

# **Mikro- und makroskalige Ansätze zu einer Vegetationsgliederung des Draa-Einzugsgebietes (Südmorokko)**

- Manfred Finckh u. Markus Staudinger, Hamburg -

## **Zusammenfassung**

Der vorliegende Artikel gibt eine einführende Darstellung der vegetationskundlichen Arbeiten des IMPETUS Projektes im Draa-Einzugsgebiet in Südmorokko. Eingegangen wird auf methodische Ansätze der Vegetationsgliederung in verschiedenen Skalenebenen unter besonderer Berücksichtigung der Problembereiche, die vegetationskundliche Untersuchungen in ariden Gebieten aufweisen. Hierzu zählen eine stark ausgeprägte interannuelle und saisonale Diskontinuität der Vegetationsentwicklung, die floristische Nivellierung in übernutzten Gebieten und die Interpretation räumlicher Muster in bezug auf Konkurrenz- und Koexistenzstrategien. Erste Ergebnisse werden dargestellt und diskutiert. Ein Ausblick auf die in der nächsten Projektphase durchzuführenden Forschungen beschließen diesen Bericht.

## **Einleitung**

Südmorokko gehört zu denjenigen Regionen, die im 20. Jahrhundert eine stark ausgeprägte Klimavariabilität aufgewiesen haben (WARD et al. 1998). Durch die in den vergangenen Jahrzehnten stark schwankenden, und teilweise reduzierten saisonalen und Jahresniederschlagswerte (DELANNOY 1998) sowie durch den Trend zu einem erhöhten Nutzungsdruck auf die Wasserressourcen durch Bewässerung, Energieproduktion und Siedlungswasserbedarf befindet sich die gesamte Region seit einiger Zeit latent am Rande einer Wasserversorgungskrise. Aus diesem Grunde hat das BMBF-Forschungsprojekt IMPETUS, welches sich mit den Auswirkungen globaler und regionaler Wandlungsprozesse auf das Süßwasserdargebot Westafrikas befasst, das südmorokkanische Draa-Einzugsgebiet als eines seiner Untersuchungs- und Modellierungscatchments gewählt. In einem interdisziplinären Untersuchungsansatz soll dort versucht werden, die Auswirkungen atmosphärischer und terrestrischer Veränderungsprozesse auf den Gebietswasserhaushalt sowie deren Rückkopplungen mit sich verändernden menschlichen und biologischen Systemen zu analysieren und zu modellieren. Die gesammelten Erkenntnisse sollen in einer fortgeschrittenen Projektphase eine umfassende Abschätzung von Risiken auf lokaler und regionaler Ebene erlauben.

Aus dieser grundsätzlichen Projektzielsetzung leitet sich für die vegetationsökologische Arbeitsgruppe die Fragestellung nach den Regelfunktionen der Vegetation für den Gebietswasserhaushalt des Draa-Einzugsgebietes ab. In ariden und semiariden Klimaten sind Mengen und raum-zeitliche Verteilung der Niederschläge definitionsgemäß die dominanten klimatisch-ökologischen Minimumfaktoren. (IMPETUS 1999). Die Vegetation wirkt insbesondere auf die Steuergrößen Infiltration bzw. Oberflächenabfluss von Niederschlagswasser und Evapotranspiration, daneben beeinflusst sie durch direkte Modifikation mesoklimatische Faktoren auf Landschaftsebene (Albedo, Oberflächentemperatur etc.). Die Steuerung erfolgt dabei dynamisch durch die jeweiligen Entwicklungszustände der Vegetation, d.h. ihre zu einem gegebenen Zeitpunkt aktuelle strukturelle, floristische und phänologische Ausprägung.

Auf Landschaftsebene ist die Vegetationsausprägung dabei von den jeweils standörtlich unterschiedlichen Phytozönosen sowie deren jahreszeitlich/phänologisch bzw. langfristig ablaufenden Entwicklungen und Veränderungen abhängig. Die Beschreibung der raum-zeitlichen Dynamik der Vegetation im Draa-Einzugsgebiet ist deshalb eine grundlegende Voraussetzung, um in der abschließenden Projektphase für definierte Veränderungsszenarien die Einflüsse von Klima- und Landnutzungswandel auf den Gebietswasserhaushalt zu modellieren.

## **Untersuchungsgebiet**

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich vom Hauptkamm des Hohen Atlas im Norden bis zu den Erg's und Salztonebenen an der algerischen Grenze und umfasst damit den Übergangsraum von randmediterranen, subhumiden Steppenwald- und Gebirgsökosystemen bis hin zu den vollariden Wüstenökosystemen der Randsahara. Weitgehend durch O-W verlaufende Gebirgsketten gegliedert, folgen im Untersuchungsgebiet von Norden nach Süden das Faltengebirge des Hohen Atlas, das Grabensystem des Beckens von Ouarzazate, die von präkambrischen Magmatiten gebildete Antiatlanschwelle sowie die aus paläozoischen Sedimenten aufgebauten, durch Beckenlandschaften voneinander getrennten Schichtstufengebirge an seinem Südrand regelhaft aufeinander. Entsprechend der sehr variablen geologischen Verhältnisse dieser Ketten sind auch die Ausgangssubstrate der pliozänen und quartären Beckenfüllungen sowie der Terrassen- und Pedimentsysteme sehr heterogen und oftmals stark gemischt.

Ein scharfer klimatischer Gradient erstreckt sich von Nord nach Süd, welcher nicht nur einen thermischen Gradienten sowie eine Abnahme der absoluten Niederschlagsmengen von > 500 mm/a in den Hochlagen des Hohen Atlas auf ca. 50 mm/a südlich von Zagora mit sich bringt, sondern auch den Übergang von einem Winterregenregime im Norden zu einem bimodalen Frühjahrs- und Herbstregenregime im Süden (LE HOUÉROU 1995). Diese Veränderung von Niederschlagsmenge und -periodizität bildet sich in einer scharfen floristischen Grenze zwischen dem mediterranen Florengebiet im Norden und dem bereits tropisch afrikanisch getönten, saharo-sindischen Florenürtel im Süden ab (QUEZEL & BARBERO 1993).

Das funktionelle Gefüge dieses Raumes wird heute von deutlichen, vorwiegend durch agrarische und pastorale Landnutzungsformen ausgelösten Degradationserscheinungen geprägt. In welchem Umfang durch Degradationsprozesse die ökologischen Grenzlinien von Wüste und Halbwüste hin zum Atlasgebirge verschoben werden, wird in der Literatur durchaus kontrovers diskutiert (QUEZEL et al 1994, IMPETUS 1999).

## **Vegetationsökologische Problemstellung in ariden Gebieten**

Raumbezogene vegetationskundliche Arbeit ist immer eine Frage nach räumlichen Mustern und deren ökologischer Interpretation. Die Ursachen und Mechanismen dieser Musterbildungen scheinen aber keineswegs konstant zu sein, weder räumlich-klimatisch noch auf den unterschiedlichen betrachteten räumlichen Ebenen von Mikro- bis Makroskala. Zum einen handelt es sich um Probleme der Veränderung der Mechanismen von Koexistenz und Konkurrenz, zum anderen um methodische Probleme, die in Trockenräumen verstärkt auftreten und in humideren Gebieten lediglich randlich oder selten vorkommende Phänomene sind. So gewinnt etwa die Problematik der floristischen Nivellierung durch extreme Überweidung in ariden Gebieten zunehmend an Bedeutung oder die Schwierigkeit des methodischen Umgangs mit einer diskontinuierlichen und zwischen den Jahren stark schwankenden Vegetationsentwicklung. Was dazu führt, dass ganze Gilden (etwa Annuelle) in Aufnahmen fehlen

können oder ökologisch differenzierende Arten in manchen Jahren gar nicht entwickelt sind. Der Gefahr einer zeitlichen (historisch-saisonalen) Gliederung des Aufnahmемaterials anstelle einer räumlichen ist man in ariden Gebieten daher stärker ausgesetzt. Die Problembereiche sollen im Folgenden eine kurze Darstellung erfahren.

## **Interannuelle Diskontinuität und Synusienkonzept**

Durch intersaisonale und interannuelle Variabilität und Diskontinuität der Vegetationsentwicklung wird die Interpretation und Abgrenzung räumlicher Muster in ariden Gebieten deutlich erschwert. So ist die Präsenz und Ausprägung etwa von Therophytensynusien in stärkerem Maße von Zeitpunkt und Ergiebigkeit (oft diskontinuierlicher) lokaler Niederschlagsfelder abhängig als von gebietsübergreifend-einheitlich fassbaren standörtlichen Faktoren. Ähnliches gilt in etwas abgeschwächter Weise für die phänologische Entwicklung der perennen Vegetation. Selbst großräumige Vegetationsmuster können starken dynamischen Veränderungen unterworfen sein. Mit fernerkundlichen Methoden detektierbare Muster der Vegetationsbedeckung müssen also nicht unbedingt unterschiedlichen Vegetationseinheiten (im vegetationskundlichen Sinne) entsprechen, sondern können auch auf unterschiedliche phänologische Zustände der gleichen Vegetationseinheit zurück zu führen sein.

## **Floristische Nivellierung durch Übernutzung**

Ein zweites Problemfeld wird durch den historisch bereits langandauernden Degradationsdruck in vielen altweltlichen Trockengebieten aufgetan. Die hohe Vulnerabilität der Trockengebietsvegetation gegen mechanische Schäden sowie die zeitlich sehr engen, oft nur in Gunstjahren überhaupt präsenten Etablierungsfenster für viele Arten führen bei langandauerndem, kontinuierlichem und gleichsinnig wirkendem Degradationsdruck etwa durch Überweidung zum allmählichen Ausfall sensibler Arten und damit zu einer floristischen Nivellierung der ursprünglichen biologischen Systeme. Diese werden von kleinstandörtlich fein differenzierten, auf optimale Nutzung des Minimumfaktors Wasser ausgelegten Lebensgemeinschaften zu großflächigen Resistenzgemeinschaften weniger Verbiss- und Trittspezialisten umgeformt. Der im Vergleich zum Ursprungssystem sehr viel kleinere Artenpool der Weidespezialisten bildet kleinstandörtliche Unterschiede nur noch schwach ab (OUASKILOUD 1999).

## **Bedeutung interspezifischer Konkurrenz**

Gründe für Musterbildungen in der Vegetation können, wie weiter oben bereits angedeutet, unterschiedlich sein. Im Grunde genommen ist die Frage zu beantworten, inwieweit diese Muster zufallsbedingt sind oder nicht. Bezieht man sich auf interspezifische Konkurrenz in der Interpretation dieser Muster, befindet man sich notgedrungen auf einem eher großen Maßstab der Betrachtung, da Konkurrenz eine räumliche Nähe der Arten voraussetzt, die um gemeinsame limitierende Ressourcen konkurrieren (z.B. PALMER 1994). So stellt sich im Falle der Dauerbeobachtungsflächen und der Kartierung von Kleincatchments die Frage, ob die Verteilung der Individuen verschiedener Arten autökologisch determinierbar und durch Nischenachsen beschreibbar ist oder nicht - und ob der gewählte Betrachtungsmaßstab die ökologisch wirksamen Mechanismen überhaupt adäquat abbilden kann oder ob die Nischen der einzelnen Arten erst in einem anderen Betrachtungsmaßstab erkennbar werden.

Auf diese Fragen einzugehen, erscheint zumal in ariden Gebieten reizvoll, da die Vegetation weniger dicht und daher auf Individuenebene kartierbar ist.

Prinzipiell lassen sich Mechanismen, die räumliche Muster generieren, durch eine Hauptdichotomie trennen: in die zufallsbedingten und die nicht-zufallsbedingten Muster. Dies ent-

spricht grob der klassischen Trennung in Non-Equilibrium und Equilibrium Hypothese, wie sie unter anderen etwa von CONNELL (1978) oder DE ANGELIS & WATERHOUSE (1987) dargestellt wurden.

Im deterministischen Fall spiegeln die Cluster verschiedener Arten die physikalisch-chemischen Realitäten der Fläche wider. Die Muster würden also unterschiedliche Kleinnischen repräsentieren. Eine Aufteilung des Artenbestandes einer begrenzten Fläche in Nischen setzt allerdings die Wirksamkeit von kompetitiven interspezifischen Beziehungen voraus (lässt man Fälle extrem steiler ökologischer Gradienten auf kleinem Raum und die "Einnischung" in Ein-Art-Systemen in besiedelbare und unbesiedelbare Bereiche einmal beiseite). Die Arten wären also nach ihrer kompetitiven Potenz auf verschiedene Kleinstandorte verteilt und ihr Verteilungsmuster einer ökologischen Interpretation durch Nischentheorie und Konkurrenz-ausschluss zugänglich.

Welche Rolle spielt aber zwischenartliche Konkurrenz in ariden Gebieten? Werden die Populationsgrößen der Arten durch Konkurrenz um limitierende Ressourcen oder verfügbaren Raum kontrolliert oder eher durch abiotische Einflussfaktoren, wie klimatische Extreme, oder durch Beweidung und anthropogene Einflussnahme? Fragen, deren Beantwortung durchaus komplex sein kann und die für das Verstehen der vegetationsdynamischen Prozesse im Untersuchungsgebiet nicht unerheblich sind (für eine allgemeine Diskussion über Konkurrenz in ariden Gebieten vergleiche etwa FOWLER 1986).

Wie bereits erwähnt, spielt die zeitliche Variabilität in Trockenräumen eine zunehmend größere Rolle, und nicht nur in bezug auf die Diskontinuität der Vegetationsentwicklung, sondern auch in bezug auf Konkurrenz und Koexistenz. Am Beispiel der sicherlich limitierend wirkenden Ressource des verfügbaren Bodenwassers sei hier kurz die Möglichkeit diskutiert, dass Konkurrenz durch starke Schwankungen in der Ressourcenverfügbarkeit zu einer lediglich temporär auftretenden Erscheinung werden kann (vgl. ROBINSON & WILSON 1998). Dies wäre dann der Fall, wenn die Populationen von zeitlich begrenzten, klimatischen Extremen schneller reduziert werden, als sie sich regenerieren können, also die Populationsdynamik mit der Ressourcendynamik nicht oder nicht mehr übereinstimmt. Durch eine begrenzte Reaktionsfähigkeit langsam wachsender Arten ergäbe sich jedoch in der Regenerationsphase der Populationen ein konkurrenzfreier Raum, da aufgrund der vorhergehenden Reduzierung der Populationen die Ressourcen in dieser Phase nicht limitierend wirken. Und je länger die Populationen benötigen, um sich zu regenerieren, desto länger bleibt der Raum konkurrenzfrei.

Für die Interpretation der auftretenden Muster hieße das, dass die räumlich-ökologische Heterogenität eines Standortes durch eine zeitlich-klimatische teilweise überlagert und die entstehenden räumlichen Muster nur eingeschränkt standörtlich interpretierbar wären, da sie über zufallsbedingte und bereits geclusterte Etablierung entstehen, also durch "founder-effects" von Mutterpflanzen gründerkontrollierte Systeme im Sinne von YODZIS (1978) darstellen.

Ein anderer Fall nicht konkurrenzbedingter Muster entsteht durch indirekte positive Interaktionen zwischen verschiedenen Arten, wie etwa der Verbesserung der mikroklimatischen Bedingungen durch strukturbildende oder "keystone"-Arten (vgl. etwa FOWLER 1988, RYSER 1990 und SUZÁN et al. 1996). Auch der Schutz unbewehrter Arten vor Beweidung durch bewehrte (z.B. ATSATT & O'DOWD 1976, MCAULIFFE 1984, GIGON & RYSER 1986, HAY 1986) fällt in diesen Bereich.

## Lösungsansätze und erste Ergebnisse

Die Beschreibung der raumzeitlichen Vegetationsdynamik erfordert eine kombinierte Analyse der räumlichen und zeitlichen Dimensionen, d.h. die Identifizierung, Beschreibung und Abgrenzung der standörtlich oder durch Nutzungen bedingten räumlichen Muster sowie die (auch retrospektive) Analyse ihrer jeweiligen zeitlichen Dynamik, sowohl jahreszeitlich als auch durch langfristige Veränderungsprozesse. Aus der Bedeutung pastoraler Nutzungsregime und ihres sozioökonomischen und politischen Strukturwandels im Draa-Gebiet ergibt sich die besondere Notwendigkeit, bei der Ursachenanalyse von Veränderungsprozessen neben ökosystemaren Einflussgrößen i.e.S. auch die anthropogenen Landnutzungsmuster und insbesondere den Einfluss der Sedentarisierung von Nomadengruppen auf Landnutzungsmuster und -intensitäten zu betrachten.

Für die flächendeckende Analyse des Gesamtuntersuchungsgebietes wurde ein methodischer Ansatz auf drei räumlichen Skalenebenen gewählt. Unter Makroskala wird dabei im folgenden das Gesamtgebiet des oberen und mittleren Einzugsgebietes des Draa bis etwa in Höhe des Lac Iriki verstanden, d.h. ein Gebiet von ca. 40.000 km<sup>2</sup>. Als Mesoskala werden Kleineinzugsgebiete von maximal wenigen km<sup>2</sup> angesprochen, die als IMPETUS-Testsites ausgewiesen wurden, und als Mikroskala Dauerbeobachtungsflächen von jeweils 100 m<sup>2</sup>.

### Makroskala

Ziel der Untersuchungen auf der Makroskala ist die flächendeckende Klassifizierung und Kartierung der Vegetation. Aufgrund der geringen Vegetationsdeckung in diesem ariden Raum ergibt sich für die flächenrelevante naturnahe Wüsten- und Halbwüstenvegetation lediglich ein sehr schwaches Vegetationssignal. In Verbindung mit der hohen geologisch-geomorphologischen Heterogenität des Raumes ist eine direkte Klassifikation der Vegetation auf der Basis von Landsat-Daten daher weder für die Vegetationsmusterabgrenzung noch für die Ansprache von Vegetationseinheiten zielführend (BENNOUNA & NEJMEDDINE 2000).

Auch eine rein vegetationskundliche Herangehensweise, mit einer hohen Gebietsabdeckung durch Vegetationsaufnahmen zu einer flächenbezogenen Vegetationsgliederung zu kommen, erscheint nicht realistisch. Die Ausdehnung des Untersuchungsgebietes und die steilen, im Gebiet wirksamen ökologischen Gradienten erlauben es, unabhängig vom Sampling-design, nicht, unter vertretbarem Aufwand mit einer realisierbaren Zahl von Vegetationsaufnahmen flächig extrapolierbare Raummuster von Vegetationseinheiten zu beschreiben. Die Erhebung von 1000 Vegetationsaufnahmen würde nur eine Aufnahme pro 40 km<sup>2</sup> bedeuten, viel zu wenig, um die räumliche Diversität der Vegetation zu erfassen.

Daher wurde eine GIS-basierte Kombination von Gelände- und Fernerkundungsmethoden erarbeitet, um auf der Basis eines nach Naturräumen stratifizierten Samplings die Standortabhängigkeit und Höhenstufung der flächenrelevanten Vegetationseinheiten zu analysieren und dann für jeden Naturraum über digitale Geländemodelle und Vegetationsindices auf die Gesamtfläche zu extrapolieren.

Die Vorgehensweise im einzelnen:

Ausgehend von georektifizierten Landsatszenen und einem auf den topographischen Karten 1:100.000 basierenden, digitalen Geländemodell wird am GIS eine naturräumliche Gliederung des Gebiets erarbeitet. In die Naturraumgliederung eingehende Faktoren sind Höhenstufen, geologische und geomorphologische Groseinheiten sowie Landnutzungseinheiten. Ziel dieser räumlichen Stratifizierung des Gebietes ist es, durch Maskierung der Restflächen für jede naturräumliche Einheit sowohl die Zahl der potentiell vorkommenden Vegetations-

einheiten als auch das (abiotisch verursachte) Signalrauschen der Satellitenbänder möglichst stark zu reduzieren, um klarere Zuordnungen von Vegetationsindices oder Signalklassen zu definierten Vegetationseinheiten zu erhalten.

Parallel dazu werden in den unterschiedlichen Naturräumen mit subjektiver Probe-flächenwahl die flächenrelevanten (zonalen und extrazonalen) Vegetationseinheiten entlang von Höhen- und Standortgradienten aufgenommen. Hierbei ist das Ziel, eine möglichst gleichmäßige Abdeckung des Untersuchungsraums und seiner Höhengradienten zu erreichen. Nach Klassifizierung der Vegetationseinheiten kann für jede Einheit ein ökologisches Profil errechnet werden, welches sich aus räumlicher Verbreitung, Höhengspanne, Expositions- oder Substratpräferenzen etc. ergibt. Diese ökologischen Profile können abschließend in Interpretationsalgorithmen zur räumlichen Extrapolation der Vegetationseinheiten auf dem digitalen Geländemodell genutzt werden. Die Ergebnisse dieses Schrittes sollen abschließend mit den Ergebnissen der naturraumspezifischen Klassifizierung von Fernerkundungsdaten verglichen werden. Der geplante Vergleich von Landsatdaten unterschiedlicher Zeitschnitte ermöglicht die retrospektive Analyse von Musterveränderungen (Change Detection). Eine vergleichende Methodvalidierung ist durch Aufnahme von Kontrollplots, die nicht in die Klassifizierung und ökologische Profilbildung eingebunden werden, möglich. Die Klassifikation der Vegetationsaufnahmen stützt sich hauptsächlich auf die Gemeinschaften der ausdauernden Arten, da ihre zeitliche Diskontinuität geringer ist als die der Therophyten-gemeinschaften und sie über-dies standörtlich schärfer eingemischt erscheinen (vgl. oben).

Die vorläufigen Ergebnisse der Vegetationsklassifikation (beruhend auf 150 Aufnahmen) zeigen bei einer ersten Analyse bereits klare räumliche Präferenzen sowohl bezüglich der Höhenstufung als auch der Latitudinaler Streckung (Abb. 1). So liegen bisher alle Aufnahmen

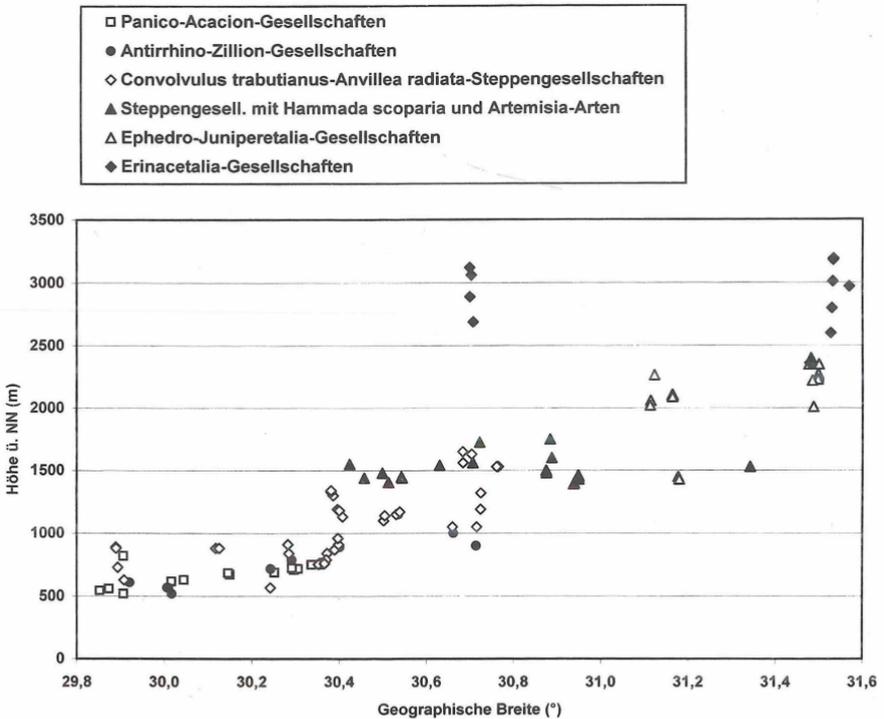


Abb. 1: Höhen- und Latitudinalverbreitung ausgewählter Vegetationseinheiten im Draa-Einzugsgebiet.

oromediterraner Dornpolsterheiden im Hohen Atlas und Antiatlas oberhalb 2300 m, *Acacia raddiana*-Gesellschaften (*Panico-Acacion* und *Acacio-Zillion*) nur südlich 30,8° s.Br. und unterhalb 1200 m, die *Convolvulus trautmanianus-Anvillea radiata*-Steppengesellschaften schwerpunktmäßig im Antiatlas unterhalb 1600 m ü NN etc.. In ähnlicher Weise sind bereits ökologische Profilbildungen möglich, etwa die Beschränkung der *Zygophyllum gaetulum*- und der *Tamarix aphylla*-Gesellschaften auf Salzböden. Somit ist es bereits zum derzeitigen Auswertungsstand möglich, für jede naturräumliche Einheit die Anzahl der dort potentiell vorkommenden Gesellschaften stark einzuzengen.

Die Verbindung zu den Aspekten der kleinstandörtlichen Vegetationsanalyse und dynamischen Prozessbetrachtung wird über ein N-S verlaufendes, naturraumorientiertes Großtransekt von 11 Testgebieten mit Dauerbeobachtungsflächen gewährleistet. In diesem Transekt vom Hohen Atlas in das Saharavorland werden die wichtigsten ökologischen Gradienten des Untersuchungsgebietes abgebildet und ihre zentralen Vegetationseinheiten analysiert. Das ausgewählte Transekt umfasst somit den Übergang der randmediterranen Steppenwaldgesellschaften zu den saharischen Halbwüstenlandschaften, die wichtigsten naturräumlichen Einheiten (Hoher Atlas, Beckenlandschaften der Südatlasstörung, präkambrisches Grundgebirge des Jebel Sarrho, paläozoische Gebirgszüge südlich der Antiatlatschwelle, randsaharische Beckenlandschaften) sowie den Höhengradienten von 3.900 - 450 m ü.NN.

Die vorläufige Analyse der Arealtypenspektren der Vegetationseinheiten im N-S-Gradienten stützt den Eindruck scharfer florengeographischer Grenzen, die durch das Untersuchungsgebiet laufen (Abb. 2). Während etwa die Wacholderheiden (*Ephedro-Juniperetalia*)

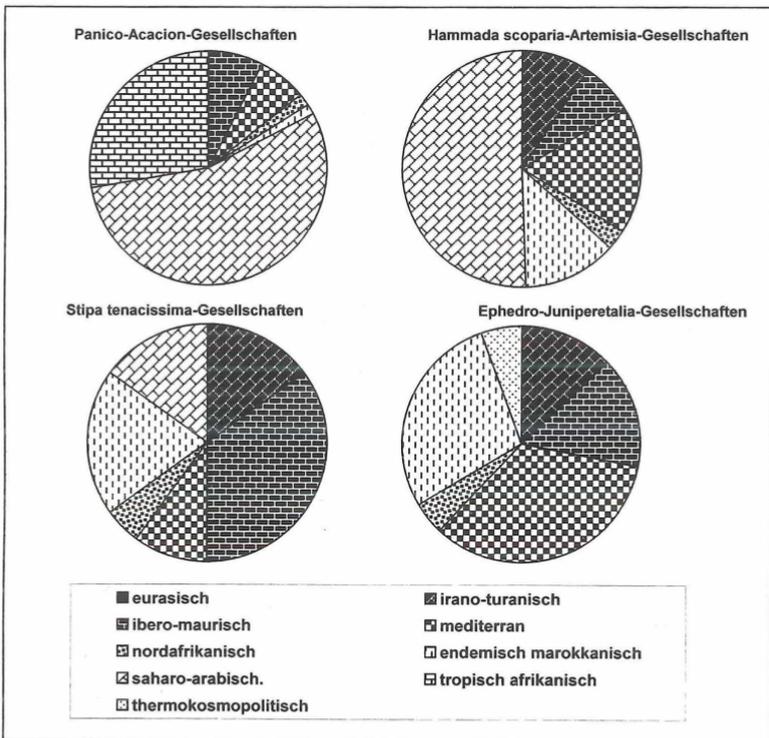


Abb. 2: Vorläufige Arealtypenspektren ausgewählter Vegetationseinheiten im Draa-Einzugsgebiet (unter Vernachlässigung der noch unbestimmten Arten).

der Atlasketten oder die oromediterranen Dornpolstergesellschaften noch überwiegend von mediterranen Arten mit einer starken Beimischung marokkanischer Endemiten dominiert werden, ändert sich bereits bei den *Stipa tenacissima*-Steppen das Bild. Die mediterranen Arten treten stark zurück, statt dessen machen iberomaurische und irano-turanische Florenelemente bereits die Hälfte des Artenspektrums aus, und der Anteil saharo-arabischer Arten ist bereits höher als der der mediterranen Florenelemente. Die Steppengesellschaften weiter südlich werden dagegen klar von der saharo-arabisch Wüstenflora dominiert, mit nach Süden zunehmendem Anteil von tropisch-afrikanischen Elementen. Dieser ausgeprägte florengeographische Wandel lässt uns daran zweifeln, dass die Auswirkungen der zunehmenden Degradation der Vegetation einfach durch eine "atlaswärts-gerichtete Verschiebung der Vegetationszonen" (QUEZEL et al 1994) zu beschreiben ist. Sehr viel wahrscheinlicher erscheint es uns, dass jede der Florenregionen ihre eigene floristische Reaktion auf den Degradationsdruck zeigt. Diese mögen sich zwar physiognomisch ähneln und zunehmend "wüstenähnlicher" aussehen, es bleiben aber vermutlich doch klar mediterran oder saharo-arabisch geprägte Ökosysteme.

## Mesoskala

Auf einer mesoskaligen Ebene, also der Ebene des Kleincatchments der jeweiligen Testsite, sollen Fragen der Verteilung der Arten auf die standörtliche Heterogenität der Fläche beantwortet werden. Die Verteilung der Arten wird durch Transektanalysen bestimmt. Diese Transekte werden mittels eines differentiellen GPS (Trimble Pathfinder pro XRS mit Omnistar Korrektursignal) aufgenommen. Kartierungseinheit sind Individuen der jeweils formationsbestimmenden und dominanten Arten. Die Abstände zwischen den einzelnen Transekten betragen rund 5 Meter. Die GPS-Daten ermöglichen eine relativ genaue geographische Ver-

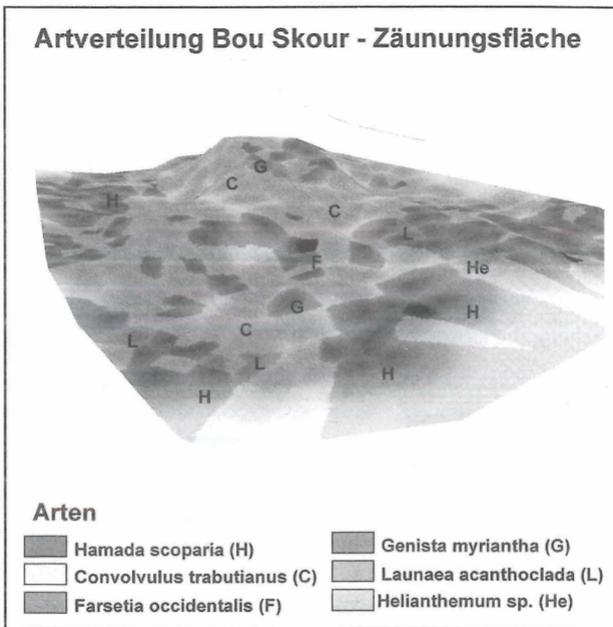


Abb. 3: Räumliche Verteilung der Arten innerhalb der Weideausschlussfläche Bou Skour, dargestellt durch Allokationsmuster und einer darunterliegenden Distanzmatrix.

ortung einzelner Individuen (die Genauigkeit liegt in einem Radius von 0.5 - 1 m). Überträgt man die Verteilung der Arten auf ein Höhenmodell, welches auf der Mesoskala ebenfalls mit dem dGPS aufgenommen wird, so lassen sich die Muster auch auf einer dreidimensionalen Oberfläche analysieren und interpretieren. Als Beispiele sind in Abb. 3 das Höhenmodell der Testsite von Bou Skour und die Artverteilung auf einer Teilfläche dargestellt. Abb. 4 zeigt das räumliche Muster der Arten in der Weideausschlussfläche der Testsite von Bou Skour.

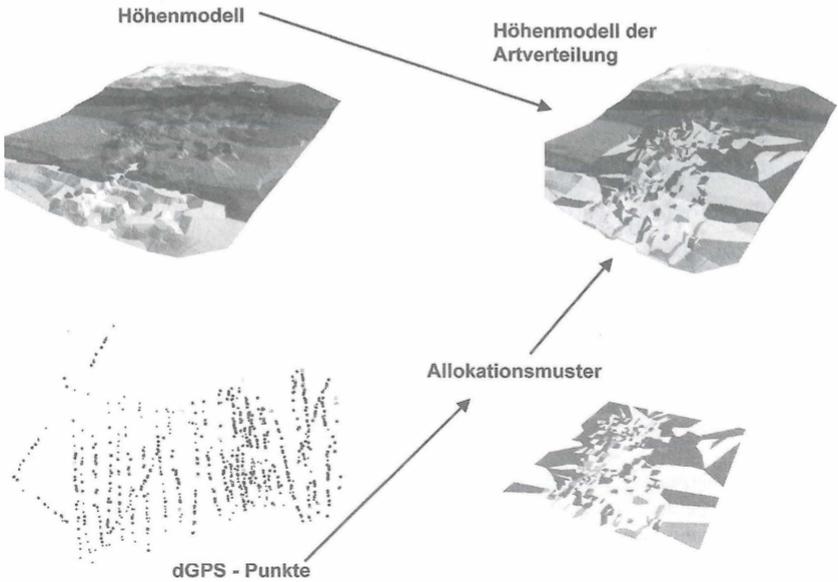


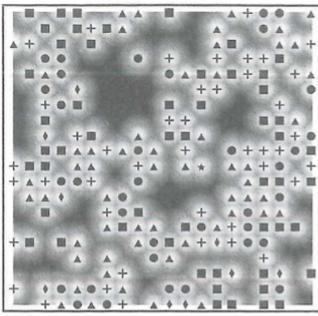
Abb. 4: Schema der Erstellung höhenmodellbasierter Artverteilungsmuster eines Kleincatchments (Testsite Bou Skour).

## Mikroskala

Mit der Anlage von Dauerbeobachtungsflächen (DB-Flächen) von jeweils 100 m<sup>2</sup> mit einem Aufnahmeraster von 0.25 m<sup>2</sup> wird einerseits versucht, die raumzeitliche Dynamik der Vegetation zu bestimmen und andererseits durch die parallele Anlage von DB-Flächen innerhalb und außerhalb von Ausschlusszäunen den Einfluss der Beweidung auf Biomasseproduktion und Vegetationsdynamik zu ermitteln. Durch individuengenaue Kartierung der DB-Flächen lassen sich auch räumliche Muster der Artverteilung auf einer Rasterbasis relativ einfach darstellen (vgl. Abb. 5). Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden 35 DB-Flächen auf zehn Testsites eingerichtet und einmal jährlich aufgenommen.

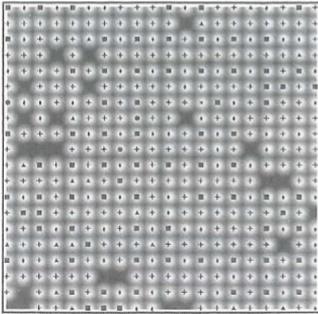
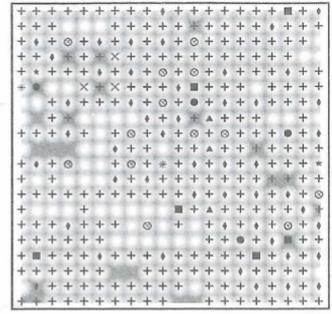
Die räumlich genaue Abbildung von Keimereignissen und die Dokumentation der Etablierungsraten von Keimlingen soll Aussagen über den Einfluss nicht-nischenbedingter Mechanismen, wie etwa "founder effects", in den beobachteten Artverteilungsmustern ermöglichen. Der Vergleich der aktuellen, also noch weidebedingten Artverteilung mit der Verteilung sich etablierender Jungpflanzen kann auch Aussagen über den Einfluss der Beweidung auf die räumliche Struktur der Vegetation ermöglichen.

Betrachtet man etwa das Muster der Artverteilung einer DB-Fläche in den Igelpolsterheiden des Hohen Atlas (Abb. 5), so zeigt das räumliche Muster eine zusammengedrückte Vegetation von zwischen- und durcheinander wachsenden Individuen verschiedener Arten. Das



Tizi-n-Tounsa

- + *Alyssum spinosum*
- *Bupleurum spinosum*
- *Cytisus balansae*
- ▲ *Erinacea anthyllis*
- \* *Iberis* sp.
- ↓ *Vella mairei*



Imeskar

- + *Artemisia herba-alba*
- *Carlina* cf. *corymbosa*
- *Genista myriantha*
- ▲ *Poaceae*
- \* *Lactuca* cf. *riviersii*
- ↓ *Teucrium polium*

Taoujalt

- + *Artemisia herba-alba*
- *Campanula* cf. *embergeri*
- *Carlina* cf. *corymbosa*
- ▲ *Echium* cf. *pycnanthum*
- \* *Poaceae*
- ↓ *Lactuca* cf. *riviersii*
- × *Petrorhagia illyrica*
- ⊕ *Salvia aegyptiaca*
- ⊙ *Teucrium polium*

Abb. 5: Artverteilungsmuster dreier Dauerbeobachtungsflächen in 0.25m<sup>2</sup>-Rastereinheiten. Links oben eine Igelpolsterheide im Hohen Atlas, links unten eine mediterran geprägte Wachholderheide, rechts eine irano-turanische Artemisia-Steppe.

Muster ist zwar aggregiert, aber relativ diffus zwischen den einzelnen Arten verteilt. Durch die Beobachtung der Vegetationsdynamik, vor allem von Etablierungsvorgängen, erhoffen wir uns Einsichten in die Ursachen dieser Aggregation und die Frage, in wie weit sie ein Effekt der Beweidung ist oder einen "natürlichen" Zustand darstellt, in dem sich Jungpflanzen im Schutz von Polstern entwickeln und diese später überwachsen.

Als Beitrag zu den ökologischen Profilen der Vegetationseinheiten wird auf den DB-Flächen auch eine Strategieanalyse der dominanten Arten in Bezug auf mechanische (Fraß, Tritt, Sandschliff, Bodenbewegung etc.) und klimatische Anpassungen durchgeführt.

## Abschließende Diskussion und Ausblick

### Diskussion

Die bisherigen Geländebefunde deuten stark darauf hin, dass die Vegetation der verschiedenen florengeographischen Großeinheiten unterschiedlich auf den einheitlich wirkenden Degradationsdruck durch Überweidung und Brennholznutzung reagiert. Während man beispielsweise in den mediterranen und irano-turanisch/ibero-maurischen Lebensgemeinschaften nur ausnahmsweise Verjüngung von Gehölzarten vorfindet, etwa von *Juniperus*-Arten oder von *Quercus rotundifolia*, scheinen *Acacia raddiana* und *A. ehrenbergiana* in den rand-saharischen Naturräumen überhaupt keine Regenerationsprobleme zu haben (QUEZEL et al. 1995). Ähnliches gilt für die großen Horstgräser: während z.B. die ibero-maurische *Stipa tenacissima* offenbar in weiten Bereichen ihres ursprünglichen Verbreitungsgebietes stark zurückgedrängt bis vollständig verschwunden ist, dominiert das saharo-arabische *Panicum*

*turgidum* ohne sichtbare Beeinflussung die *Acacia*-Wadis am Südrand des Untersuchungsgebietes. QUEZEL et al. (1994, S. 579) kommentieren ähnliche Beobachtungen mit der Bemerkung, "dass der Zustand der Vegetation in der saharischen Region (Marokkos) paradoxer Weise oft zufriedenstellend sei".

Unsere Arbeitshypothese ist, dass die winterregengeprägten Lebensgemeinschaften in stärkerem Maße von Degradationserscheinungen verändert wurden als die saharo-arabischen Halbwüstenökosysteme. Wir führen dies auf die schnellere Reaktionsfähigkeit der einerseits an Regenfälle zur warmen Jahreszeit angepassten, andererseits mit stärkeren interannuellen Niederschlagsschwankungen konfrontierten saharo-arabischen Halbwüstenvegetation zurück (vgl. auch QUEZEL et al. 1994). Rasche Reetablierung in Gunstperioden ist eine notwendige Strategie für diese Taxa, während die an regelmäßigeren Winterregen angepassten Arten eher Beharrungsstrategien zeigen. Bei kontinuierlich anhaltendem Degradationsdruck endet diese Strategie jedoch in einer Sackgasse, die den Ausfall vieler sensiblerer Arten verursachen kann. Das transektororientierte Versuchsdesign mit eingezäunten und ungezäunten Dauerbeobachtungsflächen wird es mittelfristig erlauben, den floristischen Wandel auf den Monitoringflächen zu quantifizieren und damit diese Arbeitshypothese zu überprüfen.

## Ausblick

Eines der Hauptziele des IMPETUS-Projektes ist die raumbezogene Modellierung der für den Gebietswasserhaushalt relevanten Parameter auf unterschiedlichen Skalen. Dies soll für die Vegetation auf zwei Skalenebenen geschehen:

Die in den Dauerbeobachtungsflächen aufgenommenen vegetationsdynamischen Daten sollen für nachfolgende Modellierungen der Vegetationsentwicklung als Eingangsparameter verwendet werden. So können etwa jährliche Zuwachsraten und Biomasseproduktion, Blüh- und Fruchtfrequenzen, Keimung und Keimlingsetablierung der einzelnen Arten zusammen mit abiotischen Faktoren in Simulationsmodellen auf der Basis eines zellularen Automaten verrechnet werden. Das  $0.25\text{m}^2$  - Raster der DB-Flächen würde dann den Zellen eines zellularen Automaten als Grundeinheit entsprechen. Eine Fortschreibung der zeitlich beschränkten Beobachtungen durch Simulationen wird eine genauere Interpretation der aktuell beobachteten Muster auf den Flächen und ihrer zugrunde liegenden Mechanismen ermöglichen.

Für die Modellierung der Vegetationsentwicklung des Gesamtgebietes wird die Vegetationskarte in Verbindung mit der ökologischen Profilbildung der Gesellschaften herangezogen werden. Mit den aus meteorologischen Modellrechnungen resultierenden klimatischen Veränderungstrends können Szenarien der räumlichen Verschiebung von Klimafaktoren beschrieben werden. Auf dem digitalen Geländemodell können dann für definierte Szenarien die Existenzbereiche der einzelnen Vegetationseinheiten neu berechnet werden. In entsprechender Weise können auch Szenarien der zukünftigen Landnutzungsmuster räumlich extrapoliert und ihre Auswirkung auf die Vegetation modelliert werden.

## Literatur

- ATSATT, P.R. & O'DOWD, J. (1976): Plant defense guilds: many plants are functionally independent with respect to their herbivores. - *Science* **193**: 24-29.
- BENNOUNA, T. & NEJMEDDINE, M. (2000): Innovative Evaluation of Field and Spatial Remote Sensing Data for Analysis of Vegetation Bio-types in Arid Rangelands, Taznakht, Moroccan Anti-Atlas. - *Arid Soil Research and Rehabilitation* **14**: 69-85.
- CONNELL, J.H. (1978): Diversity in tropical rain forests and coral reefs. - *Science* **199**: 1302-1310.
- DELANNOY, H. (1998): Les variations des précipitations du Maroc du Centre-ouest. - *Méditerranée* **88**: 11-17.

- DE ANGELIS, D.L. & WATERHOUSE J.C. (1987): Equilibrium and nonequilibrium concepts in ecological models. - *Ecol. Monogr.* **57**: 1-21.
- FOWLER, N. (1986): Density-dependent population regulation in a Texas grassland. - *Ecology* **67**: 545-554.
- FOWLER, N. (1988): What is a safe site?: neighbour, litter, germination date, and patch effects. - *Ecology* **69**: 947-961.
- GIGON, A. & RYSER, P. (1986): Positive Interaktionen zwischen Pflanzenarten.-I.Definition und Beispiele aus Grünland-Ökosystemen. - Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel **87**: 372-387.
- HAY, M.E. (1986): Associational plant defenses and the maintenance of species diversity: turning competitors into accomplices. - *American Naturalist* **128**: 617-641.
- IMPETUS (1999): Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika: Fallstudien für ausgewählte Flusseinzugsgebiete in unterschiedlichen Klimazonen. - Projektantrag an das BMBF. Universität zu Köln/Universität Bonn.
- LE HOUÉROU, H. (1995): Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique.- Diversité biologique, développement durable et désertisation. - Options méditerranéennes Serie B: Etudes et recherches **10**. CIHEAM, Montpellier.
- MCAULIFFE, J.R. (1984): Sahuaro-nurse tree associations in the Sonoran Desert: competitive effects of sahuaros. - *Oecologia* **64**: 319-321.
- OUASKIOUD, D. (1999): Contribution à l'étude de la dynamique de la végétation steppique après une mise en défens de longue durée: cas de la station d'amélioration pastorale Anbad Boumalne Dades (Ouarzazate). - Thèse Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Rabat.
- PALMER, M.W. (1994): Variation in species richness: towards a unification of hypothesis. - *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* **29**: 511-530.
- QUEZEL, P. & BARBERO, M. (1993): Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le Pliocène: enseignements de la flore et de la végétation actuelles. - *Bull. Ecol.* **24** (2-3-4): 191-202.
- QUEZEL, P., BARBERO, M., BENABID, A. & RIVAS-MARTINEZ, S. (1994): Le passage de la végétation méditerranéenne à la végétation saharienne sur les revers méridional du Haut Atlas oriental (Maroc). - *Phytocoenologia* **22** (4): 537-582.
- QUEZEL, P., BARBERO, M., BENABID, A. & RIVAS-MARTINEZ, S. (1995): Les structures de végétation arborées à *Acacia* sur le revers méridional de l'Anti-Atlas et dans la vallée inférieure du Draa (Maroc). - *Phytocoenologia* **25** (2): 279-304.
- ROBINSON & WILSON (1998): Optimal foraging, specialization and a solution to Liem's paradox. - *American Naturalist* **151**: 223-235.
- RYSER, P. (1990): Influence of gaps and neighbouring plants on seedling establishment in limestone grassland. - Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel **104**: 71S.
- SUZÁN, H., NABLAN, G.P. & PATTEN, D.T. (1996): The importance of *Olneya tesota* as a nurse plant in the Sonoran desert. - *J. Veg. Sci.* **7**: 635-644.
- WARD, M., LAMB, P., PORTIS, D. & EL HAMLÍ, M. (1998): Climate variability in Northern Africa: Understanding droughts in the Sahel and the Maghreb. - in: NAVARRA, A.: BEYOND EL NIÑO: Decadal variability in the climate system. Springer-Verlag.
- YODZIS, P. (1978): Competition for space and the structure of ecological communities. - *Lecture Notes in Biomathematics* **25**, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

## Danksagung

Die vorgestellten Untersuchungen werden dankenswerterweise vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter der Fördernummer 07 GWK 02 sowie vom Ministerium für Erziehung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen unter der Fördernummer 514-21200200 gefördert. Prof. Dr. Norbert Jürgens unterstützt und begleitet die Arbeiten kontinuierlich durch fachliche Beiträge sowie die logistische und personelle Infrastruktur der Abteilung Systematik am Institut für Allgemeine Botanik.

Anschrift der Verfasser: Institut für Allgemeine Botanik, Universität Hamburg, Ohnhorststraße 18, D-22609 Hamburg.

E-mail: [mfinckh@botanik.uni-hamburg.de](mailto:mfinckh@botanik.uni-hamburg.de); [staudinger@botanik.uni-hamburg.de](mailto:staudinger@botanik.uni-hamburg.de)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [14](#)

Autor(en)/Author(s): Finckh Manfred, Staudinger Markus

Artikel/Article: [Mikro- und makroskalige Ansätze zu einer Vegetationsgliederung des Draa-Einzugsgebietes \(Südmorokko\) 81-92](#)