



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Vorwort

Das Reisen, andere Kulturen und Länder kennenzulernen, gehört wohl zu meinen größten Leidenschaften. Demnach kommt es nicht von ungefähr, dass die Geographie und vor allem die Fernerkundung Teil meines Studiums sind. Insbesondere am Arbeiten mit Satellitenbildern und der Möglichkeit unterschiedliche Lebensräume der Erde zu interpretieren und analysieren und die Welt aus einem anderen Blickwinkel zu sehen, finde ich Gefallen.

Deshalb war es naheliegend, Michael Wurm vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der einst eine Lehrveranstaltung über urbane Fernerkundung abhielt, um ein passendes Masterarbeitsthema zu fragen. Zu diesem Zeitpunkt beschäftigte er sich mit der Analyse von Megastädten und informellen Siedlungen, mit dem Fokus auf die Megastadt Kairo. Dabei kam die Idee auf, die informellen Siedlungen innerhalb der Metropolregion Kairo auf Baublockebene zu vergleichen und zu analysieren.

Mit meinem Betreuer und Professor Wolfgang Sulzer wurde das Thema noch spezifiziert und ein zusätzlicher Fokus auf die Fernerkundung gelegt. Gemeinsam wurde somit ein Thema erarbeitet, das eine hohe Aktualität und Relevanz hat, und aus der Sicht der Fernerkundung und Stadtgeographie sehr interessant ist.

Danksagung

Folgenden Personen, die mich während meiner Masterarbeit unterstützt und mich durchs Studium begleitet haben, gilt mein besonderer Dank:

Zuallererst meinen Eltern, Elfriede und Peter, die mich in jeglicher Hinsicht unterstützt und mir ein unbeschwertes und sorgenfreies Studium ermöglicht haben.

Herrn Prof. Dr. Wolfgang Sulzer für die intensive Betreuung und Korrektur meiner Masterarbeit, insbesondere für das Bereitstellen der Satellitenbilder.

Herrn Dr. Michael Wurm vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt für den Themenvorschlag sowie die externe Betreuung und hilfreichen Ratschläge.

Meinem Bruder und meiner gesamten Familie, die mir in allen Lebenslagen beigestanden sind.

Sowie meinen Freunden und Studienkollegen.

Zusammenfassung

Slums und informelle Siedlungen sind ein komplexes und sensibles Thema in jeglicher Hinsicht. Beginnend bei den unterschiedlichen Definitionen bis zur besonderen Anfälligkeit für Epidemien oder Katastrophen. Deshalb sind informelle Siedlungen bereits lange Forschungsgegenstand der Geographie und Fernerkundung. Der Fortschritt der Technik, insbesondere die Verfügbarkeit von hochauflösenden Satellitenbildern, erlaubt es, sich noch intensiver mit der Thematik zu beschäftigen. Außerdem ist aufgrund der starken globalen Urbanisierung der Forschungsbedarf an informellen Siedlungen stets gegeben. Speziell Vergleiche der informellen Siedlungen untereinander in einer Stadt sind bisher wenig erforscht.

Die Hauptziele der Arbeit sind eine Vorgehensweise der automatischen Erfassung von Slums mit hochauflösenden Satellitenbildern zu finden sowie die Unterscheidung der informellen Siedlungen in Kairo nach Bevölkerungsdichte, Strukturparametern und die Beobachtung der Veränderung der Baustrukturen über 27 Jahre.

Um die Forschungsfragen zu beantworten bedient sich die Masterarbeit aus einem Methodenmix von Literaturrecherche, Fernerkundung und Analysen, basierend auf einem Geographischen Informationssystem.

Der erste Teil der Arbeit stellt den theoretischen Hintergrund dar und beschäftigt sich mit der Definition von informellen Siedlungen, insbesondere der Unterscheidung und Entstehung in Kairo. In einem Fernerkundungskapitel wird durch den Aufbau einer lokalen Ontologie, die Grundlage zur anschließend durchgeführten objektbasierten Klassifikation der informellen Siedlungen gebildet. Anschließend werden basierend auf einer analogen Klassifikation der informellen Baublöcke, Bevölkerungsschätzungen sowie Analysen der physiognomischen Strukturunterschiede zwischen den informellen Siedlungen durchgeführt. Durch Beobachtungen von Veränderungen über einen Zeitraum von 27 Jahren werden Aussagen über die Entwicklung der Baustrukturen in den Siedlungen getroffen. Zum Schluss erfolgt ein Überblick der Forschungserkenntnisse.

Abstract

Slums and informal settlements are complex and sensitive topics from all perspectives. This can be seen, for instance, at diverse definitions up to the liability to epidemics or natural disasters. Therefore, informal settlements have been researching objects via geographical and remote sensing technology for a long time. The continuous technical progress and especially the increasing availability of high resolution satellite images enable a more intensive dealing with this topic. Furthermore, the need of research in informal settlements is always present due to strong global urbanization. Especially in comparing various informal settlements within a city, little research has been done.

The key objectives of this work with the heading „Object-based Classification and comparison of the physiognomical structure of informal settlement types in the Greater Cairo Metropolitan Area” are finding a method of an automatic classification of slums in high resolution satellite images, and, making a differentiation between the informal settlements in Cairo based on their population densities, structure parameters and change of building structures over the past 27 years.

A mixture of literature review, remote sensing images and data analysis, based on geographical information systems, are used to answer the research topics in questions.

The first part of the thesis consists of the theoretical background and, additionally, deals with the definitions of informal settlements, focusing on their differentiation and development as in the case of Cairo. The following chapter deals with the construction of a local ontology, which is used for the enhancement of semantic information in order to detect informal areas by an object-based classification. Afterwards estimations of population, as well as analysis of physical differences in the structure between informal settlements, based on a manual classification of informal blocks, are conducted. Statements about the development of structures in the settlements are made by monitoring the changes over a period of 27 years. Finally, an overview of acquired skills and research knowledge follows.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort.....	1
Zusammenfassung.....	2
Abstract.....	3
INHALTSVERZEICHNIS	4
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	8
TABELLENVERZEICHNIS.....	11
1. EINLEITUNG	12
1.1 FORSCHUNGSBEDARF AN INFORMELLEN SIEDLUNGEN	12
1.2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	13
1.3 AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND	14
1.3.1 Aktueller Forschungsstand über die Definition von Slums und informellen Siedlungen	14
1.3.2 Aktueller Forschungsstand im Bereich Fernerkundung.....	16
1.3.3 Aktueller Forschungsstand im Bereich geographischer Analysen von Slums.....	19
1.4 METHODENAUSWAHL UND BEGRÜNDUNG DER HERANGEHENSWEISE	21
1.5 AUFBAU UND GLIEDERUNG DER ARBEIT	23
2 INFORMELLE SIEDLUNGEN UND SLUMS IN GREATER CAIRO	25
2.1 DEFINITION VON SLUMS UND INFORMELLEN SIEDLUNGEN	25
2.1.1 Slumindikatoren	26
2.1.2 Arten von Slums	28
2.1.3 Unterscheidung zwischen Slums und informellen Siedlungen	29
2.2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET	30
2.3 GESCHICHTE DER SLUMENTWICKLUNG IN GCMA	31
2.4 FRAGE NACH DER BEVÖLKERUNGSANZAHL IN GREATER CAIRO.....	33
2.4.1 Problem der Datenerhebung.....	34
2.4.2 Bevölkerungsschätzungen für GCMA.....	34
2.5 TYPEN VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN IN GREATER CAIRO	35
2.5.1 Klassifizierung der informellen Gebiete in Ägypten	35
2.5.2 Typ A: Informelle Siedlungen auf ehemaligen Landwirtschaftsflächen	39
2.5.3 Typ B: Informelle Siedlungen auf früheren staatlichen Wüstenflächen.....	42
2.5.4 Typ C: Vernachlässigte Siedlungen im historischen Zentrum	44
2.5.5 Typ D: Vernachlässigte Stadtgebiete (nicht klassifiziert).....	45
3 OBJEKTBASIERTE KLASSIFIKATION DER INFORMELLEN SIEDLUNGEN IN GREATER CAIRO	46
3.1 DIE ERFASSUNG VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN DURCH FERNERKUNDUNG	46
3.2 ONTOLOGIE ZUR IDENTIFIZIERUNG VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN	47
3.2.1 Was ist eine Ontologie?.....	47
3.3 LOKALE SLUMONTOLOGIE FÜR GREATER CAIRO	49

3.3.1 Lokale Ontologie für informelle Siedlungen auf ehemaligen Landwirtschaftsflächen (TYP A)	49
3.3.2 Lokale Ontologie für informelle Siedlungen auf früheren staatlichen Wüstenflächen (Typ B).....	50
3.4 GRUNDLAGEN DER OBJEKTBASIERTEN BILDANALYSE	51
3.4.1 Segmentierung.....	51
3.4.2 Klassifizierung	52
3.5 DATENBESCHREIBUNG	53
3.5.1 Satellitenbilder	53
3.5.2 Vorprozessierung der Satellitenbilder.....	54
3.6 OBJEKTBASIERTE KLASSIFIKATION DER WV-2-SZENEN	55
3.6.1 Beschreibung der Subsets.....	56
3.6.2 Beschreibung des Klassifikationsablaufs	56
3.6.3 Segmentierung in eCognition	58
3.6.4 Klassifikationsablauf in eCognition	59
3.6.4.1 Gewässer	60
3.6.4.2 Vegetation.....	61
3.6.4.3 Vegetationsloser Boden / Offener Boden	61
3.6.4.4 Straßen	61
3.6.4.5 Sonstige	62
3.6.4.6 Schatten	62
3.6.4.7 Friedhof	62
3.6.4.8 Siedlungen.....	62
3.6.5 Unterscheidung zwischen formellen und informellen Siedlungen.....	62
3.6.5.1 Typ A.....	63
3.6.5.2 Typ B.....	63
3.6.5.3 Formelle Siedlungen	64
3.7 KLASSIFIKATIONSERGEBNISSE.....	64
3.7.1 Visueller Vergleich	64
3.7.2 Genauigkeitsanalyse.....	67
3.7.3 Zwischenfazit zur Klassifikation der informellen Siedlungen	69
4 VERGLEICH DER INFORMELLEN SIEDLUNGEN IN HINBLICK AUF BEVÖLKERUNGSDICHTE, PHYSIOGNOMISCHE STRUKTUREN UND ENTWICKLUNG ÜBER DIE ZEIT	71
4.1 EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK DER ANALYSE VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN..	71
4.2 GRUNDLAGEN DER ANALOGEN KLASSIFIKATION	72
4.2.1 Abgrenzung der visuellen Bildinterpretation zur digitalen Klassifikation	72
4.2.2 Interpretationsfaktoren.....	72
4.3 ANALOGE KLASSIFIKATION DER INFORMELLEN BAUBLÖCKE.....	74
4.3.1 Digitalisierung der Baublöcke.....	74
4.3.2 Erhobene physiognomische Strukturmerkmale.....	74
4.3.2.1 Grundfläche	75
4.3.2.2 Bebauungsdichte	75

4.3.2.3 Gebäudehöhe in Stockwerken	76
4.3.2.4 Seehöhe und Hangneigung.....	78
4.3.2.5 Entfernung zum Stadtzentrum.....	78
4.3.2.6 Entfernung zur Ring Road und Hauptstraßen.....	78
4.4 BERECHNUNG DER POPULATION IN DEN INFORMELLEN SIEDLUNGEN.....	80
4.4.1 Berechnungsmethode.....	80
4.4.2 Populationsabschätzung für Typ A.....	83
4.4.3 Populationsabschätzung für Typ B.....	85
4.4.4 Populationsabschätzung für Typ C.....	87
4.4.5 Geschätzte Bevölkerung in Greater Kairo.....	88
4.5 VERGLEICH DER PHYSIOGNOMISCHEN STRUKTUREN DER INFORMELLEN SIEDLUNGEN.....	91
4.5.1 Anzahl der Baublöcke	92
4.5.2 Baublockgröße.....	95
4.5.3 Gebäudehöhe.....	96
4.5.4 Bebauungsdichte	99
4.5.5 Seehöhe und Hangneigung.....	101
4.5.6 Mittlere Distanz zum Stadtzentrum	104
4.5.7 Entfernung zur Ring Road und Hauptstraßen	106
4.5.7.1 Ring Road.....	107
4.5.7.2 Hauptstraßen.....	107
4.6 VERÄNDERUNG DER PHYSIOGNOMISCHEN STRUKTUREN ÜBER DIE ZEIT.....	111
4.6.1 Datengrundlage.....	111
4.6.2 Anzahl der Baublöcke	113
4.6.3 Blockgröße	114
4.6.4 Gebäudehöhe.....	115
4.6.5 Blockdichte.....	117
4.6.6 Hangneigung.....	118
5 ERGEBNISPRÄSENTATION UND AUSBLICK.....	121
5.1 BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGEN.....	121
5.1.1 Definition der informellen Siedlungen in Greater Cairo.....	121
5.1.2 Erfassung von informellen Siedlungen im Satellitenbild	124
5.1.3 Unterscheidbarkeit der informellen Siedlungstypen	126
5.1.3.1 Bevölkerungsanalyse.....	126
5.1.3.2 Physiognomische Strukturen.....	128
5.1.3.3 Zeitreihenanalysen	130
5.2 NÜTZLICHKEIT DER ARBEIT UND AUSBLICK.....	132
5.3 GEWONNENE WISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE.....	134
5.4 GESAMTRESÜMEE.....	135
LITERATURVERZEICHNIS	137
ANHANG.....	150
A1 BEVÖLKERUNGSDATEN.....	150

A2 STATISTISCHE AUSWERTUNG DER STRUKTURANALYSEN	152
A3 STATISTIK DER ZEITREIHENANALYSEN	158
A4 KARTENDARSTELLUNGEN.....	163

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Konzept der Translation von Slumontologie zur objektbasierten Klassifikation	17
Abb. 2: Indikatoren und Schwellenwerte um Slums zu definieren.....	27
Abb. 3: Untersuchungsgebiet Greater Cairo Metropolitan Area	32
Abb. 4: Klassifikation der urbanen Gebiete nach Besitzstatus und physiognomischen Zuständen	36
Abb. 5: Verbreitung der informellen Siedlungen nach Sims	38
Abb. 6: Satellitenbilddaufnahme von Imbaba und Lage innerhalb GCMA.....	41
Abb. 7: Neue informelle Bauten des Typs A am Stadtrand.....	41
Abb. 8: Satellitenbilddaufnahme von Manshiet Nasser und Lage innerhalb GCMA.....	43
Abb. 9: Blick auf Manshiet Nasser am FuÙe des Muqattam Hügels	43
Abb. 10: Satellitenbilddaufnahme von Al-Darb al Ahmer und Lage innerhalb GCMA	44
Abb. 11: StraÙenszene in Al-Darb al Ahmar.....	45
Abb. 12: 3-Level-Modell zur Slumklassifikation	48
Abb. 13: Beispiel der Strukturmorphologie für Typ A.....	50
Abb. 14: Beispiel der Strukturmorphologie für Typ B	51
Abb. 15: Überblick über die WorldView-2 Szenen und Subsets für die Klassifikationen	53
Abb. 16: Lage und Bandbreite der WorldView-2 Kanäle	54
Abb. 17: Vergleich von multispektralen, panchromatischen und fusionierten Satellitenbild	55
Abb. 18: Vorgehensweise bei der objektbasierten Slumklassifikation	58
Abb. 19: Visueller Vergleich der Klassifikation mit dem Satellitenbild - Subset 1.....	65
Abb. 20: Visueller Vergleich der Klassifikation mit dem Satellitenbild - Subset 3.....	65
Abb. 21: Visueller Vergleich der Klassifikation mit dem Satellitenbild - Subset 2.....	66
Abb. 22: Vergleich der analogen Klassifikation (rote Umrandungen) mit der Segmentierung der automatischen Klassifikation.....	67
Abb. 23: Vergleich der Bebauungsdichten.....	75
Abb. 24: Blockbebauungsdichte in den informellen Siedlungen Imbaba, Manshiet Nasser und Al-Darb al Ahmer.....	76
Abb. 25: Beispiele für die Schätzung der Gebäudehöhen.....	77
Abb. 26: Baublockhöhen in den informellen Siedlungen Imbaba, Manshiet Nasser und Al- Darb al Ahmer	77
Abb. 27: Karte mit der Lage des Stadtzentrums und der HauptstraÙen in Greater Cairo	79
Abb. 28: Lage der Referenzgebiete zur Bevölkerungsabschätzung in GCMA	82
Abb. 29: Vergleich der geschätzten informellen Bevölkerung in Greater Cairo mit unterschiedlichen Szenarien.....	89
Abb. 30: Verteilung der Bewohner in informellen Siedlungen auf die Gouvernements.	90

Abb. 31: Vergleich der Szenarien der Einwohnerdichten nach Slumtypen.	90
Abb. 32: Verteilung der informellen Baublöcke nach Siedlungstypen.....	92
Abb. 33: Verteilung der informellen Baublöcke nach Gouvernements.	93
Abb. 34: Karte mit der Lage der informellen Siedlungen in den Gouvernements	94
Abb. 35: Vergleich der Baublockgrößen nach Siedlungstypen.	95
Abb. 36: Vergleich der Baublockgrößen nach Gouvernements.	96
Abb. 37: Durchschnittliche Gebäudehöhe und Standardabweichung der informellen Baublöcke nach Siedlungstypen.....	97
Abb. 38: Durchschnittliche Gebäudehöhe und Standardabweichung der informellen Baublöcke nach Gouvernements.	97
Abb. 39: Karte mit den Gebäudehöhen der informellen Siedlungen in Greater Cairo	98
Abb. 40: Durchschnittliche Bebauungsdichte von informellen Baublöcken nach Siedlungstypen.....	99
Abb. 41: Durchschnittliche Bebauungsdichte von informellen Baublöcken nach Gouvernements.	100
Abb. 42: Karte mit der Bebauungsdichte der informellen Blöcke in Greater Cairo	101
Abb. 43: Hangneigungskarte (2015) mit eingezeichneten informellen Baublöcken (2011) in Greater Cairo.....	102
Abb. 44: Informelle Baublöcke und Hangneigungskarte in Manshiet Nasser.....	103
Abb. 45: Mittlere Seehöhe und Hangneigung der informellen Siedlungstypen.	104
Abb. 46: Mittlere Seehöhe und Hangneigung der informellen Baublöcke in den Gouvernements.	104
Abb. 47: Karte mit eingezeichnetem Stadtzentrum Kairos und der mittleren Entfernung der informellen Siedlungen.....	105
Abb. 48: Mittlere Entfernung der informellen Baublöcke zum Stadtzentrum.....	106
Abb. 49: Durchschnittliche Entfernung der informellen Baublöcke zur Ring Road und Hauptstraßen.	108
Abb. 50: Durchschnittliche Entfernung der informellen Baublöcke in den Gouvernements zur Ring Road und Hauptstraßen.....	109
Abb. 51: Karte mit der Entfernung der informellen Baublöcke zu den Hauptstraßen in Greater Cairo.....	110
Abb. 52: Karte mit der Ausbreitung der informellen Siedlungen in Greater Cairo von 1984 - 2011	112
Abb. 53: Veränderung der Anzahl der informellen Baublöcke von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.....	113
Abb. 54: Veränderung der Anzahl der informellen Baublöcke von 1984 - 2011 nach Gouvernements.	114

Abb. 55: Veränderung der Baublockgröße von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.....	115
Abb. 56: Veränderung der Baublockgröße von 1984 - 2011 nach Gouvernements.	115
Abb. 57: Veränderung der Baublockhöhe von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.....	116
Abb. 58: Veränderung der Baublockhöhe von 1984 - 2011 nach Gouvernements.	117
Abb. 59: Veränderung der Bebauungsdichte von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.....	118
Abb. 60: Veränderung der Bebauungsdichte von 1984- 2011 nach Gouvernements.	118
Abb. 61: Veränderung der Hangbebauung von informellen Baublöcken von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.....	119
Abb. 62: Veränderung der Hangbebauung von informellen Baublöcken von 1984 - 2011 nach Gouvernements.	120
Abb. 63: Verteilung der informellen Siedlungstypen in Greater Cairo	122

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Überblick an Arbeiten zur Slumidentifikation durch Satellitenbilder	18
Tab. 2: Geschätzte Einwohnerzahlen in der Metropolregion Greater Cairo.....	35
Tab. 3: Eigenschaften der drei WV-2-Subsets.....	56
Tab. 4: Überblick der Segmentierungsebenen und deren Eigenschaften.....	59
Tab. 5: Beispielschlüssel für die Landnutzungsklassen.	60
Tab. 6: Siedlungstypische Merkmale und deren Klassifizierungsparameter in eCognition. ...	63
Tab. 7: Konfusionsmatrix der Genauigkeitsanalyse für Szene 1.	68
Tab. 8: Konfusionsmatrix der Genauigkeitsanalyse für Szene 2.	69
Tab. 9: Konfusionsmatrix der Genauigkeitsanalyse für Szene 3.	69
Tab. 10: Abkürzungsverzeichnis zu den Bevölkerungsberechnungen.	82
Tab. 11: Bevölkerungsangaben für Imbaba.	83
Tab. 12: Bevölkerungsberechnung für Imbaba.	84
Tab. 13: Bevölkerungsberechnung für Boulaq al Daqrur.	84
Tab. 14: Bevölkerungsberechnung für Masaken Geziret al-Dahab.....	84
Tab. 15: Bevölkerungsberechnung für El Khosoos.....	84
Tab. 16: Berechnungsergebnis für Typ A.	85
Tab. 17: Bevölkerungsberechnung für Ezbet El Nasr.	86
Tab. 18: Bevölkerungsberechnung für Ezbet El Haggana.....	86
Tab. 19: Bevölkerungsberechnung für Manshiet Nasser.	86
Tab. 20: Berechnungsergebnis für Typ B.	87
Tab. 21: Bevölkerungsberechnung für Al-Darb al Ahmer.	87
Tab. 22: Bevölkerungsberechnung für El Gameleya.	87
Tab. 23: Berechnungsergebnis für Typ C.	88
Tab. 24: Ergebnis der Bevölkerungsschätzung für Greater Cairo.	89
Tab. 25: Abweichung der Bevölkerungsergebnisse von den Referenzangaben aus der Literatur.	91
Tab. 26: Vergleich der Geschossflächendichte und Baublockhöhen für die informellen Siedlungstypen.....	98
Tab. 27: Flächenstatistik der informellen Flächen von 1984 – 2011.....	111
Tab. 28: Definition und Merkmale von Typ A.	123
Tab. 29: Definition und Merkmale von Typ B.	123
Tab. 30: Definition und Merkmale von Typ C.	123
Tab. 31: Ergebnis der Populationsberechnungen für Greater Cairo.....	127
Tab. 32: Ergebnisse der Strukturanalysen und Bevölkerungsanalysen.....	129

1. EINLEITUNG

1.1 FORSCHUNGSBEDARF AN INFORMELLEN SIEDLUNGEN

Die rapide Urbanisierung in Entwicklungsländern bringt ernste Herausforderungen an die Regierungen und deren Verantwortung, adäquate Unterkünfte und Lebensqualität zur Verfügung zu stellen. Ein Zeichen des Misserfolgs den Urbanisierungsprozess zu managen, ist die weltweite Ausbreitung von Slums, die ca. eine Milliarden Menschen in lebens- und gesundheitsgefährlichen Konditionen beherbergen. Prognosen gehen von einer Verdoppelung der Slumbewohner bis 2050 aus (WHO 2016, S.9).

Allein über die Hälfte der afrikanischen Stadtbewohner leben in Slums und informellen Siedlungen (UN-HABITAT 2003, S.14). Nordafrika ist die am stärksten urbanisierte Subregion Afrikas. Etwa 65% der Bevölkerung Nordafrikas lebten 2007 in Städten. Heute geht man von über 70% aus. Eine rapide Urbanisierung in den letzten drei Jahrzehnten brachte soziale und ökologische Probleme, aus denen eine Zunahme der Armut sowie das Entstehen von großen informellen Siedlungen und Slums resultieren. Natürlich treffen diese Aspekte auch auf Ägypten und vor allem die Metropolregion Kairo zu (Horwood 2007, S.77).

Die Stadt Kairo ist das wirtschaftliche, kulturelle und politische Zentrum und Hauptstadt Ägyptens sowie die Heimat von Millionen von Menschen. In der gesamten Metropolregion Greater Cairo (GCMA) wird der Anteil der Slumbewohner an der Gesamtbevölkerung auf über 60% geschätzt (Kipper 2009, S.11).

Wobei es sich um eine informelle Siedlung handelt, erkennt man daran, dass die Gebiete auf Stadtkarten, Flächennutzungs- und Entwicklungsplänen sowie Kartierungen meist fehlen oder nicht in erforderlicher Qualität existieren. Deshalb spielt die Fernerkundung in der Erfassung und Visualisierung von informellen Siedlungen eine immer größere Rolle. Die Fernerkundung ist unter anderem ein Mittel zur Dokumentation, Erkundung und Beobachtung urbaner Räume und Strukturen. Aufgrund ihrer hohen Aktualität, schnellen Verfügbarkeit und flächendeckender Abdeckung werden immer öfter Satellitenbilder für die Erfassung von Marginalviertel eingesetzt. Zusätzlich wird durch die Zunahme von hochauflösenden Daten die Entwicklung von automatischen Erkennungsmethoden verstärkt. Ein weiterer Vorteil der Erhebung von Siedlungen mit Fernerkundungstechniken ist die Weiterverarbeitung der Daten in Geographischen Informationssystemen (GIS).

Neben all den Methoden und Techniken für die Erfassung, Beobachtung und Abbildung von informellen Siedlungen, ist die zeitliche und genaue Schätzung der Slumbevölkerung ein wichtiger Punkt für Regierungen, Entscheidungsträger und unterschiedlichen Gemeinschaften. Gerade in den Städten der Entwicklungsländer steigt die Population durch

Zustrom enorm. Dieses meist unkontrollierte Wachstum führt dazu, dass Menschen aufgrund Raumnot ihre Unterkunft in den Slums und informellen Siedlungen wiederfinden. Gerade unkontrolliert wachsende Städte sind für menschenbedingte und natürliche Gefahren anfällig.

Dies gibt Anlass dazu, die Strukturen und Verbreitung der informellen Siedlungen in Greater Cairo zu untersuchen und zu analysieren. Die daraus gewonnenen Informationen können für weitere Forschungsarbeiten oder Planungstätigkeiten von Interesse sein.

1.2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit allen Aspekten die an das Hauptthema der Arbeit heranführen, d.h. die Erfassung und der Vergleich der informellen Siedlungstypen in Kairo. Dazu muss der Terminus Slum bzw. informelle Siedlung klar definiert sein und die Typen von informellen Siedlungen in Greater Cairo theoretisch beschrieben und unterschieden werden. Die Unterscheidung der Typen ist insofern wichtig, da sie für die weiterführenden Schritte und Analysen in der Arbeit verwendet werden. Da das unkontrollierte und stetige Wachstum der informellen Siedlungen nicht offiziell erfasst wird, wird eine Methode der Fernerkundung gesucht, die informelle Siedlungen auf Baublockebene erfassen und unterscheiden kann. Deshalb bedarf es einer komplexeren Studie, um die Siedlungsstrukturen und Merkmale im Fernerkundungsbild zu erkennen. Nach der Erfassung der informellen Siedlungen auf Baublockebene, gilt es diese auf unterschiedlichen Ebenen zu analysieren, um Unterschiede untereinander ausmachen zu können. Dazu zählt die Abschätzung der informellen Bevölkerung und Bevölkerungsdichte in den Siedlungen, ein Vergleich der physiognomischen Bebauungsstrukturen durch ausgewählten Indikatoren, sowie die Entwicklung der Strukturen in den letzten Jahrzehnten. Demnach ergeben sich folgende zentrale Fragestellungen:

1. *„Wie definieren und unterscheiden sich die informellen Siedlungen und Slums in der Metropolregion Greater Cairo?“*
2. *„Kann eine objektbasierte Klassifikation die informellen Siedlungen in Greater Cairo auf Baublockebene erfassen und unterscheiden?“*
3. *„Wie unterscheiden sich die informellen Siedlungen in Hinblick auf ihre Bevölkerungsdichte, Bebauungsstruktur und physiognomisch-strukturelle Veränderungen?“*

Durch die Beantwortung der Fragen sollen neue Kenntnisse in der Fernerkundung zum Thema Slumdetektion gewonnen werden und eine genauere Charakterisierung und Unterscheidung der informellen Siedlungen in Kairo erfolgen. Die daraus gewonnenen Informationen können für weitere Forschungsarbeiten genutzt werden und z.B. für andere Studierende von Interesse sein. Die Methoden oder Ergebnisse lassen sich auch an einigen Stellen auf andere Megastädte, vor allem im orientalischen Raum, projizieren und kann in den Bereichen Stadtgeographie und Raumplanung, Geotechnologien und Stadtsoziologie von Bedeutung sein. Da ein unkontrolliertes Wachstum mit Problemen in der Planung einhergeht, könnten weitere potentielle Zielgruppen in den Bereichen Politik und Wirtschaft zu finden sein.

1.3 AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND

Dieser Punkt beschreibt den gegenwärtigen Forschungsstand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und ist wie folgt gegliedert:

- derzeitiger Forschungsstand im Bereich Slums und informeller Siedlungen, besonders im Hinblick auf Kairo.
- aktuelle Fernerkundungserkenntnisse im Bereich Slumklassifizierung, Klassifizierung arider Gebiete und Baublockklassifikation.
- derzeitige Forschungsstand im Bereich Bevölkerungsabschätzung mittels Fernerkundung und stadtgeographischer Analysen

1.3.1 Aktueller Forschungsstand über die Definition von Slums und informellen Siedlungen

Das Problem der Erhebung von Slums beginnt mit dem Fehlen einer einheitlichen Definition oder Theorien von Standorten solcher (Barros und Sobreira 2002). Viele Städte in der Welt definieren Slums unterschiedlich, obwohl es seit Jahren Bemühungen gibt, eine objektiv messbare Beschreibung von solchen Gebieten zu manifestieren (The Cities Alliance 2000). Das UN Expert Group Meeting hat einen ersten Versuch gewagt, um eine einheitliche und allgemein akzeptierte Definition von Slum bzw. informeller Siedlung zu veröffentlichen. Dabei wurde Slum als eine Gruppe von Individuen definiert, die im urbanen Raum unter einem Dach leben und denen mindestens eine der folgenden Wohnbedingungen fehlt: Zugang zu sicherem Wasser, Zugang zu adäquaten sanitären Anlagen, sichere Anstellung,

dauerhafte Behausung und genügend Wohnraum (UN Habitat 2003). Des Weiteren haben sich Davis (2006) bzw. Nuisl und Heinrichs (2013) mit dem weltweiten Phänomen Slums und deren unterschiedlichen Erscheinungen beschäftigt. So unsicher wie die Definition ist auch die Unterteilung von Slums. Oftmals wird zwischen Slums of Hope und Slums of Despair (Putnam et. al 2007, Flessa 2012, Nuisl und Heinrichs 2013) unterschieden. Jedoch beinhalten diese Unterteilungen und Definitionen nicht, wie diese Marginalsiedlungen physiognomisch erscheinen. Generell existieren über die physiognomische Erscheinung von Slums bisher nur wenige systematische Forschungen (Hofmann 2001). Vaz und Berenstein (2004) erklären, dass es auf den ersten Blick starke Ähnlichkeiten zwischen den Erscheinungsformen von Slumsiedlungen gibt. Bei näherem Hinsehen offenbart sich aber eine überraschende Diversität und Unterschiedlichkeit in Muster und Morphologie zwischen Slums. Die Heterogenität von Slums wird ebenfalls von Schneider-Sliwa und Bhatt (2008) diskutiert, die der Meinung sind, dass Slums in keinem Fall homogen sind. Fuchs (2006) und ebenso O'Hare et al. (1998) erklären, dass Slums sich in Größe, Standort, Geschichte, Bevölkerung, Wirtschaftsleistung, Kultur und öffentlicher Vorstellung unterscheiden. Da die lokalen Unterschiede zu groß sind, ist es schwer machbar, universell geeignete Kriterien zu definieren (UN-Habitat 2003). Daher ist es von Bedeutung, auf die Begebenheiten in Ägypten bzw. Kairo näher einzugehen.

Mit der Definition und Verbreitung von Slums und informellen Siedlungen in Ägypten und vor allem in der Metropolregion Greater Cairo haben sich einige wenige Organisationen und Autoren beschäftigt. The General Organisation for Physical Planning (GOPP) zum Beispiel definiert informelle Gebiete durch den rechtlichen Status und den Zustand des Verfalls (GTZ 2010). Auch das Participatory Development Programme (PDP) charakterisiert informelle Gebiete unter Berücksichtigung des rechtlichen Status und der physischen Konditionen (Abdelhalim 2010). Das Informal Settlement Development Facility (ISDF) unterteilt die informellen Siedlungen in Kairo in ungeplante Gebiete und unsichere Gebiete. Mekawy (2012) unterteilt die informellen Siedlungen in Kairo wiederum in vier Kategorien: Slums auf unterteilten Landwirtschaftsflächen, informelle Siedlungen auf staatlichen (Wüsten-) Land, baufällige Strukturen in der Altstadt Kairo und antike islamische Friedhöfe. Ähnlich sind auch die Unterteilungen von Sims (2002) und Soliman (2004) welche sich auf die Hauptkriterien des PDP stützen.

Der aktuelle Forschungsstand zeigt wie unterschiedlich die Auffassungen bzw. Vorstellungen von Slums sind. Allein für Kairo existieren mehrere Unterscheidungen, wobei alle auf deren Entstehung bzw. rechtlichen Status zurückgreifen.

1.3.2 Aktueller Forschungsstand im Bereich Fernerkundung

Für bildbasierende Kartierungen von Slums ist es von Bedeutung ein klares Bild über diese zu haben. Ein Hauptproblem ist, wie oben erwähnt, dass Slums unterschiedliche Definitionen und Erscheinungsbilder haben, welche von ihrer geographischen Lage und lokalem Kontext abhängen. Dies führte zu einer Forschungslücke in der Slumdetektion durch Fernerkundung. Frühere Forschungen der informellen Siedlungskartierung fokussierten auf die Entwicklung von kontext-spezifischen Methoden (Kohli D. et al. 2013).

Jain (2007) untersuchte die Identifikation von Slums in fusionierten Ikonos-Bildern und befand, dass die Heterogenität des städtischen Umfelds nicht durch einen pixelbasierenden Klassifikationsansatz, welcher auf spektrale Werte basiert, repräsentiert werden kann. Die objektorientierte bzw. objektbasierte Bildanalyse (OBIA) wird in viele Anwendungen der urbanen Klassifikation als geeignet erachtet (Cleve et al. 2008, Sliuzas et al. 2008, Ebert et al. 2009 und Salehi et al. 2012). Zusätzlich wird durch die Zunahme von hochauflösenden Bildern und deren verbesserten Zugänglichkeit die Entwicklung von automatischen objektbasierten Erkennungsmethoden verstärkt. Besonders im Fall von informellen Siedlungen, welche eine recht komplexe und undefinierte Morphologie aufweisen können, bieten sich objektbasierte Methoden an, die spektrale, räumliche und kontextuale Eigenschaften zur Klassifikation nutzen können.

Auch Hofmann (2001) verwendete OBIA um informelle Siedlungen mit Hilfe eines Ikonos-Bildes zu klassifizieren. Ein weiterer Vorteil von OBIA ist die effektive Nutzung von abgeleiteten Informationen, die nicht direkt beobachtbar sind. Diese Arbeit wurde durch die Entwicklung einer kontext-spezifischen Ontologie zur Klassifizierung von informellen Siedlungen mit Quickbird-Daten erweitert bzw. verbessert. Denn eine objektorientierte Bildanalyse als Methode zur Detektion von Slums erfordert Expertenwissen in Form der lokalen Ontologie von Slums. So dienen ontologische Frameworks immer öfters dazu Slums zu definieren und bilden somit die Basis für bildbasierende Klassifikationen und Modellierungen (Shekhar 2013, Khelifa und Mimoun 2012, Blaschke et al. 2008).

Ebenfalls bauten Kohli et al. (2013) und Mathenge (2011) auf die Entwicklung eines ontologischen Frameworks, um Slums durch Indikatoren, welche sich auf die Morphologie der gebauten Umwelt beziehen, zu beschreiben (vgl. Abb.1). Diese so genannte *Generic Slum Ontology* bietet eine umfassende Beschreibung von räumlichen Merkmalen und deren Beziehungen, um Slums im Bild zu charakterisieren (Kohli D. et al. 2013). Die Idee dahinter ist das gemeinsame Verstehen eines Gebietes von Interesse, das dadurch den Informationsaustausch erleichtert (Shekhar 2013). Vor allem informelle Siedlungsgebiete

haben typische Textur- und Strukturinformationen, welche meist durch ihren informellen Status bestimmt sind (Hofmann 2001). Abbildung 1 zeigt das Konzept der Translation von Slumontologie zur objektbasierten Klassifikation.

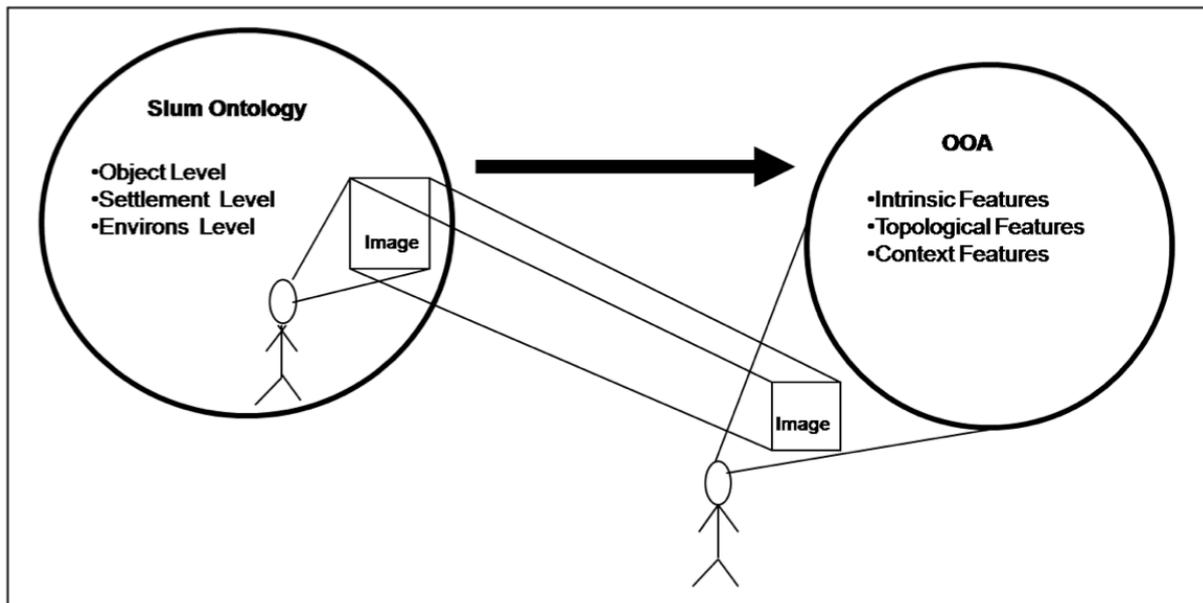


Abb. 1: Konzept der Translation von Slumontologie zur objektbasierten Klassifikation (Quelle: Mathenge 2011, S.34)

So haben Kohli et al. (2013) bildbasierende Parameter identifiziert, um Slums von Nicht-Slumgebieten zu trennen. Das Ergebnis zeigt, dass Texturmerkmale wie Entropie oder Kontrast, welche von der Grey Level Co-Occurrence-Matrix (GLCM) abgeleitet wurden, sowie die Größe der Bildsegmente, stabile Parameter für die Klassifikation und Identifikation von Slums sind. Beziehungen zu klassifizierten Slumobjekten, wie „umgeben von Slums“ oder „Grenze zu Slums“ wurden zusätzlich verwendet, um die Klassifikation zu verfeinern (Kohli D. et al. 2013).

In einer weiteren Studie von Kohli (2013) wird das Potenzial eines Ansatzes bestimmt, der die objektbasierte Bildanalyse mit dem Einsatz von Texturen und „Spatial Metrics“ kombiniert, um Slumgebiete in hochauflösenden Satellitenbildern zu detektieren. Die Bedeutung der Textur bei der Klassifikation von Slums und urbanen Gebieten zeigen auch die Studien von Kuffer 2011, Mhangara und Odi 2012, Shekhar 2013 und Belgiu et al. 2013. Tabelle 1 fasst wichtige Arbeiten zur Klassifikation von Slums mit Hilfe von Satellitenbildern zusammen.

Tab. 1: Überblick an Arbeiten zur Slumidentifikation durch Satellitenbilder

Autor(en)	Satellitenbilder	Methoden	Erkenntnis/Ergebnis
Hofman, P. (2001)	Ikonos <i>Kapstadt (ZAF)</i>	- Objektbasierte Landnutzungs- klassifikation - Verwendung von Texturmerk- malen - Informelle Gebiete durch Form- merkmale identifiziert	- Ikonos-Daten eignen sich zur Slumdetektion (ausge- nommen einzelne Hütten)
Aminipouri, M. (2009)	Orthophotos (2005, 0,6m) <i>Daressalam (TZA)</i>	- OBIA der Orthophotos - Informelle Dächer durch Blau- und Rot-Ratio klassifiziert	- Detektion der informellen Dächer zur Populations- abschätzung der Slum- bewohner
Kuffer, M. und Barros, J. (2011)	Quickbird (2007) <i>Daressalam (TZA)</i> Ikonos (2001/02) <i>Neu-Dehli (IND)</i>	- Extraktion von Spatial Metrics - Verwendung von Unplanned Settlement Index (basierend auf Größe, Dichte und Muster der Siedlungen)	- Identifizierung von Spatial Metrics zur Beschreibung der Morphologie von ungeplanten Siedlungen - Unterscheidung zw. geplanten und ungeplanten Gebieten
Mathenge, C.W. (2011)	GeoEye-1 (2009) <i>Kisumu, (KEN)</i>	- Erstellung einer lokalen Slum- ontologie - Verwendung von Spatial Metrics	- Durch Einzelparameter keine Slumidentifizierung möglich - Lokale Ontologie ist ein effektiver Weg zur Slumdetektion
Kohli, D. (2013)	Quickbird (2006) <i>Pune City (IND)</i>	- OBIA durch Slumontologie - Verwendung von Texturmerk- malen und Spatial Metrics	- Klassifikation der Slums mit einer Genauigkeit von 68%
Kohli et. al. (2013)	GeoEye-1 (2010) <i>Ahmedabad (IND)</i>	- Generic Slum Ontology - OBIA auf 3 Ebenen - Verwendung von Texturmerk- malen	- Klassifikation der Slums mit einer Genauigkeit von 47- 68% (3 Szenen) - Identifikation von stabilen Parametern

Da in Kairo ein trockenes Wüstenklima herrscht, ist es auch von Relevanz den Stand der Forschung im Bereich Klassifikation von Wüsten- und orientalischen Städten zu durchleuchten. Da vegetationsloser Boden in ariden Gebieten von Gebäuden und nichtasphaltierten Straßen, welche vor allem in Slums vorkommen, schwer zu trennen ist,

werden verschiedene Indizes und Ratiobänder erstellt, um die Klassen aufgrund ihrer spektralen Werte zu differenzieren. So haben Elsharkawy et al. (2012) in ihrer Studie eine Landnutzungsklassifikation in Ismailia, nordöstlich von Kairo, mit WorldView-2-Daten durchgeführt. Dabei wurden bei einer überwachten Klassifikation, neben dem traditionellen Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) neue Indizes berechnet und ausprobiert, um Klassen wie Asphalt, Schatten, Gebäude oder rote Dächer zu detektieren. Klassen wie Wasser, Vegetation, Schatten und Gebäude wurden erfolgreich ohne räumliche Attribute klassifiziert. Jamil (2010) führte unterschiedliche Klassifikationsmethoden durch, um die orientalischen Stadtstrukturen der Stadt Sanaa (Jemen) zu klassifizieren und visualisieren (Jamil 2010). Neben den Vergleich zwischen pixelbasierter und objektbasierter Klassifikation setzte Jamil textur- und kantenorientierte Verfahren ein, um die Stadtstrukturen zu erfassen. Verschiedene Ansätze und Methoden der Fernerkundung im ariden urbanen Raum wurden u.a. auch von Martinfar et al. (2007), Li et al. (2011) und Galletti und Myint (2014) getestet. Klassifikationen von Baublöcken werden in den meisten Fällen dazu verwendet, um Stadtstrukturen zu erheben und analysieren (Yoshida und Omae 2005, Wurm et al. 2010, Huck et al. 2011). Yoshida und Omae (2005) beispielweise untersuchten die Form und Strukturen von urbanen Merkmalen in Tokio. Als Untersuchungseinheit wurden Häuserblöcke verwendet. Dabei wurden die Beziehungen sowie die geographische Verbreitung von Blöcken interpretiert. Mehrerer Autoren haben sich mit urbanen Baublockgrenzen oder Grundstücksgrenzen beschäftigt, um Objekte durch die Beschreibung der Geometrie oder Flächen, welche wiederum durch Gebäude, Vegetation oder diversen Konstruktionsmaterialien abgedeckt werden, zu definieren (Bauer und Steinocher 2001, Novack et al. 2010, Huck et al. 2011). Um Baublöcke als Klassifikationseinheit zu generieren werden meistens Zusatzdaten, wie Vektordaten von Baublöcken (Wurm et al. 2010, Heldens 2010) oder Straßennetze (Louw und Sithole 2011, Beykaei et al. 2013) in den Segmentierungsschritt miteingebunden.

1.3.3 Aktueller Forschungsstand im Bereich geographischer Analysen von Slums

Die Anzahl der Literatur über strukturelle Analysen und Populationsberechnungen von Slums ist begrenzt. Die meisten Forschungen in diese Richtung gibt es für asiatische Metropolen. So führten Shafqaat et al. (2013) räumliche GIS-Analysen von Slumgebieten in Pakistan durch. In der Untersuchung wird versucht die räumlichen und zeitlichen Muster von Slums in Faisalabad zu beurteilen, um deren Verbreitung in Raum und Zeit zu analysieren. Zu den Analysen zählen die zeitliche Entstehung von Slums, die Konzentration von Slums entlang von Hauptstraßen oder die Entfernung zum Stadtzentrum. Dabei wurden die Slums als Punkte verortet und das Ergebnis in Prozentwerten dargestellt (Shafqaat et al. 2013).

Mit der räumlichen Verteilung und Muster urbaner Armut beschäftigte sich auch Nakamura (2009). Dazu wurden die räumlichen Muster der Bevölkerung, Armut und informellen Siedlungen in Manila durch das Vergleichen mehrerer thematischer Karten auf Stadt- und Metropolregion-Ebene analysiert. Des Weiteren wurden Netzwerke von Infrastruktureinrichtungen der Eisenbahn sowie Krankenhäuser in Manila durch die Kombination zweier Rasterkarten in einer Überlagerungskarte dargestellt und anschließend interpretiert.

Die unterschiedlichen physiognomischen und räumlichen Charakteristika von Slumgebieten und der Zusammenhang zwischen Erscheinung von Slums und der Topographie wurden zum Beispiel von Fernandez (2011) analysiert. Ziel der Arbeit ist die Erklärung, wie arme Menschen sich riskante Gebiete, in denen urbane Siedlungen verboten sind, angeeignet bzw. sich den dort herrschenden Gegebenheiten angepasst haben. Daraus resultieren Gebiete mit einzigartigen Formen, die sich den morphologischen Konditionen wie Hangneigung, Seehöhe oder geologisches Profil, und den riskanten Situationen angepasst haben. Fernandez beachtet es für wichtig, die physiognomischen und räumlichen Charakteristika von Slumgebieten zu präsentieren und analysiert deshalb die urbanen Formen.

Mit einer Strukturanalyse von Slums in Mumbai durch physiognomische Indikatoren beschäftigte sich Kraff (2011) in seiner Diplomarbeit. Dabei standen die baulich-charakteristischen Merkmale im Vordergrund. Mit den Größen Dichte, Gebäudegröße und Höhe der Gebäude wurden Unterschiede innerhalb eines Slums sowie zwischen den Slums herausgestellt. Aus den Faktoren wurden physiognomische Strukturparameter wie Heterogenitäts-Dichte-Parameter oder Nearest-Neighbor berechnet und anschließend auf unterschiedlichen Maßstabsebenen angewendet. Die Datenanalyse erfolgte mit Hilfe eines GIS. Durch das Hinzuziehen von empirischen Befragungen konnten Aussagen über die Vulnerabilität der Slums getätigt werden (Kraff 2011).

Neben all den Methoden und Techniken für die Erfassung, Beobachtung und Abbildung von informellen Siedlungen, ist die zeitliche und genaue Schätzung der Slumbevölkerung ein wichtiger Punkt für Regierungen, Entscheidungsträger und unterschiedlichen Gemeinschaften (Aminipouri 2009). Die Möglichkeiten und Ansätze Bevölkerungsdaten und ihre Verteilung mit Hilfe der Fernerkundung zu bestimmen sind groß. Die Geschichte der Bevölkerungsabschätzung durch Fernerkundung lässt sich laut Lo (2008) bis in die 1970er Jahre zurückverfolgen, als Flächenaufnahmen dazu benutzt wurden, um die Bevölkerung zwischen den Volkszählungen zu schätzen oder um die Genauigkeiten der Volkszählungen zu überprüfen. Im Grunde lassen sich vier Ansätze der Bevölkerungsabschätzung durch Fernerkundung unterscheiden (Lo 1986): Zählung der Behausungseinheiten, Messung der

urbanisierten Flächen, Messung der Gebiete mit unterschiedlicher Landnutzung und automatische digitale Bildanalyse.

In letzter Zeit veröffentlichte Studien, die eine Bevölkerungsabschätzung in Slumgebieten untersuchen, verwenden vermehrt einen objektbasierten Ansatz, um eine Landnutzungsclassifikation zu erhalten. Diese bildet die Grundlage für unterschiedliche Berechnungen bzw. Schätzungen der Bevölkerung.

So hat Aminipouri (2009) informelle Siedlungen in Daressalam untersucht. Dabei wurden Orthophotos für eine objektbasierte Analyse verwendet. Die daraus extrahierten Dachflächen wurden für ein Roof-Area-Modell verwendet, dass durch die Dachflächen pro Person und die extrahierte Bebauungsfläche, die Gesamtpopulation eines Gebietes berechnet.

Kanjir et al. (2012) verwendeten für Slumgebiete in Nairobi QuickBird- und GeoEye-1-Bilder und berechneten für jedes Dorf die Totalfläche der Gebäude. Sie schätzten die Bevölkerung mit Hilfe der Dichte/Fläche-Methode durch Informationen von Landnutzungsclassen von Wohngebieten, welche von einer objektbasierten Klassifikation stammen. Außerdem wurden verschiedene Behausungsszenarien durchgeführt um Populationsfluktuationen zu beachten.

Einen Schritt weiter gehen Wurm et al. (2009), die neben hochauflösenden Satellitendaten auch ein digitales Oberflächenmodell zur Schätzung der Bevölkerung verwendeten. Dabei wurden fünf unterschiedliche Gebäudeklassen bestimmt und mit dreidimensionalen Informationen versehen. Offizielle Bevölkerungszahlen der Städte dienten als externer Input für eine räumliche Disaggregation, um bei einem möglichen Hochwasser die potentiell betroffene Bevölkerung bestimmen zu können.

Einen ähnlichen Ansatz nutzten Almeida et al. (2011), um die Veränderung der Einwohnerzahl in einem ausgewählten Slum in Rio de Janeiro zu schätzen. Alle zuvor klassifizierten Wohngebiete wurden summiert und mit Höheninformationen versehen. Anschließend wurde die Bevölkerungsdichte aus einer früheren Zählung auf das gesamte Gebiet extrapoliert. Die Methoden hängen von Gebietsgröße, zur Verfügung stehenden Daten und Art der Siedlungen ab.

1.4 METHODENAUSWAHL UND BEGRÜNDUNG DER HERANGEHENSWEISE

Punkt 1.3 gibt einen guten Überblick über den „State of the Art“ in den unterschiedlichen Forschungsbereichen. Hier wird nun explizit darauf eingegangen, welche Methoden in diese Arbeit einfließen und die Herangehensweise begründet.

Ein Methodenmix aus Literaturrecherche, quantitativen Fernerkundungsmethoden und GIS-basierten Analysen wird angewendet, um die zentralen Aufgabenstellungen der Arbeit zu

beantworten. Umfangreiche Literaturrecherchen kommen dabei in allen Kapiteln zum Einsatz.

Zu aller erst gilt es die Siedlungstypen in Kairo zu definieren und zu differenzieren. Dieser Schritt ist auch für die Bildung der lokalen Ontologie von Bedeutung und geht mit einer intensiven Literaturrecherche einher. Dabei wird auf die Definitionen von Sims (2002) und Solimann (2004) zurückgegriffen, die sich bereits intensiv mit den Slumtypen in Kairo und Ägypten beschäftigt haben und auf deren Definitionen in vielen weiteren Publikationen zurückgegriffen wird.

Durch die Zunahme der Verfügbarkeit von hochauflösenden Satellitenbildern und der Fortschritt an Klassifikationsmethoden in der Fernerkundung hat die objektbasierte Klassifikation zunehmend an Bedeutung gewonnen. Vor allem für urbane Aufgabenstellungen wird der objektbasierte Ansatz als geeignet erachtet. So wurde die objektbasierte Klassifikation bereits 2001 von Hofmann zur Slumdetektion genutzt. Durch die Bereitstellung von WorldView-2 Daten fällt die Wahl schließlich auf eine objektbasierte Klassifikation. Viele Informationen für die Findung von Parametern für die Slum- und Landnutzungsklassifikation bietet die Arbeit von Elsharkawy (2012). Der Großteil der Parameter zur Klassifizierung wird hingegen explorativ gefunden.

In jüngster Zeit kommt die objektbasierte Bildanalyse durch Integration von semantischen Informationen bzw. Ontologien vermehrt zum Einsatz. Für die methodische Vorgehensweise dieser Thesis ist die Arbeit von Kohli et al. (2013) relevant. Die Allgemeine Slumontologie von Kohli wird als Grundlage zum Aufbau einer lokalen Ontologie für Kairo genutzt. Durch die Anpassung auf die örtlichen Begebenheiten wird eine lokale Ontologie für die Metropolregion Kairo erstellt. Die lokale Ontologie wird in den Klassifikationsprozess miteingebunden und dient zur Regel- und Parameterfindung. Wie bei Kohli werden die informellen Siedlungen auf drei Ebenen identifiziert.

Die Grundlage der anschließenden Analysen bildet eine analoge Klassifikation. Diese Vorgehensweise wurde bereits von Kraff (2011) benutzt, um Slums in Mumbai zu untersuchen. Diese Vorgangsweise wird aufgrund der ähnlichen Thematik und der Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gewählt. Zusätzlich kommt die analoge Klassifikation ohne multispektrale Satellitenbildern aus und bietet den Vorteil der Genauigkeit. So kann das gesamte Stadtgebiet kostengünstig klassifiziert werden.

Bei der Auswahl der Strukturparameter für die GIS-basierten Analysen sind die Arbeiten von Kraff (2011) und Shafqaat et al. (2013) hilfreich. Die Bevölkerungsabschätzung in den informellen Siedlungen wird durch eine Anpassung der Formel von Wurm et al. (2009) durchgeführt.

1.5 AUFBAU UND GLIEDERUNG DER ARBEIT

Dieser Unterpunkt gibt einen Überblick über die Inhalte in den einzelnen Kapiteln. Dabei wird kapitelweise vorgegangen.

Kapitel 1 Einleitung

Das erste Kapitel soll an das Thema der Arbeit heranzuführen und einen Überblick über den Aufbau dieser Masterarbeit geben. Nach der Einleitung folgt ein Literaturreview des Forschungsstands zu den Themen Slums und informelle Siedlungen, Methoden der Fernerkundung, um Slums zu klassifizieren, sowie Techniken der Bevölkerungsabschätzung. Zusätzlich werden die Probleme sowie Herausforderungen skizziert und in Forschungsfragen zusammengefasst.

Kapitel 2 Informelle Siedlungen und Slums in Greater Cairo

Nach den einleitenden Informationen in Kapitel eins beschäftigt sich Kapitel zwei mit der Beantwortung der ersten Forschungsfrage. Dabei wird die schwierige Frage der einheitlichen Definition von Slums sowie deren Unterscheidung zu informellen Siedlungen behandelt. Zudem wird das Untersuchungsgebiet festgelegt und die verschiedenen Unterteilungen und Typen von informellen Siedlungen in Kairo dargestellt. Die Typisierung der informellen Siedlungen ist essentiell für die anschließend durchgeführten Analysen.

Kapitel 3 Objektbasierte Klassifikation der informellen Siedlungen in Greater Cairo

Kapitel drei bildet gemeinsam mit Kapitel vier den eigentlichen Kern der Arbeit. In diesem Kapitel wird eine lokale Ontologie erstellt, die zur Regelfindung für die anschließende Klassifikation dient. Zuvor werden die Klassifikationsgrundlage sowie die Vorverarbeitungsschritte der verwendeten Satellitenbilder beschrieben. Eine objektbasierte Klassifikation wird auf drei Ausschnitten angewendet. Anschließend werden die verwendeten Merkmale in den einzelnen Klassen sowie die Unterscheidung zwischen den Siedlungstypen beschrieben. Eine Genauigkeitsanalyse gibt Aufschluss über die Unterscheidbarkeit der Klassen und auftretenden Problemen.

Kapitel 4 Vergleich der informellen Siedlungen in Hinblick auf Bevölkerungsdichte, physiognomischen Strukturen und Entwicklung über die Zeit

Die Grundlage für Kapitel vier bildet eine analoge Klassifikation der Baublöcke im GIS. Im ersten Teil des Kapitels werden aufgrund verschiedener Ausgangsdaten Populationsberechnungen durchgeführt und miteinander verglichen. Danach werden die Unterschiede zwischen den Slumtypen und den informellen Siedlungen in den Gouvernements aufgrund physiognomischer Strukturmerkmale analysiert, statistisch ausgewertet und in Diagrammen präsentiert. Im dritten und letzten Abschnitt des Kapitels werden die Entwicklungen und Veränderungen der Bebauungsstrukturen von 1984 bis 2011 untersucht.

Kapitel 5 Ergebnispräsentation und Ausblick

Im letzten Kapitel werden die Forschungsfragen nochmal aufgegriffen und beantwortet. Die Ergebnisse werden interpretiert und die gewonnen Erkenntnisse resümiert und diskutiert. Des Weiteren wird aufgezeigt, an welcher Stelle zukünftig weiterer Forschungsbedarf besteht und inwiefern die Ergebnisse weiterverwendet werden können.

2 INFORMELLE SIEDLUNGEN UND SLUMS IN GREATER CAIRO

In diesem Kapitel wird die Thematik der fehlenden einheitlichen Definition von Slums aufgegriffen, sowie deren Charakteristika und die Unterscheidung zu informellen Siedlungen beschrieben. Anschließend folgen die Beschreibung des Untersuchungsgebietes und die Entstehung der Siedlungen in der Metropolregion. Des Weiteren wird die Situation in Kairo beschrieben, wie viele Einwohner in den informellen Siedlungen leben und wie sie sich unterscheiden.

2.1 DEFINITION VON SLUMS UND INFORMELLEN SIEDLUNGEN

Der Begriff *Slum* wurde Anfang des 19. Jahrhunderts erstmals erwähnt und bedeutete soviel wie „Gauerei“ oder „kriminelle Machenschaften“. Da Gebiete mit sehr schlechten Behausungen und unhygienischen Verhältnissen ein Auffangbecken für kriminelle Taten und Ausgangsquelle für Epidemien waren, wurde das Wort Slum bald zur Identifikation dieser Gebiete verwendet (Davis 2006, S.26). Heute ist das umfassende Wort lose und abfällig, hat viele Bedeutungen und kann sogar innerhalb einer Stadt variieren (UN-Habitat 2003, S.9). Große Unterschiede gibt es auch in Studien und Politik, wie das Phänomen Slum und die damit verbundenen Probleme angefasst werden sollen.

Die wohl verbreitetste und geläufigste Definition des Begriffs Slums stammt aus dem UN-Bericht *The Challenge of Slums* aus dem Jahr 2003. Im Bericht wird der Begriff Slum verwendet, um das breite Spektrum von einkommensschwachen Siedlungen und/oder unmenschlichen Lebensbedingungen zu beschreiben. Mit einem Satz lässt sich ein Slum als „*stark bevölkertes städtisches Gebiet, das durch minderwertigen Behausungen und Elend gekennzeichnet ist*“ wiedergeben. Diese Definition beinhaltet die essentiellen Charakteristika eines Slums: Hohe Dichte, niedriger Standard der Behausungen und Armut. Die ersten beiden Kriterien sind physisch und räumlich, während das dritte Kriterium sozial und verhaltensbezogen ist. Die Behausungen in solchen Siedlungen können dabei von einfachen Hütten bis zu mehr oder weniger permanenten Strukturen variieren. Obwohl der Begriff „Slum“ ein leicht zu verstehender Oberbegriff ist, steht er für doch recht unterschiedliche Siedlungen und Communities (UN-Habitat 2003, S.8-9).

2.1.1 Slumindikatoren

Das Problem Slums quantitativ zu messen, beginnt mit der oben besprochenen fehlenden einheitlichen Definition. Aufgrund dessen wurden Slums bisher nicht in herkömmlichen Beobachtungsinstrumenten und demographischen oder globalen Erhebungen eingebunden. Einige Erhebungen liefern abgeleitete Variablen wie „Anteil an unautorisierten Behausungen“ oder „Anteil an Hütten“. Teilnehmende Armutsschätzungen in vielen Entwicklungsländern liefern nur qualitative Informationen über die urbane Armut (UN-Habitat 2003, S.10).

Slums und informelle Siedlungen sind zu komplex, um sie mit einem Parameter bestimmen zu können. Zudem sind Slums ein relatives Konzept, denn was in einer Stadt als Slum gilt, kann in einer anderen als angemessen gelten. Selbst im selben Land können unterschiedliche Auffassungen existieren. Des Weiteren sind lokale Variationen von Slums zu weit gestreut, um eine einfache Definition global anwenden zu können. Slums sind auch sehr dynamisch und ändern sich zu schnell, um die Definition über ein Kriterium über lange Zeit zu machen.

Einige Charakteristika von Slums wie Zugang zu physikalischen Dienstleistungen oder die Dichte können eindeutig definiert werden. Merkmale wie soziales Kapital hingegen nicht. Selbst mit gut definierten Indikatoren kann eine Messung problematisch sein und akzeptable Richtwerte und Parameter sind nicht einfach zu bestimmen.

Im globalen Bericht über menschliche Siedlungen der Vereinten Nationen (UN-Habitat 2003, S.11) wird ein Überblick über unterschiedliche Definitionen, die von lokalen und nationalen Regierungen, Statistikämtern oder Institutionen, die sich mit dem Thema Slums beschäftigen, gegeben, der folgende Attribute, die Slums bzw. informelle Siedlungen beschreiben, offenbart:

- Das Fehlen an Grundversorgungen
- Minderwertige Behausungen oder illegale und unzureichende Bausubstanzen
- Überbevölkerung und hohe Bevölkerungsdichte
- Gesundheitsschädliche Lebensbedingungen und gefährlicher Standort
- Unsicher Mietverhältnisse, informelle Siedlungen
- Armut und soziale Ausgrenzung
- Mindestgröße der Siedlung

Durch die Kombination der oben genannten Faktoren lassen sich Slums bzw. informelle Siedlungen bestimmen. Die Erfüllung eines einzelnen Charakteristikums identifiziert jedoch noch kein Slumgebiet. Einige Gebiete weisen nur einige dieser Attribute auf, Extremfälle hingegen alle.

Um eine allgemein gültige und einsatzfähige Definition zu haben wird von der United Nations Expert Group Meeting (EGM) eine vereinfachte Kombination der oben aufgezählten Faktoren empfohlen. Dabei werden die schwer zu betrachtenden sozialen Dimensionen außer Acht gelassen (UN-Habitat 2003, S.12). Demnach ist ein Slum ein Gebiet, das folgende Charakteristika zu unterschiedlich starken Ausprägungen kombiniert:

- Ungenügender Zugang zu sauberem Wasser
- Ungenügender Zugang zu sanitären Einrichtungen und anderen Infrastrukturen
- Schlechter Zustand der Behausungen
- Überbevölkerung
- Unsichere Mietverhältnisse

Für diese Merkmale werden, insofern möglich, von der Entwicklungsagenda *The Millennium Development Goals* (MDG) Indikatoren und Schwellenwerte vorgeschlagen (vgl. Abb.2). Diese Indikatoren sind provisorisch und unterliegen internationalen Feldtests für die Eignung, Robustheit und der Einhaltung von verfügbaren Quellen. Zusätzlich wird vorgeschlagen, dass lokale Modifikationen der Indikatoren vorgenommen werden sollen, solange sie über längere Zeit beständig angewendet werden (UN-Habitat 2003, S.12).

Characteristic	Indicator	Definition
Access to water	Inadequate drinking water supply (adjusted MDG Indicator 30)	A settlement has an inadequate drinking water supply if less than 50% of households have an improved water supply: <ul style="list-style-type: none"> • household connection; • access to public stand pipe; • rainwater collection; with at least 20 litres/person/day available <i>within an acceptable collection distance</i> .
Access to sanitation	Inadequate sanitation (MDG Indicator 31)	A settlement has inadequate sanitation if less than 50% of households have improved sanitation: <ul style="list-style-type: none"> • public sewer; • septic tank; • pour-flush latrine; • ventilated improved pit latrine. The excreta disposal system is considered adequate if it is private or shared by a <i>maximum of two households</i> .
Structural quality of housing	a. Location	Proportion of households residing on or near a hazardous site. The following locations should be considered: <ul style="list-style-type: none"> • housing in geologically hazardous zones (landslide/earthquake and flood areas); • housing on or under garbage mountains; • housing around high-industrial pollution areas; • housing around other unprotected high-risk zones (eg railroads, airports, energy transmission lines).
	b. Permanency of structure	Proportion of households living in temporary and/or dilapidated structures. The following factors should be considered when placing a housing unit in these categories: <ul style="list-style-type: none"> • quality of construction (eg materials used for wall, floor and roof); • compliance with local building codes, standards and bylaws.
Overcrowding	Overcrowding	Proportion of households with more than two persons per room. The alternative is to set a minimum standard for floor area per person (eg 5 square metres).
Security of tenure	Security of tenure (MDG Indicator 32)	<ul style="list-style-type: none"> • Proportion of households with formal title deeds to both land and residence. • Proportion of households with formal title deeds to either one of land or residence. • Proportion of households with enforceable agreements or any document as a proof of a tenure arrangement.

Note: i 'Well' and 'spring' are considered acceptable sources in the original MDG indicator but are almost certain to be polluted in urban areas.
Sources: adapted from UN-Habitat, 2002a, 2002b.

Abb. 2: Indikatoren und Schwellenwerte um Slums zu definieren (UN-Habitat 2003, S.12).

2.1.2 Arten von Slums

Neben den verschiedenen Definitionen gibt es auch innerhalb von Slums Unterscheidungen. Laut den Vereinten Nationen (UN-Habitat 2003, S.9) kann zwischen zwei Hauptarten von Slums unterschieden werden: *Slums of Hope* und *Slums of Despair*. Die Zweiteilung wird in vielen Publikationen genannt, wie zum Beispiel in Putnam et. al (2007, S.413) oder Flessa (2012, S.177), um das Phänomen Slum zu differenzieren. Die beiden Begriffe wurden in den 1960er Jahren von Charles Stokes eingeführt, um das Augenmerk auf die in Slums verfügbaren Ressourcen zu legen, die den Bewohner dienen, sich selbst aus ihrer Misere zu befreien.

Slums of Hope entstehen, wenn Städte eine große Anziehungskraft auf die Landbevölkerung ausüben. Die Anziehungskraft ist vor allem durch das Vorhandensein und der Sicherheit von Arbeitsplätzen gegeben. *Slums of Hope* dienen oft nur als Zwischenstation für die Landbevölkerung, die nach einer gewissen Zeit in bessere Wohngegenden ziehen (Flessa 2012, S.177). Diese Siedlungen sind auch durch neue, hauptsächlich selbstgebaute und illegale Strukturen gekennzeichnet, die Entwicklungs- und Verbesserungsprozesse durchlaufen. Die kontinuierliche Verbesserung der Behausungen, die von den Bewohnern selbst durchgeführt werden und welche im Großteil der Slums weltweit vorhanden ist, werden als Bestätigung der bestehenden „selbsteilenden“ Kraft gesehen, welche die *Slums of Hope* charakterisieren. Dazu zählen dynamische und hauptsächlich informelle kleine Handels- und Serviceunternehmen, die das gewerbliche Leben der meisten Slums formen. Beide scheinen auf den starken Willen und die Fähigkeit der Bewohner, ihren eigenen Lebensstandard zu verbessern, hinzudeuten (Nuissl und Heinrichs 2013, S.111).

Slums of Despair hingegen bezeichnen Gebiete in denen die Ressourcen und finanziellen Mittel der Bewohner zu gering sind, um eine positive Entwicklung zu ermöglichen. Die beschränkten Ressourcen sind auf Armut, Fehlen von finanziellem und sozialem Kapital und der vorherrschenden Anomie zurückzuführen (Nuissl und Heinrichs 2013, S.111). Sie sind das Ergebnis eines wachsenden Zuzugs vom Land ohne die entsprechenden Sogfaktoren der Stadt. Die Bewohner von *Slums of Despair* leben in großer Armut und haben kaum Chancen das Wohngebiet zu verlassen, um ihren Status zu verbessern. Diesen Gebieten fehlt es an Sozial- und Infrastrukturen (Flessa 2012, S.177). Sie sind das Ergebnis einer längeren sozialen Abwärtsentwicklung, welche auch als Sukzession bezeichnet wird. Sie sind gekennzeichnet durch einen starken städtebaulichen Verfall, Vernachlässigung durch Politik und der öffentlichen Hand, Verschlechterung der Lebensbedingungen und Arbeitsmöglichkeiten (Spektrum.de 2001). Zusätzlich zu den oben genannten, gibt es noch: *Federal Slums* und

Squatter Settlements. Als *Federal Slums* werden Slumgebiete bezeichnet, die im Rahmen des sozialen Wohnungsbaus geplant wurden und in öffentlicher Hand sind. Sie werden von der Stadtverwaltung an äußerst ungünstigen Standorten angelegt, wie z.B. an Autobahnen, Müllkippen oder in der Nähe von umweltbelastenden Industrien. Zumeist fehlt ihnen auch die Möglichkeit der Stabilisierung über den Arbeitsmarkt. Der dritte Unterscheidungstyp sind *Squatter Settlements*, oder auch Hüttenviertel genannt. Sie sind Marginalsiedlungen, die in Entwicklungsländern am Rande von Agglomerationen errichtet wurden. Sie sind aus einfachsten Materialien gebaut, weisen eine sehr hohe Bevölkerungsdichte und eine höchst defizitäre Infrastruktur auf. Sie beruhen auf einer illegalen Landnahme und offiziell werden auch keine Mieten bezahlt (Spektrum.de 2001).

2.1.3 Unterscheidung zwischen Slums und informellen Siedlungen

Wie im vorherigen Abschnitt ersichtlich, gibt es für Slums unterschiedliche Definitionen und Unterteilungen. Da sich diese Arbeit sowohl mit Slums als auch informellen Siedlungen beschäftigt, werden die Unterschiede zwischen den beiden Begriffen erläutert, zumal diese oft fälschlicherweise synonym verwendet werden. So werden Slums oder Squattersiedlung oft als informelle Siedlung bezeichnet, da sie als abfällige Wörter gelten.

Das Wort informell ist dem Begriff „formell“ entgegengesetzt. Formell bedeutet „dem Gesetz oder der Vorschrift nach“, „offiziell“ oder „bestimmten gesellschaftlichen Formen genau entsprechend“. Demnach lassen sich informelle Siedlungen als nicht nach Standardvorschriften entstanden und inoffiziell beschreiben (Brillembourg et al. 2005, S.298). Neben der genannten informellen Bautätigkeit schließt der Begriff Informalität in Bezug auf Siedlungen, unregelmäßige und illegale Aktivitäten (wie z.B. Drogenschmuggel), an Personen gebundene Arrangements in persönlichen Netzwerken, und vor allem den informellen Sektor mit ein. Zu dem weitgefassten Spektrum der informellen Wirtschaft zählen bspw. Straßenhändler, nicht registrierte Beschäftigte sowie Müllsammler oder Bettler (Gebhardt et al. 2007, S.879-880).

Der oft benutzte Begriff Slum für die randstädtischen Elendssiedlungen ist im Grunde nicht zutreffend. Slums im eigentlichen Sinne sind im Gegensatz zu den randstädtischen informellen Siedlungen innerstädtische Notquartiere (vgl. *Slums of Despair*). Die Unterkünfte der Arbeiter waren früher die Behausungen der Mittel- und Oberschicht, die von ihren vorherigen Bewohnern verlassen wurden. Charakteristisch für Slums sind die verkommene Bausubstanz, eine hohe Wohn- und Bevölkerungsdichte, sowie ein hohes Maß an sozialem Verfall (Kreus und Von der Ruhren 2008, S.326).

Informelle Siedlungen sind im Allgemeinen neue und ungeplante Stadtviertel in Entwicklungsländern. Sie befinden sich meistens in der Peripherie von großen Städten bzw. an Standorten, die nur schwer zu besiedeln sind. Sie bestehen aus provisorisch gebauten Unterkünften (Bündnis Entwicklung Hilft und UNU-EHS 2014, S.14) und sind typischer für die Stadtstrukturen in Entwicklungsländern. Die Kriterien für Slums, wie sehr niedriges Einkommen oder hohe Wohndichte, treffen zumeist auch auf die Marginalsiedlungen zu. In den informellen Siedlungen herrscht eine große Dynamik. Die Bewohner haben das Bestreben nach einem sozialen und wirtschaftlichen Aufschwung und dadurch besteht die Möglichkeit, dass sich die Siedlungen zu respektablen Vororten entwickeln (Kreus und Von Der Ruhren 2008, S.326). Verglichen mit den eigentlichen Slums besitzen informelle Siedlungen eine unzureichende Infrastruktur. Die Bauten werden gewerblich oder privat benutzt und zumeist auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ohne Genehmigung und Eigentumstitel errichtet. Dabei ist der Landraub ein gravierendes Problem. Das Resultat eines hohen Landwerts sind zu enge Straßen und das Fehlen von öffentlichen Einrichtungen. Informelle Siedlungen erhalten keine Subventionen, finanzieren sich automatisch und können so mit der Nachfrage mithalten (Meyer-Wieser 2014, S.164).

In den nachfolgenden Kapiteln werden die beiden Begriffe Slum und informelle Siedlungen aufgrund der Überschaubarkeit bedeutungsgleich verwendet. In Kapitel 2.5 werden die Unterscheidungen der Typen im lokalen Kontext von Kairo ausführlicher behandelt.

2.2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das in dieser Arbeit untersuchte Gebiet ist die Metropolregion Greater Cairo (GCMA) in Ägypten. Ägypten hat eine Fläche von rund 1.Mio. km² und grenzt an das Mittelmeer sowie an das Rote Meer. Die Landschaft wird durch ein weitläufiges Wüstenplateau bestimmt, welches durch den Nil und das Nildelta unterbrochen wird. Ägypten ist durch ein Wüstenklima geprägt, welches durch heiße und trockene Sommer und moderate Winter gekennzeichnet ist. Der Nil ist die einzige ganzjährige Wasserquelle und somit Grund für die Bevölkerungskonzentration an dessen Ufern. In Ägypten leben geschätzte 87 - 90 Millionen Menschen (Jänner 2015, CAPMAS). Die Bevölkerungswachstumsrate liegt bei 1,79 % (2015) und die Urbanisierungsrate bei 1,68% (2010-2015). Im Jahr 2015 lebten geschätzte 43,1% der Gesamtbevölkerungen im urbanen Raum (Central Intelligence Agency 2015).

Das auffälligste Verbreitungsmuster ist die Ansiedlung der Stadt Kairo entlang des Nils. Satellitenbilder zeigen, dass sich die Stadt in alle Richtungen ausbreitet (vgl. Abb. 3). Durch die Errichtung des Assuan-Staudamms im Jahr 1976 wurde aufgrund der Flussregulierung die

Bebauung auf den fruchtbaren Nilbänken möglich. Der Blick auf ein Satellitenbild zeigt auch die enorme Ausbreitung der Stadt auf Wüstengebiet. Aufgrund des sehr starken Bevölkerungsdrucks wurden neue Stadtteile geplant und gebaut. Diese sogenannten Satellitenstädte, auch „New Towns“ genannt, trugen nicht wirklich zur Entlastung der Stadt bei, da sie für die meisten Ägypter nicht bezahlbar sind. In den letzten Jahren hat die städtische Entwicklung auf Wüstenboden zugenommen. Diese Gebiete bieten dezentralisiertes Wohnen, Einkaufsmöglichkeiten sowie neues Geschäftsleben. Durch das Versagen der ägyptischen Regierung bezahlbare Unterkünfte für eine große Anzahl der Einwohner zu Verfügung zu stellen, begann die Bevölkerung halblegale und illegale Häuser auf privaten und öffentlichen Land zu bauen. In diesen informellen Siedlungen leben ca. 70% der Bewohner von Greater Cairo (Kipper 2009, S.15).

GCMA besteht aus dem Gouvernement Kairo, sowie den urbanen Teilen der Gouvernements Giza und Qalyubia. Gouvernements sind die obersten administrativen Unterteilungen in Ägypten, sodass es keine administrative Struktur gibt, die ganz GCMA beinhaltet. Dennoch gibt es einige Dienstleistungsanbieter und Behörden (z.B. Wasser und öffentlicher Transport), die für ganz Greater Cairo zuständig und verantwortlich sind.

Für die meisten Investitionen und tagesaktuellen Administrationen wird GCMA durch folgende Zusammensetzung der drei Gouvernements und deren administrativen Bezirke organisiert (Sims 2002, S.3-4):

- Gouvernement *Kairo*: 26 Bezirke
- Gouvernement *Giza*: 5 Bezirke der Stadt Giza und Randgemeinden
- Gouvernement *Qalyubia*: 2 Bezirke von Shubra El Kheima City und Randgemeinden

2.3 GESCHICHTE DER SLUMENTWICKLUNG IN GCMA

Informelle Entwicklung ist die dominante Art der Urbanisierung in Entwicklungsländern wie Ägypten und wird es auch weiterhin sein. Informelle Siedlungen entstehen hauptsächlich am Stadtrand, vor allem auf in Privatbesitz befindliche Landwirtschaftsflächen und teilweise auch auf staatlichen Wüstenflächen. Trotz langjähriger Versuche der Regierung, das ungeplante Wachstum auf Landwirtschaftsflächen einzuschränken, leben um Kairo mehr als sieben Millionen Menschen in informellen Siedlungen (Sims und Séjourné 2008, S.31).

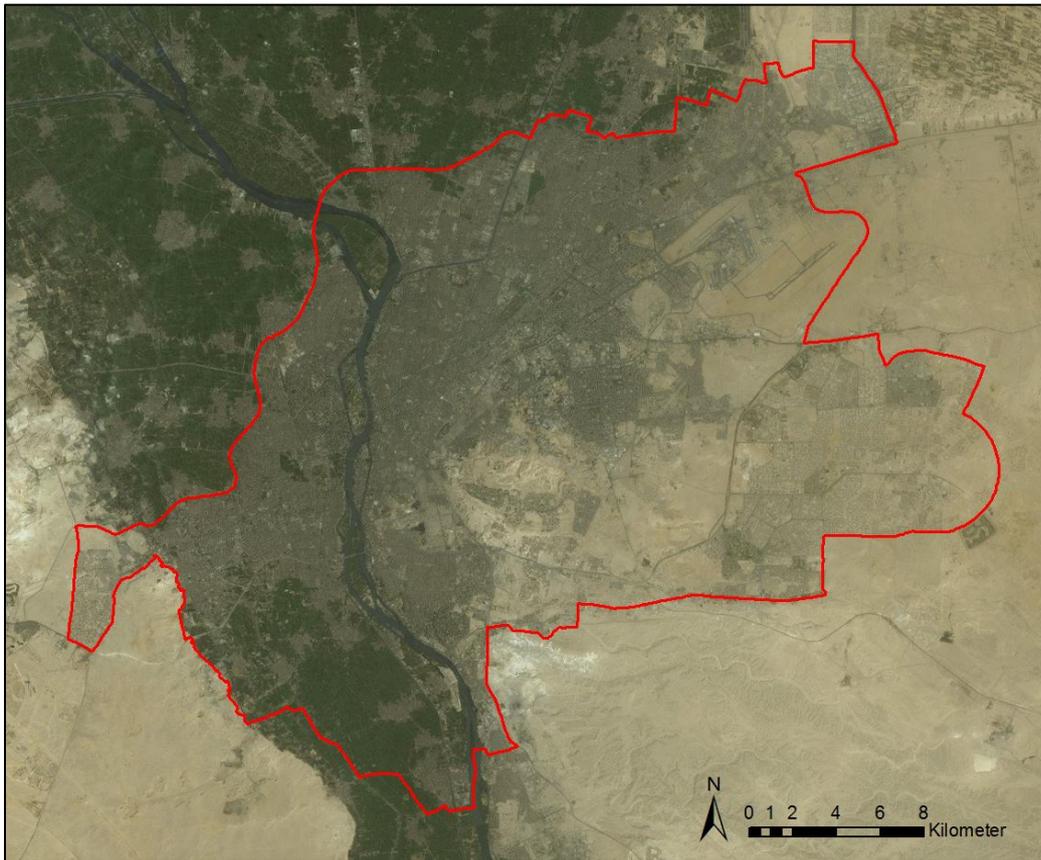


Abb. 3: Untersuchungsgebiet Greater Cairo Metropolitan Area (Quelle: Satellitenbild: GeoEye-1 (DigitalGlobe)).

In der Metropolregion Greater Cairo begann das Phänomen „Slumentwicklung“ nach dem zweiten Weltkrieg, als Folge der starken Zuwanderung aus Nordägypten und dem Nildelta. Die ersten Migranten ließen sich in zentralen und historischen Bezirken nieder, wo sie Wohnungen und Räume mieteten und teilten. Nach geraumer Zeit konnten sich einige der Bewohner Häuser am Rande der Dörfer im Umland von Kairo leisten. Dazu zählen Teile von Imbaba oder Agouza im Gouvernements Giza, in denen der Bodenmarkt günstiger war als im Zentrum Kairos. Diese Periode wird als Beginn der Squatterbildung auf staatlichem Land angesehen. Dies geschah vor allem in den östlichen Teilen der Hauptstadt, wie Manshiet Nasser oder Kum Ghurab im Gouvernement Kairo.

In den 1960er Jahren beschleunigte sich der informelle Urbanisierungsprozess. Die jährliche Bevölkerungswachstumsrate der Region Greater Cairo betrug zwischen 1960 - 1966 4,4%. Diese Periode gilt als die erste Expansionsphase von informellen Siedlungen, welche hauptsächlich auf den landwirtschaftlichen Flächen im Westen und Norden der Stadt vorstatten ging. Trotz der hohen Produktivität der Landwirtschaft, lohnte sich der Verkauf von Häusern und Parzellen mehr. Die Urbanisierung der Nutzflächen hatte eine horizontale Ausbreitung der umliegenden Dörfer zu folge. Die ab dieser Zeit vom Staat erlassenen Gesetze, welche informelle Bautätigkeiten verboten, wurden aufgrund der vorlaufenden Migration und stark wachsender Bevölkerung nicht beachtet. Familien, die sich ein Stück

Land nicht leisten konnten, bauten auf Land in Staatsbesitz (Séjourné 2009, S.17). Dadurch wuchsen die informellen Siedlungen auf Wüstenland stark weiter. In den 1970er Jahren begann eine neue Phase der informellen Urbanisierung, die noch stärker als die vorhergehenden war. 84% der zu dieser Zeit in Greater Cairo entstandenen neuen Häuser waren illegal (ABT Associates Inc. et al. 1982, S.2). Am Ende der 1970er Jahre wurde die „New Towns Politik“ vorgestellt, mit dem Ziel die urbanen Probleme zu lösen. Die Aufgabe bestand darin, den Bevölkerungszuwachs von den landwirtschaftlichen Flächen in öffentliche Unterkünfte auf Wüstenboden am Stadtrand auszulagern. Im Endeffekt wurden die Behausungen in den New Towns für die obere Mittelschicht gebaut und waren für arme Familien nicht bezahlbar.

In den 1980er Jahren nahm der Zuwachs der informellen Siedlungen in Greater Cairo ab. Hauptgrund war die Abnahme der Emigration von Arbeitern in benachbarte Ölländer, die durch gute Verdienstmöglichkeiten den Boom vom Häuserbau ermöglichten (Séjourné 2009, S.18). Ein weiterer Grund war die Abnahme der Bevölkerungswachstumsrate auf 2,8% zwischen 1976 und 1986. In diesen Jahren stoppte die Landflucht fast ganz (Bayat und Denis 2000, S.189).

Obwohl während der 90er Jahre keine neuen informellen Bezirke wie in den 70ern entstanden, weiteten sich die bestehenden informellen Siedlungen aus. In Kairo dehnten sich die Siedlungen beträchtlich aus und wurden sehr dicht. Die Bevölkerungswachstumsrate in informellen Gebieten erreichte zwischen 1986 und 1996 einen jährlichen Wert von 3,38%. In formellen Gebieten hingegen lag der Wert bei nur 0,3% (Denis und Séjourné 2002, S.27).

2.4 FRAGE NACH DER BEVÖLKERUNGSANZAHL IN GREATER CAIRO

In diesem Unterpunkt soll die schwierige Frage nach der aktuellen Einwohnerzahl in Kairo und der Metropolregion Greater Cairo beantwortet werden. Wie viele Menschen leben in informellen Siedlungen und Slums bzw. wie viele solcher Siedlungen, auch Ashwa'iyyat genannt, gibt es? Die wohl einfachste Antwort lautet: man weiß es nicht. Zahlen und Schätzungen über die Anzahl der Ashwa'iyyats und deren Bewohner unterscheiden sich sehr. Genaue und konsistente Informationen über informelle Siedlungen in Ägypten existieren nicht.

Der Begriff Ashwa'iyyat wird offiziell genutzt, um baufällige und unterversorgte urbane Gebiete zu benennen. Das Wort bedeutet „zufällig“ und deutet somit auf die ungeplant und illegal erbauten Gebiete und nicht auf Slums im eigentlichen Sinne hin. Der Begriff wird jedoch auch in der Umgangssprache als abfälliges Synonym für Slums verwendet (Sims 2002, S.7).

2.4.1 Problem der Datenerhebung

Die letzte Volkszählung in Ägypten wurde von der Central Agency of Public Mobilization and Statistics (CAPMAS) im Jahr 2006 durchgeführt. Auf die Veröffentlichungen von CAPMAS greifen viele Publikationen zurück (z.B. UN-Habitat). Die nächste Census-Erhebung soll 2016 erfolgen.

Zuverlässige Bevölkerungsdaten für GCMA zu finden, ist aufgrund der nicht genau definierten Abgrenzung problematisch. Die Metropolregion ist über drei Gouvernements (siehe Kap. 2.2) aufgeteilt und von 2008 bis 2011 waren es sogar fünf Gouvernements, da zwischenzeitlich Helwan (Gouvernement Kairo) und Sixth of October City (Gouvernement Giza) als eigenständige Gouvernements geführt wurden (State Information Service 2013). Die Tatsache, dass eine Stadt von drei und zwischenzeitlich sogar von fünf unterschiedlichen administrativen Strukturen gemanagt wird, erschwert die Aufgabe vernünftige Daten zu bekommen (Soliman 2004, S.147). Zusätzlich sind die Grenzen der Stadt unklar und ändern sich immer wieder. Viele Gebiete in der Peripherie, die essentielle Teile der Agglomeration Greater Cairo sind, sind nicht in den Grenzen enthalten (Bayat und Denis 2000, S.190). Da ein Großteil der informellen Siedlungen in der Peripherie der Stadt liegt, werden viele Einwohner nicht in Zählungen und Schätzungen für Greater Cairo miteingeschlossen.

2.4.2 Bevölkerungsschätzungen für GCMA

Die letzte Volkszählung im Jahr 2006 ergab, dass in ganz Ägypten 72 Millionen Menschen lebten. Davon lebten fast acht Millionen in der Stadt bzw. im Gouvernement Kairo. Die Einwohner von GCMA wurden dabei auf 11,7 Millionen geschätzt. Schätzungen für das Jahr 2015 prognostizierten für Ägypten 87,9 Millionen und für die Stadt Kairo 9,2 Millionen Einwohner (Ahram Online 2015). Die Population von GCMA wird auf 15 bis 18 Millionen geschätzt. Davis ging bereits 2006 von einer Bevölkerung von 15 Millionen aus (Davis 2006, S.29). Die Weltbankgruppe mutmaßte 17 Millionen (Sims und Séjourné 2008, S.31). Sims schätzt die Bevölkerung von GCMA auf 18 Millionen (Sims 2012) und Mayer-Wieser auf 16 bis 18 Millionen (Mayer-Wieser 2014, S.17). Weitere neuere Publikationen gehen von rund 15,1 bzw. 15,6 Millionen Bewohnern aus (UN-Habitat 2013, S.125 und Demographia 2015, S.20). Tabelle 2 gibt eine Übersicht über unterschiedliche Bevölkerungsschätzungen in GCMA.

Die Anzahl der Menschen in Ägypten, die in informellen Siedlungen und Slums wohnen, wurde vom Ministry of Local Development (MoLD) im Jahr 2007 mit 15 Millionen beziffert. Davon sollen 40% auf die Metropolregion entfallen. Zusätzlich geht man von 1.171 informellen Gebieten in Ägypten aus (Abdelhalim 2010, S.3). Habitat International Coalition geht von 1.221 informellen Bezirken aus, in denen bis zu 20 Millionen wohnen (Schechla

2014, S.10). Das Ministry of Planning spricht von insgesamt 1.133 Ashw'iyats in Ägypten (Sabry 2009, S.16). Daneben wird die Anzahl der informellen Bewohner in Ägypten auch auf 16 Millionen (Al-Monitor 2013) und in GCMA auf 12 Millionen (Sims 2012) geschätzt. Im Gouvernement Kairo sollen 76 bzw. 81 Ashw'iyats existieren (Schechla 2014, S.10 und Sabry 2009, S.16). Für GCMA schwanken die Angaben stärker. CAPMAS beziffert die Anzahl der Slums in der Region Greater Cairo mit 174 (2008), Ministry of Planning mit 171 (2003) und MoLD mit 184 (2002) (Sabry 2009, S.16).

Die Problematik der Unübersichtlichkeit und großen Schwankungen der Zahlen wird in den Kapiteln vier und fünf nochmals aufgegriffen.

Tab. 2: Geschätzte Einwohnerzahlen in der Metropolregion Greater Cairo

Einwohner	Quelle
15 Mio.	Davis (2006)
15,1 Mio.	UN-Habitat (2013)
15,6 Mio.	Demographia (2015)
16 – 18 Mio.	Mayer-Wieser (2014)
17 Mio.	Sims und Séjourné (2008)
18 Mio.	Sims (2012)

2.5 TYPEN VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN IN GREATER CAIRO

Wie bereits angemerkt, ist eine globale Definition von Slums meist nicht zufriedenstellend. Für die meisten Studien ist es von Bedeutung die informellen Siedlungen auf lokaler Ebene zu charakterisieren. Deshalb werden die verschiedenen Erscheinungsformen von Slums in Ägypten bzw. in Kairo genauer analysiert.

2.5.1 Klassifizierung der informellen Gebiete in Ägypten

Die unterschiedlichen Definitionen und Bedeutungen von informellen Gebieten im Allgemeinen wurden bereits behandelt. Im Kontext von GCMA existieren wiederum verschiedene Definitionen, die von politischen Institutionen veröffentlicht wurden:

The General Organisation for Physical Planning (GOPP) definiert informelle Gebiete durch zwei Hauptkriterien: Den rechtlichen Status und Zustand des Verfalls. Siedlungen, die auf ungeplantem Land entstanden sind, werden als informell bezeichnet. Bezogen auf den Zustand ist der physische Verfall nicht der einzige Indikator. Umwelt- und Sozialaspekte,

sowie das Fehlen von Grundversorgungen und Infrastruktur werden ebenfalls berücksichtigt (GTZ 2010, S.21).

Im Zusammenhang mit dem Participatory Development Programme (PDP) werden informelle Gebiete unter Berücksichtigung des rechtlichen Status und der physikalischen Konditionen definiert. Dabei wurden drei der vier vorgestellten Kategorien als informelles Gebiet bezeichnet (vgl. Abb. 4): Legale aber baufällige Strukturen, wie Häuser in der Altstadt, illegale und verfallene Strukturen, die als unsicher gelten, und Strukturen, die illegal erbaut wurden aber akzeptable physiognomische Zustände haben (Abdelhalim 2010, S.4).

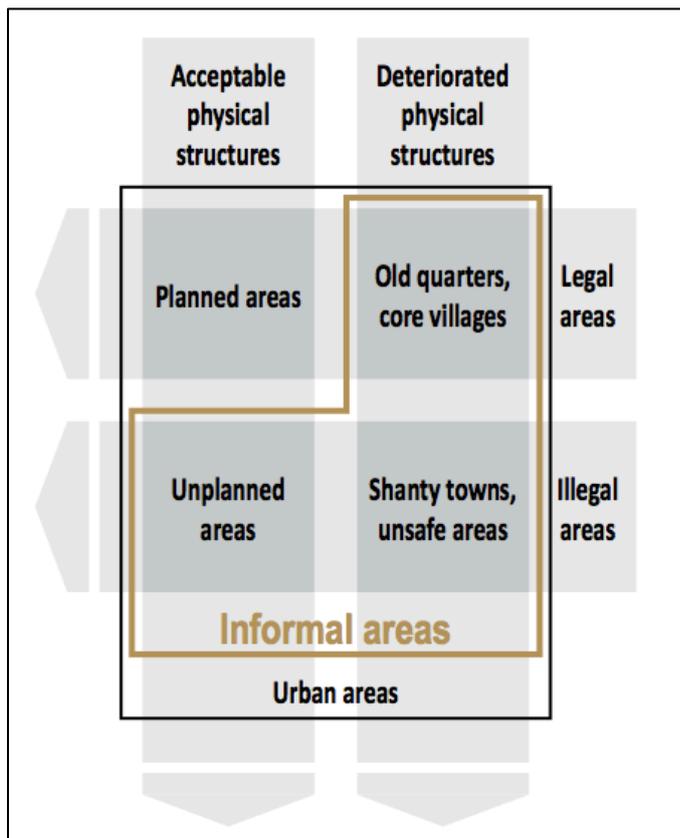


Abb. 4: Klassifikation der urbanen Gebiete nach Besitzstatus und physiognomischen Zuständen (Quelle: Abdelhalim 2010, S.3).

Gemäß dem Gesetz „Bauen und Planen“ (#119/2008) gibt es zwei Definitionen von informellen Gebieten, die nur physiognomische Faktoren beinhalten: Ungeplante Gebiete und Sanierungsgebiete. Ersteres bezieht sich auf Siedlungen, die ohne genauen Plan auf in Privatbesitz befindlichen Landwirtschaftsflächen entstanden sind. Diese haben sich mit der Zeit zusammengeschlossen und Infrastrukturen und Dienstleistungen aufgebaut. Letzteres bezieht sich auf unsichere Gebiete, die teilweise oder komplett saniert werden müssen (GTZ 2010, S.21). Dazu zählen legale baufällige innerstädtische Slums, Hüttenviertel bzw. Shanty Towns, sowie die bewohnten Friedhöfe, auch bekannt unter *Cities of Death*. Eine Kategorie

der sanierungsbedürftigen Gebiete wird auch als unsichere Gebiete klassifiziert (Abdelhalim 2010, S.4). Diese werden durch die Informal Settlement Development Facility (ISDF) definiert. Die ISDF wurde im Jahr 2008 durch präsidentielle Anordnung (#305/2008) gegründet, um das Leben der Slumbewohner zu verbessern und gesicherte Unterkünfte zu gewährleisten. ISDF teilt die informellen Gebiete in zwei Kategorien (Hussein 2011, S.57-58):

Ungeplante Gebiete:

- Informelle Wohngebiete auf privaten landwirtschaftlichen Flächen
- Informelle Wohngebiete auf staatlichen/privaten Flächen
- Informelle Wohngebiete zwischen unterschiedlichen Hausblocktypen

Unsichere Gebiete:

Informelle Gebiete, in denen das menschliche Leben gefährdet ist. Gründe dafür sind das Wohnen an Felswänden oder auf Überschwemmungsflächen, unsichere Baumaterialien, das Fehlen von Trinkwasser und Überbevölkerung. Beispiele dafür sind Manshiet Nassier und Ezbet El Haggana.

Die beiden Begriffe sollen dabei Wörter wie „Slums“, „Informelle Siedlungen“ oder „Ashwa’iyyat“ ersetzen (Khalifa 2010, S.41). Khalifa (2010, S.41) fasst die informelle Urbanisierung in GCMA in folgende drei Typen zusammen:

- Ausweitung auf privaten landwirtschaftlichen Flächen
- Hüttenviertel auf öffentlichem Land
- Friedhöfe oder *Cities of Death*: Bei diesem Besiedlungstyp, den es weltweit in dieser Form nur in Kairo gibt, wurden Grabkammern mit der Zeit von Friedhofswächtern und deren Familien bewohnt.

Mekawy (2012, S.2095) unterteilt die informellen Siedlungen in Kairo wiederum in vier Kategorien:

- Slums auf unterteilten Landwirtschaftsflächen
- Informelle Siedlungen auf staatlichen (Wüsten-) Land
- Baufällige Strukturen in der Altstadt Kairo
- Antike islamische Friedhöfe

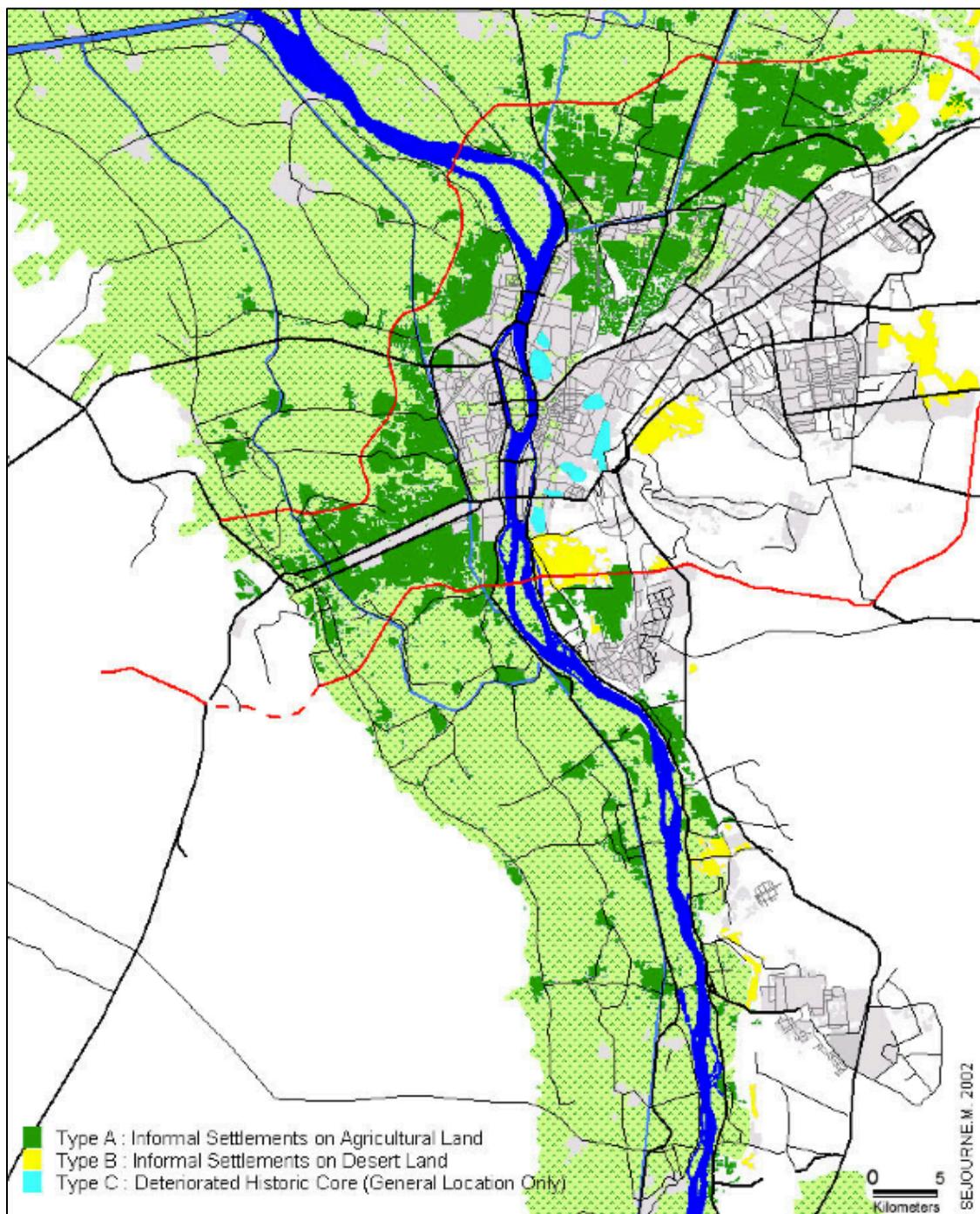


Abb. 5: Verbreitung der informellen Siedlungen nach Sims (Quelle: Sims 2002, S.5).

Die ersten beiden Kategorien von Khalifa und die ersten drei Kategorien von Mekawy gleichen jenen von Sims (2002, S.5-7) und Soliman (2004, S.188-201). Beide definieren und kategorisieren die informellen Gebiete in GCMA quantitativ. Sims unterteilt die informellen Gebiete in vier Haupttypen, während Soliman drei Typen unterscheidet. Beide aber erweiterten die beiden Hauptkriterien, rechtlicher Status und physiognomische Konditionen, welche vom PDP definiert wurden. Abbildung 5 zeigt die Verbreitung der drei informellen

Haupttypen in GCMA nach Sims, welche verdeutlicht, dass der Großteil der informellen Siedlungen auf landwirtschaftlichen Flächen entstand.

Die in dieser Arbeit durchgeführten Analysen und Klassifikationen beziehen sich auf die vier Siedlungstypen von Sims (2002), wobei auf den 4. Typ aufgrund der geringen Bedeutung nicht eingegangen wird. Aufgrund der intensiven Arbeit mit informellen Siedlungen in Ägypten, und der Berufung vieler Publikationen auf diese Bestimmungen, wird die Unterteilung nach Sims gewählt. Zudem ist die Einteilung gut nachvollziehbar und genau definiert.

Die verwendeten und unterschiedenen Typen werden nun näher beschrieben. Der Vollständigkeit halber wird auch der 4. Typ (Typ D) vorgestellt. Dieser wird jedoch nicht in den Analysen berücksichtigt.

2.5.2 Typ A: Informelle Siedlungen auf ehemaligen Landwirtschaftsflächen

Dieser Typ wird durch private Wohnhäuser, welche auf von Bauern gekauften Landwirtschaftsflächen gebaut wurden, definiert. Für das Land gab es keinen Grundstückskataster und kein Baurecht. Dieser Typ beinhaltet über die Hälfte der Bevölkerung in Greater Cairo und kann daher kaum als Randerscheinung bezeichnet werden. Die informelle Bebauung auf Landwirtschaftsflächen begann in den 1960er Jahren. Nach Verkündung der „Open Door – Politik“ 1974 nahm die Bebauung, aufgrund Geldsendungen von in der Golfregion und in der Ölwirtschaft arbeitenden Ägyptern, enorm zu. Zuerst wurden die Siedlungen von den Behörden, trotz der illegalen Landerwerbung und Bebauung, ignoriert. Finanziert wurden der Landkauf und Häuserbau allein durch privates Vermögen und durch Hilfe von Verwandten. Dadurch war eine stufenweise Bebauung unvermeidlich. Obwohl es neue Viertel waren, gab es von Beginn an ein enges Netzwerk an Verbindungen und Gesellschafen. So wurden zum Beispiel Grundstückskäufe immer mündlich vereinbart. Durch die urbane Expansion auf den raren Landwirtschaftsflächen begann die Regierung die informellen Siedlungen zu missbilligen und begann 1974 Gesetze zu veröffentlichen, welche die Illegalität noch verstärkten. 1996 wurde ein Gesetz veröffentlicht, welche solche Bebauungen als Straftatbestand bezeichnen und unter Militärrecht gehandhabt werden.

Das Erscheinungsbild dieser Siedlungen ist durch die früheren Felder und Entwässerungsmuster geprägt. So wurden ehemalige Kanäle die einzigen Verkehrsstraßen. Lokale Straßen sind gerade und mit durchschnittlich zwei bis vier Meter sehr eng. Üblicherweise gibt es keine öffentlichen Plätze oder Flächen für Dienstleistungen. Grundstücke neigen dazu klein zu sein, mit einer Durchschnittsgröße von 80m².

Straßenfronten haben eine Länge von 7 bis 10,5 Metern. Typischerweise sind 100% der Grundstücksfläche bebaut mit Ausnahmen für Luft- und Lichtschächte. Die Gebäude bestehen hauptsächlich aus Stahlbetonrahmen, die mit roten Ziegeln ausgefüllt werden und weisen generell mindestens fünf Stockwerke auf (siehe Abb. 7). In manchen Randgebieten werden in jüngster Zeit höhere Häuser (10 - 14 Stockwerke) mit einer größeren Grundfläche gebaut, die dann einmalig zum Verkauf angeboten werden. Diese Gebäude repräsentieren das Aufkommen von kleinen Bauunternehmen im westlichen Sinn.

Auch wenn die Qualität der Bauweise und Häuser generell gut sind, werden die Gebiete mit der Zeit zunehmend verdichtet und ernsthaft überbevölkert. Da die Familien wachsen und es immer schwieriger wird sich ein Eigenheim zu leisten, nimmt vor allem in den älteren inneren Siedlungen die Überbevölkerung zu (Sims 2002, S.5-6). Die extreme Verdichtung und Bebauungsmuster der Siedlungen sind vor allem aus der Luft gut erkennbar (vgl. Abb. 6). Bekannte Beispiele für Typ A sind Imbaba und Bulaq al Daqrur.

Beispiel Imbaba

Das informelle Viertel Imbaba (auch Imbabah, Embaba) ist auf das Jahr 1947 zurückzuführen. Damals wurde von der Regierung ein öffentliches Wohnprojekt geplant. Aufgrund der Lage an der Eisenbahnlinie und vorhandener Brachfläche entschied man sich für den Standort Imbaba. Die Urbanisierung erfolgte auf Landwirtschaftsland. Die damalige Arbeitersiedlung wurde zur Unterbringung von 6.000 Staatsangestellten und deren Angehörigen errichtet. Der Masterplan beinhaltete ein Einfamilienhausmuster, bei dem Reihenhäuser gradlinig an breiten Straßen angelegt werden. Die ersten Häuser waren 1952 bezugsfertig. Die Regierung hoffte damit die Problematik der Slumentwicklung aufgrund des starken Bevölkerungswachstums zu lösen. Doch zeitgleich kam es bereits zum informellen Wachstum der Siedlung. Erweiterungen des Projekts scheiterten wegen Enteignungsproblemen, sodass Bauarbeiter der formellen Projekte, das für sie bezahlbare Land, zu überbauen begannen (Meyer-Wieser 2014, S.265).

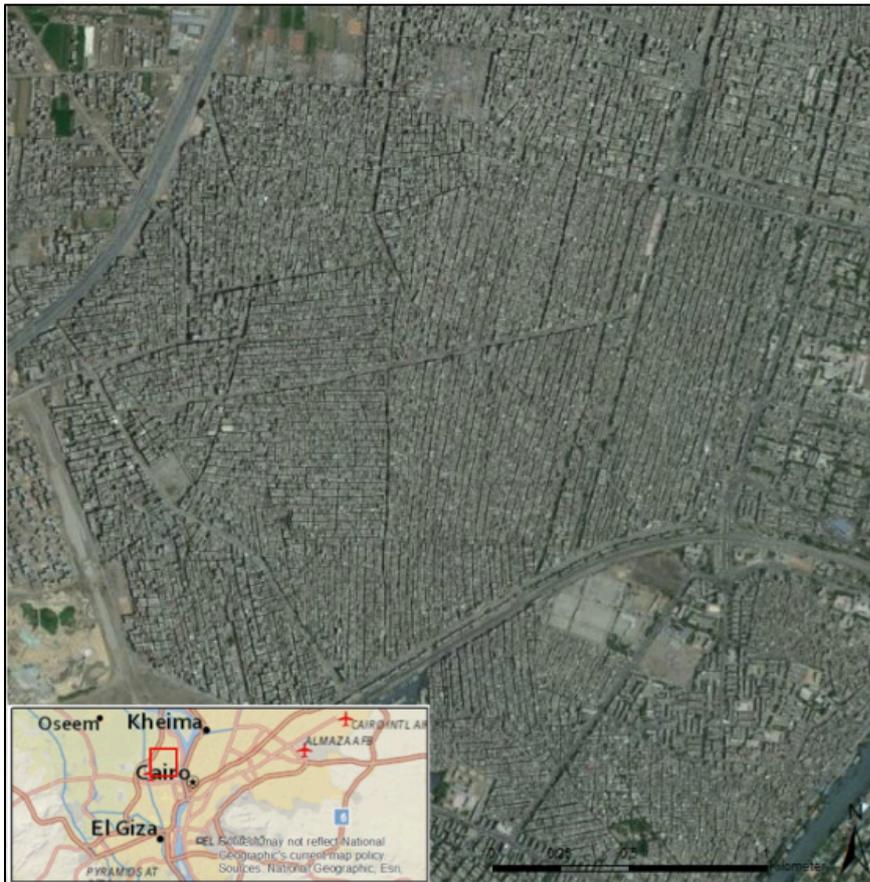


Abb. 6: Satellitenbilddaufnahme von Imbaba und Lage innerhalb GCMA (Quelle: WorldView-2 (DigitalGlobe) und OpenStreetMap).



Abb. 7: Neue informelle Bauten des Typs A am Stadtrand (Foto: Jonah Bettio, Tadamun 2014).

2.5.3 Typ B: Informelle Siedlungen auf früheren staatlichen Wüstenflächen

Unter diesen Typ werden private Wohnhäuser auf offenem Staatsland verstanden. Dieser Slumtyp ist analog zu den Besetzungen und Invasionen, wie sie in Lateinamerika gefunden werden. In allen Fällen in GCMA war das Land am Rande befindliches Wüstenland ohne spezifische Bestimmungen.

Die Entstehungsgeschichte der Siedlungen ist für jeden Standort unterschiedlich. Beispielsweise wurde Manshiet Nasser durch umgezogene Slumbewohner und Müllsammler zum neuen Standort auserwählt, Ezbet El Haggana von in der Nähe stationierten Soldaten und deren Familien.

In allen Fällen konnten sich Kernsiedlungen bilden, die sich nach offensichtlicher Vernachlässigung durch die Regierung langsam ausbreiteten. Für gewöhnlich wurden große Grundstücke am Rande der Kernsiedlungen bebaut und nach einer Unterteilung an andere Siedler verkauft. Die Zuwachsraten der individuellen Gemeinschaften variierten stark, meistens erfolgten die Expansionen stoßweise. Wie bei Typ A ist der Entstehungsprozess völlig informell, ohne legaler Papierarbeit und auf mündlicher Vereinbarungen basierend. Die Gebiete sind zwar illegal, aber die Siedler haben durch die Interpretation des Bürgerrechts gewisse Gewohnheitsrechte erhalten. Hinzu kommt, dass die Siedler eine nominelle Miete oder Grundsteuer an das *Governorat's Amlak Department* bezahlen.

Trotz der Illegalität dieser Gebiete wäre eine Regulierung der Besitzstatuen durch die Politik einfach zu handhaben, da im Gegensatz zum Typ A nur ein legaler Landbesitzer auftritt, nämlich der Staat. Zudem gibt es keine verzweigten Transaktionen, Unterteilungen oder Vererbungen zu beachten. Im Allgemeinen sind die Zustände der Häuser und Wohnbedingungen schlechter als im Slumtyp A. Das Vorkommen von baufälligen Strukturen und Familien, die in einem Raum leben, ist häufiger anzutreffen (Sims 2002, S.6).

Beispiel Manshiet Nasser

Manshiet Nasser (auch Manschiyyet Nasser, Manshijet Nasr, Mansheya Nasir) ist einer zur Gänze auf staatlichem Land gebauter informeller Stadtteil, der am Fuße des Muquattam Plateaus entstanden ist (vgl. Abb. 8 und 9) (El-Araby 2002). Ursprünglich wurde das Land dazu genutzt, Kalkstein abzubauen. Heute beherbergt das Viertel je nach Angaben bis zu einer Millionen Einwohner. Entlang der westlichen Grenze verläuft eine Eisenbahnlinie sowie die Autobahn (autostrade) (Sedky 2000, S.85). Der soziale Status der Bevölkerung spiegelt sich auch in der Besiedelung wider. So leben die „reicheren“ Bewohner in der Nähe der Hauptstraße, während die ärmeren Bewohner in der Nähe bzw. an den Felsklippen wohnen. Bekannt ist Manshiet Nasser auch für die dort lebenden Müllsammler. Die sogenannten *Zabbalin*, welche einen Teil des Abfalls aus Kairo in das Viertel bringen und recyceln,

begannen sich dort in den 1920er Jahren anzusiedeln. Aufgrund der Expandierung Kairo und dem Gestank des Abfalls mussten die *Zabbalin* des Öfteren umsiedeln, bis sie sich letztendlich in Manshiet Nasser niederließen (Howeidy et al. 2009, S. 49-50).

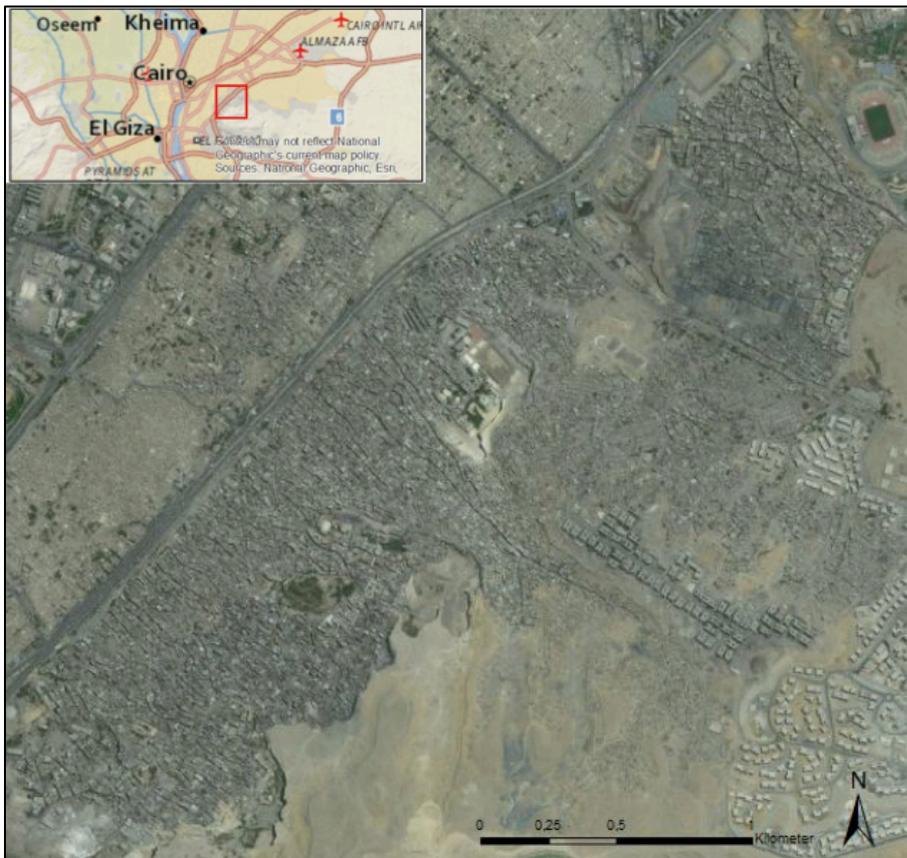


Abb. 8: Satellitenbildaufnahme von Manshiet Nasser und Lage innerhalb GCMA (Quelle: WorldView-2 (DigitalGlobe) und OpenStreetMap).



Abb. 9: Blick auf Manshiet Nasser am Fuße des Muqattam Hügels (Foto: Jeff Black, IRIN 2007).

2.5.4 Typ C: Vernachlässigte Siedlungen im historischen Zentrum

In der Altstadt Kairos befinden sich innerhalb der mittelalterlichen städtischen Strukturen, Blöcke mit einem hohen Prozentanteil an alten, überfüllten und baufälligen Bauten. Die baufälligen Gebäude in diesen Vierteln sind auf die unsicheren Besitzverhältnisse und auf die Vernachlässigung durch die Besitzer zurückzuführen. Viele der Familien, die in diesen Stadtteilen leben, sind sehr arm. Trotzdem ist es nicht richtig, die ganzen Gebiete in denen diese Phänomene auftreten als ausgeprägte Slums zu klassifizieren, da auch neuere und gut erhaltene Gebäude zu finden sind. Auch die Einwohnerzahl dieser historischen Areale ist sinkend, da Wohnflächen in Handels- und Geschäftsflächen umgewandelt werden und immer mehr Gebäude einstürzen (Sims 2002, S.6). Typ C kann als „echte“ Slums nach obiger Definition bezeichnet werden.

Die Besonderheit der vernachlässigten Siedlungen im Stadtzentrum ist, dass sie in ihrer Morphologie nicht informell sind. Deshalb sind die Gebiete in einem Satellitenbild auch nicht von den formellen Stadtbereichen unterscheidbar (vgl. Abb. 10). Angaben über die genaue Lage der vernachlässigten Siedlungen können mittels Fernerkundung nicht gemacht werden und nur über eine Feldbegehung festgehalten werden.



Abb. 10: Satellitenbilddaufnahme von Al-Darb al Ahmer und Lage innerhalb GCMA (Quelle: WorldView-2 (DigitalGlobe) und OpenStreetMap).

Beispiele dafür sind Al-Darb al Ahmar (vgl. Abb. 11), El Gameleya oder El Khalifa. Dazu gehören auch historische Gebiete wie Qait Bey und El Tonsa, welche auch die weitläufigen historischen Friedhöfe beinhalten. Im Gegensatz zu anderen Meinungen betrachtet Sims die bekannten Totenstädte als sehr seltene Phänomene in Kairo und als Übertreibung von Journalisten.



Abb. 11: Straßenszene in Al-Darb al Ahmar (Foto: Traveladventures.org, 2007)

2.5.5 Typ D: Vernachlässigte Stadtgebiete (nicht klassifiziert)

In verschiedenen innerstädtischen Gebieten Kairos, besonders in jenen, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts entstanden sind, finden sich kleine Ableger von sehr auffälligen ein- bis dreistöckigen Gebäude, welche sehr arme Familien beherbergen. Beispiele dafür sind Gebiete um Masr el Qadima oder Hekr Sakakini in el Wali. Deren Existenz ist auf unsichere Besitzverhältnisse zurückzuführen. Obwohl keine übergreifenden Studien dieser Gebiete existieren, kann der Anteil an der Stadtbevölkerung auf unter 1% angenommen werden. Die meisten Ableger sollen aufgelöst und entfernt werden und einige wurden bereits in Parkanlagen umgewandelt. Aufgrund der geringen Größe und der zunehmenden Auflösung wird dieser Typ in den Analysen nicht weiter beachtet.

3 OBJEKTBASIERTE KLASSIFIKATION DER INFORMELLEN SIEDLUNGEN IN GREATER CAIRO

3.1 DIE ERFASSUNG VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN DURCH FERNERKUNDUNG

Die Zunahme von Slums in den Entwicklungsländern ist Sorge vieler lokaler, nationaler und internationaler Organisationen. Dadurch wird auch immer wieder auf die lückenhaften Daten über die Verbreitung der Slumgebiete aufmerksam gemacht. Viele Slums und informelle Siedlungen werden nicht als Teil der formellen Stadt gesehen und sind deshalb oftmals auf Karten oder Plänen nicht verzeichnet. Auf Fernerkundung basierende Methoden können räumlich zerstreute und regelmäßige Informationen über Slums liefern, durch effektive Beobachtung und unterschiedliche räumliche Maßstäbe. Zusätzlich wird durch die Zunahme der Verfügbarkeit von hochauflösenden Satellitenbildern angenommen, dass die Erhebung und Charakterisierung der Slumidentifikation verbessert werden kann (Kohli D. et al. 2013, S. 4210).

Wie im Einleitungskapitel bereits diskutiert, existieren mehrere Studien, welche die Identifikation und Kartierung von Slumsiedlungen behandeln. Dennoch ist es herausfordernd eine angemessene Methode auszuwählen, um aktuelle und zuverlässige räumliche Informationen über informelle Siedlungen zu sammeln. Die Auswahl der Methode hängt von den verfügbaren Daten sowie dem Zweck der Arbeit ab. Eine erfolgreiche Bildanalyse erfordert Kenntnisse über das vorliegende Problem. Je besser das Wissen über den Prozess, desto besser kann der Prozess im System repräsentiert werden, und desto mehr nützliche Informationen können extrahiert werden (Benz et al. 2004, S.241). Die Kombination von semantischen Informationen verbessert die Qualität der Bildklassifizierung und erleichtert die Unterscheidung von Slums zu anderen ähnlichen Objekten. Ein Weg, das Expertenwissen in die Objektanalyse einzubauen, ist durch die klare Definition der Objekte von Interesse (Mathenge 2011, S.14). Ontologie ist ein Versuch das Wissen auf eine systematische Weise zu erfassen. Dies geschieht durch das Untergliedern in Typen von existierenden Entitäten und deren Beziehungen untereinander (Lüscher et al. 2008, S.453). Da in jüngster Zeit die objektbasierte Bildanalyse durch Integration von semantischen Informationen bzw. Ontologien entwickelt wurde und vermehrt zum Einsatz kommt, wird diese Methode für diese Arbeit adaptiert. Die Definition der Ontologie ist bei der Regelfindung für die objektbasierte Klassifikation hilfreich.

3.2 ONTOLOGIE ZUR IDENTIFIZIERUNG VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN

Um das Phänomen Slum, deren Standort oder Muster kartieren zu können, muss definiert werden, was ein Slum ist. Diese Indikatoren können durch die Entwicklung einer Ontologie für Slums identifiziert werden. Die lokalen Ontologien werden als Basis für die Identifikation und Klassifikation von Slums und informellen Siedlungen genutzt. Das ontologische Rahmenwerk hilft Regeln aufzustellen und in der objektbasierten Klassifikation anzuwenden. Da die Ontologie auf mehreren Ebenen definiert ist, können unterschiedliche Relationen zu benachbarten Gebieten erstellt werden und somit relevante Parameter für die Generierung eines Regelwerkes für die Klassifikation liefern. Die lokale Ontologie dient als Stützwerk zur Parametrierung in der Segmentierungs- und Klassifikationssoftware *eCognition*.

3.2.1 Was ist eine Ontologie?

Neben den grundlegenden Definitionen von Slums und informellen Siedlungen, die in Kapitel zwei genauer beschrieben werden, hängt die Beschreibung von informellen Siedlungen stark vom Kontext bzw. von der Betrachtungsweise ab. Die Beschreibung eines Phänomens aus der realen Welt wird üblicherweise durch die Beschreibung von dessen Ontologie ausgedrückt. Dies geschieht durch die Beschreibung des Wissens über das Phänomen aus einer bestimmten Sicht. Daher kann die ontologische Beschreibung von „informellen Siedlungen“ als Repräsentation des Wissens über informelle Siedlungen aus einer bestimmten Betrachtungsweise in einer definierten Sprache gesehen werden.

Die Ebenen von Ontologien können dazu verwendet werden, die Prozesse für die Extraktion von detaillierten Informationen zu leiten. Ontologien erlauben Informationen auf unterschiedlichen Stufen der Klassifikation. Die unterschiedlichen Typen von Ontologien können aufgrund ihres Levels der Generalisierung und des Grades der Detailgenauigkeit unterschieden werden (Mathenge 2011, S.23).

Globale Ontologien sind top-level Ontologien und beschreiben sehr allgemeine Konzepte, welche unabhängig von einer bestimmten Domäne sind. Sie sind nützlich um sehr ausgedehnte Konzepte zu unterstützen und dienen als neutrale Referenz für lokale Ontologien (Mathenge 2011, S.23). Eine globale Ontologie ist für eine Klassifikation von Slums in Kairo nicht sinnvoll, da die Daten sehr heterogen sind und jeder sein eigenes Vokabular benutzen kann. Dieser semantische Konflikt kann durch die Verwendung einer lokalen Ontologie gelöst werden (Hajmoosaei et al. 2008, S.366). Es gibt kein universell einsetzbares Modell für Slums, das die Entwicklung einer Standardmethode für die Identifikation und Kartierung aller Slums erlaubt. Eine globale Ontologie ist zu allgemein und zu konzeptuell, um praktisch in einer objektbasierten Analyse eingesetzt zu werden. Daher

ist die Entwicklung einer lokalen Ontologie von Bedeutung, welche für den Aufbau eines Regelwerkes erforderlich ist.

Das gesammelte Wissen in einer lokalen Ontologie stellt die Basis für die objektbasierte Klassifikation dar. Der Erfolg der Identifikation und Kartierung von Slums hängt von der Qualität der Vorgehensweise ab. Wie von Kohli (2010) angemerkt, ist umfassendes Wissen wichtig um die Probleme bzgl. der Verbesserung von Slums zu adressieren. Für globale Interventionen und Slumkartierungen sind standardisierte Definitionen und Methoden für die räumliche Quantifizierung erforderlich. Kohli schlägt ein ontologisches Rahmenwerk, basierend auf morphologischen Indikatoren, vereint mit Wissen aus verschiedenen Kontexten, vor, um Slums zu konzeptualisieren. Die globale Ontologie liefert ein umfassendes Rahmenwerk für die Slumdefinition und somit die Basis für die Entwicklung der lokalen Ontologie, um Slums auf einem lokalen Level zu definieren (Kohli 2010, S.201).

3-Level-Modell

Kohli et al. (2012) schlagen ein ontologisches Rahmenwerk für die Definition von Slums vor, als Basis für eine bild-basierende Klassifikation, welche die unterschiedlichen Definitionen und Typen von Slums identifizieren. Die Autoren identifizierten Klassen auf drei verschiedenen Ebenen um Slums zusätzlich zu den Standortbedingungen durch morphologische Indikatoren zu skizzieren (Kohli et al. 2012, S.201).

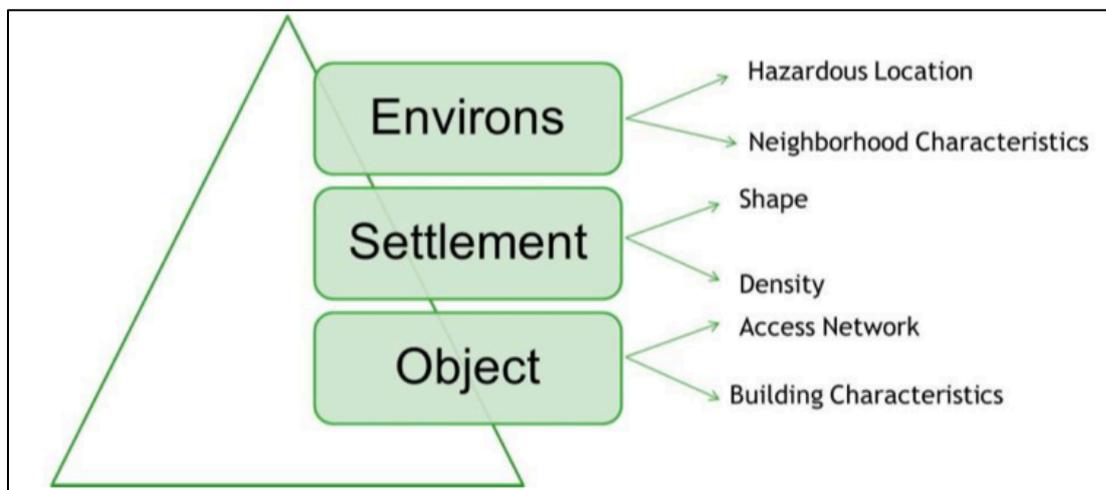


Abb. 12: 3-Level-Modell zur Slumklassifikation (Quelle: Kohli et al. 2012, S.201).

Wie in Abbildung 12 ersichtlich, werden die Slumindikatoren auf drei Ebenen identifiziert: Objektlevel (object level), Siedlungslevel (settlement level) und Umgebungslevel (environs level). Das Objektlevel enthält in hochaufgelösten Bildern beobachtbare Gebäudemerkmale wie Dachmaterial, Grundfläche, Form, Orientierung, Höhe und Netzwerkmerkmale wie Struktur oder Typ und Breite der Straßen. Der Siedlungslevel beschreibt

Entwicklungsmerkmale wie allumfassende Form oder Dichte. Der Umgebungslevel umfasst die Lage von Slums in Bezug auf sozioökonomischen Zustand und risikoanfälligen Gebieten (Kohli et al. 2012, S.201-202). Um die benötigten Informationen zur Beschreibung von Slums eines bestimmten Gebietes abfragbar zu machen, muss die allgemeine Slumontologie an den lokalen Kontext angepasst werden. Dies geschieht durch die Kombination von Expertenwissen und einer visuellen Bildinterpretation (Kohli et al. 2012, S.201-202). In dieser Arbeit wird die allgemeine Ontologie von Kohli et. al (2012) adaptiert und auf Kairo und den Kontext dieser Arbeit angepasst.

3.3 LOKALE SLUMONTOLOGIE FÜR GREATER CAIRO

Eine lokale Slumontologie wird für die beiden informellen Siedlungstypen A und B nach Sims (2002) aufgestellt. Dabei wird nach dem 3-Level-Modell von Kohli (vgl. Abb. 12) vorgegangen. Durch die Beschreibungen der Siedlungstypen in der Literatur sowie visueller Interpretation der Satellitenbilder werden Eigenschaften und Charakteristika der Slumtypen auf drei Ebenen in Form einer lokalen Ontologie festgehalten. Das lokale ontologische Rahmenwerk hilft bei der Regelfindung, deren Durchführung in Punkt 3.6.5 beschrieben wird. Für Typ C wird ebenfalls versucht eine ontologische Beschreibung aufzustellen. Aufgrund der Lage innerhalb der innerstädtischen formellen Gebiete und ihrer nicht informellen Morphologie können sie jedoch nicht von den formellen Stadtbereichen unterschieden werden (vgl. Kap. 2.5.4). Abbildungen 13 und 14 zeigen die Strukturmorphologien der beiden Siedlungstypen, die bei der Erstellung der lokalen Ontologie von Bedeutung sind.

3.3.1 Lokale Ontologie für informelle Siedlungen auf ehemaligen Landwirtschaftsflächen (TYP A)

Objektlevel:

- Quadratisch und rechteckige Dachformen.
- Baumaterial: Betondecken.
- Mehrstöckige Reihenhäuser.
- Gleichmäßige Muster der Häuser mit einheitlicher Orientierung.
- Unbefestigte aber gleichmäßige Straßen innerhalb der Siedlungen.
- Einheitliche, homogene Straßenbreiten.

Siedlungslevel:

- Homogene Erscheinung der Siedlungen und gleichmäßig geformte Baublöcke.
- Sehr dichte Bebauung.
- So gut wie keine Vegetation.
- Sehr wenige Infrastruktureinrichtungen.
- Schmale, längliche Baublöcke.

Umgebungslevel:

- Bebauung im Nildelta.
- Hauptsächlich nördlich, westlich und zum Teil südlich der Altstadt.
- Kleine Cluster von informellen Siedlungen inmitten der Landwirtschaftsflächen.

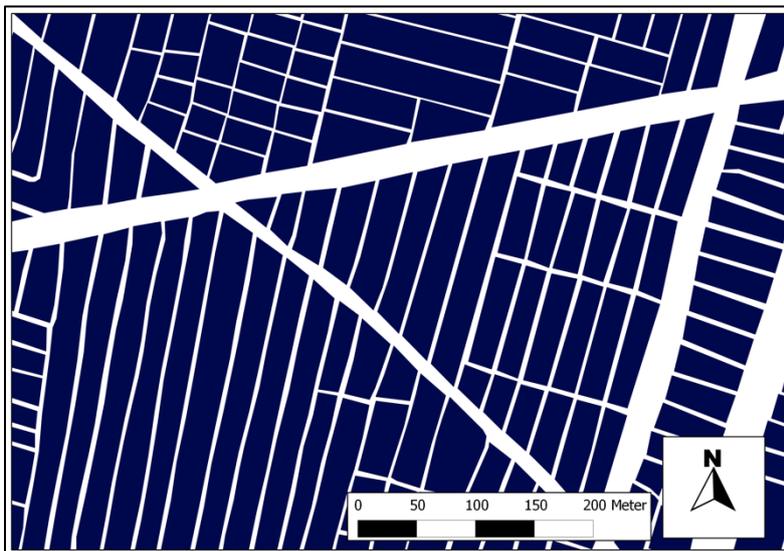


Abb. 13: Beispiel der Strukturmorphologie für Typ A (Quelle: eigener Entwurf).

3.3.2 Lokale Ontologie für informelle Siedlungen auf früheren staatlichen Wüstenflächen (Typ B)

Objektlevel:

- Unregelmäßige Gebäudegrößen.
- Baumaterial: Betondecken und Ziegelhäuser.
- Mehrstöckige Gebäude.
- Heterogene Straßenmuster und keine geradlinigen Straßen.
- Unbefestigte Straßen mit variierenden Straßenbreiten.
- Unterschiedliche Orientierung der Häuser.

Siedlungslevel:

- Unregelmäßig geformte und heterogene Baublöcke.
- Keine Infrastruktureinrichtungen.
- Sehr dichte Bebauung.
- Keine Vegetation wie Parkanlagen oder Sportplätze.

Umgebungslevel:

- Ansiedelung auf bzw. neben Wüstenflächen.
- Typ B ist nur östlich und südlich der Altstadt anzufinden.
- In höheren Lagen.

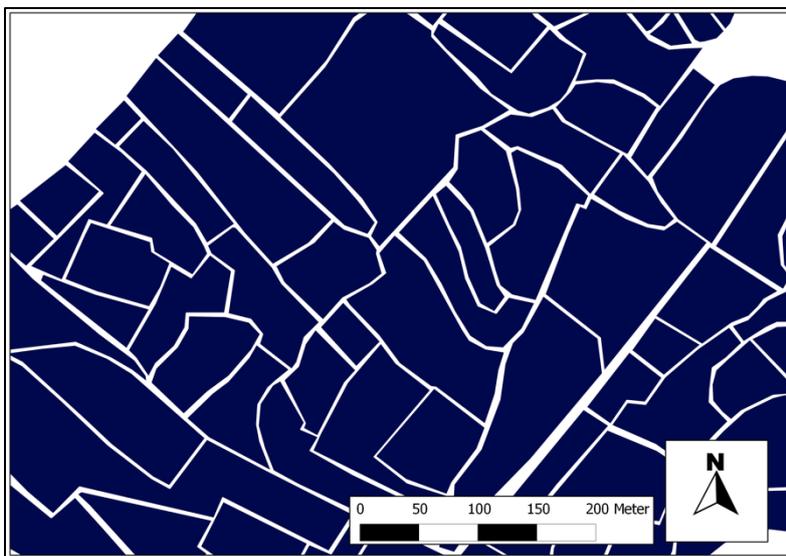


Abb. 14: Beispiel der Strukturmorphologie für Typ B (Quelle: eigener Entwurf).

3.4 GRUNDLAGEN DER OBJEKTBASIERTEN BILDANALYSE

Eine objektbasierte Bildanalyse besteht aus den zwei Schritten Segmentierung und Klassifizierung, die nun kurz näher erläutert werden.

3.4.1 Segmentierung

Die Segmentierung ist der erste entscheidende Schritt, der eine vollständige Zusammenfassung von Pixeln eines Bildes bzw. Bildausschnittes in abgrenzende Segmente, die in sich homogen sind, bedeutet (Stoinski 2007, S.13). Die Bildsegmentierung verknüpft Objekte in einem Netzwerk, welches wichtige Kontextinformationen für die Klassifikation

anbietet. Dabei wird zwischen zwei Segmentationsprinzipien unterschieden. Eine „Top-Down“-Segmentierung teilt das Bild in kleinere Stücke und die „Bottom-Up“-Methode fügt kleine Objekte in größere zusammen. Das Prinzip hängt von der Art der Segmentierung ab, wobei mehrere Algorithmen verfügbar sind. In dieser Arbeit werden die *Multiresolution* Segmentierung, sowie die *Chessboard* Segmentierung verwendet. Die *Multiresolution* Segmentierung verwendet den *Bottom-Up Region Merging* Ansatz. Dabei wird jedes Pixel als Objekt angesehen und Objektpaare werden zu größeren Objekten geformt. Die Zusammenführung (Merging) basiert auf den Homogenitätskriterien Form und Farbe. Die Formkriterien werden zusätzlich in *Smoothness* und *Compactness* unterschieden. Neben diesen Parametern ist der Scale-Parameter der wichtigste Faktor, da er die Heterogenität für die Bildobjekte bildet. Je größer dieser ist, umso mehr Objekte werden fusioniert, und umso größer sind die entstehenden Segmente. Dadurch können Bildinformationen nebeneinander auf verschiedenen Maßstäben repräsentiert werden und führen so zu einem hierarchischen Netzwerk der Objekte.

Die *Chessboard* Segmentierung bedient einen *Top-Down Region Splitting* Ansatz, welche die Pixeldomäne oder ein Bild in quadratische Bildobjekte teilt. Die Objektgröße wird durch *Scale* angegeben und bestimmt die Größe des Pixelrasters. Die *Chessboard* Segmentierung ist einfach und schnell. Sie erstellt sogenannte *seed segments*, die für weitere Analysen verwendet werden (Definiens 2007).

3.4.2 Klassifizierung

Im zweiten Schritt werden die zuvor erstellten Bildobjekte klassifiziert. Dabei gilt es Merkmale zu finden, die Objektklassen signifikant voneinander unterscheiden. Je nach Datengrundlage können die Art und Umfang der vorhandenen Merkmale variieren. Solche Merkmale können dabei spektrale und radiometrische Merkmale, geometrische Merkmale wie Größe und Form, kontextbezogene Merkmale wie Nachbarschaftsbeziehungen, sowie temporale und thematische Kriterien sein. Anhand dieser Merkmale werden Regeln erstellt, welche die Zuweisung der Bildobjekte zu den festgelegten Objektklassen bestimmen. Die Objektklassen können bereits im Vorhinein festgelegt oder während der Klassifikation definiert werden. Objektbasierte Analysen können sich auch der Fuzzy-Logik bedienen. Dabei werden die Segmente zu der Klasse mit der höchsten Zugehörigkeit zugewiesen (Höfer 2007, S.26).

3.5 DATENBESCHREIBUNG

3.5.1 Satellitenbilder

Die für die Klassifikation zur Verfügung stehenden Satellitenbilder sind zwei Ausschnitte aus einer WorldView-2-Aufnahme (WV-2). Der Aufnahmezeitpunkt war am 05.06.2012 um 09:07 Uhr. Die WV-2-Szene hat eine Wolkenabdeckung von 0%. Die beiden Ausschnitte werden so gewählt, dass sie die drei Slumtypen sowie formellen Siedlungen (vgl. Kap. 2) erfassen. Abbildung 15 zeigt die Lage der beiden Ausschnitte im Untersuchungsgebiet.

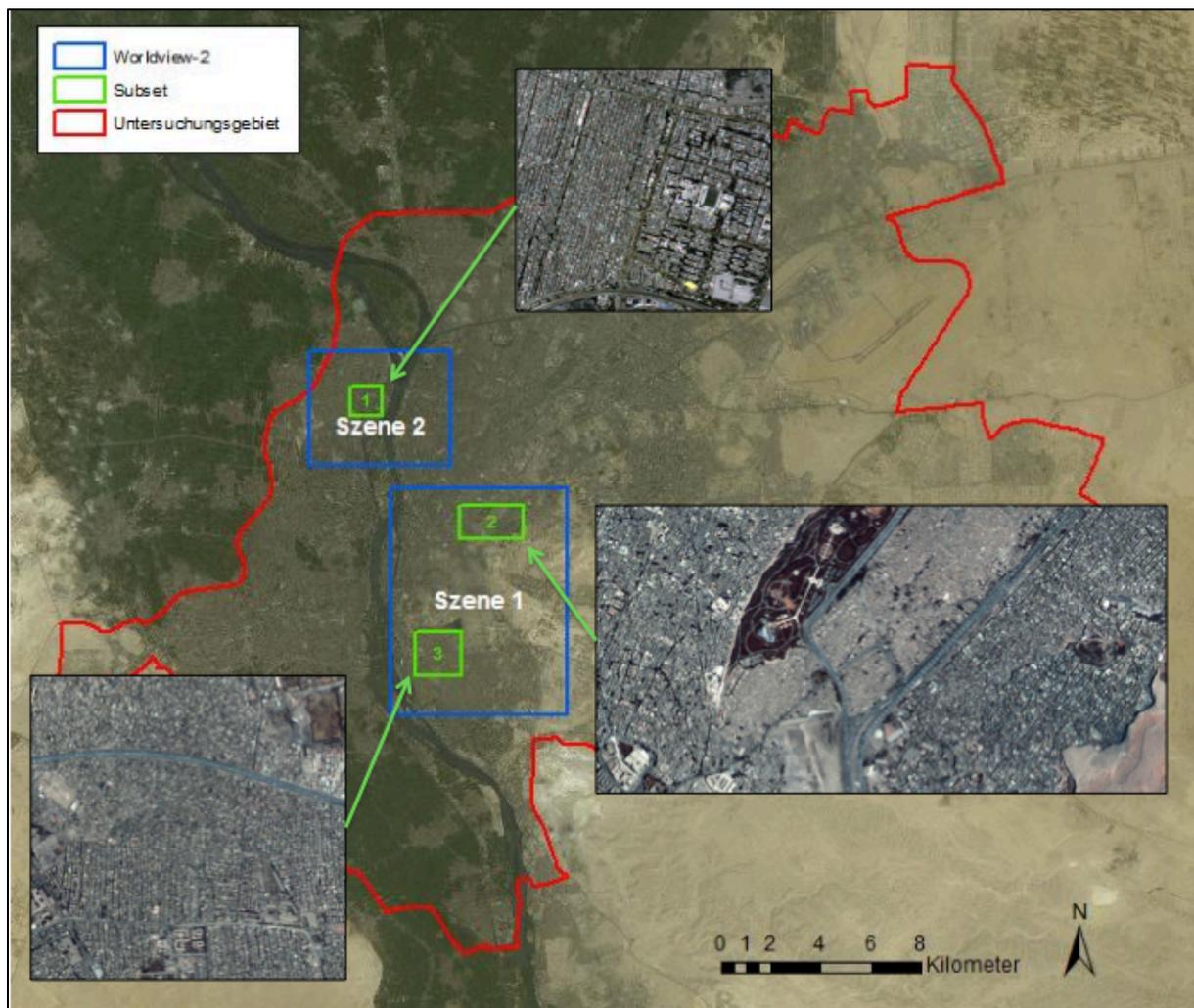


Abb. 15: Überblick über die WorldView-2 Szenen und Subsets für die Klassifikationen (Quelle: GeoEye-1 und WorldView-2 (DigitalGlobe)).

Der Erdbeobachtungssatellit WorldView-2 wurde im Oktober 2009 gestartet und nimmt hochauflösende multispektrale Satellitendaten in acht Spektralkanälen auf. Der Orbit des Satelliten befindet sich in 770 km Höhe und stellt neben den vier Standardkanälen Blue,

Green, Red und Near Infrared 1 (NIR1) die vier weiteren Kanäle Coastal, Yellow, Red Edge und Near Infrared 2 (NIR2) zur Verfügung. Die Lage und Bandbreite der Kanäle wird in Abbildung 16 dargestellt. Die Bodenauflösung des panchromatischen Kanals beträgt 48 cm und die der multispektralen Kanäle 1,85 m. Der Satellit deckt eine Streifenbreite von 16,4 km ab und braucht für eine Umlaufperiode 100 Minuten (DigitalGlobe, 2013).

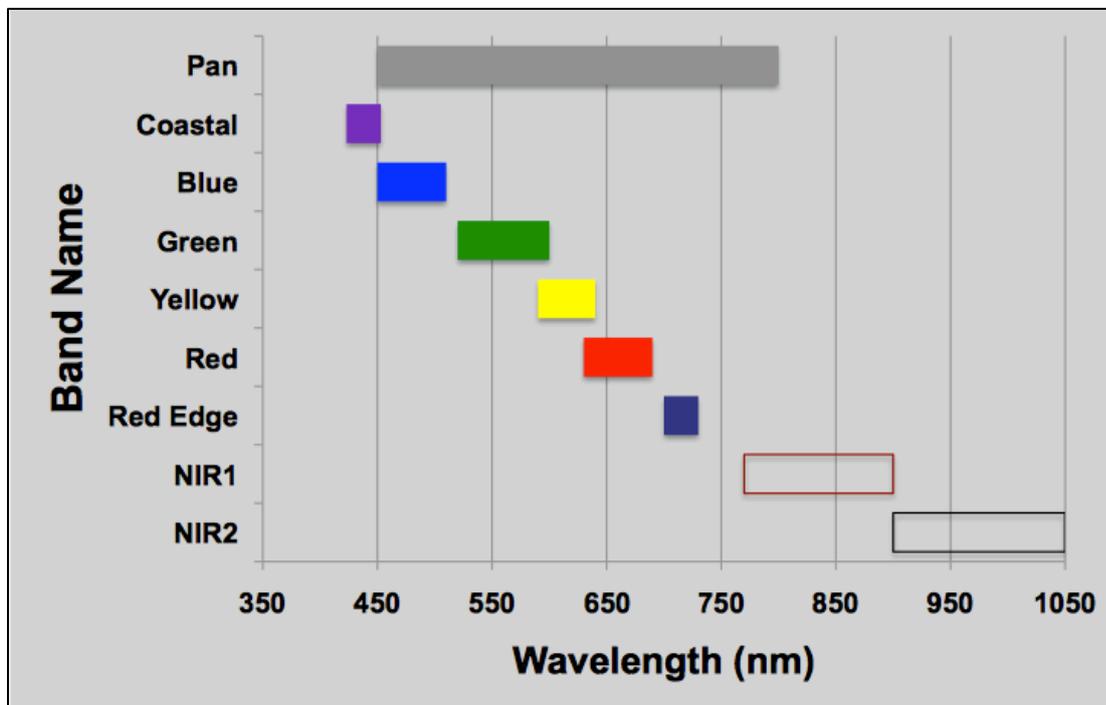


Abb. 16: Lage und Bandbreite der WorldView-2 Kanäle (Quelle: DigitalGlobe 2009).

3.5.2 Vorprozessierung der Satellitenbilder

Die WV-2-Daten wurden im Standard Format geliefert. Dies bedeutet, dass bereits eine radiometrische, geometrische und sensorische Korrektur an den Bildern vorgenommen wurde (DigitalGlobe 2013). Zusätzlich sind die Daten in ein kartographisches Koordinatensystem (UTM) eingebettet.

Nachdem die Kanäle von DigitalGlobe separat geliefert werden, wird zuerst mit den multispektralen Kanälen ein Layerstack im Programm *ERDAS Imagine* erstellt. Die multispektralen Kanäle haben aufgrund technischer Beschränkungen eine geringere Auflösung als der panchromatische Kanal, jedoch wird in den meisten Fällen eine hohe spektrale und räumliche Auflösung erwünscht ist. Deshalb werden an Fernerkundungsdaten oft Bildfusionstechniken angewendet (Zhang 2004, S.657). Erfolgt die Bildverbesserung durch die Verwendung eines panchromatischen Kanals bzw. Datensatzes, wird dies als Pansharping bezeichnet (Alparone et. al. 2007, S.3012).

PanSharpening

Neben den vielen Bildfusionstechniken für 3 - 4 Kanäle, gibt es auch eigene für 8 Kanäle. In mehreren Publikationen werden die unterschiedlichen Techniken auf WV-2-Bilder angewendet und miteinander verglichen. Hornberg und Ehlers (2014, S.2-3) wandten drei Fusionsverfahren an einem WV-2-Datensatz an: Das oft verwendete Gram-Schmidt-Sharpener (GS), die Ehlersfusion, welche variable Parametereinstellungen ermöglicht sowie das explizit für WV-2-Daten entwickelte Hyperspherical-Color-Sharpener (HCS). Padwick et al. (2010) verglichen die Techniken Principal Component Algorithmus (PCA), Hue-Intensity-Saturation (HIS), GS und HCS miteinander. Die Qualität der fusionierten Bilder wurde sowohl visuell als auch quantitativ untersucht. Padwick et al. (2010) präsentierten eine neue quantitative Messung der Pansharpening-Performances, welche die räumliche und spektrale Qualität des Ergebnisbildes misst. In beiden Publikationen konnte die Qualität des HCS-Sharpener am meisten überzeugen. Aufgrund der positiven Erfahrungen und besseren Ergebnissen in den unterschiedlichen Studien und der Empfehlung von DigitalGlobe, dem Anbieter der WV-2-Satellitenbilder, wird in dieser Arbeit ebenfalls das HCS-Sharpener angewendet. Die Bildfusionierung wird in *ERDAS Imagine* durchgeführt, das HCS-Sharpener unter dem Punkt „Resolution Merge“ implementiert hat. Abbildung 17 zeigt die Gegenüberstellung eines multispektralen, panchromatischen und fusionierten Ausschnittes.

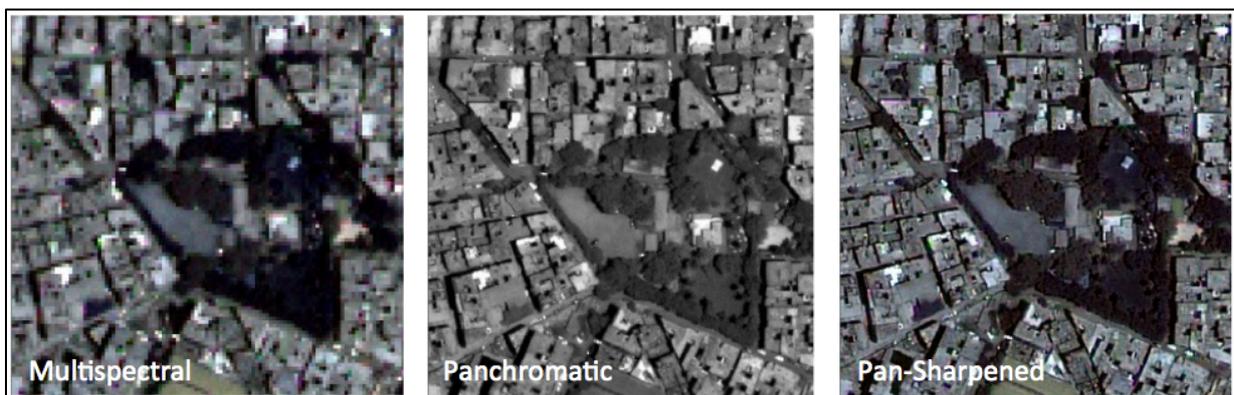


Abb. 17: Vergleich von multispektralen, panchromatischen und fusionierten Satellitenbild (Quelle: Satellitenbilder: WorldView-2 (DigitalGlobe)).

3.6 OBJEKTBASIERTE KLASSIFIKATION DER WV-2-SZENEN

Ziel der objektbasierten Klassifikation ist die Erhebung und Unterscheidung von informellen Siedlungen in Kairo auf Baublockebene. Je nach Bildmaßstab kann der Zweck der Slumkartierung variieren. Einerseits ist es nötig einzelne Hütten zu detektieren. Andererseits reicht es oft die informellen Siedlungen zu lokalisieren bzw. räumlich zu konturieren

(Hofmann 2001, S.107). Da im weiteren Verlauf der Arbeit die Verbreitung der informellen Siedlungen sowie eine Bevölkerungsabschätzung für die gesamte Metropolregion angestrebt werden, wird die Klassifikation in Baublockgröße durchgeführt.

3.6.1 Beschreibung der Subsets

Da die beiden WV-2-Szenen große Dateigrößen haben und somit der Rechenaufwand für die Klassifikation der ganzen Szenen in *eCognition* zu zeitaufwendig ist, werden drei Subsets erstellt. Bei der Auswahl der Subsets wird darauf geachtet, dass in jedem Ausschnitt mindestens zwei unterschiedliche Siedlungstypen auftreten, sodass die informellen Siedlungen vom Typ A und Typ B von den formellen Siedlungen unterschieden und charakterisiert werden können. Da informelle Siedlungen vom Typ C nur innerhalb der Altstadt auftreten und nach tagelangen Bemühen weder spektral noch aufgrund der Baustruktur von den formellen Vierteln unterscheidbar sind, wird Typ C in der Klassifikation nicht beachtet. Die drei Subsets werden nach den gleichen Regeln klassifiziert, damit das Regelwerk auch auf andere Stadtgebiete oder ggf. Städte übertragbar ist. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick der drei Subsets und ihrer enthaltenen Siedlungstypen.

Tab. 3: Eigenschaften der drei WV-2-Subsets

	Größe	Gov.	Siedlungstypen	Stadtteil
Subset 1	1,53 km ²	Giza	Typ A, formell	Imbaba
Subset 2	3,28 km ²	Kairo	Typ B, formell	Manshiet Nasser, Al Azhar Park
Subset 3	3,26 km ²	Kairo	Typ A, Typ B, formell	Dar El Salam

3.6.2 Beschreibung des Klassifikationsablaufs

Siedlungsflächen werden durch einen iterativen Prozess von Segmentierung und Klassifikation extrahiert. Ein iterativer Prozess gewährt die erfolgreiche Informationsextraktion aus einem Bild und verfeinert zusätzlich die objektbasierte Klassifikation (Benz et al. 2004, S.241). Im Zuge des iterativen Prozesses wird eine Landnutzungsklassifikation erstellt, mit dem Ziel die Siedlungsflächen zu extrahieren. Folgende Landnutzungsklassen werden ausgeschieden:

- Straßen	- Schatten	
- Vegetation	- Friedhof	
- Gewässer	- Siedlungsflächen:	Informell Typ A
- Vegetationsloser Boden		Informell Typ B
- Sonstige		Formell

Eine objektbasierte Analyse erlaubt unter anderem die Verwendung von unterschiedlichen Parametereinstellungen durch mehrfache Segmentierungsoptionen. So werden in dieser Arbeit drei Segmentationsebenen pro Bildausschnitt erstellt: Level 3 ist das Umgebungslevel und enthält aufgrund der Parametereinstellung die größten Objekte. In Level 3 werden die Klassen Gewässer, Vegetation, Hauptstraßen, vegetationsloser Boden und Sonstige klassifiziert. Somit sind größere Gebiete klassifiziert, die im weiteren Verlauf der Klassifikation nicht beachtet werden müssen bzw. gegebenenfalls verbessert werden können.

Die Klassen werden ins Objektlevel (L1) übertragen, in welchem die unklassifizierten Segmente aus Level 3 mit einer feineren Segmentierung neu unterteilt werden. Durch die erneute Segmentierung entstehen Objekte in der Größenordnung von Häusern. Dadurch können Klassen mit kleiner Flächenausdehnung, wie Schatten und Straßen, die in Level 3 nicht unterscheidbar waren, klassifiziert werden.

In Level 2 bzw. Siedlungslevel werden die kleinen Objektgrößen aus Level 1 zusammengefügt und die Segmentierungsparameter so gewählt, dass die Segmente der Siedlungsflächen Baublöcke entsprechen. Wiederum wird die Klassifikation von Level 1 in diese Ebene übernommen. Die bisher unklassifizierten Objekte bilden die Siedlungsflächen, die aufgrund des iterativen Prozesses noch ohne Klassenzuweisung sind. Auf diesem Segmentationslevel wird auch die Unterscheidung der Siedlungstypen durch Ontologie vorgenommen. Demnach liefert Level 2 das Endergebnis der Klassifikation. Abbildung 18 veranschaulicht den Arbeitsablauf der Klassifikation.

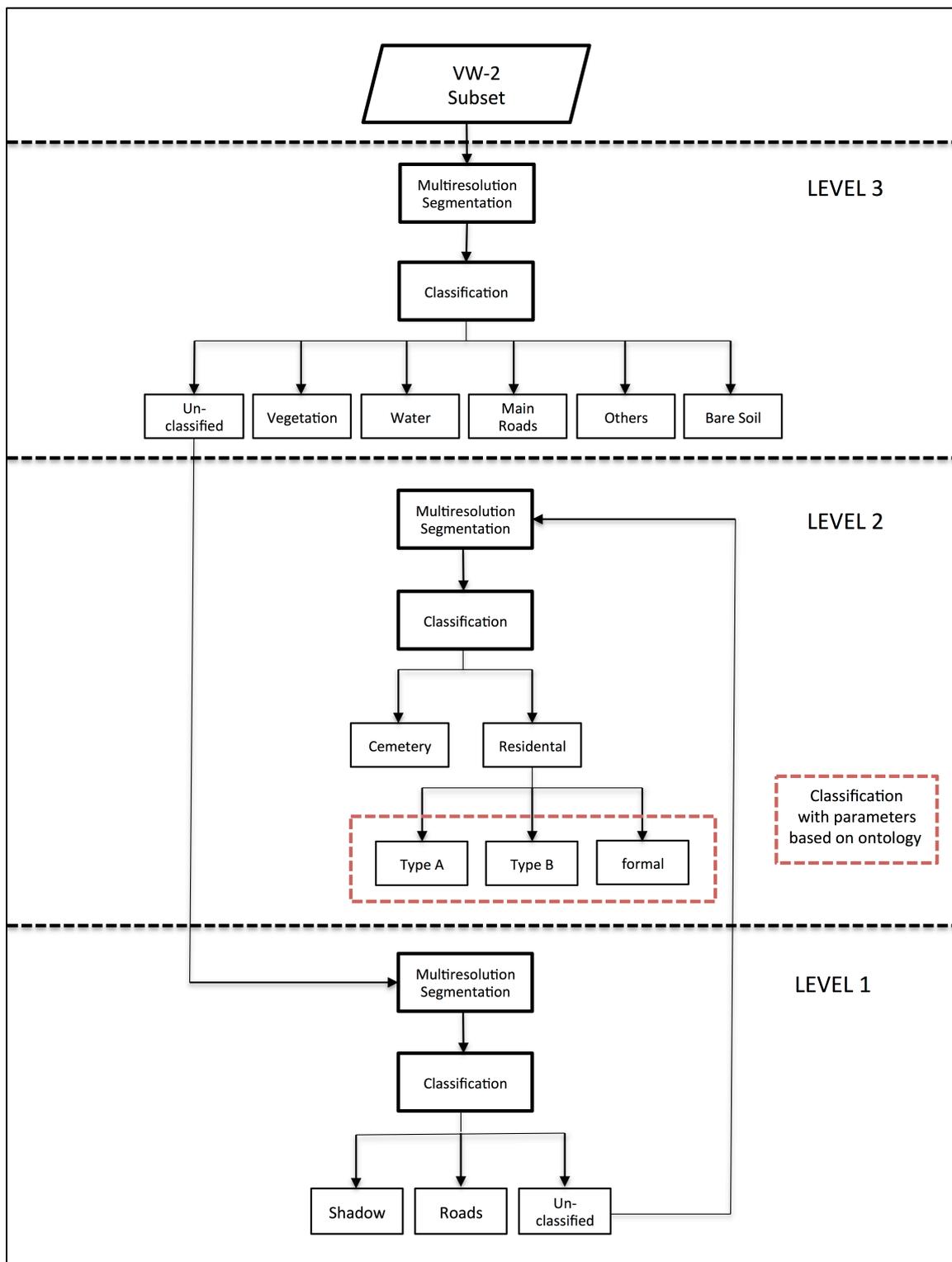


Abb. 18: Vorgehensweise bei der objektbasierten Slumklassifikation (Quelle: eigener Entwurf).

3.6.3 Segmentierung in eCognition

Bei der objektbasierten Bildanalyse wird die gängige Methode der hierarchischen Segmentierung angewendet. Dies hat den Vorteil, dass jedes Objekt bzw. Segment seine

Lage und Zugehörigkeit in der Ebene darüber bzw. darunter kennt. Dadurch ist es möglich, Klassifikationsparameter aufgrund der Beziehungen zwischen den Ebenen zu finden. Die WV-2 Bilder werden durch die Auswahl unterschiedlicher Scale-Parameter in drei Ebenen segmentiert. Als Segmentierungsmethode wird jeweils *Multiresolution Segmentation* verwendet und dabei eine hohe Gewichtung auf die Form gelegt. Da unterschiedliche Layer-Gewichtungen keine merkbaren Unterschiede bei der Bildung der Segmente hervorbringen, werden alle Layer gleich gewichtet. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Segmentierungsstrategie. Level 3 enthält die größten Segmente, welche die Größe von mehreren Baublöcken haben. Dadurch können bereits große Flächen von Vegetation, Wüstenflächen, Hauptstraßen, oder Gewässer klassifiziert werden. Level 3 wird später auch dazu verwendet, die Siedlungsflächen aufgrund ihres Grünanteils zu unterscheiden. Die feinste Segmentierung wird in Level 1 erstellt. Diese Ebene wird auch als Objektlevel bezeichnet und enthält Segmente in der Größenordnung von einzelnen Häusern. Nach der Übertragung der Klassifikation aus Level 3 werden in Level 1 Objekte wie Schatten oder Straßen klassifiziert, die einen kleineren Segmentierungsschritt erfordern. Für Level 2 werden die Segmentierungsparameter so gewählt, dass die Segmente der Siedlungsflächen Baublöcke gleichen.

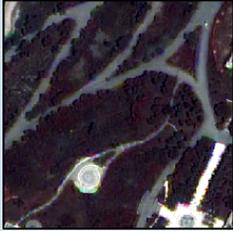
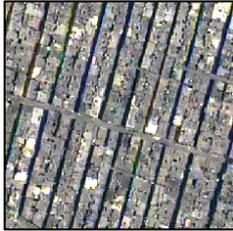
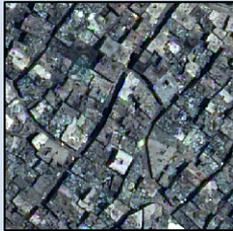
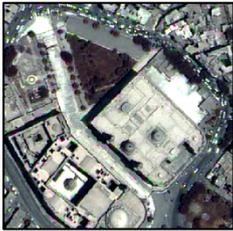
Tab. 4: Überblick der Segmentierungsebenen und deren Eigenschaften

Level	Scale-Parameter	Shape/ Compactness	Klassen	Ebene
1	20	0.9/0.1	Vegetation, Schatten, Straßen, Boden	Gebäude
2	150	0.9/0.1	Straßen, Boden, Siedlungen	Baublock
3	200	0.9/0.1	Gewässer, Vegetation, Boden, Straßen, Sonstige	Baublöcke/ Stadtviertel

3.6.4 Klassifikationsablauf in eCognition

Nach der Bildsegmentierung, die den Grundstein für eine erfolgreiche Klassifikation bildet, folgt die Klassifikation der Bildobjekte. Diese werden wie bereits angemerkt, auf verschiedenen Ebenen klassifiziert (vgl. Tabelle 4). Schritte zur Verfeinerung der Klassifikationen werden auf allen Ebenen angewendet. Die Klassifikationsmerkmale der einzelnen Klassen werden nun beschrieben. Tabelle 5 zeigt je ein Beispielbild für jede Klasse.

Tab. 5: Beispielschlüssel für die Landnutzungsklassen.

Klasse	Beispiel	Klasse	Beispiel
Vegetation		Friedhof	
Offener Boden		Siedlung Typ A	
Straßen		Siedlung Typ B	
Sonstige		Formelle Siedlung	

3.6.4.1 Gewässer

Zur Klassifikation von Wasserflächen, wie z.B. ein künstlicher See im Al Azhar Park, wird der Normalized Difference Water Index (NDWI) berechnet und verwendet. Der NDWI ist durch die Formel

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} \quad (1)$$

gegeben (Mhangara und Odini 2012, S.2-3). Ein NDWI Schwellenwert von größer gleich 0,22 trennt die Wasserflächen von den übrigen Klassen. Durch die Größe der Segmentfläche können kleine Fehlklassifikationen eliminiert werden.

3.6.4.2 Vegetation

Der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) wird für die Klassifikation der Grünflächen verwendet. Die Formel des NDVI lautet (Mhangara und Odini 2012, S.2-3):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2)$$

Dabei werden alle unklassifizierten Flächen mit einem NDVI Schwellenwert von größer gleich 0,3 als Vegetation ausgewiesen.

3.6.4.3 Vegetationsloser Boden / Offener Boden

In der Wüstenstadt Kairo nehmen vegetationslose Flächen einen großen Teil ein. Durch Experimentieren wird die Standardabweichung der Spektralwerte des Coastal-Kanals als geeigneter Klassifikator für Böden identifiziert. Dabei kommt ein Schwellenwert von kleiner gleich 40 zum Einsatz. Aufgrund der ähnlichen spektralen Eigenschaft werden falsch klassifizierte Segmente wie z.B. Moscheen durch ihre Helligkeit (Brightness) und Form (Rectangular Fit) wieder der Klasse unklassifiziert zugewiesen. Die Standardabweichung des Coastal-Layers wird auch in den anderen Segmentationsstufen angewendet, um die Klassifikation zu verfeinern.

3.6.4.4 Straßen

Straßen werden auf zwei Segmentationsebenen identifiziert und klassifiziert. Große Hauptstraßen, wie z.B. die Ring Road, werden in Level 3 durch ihr Längen/Breiten-Verhältnis (≥ 10) und dem NDVI ($\leq 0,09$) klassifiziert. Viele Straßen, vor allem in den informellen Siedlungen, sind aufgrund ihrer Beschaffenheit spektral kaum von ihrer Umgebung unterscheidbar. Deshalb werden im Objektlevel Straßen hauptsächlich durch die Form und Nachbarschaftsbeziehungen ihrer Segmente klassifiziert. Dabei kommen die Merkmale Länge/Breite-Verhältnis (≥ 10) und Asymmetrie ($\leq 0,98$) zum Einsatz. Durch die relative Grenzlänge zu Straßen (rel. Border to) und der Fläche können kleine Segmente, die an Straßen angrenzen, von den Gebäudesegmenten unterschieden werden. Durch ein bestimmtes Bänderverhältnis der Kanäle Coastal und Red lassen sich laut Elsharkawy et al. Asphalt, Schatten und künstliche Objekte identifizieren (Elsharkawy, A. et al. 2012, S.6). Die Formel dazu lautet:

$$R2 = \frac{(COASTAL - RED)}{(COASTAL + RED)} \quad (3)$$

So sind die Werte des erstellten R2 ($R2 \geq 0.4$) die einzigen spektralen Informationen, die bei der Klassifikation der Ortstraßen eingesetzt werden. Autos, welche als helle kleine Objekte auf Straßen erkennbar sind, lassen sich durch ihre Fläche (≤ 150) und Helligkeit (≥ 500) klassifizieren.

3.6.4.5 Sonstige

Zur Klasse Sonstige gehören unter anderem Moscheen, große Hallen und Bürogebäude sowie Einkaufszentren. Sie sind durch sehr helle und große Flächen charakterisiert. Deshalb werden die Merkmale Helligkeit und Fläche zur Identifizierung verwendet.

3.6.4.6 Schatten

Schattenflächen können durch ihre geringe Reflektion (Brightness ≤ 305) klassifiziert werden. Aufgrund der Gebäudeschatten überlagern sich teilweise die Klassen Schatten und Straßen. Zur Zielführung dieser Arbeit ist eine genaue Unterscheidung aber nicht nötig.

3.6.4.7 Friedhof

Die Klasse Friedhof ist eine Sonderform und kommt nur in Subset 2 vor. Sie wird im Level 3 von den anderen Siedlungen unterschieden und in Level 2 klassifiziert. Eingesetzt werden dabei der Bänderratio R2 (≤ 0.2) und die Segmentgröße (≥ 30000 Pixel).

3.6.4.8 Siedlungen

Die Siedlungsflächen bleiben aufgrund des iterativen Prozesses als unklassifizierte Segmente über. Die Unterscheidung zwischen den Typen erfolgt aufgrund der erstellten lokalen Ontologie. Die Beschreibung der Klassifikation erfolgt im nächsten Punkt.

3.6.5 Unterscheidung zwischen formellen und informellen Siedlungen

Nachdem die Siedlungsflächen im Zuge der Landnutzungsklassifikation identifiziert und von den anderen Klassen differenziert wurden, wird die in Punkt 3.3 vorgestellte lokale Ontologie als Regelwerk zur Slumdetektion eingeführt. Durch die in der lokalen Ontologie festgehaltenen Merkmale können die passenden Klassifikationsparameter in *eCognition* identifiziert werden. Die Schwellenwerte und Parameter werden durch Probieren festgelegt. Wie bereits in Kap. 2.5.4 und Kap. 3.3 beschrieben, sind Baublöcke vom Typ C in ihrer Morphologie nicht informell und deshalb ist es kaum bis gar nicht möglich die Strukturen der Slums von den innerstädtischen formellen Gebieten zu trennen. Typ C befindet sich in Mitten der Altstadt und die Gebäudestruktur ist aus der Luft bzw. im Satellitenbild nicht von den formellen Arealen unterscheidbar.

Für die Unterscheidung der Siedlungsflächen wird in jeder Szene zuerst im Umgebungslevel L3 gearbeitet. Die dort klassifizierten Siedlungsklassen werden anschließend auf das

Siedlungslevel übertragen und verbessert. Das Objektlevel L1 dient lediglich zur Landnutzungsklassifikation. Für die Unterscheidung aufgrund der Gebäudegrößen oder Zusammensetzung sind die Unterschiede zu gering.

3.6.5.1 Typ A

Im Umgebungslevel L3 werden Siedlungsobjekte mit einem niedrigen Anteil an Grünflächen ($NDVI \leq 0,09$) als Typ A identifiziert. Aufgrund der länglichen, rechteckigen Form der Baublöcke wird zusätzlich mit dem Längen/Weiten-Verhältnis eines Objektes ($\geq 3,5$) und mit Rectangular Fit $> 0,9$ gearbeitet. Die Klassifikation wird mittels *Existance of Superobjects* in das Ziellevel L2 übernommen. Nicht klassifizierte Segmente vom Typ A können aufgrund der Nachbarschaftsbeziehungen (Distanz oder Relative border to) als Typ A klassifiziert werden. Aufgrund des homogenen Erscheinungsbilds von A wird das Merkmal Asymmetrie ($\leq 0,6$) verwendet.

3.6.5.2 Typ B

In L3 wird Typ B aufgrund der fehlenden Grünflächen und der Distanz zur Klasse Sonstige (> 500 Pxl.) identifiziert. Da Typ B in der Gesamtheit betrachtet dunkler erscheint, kann mit Brightness (≥ 500) gearbeitet werden. Nach der Übertragung auf den Siedlungslevel wird die Klassifikation von B mithilfe von Nachbarschaftsbeziehungen verbessert.

Tab. 6: Siedlungstypische Merkmale und deren Klassifizierungsparameter in eCognition.

Siedlungstyp	Merkmale	eCognition
Informell A	-Keine bzw. spärliche Vegetation	-Spektral
	-Homogene Baublöcke	-Form, Größe
	-Kaum Infrastruktureinrichtungen	-Nachbarschaftsbeziehung
Informell B	-Keine bzw. spärliche Vegetation	-Spektral
	-Heterogene Straßenmuster	-Form
	-Dunklere Gesamterscheinung	-Spektral
	-Keine Infrastruktureinrichtungen	-Nachbarschaftsbeziehung
Formell	-Nähe zu Wüstenflächen	-Nachbarschaftsbeziehung
	-Vegetation und Parkanlagen	-Spektral, Nachbarschaftsbeziehungen
	-Heterogene und homogene Straßenmuster	-Form
	-Infrastruktureinrichtungen	-Nachbarschaftsbeziehung

3.6.5.3 Formelle Siedlungen

Im Gegensatz zu den beiden informellen Typen weisen formelle Siedlungen im Umgebungslevel einen deutlichen höheren Anteil an Vegetationsflächen auf ($NDVI > 0,09$) und beinhalten einen größeren Anteil an Sonstigen. In L2 wird durch die Nähe zu Vegetation und bereits klassifizierten formellen Siedlungen die Klassifikation verbessert.

Tabelle 6 skizziert die Hauptmerkmale, die sowohl bei der Unterscheidung zwischen formellen und informellen Gebieten, als auch bei der Unterscheidung zwischen den Slumtypen eingesetzt werden. Zudem zeigt sie mit welchen Features die Merkmale in *eCognition* klassifiziert werden.

3.7 KLASSIFIKATIONSERGEBNISSE

Die drei Klassifikationen werden zuerst einem visuellen Vergleich unterzogen, um eine erste Einschätzung der Klassifikationsqualität zu erhalten. Zusätzlich werden aufgetretene Probleme bei der Segmentierung angesprochen. Danach werden die Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse präsentiert und die errechneten Genauigkeiten besprochen.

3.7.1 Visueller Vergleich

Die einfachste Form, um die Qualität der Klassifikation zu beurteilen, ist ein visueller Vergleich der Klassifikation mit dem Satellitenbild. Durch Erfahrungswerte und Wissen über das Untersuchungsgebiet kann eine erste Einschätzung der Klassifikationsgüte erfolgen. Folgende Abbildungen (Abb. 19 - 21) zeigen die Gegenüberstellungen zwischen Klassifikation und Satellitenbild, die auf den ersten Blick zufriedenstellend sind. Genaue Aussagen über die Klassifikationsgenauigkeit werden in Kap. 3.7.2 durch Genauigkeitsanalysen getroffen. Thematische Karten der Klassifikationen befinden sich im Anhang (A4)

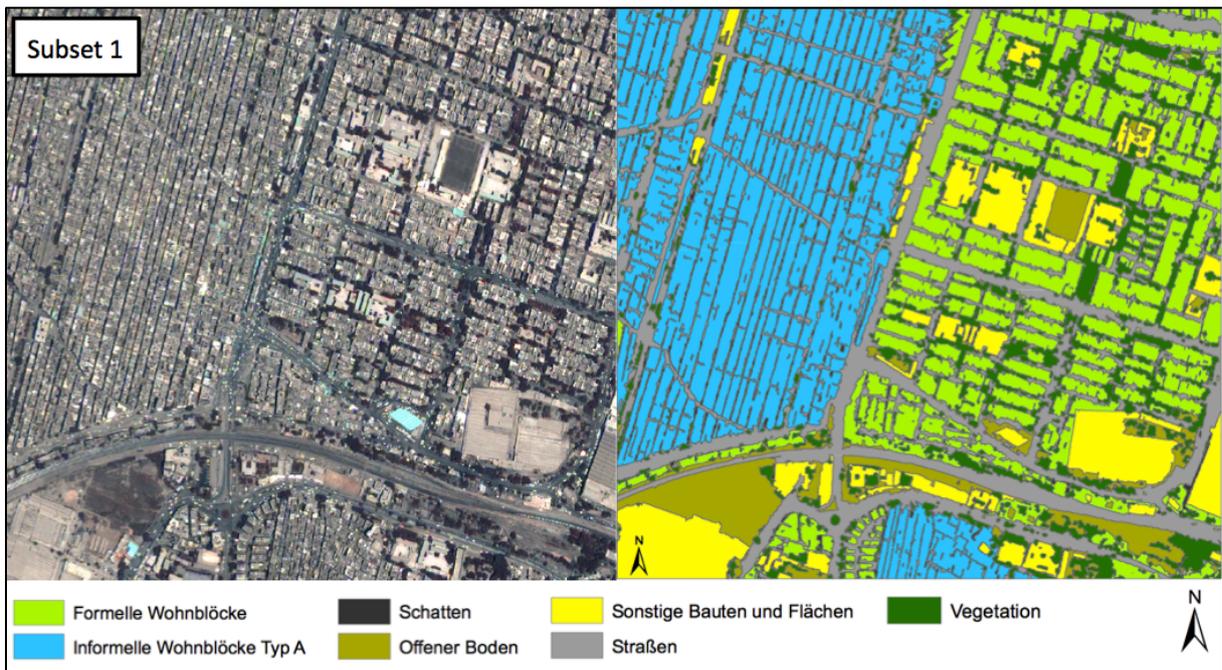


Abb. 19: Visueller Vergleich der Klassifikation mit dem Satellitenbild - Subset 1 (Quelle: Satellitenbild: WorldView-2 (DigitalGlobe)).

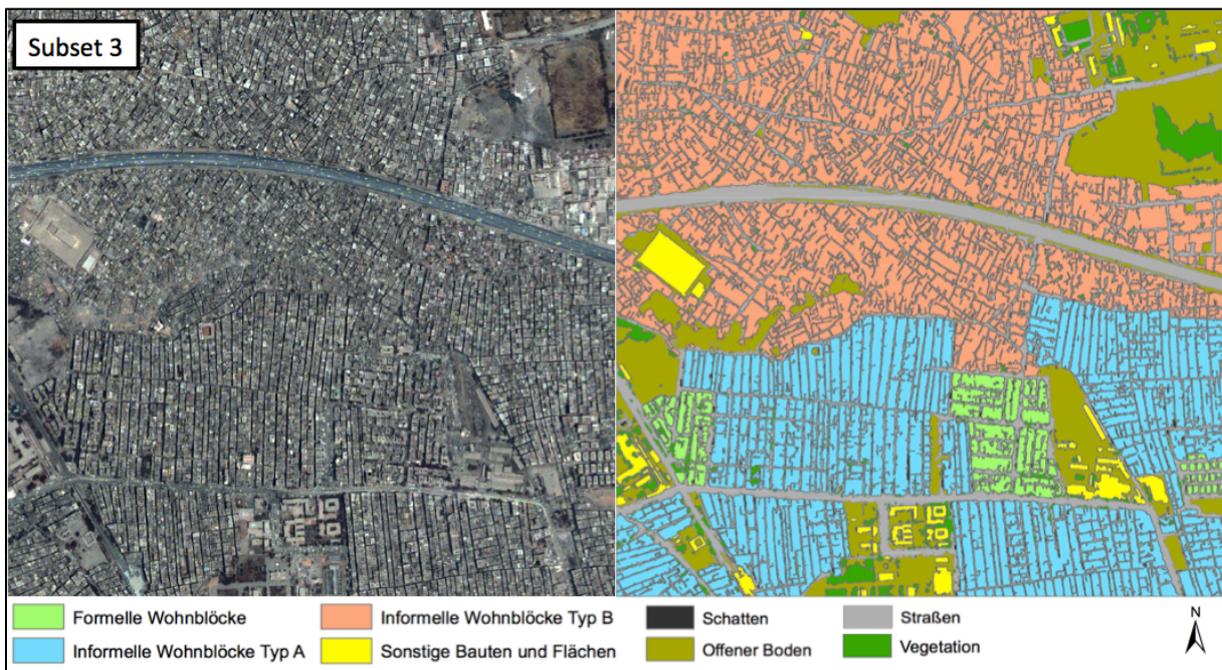


Abb. 20: Visueller Vergleich der Klassifikation mit dem Satellitenbild - Subset 3 (Quelle: Satellitenbild: WorldView-2 (DigitalGlobe)).



Abb. 21: Visueller Vergleich der Klassifikation mit dem Satellitenbild - Subset 2 (Quelle: Satellitenbild: WorldView-2 (DigitalGlobe)).

Aufgrund der spektralen Ähnlichkeit zwischen den Klassen offener Boden, Straßen und Siedlungen ist es nicht einfach die geeigneten Parameter für die Segmentation der Baublöcke bzw. Häuser zu finden. In einigen Bildbereichen sind die Grenzen zwischen Häuserblöcken, Straßen oder Wüstenflächen nicht erkennbar. Dennoch konnten zufriedenstellende Segmentationsparameter, die auf die gesamte Region anwendbar sind, gefunden werden. Abbildung 23 zeigt den Vergleich der automatischen Klassifikation mit der analogen Klassifikation (vgl. Kap.4). Dabei kann die Erfassung der Baublöcke als gelungen angesehen werden. Das Beispielbild für Typ A (Abb. 23) zeigt, dass die Baublöcke aufgrund der spektralen Ähnlichkeit zwischen den Klassen nicht überall exakt abgrenzbar sind. Abhilfe

können Zusatzdaten wie Höheninformationen oder Katasterdaten schaffen (vgl. Kap. 1.3.2). Jedoch sind qualitative Höhenangaben mit weiteren Kosten verbunden und Katasterdaten in Entwicklungsländer oft nicht vorhanden. Zusätzlich sind die Siedlungen aufgrund ihrer Informalität kaum in Karten oder Plänen verzeichnet. Eine weitere Möglichkeit ist, die digitalisierten Baublöcke der analogen Klassifikation in den Segmentierungsprozess einzubinden. Dieser Schritt wird jedoch nicht durchgeführt, da das Regelwerk auf das gesamte Stadtgebiet einsetzbar sein soll. Somit erfolgt die Klassifikation nur aufgrund der Informationen im Satellitenbild.

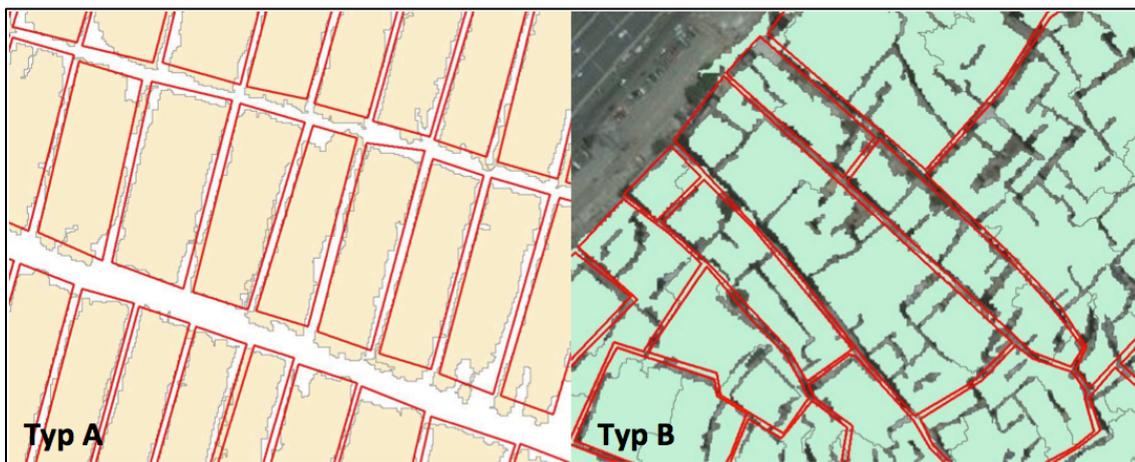


Abb. 22: Vergleich der analogen Klassifikation (rote Umrangungen) mit der Segmentierung der automatischen Klassifikation (Quelle: eigener Entwurf).

3.7.2 Genauigkeitsanalyse

Die Genauigkeitsanalysen (Accuracy Assessment) der drei Szenen werden im GIS-Programm *ArcGIS* durchgeführt. Dazu werden mit dem Tool *Create Random Points* zufällig Punkte im ganzen Bild verteilt. Dabei werden die Punkte als Referenzpixel behandelt, mit Hilfe deren ein Vergleich zwischen der Klassifikation und einem Referenzbild durchgeführt wird. Für jede Klasse werden 60 Punkte erstellt, um eine gleichmäßige Abdeckung der Klassen zu erhalten. Die Klasse Schatten wird aufgrund der Veränderung durch den Sonnenstand nicht in die Genauigkeitsanalyse miteinbezogen. Als Referenz wird die im *ArcGIS* implizierte Basemap sowie die Ergebnisse der analogen Klassifikation (vgl. Kap. 4.2) verwendet.

Zur Beschreibung der Genauigkeit der Klassifikation sowie der Art des Fehlers wird eine Konfusionsmatrix verwendet. Bei einer Konfusionsmatrix handelt es sich um eine Tabelle, bei der klassenweise die Ergebnisse der Klassifikation den Referenzdaten gegenüber gestellt werden. Im Normalfall entsprechen die Spalten den Referenzdaten, während die Zeilen das

Klassifikationsergebnis wiedergeben. Somit sind Verwechslungen innerhalb einer Klasse sofort ersichtlich. Dabei kann zwischen zwei Genauigkeiten unterscheiden werden: Die Produzentengenauigkeit (Producer Accuracy) gibt an, wie gut eine Klasse gefunden wurde. Sie ergibt sich aus dem Quotienten zwischen der richtig klassifizierten Fläche und den Referenzflächen. Hingegen gibt die Benutzergenauigkeit (User Accuracy) an, welcher Teil der gefundenen Fläche tatsächlich dieser Klasse in den Referenzdaten entspricht. Die Benutzergenauigkeit wird aus dem Quotienten der richtig klassifizierten Fläche und der gesamten klassifizierten Fläche berechnet (Lillesand et al. 2014, S.575-560).

Die Genauigkeitsanalysen für alle drei Szenen ergeben eine ähnliche Gesamtgenauigkeit. Bei Szene 1 wird eine Klassifikationsgenauigkeit von 86,4%, bei Szene 2 86,9% und bei Szene 3 85,5% erreicht. Auffällig bei einem Blick auf die Konfusionsmatrizen der Genauigkeitsanalysen (Tab. 7 - 9) ist, dass viele Objekte nicht als Straßen erkannt werden, sondern einer anderen Klasse zugewiesen werden. Die Klasse Straßen hat in allen drei Subsets eine vergleichsweise niedrige Produzentengenauigkeit und ist somit die am schwierigsten klassifizierbare Objektklasse. Die Straßen haben sehr unterschiedliche Erscheinungen und sind spektral oft schwer von den anderen Klassen zu unterscheiden. Bereits im Segmentierungsprozess können nicht alle Straßen eindeutig von den angrenzenden Häuserblöcken getrennt werden (vgl Abb. 22). Straßen mit Nord-Süd-Verlauf sind gut klassifizierbar, da durch den Sonnenstand und der damit verbundenen Schattenprojektion ein guter Kontrast zu den Häusern besteht. Die Benutzergenauigkeit, welche Auskunft über die Zuverlässigkeit der hergestellten thematischen Karte gibt, ist für die Klasse Offener Boden in allen drei Klassifikationen unter dem Durchschnitt.

Tab. 7: Konfusionsmatrix der Genauigkeitsanalyse für Szene 1.

Subset 1	Typ A	formell	Straßen	Offener Boden	Vegetation	Sonstige	Total	User Acc%
Typ A	49	7	4	0	0	0	60	81,7
formell	0	50	10	0	0	0	60	83,3
Straßen	3	5	52	0	0	0	60	86,6
Offener Boden	0	2	3	46	7	2	60	76,6
Vegetation	3	3	0	0	54	0	60	90
Sonstige	0	0	0	0	0	60	60	100
Total	55	67	69	46	61	62	360	
Producer Acc%	89,1	74,6	75,4	100	88,5	96,8		86,4

Tab. 8: Konfusionsmatrix der Genauigkeitsanalyse für Szene 2.

Subset 2	Typ B	formell	Friedhof	Gewässer	Straßen	Offener Boden	Vegetation	Sonstige	Total	User Acc%
Typ B	48	0	0	0	8	4	0	0	60	80
formell	0	47	0	0	6	2	1	4	60	78,3
Friedhof	0	0	53	0	7	0	0	0	60	88,3
Gewässer	0	0	0	60	0	0	0	0	60	100
Straßen	0	3	2	0	51	4	0	0	60	85
Offener Boden	6	0	0	0	4	50	0	0	60	83,3
Vegetation	0	0	3	0	0	4	53	0	60	88,3
Sonstige	0	2	0	0	3	0	0	55	60	91,7
Total	54	52	58	60	79	64	54	59	480	
Producer Acc%	88,9	90,4	91,4	100	64,6	78,1	98,1	93,2		86,9

Tab. 9: Konfusionsmatrix der Genauigkeitsanalyse für Szene 3.

Subset 3	Typ A	Typ B	formell	Straßen	Offener Boden	Vegetation	Sonstige	Total	User Acc%
Typ A	56	0	0	4	0	0	0	60	93,3
Typ B	10	50	0	0	0	0	0	60	83,3
formell	0	0	53	7	0	0	0	60	88,3
Straßen	6	0	0	47	7	0	0	60	78,3
Offener Boden	3	5	0	0	48	2	2	60	80
Vegetation	0	0	2	0	4	54	0	60	90
Sonstige	0	0	0	0	9	0	51	60	85
Total	75	55	55	58	68	56	53	420	
Producer Acc%	74,7	90,9	96,4	81,0	70,6	96,4	96,2		85,5

3.7.3 Zwischenfazit zur Klassifikation der informellen Siedlungen

Mit Gesamtgenauigkeiten der Landnutzungsklassifikationen zwischen 85,5 und 86,9% kann die Klassifikation der drei Subsets als sehr zufriedenstellendes Ergebnis betrachtet werden. Für informelle Siedlungen ergeben sich Produzentengenauigkeiten von 74,7% (Subset 3, Typ A) bis 89,1% (Subset 1, Typ A) und Benutzergenauigkeiten von 80% (Subset 2, Typ B) bis 93,3% (Subset 3, Typ A). Die Werte liegen zum Teil deutlich über den Bewertungen von vergleichbaren Klassifikationen aus der Literatur (vgl. Kap. 1.3.2) und können als Erfolg angesehen werden. Der Einsatz von Texturmerkmalen, bringt im Gegensatz zu den

Literaturbeispielen, keine nennenswerte Ergebnisse. Die Klassifikation bzw. Unterscheidung von Siedlungstyp C ist aufgrund der Lage und den morphologischen Begebenheiten nicht möglich (vgl. Kap. 2.5.4). Durch den Einsatz von Zusatzdaten, wie Katasterdaten oder Höheninformationen, könnte die Qualität der Klassifikation verbessert werden. Diese sind allerdings nicht verfügbar bzw. mit Mehrkosten verbunden.

4 VERGLEICH DER INFORMELLEN SIEDLUNGEN IN HINBLICK AUF BEVÖLKERUNGSDICHTE, PHYSIOGNOMISCHE STRUKTUREN UND ENTWICKLUNG ÜBER DIE ZEIT

4.1 EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK DER ANALYSE VON INFORMELLEN SIEDLUNGEN

In diesem Kapitel werden durch das Zusammenspiel von Fernerkundung und GIS, Informationen über die Bevölkerung, baulichen Strukturen und Veränderung von informellen Siedlungen gewonnen. Ein struktureller Slumvergleich mit Hilfe der Fernerkundung ist die einfachste Form der flächendeckenden Erfassung von physiognomischen Gegebenheiten. Besonders vor dem Hintergrund, dass für informelle Siedlungen, keine bzw. keine zugänglichen oder nur generalisierte Geodaten, wie ein digitales Straßennetz oder Katasterpläne, zur Verfügung stehen.

Wie viele Menschen in den informellen Siedlungen und Slums in GCMA leben ist ungewiss, denn die Angaben der Bewohneranzahl in informellen Siedlungen streuen stark. Deshalb werden aufgrund verschiedener Ausgangsdaten Populationsschätzungen durchgeführt und miteinander verglichen.

Ein Slumvergleich aufgrund unterschiedlicher Indikatoren gibt Aufschluss über die Hetero- oder Homogenität zwischen den drei Slumtypen. Durch die gewonnenen Informationen können die informellen Siedlungen in Kairo leichter identifiziert werden und Aussagen über Gesetzmäßigkeiten und der Erreichbarkeit von informellen Siedlungen gemacht werden.

Der Blick auf die Veränderung der Slumstrukturen in den letzten Jahrzehnten bringt Erkenntnisse über verschiedene Entwicklungsstadien und kann u.U. zukünftige Entwicklungen projizieren.

Die Analysen erfolgen auf der räumlichen Ebene von Baublöcken für informelle Siedlungen der Metropolregion Greater Cairo. Die Baublöcke werden dazu im *ArcGIS* digitalisiert und mit den Attributen „Blockhöhe“ und „Blockdichte“ versehen. Auf dieser geschaffenen Datenbasis erfolgen die räumlich statistischen und demographischen Analysen. Diese werden auf drei Bereiche aufgeteilt: Bevölkerungsanalysen, Analysen bzgl. der physiognomischen Strukturen und Zeitreihenanalyse der Strukturmerkmale.

4.2 GRUNDLAGEN DER ANALOGEN KLASSIFIKATION

Die Grundlage für die folgenden Analysen bildet eine analoge Klassifikation bzw. visuelle Interpretation der informellen Baublöcke. Aufgrund der niedrigen Kosten für Satellitenbilder und der hohen Klassifikationsgenauigkeit wird diese Methode ausgewählt. Die Nachteile der analogen Klassifikation sind die sehr zeitintensive Erfassung der Objekte, der erhöhte Bedarf an Vorwissen, sowie eine eingeschränkte Reproduzierbarkeit.

4.2.1 Abgrenzung der visuellen Bildinterpretation zur digitalen Klassifikation

Die Vorgänge, von der menschlichen Fähigkeit Gebrauch zu machen, um Bildinhalte wahrzunehmen, werden unter dem Begriff „Visuelle Interpretation“ zusammengefasst (Albertz 2007, S.121). Doch trotz der fortgeschrittenen und immer bedeutender werdenden digitalen Bildauswertung, wird die visuelle Interpretation, die auch als das „Lesen“ im photographischen Bild bezeichnet wird, nie ganz verdrängt werden. Die digitale Bildauswertung wird vor allem für erdkundende Fragestellungen eingesetzt, die kleinmaßstäbige Bilder und jene Bilder, die bereits bei der Aufnahme in digitaler Form anfallen, zugrunde liegen.

Bei der Bildinterpretation kann man zwischen zwei, mehr oder weniger deutlich voneinander trennbaren Stufen unterscheiden (Albertz 2007, S.121-123):

- Das Erkennen von Objekten (z.B. Straßen oder Flüsse). Dieser Prozess ist im wesentlichen auf den Erfahrungen, die ein Beobachter auf dem Gebiet der optischen Wahrnehmung mit sich bringt, aufgebaut.
- Die eigentliche Interpretation, bei der aufgrund der erkannten Erscheinungen Schlussfolgerungen gezogen werden. Hier spielt die bewusste Kombination mit speziellem Vorwissen eine Rolle.

4.2.2 Interpretationsfaktoren

Eine Reihe von Einzelfaktoren tragen zum Erkennen von Objekten und Sachverhalten in Luft- und Satellitenbildern bei. Diese wirken in nicht überschaubarer Weise zusammen. Die Erkennung dieser Faktoren ist für die Interpretation dennoch sehr wichtig. Die Helligkeit einer Fläche bzw. Schwärzung im Schwarzweißbild hängen im starkem Maße von den Reflexionseigenschaften der Objektflächen ab und enthalten somit Informationen über die abgebildeten Gegenstände. Zu den Interpretationsfaktoren zählen dabei (Albertz 2007, S.124-131):

- **Helligkeitsunterschiede** zwischen verschiedenartigen Flächen sind aussagekräftiger, da stärker reflektierende Oberflächen unabhängig von anderen Einflüssen stets heller wiedergegeben werden, als schwächer reflektierende. In Farbbildern sind Farbton und Farbsättigung weitere Hilfsmittel zum Erkennen und Unterscheiden von Objekten.
- Die **Formen von Objekten** sind ein weiterer Interpretationsfaktor, die durch eine Grenzlinie zwischen Flächen unterschiedlicher Schwärzung sichtbar werden. Aufgrund der senkrechten Aufnahme sind die Grundrissformen von besonderer Bedeutung. Besonders gut unterscheidbar sind natürliche von künstlichen Objekten, da bei den natürlichen keine geometrischen Formen, wie Geraden oder rechte Winkel vorkommen.
- Ein weiterer Interpretationsfaktor zum Erkennen von Objektarten ist die **Textur der Oberfläche**. Das Auftreten von Texturen ist eng mit dem Bildmaßstab verbunden und ist wichtig, da sie für verschiedene Objekte ein typisches Aussehen aufweist.
- Zum Erkennen von Oberflächenformen sind **Schattierungen** hilfreich. Im Allgemeinen entstehen Luftbilder bei schräg einfallendem Sonnenlicht. So entsteht bei unebenem Gelände eine ungleichmäßige Beleuchtungsstärke. Besonders deutlich ist dies bei vegetationsfreiem oder gleichmäßig bedecktem Boden der Fall. Dabei kommt interessanterweise bei der Betrachtung eine räumliche Wirkung zustande. Schlagschatten verraten bei allen aufragenden Objekten viele Einzelheiten über Form und Höhe dieser Objekte.
- Die **relative Lage von Objekten** gibt vielfach Hinweise auf die Identifizierung und Funktion von Gebäuden, auf die aufgrund von Zufahrtswegen, Nebengebäuden u.a. geschlossen werden kann. Oft können in dieser Hinsicht weitgehende Schlussfolgerungen gezogen werden.

Die bisher genannten Faktoren tragen zum Erkennen von Objekten bei. Neben der Feststellung von wahrnehmbaren Sachverhalten, versucht der Interpret durch erkannte Objekte, Rückschlüsse auf nicht direkt Erkennbares zu ziehen. Bei solchen Schlussfolgerungen sind die Vorkenntnisse des Interpreten eine notwendige Voraussetzung für eine fachgerechte Interpretation. Die genannten Interpretationsfaktoren, die zum Erkennen beitragen, dürfen nicht als Einzelfaktoren getrennt voneinander gesehen werden. Die Tätigkeit des Interpretierens ist ein komplexes Zusammenspiel der Augen- und Gehirnfunktionen (Albertz 2007, S.129)

4.3 ANALOGE KLASSIFIKATION DER INFORMELLEN BAUBLÖCKE

4.3.1 Digitalisierung der Baublöcke

Die analoge Klassifikation ist eine Möglichkeit, das Wissen über die Verbreitung der informellen Siedlungen digital festzuhalten. Die Klassifikation erfolgt im Zuge der Digitalisierung von Baublöcken. Diese sind physiognomisch und visuell abgrenzbar und erscheinen in sich homogen. Baublöcke werden meist durch eine Trennlinie in Form einer Straße voneinander abgegrenzt. Die Kartierung der Baublöcke erfolgt im Programm *ArcGIS*. Als Digitalisierungsgrundlage der visuellen Interpretation dient die ins GIS eingebundene Basemap. Die Basemap ist eine WV-2-Aufnahme vom 6.12.2011. Die WV-2-Daten, die in der objektbasierten Klassifikation genutzt werden, können aufgrund der fehlenden Gesamtabdeckung des Untersuchungsgebiets nicht genutzt werden. Wenn aufgrund der Auflösung oder sonstiger atmosphärischer Einflüsse keine eindeutige Zuordnung gemacht werden kann, werden *GoogleMaps* bzw. *GoogleEarth* und *BingMaps* als zusätzliche Interpretationshilfen herangezogen.

Die Kartierung der Baublöcke findet im Maßstab 1:2.000 statt. Aufgrund des radialen Versatzes der Zentralprojektion werden Objekte an den Rändern der Luftbilder radial nach außen versetzt abgebildet. Dennoch wird versucht, durch das „Durchschneiden“ von Gebäuden, den tatsächlichen Baublockgrundriss zu erhalten. Das Problem der Überschneidung von Gebäuden und tatsächlicher Blockabgrenzung tritt vor allem in Gebieten mit hohen Bauten auf. Insgesamt werden 37.196 Polygone gezeichnet, welche mit mehreren Attributen versehen werden und im Koordinatensystem UTM (Universal Transverse Mercator) Zone 36N eingebettet sind. Neben den physiognomischen Strukturmerkmalen, die im Folgenden näher beschrieben werden und für die Analysen wesentlich sind, werden noch folgende Attribute bestimmt:

- Informeller Siedlungstyp (A,B oder C)
- Name des Viertels bzw. Stadtteils
- Name des Gouvernements

4.3.2 Erhobene physiognomische Strukturmerkmale

Folgende Indikatoren werden bestimmt oder berechnet, um Unterschiede zwischen den Slums herauszufinden:

4.3.2.1 Grundfläche

Die Fläche eines Baublocks wird bei der Erstellung eines Polygons automatisch berechnet. Die Einheit der Flächengröße wird auf m² festgelegt.

4.3.2.2 Bebauungsdichte

Die Bebauungsdichte ist der Flächenanteil eines Baublocks, der überbaut ist und wird in Prozenten angegeben. Als bebaut gelten dabei Flächen, die mit festen Strukturen, also Gebäude aller Arten, überbaut sind. Zur Bestimmung der Dichte wird für jedes kartierte Polygon der bebaute Flächenanteil geschätzt. Die Unterteilung erfolgt in Prozent und Zehnerschritten. Demnach ist ein Baublock mit einem Dichtewert von 100 vollständig bebaut. Abbildung 23 zeigt Baublöcke mit unterschiedlichen Dichten. Die vollständige Bebauung ist charakteristisch für informelle Siedlungen und trifft auf einen sehr großen Teil der Blöcke zu. Baublöcke mit einer geringen Bebauungsdichte treten hauptsächlich an den Siedlungsrändern auf.

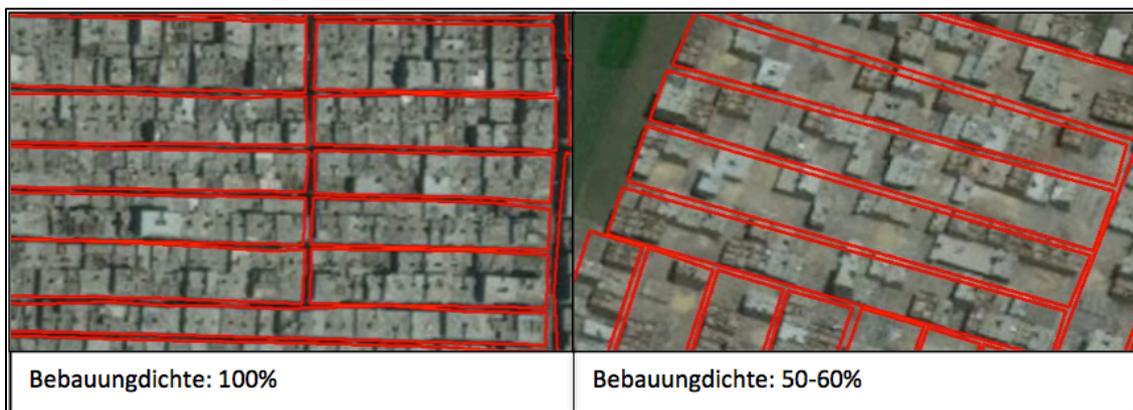


Abb. 23: Vergleich der Bebauungsdichten (Quelle: Satellitenbild: GeoEye-1 (DigitalGlobe)).

Abbildung 24 zeigt wie die Bebauungsdichte der informellen Blöcke in den drei informellen Siedlungen Imbaba, Manshiet Nasser und Al-Darb al Ahmer aussieht. Auffällig ist dabei die sehr hohe Bebauungsdichte in allen drei Vierteln. Lediglich an den Siedlungsrändern sind aufgrund der Bautätigkeiten niedrigere Dichten zu erkennen.

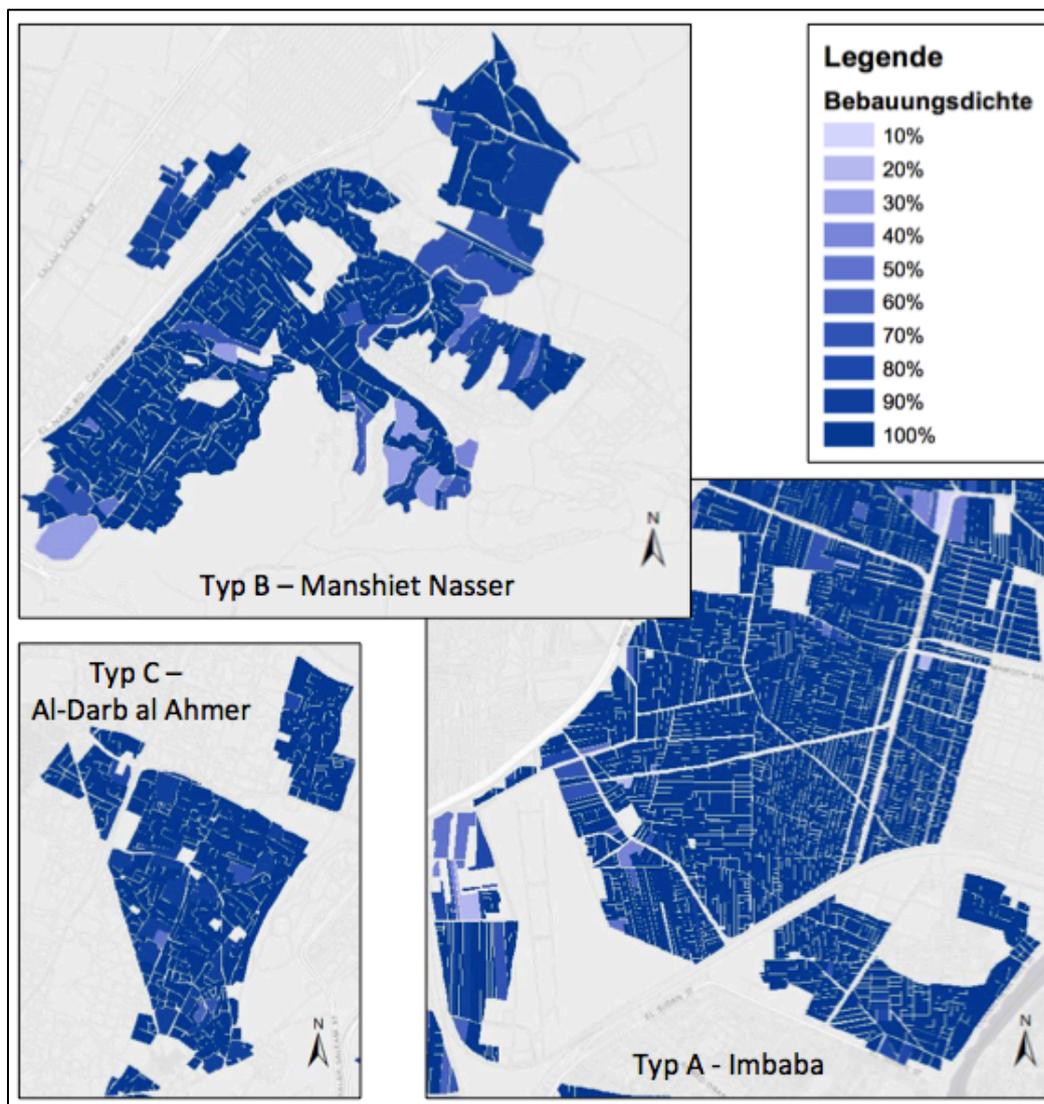


Abb. 24: Blockbebauungsdichte in den informellen Siedlungen Imbaba, Manshiet Nasser und Al-Darb al Ahmer (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

4.3.2.3 Gebäudehöhe in Stockwerken

Die Höhe der Gebäude wird in Stockwerken gezählt und festgehalten. Aufgrund fehlender Höheninformationen wird diese aus der Datengrundlage visuell geschätzt. Hilfreich bei der Höhenabschätzung sind im Bild erkennbare Gebäudeschatten und Gebäudefassaden, die aufgrund des radialen Versatzes an den Siedlungsgrenzen und an breiten Straßen sichtbar sind (vgl. Abb. 25). Zusätzliche Hilfe bieten Fotos der Stadt Kairo, die in *GoogleEarth* und *GoogleMaps* verortet sind. Die Gebäudehöhen der einzelnen Gebäude werden dann dazu genutzt, um die Höhe für den gesamten Baublock zu schätzen. Baublöcke, in denen keine Gebäudehöhen ablesbar sind, werden aufgrund ihrer Verhältnisse zu den angrenzenden Blöcken geschätzt. Abbildung 26 zeigt einen Ausschnitt der informellen Siedlungen Imbaba, Manshiet Nasser und Al-Darb al Ahmer, die nach ihrer Blockhöhe eingefärbt sind.



Abb. 25: Beispiele für die Schätzung der Gebäudehöhen (Quelle: Satellitenbild: BingMaps, GeoEye-1 (DigitalGlobe)).

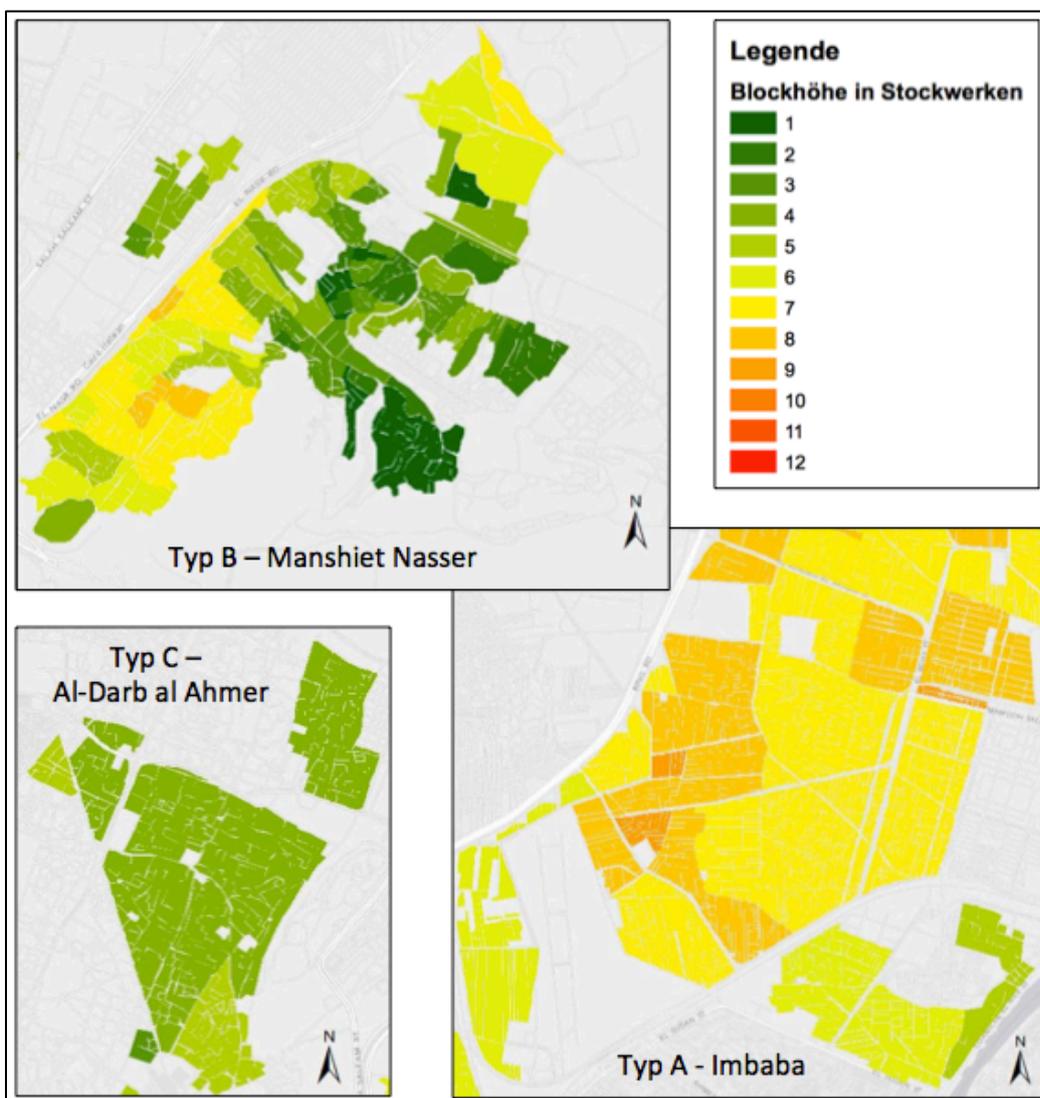


Abb. 26: Baublockhöhen in den informellen Siedlungen Imbaba, Manshiet Nasser und Al-Darb al Ahmer (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

4.3.2.4 Seehöhe und Hangneigung

Zur Bestimmung der Seehöhe der Baublöcke wird ein Digitales Höhenmodell verwendet. Das *ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM)* hat eine geometrische Auflösung von 30 Metern. Da die Analysen die gesamte Metropolregion betreffen und keine Aussagen für einzelne Baublöcke getroffen werden, ist die Auflösung für die Fragestellung dieser Arbeit ausreichend. Um die Seehöhe auf die Baublöcke zu übertragen, wird mit dem Tool *Join Data* gearbeitet.

Die Hangneigung (Slope) wird aus dem Digitalen Höhenmodell berechnet. Da die Slope-Erstellung im GIS einen lückenhaften Raster, in dem einigen Pixel keine Werte zugewiesen werden, hervorbringt, wird die Slope-Umwandlung mit dem Programm *ERDAS Imagine* durchgeführt. Im *ArcGIS* werden die mittleren Hangneigungswerte mittels *Join Data* auf die Baublöcke übertragen.

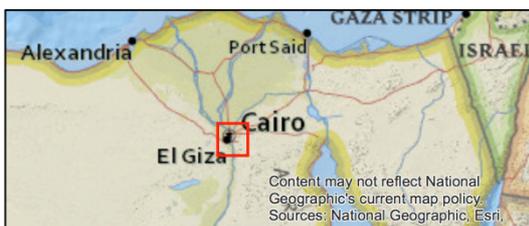
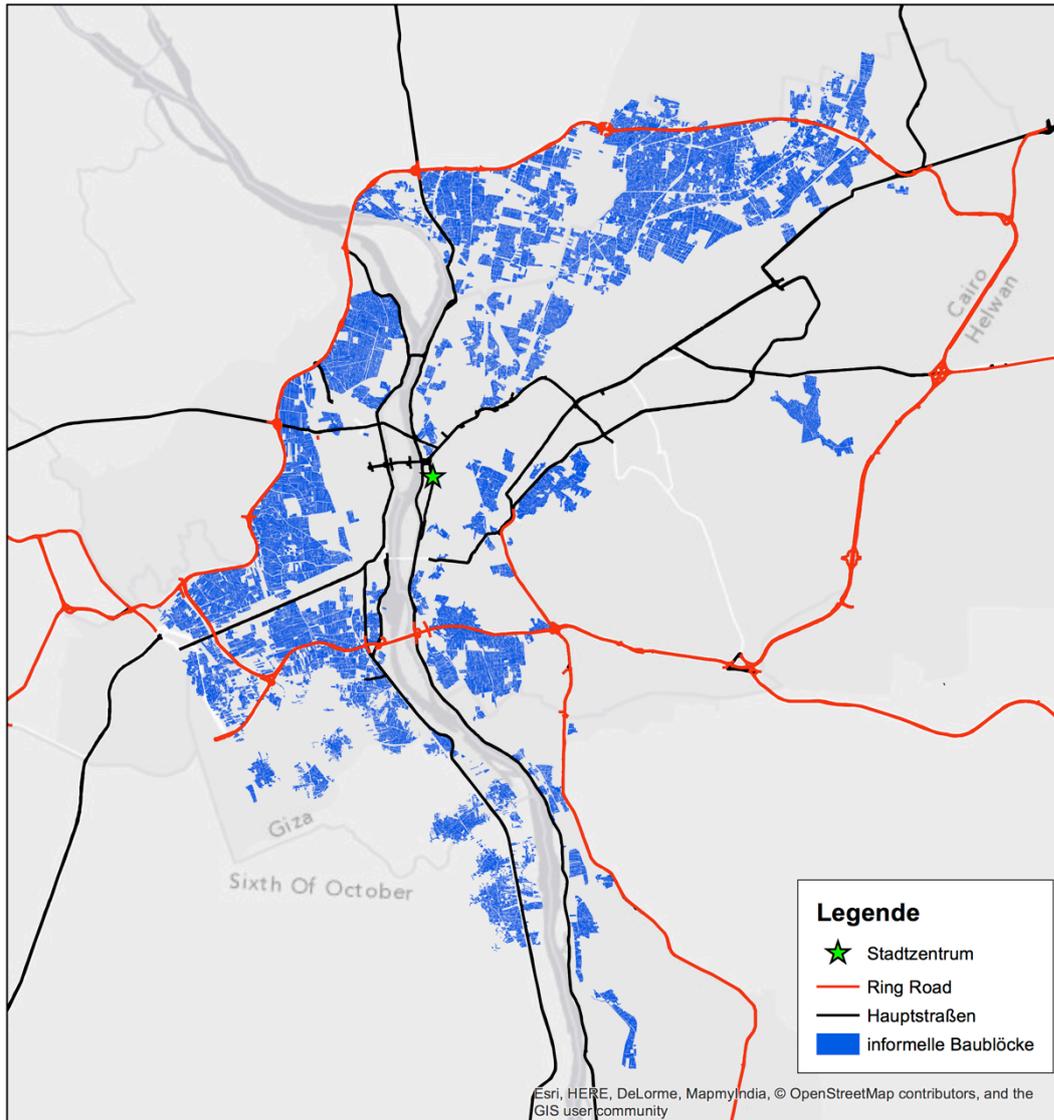
4.3.2.5 Entfernung zum Stadtzentrum

Als geographisches und administratives Zentrum Kairos gilt der Tahrir Platz (30.044439°N, 31.235713°E), der sich ca. 400m östlich des Nils und der Qasr al-Nil Brücke befindet. Dazu wird im GIS für jeden Baublock die Entfernung zwischen dessen Mittelpunkt und dem Platz errechnet und als Wert in der Attributtabelle abgespeichert.

4.3.2.6 Entfernung zur Ring Road und Hauptstraßen

Ein Straßenlayer im Vektorformat wird von DIVA-GIS (diva-gis.org/gdata, Stand Feb. 2015) heruntergeladen. Die Ring Road ist die einzige Autobahn in GCMA. Als Hauptstraßen werden Fernstraßen und Straßen 1.- und 2. Ordnung ausgewählt. Für jeden Baublock wird die kürzeste Entfernung zur Ring Road bzw. einer Hauptstraße berechnet und anschließend in der Attributtabelle gespeichert. Die Lage des Stadtzentrums, sowie der Ring Road und den Hauptstraßen werden in Abbildung 27 veranschaulicht.

Lage des Stadtzentrums und der Hauptstraßen in Greater Cairo



Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: OpenStreetMap

Abb. 27: Karte mit der Lage des Stadtzentrums und der Hauptstraßen in Greater Cairo (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap, Straßenlayer: DIVA-GIS).

4.4 BERECHNUNG DER POPULATION IN DEN INFORMELLEN SIEDLUNGEN

Wie viele Menschen in Kairo und vor allem in den informellen Siedlungen der Metropolregion leben, vermag niemand wirklich zu sagen. Genaue Bevölkerungsdaten von Kairo gibt es nicht, da es keine Meldepflicht gibt, und somit Behörden und Experten nur von groben Schätzungen ausgehen (Wurm et al. 2011, S.169). Dass die Bevölkerungsdichte in informellen Siedlungen und Slums sehr hoch ist, ist allgemein bekannt. Doch bei einem genaueren Blick auf die Bevölkerungsangaben wird ersichtlich, dass die Schätzungen teilweise sehr weit auseinandergehen. Dies gibt Anlass dazu, die informelle Bevölkerung in Greater Cairo genauer zu untersuchen und zu analysieren. Nachdem kein exaktes Wissen über die Bevölkerung in den informellen Siedlungen in Kairo vorliegt, werden Bevölkerungsangaben aus unterschiedlichen Quellen gesammelt, der Mittelwert aus den unterschiedlichen Angaben bestimmt (siehe Kap. 4.4.1), und durch eine Extrapolationsmethode auf das Untersuchungsgebiet übertragen. Da nicht gesagt werden kann, wie nahe der Mittelwert an der tatsächlichen Bevölkerung liegt, werden drei Bevölkerungsszenarien (Minimum, Maximum und Mittelwert) erstellt, um eine mögliche Schwankungsbreite der Schätzung zu erhalten.

Zusätzlich sollen auch die Unterschiede in der Bevölkerungsdichte- und Struktur zwischen den drei Siedlungstypen erarbeitet werden. Eine ungefähre Vorstellung über die Anzahl der Bewohner in den informellen Gebieten Kairos ist für viele Bereiche von Nöten. Dazu zählen unter anderem Evakuierungsmaßnahmen in Notfällen, zukünftige Stadtplanungsprojekte oder die Versorgung mit Infrastruktureinrichtungen.

4.4.1 Berechnungsmethode

Diese Studie zeigt den Ansatz der räumlichen Disaggregation von Bevölkerungsdaten auf Basis von Baublöcken. Dabei ist die Kenntnis über die räumliche Ausbreitung der informellen Siedlungen die Grundlage der Bevölkerungsberechnungen. Für die Abfrage von detaillierten Bevölkerungsabschätzungen muss zuerst die kleinste räumliche Einheit für die räumliche Verteilung der Bevölkerungsverteilung bestimmt werden. In dieser Arbeit wird die Bevölkerung auf die Einheit m^2 reduziert, da die Flächenausdehnung der Baublöcke ebenfalls in m^2 berechnet ist.

Bei der Bevölkerungsschätzung werden beide in der Fernerkundung verankerten Methoden der Bevölkerungsabschätzung angewendet. Zuerst wird der Top-Down-Ansatz dazu verwendet, die aus der Literatur „bekannte“ Bevölkerungszahl eines Gebietes auf die einzelne Wohneinheit zu brechen. Die Bottom-Up-Methode wird dann dazu benutzt, die

durchschnittliche Bevölkerungszahl auf den ganzen Siedlungstyp bzw. alle Baublöcke zu übertragen.

Als Datengrundlage dient die analoge Klassifikation der informellen Baublöcke, die unter anderem mit den Informationen Grundfläche, Gebäudehöhe, Bebauungsdichte und Name der Siedlung bzw. des Viertels versehen sind. Um die Bevölkerungsdichte eines Baublocks bzw. von Stadtvierteln bestimmen zu können, muss zuerst die potentiell bewohnbare Fläche eines Baublocks bestimmt werden. Die Wohnfläche eines Baublocks ist definiert als Produkt von Blockfläche und Blockhöhe. Die Blockhöhe wird dabei durch die Stockwerksanzahl repräsentiert. Da nicht alle Baublöcke vollständig mit Wohngebäuden bebaut sind, wird die Bebauungsdichte in die Berechnung der Wohnfläche mit einbezogen (vgl. Formel 4). Die Bevölkerungsangaben werden anschließend auf die Wohnfläche umgelegt und die Einwohnerdichte pro Quadratmeter bestimmt (Formel 5). Danach werden diese Informationen über eine Extrapolationsmethode auf ganze Stadtgebiete hochgerechnet (Formel 6). Für die Berechnungen wird angenommen, dass die Gesamtbevölkerung gleichmäßig über die Region basierend auf Baublöcke verteilt ist.

Die folgenden Formeln sind an Wurm et al. (2009, S.7) angelehnt, die bereits Bevölkerungsschätzungen für z.B. München, Dresden oder Köln durchgeführt haben (Wurm et al. 2009 und Wurm et al. 2011):

$$\text{Wohnfläche [m}^2\text{]} = \text{Grundfläche [m}^2\text{]} \times \text{Stockwerke} \times \frac{\text{Dichte [\%]}}{100} \quad (4)$$

$$\text{Einwohnerdichte [EW/m}^2\text{]} = \text{Population/Wohnfläche} \quad (5)$$

$$\text{Population} = \text{Einwohnerdichte} \times \text{Wohnfläche} \quad (6)$$

Das Hauptproblem bei den Berechnungen ist die Schwierigkeit zuverlässige Daten zu bekommen. Oft fehlen Literaturverweise bzw. die Angabe von Jahreszahlen. Zusätzlich kommt das Problem der genauen Siedlungsabgrenzung, da die informellen Siedlungen größtenteils agglomeriert sind und keine Angaben der Abgrenzung existieren. Abbildung 28 zeigt, welche Stadtviertel zur Berechnung der Bevölkerung herangezogen werden.

Bei den folgenden Beschreibungen der Berechnungen werden aus Gründen der Übersicht folgende Abkürzungen verwendet:

Tab. 10: Abkürzungsverzeichnis zu den Bevölkerungsberechnungen.

Abkürzung	Bedeutung
WFL	Wohnfläche
POP _{MIN}	Population Minimum niedrigste Bevölkerungsangabe
POP _{MAX}	Population Maximum höchste Bevölkerungsangabe
POP _D	Population Durchschnitt gemittelt aus den Bevölkerungsangaben
EWD _{MIN}	Einwohnerdichte pro Quadratmeter Wohnfläche basierend auf die niedrigste Bevölkerungsangabe
EWD _{MAX}	Einwohnerdichte pro Quadratmeter Wohnfläche basierend auf die höchste Bevölkerungsangabe
EWD _D	Einwohnerdichte pro Quadratmeter Wohnfläche basierend auf den Durchschnitt

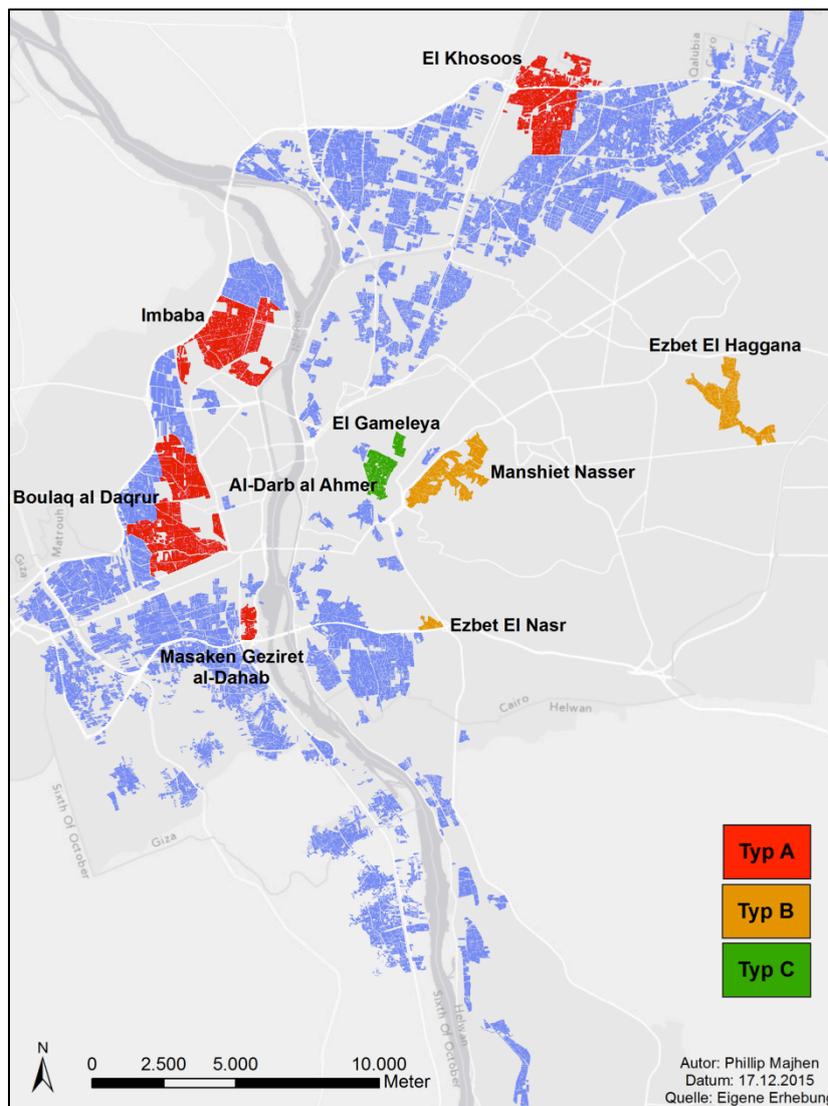


Abb. 28: Lage der Referenzgebiete zur Bevölkerungsabschätzung in GCMA (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

4.4.2 Populationsabschätzung für Typ A

Für die beiden großen Siedlungen des informellen Typs A, Imbaba und Bulaq al Daqrur, gibt es mehrere Angaben über die geschätzte Bevölkerung. Die Angaben für Imbaba z.B. schwanken zwischen 0,6 und 1,5 Millionen und die Zeitangaben erstrecken sich über 9 Jahre. Die verhältnismäßig kleinen und leicht abgrenzbaren Siedlungen Masaken Geziret al-Dahab (Giza) und El Khosoos (Qalyubia) wurden vom Participatory Development Programme in Urban Areas (PDP) (2015) intensiv untersucht und eine Abschätzung der Bevölkerung vorgenommen.

Tab. 11 zeigt die unterschiedlichen Schätzungen für die Bevölkerung in Imbaba, die zur Berechnung für den Durchschnitt herangezogen werden. Die Auflistungen mit den Bevölkerungsangaben für die anderen Siedlungen werden im Anhang geführt (A3).

Berechnungsbeispiel Imbaba

Tab. 11: Bevölkerungsangaben für Imbaba.

Bevölkerung	Quelle
0,60 Mio.	CAPMAS, 2006
0,70 Mio.	Union for the Mediterranean, 2014
0,80 Mio.	Beinin, 2004
1,00 Mio.	Davis, 2006
1,00 Mio.	Perronnet und Rodemeier, 2010
1,0 – 1,5 Mio.	Malthaner, 2011
1,10 Mio.	Masress, 2008

Ein Blick auf Tab. 11 zeigt, dass die Angaben sowohl in der Größe der Bevölkerungsangabe als auch im Schätzungsjahr stark schwanken. Durch die Berechnung des arithmetischen Mittels aus unterschiedlichen Quellen wird das Risiko einer Über- und Unterschätzung minimiert. Aus den oben aufgelisteten Bevölkerungszahlen wird somit ein Populationsdurchschnitt von 949.813 Personen errechnet. Aufgeteilt auf die gesamte Wohnfläche ergibt das eine Einwohnerdichte von 0,0314 Einwohner/m² bzw. 223.263 Einwohner/km². Dabei ist zu beachten, dass die tatsächliche Einwohnerdichte durch das multiplizieren mit der Stockwerksanzahl erreicht wird.

Tab. 12: Bevölkerungsberechnung für Imbaba.

Imbaba	
WFL = 30.290.122 m²	
POP_{MIN} = 598.882	EWD_{MIN} = 0,019
POP_{MAX} = 1.500.000	EWD_{MAX} = 0,049
POP_D = 949.813	EWD_D = 0,031

Neben dem Bevölkerungsdurchschnitt (EWD_D) werden auch das durchschnittliche Bevölkerungsminimum- und Maximum (EWD_{MIN} und EWD_{MAX}) aus den Angaben mit der geringsten und höchsten Schätzung berechnet, um zu verdeutlichen wie stark die Bevölkerungsangaben aufgrund unterschiedlicher Eingangsdaten schwanken.

Wie für den informellen Stadtteil Imbaba beispielhaft gezeigt, werden auch Populationsberechnungen für die übrigen informellen Viertel durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen (13 - 15) aufgelistet. Die Quellen zu den Bevölkerungsangaben der übrigen Siedlungen befinden sich im Anhang (A1).

Tab. 13: Bevölkerungsberechnung für Boulaq al Daqrur.

Boulaq al Daqrur	
WFL = 38.948.412 m²	
POP_{MIN} = 569.227	EWD_{MIN} = 0,015
POP_{MAX} = 1.500.000	EWD_{MAX} = 0,039
POP_D = 964.605	EWD_D = 0,025

Tab. 14: Bevölkerungsberechnung für Masaken Geziret al-Dahab.

Masaken Geziret al-Dahab	
WFL = 3.057.675 m²	
POP₂₀₁₃ = 117.000	EWD₂₀₁₃ = 0,038

Tab. 15: Bevölkerungsberechnung für El Khosoos.

El Khosoos	
WFL = 20.504.097 m²	
POP₂₀₁₃ = 700.000	EWD₂₀₁₃ = 0,034

Gesamt Typ A

Bei einem Blick auf die durchschnittliche Einwohnerdichte ist ersichtlich, dass die Siedlungen Imbaba, Masaken Geziret al-Dahab und El Khosoos einen sehr ähnlichen Mittelwert haben. Für Boulaq al Daqrur ist der Wert geringer. Allerdings ist für diese Siedlung die Grenzziehung am unsichersten, da keine Angaben zur Abgrenzung gefunden werden konnten. Da sich das Participatory Development Programme in Urban Areas (PDP) intensiv mit den beiden Slumgebieten Masaken Geziret al-Dahab und El Khosoos beschäftigt hat und eine genaue Abgrenzung vorliegt, wird der Mittelwert für Typ A mit den Berechnungen für Imbaba, Masaken Geziret al-Dahab und El Khosoos bestimmt. So ergibt sich für Siedlungstyp A eine berechnete Einwohnerdichte von $0,036 \text{ EW/m}^2$. Dies entspricht einer Bevölkerungsdichte von 206.480 EW/km^2 . Durch Umlegung des Populationsdurchschnitts auf die Gesamtfläche des Siedlungstyp A (vgl. Formel 6) ergibt sich für Typ A eine geschätzte Population von 18,5 Mio.

Tab. 16: Berechnungsergebnis für Typ A.

Typ A - Gesamt	
WFL = 520.243.497 m²	
EWD_{MIN} = 0,020	POP_{MIN} = 10.298.225
EWD_{MAX} = 0,050	POP_{MAX} = 25.763.025
EWD_D = 0,036	POP_D = 18.548.789

Bei einem Blick auf Tabelle 16 wird auch ersichtlich, welche starken Auswirkungen die unterschiedlichen Eingangsdaten auf die Gesamtbevölkerung von Typ A haben. Die Differenz zwischen Populationsminimum- und maximum liegt bei nahezu 15,5 Mio. Einwohnern. Die enorme Spanne zeigt wiederum, wie ungewiss die tatsächliche Bevölkerungsanzahl in den informellen Siedlungen ist.

4.4.3 Populationsabschätzung für Typ B

Für Typ B können Bevölkerungsangaben für die Siedlungen Ezbet El Nasr, Ezbet El Haggana sowie Manshiet Nasser gefunden werden. Ezbet El Nasr wird ebenfalls vom PDP näher erforscht. Auch Bott et al. (2011) von der Universität Stuttgart widmen sich dieser kleinen Siedlung mit einem ähnlichen Bevölkerungsergebnis. Deshalb wird Ezbet El Nasr als Repräsentant für Typ B geführt. Die Berechnungen, die auf den Durchschnitt von Ezbet El Nasr basieren, sind mit dem Subskript EEN versehen.

Tab. 17: Bevölkerungsberechnung für Ezbet El Nasr.

Ezbet El Nasr	
WFL = 864.795 m ²	
POP _{MAX} = 72.190	EWD _{MAX} = 0,083
POP _D = 66.095	EWD _D = 0,076

Tab. 18: Bevölkerungsberechnung für Ezbet El Haggana.

Ezbet El Haggana	
WFL = 12.567.980 m ²	
POP _{MIN} = 39.432	EWD _{MIN} = 0,003
POP _{EEN} = 960.552	EWD _{EEN} = 0,076
POP _{MAX} = 1.500.000	EWD _{MAX} = 0,119
POP _D = 522.515	EWD _D = 0,042

Tab. 19: Bevölkerungsberechnung für Manshiet Nasser.

Manshiet Nasser (PDP)	
WFL = 10.877.041 m ²	
POP _{MIN} = 262.050	EWD _{MIN} = 0,025
POP _{EEN} = 831.316	EWD _{EEN} = 0,076
POP _{MAX} = 1.000.000	EWD _{MAX} = 0,095
POP _D = 742.857	EWD _D = 0,071

Für Ezbet El Haggana liegen die Angaben zur Bevölkerung sehr weit auseinander. Dementsprechend unterscheidet sich auch die mittlere Bevölkerungsdichte zu den anderen beiden Siedlungen. Manshiet Nasser hat hingegen eine Dichte vergleichbar mit jener von Ezbet El Nasr. Dies unterstützt das Auswählen von Ezbet El Nasr als Referenz.

Gesamt Typ B

Die Berechnung für die Gesamtpopulation von Typ B erfolgt nach dem gleichen Schema wie für Typ A. Dabei wird eine Bevölkerungsdichte von 0,076 EW/m² bzw. 359.080 EW/km² angenommen. Dadurch ergibt sich eine Gesamtpopulation für Typ B von 4 Mio.

Tab. 20: Berechnungsergebnis für Typ B.

Typ B - Gesamt	
WFL = 52.446.575 m²	
EWD_{MIN} = 0,003	POP_{MIN} = 178.888
EWD_{MAX} = 0,095	POP_{MAX} = 4.982.830
EWD_{D/EEN} = 0,076	POP_D = 4.008.412

4.4.4 Populationsabschätzung für Typ C

Für Typ C gestaltet sich die Datensuche am schwierigsten. Es sind kaum Angaben bezüglich der Bevölkerung zu finden. Zudem ist die Abgrenzung sehr schwierig, da die Siedlungen ein Teil der Altstadt sind und es keine klare Trennung gibt. Bevölkerungszahlen können nur zu den Siedlungen Al-Darb al Ahmer und El Gameleya gefunden werden.

Tab. 21: Bevölkerungsberechnung für Al-Darb al Ahmer.

Al-Darb al Ahmer	
WFL = 4.367.830 m²	
POP_{MIN} = 78.375	EWD_{MIN} = 0,018
POP_{MAX} = 200.000	EWD_{MAX} = 0,046
POP_D = 126.125	EWD_D = 0,023

Tab. 22: Bevölkerungsberechnung für El Gameleya.

El Gameleya	
WFL = 1.020.355 m²	
POP_D = 49.834	EWD_D = 0,049

Gesamt Typ C

Für den informellen Siedlungstyp C wird ein Bevölkerungsdurchschnitt von 0,04 EW/m² bzw. 176.000 EW/km² berechnet. Für Typ C ergibt das eine Gesamtpopulation von 508.831.

Tab. 23: Berechnungsergebnis für Typ C.

Typ C - Gesamt	
WFL = 12.720.787 m²	
EWD_{MIN} = 0,018	POP _{MIN} = 228.258
EWD_{MAX} = 0,049	POP _{MAX} = 621.282
EWD_D = 0,04	POP _D = 508.831

4.4.5 Geschätzte Bevölkerung in Greater Kairo

Die berechnete Bevölkerung der informellen Siedlungen in GCMA, durch das Addieren der Ergebnisse der Siedlungstypen, beträgt 23.066.032. Wenn für jeden Typ die niedrigste Schätzung angenommen wird, beläuft sich die Berechnung auf lediglich 10.705.371 Einwohner. Dieselbe Kalkulation mit den höchsten Werten ergibt eine Gesamtpopulation von 31.367.136.

Das Gouvernement Kairo hat mit rund 10.9 Mio. informellen Bewohnern (47,2%) den größten Anteil an informellen Bewohner. 40,5% der geschätzten rund 23 Millionen Einwohner lebt in Giza und nur 12,3% in Qalyubia. Die meisten Bewohner des Typs A weist Giza mit 9.346.698 Menschen auf.

Werden die mittleren Einwohnerdichten in den informellen Siedlungstypen miteinander verglichen, weist Typ B mit 0,076 EW/m² bzw. 359.080 EW/km² die dichteste Besiedlung auf und unterscheidet sich damit deutlich von den anderen beiden Arten. Typ A und Typ C haben mit 206.480 EW/km² (0,036 EW/m²) bzw. 176.000 EW/km² (0,04 EW/m²) eine ähnlich hohe und halb so große Dichte. Die niedrige Bewohnerdichte von A deutet auf die geordnete Struktur der Baublöcke sowie der für informelle Siedlungen „guten“ Wohnbedingungen hin. Typ B hingegen hat die slumähnlichste Struktur, jedoch noch weit entfernt von jenen Hüttenviertel wie z.B. in Indien.

Wie in Tabelle 24 ersichtlich, ist die Streuung aufgrund der unterschiedlichen Eingangswerte enorm. Auffällig ist, dass die niedrigsten Schätzungen in allen Untersuchungssiedlungen, sofern Daten vorhanden sind, die offiziellen Zensusdaten von CAPMAS (2006) sind. Gründe für die Unterschätzungen von CAPMAS sind unbekannt. Laut Sabry (2009, S.31) verlassen sich nur wenige Forschungsinstitute auf die veröffentlichten Zahlen und Lokalaugenscheine in informellen Siedlungen beweisen, dass die Daten nicht stimmen können. So wurde zum Beispiel von CAPMAS für Ezbet el Haggana eine Bevölkerung von 39.432 angegeben, wobei andere Schätzungen von bis zu einer Million ausgehen (vgl. Tab. 18 und Anhang A1). Deshalb ist auch anzunehmen, dass das Minimum-Szenario für Typ B, basierend auf der

Bevölkerungsangabe von CAPMAS, für Ezbet el Haggana, sehr unrealistisch ist. Zudem unterscheidet sich die Bevölkerungsdichte von allen anderen Schätzungen erheblich.

Tab. 24: Ergebnis der Bevölkerungsschätzung für Greater Cairo.

Greater Cairo - Gesamt	
POP_{MIN} = 10.705.371 m²	
POP_{MAX} = 31.367.136	
POP_D = 23.066.032	
Bevölkerung Greater Cairo nach Gouvernements	
Gov. Kairo	10.905.640 EW (Gesamt)
	6.388.397 EW (Typ A)
	4.008.412 EW (Typ B)
	508.831 EW (Typ C)
Gov. Giza	9.314.609 EW (Typ A)
Gov. Qalyubia	2.845.782 EW (Typ A)

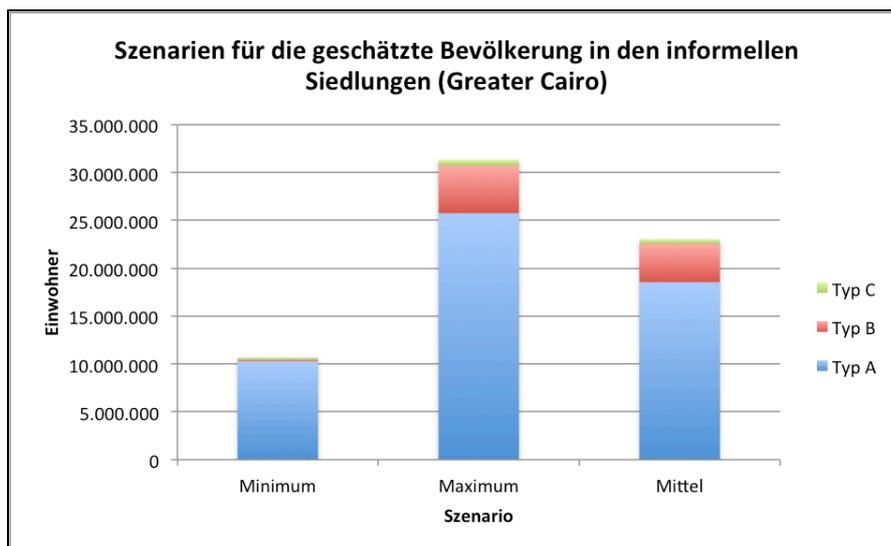


Abb. 29: Vergleich der geschätzten informellen Bevölkerung in Greater Cairo mit unterschiedlichen Szenarien.

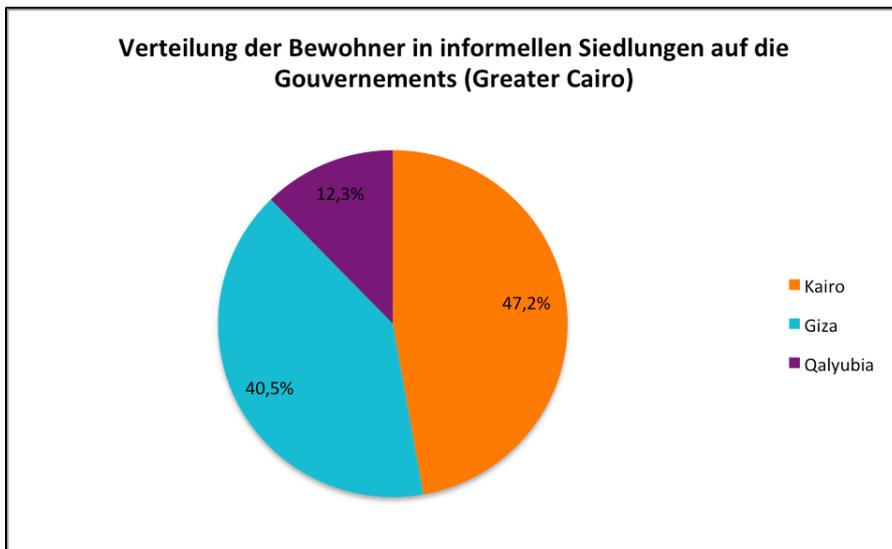


Abb. 30: Verteilung der Bewohner in informellen Siedlungen auf die Gouvernements.

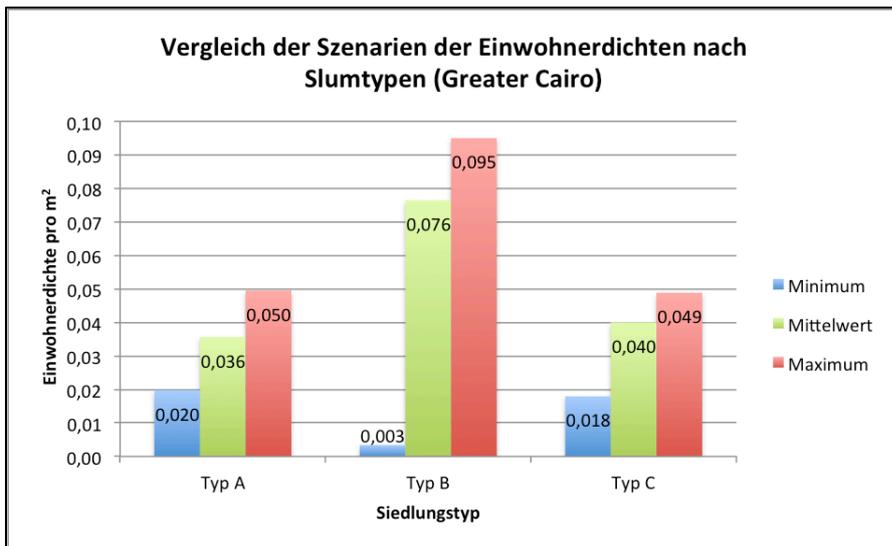


Abb. 31: Vergleich der Szenarien der Einwohnerdichten nach Slumtypen.

Da eine tatsächliche Validierung der Ergebnisse aufgrund der Datenlage nicht möglich ist, wird eine Pseudovalidierung durchgeführt. Dabei werden die geschätzten Zahlen wieder auf die Referenzgebiete zurückgeführt. Dadurch wird ersichtlich, wie weit die geschätzten Daten von den durchschnittlichen Angaben aus der Literatur abweichen. Tabelle 25 zeigt die Abweichungen der Ergebnisse von den Referenzangaben. Dabei weist ein positives Vorzeichen auf eine Übertreibung, ein negatives Vorzeichen auf eine Untertreibung hin.

Die mittlere relative Abweichung der drei Siedungstypen betragen 7,8% (Typ A) 11,9% (Typ B) und 28,3% (Typ C). Dabei werden die Siedungsgebiete Boulaq al Daqrur, Ezbet El Nasr und Ezbet El Haggana nicht beachtet, da sie aufgrund von Ausreißern in der Literaturangabe bzw. unsicherer Grenzziehung, in den Schätzungen nicht beachtet werden. Die mittleren relativen

Abweichung, insbesondere jene von Typ A und B, zeigen, dass die Bevölkerungsschätzungen mehr als akzeptabel sind.

Tab. 25: Abweichung der Bevölkerungsergebnisse von den Referenzangaben aus der Literatur.

Gebiet	Abweichung	Anmerkung
Typ A		
Imbaba	+12,05%	
Boulaq al Daqrur	+30,54%	Bei Schätzung für Typ A nicht beachtet
Masaken Geziret al-Dahab	-6,82%	
El Khosoos	+4,44%	
Typ B		
Ezbet El Nasr	0%	Bevölkerungsmittel als Referenz
Ezbet El Haggana	+83,83%	Hohe Abweichung aufgrund niedriger Zensusdaten
Manshiet Nasser	+11,90%	
Typ C		
Al-Darb al Ahmer	+38,52%	
El Gameleya	-18,09%	

4.5 VERGLEICH DER PHYSIOGNOMISCHEN STRUKTUREN DER INFORMELLEN SIEDLUNGEN

Die GIS-basierten Analysen werden durchgeführt, um Unterschiede in der Bebauungsstruktur zwischen den Slumtypen und Gouvernements auszumachen. Dadurch sollen neue Kenntnisse über die Wohnsituation in den informellen Siedlungen gewonnen und die strukturelle Unterscheidbarkeit zwischen Typen erleichtert werden. Die informellen Siedlungen werden dabei auf folgende Indikatoren untersucht:

- Anzahl der Blöcke
- Stockwerksanzahl
- Grundfläche der Baublöcke
- Blockbebauungsdichte
- Hangneigung, Seehöhe
- Mittlere Distanz zum Stadtzentrum
- Entfernung zur Autobahn (Ring Road)
- Entfernung zu Hauptstraßen

Die Analysen werden durch Abfragen der Attribute durchgeführt. Die Ergebnisse werden anschließend in das Programm *Microsoft EXCEL* exportiert und statistisch sowie graphisch ausgewertet. Aufgrund der hohen Datenmenge werden nur Auffälligkeiten hervorgehoben. Die gesamten Ergebnisse sind tabellarisch im Anhang (A2 und A3) dargestellt.

4.5.1 Anzahl der Baublöcke

Die Auswertung der Baublockanzahl soll einen ersten Überblick über die Größenordnung der Siedlungstypen und der Verteilung der informellen Siedlungen in den Gouvernements geben.

Insgesamt werden 37.196 Baublöcke digitalisiert, davon fällt der eindeutig größte Teil mit knapp 91% auf Typ A. Siedlungstyp B (7%) beschränkt sich auf drei Siedlungen, wobei zwei Siedlungen eine beträchtliche Größe mit geschätzten Einwohnern von jeweils ca. 0,5 - 1 Million aufweisen (vgl. Kap. 4.4.3). Typ C ist mit 873 Baublöcken eindeutig der Siedlungstyp mit den wenigsten Blöcken.

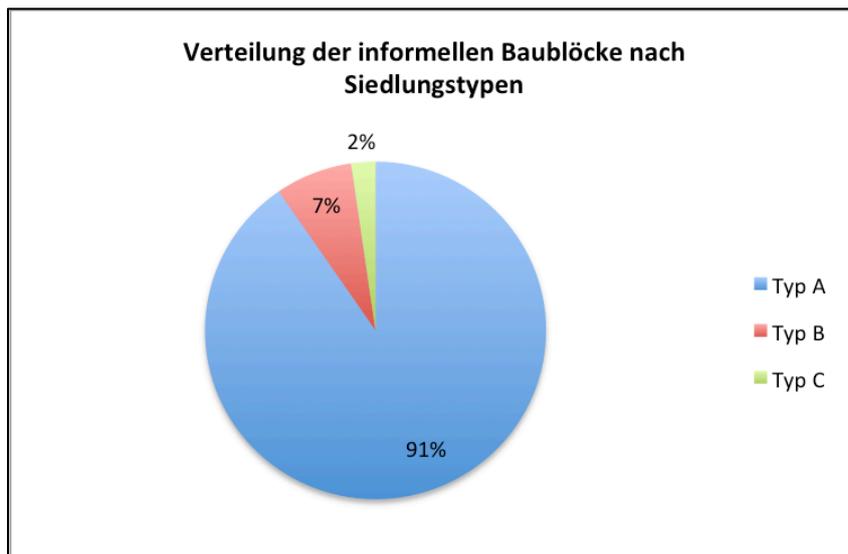


Abb. 32: Verteilung der informellen Baublöcke nach Siedlungstypen.

Von den 37.196 Baublöcken liegen 43% im Gouvernement Kairo. Giza weist mit 40% einen ähnlich hohen Anteil an Baublöcken auf. Somit enthält Qalyubia 17% der informellen Blöcke der GCMA. Vergleicht man die Aufteilung der Baublöcke von Typ A, so enthält Giza mit 48% knapp die Hälfte aller Baublöcke. Zu bemerken ist, dass Typ B und C nur im Gouvernement Kairo vorkommen.

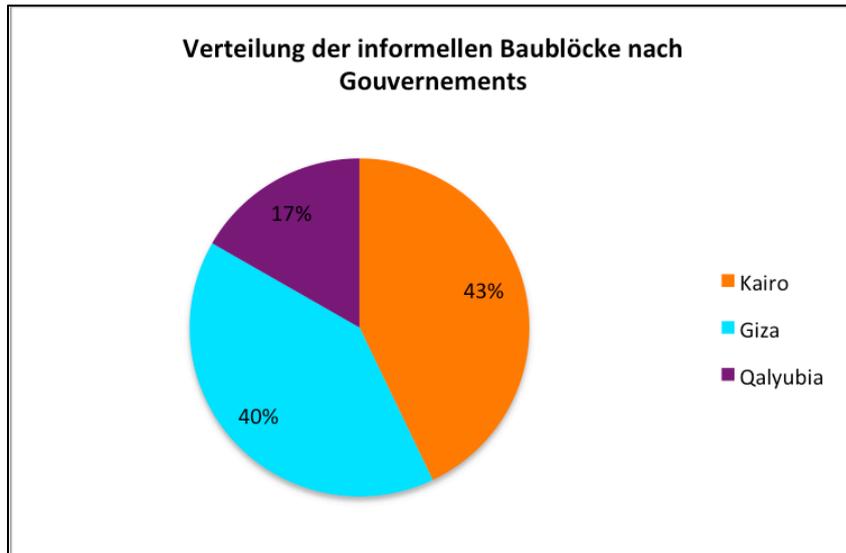
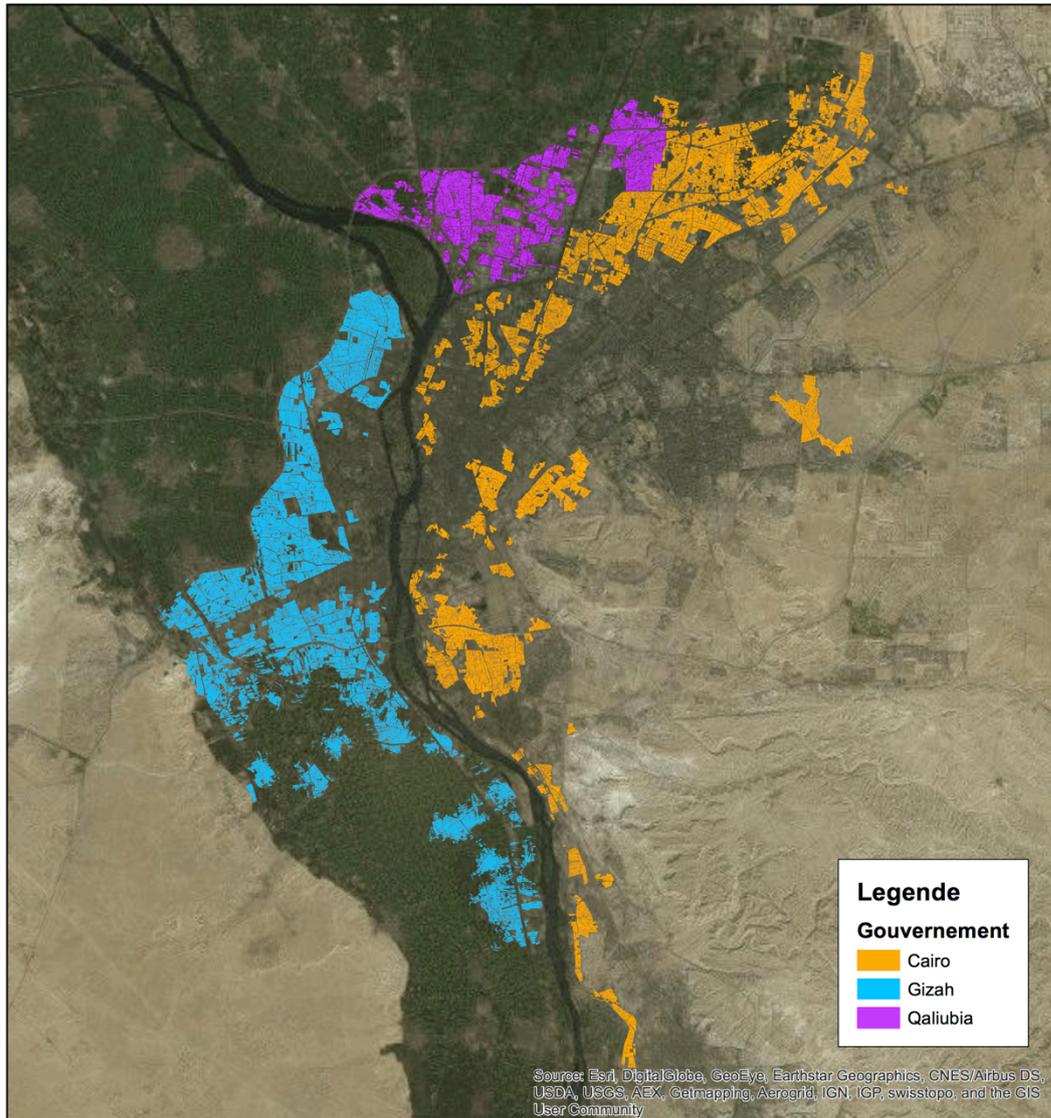


Abb. 33: Verteilung der informellen Baublöcke nach Gouvernements.

Informelle Baublöcke in Greater Cairo nach Gouvernement



Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle: Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Abb. 34: Karte mit der Lage der informellen Siedlungen in den Gouvernements (Quelle: Satellitenbild: GeoEye-1 (DigitalGlobe)).

4.5.2 Baublockgröße

Wie in Abbildung 35 ersichtlich, weist Typ B mit einer durchschnittlichen Grundfläche von 4.474,2 m² die größten Blöcke auf. Siedlungstyp A hat eine durchschnittliche Blockgröße von 2.823,3 m² und Typ C von 3.510,7 m². Somit ist ein deutlicher Unterschied in der Blockgröße der Siedlungstypen vorzufinden. Typ C weist trotz der Lage im Stadtzentrum eine größere Blockgröße als Typ A auf. Grund dafür könnte die fortschreitende Aufteilung der Baublöcke bzw. ehemaligen Ackerflächen auf mehrere Familien sein. Hingegen bleiben die innerstädtischen Siedlungen (Typ C) in ihrer Grundrissform bestehen. Dass Typ B die größte Blockgröße hat, ist auf die illegale Landnahme und fehlende Struktur zurückzuführen. Die stark differierenden Größen implizieren Heterogenität zwischen den Typen. Diese wird mit einem Blick auf einzelne Blockgrößen noch deutlicher. Der größte erfasste Baublock hat eine Größe von 91.032 m² und befindet sich in Manshiet Nasser (Typ B). Der kleinste Block hingegen hat eine Größe von nur 80 m² und befindet sich in Qalyubia (Typ A).

Werden die Blockgrößen in den Gouvernements verglichen, so fällt auf, dass die Größen weniger stark differieren als zwischen den Siedlungstypen. Kairo hat aufgrund der Siedlungstypen B und C die größte durchschnittliche Blockfläche. Betrachtet man nur Typ A, so sind die größten Blockflächen in Giza vorzufinden. Ein weiterer interessanter Aspekt ist der Vergleich zwischen der Blockanzahl und der Gesamtgrundfläche. Denn aufgrund der wesentlich größeren Blöcke in den Siedlungen von Typ B beträgt der Anteil an der Gesamtfläche 11%. Der Anteil an der Anzahl der Baublöcke hingegen liegt bei nur 7%.

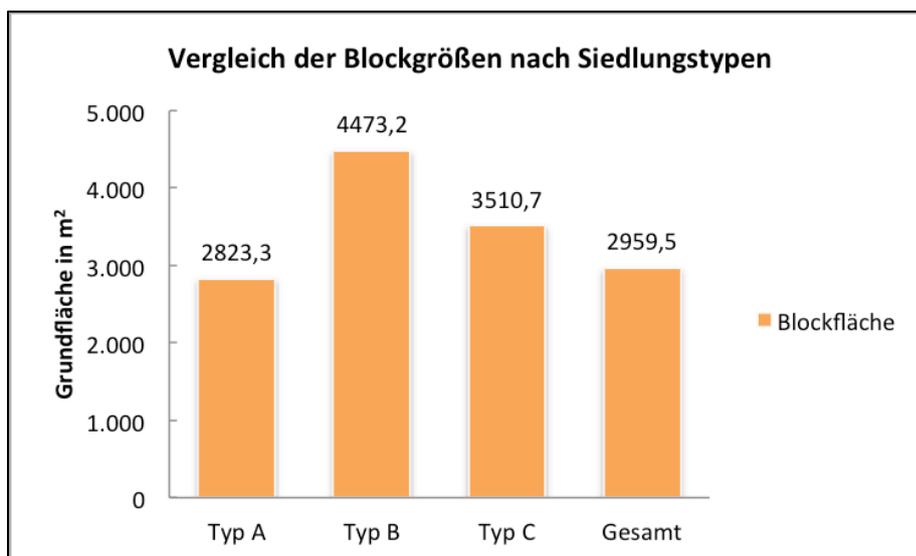


Abb. 35: Vergleich der Baublockgrößen nach Siedlungstypen.

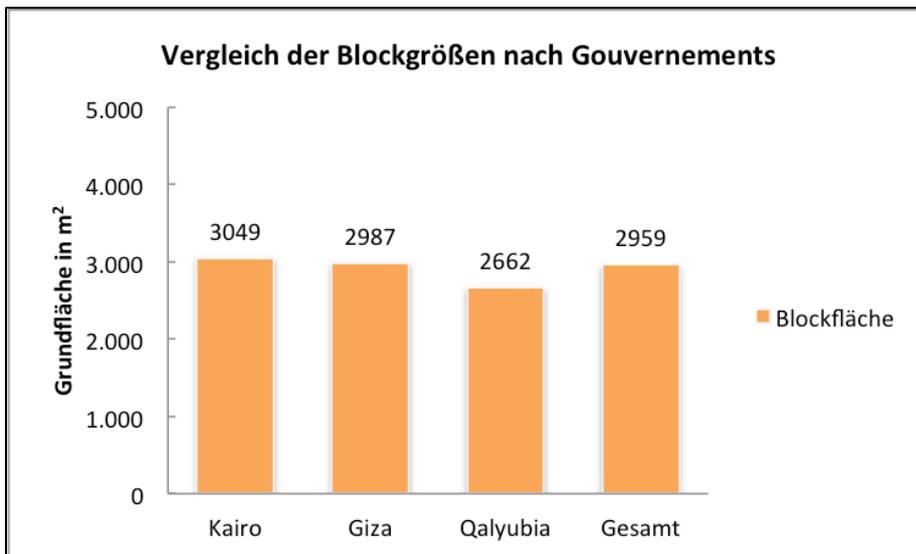


Abb. 36: Vergleich der Baublockgrößen nach Gouvernements.

4.5.3 Gebäudehöhe

Die durchschnittliche Gebäude- bzw. Blockhöhe beträgt in Siedlungen vom Typ A 5,8 Stockwerke, Typ B 4,7 Stockwerke und Typ C 4,4 Stockwerke. Mit einem Unterschied von mehr als einem Stockwerk kann die Gebäudehöhe zwischen den Siedlungstypen als heterogen bezeichnet werden. Die Standardabweichung von B (1,6) ist im Verhältnis zur durchschnittlichen Blockhöhe recht hoch. Typ C hat relativ weniger Abweichungen (1,1) in der Höhe als die anderen beiden Siedlungstypen.

Die niedrigste Bebauung haben die informellen Siedlungen im Zentrum Kairos (Typ C). Dies lässt sich auf ihre Lage im Stadtzentrum sowie auf die Zeit ihrer Entstehung zurückzuführen. Die höchsten Baublöcke mit einer geschätzten Stockwerkanzahl von 12 oder höher befinden sich in Giza (Typ A). Zusätzlich muss erwähnt werden, dass die durchschnittliche Gebäudehöhe von A etwas höher anzunehmen ist, da auch viele Neubauten und im Bau befindliche Gebäude an den Siedlungsändern erfasst werden, die ihre endgültige Bauhöhe noch nicht erreicht haben. Zusätzlich lässt die Bauweise jederzeit eine Aufstockung zu. Auch der interessante Aspekt, dass die Blockhöhen in Qalyubia durchschnittlich um 1,2 Stockwerke niedriger sind, dürfte zum Teil auf die starke Bautätigkeit in diesem Gouvernement zurückzuführen sein.

Bei einem Blick auf die Karte in Abb. 39 fällt auf, dass die Gebäudehöhen am südlichen und nördlichen Rand der Metropolregion am niedrigsten sind. Die höchsten Blockhöhen befinden sich im Zentrum Gizas sowie im Viertel Dar El-Salam im Gouvernement Kairo.

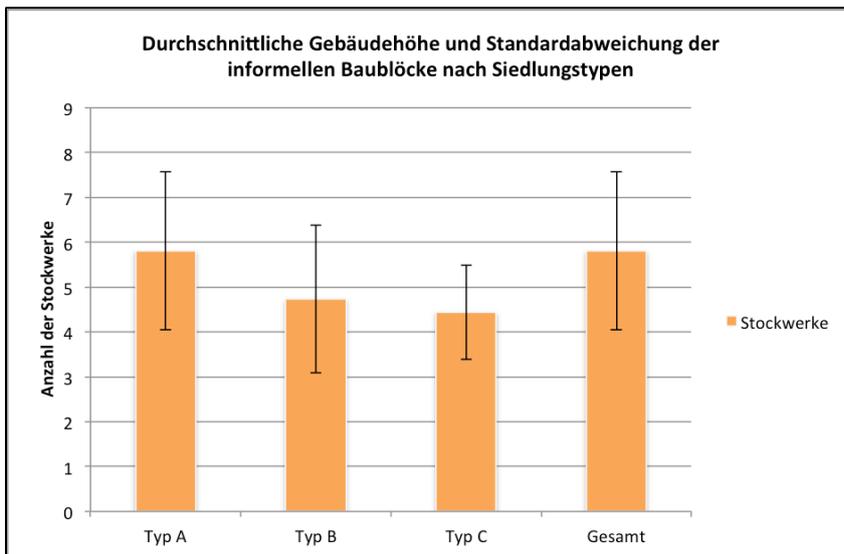


Abb. 37: Durchschnittliche Gebäudehöhe und Standardabweichung der informellen Baublöcke nach Siedlungstypen.

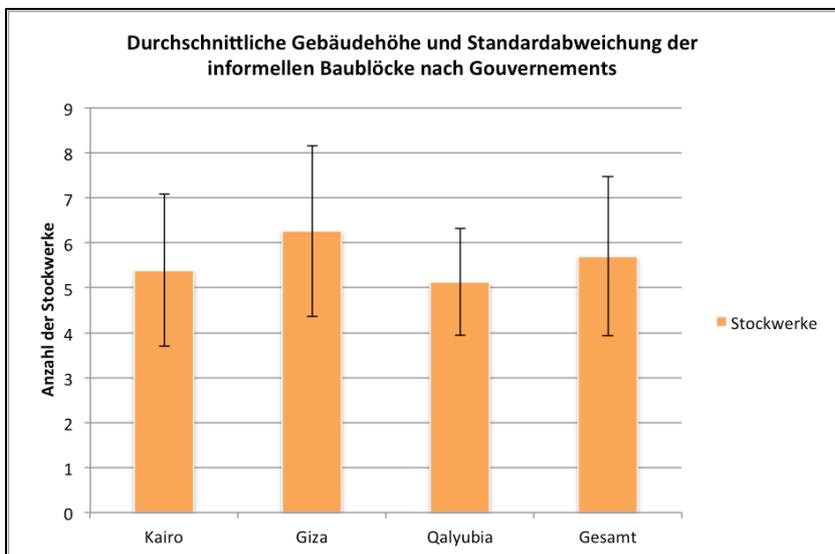


Abb. 38: Durchschnittliche Gebäudehöhe und Standardabweichung der informellen Baublöcke nach Gouvernements.

Neben den Gebäudehöhen werden auch die Geschossflächendichten (GFD) der einzelnen Siedlungstypen berechnet. Die GFD ist der Anteil der Geschossfläche an der Blockfläche und besagt, wie viel Geschossfläche durchschnittlich auf den Bauflächen eines statistischen Baublocks errichtet wurde. Aufgrund der hohen Bebauungsdichte der informellen Blöcke unterscheiden sich die Geschossflächendichten nur gering von den Bebauungshöhen. Typ C hat aufgrund der sehr hohen Bebauungsdichte von fast 99% (vgl. Kap. 4.5.4) dieselbe Geschossflächendichte wie Bebauungshöhe. Tabelle 26 gibt eine Gegenüberstellung der GFD mit den Baublockhöhen wieder.

Tab. 26: Vergleich der Geschossflächendichte und Baublockhöhen für die informellen Siedlungstypen.

	Typ A	Typ B	Typ C	Gesamt
GFD	5,5	4,5	4,4	5,4
Blockhöhe	5,8	4,7	4,4	5,7

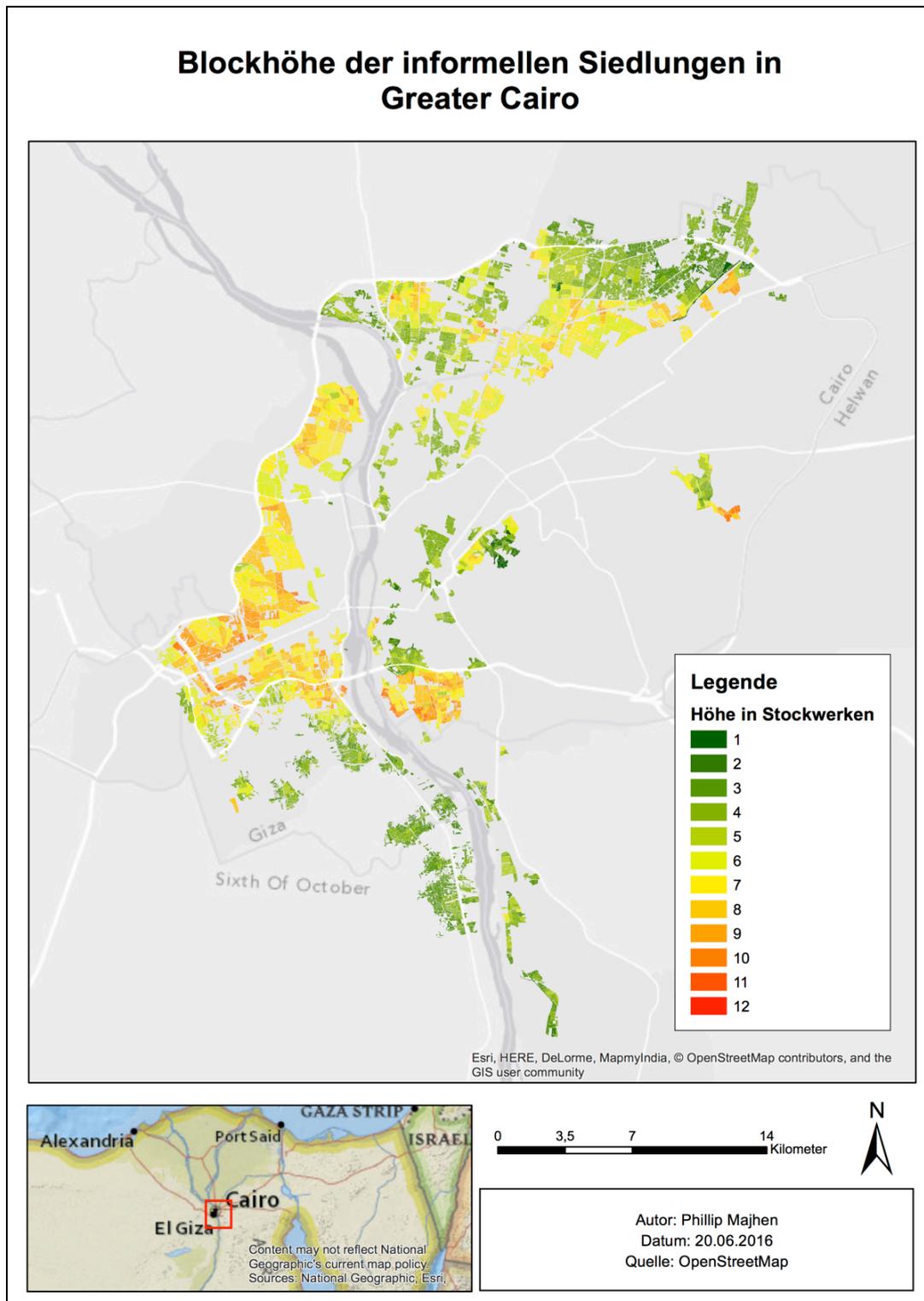


Abb. 39: Karte mit den Gebäudehöhen der informellen Siedlungen in Greater Cairo (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

4.5.4 Bebauungsdichte

Die Bebauungsdichte besagt wie stark ein von Straßen umgebenes Grundstück mit Gebäuden bebaut ist. Da kaum Parkanlagen bzw. Grünflächen vorkommen und jeder Platz genutzt wird ergeben sich Bebauungsdichten von über 90%.

Die Bebauungsdichten von Typ A (94,4%) und Typ B (94,9%) sind nahezu identisch. Lediglich Typ C weist eine höhere Bebauungsdichte auf (98,9%). Dies lässt sich aber durch die Ausweitung der Typen A und B begründen. Wie vorhin bereits erwähnt, herrscht an den Siedlungsrändern erhöhte Bautätigkeit, die zu einer geringeren Bebauungsdichte als in den Siedlungszentren führt. Die sehr hohe Bebauungsdichte weist darauf hin, dass Bauland in der Metropolregion Kairo Mangelware ist und jeder Freiraum ausgenutzt wird. Die sehr hohen Bebauungsdichten sind eines der deutlichsten Indizien, die auf eine informelle Siedlung hinweisen.

Auch bei den Bebauungsdichten der informellen Siedlungen in den Gouvernements lassen sich keine erheblichen Unterschiede feststellen. Das Gouvernement Kairo weist die höchste Bebauungsdichte mit 96,1% auf, gefolgt von Qalyubia (95,2%) und Giza (92,6%). Die Dichte der drei Slumtypen und der drei Gouvernements ist trotz minimaler Unterschiede von bis zu ca. 5% relativ homogen.

Abb. 42 verdeutlicht, dass die informellen Baublöcke in GCMA sehr stark bebaut und kaum Freiflächen oder Parkanlagen vorhanden sind. Die geringsten Bebauungsdichten treten am Agglomerationsrand auf.

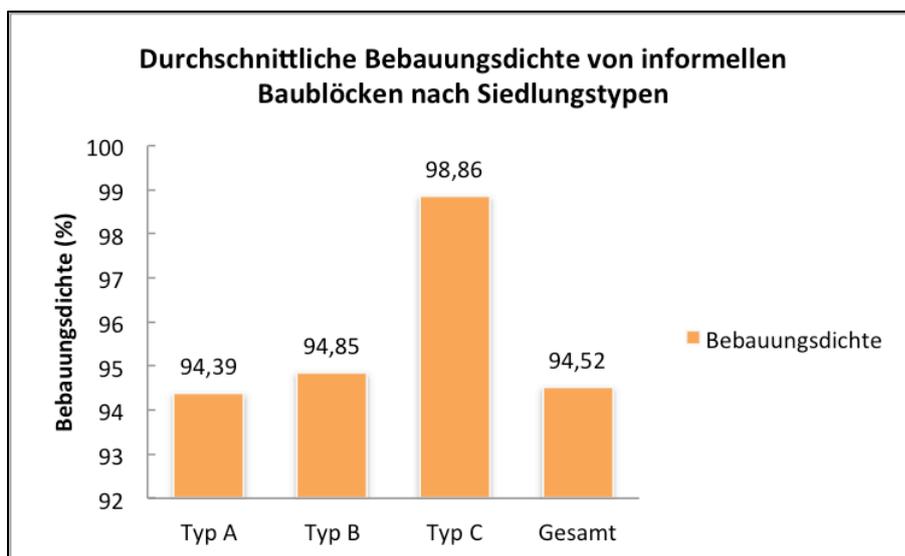


Abb. 40: Durchschnittliche Bebauungsdichte von informellen Baublöcken nach Siedlungstypen.

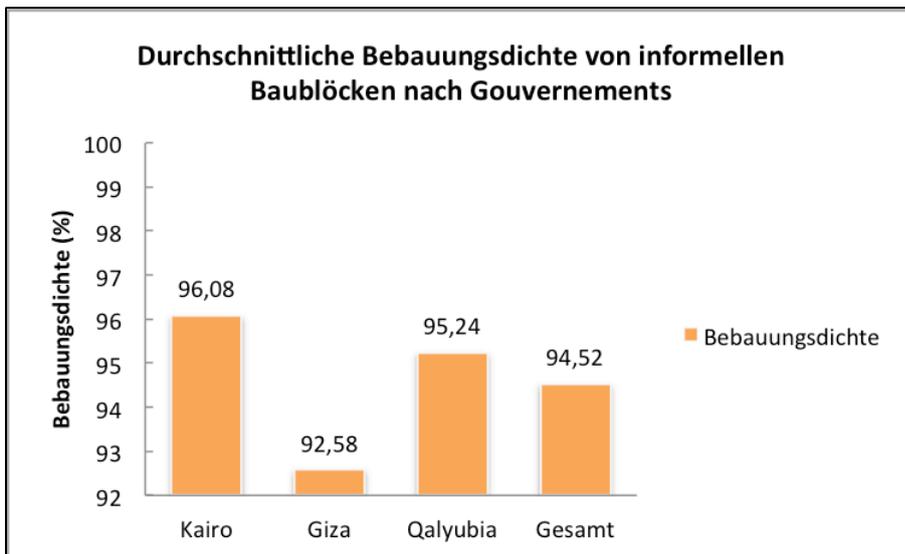


Abb. 41: Durchschnittliche Bebauungsdichte von informellen Baublöcken nach Gouvernements.

Bebauungsdichte der informellen Blöcke in Greater Cairo

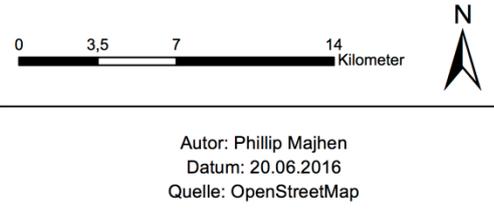
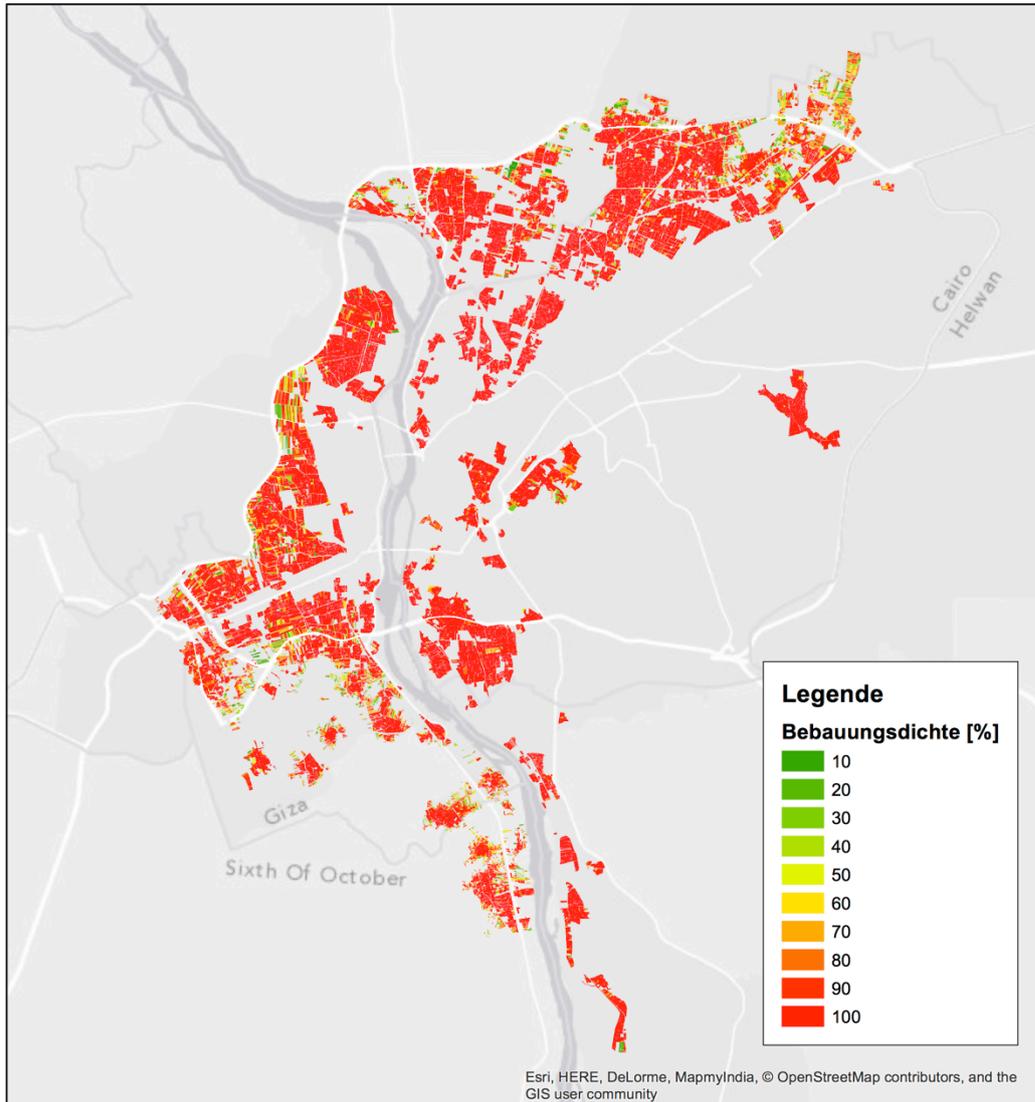


Abb. 42: Karte mit der Bebauungsdichte der informellen Blöcke in Greater Cairo (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

4.5.5 Seehöhe und Hangneigung

Aufgrund der niedrigeren geometrischen Auflösung des DGMs handelt es sich bei den Werten um Annäherungen. Für eine grobe Charakterisierung der Typen ist die Qualität

jedoch ausreichend. Bei einem Blick auf die Hangneigungskarte (Abb. 43) ist ersichtlich, dass nördlich der Metropolregion sowie östlich entlang des Nils, großflächig keine starken Hangneigungen auftreten. Dies sind Agrarflächen im Nildelta, die zunehmend bebaut werden. Die weitläufigen, zum Teil durch starke Hangneigung geprägten Flächen im Osten sind die Ausläufer des Muqattamgebirges sowie höher gelegene Wüstenflächen und Steinplateaus. Der Nil ist als rotes Band in der Mitte des Bildes zu erkennen. Die starke Hangneigung entlang des Flusses ist wohl auf die geringe Auflösung des DGMs zurückzuführen.

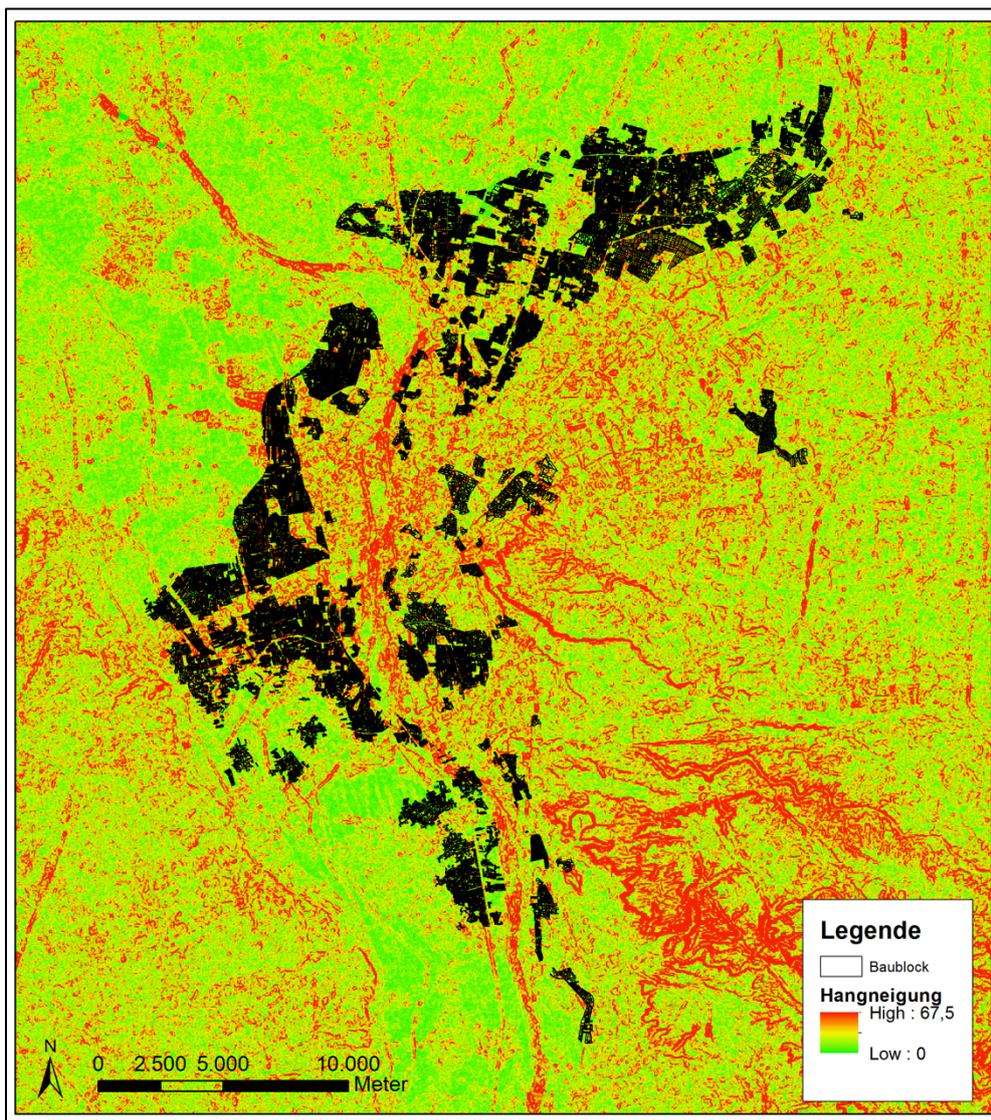


Abb. 43: Hangneigungskarte (2015) mit eingezeichneten informellen Baublöcken (2011) in Greater Cairo (Quelle: DGM: Aster Global DGM: USGS).

Mit einer durchschnittlichen Seehöhe von 74,7 m sind die informellen Siedlungen vom Typ B deutlich höher gelegen als die anderen beiden. Dies deckt sich mit der Definition von Typ B – informelle Siedlungen auf Wüstenflächen. Typ A ist mit 28,9 m am tiefsten gelegen und ist mit der Lage im Nildelta begründbar. Die durchschnittlichen Seehöhen in den

Gouvernements unterscheiden sich nur unwesentlich: Kairo (31,3 m), Giza (27,4 m) und Qalyubia (27,8 m). Der am tiefsten gelegene Baublock weist einen Wert von -3 m auf. Diese Angabe ist jedoch fraglich und hängt mit der Qualität des DGM zusammen. Die höchst gelegenen Baublöcke befinden sich mit 188 m (Typ B) und 164 m (Typ A) im Gouvernement Kairo.

Bei der Hangneigung hat Typ C mit $6,26^\circ$ trotz der Lage im Stadtzentrum den durchschnittlich höchsten Wert. Eine mögliche Erklärung kann die Lage am Rande des auf einem Hügel befindlichen Al Azhar Parks sein. Baublöcke in Giza weisen die höchste durchschnittliche Hangneigung auf ($6,23^\circ$), gefolgt von Kairo ($5,84^\circ$) und Qalyubia ($5,88^\circ$). Auf den ersten Blick ist die Hangneigung samt deren Standardabweichungen in den drei Siedlungstypen und Gouvernements homogen.

Der Baublock mit der größten Hangneigung von $27,44^\circ$ befindet sich in Manshiet Nasser (Typ B). Manshiet Nasser befindet sich am Fuße des Muqattam-Hügels. Dieser besteht aus Kalkstein, aus dem immer wieder Felsbrocken abbrechen und auf die darunter liegenden Häuser trifft. Manshiet Nasser hat mit einem Mittelwert von $7,74^\circ$ eine deutlich höhere Hangneigung als andere Siedlungen. Die Siedlungstypen erscheinen in ihrer Gesamtheit als homogen, einzelne Siedlungen untereinander können jedoch sehr heterogen sein. Abb. 44 zeigt eine Überlagerung der informellen Blöcke mit der Hangneigungskarte in Manshiet Nasser.

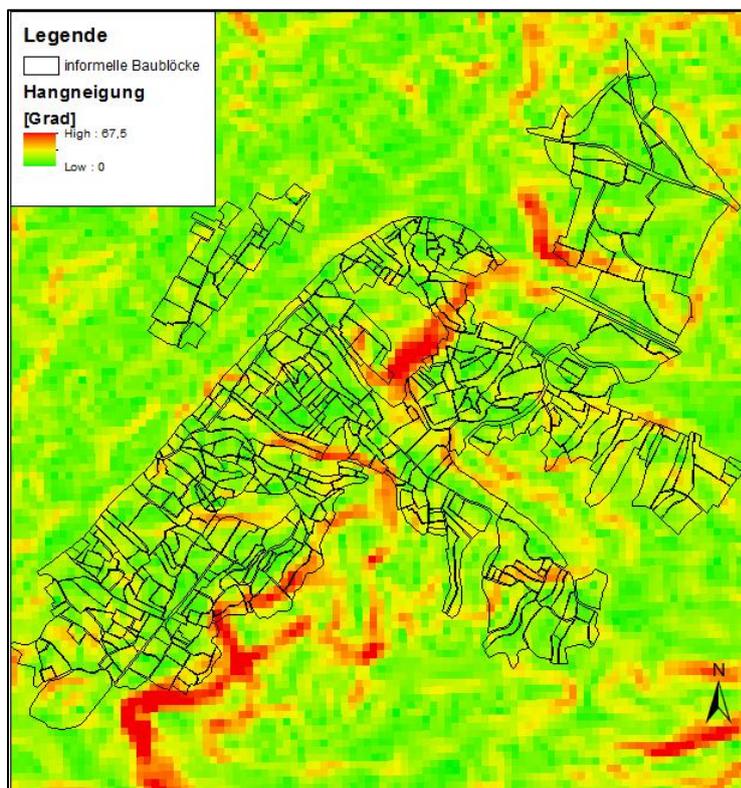


Abb. 44: Informelle Baublöcke und Hangneigungskarte in Manshiet Nasser (Quelle: DGM: Aster Global DGM: USGS).

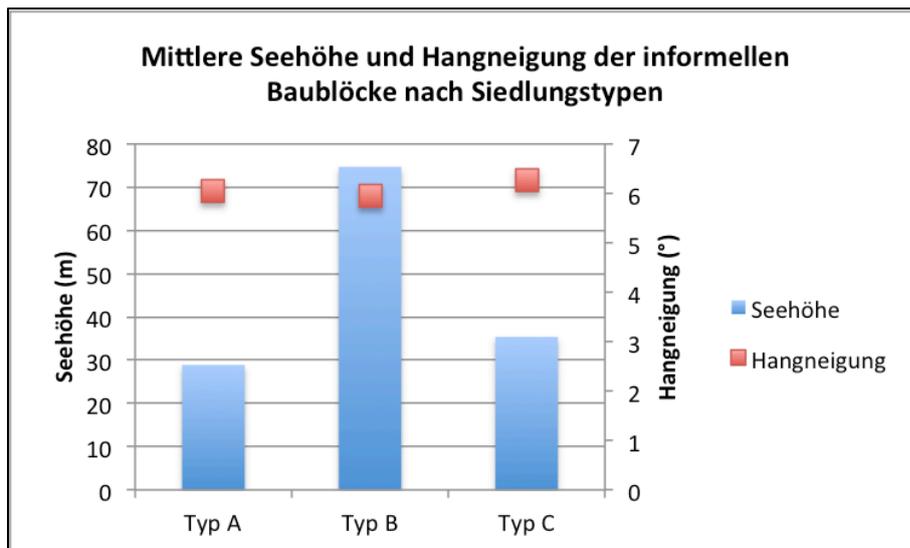


Abb. 45: Mittlere Seehöhe und Hangneigung der informellen Siedlungstypen.

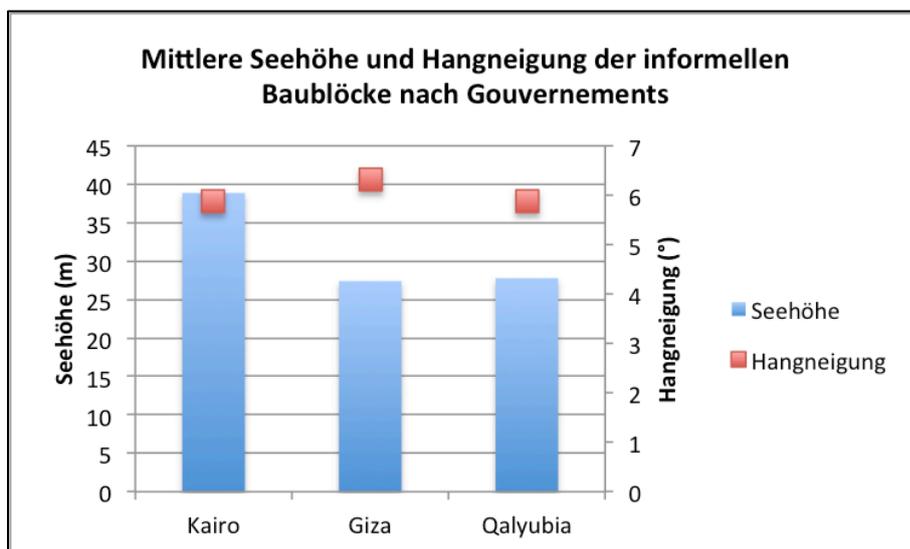


Abb. 46: Mittlere Seehöhe und Hangneigung der informellen Baublöcke in den Gouvernements.

4.5.6 Mittlere Distanz zum Stadtzentrum

Hier werden die Entfernung der Siedlungstypen zum Stadtzentrum untersucht sowie die Veränderung der Strukturparameter mit der Entfernung. Zur Untersuchung der Strukturparameter werden die Mittelwerte der Indikatoren Höhe, Dichte und Blockgröße innerhalb von 5, 10 und 20 km sowie über 20 km erfasst. Eine Unterscheidung der Gouvernements wird nicht vorgenommen, da aufgrund der Lage des Stadtzentrums im Gouvernement Kairo eine Analyse nur wenig Aussagekraft hat. Abb. 47 zeigt die Entfernung der Baublöcke zum Tahrir Platz. Auch wenn nur wenige Baublöcke (887) weiter als 20 km

vom Stadtzentrum entfernt sind, zeigt die Karte welche große Ausdehnung die Metropolregion samt der informellen Siedlungen hat.

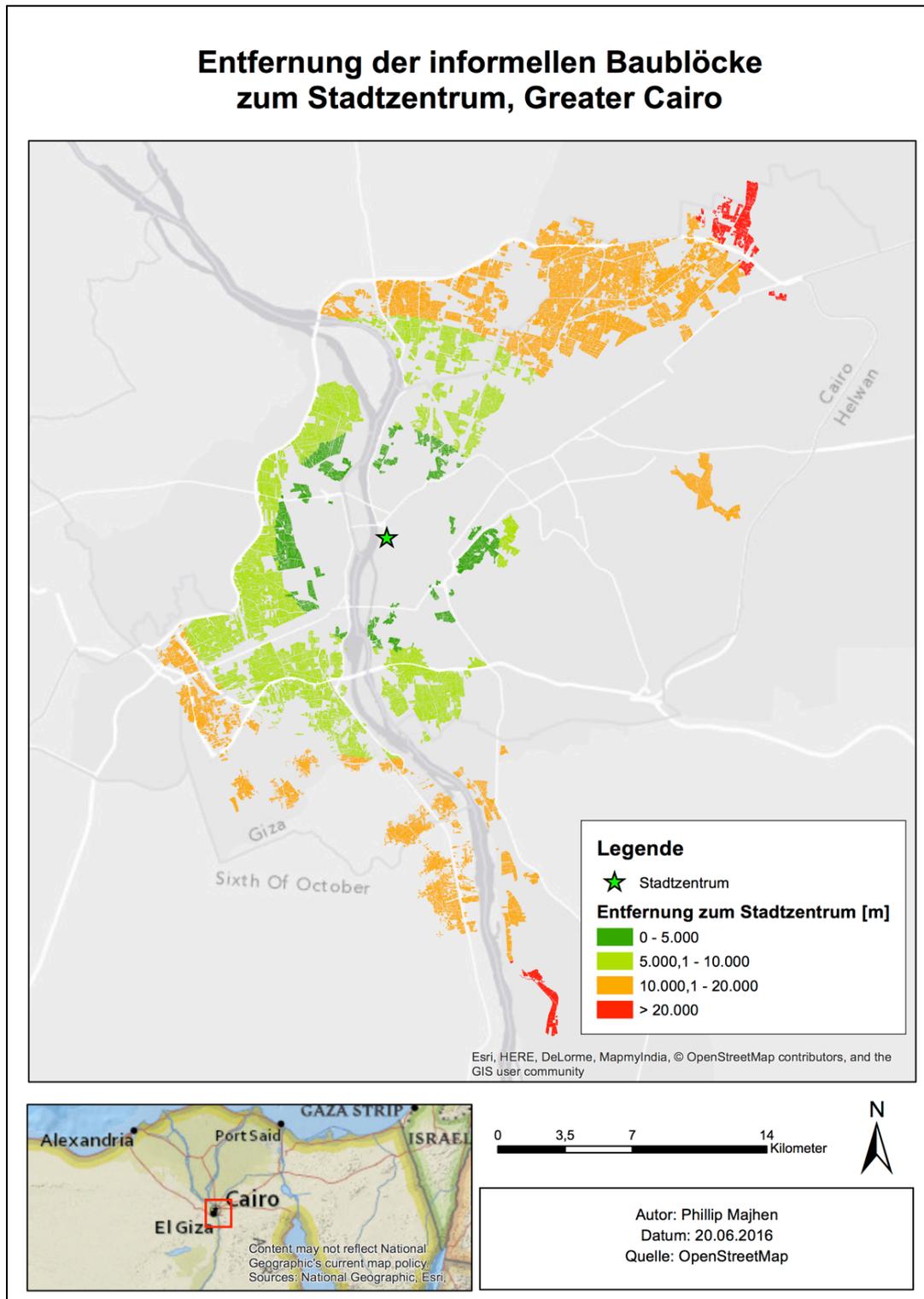


Abb. 47: Karte mit eingezeichnetem Stadtzentrum Kairos und der mittleren Entfernung der informellen Siedlungen (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

In einer maximalen Entfernung von 5 km zum Zentrum befinden sich nur 11,6% der gesamten Baublöcke aber alle Blöcke vom Typ C. Zwischen 5 und 10 km Entfernung liegen 38,8% und über 20 km Distanz nur 1,5% der Baublöcke.

Siedlungstyp C liegt mit einer durchschnittlichen Entfernung von 2.415 m deutlich am nächsten zum Stadtmittelpunkt. Dies untermauert die Definition von C als vernachlässigte und auffällige Stadtinseln in der Altstadt von Kairo. Typ C beinhaltet auch den nächstgelegenen Block aller informellen Siedlungen (772 m). Typ A ist mit einem Mittelwert von 10.148 m insgesamt näher am Stadtzentrum gelegen als Typ B (12.892 m), obwohl Typ B nur im Gouvernement Kairo vorkommt.

Bei einem Blick auf die Veränderung der Strukturparameter fällt bei Typ A die Zunahme der Baublockgröße mit der Entfernung auf, im Gegensatz zu Typ B, bei dem kein Zusammenhang erkennbar ist. Entgegengesetzt zur Blockgröße nimmt die Bebauungsdichte bei Typ A und B mit der Entfernung ab. Für alle Typen gilt somit, je näher am Stadtzentrum, umso dichter sind die Baublöcke bebaut. Bei Betrachtung der Blockhöhen lässt sich bei keinem Siedlungstyp ein eindeutiges Muster feststellen. Blöcke die über 20 km vom Zentrum entfernt sind, haben den niedrigsten Mittelwert. Grund dafür dürfte wiederum die Expansion der Siedlungen an den Stadträndern sein.

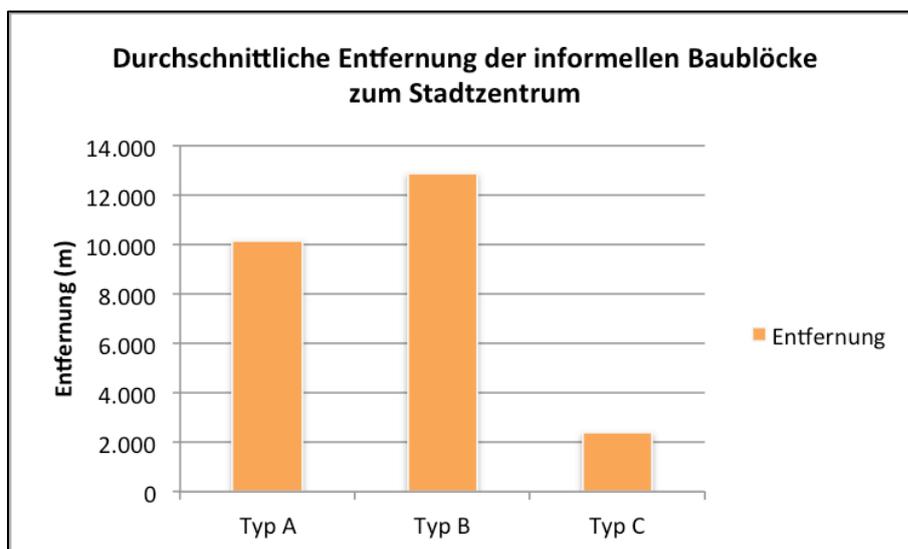


Abb. 48: Mittlere Entfernung der informellen Baublöcke zum Stadtzentrum.

4.5.7 Entfernung zur Ring Road und Hauptstraßen

Die Ring Road ist die Stadtautobahn Kairos und die wichtigste Straße der Metropolregion. Sie umschließt große Teile der Städte Kairo und Gizeh und führt am internationalen Flughafen

Kairos vorbei. Zu den Hauptstraßen zählen Fernstraßen und Straßen 1. und 2. Ordnung. Sie sind größtenteils asphaltiert bzw. befestigt und stehen für die Erreichbarkeit der Siedlungen sowie für die Anhäufung von Infrastruktureinrichtungen.

Die durchschnittliche Entfernung der Blöcke zu den Straßen kann somit Aufschluss über die Erreichbarkeit, sowie Infrastruktur der Siedlungen geben. Zusätzlich wird untersucht, wie sich die Baustrukturen mit der Entfernung zur Ring Road verändern. Dazu werden die Blöcke die innerhalb von 100, 500, 1.000, 2.500 und 5.000 m und über 5.000 m zu einer Straße liegen miteinander verglichen.

4.5.7.1 Ring Road

Alle drei Siedlungstypen haben eine relativ gleiche durchschnittliche Entfernung zur Ring Road: 2.061 m (Typ A), 1.862 m (Typ B) und 2.064 m (Typ C). Typ A beinhaltet sowohl den am nächsten (16,4m) als auch den am weitesten von der Ring Road entfernten Baublock (6.585,6 m). Bei Typ C liegt der nächste Block 107,5 m entfernt. Die informellen Siedlungen in den beiden Gouvernements Giza und Qalyubia haben eine ähnliche mittlere Distanz von 1.588 m bzw. 1.580 m. In Kairo liegt der Mittelwert mit 2.659 m deutlich höher.

Im Gegensatz zur Entfernung zum Stadtzentrum nimmt die Dichte bei Typ A mit der Entfernung zur Ring Road kontinuierlich zu. Bei Blöcken mit einer Entfernung von mehr als 5 km beträgt die Bebauungsdichte 99,2%. Bei Siedlungstyp B ergibt die Auswertung ein entgegengesetztes Bild. Bis 2,5 km ist die Dichte abnehmend, danach konstant bei ca. 94%. Da Typ A 91% der Baublöcke ausmacht, ist auch die Gesamtdichte mit der Entfernung zunehmend.

Bei den Gebäudehöhen von Typ A lässt sich kein Zusammenhang mit dem Abstand zur Ring Road erkennen. Bei Typ C beträgt die durchschnittliche Blockhöhe innerhalb von 500 m zur Autobahn nur 3,8 Stockwerke. Bei B ist ein leichter Anstieg der Höhe mit der Entfernung augenscheinlich.

Ein Zusammenhang zwischen der Blockgröße und der Entfernung zur Ring Road ist bei keinem Siedlungstyp erkennbar.

4.5.7.2 Hauptstraßen

Wie in Abb. 49 ersichtlich, ist Typ C durchschnittlich mit 555 m am nächsten zu Hauptstraßen gelegen und kann als Indiz für die Lage im Stadtzentrum angesehen werden. Typ A ist mit einem Mittelwert von 1.184 m am weitesten entfernt. Im Gouvernement Giza ist die Distanz mit 780,6 m deutlich geringer als in Qalyubia (1.114 m) und Kairo (1.506 m). Die niedrige Entfernung deutet auf die kompakte Bebauung in Giza hin. Im Vergleich zur Ring Road gibt

es keinen Baublock, der weiter als 5 km von einer Hauptstraße entfernt ist. Der am entlegenste Block (Typ A, Kairo) ist 4.499 m von einer Hauptstraße entfernt. Bei Typ B und Typ C sind bis auf zwei Blöcke, alle Blöcke weniger als 2,5 km von einer Hauptstraße entfernt.

Die Beziehungen zwischen Bebauungsdichte der Siedlungstypen und der Entfernung zu Hauptstraßen decken sich mit den Relationen zur Ring Road. Bei den Gebäudehöhen sind keine Signifikanzen erkennbar. Die Veränderung der Höhen liegt bei allen Typen in einer Größenordnung von 0,2 Stockwerken. Deshalb spielt die Entfernung zu Straßen keine Rolle bei der Festlegung der Bebauungshöhe.

Bei einem Blick auf Abb. 51 fällt auf, dass die informellen Siedlungen, insbesondere Typ A, direkt an der Ring Road liegen. Jedoch fehlen oft die nötigen Auffahrten oder Verbindungsstraßen in der Nähe. Auffallend ist auch, dass vor allem in den Zentren von großen informellen Agglomerationen, Hauptstraßen fehlen, die einen schnellen Transport ermöglichen. Dies ist vor allem südlich der Ring Road im Norden der GCMA der Fall. Die Karte verdeutlicht in welchen Gebieten die Erreichbarkeit verbessert werden muss.

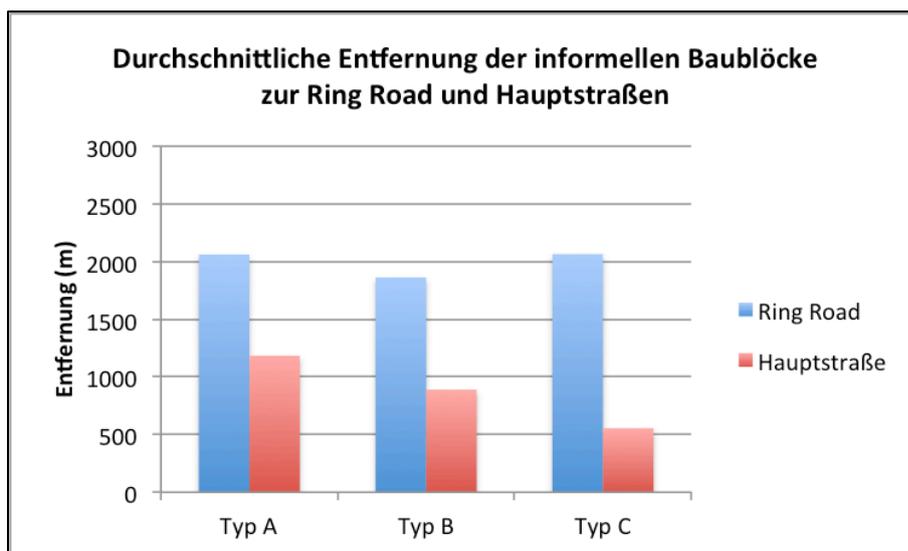


Abb. 49: Durchschnittliche Entfernung der informellen Baublöcke zur Ring Road und Hauptstraßen.

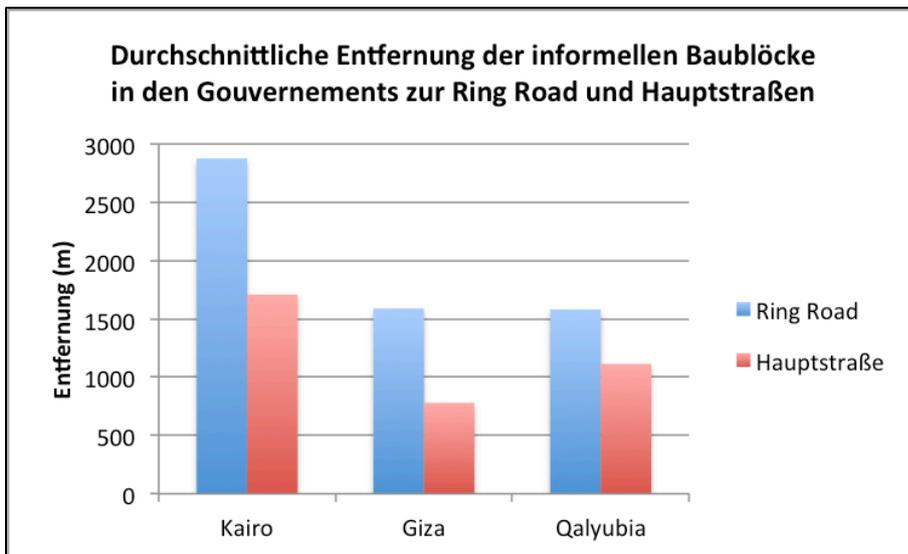
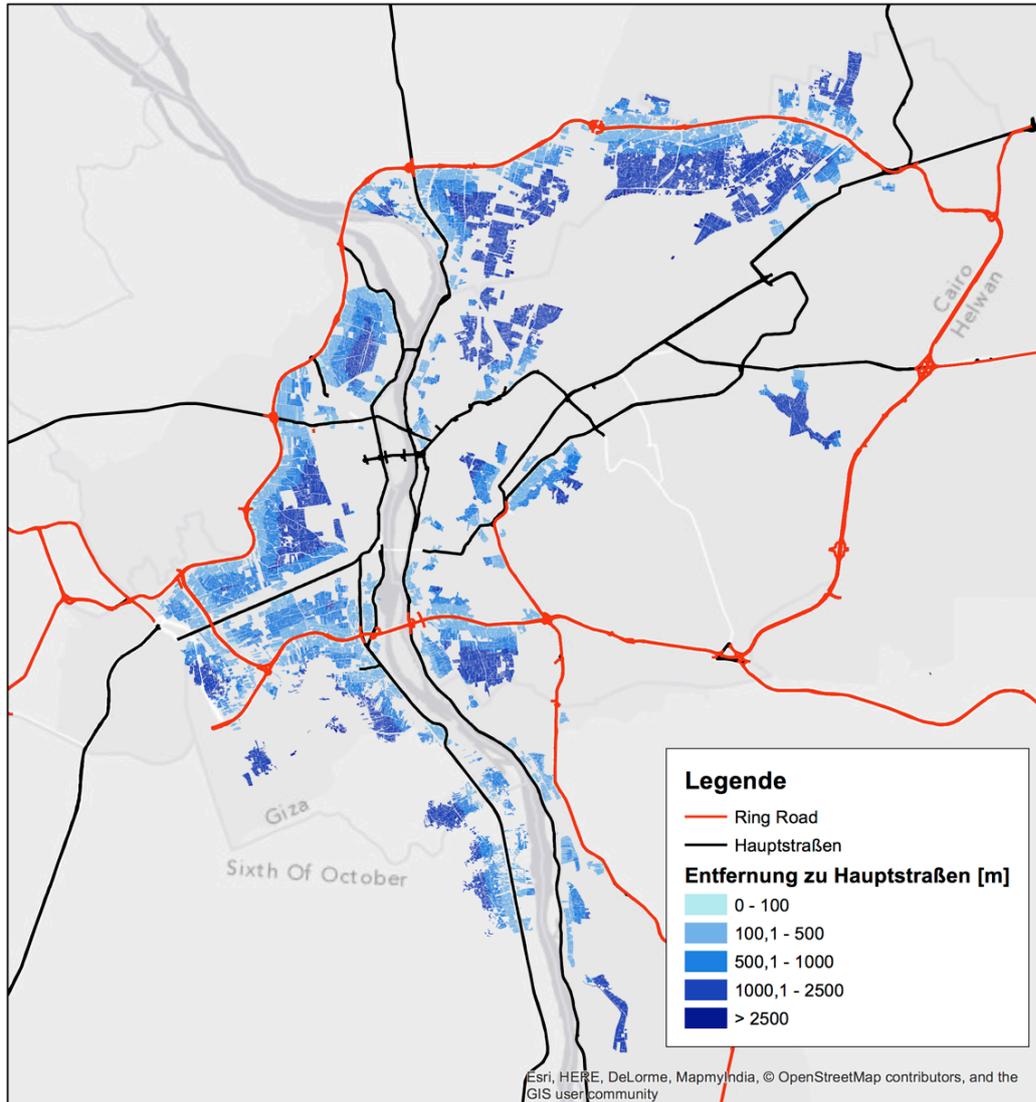


Abb. 50: Durchschnittliche Entfernung der informellen Baublöcke in den Gouvernements zur Ring Road und Hauptstraßen.

Entfernung der informellen Baublöcke zu Hauptstraßen, Greater Cairo



Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: OpenStreetMap
 Straßen: DIVA-GIS

Abb. 51: Karte mit der Entfernung der informellen Baublöcke zu den Hauptstraßen in Greater Cairo (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

4.6 VERÄNDERUNG DER PHYSIOGNOMISCHEN STRUKTUREN ÜBER DIE ZEIT

Die Zeitreihenanalysen sollen Aufschluss darüber geben, wie sich die physiognomischen Strukturen aber auch die Anzahl bzw. Größe der Siedlungstypen über einen Zeitraum von 27 Jahren verändert haben. Eindeutige Entwicklungen in der Vergangenheit oder absehbare Trends können zukünftige Entwicklungen prognostizieren und für stadtplanerische Entscheidungen hilfreich sein.

4.6.1 Datengrundlage

Die Datengrundlage der analogen Klassifikation wird mit einer durchgeführten Change Detection vom DLR, die im Zuge von Beobachtungen der Urbanisierung in Megastädten durchgeführt wurde (Taubenböck et. al, 2011), kombiniert. Die Veränderungsdetektion beinhaltet die räumliche Ausdehnung der städtischen Bebauung von Greater Cairo in den Jahren 1984, 1990, 1998 und 2010. Durch die Verschneidung der Change Detection Maske mit der analogen Klassifikation (vgl. Abb. 52) werden die Jahreszahlen auf die Baublöcke übertragen. Zusammen mit der analogen Klassifikation auf Basis der Basemap von 2011 ergeben sich vier Entwicklungsepochen. Aufgrund der ungleichen Beobachtungszeiträumen werden neben den Auswertungen für die Epochen, die jährlichen Veränderungsdaten berechnet, um einen besseren Vergleich zu ermöglichen.

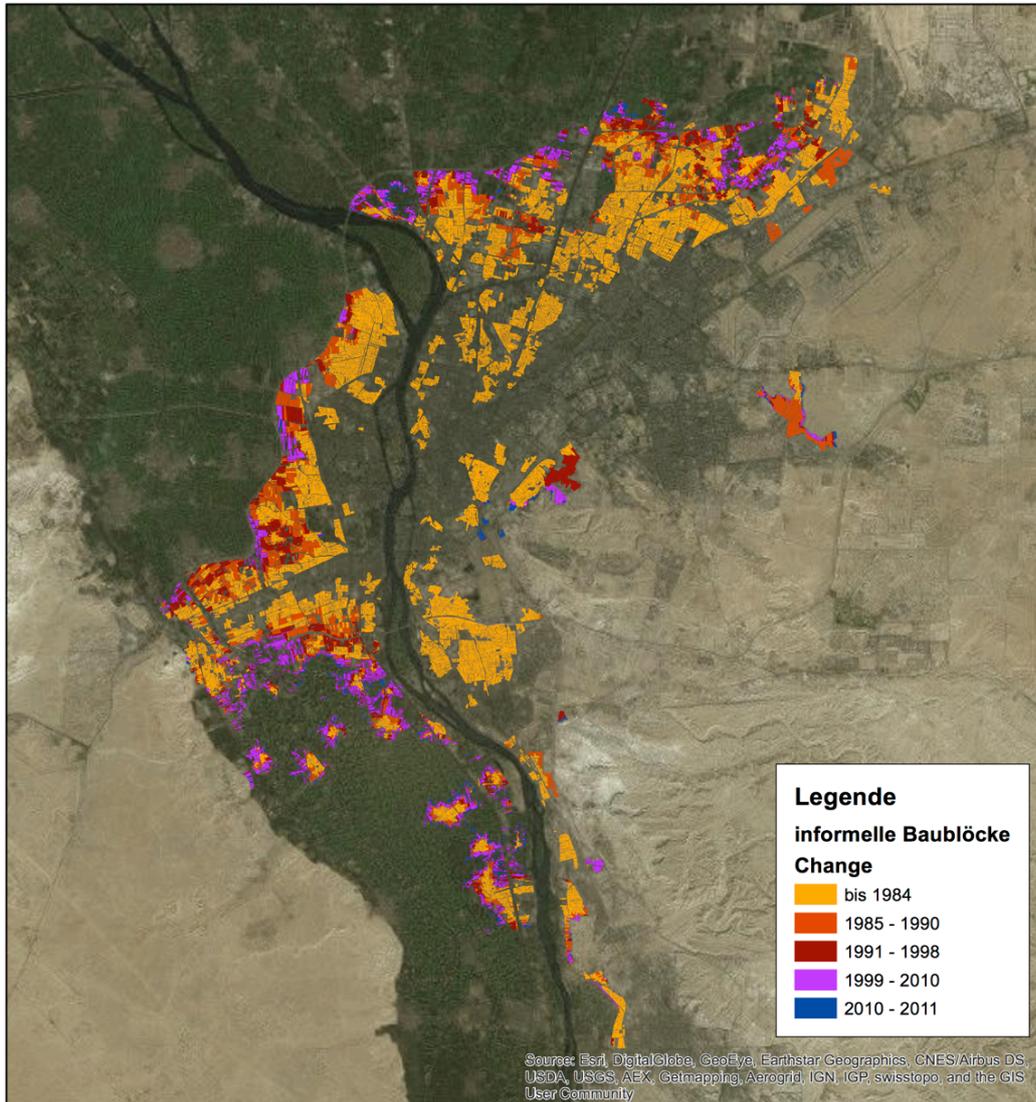
Die Veränderungen in den Siedlungstypen und den Gouvernements werden auf die Indikatoren Blockanzahl, Baublockfläche, Blockhöhe, Blockdichte und Hangneigung untersucht.

Aus der Change Detection geht auch hervor, dass die informellen Siedlungen eine Gesamtfläche von 110 km² in GCMA einnehmen. Seit 1984 hat die Gesamtgrundfläche um 65% zugenommen. Den stärksten Zuwachs verzeichnet Typ A (+69%). Dies entspricht einer Fläche von 38,6 km². Nähere Angaben befinden sich in der nachstehenden Tabelle (Tab. 27).

Tab. 27: Flächenstatistik der informellen Flächen von 1984 – 2011.

Jahr	Typ A	Typ B	Typ C	Gesamt
1984	56,3 km ²	7,6 km ²	2,9 km ²	66,8 km ²
1990	72,1 km ²	9,7 km ²	2,9 km ²	84,7 km ²
1998	81,0 km ²	11,0 km ²	2,9 km ²	94,9 km ²
2010	93,1 km ²	11,8 km ²	2,9 km ²	107,8 km ²
2011	94,9 km ²	12,1 km ²	3,1 km ²	110,0 km ²

Ausbreitung der informellen Siedlungen in Greater Cairo von 1984 -2011



Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle: Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)
Change Detection 2011: Taubenböck et al. 2012

Abb. 52: Karte mit der Ausbreitung der informellen Siedlungen in Greater Cairo von 1984 - 2011 (Quelle: Satellitenbild: GeoEye-1 (DigitalGlobe), Change Detection: Taubenböck et al. 2011).

4.6.2 Anzahl der Baublöcke

Da Typ C als Slum im eigentlichen Sinne definiert ist und aus baufälligen Bauten in der Altstadt besteht, ist eine Veränderung aus der Luft nur schwer zu erfassen. Wie in Abb. 53 ersichtlich, hat Typ C so gut wie keinen Zuwachs, da keine aktive Bebauung stattfindet und Gebäude renoviert oder abgerissen werden. Typ A und B weisen einen ähnlich starken Zuwachs an neuen Baublöcken auf. In beiden Typen sind über die Zeitspanne von 27 Jahren, über 50% neue informelle Blöcke hinzugekommen. Der größte Zuwachs erfolgte in der Epoche 1984 bis 1990. Die jährliche durchschnittliche Zuwachsrate betrug in diesen Jahren 3,7% (Typ A) und 5,5% (Typ B). Typ C weist für diese Zeit einen jährlichen Zuwachs von nur 0,08% auf. Dieser minimale Zuwachs lässt sich auf die Ungenauigkeit des Urban Footprints zurückzuführen. Insgesamt vergrößerte sich die Anzahl der informellen Blöcke in GCMA von 24.388 auf 37.196.

Bei einem Blick auf die Veränderung der Blöcke in den Gouvernements ist ersichtlich, dass die Zuwachsraten für Giza und Qalyubia, in denen nur Typ A vorkommt, höher sind als jene von Kairo. Der Zuwachs an Baublöcken betrug im Gouvernement Kairo über den gesamten Beobachtungszeitraum 1,0%. Hingegen kann Giza ein Plus von 3,2% und Qalyubia ein Plus von 2,5% verzeichnen. Auch hier erfolgte für alle Gouvernements der stärkste Zuwachs zwischen 1984 und 1990. Im Jahr 1984 hatte Kairo über die Hälfte mehr Baublöcke als Giza, heute hat Giza fast gleich viele wie Kairo.

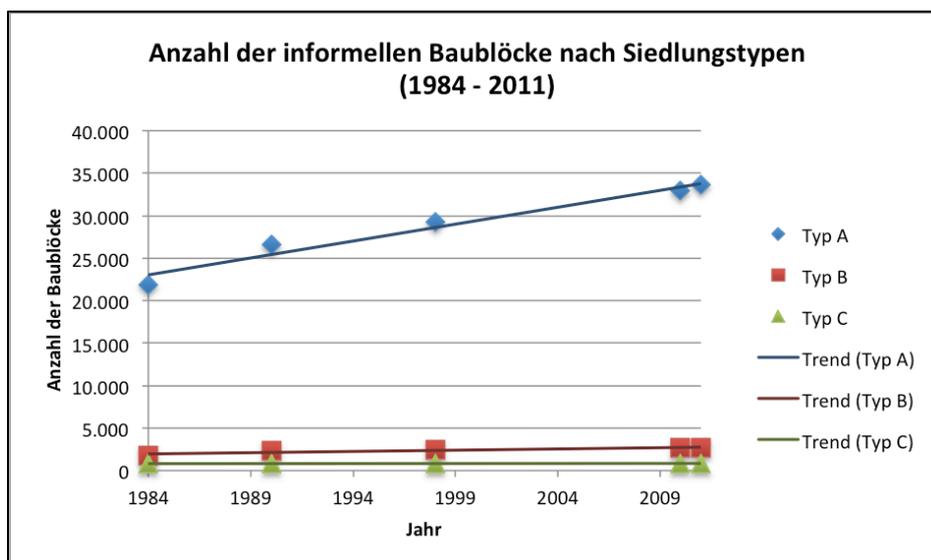


Abb. 53: Veränderung der Anzahl der informellen Baublöcke von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.

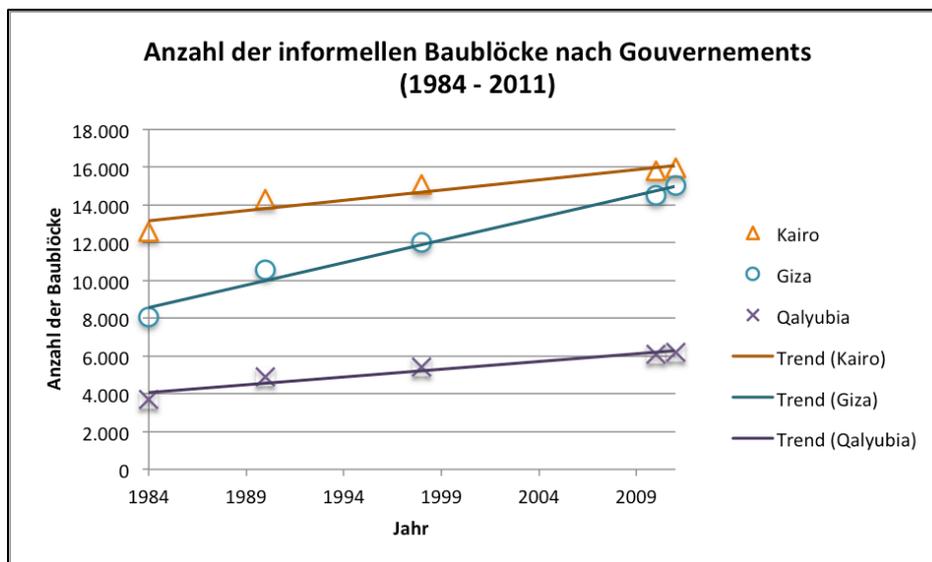


Abb. 54: Veränderung der Anzahl der informellen Baublöcke von 1984 - 2011 nach Gouvernements.

4.6.3 Blockgröße

Bei der Veränderung der Baublockgrößen werden einerseits die gesamte bebaute Fläche, die sich aus der Blockfläche und der Bebauungsdichte ergibt, und andererseits die durchschnittliche Blockgröße untersucht. Insgesamt hat die gesamte bebaute Fläche informeller Siedlungen seit 1984 um 60% (+38,6 km²) zugenommen. Den stärksten Zuwachs verzeichnet Typ A (+62%). Dies entspricht einer Fläche von 34,2 km². Im Gouvernement Giza hat sich die gesamte informell bebaute Fläche seit 1984 nahezu verdoppelt (+93%). Den geringsten Anstieg gab es in Kairo (+32%). Gründe dafür könnten das unwegsame und wüste Gelände und das Fehlen des Nildeltas sein. Demnach kann in Zukunft ein Zuwachs vor allem in den Gouvernements Giza und Qalyubia erwartet werden.

Die durchschnittliche Blockfläche hat sich bei Typ A und B seit 1984 um 9% bzw. 3% vergrößert. Grund dafür könnte die zunehmende stadtauswärtige Ausbreitung von Typ A und dem damit verbundenen größeren Platzangebot sein. Typ C weist keine merkliche Veränderung der Baublockgröße auf. Der Mittelwert der Blockgrundfläche ist in allen Gouvernements kontinuierlich gestiegen. Nach einem großen Anstieg vor 1990 ist nach wie vor eine Zunahme der Blockgröße, wenn auch weniger stark, beobachtbar.

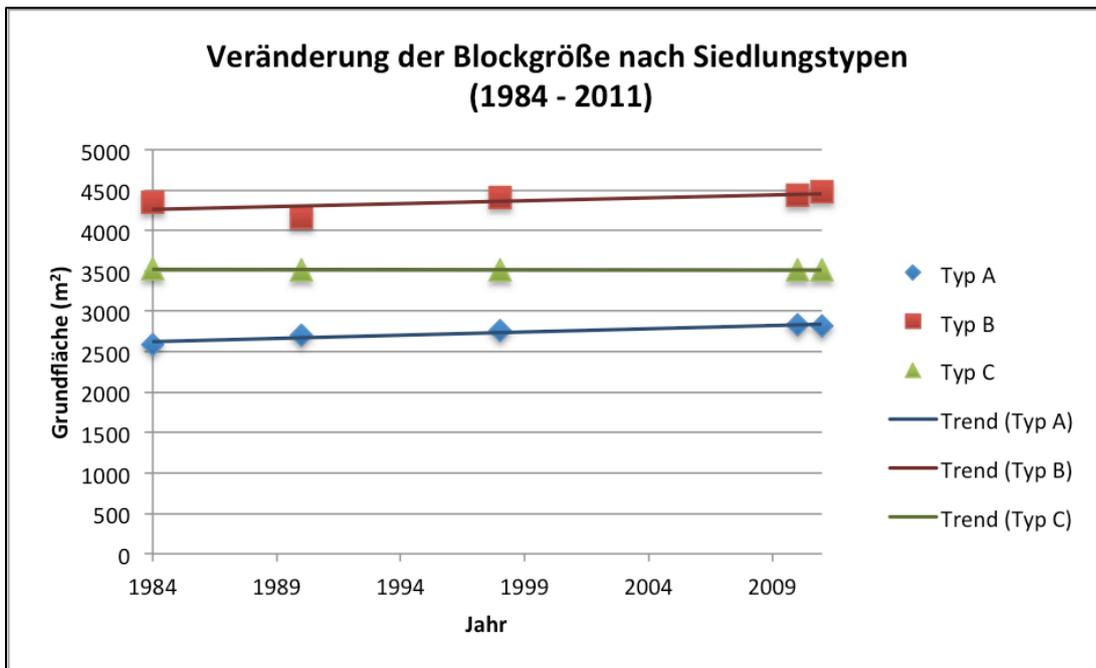


Abb. 55: Veränderung der Baublockgröße von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.

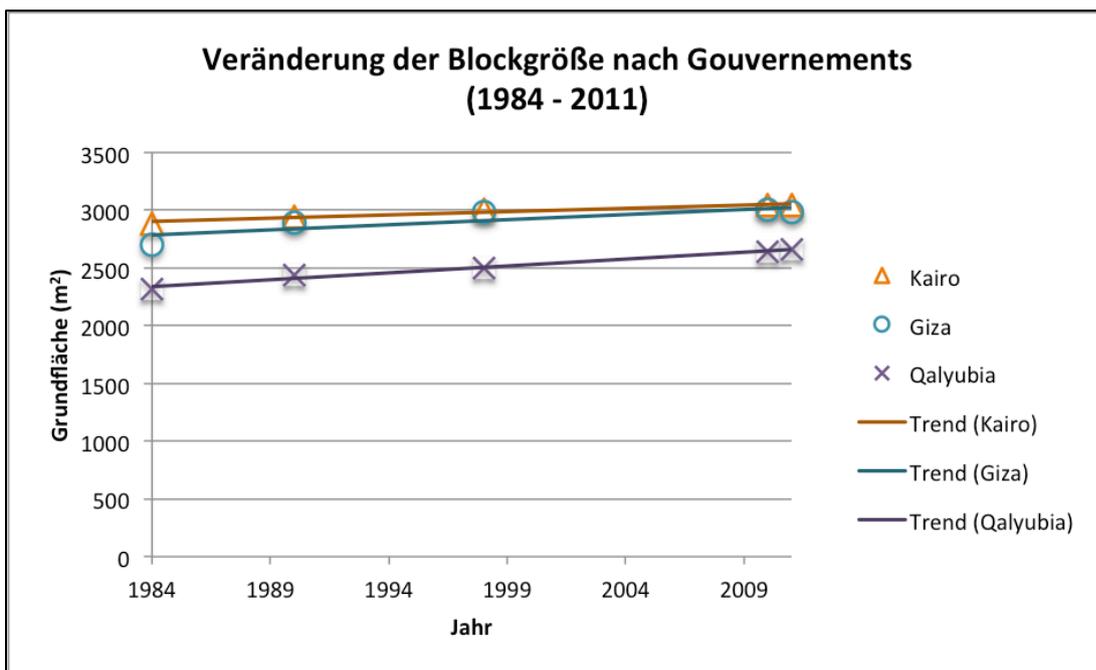


Abb. 56: Veränderung der Baublockgröße von 1984 - 2011 nach Gouvernements.

4.6.4 Gebäudehöhe

Informelle Siedlungen vom Typ B und C haben eine konstante durchschnittliche Baublockhöhe über den Beobachtungszeitraum mit einer maximalen Veränderung von ca.

0,2 Stockwerken. Bei Typ A kann eine leichte stetige Abnahme der Höhe von insgesamt 4,3% registriert werden.

Die Gouvernements Kairo und Giza verzeichnen eine Abnahme von 5,2% bzw. 6,4%. In Qalyubia lässt sich dagegen eine minimale Zunahme feststellen. Werden die Veränderungen in einzelnen Epochen betrachtet, lässt sich in allen Gouvernements eine Abnahme der Gebäudehöhen seit 1990 feststellen. Grund dafür kann die Aufstockung der Bauten mit der Zeit sein. Außerdem können Bauprozesse in den Zwischenjahren aufgrund der Verschneidung mit der Change Detection nicht erfasst werden. Im Allgemeinen hält sich die Veränderung der Baublockhöhen in Grenzen. Für den ganzen Beobachtungszeitraum gibt es keine Veränderung von mehr als 0,3 Stockwerken.

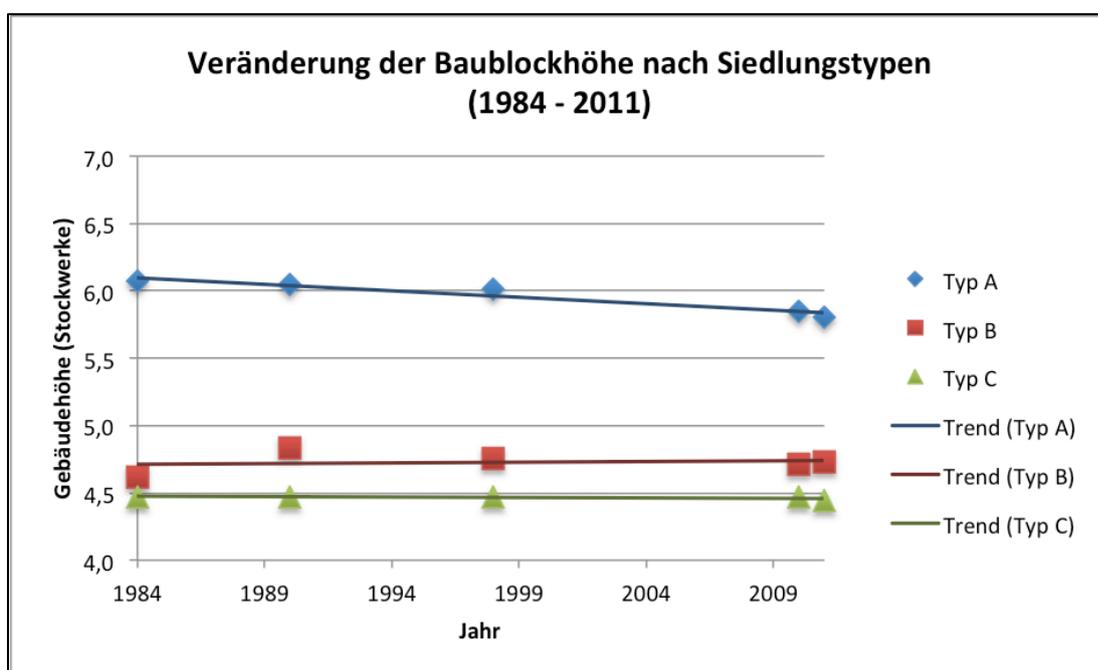


Abb. 57: Veränderung der Baublockhöhe von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.

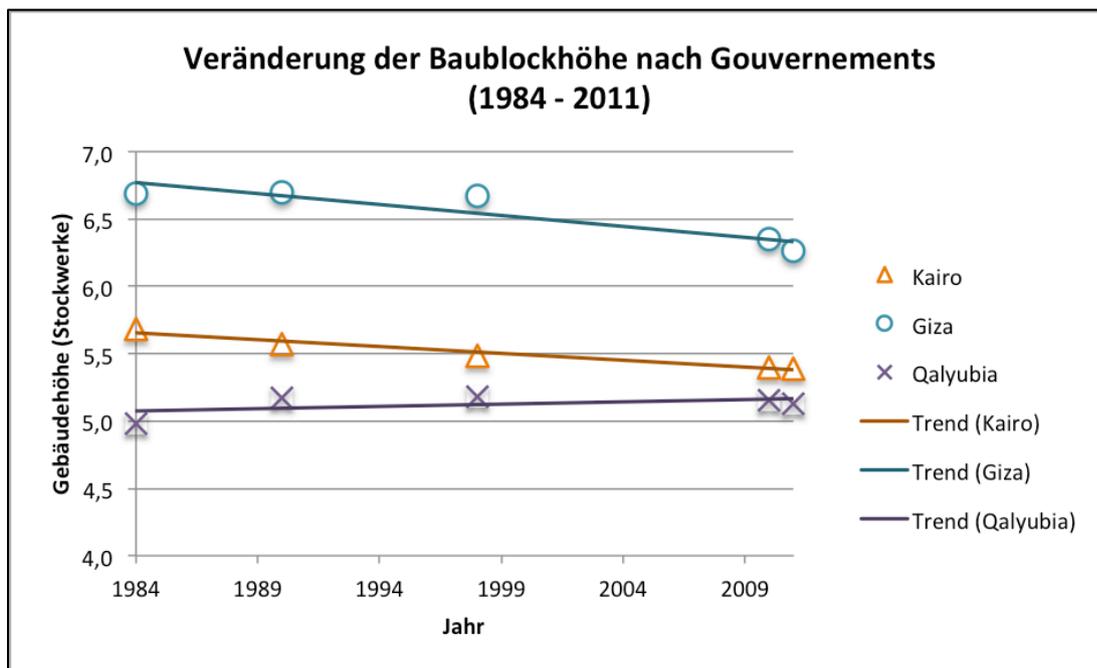


Abb. 58: Veränderung der Baublockhöhe von 1984 - 2011 nach Gouvernements.

4.6.5 Blockdichte

In der Gesamtheit ist eine Abnahme der Bebauungsdichten wahrnehmbar. Allerdings sind die Ergebnisse aufgrund der bereits erwähnten Problematik mit der Erfassung der Siedlungserweiterungen, mit etwas Vorsicht zu betrachten. Typ C hat mit knapp 99% die größte und konstanteste Bebauungsdichte, begründbar mit der Lage in der Altstadt und der fehlenden Ausweitung. Auch Typ B hat über die Jahre eine recht konstante Bebauungsdichte mit dem Hang zur Verdichtung. Jedoch sind die Zunahmen im zweistelligen Dezimalbereich und somit kaum merklich. Bei Typ A ist über die 27 Jahre eine Abnahme der Dichte von 4,3% erkennbar, was vor allem auf die starke Expansion zurückzuführen ist. Aber auch in den vorherigen Epochen ist ein Rückgang der Dichte erkennbar. So lag bis 1998 die Abnahme der mittleren Bebauungsdichte bei 1,0%.

Eine Abnahme der Dichte fand in allen Gouvernements statt. Am stärksten ist der Rückgang in Giza (-5,9%). Grund dafür dürften die stark ins Umland expandierenden informellen Siedlungen in diesem Gouvernement sein. In Kairo gibt es eine kaum ersichtliche Abnahme der Dichte von 1984 bis 2011 von 1,5%. Durch die starke Abnahme der Dichte in Qalyubia (-3,4%) ist der Mittelwert unter jenem von Kairo gesunken.

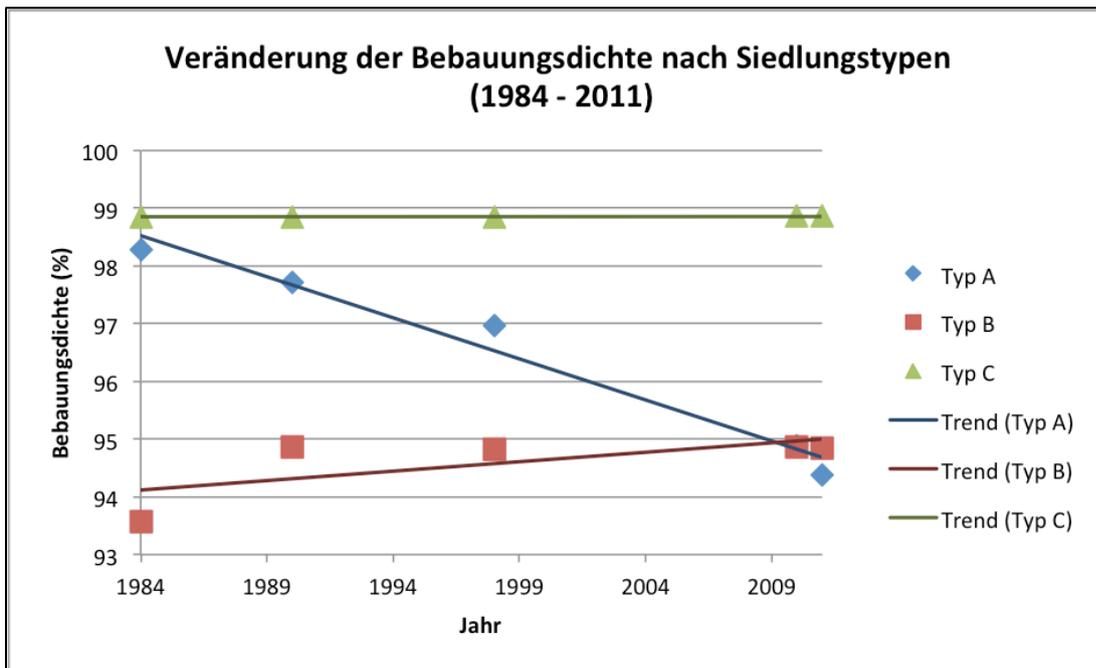


Abb. 59: Veränderung der Bebauungsdichte von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.

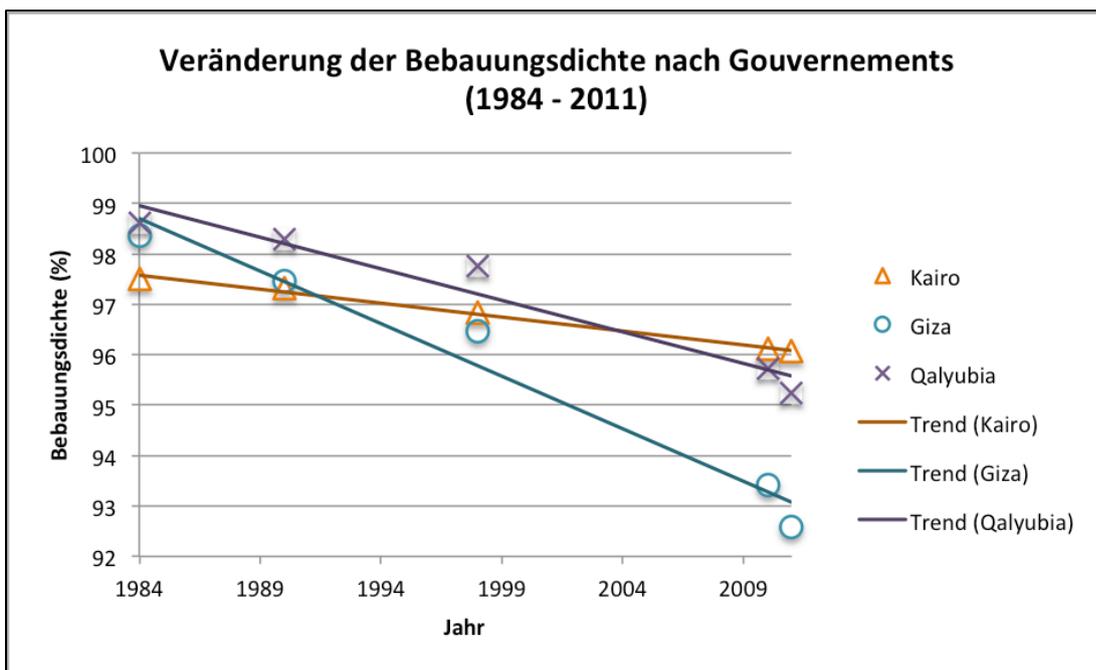


Abb. 60: Veränderung der Bebauungsdichte von 1984- 2011 nach Gouvernements.

4.6.6 Hangneigung

Angesichts der bereits erwähnten geringen Maschenweite des DGMs sind die Ergebnisse der Analysen besonders zu hinterfragen. Für die Feststellung der Veränderungen in den Gouvernements und den Siedlungstypen ist die Qualität ausreichend.

Aufgrund der geringen räumlichen Ausbreitung von Typ C lässt sich keine Veränderung der Hangbebauung in den Bauungsperioden feststellen. Typ A ist seit 1984 durch eine kontinuierliche Abnahme der Hangneigung gekennzeichnet. Über 27 Jahre sind das $-2,0\%$ bzw. $-0,13^\circ$. Grund dafür dürfte die großflächige Ansiedlung im flachen Nildelta sein. Bei B ist eine leichte Tendenz der Hangneigungszunahme ($+1,8\%$) erkennbar.

Durch die Dominanz von Typ A lässt sich in allen Gouvernements eine Abnahme der Hangneigung beobachten. Die stärkste Abnahme fand in Giza statt ($-3,2\%$), da sich die informellen Siedlungen in diesem Gouvernement hauptsächlich im Nildelta befinden. Bei einem Blick auf die beiden Abbildungen ist sofort ersichtlich, dass sich die Veränderungen der Hangneigungen stark in Grenzen halten und keine nennenswerten Sprünge auftreten.

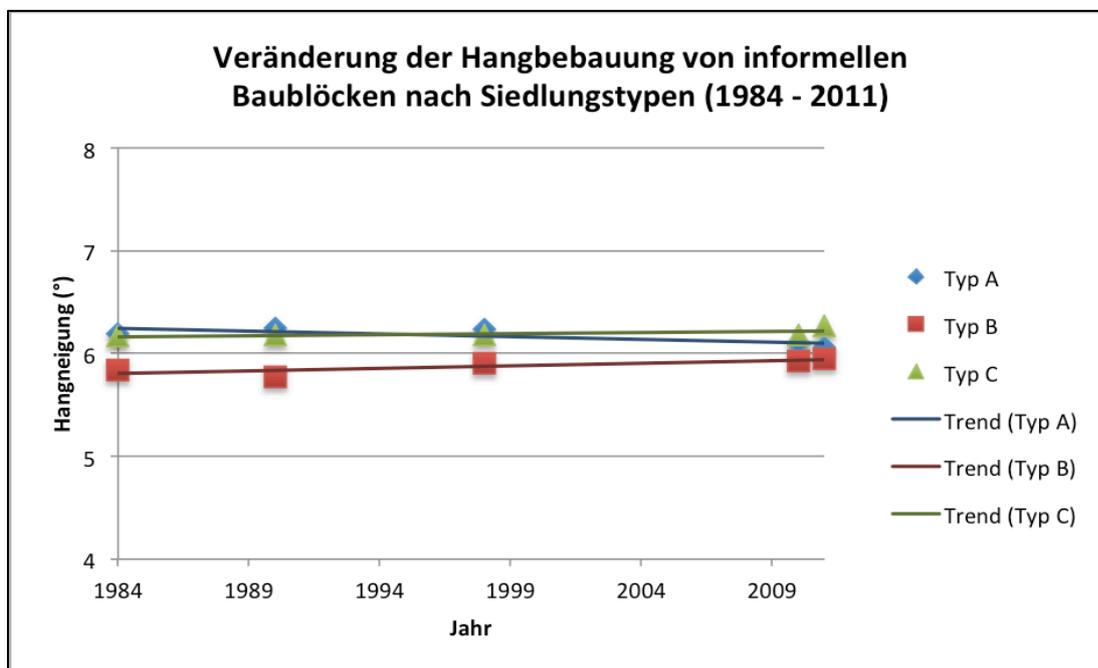


Abb. 61: Veränderung der Hangbebauung von informellen Baublöcken von 1984 - 2011 nach Siedlungstypen.

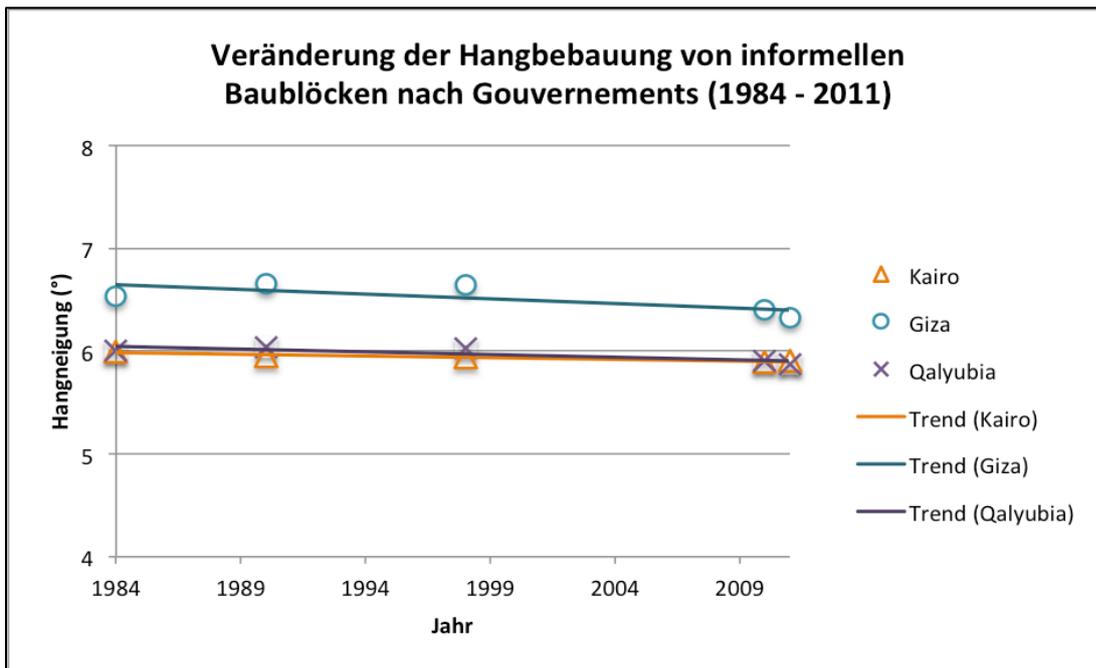


Abb. 62: Veränderung der Hangbebauung von informellen Baublöcken von 1984 - 2011 nach Gouvernements.

5 ERGEBNISPRÄSENTATION UND AUSBLICK

In diesem Kapitel werden die Forschungsfragen noch einmal aufgegriffen und diskutiert. Zusätzlich werden die wichtigsten Erkenntnisse präsentiert und die im Zuge der Beantwortung aufgetretenen Probleme dargestellt. Im Anschluss erfolgt ein Überblick, welchen Nutzen die Masterarbeit für die Wissenschaft und Planung hat. Zum Schluss werden die gewonnenen Erkenntnisse dargelegt und ein persönliches Resümee gezogen.

5.1 BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGEN

5.1.1 Definition der informellen Siedlungen in Greater Cairo

„Wie definieren und unterscheiden sich die informellen Siedlungen und Slums in der Metropolregion Greater Cairo?“

Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage nach der Art und Verteilung von informellen Siedlungen in der Metropolregion Kairo gilt als essentiell, da die weiteren Analysen dieser Arbeit auf die Festlegung der Typen aufbaut. Die Definitionen der einzelnen Siedlungstypen beziehen sich auf unterschiedliche Publikationen (vgl. Kap. 2.5) von Autoren oder Organisationen, die sich mit den informellen Siedlungen in Kairo bzw. Ägypten auseinandersetzen. Eine neue und nach eigenem Ermessen ausgewählte und erstellte Einstufung wäre kaum möglich und ist auch nicht Ziel der Arbeit. In der Literatur herrscht eine Vielfalt der Slumklassifizierung vor und somit ist es schwierig die Kategorien im Rahmen der Arbeit zu verwenden .

Die informellen Siedlungen in Kairo werden in dieser Masterarbeit nach drei Typen unterschieden. Die Unterscheidung erfolgt aufgrund der Lage in Kairo und der Art des bebauten Landes. Diese Unterteilung wird z.B. auch von Sims (2002) oder der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) verwendet. Sie haben sich intensiv mit den informellen Siedlungen in Kairo beschäftigt und zudem ist die Unterteilung nachvollziehbar und gut dokumentiert.

Ein Blick auf Abb. 63 zeigt, dass die informellen Siedlungen vom Typ A sich im Nildelta befinden. Dies geht mit der Definition als Siedlungen auf ehemaligen Landwirtschaftsflächen einher, die im Wüstenstaat Ägypten nur im Nildelta bzw. entlang des Flusses vorkommen. So kommen großflächige Siedlungsgebiete nördlich und östlich der Altstadt Kairos vor, kleinere Siedlungsflächen hingegen befinden sich südlich des Zentrums, in einem Streifen entlang des Nils.

Typ B kommt nur in den Wüstenflächen östlich und südlich des Stadtzentrums vor. Dabei sind die Siedlungen auf drei informelle Gebiete beschränkt. Alle befinden sich im Gouvernement Kairo.

Die vernachlässigten Siedlungen im historischen Zentrum (Typ C) befinden sich gemäß ihrer Definition im historischen Stadtzentrum Kairos. Die im Vergleich zu Typ A und B kleinräumigen Erscheinungen konzentrieren sich dabei zwischen Nil und dem Al Azhar Park.

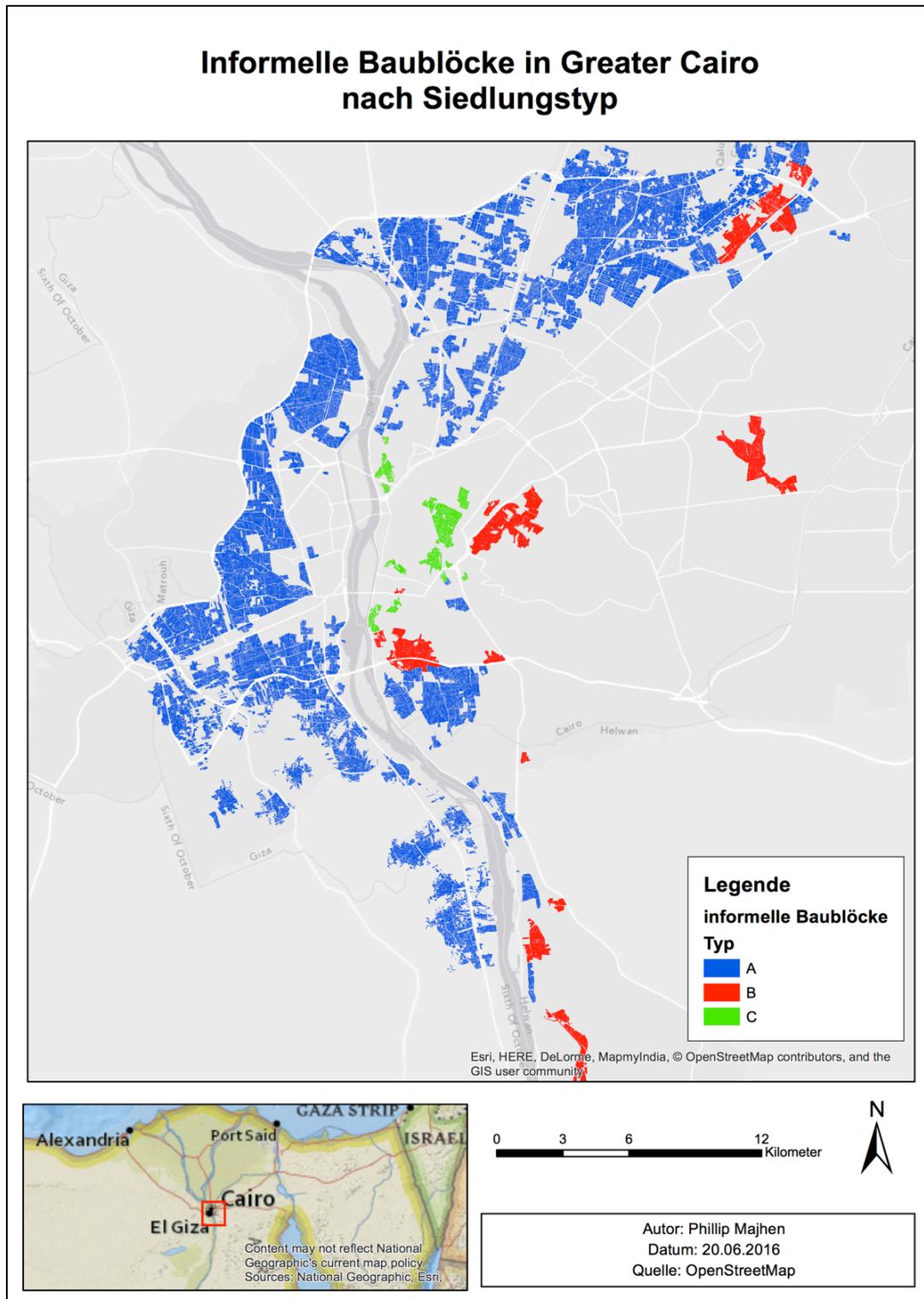


Abb. 63: Verteilung der informellen Siedlungstypen in Greater Cairo (Quelle: Hintergrund: OpenStreetMap).

Weitere Merkmale der Unterscheidung zwischen den Siedlungstypen werden in den nachstehenden Tabellen (28 – 30) kurz aufgezeigt.

Tab. 28: Definition und Merkmale von Typ A.

Typ A	Informelle Siedlungen auf ehemaligen Landwirtschaftsflächen
Besitzverhältnis	Private Wohnhäuser und Finanzierung
Bauzustand	„gute“ Qualität der Wohnhäuser
Bebauungsmuster	Enge lokale Straßen, Grundstücksflächen komplett bebaut, keine öffentliche Plätze/Flächen für Dienstleistungen, Entwässerungsmuster prägt Blockbebauung
Anmerkung	Keine privaten Freiflächen auf Grundstücken, rechtwinkelige Baublöcke
Beispiele	Imbaba, Boulaq al Daqrur
Gouvernement	Giza, Kairo, Qalyubia

Tab. 29: Definition und Merkmale von Typ B.

Typ B	Informelle Siedlungen auf früheren staatlichen Wüstenflächen
Besitzverhältnis	Private Wohnhäuser auf offenem Staatsland, Bezahlung nomineller Grundsteuer
Bauzustand	vermehrtes Aufkommen baufälliger Strukturen
Bebauungsmuster	Irreguläres Wegenetz, Unregelmäßige Bebauung, z.T. Sackgassensystem, im Fall Manshiet Nasser Orientierung an den Höhenlinien,
Anmerkung	Durch Interpretation des Bürgerrechts gewisse Gewohnheitsrechte
Beispiele	Manshiet Nasser, Ezbet El Haggana
Gouvernement	Kairo

Tab. 30: Definition und Merkmale von Typ C.

Typ C	Vernachlässigte Siedlungen im historischen Zentrum
Besitzverhältnis	Unsichere Besitzverhältnisse
Bauzustand	Blöcke mit alten, überbevölkerten und vernachlässigten Bauten
Bebauungsmuster	Innerhalb mittelalterlicher städtischer Altstadt, formelle Struktur
Anmerkung	Slum im ursprünglichen Sinne, Umwandlung in Geschäftsflächen, sehr arme Bevölkerung
Beispiele	El Gameleya, Al-Darb al Ahmer
Gouvernement	Kairo

Schlussfolgerung

Die informellen Siedlungen in Kairo werden, basierend auf unterschiedlicher Literatur, in drei Typen aufgrund ihrer Lage bzw. Besitzverhältnisse unterteilt:

- **Informelle Siedlungen auf ehemaligen Landwirtschaftsflächen (Typ A)**
- **Informelle Siedlungen auf früheren staatlichen Wüstenflächen (Typ B)**
- **Vernachlässigte Siedlungen im historischen Zentrum (Typ C)**

Neben den Besitzverhältnissen unterscheiden sich die Siedlungen aufgrund ihrer Entstehung, Zustände der Baustrukturen, Morphologie und Vorhandensein von Infrastruktureinrichtungen.

5.1.2 Erfassung von informellen Siedlungen im Satellitenbild

„Kann eine objektbasierte Klassifikation die informellen Siedlungen in Greater Cairo auf Baublockebene erfassen und unterscheiden?“

Grundsätzlich sollen laut Hofmann (2001, S.107) die physiognomischen Entitäten von informellen Siedlungen (kleine notdürftige Hütten aus unterschiedlichen Materialien) aus Fernerkundungsdaten detektiert werden können. Daher sollte es möglich sein, die informellen Siedlungen im Wesentlichen zu klassifizieren und von den anderen Landnutzungs- und Siedlungsformen zu unterscheiden. Dies hängt auch von der spektralen und geometrischen Auflösung des Sensors ab.

Jedoch haben die informellen Siedlungen und Slums in der Metropolregion Kairo nicht die typischen Slumstrukturen, wie sie aus den Hüttenvierteln in Indien oder Lateinamerika bekannt sind. Die informellen Siedlungen bestehen aus festen Baustrukturen, die zum Großteil über mehrere Wohnstöcke verfügen. Besonders Siedlungstyp A weist eine für Slums untypische homogene und geordnete Bebauung auf.

Die Forschungsfrage wird durch die Klassifikation von drei Stadtausschnitten beantwortet. Vor der Klassifikation wird durch das Heranziehen von externem Expertenwissen eine lokale Slumontologie erstellt. Diese erleichtert die Unterscheidung der einzelnen Siedlungstypen und ist bei der Regelfindung zur Klassifikation von Bedeutung. Durch das Studieren von Publikationen mit ähnlichen Themenstellungen können ebenfalls Regeln zur Bestimmung der einzelnen Klassen gefunden werden. Die Klassifikation der Szenen erfolgt auf einem hierarchischen 3-Level-Modell. Der genaue Ablauf und die Beschreibung der einzelnen Klassen sind im Kapitel 3 näher beschrieben.

Durch die Ergebnisse der durchgeführten Klassifikationen kann die Aussage getroffen werden, dass die informellen Siedlungen in Greater Cairo auf Baublockebene durch eine objektbasierte Klassifikation erfassbar sind. Dies wird unter anderem durch die Genauigkeitsanalysen (vgl. Kap. 3.7.2) bestätigt. Eine Unterscheidung der verschiedenen informellen Siedlungstypen ist nur bedingt möglich. Typ C ist aufgrund der Definition und Lage im Stadtzentrum nicht in einem Satellitenbild unterscheidbar. Eine genaue Verortung der innerstädtischen Slums kann nur durch eine Kartierung vor Ort erfolgen. Typ A und Typ B hingegen sind gut voneinander und zu formellen Stadtgebieten abgrenzbar.

Des Weiteren drängt sich die Frage auf, ob die Klassifikation bzw. das Regelwerk auf die ganze Stadt oder andere Städte übertragbar ist. Durch die Verteilung der drei Szenen auf das ganze Stadtgebiet mit unterschiedlichen Bildinhalten, kann die Klassifikation auf die gesamte Metropolregion angewendet werden. Sehr wahrscheinlich kann das Regelwerk für alle Städte Ägyptens eingesetzt werden, da die informellen Siedlungen nach den gleichen Strukturen aufgebaut sind. Allerdings fehlt die Überprüfung aufgrund der hohen Kosten für Satellitenbilder. Das Regelwerk ist bestimmt nicht für eine globale Slumdetektion geeignet. Bereits in Kapitel 3.2 wird erwähnt, dass der lokale Kontext wichtig ist und für eine erfolgreiche Klassifikation steht. In Gebieten mit ähnlichen Siedlungsstrukturen und Klassenausprägungen kann durch Anpassung der Ontologie an den lokalen Kontext zumindest der Klassifikationsablauf übernommen werden. Die Vorgehensweise kann als Orientierungshilfe oder Leitfaden für zukünftige Arbeiten mit ähnlichem Inhalt dienen.

Die Siedlungstypen können durch die Verwendung von Spektralwerten, Formkriterien und Nachbarschaftsbeziehungen erfolgreich differenziert werden. Aufgrund der für informelle Gebiete außergewöhnlichen Baustruktur der Siedlungen in Kairo bringt die Einbindung der Textur in den Klassifikationsprozess, wie in anderen Studien gehandhabt (vgl. Kap. 1.3), keine brauchbaren Ergebnisse. Die informellen Siedlungen in Kairo sind keine typischen Hüttenvierteln, sondern weisen eine sehr ähnliche Textur und dieselben Baumaterialien wie formelle Siedlungen auf. Selbst in großflächigen Segmenten bringt die Verwendung von Texturmerkmalen keinen nennbaren Erfolg.

Schlussfolgerung

Mit hochaufgelösten Satellitenbildern und dem Aufbau einer lokalen Ontologie ist es möglich mittels einer objektbasierten Klassifikation die informellen Siedlungen in Kairo auf Baublockebene zu detektieren und unterscheiden. Lediglich die vernachlässigten Siedlungen im historischen Zentrum können aufgrund ihrer Lage und Erscheinung nicht von den formellen Gebieten differenziert werden. Die informellen Siedlungen können dabei mit einer Produzentengenauigkeit von 74,7 – 89,1% klassifiziert werden.

5.1.3 Unterscheidbarkeit der informellen Siedlungstypen

„Wie unterscheiden sich die informellen Siedlungen in Hinblick auf ihre Bevölkerungsdichte, Bebauungsstruktur und physiognomisch-strukturelle Veränderungen?“

Zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage wird diese in die drei Bereiche aufgeteilt: Bevölkerungsanalyse, Vergleich der Baustrukturen und die Entwicklung der informellen Siedlungen durch Zeitanalysen. Dabei werden hier die signifikantesten Erkenntnisse präsentiert und diskutiert. Ein tabellarischer Überblick über alle Ergebnisse ist im Anhang (A2 und A3) zu finden.

5.1.3.1 Bevölkerungsanalyse

„Wie viele Menschen in Greater Cairo leben in informellen Siedlungen und wie weit streuen die Zahlen aufgrund unterschiedlicher Quellen?“

Da keine verlässlichen Angaben über die Bevölkerung in Kairo und besonders in den informellen Siedlungen existieren, werden aus unterschiedlichen Quellen Bevölkerungsschätzungen für bestimmte Stadtteile hergenommen, der Mittelwert berechnet und auf die gesamten informellen Siedlungen verteilt. Zusätzlich werden Szenarien mit den niedrigsten und höchsten Schätzungen berechnet, um zu zeigen, wie weit die Zahlen streuen. Dabei werden für die informellen Siedlungen in der Metropolregion folgende Zahlen kalkuliert:

Tab. 31: Ergebnis der Populationsberechnungen für Greater Cairo.

	Min	Max	Mittel	EW/m ²	EW/km ²
Typ A	10.298.255	25.763.025	18.548.789	0,0356	206.480
Typ B	178.888	4.982.830	4.008.412	0,0764	359.080
Typ C	228.258	621.282	508.831	0,04	176.000
Gesamt	10.705.371	31.367.137	23.066.032	-	-

Der Blick auf Tab. 31 zeigt, dass Typ B eine deutlich höhere Bevölkerungsdichte als Typ A und C aufweist. Das Ergebnis scheint plausibel, denn Typ B entspricht am ehesten der allgemeinen Vorstellung eines Slums mit einer maßgeblichen Überbevölkerung. Typ C liegt inmitten der formellen Gebiete und hat deshalb eine niedrigere Bevölkerungsdichte.

Die Ergebnisse verdeutlichen auch wie stark die Bevölkerungsschätzungen von den Eingangsdaten abhängen. In allen Szenarien bilden die offiziellen Census-Daten aus dem Jahr 2006 die Berechnungsgrundlage für die Szenarien, basierend auf den niedrigsten Bevölkerungsangaben. Demnach ist die Bevölkerung in informellen Gebieten auf 10,7 Mio. zu schätzen. Das Szenario mit der höchsten Einwohnerzahl ergibt über 31 Mio. Einwohner. Das ergibt einen Unterschied von über 20 Mio. Einwohner!

Erwähnenswert ist auch, dass die Bevölkerungsschätzungen in den meisten Publikationen für die gesamte Metropolregion meist niedriger sind, als die hier durchgeführte Berechnung für die gesamten informellen Gebiete. Und das, obwohl in den Berechnungen die Census-Daten miteinbezogen werden und der Bevölkerungsdurchschnitt der einzelnen Referenzgebiete, wie Imbaba oder Manshiet Nasser, unter der in den Medien veröffentlichten Zahlen liegen.

Werden etwaige Gebäudenutzungen, dessen Informationen nicht vorliegen, berücksichtigt, kann von einer informellen Bevölkerung von 20 - 23 Millionen ausgegangen werden. Geht man davon aus, dass die informellen Einwohner mindestens 60% der Metropolregion ausmachen (Kipper 2009, S.11), kann die Bevölkerung von GCMA auf ca. 30 Millionen geschätzt werden. Eine Rückführung der Bevölkerungsschätzungen auf die Referenzgebiete ergeben mittlere relative Abweichungen der Schätzungen zu den Angaben aus der Literatur von 7,8% (Typ A), 11,9% (Typ B) und 28,3% (Typ C).

Gründe, warum die hier kalkulierten Bevölkerungsangaben höher sind, kann mit den fehlenden Nutzungsinformationen der Gebäude und der unsicheren Abgrenzung der Metropolregion, sowie informellen Vierteln begründet werden. Zusätzlich kann die Gleichverteilung der Bevölkerungsdichte auf alle Siedlungen bemängelt werden. Jedoch zeigt ein Blick auf die Berechnung von Typ A (vgl. Kap. 4.4.2), dass die Siedlungen, die in verschiedenen Bereichen in GCMA liegen, einen sehr ähnlichen Bevölkerungsdurchschnitt aufweisen. Hinzu dürfte eine Untertreibung der Bevölkerungszahlen seitens staatlicher

Institutionen und Organisationen bestehen. Angesichts des starken Zuzugs und der in vielen Publikationen nicht berücksichtigten Gebiete kann das Ergebnis als realistisch angesehen werden. Zusätzlich ist das Ergebnis auch von der Grenzziehung von GCMA abhängig.

Das Hauptproblem der Bevölkerungsanalyse ist verlässliche und nachvollziehbare Daten zu finden, denn diese gibt es einfach nicht. Die einzelnen Bevölkerungsschätzungen von Gebieten variieren stark in der Zahl und der Jahresangabe. Zusätzliches Problem ist die bereits angesprochene, meist fehlende Angabe der Gebietsabgrenzung einer informellen Siedlung. Die Angaben berufen sich oft auf räumlich unterschiedlich abgegrenzten Vierteln. Hinzu gibt es keine Informationen über die Gebäudenutzung in den informellen Siedlungen.

Schlussfolgerung

Die Berechnungen für die Bewohner in informellen Siedlungen in Greater Cairo ergeben 20 - 23 Millionen Einwohner. Typ B hat mit 360.000 Einwohner/km² eine deutlich höhere Bevölkerungsdichte als Typ A und C. Die Bevölkerungsschätzungen sind stark von den Eingangsdaten abhängig, die stark in Höhe und Jahre variieren. Die offiziellen Censuszahlen aus dem Jahr 2006 sind eindeutig untertrieben.

5.1.3.2 Physiognomische Strukturen

„Durch welche physiognomischen Strukturmerkmale unterscheiden sich die informellen Siedlungen?“

Um diese Teilfrage zu beantworten wird, eine analoge Klassifikation der informellen Siedlungen in Kairo durchgeführt. Dabei werden die Gebäudehöhen und Blockbebauungsdichten durch die zu Grunde liegende Basemap geschätzt. Mithilfe eines DGMs werden zusätzlich Seehöhe und Hangneigung der einzelnen Blöcke berechnet. Weitere Analysen betreffen die Entfernung zum Stadtzentrum sowie zur Ring Road und Hauptstraßen. Dabei werden auch die Veränderungen der physiognomischen Strukturen mit der Entfernung erfasst. Der gesamte Erfassungs- und Analyseprozess wird in einem Geographischen Informationssystem durchgeführt. Neben der Unterscheidung zwischen den informellen Siedlungstypen werden auch die Unterschiede zwischen den drei Gouvernements analysiert. Tab. 32 gibt einen Überblick der Ergebnisse aus den Analysen, unterschieden nach Siedlungstypen und Gouvernements.

Tab. 32: Ergebnisse der Strukturanalysen und Bevölkerungsanalysen.

	Typ A	Typ B	Typ C	Kairo	Giza	Qualyubia
Anzahl der Baublöcke	12.384	2.706	873	15.963	15.022	6.211
Mittlere Größe (m²)	2.823	4.473	3.511	3.049	2.987	2.662
Höhe (Stockwerke)	5,8	4,7	4,4	5,4	6,3	5,1
Geschossflächendichte	5,5	4,5	4,4	-	-	-
Bebauungsdichte (%)	94,4	94,9	98,9	96,1	92,6	95,2
Seehöhe (m)	28,9	74,7	35,4	31,3	27,4	27,8
Hangneigung (°)	6,06	5,94	6,26	5,84	6,23	5,88
Mittlere Distanz zum Stadtzentrum (m)	10.148	12.892	2.415	-	-	-
Entfernung zur Ring Road (m)	2.062	1.802	2.064	2.659	1.588	1.580
Entfernung zu Hauptstraßen (m)	1.184	890	555	1.506	781	1.114
Bevölkerungsmittel (Mio.)	18,5	4,0	0,5 Mio.	10,9	9,3	2,8
Bevölkerungsdichte (EW/km²)	206.480	359.080	176.000	-	-	-

Im Folgenden werden die signifikantesten Erkenntnisse und Merkmalsunterscheidungen beschrieben und festgehalten.

Bezogen auf Tab. 32 unterscheiden sich die Siedlungen in ihrer Baublockgröße erheblich und sind somit untereinander heterogen. Mit einem maximalen Unterschied von 1,4 Stockwerken zwischen den Siedlungstypen kann die durchschnittliche Bebauungshöhe zwischen den Siedlungstypen hingegen als homogen angesehen werden. Im Allgemeinen sind die Bebauungshöhen im Vergleich zu globalen Slums sehr hoch. Innerhalb von Typ A und B weisen die Gebäudehöhen eine hohe Standardabweichung auf, was auf eine Heterogenität innerhalb der Siedlungen hindeutet.

Wie für informelle Siedlungen üblich, haben alle Siedlungstypen eine sehr hohe Bebauungsdichte. Somit kann die Dichte zwischen den drei Siedlungen als homogen angesehen werden. Typ B ist auch deutlich höher gelegen als die anderen beiden Siedlungstypen. Dies lässt sich mit der Lage in den höher gelegenen Wüstenflächen begründen. Die Hangneigung weist keine Unterschiede zwischen den informellen Siedlungen auf.

Für alle informellen Siedlungstypen gilt, je näher am Stadtzentrum, umso dichter sind die Baublöcke bebaut. Die Durchschnittliche Entfernung zur Ring Road und Hauptstraßen ist bei allen Siedlungstypen relativ gleich. Bei Typ A und C nimmt jedoch die Bebauungsdichte mit der Entfernung zu. Die Blockgröße und Gebäudehöhe stehen nicht im Zusammenhang mit der Entfernung.

Die hier gewonnen Informationen können für viele weiterführende Analysen von Bedeutung sein. Die Bebauungsdichte gibt Aufschluss über verfügbare Freiflächen und kann als Proxyvariable für eine Bevölkerungsabschätzung dienen. Zusätzlich spielt sie eine Rolle bei der Versorgungsplanung und bei möglichen Evakuierungsmaßnahmen in Katastrophenfällen, wie bei Hochwasser oder Großbränden. Die Hangneigung kann als Indiz für die Vulnerabilität gegenüber Naturkatastrophen, wie Hangrutschungen oder Felsstürze, wie sie in Manshiet Nasser relevant sind, gesehen werden. Die Lage zu Hauptstraßen kann Auskunft über die Erreichbarkeit und Infrastruktur von informellen Siedlungen geben. Die Erreichbarkeit kann zur Planung von Feuerwehr- und Rettungseinsätzen sowie zur Verbesserung der Infrastruktur verwendet werden.

Schlussfolgerung

Die durchschnittliche Blockbebauungsgröße ist in den informellen Siedlungen sehr unterschiedlich. Hinsichtlich der Bebauungsdichte, Bebauungshöhe und Hangneigung können die informellen Siedlungen als untereinander homogen bezeichnet werden. Für alle Typen gilt, je näher am Stadtzentrum gelegen, umso dichter bebaut. Mit der Entfernung zu Hauptstraßen und zur Ring Road nehmen die Bebauungsdichten zu. Bei der Blockgröße und der Gebäudehöhe gibt es keine Auffälligkeiten mit der Entfernung.

5.1.3.3 Zeitreihenanalysen

„Wie verändern sich die einzelnen Strukturparameter mit der Zeit und lassen sich Tendenzen feststellen?“

Um die zeitlichen Veränderungen der Parameter Blockgröße, Gebäudehöhe, Bebauungsdichte und Hangneigung festzustellen, wird die analoge Klassifikation mit einer Change Detection Klassifikation verschnitten. Der Beobachtungszeitraum liegt zwischen den Jahren 1984 bis 2011. Dabei ist die Ausbreitung der Stadt in den Jahren 1984, 1990, 1998, 2010 und 2011 verzeichnet (vgl. Kap. 4.6.1).

Die Gesamtgrundfläche der informellen Baublöcke hat seit 1984 um 64,8% zugenommen. Vor allem im Gouvernement Giza hat sich die informelle Fläche seit 1984 mehr als verdoppelt (+105,2%). Im Beobachtungszeitraum lässt sich eine Zunahme der durchschnittlichen Blockgrundfläche bei A und B beobachten, wobei die Intensität der Zunahme abnimmt.

Typ B und C haben über den Beobachtungszeitraum konstante Baublockhöhen. Siedlungstyp A verzeichnet eine stetige Abnahme der Höhe (-4,3% bzw. -0,3 Stockwerke). Hauptgrund dafür ist die starke Bebauung bzw. Expansion von Typ A an den Stadträndern. Dort werden vorerst niedrigere Gebäude gebaut und viele Gebäude erfasst, die im Bauprozess noch nicht ihre endgültige Höhe erreicht haben. Aufgrund der Verschneidung mit der Change Detection können die Bauprozesse in den Zwischenjahren nicht erfasst werden. Die Veränderung der Bebauungshöhe bei Typ A hält sich mit über 0,3 Stockwerken in Grenzen. Deshalb wird von einer Verdichtung und Aufstockung der Bauten in den Siedlungskernen ausgegangen. Derselbe Grund führt dazu, dass bei Typ A über die Jahre eine Abnahme der Bebauungsdichte von 4,3% beobachtbar ist. Bei B ist eine minimale Verdichtung wahrnehmbar. Bei den informellen Siedlungen vom Typ C sind keine signifikanten Veränderungen erkennbar.

Veränderungen der Hangneigung, sowie nennenswerte Sprünge sind kaum erkennbar. Lediglich in Manshiet Nasser (Typ B) lässt sich eine geringe Zunahme der Hangneigung feststellen. Aufgrund von Platzmangel ist eine Bebauung des Muqattam-Hügels beobachtbar.

Schlussfolgerung

Folgende Veränderungen sind nach Siedlungstypen feststellbar:

TYP A:

Bei Typ A lässt sich eine Zunahme der Blockgröße und eine Abnahme der Gebäudehöhe und Bebauungsdichte wahrnehmen. Vor allem eine starke Expansion an den Stadträndern ist erkennbar.

Typ B:

Blockgröße und Bebauungshöhe sind bei Typ B annähernd gleichbleibend. Bei der Bebauungsdichte ist eine geringe Zunahme messbar. Dies deutet auf eine Verdichtung innerhalb der Siedlungen hin.

Typ C:

Aufgrund der fehlenden Expansion von Typ C sind keine bzw. nur sehr minimale Veränderungen in allen Bereichen erkennbar.

Nach den vergangenen Entwicklungen kann ein starker Zuwachs vor allem bei Typ A und somit in den Gouvernements Giza und Qalyubia erwartet werden. Bei Typ B sind nur Zuwächse an den bestehenden Siedlungsrandern erkennbar. Die Entstehung von neuen Siedlungen ist eher unwahrscheinlich. Bei Typ C wird aufgrund von Sanierungsmaßnahmen ein Rückgang erwartet.

5.2 NÜTZLICHKEIT DER ARBEIT UND AUSBLICK

In diesem Unterkapitel wird nun geschildert, welchen Nutzen die Masterarbeit für die Planung und Wissenschaft hat und wie sich die in der Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse weiterverarbeiten lassen.

Eines der Hauptprobleme von Slums ist das unkontrollierte Wachstum, das meist zu einer Überbevölkerung führt, die wiederum unterschiedliche Anfälligkeiten herbeiführt. Zu den slumspezifischen Problemen zählen neben der zunehmenden Bevölkerungsdichte bzw. Überbevölkerung, das Verschwinden von Freiflächen, Luftverschmutzung, fehlende Infrastruktureinrichtungen, physische und chemische Gefahren, sowie die Verschmutzungs- und Müllproblematik. Vor allem die Verletzung der Menschenrechte bezogen auf adäquate Behausungen, Wasser- und sanitäre Versorgung sind in Greater Cairo evident. Hervorgerufen wird die Überbevölkerung durch den enormen Zuzug und dem damit verbundenen Versagen der Regierung, genügend Behausungen zur Verfügung zu stellen.

Deshalb ist es von Bedeutung, die informellen Siedlungen baulich zu differenzieren und aus den großmaßstäbigen Erkenntnissen Informationen für Planungen und Raumentwicklungen zu generieren. Durch die Ergebnisse der Analysen und dem Vergleich der Siedlungstypen werden Unterschiede in den Slums aufgezeigt, die für etwaige Planungen von Belangen sind. Planungsmaßnahmen können dementsprechend an die unterschiedlichen Begebenheiten der Siedlungen angepasst werden. Die Arbeit liefert einen guten Überblick über die baulichen Situationen der informellen Siedlungen und zeigt Strukturunterschiede auf. Für explizite Handlungsempfehlung müssen jedoch kleinräumigere Untersuchungen vorgenommen werden.

So hat Siedlungstyp A im internationalen Slumvergleich wenig auffällige Strukturen. Demnach würde in vielen Vierteln eine Legalisierung des Besitzstatus und eine Verbesserung der Infrastruktur die Lebensqualität enorm steigern und eine Umsiedlung vermeiden. Deshalb existieren bereits Pläne die eine Legalisierung und Anerkennung der Slums sowie deren Erreichbarkeit durch genügend ausgebaute Straßen beinhalten.

Zu den Behörden, die im Entwicklungsprozess der Slums involviert sind und Pläne zur Lösung der Slumproblematik verfolgen, zählen *The Informal Settlement Development Fund (ISDF)*, *The General Organization of Physical Planning (GOPP)* oder die nicht staatliche *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GTZ)*.

Die Ergebnisse aus der Arbeit sind nicht nur für ägyptische Behörden und Organisationen von Belangen. Die angewendeten Methoden und Vorgehensweisen geben Aufschluss über die Möglichkeit mit Slums und informellen Siedlungen zu arbeiten. Die Forschungsergebnisse sind für Kairo bzw. Ägypten einzigartig, die Methoden können aber u.U. auf Städte mit ähnlichen Begebenheiten angewendet werden.

So kann das Regelwerk der Klassifikation als Leitfaden bzw. Orientierungshilfe für die Detektion von informellen Siedlungen in orientalischen Städten angesehen werden und durch die Anpassung einer lokalen Ontologie zum Einsatz kommen.

Die in der Arbeit gewonnenen Informationen können auch für weiterführende Analysen genutzt werden. So kann eine erweiterte Bevölkerungsanalyse für das Planen von Versorgungs- und Infrastruktureinrichtungen genutzt werden und Aufschluss über eine Überbevölkerung geben. Dadurch können Bereiche eruiert werden, bei der aufgrund einer zu hohen Bevölkerung Umsiedlungsmaßnahmen nötig sind. Zusätzlich können durch das Wissen über die Verteilung der Bevölkerung Evakuierungsmaßnahmen in Katastrophenfällen geplant werden.

Durch die Erkenntnisse über die Baustrukturen lassen sich die informellen Siedlungen in Kairo besser charakterisieren und unterscheiden. Des Weiteren werden Aufschlüsse über das unterschiedliche Bauverhalten und die Zustände der Behausungen geliefert. Die Erreichbarkeit von Hauptstraßen zeigt auf, in welchen Stadtteilen die Verkehrsinfrastruktur verbessert und der öffentliche Transport forciert werden muss. Weitere kleinräumigere Analysen können für die Suche nach Standorten für die Errichtung von Schulen, Märkten oder Sport- und Parkanlagen sowie bei der Versorgungsplanung mit Strom und Wasser durchgeführt werden.

Die Zeitanalysen geben Aufschluss die Veränderung der Bebauungsstruktur und den Zuwachs über die letzten Jahre. Erkennbare Trends können in die Zukunft projiziert werden und so bei zukünftigen Planungen zum Einsatz kommen.

5.3 GEWONNENE WISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE

Um zu zeigen, an welchen Stellen neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden, wird im Folgenden kapitelweise resümiert.

In Kapitel 1 wird die allgemeine Problematik der Slumdefinition besprochen. Die Darstellung ist das Ergebnis einer Literaturrecherche, welche auf dem Fundus bekannter Tatsachen beruht. Das Kapitel dient zum Heranführen an das Thema und macht mit der Problematik von Slums vertraut. Durch die Metaanalyse der unterschiedlichen Slumkategorien werden neue wissenschaftliche Erkenntnisse generiert.

Kapitel 2 beschäftigt sich mit der Vorstellung des Zielgebiets, den Typen von informellen Siedlungen in Greater Cairo, sowie deren lokalen Gegebenheiten. Durch intensive Literaturstudie werden Informationen gewonnen, die zeigen, wie groß die Streuungen bei den Bevölkerungsschätzungen für Kairo und Ägypten sind, sowie die unterschiedlichen Einteilungen der informellen Siedlungen in Kairo beschreiben.

Die objektbasierte Klassifikation der informellen Siedlungen erfolgt in Kapitel 3. Dabei werden neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen. So wird eine lokale Ontologie für die Slums in Greater Cairo aufgebaut, die für künftige Slumkartierungen in Kairo angewendet werden kann. Unüblich ist die Erkennung von informellen Siedlungen ohne das Verwenden von Texturmerkmalen. Aufgrund der einzigartigen Stadtmorphologie der informellen Siedlungen bringt der Einsatz von Texturen keine nennenswerte Ergebnisse.

In Kapitel 4 wird durch die Analysen der Slumstrukturen neues Wissen generiert. Bei den Bevölkerungsschätzungen, die auf eine bekannte Methode zurückgreift, ergeben sich neue Kenntnisse über die Bevölkerungsdichte in den informellen Siedlungen. Zusätzlich wird die Thematik der ungenauen Bevölkerungsangaben behandelt und aufgezeigt wie weit die Daten streuen. Auch die Vergleiche der physiognomischen Strukturparameter haben neues Wissen geschaffen. Vor allem die Veränderung der Baustrukturen mit der Entfernung zu Hauptstraßen und zum Stadtzentrum geben neue Einblicke in das Bauverhalten.

Die Zeitanalysen geben neue Aufschlüsse über das Bauverhalten in den informellen Siedlungen über die letzten drei Jahrzehnte. Für einzelne Siedlungen wie z.B. Imbaba existieren bereits umfangreiche Untersuchungen, jedoch nicht für die gesamten Siedlungstypen und Gouvernements. Durch die gewonnen Erkenntnisse lässt sich teilweise das zukünftige Bauverhalten prognostizieren.

5.4 GESAMTRESÜMEE

Im Zuge der Erstellung der Masterarbeit wurde klar, wie aktuell die Problematik der Slums ist. Die Anzahl und Vielfalt von Publikation über Slums in den letzten Jahren unterstreicht den Bedarf nach mehr Wissen und Erkenntnissen über diese Siedlungen. So proklamiert auch der UN-Bericht „The Challenge of Slums“ einen Informationsnotstand und einen eindeutigen Bedarf an Informationen im kleinräumigen Stadtbereich (UN-Habitat 2003). Datensammlungen und Analysen über Slums stoßen auf das kritische Problem von seltenen und zerstreuten Informationen zu innerstädtischen Standorten. Daher war es auch Ziel dieser Arbeit sich auf die physiognomischen Erscheinungen von informellen Siedlungen und deren urbanen Strukturen zu konzentrieren, um typische physiognomische Charakteristika auf Baublockebene zu identifizieren.

Dass Slums international unterschiedliche Erscheinungen haben und nicht vergleichbar sind, wurde bestätigt. So war die Unterscheidung zwischen formellen und informellen Gebieten nicht so eindeutig wie in anderen Städten. Generell gilt die Bebauungsdichte als das Hauptkennungsmerkmal von Slums. Im Fall von Kairo bleiben die typischen Hüttenvierteln mit einer hohen Bebauungsdichte jedoch aus. Ein Unterschied zu den globalen Slums ist auch in der höheren Bebauung und den größtenteils besseren Gebäudezuständen erkennbar. Daher erfolgte erst durch die Analysen die Erkenntnis, dass es physiognomische Strukturmerkmale gibt, wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung, die informelle Siedlungen oder Slums in Abgrenzung zur formellen Besiedelung und auch untereinander charakterisieren.

Die Erkennung und Unterscheidung der informellen Siedlungen in einer objektbasierten Klassifikation kann als Erfolg angesehen werden. Durch den Einsatz von Zusatzdaten könnte die Qualität der Klassifikation und Segmentierung verbessert werden. Jedoch wurde angesichts der nicht zur Verfügung stehenden Mitteln, ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis erreicht. Außerdem soll die Vorgehensweise durch geringe Adaption in anderen Städten einsetzbar sein, denn für viele informelle Gebiete gibt es keine Daten wie Katasterpläne. Jedenfalls konnte die Forschungsfrage positiv beantwortet werden und somit eine objektbasierte Klassifikation für Slums als sinnvolle Methode angesehen werden.

Die analoge Klassifikation der Baublöcke war hingegen sehr zeitaufwendig und bei über 37.000 digitalisierten Polygonen zum Teil äußerst monoton. Jedoch wird eine Klassifikationsgenauigkeit erreicht, die über jener der objektbasierten Klassifikation steht. Ein weiterer Vorteil der analogen Klassifikation ist der gute Überblick, der über das Untersuchungsgebiet gewonnen wird. Dieses Wissen ist anschließend bei der automatischen

Klassifikation und der Aufstellung der lokalen Ontologie vom Vorteil. Die Wahl der richtigen Methode hängt jedoch stark von der Aufgabenstellung und der Größe des Gebietes ab.

Im Bereich der Fernerkundung stellt die erstmalige Erstellung einer Ontologie und deren Anwendung in einer objektbasierten Klassifikation einen persönlichen Erkenntnisgewinn dar. Zusätzlich werden neue Methoden des Pan-Sharpings und neue Features in *eCognition* untersucht.

Von Bedeutung ist auch die Erkenntnis, wie ungewiss die Zahl der Menschen in informellen Siedlungen ist. Vor allem in Katastrophenfällen vermag meist niemand zu sagen, wie viele Menschen betroffen sind und evakuiert werden müssen. Zudem verdeutlichen die unterschiedlichen Bevölkerungsszenarien, wie weit etwaige Angaben auseinandergehen. Auch die durchgeführten Analysen und deren Ergebnisse können als Erfolg angesehen werden. Es ist interessant zu erkennen, wie trotz zum Teil unterschiedlicher Morphologie und Entstehungsgeschichte, sich die informellen Siedlungen ähnlich sind bzw. komplett unterscheiden. Damit ist vor allem Kairo ein gutes Beispiel dafür, dass Slum nicht gleich Slum ist.

Abschließend kann gesagt werden, dass trotz einiger Projekte noch wesentliche Maßnahmen unternommen werden müssen, um die Situation in den informellen Siedlungen zu verbessern bzw. diese zu formellen Siedlungen aufzugraden. Oft werden Slums als unvermeidbar angesehen, solange ein Bevölkerungswachstum und eine rasante Urbanisierung stattfinden. Zumeist liegt es aber an den fehlenden Kompetenzen der Regierung auf die Ursachen zu reagieren und so dem unkontrollierten Wachstum entgegenzuwirken und zu stoppen. Ein oft gelesener und vielsagender Satz besagt, Slums als Chance und nicht als Problem zu sehen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Abdelhalim, K. (2010): Participatory Upgrading of Informal Areas: A Decision-makers' Guide for Action, Participatory Development Programme in Urban Areas (PDP), Cairo, GTZ Egypt, 75S.
- ABT Associates Inc., Dames and Moore Inc., General Organization for Housing, building and Planning research (1982): Informal housing in Egypt. Report submitted to US Agency for International Development, Cairo, Egypt, 21 S.
- Albertz, J. (2007): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: eine Einführung in die Fernerkundung, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 254 S.
- Alparone, L.; Wald, L.; Chanussot, J.; Thomas, C.; Gamba, P.; Bruce, L.M. (2007): Comparison of Pansharpening Algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion Contest. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 45 (10), S. 3012-3021.
- Aminipouri, M. (2009): Object-Oriented Analysis of Very High Resolution Orthophotos for Estimating the Population of Slum Areas, Case of Dar-Es-Salaam, Tanzania. Masterthesis am ITC - International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, University Twente, Enschede, The Netherlands, 59 S.
- Bandarin, F.; van Oers, R. (2015): Reconnecting the City – The Historic Urban Landscape Approach and the Future of Urban Heritage, John Wiley and Sons, Ltd, Chichester, United Kingdom, 333 S.
- Barros, F.M.; Sobreira, F. (2002): City of Slums: Self-organisation across scales. In: Ö: CASA working papers series 2002, 55 S.
- Bauer, T.; Steinocher, K. (2001): Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule-based technique. In: GeoBIT/GIS, 6, S. 24-27.
- Bayat, A.; Denis, E. (2000): Who is afraid of ashwaiyyat? Urban change and politics in Egypt. In: Environment and Urbanization, October 2000, 12 (2), 260 S.

- Belgiu, M.; Dragut, L.; Strobl, J. (2013): Quantitative evaluation of variations in rule-based classifications of land cover in urban neighbourhoods using WorldView-2 imagery. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 87 (2014), S. 205-215
- Benz, U. C.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingenfelder, I.; Heynen, M. (2004): In: Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 58(3-4), S. 239-258.
- Beinin, J. (2004): Political Islam and the New Global Economy: The Political Economy of Islamist Social Movements in Egypt and Turkey. Department of History, Stanford University, CA, 51 S.
- Beykaei, S.A.; Zhong, M.; Shiravi, S.; Zhang, Y. (2013): Development of an Automatic Land Use Extraction System in Urban Areas using VHR Aerial Imagery and GIS Vector Data. In: International Journal of Transportation Engineering, Vol.1/ No.2/ Spring 2013, S. 69-79.
- Blaschke, T.; Lang, S.; Hay, G. (2008): Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 817 S.
- Bott, H., Ketterer, I., Schade, C. (2011): Ezbet al-Nasr. Dokumentation der Diplomarbeit zur Aufwertung und Stärkung einer informellen Siedlung in Kairo, Universität Stuttgart, Städtebau-Institut, 104 S.
- Brillembourg, A.; Feireiss, K.; Klumpner, H.; (2005): Informal city – caracas case, Prestel Verlag, Munich – Berlin – London – New York, 360 S.
- Bündnis Entwicklung Hilft und United Nations University – Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS) (2014): WeltRisikoBericht 2014, 71 S.
- CAPMAS (Hg.) (2014): Statistical Yearbook – Population, Cairo, 36 S.
- Cleve, C.; Kelly, M.; Kearns, F.; Moritz, M. (2008): Classification of the wildland-urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography. In: Computers Environment and Urban Systems 2008, Vol. 32, Issue 4, S. 317-328.

- Davis, M. (2007): Planet der Slums, Assoziation A, Berlin 248 S.
- Demographia (Hg.) (2015): Demographia World Urban Areas - 11th Annual Edition: 2015:01, Wendell Cox Consultancy, Belleville, Illinois, 133 S.
- Denis, E.; Séjourné, M. (2002): ISIS: Information System for Informal Settlements, Ministry of Planning, German Technical Cooperation, CEDEJ, Cairo, 40 S.
- Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GTZ) (2010): Improving Informal Areas in Greater Cairo: The cases of Ezzbet Al Nasr & Dayer El Nahir, Cairo, GTZ: Egypt, Technische Universität Berlin, 87 S.
- Ebert, A.; Kerle, N.; Stein, A. (2009): Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air- and space-borne imagery and GIS data. In: Natural Hazards 2009, Vol. 48, Issue 2, S. 295-294.
- El-Kholy, H.A. (2002): Defiance and Compliance – Negotiating Gender in Low-Income Cairo. Berghahn Books, New York – Oxford, 272 S.
- Elsharkawy, A.; Elhabiby, M.; El-Sheimy, N. (2012): Improvement in the Detection of Land Cover Classes using the Worldview-2 Imagery. In: ASPRS 2012 Annual Conference Sacramento, California, March 19-23, 2012, 11 S.
- Fernandez, R.F. (2011): Physical and Spatial Characteristics of Slum Territories Vulnerable to Natural Disasters. In: Les Cahiers de l’Afrique de l’Est, 2011, 44, S. 5-22.
- Flessa, S. (2012): Internationales Gesundheitsmanagement – Effizienz im Dienst für das Leben, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 264 S.
- Fuchs, M. (2006): Slum als Projekt: Dharavi und die Falle der Marginalisierung. In: Ahuja, R.; Brosius, C. (Hg.), Mumbai–Delhi–Kolkata. Annäherungen an die Megastädte Indiens, Heidelberg: Draupadi, S. 47-63.
- Galletti, C.S.; Myint, S.W. (2014): Land-Use Mapping in a Mixed Urban Agricultural Arid Landscape Using Object-Based Image Analysis: A Case Study from Maricopa, Arizona. In: Remote Sensing 2014, 6, S. 6089-6110.

- Gebhardt, H.; Glaser, R.; Radtke U.; Reuber, P. (2007): Geographie – Physische Geographie und Humangeographie – Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/München, 1096 S.
- Gerlach, J. (2009): Three Areas: Manshiet Nasser, City of the Dead, Boulaq al-Dakrou. In: Kipper, R., Fischer, M.: Cairo's Informal Areas between Urban Challenges and Hidden Potentials – Facts. Voices. Visions., GTZ Egypt, Cairo, S.49-52
- Hajmoosaei, A., Abdul-Kareem, S. (2008): An Approach for Mapping of Domain-based Local Ontologies. In: Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, 2008. CISIS 2008. S.865-870
- Heldens, W. (2010): Use of airborne hyperspectral data and height information to support urban microclimate characterisation. Dissertation an der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 180 S.
- Hofmann, P. (2001): Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis—An example from Cape Town (South Africa). In: Proceedings of the 2nd international symposium remote sensing of urban areas, Regensburg, Germany, June 22–23, 2001, S. 107-118.
- Hornberg, S.; Ehlers, M. (2014): Qualitätsuntersuchung zur ikonischen Fusion multispektraler WorldView-2-Daten. DGPF Tagungsband 23 / 2014, 10 S.
- Horwood, C. (2007): The housing crises – Cairo: Sheltering the urban poor. In: OCHA / IRIN und UN-HABITAT (Hg.): Tomorrow's crises today – The humanitarian impact of urbanisation, 112 S.
- Huck, A.; Hese, S.; Banzhaf, E. (2011): Delineating parameters for object-based urban structure mapping in Santiago de Chile using QuickBird data. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(4/W19), S. 131-136.
- Hussein, H.A.A. (2011): Crime and Urban Planning in Egypt – Case Study: Greater Cairo. Masterarbeit. Ain Shams University. Department of Urban Planning and Design. Faculty of Engineering 161 S.

- Jain, S. (2007): Use of IKONOS satellite data to identify informal settlements in Dehradun, India. In: *International Journal of Remote Sensing* 2007, 28, S. 3227-3233.
- Jamil, A. (2010): *Fernerkundung und GIS zur Erfassung, Modellierung und Visualisierung orientalischer Stadtstrukturen: Das Beispiel Sanaa (Jemen)*. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam, 140 S.
- Jenks, M.; Burgess, R. (2000): *Compact Cities – Sustainable Urban Forms for Developing Countries*. Spon Press, London, 355 S.
- Kanjir, U.; Veljanovski, T.; Kovacic, P. (2012): Using VHR Satellite Imagery to estimate Populations in Informal Settlements. In: *Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012, Rio de Janeiro, Brazil*, S. 566-571.
- Khalifa, M.A. (2010): Redefining Slums in Egypt: Unplanned versus unsafe Areas. In: *Habitat International* 35 (2011). Published by Elsevier Ltd., 608 S.
- Kipper, R. (2009): Cairo: A Broader View. In: Kipper, R., Fischer, M.: *Cairo's Informal Areas between Urban Challenges and Hidden Potentials – Facts. Voices. Visions.*, GTZ Egypt, Cairo, S.13-16
- Khelifa, D.; Mimoun, M. (2012): Object-based Image Analysis and Data Mining for Building Ontology of Informal Urban Settlements. In: *Proceedings SPIE 8537, Image and Signal Processing for Remote Sensing XVIII, 85371I, 8.November 2012*
- Kohli, D.; Kerle, N.; Sliuzas, R. (2012): Local ontologies for object-based slum identification and classification. In: *Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012 – Rio de Janeiro – Brazil*, S. 201-205.
- Kohli, D. (2013): Spatial Metrics and Image Texture for Slum Detection. In: *N-AERUS XIV, Enschede, 12.-14. September 2013*, 8 S.
- Kohli, D.; Warwadekar, P.; Kerle, N.; Sliuzas, R.; Stein, A. (2013): Transferability of Object-Oriented Image Analysis Methods for Slum Identification. In: *Remote Sensing* 2013, 5, S. 4209-4228

- Kraff, N.J. (2011): Vergleich megaurbaner Marginalviertel Mumbais durch ausgewählte Vulnerabilitätsfaktoren mittels hochaufgelöster Satellitenbilder und Interviews, im Hinblick auf Beeinträchtigungen durch den Monsun. Diplomarbeit Universität Trier, Fachbereich VI – Geographie/Geowissenschaften, Abteilung Raumentwicklung und Landesplanung, 196 S.
- Kreus, A.; Von Der Ruhren, N. (2008): Fundamente Geographie. Geographisches Grundbuch / Schülerbuch Oberstufe 1 Aufl. , Klett Verlag, 498 S.
- Kuffer, M.; Barros, J. (2011): Urban Morphology of Unplanned Settlements: The Use of Spatial Metrics in VHR Remotely Sensed Images. In: Procedia Environmental Sciences 7 (2011), S. 152-157.
- Li, H.; Xie, Y.; Yu, L.; Wang, L. (2011): A Study on the land cover classification of arid region based on Multi-temporal TM images. In: Procedia Environmental Science 10 (2011), S. 2406-2412.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W.; Chipman, J.W. (2014): Remote Sensing and Image Interpretation – 7th Edition. John Wiley & Sons, New York, 704 S.
- Lillesand, T.; Kiefer, R.W.; Chipman, J. (2008): Remote Sensing and Image Interpretation – Sixth Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 756 S.
- Lo, C.P. (1986): Applied remote sensing. Longman Scientific & Technical, Harlow, 393 S.
- Lo, C.P. (2008): Population estimation using geographically weighted regression. In: GIScience & Remote Sensing, 45, S. 131-148.
- Lüscher, P.; Weibel, R.; Mackaness, W. (2008): Where is the terraced house? on the use of ontologies for recognition of urban concepts in cartographic databases. In: Headway in Spatial Data Handling, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 449-466.
- Malthaner, S. (2011): Mobilizing the Faithful – Militant Islamist Groups and their Constituencies. Campus Verlas, Frankfurt/New York, 261 S.

- Mathenge, C.W. (2011): Application of Object Oriented Image Analysis in Slum Identification and Mapping – The case of Kisumu, Kenya. Dissertation. University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. 78 S.
- Matinfar, H.R.; Sarmadin, F.; Alavi Panah, S.K.; Heck, R.J. (2007): Comparison of Object-Oriented and Pixel-Based Classification of Land Use/Land Cover Types Based on Landsat7, ETM+ Spectral Bands (Case Study: Arid Region of Iran). In: American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 2 (4): 2007, S. 448-456.
- Mekawy, M.A. (2012): Responsible Slum Tourism: Egyptian Experience. In: Annals of Tourism Research Vol. 39 (2012): A Social Sciences Journal. Published by Elsevier Ltd., S.1983
- Meyer-Wieser, T. (2014): Architekturführer Kairo, DOM publishers, Berlin, 388S.
- Mhangara, P.; Odini, J. (2012): Potential of texture-based classification in urban landscapes using multispectral aerial photos. In: South African Journal of Science 2013; 109(3/4), Art. #1273, 8 S.
- Nocack, T.; Kux, H.J.H.; Feitosa, R.Q.; Costa, G.A. (2010): Per block urban land use interpretation using optical VHR data and the knowledge-based system interimage. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(4/C7), 7 S.
- Nakamura, S. (2009): Spatial Analysis of Urban Poverty In Manila, Philippines. In: CRP 5080 Introduction to Geographic Information Systems, Cornell University, Ithaca, New York, 35 S.
- Nuissl, H.; Heinrichs, D. (2013): Slums: Perspectives on the definition, the appraisal and the management of an urban phenomenon, In: Die Erde – Journal of the Geographical Society of Berlin, Vol. 144, Nr. 2
- O’Hare, G.; Abbott, D.; Barke, M. (1998): A review of slum housing policies in Mumbai. Cities, 15(4), S. 269-283.
- Ooi, G.L.; Phua, K.H.; (2007): Urbanization and Slum Formation. In: Journal of Urban Health, 84(0), S. 27-34.

- Padwick, C.; Deskevich, M.; Pacifici, F.; Smallwood, S. (2010): Worldview-2 Pan-Sharpening. ASPRS Annual Conference, San Diego, California. 13 S.
- Peterson, M.A. (2011): Connected in Cairo – Growing up Cosmopolitan in the Modern Middle East, Indiana University Press, Bloomington, Indiana ,288 S.
- Putnam, R.; Taylor, F.; Kettle, P. (2007): A Geography of Urban Places – Routledge Library Editions: The City – Routledge Taylor and Francis Group, Abingdon, 272 S.
- Sabry, S. (2009): Poverty lines in Greater Cairo: Underestimating and misrepresenting poverty. In: Poverty Reduction in Urban Areas Series: Working Paper 21. International Institute for Environment and Development, London, 48 S.
- Salehi, B.; Zhang, Y.; Zhong, M.; Dey, V. (2012): Object-based classification of urban areas using VHR imagery and height points ancillary data. In: Remote Sensing 2012, 4(8). S. 2256-2276.
- Schechla, J. (2014): (2010): The Right to the City: Cairo, Habitat International Coalition (HIC) – Housing and Land Rights Network, 46 S.
- Schneider-Sliwa, R.; Bhatt, M. (2008): Recovering of Slums. Determinants of poverty and upward social mobility in urban slums. Case studies from India. Basel: Schwabe/Basel Development Studies. 466 S.
- Shafqaat, M.; Ghaffar, A.; Butt, I.; Sajjad, M.; Aslam, N. (2013): Application of GIS in the Spatial Analysis of Slums in Faisalabad, Pakistan. In: Sci.Int.(Lahore), 25(3), 2013, S. 457-460.
- Séjourné, M. (2009): The History of Informal Settlements. In: Kipper, R., Fischer, M.: Cairo's Informal Areas between Urban Challenges and Hidden Potentials – Facts. Voices. Visions., GTZ Egypt, Cairo, S.17-20.
- Shekhar, S. (2013): Slum Modelling by using Ontology and Geoinformatics: Case study of Gulbarga. In: International Journal of Geoinformatics, Vol.9, No.2, June 2013, S. 53-60.

- Sims, D.; Séjourné, M. (2008): The Dynamics of Peri-Urban Areas Around Greater Cairo: A preliminary reconnaissance. In: Arab Republic of Egypt towards an Urban Sector Strategy. World Bank, Washington, DC, S.27-49.
- Sims, D. (2002): Urban Slums Reports: The case of Cairo, Egypt – Understanding Slums: Case Studies for the Global Report on Human Settlements 2003, Cairo, Egypt, 24 S.
- Sims, D. (2012): Understanding Cairo: The Logic of a City Out of Control; The American University in Cairo Press, Cairo – New York, 360 S.
- Soliman, A. (2004): A Possible Way Out: Formalizing Housing Informality in Egyptian Cities, University Press of America, Lanham, Maryland, 312 S.
- Sliuzas, R.; Kerle, N.; Kuffer, M. (2008): Object-Oriented Mapping of Urban Poverty and Deprivation. In: Proceedings Joint Workshop GISDECO 8 and EARSel special interest group on developing countries, Istanbul, Turkey, 2.-6. Juni 2008.
- Sliuzas, R.; Mboup, G.; De Sherbinin, A. (2008): Report of the Expert Group Meeting on Slum Identification and Mapping. Report by CIESIN, UN-Habitat, ITC, S. 36
- Taubenböck, H.; Esch, T.; Felbier, A.; Wiesner, M.; Roth, A.; Dech, S. (2011): Monitoring urbanization in mega cities from space. In: Remote Sensing of Environment 117 (2012-02), S. 162-176.
- Taubenböck, H.; Wegmann, M.; Roth, A.; Mehl, H.; Dech, S. (2009): Urbanization in India - Spatiotemporal analysis using remote sensing data. In: Computers, Environment and Urban Systems, 33(3), S. 179-188.
- Tuttle, E.M.; Jensen, R.R.; Formica, V.A.; Gonser, R.A. (2006): Using remote sensing image texture to study habitat use patterns: a case study using the polymorphic white-throated sparrow (*Zonotrichia albicollis*). In: Global Ecology and Biogeography (2006), 15, Blackwell Publishing Ltd, S. 349-357.
- United Nations Human Settlement Programme (UN-Habitat) (2013): Streets as Public Spaces and Drivers of Urban Prosperity, Nairobi, Kenia, 153 S.

United Nations Centre for Human Settlements (UN-Habitat) (2003): The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 122, 2003. (Earthscan). London / Sterling.

Vaz, L.F.; Berenstein, J.P. (2004): Morphological diversity in the squatter settlements of Rio de Janeiro. In: K. Stanilov und B. C. Scheer (Hg.), Suburban form: An international perspective, New York: Routledge, S. 61-72.

Wurm, M.; Taubenböck, H.; Krings, S.; Birkmann, J.; Roth, A.; Dech, S. (2009): Derivation of population distribution for vulnerability assessment in flood-prone German cities using multisensoral remote sensing data. In: Proc. of SPIE, Vol. 7478, 74781K, 12 S.

Wurm, M.; Taubenböck, H.; Goebel, J.; Esch, T.; Wagner, G.G. (2011): Zensus der Zukunft? – Erdbeobachtung zur räumlichen Abschätzung der Bevölkerungsverteilung. In: Standort – Zeitschrift für angewandte Geographie, December 2011, Volume 35, Issue 4, Springer Verlag, S. 169-175.

Wurm, M.; Taubenböck, H.; Schardt, M.; Esch, T.; Dech, S. (2010): Object-based image information fusion using multisensor earth observation data over urban areas. In: International Journal of Image and Data Fusion, Vol. 2, Nr. 2, June 2011, S. 121-147.

Yoshida, H.; Omae, M. (2005): An approach for analysis morphology: Methods to derive morphological properties of city block by using an urban landscape model and their interpretations. In: Computers, Environment and Urban Systems, 29 (2), S. 223-247.

Zhang, Y. (2004): Understanding Image Fusion. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 70 (6), S. 657-661.

Internetquellen

Abdel-Baky, M. (2013): Hope for Ezbet Al-Haggana. In: Al-Ahram Weekly (Hg.), Issue No.1144, 18 April, 2013. <http://weekly.ahram.org.eg/News/2286/24/Hope-for-Ezbet-Al-Haggana.aspx>, zuletzt geprüft am 13.05.2016

Ahram Online (Hg.) (2015): Egypt's population grows by over 3.5 million since 2014: CAPMAS <http://english.ahram.org.eg/NewsContent/1/64/139602/Egypt/Politics-/Egypt-s-population-grows-by-over--million-since--CA.aspx>, zuletzt geprüft am 25.03.2016

- Almeida, C.M.; Oliveira, C.G.; Rennó, C.D.; Feitosa, R.Q. (2011): Population Estimates in Informal Settlements Using Object-Based Image Analysis and 3D Modeling. In: Earthzine, Fostering earth observation & global awareness.
<http://earthzine.org/2011/08/16/population-estimates-in-informal-settlements-using-object-based-image-analysis-and-3d-modeling/> zuletzt geprüft am 28.06.2016
- Al-Monitor (Hg.) (2013): Egypt's slums: a ticking time bomb. <http://www.al-monitor.com/pulse/politics/2013/11/egypt-slums-ticking-time-bomb.html#>, zuletzt geprüft am 24.03.2016
- Aziz, M. (2013): Manshiet Nasser. In: Salukitecture (Hg.) The School of Architecture at Southern Illinois University. http://siarchitecture.blogspot.co.at/2013/09/manshiet-nasser_26.html, zuletzt geprüft am 13.04.2016
- Central Intelligence Agency (Hg.) (2014): The World Factbook / Egypt. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/eg.html>, zuletzt geprüft am 26.02.2016.
- Definiens (Hg.) (2007): Developer 7 – Reference Book. <http://www.ecognition.cc/download/ReferenceBook.pdf>, zuletzt geprüft am 03.03.2016
- DigitalGlobe (Hg.) (2013): WorldView-2 Datasheet
https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf,
 zuletzt geprüft am 12.03.2016
- El-Helo, A. (2011): Manshiet Nasser. <https://workshopsariyer.files.wordpress.com/2011/04/2-konf-2-oturum-ahmad-ah-helo-mashiet-nasser-defining-people-defining-place-reading-the-city-through-territorial-claims-resized.pdf>, zuletzt geprüft am 13.06.2016
- Institut für Auslandsbeziehungen e. V. (IFA) (Hg.) (2006): Kairo – Bauen und Planen für Übermorgen. http://cms.ifa.de/index.php?id=pm_061031&type=98&L=0, zuletzt geprüft am 03.03.2016
- IRIN (Hg.) (2007): Locals help transform their shanty town. <http://www.irinnews.org/report/72072/egypt-locals-help-transform-their-shanty-town>, zuletzt geprüft am 13.04.2016

- IRIN (Hg.) (2014): Living without the state in Cairo's slums. <http://www.irinnews.org/report/99518/living-without-the-state-in-cairo-s-slums>, zuletzt geprüft am 24.03.2016
- Madinet Nasr for Housing & Development (MNHD) (Hg.): Ezzbet El Haggana. http://www.mnhd.com/?page_id=435, zuletzt geprüft am 13.06.2016
- Masress (Hg.) (2008): Imbaba, Egypt's most 'fertile' neighborhood, says report. <http://www.masress.com/en/dailynews/116331>, zuletzt geprüft am 13.06.2016
- Participatory Development Programme in Urban Areas (PDP) (Hg.) (2015): Where we work. <http://egypt-urban.net/where-we-work/> zuletzt geprüft am 03.03.2016
- Perronet, A.; Rodemeier, T. (2010): Imbaba. ETH Studio Basel Contemporary City Institute. 171 S. http://www.studio-basel.com/assets/files/10_Imbaba_web.pdf, zuletzt geprüft am 13.06.2016
- Piffero, E. (2008): Struggling for Participation – Experience of a 10-year Development Program, Boulaq el-Dakrou, Egypt. In: Participatory Development Programme in Urban Areas, 33 S. http://egypt-urban.net/wp-content/uploads/2009/12/Elena-Piffero-Paper_resized.pdf, zuletzt geprüft am 03.03.2016
- Piffero, E. (2010): Best Practices in Practice: Critical Reflections on International Cooperation and Participatory Urban Development in Cairo's Informal Areas (Egypt). In: Universitas Forum, North America, 2, Juni 2010. <http://www.universitasforum.org/index.php/ojs/article/view/46/191>>. zuletzt geprüft am 13.06.2016
- State Information Service (Hg.) (2013): Egypt's Governorates. <http://www.sis.gov.eg/En/Templates/Articles/tmpArticles.aspx?CatID=2631#.VO91SCnMeol>, zuletzt geprüft am 24.03.2016
- Spektrum.de (Hg.) (2001): Slum – Lexikon der Geographie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/slum/7294>, zuletzt geprüft am 25.03.2016
- The CairoPost (Hg.) (2014): CAPMAS to take census of slum dwellers starting 2016. <http://www.thecairopost.com/news/70884/news/capmas-to-take-census-of-slum-dwellers-starting-2016>, zuletzt geprüft am 13.04.2016

Tadamun (Hg.) (2014): The Landmark Case of Grootboom versus the Republic of South Africa. http://www.tadamun.info/2014/01/05/the-landmark-case-of-grootboom-versus-the-republic-of-south-africa/?lang=en#.Vx_LNOs2S5I, zuletzt geprüft am 17.04.2016

The Cities Alliance (Hg.) (2000): About Slum Upgrading. 2011. <http://www.citiesalliance.org/ca/About-slum-upgrading>, zuletzt geprüft am 13.07.2016

Traveladventures.org (Hg.) (2007): Egypt: Darb al-Ahmar street scenes. <http://www.traveladventures.org/continents/africa/darb-ahmar-street-scenes12.html>, zuletzt geprüft am 13.04.2016

UCLG Committee on Social, Inclusion, Participatory Democracy and Human Rights (UCLG) (Hg.) (2014): El Cairo in egypt rehabilitates the 'el darb el ahmar' neighbourhood in favour of 285 families. <http://www.uclg-cisdp.org/en/news/latest-news/el-cairo-egypt-rehabilitates-'el-darb-el-ahmar'-neighbourhood-favour-285-families>, zuletzt geprüft am 13.06.2016

Union for the Mediterranean (Hg.) (2014): Imbaba Urban Upgrading Project. <http://ufmsecretariat.org/imbaba-urban-upgrading-project/>, zuletzt geprüft am 03.03.2016

U.S. Geological Survey (USGS): ASTER Global DGM <http://earthexplorer.usgs.gov>, zuletzt geprüft am 03.04.2016

ANHANG

Anhangsverzeichnis

- A1 – Bevölkerungsdaten
- A2 – Statistische Auswertung der Analysen
- A3 – Zeitreihenanalysen
- A4 – Thematische Kartendarstellungen

A1 BEVÖLKERUNGSDATEN

TYP A

Boulaq al Daqrur:

Bevölkerung	Quelle
0,57 Mio.	CAPMAS (2006)
0,63 Mio.	CAPMAS (Projektion 2012)
ca. 1.50 Mio.	Piffero (2008)
1,20 Mio.	Gerlach (2009)
0,65 Mio.	Jenks et Burgess (2000)
1,00 Mio.	Piffero (2010)
1,20 Mio.	Sabry (2009)

Geziret El-Dahab:

Bevölkerung	Quelle
117.000	PDP (2015)

Khosoos City:

Bevölkerung	Quelle
700.000	PDP (2015)

TYP B

Manshiet Nasser:

Bevölkerung	Quelle
0,6 Mio.	IFA (2006)
1 Mio.	Ah-Helo (2011)
0,26 Mio.	CAPMAS (2006)
0,5 Mio.	Piffero (2010)
0,5 Mio.	Davis (2006)
> 1 Mio.	El-Kholy (2002)
0,8 Mio.	IRIN (2007)
0,6 – 1 Mio.	Aziz (2013)

Ezbet El Haggana:

Bevölkerung	Quelle
0,5 Mio.	Abdel-Baky (2013)
> 1 Mio.	MNHD (keine Angabe)
0,5 Mio.	Peterson (2011)
0,039 Mio.	CAPMAS (2006)
0,4 Mio.	Soliman (2004)
0,21 Mio.	Sabry (2009)
1 Mio.	Davis (2006)

Ezbet El-Nasr:

Bevölkerung	Quelle
72.190	PDP (2015)
60.000	Bott et al. (2011)

TYP C

Al-Darb al Ahmer:

Bevölkerung	Quelle
100.000	UCGL (2014)
200.000	Bandarin et van Oers (2015)
78.375	CAPMAS (2006)

El Gameleya:

Bevölkerung	Quelle
49.834	CAPMAS (2006)

A2 STATISTISCHE AUSWERTUNG DER STRUKTURANALYSEN

Die Ergebnisse der Bebauungsdichte und Blockgröße können aus der Zeitreihenanalyse 2011 (A3) entnommen werden.

Seehöhe und Hangneigung

TYP A	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	-3	0,16
Maximum	164	27,19
Mittelwert	28,89	6,06
Standardabweichung	9,47	3,23

Gov. Kairo/TYP A	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	-3	0,24
Maximum	164	25,06
Mittelwert	31,27	5,84
Standardabweichung	20,06	3,01

TYP B	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	13	0,65
Maximum	188	27,44
Mittelwert	74,73	5,94
Standardabweichung	49,43	3,27

TYP C	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	9	0,83
Maximum	85	19,61
Mittelwert	35,39	6,26
Standardabweichung	10,15	3,24

Gesamt	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	-3	0,16
Maximum	188	27,44
Mittelwert	32,38	6,06
Standardabweichung	20,07	3,24

Gov. Kairo	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	-3	0,24
Maximum	188	27,44
Mittelwert	38,86	5,88
Standardabweichung	27,59	3,07

Gov. Giza	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	-2	0,16
Maximum	61	27,19
Mittelwert	27,4	6,32
Standardabweichung	9,19	3,48

Gov. Qalyubia	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	-2	0,41
Maximum	57	25,27
Mittelwert	27,77	5,87
Standardabweichung	7,88	2,98

Manshiet Nasser	Seehöhe (m)	Hangneigung (°)
Minimum	55	1,03
Maximum	164	27,44
Mittelwert	93,24	7,74
Standardabweichung	21,92	3,96

Mittlere Distanz zum Stadtzentrum

	TYP A	TYP B	TYP C
Nächster Baublock	2.871,46	2.990,8	772,17
Entferntester Baublock	23.068,64	23.756,67	4.633,36
Mittler Distanz	10.148,13	12.891,54	2.414,84
Standardabweichung	4.129,47	6.287,85	867,95

TYP A	<5km	5-10km	<20km	>20km
Anzahl Blöcke	3028	17818	33054	563
Stockwerke	5,95	6,69	4,99	3,73
Fläche	2225,26	2808,5	2930,29	3535,58
Dichte	99,2	95,65	92,823	77,424

TYP B	<5km	5-10km	<20km	>20km
Anzahl Blöcke	440	957	2382	324
Stockwerke	4,893	4,21	5,09	3,703
Fläche	4536,02	5326,22	3992,12	5142,3
Dichte	97,75	97,77	95,48	83,456

TYP C	<5km	5-10km
Anzahl Blöcke	873	-
Stockwerke	4,44	-
Fläche	3510,67	-
Dichte	98,808	-

Entfernung zu Hauptstraßen

Entfernung zur Autobahn (Ring Road)

Gesamt	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	2.061,35	16,39	6.585,57
TYP B	1.862,09	26,36	4.502,82
TYP C	2.064,34	107,3	4.370,31

Gov. Kairo	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	2875,88	25,47	6585,57
TYP B	1862,09	26,36	4502,82
TYP C	2064,34	107,3	4370,31

Gov. Giza	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	1588	16,39	1588,77

Gov. Qalyubia	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	1580,28	17,4	4413,1

<100m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	836	5,72	86,3	3336,01
Typ A	746	5,86	84,78	3135,59
Typ B	90	4,5	98,88	4997,24
Typ C	0	0	0	0

<500m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	6021	6,02	90,67	3409,77
Typ A	5508	6,16	90,29	3319,43
Typ B	486	4,48	94,56	4431,19
Typ C	0	0	0	0

<1000m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	12551	6,12	92,738	3294,72
Typ A	11560	6,25	92,56	3201,25
Typ B	813	4,56	93,99	4562,89
Typ C	178	4,46	97,97	3573,14

<2500m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	24878	5,94	93,71	3146,48
Typ A	22442	6,08	93,56	3006,63
Typ B	1799	4,712	93,97	4587,05
Typ C	637	4,48	98,49	4004,84

>5000m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Typ A	2477	5,7	99,28	1767,65

Entfernung zu Hauptverkehrsstraßen (Autobahn + Straßen 1. Ordnung)

Gesamt	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	1183,76	13,81	4498,64
TYP B	889,55	26,36	2556,32
TYP C	554,63	17,08	1527,04

Gov. Kairo	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	1708,04	14,04	4498,64
TYP B	889,55	26,36	2556,32
TYP C	554,63	17,08	1527,04

Gov. Giza	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	780,6	13,81	4002,27

Gov. Qalyubia	Mittlere Distanz	Nächster Block	Entferntester Block
TYP A	1113,49	17,4	3922,268

<100m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	1458	5,68	90,74	3064,9
Typ A	1276	5,77	89,53	2964,72
Typ B	136	4,91	99,11	4233
Typ C	46	5,43	99,56	2390,3

<500m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	11009	5,75	92,59	3103,54
Typ A	9663	5,88	91,95	3004,69
Typ B	931	4,9	96,358	4319,17
Typ C	415	4,79	98,96	2954,71

<1000m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	21122	5,77	93,54	3079,72
Typ A	18709	5,9	93,1	2948,77
Typ B	1648	4,87	96,17	4378,13
Typ C	765	4,49	98,7	3485,24

<2500m	Anzahl	Höhe	Dichte	Fläche
Gesamt	33228	5,63	94,2	2988,6
Typ A	29651	5,75	94	2837,72
Typ B	2704	4,72	94,84	4474,57
Typ C	873	4,43	98,8	3510,67

A3 STATISTIK DER ZEITREIHENANALYSEN

1984	KAIRO			GIZA			QUALYUBIA			GESAMT		
Siedlungstyp	Gesamt	Typ A	Typ B	Typ C	Typ A							
Anzahl Baublöcke	12595	10027	1750	818	8085	8085	8085	8085	8085	8085	8085	8085
Fläche (m²)												
Min:	115,5	115,5	279,6	179,4	143,6	143,6	143,6	143,6	143,6	143,6	143,6	143,6
Max:	52195,6	41924,7	47150,2	52195,6	30521,3	30521,3	30521,3	30521,3	30521,3	30521,3	30521,3	30521,3
Sum:	36358014,7	25859055,0	7616996,8	2881962,9	21869250,1	21869250,1	21869250,1	21869250,1	21869250,1	21869250,1	21869250,1	21869250,1
Mean:	2886,7	2578,9	4352,6	3523,2	2704,9	2704,9	2704,9	2704,9	2704,9	2704,9	2704,9	2704,9
SD:	2754,6	2328,7	3698,9	3863,1	2435,5	2435,5	2435,5	2435,5	2435,5	2435,5	2435,5	2435,5
Höhe (Stockwerke)												
Min:	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Max:	10	10	9	9	12	12	12	12	12	12	12	12
Sum:	71605	59873	8074	3658	54102	54102	54102	54102	54102	54102	54102	54102
Mean:	5,69	5,97	4,61	4,47	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69
SD:	1,60	1,54	1,44	1,07	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Dichte (%)												
Minimum:	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10
Maximum:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sum:	1228110	983490	163760	80860	795220	795220	795220	795220	795220	795220	795220	795220
Mean:	97,51	98,08	93,58	98,85	98,36	98,36	98,36	98,36	98,36	98,36	98,36	98,36
SD:	10,10	8,74	16,33	5,13	7,55	7,55	7,55	7,55	7,55	7,55	7,55	7,55
Hangneigung (°)												
Minimum:	0,65	0,67	0,65	0,83	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Maximum:	54,83	54,83	21,89	19,61	32,53	32,53	32,53	32,53	32,53	32,53	32,53	32,53
Sum:	75523,39	60261,73	10215,00	5046,66	52849,05	52849,05	52849,05	52849,05	52849,05	52849,05	52849,05	52849,05
Mean:	6,00	6,01	5,84	6,17	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54
SD:	3,21	3,23	3,12	3,20	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53

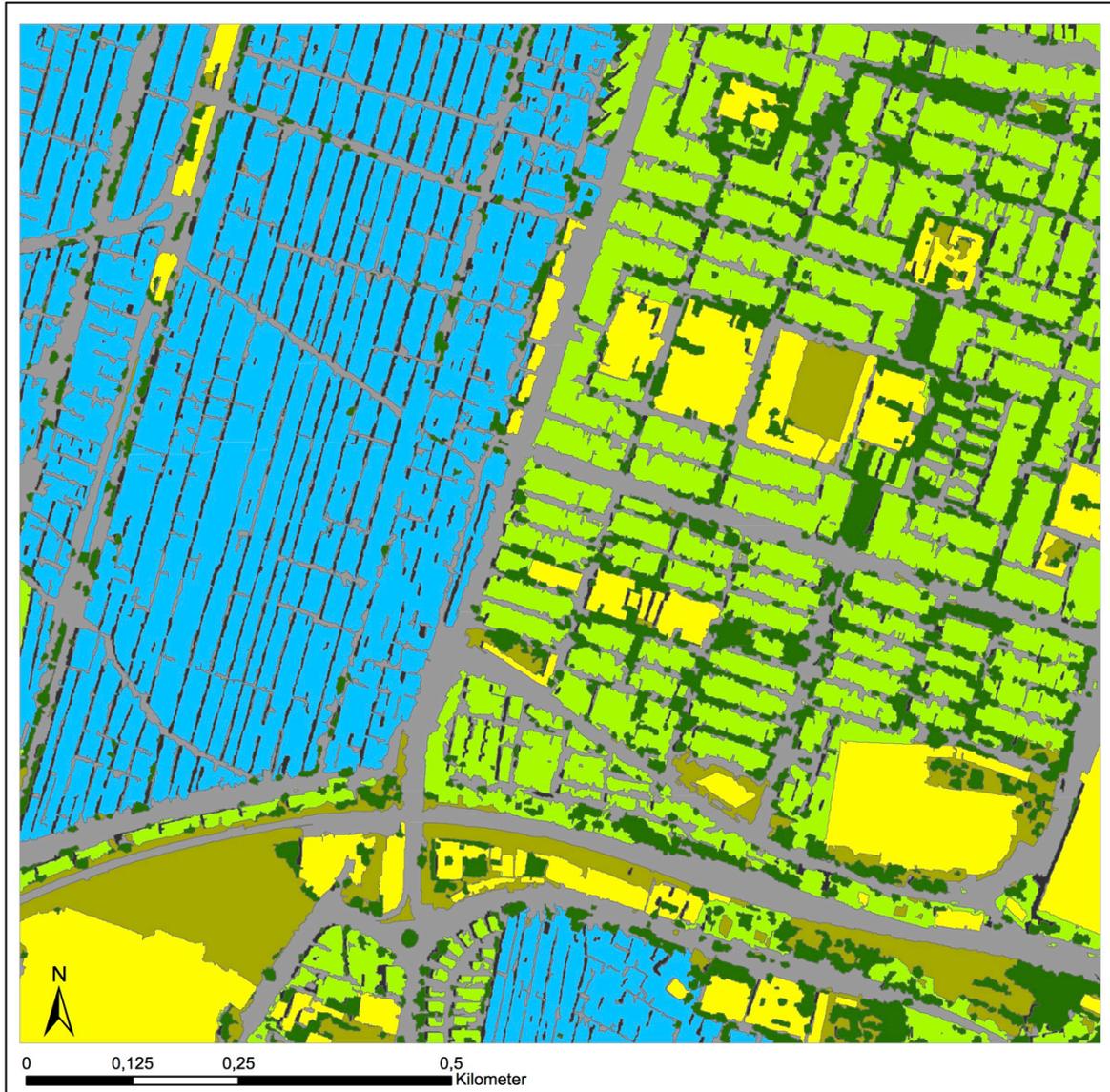
1990	KAIRO			GIZA			QUALYUBIA			GESAMT		
Siedlungstyp	Gesamt	Typ A	Typ B	Typ C	Typ A	Typ A	Typ A	Typ A	Gesamt	Typ A	Typ A	Gesamt
Anzahl Baublöcke	14299	11148	2329	822	10548	10548	4917	4917	29764	29764	29764	29764
Fläche (m²)												
Min:	115,5	115,5	279,6	179,4	143,6	143,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6
Max:	52195,6	41924,7	47150,2	52195,6	30589,6	30589,6	25130,0	25130,0	52195,6	52195,6	52195,6	52195,6
Sum:	42141441,2	29561433,5	9690482,0	2889525,8	30565528,7	30565528,7	12004624,5	12004624,5	84711594,4	84711594,4	84711594,4	84711594,4
Mean:	2947,2	2651,7	4160,8	3515,2	2897,8	2897,8	2441,5	2441,5	2846,1	2846,1	2846,1	2846,1
SD:	2785,4	2393,8	3599,4	3855,4	2622,4	2622,4	1999,9	1999,9	2618,8	2618,8	2618,8	2618,8
Höhe (Stockwerke)												
Min:	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Max:	10	10	10	9	12	12	10	10	12	12	12	12
Sum:	79665	64738	11250	3677	70631	70631	25441	25441	175737	175737	175737	175737
Mean:	5,57	5,81	4,83	4,47	6,70	6,70	5,17	5,17	5,90	5,90	5,90	5,90
SD:	1,62	1,59	1,55	1,07	1,62	1,62	1,10	1,10	1,66	1,66	1,66	1,66
Dichte (%)												
Minimum:	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10
Maximum:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sum:	1391460	1089280	220920	81260	1027960	1027960	483340	483340	2902760	2902760	2902760	2902760
Mean:	97,312	97,711	94,856	98,856	97,455	97,455	98,300	98,300	97,526	97,526	97,526	97,526
SD:	10,351	9,419	14,707	5,117	9,657	9,657	8,207	8,207	9,786	9,786	9,786	9,786
Hangneigung (°)												
Minimum:	0,61	0,61	0,65	0,83	0,17	0,17	0,48	0,48	0,17	0,17	0,17	0,17
Maximum:	54,83	54,83	21,89	19,61	32,53	32,53	25,27	25,27	54,83	54,83	54,83	54,83
Sum:	85129,42	66594,27	13458,49	5076,66	70239,05	70239,05	29676,65	29676,65	185045,13	185045,13	185045,13	185045,13
Mean:	5,95	5,97	5,78	6,18	6,66	6,66	6,04	6,04	6,22	6,22	6,22	6,22
SD:	3,18	3,19	3,08	3,20	3,60	3,60	2,99	2,99	3,32	3,32	3,32	3,32

1998	KAIRO			GIZA			QUALYUBIA			GESAMT
	Siedlungstyp	Gesamt	Typ A	Typ B	Typ C	Typ A	Typ A	Typ A		
Anzahl Baublöcke	15112	11790	2500	822	12043	5410	32565			
Fläche (m²)										
Min:	115,5	115,5	279,6	179,4	143,6	80,6	80,6			
Max:	91031,9	41924,7	91031,9	52195,6	30832,8	40923,7	91031,9			
Sum:	45363853,8	31467539,9	11006788,1	2889525,8	35946280,3	13542461,6	94852595,7			
Mean:	3001,8	2669,0	4402,7	3515,2	2984,8	2503,2	2912,7			
SD:	3012,4	2402,0	4492,9	3855,4	2705,1	2105,0	2772,5			
Höhe (Stockwerke)										
Min:	1	1	1	2	2	2	1			
Max:	10	10	10	9	12	10	12			
Sum:	82901	67342	11882	3677	80313	28047	191261			
Mean:	5,49	5,71	4,75	4,47	6,67	5,18	5,87			
SD:	1,65	1,63	1,59	1,07	1,67	1,13	1,70			
Dichte (%)										
Minimum:	10	10	10	50	10	10	10			
Maximum:	100	100	100	100	100	100	100			
Sum:	1463330	1144990	237080	81260	1161850	528870	3154050			
Mean:	96,83	97,12	94,83	98,86	96,48	97,76	96,85			
SD:	11,33	10,79	14,59	5,12	11,59	9,60	11,17			
Hangneigung (°)										
Minimum:	0,43	0,43	0,65	0,83	0,17	0,41	0,17			
Maximum:	54,83	54,83	27,44	19,61	32,53	25,27	54,83			
Sum:	89815,22	69977,68	14760,89	5076,66	79962,57	32607,69	202385,48			
Mean:	5,94	5,94	5,90	6,18	6,64	6,03	6,21			
SD:	3,18	3,17	3,21	3,20	3,57	2,99	3,32			

2010	KAIRO			GIZA			QUALYUBIA		GESAMT
	Siedlungstyp	Gesamt	Typ A	Typ B	Typ C	Typ A	Typ A	Typ A	
Anzahl Baublöcke	15791	12308	2660	823	14532	6104	36427		
Fläche (m²)									
Min:	115,5	115,5	279,6	179,4	131,5	80,6	80,6		
Max:	91031,9	41924,7	91031,9	52195,6	31556,1	40923,7	91031,9		
Sum:	48091003,2	33392278,6	11807379,6	2891344,9	43622499,2	16133389,4	107846891,9		
Mean:	3045,5	2713,1	4438,9	3513,2	3001,8	2643,1	2960,6		
SD:	3053,8	2454,2	4514,4	3853,6	2716,5	2337,7	2814,8		
Höhe (Stockwerke)									
Min:	1	1	1	2	2	2	1		
Max:	10	10	10	9	12	10	12		
Sum:	85281	69064	12535	3682	92221	31447	208949		
Mean:	5,40	5,61	4,71	4,47	6,35	5,15	5,74		
SD:	1,69	1,67	1,64	1,06	1,85	1,17	1,76		
Dichte (%)									
Minimum:	10	10	10	50	10	10	10		
Maximum:	100	100	100	100	100	100	100		
Sum:	1517620	1183930	252330	81360	1357600	584360	3459580		
Mean:	96,11	96,19	94,86	98,86	93,42	95,73	94,97		
SD:	12,74	12,64	14,54	5,11	16,25	13,93	14,49		
Hangneigung (°)									
Minimum:	0,24	0,24	0,65	0,83	0,17	0,41	0,17		
Maximum:	54,83	54,83	27,44	19,61	32,53	25,27	54,83		
Sum:	93102,59	72247,20	15772,01	5083,38	93044,97	36036,15	222183,71		
Mean:	5,90	5,87	5,93	6,18	6,40	5,90	6,10		
SD:	3,17	3,15	3,24	3,20	3,52	2,99	3,29		

2011	KAIRO			GIZA			QUALYUBIA			GESAMT
	Siedlungstyp	Gesamt	Typ A	Typ B	Typ C	Typ A	Typ A	Typ A		
Anzahl Baublöcke	15963	12384	2706	873	15022	6211	37196			
Fläche (m²)										
Min:	115,5	115,5	279,6	179,4	131,5	80,6	80,6			
Max:	91031,9	41924,7	91031,9	52195,6	31556,1	40923,7	91031,9			
Sum:	48671480,1	33502272,5	12104390,1	3064817,5	44876961,1	16533119,8	110081561,0			
Mean:	3049,0	2705,3	4473,2	3510,7	2987,4	2661,9	2959,5			
SD:	3080,8	2453,5	4596,4	3807,4	2693,3	2363,1	2820,3			
Höhe (Stockwerke)										
Min:	1	1	1	2	2	2	1			
Max:	10	10	10	9	12	10	12			
Sum:	86026	69355	12795	3876	94048	31848	211922			
Mean:	5,39	5,60	4,73	4,44	6,26	5,13	5,70			
SD:	1,69	1,67	1,64	1,05	1,90	1,18	1,77			
Dichte (%)										
Minimum:	10	10	10	50	10	10	10			
Maximum:	100	100	100	100	100	100	100			
Sum:	1533730	1190800	256670	81360	1390680	591510	3515920			
Mean:	96,08	96,16	94,85	98,86	92,58	95,24	94,52			
SD:	12,80	12,73	14,59	5,11	17,37	14,79	15,21			
Hangneigung (°)										
Minimum:	0,24	0,24	0,65	0,83	0,17	0,41	0,17			
Maximum:	54,83	54,83	27,44	19,61	32,53	25,27	54,83			
Sum:	94227,36	72671,25	16086,28	5469,83	95034,53	36505,43	225767,32			
Mean:	5,90	5,87	5,94	6,27	6,33	5,88	6,07			
SD:	3,18	3,15	3,27	3,24	3,51	2,99	3,29			

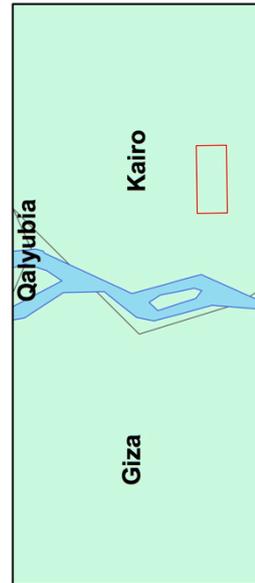
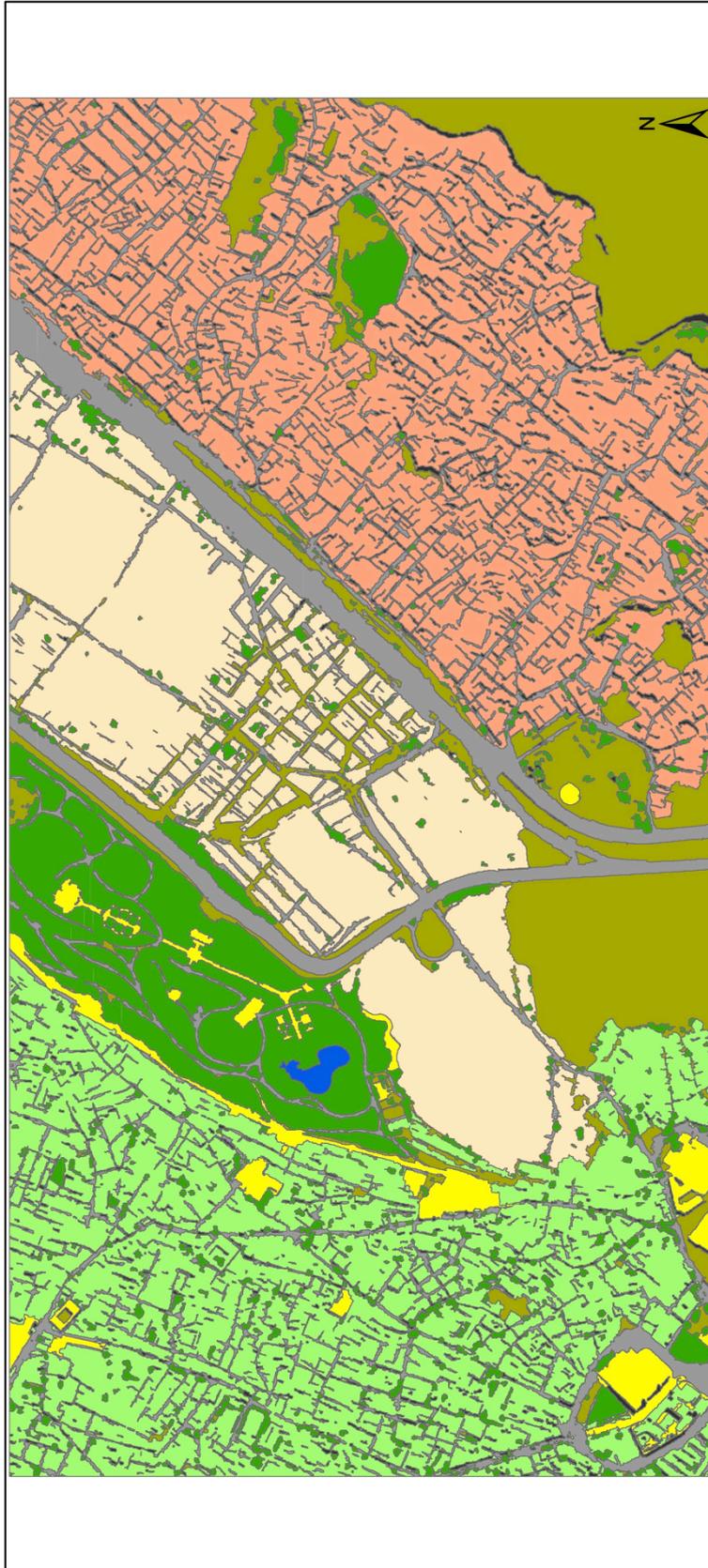
Klassifikation der informellen Siedlungen in Kairo Szene 1



Legende	
■	Formelle Wohnblöcke
■	Informelle Wohnblöcke Typ A
■	Sonstige Bauten und Flächen
■	Straßen
■	Schatten
■	Offener Boden
■	Vegetation

Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: WorldView-2, 2011

Klassifikation der informellen Siedlungen in Kairo Szene 2



Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: WorldView-2, 2011



- Legende**
- Formelle Wohnblöcke
 - Sonstige Bauten und Flächen
 - Informelle Wohnblöcke Typ B
 - Straßen
 - Offener Boden
 - Schattten
 - Gewässer
 - Vegetation

Klassifikation der informellen Siedlungen in Kairo Szene 3

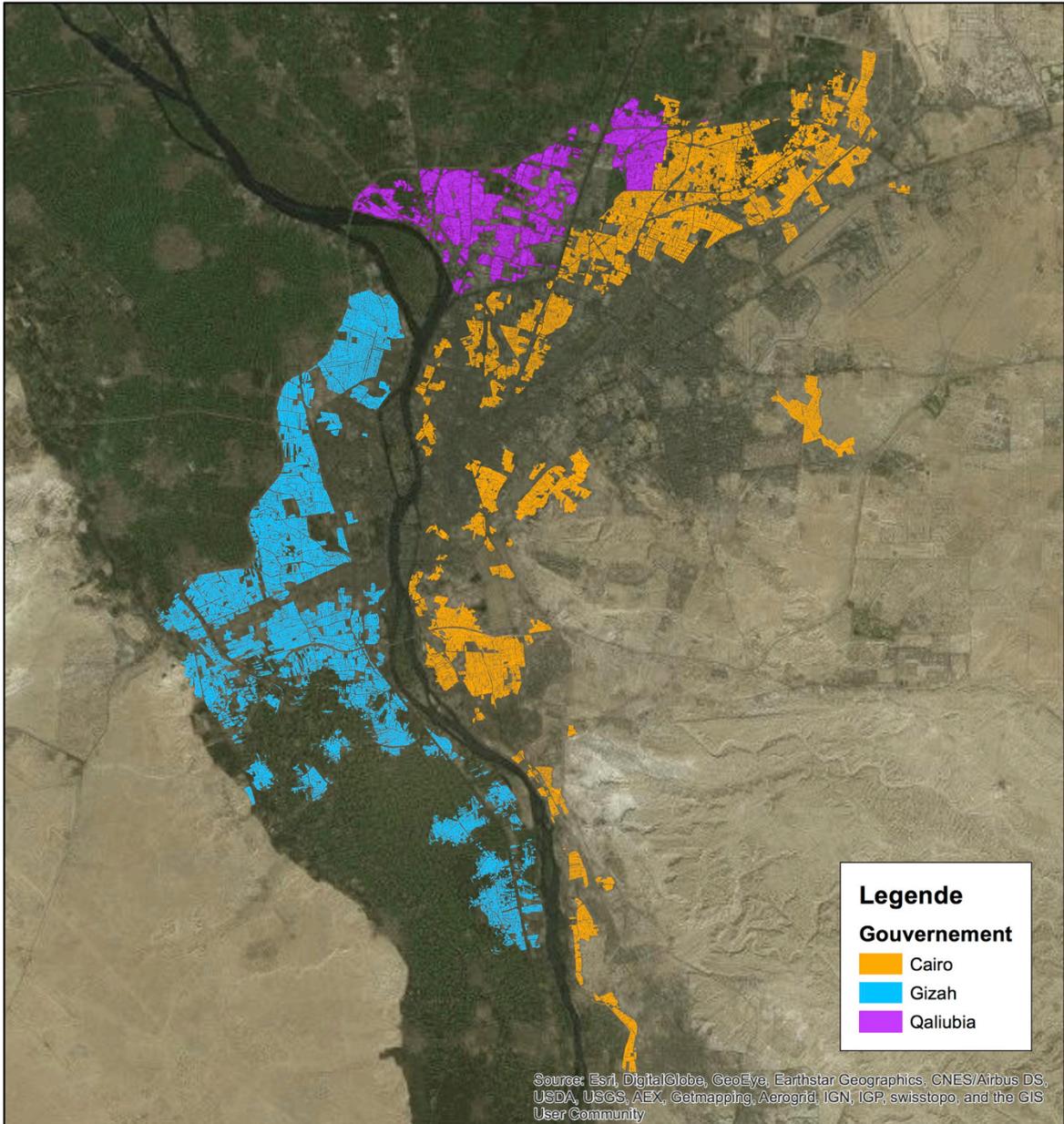


Legende

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|---------------|
|  | Formelle Wohnblöcke |  | Schatten |
|  | Informelle Wohnblöcke Typ A |  | Offener Boden |
|  | Informelle Wohnblöcke Typ B |  | Vegetation |
|  | Sonstige Bauten und Flächen |  | Straßen |

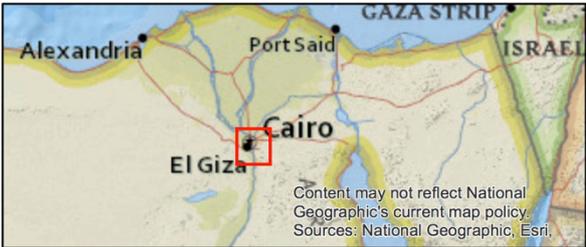
Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: WorldView-2, 2011

Informelle Baublöcke in Greater Cairo nach Gouvernement



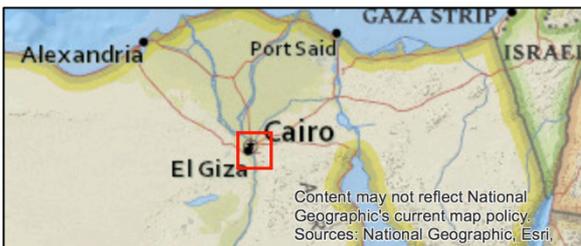
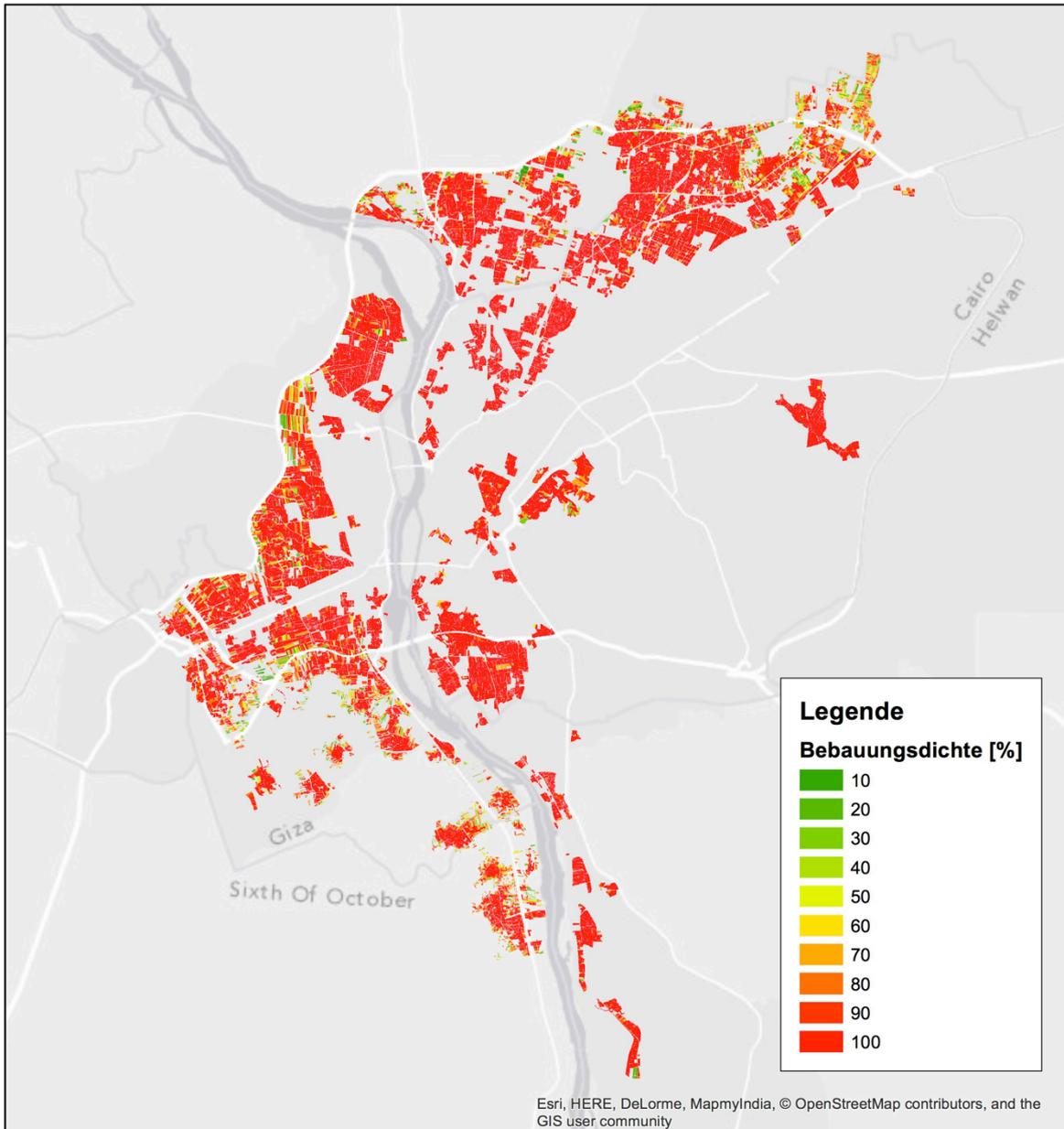
Legende
Gouvernement

- Cairo
- Gizah
- Qaliubia



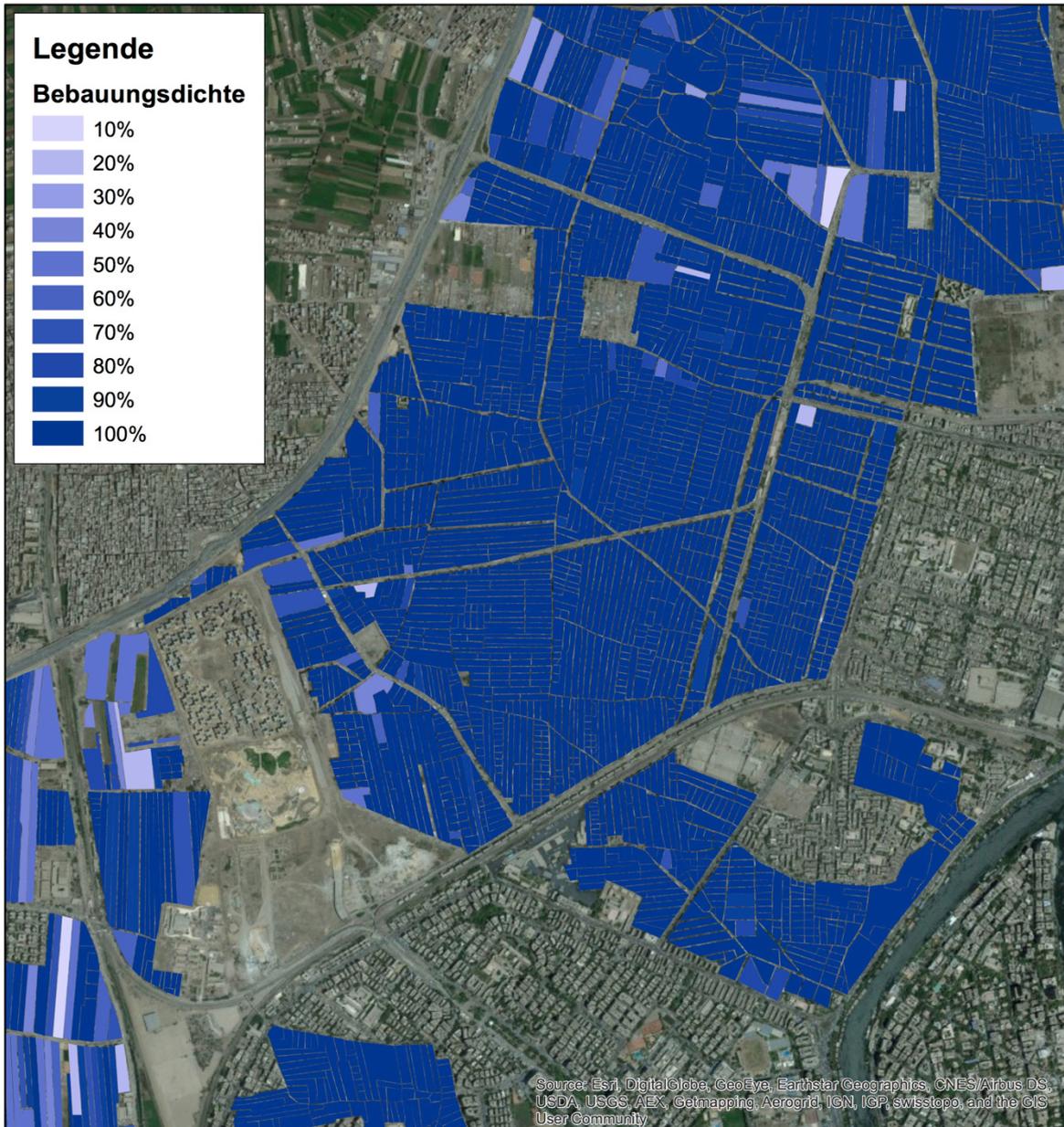
Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle: Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Bebauungsdichte der informellen Blöcke in Greater Cairo



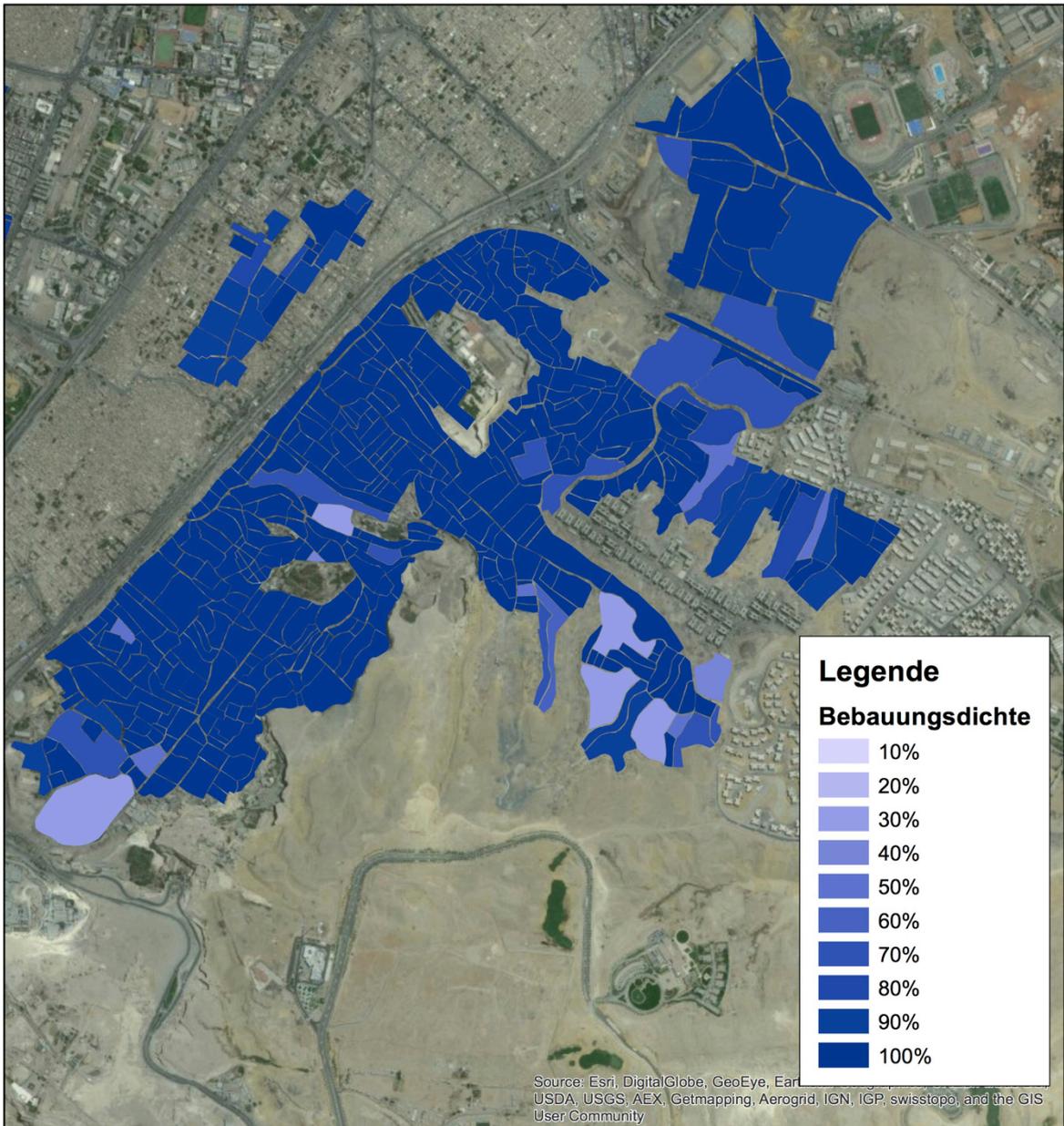
Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: OpenStreetMap

Bebauungsdichte in Imbaba (Typ A)



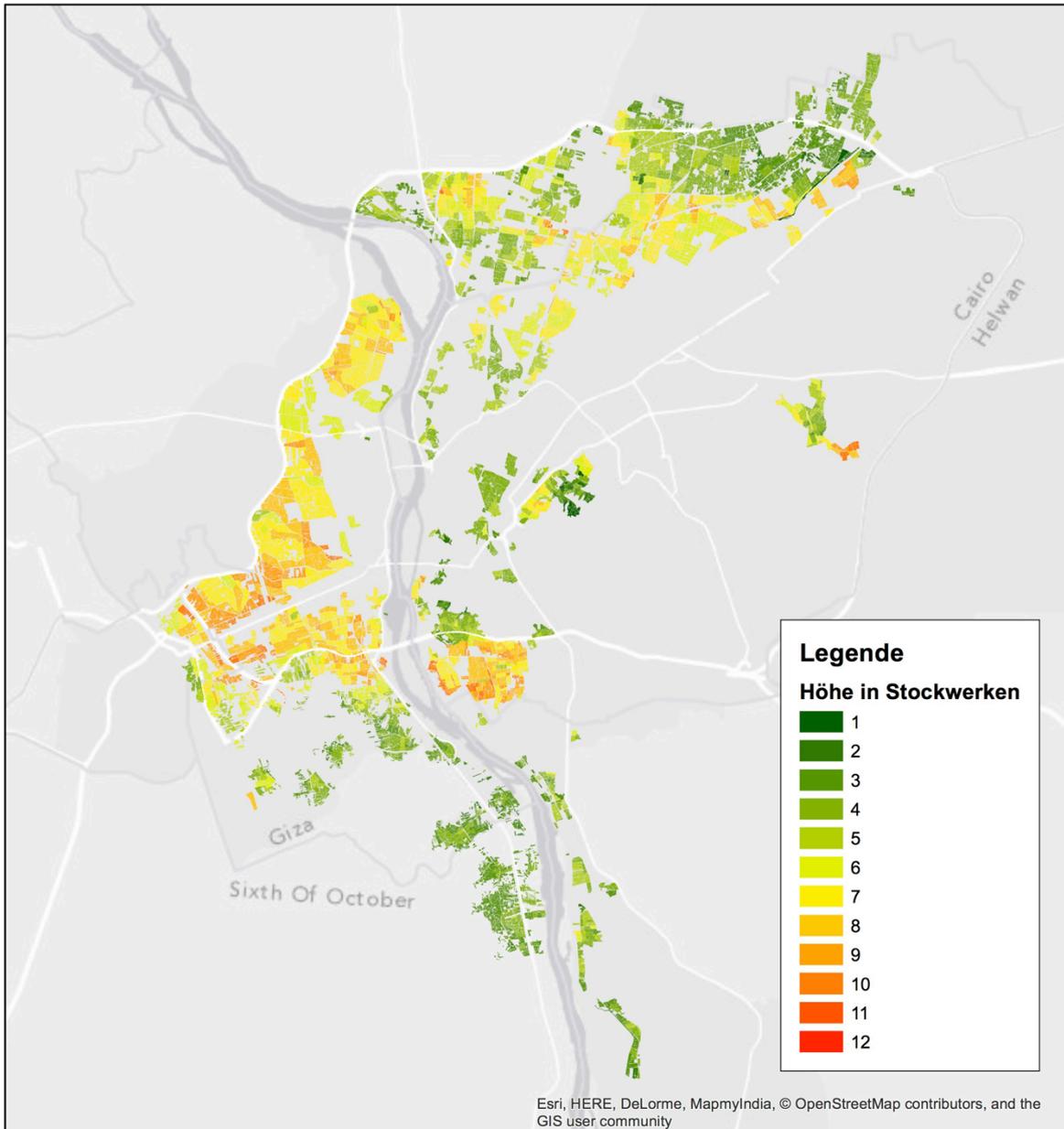
Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Bebauungsdichte in Manshiet Nasser (Typ B)



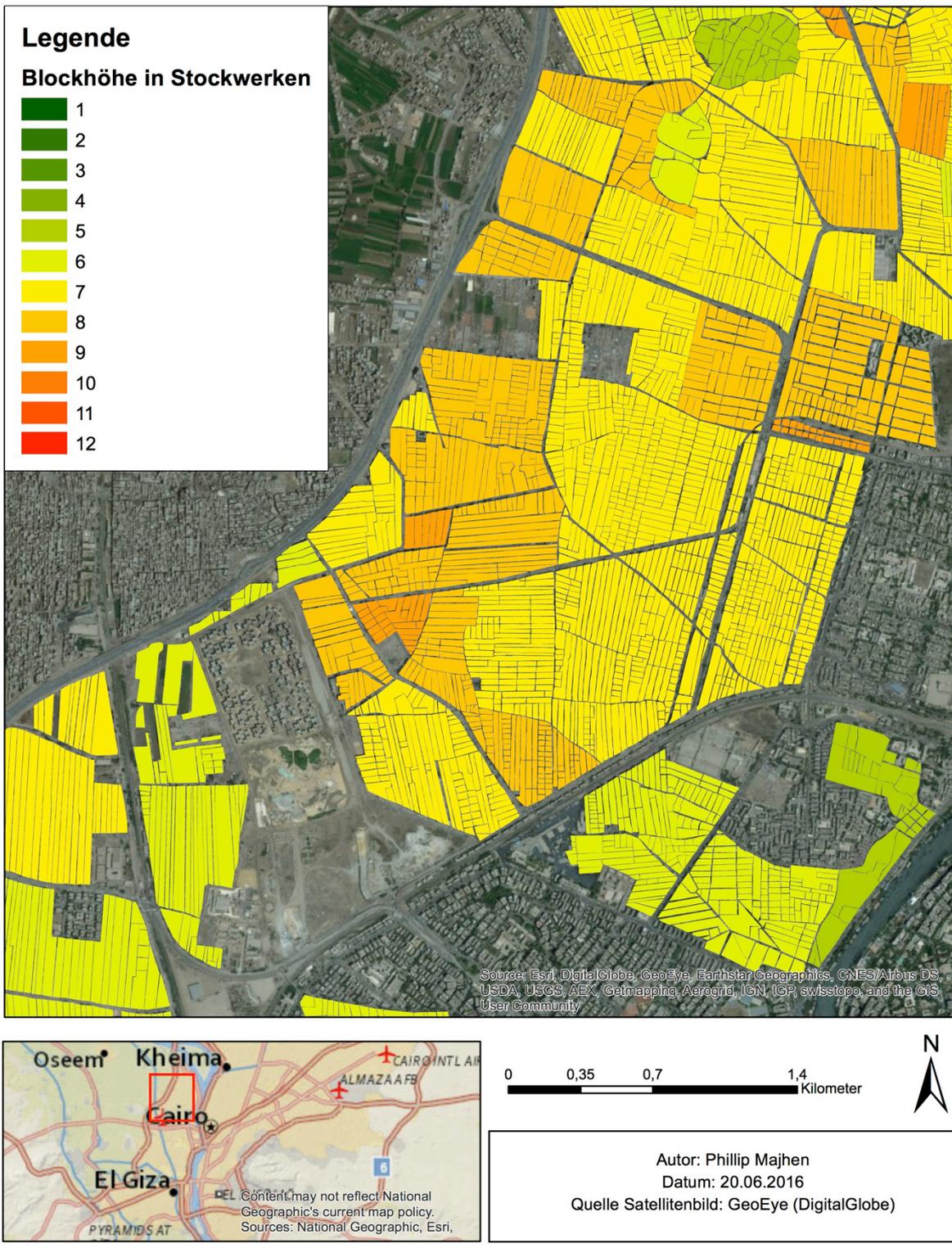
Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Blockhöhe der informellen Siedlungen in Greater Cairo

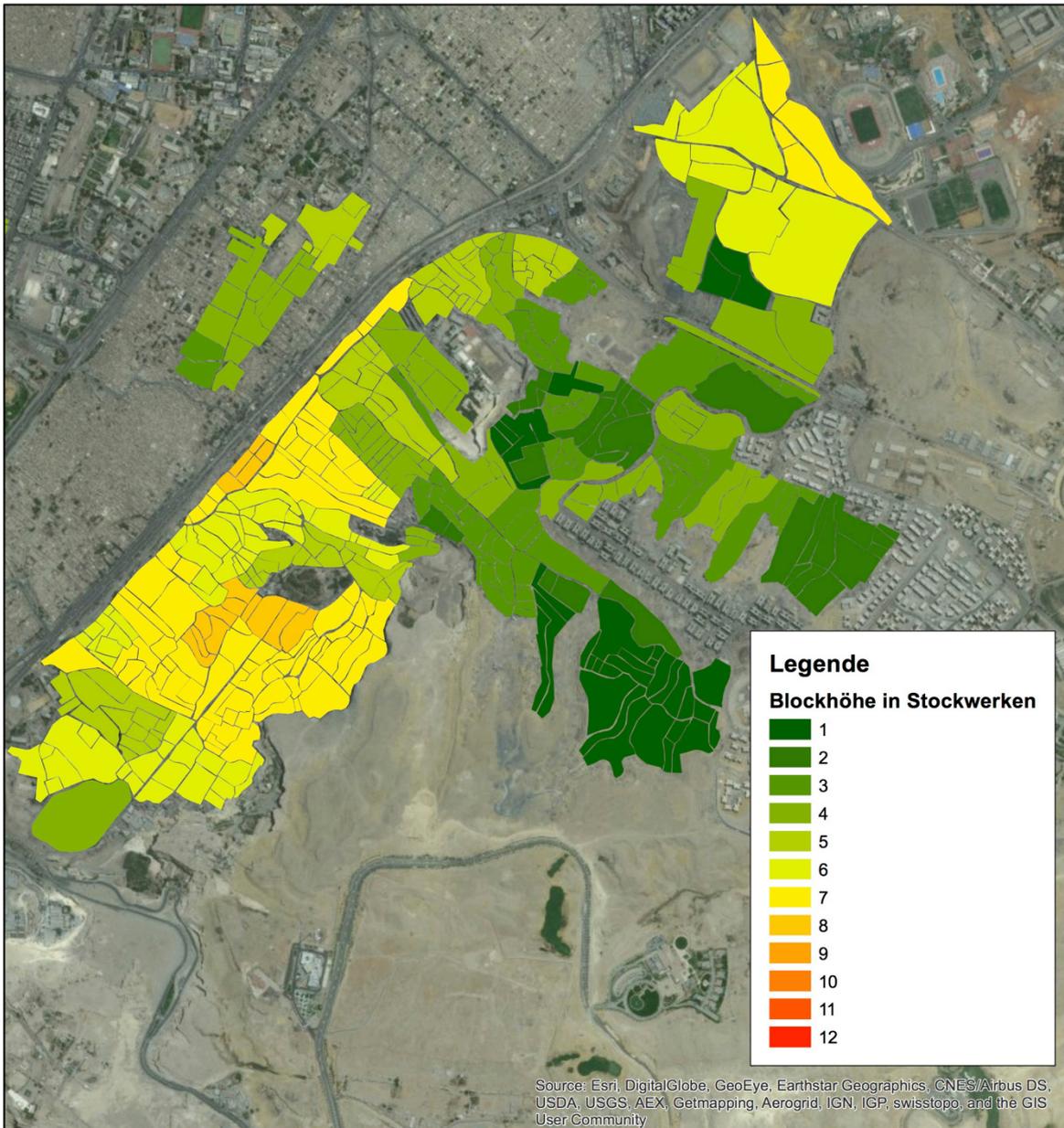


Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle: OpenStreetMap

Durchschnittliche Baublockhöhe in Imbaba (Typ A)

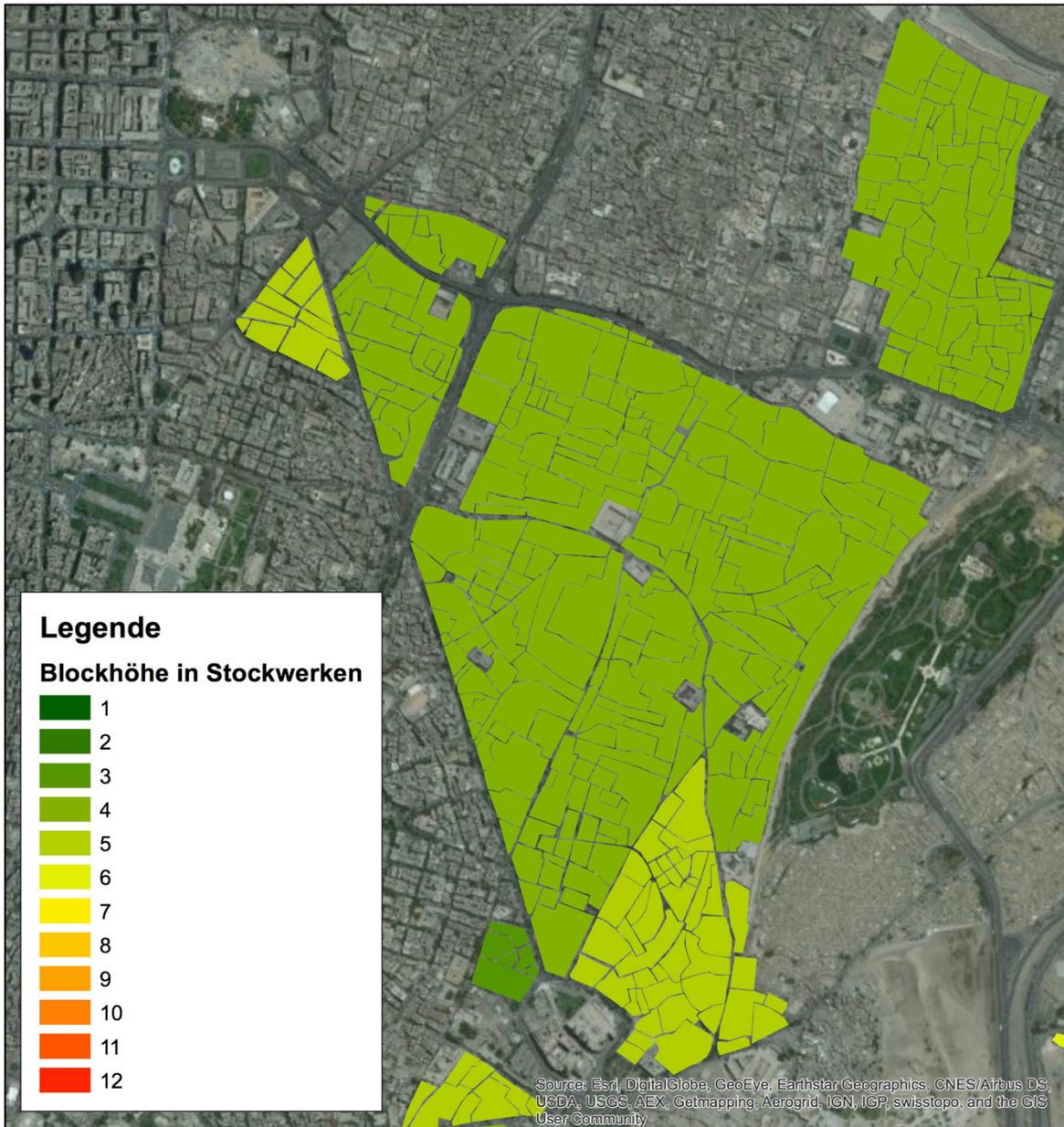


Durchschnittliche Baublockhöhe in Manshiet Nasser (Typ B)



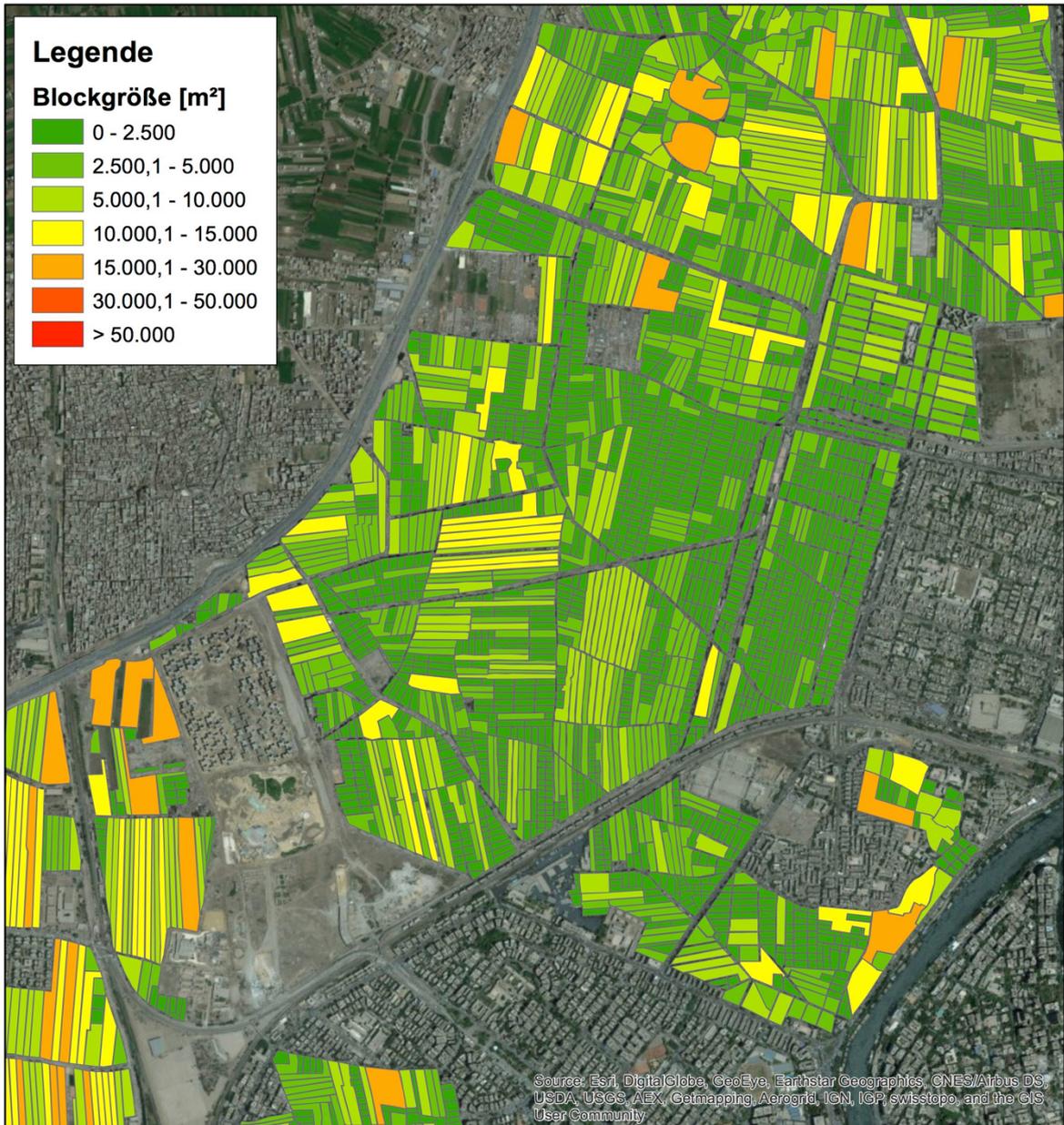
Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Durchschnittliche Baublockhöhe in El Gameleya und Al-Darb al Ahmer (Typ C)



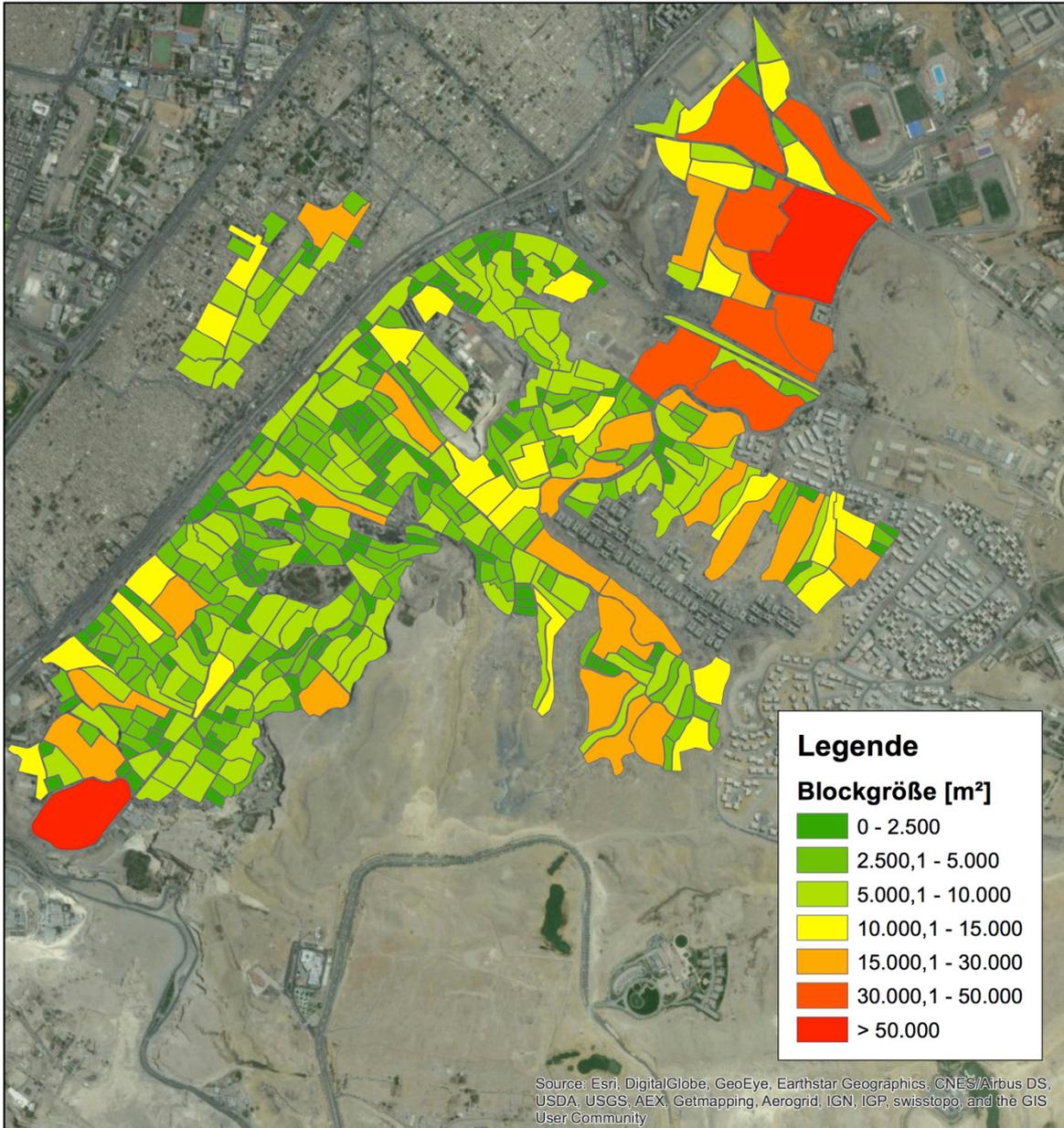
Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Durchschnittliche Baublockgröße in Imbaba (Typ A)



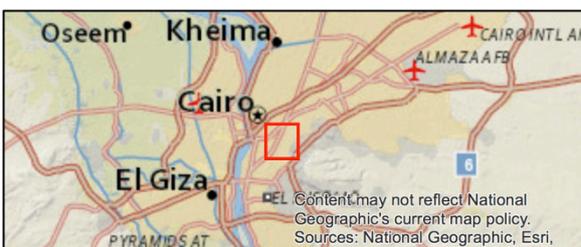
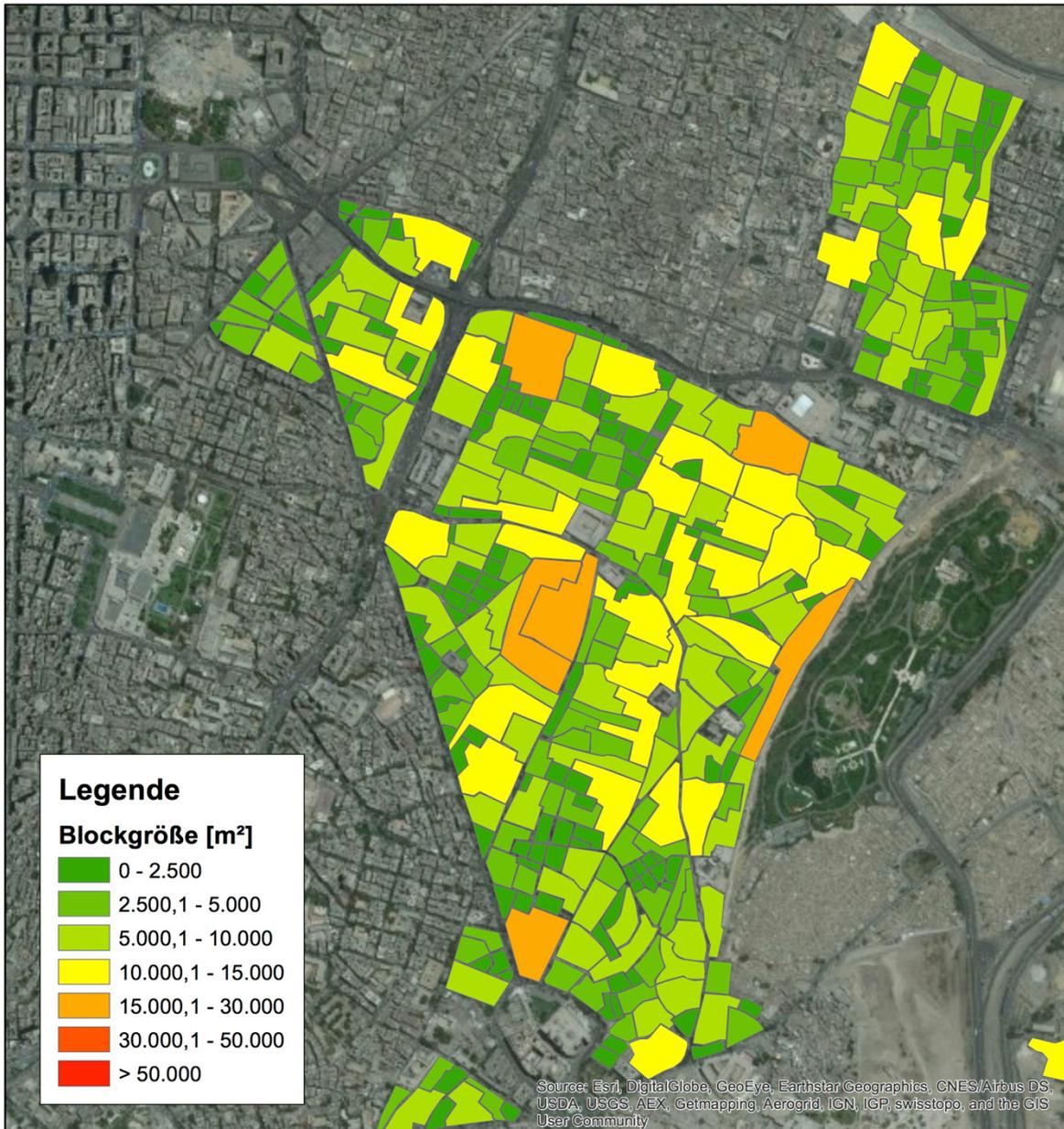
Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Durchschnittliche Baublockgröße in Manshiet Nasser (Typ B)



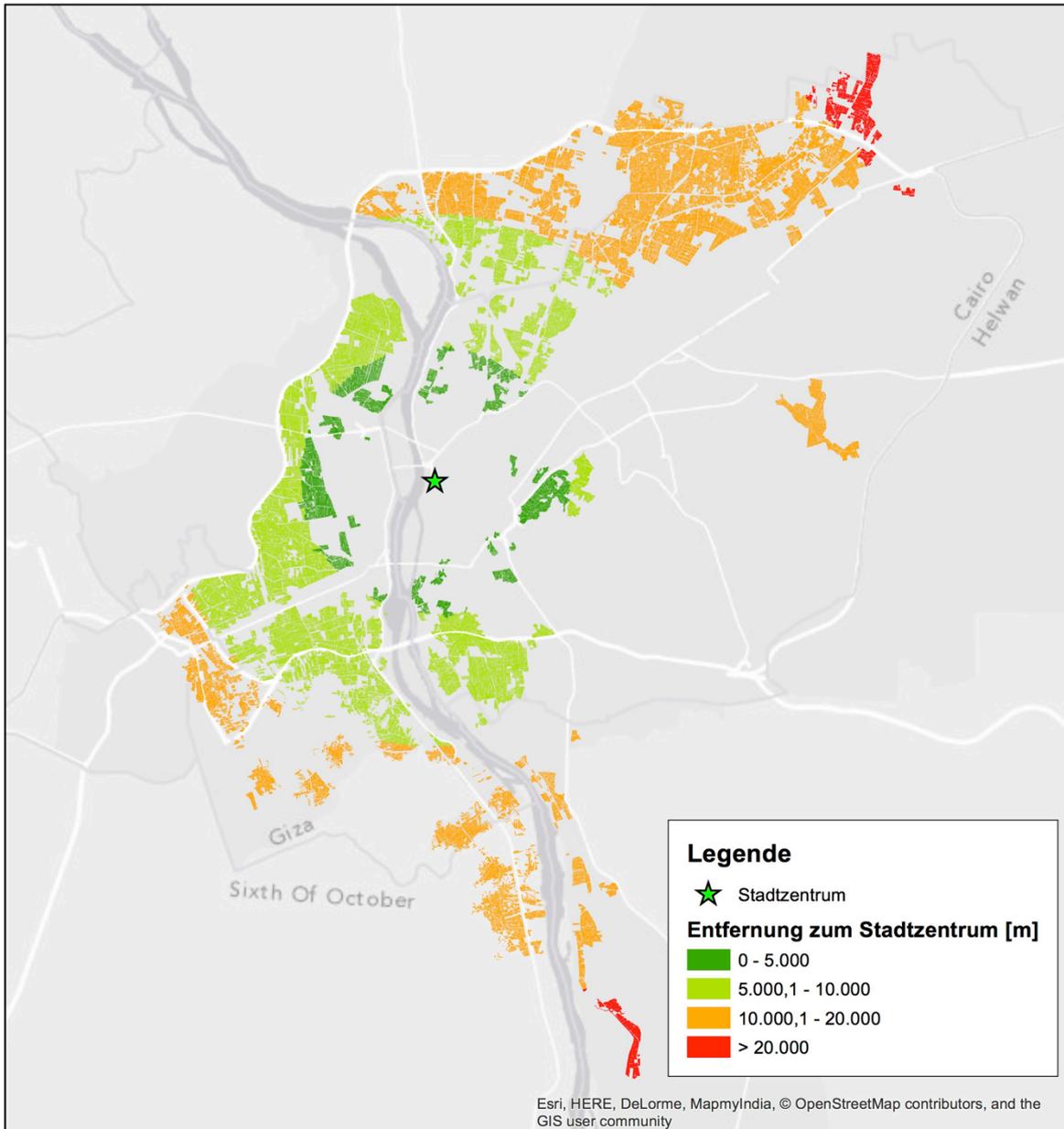
Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Durchschnittliche Baublockgröße in El Gameleya und Al-Darb al Ahmer (Typ C)



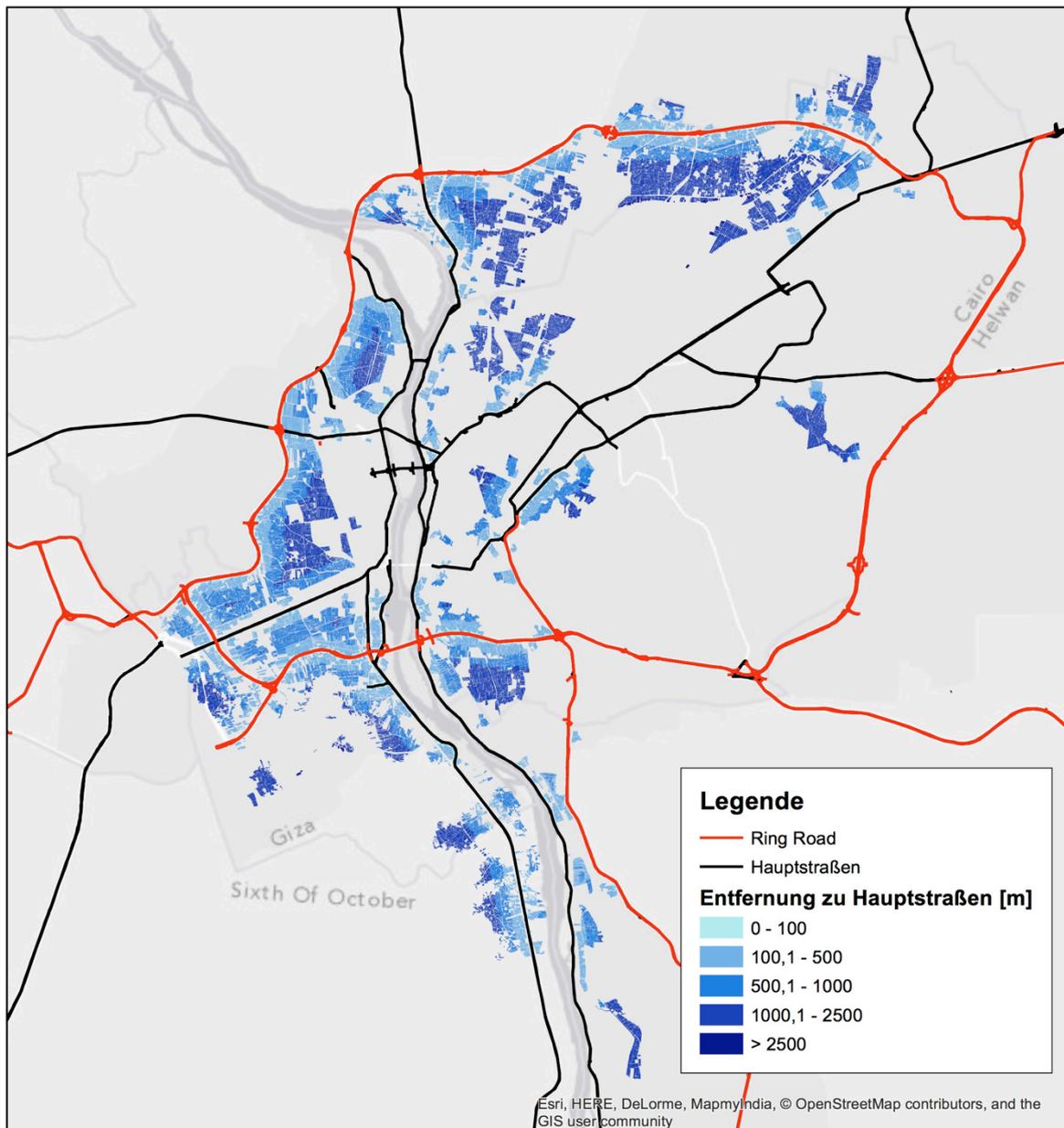
Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)

Entfernung der informellen Baublöcke zum Stadtzentrum, Greater Cairo



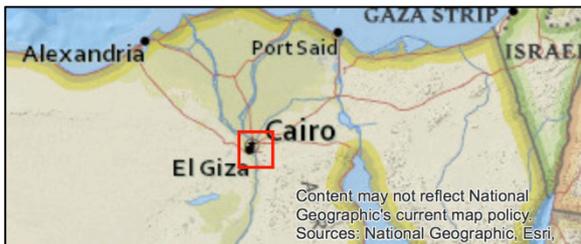
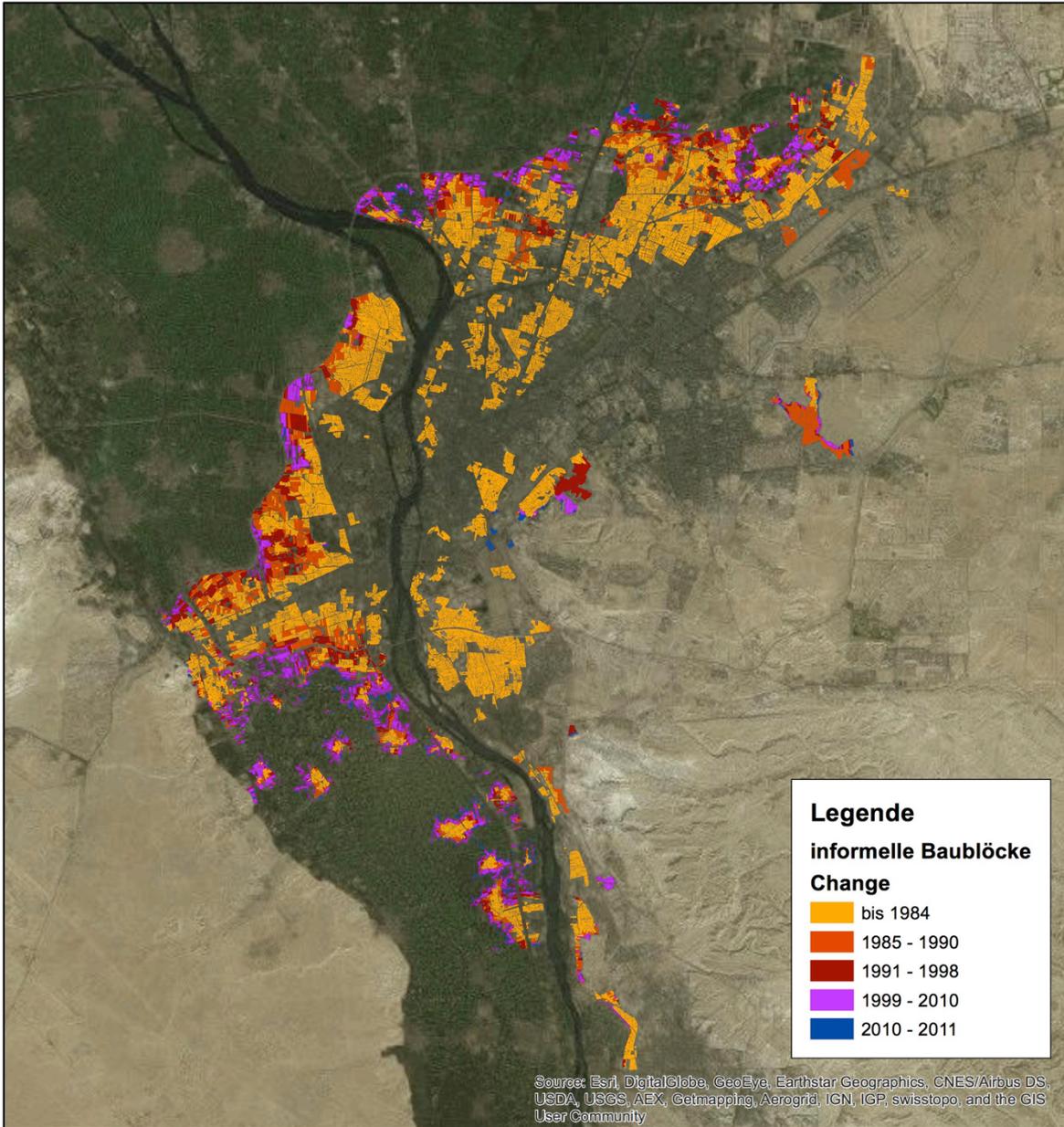
Autor: Phillip Majhen
Datum: 20.06.2016
Quelle: OpenStreetMap

Entfernung der informellen Baublöcke zu Hauptstraßen, Greater Cairo



Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: OpenStreetMap
 Straßen: DIVA-GIS

Ausbreitung der informellen Siedlungen in Greater Cairo von 1984 -2011



Autor: Phillip Majhen
 Datum: 20.06.2016
 Quelle: Satellitenbild: GeoEye (DigitalGlobe)
 Change Detection 2011: Taubenböck et al. 2012