

# Landoberflächenanalyse zur Identifikation antiker Wasserwege im Umfeld der Tempelanlagen von Bubastis im südöstlichen Nildelta

TOBIAS ULLMANN<sup>1</sup>, CHRISTIAN BÜDEL<sup>1</sup>, JENS BRAUNECK<sup>2</sup>,  
EVA LANGE<sup>3</sup> & ROLAND BAUMHAUER<sup>1</sup>

*Zusammenfassung: Die im südöstlichen Nildelta gelegene antike Stadt Bubastis (Tell Basta) war seit prädynastischer Zeit eine Metropole mit überregionaler Bedeutung. Durch die unmittelbare Nähe zweier Nilarme und zum Eingang des Wadi Tumilat hielt die Stadt eine herausragende strategische Position. Ziel des Projekts ist die Rekonstruktion der antiken Wasserwege im Kulturraum des östlichen Nildeltas und deren Anschluss an den Tanitischen und den Pelusischen Nilarm im Umfeld des altägyptischen Bubastis, wie auch westlich des Wadi Tumilat. Die Identifikation der historischen Wasserläufe ist von hohem archäologischem Interesse, da deren Verlauf entscheidend Einfluss auf die Siedlungsentwicklung und Landnutzung hatte. Der vorliegende Beitrag zeigt erste Ergebnisse der Analyse von multispektralen Satellitenbildern, Luftbildern und digitalen Geländemodellen zur Charakterisierung der Landoberfläche und gibt einen Ausblick auf die geplanten naherkundlichen geophysikalischen Feldarbeiten.*

## 1 Einleitung und Ziele

Die im südöstlichen Nildelta gelegene antike Stadt Bubastis (Tell Basta) war seit prädynastischer Zeit um 3200 v. Chr. eine bedeutende Metropole mit überregionaler Bedeutung und blieb dies bis zur Zeit der Römerherrschaft. Diese besondere Bedeutung der Stadt lässt sich wesentlich auf ihre geographische Lage zurückführen: Sie befand sich in unmittelbarer Nähe zu zwei Nilarmen (Pelusischer Arm und Tanitischer Arm) und zum Eingang des Wadi Tumilat. Durch dieses Wadi verlief die Haupthandelsroute zum Sinai, was seine Bedeutung für die altägyptischen Rohstoff-, Handels- und Kriegsexpeditionen begründete. Das unmittelbar vor dem Eingang des Wadis gelegene Bubastis war somit ein wichtiger Kontrollpunkt (BIETAK & LANGE 2014).

Ziel des Projekts ist die Rekonstruktion der antiken Wasserwege im Kulturraum des östlichen Nildeltas, im Umfeld des altägyptischen Bubastis (heutiges Zagazig) und westlich des Wadi Tumilat, speziell seit prädynastischer Zeit (ca. 3200 Jahre vor Christus). Die Identifikation der vergangenen Wasserläufe ist von hohem archäologischem Interesse, da der Verlauf der Entwässerung entscheidend Einfluss auf die interne und externe Siedlungsentwicklung und die Intensität der anthropogenen Landnutzung hatte. Der Forschungsansatz verbindet naherkundliche invasive und nicht-invasive geophysikalische Analysen mit fernerkundlicher Datenauswertung. Der vorliegende Beitrag zeigt erste Ergebnisse der fernerkundlichen Auswertung von multispektralen Satellitenbildern, Luftbildern und digitalen Geländemodellen in Vorbereitung

---

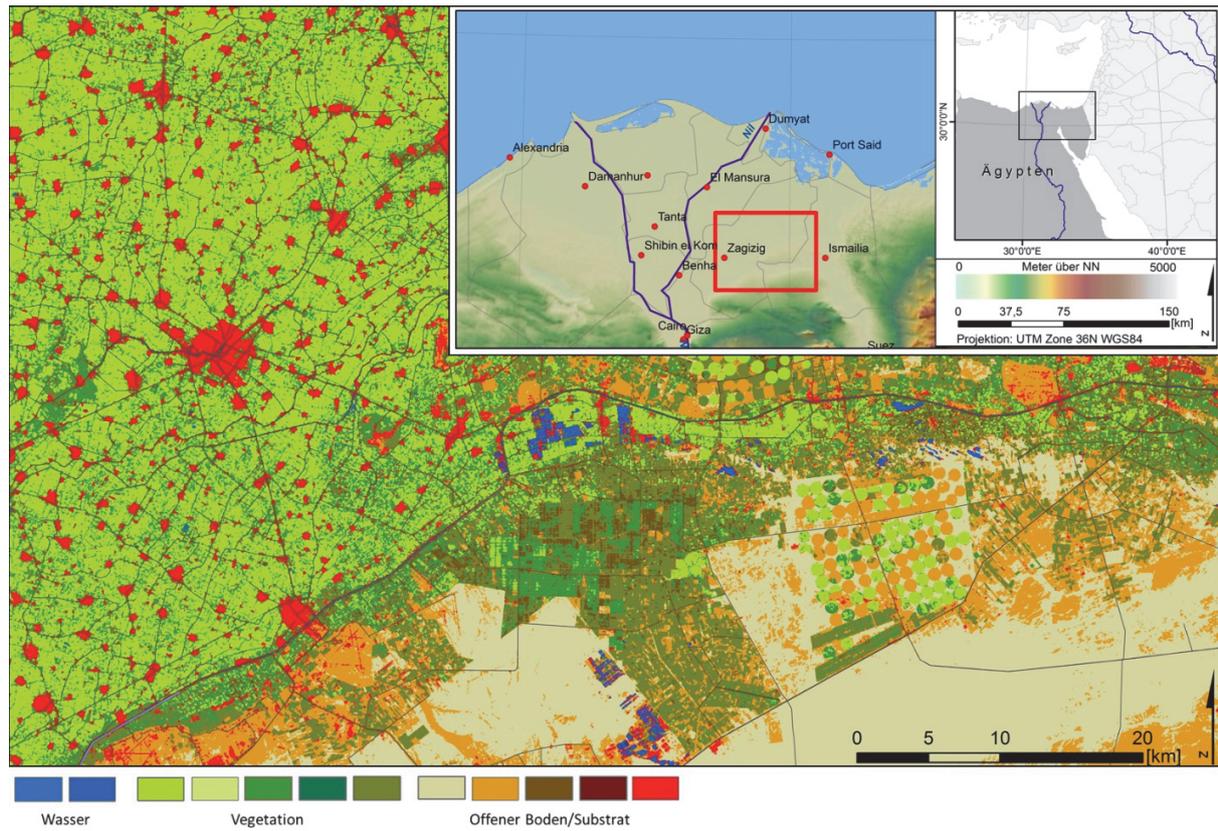
<sup>1</sup> Universität Würzburg, Institut für Geographie und Geologie, Am Hubland, 97078 Würzburg;  
E-Mail: tobias.ullmann@uni-wuerzburg.de

<sup>2</sup> Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Bauingenieurwesen, 67663 Kaiserslautern;

<sup>3</sup> Universität Würzburg, Institut für Altertumswissenschaften, Residenzplatz 2, Tor A, 97070 Würzburg;

auf die geophysikalischen Feldarbeiten, welche im weiteren Projektverlauf erfolgen werden. Ziel dieser naherkundliche Exploration ist es, Siedlungsstrukturen von Bubastis, wie zum Beispiel den ehemalige Stadthafen, Stadtquartiere, Tempelareal, oder Nekropolen, zu identifizieren. Weiter soll geklärt werden, ob es sich bei Bubastis um eine Gezira- oder Uferrandsiedlung handelt, da dies wesentliche Hinweise auf die Siedlungsentwicklung gibt.

## 2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage



**Abbildung 1:** Lage des Testgebietes Zagazig/Wadi Tumilat und Klassifikation der Landbedeckung in Jahr 2013 basierend auf multispektralen Landsat 8 Daten. Die Klassifikation wurde mit einem unüberwachten Klassifikator durchgeführt. Die Interpretation und Zuweisung der Klassen erfolgt manuell.

Das Untersuchungsgebiet liegt im östlichen Nildelta in der Provinz Ash Sharqiyah und umfasst das Umfeld der heutigen Stadt Zagazig, den östlichen Eingang zum Wadi Tumilat und den Raum bis zur heutigen Stadt Ismailia. Abbildung 1 zeigt die Lage des Gebietes. Das Untersuchungsgebiet gliedert sich in drei großräumliche Einheiten. Zum einen umfasst das Gebiet den flachen, tiefliegenden Teil des östlichen Nildeltas der bis heute durch eine intensive landwirtschaftliche Nutzung der kalkhaltigen Fluvisole und Vertisole und eine dichte Besiedlung gekennzeichnet ist. Zum anderen liegt auf dem Gebiet das Wadi Tumilat, das heute einen schmalen, landwirtschaftlich intensiv genutzten Korridor zwischen Zagazig und Ismailia darstellt. Die dritte Einheit sind die höher gelegenen Flanken des Wadis und die südöstlich von Zagazig gelegenen und exponierten känozoischen Formationen mit aufliegenden Sanddünen,

Deltakiesen und Kiessanden (HAMMAD 1975). Der Übergangsbereich zwischen dieser Einheit, dem Nildelta und dem Wadi äußert sich in einem Anstieg des Geländes und rezenten fluvialen Schüttungen. Mittels moderner intensiv-maschineller Bewässerung werden die Flanken des Wadis und Teile der deltanahen Hochflächen landwirtschaftlich genutzt.

Für die erste Analyse der Landoberfläche wurden multispektrale Daten des Landsat 8 Satelliten verwendet (NASA 2010). Diese besitzen eine räumliche Auflösung von 30 Metern und zeigen die Reflektion der Erdoberfläche in neun spektralen Bändern. Der *Operational Land Imager* (OLI) Sensor misst nicht nur die Reflektion im Bereich des sichtbaren Lichts (0,43 – 0,67  $\mu\text{m}$ ), sondern auch im Bereich des nahen (0,85-0,88  $\mu\text{m}$ ) und mittleren Infrarots (1,57-2,29  $\mu\text{m}$ ). Die verwendeten Landsat 8 Daten wurden am 27. August 2013 und unter wolkenfreien und klaren atmosphärischen Verhältnissen aufgezeichnet. Des Weiteren standen Daten aus dem Landsat-Archiv zur Verfügung. Diese besitzen annähernd vergleichbare spektrale Eigenschaften und wurden für die Jahre 1973, 1994, 1999 und 2000 bezogen (NASA 2010).

Zudem stehen die digitalen Höhenmodelle der SRTM-Mission und der ASTER GDEM Mission für die Auswertung zur Verfügung. Die SRTM Daten wurden im Jahr 2000 während der *Shuttle Radar Topography Mission*, durch *single-pass* Interferometrie gewonnen und besitzen eine räumliche Auflösung von 90 Metern. Das Höhenmodell der ASTER GDEM Mission wird durch einen photogrammetrischen Ansatz erzeugt. Die genutzte Version des GDEM Höhenmodells wurde 2012 veröffentlicht und besitzt eine räumliche Auflösung von 30 Metern. Beide Datensätzen sind von mittlerer Qualität, sowohl bezüglich der vertikalen als auch der horizontalen Genauigkeit (PENG et al. 2013).

### 3 Methodik

Die Analyse der bisher verfügbaren Fernerkundungsdaten stützt sich auf folgende Hypothese: Das heutige Oberflächensubstrat und die heutige Oberflächenmorphologie enthalten Hinweise auf das ursprüngliche Relief und somit auf die ursprüngliche Hydrogeographie. Digitale Höhenmodelle verschiedener Skalen können daher genutzt werden, um den potentiellen Verlauf der Wasserwege zu rekonstruieren. Die Arbeiten basieren auf einer semi-manuellen geomorphometrischen Kartierung, korreliert mit einer hydrographischen Abfluss-Modellierung, und deren Interpretation auf lokaler und regionaler Skala. Die erste Auswertung der SRTM und ASTER GDEM Daten erfolgten manuell. Zudem wurde eine hydrographische Modellierung in SAGA GIS (SAGA 2014) vollzogen. Die Prozessierung hierzu erfolgte mit dem Ansatz von PLANCHON & DARBOUX (2001) und einem *multiflow direction* (MFD) Ansatz.

Des Weiteren werden mehrere Zeitschnitte multispektraler optischer Fernerkundungsdaten verwendet, um den Wandel der Landbedeckung und die Lage von Wasserwegen der letzten Dekaden nachzuzeichnen. Dies dient der Detektion und Charakterisierung der Ablagerungsregime und der heutigen Landnutzung und ermöglicht im Weiteren Rückschlüsse auf die Substratdifferenzierung. Im vorliegenden Beitrag erfolgte die Klassifikation der Landsat 8 Daten auf einem unüberwachten Klassifikationsansatz (ULLMANN et al. 2014). Ziel der Klassifikation ist die Kategorisierung der heutigen Landbedeckung.

In Laufe des Projekts ist eine Integration von weiteren Fernerkundungsdaten geplant. Zum einen werden Radardaten der Sentinel-1 Mission (ESA 2014) für die Klassifikation der heutigen

Landbedeckung verwendet werden. Zum anderen sollen hochauflösende Luftbilder aus den Kriegsjahren des Zweiten Weltkriegs und Daten der US-amerikanischen Corona Aufklärungsmission aus den 1960er und 1970er Jahren für eine Kartierung der Landänderungen verwendet werden (USGS 2012). Zudem besteht die Vermutung, dass in diesen Daten Spuren der antiken Landoberfläche erkennbar sind, welche die Identifikation historischer Siedlungs- und Infrastrukturelikte ermöglichen. Mit Blick auf die Datenqualität der bisher verfügbaren Höhenmodelle ist auch ein Bezug von hochauflösenden und akkuraten digitalen Höhenmodellen der TanDEM-X Mission (DLR 2013) geplant. Diese Daten zeigen die Geländehöhe mit einem durchschnittlichen Lagefehler von unter einem Meter und besitzen eine räumliche Auflösung von ca. 12 Metern. Da die Daten durch X-Band Interferometrie gewonnen wurde, ist auch eine qualitative hochwertige Aufnahme von flachem Gelände möglich, was insbesondere für die hydrographische Modellierung des Abflusses auf dem Delta von Bedeutung ist.

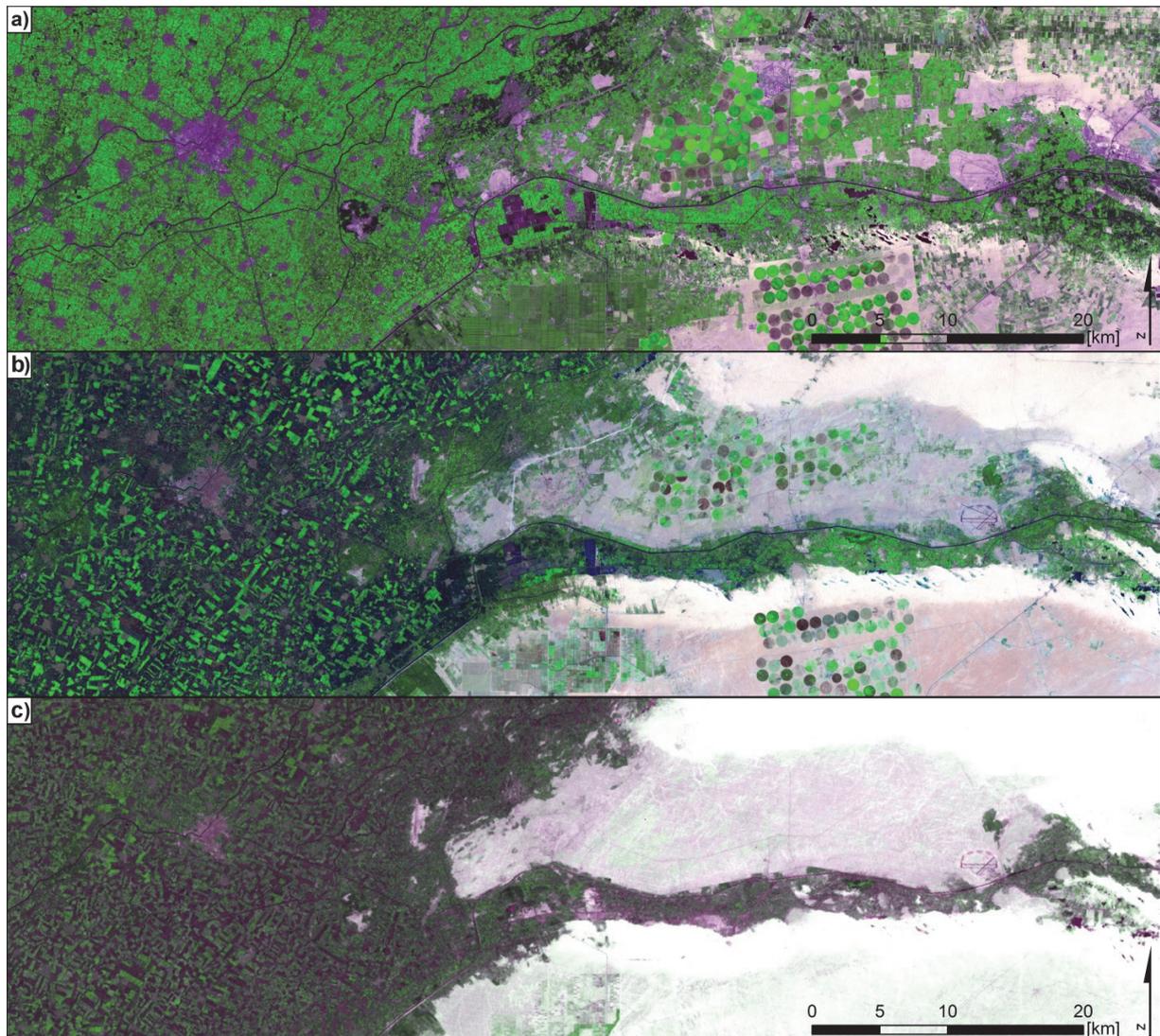
## **4 Vorläufige Ergebnisse**

### **4.1 Auswertungen der digitalen Höhenmodelldaten**

Die ersten Auswertungen der digitalen Höhenmodelldaten der SRTM-Mission und des ASTER GDEM zeigen, dass das Gelände um Bubastis und im Vorfeld des Wadi Tumilat vorrangig durch die flachen alluvialen Ablagerungen der holozänen Sedimentation charakterisiert wird. Demgegenüber liegen die Gezira, Alluvionen mittel-pleistozänen Alters, als Vollformen präpariert einige Meter höher als die holozänen Ablagerungen; was sich bisher nur unzuverlässig in den Höhendaten abzeichnet. Die Geziras stellen als natürliche Erhebungen bevorzugte Rückzugs- und Siedlungsplätze dar. Siedlungsmuster sind daher erwartungsgemäß durch den Verlauf der rezenten und fossilen Wasserwege gesteuert. Diese Beobachtung deckt sich mit den vorläufigen Ergebnissen der hydrographischen Modellierung die zwei wesentliche Entwässerungsrichtungen in den alluvialen Sedimenten zeigt: Eine primäre Entwässerung in Süd-Nord-Richtung und eine sekundäre Entwässerung westlich des Wadi Tumilat in Ost-West-, bzw. Südost-Nordwest-Richtung. Allerdings zeigen sowohl SRTM- als auch ASTER-GDEM-Daten einen hohen Rauschanteil und Diskontinuitäten der Geländehöhen, insbesondere in flachen Gebieten. Dieses Rauschen führte zu Fehlern in der morphometrischen und hydrographischen Quantifizierung und es wurden keine nachvollziehbaren und quantitativ belastbaren Ergebnisse erzielt. Dies macht deutlich, dass besser aufgelöste und genauere Höhenmodell-Daten - insbesondere für die hydrographische Modellierung – benötigt werden. Entsprechend werden die Analysen in Kürze auf hochauflösenden Geländedaten der TanDEM-X Mission und photogrammetrisch gewonnen Höhenmodellen erfolgen.

### **4.2 Auswertungen der multispektralen und optischen Daten**

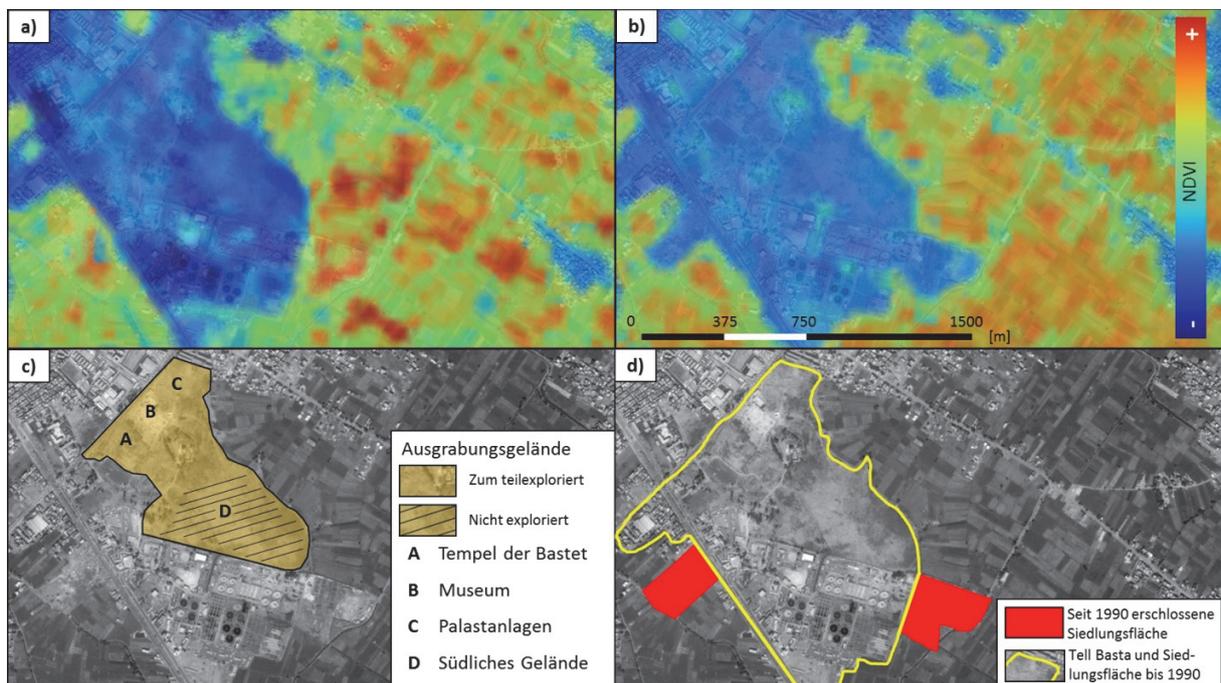
Erste Ergebnisse der Auswertung von Landsat-Daten des Zeitraums 1975 bis 2014, sowie aktuelle Luftbilddaten zeigen, dass die moderne, maschinelle Bewässerung auf den an das Delta angrenzenden östlichen Wüstenflächen im Wesentlichen nach 1980 einsetzte. Daten vor diesem Zeitpunkt zeigen daher die (zumindest aktuelle) maximale Verbreitungsgrenze der Vegetation



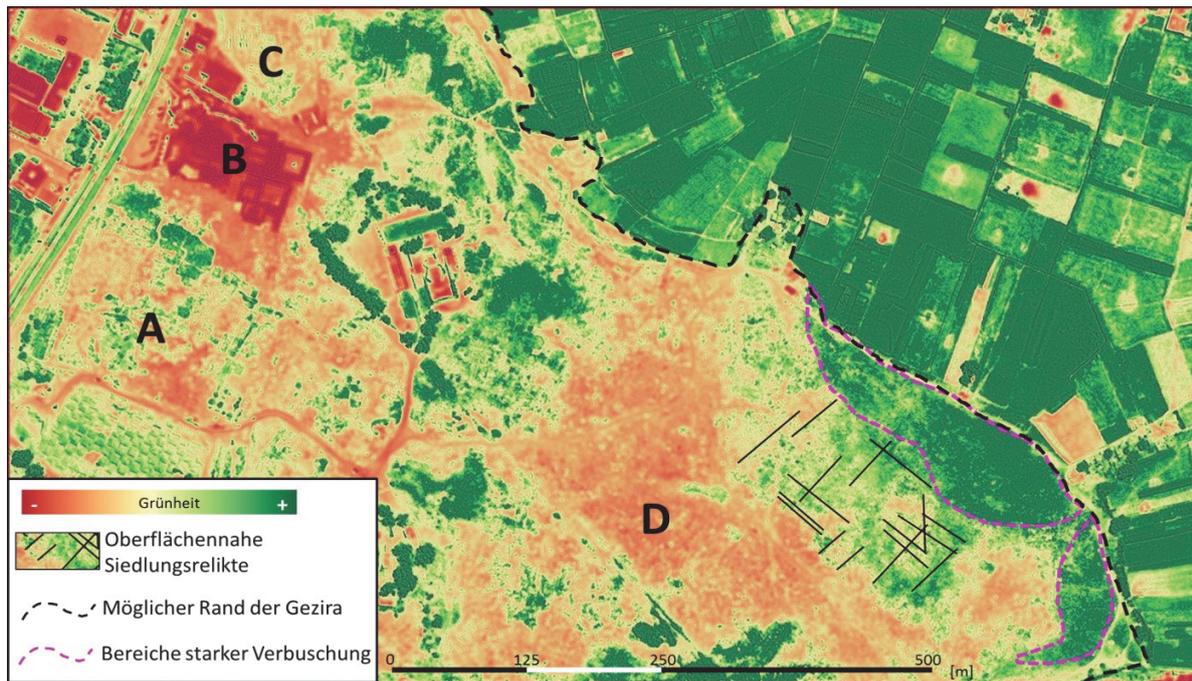
**Abbildung 1:** Entwicklung der Landoberfläche im Raum von Zagazig und dem Wadi Tumilat - Landsat Falsch-Farben-Komposite (R= Band 7, G=Band 4, B=Band 2) von: a) 2013, b) 1984 und c) 1973. Deutlich zu sehen ist die Zunahme der Bewässerungsflächen nördlich und südlich des Wadi Tumilat. Die Lage der wasserführenden Kanäle ist stabil über den untersuchten Zeitraum.

und des traditionellen Bewässerungsfeldbaus. Die heute sichtbaren künstlichen Wasserwege und Kanäle sind ebenfalls im Wesentlichen seit den 1980er Jahren stabil und haben sich nicht geändert. Abbildung 2 zeigt die Landsat-Archivdaten der Jahre 1973, 1984 und 2013 aus denen die zuvor genannten Ergebnisse gewonnen wurden. Diese Kartierungen werden in Kürze auf historischen Luftaufnahmen von 1940-1945 fortgesetzt, um den zeitlichen Betrachtungsrahmen zu erweitern und so auch ältere Strukturen erfassen zu können. Die Daten des Landsat 8 Satelliten wurde zudem für eine erste Klassifikation der Landoberfläche genutzt. Abbildung 1 zeigt das Klassifikationsergebnisse, welches mit einem unüberwachtem Verfahren gewonnen wurde. Die Landsat-Archivdaten wurden des Weiteren genutzt um die Siedlungsentwicklung von Zagazig nachzuzeichnen. Die Analyse der Daten zeigte die starke Expansion der Siedlungsfläche

zwischen 1973 und 1990. Zudem wird deutlich, dass sich der Zugewinn an Siedlungsfläche nach 1990 vor allem auf den nördlichen, südlichen und östlichen Stadtrand konzentriert. Diese Analyse war auch hilfreich um das Alter der Siedlungsflächen im direkten Umfeld der Ausgrabungsstätte zu identifizieren. So ist die Beobachtung zur Rekonstruktion der vermuteten ehemaligen Stadtgrenze wichtig und zudem für die Bestimmung des ehemaligen Gezira- oder Uferrands entscheidend. Abbildung 3 zeigt die Lage des Untersuchungsgebietes Tell Basta und die Siedlungsentwicklung des südlichen Zagazig seit 1990. Deutlich zu erkennen ist die Anlage von zwei Industriegebieten direkt im Südosten und Südwesten. In Vorbereitung auf die Auswertung der historischen Luftbilder wurde zudem eine erste manuelle Analyse eines modernen Luftbilds von GoogleEarth durchgeführt. Abbildung 4 zeigt die Interpretation des Luftbildes und eine Darstellung der normierten Grünheit. Dieser Index wurde durch eine Normierung des grünen Kanals erzeugt und verdeutlicht die Unterschiede in der Vegetationsbedeckung. Im südöstlichen und östlichen Bereich wurde eine intensive Verbuschung festgestellt, die sich auf den randlichen Bereich des Ausgrabungsgeländes konzentriert. Dieses Gelände liegt auch topographisch etwas unter dem Niveau des zentralen Geländes und zeigt eine leichte Neigung in Richtung der landwirtschaftlichen Flächen. Vermutlich ist die Verbuschung auf ein größeres Wasserangebot zurückzuführen, welches hier als Hangzugwasser zu einer besseren Durchfeuchtung führt. Diese Informationen sind insbesondere für die geophysikalische Naherkundung von Bedeutung, da oberflächennahes Wasser die Nutzbarkeit der Methoden (insb. GPR) einschränken kann.



**Abbildung 3:** Lage des Untersuchungsgebietes und Siedlungsentwicklung des südlichen Zagazig seit 1990: a) NDVI 2013 (Landsat 8), b) NDVI 1990 (Landsat 5), c) Google Earth Luftbild von 2013 und Lage des Ausgrabungsgeländes und d) Google Earth Luftbild von 2013 und Lage des südlichen Siedlungsrandes von Zagazig vor 1990.



**Abbildung 4:** Interpretation des Google Earth Luftbildes und Darstellung der normierten Grünheit.

## 5 Ausblick

Mit Blick auf diese ersten Ergebnisse zeigt sich die Nützlichkeit der Fernerkundungsdaten, um beispielsweise im weiteren Verlauf der Arbeiten eine gezielte Vorerkundung und Auswahl möglicher Standorte für Exploration zu treffen. Dennoch wird die Notwendigkeit einer detaillierten Sondierung und Beprobung vor Ort deutlich. Insbesondere geophysikalische Methoden könnten geeignet sein um den Verlauf der ehemaligen Stadtgrenze und die Anordnung der antiken Kanäle zu erfassen. Aufgrund der erwarteten homogenen Beschaffenheit des anthropogen überprägten alluvialen Untergrundes und der unterschiedlichen Aufgabenstellungen werden dazu in einer ersten geoarchäologischen Sondierungskampagne im Frühjahr 2015 die vier gängigsten geophysikalischen Methoden (CONYERS 2013) zur Anwendung gebracht: Georadar, Geoelektrik, Geomagnetik sowie Refraktionsseismik. Diese Methoden wurden bereits in anderen Arbeiten im Nildelta erfolgreich verwendet und als nützlich identifiziert (EL-GAMILI et al. 1994, PIGOTT et al. 2014). Um Mehrdeutigkeiten bei der Interpretation zu vermeiden, werden pro Standort und Aufgabenstellung mindestens zwei Verfahren gegeneinander getestet. Die Auswertung orthogonal angeordneter Profile über größere Areale hinweg (Vorteil Georadar und Geomagnetik) kann sehr präzise Lageinformationen über archäologische Strukturen im Untergrund liefern. Allerdings ist das Georadar (GPR) äußerst störungsanfällig, insbesondere durch gut leitende Sedimentschichten und erhöhte Wassergehalte. Als Potentialverfahren werden Geoelektrik und Geomagnetik eingesetzt, insb. die Elektrik ermöglicht durch unterschiedliche Auslagen eine flexible Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten und erreicht dadurch unterschiedliche Untersuchungstiefen. Magnetische Anomalien werden insb. durch anthropogenen Einfluss verursacht und könnten Hinweise auf im Untergrund verborgene

Strukturen liefern. Durch die lange Besiedlungsgeschichte und die damit verbundene Vielzahl von Spuren sowie spezifische Herausforderungen, z.B. verlagerte und aufgelöste Lehmziegel, werden zwar viele aber nur punktuell eindeutige Ergebnisse erwartet. Im Gegensatz zu den mobilen Untersuchungen müssen Geoelektrik und Seismik ausgelegt und angeordnet werden, was zu weniger Messungen pro Zeiteinheit, dafür aber zu einer flexibleren Tiefenauflösung führt. Die seismischen Wellen lösen geringer auf, sind aber sensitiv für Ablagerungsdichten und wenig anfällig gegenüber schwankenden Wassergehalten. Im Kontext der geophysikalischen Beprobung sind grundlegende sedimentologische und stratigraphische Arbeiten geplant, die nicht zuletzt der Validierung der geophysikalischen Signale dienen.

## 6 Literaturverzeichnis

- BIETAK, M. & LANGE, E., 2014: Tell Basta: The palace of the Middle Kingdom. *Egyptian Archaeology* **44**, S. 4-7.
- CONYERS, L. B., 2013: Ground-penetrating radar for archaeology. AltaMira Press 2013.
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR), 2013: TanDEM-X Ground Segment DEM Products Specification Document, TD-GS-PS-0021, V.3.
- EGYPTIAN GEOLOGICAL SURVEY AND MINING AUTHORITY (GSE), 1981: Geologic Map of Egypt. Scale 1: 2.000.000. Cairo: Ministry of Industry and Mineral Resources, Egypt.
- EL-GAMILI, M.M., SHAABAN, F.F. & EL-MORSI, O.A., 1994: Electrical resistivity mapping of the buried stream channel of the Canopic branch in the western Nile Delta, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* **19**, S. 135-148.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA), 2014: About Sentinel-1. URL: European Space Agency. URL: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1>
- HAMMAD, M.A., 1975: Soil Association map of Egypt. Wageningen, Soil Survey Institute, Netherlands.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 2010: Landsat Program. US Geological Survey (USGS). URL: <http://landsat.usgs.gov>
- PENG, L., CHUANG, S., ZHENHONG, L., MULLER, J. P., DRUMMOND, J., LI, X., LI, T., LI, Y & LIU, J., 2013: Evaluation of ASTER GDEM using GPS benchmarks and SRTM in China. *International Journal of Remote Sensing* **34**, S. 1744-1771.
- PLANCHON, O. & DARBOUX, F., 2001: A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena* **46**, S. 159-176.
- PIGOTT, J. D. & ABDEL-FATTAH, M. I., 2014: Seismic stratigraphy of the Messinian Nile Delta coastal plain: Recognition of the fluvial Regressive Systems Tract and its potential for hydrocarbon exploration. *Journal of African Earth Sciences* **95**, S. 9-21.
- SYSTEM FOR AUTOMATED GEOSCIENTIFITC ANALYSIS (SAGA), 2014: Software Description and Documentation. URL: <http://www.saga-gis.org/>
- ULLMANN, T., SCHMITT, A., ROTH, A., DUFFE, J., DECH, S., HUBBERTEN, H.-W. & BAUMHAUER, R., 2014: Land Cover Characterization and Classification of Arctic Tundra Environments by Means of Polarized Synthetic Aperture X- and C-Band Radar (PolSAR) and Landsat 8 Multispectral Imagery - Richards Island, Canada. *Remote Sensing* **6**, S. 8565-8593.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2012: Declassified Satellite Imagery - 1. URL: [https://lta.cr.usgs.gov/declass\\_1](https://lta.cr.usgs.gov/declass_1).