



TIM KARBERG

LANDNUTZUNGSENTWICKLUNG UND -MODELLE DER OASE EL RUM

ANALYSE MULTISPEKTRALER UND SAR-SATELLITENAUF- NAHMEN IM KONTEXT RAUMBEZOGENER SURVEYDATEN

I. EINLEITUNG

Wie auch bei vielen anderen archäologischen Forschungsprojekten war es auch im El Rum Oasis Project der Westfälischen Wilhelms-Universität (WWU) Münster pandemiebedingt nicht möglich, in der Frühjahrssaison 2021 die übliche Feldforschungskampagne durchzuführen. Daher rückten landschaftsarchäologische Fragestellungen, deren Erforschung überwiegend am heimischen Computer erfolgen kann, in den Fokus des Projektes, bis ausführliche Forschungen im Feld wieder möglich sein werden.¹

Die landschaftsarchäologischen Forschungen erfolgten auf Grundlage von Satellitendaten, historischen Geodaten sowie durch geo-statistische Auswertung von Daten, die im Rahmen des Surveyprojektes „Wadi Abu Dom Itinerary“ der WWU Münster in den Jahren 2009 bis 2016 erhoben wurden.² Digitale Geländemodelle wurden dabei mit Analysen panchromatischer und multispektraler optischer Satellitenbilder, aus Radar-Satellitendaten gewonnenen digitalen Geländemodellen sowie geostatistischen Untersuchungen der Verteilungs-



Abb. 1: Die Oase El Rum im unteren Wadi Abu Dom im Jahre 2012. Foto: Tim Karberg (© W.A.D.I.-Projekt).

muster von Siedlungs- und Mobilitätsindikatoren im archäologischen Befund kontextualisiert.³ Dabei stehen vor allem Fragen der diachronen Landschaftsmodellierung,⁴ jedoch auch der historischen Hydrologie im Vordergrund.⁵

Das untere Wadi Abu Dom ist in rezenter Zeit stark von Bewässerungslandwirtschaft geprägt (Abb. 1). Dies zeigt sich insbesondere in zwei Mikro-Oasen: Die kleine Ortslage Ghazali und der sehr viel

1 Der Autor dankt der Projektleiterin Prof. Angelika Lohwasser für ihrer vielfältige Unterstützung, sowie Dr. Henryk Paner (Archäologisches Museum Gdansk), dem Institut für Geoinformatik der WWU Münster (besonders Dr. Torsten Prinz, Prof. Judith Versteegen und Sven Oliver Pagel), Dr. Harriet Berkhahn (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), Prof. René Cappers (Universität Groningen) sowie den Teams des SPP „Entangled Africa“ und seiner Teilprojekte für die kollegiale Zusammenarbeit.

2 Zu den allgemeinen Ergebnissen dieses Surveys vgl. Karberg & Lohwasser, 2018a.

3 Für die allgemeinen (auch landschaftsarchäologischen) Fragestellungen des „El Rum Oasis Project“ s. Karberg, et al., 2020, S. 49-50.

4 Die diachrone Modellierung der Landschaftsentwicklung erfolgt zunächst qualitativ. Eine erweiterte quantifizierte Modellierung ist in Zusammenarbeit mit Prof. Judith Versteegen (ehemals Institut für Landschaftsökologie der WWU Münster, jetzt Universität Wageningen) geplant.

5 Die hier vorgestellten ersten Ergebnisse zur historischen Hydrologie sind als vorläufig zu verstehen. Eine vertiefte Analyse der diachronen hydrologischen Entwicklung des Gebietes ist in enger Zusammenarbeit mit Prof. Patricia Göbel und Patrick Cantauw (Institut für Geologie und Paläontologie, WWU Münster) geplant.

ausgedehntere Landwirtschafts- und Siedlungskern El Rum. Diese heute voneinander getrennten Gunstzonen stehen jedoch – wie die Auswertung von Fernerkundungsdaten zeigt – in direktem Zusammenhang miteinander. Die intensive Bewässerungslandwirtschaft in beiden Oasen erfolgt überwiegend als stratifizierter Anbau, wie er für viele Oasenwirtschaften typisch ist: Auf ein und derselben Anbaufläche werden sowohl Baumplantagen (vor allem Dattel- und Dum-Palmen) als auch Gemüse-, Bohnen- und (in sehr viel geringerem Umfang) Getreide kultiviert (Abb. 2). Die Baumpflanzungen dienen dabei als oberes Anbaustratum, das den Gemüsekulturen Schatten spendet, vor allem jedoch durch seine Windbrecherfunktion die Bodenerosion minimiert.

Diese spezielle Form des stratifizierten Oasenfeldbaus kommt jedoch nicht überall im unteren Wadi Abu Dom zum Einsatz. Insbesondere in den randlichen Lagen der Oasen werden Gemüse- und Bohnenpflanzen auch alleinstehend, ohne assoziierte Baumplantagen angebaut (Abb. 3a und b). Dies ist als Adaptionstrategie an eine fluktuierende Kulturlandschaft zu erklären (s.u.).

Satellitendatenbasierte Kulturlandschaftsforschung kann, da aussagekräftige Daten erst ab ca. 1970 zur Verfügung stehen, nur eine historische Tiefe von etwa 50 Jahren direkt abbilden. Dennoch zeigt die Kontextualisierung dieser Analysen mit älteren historischen Daten bzw. dem archäologi-



Abb. 2: Stratifizierter Anbau in der Oase El Rum: Dattel- und Bohnenanbau. Foto: Laura Haupt (© W.A.D.I.-Projekt).



Abb. 3a: Kurzfristig angelegtes Gemüsefeld. Foto: René Capers.



Abb. 3b: Bewässerungskanal außerhalb langfristig genutzter, stratifizierter Anbaufläche. Foto: Tim Karberg (© W.A.D.I.-Projekt).

schen Befund, dass eine exemplarische Abbildung der Landschaftsentwicklung über einen solchen Zeitraum auch Modelle mit größerer chronologischer Tiefe für eine fluktuierende Kulturlandschaft ermöglichen kann.

2. METHODIK

2.1. Fernerkundung

Bei der Analyse von Fernerkundungsdaten kamen verschiedene Datenkategorien und Analysemethoden zum Einsatz. Für die Identifizierung von bewässertem Acker- und Plantagenland wurden als Ausgangsmaterial multispektrale optische Satellitenaufnahmen verschiedener Plattformen und Instrumente verwendet. Um die notwendige zeitliche Tiefe für eine zumindest mittelfristige



Satellit	Instrument	Bänder	Auflösung	Aufnahmedatum
Landsat-1	Multispektralscanner (MSS)	4	60 x 60 m	15.09.1972
Landsat-2	Multispektralscanner (MSS)	4	60 x 60 m	29.06.1975
Landsat-5	Multispektralscanner (MSS)/Thematic Mapper (TM)	4 (MSS) 7 (TM)	60 x 60 m (MSS) 30 x 30 m (TM)	08.10.1984
Landsat-7	Enhanced Thematic Mapper (ETMplus)	8	30 x 30 m	30.09.2013
Sentinel-2B	Multispektralinstrument (MSI)	12	10 x 10 m/ 20 x 20m	23.08.2020

Tab. 1: Für die Vegetationsanalyse genutzte multispektrale Satellitendaten.

Entwicklungsmodellierung zu erreichen, wurden Daten des Landsat-Programms der NASA mit neueren – höher aufgelösten – Daten des Copernicus-Erdbeobachtungsprogramms der ESA verglichen. Verwendet wurden Aufnahmen der Satelliten Landsat-1, Landsat-2, Landsat-5 und Landsat-7, sowie Sentinel-2B. Um zum einen eine möglichst genaue Vergleichbarkeit als auch Relevanz der Daten für die Fragestellung (Anteil der Bewässerungskulturen an der gesamten Landnutzung) zu erreichen, wurden möglichst ähnliche Aufnahmezeitpunkte möglichst bald nach Abschluss der jährlichen monsun-beeinflussten Sommer-Regenzeit gewählt. Lediglich bei den Aufnahmen von Landsat-2 musste aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit ein Datum zu Beginn der jährlichen Regenzeit gewählt werden, bei dem dennoch eine signifikante Bewässerungswirtschaft festgestellt werden konnte (Tab. 1)⁶.

Die genutzten Satellitendaten weisen teilweise deutlich voneinander abweichende Aufnahme-Spektralbereiche („Bänder“) sowie Auflösungen auf. Um dennoch weitgehend vergleichbare Analysedaten zu erhalten, wurde ein möglichst standardisiertes Verfahren zur Vegetationsidentifikation genutzt: Der *Normalized Difference Vegetation Index*, der auf der jeweiligen Differenz zwischen Reflexionsintensitäten im roten und nahen infraroten Spektralband beruht.⁷ Die dafür erforderlichen Spektralbänder stehen bei allen verwendeten Aufnahmen zur Verfügung. Angesichts der Fläche der jeweils bewässerten Äcker stellte sich die räumliche Auflösung auch der älteren Satellitenaufnahmen als ausreichend für die Identifikation der Landnutzung heraus.⁸

6 Landsat: Landsat User Services, 2020, S. 2 Tab. 1, vgl. Short, 1982, S. 410-412 und Albertz, 2007, S. 243; Sentinel: Fletcher, 2012, S. 39-41.

7 Tucker, 1979; Tucker, et al., 2005.

8 Die Analyse der Satellitendaten wurde mit dem Fern-

Weitere aus Fernerkundung gewonnenen Daten bestanden aus Radar-basierten digitalen Geländemodellen (Abb. 4). Für die gesamte Bayuda und damit das komplette Einzugs- und Entwässerungsgebiet des Wadi Abu Dom bietet das ALOS DTM (zur Verfügung gestellt durch die japanische Raumfahrtagentur JAXA) mit einer Auflösung von 30 m pro Pixel das genaueste und aktuellste digitale Geländemodell, das für wissenschaftliche Zwecke frei verfügbar ist.⁹ Die Geländemodell-Daten wurden vor allem zur Rekonstruktion von Abflusszenarien von Oberflächenwasser im Einzugsbereich des Wadi Abu Dom genutzt.

2.2. GEOSTATISTIK

Die während des Surveyprojektes „Wadi Abu Dom Itinerary“ in den Jahren 2009 bis 2016 erhobenen topographisch referenzierten archäologischen Daten wurden für die landschaftsarchäologischen Fragestellungen mit Hilfe geostatistischer Methoden prozessiert. Im Vordergrund stand dabei die Ausdifferenzierung von archäologischen Indikatoren einerseits sesshafter, oasenwirtschaftsbasierter und andererseits mobiler, pastoraler Produktions-

erkundungsprogramm ERDAS Imagine durchgeführt. Eine Lizenz dieses Programms wurde dem Projekt freundlicherweise durch die IVVGeo der WWU Münster zur Verfügung gestellt. Der Autor dankt Dr. Torsten Prinz und Sven Oliver Pagel für ihre vielfältige Unterstützung.

9 Zusätzlich ist in Zukunft die Integration von Daten des deutschen Radarsatellitensystems TerraSAR-X/TanDEM-X (mit einer Auflösung von 12m pro Pixel) in die Forschung zur Landschaftsarchäologie und historischen Hydrologie im Wadi Abu Dom geplant. Die Nutzung dieser Daten wurde dem Autor durch das DLR zugesagt, kann jedoch aufgrund der noch ausstehenden Sicherheitsfreigabe noch nicht in diesen Artikel einfließen.

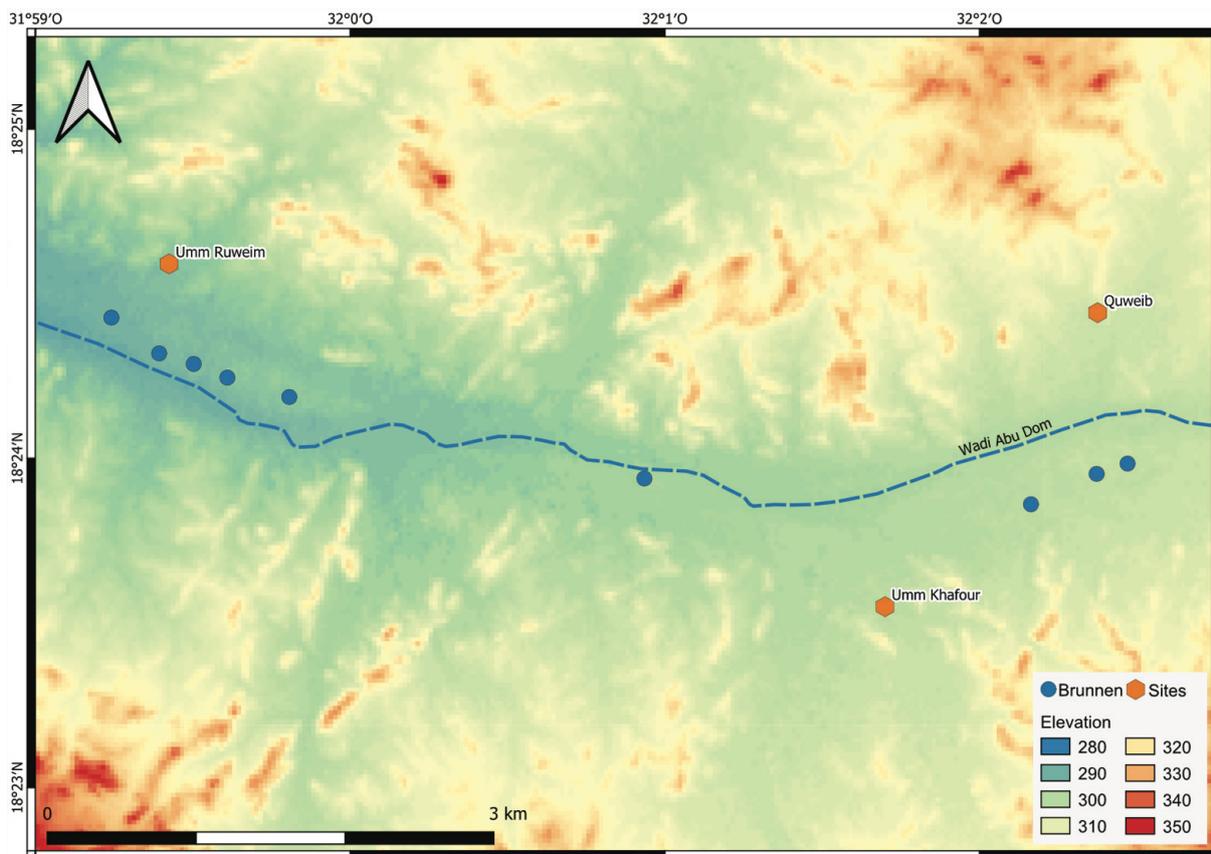


Abb. 4: Die Oase El Rum mit den größten archäologischen Sites vor digitalem Geländemodell. Karte: Tim Karberg; Geländemodell auf Basis von ALOS DTM, zur Verfügung gestellt von JAXA.

weise. Zahlreiche Kategorien archäologischer Daten sind recht klar mit Mobilität bzw. Sesshaftigkeit verknüpft.¹⁰ Grundrisse längerfristig bewohnter Hütten, oft zu Kraal-ähnlichen Clustern zusammengefügt, und temporäre, einzelnen stehende, oft zur windabgewandten Seite offenstehende Shelter sowie offene Camp Sites lassen sich im archäologischen Befund an der Geländeoberfläche meist deutlich voneinander abgrenzen. Zwar sind diese Strukturen bislang nur in einer Minderheit von Fällen klar datierbar,¹¹ so dass die chronologische Tiefe dieser Siedlungsstruktur-Indikatoren bislang nur unzureichend in die Datenanalyse einfließen kann. Andererseits ermöglichen bereits die vorliegenden Daten die Definition und Erkennung bestimmter Muster, die es erlauben, die unterschiedlichen Siedlungsstrukturen als Abbildungen verschiedener Produktivkräfte und ökonomischer Strategien zu interpretieren. Eins der wesentlichen dabei verwendeten Werkzeuge ist

die Kerndichteanalyse.¹² Hierbei werden räumliche Zellen definiert, innerhalb derer die topographische Verteilung von Indikatoren aus den Daten des archäologischen Befundes gemessen und durch eine zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion dargestellt wird. Die Ergebnisse einer solchen Analyse können mit Hilfe eines GIS visualisiert werden.

3. DIE OASE VON EL RUM ALS FLUKTUIERENDE KULTURLANDSCHAFT

3.1. Brunnen und Pfade

Die Kulturlandschaft der Oase von El Rum im unteren Wadi Abu Dom wurde im Rahmen des Surveyprojektes „Wadi Abu Dom Itinerary“ vor allem in den Jahren 2011 bis 2013 archäologisch erforscht. Dabei wurden unter anderem auch noch heute genutzte, aber erkennbar historische Brunnenanlagen dokumentiert und durch Testschnitte vorläufig

10 Karberg & Lohwasser, 2018a, S. 97-102; Karberg & Lohwasser, 2018b, S. 3-6

11 Karberg & Lohwasser, 2018a, S. 32-36; zur weiträumigeren Verteilung pastoral und oasenwirtschaftlich geprägten Kultur- und Wirtschaftsmustern vgl. Karberg & Lohwasser, im Druck

12 Conolly & Lake, 2010, S. 175-178



Abb. 5: Brunnen zur Feldbewässerung in El Rum. Foto: Harriet Berkhahn (© W.A.D.I.-Projekt).

datiert (Abb. 5).¹³ Infolge der (mit Unterbrechungen) bis heute anhaltenden Nutzung zur Feldbewässerung und der daraus resultierenden regelmäßigen Reinigung des Schachtes fanden sich im dortigen Füllmaterial kaum aussagekräftige Funde (Abb. 6); die sich im Laufe der Jahrhunderte um die Brunnen herum ansammelnden Schutthaufen enthielten jedoch diverses datierbares Material (Abb. 7). In den bisher abgetieften Testschnitten stammen die ältesten datierbaren Funde aus dem christlichen Mittelalter, so dass eine künstliche Bewässerung der Oase von El Rum spätestens in dieser Zeit begonnen worden sein muss. Die Kontextualisierung dieser Brunnen mit heutigen Bewässerungsflächen belegt eine bemerkenswerte längerfristige Kontinuität der Oasenwirtschaft, auch wenn diese vergleichsweise kurzfristig (in Zeiträumen von mehreren Jahrzehnten) teilweise unterbrochen war.

Neben den Brunnen spielte die Untersuchung von Pfadrelikten eine bedeutende Rolle. Es zeigte sich, dass die Dichtkerne archäologischer Befunde mit Sesshaftigkeits- oder Mobilitätsbezug zumindest in Teilen des unteren Wadi Abu Dom mit spezifischen Pfadmustern korrelieren, die jeweils Kurz- und Mittelstreckenmobilität abbilden.



Abb. 6: Versandeter Brunnen bei Quweib. Foto: Harriet Berkhahn (© W.A.D.I.-Projekt).

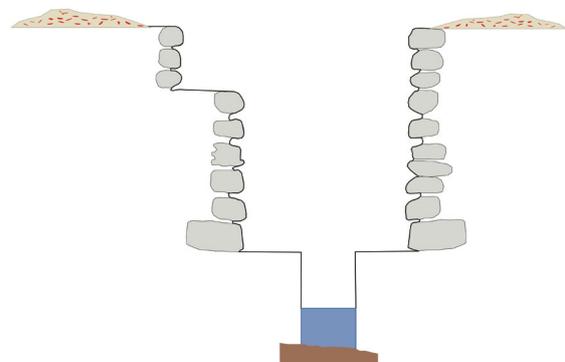


Abb. 7: Schematische Darstellung eines typischen Feldbewässerungsbrunnens im unteren Wadi Abu Dom mit abgestuftem, mit Stein verkleidetem Schacht und Aushubhaufen mit mittelalterlichem Fundmaterial. Zeichnung: Tim Karberg.

¹³ Karberg & Lohwasser, 2018a, S. 82-85; eine umfassendere Untersuchung ist Bestandteil des Arbeitsplans des laufenden DFG-Projektes „El Rum Oasis“.



3.2. Abflussszenarien aus digitalen Geländemodellen

Im Kontext mit den oben beschriebenen Satellitendatenanalysen ergibt sich das Bild einer fluktuierenden Oasenlandschaft, die aus der permanenten Adaptation der Produktivkräfte an kurz- und mittelfristige, lokale und regionale Ressourcenschwankungen resultiert. Aus den radarbasierten Geländemodellen und multispektralen optischen Satellitenbildern lassen sich Abflussszenarien und diachrone Bewässerungsentwicklungen ableiten, die mittels der archäologischen Daten über ihren unmittelbaren, relativ kurzfristigen chronologischen Rahmen hinaus zu längerfristigen Landschaftsentwicklungsmodellen extrapoliert werden können.

Als erstes Ergebnis zeigt die Analyse der digitalen ALOS-Geländemodelle ein vergleichsweise geringes Entwässerungspotenzial aus den Gebieten nördlich und südlich der Oase El Rum: Auch bei der Annahme überdurchschnittlicher Regenfälle im *catchment area* der aus dem unmittelbaren Hinterland des unteren Wadi Abu Dom abfließenden Nebenkhors ist die anzunehmende Menge von Oberflächen- und im direkten Einzugsbereich versickerndem Wasser für die Speisung der Oase bei weitem zu gering. Eine Abhängigkeit der Brunnen im unteren Wadi Abu Dom von der Regenmenge in der unmittelbaren Umgebung ist daher nicht gegeben. Vielmehr musste die Zufuhr des Wassers, das in der Oase El Rum für die dortige Bewässerungslandwirtschaft gewonnen wurde, durch natürliche Aquifere aus den felsigen Gebieten des zentralen Bayuda erfolgen. Dort sind Schwemmfächer als Relikte größerer Mengen Oberflächenwasser, die aus den durch Grundgestein in das Wadi Abu Dom versiegelten Einzugsgebieten abfließen, im Satellitenbild deutlich erkennbar.

Das Geländemodell des Wadibettes im unteren Wadi Abu Dom zeigt, dass es von seinem Oberlauf bis zur Mündung in den Nil kontinuierlich abfällt. Auch eine Detailbetrachtung im Bereich der Mikro-Oasen von El Rum und Ghazali sowie des Geländeprofiles dazwischen zeigt keine Depressionen, auf deren Grundlage Aquifere an die Oberfläche treten könnten (Abb. 8a und b). Einer zeitweiligen Existenz natürlicher artesischer Quellen oder Becken im Bereich der Oase El Rum, die den Zugang zu unterirdischen Grundwasserleitern ohne künstliche Installationen ermöglichen würden, steht daher die Tatsache entgegen, dass El Rum – im Gegensatz zu diversen Oasen in anderen Gegenden, für die solche artesischen Quellen typisch sind – keine natürliche Vertiefung bildet. Auch wenn die unterirdischen Aquiferverläufe im Bereich des Wadi Abu Dom

bislang noch nicht umfassend durch Bohrungen erforscht sind, so lässt die Kontextualisierung der im archäologischen Survey vermessenen Brunnen mit einem digitalen Geländemodell den Schluss zu, dass hier ein kontinuierlich nachfließender, von Regenwasser im Bereich des Jebel Sultaniya und des Bayuda-Vulkanfeldes in der zentralen Bayuda gespeister Grundwasserkörper angezapft wurde. Diese beiden Annahmen könnten mit den Beobachtungen zur Fluktuation der Kulturlandschaft der Oasen El Rum und Ghazali in unmittelbarem Zusammenhang stehen.

3.3. Vegetationsanalyse aus multispektralen Satellitenaufnahmen

Neben den radarbasierten digitalen Geländemodellen wurden auch multispektrale optische Satellitenaufnahmen ausgewertet, vor allem zur Rekonstruktion der Geländebedeckung durch unterschiedliche Vegetationskategorien. Die Einbeziehung auch älterer Satellitendaten der Landsat-Reihe – unter Inkaufnahme geringerer räumlicher Auflösung – sowie der Vergleich mit schriftlichen Quellen¹⁴ und Luftaufnahmen der frühen 70er Jahre¹⁵ ermöglicht die diachrone Rekonstruktion der Entwicklung der Vegetationsbedeckung und der landwirtschaftlichen Bewässerung entlang mittelfristiger Zeitachsen von mehreren Jahrzehnten. Dies ermöglicht, Entwicklungen zu modellieren, die sich anhand des archäologischen Materials auf langfristige Zeiträume extrapolieren lassen.

Eine vorläufige Analyse der optischen Aufnahmen zeigt, dass bis 1972 weder in den sudanesischen kartographischen Luftbildern noch in den frühen Landsat-Daten Spuren von Bewässerungslandwirtschaft zu finden sind. Die frühesten Spuren von bewässerten Feldern und Gärten im unteren Wadi Abu Dom stammen von Mitte der 1970er Jahre, beginnend am westlichen Rand des potentiellen Bewässerungslandes im Bereich der (heute weniger bedeutenden) Oase Ghazali (Abb. 9a).¹⁶ Im Jahre 1984, während einer außergewöhnlichen Dürre in der gesamten Sahelzone, wurde die Bewässerung

14 Gleichen, 1905

15 Dem Projekt wurde freundlicherweise Einsicht in das Luftbildarchiv des Sudan Survey Office gewährt, in dem zahlreiche Filmstreifen panchromatischer Luftaufnahmen, die zu kartographischen Zwecken angefertigt wurden, aufbewahrt werden.

16 Dies entspricht in etwa der Beschreibung der räumlichen Verteilung von bewässertem Land im unteren Wadi Abu Dom, die Gleichen auf der Grundlage von Daten aus dem späten 19. Jahrhundert publizierte (Gleichen, 1905, S. 178–180).

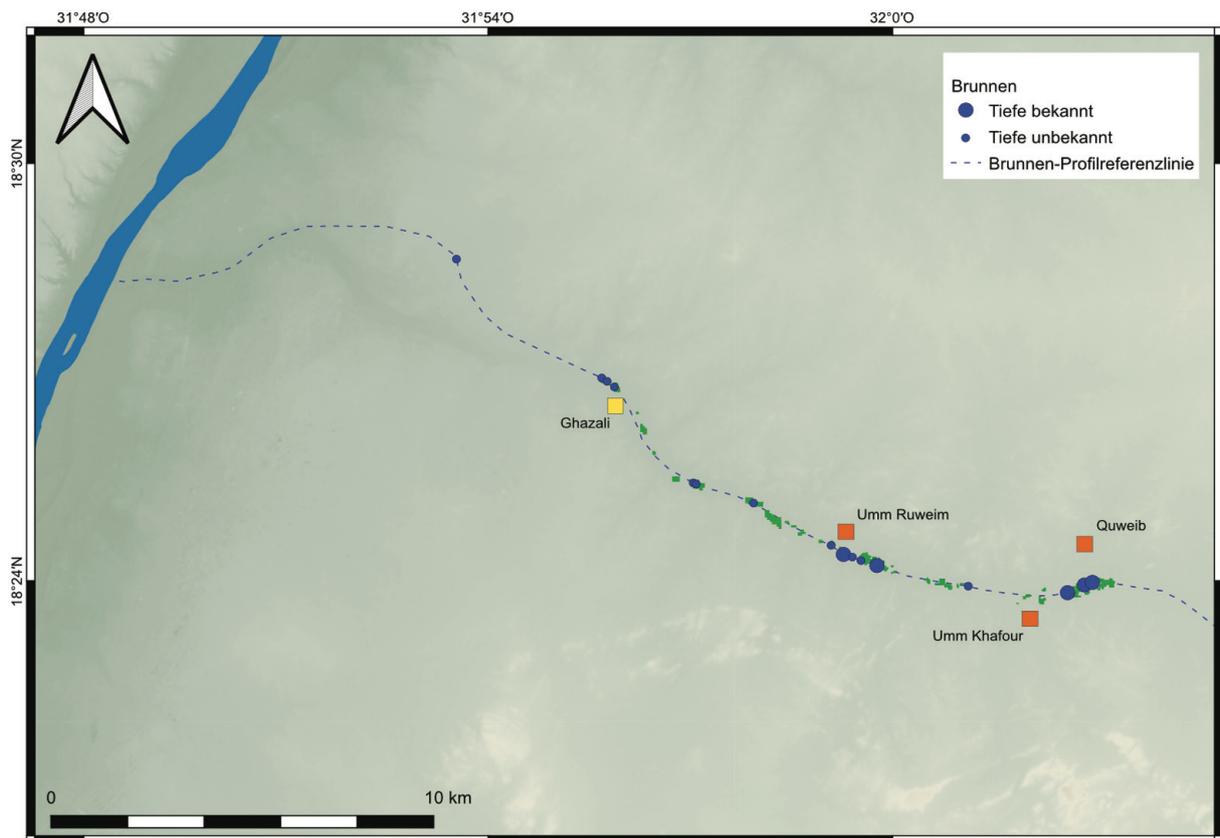


Abb. 8a: Durch die kartierten Brunnen des unteren Wadi Abu Dom gelegte Geländeprofilinie. Karte: Tim Karberg; Geländemodell auf Basis von ALOS DTM, zur Verfügung gestellt von JAXA.

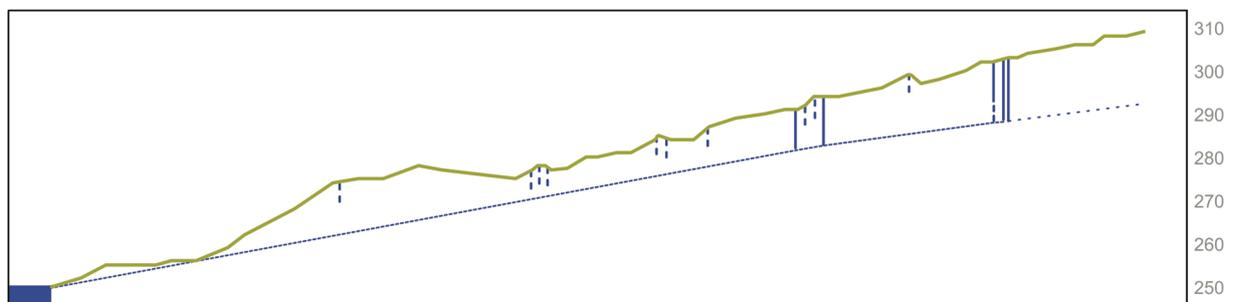


Abb. 8b: Geländeprofil entlang der in Abb. 8a dargestellten Profillinie. Brunnen mit vermessener Tiefe sind durchgehend, Brunnen mit unbekannter Tiefe gestrichelt dargestellt. Grafik: Tim Karberg; Geländemodell auf Basis von ALOS DTM, zur Verfügung gestellt von JAXA.

der Oasen vollständig unterbrochen, so dass das bewässerte Ackerland auf ein Minimum zusammenschrumpfte (Abb. 9b).

1988 erstreckt sich das bewässerte Oasenland fast ostwärts bis zur Wadi-Biegung bei Umm Beida. Dies steht sehr wahrscheinlich im Zusammenhang mit stark überdurchschnittlichen Regenfällen im Sommer 1988, die in anderen Teilen des Sudan teils heftige Überschwemmungen auslösten. Interessant ist hierbei die Beobachtung, dass die bewässerten Flächen im Bereich der Oase Ghazali auch in diesem sehr regenreichen Jahr nicht wieder die Ausdehnung des Jahres 1975 erreichten, jedoch weiter östlich in

Richtung der Oase El Rum weitere, bislang nicht genutzte Bewässerungsflächen erschlossen wurden (Abb. 9c).

Im Jahr 2013 sind um Ghazali nur noch geringe Bewässerungsflächen nachweisbar, die Oase El Rum erreicht jedoch die innerhalb des Beobachtungszeitraumes maximale Nutzungsdichte (Abb. 9d). Seitdem ist ein kontinuierlicher Niedergang der Bewässerungsflächen zu beobachten, so dass im Jahr 2020 – trotz auch hier überdurchschnittlicher Regenfälle – nur noch geringe Flächen bewirtschaftet wurden (Abb. 9e). Angesichts der Tatsache, dass noch ca. 50 Jahre zuvor ebenfalls kaum Bewässerungswirtschaft

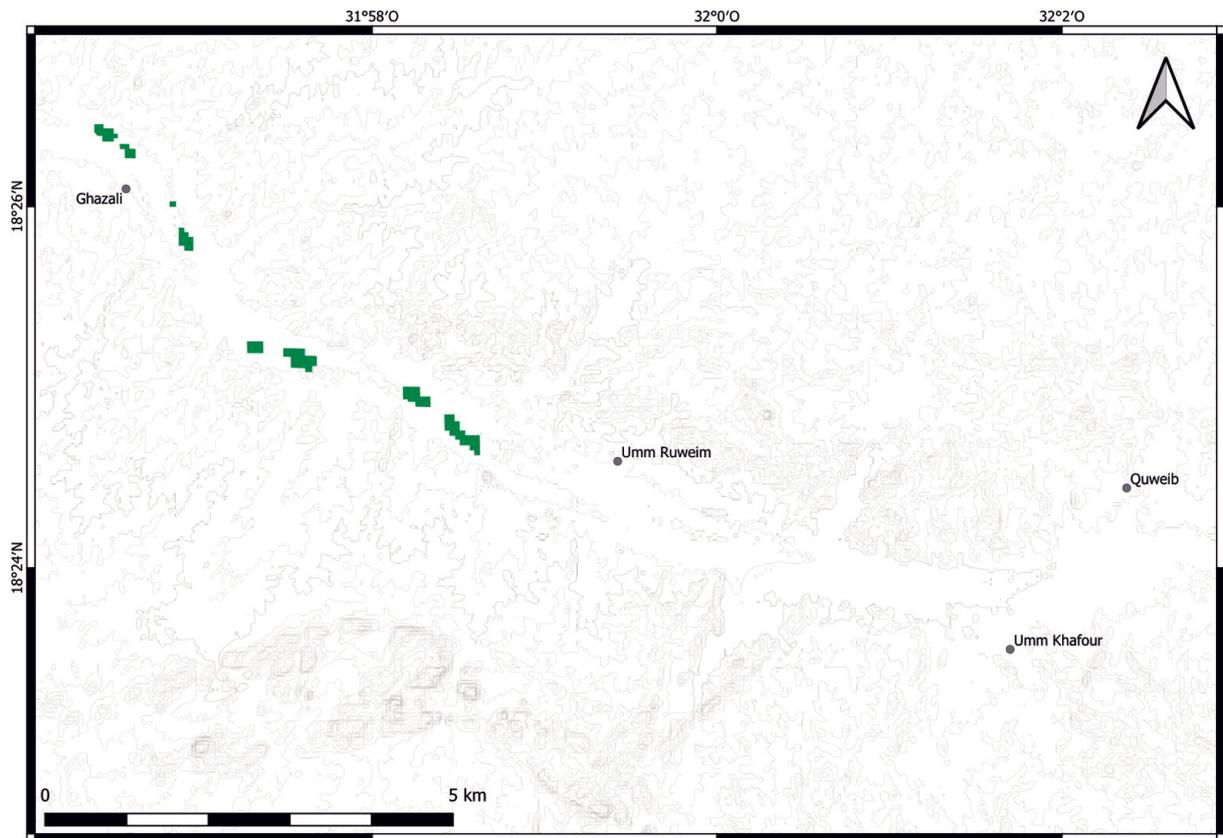


Abb. 9a: Vegetationsanalyse auf Grundlage von Landsat-2-Daten: Bewässertes Ackerland im Jahre 1975. Karte: Tim Karberg.

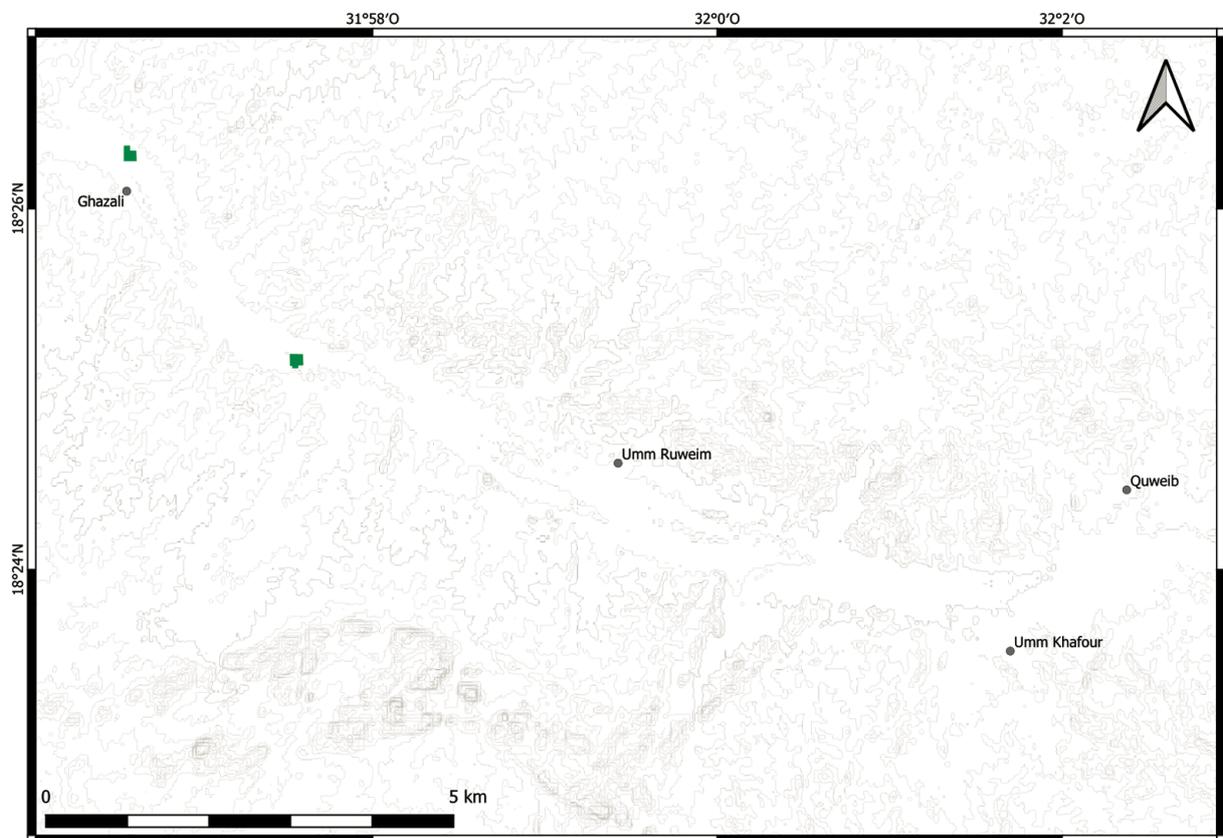


Abb. 9b: Vegetationsanalyse auf Grundlage von Landsat-5-Daten: Bewässertes Ackerland im Jahre 1984. Karte: Tim Karberg.

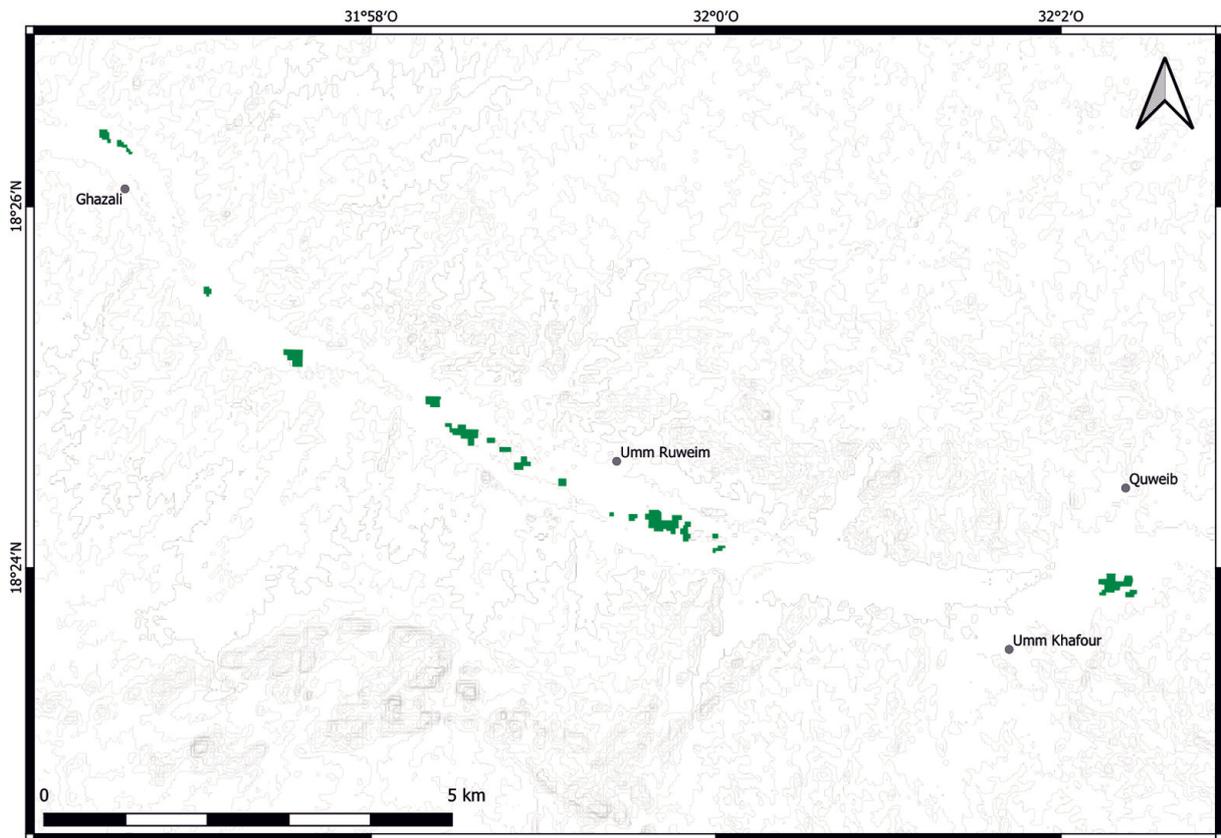


Abb. 9c: Vegetationsanalyse auf Grundlage von Landsat-5-Daten: Bewässertes Ackerland im Jahre 1988. Karte: Tim Karberg.

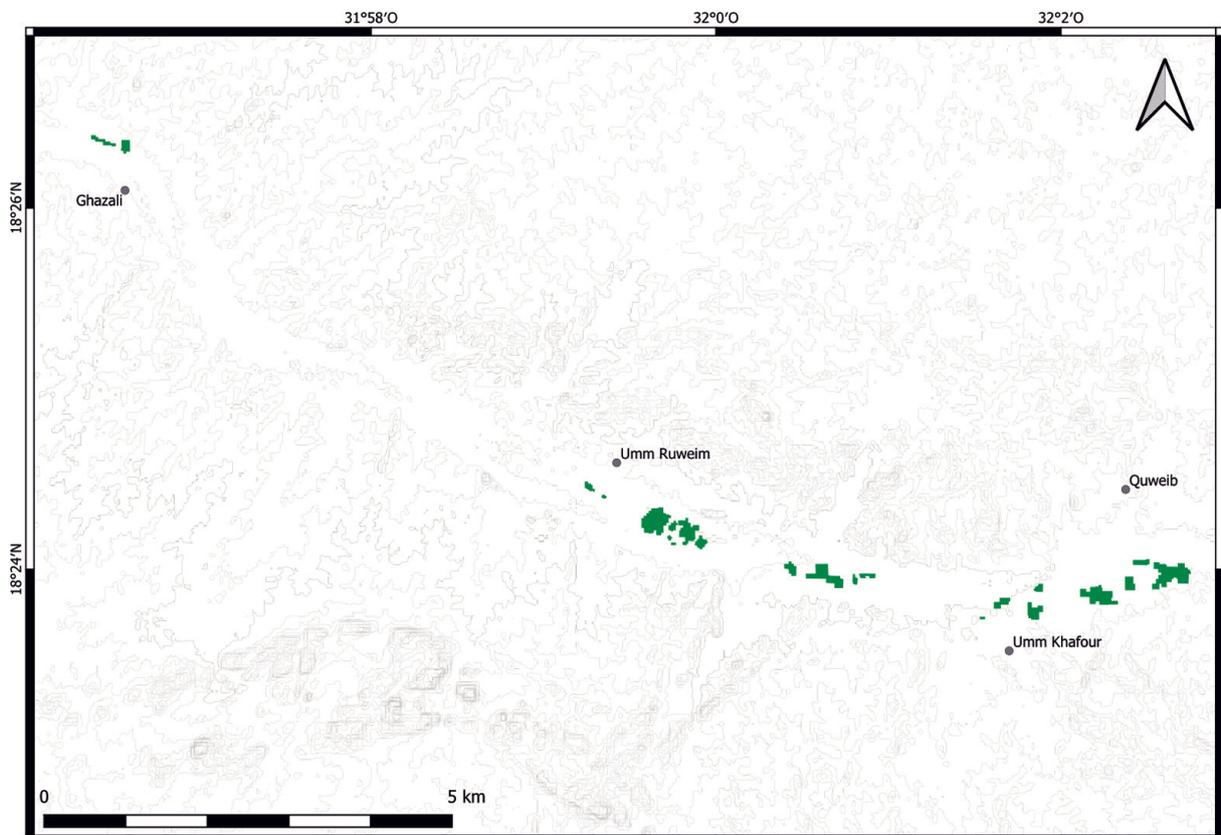


Abb. 9d: Vegetationsanalyse auf Grundlage von Landsat-7-Daten: Bewässertes Ackerland im Jahre 2013. Karte: Tim Karberg.

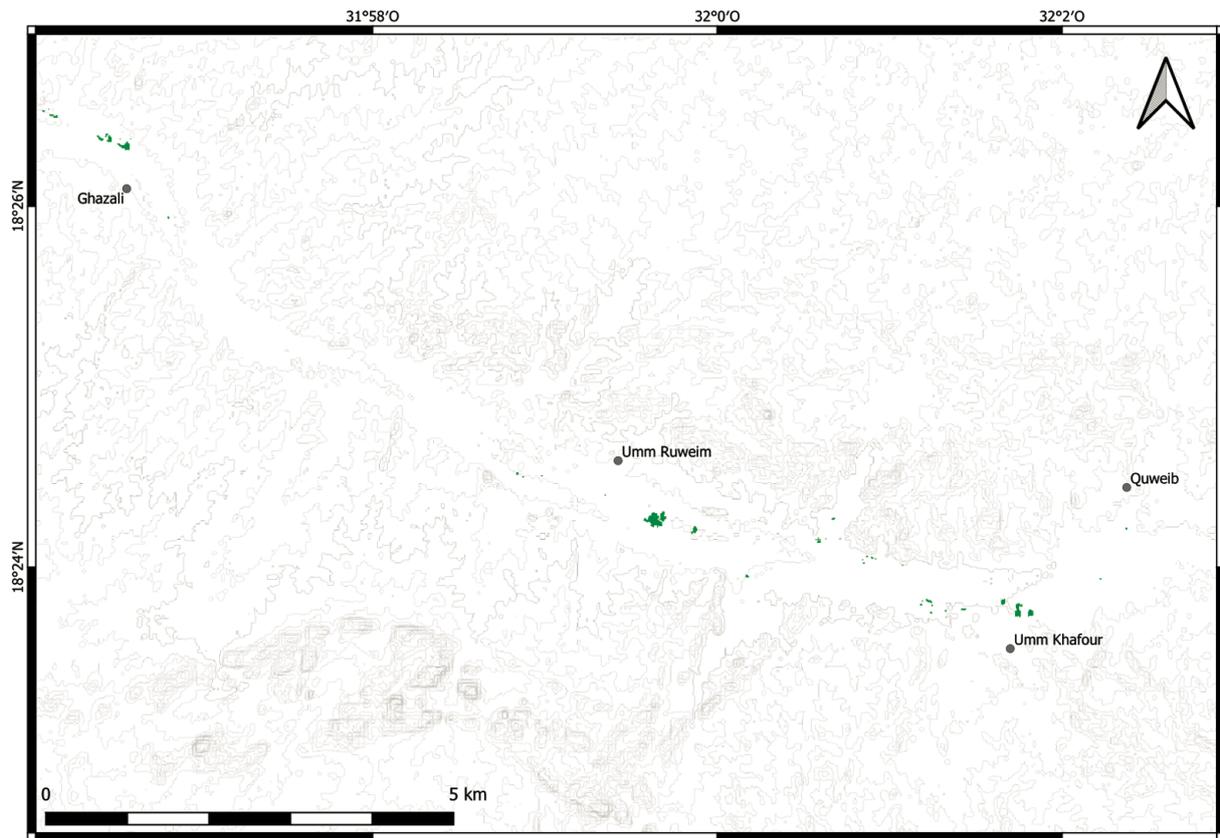


Abb. 9e: Vegetationsanalyse auf Grundlage von Sentinel-2B-Daten: Bewässertes Ackerland im Jahre 2020. Karte: Tim Karberg.

im unteren Wadi Abu Dom betrieben wurde, kann hieraus jedoch nicht auf einen dauerhaften, linearen Niedergang der Oase geschlossen werden – vielmehr sprechen die Daten für zyklische Besiedlungs- und Bewässerungsmuster, eben die eingangs beschriebene fluktuierende Kultur- und Wirtschaftslandschaft.

Diese exemplarischen Beispiele für Verschiebungen der Gesamtausdehnung, sowie Verlagerung von bewässertem Land innerhalb der Oase zeigen die Möglichkeit vergleichbarer, ähnlich kurz- bis mittelfristiger Entwicklungen in der Vergangenheit.

3.4. Geostatistische Analyse archäologischer Befunde

Ganz im Gegensatz zur Sichtbarmachung auch relativ kurz- und mittelfristiger Schwankungen im Satellitenbild zeigt der archäologische Befund längerfristige Entwicklungen. Die Kerndichteanalyse von Sesshaftigkeits- und Mobilitätsindikatoren zeigt dabei bemerkenswerte Korrelationen zu ansonsten nur schwer datierbaren Pfadmustern, und darüber hinaus zu Bewässerungswirtschaftsclustern jüngeren Datums, die im Satellitenbild aufgefasst werden konnten. Hier wird deutlich, dass – trotz kurzfristiger Fluktuationen in der Bewässerungs- und Landwirtschaftsstruktur des unteren Wadi Abu Dom – bei

der Betrachtung längerer Zeiträume Kontinuitäten fassbar werden, die die oben angestellten Überlegungen zu zyklisch verlaufenden Besiedlungs- und Bewirtschaftungsmustern untermauern.

Eine Kerndichteanalyse von Siedlungs- und Campstrukturen im archäologischen Befund zwischen Ghazali und El Rum (Abb. 10) auf der Basis von 750-m-Zellen verdeutlicht zum einen die Vergesellschaftung von zwei besonders dichten Siedlungsclustern mit sub-rezenten Bewässerungsflächen, sowie außerdem die Orientierung kleinräumiger Pfadmuster auf diese Siedlungskerne. Dies könnte darauf schließen lassen, dass trotz aller kurzfristigen Verschiebungen der Bewässerungsflächen an diesen Orten mit regelmäßigen Abständen die Produktionskapazitäten ausreichen, sesshafte Besiedlung in unmittelbarer Nähe sinnvoll zu machen.

Für eine detailliertere Betrachtung bietet sich die Anwendung von engmaschigeren Zellen für eine Kerndichteanalyse an, hier 300-m-Zellen. Hier zeigt sich im Westen der Oase El Rum derselbe Trend: Eine klare Differenzierbarkeit zwischen Land, das für sesshafte Siedlungsformen genutzt wurde, und Land für stärker mobilitätsbetonte Aktivitäten, die auch bei der großen chronologischen Tiefe der archäologischen Befunde in der Region verhältnismäßig wenig Überlagerungen zeigen (Abb. 11).

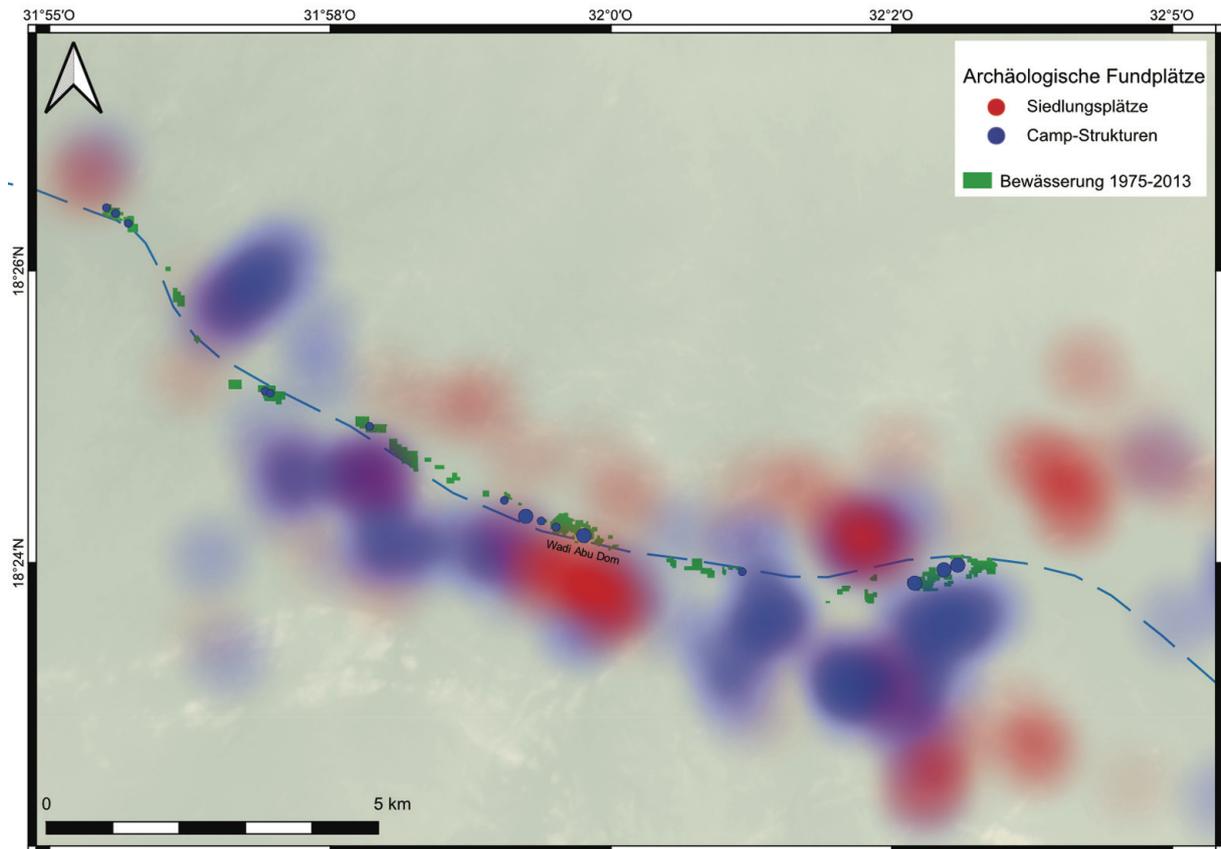


Abb. 10: Kerndichteanalyse von Sesshaftigkeits- und Mobilitätsindikatoren im unteren Wadi Abu Dom mit Brunnen und Bewässerungsflächen 1975-2013. Karte: Tim Karberg.

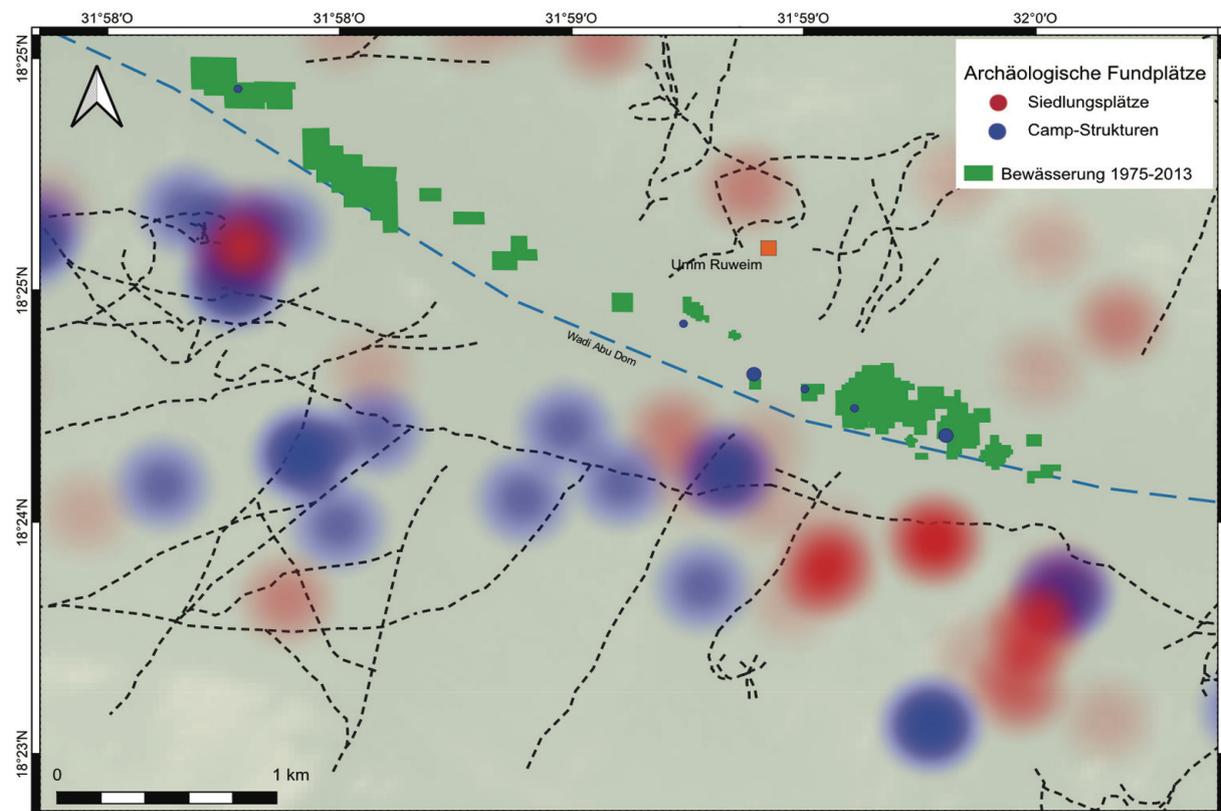


Abb. 11: Kerndichteanalyse von Sesshaftigkeits- und Mobilitätsindikatoren im Westen der Oase El Rum mit Brunnen und Bewässerungsflächen 1975-2013. Karte: Tim Karberg.

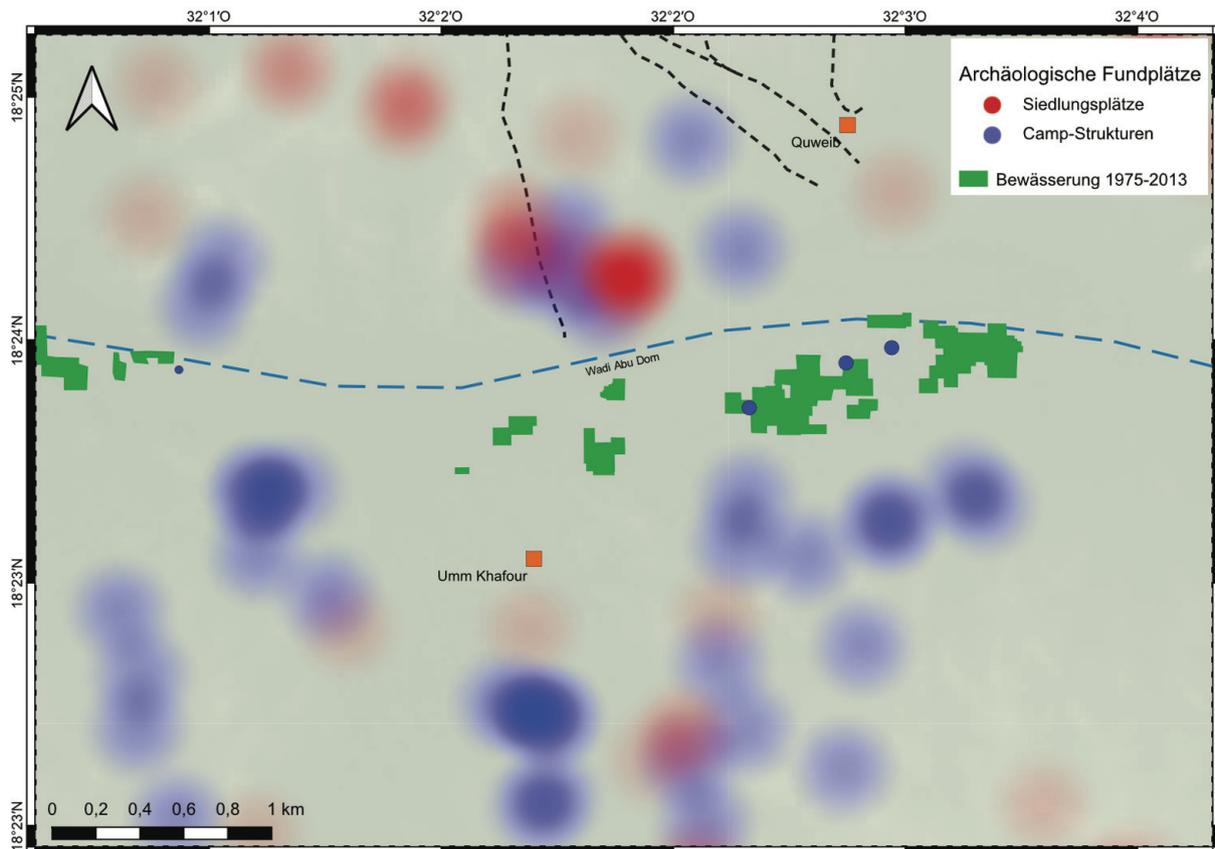


Abb. 12: Kerndichteanalyse von Sesshaftigkeits- und Mobilitätsindikatoren im Osten der Oase El Rum mit Brunnen und Bewässerungsflächen 1975-2013. Karte: Tim Karberg.

Auch die Pfadverläufe zeigen keine chaotische, sich im Laufe der Jahrhunderte immer wieder überlagernde Anordnung, sondern klare Konzentrationen, die mit den archäologischen Befundclustern korrelieren. In den Arealen mit stärker konzentrierten Mobilitätsindikatoren im archäologischen Befund erscheinen auch die Pfadmuster linearer, was auf Mittelstreckenkommunikation schließen lässt – möglicherweise bilden diese Muster eine pastoralwirtschaftliche Komponente der oasenbasierten Produktivkräfte ab.

Weiter östlich hingegen wirkt die Verteilung von Sesshaftigkeits- und Mobilitätsindikatoren chaotischer und zufälliger, es entsteht der Eindruck einer stärkeren gegenseitigen Überlagerung der verschiedenen Kategorien von archäologischen Befunden (Abb. 12). Dies lässt darauf schließen, dass der Charakter der Oasen im unteren Wadi Abu Dom als fluktuierende Kulturlandschaft nach Osten hin zunimmt.

3.5. Schlussfolgerungen

Diese Beobachtung einer nach Osten – in Richtung der absoluten Grenze von Flächen mit Potential zur intensivierten Bewässerungswirtschaft und

des Übergangs zur pastoralwirtschaftlich geprägten zentralen Bayuda – stärker ausfransenden Kulturlandschaft erscheint vor dem Hintergrund der eingangs angestellten Überlegungen zur historischen Hydrologie der Gesamtregion nicht überraschend. Noch heute werden Brunnen mit nur wenig Abstand von einander regelmäßig neu angelegt, wenn ein bislang genutzte Brunnen zu versiegen beginnt. Hierbei erscheint es schlüssig, solche neuen Brunnen (und damit durch diese neu erschlossenen Bewässerungsflächen) oberhalb der bisherigen Äcker anzulegen, um bei einem langsam fließenden und sich durch die Regenfälle in der zentralen Bayuda nur unregelmäßig regenerierenden Aquifer näher an dessen Oberlauf zu rücken und daher, zumindest kurzfristig, mehr Wasser zu gewinnen. Angesichts der Tatsache, dass der entlang des Bettes des Wadi Abu Dom verlaufende unterirdische Hauptaquifer ein geringeres Gefälle als die aktuelle Geländeoberfläche aufzuweisen scheint und daher Brunnen immer tiefer angelegt werden müssen, je weiter wadiaufwärts diese Fluktuation erfolgt, ist es jedoch ebenfalls schlüssig, dass diese „natürliche Ostwanderung“ der fluktuierenden Kulturlandschaft des unteren Wadi Abu Dom irgendwann an die Grenzen des wirtschaftlich



sinnvollen stößt. Vermutlich wurde diese Grenze zumindest in vormoderner Zeit durch die maximale Förderhöhe mechanischer Vorrichtungen (wie z.B. Schadufs) definiert, da eine Wasserförderung mittels Seil und Muskelkraft zwar genug Wasser für die Tränkung von Vieh bewerkstelligen, jedoch nicht die erforderlichen Wassermengen für eine effektive Feldbewässerung bereitstellen kann.

Dieses Landschaftsentwicklungsmodell, abgeleitet aus Fernerkundungsdaten und einzelnen, vorläufigen Beobachtungen im Feld, kann selbstverständlich zum gegenwärtigen Stand nur sehr grob und einfach sein. Zur Verifizierung und detaillierteren Modellierung dieser Überlegungen ist weitere Arbeit im Gelände nötig – vor allem in die Fläche gehende geo-hydrologische Untersuchungen, um genauere Angaben zur Lage und Kapazität einzelner Aquifere, sowie deren Fließgeschwindigkeit und natürlicher Regeneration aus Regenwasser zu erlangen.

Darüber hinaus müssen in ein komplexes kulturelles und sozio-ökonomisches Landnutzungsmodell auch andere Faktoren als naturräumliche Rahmenbedingungen und Ressourcennutzungsstrategien einfließen. Dabei kommen sowohl *pull*- als auch *push*-Faktoren zum Tragen. *Pull*-Faktoren (aus Sicht der Oasenwirtschaft) stellen – neben den in diesem Artikel schwerpunktmäßig betrachteten natürlichen Ressourcen – technischer Fortschritt bei den Bewässerungsmethoden,¹⁷ Bevölkerungsdruck im (landwirtschaftlich produktiveren) Niltal sowie administrativer Druck (Besteuerung und Regularien) in stärker durch Staatlichkeit geprägten Kernterritorien dar.¹⁸ *Push*-Faktoren wären Preisverfall für landwirtschaftliche Produkte,¹⁹ Arbeitskräftemangel in der produktiveren Niltal-Landwirtschaft, sowie ökonomische Verlagerungen hin zu Verdienstmöglichkeiten außerhalb des landwirtschaftlichen Sektors.²⁰

Wir hoffen, in naher Zukunft die Arbeiten im Gelände fortführen zu können, um entsprechende Daten zu gewinnen und Modelle zur Paläoklimatologie und Landschaftsentwicklung der Bayuda präzisieren zu können.

LITERATUR

- Albertz, J., 2007. *Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*. 3. Hrsg. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Barbour, K. M., 1959. Irrigation in the Sudan: Its Growth, Distribution and Potential Extension. *Institute of British Geographers' Transactions and Papers*, S. 243-263.
- Conolly, J. & Lake, M., 2010. *Geographical Information Systems in Archaeology*. 4 Hrsg. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fletcher, K., 2012. *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. Noordwijk: ESA Communications.
- Fuller, D. Q., 2015. The Economic Basis of the Qustul Splinter State: Cash Crops, Subsistence Shifts, and Labour Demands in the Post-Meroitic Transition. In: M. Zach, Hrsg. *The Kushite World. Proceedings of the 11th International Conference of Meroitic Studies*. Wien: Verein der Förderer der Sudanforschung, S. 33-60.
- Gleichen, E., 1905. *The Anglo-Egyptian Sudan: a compendium prepared by officers of the Sudan government*. London: His Majesty's Stationary Office.
- Karberg, T. & Lohwasser, A., 2018a. The Wadi Abu Dom Itinerary Survey Project. In: A. Lohwasser, T. Karberg & J. Auenmüller, Hrsg. *Bayuda Studies. Proceedings of the First International Conference on the Archaeology of the Bayuda Desert in Sudan, 10.-12. September 2015 in Münster. Meroitica 27*. Wiesbaden: Harrassowitz, S. 3-119.
- Karberg, T. & Lohwasser, A., 2018b. Pastoralism in the Wadi Abu Dom. Non-Sedentary Economical Strategies in the Central Bayuda. *Ādāb al-Neelain*, 3(2), S. 1-15.
- Karberg, T., Lohwasser, A. & Haupt, L., 2020. Das Projekt „El Rum Oasis“ im Wadi Abu Dom. Vorbericht über die 1. Feldkampagne im Frühjahr 2020. *Der antike Sudan. MittSAG*, Band 31, S. 49-61.
- Karberg, T. & Lohwasser, A., im Druck. Wadi Abu Dom Investigations: El Rum Oasis. *Sudan & Nubia*, Band 25.
- Landsat User Services Hrsg., 2020. *Landsat Fact Sheet 2015-3081*. Sioux Falls: United States Geological Survey.
- Oleson, J., 1984. *Greek and Roman Mechanical Water-Lifting Devices*. Toronto: University of Toronto Press.

17 Für die Spätantike und den Übergang zum Mittelalter vgl. Oleson, 1984, insbesondere S. 363-370 und – hinsichtlich der Verhältnisse in Unternubien – Fuller, 2015, S. 41-45; für die Verbreitung von Dieselpumpen in sub-rezenter Zeit vgl. Barbour, 1959, S. 249-251; Fig. 4

18 Eine solche Entwicklung – Ausweichen von Akteuren in staatlich-administrativ weniger durchdrungene Bereiche zur Vermeidung von Zöllen, Steuern und ähnlichen Abgaben – ist zu verschiedenen Zeiten auch für Transport- und Kommunikationsachsen anzunehmen, so dass sich diese vom unmittelbaren Hinterland des Niltals in weiter entfernte Wüstengebiete verlagern konnten Shaw, 1929, S. 64.

19 Ein Preisverfall insbesondere bei Datteln wurde uns durch Ortsansässige bereits im Jahr 2009 als Grund für Landflucht tendenzen genannt.

20 So z.B. in jüngerer Zeit als Goldschürfer (nach mündlicher Mitteilung durch Ortsansässige).



- Shaw, W. B. K., 1929. Darb el Arba'in. The Forty Days' Road. *Sudan Notes and Records*, 12(1), S. 63-71.
- Short, N. M., 1982. *The Landsat Tutorial Workbook. Basics of Satellite Remote Sensing*. Washington: NASA Scientific and Technical Information Branch.
- Tucker, C. J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), S. 127-150.
- Tucker, C. J. et al., 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(20), S. 4485-4498.

SUMMARY

After archaeological research in the 2021 spring season had – again – to be done at the computer instead of in the field, satellite data analysis and landscape archaeological questions were in the focus of the

project's activities. Combining vegetation cover analysis from multispectral satellite images, hydrological observations from radar-based satellite data, and geo-statistical analysis of the database of the 2009–2016 Wadi Abu Dom Itinerary survey allowed us to model short term development of the irrigation schemes of the oases of Ghazali and El Rum, and to extrapolate these models into a greater chronological depth by contextualisation with the archaeological data. Irrigation scheme fluctuation analysis showed short-term shifting of the major clusters of irrigation, but the archaeological context revealed that on a long-term perspective some of these fluctuations follow long-term cyclic development patterns. An eastward shift of newly developed irrigation schemes – wadi-upwards towards the sources of the groundwater aquifers – seem to be a general pattern in the fluctuating cultural landscape of the lower Wadi Abu Dom.