

Unter der steigenden Zahl geowissenschaftlicher Untersuchungen im Jemen sind geomorphologische Arbeiten bislang die Ausnahme. Gerade im Zusammenhang mit hydrologischer und geologischer Forschung hat die Geomorphologie aber heute eine Reihe von anwendungsbezogenen Möglichkeiten, trägt sie doch zu einem tieferen und umfassenderen Verständnis der Umwelt bei. Während die geomorphologische Feldforschung immer auch abhängig ist von politischen Umständen, sind es in zunehmendem Maße frei verfügbare Fernerkundungsdaten, die nicht nur dem Fachmann, sondern auch dem landschaftlich interessierten Jemen-Reisenden einen Überblick sowie detaillierte Einblicke in die enorme landschaftliche Vielfalt des Jemen vermitteln können.

## Einleitung

Bereits relativ früh gab es reges geologisches Interesse an Südarabien. Das mag zum einen begründet sein in der rohstofforientierten Erkundung und Exploration der Region, ist aber wohl zum größten Teil der geologisch-tektonischen Lage des Jemen zu verdanken, der sich in direkter Nachbarschaft zu einem jungen, entstehenden Ozean befindet. Hierbei sind es besonders das Rote Meer und der Golf von Aden, die als aktive Arme der *Afar Triple Junction* beispielhaft sind für das Auseinanderbrechen (*Rifting*) des ehemaligen Gondwana-Kontinents. Nicht nur die mächtigen Serien der *Yemen Volcanics* (Flutbasalte), sondern auch die Riftzonen und die geologische Struktur der Beckenrandbereiche haben in diesem Zusammenhang immer wieder im Brennpunkt geologischer und tektonischer Forschung gestanden. Trotz großer Fortschritte sind sowohl die eigentliche Ursache als auch der genaue Mechanismus des Riftvorgangs nicht zweifelsfrei geklärt.

Vor dem Hintergrund der politisch-wirtschaftlichen Lage des Jemen sind es allerdings zusehends hydrologische und hydrogeologische Untersuchungen, die angesichts des steigenden Bevölkerungswachstums nach Lösungen des regionalen Wasserproblems suchen. Vielleicht durch ihre nicht ganz so offenkundige und direkte Anwendbarkeit bedingt, hat es geomorphologische Forschung neben geologischen und hydrologischen Arbei-

ten seit jeher nur vereinzelt gegeben. Eine flächendeckende „Geomorphologie des Jemen“ existiert bislang nicht. Trotzdem kann gerade der Jemen nicht nur durch seine kulturelle, sondern auch durch seine landschaftliche Vielfalt beeindruckend. Da große Teile des Landes durch semi-arides und arides Klima gekennzeichnet sind, treten die geologischen und geomorphologischen Formen besonders unmittelbar zutage. Nicht nur dem Experten fallen dabei Landschaften und Landschaftsformen unterschiedlichsten Alters und verschiedener Genese auf. Ihre systematische Aufnahme und Deutung hält sicherlich eine Reihe geomorphologischer Überraschungen parat. Gerade im Zusammenhang mit anderen geowissenschaftlichen Disziplinen können diese zum besseren Verständnis des Zusammenspiels exogener und endogener Einflussgrößen bei der Reliefentwicklung in ariden und tektonisch aktiven Regionen beitragen. Außerdem ist es gerade das Konzept der dynamischen Landschaftsgenese, das den Rahmen bildet für vielfache Anwendungsmöglichkeiten.

Anhand eines Überblicks und einiger Beispiele soll im folgenden auf Möglichkeiten und Ansatzpunkte der regionalen Geomorphologie aufmerksam gemacht werden. Gleichzeitig erhält der nicht fachkundige Leser und Jemen-Reisende die Anregung, den Jemen als Land der kulturellen *und* der landschaftlichen Vielfalt wahrzunehmen und zu verstehen.

Angesichts der aktuellen politischen Probleme in der gesamten Region gestaltet sich die geowissenschaftliche und geomorphologische Feldforschung im Jemen in letzter Zeit zunehmend schwierig. In dieser Situation sind es vor allem frei erhältliche Fernerkundungsdaten wie Satellitenbilder und Höhendaten (siehe Referenzen), die sich durch ihre recht guten räumlichen und spektralen Eigenschaften sowie aufgrund ihrer landesweiten Abdeckung für den geomorphologischen Ein- und Überblick eignen. Insbesondere die visuelle Interpretation von Satellitenbildern profitiert dabei natürlich vom geringen Grad der Vegetationsbedeckung großer Landesteile, der zumeist einen freien Blick auf die Landoberfläche erlaubt. In Anerkennung der enormen Bedeutung, die Fernerkundungsdaten für die gegenwärtige und zukünftige geowissenschaftliche Forschung im Jemen besitzen, werden auch in die vorliegenden Ausführungen verschiedene Satellitenbilder eingebunden.

## Geomorphologischer Überblick

Bereits der Blick auf ein digitales Höhenmodell verdeutlicht die wesentlichen Großlandschaften des Jemen (Abb.1). Diese Großlandschaften unterscheiden sich nicht nur topographisch voneinander, sondern spiegeln auch wesentliche Schritte der geomorphologischen Entwicklung des Landes wider. Infolge der bewegten geologischen Vergangenheit des Landes sind es vor allem tektonische Einflüsse gewesen, die wesentlichen Anteil an der Herausbildung der jemenitischen Großlandschaften hatten. Die flachen Küstenebenen umfassen die Tihama sowie das Tiefland um Aden (A). Durch enormes Relief gekennzeichnet, bilden die Gebirgsabdachungen der Zentrberge (B) den Übergang zu den topographischen Hochländern (C). An die topographisch markante Südküste (D) schließt sich im östlichen Jemen das Djol-Plateau



Abb. 1: Geomorphologisch-topographische Großgliederung Jemens auf der Basis eines DEM (Digital Elevation Model). A: Küstenebenen, B: Gebirgsabdachung und Riftberge, C: Zentrale Hochländer, D: Südküste und Küstengebirge, E: Hadramaut und Djol-Plateau, F: Rub' al-Khali-Wüste  
 Datenquelle: USGS (GTOPO30 Daten)

mit Hadramaut (E) an. Das Zentrum des Landes wird von der flachen, wüstenhaften Ebene der Rub' al-Khali (F), dem *leeren Viertel*, eingenommen.

**A Die Tihamah und das Küstentiefland um Aden**

Zwischen Meer und Gebirge gelegen, sind diese Küstentiefländer gekennzeichnet durch eine extrem flache Topographie und savannenähnliche Vegetation. Seit der Öffnung des Roten Meers ab dem Oberen Eozän (~40 bis 34 Millionen Jahre [Ma] vor der Gegenwart) unterliegt der Küstenstreifen einer Tendenz der Absenkung und Ausdehnung. In Form von teilweise riesigen *Schwemmfächern* werden so aus den angrenzenden Hochregionen schon seit dem Tertiär fluviale und alluviale Sedimente in die Ebene geschüttet, wobei der Küstenbereich stets dem Zusammenspiel mariner und terrigener Sedimentation unterlegen war.

Nur die größten Wadis erreichen das Meer, ein hoher Teil des Abflusses verdunstet, infiltriert oder wird zur Bewässerung verwendet. Bedingt durch die minimalen Niederschlagsmengen gibt es lokale bis regionale *Dünenfelder*, die sich in den meisten Fällen der vorherrschenden Windrichtung aus Süd bis Südwest angepasst haben und für eine leicht gewellte Topographie sorgen können.

An der Südküste wird die ansonsten flache Ebene durch Relikte miozäner bis quartärer *Vulkane* (~24 bis <1,8 Ma) unterbrochen (Abb.2). Das berühmteste Beispiel ist die Hafenstadt Aden, die um einen solchen Vulkan herum entstanden

ist (Abb.3). Zumindest im Südwesten der Küstenebene lassen die Vulkane zwar noch ihre Einsturz- oder Explosionskrater erkennen, zeigen aber durch die fortgeschrittene fluviale Zerschneidung deutlich ihren reliktschen, inaktiven Charakter.

Wo miozäne Evaporite entlang der zahlreichen Störungen an die Oberfläche drängen, wird das Erscheinungsbild der Küstenebene schließlich an mehreren Stellen durch Salztektonik beeinflusst. Über 1.000 Meter laminiertes Halite und Anhydrite werden in der Salif-Formati-

on zusammengefasst. Unter extrem trockenen Bedingungen hatte sich zu Beginn des Miozäns (~ 24 Ma) das entstehende Rote Meer in mehrere isolierte Depressionen aufgeteilt. Je nach Wassereintrag vom Mittelmeer her wurden dort saisonal oder episodisch Evaporite ausgefällt. Die folgende Überdeckung mit mächtigen Serien karbonatischer und klastischer Sedimente und die fortdauernde Tektonik führten letztlich zur *Halokinese*, also dem Aufdringen des Salzes in Diapiren (Salzstöcken) oder Salzmauern. Durch die extreme Trockenheit der



Abb. 2: Radiales Entwässerungssystem eines intensiv zerschnittenen quartären Vulkans an der Südküste. Man beachte den noch erkennbaren Kraterrand in der unteren Bildmitte  
 GLCF LANDSAT-Daten, RGB 321, Bildbreite ~25 km



Abb. 3: Blick aus dem Inneren der Shamsan-Caldera auf Crater, einen Stadtteil Adens  
Foto: M. Donga



Abb. 4: Oase auf Kamaran Island. Man beachte die verschiedenen Abrasionsniveaus, die aus Riffkalken bestehen und ehemalige Küstenlinien nachzeichnen. Ihre Hebung geht auf Salztektunik zurück  
Foto: J.-H. May



Abb. 5: Kamaran Island und die As-Salif-Halbinsel. Erkennbar ist die ringförmige Anordnung der Abrasionsterrassen. Man beachte außerdem die deutliche Abtrennung des flachen Wattenbereichs in der rechten Bildhälfte, der durch Salztektunik abgedämmt worden ist  
GLCF LANDSAT-Daten, RGB 321, Bildbreite ~30 km

Region kann das Salz ungehindert bis an die Oberfläche gelangen ohne gelöst zu werden, wo es teilweise beträchtliche Auswirkungen auf die Morphologie hat.

Als ein unmittelbares Ergebnis der Salztektunik wird die Insel Kamaran im Roten Meer gedeutet. Sie besteht zum größten Teil aus *Riff-Kalksteinen*, wie sie entlang der jemenitischen Küsten zahlreich vorkommen. Ihre Entstehung und Hebung aus dem Meer verdankt sie einem unterliegenden Diapir, wie sich deutlich an der ringförmigen Anordnung der *Abrasionsterrassen* zeigt (Abb.4). In Analogie zur afrikanischen Küste des Roten Meeres könnten allerdings auch globale Meeresspiegelschwankungen zu einem gewissen Grad an der Ausbildung der unterschiedlichen Abrasionsniveaus beteiligt gewesen sein. Dass die Salztektunik für die Küstenebene wesentlichen Einfluss auch auf die lokalen Sedimentationsvorgänge hat, belegt das Beispiel der Salzmauer in As-Salif, deren Aufdringen entlang einer Abschiebung förmlich eine Barriere für die vom Festland kommenden klastischen Sedimente gebildet hat. Sie stellt eine scharfe Trennung zwischen karbonatischen und klastischen Sedimentationsräumen dar (Abb.5).

#### **B Gebirgsabdachung und Riftberge**

An die Küstenebene schließen sich in einer scharfen Stufe die Übergangsbereiche zu den jemenitischen Hochplateaus an. Im Gegensatz zur Küstenebene sind diese Bereiche geomorphologisch gekennzeichnet von enormer Hebung und intensiver Abtragung seit etwa 30 Ma. Sie bestehen geologisch aus bis zu 2500 Meter mächtigen Serien von Vulkaniten (*Yemen Volcanics*), die vielfach in eine große Zahl von verkippten und gestörten Blockschollen zerteilt sind. Der steile Anstieg von der Küstenebene zum Hochland stellt auch für die regionalen Luftmassen ein Hindernis dar. Dadurch befinden sich an den westlichen Rändern der Hochregionen die regenreichsten Gebiete des Jemen. Jahresniederschläge von 300 bis 500 mm sind der Durchschnitt, und lokal kann der Niederschlag sogar 1000 mm pro Jahr übersteigen. Im Zusammenhang mit den schlechten Grundwasserspeichereigenschaften des anstehenden magmatischen Gesteins erklärt dies die starke und tiefe Zertalung der Landschaft. Nur unter den hier gegebenen hydrologischen Bedingungen findet man im Jemen Wadis mit ganzjähriger Wasserführung.

Wo die Täler sich gegen das Tiefland weiten, sind die Wadis von fluvialen *Terrassen* eingerahmt (Abb.7). Im Hinblick auf die starke tektonische und neotekto-

nische Aktivität der gesamten Region sind solche Terrassen oftmals auf Hebungen innerhalb des Flusseinzugsgebietes und Veränderung des Vorfluterniveaus zu deuten. Allerdings kommen gerade innerhalb der jüngeren Erdgeschichte auch regionale bis globale Klimawechsel in Frage, die das Feuchtigkeitsangebot und damit das Verhalten der Flüsse wesentlich beeinflusst haben könnten. Flussabwärts treten die Wadis aus dem Gebirge in die Küstenebene ein und bilden dabei riesige *Schwemmfächer* (Abb.6). Diese sind oftmals in verschiedene Generationen differenzierbar, was auf wesentliche Änderungen in Sedimentaufkommen und -transportkapazität während der Sedimentationsgeschichte hindeutet.

Die geomorphologische Entwicklung des markanten und tief eingeschnittenen Entwässerungssystems ist offensichtlich stark beeinflusst worden von der Art und Intensität der regionalen Hebung und der damit einhergehenden Dehnung der Erdoberfläche. Da die regional-geologische Struktur der Gebirgsrandbereiche durch eine hohe Zahl gestaffelter und teilweise rotierter Bruchschollen und Abschiebungen gekennzeichnet ist, um die sich die kleineren Wadis anordnen, wird das trellis- und spalierartige *Entwässerungsmuster* in diesen Bereichen verständlich. Nur die größeren Wadis haben ausreichende Erosionskapazität, um mit der tektonischen Aktivität Schritt zu halten. Sie verlaufen der Schwerkraft folgend recht gradlinig dem Meer zu. Gen Osten geht das Entwässerungsmuster in eine dendritische, verzweigte Anordnung über und spiegelt somit die äußere strukturelle Grenze der von Bruchschollentektonik gekennzeichneten Riftberge wider.

### C Zentrale Hochländer

Die zentralen Hochländer im Jemen sind das Resultat der enormen Hebung der Riftschultern entlang des sich ausbildenden Roten Meers. Geologisch gesehen wird das Aufdringen des *Afar Mantle Plumes* als Ursache für die Hebung gesehen. Außerdem ist der *Mantle Plume* wohl verantwortlich für die enorm mächtigen Serien von Flutbasalten, die einen wesentlichen Teil der westlichen Hochländer aufbauen. In diesem Zusammenhang ist allerdings unklar, ob eine Aufwölbung und initiale Hebung dem extensiven Flutbasaltismus und dem Riftvorgang vorausgingen. Nachdem sich die einsetzende Dehnungstendenz des Gebietes ab etwa 35 Ma ankündigt, dauert es noch bis 20 Ma im Golf von Aden und bis 5-6 Ma im Roten Meer, ehe das eigentliche Ozeanboden-*Spreading*, also das Entstehen neuer Ozeankruste, beginnt.



Abb. 6: Schwemmfächer in der Tihamah-Küstenebene. Man beachte die unterschiedliche Färbung und das ausgeprägte Gerinnemuster

NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~45 km



Abb. 7: Nach Osten einfallende, steil verkippte Bruchscholle an der Straße Aden-Ta'izz. Man beachte außerdem die gleichmäßige, etwa 25 Meter hohe fluviale Terrasse entlang des Wadis

Foto: J.-H. May

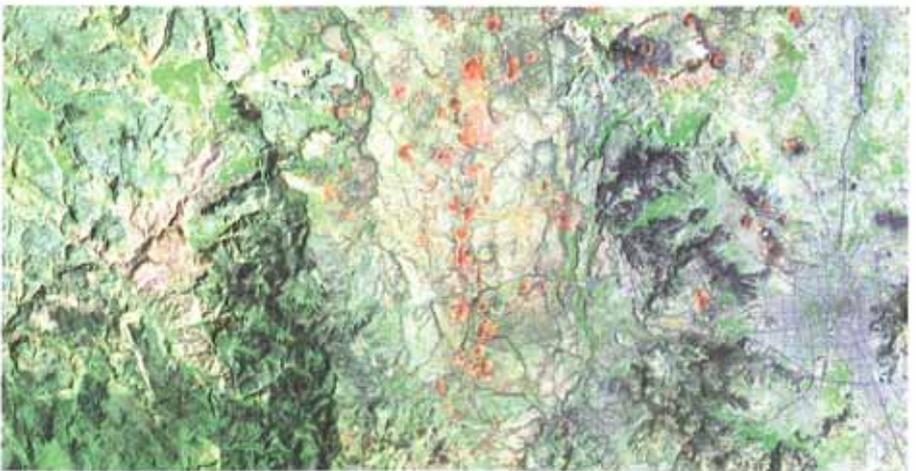


Abb. 8: Übergang vom zentralen Hochland zu den westlichen Riftbergen westlich von Sana'a. Man beachte die markante Stufe links von der Bildmitte, die das Hochland (rechts) von den tief zerrfurchten Riftbergen trennt

NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~70 km



Abb. 9: Flach geneigte Schichten der „Yemen Volcanics“ am Sumarah-Pass, der den Übergang von Riftbergen zum Hochland darstellt

Foto: J.-H. May



Abb. 10: Hochlandbecken bei Dhamar

Foto: A. Weber



Abb. 11: Löss-Paläoboden-Sequenz bei Ibb. Der graue Paläoboden befindet sich in der Bildmitte

Foto: J.-H. May

Begleitet von andauernder Hebung werden vor allem im Gebiet der westlichen Hochländer zwischen etwa 31 und 26 Ma mehr als 2500 Meter vulkanische Serien abgelagert (*Yemen Volcanics*). Diese leicht nach Osten verkippten vulkanischen Gesteinsschichten sind im wesentlichen Basalte und Rhyolithe, aber auch Ignimbrite und Pyroklastika. Sie sind im Gegensatz zur westlichen Abdachung der Riftberge recht wenig gestört und nur selten in Blockschollen gestaffelt. Trotzdem sind auch die *großen Becken*, die das westliche Hochland charakterisieren (z.B. *Becken von Sana'a*), von komplexer tektonischer Natur. Topographisch hat das westliche Hochland eine Durchschnittshöhe von mehr als 2000 Metern. Etwas weiter im Osten fällt die Durchschnittshöhe bis auf über 1000 Meter ab. Hier fehlen die mächtigen vulkanischen Gesteinsserien und die Hebung hat für die großräumige Exposition von sehr altem Grundgebirge gesorgt.

Im Westen wird das zentrale Hochland durch eine bis zu 1000 Meter hohe Stufe begrenzt, die den Übergang zu den stark zerschnittenen und intensiv gestörten Riftbergen darstellt (z.B. *am Sumarah-Pass zwischen Ibb und Dhamar*). Als Ergebnis fortdauernder rückschreitender Erosion ist die Stufe in den meisten Fällen gleichzusetzen mit der Wasserscheide zwischen binnengerichteter und externer Entwässerung (Abb.8 und 9).

Vor allem die Beckenlagen des Hochlandes (Abb.10) scheinen im Lauf der Zeit als Sedimentfalle für recht weit verbreitete *Lössablagerungen* gedient zu haben. Insbesondere an Straßenanschnitten finden sich zwischengelagert zwischen lössartigen Sedimenten immer wieder auffällige *Paläoböden*, die in den wenigsten Fällen genauer beschrieben oder datiert sind (Abb.11). Somit bleibt unklar, ob der Löss lokalen Quellen entstammt oder vom Nordost-Passat aus der Rub' al-Khali-Wüste ins Hochland transportiert wurde. In jedem Fall sind die wechselnden Paläoboden-Löss-Sequenzen ein deutlicher Hinweis auf tiefgreifende Klimaschwankungen, wie sie typisch für die letzten zwei Millionen Jahre der Erdgeschichte sind. Dabei werden es in Analogie zu anderen Trockengebieten der niederen Breiten im wesentlichen Schwankungen der Monsunaktivität gewesen sein, die für ein wechselndes Feuchtigkeitsregime gesorgt haben. Belegt sind diese Feuchtphasen aus der Ramlat as-Sabatayn, dem südlichsten Teil der Rub al-Khali-Wüste, wo ehemalige Seen vor 33 ka BP (= 33 000 Jahren vor heute) und zwischen 11 ka BP und 7,5 ka BP von erhöhtem Wasserangebot zeugen.

### D Jemens Südküste

Schon auf den ersten Blick ist die Südküste des Jemen eine morphologisch sehr markante Region. Einhergehend mit intensiven, großräumigen Riftvorgängen im Golf von Aden hat sich seit dem Oberen Eozän (~ 40 bis 34 Ma) ein passiver Kontinentalrand ausgebildet, der strukturell gekennzeichnet ist von Blockscholentektonik. In diesem Zusammenhang ist das aktuelle geomorphologische Muster das Resultat von drei wesentlichen Phasen tektonischer Aktivität, die dem Beginn und Höhepunkt der Riftvorgänge sowie dem Einsetzen der Sedimentation am passiven Kontinentalrand seit etwa 15 Ma entsprechen.

Diese bewegte geologische Vergangenheit ist landschaftlich erkennbar an verschiedenen Sequenzen gehobener *Strandterrassen* (Abb.12). Die Lithologie dieser Terrassen spiegelt die sich ändernden Sedimentationsbedingungen entlang der Südküste wider. Dabei ist es vor allem die jüngste Sequenz mariner, küstennaher Karbonate, die ausnahmslos in einem bis zu einem Kilometer breiten, küstenparallelen Band vorkommt und somit eine relative Stabilität der Küstenlinie seit dem Mittleren Miozän (~ 20 bis 15 Ma) belegt.

Wo selbst die jüngste Sequenz mariner Karbonate in terrassierten Stufen bis zu mehreren hundert Metern hoch über der Küste ansteht, wird deutlich, dass die Landschaft der jemenitischen Südküste trotzdem von andauernder regionaler Tektonik, aber auch von globalen eustatischen Meeresspiegelschwankungen geprägt wurde und wird (*Jebel Mukalla*; Abb.13).

Der von den intensiven Riftvorgängen strukturell betroffene landschaftliche Gürtel bleibt entlang der Südküste recht schmal und ist erkennbar an seinem typischen trellisartigen *Entwässerungsnetz*. Nur die größeren Wadis haben die Blockschollen antezedent durchschnitten und ordnen sich nicht der regionalen Struktur unter. Der morphologische Übergang von der tektonisch aktiven Südküste zum Djol-Plateau ist somit unter anderem erkennbar nicht nur an seiner gehobenen, flachwelligen Morphologie, sondern auch an einem scharfen Wechsel von trellisartigen zu dendritischen Entwässerungsmustern (Abb.14).

Im Zusammenhang mit der tektonischen Prägung der gesamten Region sind auch die verschiedenen pliozänen bis quartären Vulkanregionen (~ 5 bis <1,8 Ma) im gesamten Bereich der Südküste ersichtlich (z.B. *Bir Ali*; Abb.15). Dass diese Regionen im Gegensatz zu weiter östlich gelegenen *Vulkangebieten* bis in jüngste geologische Vergangenheit aktiv



Abb. 12: Gehobene Strandterrassen an der Südküste bei Mukalla, die auf intensive Hebungsphasen im Zuge der Golf von Aden-Entstehung hindeuten Foto: J.-H. May



Abb. 13: Der *Jebel Mukalla*. Seine obere, helle Hälfte besteht aus marinen Kalksteinen und Riffkalken, die auf Grundgebirge lagern. Die heutige Lage hoch über der Küste verdanken die Gesteine intensiver Hebung Foto: M. Donga

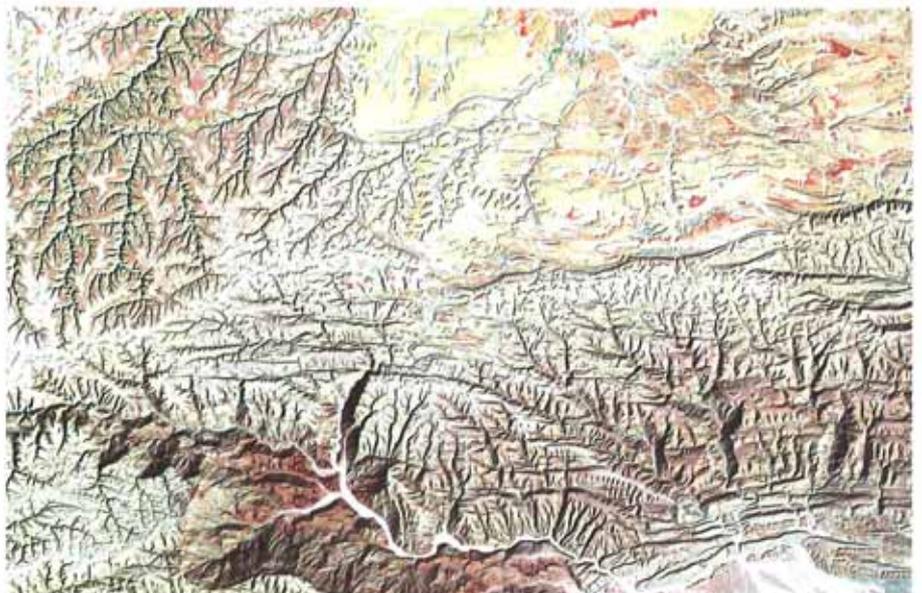


Abb. 14: Übergang von trellisartiger (unten rechts) zu dendritischer (oben links) Entwässerung, der den strukturellen Wechsel von Riftbergen zum Djol-Plateau anzeigt NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~60 km

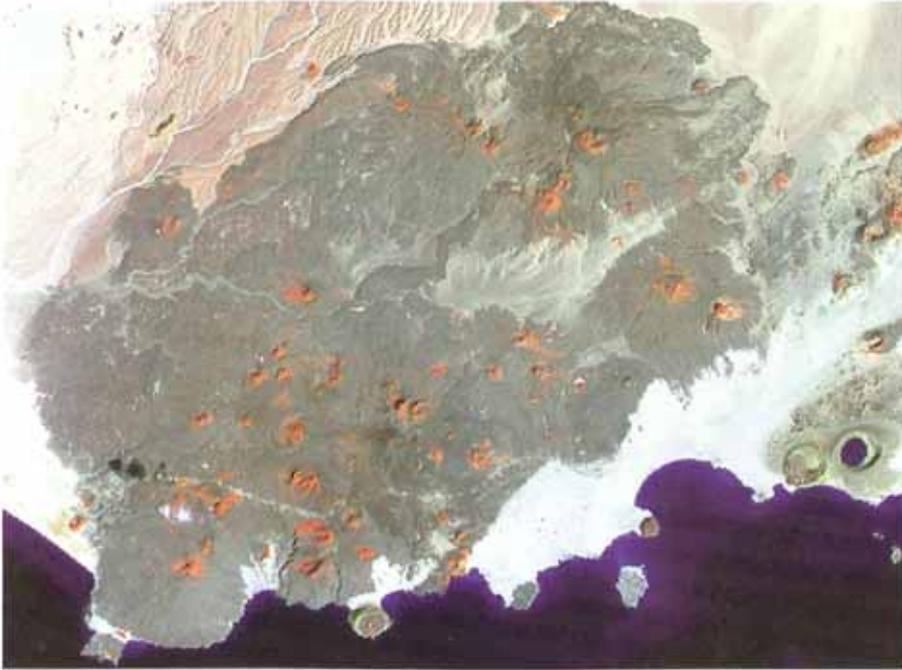


Abb. 15: Ausschnitt des Vulkangebietes bei Bir Ali. Auffällig sind die gut erhaltenen, roten Vulkankegel und kaum zerschnittenen Lavadecken, die auf ein junges Alter des Vulkanfeldes hindeuten  
GLCF LANDSAT-Daten, RGB 741, Bildbreite ~25 km



Abb. 16: Sanddünen im Wadi Mayfah. Man beachte die unterschiedlichen Farben und Formen der Dünen. Im Vordergrund barchanoide Formen und im Hintergrund kombinierte Quer- und Leedünen  
Foto: V. H.-J. May



Abb. 17: Dünen im Wadi Mayfah. Die unterschiedlichen Färbungen und Muster deuten auf wechselnde Einzugsgebiete und Windregime hin  
GLCF LANDSAT-Daten, RGB 432, Bildbreite ~50 km

geblieben sind, wird durch die markante Ausbildung und gute Erhaltung von Vulkankegeln und Lavafeldern deutlich. Mancherorts haben die vulkanischen Ablagerungen Strandsedimente überdeckt oder sich dem Lauf vorhandener Wadis angepasst. In den meisten Fällen sind solche Vulkanregionen an Schwäche zonen in der Kruste geknüpft, die ihrerseits zurückgehen auf die tektonische Entwicklung des Golf von Aden-Rifts.

Vor diesem Hintergrund werden auch die größeren Becken verständlich, die an mehreren Stellen den Küstenstreifen durchbrechen (z.B. *Wadi Mayfah*; Abb. 17). In vielen Fällen dienen diese Becken als Fallen für äolische Sedimentation (Abb. 16). Die enorme Akkumulation von äolischen Sanden im Unterlauf des Wadi Mayfah scheint dabei allerdings zusätzlich dadurch begünstigt, dass im Einzugsgebiet fast ausnahmslos Sandsteine anstehen, die als Liefergebiet für die Sande in Frage kommen. Für die äolische Formung und Umlagerung der Sande im Küstengebiet scheinen mehrere Windregime verantwortlich gewesen zu sein, was sowohl durch farbliche Unterschiede der einzelnen *Dünengebiete* als auch durch unterschiedliche Formen angedeutet wird (Abb. 17).

#### *E Djol-Plateau und Hadramaut*

Das Djol-Plateau nimmt den größten Teil des östlichen Jemen ein und kann als flach welliges bis ebenes Plateau beschrieben werden. Es wird durch das Wadi Hadramaut bzw. das Wadi Masilah in den nördlichen und südlichen Djol unterteilt. Einhergehend mit dem Golf von Aden-Rift ist das gesamte Plateau seit dem späten Eozän (~ 40 bis 34 Ma) horstartig herausgehoben und durch weit gespannte Falten- und Muldenstrukturen deformiert worden. Dieser strukturelle Unterschied im Vergleich zu den sich südlich anschließenden Riftbergen zeigt sich besonders deutlich an der Ausprägung der verschiedenen Gewässernetztypen in beiden Regionen (Abb. 14).

Möglicherweise zurückgehend auf die erste Phase nach der Hebung des gesamten Plateaus wurde unter noch feuchteren klimatischen Bedingungen das markante *dendritische Entwässerungsnetz* geschaffen, das sich in große Teile des Plateaus eingeschnitten hat (Abb. 18 und 22). Vor allem die auffälligen *Mäanderformen* sind ein Hinweis auf ehemals humideres Klima (Abb. 21). Ebenso findet man zahlreiche Karstformen und Höhlen in den Gesteinen des Plateaus. Die unterschiedliche Widerstandsfähigkeit der einzelnen Gesteinsformationen, die das Plateau aufbauen, zeigt sich neben den farblichen Unterschieden auch

an der großen Vielfalt der Talformen und Talnetze (Abb.18). Außerdem bilden die widerstandsfähigeren Gesteinsschichten Dachflächen, wobei typische *Mesa-* und *Schichtstufen* aus der Landschaft herauspräpariert wurden (Abb.19).

Als sich zu Beginn des Pleistozäns die klimatischen Bedingungen änderten und es trockener wurde, erfuhr das Talnetz neben seiner *Einschneidung* vor allem in seinem westlichen Teil enorme Modifikationen. Flächenbildende Prozesse sorgten für eine Ausweitung der Talbreite und eine Rückverlegung der Talflanken, es kam zu Anzapfungen und der Abtrennung von Zeugenbergen. Die Randgebiete der Ramlat as-Sabatayn bzw. der Rub' al-Khali-Wüste können also in ihren östlichen Teilen durchaus als *Fußfläche* gedeutet werden, die sich in das Plateau hineingearbeitet hat (Abb.20).

#### F Die Wüste Rub' al-Khali

Die zentralarabische Rub' al-Khali ist die größte Sandwüste der Erde und erstreckt sich bis in den Jemen. Durch ihren südlichsten Ausläufer, die Ramlat as-Sabatayn, führt der direkte Weg vom westlichen Hochland zum Wadi Hadramaut. Morphologisch ist diese tektonische Einbruchsebene zwar einerseits durch langgezogene, südwestlich-nordöstlich orientierte Systeme aus *Longitudinal- oder Längsdünen* charakterisiert, zeigt aber andererseits auch deutliche morphologische und fazielle Wechsel (Abb.23). Vor allem Transversaldünen bzw. *Barchane* machen einen großen Teil der Dünenformen aus und überziehen dabei die wesentlich mächtigeren Längsdünen. Das aus dem Hochland angelieferte Material ist also im Laufe der Zeit der Überlagerung verschiedener Windregime ausgesetzt gewesen. Hierbei scheinen monsunale Winde aus Südwest in der Vergangenheit wesentlich höhere Bedeutung für die Formgestaltung der Rub' al-Khali gehabt zu haben. Auffallend ist außerdem die unterschiedlich intensive Sandbedeckung über größere Wüstengebiete. Wo der Untergrund nicht flächenhaft von Dünensand bedeckt ist, breiten sich Kiesebenen, aber auch Ton- und Gipsebenen (*Sebkhas*) aus. In den Sedimenten der *Sebkhas* lassen sich Hinweise auf verschiedene Phasen erhöhten Jahresniederschlags finden. Vor allem in der Zeit von etwa 30 bis 20 ka BP und von 11 bis 7,5 ka BP scheint das Klima in der heute extrem ariden Wüste also feuchter gewesen zu sein.

#### Ausblick

Der vorläufige Überblick über die Geomorphologie des Jemen zeigt eine enorme Vielfalt an Formen und Prozessen.

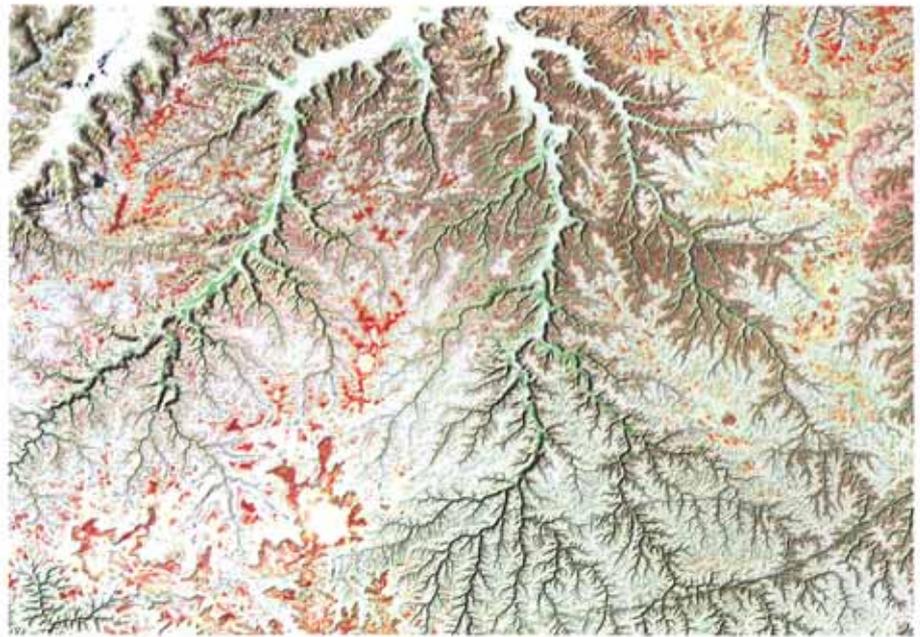


Abb. 18: Dendritisches Entwässerungssystem des Wadi Hadramaut auf dem südlichen Djol-Plateau. Die bunte Färbung gibt die unterschiedliche Lithologien der flach lagernden Gesteine wieder NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~100 km



Abb. 19: Typische Schicht- bzw. Tafelberge (Mesas) auf dem südlichen Djol, die von petrovarianter Abtragung zeugen Foto: J.-H. May



Abb. 20: Schichtstufe am Westrand des Djol. Die Stufe schneidet das Gewässernetz sowie Gesteine verschiedener Härte, scheint also durch flächenhafte Prozesse rückverlegt worden zu sein NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~60 km



Abb. 21: Eingeschnittene Mäander auf dem nördlichen Djof, die auf ehemals feuchtere klimatische Verhältnisse hindeuten

NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~50 km



Abb. 22: Fein gegliedertes Entwässerungsnetz auf dem südlichen Djof, dessen Entstehung auf eine relativ niedrige Resistenz der beteiligten Gesteine zurück geht

NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~35 km

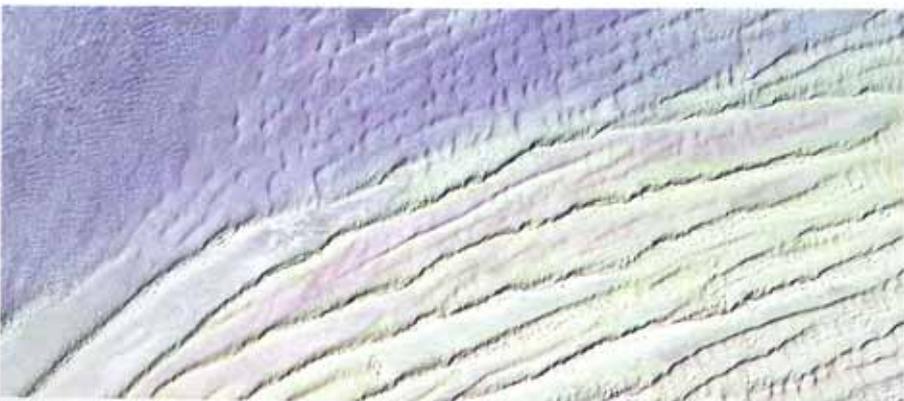


Abb. 23: Sanddünen in der Ramlat as-Sabatayn. Man beachte die unterschiedliche Färbung und Dünenmorphologie und die nicht von Sand bedeckten relativ ebenen Zwischenflächen. Longitudinale Riesendünen (unten) und Barchanfelder

NASA LANDSAT-Daten, RGB 742, Bildbreite ~80 km

Schon auf den ersten Blick entpuppen sich die meisten dieser Formen als deutlich polygenetische Bildungen und deuten somit auf tiefgreifende Wechsel der Formungsbedingungen in der Vergangenheit. Allein diese Tatsache könnte bei näherem Hinschauen noch eine Fülle wertvoller paläoklimatischer und geomorphologischer Informationen bereithalten, die sicherlich zum allgemeinen Verständnis der Landschafts- und Klimaentwicklung der Trockengebiete beitragen können. Gerade vor diesem Hintergrund ist es wichtig, sich die Zusammenhänge zwischen den verschiedensten Landschaftselementen vor Augen zu halten. Sämtliche geowissenschaftlichen Fragestellungen, insbesondere die im Jemen so dringlichen hydrologischen Probleme, können von einer besseren Kenntnis der jemenitischen Landschaft und des Systems der an ihrer Formung beteiligten Prozesse nur profitieren.

In jedem Fall besteht daher die Hoffnung, dass vor allem durch immer neue und frei verfügbare hochwertige Fernerkundungsdaten auch die geomorphologische Erkundung des Jemen im Rahmen der Trockengebetsforschung neue Impulse erhält.

#### Literatur und Daten zum Thema

- Kruck, W., U. Schäffer & J. Thiele (1996): Explanatory Notes on the Geological Map of Yemen – Western Part. Hannover.
- Purser, B.H. & D.W.J. Bosence (Eds.) (1998): Sedimentation and Tectonics of Rift Basins: Red Sea – Gulf of Aden. Chapman & Hall.
- Schliephake, K. (2001) (Hrsg.): Südlicher Jemen: Entwicklung und Wasser. – Würzburger Geographische Manuskripte 54.
- Van der Gun, J.A.M. & A.A. Ahmed, A.A. (1995): The Water Resources of Yemen. Sana'a.
- Villwock, G. (1991): Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsgliederung des Südlichen Jemen (ehemals VDRJ). – Jemen-Studien Band 10.
- USGS (1996): Gtopo30 Data - Global 30-Arc-Second Elevation Data Set.  
<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>
- GLCF (2002): Landsat 4,5 Thematic Mapper (TM) data. University of Maryland.  
<http://glcf.umd.edu/index.shtml>
- NASA (2002): Orthorectified Landsat Thematic Mapper Mosaics.  
<http://zdu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>
- NASA (1986): Geomorphology from space – an overview of regional landforms.  
[http://daac.gsfc.nasa.gov/DAAC\\_DOCS/geomorphology/GEO\\_HOME\\_PAGE.html](http://daac.gsfc.nasa.gov/DAAC_DOCS/geomorphology/GEO_HOME_PAGE.html)



Jan-Hendrik May hat Geographie, Geologie und Statistik studiert. Im Frühjahr 2000 hielt er sich längere Zeit im Jemen auf. Universität Bern, Geographisches Institut, Hallerstr.12, CH-3012 Bern  
 may@giub.unibe.ch  
 www.giub.unibe.ch/palaeo/