

Arabia Felix? – Der Südwesten Arabiens aus geobotanisch-vegetationsökologischer Sicht

Ulrich Deil

Kurzfassung

Die Südwestecke der Arabischen Halbinsel wurde in der Antike wegen ihres Niederschlagsreichtums als glückliches/fruchtbare Arabien bezeichnet. Aus ökonomischer, sozialer und politischer Sicht ist diese Bezeichnung schon lange nicht mehr berechtigt. Aber ist sie aus ökologischer Sicht noch zutreffend?

Nach einem einleitenden Überblick über die Klimabedingungen und das Anbaupotenzial werden die Vegetationszonen und die Bioklimate auf einem West-Ost-Transekt zwischen 14 und 16° n. Br. vorgestellt. Die Vegetationstypen von der Küstenebene am Roten Meer über das Westliche Randgebirge, die Hochlandbecken und die Östliche Randstufe werden physiognomisch-formationskundlich und durch ihre dominanten Arten charakterisiert. Naturnahe Wälder (regengrüne Trockengehölze in tieferen Lagen, immergrüne Wälder und Gebüsche in der montanen Zone) sind weitgehend zerstört und durch vom Menschen geschaffene Terrassenlandschaften ersetzt. Sie wurden zum Ackerbau in Subsistenzwirtschaft genutzt. Reiner Regenfeldbau ist nur kleinflächig möglich. Ansonsten wurde der Ertrag durch Zuschusswasser gesichert (Regenwassersammelwirtschaft, Flutbewässerung).

Genauer wird auf die Felsvegetation eingegangen, die noch relativ naturnah ist. Sie ist sehr artenreich, beherbergt zahlreiche Endemiten und wird von Sukkulenten dominiert. Prozesse der Artbildung und Einnischung werden am Beispiel der Gattungen *Aloe* und *Euphorbia* dargestellt. Die Felshabitate beherbergen geographische und phylogenetische Relikte und machen SW-Arabien zu einem Zentrum der Artenvielfalt.

Abschließend werden negative ökologische Prozesse diskutiert: 1) Degradierung der Vegetation, 2) Verfall der Terrassen und Bodenerosion, 3) Ausweitung der Pumpenbewässerung, insbesondere zum Qat-Anbau, 4) Absenkung des Grundwassers. - Der Jemen steuert auf eine dramatische Wasserkrise zu.

Stichwörter

Jemen, Landwirtschaft, Degradation, Sukkulenten, Artbildung, Biodiversität, Wasserkrise, *Catha edulis*

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Ulrich Deil
Fakultät für Biologie, Abteilung Geobotanik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Schänzlestrasse 1
79104 Freiburg
ulrich.deil@biologie.uni-freiburg.de

Arabia Felix? – Southwestern Arabia from the viewpoints geobotany and vegetation ecology

Abstract

The southwestern corner of the Arabian Peninsula was named happy/fertile Arabia because of its high amount of rainfall. This name is no longer justified according to economic, social and political aspects. But is it still valid for the ecological conditions?

After an introduction to the climate and the agricultural potential of the area (in former North Yemen), the vegetation zones and bioclimates are described on a West-East-transect between 14 und 16° northern latitude. The vegetation types of the coastal plain near the Red Sea, the Western Escarpment, the Highland Basins and the Eastern Escarpment are characterized by vegetation physiognomy and their dominant species. To a large extent, near-natural forests (raingreen woodlands in lower areas, evergreen forests and thickets in the montane belt) have been destroyed and are replaced by man-made terrace landscapes. They are used for self-sustaining agriculture. Pure rainfed agriculture is possible only in small areas. In other parts, additional water supply from rainwater harvesting or flood irrigation guarantees agricultural productivity.

The rock vegetation is presented in more detail. It is relatively well conserved, very rich in species, and shelters numerous endemic species, most of them succulents. The processes of speciation and adaption to different niches are shown by the example of *Aloe* and *Euphorbia*. Rocks are habitats for geographical and phylogenetical relicts and make SW-Arabia to a hotspot of biodiversity.

Finally, some negative ecological processes are discussed: 1) Degradation of the vegetation, 2) soil erosion and fall of terraces into ruins, 3) extension of pump irrigation, especially for Qat-production 4) lowering of the groundwater level. - The Yemen is facing a dramatic water crisis.

Keywords

Yemen, agriculture, degradation, succulents, speciation, biodiversity, water crisis, *Catha edulis*

1. Einleitung

Angeichts des derzeitigen Bürgerkriegs im Jemen und der schon seit Jahren desastösen ökonomischen Situation in diesem Land, klingt es völlig unangebracht, für die Südwestecke der Arabischen Halbinsel den Begriff Arabia Felix zu gebrauchen und nur mit einem Fragezeichen zu versehen. Aber er wurde und wird nicht nur zur Vermarktung von Reisen in den Jemen und den Oman verwendet, sondern auch für archäologische und ethnologische Ausstellungen – so zuletzt 2017 im Antikenmuseum Basel. Da stehen dann auch meist „glücklichere Zeiten“ im Mittelpunkt der Betrachtung, nämlich die alt-südarabischen und prä-islamischen Hochkulturen und die Zeit des Königreiches von Saba.

Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist der Begriff zunächst durchaus berechtigt. Er greift die Dreiteilung Arabiens in der Antike auf. Die Römer unterschieden ein Arabia Petraea (Nordwesten der Halbinsel), ein Arabia Deserta (zentraler wüstenhafter Teil) und eben ein Arabia Felix für den Teil der Arabischen Halbinsel, der am meisten Niederschläge erhält, nämlich die Südwestecke. „Felix“ ist also nicht nur im Sinne von „glücklich“ zu verstehen, sondern auch agrarwirtschaftlich im Sinne von „fruchtbar“. Es ist z.B. ein natürliches Verbreitungsgebiet von *Coffea arabica*. Der Hauptausfuhrhafen für den Kaffee aus Arabien, die Hafenstadt Al Mukha am Roten Meer, hat als Mokka Eingang in unseren Wortschatz gefunden.

Wie gezeigt werden soll, ist die Einstufung der Südwestecke der Halbinsel als Arabia Felix jedoch auch aus ökologischer Sicht sehr in Zweifel zu ziehen, zumindest was die heutige Umweltsituation betrifft. Dies soll an drei Themen dargestellt werden:

1. Nach einem Überblick über die wichtigsten Vegetationstypen und Höhenstufen auf einem West-Ost-Transekt durch den nördlichen Jemen vom Roten Meer über das Westliche Randgebirge und die Hochlandbecken bis zur zentralarabischen Wüste Rub Al Khali soll der Frage nachgegangen werden, inwieweit noch naturnahe Vegetation vorkommt bzw. wie ausgeprägt und verbreitet die Degradierung des natürlichen Pflanzenkleides ist. Etwas detaillierter wird dabei der Frage nachgegangen, welche Rolle die anthropogene Reliefumgestaltung (Terrassierung) für das Vorkommen von Sukkulentenvegetation spielt, wo also Primär- und Sekundärhabitats dieses Vegetationstyps sind. Dies geschieht vor dem Hintergrund großräumiger Florenbeziehungen der Sukkulenten und der Rolle von Felsstandorten für reliktsche Arten und der Evolution neuer Arten.
2. Trotz der im gesamtarabischen Kontext überdurchschnittlichen Niederschläge sind diese nur in einem sehr kleinen Landesteil ausreichend für reinen Regenfeldbau. Daher haben die Jemeniten über viele Jahrhunderte ausgeklügelte Systeme der Wasserbewirtschaftung entwickelt, die je nach Reliefsituation und Hydrogeographie verschieden funktionieren. Diese traditionellen Anbausysteme sollen kurz vorgestellt werden. Sie sind durch die Einbeziehung des Jemen in den internationalen Agrarmarkt nicht mehr kon-

kurrenzfähig und es gibt einen ausgeprägten Agrarwandel mit z.T. gravierenden ökologischen Folgen.

3. Abschließend sollen kurz die ökonomische Rolle der Kulturpflanze und Droge Qat (*Catha edulis*) skizziert und die sich aus der Ausweitung des Anbaus ergebenden ökologischen Risiken diskutiert werden, dies im Kontext der allgemeinen „Wasserkrise“, die im Jemen herrscht.

2. Das Untersuchungsgebiet

Abgrenzung: Die Südwestecke der Arabischen Halbinsel gehört zum Staat Jemen. Die hier vorgestellten Beobachtungen beschränken sich auf den westlichen und nördlichen Landesteil (westlich des 46. Längengrades), der etwa dem Gebiet des früheren Staates Nordjemen entspricht (Abb. 1). Wenn im Weiteren vom Nordjemen gesprochen wird, ist dies als regionaler, nicht als politischer Begriff gemeint. Untersuchungsgebiet i.e.S. ist ein West-Ost-Transekt zwischen 14 und 16° n. Br., das vom Roten Meer über das Jemenitische Randgebirge, das Hochland und die Ostabdachung bis zur Zentralarabischen Wüste (Rub al Khali = das leere Viertel) hin reicht.

Relief und Geologie: Südarabien ist ein Gebirgsland. Der Einbruch des Rotmeergrabens im frühen Miozän bei gleichzeitigem Aufstieg der Arabischen Platte führte dazu, dass die größten Meereshöhen der Arabischen Halbinsel in ihrer Südwestecke erreicht werden, mit dem Kulminationspunkt am Jabal Nabi Shu'ayb bei 3760 m ü. NN (Abb. 1). Eine Nord-Süd-Abfolge von isolierten Gebirgsstöcken mit einem Steilabfall zum Roten Meer hin bildet das Westliche Randgebirge. Östlich davon schließen sich Hochlandbecken an mit Meereshöhen zwischen 1600 und 2500 m ü. NN. Die dem Randgebirge vorgelagerte Küstenebene, die Tihama, besteht aus quartären Sedimenten. Jurassische Kalke dominieren in den nördlichen Gebirgsstöcken und auf der Ostabdachung. Die Hebung der Arabischen Platte und der Einbruch des Rotmeergrabens waren mit starken vulkanischen Aktivitäten verbunden. Sie begannen in der späten Kreide und reichen bis in die jüngste Erdgeschichte. Bis zu 3000 m mächtige Wechsellagerungen von Tuffen und Laven, die sogenannten Trappdecken, dominieren im zentralen und südlichen Randgebirge. Am Gebirgsfuß treten lokal der präkambrische Sockel bzw. granitische Intrusionskörper zutage (für Einzelheiten siehe GROLIÉ & OVERSTREET 1978, und Fig. 3 in KOPP 2005).

Klimabedingungen: Klimagenetisch wird Arabien von vier Luftmassen beherrscht, die je nach Jahreszeit verschieden weit von angrenzenden Gebieten auf die Halbinsel vordringen (siehe Fig. 2.1 in FISHER & MEMBERY 1998 und Fig. 1 bei DEIL 2000): 1) Im Winter dominiert eine nordöstliche Strömung. Kontinentale Luft aus Zentralasien, noch zusätzlich trocken durch den Abstieg vom iranischen Hochland zum persisch-arabischen Golf,



Abb. 1: Relief- und Höhengschichtenkarte des Jemen (Westteil) (aus KOPP 2005, verändert). **Fig. 1:** Relief and altitude levels of the Yemen (western part) (from KOPP 2005, modified).

führt zu Trockenheit in weiten Teilen der Arabischen Halbinsel. 2) Im Winter und Frühjahr dringen außertropische atlantische Luftmassen aus der Westwindzone in die Nordhälfte vor und bringen Winterniederschläge, die an Luftmassengrenzen (Fronten) und ziehende Tiefdruckgebiete gebunden sind (Advektionsregen). 3) Im Sommer bestimmt kontinentale Tropenluft und eine Westströmung die Klimagenese. Arabien ist dann Teil des saharo-arabischen Randtropenhochs mit Absinkbewegungen, hohen Temperaturen und geringer Luftfeuchte. 4) Am bedeutsamsten für die relativ hohen Niederschläge in der grünen SW-Ecke der Arabischen Halbinsel ist die Nordwärtsverlagerung der Innertropischen Konvergenzzone (ITC) im Sommer. Ein Ausläufer des Indischen Sommermonsuns strömt dann von Südwesten über den Golf von Aden gegen die Gebirge des Jemen und Oman und bringt Konvektions- und Steigungs-niederschläge.

Zu diesen großräumigen Luftmassenbewegungen kommen lokale Windsysteme zwischen Jemenitischem Randgebirge und Rotmeergraben und eigenbürtige Zyklonen hinzu, die auch außerhalb der Regenzeiten zu Gewitterniederschlägen über dem Bergland führen können (FLOHN 1964). An vielen Tagen bildet sich eine Wolkendecke am westlichen Gebirgsabfall in etwa 1600 bis 2000 m Meereshöhe. Dort liegt die Kaffeeanbauzone.

Das effektive Klima zeigt bei den Niederschlägen ein ausgeprägtes räumliches und jahreszeitliches Muster (Abb. 2). Alle gebirgigen Bereiche Südwestarabiens erhalten über 200 mm Jahresniederschlag. Die höchsten Regenmengen mit Maxima von 600 bis 1000 mm werden im Westlichen Randgebirge zwischen Ibb und Tai'zz erreicht. Aus den Klimadiagrammen wird der ausgeprägte Jahresgang der Niederschläge ersichtlich. Südlich von Abha im Asirgebirge überwiegen die Sommerniederschläge. Das Sommermaximum ist oft zweigipflig, mit einem ersten Maximum im März/April und einem zweiten im Juli/August. Es ist also ein typisch randtropisches Niederschlagsregime. Daher wird SW-Arabien in Klimagliederungen der Erde der tropischen Klimazone zugeordnet (Abb. 3, rechter Teil).

Auch thermisch ist der Nordjemen tropisch. Die Tieflagen sind ganzjährig heiß, mit Jahresmitteln über 30° C. Auch die mittleren Höhenlagen sind ganzjährig frostfrei und damit geeignet für den Anbau frost- und erkältungsempfindlicher Kulturpflanzen. Erst oberhalb von 2000 m ü. NN treten gelegentlich Fröste auf.

Weitere Einzelheiten zur Klimadifferenzierung des Nordjemen je nach Höhenstufe finden sich im Kapitel Naturräume sowie für Gesamtarabien bei ALEX (1984, 1985), REMMELE (1989) und FISHER & MEMBERY (1998).

Pflanzengeographische Gliederung: Südwestarabien gehört zum Paläotropischen Florenreich (Abb. 3, linker Teil). Die absolute Frostfreiheit der tieferen und mittleren Höhenlagen und der typische randtropische Niederschlagsgang mit Sommermaximum führen dazu, dass tropische Florenelemente im Rotmeergraben weit nach Norden vorstoßen. Besonders eng ist die floristische Verwandtschaft zum Horn von Afrika (Eritrea,

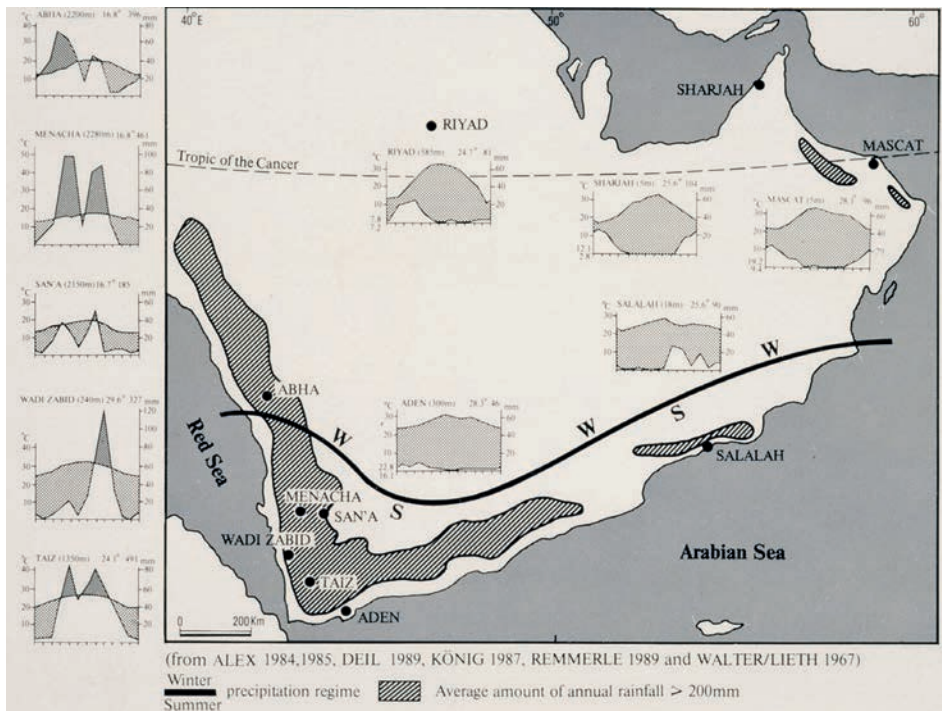


Abb. 2: Klimabedingungen im tropischen Arabien (zusammenfassend nach verschiedenen Quellen). **Fig. 2:** Climatic conditions in tropical Arabia (summarized from different sources).

Djibouti, Somalia). Das Bab al Mandab, die Meerenge zwischen dem Roten Meer und dem Golf von Aden, ist mehr eine verbindende Brücke denn ein trennender Kanal. Meeresspiegelabsenkungen während des Quartärs ließen das Süden des Roten Meeres in der jüngeren Erdgeschichte mehrfach zur einer tatsächlichen Landbrücke werden und damit zu einem Wanderweg für Organismen. ZOHARY (1973) spricht deshalb von einem eritreo-arabischen Florenggebiet, NEWTON (1980) benutzt den Begriff Mandab-Kreis, LE HOUÉROU (2003) spricht von somalo-arabischer Domäne. Die montane Zone SW-Arabiens ist ein nordöstlicher Auslieger des afro-montanen Endemismuszentrums (siehe Kapitel 4.2 und Abb. 4.2 C bei KÜRSCHNER 1998), das wegen der vielen gemeinsamen und dort endemischen Pflanzenarten besser afro-arabo-montanes Endemismuszentrum lauten müsste.

Hydrogeographie und Bewässerungsmethoden: Nur 3 % der Landesfläche erhalten so viel Regen, dass Regenfeldbau ohne Risiko möglich ist (KOPP 2005). Und selbst dort ist es nötig, durch Terrassierung und Umwallung der Felder möglichst viel vom Niederschlag auf der Anbaufläche zurückzuhalten (Retention) (Abb. 4 und 5). In die Umwallung sind Überlaufstellen eingebaut, um das überschüssige Wasser der darunterliegenden Terrasse zuzuleiten (siehe Abb. 96 bei KOPP 2005). Die Niederschläge fallen meist als

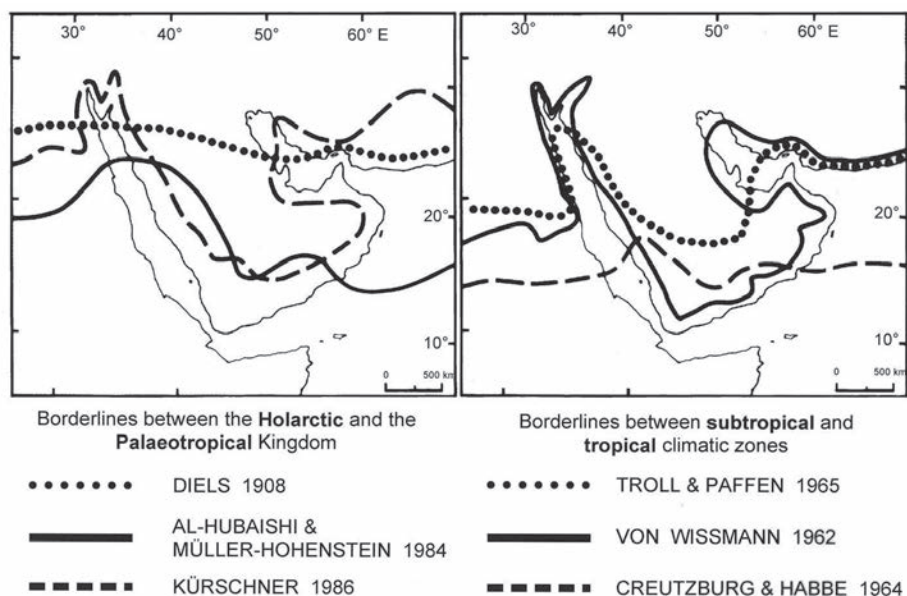


Abb. 3: Pflanzegeographische und klimatische Grenzen auf der Arabischen Halbinsel (nach verschiedenen Autoren). **Fig. 3:** Phytogeographical and climatic borderlines on the Arabian Peninsula (after various authors).



Abb. 4: Ackerbauterrassen mit Mais, Hirse und Luzerne bei Tawilah, Westliches Randgebirge.

Fig. 4: Agricultural terraces with mays, millet and Lucerne near Tawilah, Western Escarpment.

kurzzeitige Starkregen mit hoher zeitlicher und räumlicher Variabilität. Schon in schwach geneigten Lagen und bei kurzen Regenfällen tritt Oberflächenabfluss auf. Um diesen zu reduzieren, haben die Jemeniten die Gebirgshänge über Jahrtausende in eine schier endlose Abfolge von Terrassen umgestaltet. Die Böden der Ackerterrassen sind Kultosoile, nicht nur wegen der Bodenbearbeitung, sondern auch wegen der Akkumulation von Feinmaterial aus dem Oberflächenabfluss.



Abb. 5: Regen- und Bewässerungsfeldbau im Hochland bei Shibam. **Fig. 5:** Rainfed agriculture and irrigated land in the highland near Shibam.



Abb. 6: Qat-Kulturen bei Maghrabah, Harazgebirge; zusätzliches Ablaufwasser von benachbarten Felsflächen.

Fig. 6: Qat cultivation near Maghrabah in the Haraz Mountains; rainwater harvesting from adjacent rock surfaces.

Von der gesamten Anbaufläche des Jemen werden 32 % im Regenfeldbau genutzt (Ag-rarstatistik 1999 aus Jemen-Report 2001). In vielen Landesteilen sind die Niederschläge allerdings nicht ausreichend für eine gesicherte Ernte. Nur ganz kleine Bereiche (2 %) können aus Quellen oder kurzen permanenten Bächen und Flüssen („Ghayl“-Bewässe-

rung) bewässert werden (Abb. 5). Um mehr Wasser auf die Anbaufläche zu bekommen, wurde im Jemen ein System der Regenwassersammelwirtschaft (rainwater harvesting) entwickelt (EGER 1987). Von ungenutzten Flächen wird das Ablaufwasser gezielt der Anbaufläche zugeleitet (Abb. 6) („Sawagi“-Bewässerung). Oftmals wurden Felsflächen auch vom Verwitterungsmaterial geräumt. Die Ablauf- (run-off) und Zulaufstandorte (run-on) sind nicht nur funktional, sondern auch besitzrechtlich miteinander verbunden.

Trotz des ausgeklügelten Terrassensystems entsteht bei länger anhaltenden oder besonders intensiven Regen ein Oberflächenabfluss, der in die Vorfluter geht. Im ganzen Land gibt es jedoch keinen einzigen permanenten Fluss, der das Meer erreicht. Die meisten Flüsse sind Wadis mit Hochwasserspitzen von wenigen Tagen oder Stunden. Dieser Wasserschwall („Sayl“) wird in der Flutbewässerung genutzt durch Ableitdämme im Flussbett, die das Wasser benachbarten, umwallten Feldern zuleiten (Abb. 7). Das versickernde Wasser von einem einzigen oder einigen wenigen Überstaus genügt für eine Ernte. Etwa 8% der Landesfläche werden flutbewässert. Die Sayl-Flächen konzentrieren sich am Austritt großer Wadis in die Küstenebene. Das im Flussbett selbst versickernde Wasser füllt den Grundwasserstrom auf, der durch Brunnen genutzt wird.



Abb. 7: Errichtung von Ableitdämmen und Wallfeldern für die Flutbewässerung im Becken von At Tur. **Fig. 7:** Construction of deviation ditches and walled fields for flood irrigation in the basin of At Tur.



Abb. 8: Naturräume des Jemen (Westteil) (nach KOPP 2005, verändert). **Fig. 8:** Ecoregions of the Yemen (western part) (from KOPP 2005, modified).

Naturräumliche Gliederung: Aus dem Zusammenwirken der abiotischen Faktoren Relief, Ausgangssubstrat, Böden und Klima ergibt sich von West nach Ost die folgende naturräumliche Gliederung (= Großlandschaften bei KOPP 2005) (siehe Abb. 8):

1. Die **Tihama** ist eine flache oder leicht gewellte Küstenebene von 40 bis 100 km Breite in 0 bis 300 m Meereshöhe. Sie ist von quartären Sedimenten bedeckt. Das Klima ist heiß und sehr trocken. Die Jahresmitteltemperatur beträgt über 30° C, die Niederschläge steigen von 100 mm an der Küste auf 200 mm am Gebirgsfuß an. Die Luftfeuchte ist sehr hoch (> 70 %).
2. Die **Gebirgstihama** ist die Übergangszone von der Küstenebene zum Westlichen Randgebirge, mit Höhen von 300 bis 1000 m ü. NN. Die Hangneigung ist mittel. Von Bergen umschlossene Becken werden von großen Wadis durchflossen, die zeitweilig Wasser führen. Das Klima ist semi-arid (100 bis 400 mm Jahresniederschlag), absolut frostfrei und mit hoher Luftfeuchte. Das Jahresmittel der Temperatur beträgt ca. 30° C.
3. Der **Westliche Gebirgshang**, auch Westliches Randgebirge genannt, besteht aus stark geneigten Hängen und Felsabstürzen. Tief eingeschnittene Täler und Schluchten gliedern die Randstufe in einzelne Gebirgsstöcke. Das Klima ist subhumid mit mittleren Jahresniederschlägen von 800 mm im Raum Hajjah und über 1000 mm im Gebiet um Ta'izz (KING et al. 1983). Es ist der feuchteste Bereich des Landes und zugleich der gesamten Arabischen Halbinsel. Das regionale Zirkulationssystem zwischen Rotmeergraben und Randgebirge führt zu einer passatartigen Wolkenzone in etwa 1500 bis 2000 m Höhe, die sich regelmäßig am Nachmittag entwickelt und zu Tauniederschlägen führt (REMMELE 1989). Oberhalb 1800 bis 2000 m können Fröste auftreten (LE HOUÉROU 2003). Bioklimatisch und vegetationskundlich können eine **Untere Randstufe** (1000 – 1600 m ü. NN, bis 600 mm Regen, Jahresmittel der Temperatur bei 25° C) und eine **Obere Randstufe** (1600 – 2200 m ü. NN, bis 1000 mm Regen, Mitteltemperatur 20° C) unterschieden werden.
4. Im Regenschatten des Randgebirges folgt eine Nord-Süd-Serie von **Hochlandbecken und -schwellen**, so etwa auch die Becken um die Städte Sa'dah und Sanaa. Das Klima ist semi-arid und die Luftfeuchte ist gering, in Sanaa im Jahresmittel um 35 %. Fröste sind möglich. Die mittleren Jahresniederschläge sinken von Süden nach Norden ab, von 500 mm bei Yarim, 185 mm bei Sanaa, und 150 mm an der Grenze zu Saudi Arabien (KOPP 2005). Einzelne Gipfel erreichen Höhen zwischen 2700 und 3760 m ü. NN. Sie reichen über die potenzielle Waldgrenze hinaus und bilden eine arabo-alpine Stufe.
5. Der **Östliche Gebirgshang** ist weniger steil als der Westliche und erreicht maximale Höhen von 2200 m. Er geht über Hochplateaus und das Östliche Gebirgsvorland allmählich in die Zentrale Arabische Wüste über. Die Östliche Randstufe hat ein kontinentales und semi-arides Klima (200 mm) mit gelegentlichen Frösten. Am Gebirgsfuß bei Marib sind es unter 70 mm Jahresniederschlag. Die Niederschläge fallen dort erratisch.
6. Ramlat as-Sab'atayn und Rub al-Khali sind hyper-aride Vollwüsten und weitgehend vegetationsfrei.

Diese Gliederung des Landes in Naturräume bedeutet jedoch keineswegs, dass es sich um Naturlandschaften handelt. Bis auf ganze wenige Gebiete im ariden Osten handelt es sich vielmehr um Kulturlandschaften, die vom Menschen über Jahrtausende gestaltet wurden, z.T. in unmittelbarer Nutzung durch Holzeinschlag, Beweidung und Ackerbau, z.T. mittelbar durch die Umgestaltung des Reliefs (Terrassierung) und die Veränderung der Hydrologie (Wasserbewirtschaftungsverfahren). Selbst bei den Felsstandorten, die als relativ naturnah gelten können, sind durch die Terrassierung anthropogene Sekundärhabitats entstanden (Terrassenmauern, Regenwassersammelflächen etc.) (DEIL 1986a, 1988).

3. Material und Methoden

Die Übersicht über die Vegetationstypen und Höhenstufen stützt sich auf eigene Geländeobservations im Ost-West-Transekt zwischen 14 und 16° n. Br., überwiegend aus dem Zeitraum 1982 bis 1992, als man das Gebiet gefahrlos bereisen konnte. Die Vegetationstypen werden aus formationskundlicher Sicht dargestellt unter Hinweis auf einige dominierende und charakteristische Arten. Für die eingehende pflanzensoziologische Analyse wird auf Spezialarbeiten verwiesen. Die Nomenklatur der Pflanzenarten folgt vor allem Wood (1997).

Die kulturgeographischen Angaben (Landnutzung und Landnutzungswandel, Wassernutzung und – übernutzung, Qat-Anbau) richten sich vor allem nach KOPP (2005) sowie einigen neueren Studien, auf die im Einzelnen hingewiesen wird.

4. Ergebnisse

4.1. Flora und Vegetation auf einem W-O-Profil durch den Jemen

Das vom Geographen und Orientforscher VON WISSMANN bereits 1941 skizzierte West-Ost-Profil durch den nördlichen Jemen gibt die Zusammenhänge zwischen Geologie, Relief und Vegetationszonierung auch nach dem heutigen Kenntnisstand weitgehend zutreffend wieder (Abb. 9, aus KOPP 2005). Es zeigt die Höhenstufung der Vegetation in vereinfachter Form, die Lage der Kaffee-/Nebelzone und dokumentiert, wie die geologisch-tektonischen Einheiten die Oberflächengestalt prägen. Die Vegetation der Großlandschaften soll nun im Einzelnen kurz dargestellt werden, wobei insbesondere auf Zusammenhänge zwischen pflanzlichen Lebensformen und Wasserhaushalt eingegangen wird.

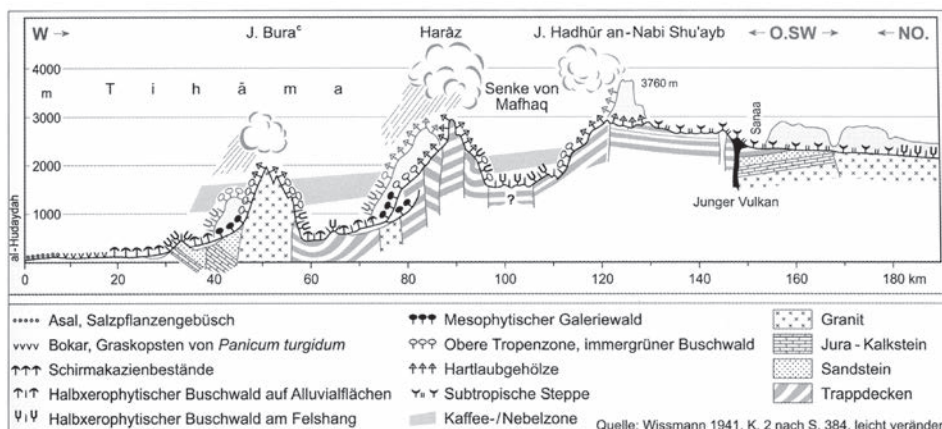


Abb. 9: West-Ost-Profil durch den nördlichen Jemen (aus KOPP 2005, nach von WISSMANN 1941) **Fig. 9:** West-East-profile through the northern part of Yemen (from KOPP 2005, after von WISSMANN 1941)

1. Die Tihama: Die aride Küstenebene ist im Bereich des Transekts ca. 60 km breit und reicht von der Rotmeerküste bei Luhayyah bis zum Gebirgsfuß. Abb. 10 gibt einen schematischen Überblick über das Ökotopeggefüge und Vegetationsmuster der Tihama. Wichtigster differenzierender Faktor für die Vegetation ist das Substrat, mit abnehmenden Korngrößen vom Gebirgsrand zur Küste (Kies – Grobsand – Feinsand - Schluff). In unmittelbarer Küstennähe kommt der Faktor Salinität hinzu. Es gibt einen schwachen Niederschlagsanstieg von der Küste zum Gebirgsfuß.

Die vom Salzgradienten und den Gezeitenwirkungen geprägte Zonierung im Küstenbereich beginnt mit einer artenarmen *Avicennia marina* Mangrove (Abb. 11). Salztolerante, ausläuferbildende Gräser (*Sporobolus spicatus*, *Aeluropus lagopoides*) fixieren die embryonalen Küstendünen. Es folgen Salztonebenen (Sabkhas), die nur gelegentlich vom Meerwasser überflutet werden. Sie sind von sukkulenten Chenopodiaceen bewachsen (*Suaeda fruticosa*, *Halopeplis perfoliata*) und dem halotoleranten Horstgras *Odyssea mucronata* (Abb. 12). Diese sahara-arabischen Salzmarschen sind das Asal im Sinne von WISSMANN (1941). Es folgen flachwellige, fixierte Binnendünen ohne Salinität, die von Horstgräsern (*Panicum turgidum*, *Lasiurus scindicus*) und Zwergsträuchern (*Blyttia spiralis*, *Salsola spinescens*, *Jatropha pelargonifolia*, *Cadaba* spp.) kolonisiert sind (Abb. 13). Sie werden extensiv weidewirtschaftlich genutzt. Ein Vegetationskärtchen mit der Vegetationszonierung an der Küste zwischen Luhayyah und al-Hudaydah finden sich bei DEIL (1999).

Pflanzengeographisch wird die Küstenvegetation überwiegend von weitverbreiteten und z.T. sogar azonalen Arten charakterisiert, wie *Avicennia marina* oder *Aeluropus lagopoides*. Daneben finden sich auch nubo-zirkum-arabisch verbreitete Arten wie *Halopeplis*

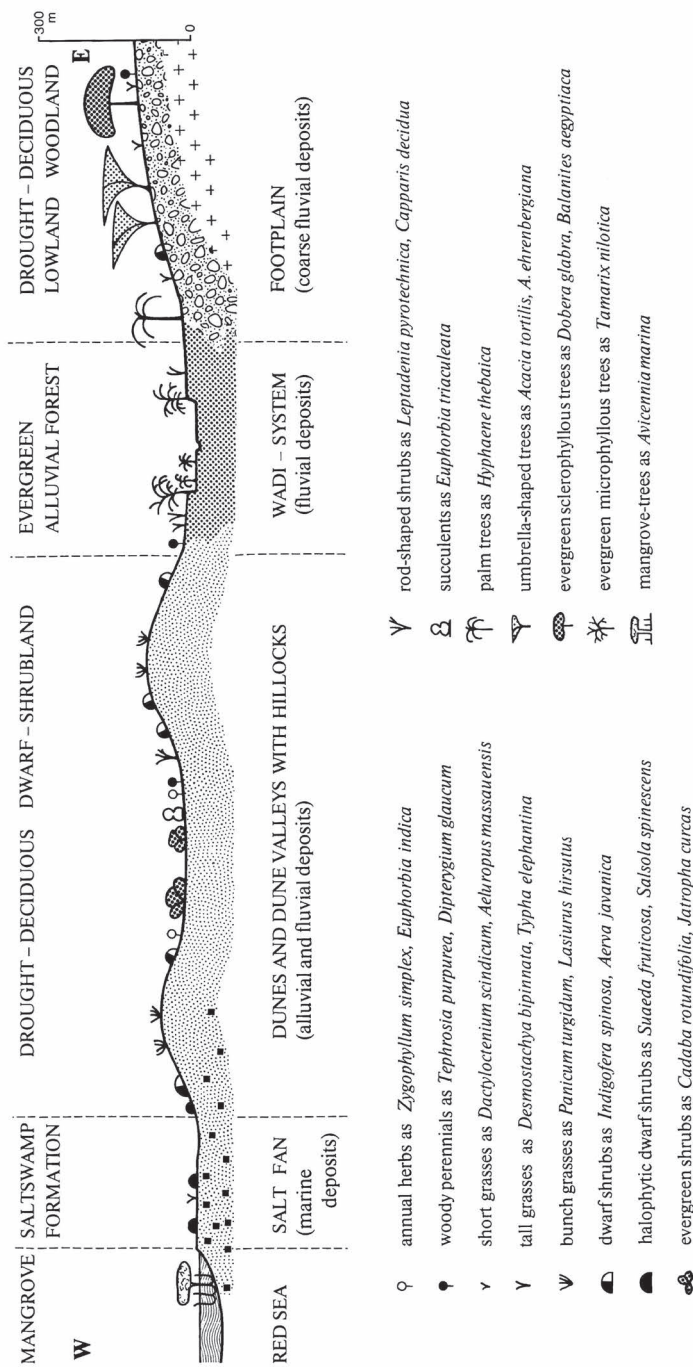


Abb. 10: Reliefeinheiten und Vegetationstypen der Tihama (aus AL-HUBAISHI & MÜLLER-HOHENSTEIN 1984). Fig. 10: Relief units and vegetation types of the Tihama (from AL-HUBAISHI & MÜLLER-HOHENSTEIN 1984).



Abb. 11: Mangrove mit *Avicennia marina* an der Küste des Roten Meeres bei Al Luhayyah. **Fig. 11:** Mangrove with *Avicennia marina* at the Red Sea coast near Al Luhayyah.

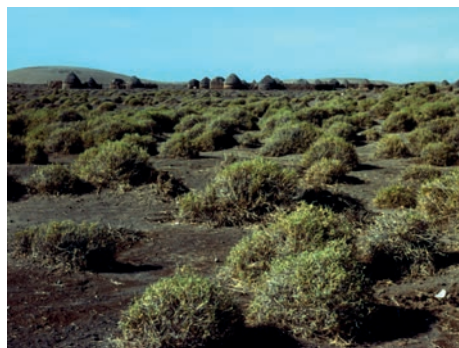


Abb. 12: Küstenebene mit Salztönen bei Al Mukha mit *Odyssea mucronata*. **Fig. 12:** Coastal plain with saline clays near Al Mukha with *Odyssea mucronata*.



Abb. 13: *Salsola spinescens* auf fixierten Dünen in der Tihama bei Az Zuhrah. **Fig. 13:** *Salsola spinescens* on fixed dunes in the Tihama near Az Zuhrah.



Abb. 14: Trockengehölze mit *Acacia tortilis* in der Tihama bei Al Mukha. **Fig. 14:** Dry woodlands with *Acacia tortilis* in the Tihama near Al Mukha.

perfoliata (Fig. 2 bei DEIL 2000) oder sogar Endemiten mit eritreo-südwestarabischem Areal wie *Odyssea mucronata* (Fig. 9.3 bei DEIL 1998). Es gibt also die Florenverwandtschaft von SW-Arabien zum Horn von Afrika auch in der Küstenvegetation. Im Einzelnen wird die Phytochorologie der Küstenvegetation bei DEIL (1999, 2000) dargestellt, die Pflanzensoziologie bei DEIL (1999).

Auf den Normalstandorten der Tihama (weder salzbeeinflusste Küstenhabitate noch grundwassernahe Wadistandorte) wachsen lichte Trockengehölze mit regengrünen Schirmakazien (*Acacia tortilis*, *A. ehrenbergiana*), immergrünen Hartlaubsträuchern (*Mareua crassifolia*) und blattlosen Rutensträuchern (*Leptadenia pyrotechnica*). Die Bestände sind durch Holzeinschlag und Beweidung meist stark aufgelichtet (Abb. 14).

Ein für den Wasserhaushalt und die Anbaumöglichkeiten äußerst wichtiger Sonderstandort der Tihama sind die Auenbereiche (inklusive der durch Wasserableitung bewässerten Flächen). Hier spielen die Sedimentationsbedingungen, die Höhe des Grundwasserspiegels und die Häufigkeit und Intensität von Abflussereignissen eine Rolle für das Vegetationsmuster (im Einzelnen siehe die Wadi-Quer- und -Längsprofile in DEIL 1986b und bei DEIL & AL-GIFRI 1998). Ein großes Wadi, das Wadi Mawr, tritt zwischen 15 und 16° n. Br. aus dem Gebirge aus. Es handelt sich um ein allochthones Wadi (= Fremdlingsfluss), dessen oberirdischer Abfluss von Niederschlagsereignissen im Gebirge gesteuert wird. Im gebirgsnahen Abschnitt führt es periodisch, weiter westlich episodisch Wasser. Das Rote Meer wird nur ganz selten bei Hochwasserspitzen erreicht. Auch der Grundwasserstrom im Unterlauf hängt vom im Gebirge gelegenen oberen Einzugsgebiet ab und nicht von den sporadischen Regenfällen in der Tihama selbst. Es gibt also einen großräumigen Wassertransport vom regenreichen Gebirgsanstieg in die aride Küstenebene. Das Gefälle verringert sich mit Austritt in die Küstenebene auf nur 2-3 Promille. Damit kann das Wadibett selbst von überströmungs- und überflutungsfesten Horstgräsern besiedelt werden, z.B. von dem wilden Zuckerrohr *Saccharum spontaneum*. Tamarisken (*Tamarix nilotica*, *T. aphylla*) und *Salvadora persica* bilden Galeriewäldchen. Diese Arten haben Grundwasseranschluss und sind immergrün. Die Schichtfluten werden durch Ableitdämme benachbarten umwallten Feldern zugeführt (Saylbewässerung) (siehe Abb. 7). Es gilt das Recht des Oberlieggers, und am Gebirgsfuß sind daher mehr und sicherere Ernten möglich. Das in 5 bis 20 m unter Flur vorhandene Grundwasser kann durch Brunnen und Pumpenbewässerung erschlossen werden.

2. Die Gebirgstihama: Dieser Naturraum wurde von uns eingehend am Beispiel des Beckens von At Tur untersucht. Die Pflanzengesellschaften, das Ökotopgefüge, die Vegetationsmuster und die Landnutzung sind bei DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN (1985a) dargestellt, die regionale Flora ist bei DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN (1985b) dokumentiert. Hier soll ein knapper Überblick gegeben werden.

Das Becken von At Tur ist ein intramontanes Becken: Der Beckenboden liegt bei ca. 200 m ü. NN, die Randhöhen steigen auf ca. 1000 m. Das Klima ist semi-arid, mit mittleren Jahresniederschlägen von 200 bis 400 mm. Die Regenmaxima sind im Frühjahr und Sommer. Es herrscht ein Tageszeitenklima mit 30 Grad Jahresmitteltemperatur. Das Relief ist der entscheidende differenzierende Faktor für das Pflanzenkleid, vor allem durch das Mosaik von Ablauf- und Zulaufstandorten. Daneben spielen die Wasserhaltefähigkeit und die Infiltrationsrate eine wichtige Rolle für die Wasserversorgung der Pflanzen. Im Beckenboden wechseln sich die mit einem Steinpflaster belegten Fußflächen und feinsandig-schluffige Spülflächen ab. Mit Ausnahme einiger flachgründiger Kuppenlagen ist das Gebiet potenzielles Waldland. In flachen Lagen wurde der Wald jedoch fast vollständig gerodet, um Flächen für „ewigen Hirseanbau“ zu gewinnen (Abb. 15). Es blieben nur einzelne Bäume zur Gewinnung von Schneitellaub stehen, vor allem die immergrüne *Dobera glabra* und die regengrüne Art *Ziziphus spina-christi*.



Abb. 15: Becken von At Tur in der Gebirgstihama, mit Hirsefeldern und vereinzelt *Dobera glabra*-Bäumen.
Fig. 15: Basin of At Tur in the Mountainous Tihama, with millet fields and scattered *Dobera glabra* trees.

An den Hängen und auf nicht grundwasserbeeinflussten Standorten der Ebene gedeihen Trockengehölze, die von regengrünen Akazien (*Acacia mellifera*, *A. tortilis*, *A. oerfora*) und Myrrhen (*Commiphora myrrha*, *C. opobalsamum*) dominiert werden, mit einem geringen Anteil immergrüner, hartlaubiger Sträucher. Diese Gehölzgesellschaften gehören zu der ostafrikanisch-sudanesisch-südwestarabisch verbreiteten Klasse der Boscio-Commiphoretea. Eritreo-arabisch verbreitete Arten wie *Anisotes trisulcus* und Jemen-endemische Elemente (*Ormocarpum yemenese*, *Abrus bottae*) kennzeichnen die Gesellschaft in SW-Arabien zusätzlich. Die Unkraut- und Brachegesellschaften sind artenreich und werden von pantropisch oder paläotropisch verbreiteten Gräsern und Kräutern dominiert.

Das Becken von At Tur wird vom Wadi Mawr durchflossen (Abb. 16). Der Abfluss ist periodisch und intensiv. Das sich ständig verlagernde Abflussgerinne lässt im Flussbett keine Gehölze aufkommen. Galeriewäldchen mit Tamarisken, *Salvadora persica* und *Acacia ehrenbergiana* begleiten den Fluss gelegentlich (für Details siehe Fig. 6.27 bei DEIL & AL-GIFRI 1998). Meist ist die Niederterrasse jedoch gerodet und wird zum Bewässerungsanbau genutzt.



Abb. 16: Wadi Mawr im Becken von At Tur (Gebirgstihama).

Fig. 16: Wadi Mawr in the basin of At Tur (Mountainous Tihama).

Neben dem allochthonen Wadi Mawr gibt es kleinere Wadis, die in der Beckenumrahmung beginnen und sich in den felsigen Untergrund des Beckenbodens eingeschnitten haben. In ihnen finden wir eine *Acacia abyssinica*-Schluchtwaldgesellschaft, die besonders artenreich ist. Auch das Spektrum an Lebensformen und Strategien des Wasserhaushalts ist bemerkenswert (Abb. 17 aus DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN 1985a): 1) Regengrüne, weichlaubige Bäume und Sträucher (*Acacia mellifera*, *A. abyssinica*, *A. tortilis*, *Ormocarpum yemenense*, *Abrus bottae*); 2) regengrüne, hartlaubige Bäume mit assimilatorischer Rinde wie *Commiphora myrrha* (Abb. 18) und *Commiphora kataf* (Abb. 19); 3) hartlaubige Sträucher wie *Cassia senna* oder die Acanthacee *Anisotes trisulcus* (Abb. 20); 4) immergrüne, hartlaubige Bäume und Sträucher (*Dobera glabra*, *Salvadora persica*); 5) immergrüne, stark behaarte Zwergsträucher (z.B. *Seddera* spp.). Eine ganz andere Strategie, die Trockenzeiten zu überdauern als Blattabwurf oder Kleinblättrigkeit, stellt die interne Wasserspeicherung dar, so bei dem stammsukkulenten *Adenium obesum* (Abb. 21) oder der blattsukkulenten *Sansevieria ehrenbergii*. Und schließlich als Alternative die Fähigkeit, die Austrocknung passiv zu erdulden, wozu die poikilohydrinen (wechselseuchten) Farne befähigt sind. In flachgründigen Kuppenlagen (Ablaufstandorte) kommen die Sukkulente zur Dominanz und bilden eigenständige Gesellschaften.

3. Die Westliche Randstufe: Dies ist der von den Niederschlägen am meisten begünstigte Bereich der Arabischen Halbinsel. Er ist zudem weitgehend frostfrei und daher für viele Anbaufrüchte geeignet. Allerdings konnte diese Klimagunst agrarisch nur dadurch in Wert gesetzt werden, dass die recht stark geneigten Hänge terrassiert wurden. Es entstanden über Jahrtausende die großartigen Terrassenlandschaften des Westlichen Randgebirges (Abb. 22). Die Terrassierung erfolgte überwiegend zwischen 200 vor und 100 nach Chr. (in römisch-nabatäischer Zeit), reicht jedoch lokal nach archäologischen Funden bis ins erste vorchristliche Jahrtausend und damit in die sabäische Zeit zurück. Durch die lange und intensive Landnahme sind die ursprünglich dort vorhandenen Wald- und Gebüschgesellschaften fast vollständig verschwunden. Kleine naturnahe Waldinseln

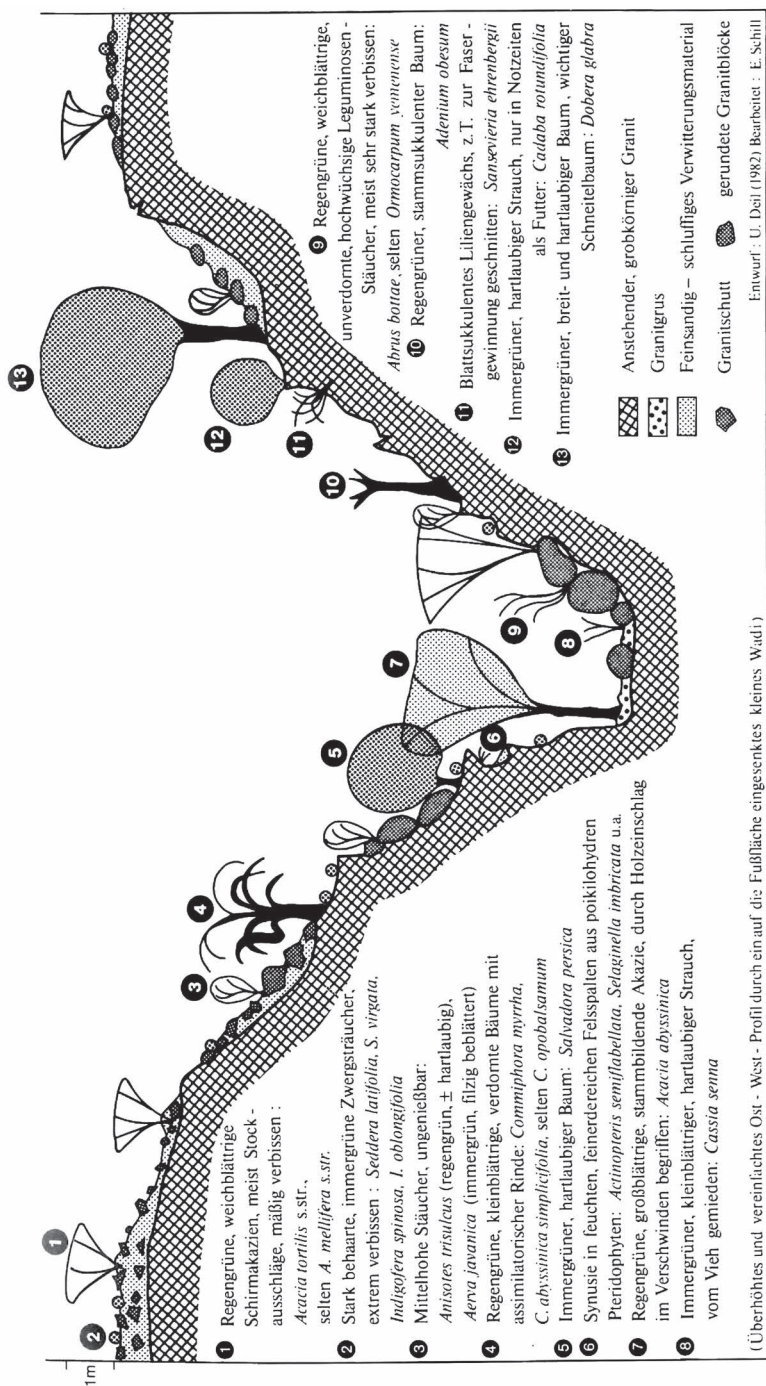


Abb. 17: Lebensformen, Pflanzenarten und Ökologefüge in einem kleinen Wadi im Becken von At Tur (aus DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN 1985a). Fig. 17: Life forms, plant species and ecotope pattern in a small wadi in the Basin of At Tur (from DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN 1985a).



Abb. 18: Echte Myrrhe (*Commiphora myrrha*, Burseraceae). **Fig. 18:** True Myrrh (*Commiphora myrrha*, Burseraceae).



Abb. 19: *Commiphora kataf* mit assimilatorischer Rinde. **Fig. 19:** *Commiphora kataf* with assimilatory bark.



Abb. 20: *Anisotes trisulcus*, eine Acanthaceae mit Vogelbestäubung. **Fig. 20:** *Anisotes trisulcus*, an Acanthaceae with bird pollination.



Abb. 21: *Adenium obesum*, eine stammsukkulente Asclepiadaceae. **Fig. 21:** *Adenium obesum*, a stem succulent Asclepiadaceae.

finden sich heute bei Moscheen und auf Friedhöfen. Einzige Ausnahme ist ein großes Waldgebiet am Jabal Burra (Abb. 23). Es wird von *Acacia asak* dominiert.

Die ursprünglich zwischen 1800 und 3300 m lokal als obere Waldgrenze auftretenden *Juniperus procera*-Gebirgswälder sind fast völlig verschwunden.



Abb. 22: Westliche Randstufe im Haraz Gebirge, mit Ackerterrassen und *Acacia origena*-Friedhofswäldchen.

Fig. 22: Western Escarpment in the Haraz Mountains, with agricultural terraces and *Acacia origena*-forests on cemeteries.

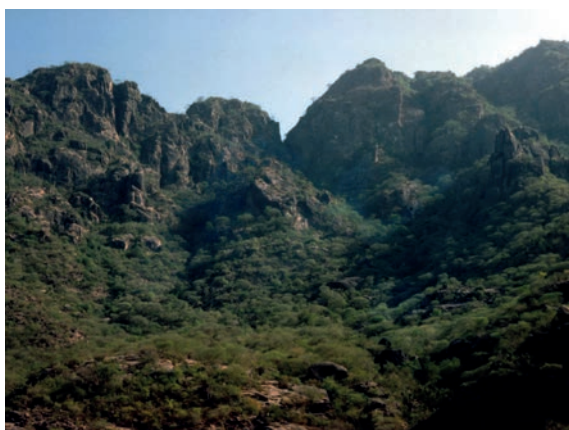


Abb. 23: *Acacia asak*-Trockengehölze am Jabal Bura, einem der wenigen verbliebenen Wälder des Jemenitischen Randgebirges.

Fig. 23: *Acacia asak* woodlands at Jabal Bura, one of the few remnant forests of the Yemeni Escarpment.

Bioklimatisch kann eine Untere Randstufe (1000 – 1600 m) mit *Acacia asak* und *A. etbaica* von einer Oberen Randstufe (1600 – 2200 m) mit *Acacia origena*, *A. gerrardii* und *Celtis africana* unterschieden werden. Die Obere Randstufe ist kühler und niederschlagsreicher. Hier liegt die Passatwolkenzone, die zusätzlichen Tauniederschlag bringt. In dieser Stufe gab es ursprünglich montane Wälder mit immergrünen breitlaubigen Arten wie *Terminalia brownii* (Abb. 24), *Pittosporum viridiflorum* und *Cordia abyssinica* (Abb. 25). Auch der strauchige Unterwuchs ändert sich mit der Meereshöhe: Es treten immer mehr immergrüne mesophylle und xerophylle Straucharten auf wie *Hypericum revolutum* (Abb. 26), *Rhamnus staddo*, *Olea europaea* ssp. *cuspidata*, *Dombeya schimperi*, *Myrsine africana*, *Carissa edulis*, *Catha edulis* (Wildform) (u.v.a. siehe DEIL & AL-GIFRI 1998). Diese immergrünen Gebüsche gehören zu der aus den montanen Lagen Ostafrikas beschriebenen pflanzensoziologischen Klasse Hyperico-Rhamnetea. Einige Sippen haben hier ein Entfaltungszentrum, so die Celastraceen-Gattung *Maytenus* mit 17 Arten im Jemen.



Abb. 24: *Terminalia brownii*, eine breitlaubige, regengrüne Combretaceae am Jebel Bura. **Fig. 24:** *Terminalia brownii*, a malakophyllous, raingreen Combretaceae at Jabal Bura.



Abb. 25: *Cordia abyssinica*, eine mesophylle Boraginaceae. **Fig. 25:** *Cordia abyssinica*, a mesophyllous Boraginaceae.



Abb. 26: *Hypericum revolutum*, ein immergrüner Strauch mit montaner SW-arabisch-ostafrikanischer Verbreitung. **Fig. 26:** *Hypericum revolutum*, an evergreen shrub of montane SW-Arabian-East-African distribution.



Abb. 27: *Centaurothamnus maximus*, eine reliktsche strauchige Asteraceae an Felswänden des Westlichen Randgebirges. **Fig. 27:** *Centaurothamnus maximus*, a relictic shrubby Asteraceae on cliffs of the Western Escarpment.

Als Vegetationstypen von Sonderstandorten sind zu nennen: 1) Galeriewälder (z.T. immergrün, z.T. regengrün) in Bachschluchten und Talkerben mit *Berchemia discolor*, *Tamarindus indica*, *Combretum molle* und *Ficus* spp., 2) Schuttfuren und Strauchvegetation an feuchten Felswänden (z.B. mit der endemischen *Centaurothamnus maximus*, Abb. 27), und 3) xerophytischen Sukkulentenfluren auf trockenen Felshängen. Letztere werden weiter unten im Zusammenhang der Sukkulentenvegetation eingehender dargestellt.

4. Die Hochgebirgsstufe: Sie reicht von ca. 2500 bis 3760 m Meereshöhe. Formationskundlich ist sie charakterisiert durch Rasengesellschaften und Kräuterfluren. Es ist ein primäres Grasland mit Horstgräsern wie *Festuca cryptanta* (Abb. 28), *Stipa tigrensis* und *Elionurus muticus*, mit Rosettenstauden (z.B. *Salvia schimperii*) und Halbkugelpolstern

(*Cichorium bottae*, *Dianthus uniflorus*) (Abb. 29) (weitere Einzelheiten bei DEIL & AL-GIFRI 1998). Pflanzengeographisch gibt es Gemeinsamkeiten mit der afro-alpinen und -subalpinen Stufe, die im Jemen gegenüber den ostafrikanischen Gebirgen jedoch floristisch verarmt ist. So gibt es zwar *Erica arborea* und *Hypericum revolutum* (Abb. 26) als Außenposten des Baumheide-Hartheu-Waldgürtels, es fehlt jedoch *Hagenia abyssinica*.



Abb. 28: *Festuca cryptanta*-Rasen in der alpinen Stufe (3650 m ü. NN) des Jabal an Nabi Shuayb.

Fig. 28: *Festuca cryptanta* turf in the alpine belt (3650 m a.s.l.) at Jabal an Nabi Shuayb.



Abb. 29: Die Polsterstaude *Cichorium bottae* in voller Blüte.

Fig. 29: The cushion-like *Cichorium bottae* in full flower.

Auch die für Ostafrika so charakteristischen afro-alpinen Zwergstrauchfluren mit Strohblumenarten sind im Jemen einzig durch *Helichrysum arwae* vertreten, eine Art, deren nächster Verwandter in den Drakensbergen in Südafrika sitzt (Wood 1984).



Abb. 30: Das intramontane Becken von Kaukaban. **Fig 30:** The intra-montane basin of Kaukaban.

Wie von WISSMANN bereits 1972 erkannt hat, fehlen in der nicht frostfreien Hochgebirgszone SW-Arabiens die paläotropischen Arten. Es dominieren SW-arabisch-montan-eritreisch-äthiopische Elemente, die ein arabo-afro-montanes und –alpines Phytochorion charakterisieren. Daneben treten südliche Vorposten von Arten und Gattungen des Holarktischen Florenreiches auf, z.B. von Lippenblütlern mit mediterranem Entfaltungszentrum (*Lavandula*, *Teucrium* und *Nepeta*), z.T. von temperaten Florenelementen wie *Sanicula europaea* und *Scabiosa columbaria*, und sogar von Arten der europäischen Gebirgsflora wie *Arabis alpina*. Letztere erreichte die Gebirge Ostafrikas nach den molekularen Analysen mehrfach durch ein „Hochgebirgs-Inselhopping“ von den Alpen via Arabien (Koch et al. 2006).

5. Hochlandbecken und Gebirgsschwellen: Die im Lee der Westlichen Randstufe gelegene Nord-Süd-Abfolge von Hochlandbecken wie etwa das Becken von Kaukaban (Abb. 30) und dazwischenliegenden Schwellen haben ein semi-arides Klima, das jedoch zumindest im mittleren und südlichen Teil des Landes noch für Waldwuchs ausreicht. Für tiefgründige Standorte kann man einen lichten Trockenwald mit Akazien (*A. gerrardii*, *A. origena*) als potenzielle natürliche Vegetation postulieren. Diese naturnahe Vegetation ist jedoch fast völlig verschwunden bis auf winzige Restbestände (Abb. 31). Es dominiert



Abb 31: Qat Pflanzungen (*Catha edulis*) und *Acacia origena*-Wäldchen im Hochland bei Kaukaban. **Fig. 31:** Plantations of Qat (*Catha edulis*) and remnant *Acacia origena*-forest in the highland near Kaukaban.



Abb. 32: Die Hochlandhirse *Sorghum bicolor*.

Fig. 32: The highland millet *Sorghum bicolor*.

der Ackerbau mit der Hochlandhirse *Sorghum bicolor* (Abb. 32). Er wird auf ebenen Flächen im Beckenboden oder auf terrassierten Flächen mit sawagi-Bewässerung in leichten Hanglagen betrieben (Abb. 5). Wo aus Brunnen bewässert werden kann, findet man Qat-Pflanzungen und Rebflächen mit Speisetrauben.

6. Östliche Randstufe und Gebirgsvorland: Die maximal 2200 m hohe Östliche Randstufe erhält höchstens 200 mm Jahresniederschlag. Die Spontanvegetation besteht vor allem aus lichten, extrem degradierten Zwergstrauchgesellschaften. Kommt noch eine edaphische Trockenheit dazu wie auf dem verkarsteten Kalkplateau zwischen Sanaa und Marib, so bildet sich eine von Sukkulenten dominierte Pedoclimax (Abb. 33). Charakteris-

tische und dominierende Arten sind *Euphorbia balsamifera* ssp. *adenensis*, *E. schimperi*, *Kleinia odora*, *Caralluma* spp., *Campylanthus pungens* und *Aloe vacillans* (für Einzelheiten siehe DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN 1984).

Am Gebirgsfuß gehen die Jahresmittel der Niederschläge rasch auf unter 100 mm zurück. Etwas dichtere Vegetation findet sich nur entlang der Wadis, die aus dem Hochland in die Zentralarabische Wüste austreten. Dort gedeihen Auegehölze mit Tamarisken und *Saccharum spontaneum*. (Abb. 34). Die hyperaride Vollwüste selbst ist weitgehend vegetationsfrei. Vereinzelt treten Rutensträucher (*Calligonum crinitum*) und Salzpflanzengebüsche (z.B. mit *Cornulaca arabica*) auf.



Abb. 33: Kalkplateau bei Al Harrah mit *Euphorbia balsamifera* ssp. *adenensis*.

Fig. 33: Limestone plateau near Al Harrah with *Euphorbia balsamifera* ssp. *adenensis*.



Abb. 34: Wadi as Sudd bei Marib.

Fig. 34: Wadi as Sudd near Marib.

4.2. Sonderstandort Felsen und Kliffs

SCOTT (1942): „We often thought that the Romans should have named this part of the Peninsula „Arabia Spinosa“ rather than „Arabia Felix“.

Felsen als Diversitätszentren: Südwest-Arabien ist nicht nur bioklimatisch begünstigt, sondern (neben Dhofar) ein Zentrum der Artenvielfalt auf der Arabischen Halbinsel (MILLER & NYBERG 1991) und insofern biotisch ein Arabia Felix. Die Felsvegetation und die dort dominierenden Sukkulenten tragen entscheidend zu diesem hotspot der Biodiversität bei. Die Gebirgsstöcke und Felsmassive wirken wie „terrestrische“ Inseln. Kleine, isolierte Populationen und seltene Fernausbreitungsereignisse führen zur Entstehung neuer Arten. Zugleich stimuliert der starke Niederschlags- und Temperaturgradient von der Tihamra über die Randstufe bis in den ariden Osten die Entstehung von an die verschiedenen Bioklimate angepassten Ökotypen und langfristig die Entstehung höhen-vikariierender Arten. Wie schon VON WISSMANN (1937) bemerkte, besitzt jede bioklimatische Höhenstufe im Nordjemen ihre eigene sukkulente Wolfsmilchart (bioklimatische Vikarianz). Es sind vor allem die dornigen Kandelaber-Euphorbien, auf die sich das oberstehende Zitat von SCOTT (1942) bezieht (Abb. 35 und 36).

Felsen als Reliktstandorte und Refugien: Von ihren Untersuchungen zur Vegetation und Flora von Felsstandorten im Nahen Osten bzw. dem östlichen Mittelmeergebiet ausgehend formulierten DAVIS (1951) und SNOGERUP (1971) die Hypothese, dass größere Felsflächen durch ihre Vielfalt an Mikrostandorten Refugien sein können für ehemals weiter verbreitete Taxa, die hier Klimaschwankungen überdauerten. So können Gebirge z.B. regional feuchte Bedingungen bieten trotz einer insgesamt zunehmenden Trockenheit (Aridisierung) der Arabischen Halbinsel in den letzten 6000 Jahren.

Der Felsstandort erfordert eine Reihe von spezifischen Anpassungen, die in ihrer Gesamtheit zusammenpassen (Anpassungssyndrom). Felspflanzen sind z.B. langlebig, langsam wachsend, tolerieren Trockenstress und hohe Einstrahlung, und sind ausbreitungsbiologisch eher auf Sicherung der Population an Ort und Stelle evolviert durch Nahausbreitungsstrategien ihrer Samen denn auf Besiedlung neuer Gebiete. Wenn dieses Anpassungssyndrom einmal erworben ist, entwickeln sich die Arten offenbar nur selten in andere Habitate hinein. Daher spricht SNOGERUP (1971) von Felsen als einer evolutiven Falle. In Felshabitaten findet man daher überproportional viele Pflanzensippen mit altertümlichen Merkmalen (sogenannte phylogenetische Relikte).

Der Jemen, ein Gebiet mit einer Abfolge isolierter Gebirgsstöcke im Westlichen Randgebirge und mit zahlreichen Felsstandorten auf verschiedenen Substraten und durch alle Klimastufen hindurch, ist prädestiniert, um diesen Phänomenen und Hypothesen „Reliktstandorte“ und „Refugien“ nachzugehen. Der Verfasser hatte eigene Daten zur



Abb. 35: Sukkulntengesellschaft auf einem Lavafluss mit *Euphorbia ammak*, *E. parciramulosa* und *E. cactus* im Becken von Tai'zz. **Fig. 35:** Succulent community on a lava flow with *Euphorbia ammak*; *E. parciramulosa* and *E. cactus* in the Basin of Tai'zz.



Abb. 36: Die kandelaberförmige *Euphorbia ammak* im Harazgebirge. **Fig. 36:** The candelabrous *Euphorbia ammak* in the Haraz Mountains.

Felsvegetation im Zeitraum 1982 bis 1988 erhoben, die wegen anderweitiger beruflicher Verpflichtungen lange unbearbeitet blieben. Sie konnten 2014 ausgewertet und im Detail publiziert werden (DEIL 2014). Eine vereinfachte Darstellung findet sich bei DEIL (2016), eine Kurzfassung folgt hier. In der Zeitskala erdgeschichtlicher Veränderungen und evolutiver Prozesse sind die Daten trotz der lange zurückliegenden Geländearbeit immer noch „frisch“. Molekularbiologische Methoden, die sich im letzten Jahrzehnt stürmisch entwickelten, boten zudem die Möglichkeit, etwas über den Zeitpunkt der Evolution einiger Pflanzengruppen auszusagen und über die Richtung von Wanderungen in der Erdgeschichte. Es werden zunächst die Typen von Felshabitaten im Überblick dargestellt. Anschließend wird auf Artbildungsprozesse und Relikte eingegangen.

Typen von Felsstandorten: Felsflächen sind auf drei Substrattypen häufig (siehe auch Abb. 9):

- 1) Die verwitterungsresistenten **Basaltdecken der Yemen Volcanics** bilden Felsabstürze, insbesondere im Westlichen Randgebirge. Sie bieten senkrechte und waagrechte Klüfte verschiedener Tiefe und Breite, aber auch treppenartige Felsabsätze

als Wuchsplätze für Pflanzen. Gerundete Felskuppen aus Basalt sind seltener, treten aber z.B. im Becken von Ta'izz auf (Abb. 35).

- 2) **Felsdome** und gerundete Felsblöcke (Wollsackverwitterung) treten in den Granitgebieten der Gebirgstihama und der Randstufe auf (Abb. 23). Sie bieten nur wenige, breite, mit Granitgrus gefüllte Klüfte.
- 3) Die Kalkmassive im Westlichen Randgebirge bilden Kliffs mit zahlreichen schmalen Felsspalten. In der östlichen Randstufe kommen großflächig **verkarstete Kalkplateaus** vor, so bei al-Harra, zwischen Sana'a und Ma'rib (Abb. 33).

Zu diesen Primärstandorten für Felspflanzen kommen die **anthropogenen Sekundärhabitats**: Der Mensch hat das Relief im Jemen über Jahrtausende umgestaltet (Deil 1986a, 1988) und dadurch neue Felsstandorte geschaffen bzw. bestehende erweitert, zum einen durch Terrassierung (Abb. 22), zum anderen durch den Bau von Festungen aus dem lokalen Felsgestein (Abb. 37). Aufgelassene Festungen und festungsartige bewohnte Dörfer bieten feinerdearme Mauern, Terrassenabhänge feinerdereiche Klüfte (Abb. 38). Schließlich kommt noch die Reliefmodifizierung durch die Sawagi-Bewässerung hinzu (Regensammelwirtschaft), die unmittelbare Auswirkungen auf den Wasserhaushalt von Felsbereichen hat: Durch Abräumen des aufliegenden Verwitterungsmaterials von schwach geneigten Felsflächen wird der Anteil des Ablaufwassers bei Starkregen erhöht. Die run-off-Flächen sind zumindest teilweise vom Menschen geschaffene Felshabitats. Sie bieten quasi-natürliche Standorte für Felspflanzengesellschaften. Zu diesen abiotischen Veränderungen kommen biotische und anthro-po-zoogene Eingriffe, welche die Sukkulanten in Siedlungsnähe begünstigen: Viele Sukkulente sind durch Bedornung vor Fraß geschützt (*Euphorbia* spp.), andere enthalten giftige Abwehrstoffe (die Asclepiadaceen und der Milchsaft bei *Kleinia* und den Wolfsmilchgewächsen). Niedrigwüchsige, grau bereifte Asclepiadaceen (*Caralluma*, *Duvalia*, *Echidnopsis* etc.) entgehen dem Verbiss z.T. durch Gesteinsimitationen (Mimese). Schließlich ist das Wachstum der Sukkulanten in Siedlungsnähe durch Stickstoffeinträge gefördert, da viele der Arten nitrophil sind.



Abb. 37: Sukkulantenflur mit *Euphorbia cactus*, *Caralluma penicillata* und *Aloe yemenica* auf der verfallenen Festung al-Masura bei Mabyan.

Fig. 37: Succulent vegetation with *Euphorbia cactus*, *Caralluma penicillata* and *Aloe yemenica* colonizing the abandoned fortress of al-Masura near Mabyan.



Abb. 38: *Aloe rubroviolacea* auf Terrassenmauern aus Basaltblöcken im Harazgebirge. **Fig. 38:** *Aloe rubroviolacea* on Terrace walls built from basalt boulders in the Haraz Mountains.

Durch die unterschiedlich breiten und tiefen Felsspalten, durch die verschiedenen Expositionen (Sonnen-/Schattenseite) und Neigungen und durch die Variabilität des Ausgangssubstrates (Basalt, Granit, Kalk) bieten Felsmassive auf engem Raum eine Vielzahl von Mikrohabitaten, die sich in Wasserversorgung, Mikroklima und Nährstoffbedingungen erheblich unterscheiden. So muss eine Felspflanze nicht tausend Kilometer von Norden nach Süden wandern, um eine großräumige Klimaänderung auszugleichen: Sie kann dies kompensieren, indem sie von der Sonnen- auf die Schattenseite wechselt oder von einer schmalen in eine breite Felskluft.

Felsen als Sukkulentenstandorte: Wegen ihrer Flachgründigkeit sind Felsstandorte trockener als solche mit normaler Verwitterungstiefe. Sie sind nicht waldfähig und werden daher von Pflanzen besiedelt, die konkurrenzschwach sind, andererseits mit Wasserstress gut umgehen können. Die vorherrschende Lebensform auf den Felsen sind Sukkulente, also "Saftpflanzen" mit Wasserspeicherorganen. Sie gehören zu verschiedenen Pflanzenfamilien, die je nach Höhenlage zur Dominanz kommen: In den frostfreien Tieflagen dominieren die Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceen) und die Seidenpflanzengewächse (Asclepiadaceen). Beide Familien besitzen sukkulente Sprosse. Die in höheren Lagen (oberhalb 1800 m) wachsenden Dickblattgewächse (Crassulaceen mit

den Gattungen *Aeonium*, *Crassula*, *Kalanchoe* und *Cotyledon*) tolerieren die gelegentlich auftretenden Fröste. Die Gattung *Aloe* (Liliengewächse) hat Vertreter für alle Höhenstufen entwickelt. *Aloe* und die Crassulaceen sind blattsukkulente. Einen Überblick über die Höheneinnischung wichtiger Arten geben die Abbildungen 3 bei DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN (1984) und die Abbildungen 6.16 und 6.20 bei DEIL & AL-GIFRI (1998). Dieser bioklimatisch bedingte Wechsel der charakteristischen Artenkombination resultiert in zwei pflanzensoziologischen Klassen, den *Kleinio odoraе-Carallumetea penicillatae* für die tieferen und mittleren Höhenlagen und den *Crassulo albae-Aeonietea leucoblephari* für die hochmontane Stufe (für Details siehe DEIL 2014). Die Sukkulentevegetation auf Felsflächen bildet eine Pedoclimax in einem großklimatisch durchaus waldfähigen Gebiet. Hinzu kommt der hohe Fraßdruck in Dorfnähe, der die Sukkulentevegetation gegenüber schnellwüchsigen genießbaren Arten begünstigt.

Felsenlebensräume als Motoren der Artbildung: Am Beispiel der Gattung *Aloe* kann gezeigt werden, dass Felshabitate als Motoren der Artbildung fungieren können und einzelne Gebirgsstöcke als terrestrische Inseln. Nur selten wird in einem Fernausbreitungssprung der nächste Gebirgszug besiedelt, und dann kann auf Grund von genetischer Trift, von Gründereffekten (nur ein kleiner Teil des Erbgutes der Population erreicht das neue Gebiet) und lokaler Selektion rasch eine neue Art (ein Neoendemit) entstehen. Daher sind etliche *Aloe*-Arten auf ein einziges isoliertes Felsmassiv begrenzt. Die Gattung ist im Festlands-Jemen (ohne Sokotra) mit 29 Arten vertreten (WOOD 1997, GABALI 1998). Sie ist in starker Entwicklung und hat zahlreiche Lokalendemiten, in der montanen Stufe (der Passatzzone) von Nord nach Süd z.B. die geographisch vikariierenden Arten *Aloe pseudorubroviolacea* (Hijaz und Asir), *A. castellorum* (Asir und nördlicher Abschnitt des Westlichen Randgebirges), *A. yemenica* (Berge um al-Mahwit), *A. menachensis* um Menakha und *Aloe rubroviolacea* (Asir, Westliches Randgebirge und Awdhali-Plateau im Süden) (Abb. 38). Die Gattung ist fast stets an das Felsmilieu gebunden. Andererseits hat sie eine Reihe von Höhenvikarianten entwickelt mit Anpassung an unterschiedliche Temperatur- und Niederschlagsbedingungen. Auf dem Untersuchungstransekt von 50 bis 3100 m ü. NN trifft man z.B. folgende Arten an: *Aloe officinalis* (Tihama), *A. sabaea* (Gebirgstihama), *A. yemenica*, *A. menachensis* und *A. rubroviolacea* (Randgebirge), und schließlich die frostharte *A. tomentosa* in den höchsten Gebirgslagen.

Bei der Gattung *Aloe* im Jemen lassen sich also die beiden Prozesse der Artbildung beobachten:

- 1) „Allopatrischer Speziation (übersetzt: Artbildung in verschiedenen „Heimaten“). Neue Arten entwickeln sich aus der Ausgangssippe durch Zersplitterung einer weiter verbreiteten Population in Teilpopulationen (z.B. durch Zerteilung eines Gebirgsmassivs durch Erosion oder Vulkanismus) oder durch Begründung einer neuen Population in einem Fernausbreitungsschritt. Die beiden neuen Arten können im selben ökologischen Kontext verbleiben (Nischenkonstanz), sind dann also geographisch vikariant.

- 2) Sympatrische Speziation (Artbildung im selben Gebiet): Eine Art mit breiter ökologischer Amplitude (z.B. variabel bezüglich der Temperatur) entwickelt in den Randbereichen des Vorkommens frostharte bzw. frostsensitive Ökotypen. Über die Zeit können daraus durch verschiedenen Selektionsdruck auf die Tieflagen- und die Hochlagensippe zwei Arten entstehen. Es entstehen ökologische Vikarianten, die etwas verschiedene bioklimatische Nischen besetzen.

Auch bei den stammsukkulenten Wolfsmilcharten (*Euphorbia*) sind die Phänomene der geographischen und der ökologischen Vikarianz zu beobachten: Geographisch vikariant sind Vertreter der *Euphorbia*-Tirucalli-Gruppe (eine Wolfsmilchgruppe mit dornenlosen, runden, schwach sukkulenten Trieben) mit *Euphorbia uzmuk* (Nordjemen), *E. schimperi* (SW Arabien), *E. applanata* (Südjemen), *E. dhofarica* (Dhofar) und *E. larica* (Oman und Musandam-Halbinsel). Ökologische Vikarianz tritt in der Gruppe der Kandelaber-Euphorbien (der *Diacanthium*-Gruppe) auf. Jede Höhenstufe im Jemen hat ihre eigene Art (VON WISSMANN 1937): Auf dem hier vorgestellten Höhen- und Klimagradienten folgen *Euphorbia fractiflexa*, *E. triaculeata* (Tihama), *E. inarticulata* (Gebirgstihama), *E. cactus* (Untere Randstufe), *E. ammak*, *E. parciramulosa* (Obere Randstufe) und *E. officinalis* (Östliche Hochebenen) aufeinander.

Felsenhabitat als Endemismuszentren: Die Gebirge und Felsstandorte im Jemen sind nicht nur Biodiversitätszentren, sondern tragen auch erheblich zum Endemismus-Zentrum Süd-West-Arabien (MILLER & NYBERG 1991) bei. Gerade unter den sukkulenten Felspflanzen gibt es eine hohe Endemismusrate mit 31% bei den Euphorbiaceen und 37% bei den Liliaceen. Zu letzteren gehört die Gattung *Aloe*, die im Jemen und im SW-arabisch-eritreischen Raum ein Entfaltungszentrum besitzt (CARTER et al. 2011). Das Maximum an Endemismus findet sich jedoch bei den Asclepiadaceen: 53% der im Jemen vorkommenden Arten sind dort auch endemisch (GABALI 1998). Der prominenteste Vertreter ist die Gattung *Caralluma* (Fliegenblume), die eine enorme Vielfalt an Arten entwickelt hat. Sie hat ihr Evolutionszentrum in den Ländern rings um den Südausgang des Roten Meeres, das Bab al-Mandab, weshalb NEWTON (1980) auch von der Mandab-Flora sprach. Zehn *Caralluma*-Arten sind im Jemen endemisch, eine kommt in Europa vor (*C. europaea*), zwei auf den Kanarischen Inseln. Mit diesem Verbreitungsmuster kommen wir zum Phänomen der pflanzengeographischen Relikte und zur Frage der großräumigen Florenbeziehungen von Arabia Felix.

Felsen als Refugien und Reliktstandorte: Wie bei der Gattung *Caralluma*, so zeigen sich auch in anderen Gattungen floristische Beziehungen zwischen dem eritreo-arabischen Raum und den Kanarischen Inseln, so etwa bei den sukkulenten Euphorbien. Es gibt sogar eine Euphorbien-Art, die in beiden Gebieten vorkommt, die Balsameuphorbie (*Euphorbia balsamifera*) (Abb. 33). Auf den Kanaren und in NW-Afrika gedeiht die Unterart *balsamifera*, in SW-Arabien die nach der Stadt Aden benannte Unterart *adenensis* (Verbreitungskarte und Vergesellschaftung siehe bei DEIL & MÜLLER-HOHENSTEIN 1984).

Eine solche Verbreitungslücke (Disjunktion) über mehr als 5000 km hinweg kann entweder das Ergebnis einer jungen Fernausbreitung sein, oder das Resultat eines ehemals zusammenhängenden Areals (oder zumindest einer durchgehenden Wanderroute) unter anderen klimatischen Bedingungen als heute. Es gibt schon lange die Hypothese (MEUSEL 1965, BRAMWELL 1976), dass die sogenannte Afrikanische Randflora beide Gebiete besiedelte bzw. zwischen beiden wanderte, bevor im Zuge der Aridisierung des afrikanischen Kontinents die Sahara entstand und sich als Verbreitungslücke dazwischenschob. Neuere molekulargenetische Untersuchungen bestätigten nun für die Gattung *Campylanthus* (Scrophulariaceen), dass der Jemen und die Kanarischen Inseln die Reliktvorkommen einer viel weiteren ehemaligen Verbreitung sind. *Campylanthus* ist eine Felsgattung mit 15 Arten im eritreo-arabischen Raum und je einer Art auf den Kanaren bzw. den Kapverden (HJERTSON 2003). Entstehungs- und Evolutionszentrum ist das eritreo-arabische Gebiet. Die Art konnte im Mittleren Miozän (vor ca. 5 Mio. Jahren) nach NW-Afrika wandern und hat dort einige wenige Vertreter ausgebildet. Die Gattung ist in SW-Arabien an die Gesellschaften der *Kleinio odora*-*Carallumetea penicillatae* gebunden, auf den Kanarischen Inseln an die *Kleinio neriifoliae*-*Euphorbietea canariensis* (DEIL 2016).

Ein inverser und viel jüngerer Prozess deutet sich bei *Aeonium* an. Die Gattung aus der Familie der Dickblattgewächse (Crassulaceen) ist mit vielen Arten auf den Kanarischen Inseln vertreten. Sie hat dort ihr Entstehungs- und Entfaltungszentrum. Im Jemen ist sie nur mit einer einzigen Art vertreten, dem Weissbewimperten *Aeonium* (*A. leucoblepharum*). Die Art gehört nach den molekularen Analysen (THIEDE 1994, MORT et al. 2002) einer jungen Entwicklungslinie an, muss also Arabien in einem relativ rezenten Fernausbreitungsschritt erreicht haben.

Vegetationshistorische Relikte gibt es nicht nur unter den sukkulenten Felspflanzen. Eine charakteristische Art von Felsabstürzen der Oberen Randstufe ist die Hochwüchsige Strauchflockenblume (*Centaurothamnus maximus*) (Abb. 27). Sie wächst in 2500 bis 3000 m ü. NN auf Felshängen im Asir und Jemenitischen Randgebirge. Die Art wird wegen ihrer altertümlichen Merkmale (u.a. Verholzung) in eine eigene Gattung gestellt. Die nächsten Verwandten sitzen in den Gebirgen Äthiopiens und Eritreas. *Centaurothamnus maximus* ist also ein Beispiel für ein phylogenetisches Relikt und zugleich ein Paläoendemit.

Zuletzt noch ein Blick in einen Felsstandort, der durch eine extreme klimatische Konstanz gekennzeichnet und deshalb besonders geeignet ist, Relikte zu beherbergen: Sickerfeuchte Halbhöhlen (Balmen). Durch das überstehende Felsdach erhalten die Pflanzen dort keine direkten Niederschläge. Sie leben vom Sickerwasser, das aus Felsklüften kommt. Wenn ein großes Einzugsgebiet für das Kluftwasser zur Verfügung steht, dann ist die Wasserversorgung relativ unabhängig von Niederschlagsschwankungen. Durch das Tropfwasser und die fehlende direkte Sonneneinstrahlung sind solche Halbhöhlen stets luftfeucht. Die Halbhöhlenvegetation im Jemen wird vom Frauenhaarfarn (*Adiantum capillus-veneris*) und von feuchtebedürftigen Moosen dominiert, die weit verbreitet

sind und auch in Balmen im Mittelmeergebiet gedeihen. Eine floristische Besonderheit im Jemen ist jedoch das Vorkommen der gelbblütigen Wirteligen Primel (*Primula verticillata*) (siehe Verbreitungskarte bei DEIL 1989). Die Art gehört einer altertümlichen Untergattung innerhalb der Gattung *Primula* an. Die Arten dieser Untergattung sind stets an Sickerwasserhalbhöhlen gebunden. Sie kommen in kleinen und isolierten Populationen von der Türkei und dem Sinai über den Jemen, Ostafrika, Afghanistan bis in den Östlichen Himalaya vor. Man geht davon aus, dass die Arten in einer feuchten Klimaepoche wandern konnten und ihre Areale heute auf kleine Restflächen geschrumpft sind. *Primula verticillata* ist also ein Beispiel für ein geographisches und zugleich ein phylogenetisches Relikt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Felsstandorte im Jemen zum einen ein Motor der Artentwicklung sind: Durch ihre Isolation treiben sie die Entstehung neuer Arten voran (z.B. bei *Aloe*). Andererseits bieten sie durch ihre vielfältigen Kleinstandorte bei Klimaänderungen Rückzugsmöglichkeiten. Sie beherbergen früher weiter verbreitete Arten und fungieren als Refugien für altertümliche Sippen.

5. Diskussion und Ausblick

KOPP (1999): „Einst Arabia Felix, heute
Armenhaus Arabiens: Jemen im Wandel“

Wie kommt KOPP, der sich seit Jahrzehnten eingehend mit der Agrargeographie und dem Landnutzungswandel des Jemen befasst hat (KOPP 1981, 1990, 2005), zu obigem Aufsatztitel? Er betont zunächst auch die klimatische Begünstigung der Südwestecke der Arabischen Halbinsel durch die dort überdurchschnittlich hohen Niederschläge, die in manchen Bereichen (über 500 mm Jahresniederschlag) reinen Regenfeldbau erlauben und in umliegenden Gebieten Anbau durch die verschiedenen Formen der traditionellen Bewässerungslandwirtschaft, wie sie im Kapitel „Untersuchungsgebiet“ dargestellt wurden. Sodann skizziert er die politischen und sozialen Veränderungen der letzten Dekaden. Er weist darauf hin, dass die amtliche Statistik zum Armutsindex wenig aussagekräftig ist, da sie z.B. die Überweisungen der Auslandsjemeniten nicht berücksichtigt und dass erhebliche Anteile des Bruttoinlandsproduktes im informellen Sektor erwirtschaftet werden. Dies betrifft insbesondere die Einkommen aus dem Qat-Anbau und die Ausgaben für den Kauf des Qat. Er weist aber auch darauf hin, dass die regenreichen Regionen des Jemen schon in der Antike dicht besiedelt waren. Auswanderungswellen im Mittelalter deuten darauf hin, dass schon damals die Tragfähigkeit des Landes für die Ernährung der Bevölkerung erreicht war. Und dann setzt mit der Verbesserung der medizinischen Versorgung im 20. Jahrhundert bei gleichbleibender Geburtenrate eine Bevölkerungsexplosion ein (siehe Bevölkerungspyramiden bei KOPP 2005, Abb. 46). Mit 3,5 % bis 4 % Bevölkerungswachstum pro Jahr nimmt der Jemen in diesem Parameter einen wenig

rühmlichen Spitzenplatz in der Welt ein. Die Gesamtbevölkerung stieg von 6 Mio. im Jahr 1970 auf 20 Millionen im Jahr 2005 (KOPP 2005).

Im Weiteren sollen hier nicht die sozialen und politischen Hintergründe diskutiert werden, die das Bild von „Arabia Felix“ infrage stellen, sondern die ökologischen Aspekte, insbesondere die Degradierung der Vegetation, der Zerfall der Terrassensysteme und die Übernutzung der Wasserressourcen. Letzteres hängt mit dem Qat-Problem zusammen. Zu den Themen „Wasserkrise“ und „Qat-Anbau“ gibt es rezente Arbeiten aus hydrologischer bzw. sozialpolitischer Sicht (AL-HAMDI 2000, WARD 2015, GATTER 2012). Sie sollen daher hier nur kurz gestreift werden.

Erhaltungszustand der Vegetation: Die Vegetation des Nordjemen wird seit Jahrtausenden vom Menschen genutzt und verändert. Holzeinschlag, Rodung, Brand und Beweidung sind direkte anthropo-zoogene Eingriffe, die zu einer Degradation des Pflanzenskeletes führten. Indirekt wurden die Wuchsbedingungen durch die Terrassierung und die Eingriffe in die hydrologischen Bedingungen verändert. Landesnatur bedeutet im Jemen Kulturlandschaft (KOPP 2005).

Mit Ausnahme der Vollwüsten im Osten, der Halbwüstengebiete der Tihama und der Östlichen Randstufe und der Hochgebirgsstufe ist der Nordjemen von Natur aus ein Waldland, in dem im semiariden Klima regengrüne Trockengehölze gedeihen können und in den feuchtesten Klimatalen immergrüne Wälder und Gebüsche. Die Trockengehölze sind nur noch in kleinen Restbeständen erhalten. Von den in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts noch großflächigen Waldbeständen des Jabal Bura (Abb. 23 und 40) sind nur noch 80 ha übrig geblieben (HALL & AL-KHULAI 2008). Auf dieser Rest ist durch illegalen Holzeinschlag und Straßenbau stark bedroht und damit verschwinden auch die Lebensstätten von Pavianen, Jemen-Waran und Hyänen. Auch die Wälder und Gebüsche der Oberen Randstufe sind im Jemen viel stärker degradiert als in anderen Bereichen der Halbinsel. Im Oman sind noch gute Bestände dieser paläoafrikanischen Reliktgesellschaften des Tertiärs vorhanden (KÜRSCHNER et al. 2004, 2008). Auch die *Juniperus*-Wälder an der oberen Waldgrenze sind im Jemen fast vollständig verschwunden. Der Raubbau an den Gehölzbeständen hat sich mit dem Ausbau des Straßennetzes in den achtziger Jahren des 20. Jahrhundert massiv verstärkt. Nun konnte man Holz in abgelegenen Gebieten einschlagen und im holzarmen Hochland verkaufen. Die von der IUCN unternommenen Bemühungen um Naturschutz auf der Arabischen Halbinsel (HALL & MILLER 2011) sind für den Jemen in der gegenwärtigen politischen und ökonomischen Situation leider völlig obsolet.

Als einigermaßen naturnah kann man die Felsgesellschaften einstufen: Sie sind schwer zugänglich für Mensch und Weidevieh und wirtschaftlich ohne Interesse. Zumindest die dort wachsenden endemischen Arten haben einigermaßen gute Überlebenschancen, zumal einige auch anthropogene Ersatzstandorte wie Terrassenmauern besiedeln können.

Zerfall der Terrassensysteme und Anstieg der Bodenerosion: Die großartigen Terrassenlandschaften des Westlichen Berglandes (Abb. 4-7, 22), die der Niederschlagsretention, der Konservierung der über Jahrtausende akkumulierten Kultusole und damit der Sicherung des Anbaupotenzials dienten, gerieten in der zweiten Hälfte der 20. Jahrhundert in die Krise und begannen zu zerfallen. Dadurch erhöhte sich die Bodenerosion (Abb. 39). Mehrere Faktoren wirkten in die gleiche Richtung, d.h. degradierend: 1) Der Jemen öffnete sich für den Weltmarkt. Es erfolgte der Übergang von einer Subsistenz- zu einer Marktwirtschaft. Ein auf den Terrassen wirtschaftender Bauer konnte jedoch nicht konkurrieren mit billiger importierten Getreide. 2) Zehntausende von männlichen Arbeitskräften gingen als Gastarbeiter in andere Länder Arabiens. Sie fehlten zur Feldbestellung, zur Instandhaltung der Terrassen und zur Pflege der traditionellen Bewässerungssysteme. 3) Felder in ebener Lage und weniger kleinteiliger Besitz waren begünstigt: Sie ließen sich mit Maschinen bewirtschaften. 4) In den Terrassensystemen und in Hanglagen gibt es keinen Grundwasserkörper. Durch die Gastarbeiterüberweisungen kam Geld ins Land. Die Nachfrage nach anderen Anbauprodukten (Gemüse, Obst, Qat) nahm gewaltig zu. Diese Produkte werden vor allem im Bewässerungsfeldbau produziert. Besonders rentabel war die cash crop Qat: Auf 5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche werden damit über 50% des landwirtschaftlichen Einkommens erwirtschaftet.

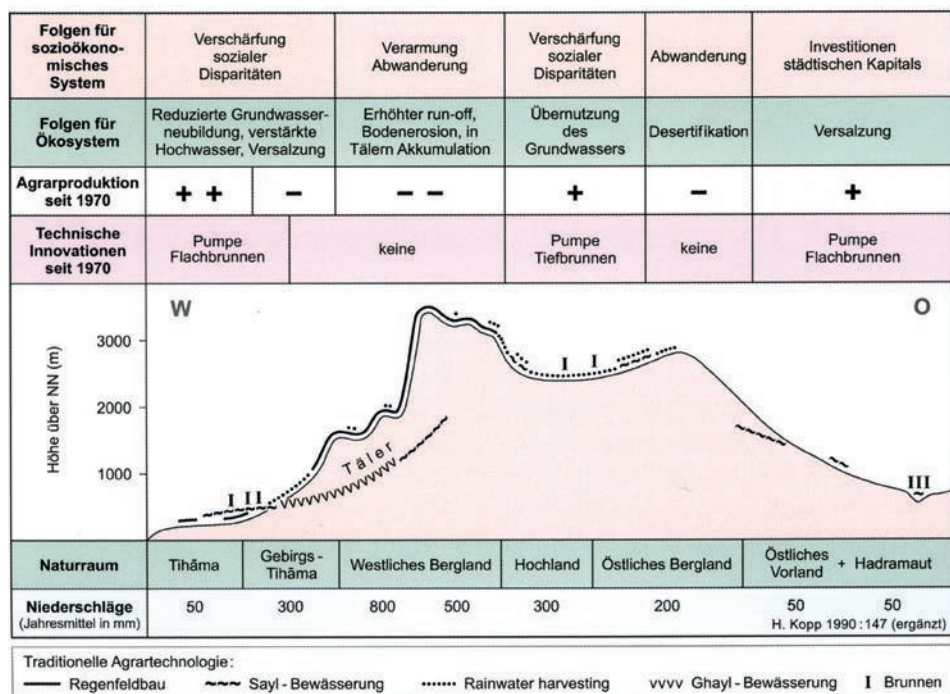


Abb. 39: Traditionelle Bewässerungstechnik und Agrarwandel in der letzten Jahrzehnten (aus KOPP, 2005).
Fig. 39: Traditional irrigation techniques and agricultural changes in the last decades (from KOPP 2005).



Abb. 40: Permanenter Wasserlauf im Gebiet des Jabal Bura. **Fig. 40:** Permanent creek in the Jabal Bura area.



Abb. 41: Zisterne und Moschee im Gebiet der Beni Murrah, Harazgebirge. **Fig. 41:** Cisterna and Mosque in the Beni Murrah area, Haraz Mountains.

Die Wasserkrise: Die Südwestecke Arabiens ist im Kontext der gesamten Halbinsel durch Niederschläge begünstigt. Weshalb wurde die Ressource Wasser dennoch zum elementaren Schicksalsfaktor für das Land? Schon vor Öffnung des Landes in der Mitte des 20. Jahrhunderts waren alle Wasser- und Anbauressourcen ausgereizt bis auf tief gelegenes Grundwasser. Permanente Oberflächengewässer waren auf kurze Wasserläufe im Randgebirge begrenzt (Abb. 40). Im Hochland speicherte man Trinkwasser und Wasser für rituelle Waschungen in Zisternen (Abb. 41). Dann dehnte sich die Brunnenbewässerung mit Motorpumpen drastisch aus, insbesondere in den Hochlandbecken und in der Gebirgstihama (Abb. 39). Zum Ende des 20. Jahrhunderts (Agrarstatistik 1999, laut Jemen-Report Bd. 32(1), S. 50) umfasst die Bewässerung aus Brunnen 26 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die mit Grundwasser bewässerte Fläche stieg von 238000 ha im Jahr 1977 auf 436000 ha in 1990 (KÖHLER 1999b). Jährlich wurden 1999 2,8 Mio m³ Wasser für Bewässerungszwecke verwendet, davon galten aber nur 2,1 Mio m³ als erneuerbar (nach KÖHLER 1999b sind es 3,4 bzw. 2,5 Mio m³). Im Becken von Sanaa liegt die Entnahme um das Dreifache über der Grundwasserneubildung (AL-HAMDI 2000). Die Land- und Brunnenbesitzer graben sich im wortwörtlichen Sinne gegenseitig das Wasser ab. Quellen und die mit Tierkraft betriebenen Schöpfbrunnen versiegten. Sie wurden durch Tiefbrunnen mit Pumpen ersetzt. Dieser Prozess findet in allen Hochlandbecken um die großen Städte statt, so um Sa'dah, Sanaa und Tai'zz. Im Becken von Sanaa sinkt der Grundwasserspiegel 3 bis 8 Meter pro Jahr, um Sa'dah um 6 m. Dort waren im

Jahr 2000 ca. eintausend Tiefbrunnen in Betrieb (LICHTENTHÄLER 2001). Bisher geltende Regeln des Zugangs und der Verwendung der Ressource Wasser (z.B. Mindestabstände zwischen den Brunnen) werden nicht mehr eingehalten bzw. sie gelten nicht für Wasser aus Tiefbrunnen. Tiefes Grundwasser ist nicht Gemeinschaftsgut, sondern Eigentum des Brunnenbesitzers. Es gehört dem, der es erbohrt. Es handelt sich um eine „Tragödie von Gemeinschaftsgütern“ („tragedy of the common“) bezüglich der Ressource Wasser. Hinzu kommt eine Kontamination der oberflächennahen Aquifere in den Hochlandbecken und um die großen Städte durch das Versickern von ungeklärten Abwässern.

Der Wassermangel verschärft die Konflikte zwischen den Stämmen, zwischen Stadt und Land, zwischen Unter- und Oberlieger, und zwischen Großbauern mit Tiefbrunnen und Kleinbauern, die Sawagi-Bewässerung betreiben (LICHTENTHÄLER 2003).

Inzwischen findet ein „Bergbau auf Wasser“ statt, der fossiles und subfossiles Wasser fördert. Diese massive Wasserübernutzung ist ein Leben von der Substanz. Es wird den Jemen weiter in eine existentielle Wasserkrise treiben. Hauptursache der Übernutzung ist der Wasserverbrauch in der Landwirtschaft. Circa 90 % des geförderten Wassers werden nach AL TOWAIE (2014) hierfür verbraucht. In den Hochlandbecken werden haupt-



Abb. 42: Qat- und Rebkulturen im Hochland (Wadi As Shir), aus Tiefbrunnen bewässert. **Fig. 42:** Qat-plantations and vineyards in the highland (Wadi As Shir), irrigated with pump-water from deep wells.



Abb. 43: Bewässerte Fruchtgärten (Papaya, Bananen, Annonen) im Becken von At Tur. **Fig. 43:** Irrigated orchards (Papayas, Bananas, Annona) in the Basin of At Tur.

sächlich Qat, Speisetrauben und Gemüse bewässert (Abb. 42), in der Gebirgstihama und Tihama Gemüse und tropische Fruchtbaumkulturen (Abb. 43).

Das Qat-Problem: Qat (*Catha edulis*) ist die ökonomisch und sozial wichtigste Kulturpflanze, und zugleich ökologisch die desaströseste Kultur. Diese Strauchart gehört zu den Celastraceen. Sie enthält stimulierende Inhaltsstoffe (Amphetamine, v.a. Cathin), wird täglich frisch geerntet und die Blätter werden in nachmittägliche Sitzrunden in Gemeinschaft verzehrt. Der Gebrauch dieser Droge, die früher dem religiösen Adel und Männern vorbehalten war, ist nun eine Volksdroge und wird von Männern und Frauen aller sozialen Schichten genutzt. Ein erheblicher Anteil des Einkommens der Familien wird hierfür ausgegeben. Nach Angaben im Jemen-Report Bd. 32 (1, S. 49) von 2001 stammen 20% des Bruttosozialproduktes aus dem Qat-Sektor. KOHLER (1999a, 1999b) schätzt den Anteil auf 30-50 % des BIB. 26% aller Erwerbstätigen sind mit der Produktion und Vermarktung von Qat beschäftigt. Die Anbaufläche stieg zwischen 1970 und 1999 von 8.000 ha auf 100.000 ha. Sie hat sich seit 1970 bis heute verzwanzigfacht (AL TO- WAIE 2014) und nimmt 6-10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein. Schätzungsweise zwischen 30% (KOHLER 1999a, 1999b) bis über 40% (KOPP 1999) des verfügbaren Wassers des Landes werden für die Qat-Bewässerung verbraucht.



Abb. 44: Rückkehr vom Markt mit der täglichen Qat-Ration.

Fig. 44: Returning from the market with daily Qat ration.

Der Jemen ist also nicht mehr das Glückliche Arabien, sondern eher ein „failed state“, nicht nur im sozialen, politischen und ökonomischen Sinne, sondern auch unter ökologischen Aspekten. Und die Aussichten auf eine Wende zum Bessern sind gering: Das Grundwasser zunächst als Trinkwasser zu verwenden statt für die Bewässerung von Qat ist politisch gesamtstaatlich nicht durchsetzbar (GATTER 2012), höchstens auf lokaler Ebene (wenn nicht die Stammesführer die Besitzer von Tiefbrunnen und großen Anbauflächen sind). Die „Luxuslösung Meerwasserentsalzung“ wie in den reichen Golfstaaten und der Transport des Trinkwassers vom Roten Meer in die Hauptstadt Sanaa gibt es im erdölarmer Jemen nicht. Insofern ist das von AL TOWAIE (2014) skizzierte Szenario nicht ausgeschlossen: „Sanaa wird vielleicht die erste Hauptstadt der Welt ohne Wasser sein. Im Jahr 2025 könnten 2 Millionen Menschen zu Wasserflüchtlingen werden“.

Danksagung

Den Kollegen Klaus Müller-Hohenstein (Bayreuth/München) und Horst Kopp (Erlangen) danke ich vielmals für die hervorragende wissenschaftliche Zusammenarbeit. Sie machten die wissenschaftlichen Untersuchungen als Projektverantwortliche möglich. Die mehrwöchigen gemeinsamen Geländeaufenthalte unter teils schwierigen äußeren Rahmenbedingungen wurden von Ihnen auf vielfältige Weise unterstützt. Den Kollegen am Herbarium Edinburgh, insbesondere A. Miller, sei für die Hilfe bei der Bestimmung des Pflanzenmaterials gedankt. Frau Alexandra Böminghaus (Fakultät für Biologie der Universität Freiburg, Abteilung Geobotanik) unterstützte mich freundlicherweise bei der Erstellung der Abbildungen.

Angeführte Schriften

- Alex, M. (1984): Vorderer Orient – Mittlere Jahresniederschläge und Variabilität. Tübinger Atlas des Vorderen Orient, Karte A IV.4. Wiesbaden.
- Alex, M. (1985): Vorderer Orient – Jahresgangtypen des Niederschlags. Tübinger Atlas des Vorderen Orient, Karte A IV.6. Wiesbaden.
- Al-Hamdi, M.J. (2000): Competition for scarce groundwater in the Sana'a Plain, Yemen: A study of the incentive systems for urban and agricultural water use. 216 S., Rotterdam.
- Al-Hubaishi, A. & Müller-Hohenstein, K. (1984): An introduction to the vegetation of Yemen. 209 S., Eschborn.
- Al-Towaie, H. (2014): Water situation in Yemen. Time is running out for a solution. Is it a dead aid or an illogic politic? Jemen-Report 45: 99-102.
- Bramwell, D. (1976): The endemic flora of the Canary Islands: distribution, relationships and phytogeography. – In: Kunkel, G. (ed.): Biogeography and ecology in the Canary Islands, pp. 207-240. The Hague.
- Carter, S., Lavranos, J.J., Newton, L.E. & Walker, C.C. (2011): Aloes: the definitive guide. Kew.
- Davis, P.H. (1951): Cliff vegetation in the eastern Mediterranean. J. Ecol. 39: 63-93.
- Deil, U. (1986a): Vom Menschen gestaltetes Relief in der Arabischen Republik Jemen und Konsequenzen für vegetationskundliches Arbeiten. – In: Gehu, J.-M. (ed.): Végétation et Géomorphologie = Coll. Phytosoc., 13: 375-395. Berlin.
- Deil, U. (1986b): Die Wadivegetation der nördlichen Tihamah und Gebirgstihamah der Arabischen Republik Jemen. – In: Kürschner, H. (ed.): Contributions to the vegetation of Southwest Asia = Beih. T.A.V.O. Reihe A, 24: 167-199. Wiesbaden.
- Deil, U. (1988): Primäre und sekundäre Standorte sukkulentenreicher Pflanzengesellschaften in Südwest-Arabien. Flora 180: 41-57.
- Deil, U. (1989): Fragmenta Phytosociologica Arabiae-Felicitis II – Adiantetea-Gesellschaften auf der Arabischen Halbinsel, Coenosyntaxa in dieser Klasse sowie allgemeine Überlegungen zur Phylogenie von Pflanzengesellschaften. Flora 182: 247-264.

- Deil, U. (1998): Coastal and Sabkha Vegetation. – In: Ghazanfar, S.A. & Fisher, M. (eds.): *Vegetation of the Arabian Peninsula*. pp. 209-228. Dordrecht.
- Deil, U. (1999): Halophytenvegetation an den Küsten der Arabischen Halbinsel - kleinräumige edaphische Zonierung und großräumige klimabedingte Differenzierung. - In: Brandes, D. (ed.): *Vegetation salzbeeinflusster Habitate im Binnenland = Braunschweiger Geobot. Arbeiten* 6, 119-147.
- Deil, U. (2000): Halophytic vegetation along the Arabian coast - azonal or linked to climatic zones? *Phytocoenologia* 30: 591-611.
- Deil, U. (2014): Rock communities and succulent vegetation in northern Yemen (SW Arabia) – ecological, phytogeographical and evolutionary aspects. *Phytocoenologia* 44: 193-234.
- Deil, U. (2016): Felsstandorte im Jemen. Motor der Evolution oder konservierende Refugien für Pflanzen?. *Jemen-Report* 47: 17-22.
- Deil, U. & Al-Gifri, A. (1998): Montane and Wadi Vegetation. – In: Ghazanfar, S.A. & Fisher, M. (eds.): *Vegetation of the Arabian Peninsula*. pp. 125-174. Dordrecht.
- Deil, U. & Müller-Hohenstein, K. (1984): *Fragmenta Phytosociologica Arabiae Felicis I* – Eine *Euphorbia balsamifera*-Gesellschaft aus dem jemenitischen Hochland und ihre Beziehungen zu makaronesischen Pflanzengesellschaften. *Flora* 175: 307-326.
- Deil, U. & Müller-Hohenstein, K. (1985a): Beiträge zur Vegetation des Jemen I - Pflanzengesellschaften und Ökotoptgefüge der Gebirgstihama am Beispiel des Beckens von At Tur (J.A.R.). *Phytocoenologia* 13: 1-102.
- Deil, U. & Müller-Hohenstein, K. (1985b): Die Gefäßpflanzen des Beckens von At Tur (Gebirgstihama, Nordjemen): Häufigkeit, Standortansprüche und Vergesellschaftung. *Bot. Jahrb. Syst.* 106: 23-52.
- Eger, H. (1987): *Runoff agriculture: A case study about the Yemeni Highlands*. Jemen-Studien 7. Wiesbaden.
- Fisher, M. & Membery, D.A. (1998): Climate. – In: Ghazanfar, S.A. & Fisher, M. (eds.): *Vegetation of the Arabian Peninsula*: 5-38. Dordrecht.
- Flohn, H. (1964). Über die Ursachen der Aridität Nordost-Afrikas. *Würzburger Geogr. Arb.* 12: 25-41.
- Gabali, S.A. (1998): *Studies in the Flora of Yemen* 4. The endemic species. *Candollea* 53: 73-92.
- Gatter, P. (2012): *Politics of Qat. The role of a drug in ruling Yemen*. Jemen-Studien 20. 880 S., Wiesbaden.
- Grolier, M.J. & Overstreet, W.C. (1978): *Geologic map of the Yemen Arab Republic* 1:500.000. US Geolog. Surv., Misc. Investig. Ser.
- Hall, M. & Al-Khulaidi, A.W. (2008): Arabia's last forests under threat: Plant biodiversity and conservation in the valley forest of Jabal Bura (Yemen). *Edinburgh Journal of Botany* 65(1): 113-136.
- Hall, M. & Miller A.G. (2011): Strategic requirements for plant conservation in the Arabian Peninsula. *Zoology in the Middle East, spec. vol.* 3: 169-182.
- Hjertson, M. (2003): Revision of the disjunct genus *Campylanthus* (Scrophulariaceae). *Edinb. J. Bot.* 60: 131-174.

- Jemen-Report (2001): Jemen aktuell. - Mitteilungen der Deutsch-Jemenitischen Gesellschaft Band 32, Heft 1: 48-50. Stuttgart.
- King, J.W., Forbes, T.R. & Ghanem, A.E.A. (1983): Soil survey of the Yemen Arab Republic. Agency for International Development Washington D.C., Ithaca.
- Koch, M.A., Kiefer, C., Ehrich, D., Vogel, J., Brochmann, C. & Mummenhoff, K. (2006): Three times out of Asia Minor: the phylogeography of *Arabis alpina* L. (Brassicaceae). *Molecular Ecol.* 15: 825-839.
- Kohler, S. (1999a): Institutionen in der Bewässerungslandwirtschaft im Jemen. Die Ursachen der Wasserübernutzung im Jemen und die Zukunftsperspektiven für die Bewässerungslandwirtschaft. *Jemen-Studien* 13, 205 S., Wiesbaden.
- Kohler, S. (1999b): Hintergründe zur Wasserkrise im Jemen. *Jemen-Report* 30 (2): 4-10.
- Kopp, H. (1981). Agrargeographie der Arabischen Republik Jemen. *Erlanger Geographische Arbeiten*, Sonderband 11. Erlangen.
- Kopp, H. (1990). Landnutzungswandel im Nordjemen seit 1970 - Von der autarken Stammesgesellschaft zum marktwirtschaftlich orientierten Nationalstaat. *Erdkunde* 44: 136-148.
- Kopp, H. (1999): Einst Arabia Felix, heute Armenhaus Arabiens: Jemen im Wandel. *Geogr. Rundschau* 51: 624-629.
- Kopp, H. (2005): *Länderkunde Jemen*. 229 S., Wiesbaden.
- Kürschner, H. (1998): Biogeography and Introduction to Vegetation. – In: Ghazanfar, S.A. & Fisher, M. (eds.): *Vegetation of the Arabian Peninsula*. pp. 63-98. Dordrecht.
- Kürschner, H., Hein, P., Kilian, N. & Hubaishan, A. (2004): The *Hybanthus durae*-Anogeisium *dhofaricae* ass. nova - phytosociology, structure and ecology of an endemic South Arabian forest community. *Phytocoenologia* 34: 569-612.
- Kürschner, H., Kilian, N. & Hein, P. (2008): The *Tarchonanthus camphoratus*-Oleatum *cuspidatus* ass. nov. - an Afromontane evergreen sclerophyllous community of the Arabian Peninsula with strong relationships to E Africa. *Phytocoenologia* 38: 85-106.
- Le Houérou, H.N. (2003): Bioclimatology and phytogeography of the Red Sea and Aden Gulf Basins: a monograph (with particular reference to the highland evergreen sclerophylls and lowland halophytes). *Arid Land Research and Management* 17: 177-256.
- Lichtenthäler, G. (2001): Sa'dah limadha? Warum Sa'dah? Wassermanagement in der Probe. *Jemen-Report* 32 (1): 13-18.
- Lichtenthäler, G. (2003): Political ecology and the role of water. *Environment, society and economy in Northern Yemen*. 274 S., Aldershot.
- Meusel, H. (1965): Die Reliktvegetation der Kanarischen Inseln in ihren Beziehungen zur süd- und mitteleuropäischen Flora. – In: Gersh, M. (ed.): *Gesammelte Vorträge über moderne Probleme der Abstammungslehre Teil I*, pp. 117-136. Jena.
- Miller, A.G. & Nyberg, J.A. (1991): Pattern of endemism in Arabia. *Flora et Vegetatio Mundi* 9: 263-279.
- Mort, M.E., Soltis, D.E., Soltis, P.S., Francisco-Ortega, J. & Santos-Guerra, A. (2002): Phylogenetics and evolution of the Macaronesian clade of Crassulaceae inferred from nuclear and chloroplast sequence data. *Systematic Botany* 27: 271-288.

- Newton, L.E. (1980): Phytogeographical associations of the succulent flora of South-west Arabia and the Horn of Africa. *Nat. Cact. Succ. J.* 35: 83-88.
- Remmele, G. (1989): Die Niederschlagsverhältnisse im Südwesten der Arabischen Halbinsel: Ein Beitrag zum Klima des Nordjemen. *Erdkunde* 43: 27-36.
- Scott, H. (1942): In the high Yemen. London.
- Snogerup, S. (1971): Evolutionary and plant geographical aspects of chasmophytic communities. – In: Davis, P.H., Harper, P. & Hedge, I.E. (eds.): *Plant life of Southwest Asia*, pp. 157-197. Edinburgh.
- Thiede, J. (1994): New aspects of the phytogeographic relations of Macaronesian Crasulaceae. *Proc. XIIIth Plenary Meeting AEFTAT, Malawi* 2: 1121-1143.
- Ward, C. (2015): The water crisis in Yemen. *Managing extreme water scarcity in the Middle East*. 326 S., London.
- Wissmann, H. von (1937): Arabien. - In: Klute, F. (ed.): *Handbuch der Geographischen Wissenschaft*, Band Vorder- und Südasien: 178-211. Potsdam.
- Wissmann, H. von (1941): Arabien und seine kolonialen Ausstrahlungen – eine geographisch-geschichtliche Skizze. - In: Dietzel, K.H u.a. (Hrsg.): *Lebensraumfragen europäischer Völker* Band 2: 374-488, Leipzig.
- Wissmann, H. von (1972): Die Juniperus-Gebirgswälder in Arabien. Ihre Stellung zwischen dem borealen und tropisch-afrikanischen Florenreich. *Erdwissenschaftliche Forsch.* 4: 157-176. Wiesbaden.
- Wood, J.R.I. (1984): Eight new species and taxonomic notes on the Flora of Yemen. *Kew Bull.* 39: 123-139.
- Wood, J.R.I. (1997): *A handbook of the Yemen Flora*. 434 S., Kew.
- Zohary, M. (1973): *Geobotanical Foundations of the Middle East*. Stuttgart.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 2018

Band/Volume: [108](#)

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

Artikel/Article: [Arabia Felix? – Der Südwesten Arabiens aus geobotanisch-vegetationsökologischer Sicht 29-75](#)