Halophytenvegetation an den Küsten der Arabischen Halbinsel - kleinräumige edaphische Zonierung und großräumige klimabedingte Differenzierung

ULRICH DEIL

Abstract: Halophilous vegetation along the Arabian coasts - small scale edaphic zonation and large scale climatically induced differentiation

After an introduction into the climatic and phytochorological differentiation of the Arabian Peninsula and some hints at regional vicariants within selected genera, we study the effect of edaphic and climatic gradients for the halophytes. The main question is: How does the coastal vegetation, often regarded as azonal, change when passing from the holarctic to the paleotropical kingdom? Data from coastal-inland-transects ar handled like Sigma-relevés.

A review of already published coastal-inland-transects is followed by the presentation of the hitherto unknown series at the Yemeni Red Sea coast. The sequence is: Avicennietum marinae, Aeluropo lagopoidis-Suaedetum fruticosae, Odysseo mucronatae-Suaedetum fruticosae.

The climazonal linkage of keystone species of the Arabian coastal vegetation results in similar chorological patterns of many plant communities. Only the two hygrohalophilous associations Avicennietum marinae and Halopeplidetum perfoliatae are of nubo-circumarabian distribution. They characterize the Arabian coastal vegetation mosaic in general. A climagenetic differentiation is already visible in the coastal dune vegetation. Three types of catenal vegetation mosaics (geosigmeta) can be distinguished:

- 1. The Zygophyllum qatarense-geosigmetum along the Eastern coast with a northern subtype at the Persian Gulf and a southern one at the Gulf of Oman: The first one is characterized by iranoturanian geoelements and the north-arabian Halocnemion strobilacei-communities. This area gets rain in winter and it is subjected in the cooler season to the influence of extratropical continental air from the Iranian highland and of maritime airmasses from the Mediterranean basin. A character community of the second subtype is the Sphaerocometum aucheri, an association with omano-macranian distribution. Its synareal is frost-free and has a tendency to summer rain.
- 2. The *Odyssea mucronata*-geosigmetum: The Odysseo-Suaedetum fruticosae and the Aeluropo-Suaedetum are typical units within the coastal vegetation mosaic in the southwestern corner of the Arabian Peninsula. The northern fringes of the Indian monsoons cause a summer maximum of precipitation there.
- 3. The Zygophyllum album-geosigmetum is of Nubian distribution: Its character communities belong to the alliances Zygophyllion albi, Halocnemion strobilacei and Nitrarion retusae.

The syntaxonomical scheme must be regarded as preliminary. If the Juncetea maritimi are defined as a mediterranean-atlantic class, the Aeluropion lagopoidis cannot be included here. It is, on the contrary, the type-alliance of the Sporobolo-Aeluropetalia. The mediterranean-atlantic class Salicornietea fruticosae is replaced in the saharo-arabian region by the Halopeplido-Suaedetea. The xerohalophilous communities of the Salsolo-Suaedetalia colonize the coastal dunes in the southern part of Arabia. They can be subdivided into the alliances Sphaerocomion aucheri and Odysseion mucronatae.

1. Einleitung

Die halophile Küstenvegetation gilt als Paradebeispiel für Zonierung entlang eines Gradienten vom Meer zum Land. Auch um binnenländische Salzstellen entstehen oft sehr regelmäßige Zonationskomplexe. Als wichtigster differenzierender Faktor wirkt dabei an den europäischen und nordafrikanischen Küsten das Mikrorelief, welches an Watt-Küsten die Frequenz und Dauer der Überflutung bestimmt. An Sandküsten wirkt insbesondere die Windbelastung. Letztere wirkt direkt, z.B. über die Mobilität des Substrates, oder indirekt, z.B. über die Salzgischt. Tritt ein solches Differenzierungsmuster auch in Arabien auf? Auch dort sollte das Kleinrelief über die Sekundärparameter Wasserverfügbarkeit, Bodenentwicklung, Salzgehalt und Korngröße der Sedimente das räumliche Verteilungsmuster der Pflanzen steuern. Der kleinräumigen floristischen und ökologischen Zonierung soll an einigen feuchten und trockenen Haloserien nachgegangen werden. Die ausgewählten Beispiele liegen an der Westküste Arabiens am Roten Meer, an der Südküste zum Golf von Aden und an der Ostküste der Halbinsel am Persischen Golf.

Eine zweite Frage betrifft die großräumige Differenzierung. Küstenvegetation gilt als Lehrbuchbeispiel für azonale Vegetation, d.h. daß ihr Auftreten zwar einerseits an edaphische Sonderstandorte gebunden ist, andererseits ihre Verbreitung über Klimazonen und pflanzengeographische Regionen hinweg geht. Das Untersuchungsgebiet, die Arabische Halbinsel, liegt im Übergangsbereich vom holarktischen zum paläotropischen Florenreich und im Klimagradienten von einem Winterregengebiet mit gelegentlichen Frösten zu einem absolut frostfreien Sommerregengebiet. An diesem Raum und seiner Halophytenvegetation kann daher untersucht werden, ob die Vegetationstypen azonal sind in dem Sinne, daß sie in gleicher Ausbildung rings um die Arabische Halbinsel vorkommen oder ob es pflanzengeographisch bedingte Unterschiede gibt? Im Einzelnen ist dabei zu fragen: Unterschiedet sich die Halophytenvegetation in der Nordhälfte der Arabischen Halbinsel von der in der Südhälfte? Tritt neben dem Nord-Süd-Wandel auch ein Gegensatz zwischen dem Roten Meer im Westen und dem Persischen Golf im Osten auf? Reagieren Hygrohalophyten auf die Klimagradienten anders als Xerohalophyten? Wirkt das Klima stärker differenzierend, je weiter man sich von der Küste landeinwärts bewegt? Diese Fragen sollen auf der Basis der verfügbaren Publikationen angegangen werden.

2. Das Untersuchungsgebiet

Edaphische Differenzierung: Gegenstand der Untersuchung sind die salzbeeinflußten Ökosysteme und ihre Vegetation an den Küsten der Arabischen Halbinsel in der aus Abb. 1 ersichtlichen Abgrenzung. Vier wichtige Küstentypen können unterschieden werden:

- 1. Ästuare (arabisch "Khor") und Flachküsten mit Salzmarschen und Mangroven-Gebüschen (periodisch feuchte Küstenökosysteme).
- 2. Flache Depressionen mit Tonsedimenten (Sabkhas) und versalztem Oberboden.
- 3. Küstendünen (trockene Küstenökosysteme).
- 4. Felsküsten.

Da eine Ausgleichsküste mit quartären Sedimenten überwiegt (siehe Abb. 3.3 bei GUBA & GLENNIE 1998), sind die Systeme 1 – 3 die häufigsten Küstentypen in Arabien. Sie wechseln sich sowohl in der westlichen Küstenebene am Roten Meer (Tihamah), der südlichen Ebene am Golf von Oman (Batinah) und entlang der Küste des Persischen Golfes ab. Felsküsten gibt es nur in kleinen Abschnitten am Sinai und auf der Musandam-Halbinsel und ihre Vegetation ist nur wenig bekannt. Sie bleibt daher im weiteren unberücksichtigt. Dies gilt auch für die artenreichen Algengesellschaften, die in den oft als "vegetationslos" oder "steril" bezeichneten Sabkhas leben (siehe Fig. 9.5 in SHEPPARD ET AL. 1992). Nicht diskutiert werden ferner die marinen Pflanzengesellschaften (Algen

und Seegräser) unterhalb der Niedrigwasserlinie (siehe hierzu DEIL 1998). Der Beitrag konzentriert sich auf die terrestrische Phanerogamenvegetation, schließt aber die Mangrovebestände im Gezeitenbereich mit ein.

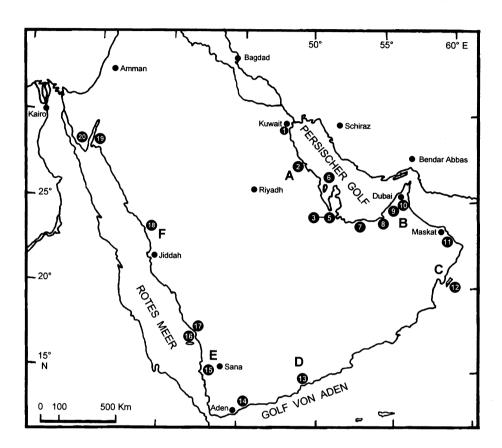


Abb. 1: Untersuchungsraum, Lokalisierung der berücksichtigten Feldstudien (Spalten 1-20 in Tab. 2) und Lage der beschriebenen Zonationen (A-F).

Klimatische Differenzierung: Vier Luftmassen bestimmen die Genese des Klimas der Arabischen Halbinsel (siehe Abb. 2.1 bei FISHER & MEMBERY 1998):

- 1. Außertropische, maritim getönte Subtropenluft aus dem Mittelmeerraum.
- 2. Randtropische, trockene Festlandsluft aus der Absinkbewegung der Headley-Zelle über der östlichen Sahara und der Arabischen Halbinsel selbst.
- 3. Außertropische Festlandsluft, welche vom Iranischen Hochland Richtung Persischer Golf strömt.
- 4. Tropische maritime Luftmassen, welche als Ast des Indischen Sommermonsuns gegen die Südostküste der Halbinsel geführt werden.

Die Luftmasse 2 bestimmt fast ganzjährig das Zentrum der Halbinsel und führt zu perariden, heißen Bedingungen. Die Bedeutung der anderen drei Luftmassen wechselt im Laufe des Jahres durch die

122 Ulrich Deil

globale Verschiebung der Luftdruck- und Windgürtel (siehe hierzu die Klimadiagramme, Abb. 2.6 und die Quartalsverteilung der Niederschläge, Abb. 2.11 bei FISHER & MEMBERY 1998). Die Luftmasse 1 dringt im Winterhalbjahr bis etwa 17° n.Br. nach Süden vor und bringt dort Niederschläge, die Luftmasse 3 dringt ebenfalls im Herbst und Winter stärker nach Süden vor. Diese ursprünglich schon trockene Kontinentalluft wird durch den Föhneffekt der Zagrosketten noch trockener. Die Anfeuchtung über dem Persischen Golf ist nur schwach. Diese Nordostströmung bringt daher nur an orographischen Hindernissen wie im nördlichen Omangebirge Niederschläge. In der Südwestecke der Arabischen Halbinsel führen die Ausläufer des Indischen Monsuns (Luftmasse 4) und Lokalzirkulationen im Rotmeergraben zu Sommerregen. Dort liegt auch insgesamt das Maximum der Niederschläge. Es beträgt im Küstenraum im Mittel aber immer noch weniger als 150 mm im Jahr (Abb. 2.7 bei FISHER & MEMBERY 1998). Eine wichtige Klimagrenze ist die zwischen Sommer- und Winterregen (siehe Abb. 4.2.d bei KÜRSCHNER 1998), eine andere der absolut frostfreie Bereich. Letzterer hat in den Küstenräumen seine Nordgrenze am Roten Meer bei ca. 27° n.Br., am Persischen Golf einige hundert Kilometer weiter südlich bei ca. 24° n.Br. (siehe Abb. 2.9 bei FISHER & MEMBERY 1998 sowie den Verlauf der Tropengrenze bei TROLL & PAFFEN 1965). An beide Klimagrenzen lehnen sich viele Verbreitungsgrenzen von Pflanzenarten an.

Pflanzengeographische Differenzierung: Die Arabische Halbinsel liegt im Übergangsbereich zwischen dem holarktischen und dem paläotropischen Florenreich. Zu ersterem gehören die mediterranen und irano-turanischen, zu letzterem die sahelischen und sudanesischen Geoelemente. Dazwischen schieben sich die saharo-arabisch-sindisch verbreiteten Arten, die ihren Verbreitungsschwerpunkt im altweltlichen Trockengürtel selbst haben. Dieser wird mal ganz der Holarktis, mal ganz der Paläotropis zugeordnet, bei manchen Florengliederungen auch mittig auf beide aufgeteilt, und es gibt schließlich das Konzept eines eigenständigen saharo-arabischen Florenraumes. Bei KÜRSCHNER (1998, Abb. 4.2.a-c) sind einige Gliederungen gegenübergestellt.

Die unterschiedlichen Gliederungen kommen dadurch zustande, daß Aspekte wie Abstammung der Arten, Lebensformen und Stenochorie von den Autoren unterschiedlich berücksichtigt werden. Werden alle Arten gleich gewichtet, so tritt das saharo-arabische Element mit seiner Vielzahl an Therophyten und Chamaephyten besonders hervor. Berücksichtigt man die Lebensformen, so stellt man fest, daß die verholzten Arten stark auf thermische Faktoren ansprechen und die sudanesischen Elemente deshalb in den frostfreien Tieflagen des Roten und Toten Meeres weit nach Norden vorstoßen (dort oft als Relikte einer Pluvialzeit gedeutet), mediterrane Gehölze und Hemikryptophyten in den Hochlagen des Westlichen Arabischen Randgebirges weit nach Süden. Die Therophyten sprechen insbesondere auf den Niederschlagsrhythmus an und ihre Verbreitungsgrenzen folgen oft der Grenze Sommer-Winterniederschläge. Bei manchen chorologischen Analysen (z.B. zur klimagesteuerten Differenzierung der Wadivegetation in der Östlichen Ägyptischen Wüste (FOSSATI ET AL. 1998)) werden die Annuellen bewußt ausgeklammert, zumal ihre Erfassung wegen der erratischen Niederschläge recht zufallsbedingt ist.

Da die Halophyten überwiegend perenn sind und in ihrer Wasserversorgung weniger von den Niederschlägen als von Grund- bzw. Zuflußwasser abhängen, dürften ihre Verbreitungsgrenzen stärker thermisch als hygrisch bestimmt sein.

Legt man die weitgehend deckungsgleichen pflanzengeographischen Gliederungen von LEONARD (1989, Fig. 4 und Tab. 5) und KÜRSCHNER (1986a) zugrunde, so gehört der südliche Teil der Rotmeerküste und die Küste entlang des Golfes von Aden und der Arabischen See zum Somali-Massai-Endemismenzentrum (weitgehend identisch mit der Eritreo-Arabischen Region sensu ZOHARY 1973), alle übrigen Küsten innerhalb der Saharo-Sindischen Region zum Nubo-Sindischen Endemismenzentrum. Dieses gliedert sich weiter in eine westliche Nubische Subprovinz mit den Küsten beiderseits des nördlichen Rotmeergrabens vom Sinai bis etwa nach Jiddah und eine östliche Omanisch-Makranische Subprovinz mit den Küsten beiderseits des Golfes von Oman und des Persischen Golfes. Es wird zu untersuchen sein, inwiefern diese chorologische Gliederung, die sich etwa bei der

glycophilen Sanddünenvegetation zeigt (MANDAVILLE 1998, Fig. 8.6), auch für die Halophyten gilt oder ob diese ganz anderen Mustern folgt.

3. Kenntnisstand und methodischer Ansatz

Arabia's coasts are intermittently fringed with a rich halophytic vegetation of tropical nature very little of which has so far been investigated (ZOHARY 1973).

Seit dem Statement von ZOHARY (1973) hat sich der Kenntnisstand entscheidend verbessert. Die Halophytenvegetation gehört zu den am häufigsten und am besten untersuchten Vegetationstypen Arabiens. Hierfür gibt es insbesondere drei Gründe: Sie kann ganzjährig studiert werden, sie ist von weidewirtschaftlichem Interesse und die Zusammenhänge zwischen Vegetation und Umwelt sind besonders klar. Auch die Mehrzahl der Naturschutz- und Nationalparkgebiete auf der Arabischen Halbinsel dient dem Schutz der Küstenökosysteme (siehe Abb. 12.2 bei FISHER et al. 1998).

Abiotische Daten wurden allerdings nur in einer begrenzten Anzahl von Untersuchungen erhoben. Ein Überblick über die verfügbaren vegetationskundlichen Publikationen und deren Untersuchungslokalitäten gibt Abb. 1. Die chorologische Analyse stützt sich vor allem auf die Auswertung allgemeiner Floren (MILLER & COPE 1996, BATANOUNY 1981, MANDAVILLE 1990, WOOD 1997) und einiger Spezialarbeiten (BOULOS 1978, 1991a, 1991b, 1991c, 1992, COPE 1992, FREITAG 1989, 1991). Die Nomenklatur der Arten folgt MILLER & COPE (1996), MANDAVILLE (1990) und WOOD (1997) (in dieser Reihenfolge).

Die meisten Autoren erarbeiteten floristisch-soziologisch definierte Vegetationstypen. Die Gesellschaften sind meist artenarm, oft sogar monospezifisch. Eine Auswertung des verfügbaren Aufnahmematerials stößt auf zwei Schwierigkeiten:

- 1, Die etwas verschiedenen Homogenitätsanforderungen bei den verschiedenen Autoren.
- 2. Ungelöste oder erst in jüngster Zeit geklärte taxonomische Probleme in wichtigen Gattungen wie Limonium, Salsola (BOULOS 1991a, FREITAG 1997), Suaeda (BOULOS 1991b), Sporobolus (COPE 1992) und Zygophyllum (BOULOS 1987). Dies erlaubt es manchmal nicht zu entscheiden, welcher Name für welches Taxon in den Publikationen verwendet wurde. Die Angaben zu den Chenopodiaceen wurden mit den Verbreitungsangaben bei FREITAG (1989, 1991) und den Karten in MILLER & COPE (1996) verglichen. Da diesen Arbeiten die gründlichste und stringenteste Prüfung allen verfügbaren Herbarmaterials zugrundeliegt, werden bei Diskrepanzen mit den vegetationskundlichen Publikationen (seien es dort Fehlansprachen oder die Verwendung unklarer Namen) diese Angaben in den Tabellen mit Fragezeichen geführt. Eindeutige Synonyme wurden zusammengeführt (siehe auch die Liste im Anhang von Tab. 2).

Die Tatsache, daß von manchen Autoren nur die ausdauernden Arten erfaßt wurden, stellt insofern kein großes Problem dar, da die Gliederung und Typisierung auf eben diesen Arten aufbaut. In den meisten Publikationen wurden ranglose "communities" beschrieben. Es wird geprüft, inwieweit sich diese Vegetationseinheiten als Assoziationen im Sinne des Pflanzensoziologischen Code (BARKMAN et al. 1986) fassen und in ein hierarchisches System eingliedern lassen.

Zonation oder mosaikartige Durchdringung verschiedener Pflanzengesellschaften sind Kennzeichen der Halophytenvegetation. Dieser Mosaikcharakter zeigt sich insbesondere in Vegetationskarten aus den Küstenräumen (siehe z.B. Fig. 9.5, 9.7 und 9.9 bei DEIL 1998). Die meisten Autoren haben ihre

Daten deshalb als kontinuierliche oder diskontinuierliche Transektaufnahmen erhoben. Auch hier werden exemplarisch einige Küsten-Inland-Transekte vorgestellt (Kap. 4.2., Tab. 1), weitere finden sich bei DEIL (1998, Kap. 9.5 und Fig. 9.4, 9.6 und 9.8) und in der im Anhang zu Tab. 2 aufgeführten Literatur.

Die Daten des einzelnen Transektabschnittes sind z.T. nicht wie solche von pflanzensoziologischen Aufnahmen zu verwenden, da oft das Minimumareal unterschritten wird oder das Homogenitätskriterium nicht erfüllt ist (z.B. wenn der Transektabschnitt den Übergang zwischen zwei Vegetationstypen erfaßt). Die Daten der Gesamttransekte sind jedoch geeignet, eine grobe Vorstellung von den Vegetationskomplexen zu gewinnen. Man kann nämlich ein Gesamttransekt wie eine Sigma-Aufnahme behandeln. Die tabellarische Auswertung vieler solcher Transektaufnahmen erlaubt zu erkennen, ob es wiederkehrende räumliche Muster von Vegetationstypen gibt, obwohl die Ausgangsdaten Arten und nicht Gesellschaften sind. Dies ist deshalb möglich, da etliche der Arten zugleich für eine (oft einartige!) Assoziation stehen. Da die Zonierung räumlich meist recht stabil ist und die Vegetationseinheiten in einem räumlichen, aber nicht in einem syndynamischen Zusammenhang stehen, sind die Resultate einer solchen Tabelle (Tab. 2) catenale Vegetationskomplexe.

4. Ergebnisse

4.1. Aufbauende Arten: Lebensform, Ökophysiologie und Verbreitung

Lebensformen: Die Schlüsselarten in den salinen Ökosystemen Arabiens sind fast ausschließlich ausdauernd (einige Vertreter werden bei DEIL 1998 (Fig. 9.2), viele weitere bei COLLENETTE 1985 illustriert). Vorherrschende Lebensformen sind sukkulente Halbsträucher wie z.B. Halopeplis perfoliata (Chenopodiaceae), Seidlitzia rosmarinus (Chenopodiaceae), Zygophyllum spp. (Zygophyllaceae) und Limonium spp. (Plumbaginaceae), ausläuferbildende Gräser mit stechenden Blättern wie Sporobolus spp. (Abb. 2), Aeluropus spp. (Poaceae) und horstbildende Grasartige wie Odyssea mucronata (Poaceae) (Abb. 3) und Juncus arabicus (Juncaceae). Annuelle Sukkulente, die an Küsten der temperaten Klimazone eine häufige Lebensform darstellen, sind eher die Ausnahme, kommen jedoch auch vor, wie z.B. Bienertia cycloptera (Chenopodiaceae) und Zygophyllum simplex (Zygophyllaceae).

Systematisch gehören die Matrixarten zu einigen wenigen Familien. Sie sind entweder obligate Halophyten wie die Vertreter der Chenopodiaceen, Frankeniaceen, Zygophyllaceen und Plumbaginaceen oder salztolerante Gattungen aus unspezialisierten Familien wie *Sporobolus* und *Aeluropus* (Poaceae) oder *Avicennia* (Verbenaceae).

Ökophysiologie: Ökophysiologische Untersuchungen an Kennarten der Arabischen Halophytenvegetation konzentrieren sich auf die Keimungsbiologie und den Photosyntheseweg. Beide Aspekte sind wichtig für ein besseres Verständnis der Einnischung der Arten in lokalen ökologischen Gradienten. Man erfährt hierdurch etwas über die Strategie sowohl in der generativen als auch in der vegetativen Phase des Lebenszyklus. Die Keimungsphysiologie von Zygophyllum qatarense wurde von ISMAIL (1983, 1990) und ISMAIL & EL-GHAZALY (1990) untersucht. Eine hohe Temperatur und ein hoher Salzgehalt reduzieren die Keimrate. Es handelt sich aber offenbar nicht um eine Salzstress-induzierte Dormanz, sondern die Wasseraufnahme durch die Keimlinge wird durch ein hohes osmotisches Potential der Bodenlösung verhindert. Die Keimung wird damit passiv verzögert bis zur etwas kühleren und feuchteren winterlichen Jahreszeit, wenn die Salze wenigstens teilweise aus der Wurzelzone der Keimlinge ausgewaschen sind. Der Bodenwassergehalt steuert ferner die Blattmenge und auch die Blattstruktur der adulten Individuen.

Eine ähnliche Keimungsstrategie beobachtet man auch bei anderen Arten wie Aeluropus lagopoides (MAHMOUD 1984), Halopeplis perfoliata und Limonium axillare (MAHMOUD et al. 1983). Auch diese Arten haben keine Dormanz und können über eine weite Temperaturspanne keimen. Ein hoher

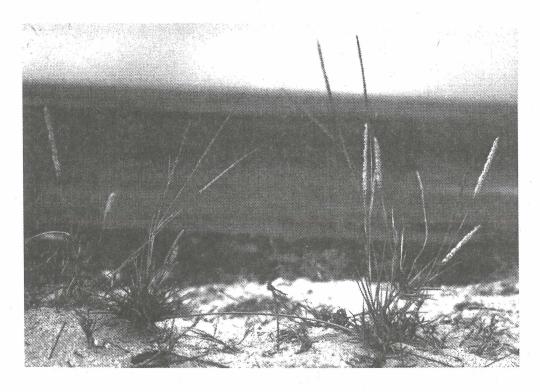


Abb. 2: Sporobolus spicatus an der Küste des Roten Meeres.

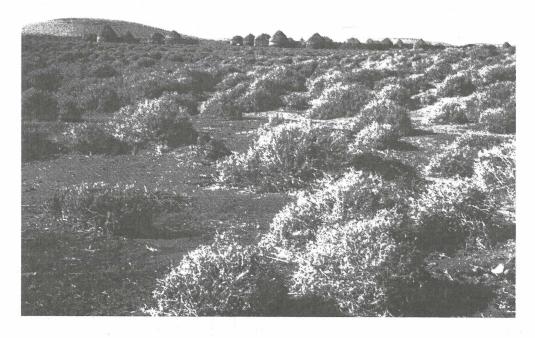


Abb. 3: Odyssea mucronata an der Rotmeerküste bei Mokha (Jemen).

ULRICH DEIL

Salzgehalt unterdrückt die Keimung. Die Salztoleranz der Keimlinge ist erheblich niedriger als der mittlere Salzgehalt in den Bodenproben. Eine generative Reproduktion ist also nur in der Regenzeit möglich nach einer teilweisen Auswaschung der Salze aus dem Oberboden. Aeluropus lagopoides reproduziert sich überwiegend vegetativ durch Ausläuferbildung. Die vegetativ gebildeten Pflanzen scheinen weniger empfindlich auf hohen Salzgehalt zu reagieren.

Dem Zusammenhang zwischen Salz- und Trockenstress und dem Photosyntheseweg bei den aufbauenden Arten in Salzmarschen gingen FREY et al. (1984, 1985) bei Jiddah und BABIKIR & KÜRSCHNER (1992) in Qatar nach. Die Zuordnung zum C₄-Photosyntheseweg erfolgte über die Feststellung des Kranz-Syndroms und die Delta ¹³C-Werte. Den C₃-Weg zeigen Hygrohalophyten und Mesohalophyten wie Avicennia marina und Halopeplis perfoliata, den C₄-Weg beobachtet man vor allem bei Xerohalophyten (Atriplex, Suaeda) und Salzgischt-toleranten Gräsern (Aeluropus, Halopyrum). Bei guter Wasserversorgung und hoher Salzbelastung überwiegen also C₃-Arten, die dann weitere Anpassungen wie Salzsekretion oder Salzakkumulation zeigen. Bei Salz- und (wenigstens zeitweilig) gleichzeitigem Trockenstress überwiegt der C₄-Photosyntheseweg. Die tiefwurzelnden C₄-Pflanzen scheinen einen Vorteil zu haben in der Übergangszone zwischen den Hygrohalophyten und den aridoaktiven nichthalophilen Pflanzen. Ferner spielt offensichtlich die Familienzugehörigkeit eine wichtige Rolle. C₄ ist bei Poaceen (Aeluropus, Halopyrum, Sporobolus, Panicum) und Cyperaceen (Cyperus) zu beobachten. C₃ tritt bei Fabaceen (Lotus garcinii, Taverniera ssp.), Zygophyllaceen (Zygophyllum), Plumbaginaceen (Limonium) und Caryophyllaceen (Sphaerocoma) auf.

Zur thermischen Valenz der Halophyten und einer etwaigen Frostlimitierung der Keimlinge oder Adulten gibt es so gut wie keine autökologischen Untersuchungen, ebensowenig zu ihrer Reaktion auf Temperatur- und Niederschlagsrhythmik. Solche Daten wären aber nötig zur Erklärung des großräumigen Auftretens bzw. Fehlens der Arten. Man bleibt zunächst auf die aus dem Arealbild abgeleitete Interpretation angewiesen. Wie verhalten sich die Halophyten nun im Klimagradienten von den südlichen Subtropen zu den nördlichen Randtropen?

Verbreitung: Eine erste Gruppe von Arten reagiert offenbar nur wenig auf diesen Gradienten. Ein solches "zirkumarabisches" Geoelement (nubisch-sindische Endemiten i.e.S.) ist zum Beispiel Halopeplis perfoliata, ein sukkulenter Halbstrauch, der an allen Küsten der Arabischen Halbinsel und an deren Gegenküsten wächst mit Ausnahme der nördlichen Hälfte des Persischen Golfes (Abb. 4). Dieser Hygrohalophyt mit C₁-Photosyntheseweg (FREY et al. 1984) scheint für die Keimung hohe Temperaturen und Kaliumgehalte zu benötigen (EL-SHOURBAGY et al. 1987). Die Art ist wohl insgesamt sehr frostempfindlich und meidet daher sowohl den nördlichen Persischen Golf als auch die binnenländischen Salzstellen (dort eventuell auch keine geeigneten hygrischen Bedingungen). Weitaus weniger frostempfindlich sind zwei andere sukkulente Chenopodiaceen, nämlich Arthrocnemum macrostachyum und Halocnemum strobilaceum (siehe Fig. 1-3 bei FREITAG 1991). Erstere hat eine etwas nordwestliche Tendenz und ist insgesamt mediterran/saharo-sindisch verbreitet, letztere mediterran/saharo-sindisch/irano-turanisch. Zirkumarabisch wie Halopeplis perfoliata ist Suaeda aegyptiaca. Letztere kommt wie Suaeda fruticosa auch in Binnensabkhas Arabiens und des angrenzenden westirano-turanischen Bereiches vor (Verbreitungskarten aller dieser Chenopodiaceen finden sich bei FREITAG 1991). Eine erste Differenzierung bei den zirkumarabischen Arten ist demnach, ob sie auf dieses Gebiet beschränkt bleiben oder ob sie von dort nach Süden oder Norden ausgreifen, eine zweite, ob sie ausschließlich an den Küsten gedeihen oder auch Binnensalzstellen bewohnen.

Eine Reihe von Halophytenarten reagiert auf den Nord-Süd-Gradienten sehr deutlich. Etliche Arten reichen nach Süden nur bis zum Wendekreis des Krebses, an der Rotmeerküste also bis kurz vor Jiddah, an der ostarabischen Küste bis zur Musandam-Halbinsel. Zu diesen gehören Halocnemum strobilaceum, Salsola schweinfurthii und Seidlitzia rosmarinus (Abb. 4). Diesen "nördlichen Arten" stehen "südliche bzw. südwestliche Elemente" wie Odyssea mucronata und die beiden Mangrove-Arten Rhizophora mucronata und Bruguiera gymnorhiza gegenüber. Noch ausgeprägter "nördlich" ist Salicornia europaea s.l., die an der Küste des Persischen Golfes genau dort nach Süden zu von Halopeplis perfoliata abgelöst wird, wo Troll & Paffen (1965) die Grenze zwischen Subtropen und Tropen ziehen. Ebenfalls ausgeprägt nördlich ist Nitraria retusa (nur um den Sinai und bei Kuweit). Wir haben also eine ausgeprägte breitenabhängige Differenzierung in den Haloserien zu er-

warten. VESEY-FITZGERALD (1955, 1957), der die Vegetation an der Rotmeerküste nördlich und südlich von Jiddah untersuchte, war der Erste, der auf den grundlegenden Unterschied zwischen der Salzmarschenflora beiderseits des Wendekreises hinwies. Räumlich präzisere Daten liefern KASSAS & ZAHRAN (1967, Fig. 3) und ZAHRAN (1977, Fig. 10.6) von der ägyptisch-sudanesischen Rotmeerküste.

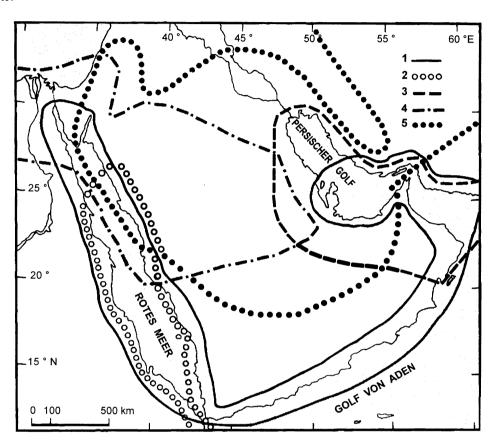


Abb. 4: Verbreitung ausgewählter halophiler Chenopodiaceen.

1 = Halopeplis perfoliata, 2 = Cornulaca ehrenbergii, 3 = Salsola drummondii, 4 = Salsola schweinfurthii, 5 = Seidlitzia rosmarinus

Der Ost-West-Gradient ist weniger stark ausgeprägt, es gibt ihn jedoch. Ein Beispiel für eine nubische = westliche Art ist *Cornulaca ehrenbergii*, häufig an der afrikanischen Rotmeerküste. Sie kommt an der Arabischen Rotmeerküste nur in einem kurzen Abschnitt vor, ferner auf den vorgelagerten Farasan-Inseln (Abb. 4). Einen westlichen Schwerpunkt (Rotes Meer und Golf von Aden) hat auch *Sevada schimperi*. Die westlichen Elemente sind oft Arten, die aus dem Somali-Massai-Endemismenzentrum nach Arabien übergreifen wie *Salsola spinescens*. Ein südöstliches Element ist *Salsola drummondii*. Sie besiedelt die Küsten rings um den Persischen Golf (Abb. 4). Dorthin strahlen auch irano-turanische Elemente ein wie *Bienertia cycloptera* und *Seidlitzia rosmarinus*. Letztere ist an Winterregen und trockene und heiße Sommer adaptiert (FREITAG 1991).

Bei einigen Schlüsseltaxa in den salinen Habitaten Arabiens treten regionale Vikariismen auf. Dies beobachtet man z.B. innerhalb der Gattungen *Cornulaca* (BOULOS 1992), *Salsola* und *Suaeda* (FREITAG 1991), im *Cyperus conglomeratus*-Komplex (KUKKONEN 1991) und bei der *Limonium axillare*-Gruppe. Ost-West-Vikarianten sind z.B. *Salsola drummondii* und *Salsola schweinfurthii*.

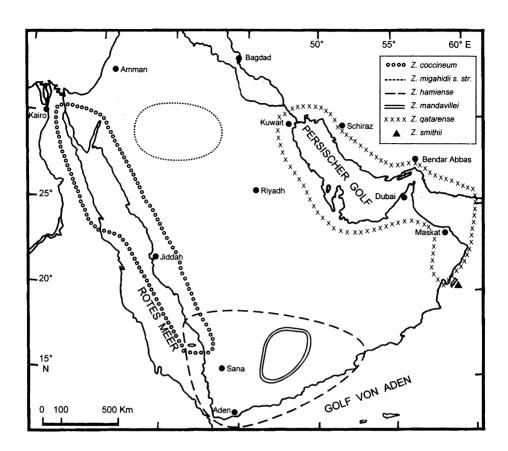


Abb. 5: Verbreitung vikariierender Zygophyllum-Arten aus der Sektion Mediterranea.

Die Gattung Zygophyllum entwickelte in der Sektion Mediterranea Engler auf der Arabischen Halbinsel sowohl Ost-West- als auch Litoral-Inland-Vikarianten (Abb. 5): Zygophyllum coccineum ist im nördlichen Abschnitt des Roten Meeres, Z. migahidii s.str. in den Salzpfannen der großen Nafud, Z. qatarense am Persischen Golf und im Golf von Oman (BOULOS 1987), Z. smithii auf der Masirah-Insel vor Oman, Z. hamiense in der Südwestecke der Arabischen Halbinsel (an der Küste und im Inland) und Z. mandavillei schließlich in der südlichen Rub Al-Khali und im Hadramaut verbreitet (EL HADIDI 1977, 1980).

Stenochore Arten entwickelten sich auch bei den Chenopodiaceen, so Salsola omanensis (BOULOS 1991c) und Suaeda moschata (SCOTT 1981) in den Küstenebenen des Dhofar und auf den vorgelagerten Soda-Inseln. Ein Gattungsendemit ist Sevada schimperi, eine Chenopodiacee, welche die Küsten im Süden der Arabischen Halbinsel besiedelt.

Mangrove-Gebüsche treten an allen drei Arabischen Küsten auf. Dieser tropische Vegetationstyp konzentriert sich auf Flußmündungen, Flachwasserlagunen und schlickreiche Ausgleichsküsten ohne starken Wellengang. Die häufigste Mangrovenart ist die eurythermale und euryhaline Avicennia marina. Sie geht an der Arabischen Rotmeerküste bis in den Golf von Eilat (26° n.Br.) und tritt zerstreut am Golf von Aden, am Golf von Oman und im Persischen Golf auf. Hier reicht sie bis 27° n.Br. Rhizophora mucronata ist von Gisan (südlich von Jiddah) und von den Farasan-Inseln bekannt, kleine nördliche Vorkommen finden sich im Golf von Aqaba und bei Bahrain. Bruguiera gymnorhiza ist von einigen Inseln vor Hodeida bekannt.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß in der Halophytenvegetation zwar einige weiter verbreiterte Arten mit Tendenz zu azonalem Areal auftreten, daß aber, wie dies FREITAG am Beispiel der hygrohalophilen Chenopodiaceen aus Arabien bereits 1991 darlegte, ihre Verbreitung häufig deutlich klimazonal gebunden ist. Zonalität und damit klimabedingte Differenzierung zeigt sich also nicht nur bei den Gesellschaften auf Euklimatopen (im Sinne von WALTER 1954) wie auf den nichtsalzbeeinflußten Sanddünen (siehe Fig. 8.6 bei MANDAVILLE 1998), sondern auch bei der Vegetation von Sonderstandorten.

4.2. Küsten-Binnenland-Zonierungen

Einige ausgewählte Vegetationsserien und Gesellschaftsmosaike sollen im Nachfolgenden kurz vorgestellt werden (A bis F in Abb. 1), weitere sind bei DEIL (1998) beschrieben. Stellvertretend für die feuchte Haloserie am Persischen Golf sei die Zonierung im Schutzgebiet Al Jubail (Saudi Arabien) vorgestellt (= A). BÖER (1994, 1996) unterscheidet folgende Zonen (in Klammern die Höhe über der Niedrigstwasserlinie):

- 1. Avicennia marina (1,3 1,7 m)
- 2. *Salicornia europaea* s.l. (1,45 1,75 m)
- 3. Arthrocnemum macrostachyum (1,6 2,1 m)
- 4. Halocnemum strobilaceum (1,8 2,35 m)
- 5. Halopeplis perfoliata (> 2 m und oberhalb der Tidenzone)
- 6. Limonium axillare (> 2 m und oberhalb der Tidenzone)
- 7. Zygophyllum qatarense (> 2 m und oberhalb der Tidenzone)
- 8. Sabkha (ohne höhere Vegetation)

Es folgen die Seidlitzia rosmarinus-Gesellschaft auf Embryonal-Dünen und die Rhanterium epapposum-, Haloxylon salicornicum-, Panicum turgidum- und die Calligonum comosum-Gesellschaften auf nichtsalzbeeinflußten Sandstandorten.

Nahezu identisch mit Al Jubail ist die Zonierung nach den Untersuchungen von ABBAS et al. (1991a, b) auch im südlicher gelegenen Bahrain, sehr ähnlich ist die Abfolge im nördlicher gelegenen Kuwait (HALWAGY & HALWAGY 1977 sowie HALWAGY 1986). Dort treten im periodisch überfluteten Bereich Aeluropus lagopoides und Bienertia cycloptera hinzu, oberhalb der Höchstwasserlinie Nitraria retusa. In Qatar (hierzu zahlreiche Untersuchungen, u.a. ABDEL-RAZIK & ISMAIL 1990, BATANOUNY & TURKI 1983 und BABIKIR & KÜRSCHNER 1992) tritt in der glykophilen Panicum turgidum-Kontaktgesellschaft als codominante Art stets Anabasis setifera hinzu. An der Nordwestküste von Qatar erreicht Salicornia europaea s.l. ihre südlichsten Vorkommen. Sie wird südlich davon durch Halopeplis perfoliata abgelöst. Die Verbreitungsgrenze zwischen beiden Arten entspricht der Nordgrenze der absolut frostfreien Zone und damit der wichtigsten thermisch definierten Tropengrenze.

Als Beispiel für eine trockene Küstenserie an der Ostküste Arabiens sei die Zonierung im Dünengebiet bei Dubai (Arabische Emirate) erläutert (= B) (Einzelheiten bei DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN 1996):

- 1. Sowohl die noch bewegte erste Düne als auch die weiter landein gelegenen konsolidierten Dünen werden vom Cornulaco monacanthae-Sphaerocometum aucheri (Salsolo-Suaedetalia, Halopeplido-Suaedeta) besiedelt. Im salzgischt-beeinflußten küstennahen Bereich kommen *Halopyrum mucronatum*, *Atriplex leucoclada* und *Suaeda aegyptiaca* dazu (Subass. halopyretosum).
- 2. Zeitweilig überflutete salzige Depressionen werden vom Halopeplidetum perfoliatae (Halopeplidetalia perfoliatae, Halopeplido-Suaedetea) bewachsen. Gibt es hierin flache Sandauflagen, so entwickelt sich nach Niederschlägen das kurzlebige Frankenio pulverulentae-Zygophylletum simplicis (Zygophyllion simplicis, Frankenietea pulverulentae).

3. Im weiter landein gelegenen Cornulaco-Sphaerocometum typicum treten als glycophile Sandarten *Panicum turgidum, Crotalaria persica, Lotus garcinii, Taverniera spartea* und *Indigofera intricata* hinzu. Diese Gesellschaft wird dann auf nicht mehr salzbeeinflußten Dünen vom Leptadenio-Rhynchosietum schimperi (Acacio-Panicion) abgelöst.

Von der Küste am Indischen Ozean werden zwei Abfolgen dargestellt. Die erste wurde auf der Masirah-Insel im Golf von Oman untersucht (= C). Es gibt nach GHAZANFAR & RAPPENHÖNER (1994) folgende Zonierung:

- 1. Eine Avicennia marina-Mangrove in geschützten Lagunen.
- 2. Die Atriplex farinosa-Suaeda moschata-Zwergstrauchgesellschaft auf salzbeeinflußten niederen Dünen.
- 3. Die *Halopyrum mucronatum-Urochondra setulosa*-Gesellschaft. Die beiden Gräser stabilisieren mit ihren Ausläufern die Nachdünen.
- 4. Die Arthrocnemum macrostachyum-Suaeda "vermiculata" (wohl eher S. fruticosa!)-Gesellschaft auf Salzpfannen mit einer schwachen Sandauflage. Ohne Sandauflage werden die Salzpfannen von der Halopeplis perfoliata-Gesellschaft besiedelt.
- 5. Etwas höhere, biogene Dünen entstehen durch die sandbindende Wirkung von *Limonium stocksii*, *Cyperus conglomeratus* und *Sphaerocoma aucheri*.
- 6. Auf den nicht mehr salzbeeinflußten Fußflächen folgt die endemische *Pulicaria glutinosa- Stipagrostis masiharensis-*Gesellschaft.

Diese Zonierung ist sehr ähnlich der bei Maskat (KÜRSCHNER 1986b) und auch der in den Vereinigten Arabischen Emiraten (WESTERN 1982, 1983, 1987, DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN 1996, BÖER & GLIDDON 1998). Bei der Masirah-Insel erreichen einige Arten mit südostarabischem Verbreitungsschwerpunkt, wie Zygophyllum qatarense, Limonium stocksii und Sphaerocoma aucheri, ihre Südgrenze.

Die Assoziationsabfolge an der Hadramaut-Küste haben KÜRSCHNER et al. (1998) westlich von Mukalla studiert (= D). Das Untersuchungsgebiet ist von besonderem pflanzengeographischem Interesse, da es in der Übergangszone vom südöstlichen zum südwestlichen Küstenvegetationstyp liegt. Dies läßt sich z.B. erkennen in der Cyperus conglomeratus-Gesellschaft, in der sowohl das omanischmakranische Element Coelachyrum piercei als auch das eritreo-arabische Geoelement Odyssea mucronata auftreten. Insgesamt ist die Küstenvegetation hier in den nicht unmittelbar vom Meerwasser beeinflußten Habitaten sehr endemitenreich (Conyza cylindrica, Anabasis ehrenbergii, Pulicaria hadramautica, Euphorbia rubriseminalis) und zeigt pflanzengeographische Beziehungen zu der Gegenküste am Horn von Afrika. Die Zonierung ist wie folgt:

- 1. Von Cyperaceen (Cyperus conglomeratus) und Poaceen (Halopyrum mucronatum, Odyssea mucronata, Coelachyrum piercei, Panicum turgidum) fixierte Dünen.
- 2. Salzpfannen mit Sandauflage mit der *Urochondra setulosa*-Gesellschaft. Als kodominante Arten treten *Arthrocnemum macrostachyum*, *Limonium cylindrifolium* und *Crotalaria saltiana* hinzu.
- 3. Arthrophytum macrostachyum-Dominanzbestände in feuchteren Tonpfannen.
- 4. Auf sandigen Küstenebenen folgt die Anabasis ehrenbergii-Pulicaria hadramautica-Zygophyllum hamiense-Gesellschaft, auf verkarsteten Kalk-Plateaus die Stipagrostis paradisea-Commiphora gileadensis-Euphorbia rubriseminalis-Gesellschaft.

Das eritreo-arabisch verbreitete Gras Odyssea mucronata (Abb. 3) ist in der Küstenebene des Südjemen von Mukalla über das Gebiet von Aden (AL-GIFRI & HUSSEIN 1993, AL-GIFRI & AL-SUBAI 1994) und entlang der jemenitischen und eritreischen Rotmeerküste ein stetes Element in der Küstenzonierung. Als Beispiel für den Vegetationskomplex in der Südhälfte des Roten Meeres wird eine

Abfolge zwischen Luhayyah und Al Hudayda vorgestellt (= E). Es handelt sich um eine Ausgleichsküste mit geringem Tidenhub. Ein der Küste vorgelagertes Korallenriff schützt das Festland vor dem Wellengang. Von der offenen See zum Landesinneren beobachtet man folgende Vegetationseinheiten (siehe hierzu auch Tab. 1 und Abb. 6):

- 1. Eine schmale Avicennia marina-Mangrove (nicht durch Aufnahmen belegt).
- 2. Eine Salztonfläche (= Sabkha), die bei Hochwasserstand teilweise überflutet wird und die im Zentrum vegetationslos ist. Sie wird von Embryonaldünen mit sandfixierenden Gräsern (Aeluropus lagopoides) und von Suaeda fruticosa-Hügeln umrahmt. Das Aeluropo lagopoidis-Suaedetum fruticosae ass. nov. (Tab. 1, Aufn. 1-5, Typusaufn. 4) besiedelt Schaumböden aus lockerem Feinsand und reichlich Gipskristallen, die dem Salzton geringmächtig aufliegen. Der Deckungsgrad der Vegetation schwankt zwischen 30 und 70%. Wenn dem Salzton mehr Sand auflagert und dieser etwas stärker bewegt wird, kommen Zygophyllum hamiense und Sporobolus spicatus hinzu (Aufn. 1).

Die Assoziation ist in den südmediterran-saharo-arabisch verbreiteten Verband Aeluropion lagopoidis Gehu & Biondi 1995 einzugliedern. Dieser Verband wird jedoch besser nicht zur mediterranen Klasse Juncetea maritimi gestellt, sondern ist als Typusverband der Sporobolo-Aeluropetalia Knapp 1968 anzusehen. Zu diesem Verband gehören unter anderem die aus nordafrikanischen Halbwüstengebieten beschriebenen Assoziationen Arthrocnemo macrostachyi-Aeluropetum lagopoidis Gehu & Gehu-Franck 1992 und Aeluropo lagopoidis-Juncetum arabici (Vanden Berghen 1979) Gehu & Gehu-Franck 1992.

3. Landein folgt das Odysseo mucronatae-Suaedetum fruticosae ass. nov. (Tab. 1, Aufn. 6-10, Typusaufn. 8), eine lückige Halbwüstengesellschaft (40 bis 60% Gesamtdeckung), die von dem verdornten Gras Odyssea mucronata und dem blattsukkulenten Halbstrauch Suaeda fruticosa dominiert und charakterisiert wird. Sie bedecken die küstennahe, flachwellige Dünenlandschaft. Die Kleindünen (bis 1 m hoch) sind weitgehend konsolidiert. Aufnahme 6 erfaßte den Übergang zur vorherigen Gesellschaft. Werden die Dünen 2 bis 8 m hoch und mobiler, so tritt Suaeda fruticosa zurück und die beiden Gräser Panicum turgidum und Dichantium foveolatum werden kodominant zu Odyssea mucronata und zu Salsola spinescens (Aufn. 9 und 10). Eine weitgehend identische Artenkombination (Odyssea mucronata, Panicum turgidum und Salsola spinescens) beobachteten AL-GIFRI & HUSSEIN (1993) und AL-GIFRI & AL-SUBAI (1994) bei Aden.

Das Odysseo mucronatae-Suaedetum fruticosae ist eine südwestarabisch-eritreo-somalisch verbreitete Gesellschaft, die Typusassoziation des Odysseion mucronatae all. nov. (Salsolo-Suaedetalia Knapp 1968) ist. Diesem noch eingehend zu studierenden Verband gehören wohl auch die bei Aden wachsende *Odyssea mucronata-Suaeda monoica-Sporobolus spicatus-Sp. consimilis-*Gesellschaft (AL-GIFRI & HUSSEIN 1993 und AL-GIFRI & AL-SUBAI 1994) und die an der Hadramautküste gedeihende *Odyssea mucronata-Halopyrum mucronatum-Coelachyrum piercei-Panicum turgidum-*Gesellschaft (KÜRSCHNER et al. 1998) an.

4. Auf nicht mehr salzbeeinflußten Dünen einige Kilometer weiter landein folgt eine Gesellschaft mit Salsola spinescens, Panicum turgidum, Blyttia spiralis und Jatropha pelargoniifolia (Aufn. 11-13), die ins Acacio-Panicion Barry et al. 1981 zu stellen ist oder ins Jatrophenion glaucaeglandulosae Deil & Müller-Hohenstein 1984. Für eine begründete Zuordnung muß aber mehr Aufnahmematerial ausgewertet werden.

Eine vergleichbare Zonierung wurde von HEMMING (1961) an der eritreischen und von KASSAS (1957) an der sudanesischen Gegenküste beobachtet. Sehr ähnlich ist die Abfolge auch in der saudiarabischen Tihama bei Gizan (KÖNIG 1987, EL-DEMERDASH & ZILAY 1994 und EL-DEMERDASH et al. 1995).

Das letzte Zonierungsbeispiel (= F) stammt von der Rotmeerküste nördlich von Jiddah: Nach den Untersuchungen von MAHMOUD et al. (1982), YOUNES et al. (1983), FREY et al. (1984) und ELSHOURBAGY et al. (1986) gibt es dort folgende Abfolge:

- 1. Avicennia marina
- 2. Halopeplis perfoliata
- 3. Aeluropus lagopoides
- 4. Zygophyllum coccineum bzw. Limonium axillare-Suaeda pruinosa (wohl eher S. fruticosa!)

Dies entspricht auch der Zonation am Golf von Eilat (MAHMOUD et al. 1985 für die Ostseite bei Ras Sheik Humeid, DANIN 1983 für die Westseite am Sinai), nur tritt dort stets zusätzlich *Nitraria retusa* in den Nachdünen auf.

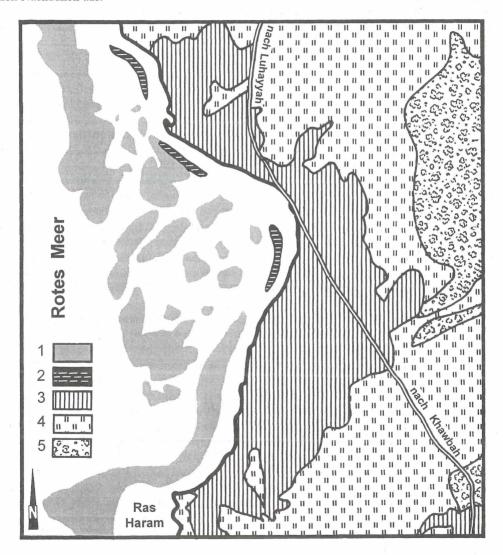


Abb. 6: Vegetationskarte der Rotmeerküste südlich von Luhayyah (J.A.R.).

- 1 = Korallenriff
- 2 = Avicennia marina-Mangrove
- 3 = zeitweilig überflutete Sabkha; weitgehend vegetationsfrei; auf randlichen Embryonaldünen das Aeluropo lagopoidis-Suaedetum fruticosae
- 4 = Odysseo mucronatae-Suaedetum spinescentis auf flachen, küstennahen Dünen
- 5 = Zwergstrauchhalbwüste auf höheren, landein gelegenen Dünen mit Salsola spinescens, Blyttia spiralis, Panicum turgidum und Jatropha pelargoniifolia

Spalten-Nummer		1	111
	12345	67890	123
CA Sporobolo-Aeluropetalia			
Aeluropus lagopoides	33134	2	
Sporobolus spicatus			
Urochondra setulosa	+		
CA Salsolo-Suaedetalia			
Suaeda fruticosa	.131.	322++	
Suaeda fruticosa (Keiml.)	1		
Odyssea mucronata		11321	
Salsola spinescens		.2.1+	132
Salsola spinescens (Keiml.		.1	.1+
Cyperus conglomeratus s.l.		1.+	1
Zygophyllum hamiense	1		
CA Zygophyllion simplicis			
Zygophyllum simplex		.+	
Acacio-Panicion und Ersatzg	esells	chafter	<u>1</u>
Panicum turgidum		1+123	3.1
Heliotropium pterocarpum		22	2.+
Dichanthium foveolatum		21	
Tephrosia purpurea		.+	.+2
Aerva javanica		++	1+.
Citrullus colocynthis		.+	.+.
Zaleya pentandra		1+	.1.
Cassia holosericea		++	.1.
Indigofera semitrijuga		+	3
Indigofera brevicalyx		1	1
Leptothrium senegalense			.+2
			.2.
Schweinfurthia pterosperma			
Schweinfurthia pterosperma Corchorus depressus			
Corchorus depressus			.2.

<u>Außerdem kommen vor: in 6:</u> Cassia italica +; Cenchrus setigerus +; <u>in 7</u>: Euphorbia granulata 2;Blepharis ciliaris 1; Euphorbia scordifolia 1; <u>in 12:</u> Cleome brachycarpa +; Heliotropium strigosum +; Digitaria velutina 1; Boerhavia diffusa +; Fagonia schweinfurthii +; Tribulus terrestris +; <u>in 13:</u> Cenchrus ciliaris +; Pulicaria jaubertii +; Cassia senna +; Indigofera spinosa 1.

Alle Aufnahmen aus dem März 1983 zwischen Al Khawbah und Luhayyah bei Ras Haram und zwischen Jabal Mill und J. Houd.

Tab. 1: Transekt an der Rotmeerküste bei Luhayyah (Jemen).

4.3. Überregionaler Vergleich

4.3.1. Vorüberlegungen zu Vegetationstypen (Assoziationen) und Komplextypen (Sigmeten)

Aus den pflanzengeographischen Mustern einzelner Arten (Kap. 4.1.) und den Zonationsserien (Kap. 4.2.) zeichnen sich prägnante Unterschiede ab, wenn man die Küstenvegetation der Arabischen Halbinsel insgesamt vergleicht. Dies soll durch eine zusammenfassende Tabelle (Tab. 2) deutlich werden. Da die Transekte in fast allen Fällen sowohl regelmäßig als auch gelegentlich und niemals überflutete Physiotope enthalten, ist aus diesem Datensatz keine Differenzierung in einen feuchten

(Salzmarschen/Wattküsten) und trockenen (Sabkha- und Dünenküste) Vegetationskomplextyp zu erwarten. Ordnet man die Daten aus den Transekten nach floristischer Ähnlichkeit, so ergibt sich eine geographische Gliederung der catenalen Geosigmeten. Wie ist diese zu erklären?

Bei insgesamt artenarmen, häufig von einer oder wenigen Arten dominierten Beständen lassen sich unter Berücksichtigung der Dominanz-/Abundanzwerte floristisch und physiognomisch eindeutige Vegetationstypen (Assoziationen) definieren. Bei den Untersuchungen, die alle nur lokalen oder regionalen Bezug haben, ergeben sich klare Zusammenhänge zwischen edaphischen Gradienten und der floristisch-soziologischen Zonierung (Kap. 4.2.). Auf den Kausalzusammenhang zwischen Bodenwasserhaushalt, Salzgehalt, Keimphysiologie und Photosyntheseweg konzentrieren sich auch die ökophysiologischen (Kap. 4.1.) und standörtlichen Untersuchungen.

Betrachtet man die sich aus der Tabelle 2 und den Abbildungen 4 und 5 ergebenden Kombinationen von Arten und Gesellschaften in einem überregionalen Rahmen und versucht man, die Areale und Synareale zu erklären, so muß man offensichtlich bei anderen als den edaphischen Ursachen suchen, nämlich bei klimatischen, vegetationshistorischen und vielleicht auch bei ozeanographischen. Da die untersuchten Küstenräume der Arabischen Halbinsel alle arid sind und die Wasserversorgung der Küstenstandorte stärker von Überflutung, Grundwasser und Oberflächenzulauf als von den direkten Niederschlägen selbst bestimmt wird, ist der ursächliche Zusammenhang eher in klimatischen Standortfaktoren wie mittleren bzw. absoluten Temperaturminima, Niederschlagsrhythmus und variabilität und vorherrschender Windrichtung zu suchen sowie in hydrologischen Parametern wie Tidenhub, Salzgehalt des Meerwassers und Strömungsverhältnissen (Diasporenausbreitung). Solche Daten stehen nur teilweise zur Verfügung und ihre Verrechnung mit den floristischen Daten würde auch den Rahmen dieser Untersuchung sprengen. Daher können die aus Tab. 2 sichtbaren räumlichen Muster an catenalen Geosigmeten zunächst nur grob klimaökologisch interpretiert werden.

Die edaphische Differenzierung, die auf der lokalen Skala wirkt, sollte auf dem Assoziationsniveau und damit in der synsystematischen Gliederung der Gesellschaften sichtbar werden. In fast allen der für Tabelle 2 ausgewerteten Publikationen werden ranglose Gesellschaften beschrieben. Versucht man, diese in ein hierarchisches System im Sinne von BRAUN-BLANQUET einzuordnen, so kann man sich an drei Gliederungen orientieren:

- 1. An dem Entwurf von ZOHARY (1973), der auf einer eingehenden Kenntnis des südmediterrannordsaharo-arabischen und irano-turanischen Raumes aufbaut: Danach können die halophilen Pflanzengesellschaften Arabiens in die Klassen Avicennietea, Salicornietea, Suaedetea fruticosae deserta, Hammadetea salicornicae und Halocnemetea strobilacei eingeordnet werden.
- 2. An dem Entwurf von KNAPP (1968): Dieser ist aus ostafrikanischem Blickwinkel konzipiert. Die Mangrove-Vegetation kann als verarmter und nördlichster Ausläufer der paläotropischen Mangroveklasse Avicennio-Sonneratietea interpretiert werden. Die von sukkulenten Chenopodiaceen dominierten Salzmarschen gehören je nach Feuchtestufe zu den Ordnungen Salsolo-Suaedetalia, Arthrocnemetalia glauci und Halopeplidetalia perfoliatae. Alle diese Ordnungen werden in der Klasse Halopeplido-Suaedetea vereinigt. Die von halotoleranten sandfixierenden Gramineen dominierten Vegetationstypen werden in den Sporobolo-Aeluropetalia (Halopyro-Sporoboletea) vereinigt.
- 3. An Gliederungen, die für das Mittelmeergebiet entwickelt wurden: Pflanzensoziologen, die sich nach langjähriger Erfahrung mit der Halophytenvegetation im Mediterrangebiet anschließend mit nordsaharischer Vegetation beschäftigen, interpretieren die beobachteten Vergesellschaftungen meist als südlichste Ausleger von mediterran-saharischen Klassen, z.B. der Frankenietea pulverulentae, der Salicornietea fruticosae, der Juncetea maritimi und der Pegano-Salsoletea (siehe z.B. die synsystematische Übersicht bei GEHU & BIONDI 1995).

Sowohl das System von ZOHARY als auch das von KNAPP ist von oben her aufgebaut und reicht von der Klassen- bis zur Ordnungsebene. Es ist daher nicht gültig im Sinne des Code. Beide geben jedoch Charakterarten an, so daß man einen recht guten Eindruck erhält, welchen Inhalt sie ihren Syntaxa geben. Die Zuordnung zu mediterranen Syntaxa ist insofern problematisch, als manche der von der nordafrikanischen Küste und aus den endorheischen Gebieten Nordafrikas und der Iberischen Halbinsel beschriebenen Vegetationstypen eher als verarmte nördliche Ausläufer von Halophyten-Klassen anzusehen sind, die im Altweltlichen Trockengürtel ihren Entstehungs- und Entfaltungsschwerpunkt besitzen. Da vor einer begründeten synsystematischen Neugliederung insbesondere sippen-systematische Fragen zu klären sind und mehr (mit identischer Methodik erhobenes!) Aufnahmematerial vorhanden sein muß, ist die untenstehende syntaxonomische Übersicht als vorläufiger Gliederungsversuch anzusehen.

Einiges zeichnet sich jedoch ab: Da die Juncetea maritimi (incl. der Asteretea tripolii) besser als mediterran-atlantische Klasse definiert werden, ist das Aeluropion lagopoidis Gehu & Biondi 1995 nicht hierin einzuschließen, sondern es stellt den Typusverband der Sporobolo-Aeluropetalia Knapp 1968 dar. Ebenso sollten die Salicornietea fruticosae als mediterran-atlantische Klasse umgrenzt werden, die im saharo-arabischen Raum von den Halopeplido-Suaedetea sensu KNAPP (1968) abgelöst wird. Das Halocnemion strobilacei Gehu et al. 1994 steht bei diesem Konzept am Übergang der Halopeplido-Suaedetea zu den Salicornietea.

Die Klasse Halopeplido-Suaedetea Knapp 1968 und ihre Untergliederung in die Ordnungen Halopeplidetalia und Salsolo-Suaedetalia scheint gut begründet. Typusassoziation der hygrohalophilen Halopeplidetalia und des Halopeplidion all. nov. ist das Halopeplidetum perfoliatae (monotypische Ordnung, daher identische Kennart für alle drei Rangstufen). Die Salsolo-Suaedetalia besiedeln die Küstendünen insbesondere in der Südhälfte der Arabischen Halbinsel. Diese xerohalophilen Gesellschaften gliedern sich weiter in die Verbände Sphaerocomion aucheri all. nov. (Typusass. Cornulaco monacanthae-Sphaerocometum aucheri) mit omanisch-makranischer Verbreitung und das Odysseion mucronatae all. nov. (Typusass. Odysseo mucronatae-Suaedetum fruticosae), welches in der Südwestecke der Halbinsel und an der gegenüberliegenden Küste Ostafrikas vorkommt (eritreo-somalischsüdwestarabisches Synareal).

Die Gliederung der von vikariierenden Zygophyllum-Arten aufgebauten, schwach salztoleranten Nachdünengesellschaften ist noch recht unsicher. Die Zuordnung der bisher beschriebenen Verbände Zygophyllo-Arthrocnemion und Zygophyllion albi zu den Ordnungen Arthrocnemetalia fruticosi bzw. Limoniastretalia guyoniani ist als vorläufig anzusehen. Eine Neuordnung sollte die sich im Arabischen Raum abzeichnenden Zygophyllum-Gesellschaften (mit Z. qatarense am Persischen Golf, Z. hamiense im eritreo-arabischen Raum, Z. coccineum und Z. decumbens am Nördlichen Roten Meer) (siehe Tab. 2) und ihre westsaharisch-makaronesischen Vikarianten (mit Z. fontanesii von Mauretanien bis zu den Kanarischen Inseln) einschließen.

4.3.2. Geographische Kennarten und -gesellschaften und regionale Geosigmeten

Charakterassoziationen eines nahezu zirkumarabisch verbreiteten Küstenvegetationskomplexes sind das Halopeplidetum perfoliatae und das Avicennietum marinae. Beide fehlen nur im nördlichsten Abschnitt des Persischen Golfes, der klimatisch und pflanzengeographisch nicht mehr zu den Tropen gehört. Das Avicennietum ist eine Marginalassoziation und stellt den verarmten nördlichen Ausläufer der paläotropischen Mangroveklasse Avicennio-Sonneratietea dar. Fast in allen Transekten treten auch die Ordnungskennarten der Arthrocnemetalia, Salsolo-Suaedetalia, Sporobolo-Aeluropetalia und Frankenietalia auf.

Eine Vielzahl von Kennarten und Gesellschaften kommt jedoch nur in bestimmten Abschnitten an den Küsten Arabiens vor. Dies betrifft nicht nur die weiter landein wachsende glykophile Kontaktvegetation (z.B. Haloxylon salicornicum und Rhanterium epapposum in der mehr außertropisch ge-

prägten Nordhälfte, Commiphora gileadensis bis Glossonema boveanum in der randtropisch geprägten Südwestecke) (dies sind die geographischen Trennarten und -gesellschaften), sondern in gleichem Maße die küstenspezifischen Arten und Gesellschaften. Sie sind geographische Kennarten und Gesellschaften regionaler Küstengeosigmeten.

Das Zygophyllum qatarense-Geosigmetum (Tab. 2, Spalten 1-12): Gesellschaften mit Zygophyllum qatarense, Bienertia cycloptera, Cornula aucheri, Salsola drummondii etc. charakterisieren den Küstenvegetationskomplex an der Ost- und Südostküste der Arabischen Halbinsel (von Kuwait bis Maskat). Dieses Sigmetum läßt sich weitergliedern in einen Subtyp am Persischen Golf (Kuwait bis Abu Dhabi, Spalten 1-7) und einen Subtyp am Golf von Oman (von den Emiraten bis Masirah, Spalten 8-12).

Im nordöstlichen Subtyp kommen die nordarabisch verbreiteten Gesellschaften des Verbandes Halocnemion strobilacei (z.B. das erstmals aus Tunesien beschriebene Arthrocnemo macrostachyi-Halocnemetum strobilacei Oberd. 1952) und Gesellschaften mit Nitraria retusa, Seidlitzia rosmarinus und Cornulaca monacantha hinzu. Dieser Raum steht im Winterhalbjahr gelegentlich unter dem Einfluß maritimer, subtropischer Luftmassen aus dem Mittelmeerraum und außertropischer Festlandsluft aus dem iranischen Hochland (Luftmasse 3, siehe Einleitung). Dort treten immer mal wieder niedrige Temperaturen (um den Gefrierpunkt) auf, die Niederschläge fallen eher im Winter. Weshalb schwach frostharte Arten wie Cornulaca monacantha und Salicornia europaea nicht weiter im Süden gedeihen, ist unklar. Der nordöstliche Subtyp wird durch einstrahlende irano-turanische Geoelemente (z.B. Seidlitzia rosmarinus) gekennzeichnet.

Eine geographische Kenngesellschaft des südöstlichen Subtyps ist das Sphaerocometum aucheri, eine Trenngesellschaft die glycophile Dünenassoziation Leptadenio-Rhynchosietum schimperi. Beide Assoziationen besitzen einen hohen Anteil von omanisch-makranisch verbreiteten Arten. Der von diesen Arten besiedelte Raum ist absolut frostfrei und tendiert bereits zu Sommerniederschlägen. Besonders viele stenochore Arten treten auf den Masirah-Inseln auf (Suaeda moschata, Zygophyllum smit hii) (Spalte 12).

Das Odyssea mucronata-Geosigmetum (Tab. 2, Spalten 13-15): Das Odysseo-Suaedetum fruticosae, das Aeluropo-Suaedetum und die Urochondra setulosa-Limonium cylindrifolium-Gesellschaft sind Kenngesellschaften dieses südwestarabisch-ostafrikanisch verbreiteten Vegetationsmosaiks. Auch die Kontaktgesellschaften sind floristisch sehr eigenständig. Andererseits fehlen dort viele sonst in Arabien weit verbreitete Arten wie Suaeda aegyptiaca, Anabasis setifera, Salsola cyclophylla und Haloxylon salicornicum (arabo-sindische und nubo-sindische Elemente sensu LEONARD 1989). Die Südwestecke der Arabischen Halbinsel gehört eindeutig zur Paläotropis. Die Kennarten sind eritreoarabische Geoelemente bzw. Geoelemente des Somali-Massai-Endemismenzentrums. Manche Trennarten sind südwestarabisch endemisch (z.B. Zygophyllum hamiense, Abb. 5). Besonders endemitenreich ist die Küste des Hadramaut (Spalte 13) mit Sevada schimperi, Anabasis ehrenbergii, Conyza cylindrica, Pulicaria hadramautica etc. Der Anteil extrem stenochorer Arten nimmt in der Catena bei Mukalla landeinwärts zu.

Klimatisch ist der Küstenabschnitt von Mukalla über Aden und das Bab-al-Mandeb bis zur jemenitisch-saudischen Grenze durch ein ausgeprägtes Sommermaximum der Niederschläge (ausgelöst durch Ausläufer des Sommermonsuns über dem Arabischen Meer) und absolut frostfreie Bedingungen charakterisiert. Im Rotmeergraben reichen diese Klimabedingungen nach Norden bis etwa Jiddah (ca. 24° n.Br.). Bis dorthin (Spalte 16-18) gedeihen die glycophilen Charakterarten der Boscio-Commiphoretea und ihrer Ersatzgesellschaften (Commiphora gileadensis bis Glossonema boveanum).

Tab. 2: Vegetationskomplexe an Arabischen Küsten

Spalten-Nummer	1 1234567890		111 345		
Zirkum-Arabische Kennarten	von Küstenge	sel.	lscha	after	า
CA Avicennio-Sonneratietea					_
Avicennia marina	.11.1111.1	11	1	111	. 1
Rhizophora mucronata					
CA Halopeplidetalia					
Halopeplis perfoliata	.111111111	11	1	111	
CA Arthrocnemetalia und Sal	Lsolo-Suaedet	alia	<u>a</u>		
Arthrocnemum macrostachyum	.11.1111.1	11	11.		11
Suaeda fruticosa*	11111			.11	11
Salsola cyclophylla	11.1				. 1
Salsola imbricata**	11.11.11	1.		1	
Cyperus conglomeratus s.l.	11111111		111	11.	1.
Limonium axillare s.l.***	.1.11111		1	1.1	. 1
Atriplex leucoclada	11.11				
CA Sporobolo-Aeluropetalia					
Aeluropus lagopoides	1.1111.111		111	111	
Aeluropus littoralis	11			11.	
Sporobolus arabicus s.l. ***	**11111.1.		.1.		
Sporobolus spicatus	1.1.1		.11	111	
Halopyrum mucronatum	1111.	11	111		
Juncus rigidus	1.1.11	. 1			
Ipomaea pes-caprae			1		
CA Frankenietalia					
Zygophyllum simplex	11.11		1.1	111	
Cressa cretica	11.1	11	11.	11.	
Suaeda aegyptiaca	1111				
Frankenia pulverulenta	111				
Mesembryanthemum nodiflorum					
Nordarabische Kennarten vor					
Seidlitzia rosmarinus	11.1.11				. 1
Halocnemum strobilaceum	1111111.1.				
Anabasis setifera	111111				
Cistanche phelypaea	1111.1.				
Salsola drummondii	1				
Nitraria retusa	1				11
Kennarten am Persisch-Arabi					
Zygophyllum qatarense	1111111.1.				
Salicornia europaea s.l.	1111				
Bienertia cycloptera	111				
Cornulaca monacantha	1.11.11				
Cornulaca aucheri	11				
Salsola jordanicola	1				
Suaeda maritima s.l.	111				
Nordarabisch, in Kontaktges					
Haloxylon salicornicum	11.1.111				. 1
Rhanterium epapposum	11.1				
Südostarabisch bzw. omanisc				rten	
Sphaerocoma aucheri	1.1.	11			
Limonium stocksii***	1 .				
Taverniera spartea	1.11				
Lotus garcinii	1.11				
Pulicaria glutinosa	1				
Salsola rubescens			1		
Suaeda moschata	?	. –		• • •	
Zygophyllum smithii	• • • • • • • • •	. 1	• • •	• • •	• •

ULRICH DEIL

Fortsetzung Tab. 2

Spalten-Nummer	1 11 111 111 12 1234567890 12 345 678 90	
Capparis decidua	1.1	
Cassia senna		
Cissus quadrangularis		
Schouwia purpurea		
Glossonema boveanum	11	
in Kontaktgesellschaften,		
Salvadora persica		
Rhazya stricta		
Tamarix aphylla		
Tamarix passerinoides	1.1	
Tamarix nilotica		
Tamarix macrocarpa	11	
Tamarix mannifera		
Hyphaene thebaica		
	bei offenen Wasserflächen	
Phragmites australis	11	
Desmostachya bipinnata		
Scirpus maritimus	1.11	
Typha domingensis	11.	
Cyperus laevigatus	1	
Bacopa monnieri		
sonstige Arten		
Cassia italica	111 .11	
Aerva javanica	11. 11	
Abutilon pannosum		
Capparis spinosa s.l.	11 1.1	
Citrullus colocynthis	111	
Tephrosia apollinea		
Glossonema varians	111	
Fagonia indica		
Tribulus terrestris		
Euphorbia granulata	11	
Cenchrus ciliaris		
Cynodon dactylon	1.1	
Aizoon canariense	11	
Crotalaria aegyptiaca		
Polycarpaea spicata	11	
Ochthochloa compressa	1 = vorhanden	
Capparis cartilaginea	1 ? = zweifelhaft	

Außerdem kommen vor: in 1: Convolvulus oxyphyllos; Plantago coronopus; in 4: Polycarpaea robbairea; Fagonia ovalifolia; Indigofera articulata; Convolvulus desertii; in 5: Cutandia memphitica; in 6: Tamarix arabica; Tamarix pycnocarpa; Anabasis articulata; Arnebia decumbens; Sesuvium verrucosum; Sesuvium sesuvioides; Mesembryanthemum forsskalei; Aizoon hispanicum; Spergularia marina; Bassia muricata; Salsola villosa; in 7: Polycarpaea repens; Zygophyllum mandavillei ?; in 8: Cyperus rotundus; Polypogon monspeliensis; in 9: Oligomeris linifolia; Cyperus aff. tanganyicanus; Hippocrepis bicontorta; Launaea mucronata; Cyperus arenarius; Launaea capitata; Indigofera intricata; Senecio glaucus coronopifolius; Crotalaria persica; Moltkiopsis ciliata; in 10: Spergula fallax; Solanum coagulans; Schweinfurthia papilionacea; Moringa peregrina; Physorrhynchus chamaerapistrum; Chrozophora oblongifolia; Spergularia bocconii; in 12: Stipagrostis masirahensis; Echiochilon jugatum; Tamarix mascatensis; in 13: Aristida adscensionis; Stipagrostis paradisea; Fagonia paulayana; Crotalaria saltiana; Arthrocnemum fruticosum ?; in 14: Acacia hamulosa; Anisotes trisulcus; Indigofera oblongifolia; Tribulus pentandrus; Pluchea dioscoridis; Prosopis juliflora; in 15: Heliotropium pterocarpum; Zaleya pentandra; Cassia holosericea; Indigofera brevicalyx; Saccharum spontaneum; Leptothrium senegalense; Dichanthium foveolatum; Schweinfurthia pterosperma; Cleome brachycarpa; Heliotropium strigosum; Digitaria velutina; Boerhavia diffusa; Fagonia schweinfurthii; Pulicaria jaubertii; Euphorbia scordifolia; Cenchrus setigerus; Ehretia obtusifolia; Euphorbia fractiflexa;

Fortsetzung Tab. 2

Cadaba rotundifolia; Blyttia spiralis; Euphorbia triaculeata; Cadaba glandulosa; <u>in 16</u>: Stipagrostis ciliata; Cyperus articulatus; Ochradenus baccatus; Euphorbia ammak; Digera muricata; Savignya parviflora; <u>in 17</u>: Tephrosia quartiniana; Crotalaria microphylla; Indigofera colutea; Panicum repens; Caralluma penicillata; Heliotropium arbainense; Aristolochia bracteola; Mollugo cerviana; Aloe vera; Euphorbia inarticulata; <u>in 18</u>: Salsola tetrandra ?; Salsola oblongifolia ?; Maerua crassifolia; Lotus arabicus; Cleome paradisea; Convolvulus hystrix; Odonthanthera radicans; Stipagrostis obtusa; Maerua oblongifolia; Farsetia stylosa; Glossonema nubicum; Pentatropis nivalis; <u>in 19</u>: Tamarix amplexicaulis; Tamarix balansae ?; <u>in 20</u>: Acacia raddiana; Cymbopogon commutatus; Cyperus jeminicus; Pulicaria desertorum; Gymnocarpos decandrus.

Anmerkungen zu einzelnen Taxa:

- * Suaeda fruticosa: Hierunter wurden auch alle Angaben von Suaeda "pruinosa" und S. "vera" vom nördlichen Roten Meer eingeschlossen sowie alle Angaben von S. "vermiculata" (siehe hierzu FREITAG 1989).
- ** Salsola imbricata ist gesamtarabisch verbreitet; wohl zum Teil unter S. spinescens laufend.
- *** Limonium stocksii wohl zum Teil unter L. axillare s.l.
- **** Sporobolus arabicus s.l. (incl. S. a. s.str., S. ioclados = S. jemenicus = S. kenthrophyllus)
- ***** Sevada schimperi ist weiter verbreitet, wohl z.T unter Salsola vermiculata laufend.

Wichtige Synomyme:

Aeluropus massauensis = A. lagopoides

Arthrocnemum glaucum = A. macrostachyum

Cistanche lutea + C. tubulosa = C. phelypaea

Cornulaca leucantha = C. aucheri

Cornulaca arabica = C. monacantha

Hammada salicornia + H. elegans = Haloxylon salicornicum

Lasiurus hirsutus = L. scindicus

Robbairea delileana = Polycarpaea robbairea

Salicornia herbacea = S. europaea

Salicornia perfoliata = Halopeplis p.

Salsola baryosma = S. imbricata

Salsola forskahlii = S. spinescens

Suaeda hortensis = S. aegyptiaca

Suaeda pruinosa + S. vera + S. vermiculata = S. fruticosa

Lokalitäten und Quellen:

- 1 Kuweit: HALWAGY (1986)
- 2 Al Jubail: BÖER (1994)
- 3 Qatar: ABDEL-RAZIK & ISMAIL (1990)
- 4 Qatar: BATANOUNY & TURKI (1983)
- 5 Qatar: BABIKIR & KÜRSCHNER (1992)
- 6 Bahrain: ABBAS & EL-OQLAH (1992)
- 7 Abu Dhabi, Küste: BÖER & GLIDDON (1998)
- 8 Abu Dhabi, Inseln: WESTERN (1982, 1983)
- 9 Dubai: DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN (1996)
- 10 Fujeirah: WESTERN (1987)
- 11 Maskat: KÜRSCHNER (1986)
- 12 Masirah: GHAZANFAR & RAPPENHÖNER (1994)
- 13 Mukallah: KÜRSCHNER et al. (1998)
- 14 Aden: AL-GIFRI & HUSSEIN (1993), AL-GIFRI & AL-SUBAI (1994)
- 15 Luhayyah: (siehe Tab. 1 hier)
- 16 Farasan-Inseln: EL-DEMERDASH (1996)
- 17 Jizan: KÖNIG (1987), EL-DEMERDASH & ZILAY (1994), EL-DERMERDASH et al. (1995)
- 18 Jiddah: MAHMOUD et al. (1982), YOUNES et al. (1983), FREY et al. (1984), EL-SHOURBAGY et al. (1986)
- 19 Aqaba, Ostküste: MAHMOUD et al. (1985)
- 20 Aqaba, Westküste: DANIN (1983), FREY & KÜRSCHNER (1986)

Wenn die Transekte weit landein reichen, wurden nicht alle glykophilen Arten übernommen.

Das Zygophyllum album-Geosigmetum (Tab. 2, Spalten 16-20): Dieser Vegetationskomplextyp ist nubisch verbreitet, also an den Küsten in der Nordhälfte des Roten Meeres. Besonders gut ausgebildet ist er entlang der beiden Meeresarme, welche den Sinai begrenzen (Golf von Aqaba und Golf von Suez). Kennassoziationen sind verschiedene Gesellschaften der Verbände Zygophyllion albi, Halocnemion strobilacei und Nitrarion retusae. Bei den Kontaktgesellschaften ist insbesondere das Zillo spinosae-Zygophylletum coccinei zu nennen.

Die Haloserien am Roten Meer enthalten fast stets Suaeda monoica, eine paläotropische Art, die an den ostarabischen Küsten fehlt, im Roten Meer jedoch sehr weit nach Norden vordringt. Auf dem Süd-Nord-Gradienten entlang des Roten Meeres ist bei den Halophyten eine allmähliche Ablösung einzelner Arten festzustellen mit einer deutlichen Zäsur zwischen 17 und 18° n.Br. (zwischen Spalte 15 und 16) (z.B. geht Odyssea mucronata nicht weiter nach Norden), einer weniger deutlichen bei ca. 24° n.Br. (Hinzutreten von Zygophyllum album) und einem sehr markanten pflanzengeographischen Wandel im Golf von Aqaba. Dort überschreitet man die klimatische Tropengrenze nach TROLL & PAFFEN (1965). Nördlich davon fehlen die Charakterarten der Sporobolo-Aeluropetalia, hinzu kommen Nitraria retusa, Limonium pruinosum und in den Kontaktgesellschaften Haloxylon salicornicum und Gymnocarpus decandrus (Spalten 19 und 20).

An der Westseite des Roten Meeres liegen die Verbreitungsgrenzen nach den Übersichten bei KASSAS & ZAHRAN (1967) und ZAHRAN (1977) etwa gleich: Bei etwa 26° n.Br. hat Halocnemum strobilaceum seine Südgrenze erreicht, nur etwa bis zur Südspitze des Sinai reicht Limonium pruinosum. Bei 24° n.Br. endet Nitraria retusa als gesellschaftsbildende Art und wird nach Süden zu von der habitatäquivalenten Suaeda monoica abgelöst. Bei diesem Breitengrad setzen nach Süden zu auch Limonium axillare, Sporobolus spicatus und Aeluropus spp. ein.

5. Zusammenfassende Diskussion und überregionaler Vergleich

Wie sich zwangsläufig aus der Chorologie wichtiger Schlüsselarten der arabischen Küstenvegetation ergibt (Kap. 4.1.), sind auch die meisten Gesellschaften klimazonal gebunden. Am weitesten verbreitet sind das Avicennietum und das Halopeplidetum, also Hygrohalophytengesellschaften. Sie zeigen, daß die Vegetation der Küsten Arabiens (mit Ausnahme des nördlichen Persischen Golfes und des Golfes von Eilat) tropisch ist. Landeinwärts wird schon in den Küstendünengesellschaften eine regionale Differenzierung sichtbar. Sie ist ebenso deutlich wie bei den glykophilen Dünengesellschaften (MANDAVILLE 1998), auch wichtige Nord-Süd-Grenzen (24° n.Br., 17/18° n.Br.) stimmen überein. Die geographischen Kenn- und Trenngesellschaften erlauben, drei regionale Geosigmeten zu unterscheiden, ein östliches (mit nördlichem und südlichem Subtyp), ein südwestliches und ein nordwestliches Mosaik mit wiederkehrender Gesellschaftskombination. Die räumliche Abgrenzung stimmt überein mit der phytochorologischen Gliederung der Arabischen Halbinsel nach LEONARD (1989). Differenzierende Faktoren sind offenbar Klimaeffekte, welche durch die drei Luftmassen hervorgerufen werden, die neben der dominierenden Subtropischen Hochdruckzelle gelegentlich von Nordwesten, von Nordosten und von Südwesten auf die Arabische Halbinsel vordringen können. Die besonders weit nördliche Lage der Tropengrenze im Bereich des Rotmeergrabens, eine Klimaanomalie, die selbst in der weltweiten Übersicht bei TROLL & PAFFEN (1965) sichtbar wird, zeichnen auch die Pflanzengesellschaften an der Küste nach.

Daß der pflanzengeographische Wandel entlang von großräumigen Klimagradienten zur geographischen Gliederung von Vegetationskomplextypen führen kann, zeigte KÖPPLER (1995) am Beispiel der Steppenheidekomplexe vom Schweizer Jura über die Schwäbische Alb zur Südlichen Frankenalb. Hier spielen neben Pflanzensippen, welche auf den Gradienten vom subatlantischen zum subkontinentalen Klima ansprechen, jedoch auch vegetationshistorische Effekte (Relikte des Postglazial) eine Rolle, da die Fundorte heute stark isoliert sind. Solche historischen Effekte werden in der Halophytenvegetation der Arabischen Halbinsel weniger sichtbar, da die potentiellen Standorte mehr oder weniger kontinuierlich verbreitet sind, sie können jedoch gelegentlich auch hier beobachtet werden

(z.B. Endemiten der Masirah-Inseln, Beziehungen zwischen der Vegetation der Hadramautküste, Sokotras und der afrikanischen Küste etc.).

In einer globalen Perspektive deuten sich sehr viele Parallelen zwischen den hier dargestellten Bedingungen im altweltlichen Trockengürtel und denen in der Neotropis an. Besonders ergiebig ist ein Vergleich mit den Ergebnissen von Peinado et al. (1994, 1995). Diese Autoren untersuchten die Küstenvegetation an der Grenze Holarktis – Neotropis in Niederkalifornien. Es zeigen sich Parallelen in floristischer und standörtlicher Hinsicht, aber auch bei den dominierenden Lebensformen: Dies führt zu vergleichbaren kleinräumigen Zonierungen, zu gleichen Formationen mit nischenäquivalenten Arten und zu vikariierenden Syntaxa wie der Klasse der randtropischen ostpazifischen Halophytenfluren Limonio californici-Frankenietea salinae (insbesondere dem Sarcocornion pacificae und Cresso truxillensis-Atriplicion watsonii) und der neotropischen Mangrovegebüsche Rhizophoro mangle-Laguncularietea racemosae. Auch dort bleiben die Spartinetea- und die Thero-Salicornietea-Gesellschaften auf den außertropischen Bereich begrenzt.

6. Zusammenfassung

Nach einer Einführung in die klimatische und pflanzengeographische Differenzierung der Arabischen Halbinsel und nach Hinweisen zur regionalen Vikarianz bei ausgewählten Gattungen wird untersucht, wie sich edaphische und klimatische Gradienten auf die Halophyten auswirken. Insbesondere wird geprüft, wie sich die oft als azonal angesehene Küstenvegetation beim Übergang vom holarktischen zum paläotropischen Florenreich verändert. Daten aus Küsten-Inland-Transekten werden wie Sigma-Aufnahmen behandelt.

Nach einer Übersicht über bereits publizierte Küsten-Binnenland-Zonierungen werden neue Daten von der jemenitischen Rotmeerküste vorgestellt. Dort folgt auf das Avicennietum marinae das Aeluropo lagopoidis-Suaedetum fruticosae, anschließend das Odysseo mucronatae-Suaedetum fruticosae.

Aus dem chorologischen Verhalten wichtiger Schlüsselarten der Arabischen Küstenvegetation ergibt sich, daß auch die meisten Gesellschaften klimazonal gebunden sind. Zirkumarabisch verbreitet sind nur das Avicennietum marinae und das Halopeplidetum perfoliatae. Diese tropischen Hygrohalophytengesellschaften kennzeichnen den Arabischen Küstenvegetationskomplex insgesamt (mit Ausnahme des nördlichen Persischen Golfes). Landeinwärts wird schon in den Küstendünengesellschaften eine klimatisch bedingte Differenzierung in drei Geosigmeten (catenale Vegetationskomplexe) sichtbar:

- 1. Das Zygophyllum qatarense-Geosigmetum an der Ostküste mit einem nördlichen Untertyp am Persischen Golf und einem südlichen am Golf von Oman. Ersterer wird durch irano-turanische Geoelemente und die nordarabischen Halocnemion strobilacei-Gesellschaften charakterisiert. Dieser Raum bekommt Winterniederschläge und steht zeitweilig unter dem Einfluß außertropischer Festlandsluft aus dem iranischen Hochland und maritimer Luftmassen aus dem Mittelmeerbekken. Eine Kenngesellschaft des zweiten Untertyps ist das Sphaerocometum aucheri, eine Assoziation mit omanisch-makranischer Verbreitung. Deren Synareal ist frostfrei und tendiert zu Sommerregen.
- 2. Das *Odyssea mucronata*-Geosigmetum: Das Odysseo-Suaedetum fruticosae und das Aeluropo-Suaedetum sind Kenngesellschaften des Vegetationsmosaiks der Südwestecke der Arabischen Halbinsel. Nördliche Ausläufer des Indischen Monsuns führen dort zu Sommerregen.
- 3. Das nubisch verbreitete *Zygophyllum album*-Geosigmetum: Seine Kennassoziationen gehören zu den Verbänden Zygophyllion albi, Halocnemion strobilacei und Nitrarion retusae.

Die nachfolgende syntaxonomische Gliederung ist als vorläufig anzusehen. Werden die Juncetea maritimi als mediterran-atlantische Klasse definiert, so ist das Aeluropion lagopoidis nicht hierin einzuschließen. Es stellt vielmehr den Typusverband der Sporobolo-Aeluropetalia dar. Die mediterran-atlantischen Salicornietea fruticosae werden im saharo-arabischen Raum von den Halopeplido-Suaedetea abgelöst. Die xerohalophilen Salsolo-Suaedetalia besiedeln die Küstendünen im Süden der Halbinsel. Sie gliedern sich in die Verbände Sphaerocomion aucheri und Odysseion mucronatae.

```
Vorläufige synsystematische Gliederung der erwähnten Syntaxa
Avicennio-Sonneratietea Knapp 1968 (syn. Avicennietea marinae Zohary 1973)
    <paläotropische Mangroven>
          Avicennietum marinae Cuadrecasas 1958
              <palaotropische Marginalgesellschaft>
Halopeplido-Suaedetea Knapp 1968 (pp. syn. Suaedetea fruticosae deserta Zohary 1973)
    < saharo-arabische Halophytenfluren; Chenopodiaceen-reiche, randtropische Salzmarschen>
   Halopeplidetalia perfoliatae Knapp 1968
       < saharo-arabische Hygrohalophytenfluren >
       Halopeplidion perfoliatae all. nov. hoc loco
          Halopeplidetum perfoliatae Deil & Müller-Hohenstein ex Kassas 1996
              < nubisch-arabisch >
   Salsolo-Suaedetalia Knapp 1968
       < saharo-arabische Xerohalophytenfluren >
       Sphaerocomion aucheri all. nov. hoc loco
          Cornulaco monacanthae-Sphaerocometum aucheri Deil & Müller-Hohenstein 1996
              < omanisch-makranisch >
                 - sphaerocometosum
                    halopyretosum mucronati Deil & Müller-Hohenstein 1996
          Atripex farinosa-Suaeda moschata-Gesellschaft sensu Ghazanfar & Rappenhöner (1994)
              <Masirah-Inseln>
       Odysseion mucronatae all. nov. hoc loco
          Odysseo mucronatae-Suaedetum fruticosae ass. nov. hoc loco
              < eritreo-somalisch-südwestarabisch >
          Odyssea mucronata-Suaeda monoica-Sporobolus-Gesellschaft sensu Al-Gifri & Hussein (1993)
              < südwest-arabisch >
          Odyssea-Halopyrum mucronatum-Coelachyrum piercei-Gesellschaft sensu Kürschner et al. 1998
              < Hadramaut-Küste >
Salicornietea fruticosae Tx. & Oberd. ex A. de Bolòs y Vayreda 1950
    < Mediterran-nordsaharische Salzmarschen, periodisch überflutet >
   Arthrocnemetalia fruticosi Br.-Bl. 1931 em. O.Bolòs 1957
       Arthrocnemion glauci Rivas-Martínez & Costa 1984 (syn. Arthrocnemetalia glauci Knapp 1968)
       Halocnemion strobilacei Gehu et al. 1994 (syn. Halocnemetea strobilacei Zohary 1973)
         < südmediterran-nordsaharo-arabisch-irano-turanisch >
        Arthrocnemo macrostachyi-Halocnemetum strobilacei Oberdorfer 1952
        Zygophyllo albi-Halocnemetum strobilacei Gehu et al. 1992
           < nubisch >
       Zygophyllo albi-Arthrocnemion macrostachyi Gehu et al. 1992
           < salzhaltige Tone >
          Zygophyllo albi-Arthrocnemetum macrostachyi Gehu et al. 1992
              < nubisch-libysch >
       Zygophyllion fontanesii ined.
```

Zygophyllo fontanesii-Arthrocnemetum Ferndandez & Santos 1983 < kanarisch-südwestmauretanisch>

Limoniastretalia guyoniani Guinochet 1951 em. Gehu & Gehu-Frank 1990

< nordsaharisch, biogene Sanddünen über Ton, episodisch überflutet>

Zygophyllion albi Gehu et al. 1990

< salzhaltige Sande >

Cornulaco monacanthae-Zygophylletum albi (Danin 1983) Gehu et al. 1992

> Sinai >

Nitrario-Limoniastretum guyoniani Br.-Bl. 1949

Halopyro-Sporoboletea Knapp 1968

< saharo-arabische halotolerante Rasen auf embryonalen Litoraldünen >

Sporobolo-Aeluropetalia Knapp 1968

Aeluropion lagopoidis Gehu & Biondi 1995 stat. nov.

Aeluropo lagopoidis-Suaedetum fruticosae ass. nov. hoc loco

< saharo-arabisch >

Arthrocnemo macrostachyi-Aeluropetum lagopoidis Gehu & G.-F. 1992

< saharo-arabisch >

Aeluropo lagopoidis-Juncetum arabici (Vanden Berghen 1979) Gehu & G.-F. 1992

< saharo-arabisch >

Aeluropo lagopoidis-Sarcocornietum deflexae Brullo & Furnari 1988 corr. Gehu & Biondi 1995 < Tunesien >

Aeluropo lagopoidis-Sarcocornietum alpini (Brullo1988) Barbagallo et al. 1990

< Tunesien >

Halopyrum mucronatum-Urochondra setulosa-Ges. sensu Ghazanfar & Rappenhöner 1994

< Masirah-Insel >

Urochondra setulosa-Gesellschaft sensu Kürschner et al. 1998

< Hadramaut-Küste >

Pegano hamadae-Salsoletea vermiculatae Br.-Bl. & O.Bolòs (1958) Peinado & Riv-Mart. 1984

< südmediterran-nordsaharische, schwach halotolerante, nitrophytische Zwergstrauchgesellschaften > Salsolo vermiculatae-Peganetalia harmalae Br.-Bl. & O.Bolòs (1954) 1957

Nitrarion retusae Brullo & Furnari 1990

Tamarici-Nitrarietum retusae Brullo & Furnari 1990

< nord-saharo-arabisch >

Haloxylo tamariscifoliae-Atriplicion glaucae Rivas Goday & Riv.-Mart. ex Rigual 1972 Atriplici glaucae-Suaedetum pruinosae Rigual 1972

< semiarides Iberien, nordsaharisch>

Frankenietea pulverulentae Riv.-Mart. ex Castroviejo & Porta 1976 em. Brullo 1988

< südmediterran-saharo-arabische, halophile, schwach nitrophytische Krautfluren >

Frankenion pulverulentae Rivas-Martínez ex Castroviejo & Porta 1976 em. Brullo 1988

Cressetum creticae Brullo & Furnari 1970

< südmediterran-saharo-arabisch >

Zygophyllion simplicis Deil & Mü.-Ho. 1996 prov.

Frankenio pulverulentae-Zygophylletum simplicis Deil & Müller-Hohenstein 1996 < saharo-arabisch >

Acacietea tortilis Knapp 1968 (syn. Acacietea sudano-arabica Zohary 1973)

< saharo-arabische, sahelo-sudanesische Trockengehölze >

?Panicetalia turgidi Knapp 1968 (? pp. syn. Hammadetea salicornicae Zohary 1973?)

? Acacio-Panicion Barry et al. 1981

Leptadenio-Rhynchosietum schimperi Deil & Müller-Hohenstein 1996

< omanisch-makranisch >

7. Danksagung

Viele wertvolle Hinweise zur Ökologie, Nomenklatur und Systematik der halophilen Chenopodiaceen verdanke ich Herrn Prof. Dr. Helmut Freitag (Kassel). Die Daten für Tabelle 1 wurden zusammen mit Herrn Prof. Dr. Klaus Müller-Hohenstein (Bayreuth) erhoben. Herr Dr. Erwin Bergmeier (Freiburg) hat den Manuskriptentwurf kritisch durchgelesen. Frau Elisabeth Schill (Bayreuth) und Herr Wolfgang-Harry Müller (Freiburg) zeichneten die Kartenentwürfe ins Reine. Frau Ingeborg Vierlinger (Freiburg) besorgte in gewohnter Zuverlässigkeit die Reinschrift des Manuskriptes. Herr Sven Schlenker (Freiburg) hat die Daten für die Tabellen eingegeben. Ihnen allen sei herzlich gedankt.

8. Literatur

ABBAS, J.A., S.A. MOHAMMED & M.A. SALEH (1991a): Edaphic factors and plant species distribution in a protected area in the desert of Bahrain Islands. - Vegetatio, 95: 87-93.

ABBAS, J.A., S.A. MOHAMMED & M.A. SALEH (1991b): Plant communities of a protected area in the desert of Bahrain island. - J. Arid Environment, 20: 31-42.

ABBAS, J.A. & A.A. EL-OQLAH (1992): Distribution and communities of halophytic plants in Bahrain. - J. Arid Environment, 22: 205-212.

ABDEL-RAZIK, M.S. & A.M. ISMAIL (1990): Vegetation composition of a maritime salt marsh in Qatar in relation to edaphic features. - J. Veget. Sci., 1: 85-88.

AL-GIFRI, A.N. & M.A. HUSSEIN (1993): Plant communities along the road from Aden to Sheikh Salem (Abyan) Yemen. - Feddes Repertorium, 104: 267-270.

AL-GIFRI, A.N. & M.J. AL-SUBAI (1994): Vegetation between Abyan and Modia (Abyan Governorate, Jemen). - Feddes Repertorium, 105: 229-234.

BABIKIR, A.A. & H. KÜRSCHNER (1992): Vegetational patterns within a coastal saline of NE-Qatar. - Arab. Gulf J. scient Res., 10: 61-75.

BARKMAN, J.J., J. MORAVEC & S. RAUSCHERT (1986): Code of phytosociological nomenclature. - Vegetatio, 67: 145-195.

BATANOUNY, K.H. (1981): Ecology and Flora of Qatar. Oxford. XIV, 245 S.

BATANOUNY, K.H. & A.A. TURKI (1983): Vegetation of South Western Qatar. - Arab. Gulf J. scient. Res., 1: 5-19.

BÖER, B. (1994): Status, environmental factors and recovery of the intertidal and terrestrial vegetation between Ras-az-Zawr and Abu Ali Island after the Gulf War Oil Spill. - In: Marine Habitat and Wildlife Sanctuary for the Gulf Region. Final Report Phase II: 229-253. Frankfurt.

BÖER, B. (1996): Trial planting of mangroves (Avicennia marina) and salt-marsh plants (Salicornia europaea) in oil-impacted soil in the Jubail area, Saudi Arabia. - In: KRUPP, F., ABUZINADA, A.H. & NADER, J.A. (eds.): A Marine Wildlife Sanctuary for the Arabian Gulf: 186-192. Riyadh.

BÖER, B. & D. GLIDDON (1998): Mapping of coastal ecosystems and halophytes (case study of Abu Dhabi, United Arab Emirates). - Mar. Freshwater Res., 49: 297-301.

BOULOS, L. (1978): Materials for a flora of Qatar. - Webbia, 32: 369-396.

BOULOS, L. (1987): A contribution to the Flora of Kuwait. - Candollea, 42: 263-275.

BOULOS, L. (1991a): The identity, typification and distribution of Salsola imbricata Forsskal. Studies in the Chenopodiaceae of Arabia I. - Kew Bull., 46: 137-141.

BOULOS, L. (1991b): Notes on Suaeda Forssk. ex Scop. Studies in the Chenopodiaceae of Arabia II. - Kew Bull., 46: 291-296.

BOULOS, L. (1991c): A new species of Salsola from Oman. Studies in the Chenopodiaceae of Arabia III. - Kew Bull., 46: 297-299.

BOULOS, L. (1992): Notes on Agathophora (Fenzl) Bunge and Cornulaca Del. Studies in the Chenopodiaceae of Arabia V. - Kew Bull., 47: 283-287.

COLLENETTE, S. (1985): An illustrated guide to the flowers of Saudi Arabia. – MEPA Flora Public.,1. - Jeddah.

COPE, T.A. (1992): Some new Arabian grasses II. - Kew Bull., 47: 655-665.

- DANIN, A. (1983): Desert vegetation of Israel and Sinai. Jerusalem. 148 S.
- DEIL, U. (1998): Coastal and Sabka vegetation. In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (eds.): Vegetation of the Arabian Peninsula: 209-228. Dordrecht.
- DEIL, U. & K. MÜLLER-HOHENSTEIN (1996): An outline of the vegetation of Dubai (UAE). Verh. Ges. für Ökologie, 25: 77-95.
- EL-DEMERDASH, M.A. (1996): The vegetation of the Farasan Islands, Red Sea, Saudi Arabia. J. Veget. Sci., 7: 81-88.
- EL-DEMERDASH, M.A. & A.M. ZILAY (1994): An introduction to the plant ecology of Tihamah plains of Jizan region, Saudi Arabia. Arab.Gulf J. scient. Res., 12: 285-299.
- EL-DEMERDASH, M.A., A.L. HEGAZY & A.M. ZILAY (1995): Vegetation-soil relationships in Tihamah coastal plains of Jazan region, Saudi Arabia. J. Arid Environment, 30: 161-174.
- EL-HADIDI, M.N. (1977): Two new Zygophyllum species from Arabia. Publ. Cairo Univ. Herb., 7/8: 327-331.
- EL-HADIDI, M.N. (1980): On the taxonomy of Zygophyllum Section Bipartita. Kew Bull., 35: 335-340.
- EL-SHOURBAGY, M.N., N.A. BAESHIN & K.F. EL-SAHHAR (1986): Studies on the ecology of the western provinces of Saudi-Arabia I. Vegetation and soil of Jeddah-Tuwal area. Feddes Repertorium, 97: 705-712.
- EL-SHOURBAGY, M.N., O.H. AL-EIDAROS & H.S. AL-ZAHRANI (1987): Distribution of Halopeplis perfoliata (Forssk.) Bge. ex Schweinf. in the Red Sea coastal salt marshes: Phytosociological relations and responses to soil. J. Coastal Res., 3: 179-187.
- FISHER, M. & D.A. MEMBERY (1998): Climate. In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (eds.): Vegetation of the Arabian Peninsula: 5-38. Dordrecht.
- FISHER, M. ET AL. (1998): Diversity and conservation. In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (eds.): Vegetation of the Arabian Peninsula: 265-302. Dordrecht.
- FOSSATI, J., G. PAUTOU & P. PELTIER (1998): Wadi vegetation of the North-Eastern Desert of Egypt. Feddes Repertorium, 109: 313-327.
- FREITAG, H. (1989): Contributions to the Chenopod flora of Egypt. Flora, 183: 149-173.
- FREITAG, H. (1991): The distribution of some prominent Chenopodiaceae in SW Asia and their phytogeographical significance. Flora et Vegetatio Mundi, 9: 281-292.
- FREITAG, H. (1997): Salsola. In: HEDGE, I.C. (ed.): Chenopodiaceae. Flora Iranica, 172. Graz.
- FREY, W., A.M. EL-SHEIKH & A.M. MIGAHID (1984): Zonation and photosynthetic pathway of halophytes on the Red Sea coast near Tawwal (Saudi Arabia). Notes R.B.G. Edinburgh, 42: 45-56.
- FREY, W., H. KÜRSCHNER & W. STICHLER (1985): Photosynthetic pathways and ecological distribution of halophytes from four littoral salt marshes (Egypt/Sinai, Saudi Arabia, Oman and Iran). Flora, 177: 107-130.
- FREY, W. & H. KÜRSCHNER (1986): Vegetation Beispiele, Persische Golfküste: Mangrove, Golf von Aqaba: Mangroven und Küstensalinen, Golf von Oman: Mangroven und Küstensalinen. = Tübinger Atlas des Vorderen Orients A VI 10, Wiesbaden.
- GEHU, J.-M. & E. BIONDI (1995): Essai de typologie phytosociologique des habitats et des végétations halophiles des littoreaux sédimentaires périméditerranéen et thermo-atlantiques. Fitosociologia, 30: 201-212.
- GHAZANFAR, S.A. & D. RAPPENHÖNER (1994): Vegetation and flora of the islands of Masirah and Shaghaf, Sultanate of Oman. Arab Gulf J. scient. Res., 12: 509-524.
- GUBA, I. & K. GLENNIE (1998): Geology and geomorphology. In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (eds.): Vegetation of the Arabian Peninsula: 39-62. Dordrecht.
- HALWAGY, R. (1986): On the ecology and vegetation of Kuwait. In: H. KÜRSCHNER (ed.): Contributions to the Vegetation of Southwest Asia = Beih. Tübinger Atlas des Vorderen Orients, Reihe A, 24: 81-109. Wiesbaden.
- HALWAGY, R. & M. HALWAGY (1977): Ecological studies in the desert of Kuwait. III: The vegetation of the coastal salt marshes. J. Univ. Kuwait (Sci.), 4: 33-74.
- HEMMING, C.F. (1961): The ecology of the coastal area of northern Eritrea.- J. Ecol., 49: 55-78.
- ISMAIL, A.M. (1983): Some factors controlling the water economy of Zygophyllum qatarense (Hadidi) growing in Qatar. J. Arid Environment, 6: 239-246.
- ISMAIL, A.M. (1990): Germination ecophysiology in populations of Zygophyllum qatarense Hadidi from contrasting habitats. J. Arid Environment, 18: 185-194.

ISMAIL, A.M. & G.A. EL-GHAZALY (1990): Phenological studies on Zygophyllum qatarense Hadidi from contrasting habitats. - J. Arid Environment, 18: 195-205.

KASSAS, M. (1957): On the ecology of the Red Sea coastal land. - J. Ecol., 45: 187-203.

KASSAS, M. & M.A. ZAHRAN (1967): On the ecology of the Red Sea littoral saltmarsh. - Egypt. Ecol. Monogr., 37: 297-316.

KNAPP, R. (1968): Höhere Vegetationseinheiten von Äthiopien, Somalia, Natal, Transvaal, Kapland und einigen Nachbargebieten. - Geobot. Mitt., 56: 1-36.

KÖNIG, P. (1987): Vegetation und Flora im südwestlichen Saudi-Arabien (Asir, Tihama).- Dissertationes Botanicae, 101. Stuttgart.

KÖPPLER, D. (1995): Vegetationskomplexe von Steppenheide-Physiotopen im Juragebirge und ihre Bedeutung als Element einer landschaftsökologischen Gliederung. - Dissertationes Botanicae, 249. Berlin.

KUKKONEN, I. (1991): Problems in Carex section Physodae and Cyperus conglomeratus within the Flora Iranica area. - Flora et Vegetatio Mundi, 9: 63-73.

KÜRSCHNER, H. (1986a): Omanisch-makranische Disjunktionen. Ein Beitrag zur pflanzengeographischen Stellung und zu den florengenetischen Beziehungen Omans. - Bot. Jahrb. Systematik, 106: 541-562.

KÜRSCHNER, H. (1986b): A Study of the Vegetation of the Qurm Nature Reserve, Muscat Area, Oman. - Arab Gulf J. scient. Res., 4: 23-52.

KÜRSCHNER, H. (1998): Biogeography and introduction to vegetation. - In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (eds.): Vegetation of the Arabian Peninsula: 63-98. Dordrecht.

KÜRSCHNER, H., A.N. AL-GIFRI, M.Y. AL-SUBAI & A.K. ROWAISHED (1998): Vegetational patterns within coastal salines of southern Yemen. - Feddes Repertorium, 109: 147-159.

LEONARD, J. (1989): Considerations phytogéographiques sur les phytochories irano-touranienne, saharo-sindienne et de la Somalie-pays Masai. = Contribution à l'étude de la flore et de la végétation des deserts d'Iran., Fasc. 9. - Meise.

MAHMOUD, A. (1984): Germination of caryopses of the halophyte Aeluropus massauensis from Saudi Arabia. - Arab Gulf J. scient. Res., 2: 21-36.

MAHMOUD, A., A.M. EL-SHEIKH & F. ISAWI (1982): Ecology of the littoral salt marsh vegetation at Rabigh on the Red Sea coast of Saudi Arabia. - J. Arid Environment, 5: 35-42.

MAHMOUD, A., A.M. EL-SHEIKH & S. ABDUL BASET (1983): Germination of two halophytes: Halopeplis perfoliata and Limonium axillare from Saudi Arabia. - J. Arid Environment, 6: 87-98.

MAHMOUD, A., A.M. EL-SHEIKH, M.M. YOUSSEF & M. EL TOM (1985): Ecology of the littoral salt marsh vegetation at Al-Magawah, on the Gulf of Aqaba, Saudi Arabia. - Arab Gulf J. scient. Res., 3: 145-163.

MANDAVILLE, J.P. (1990): Flora of Eastern Saudi Arabia. London.

MANDAVILLE, J.P. (1998): Vegetation of the Sands. - In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (eds.): Vegetation of the Arabian Peninsula: 191-208. Dordrecht.

MILLER, A.G. & T.A. COPE (1996): Flora of the Arabian Peninsula and Socotra. Vol. I. - Edinburgh.

PEINADO, M., F. ALCARAZ, J. DELGADILLO, M. DE LA CRUZ, J. ALVAREZ & J.L. AGUIRRE (1994): The coastal salt marshes of California and Baja California. – Vegetatio, 110: 55-66.

PEINADO, M., F. ALCARAZ & J. DELGADILLO (1995): Syntaxonomy of some halophilous cummunities of North and Central America. – Phytocoenologia, 25: 23-31.

SCOTT, A.J. (1981). A new Suaeda from Dhofar. - Kew Bull., 36: 558.

SHEPPARD, C., A. PRICE & C. ROBERTS (1992): Marine ecology of the Arabian region. Pattern and processes in extreme tropical environments. London.

TROLL, C. & K. PAFFEN (1965): Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. - Erdkunde, 18: 5-28.

VESEY-FITZGERALD, D.F. (1955): Vegetation of the Red Sea coast south of Jedda, Saudi Arabia. - J. Ecol., 43: 477-489.

VESEY-FITZGERALD, D.F. (1957): The vegetation of the Red Sea coast north of Jedda, Saudi Arabia. - J. Ecol., 45: 547-562.

WALTER, H. (1954): Klimax und zonale Vegetation. - Angew. Pflanzensoziologie, 1: 144-150. Wien.

WESTERN, R. (1982): The natural vegetation of Abu Dhabi Islands. - Emirate Nat. Hist. Group Bull., 17: 18-24.

WESTERN, R. (1983): The vegetation of offshore islands in the Gulf. - Emirate Nat. Hist. Group Bull., 20: 16-23.

WESTERN, R. (1987): The coastal vegetation of Fujeirah. - Emirate Nat. Hist. Group Bull., 31: 10-21.

WOOD, J.R.I. (1997): A handbook of the Yemen Flora. Kew.

YOUNES, M.A., M.A. ZAHRAN & M.E. EL-QURASHY (1983): Vegetation - soil relationships of a sea - landward transect, Red Sea coast, Saudi Arabia. - J. Arid Environment, 6: 349-356.

ZAHRAN, M.A. (1977): Wet formations of the African Red Sea Coast. - In: V.J. CHAPMAN (ed.): Wet Coastal Ecosystems: 215-231. Amsterdam.

ZOHARY, M. (1973): Geobotanical Foundations of the Middle East. Stuttgart.

Prof. Dr. Ulrich Deil Institut für Biologie II / Geobotanik Schänzlestr. 1

79104 Freiburg i.Br.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Braunschweiger Geobotanische Arbeiten

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: 6

Autor(en)/Author(s): Deil Ulrich

Artikel/Article: <u>Halophytenvegetation an den Küsten der Arabischen</u> <u>Halbinsel - kleinräumige edaphische Zonierung und großräumige</u> klimabedingte Differenzierung 119-147