK HOSTERT, Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Post: Unter den Linden 6, D-10099 Berlin, Sitz: Chausseestraße 86, D-10115 Berlin, Tel.: +49-30-2093-6805, Fax: +49-030-2093-6835, e-mail: patrick.hostert@rz.hu-berlin.de
- Manuskript eingereicht: November 2002
Angenommen: November 2002