

Studiengang: Kartographie | Geomedientechnik

Sommersemester: 2012

## **BACHELORARBEIT**

### **Ableitung von Tag-/ Nachtkarten aus Fernerkundungsdaten und zusätzlichen Geoinformationen**

von

Marianne Jilge

Betreuer:

Prof. Dr. Reiner Buzin (Hochschule München/ Fakultät für Geoinformation)

Dr. Tobias Schneiderhan und Dipl. Ing. (FH) Alexander Mager (DLR/ ZKI)

Die Arbeit wurde angefertigt für das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI), einem Service des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD), im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

## **AUTORENREFERAT**

Ableitung von Tag-/ Nachtkarten aus Fernerkundungsdaten  
und zusätzlichen Geoinformationen

*Derivation of Day- and Nighttimemaps from remote  
sensing data and ancillary geoinformations*

Ausgabe: 11.06.2012

Betreuer: Prof. Dr. Reiner Buzin

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit der Ableitung differierender Bevölkerungsverteilung am Tage und in der Nacht und wurde im Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) angefertigt. Ziel der Arbeit war es, anhand zweier geographisch und wirtschaftlich unterschiedlich entwickelter, urbaner Testregionen (München und Padang) unter Zuhilfenahme von Satellitenbilddaten und weiterer Geoinformationen, wie beispielsweise soziökonomischer Daten, sogenannte Tag- und Nachtkarten mit einer Genauigkeit von Einzelgebäuden zu generieren. Gewonnene Informationen zu den zeitabhängigen Aufenthaltsorten der Bevölkerung sind im Falle einer Natur- und Umweltkatastrophe für Such- und Bergungskräfte von großer Bedeutung, um dort zielgerichtete Hilfe leisten zu können. Eine schnelle Erstellung von Tag- und Nachtkarten ist daher im Krisenfall als Zusatzinformation für schnelle Hilfeleistungen essenziell. Die Arbeit befasst sich mit der Datenrecherche verfügbarer statistischer Daten, deren Aufbereitung, sowie mit der Verknüpfung aus Fernerkundungsdaten abgeleiteter Gebäudemasken und deren Nutzungsart. Mit Hilfe der Nutzungsart der Gebäude (Wohnsitz, Arbeitsplätze) lassen sich die Bevölkerungsdaten entsprechend zu Tage oder Nacht verteilen. Eine entsprechende Disaggregation einer Gebäudemaske der zur Verfügung stehenden hochauflösenden Satellitenbilder erfolgte in eCognition, da mittels dieser Software eine für hochauflösende Fernerkundungsdaten objektorientierte Klassifikation durchführbar ist. Die Bearbeitung und eine raum-zeitliche Umverteilung der recherchierten statistischen Bevölkerungsdaten erfolgte mit dem Softwareprodukt ArcMap. Entstandene Ergebnisse wurden anschließend diskutiert, in Bezug auf die Datenverfügbarkeit und –genauigkeit der Testgebiete verglichen, zusammengefasst und Zukunftsperspektiven aufgezeigt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>AUTORENREFERAT .....</b>	<b>2</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Einführung.....</b>	<b>5</b>
1.1 Motivation und Ziel .....	5
1.2 Anforderungen und Aufbau der Arbeit.....	6
<b>2. Grundlagen.....</b>	<b>7</b>
2.1 Erdbeben und Tsunami .....	7
2.2 Bevölkerungsgeographie und Stadtstruktur.....	9
2.2.1 <i>Bevölkerungsdichte und Bevölkerungsverteilung.....</i>	<i>11</i>
2.2.2 <i>Bevölkerungsbewegung.....</i>	<i>12</i>
2.3 Fernerkundung .....	14
2.4 Tag- und Nachtkarten.....	15
<b>3. Testgebiete und Datenakquisition.....</b>	<b>16</b>
3.1 Testgebiete.....	16
3.1.1 <i>München .....</i>	<i>16</i>
3.1.2 <i>Padang.....</i>	<i>18</i>
3.2 Satellitendaten und Landnutzung .....	20
3.2.1 <i>Eigenschaften WorldView-2 .....</i>	<i>22</i>
3.2.2 <i>Eigenschaften Ikonos.....</i>	<i>24</i>
3.3 Basisdaten zur Ableitung der Bevölkerungsverteilung.....	25
3.3.1 Basisdaten München.....	28
3.3.2 Basisdaten Padang .....	32

<b>4. Ableitung von Tag- und Nachtkarten .....</b>	<b>36</b>
4.1 Stand der Forschung .....	36
4.2 Bildanalyse mit eCognition .....	40
4.2.1 Segmentierung.....	41
4.2.2 Klassifikation .....	42
4.3 Gebäudeextraktion .....	43
4.3.1 Gebäudeextraktion München .....	44
4.3.2 Gebäudeextraktion Padang .....	53
4.4 Modellierung Tag- und Nachtkarten .....	59
4.4.1 Raum-zeitliche-Methode im Testgebiet München .....	59
4.4.2 Raum-zeitliche-Methode im Testgebiet Padang .....	68
<b>5. Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>76</b>
5.1 Ergebnis der Ableitung von Tag- und Nachtkarten .....	76
5.1.1 Validierung München .....	78
5.1.2 Validierung Padang.....	80
5.2 Grenzen und Möglichkeiten der Referenzdaten .....	84
<b>6. Fazit und Ausblick .....</b>	<b>87</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>91</b>
<b>INTERNETQUELLEN .....</b>	<b>94</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>95</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>99</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>100</b>
<b>ERKLÄRUNG.....</b>	<b>101</b>



# 1. Einführung

## 1.1 Motivation und Ziel

Immer wieder berichten Medien über schwere Erdbeben, Tsunamis und andere Natur- und Umweltkatastrophen, welche jährlich weltweit Mensch und Natur bedrohen. Man ist sich uneinig, ob die Häufigkeit und Stärke der Naturkatastrophen in den vergangenen Jahrzehnten und Jahrhunderten zugenommen hat oder nicht. Insgesamt gesehen ist jedoch ein Anstieg der Anzahl der betroffenen Personen sowie der Höhe der Kosten an materiellen Schäden zu verzeichnen.

Vor allem Erdbeben treffen die Bevölkerung meist ohne jede Vorwarnung. Hier hilft nur richtiges Verhalten der Bevölkerung und eine stabile Bauweise von Gebäuden und Städten um den Auswirkungen der Erdbeben nicht zum Opfer zu fallen. Dennoch sind die verursachten Schäden oft enorm.

Im Gegensatz dazu kündigt sich ein Tsunami an der Küste durch zurückweichendes Wasser zuvor an. Auch Tsunami-Frühwarnsysteme können die Bevölkerung zumindest kurzfristig vor der Gefahr warnen. Karten, die die errechnete Evakuierungszeit und die möglichen Evakuierungswege (Evacuation Time Map) visualisieren, sollen eine frühzeitige Räumung bedrohter Regionen gewährleisten. Allerdings reicht die Evakuierungszeit (Last-Mile-Evacuation Projekt) zwischen Eingang der Katastrophenwarnung bis zum Eintreffen der Welle meist nicht aus, alle Bewohner einer Stadt aus der Gefahrenzone zu bringen (LÄMMEL, et al., 2008). Neben der Lage der Siedlung sind die Aufenthaltsorte (POST, et al., 2009) und die Bevölkerungsdichte ausschlaggebend für eine Evakuierung der Bevölkerung im Katastrophenfall.

Kurz nach einer Katastrophe ist es für Hilfsorganisationen von großer Bedeutung, Informationen über deren Ausmaß zu erhalten um entsprechende Hilfe leisten zu können. Dies wird durch eine Notfallkartierung (Rapid Mapping) aus aktuellen Satellitenbildern und zusätzlichen GIS-Daten ermöglicht. Damit Such- und Rettungskräfte nach einem Katastrophenereignis vor Ort schnell reagieren können und möglicherweise Verschüttete, Verletzte und Todesopfer zeitnah ausfindig machen und bergen können, ist das Wissen über die aktuelle Bevölkerungsverteilung im Krisengebiet vor dem Katastrophenfall, neben dem Schadensausmaß von enormer Wichtigkeit. Mit der

Kenntnis möglicher Aufenthaltsorte der Bevölkerung kann die Zahl der Todesopfer reduziert werden.

Es bestehen bereits Ansätze zur Ableitung von Bevölkerungsdaten, die in dieser Arbeit auch vorgestellt werden (Kapitel 4.1). Die Umsetzung benötigt allerdings viel Zeit und die Ergebnisse sind oftmals mit einer hohen Fehlerquote belegt.

Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher, am Beispiel von zwei Testgebieten deren Bevölkerungsverteilung aus Fernerkundungsdaten abzuleiten und mit weiteren Geoinformationsdaten zu aggregieren, zu vergleichen und zu validieren, um diese Methode im Falle des Rapid Mapping im Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) anwenden zu können. Die Ableitung der Bevölkerungsdaten wurden anhand von zwei unterschiedlichen Testgebieten, in Bezug auf deren geographischen (gemäßigte Zone, Tropen) und wirtschaftlichen Lage (Industrieland, Entwicklungsland) angewendet, um Grenzen und Möglichkeiten in der Datenakquise und der damit verbundenen Qualität des Endergebnisses miteinander zu vergleichen.

## **1.2 Anforderungen und Aufbau der Arbeit**

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden zur Generierung von Bevölkerungsverteilung aus Fernerkundungs- oder GIS-Daten, wobei eine dieser Methoden in der vorliegenden Arbeit anhand der Testgebiete München und Padang, einer Küstenstadt in Indonesien, zur Anwendung kommt.

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst alle nötigen grundlegenden Informationen und Definitionen, welche im Zusammenhang mit der Modellierung der Bevölkerungsverteilung tagsüber und nachts von Bedeutung sind, erklärt. Des Weiteren werden die Testgebiete beschrieben und deren Auswahl begründet, woraufhin im Anschluss ein Überblick der verwendeten Fernerkundungsdaten und zusätzlich benötigten Referenzdaten erfolgt.

Der methodische Teil umfasst einen Abriss der bisherig verwendeten Modellierungsmöglichkeiten zur Bevölkerungsverteilung, sowie die Begründung der Auswahl des hier angewendeten Ansatzes. Dieser wird im Weiteren bezüglich dessen Ausführung dokumentiert.

Die Ergebnisse der Bevölkerungsverteilung zu verschiedenen Zeiten (Tag und Nacht) werden daraufhin miteinander verglichen und auf deren Genauigkeit überprüft. Ebenso wird auf die Verfügbarkeit und Güte der verwendeten Referenzdaten eingegangen und eine Verbindung zur Qualität und Genauigkeit der Ergebnisse aufgezeigt. Ein Fazit und ein kurzer Ausblick der Bevölkerungsmodellierung für die Zukunft bilden den Schluss dieser Arbeit.

## **2. Grundlagen**

In folgenden Kapiteln werden wichtige Grundlagen, die für die Wahl der Testgebiete von Bedeutung sind, sowie für die Ableitung der Bevölkerungskarten tags und nachts relevant sind, erläutert.

### **2.1 Erdbeben und Tsunami**

Da das Testgebiet Padang in Indonesien an einer sehr aktiven Plattengrenze liegt, sind dort vermehrt zahlreiche Erdbeben zu verzeichnen, welche auch ein hohes Tsunamirisiko zur Folge haben (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2012). In diesem Kapitel wird auf die beiden Naturkatastrophen näher eingegangen. Die Auswirkungen der Katastrophen sind, abhängig von der Stärke, oft immens und erfordern daher für die Hilfskräfte zusätzlich Daten zur Verteilung der Bevölkerung.

Ein Erdbeben ist eine plötzliche, spür- und messbare Erschütterung des Erdbodens, welche durch Entladungen natürlich gespeicherter Energien unterirdischer Bewegungsprozesse an dem sogenannten Hypozentrum (Erdbebenherd) zustande kommen (HESS, 2003).

Die Erde besteht aus sieben großen tektonischen Platten (Lithosphärenplatten) und mehreren kleineren Platten, die beim Kollidieren aneinander reiben oder subduzieren (eine Platte schiebt sich unter eine andere Platte), wodurch Energie freigesetzt und somit ein tektonisches Beben hervorgerufen wird. Erdstöße können sowohl durch Einstürze, Eruptionen durch Vulkanismus, als auch durch anthropologische Eingriffe (Explosionen, Sprengungen) entstehen. Die meisten Beben sind jedoch tektonischen

Ursprungs und vorwiegend an den Rändern der Platten zu verzeichnen. Dieses wird in der unten stehenden Abbildung verdeutlicht (Abb. 2.1).

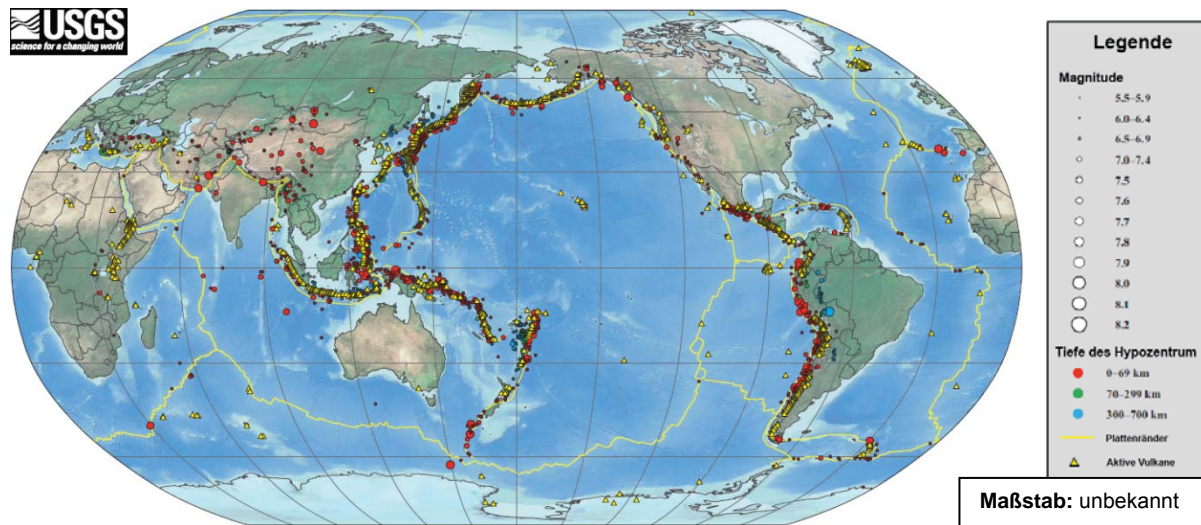


Abb. 2.1 Seismische Aktivität entlang der tektonischen Platten (USGS, 2012)

Ereignet sich ein Erdbeben unter Wasser (Seebeben), kann ein Tsunami entstehen. Dies ist vor allem der Fall, wenn sich tektonische Platten vertikal zueinander bewegen. Durch eine Lageveränderung der Wassersäule entstehen vertikale Schwingungen, die sich über das Gewässer ausbreiten. Ein Tsunami ist eine Reihe mehrerer unterschiedlich großer Wellen mit enormer Wellenlänge, die in unterschiedlichen Abständen auf die Küste treffen. Die Wellen eines Tsunamis breiten sich in tiefen Gewässern mit rasanter Geschwindigkeit aus und werden erst im Küstengewässer abgebremst. Da es sich bei einer Tsunamiwelle um eine Schwerewelle handelt, türmt sich die Wassersäule an der Küste zu einer Riesenwelle mit unvorstellbarer Zerstörungskraft auf, die mehrere hundert Meter in das Landesinnere vordringt und alles mit sich reißt. Wohingegen die Gefahr auf dem Wasser, mit größerer Entfernung zur Küste, aufgrund der deutlich geringeren Wellenhöhe um ein Vielfaches geringer ist und oftmals trotz der Wellenlänge nicht als Tsunami erkannt wird.

Die meisten Tsunamis treten entlang des pazifischen Feuerrings auf, wodurch Japan als eine durch Tsunamis hochgradig gefährdete Region ausgewiesen wird (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2012 & COENRAADS & KOIVULA, 2008). Aber auch im Indischen Ozean werden immer wieder katastrophale Tsunamis vermerkt. Beispielsweise forderte der Tsunami im Dezember 2004, der vor der Küste Indonesiens entstand, mehr als 220.000 Menschenleben (SCHMIDT, 2011). Zu diesem Zeitpunkt

existierte im Indischen Ozean noch kein Tsunami-Frühwarnsystem, welches die Menschen vor der Katastrophe hätte warnen und sie dazu bewegen können, in höhere Lagen zu flüchten.

Zwei Jahre später wurde im Sommer 2006 mit deutscher Hilfe in Indonesiens Hauptstadt Jakarta ein Tsunami-Frühwarnsystem in Betrieb genommen, welches die Bevölkerung in Zukunft vor weiteren Tsunamis warnen soll (SIEBERT). Jedoch ist dieses keine Garantie, dass Menschen nicht zu Schaden kommen. Nicht alle Menschen können sich rechtzeitig in Schutz bringen. Verschüttete und Verletzte sind daher auf die Hilfe von Rettungsteams angewiesen, welche mit der Zusatzinformation der Bevölkerungsverteilung vor dem Eintreten der Naturkatastrophe schnellere Hilfe leisten können.

## **2.2 Bevölkerungsgeographie und Stadtstruktur**

Die Struktur einer Stadt ist unter anderem ausschlaggebend für die Aufenthaltsorte der Bevölkerung. Um den Begriff der Bevölkerungsgeographie zu definieren, soll zuvor erläutert werden, was sich hinter dem Begriff Bevölkerung verbirgt. Bevölkerung beschreibt die Anzahl der Einwohner eines Gebietes zu einem bestimmten Zeitpunkt (BÄHR, 2004). Daraus definiert sich die Bevölkerungsgeographie wie folgt (BÄHR, 1988, S. 8).

*„Die Bevölkerungsgeographie analysiert auf verschiedenen Maßstabsebenen die räumliche Differenzierung und raumzeitlichen Veränderungen der Bevölkerung nach ihrer Zahl, ihrer Zusammensetzung und ihrer Bewegung; sie versucht, die beobachteten Strukturen und Prozesse zu erklären und zu bewerten sowie ihre Auswirkungen und räumlichen Konsequenzen in Gegenwart und Zukunft zu erfassen.“*

Struktur und Veränderung der Bevölkerung lassen sich laut BÄHR (2004) nicht trennen, da sich beide Bereiche gegenseitig beeinflussen. Folglich soll in dieser Arbeit auch auf die Struktur der jeweiligen Stadt im Testgebiet eingegangen werden.

Bereits vor über 5.000 Jahren erhoben sich im Vorderen Orient die ersten Städte (BÄHR, 2004). Im Laufe der Jahrtausende wuchsen die Städte und die Anzahl der Stadtbevölkerung stieg auf etwa 50% der Weltbevölkerung (BÄHR, 2004). Dieser

Prozess der Vergrößerung der Städte in Bezug auf Bevölkerung und Fläche wird als Verstädterung bezeichnet (HEINEBERG, 2004). 46% der Weltbevölkerung lebten im Jahre 2001 in Städten (HEINEBERG, 2004). Dies hängt hauptsächlich mit den Wanderungen vom Land in die Stadt, in Industrie- und Entwicklungsländern, sowie durch die rasante Zunahme der Bevölkerungszahlen (Baby-Boom) in Dritte-Welt-Ländern zusammen (LEIB & MERTINS, 1983). Unter Urbanisierung ist jedoch auch die Ausdehnung von Wirtschafts- und Lebensweisen zu verstehen (BÄHR, 2004).

Die Struktur einer Stadt ist von mehreren unterschiedlichen Faktoren wie etwa der Lage, Funktion, Form, Gestalt und Größe sowie der inneren Gliederung geprägt. Flächen- und Gebäudenutzung sind die bedeutendsten Merkmale der inneren Gliederung einer Stadt. Dieses Wissen ist von großer Bedeutung für die Generierung von Tag- und Nachtkarten. Des Weiteren untergliedert sich eine Stadt in mehrere Teilräume: Der zentral gelegene Stadtteil, in dem der überwiegende Teil der versiegelten Fläche aus Gebäuden besteht, welche zum größten Teil kommerziell und administrativ genutzt werden, wird als City bezeichnet. Beispielsweise sind in der westlich geprägten Stadtstruktur um die City herum die citynahen Wohn- und Gewerbeviertel angeordnet, daraufhin folgt die Außenzone. Diese umfasst Wohnsiedlungen, Siedlungen mit gärtnerisch-landwirtschaftlicher Nutzung, welche meist aus älteren Ortskernen und Vorstädten gebildet sind. Diese Merkmale sind typisch für eine westliche Stadtstruktur.

Dabei ist der Aufbau und die Funktion der Stadt von der geographischen Lage, Entwicklungsstand und der Entstehungszeit abhängig. Weltweit existieren daher die unterschiedlichsten Strukturen von Städten, die ausschlaggebend sind für die Aufenthaltsorte der Bevölkerung.

## 2.2.1 Bevölkerungsdichte und Bevölkerungsverteilung

Vor allem die Verteilung der Bevölkerung innerhalb einer bestimmten Einheit spielt unter anderem eine große Rolle, da die Bevölkerung nicht gleichmäßig, wie es die Bevölkerungsdichte innerhalb einer definierten Fläche beschreibt, verteilt ist. Die Unterschiede in der Bevölkerungsverteilung sind abhängig von der jeweiligen Nutzung der beobachteten Fläche (Wohnviertel, Industrieviertel).

Die städtische Bevölkerung vor allem in Dritte-Welt-Ländern konzentriert sich hauptsächlich auf die Innenstadt, wohingegen bereits seit den 20er Jahren in vielen Industrieländern aufgrund der Industrialisierung und Motorisierung eine Suburbanisierung zu vermehren ist (BÄHR, 2004). Dabei hat sich ein Großteil der Bevölkerung in den Vorstädten oder am Rande der Stadt angesiedelt und der Stadtkern besteht aus den Arbeitsplätzen in Industrie und Geschäften. „Die Bevölkerungsdichte gehört zu denjenigen Größen, deren Verteilungsmuster regelhafte Veränderungen vom Stadtzentrum zur Peripherie zeigt“ (BÄHR, 2004). Das Verhältnis der Bevölkerung zur Fläche wird durch die Bevölkerungsdichte beschrieben (BÄHR, 2004) und meist in Einwohner je km<sup>2</sup> angegeben.

Die Bevölkerungsverteilung beschreibt die Streuung der Bevölkerung in einem bestimmten Gebiet nach ihrer Anzahl (BÄHR, 2004). Im raum-zeitlichen Kontext ist hierbei der Aufenthaltsort der Bevölkerung zu einem bestimmten Zeitpunkt gemeint. Nachfolgende Grafik (Abb. 2.2) zeigt die Grundformen räumlicher Bevölkerungsverteilung.

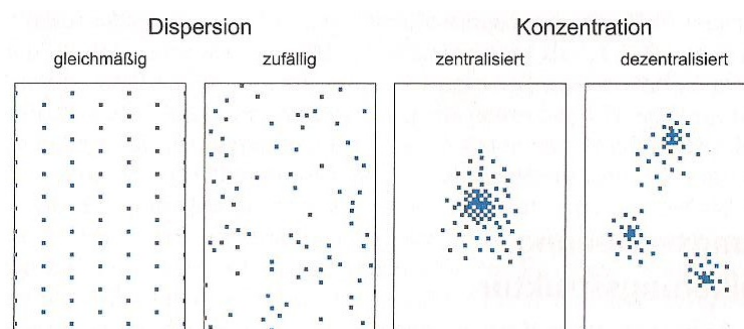


Abb. 2.2 Formen der Bevölkerungsverteilung (BAHRENBURG G. & GIESE E., 1975)

Daten zum Bevölkerungsstand sind über regionale Ämter für Statistik, aber auch über internationale weltweite Datenbanken frei verfügbar und werden meist zu einem festgelegten Stichtag erhoben (BÄHR, 2004). Ein Zehnjahresintervall einer

Volkszählung (Zensus) ist typisch (BÄHR, 2004), alle anderen Daten zwischen den Datenerhebungsstichtagen werden durch Schätzungen errechnet. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Aktualität und Genauigkeit stark abhängig ist vom Entwicklungsstand des Landes (LEIB & MERTINS, 1983). Man rechnet mit einer Fehlerquote von 5% und mehr, vor allem in afrikanischen Ländern (BÄHR, 2004). Zudem lassen sich erhebliche Unterschiede in der Auflösung der Daten, abhängig von der Region welche sie beschreiben, feststellen (BÄHR, 2004). So stehen in manchen großen städtischen Siedlungen auch Bevölkerungsdichtewerte für einzelne Stadtbezirke zur Verfügung (v.a. Industrieländer). Daten zur Bevölkerungsverteilung sind jedoch gar nicht vorhanden oder werden nur durch Erhebung von Stichproben oder Hochrechnungen bereitgestellt und sind daher sehr ungenau (BÄHR, 2004).

Amtliche Statistiken und Erhebungen von Bevölkerungsdaten beruhen allerdings auf Hochrechnungen, Schätzungen und Stichproben (STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER, 2006). Des Weiteren sind diese Daten oftmals nicht aktuell und es werden in einigen Regionen, vor allem in Entwicklungsländern, teilweise keine oder nur in großen Abständen Erhebungen durchgeführt (LEIB & MERTINS, 1983 & BÄHR, 2004). Zudem ist die Verfügbarkeit besser aufgelöster Daten, oftmals aus Gründen des Datenschutzes nicht immer gewährleistet oder mit Kosten zur Beschaffung verbunden. Die Recherche und Datenakquise ist daher mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Um die Bevölkerungsdaten zum Zwecke der Bevölkerungsverteilung in urbanen Räumen nutzen zu können, müssen diese auf kleinere administrative Einheiten, auf der Grundlage unterschiedlicher Methoden (Kapitel 4.1) umverteilt werden.

### **2.2.2 Bevölkerungsbewegung**

Seit der Existenz des Menschen kommt es weltweit zu Bevölkerungsbewegungen (ENGELHARD et al., 2004). Unterschieden wird nach natürlicher und räumlicher Bevölkerungsbewegung (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2010). Die natürliche Bevölkerungsbewegung wird beschrieben durch Geburten- und Sterbefälle und beeinflusst die Bevölkerungsstruktur und -zahl (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2010). In diesem Zusammenhang ist sie jedoch nicht von Bedeutung, wohingegen die räumliche Bevölkerungsbewegung den



temporären oder permanenten Wohnsitzwechsel über Grenzen hinweg wiedergibt (BUNDESINSTITUT FÜR BEVÖLKERUNGSFORSCHUNG, 2012). Die Dynamik räumlicher Bevölkerungsbewegung variiert stark. Unter räumlicher Wanderung, auch Mobilität genannt, versteht man den Wechsel des Wohnsitzes. Indes machen Wanderungen ohne Wohnsitzwechsel, die Zirkulation, wie in etwa Pendelverkehr zur Arbeitsstätte, Versorgungslokalitäten und Freizeiteinrichtungen sowie Besuche und Urlaub, ebenso eine räumliche Bevölkerungsbewegung aus (BÄHR, et al., 1992 & HEINEBERG, 2004). Das Wissen über Pendlerverhalten und Pendlerzahlen der Bevölkerung in einem beobachteten Gebiet ist von großer Relevanz für die Disaggregation von Bevölkerungsverteilung zu verschiedenen Tageszeiten. Hierfür existieren bisweilen keine detaillierten Daten, welche aufzeigen zwischen welchen Orten (Arbeitsstätten) die Bevölkerung wandert. Das Wanderungsverhalten der Bevölkerung korreliert jedoch auch mit dem Alter der Personen und der damit verbundenen beruflichen Pflichten. Hiervon existieren teilweise Bevölkerungsstatistiken, aus welchen man ein Ausmaß der Bevölkerungsbewegung ableiten kann (vgl. Kapitel 4.4).

Nachstehende Grafik skizziert die Aufenthaltsorte der deutschen Bevölkerung tagsüber abhängig von deren Alter (Abb. 2.3). Die Altersstruktur und die Aufenthaltsorte des indonesischen Testgebietes beschreibt Abbildung 3.12.

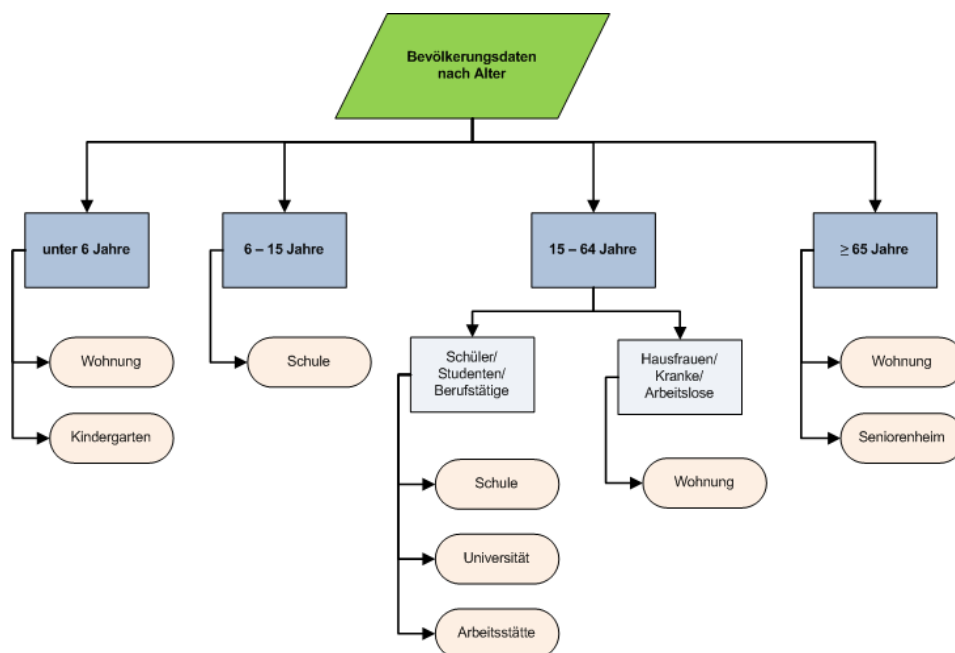


Abb. 2.3 Aufenthaltsorte der Bevölkerung tagsüber (Deutschland)

Für die Generierung von Karten zur Bevölkerungsverteilung tags und nachts können unregelmäßige Bevölkerungswanderungen (Urlaub, Besuch, Freizeit) nicht integriert werden, da hierüber keine Informationen bekannt sind. Jedoch ist es von Vorteil wenn Kartennutzer (Hilfsorganisationen) sich im Vorfeld über mögliche Sondersituationen (z.B. Ferienzeit, große einmalige Attraktionen wie beispielsweise die Olympischen Spiele) informieren und sich dadurch bewusst sind, dass die Bevölkerungsverteilung zu diesen Zeitpunkten nicht die „normale Situation“ einer Bevölkerungsverteilung wiedergibt, sondern in bestimmten Regionen stärker ausgeprägt sein kann.

### **2.3 Fernerkundung**

Hinsichtlich der nicht immer gewährleisteten Verfügbarkeit von statistischen Datengrundlagen zur Bevölkerungsverteilung und -dichte und auch der Qualitätsunterschiede werden Fernerkundungsdaten zur Genauigkeitssteigerung mit erhältlichen statistischen Daten aggregiert. Dabei beschreibt die Fernerkundung ein Verfahren, welches reflektierte elektromagnetische Strahlung beobachteter Objekte der Erdoberfläche zur Informationsgewinnung mittels Sensoren in Fahrzeugen für Luft und Raum (meist Flugzeuge und Satelliten) aufnimmt um Erdoberfläche, Atmosphäre und Meeresoberfläche zu beobachten (ALBERTZ, 2001).

Mit Hilfe der aus Fernerkundung gewonnenen Daten und ergänzenden GIS-Daten, worauf später noch eingegangen wird (Kapitel 3.3), sollen in den Testgebieten Informationen über Bevölkerungsverteilung, Bevölkerungsdichte und raum-zeitlichen Wanderungsprozessen zur Generierung von Tag- und Nachtkarten integriert und errechnet werden. Im ungünstigen Fall, in dem keine statistischen Daten zur Verfügung stehen, kommen Informationen aus Fernerkundungsdaten als alleinige Informationsquelle (Landnutzung) zur Erzeugung von Bevölkerungsdaten in einer Karte zum Einsatz.

## 2.4 Tag- und Nachtkarten

Wie bereits erwähnt, ist für Such- und Bergungsteams das Wissen über den Aufenthalt der Bevölkerung während eines Katastrophenereignisses von enormer Bedeutung. Es kann über das Überleben vieler Menschen entscheiden, da zielgerichtet Hilfe geleistet werden kann. Für die SEEBA (Schnell-Einsatz-Einheit-Bergung-Ausland), welche die Qualitätskriterien der International Search and Rescue Advisory Group (INSARAG) der Vereinten Nationen erfüllt und im Katastrophenfall, unter Koordination des THW (Technisches Hilfswerk) im In- und Ausland die Such- und Bergungsteams bilden (BUNDESANSTALT TECHNISCHES HILFSWERK), sind diese zusätzlichen Informationen neben Referenzkarten, Schadenskarten, Risikokarten etc. für deren Arbeit von ausschlaggebender Wichtigkeit.

Unter der Annahme, dass sich die meisten Menschen tagsüber an ihren Arbeitsstätten und nachts in Ihren Wohnungen und Häusern aufhalten, können sogenannte Tag- und Nachtkarten generiert werden.

Diese Karten zählen zur Bevölkerungskartographie, welche einen Teilbereich der thematischen Kartographie darstellt. Dabei veranschaulichen Bevölkerungskarten die momentanen Bevölkerungszahlen und -schichten im Bezug auf deren Verteilung, Dichte, Struktur sowie die räumlich konstanten oder sporadischen Veränderungen (WITT, 1971).

Mit Hilfe von Statistiken und Zensus-Befragungen, welche die Wohnsitze der Bevölkerung aufführen (Nacht-Zustand), können sog. Nachtkarten erstellt werden. Eine Tagkarte kann beispielsweise mittels der Raum-zeitlichen-Methode, welche in dieser Arbeit zum Einsatz kommt (Kapitel 4.4.1 und 4.4.2), unter Einbeziehung unterschiedlicher Parameter wie Bevölkerungsdichte, Altersstruktur, Landnutzung und Validierungsgrundlagen abgeleitet werden. Wünschenswert bei der Erstellung von Tag-/Nachtkarten im urbanen Raum ist eine Genauigkeit der Bevölkerungsverteilung auf die kleinste mögliche Einheit (Einzelgebäude).

Flächendeckende gebäudespezifische Bevölkerungsdaten existieren bisweilen auch in Deutschland nicht, es werden lediglich Stichproben (Zensuserhebung) durchgeführt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010). Mit Hilfe unterschiedlicher Methoden, welche im Weiteren erläutert werden (Kapitel 4.1), können diese Bevölkerungsdaten auf Einzelgebäude in unterschiedlicher Genauigkeit und Qualität hergeleitet werden.

### 3. Testgebiete und Datenakquisition

Die Genauigkeit und Qualität von Tag- und Nachtkarten ist erheblich von der Güte und Art zur Verfügung stehender Referenzdaten abhängig und unterscheidet sich je nach Gebiet sehr stark voneinander. Doch zunächst werden die Testgebiete vorgestellt und die Auswahl dieser begründet sowie die Beschaffenheit der Referenzdaten diskutiert.

#### 3.1 Testgebiete

Die Qualität der Referenzdaten wird anhand zweier unterschiedlicher Testgebiete, der indonesischen Küstenstadt Padang, sowie der deutschen Stadt München verdeutlicht. Hierbei soll das Beispiel München die Rolle eines „best case“ (Industrieland; gute Datenlage) darstellen. Padang hingegen charakterisiert ein „worst case“-Szenario (Entwicklungsland, schlechte Datenlage), da die hierfür existierenden statistischen Daten zur Bevölkerungsverteilung nicht so hochauflösend sind und die kleinste räumliche Einheit mit Bevölkerungsdichtedaten die Ebene der Stadtteile umfasst. Im Gegensatz dazu stehen die statistischen Daten der deutschen Stadt, bei welchen Bevölkerungsdaten der einzelnen Stadtbezirksviertel existieren. Dies verdeutlicht die Genauigkeit der Daten zwischen Industrieland (Deutschland) und Entwicklungsland (Indonesien).

##### 3.1.1 München

Eingebettet zwischen Alpen und Donau liegt die Landeshauptstadt des Freistaates Bayern auf einer Höhe von 482 bis 579 Metern über dem Meeresspiegel (STATISTISCHES AMT MÜNCHEN, 2011).

Mit einer Gesamtfläche von 310,71 km<sup>2</sup> und einer Einwohnerzahl von über 1,4 Millionen (PORTAL MÜNCHEN, 2012) weist München eine derzeitige Bevölkerungsdichte von 4570,18 Einwohnern je km<sup>2</sup> (  $\text{Bevölkerungsdichte} = \frac{\text{Einwohnerzahl}}{\text{Bevölkerte Fläche}}$  ) mit steigendem Trend auf (LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN REFERAT FÜR STADTENTWICKLUNG UND BAUORDNUNG, 2011). Seit 2000 zählt München zur am schnellsten wachsenden Stadt in der Bundesrepublik Deutschland. Dies liegt zum einen an der Attraktivität der Großstadt aufgrund der geographischen Lage und

zum anderen an der Branchenvielfalt sowie den niedrigeren Arbeitslosenzahlen (im Vergleich zum Rest der Bundesrepublik Deutschland) (KÜRBIS, 2010). Aufgrund dessen kommt es zur Migration aus In- und Ausland.

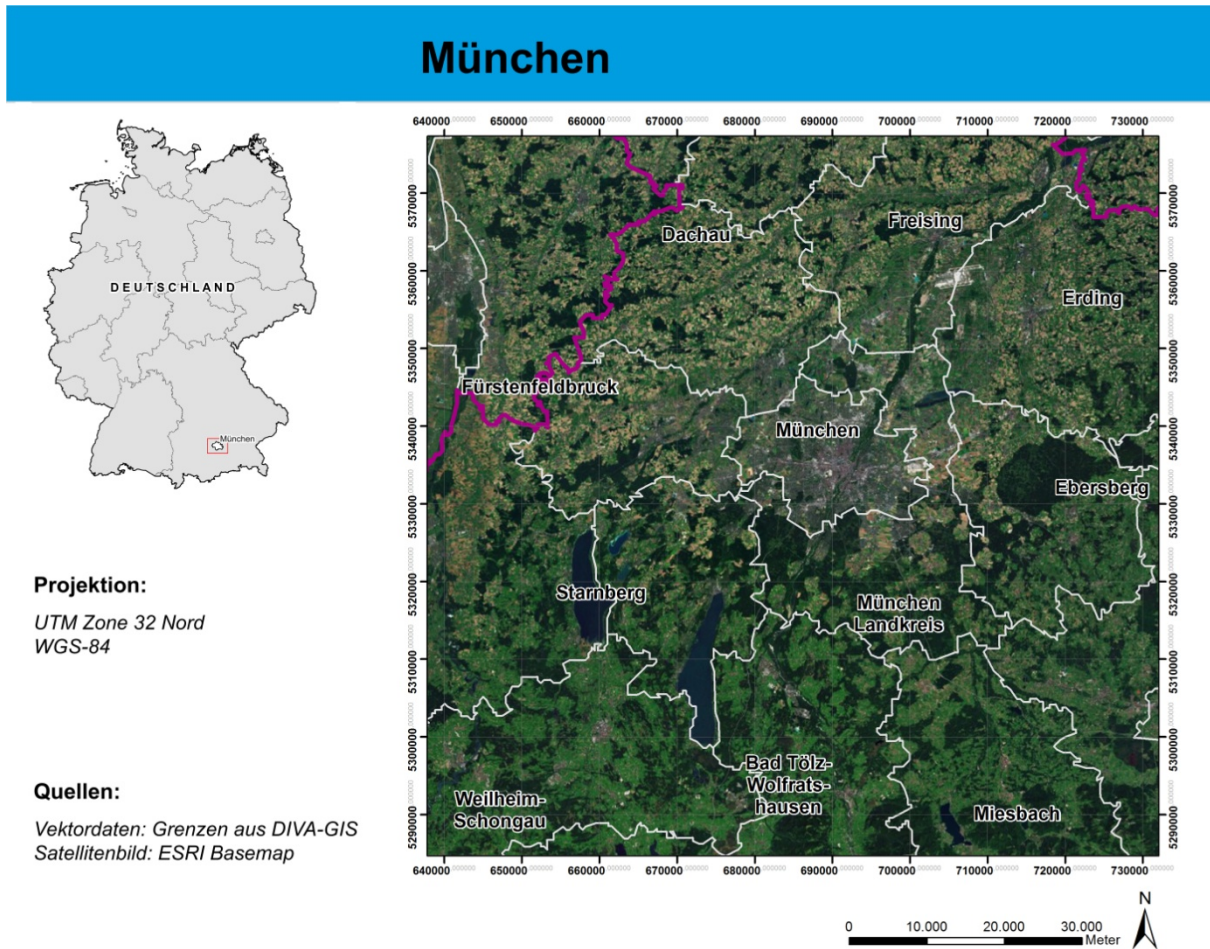


Abb. 3.1 Testgebiet München

Administrativ ist München in 25 Stadtbezirke und diese weiter in Bezirksviertel gegliedert (z.B. 01 Altstadt-Lehel, 01.1 Graggenau, Bezirksviertel 1-4) (vgl. Statistische Daten durch Statistisches Amt München-ZIMAS).

BEVÖLKERUNG. Kleinräumliche Gliederung Stadtbezirke Teile und Viertel Summen zum Monatsletzten Datenquelle: Statistisches Amt - ZIMAS - Bitte beachten Sie die entsprechenden Erläuterungen in den Metadaten.

Monat und Jahr: **Dezember 2011**  
Datenpunkt: **Hauptwohnsitzbevölkerung**

Bezirk	Bezirksteil	Bezirksviertel	Deutsch			Ausländer			Insgesamt
			männlich	weiblich	Summe	männlich	weiblich	Summe	
01 Altstadt - Lehel	01.1 Graggenau	111	26	21	47	-	-	-	52
		112	28	19	47	11	7	18	65
		113	681	642	1.323	309	247	556	1.879
		114	175	153	328	65	65	130	458
		Summe Bezirksteil	910	835	1.745	387	322	709	2.454
	01.2 Angerviertel	121	94	78	172	31	24	55	227
		122	503	418	921	175	154	329	1.250

Abb. 3.2 Statistische Daten (kleinräumige Gliederung) der Hauptwohnsitzbevölkerung München (STATISTISCHES AMT DER LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN, 2012)

Obwohl der Süden von Deutschland und damit auch die Metropolregion München eher selten von schwerwiegenden Naturkatastrophen betroffen ist, verzeichnet der Erdbebendienst, eine Kooperation der Ludwig-Maximilians-Universität München und des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, nahezu täglich kleinere, meist nicht spürbare Erdbeben (LMU & BAY. LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008). Dabei stellt sich die Frage, ob dieser Zustand dauerhaft ist oder die Beben an Stärke und damit verbundenen Schäden zunehmen. Aber auch Stürme und Überschwemmungen wurden in den letzten Jahren immer wieder verzeichnet, glücklicherweise mit eher geringen Schäden für Mensch und Umwelt. Jedoch können Naturkatastrophen nie ausgeschlossen werden. Humanitär verursachte Katastrophen und Unfälle (Gasunfälle, Unfälle von Atomkraftwerken, Ölkatastrophen etc.) können den Lebensraum auch in München bedrohen und Menschenleben fordern.

Der typische Aufbau, mit Industrie und Gewerbe im Norden und Osten der Stadt und der Altstadt als Zentrum sind charakteristisch für eine mitteleuropäische Stadt. Das Gesicht der Stadt wurde durch die unterschiedlichen Epochen der Geschichte beeinflusst.

Aufgrund der Vermutung, dass in europäischen Regionen und vor allem in deutschen Städten bessere statistische Daten zur Verfügung stehen, wurde diese Region gewählt, um einen Vergleich der Qualität solcher Daten mit der indonesischen Küstenstadt Padang herzustellen.

### **3.1.2 Padang**

Auf Sumatra, einer der größten Inseln Indonesiens, liegt eingebettet zwischen der Meerenge Selat Mentawai und dem Fuß des Bukit Barisan Gebirges im Westen, die Hafenstadt Padang, welche auch Provinzhauptstadt von Sumatera Barat ist. Padang ist eine wichtige Handelsstadt für Produkte aus der Agrarwirtschaft und anderer Handelswaren (MINISTRY OF TOURISM AND CREATIVE ECONOMY, 2008).

Die Stadt zählt nahezu 1 Million Einwohner, wovon 80% der Menschen im Küstenbereich leben und einer jährlichen Wachstumsrate von 2% unterliegen (LÄMMEL, et al., 2008 & RUSNARDI, et al., 2011).



# Padang

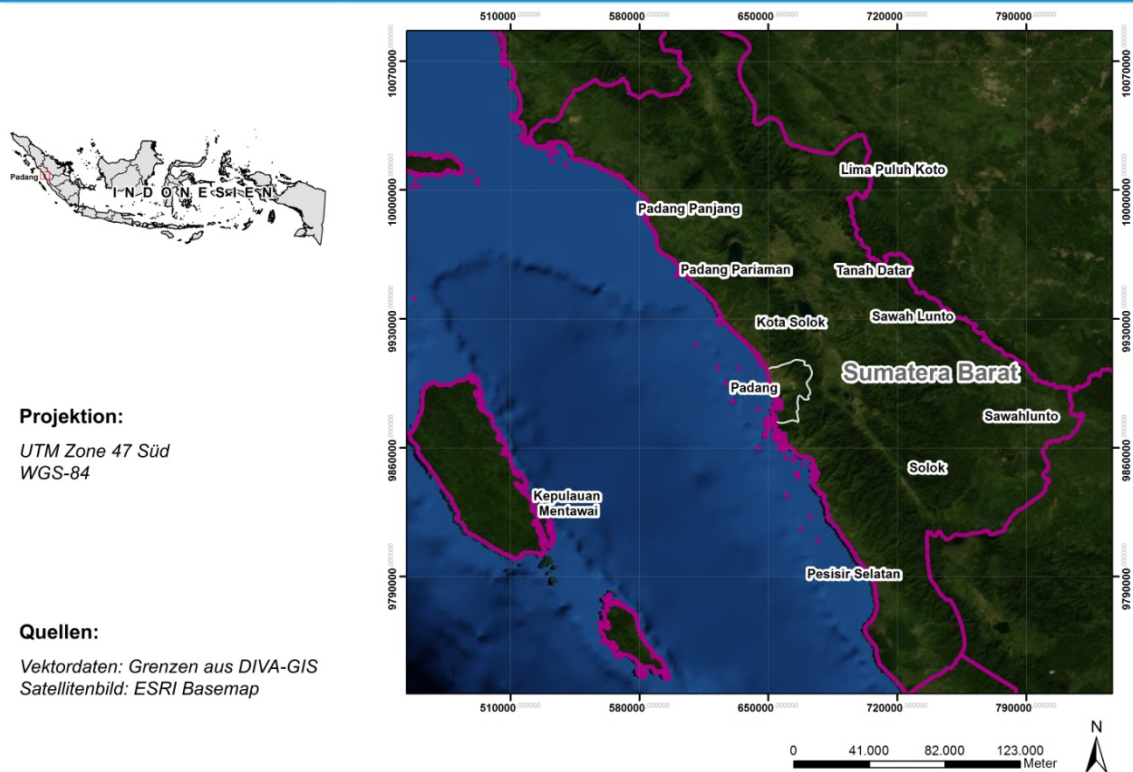


Abb. 3.3 Testgebiet Padang

Die 695 km<sup>2</sup> große Stadtfläche ist in 11 Stadtbezirke gegliedert. Davon entfallen 51% auf Waldflächen, 28,52% auf landwirtschaftliche Nutzflächen, 9,54% auf Gebäudeflächen sowie 7,1% auf Reisfelder. Das Geschäftszentrum mit 6 der 11 Stadtteile liegt nahe der Küste. Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte vor allem in Küstennähe, ist die Gefahr im Falle eines Tsunamis für die Bevölkerung besonders hoch. Je höher die Bevölkerungsdichte, desto mehr Zeit wird für Evakuierungsmaßnahmen benötigt und umso weniger Menschen können rechtzeitig in Sicherheit gebracht werden. Auch die direkte Strandlage bedeutet für die dort lebenden Menschen einen längeren Evakuierungsweg. Die meisten Gebäude sind in Bauweise, Material (Holz), Gebäudehöhe (v.a. 1-2 stöckig) und Struktur, in Bezug auf Erdbebensicherheit und Standhaftigkeit im Falle eines Tsunamis nicht besonders hochwertig (RUSNARDI, et al., 2011). Dies spiegeln die Schäden des Erdbebens der Stufe 7,1 auf der Richterskala vom Oktober 2009 wider (RUSNARDI, et al., 2011).

Annähernd 3.000 Erdbeben mit einer größeren Magnitude von 4 erschütterten zwischen den Jahren 1779 und 2010 die Region um Padang (RUSNARDI, et al., 2011). Ebenso treten immer wieder zahlreiche Tsunamis nahe der Küste Sumatras

auf, wie beispielsweise im Jahr 2004. Ursache ist die geographische Lage (Subduktionszone, Feuerring). Durch diese verheerenden Naturkatastrophen verlieren jedes Mal aufs Neue Tausende Menschen Leben und Unterkunft.

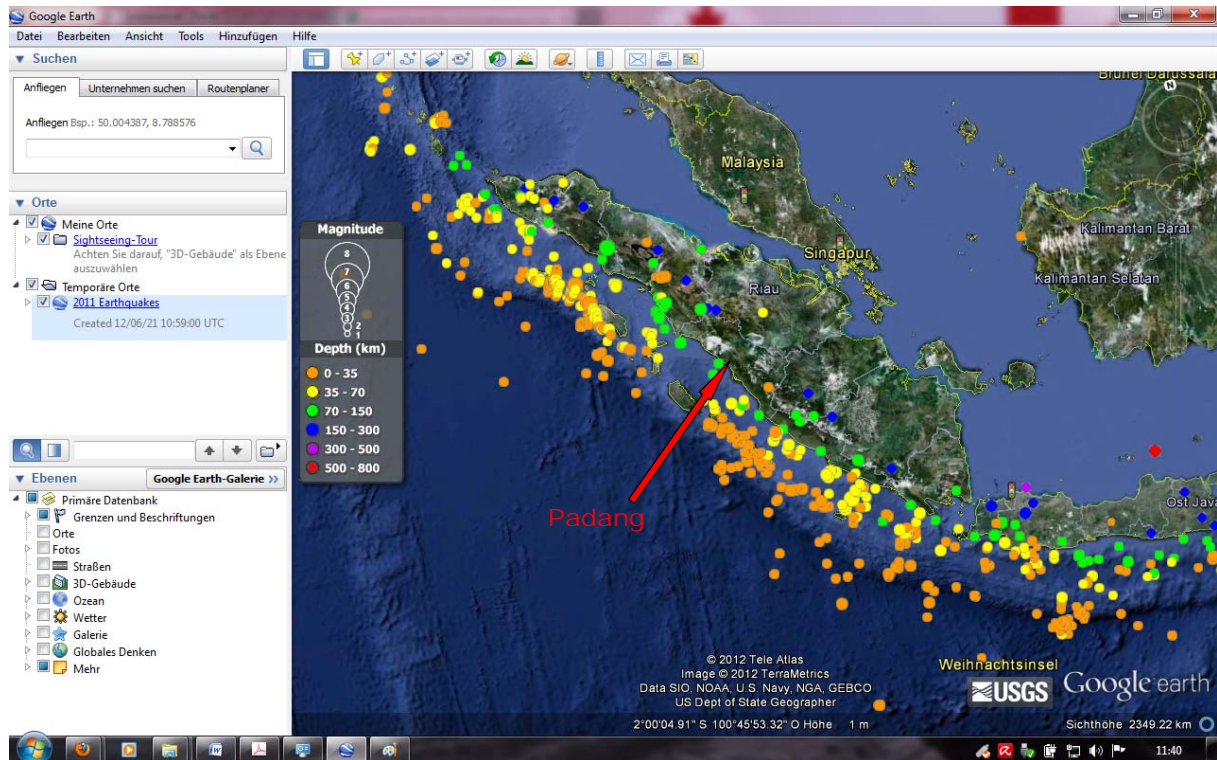


Abb. 3.4 Erdbeben im Jahr 2011 in Indonesien (USGS, 2012 & GOOGLE EARTH, 2012)

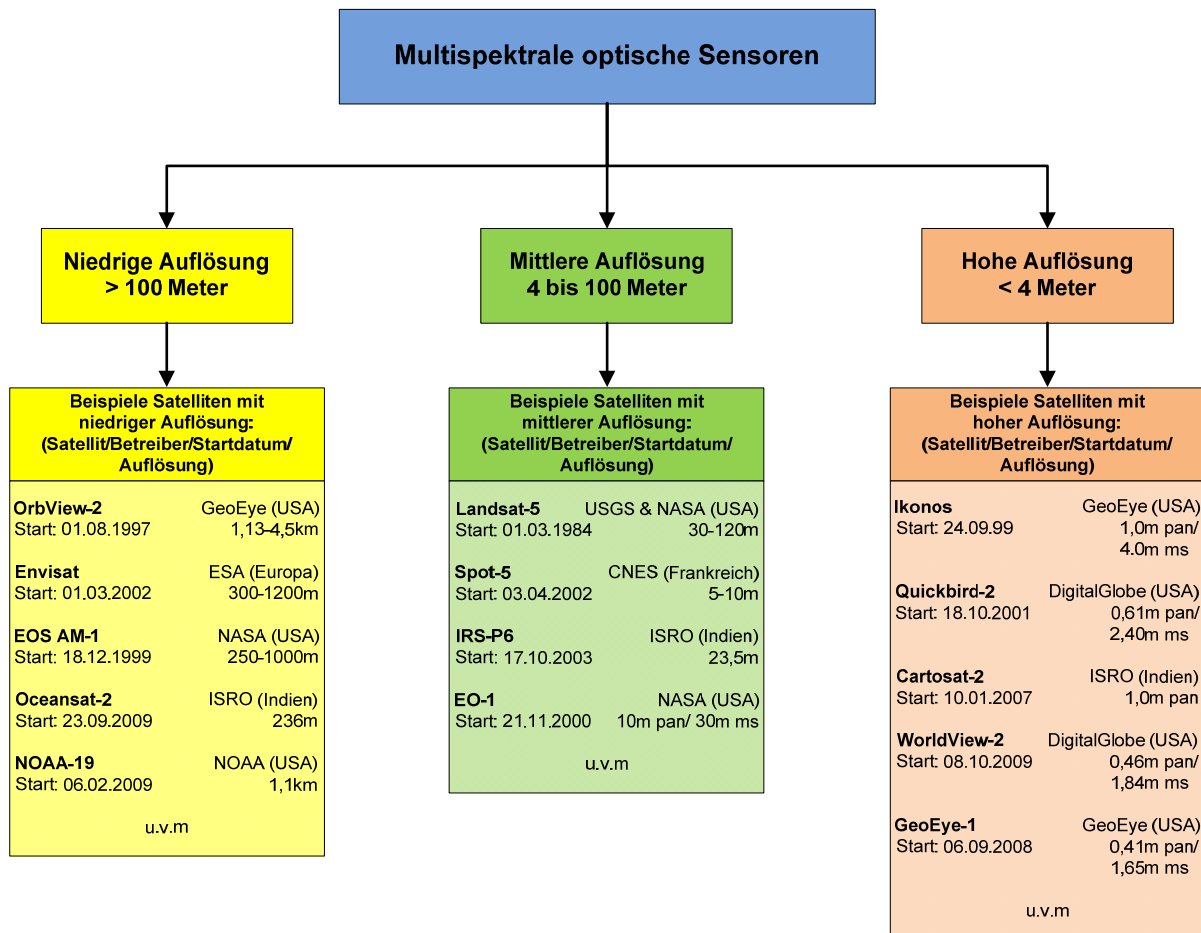
Aufgrund dieser tragischen, immer wiederkehrenden Ereignisse ist die Verfügbarkeit einer Bevölkerungskarte dieser Stadt für Hilfskräfte von enormer Bedeutung.

### 3.2 Satellitendaten und Landnutzung

Satellitendaten sind Daten, die aus der satellitengestützten Fernerkundung gewonnen werden. In der Vielzahl vorhandener Aufnahmesysteme ist es von großer Bedeutung, sich über die jeweiligen Eigenschaften wie Spektralbereich, geometrische Auflösung, Verfügbarkeit sowie mögliche Kosten zu informieren.

Erreichen die auf dem Satelliten installierten optischen Sensoren eine Auflösung von unter 4 Metern spricht man von hochauflösenden Satellitenbildern, welche hier zum Einsatz kommen.





*Abb.3.5 Geometrische Auflösung multispektraler optischer Sensoren*

Mittels hochauflösender Satellitendaten kann durch eine objektbasierte Klassifikation ein gutes Ergebnis einer Gebäudeextraktion erzielt werden (LEUKERT, 2002). Diese Information wird durch eine Klassifikation mit dem Ergebnis vorhandener Landnutzungsarten abgeleitet. Landnutzungsarten geben Auskunft über Art und Nutzung der Bodenflächen. Die objektbasierte Klassifikation berücksichtigt neben spektralen Eigenschaften auch Form, Größe und Nachbarschaftsbeziehungen der Objekte. Eine Anwendung klassischer pixelbasierter Klassifikationsverfahren auf hochauflösende Satellitenbilddaten erzielt laut LEUKERT (2002) zumeist unbefriedigende Ergebnisse. Um eine möglichst gute Disaggregation der Bevölkerungsverteilung auf einzelne Gebäude zu verwirklichen, ist das Gesamtergebnis stark von der Qualität des Ergebnisses der Landnutzung, aus welcher die Gebäudeextraktion abgeleitet wird, abhängig. Diese Information der Landnutzungsarten ist von großer Wichtigkeit, um Aufenthaltsorte der Bevölkerung zu Tages- und Nachtzeit bestimmen zu können. Hierbei geht es hauptsächlich darum, Industriegebäude von Wohngebäuden zu unterscheiden, aber auch versiegelte Flächen (Straßen), Wasserflächen sowie Grünflä-

chen zu erkennen, um daraus eine Maske abzuleiten, welche mit den Siedlungsflächen in einem GIS-Programm verschnitten werden.

Urbane Räume weisen einen großen Anteil unterschiedlicher Landnutzungsarten und Erscheinungsformen auf. Hierzu zählen unter anderem Bebauungsgrad, Vegetationsarten, Heterogenität der Objekte und unterschiedliche Materialien der Gebäudedächer. Das charakteristische Erscheinungsbild von Städten, mit gravierenden Unterschieden von spektralen und geometrischen Eigenschaften, machen eine Analyse der Daten in Bezug auf deren Landnutzung zu einer komplexen Angelegenheit. Ausschlaggebend ist der hohe Detailreichtum hochauflösender Satellitenbilder, welche zum einen eine Vielzahl von Objekten erkennen lassen, zum anderen jedoch homogene Objekte oftmals nicht als solche innerhalb einer Segmentierung identifiziert (BAUER & STEINNOCHER, 2000). Die Ableitung der Landnutzungsarten in den Testgebieten wird später weiter ausgeführt und erläutert.

### **3.2.1 Eigenschaften WorldView-2**

Für das Testgebiet München wurden Daten über die Firma European Space Imaging, welche hochauflösende Satellitenbilddaten für Kunden aus Europa und Nord-Afrika vertreibt, bestellt und bereitgestellt (EUROPEAN SPACE IMAGING, 2012).

Die Daten wurden gekachelt in der Projektion UTM (Universal Transverse Mercator) Zone 32 Nord, im geodätischen Referenzsystem WGS-84 (World Geodetic System 1984) und allen Kanälen ausgeliefert. Bei dem Koordinatensystem UTM handelt es sich um eine Zylinderabbildung der Erdkugel, welches die Abbildung der Erdkugel vertikal und horizontal in Streifen teilt. Deutschland liegt dabei hauptsächlich in der Zone 32 Nord. Das WGS-84 liefert einen „Kompromiss aus regionaler Genauigkeit und weltweiter Anwendbarkeit“ (GEOINFORMATIK GmbH, 2011, S. 349) und stellt ein geographisches Koordinatensystem dar. Es dient der Transformation von projizierten Koordinatensystemen z.B. UTM in ein globales Bezugssystem (GEOINFORMATIK GmbH, 2011).

Tabelle 3.1 veranschaulicht die wichtigsten Eigenschaften des WorldView-2 Satelliten sowie der verwendeten Szenen.

<b>WorldView-2</b>	
<b>Betreiber und Land</b>	DigitalGlobe/ USA
<b>Startdatum</b>	08.10.2009
<b>Umlaufzeit</b>	100 min
<b>Bahnneigung</b>	98,6°
<b>Orbit</b>	770 km
<b>Repetitionsrate</b>	1.1 Tag
<b>Streifenbreite</b>	16,4 km
<b>Geometrische Auflösung</b>	0,46 m (panchromatisch)
<b>Auflösung</b>	1,8 m (multispektral)
<b>Spektrale Auflösung</b>	(panchromatisch) 400-450 nm (CoastalBlue) 450-510 nm (blau) 510-580 nm (grün) 585-625 nm (gelb) 630-690 nm (rot) 705-745 nm (rededge) 770-895 nm (nahes Infrarot 1) 860-1040 nm (nahes Infrarot 2)
<b>Verwendete Szenen</b>	
<b>Aufnahmedatum</b>	1. Szene: 12.07.2011 2. Szene: 22.08.2011
<b>Bewölkung</b>	0%

*Tab. 3.1 Details des Satelliten WorldView-2 und verwendete Szene*

Zur weiteren Verwendung und aufgrund der Kachelung der beiden Bilder war eine Mosaikierung zur Erzeugung eines Bildes notwendig, bei welcher das Mosaik-Tool der Software ERDAS Imagine 2011 zur Anwendung kam.

### 3.2.2 Eigenschaften Ikonos

Für das Testgebiet in Indonesien stand bereits eine hochauflösende Satellitenbildszene des kommerziellen Satelliten Ikonos zur Verfügung. Der Datensatz war ebenfalls eine Mercatorprojektion (UTM) der Zone 47 Süd und bereits im Bestand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und musste zur weiteren Verwendung nicht weiter vorprozessiert (Mosaik etc.) werden. Das Bild beinhaltet jedoch nur die Kanäle rot, grün und blau.

<b>Ikonos</b>	
<b>Betreiber und Land</b>	GeoEye (früher Space Imaging)/ USA
<b>Startdatum</b>	24.09.2008
<b>Umlaufzeit</b>	98,3 min, sonnensynchron
<b>Bahnneigung</b>	98.1°
<b>Orbit</b>	681km
<b>Repetitionsrate</b>	ca. 1 ½ Tage
<b>Streifenbreite</b>	11,3km
<b>Geometrische Auflösung</b>	1m panchromatisch 4m multispektral
<b>Spektrale Auflösung</b>	450-900 nm (panchromatisch) 455-516 nm (blau) 506-595 nm (grün) 632-698 nm (rot) 757-853 nm (nahes Infrarot)
<b>Verwendete Szene</b>	
<b>Aufnahmedatum</b>	12.04.2005
<b>Bewölkung</b>	Unbekannt (in verwendeten Ausschnitt jedoch keine Wolken erkennbar)

Tab. 3.2 Details des Satelliten Ikonos und verwendete Szene

Informationen zu den Schritten der Vorprozessierung sowie der Grad der Bewölkung der Szene konnten leider nicht mehr rekonstruiert und ausfindig gemacht werden. Daher kann zu den einzelnen Bildbearbeitungsschritten nichts weiter gesagt werden.

Aufgrund des Wetters in tropischen Regionen, wie es in Indonesien der Fall ist, ist es schwierig Satellitenbilder ohne Bewölkung zu erhalten. Daher ist die verwendete

Szene für das Testgebiet Padang nicht die aktuellste, weist jedoch im verwendeten Ausschnitt keine Wolkenbedeckung auf.

### **3.3 Basisdaten zur Ableitung der Bevölkerungsverteilung**

Wie bereits erwähnt ist es zunächst wichtig, das Satellitenbild bezüglich der Landnutzung zu klassifizieren, um daraus die Tagesbevölkerung sowie eine Nachtbevölkerung (Wohnsitz) zu aggregieren.

Daten zur Landbedeckung bzw. Landnutzung gibt es für nahezu jedes Land. Beispielsweise stellt das Projekt CORINE Land Cover (CLC) europaweit Rasterdaten von Bodenbedeckung und Landnutzung, abgeleitet aus Satellitendaten, im Maßstab 1:100.000 bereit. Seit dem Jahr 2000 existieren auch Datensätze mit einer höheren Auflösung.

Eine Auswahl verschiedener weltweiter Landnutzungsdaten und –projekte in unterschiedlichen Auflösungen und Datenformaten (Raster oder Vektor) bietet das Land Cover Institute (LCI) des U.S. Geological Survey (USGS) der USA.

Zur Ableitung von Tag- und Nachtkarten in Städten werden jedoch höher aufgelöste Daten (Einzelgebäude) zur Landnutzung benötigt. Eine Gebäudemasken kann durch eine objektorientierte Klassifikation, wie es mit Hilfe der Software eCognition der Firma Definiens Imaging realisierbar ist, erzeugt werden (LEUKERT, 2002). Diese Möglichkeit der Gebäudeextraktion kommt in dieser Arbeit zur Anwendung.

Eine Gebäudemasken allein ist jedoch nicht ausreichend. Zusätzlich ist eine Unterscheidung zwischen Wohn-, Geschäfts- und Industriegebäuden (Landnutzung) notwendig, um eine Bevölkerungsverteilung zu Tages- und Nachtzeit zu zeigen.

Daraufhin werden die klassifizierten Landnutzungsklassen mit Bevölkerungsdaten verknüpft. Hierfür stehen in erster Linie Zensusdaten zur Verfügung, aber auch andere Basisdaten können hier, welches folgende Grafik (Abb. 3.6) aufzeigt, zum Einsatz kommen.

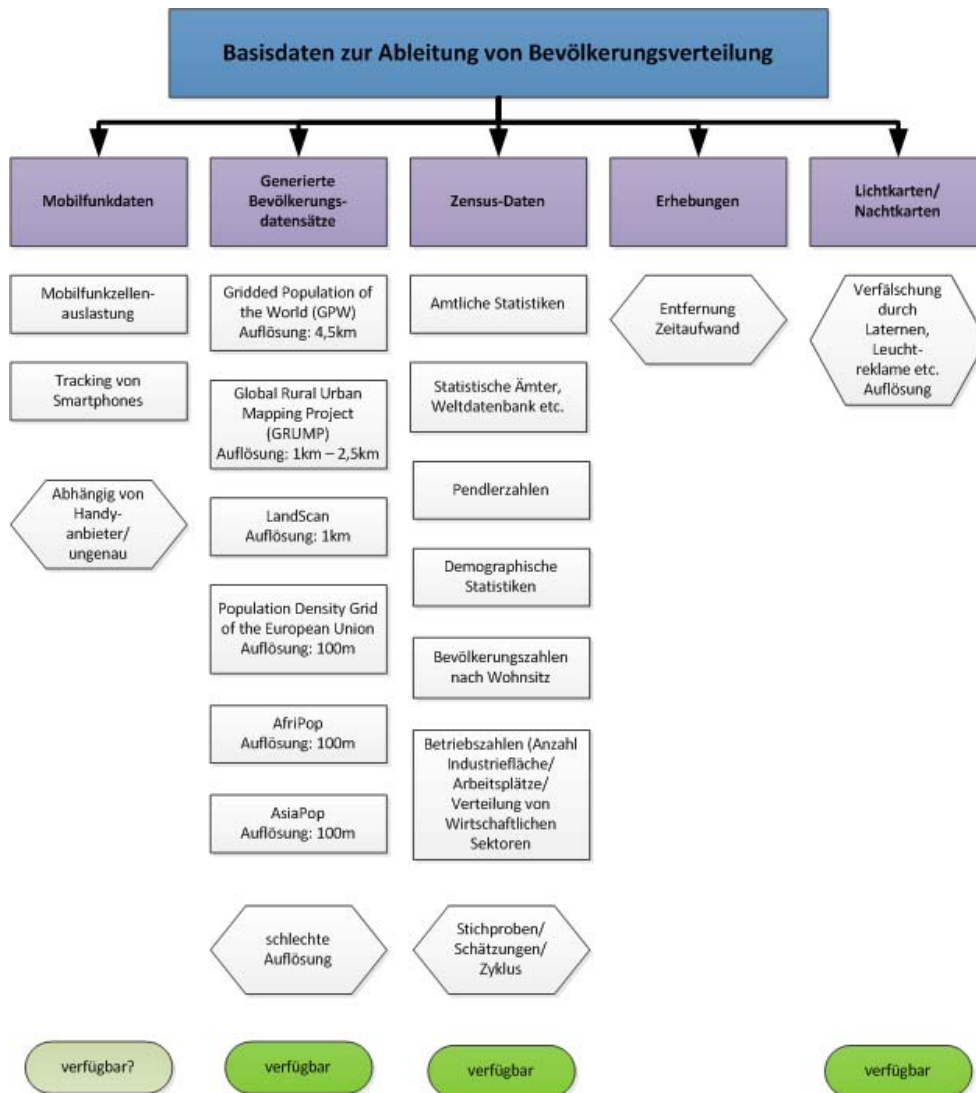


Abb. 3.6 Übersicht möglicher Basisdaten zur Ableitung der Bevölkerungsverteilung

Wissenschaftler beschäftigen sich seit Jahren mit der Ableitung von Bevölkerungsdaten aus Fernerkundungsdaten. In diversen Projekten entstanden unter anderem Datensätze, welche die Bevölkerungsdichte in unterschiedlichen Auflösungen und Berechnungsgrundlagen wiedergeben. Ein gutes Ergebnis liefert die US-amerikanische Firma Oak Ridge National Laboratory mit ihrem Projekt LandScan, welches eine weltweite Datenbank (außer der Antarktis) mit gerasterten Informationen zur Bevölkerungsverteilung entwickelt hat. Zur Ableitung der Bevölkerungsverteilung wurden in diesem Ansatz Lichterkarten aus Nachtbildern, Landnutzungsinformationen, Daten zur Demographie, Topographie sowie Infrastruktur miteinander verknüpft, um daraus eine Bevölkerungsverteilung mit einer Auflösung von 1 km x 1 km zu errechnen (UT BATTELLE, 2012). Eine Auflösung für die Anwendung im ur-

banen Raum war jedoch mit 1 km oder mehr (GRUMP und GPW) zu grob. Lediglich AfriPop und AsiaPop stellen Daten mit einer Auflösung von 100 Metern bereit.

Zunächst entstand die Idee, auf Daten zur Auslastung von Mobilfunkzellen zurückzugreifen. Bestens geeignet wären dazu UMTS-Funkzellen, da diese eine Abdeckung von 100 Metern haben (IT-WISSEN, 2012). Unter der Annahme, dass der größte Teil der Bevölkerung ein Mobiltelefon besitzt, wäre hierdurch eine Ableitung von Tag-/ Nachtkarten gut möglich. Aufgrund von Statistiken zur Handynutzung (Anzahl Mobiltelefon je Haushalt und Person) im Testgebiet Padang konnten diese Daten für die indonesische Stadt nicht verwendet werden (BPS, 2010). In Deutschland und anderen hochentwickelten Ländern wäre der Ansatz zur Generierung mittels Mobilfunkdaten (Tracking von Smartphones, Mobilfunkzellenauslastung) allerdings vorstellbar, da dort nahezu jeder Mensch ein Mobiltelefon besitzt. Obwohl die Daten nicht dem Datenschutz unterliegen, da diese keine persönlichen Informationen des Nutzers preisgeben, war es nicht möglich über die Mobilfunkbetreiber an diese Daten zu gelangen. Auch andere Bundesbehörden, wie die Bundesnetzagentur, verfügen nicht über entsprechende Daten. Des Weiteren muss beachtet werden, dass stark ausgelastete Mobilfunkzellen nicht zwingend bedeuten, dass sich dort viele Menschen aufhalten. Eine hohe Auslastung der Funkzelle kommt auch zustande, wenn Daten mit großer Bandbreite beispielsweise über eine Funkverbindung übermittelt werden. Aber auch Telefonieren innerhalb der Zelle erhöht die Auslastung, im Gegensatz zum eingeschalteten, aber nicht benutzten Mobilfunkgerät. Dadurch würde das Ergebnis der Bevölkerungsverteilung je Funkzelle verfälscht werden.

Alle anderen möglichen Basisdaten beziehen sich jedoch nur auf den Aufenthaltsort nachts, also dem Wohnsitz, weswegen wiederum die Information von Landnutzung unumgänglich ist.

Auch Lichterkarten (Lichterverteilung über Nacht) haben eine zu schlechte Auflösung um als alleinige Zusatzinformation genutzt werden zu können. Straßenlaternen und Leuchtreklamen beeinflussen zudem aufgrund von Fehlstreuung die tatsächliche Verteilung der Bevölkerung.

Da eigene Datenerhebungen zu zeit- und kostenintensiv wären, musste auf amtliche Statistiken und Bevölkerungsdaten zurückgegriffen werden.

### **3.3.1 Basisdaten München**

Neben dem hochauflösenden Satellitenbild konnten für die Region München Daten des Statistischen Amtes der Landeshauptstadt München zum Jahresende 2011 (Hauptwohnsitzbevölkerung) verwendet werden. Diese waren kleinräumig bis auf das Level der Bezirksviertel, welches auch Abbildung 3.2 zeigt, gegliedert. Über das Web-GIS-Portal Diva-GIS, welches frei verfügbare Daten unterschiedlicher Themenbereiche zum Download bereithält, wurden die administrativen Grenzen von Deutschland als Vektorlayer heruntergeladen. Die höchste Auflösung der Daten für Deutschland waren hierfür die Gemeindegrenzen. Da es sich bei der Stadt München um eine kreisfreie Stadt handelt, stellen die Gemeindegrenzen von München auch deren Stadtgrenzen dar. Ebenfalls durch das Statistische Amt München wurde eine PDF-Datei mit den Grenzen der Bezirksviertel zur Verfügung gestellt. Zur weiteren Verarbeitung wurden zunächst die administrativen Grenzen mittels der GIS-Software ArcMap 10, der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) digitalisiert, georeferenziert und das selbe Koordinatensystem UTM Zone 32 Nord im geodätischen Referenzsystem WGS-84 zugewiesen, wie es auch im Satellitenbild der Fall war.

Die Grenzen der Bezirksviertel wurden digitalisiert und mit der Tabelle der kleinräumigen Bevölkerungsverteilung der administrativen Einheiten in Verbindung (*join*) gebracht.

Durch zuvor erfolgter Flächenberechnung der einzelnen Bezirksviertel (Geometrieberechnung) und der Formel für die Bevölkerungsdichte entstanden im Anschluss nach einer Klassifikation (Zusammenfassung von Objekten/ Pixeln mit gleichen Eigenschaften zu einer Klasse) zunächst zwei thematische Karten, welche die absoluten Bevölkerungszahlen (Abb. 3.8) sowie eine Karte der Bevölkerungsdichte (Abb. 3.9) der süddeutschen Stadt zeigen.





Abb. 3.7 Stadtbezirke der Stadt München

## Bevölkerungszahlen der Stadt München Dezember 2011

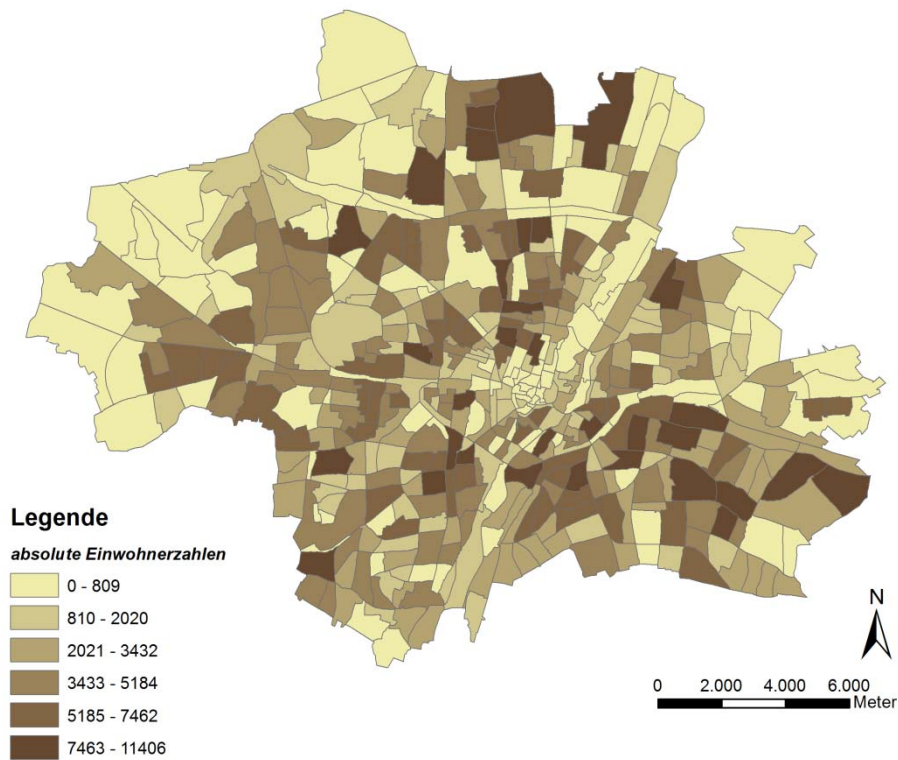


Abb. 3.8 Absolute Bevölkerungszahlen in den Bezirksvierteln der Stadt München

## Bevölkerungsdichte der Stadt München Dezember 2011

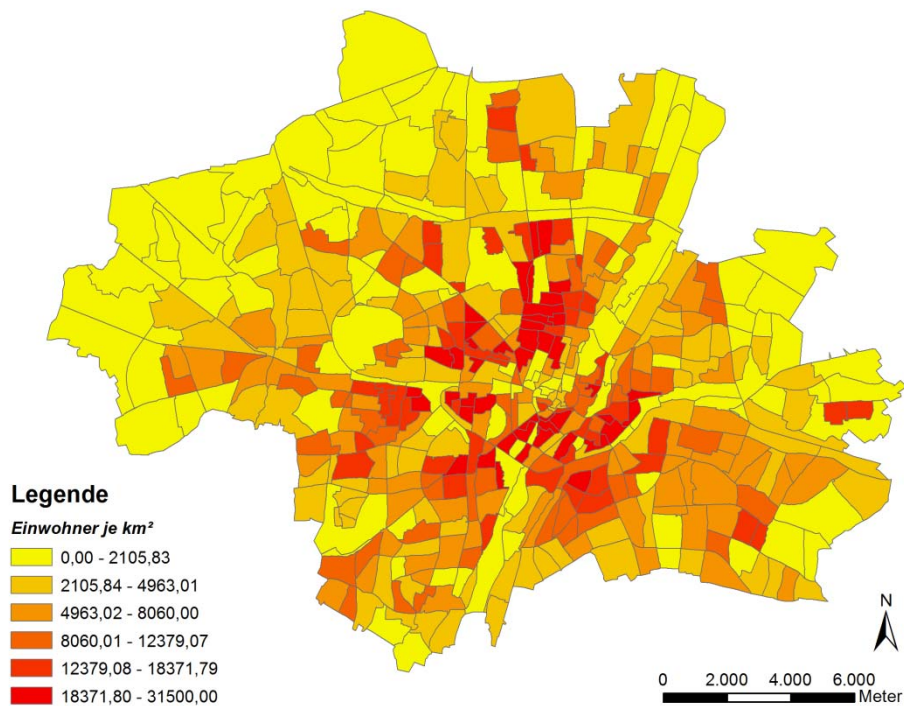


Abb. 3.9 Bevölkerungsdichte in den Bezirksvierteln der Stadt München

Die Bevölkerungszahlen spiegeln allerdings nur die Wohnsitzbevölkerung wider und stellen damit lediglich eine Nachtkarte dar. Ebenso wird eine gleichmäßige Verteilung der sich dort aufhaltenden Personen je Gebiet angenommen und berücksichtigt daher keine Verteilung in Abhängigkeit der Flächennutzung innerhalb der entsprechenden Grenze.

Um eine detailliertere Verteilung der Bevölkerung zu erhalten, war es notwendig, auf Grundlage von Fernerkundungsdaten (Satellitenbild) eine Gebäudemasken (Einzelgebäude) abzuleiten. Diese wird zur weiteren Unterteilung von Wohn-, Gewerbe- und Industriegebäuden genutzt. Die Arbeitsschritte werden in Kapitel 4.3.1 und 4.3.2 weiter ausgeführt. Folgende Grafik zeigt die zur Verfügung stehenden Grundlagendaten der Stadt München auf und wie diese zur Generierung von Tag- und Nachtkarten verwendet wurden (Abb. 3.10).

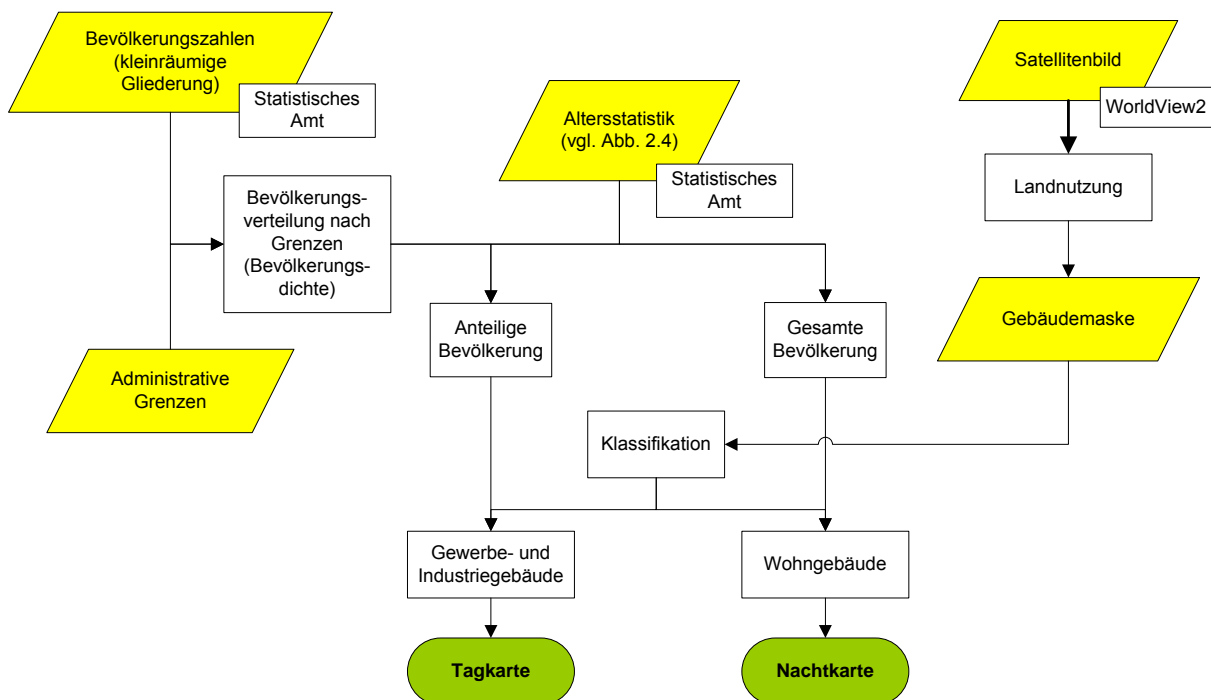
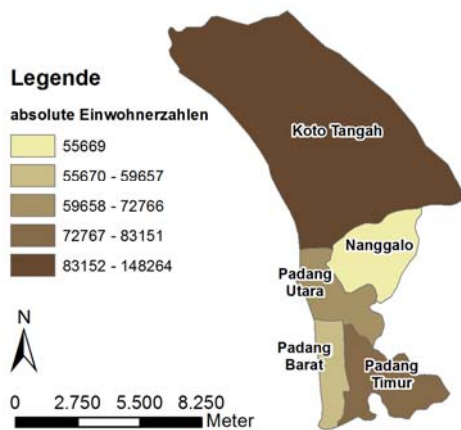


Abb. 3.10 Verwendete Basisdaten zur Ableitung von Tag- und Nachtkarten der Stadt München

### 3.3.2 Basisdaten Padang

Für die indonesische Küstenstadt wurden neben dem hochauflösenden Satellitenbild auch statistische Daten des Statistischen Amtes Indonesien zur Bevölkerungsverteilung (Laboratoire LIENSS-UMR CNRS Univerité de la Rochelle), Altersstruktur und Berufsfeldern (Badan Pusat Statistik (BPS)/ Statistics Indonesia) verwendet. Jedoch existieren die hierfür verfügbaren Bevölkerungsdaten nur auf der Ebene von Stadtteilen (Laboratoire LIENSS-UMR CNRS Univerité de la Rochelle). Über das Statistische Amt in Indonesien stehen lediglich Bevölkerungsdaten für die gesamte Stadt zur Verfügung. Die absoluten Bevölkerungszahlen sowie die Einwohnerdichte der fünf Stadtteile Padangs werden in Abbildung 3.11 dargestellt.

**Bevölkerungszahlen der Stadt Padang**



**Bevölkerungsdichte der Stadt Padang**

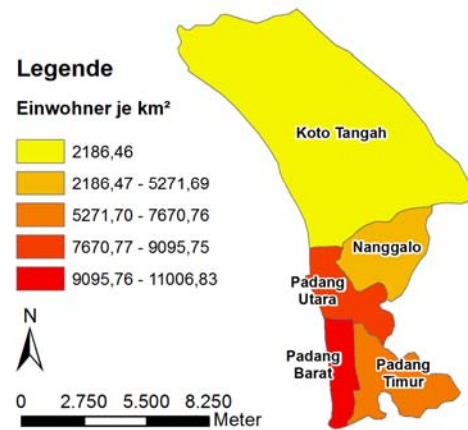


Abb. 3.11 Absolute Bevölkerungszahlen (links) und Bevölkerungsdichte (rechts) in den Stadtteilen der Stadt Padang

Die hierfür verwendeten Vektordaten der Univerité de la Rochelle konnten über die Webseite von CartONG bezogen werden und enthielten bereits die absoluten Bevölkerungszahlen je Stadtteil. Diese wurden zur Flächenberechnung der Stadtteile, um anschließend eine Bevölkerungsdichte zu berechnen, in die Projektion UTM Zone 47 Süd transformiert. Über die Webseite des Statistischen Amtes Indonesiens konnten die Daten zur Altersstruktur, welche für die Verteilung der Bevölkerung am Tage benötigt werden, sowie die beruflichen Tätigkeitsfelder der arbeitenden Bevölkerung heruntergeladen werden. In Abbildung 3.12 werden die Aufenthaltsorte in Abhängigkeit des Alters der Bevölkerung in Padang veranschaulicht.

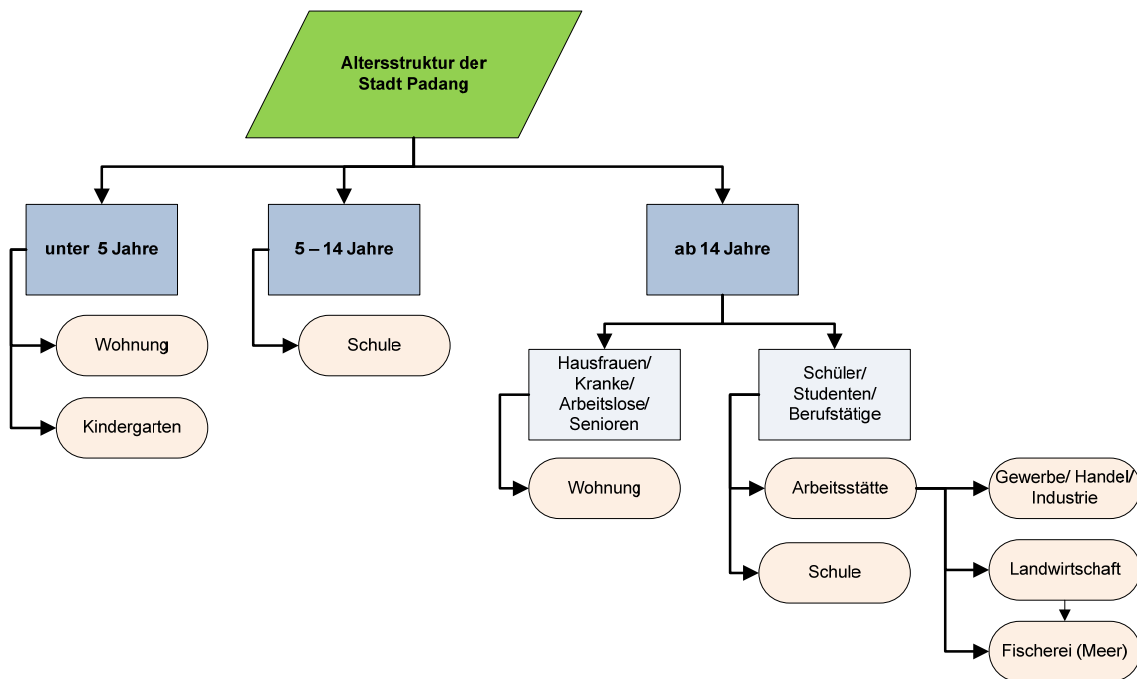


Abb. 3.12 Altersstruktur und Verteilung der Bevölkerung tagsüber (Padang)

Zusätzlich verfügt das DLR im Zuge des Projektes „Last Mile Evacuation“ (2007-2010) über Stichprobenerhebungen und Extrapolation der Bevölkerungsverteilung der Stadt. Ebenso wurden bereits Tag-/ Nachtkarten von Padang in einer Dissertation von Muhammad Rokhis Khomarudin (vgl. Literatur Khomarudin) errechnet. Allerdings umfasst die Genauigkeit der Umverteilung der Bevölkerung nicht Einzelgebäude, wie es in dieser Arbeit der Fall ist, sondern ist auf Grundlage zusammenhängender Einzelgebäude mit der gleichen Landnutzung errechnet worden. Bei der Stichprobenerhebung in der indonesischen Stadt wurde ein Teil der Bevölkerung einzelner Häuser nach der Personenanzahl je Gebäude zu Tages- und Nachtzeit befragt, sowie deren Nutzung (Industriegebäude, Wohngebäude, Mischnutzung) festgehalten. Ein Ausschnitt für den am dichtesten besiedelten Stadtteil „Padang Barat“ durch die Stichprobenerhebung und um die Dichtewerte ergänzte Information zeigt Abbildung 3.13.

Mit Hilfe dieser zusätzlichen Daten zur Bevölkerungsverteilung kann im Anschluss an die in dieser Arbeit errechneten Tag- und Nachtkarten mit der Genauigkeit von Einzelgebäuden eine Validierung und Bewertung des Ergebnisses in Bezug auf das Rapid Mapping in anderen Entwicklungsländern erfolgen. Eine solche Datenlage liegt für andere Entwicklungsländer jedoch nicht vor und die Ergebnisse einer Tag-/



Nachtkarte wären somit nur mittels Berechnungen möglich. Die Qualität dieser Ableitungen soll mit Hilfe der zuvor erwähnten Daten geprüft werden.

## Bevölkerungsdichte im Stadtteil Padang Barat

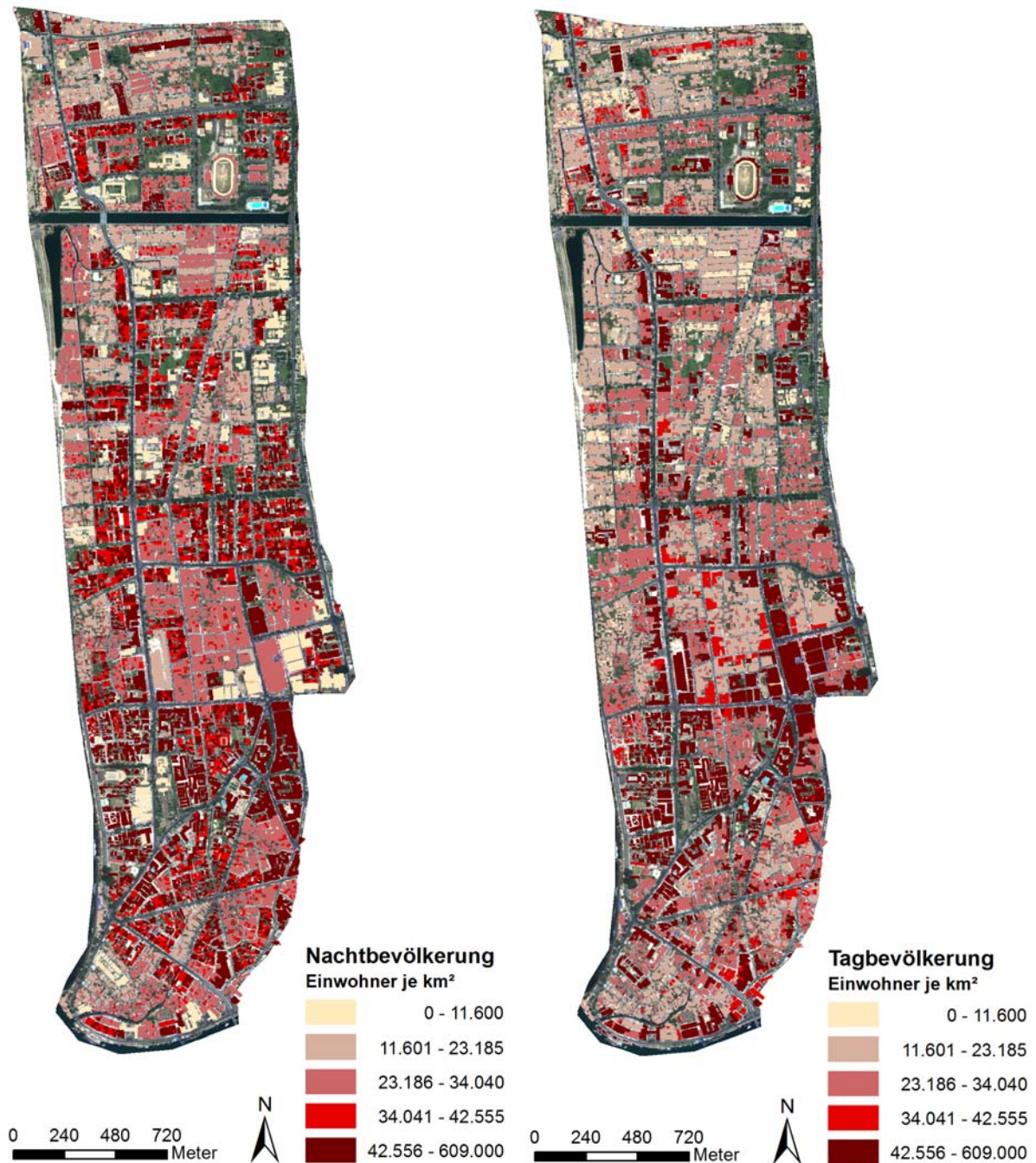


Abb. 3.13 Tag- (rechts) und Nachtkarte (links) abgeleitet aus Stichproben im Stadtteil Padang Barat der Stadt Padang (Quelle: DLR; Bearbeitung: Marianne Jilge)

Zur errechneten Ableitung von Tag-/Nachtkarten in der Stadt Padang standen wie in Abbildung 3.14 folgende Basisdaten zur Verfügung. Die Verwendung und Bearbeitung wird in den Kapiteln 4.3.2 und 4.4.2 beschrieben.

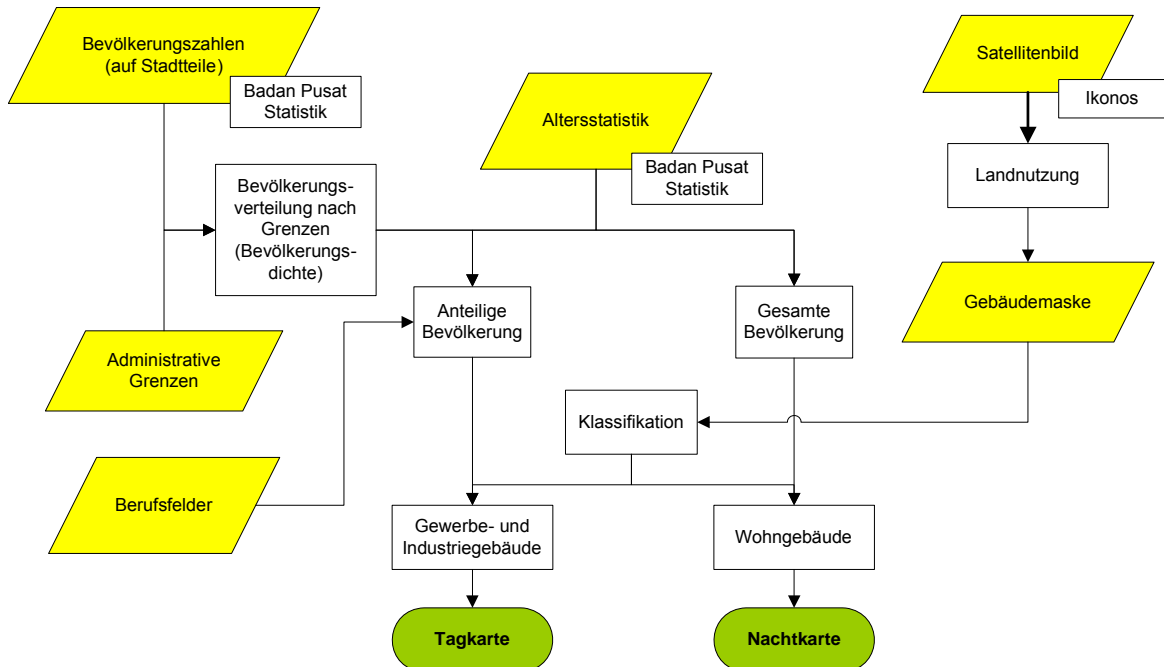


Abb. 3.14 Verwendete Basisdaten zur Ableitung von Tag- und Nachtkarten der Stadt Padang

## 4. Ableitung von Tag- und Nachtkarten

Um aus vorhandenen statistischen Bevölkerungsdaten (Zensusdaten) eine räumliche Bevölkerungsverteilung zu generieren, bestehen unterschiedliche Ansätze, welche im Folgenden aufgezeigt werden. Ebenso werden die Ableitung einer Gebäude-  
maske und die Generierung von Tag-/ Nachtkarten für die ausgewählten Testgebiete beschrieben.

### 4.1 Stand der Forschung

WU et al. (2005) gibt einen Überblick über die Methoden zur Berechnung von Bevölkerungsverteilungen mit Fernerkundungs- und GIS-Daten:

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Kategorien: Top-down-Ansatz (verfeinertes Prinzip) und Bottom-up-Ansatz (aufbauendes Prinzip). Beim Top-down-Ansatz werden statistische Daten genutzt und räumlich disaggregiert, um eine Bevölkerungsverteilung zu erhalten. Zur Verbesserung der räumlichen Auflösung werden zusätzliche Daten, wie Landnutzung und sozioökonomische Daten verwendet. Der Top-down-Ansatz untergliedert sich in zwei Hauptmethoden: Räumliche Interpolation sowie Dasymetric Mapping.

Die Räumliche Interpolation nutzt unterschiedliche Interpolationsmethoden (Kriging, Inverse Distance Weighting etc.) um georäumliche Informationen aus tabellarischen und statistischen Daten zu errechnen. Bei der Methode des Dasymetric Mapping hingegen bedient man sich zusätzlicher Daten (z.B. Landnutzung), um Bevölkerungsdaten auf administrative Einheiten umzuverteilen.

Im Gegensatz zum Top-down-Ansatz kommen beim Bottom-up-Ansatz statistische Daten, vor allem aus Umfragen für Regressionsanalysen und Korrelationen zur Anwendung, um daraus die Bevölkerungszahlen innerhalb bestimmter Einheiten zu bestimmen (KHOMARUDIN, 2010). Trotz der hohen Genauigkeit ist eine Verwendung dieses Ansatzes aufgrund der zumeist nicht verfügbaren Daten, nicht nutzbar. Abbildung 4.1 liefert einen Überblick über die verschiedenen Ansätze und Methoden eines Modells zur Bevölkerungsverteilung mit Hilfe von Fernerkundung und GIS.



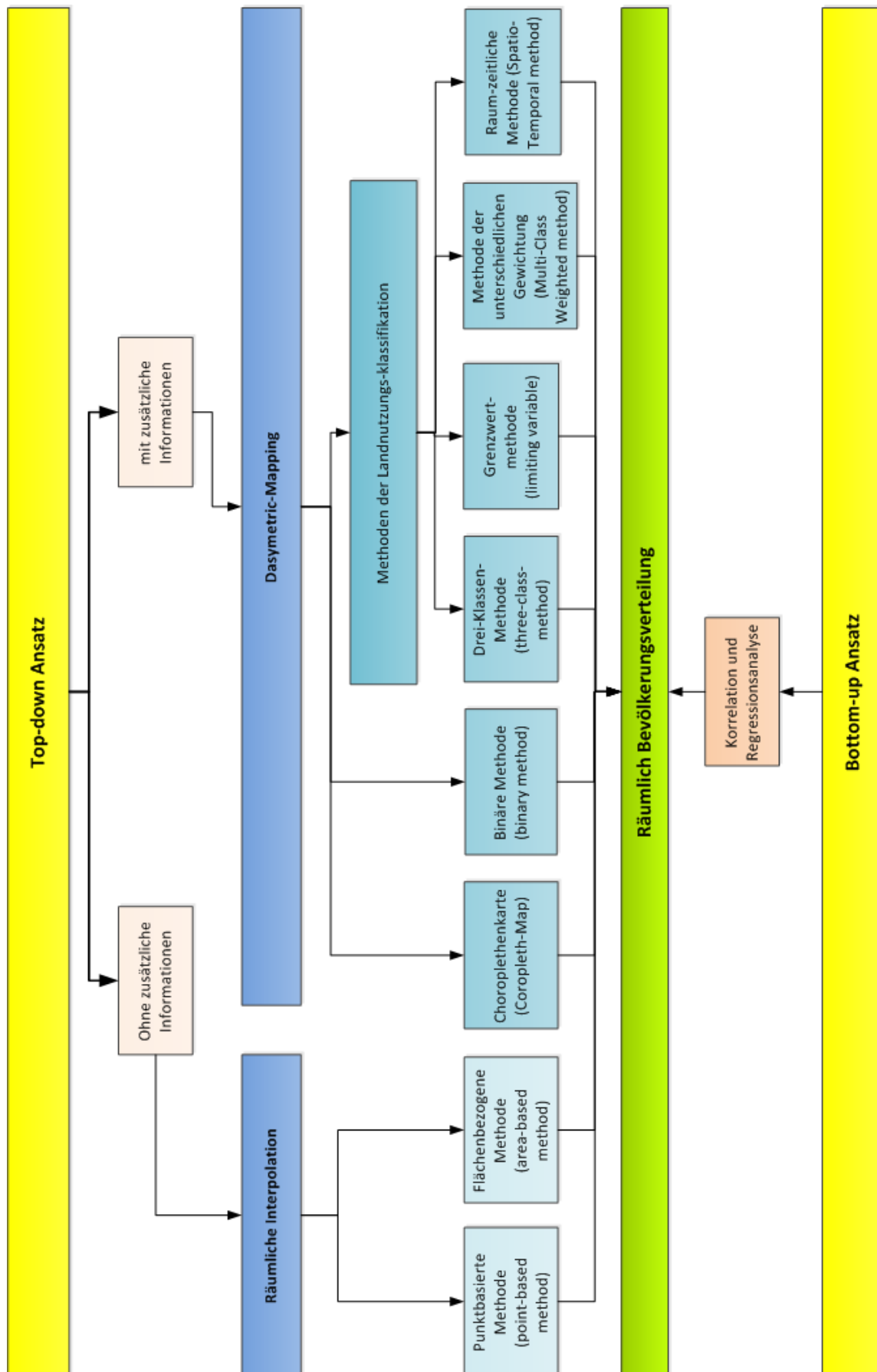


Abb. 4.1 Übersicht der Methoden zur Generierung einer Bevölkerungsverteilung

Räumliche Interpolationsmethoden untergliedern sich nochmals in eine punktbasierte Interpolationsmethode (Point-based) und eine flächenbasierte Interpolationsmethode (Area-based).

Per punktbasierter Interpolationsmethode werden aus verfügbaren Daten (z.B. Zensus-Daten) Bevölkerungszahlen je Gebiet mittels Interpolationsmethoden (z.B. Kriging, Inverse-distance-weighting (IDW), Natural Neighbor und Minimum Curvature) abgeleitet (KHOMARUDIN, 2010). Hierbei wird die Bevölkerungszahl auf der Grundlage eines Schwerpunktes mit abnehmender Gewichtung zur Entfernung des Schwerpunktes, umverteilt (LANGFORD et al., 1991).

Die vermutlich bekannteste flächenbasierte Interpolationsmethode (Pycnophylactic Interpolation) wurde 1979 von Tobler entwickelt (WU et al., 2005). Diese Technik erzeugt mittels iterativer Berücksichtigung der Nachbarschaftsbeziehungen von Polygonen eine gleichmäßigere Oberfläche mit sanften Übergängen zum nächsten Polygon (WU et al., 2005).

Die Methode „Dasymetric Mapping“ ist eine Methode der thematischen Kartographie, wodurch mittels Kombination allgemeiner flächiger Informationen (z.B. Verwaltungseinheiten) sowie zusätzlicher Daten höher aufgelöste Daten abgeleitet werden können. Sie wurde durch J. K. Wright bekannt. In Bezug auf die Bevölkerungsverteilung werden Bevölkerungsdaten (Zensus) mit geographischen Features (Landnutzung) disaggregiert, um dadurch eine räumlich besser aufgelöste Bevölkerungsverteilung zu erhalten (KHOMARUDIN, 2010).

Der Dasymetric Mapping-Ansatz lässt sich wiederum in weitere Methoden unterteilen:

- In Coroplethenkarten (Coropleth Map) werden Bevölkerungszahlen auf administrative Einheiten verteilt und stellen hiermit die einfachste Methode des Dasymetric Mapping dar.
- Die Binäre Methode (Binary method) verteilt Bevölkerungsdaten auf Grundlage einer binären Klassifikation (Siedlung, Nicht-Siedlung) auf die bewohnten Gebiete (WRIGHT, 1936, WU et al., 2005, MENNIS, 2003).

- Methoden der Landnutzungsklassifikation (Landuse-class-method) können weiter in drei Methoden unterteilt werden: Drei-Klassen-Methode (Three-class-method), Grenzwertmethode (Limiting variable), Methode der unterschiedlichen Gewichtung (Multi-class weighted). Bei der Drei-Klassen-Methode werden drei Klassen (Landwirtschaft, Wald, Stadt) gebildet und die Bevölkerungsdaten prozentual je Landnutzungsklasse umverteilt (EICHER & BREWER, 2001, GALLEGO, 2010). Die Grenzwertmethode erweitert die Drei-Klassen-Methode um die Einführung eines Grenzwertes bezüglich der Verteilung der Bevölkerungszahlen je Landnutzungsklasse (MENNIS & HULTGREN, 2005). In der Methode der unterschiedlichen Gewichtung werden weitere Landnutzungsklassen klassifiziert und gewichtet, auf welche die Bevölkerungszahlen Anwendung finden (LANGFORD et al., 1994, EICHER & BREWER, 2001, HOLLOWAY et al., 1997, WU et al., 2005).
- Bei der raum-zeitlichen-Methode (Spatio-temporal method) handelt es sich um die komplexeste Methode (SLEETER & WOOD, 2006, AHOLA et al., 2008), bei welcher nach Tag- und Nachtbevölkerung unterschieden wird. Unter Verwendung sozioökonomischer Daten (z.B. Tätigkeitsfelder) werden die Bevölkerungszahlen auf die zu Tages- und Nachtzeit unterschiedlich genutzten und gewichteten Landnutzungsklassen umverteilt.

Zur detaillierten Generierung von Tag-/ Nachtkarten eignet sich in diesem Fall nur die raum-zeitliche Methode des Dasymetric Mapping, da mit allen anderen vorgestellten Methoden eine Umsetzung der Ableitung von Bevölkerungsdaten zu Tages- und Nachtzeit nicht realisierbar ist. Die raum-zeitliche-Methode berücksichtigt die zur Ableitung von Tag-/ Nachtkarten notwendigen sozioökonomischen Daten (Tätigkeitsfelder der arbeitenden Bevölkerung, Altersstruktur, etc.). Daher, sowie aufgrund der zur Verfügung stehenden Basisdaten (Abb. 3.10 und 3.14), kam im Folgenden die raum-zeitliche-Methode zum Einsatz.

## 4.2 Bildanalyse mit eCognition

Ein wichtiger Bestandteil zur Ableitung von Tag- und Nachtkarten ist, wie bereits erwähnt, eine Landnutzung des zu untersuchenden Gebietes. Mit dieser werden die Aufenthaltsorte (Tätigkeitsfelder z.B. Landwirtschaft, Industrie etc.) der Bevölkerung bestimmt, die groben Bevölkerungsdaten disaggregiert und im Anschluss werden weitere Daten wie beispielsweise Altersstrukturdaten integriert um die Bevölkerungsdichte oder absolute Bevölkerungszahlen pro Gebäude zu erhalten.

Für kleinräumige Bevölkerungsverteilungen sind Landnutzungsdatensätze, die beispielsweise in dem zuvor genannten CLC-Projekt entstanden sind, nicht ausreichend. Eine Landnutzung wird durch eine Klassifikation des Untersuchungsgebietes gewonnen.

Seit der Einführung hochauflösender Satellitensysteme (Abb. 3.5) ist es auch von enormer Bedeutung, Klassifikationsergebnisse mit einer größeren Genauigkeit zu erzielen und die klassischen Klassifikationsmethoden (Klassifikation nach spektralen Eigenschaften), welche sich ausschließlich auf die spektralen Eigenschaften von Pixeln beziehen, um einen objektbasierten Ansatz zu erweitern. Dabei besteht ein Objekt aus mehreren Pixeln und steht zu anderen Objekten in unterschiedlichen Beziehungen. Objektorientierte Ansätze zur Analyse von Fernerkundungsdaten können in deren Klassifikationsalgorithmen neben spektralen Eigenschaften auch Form, Größe, Textur und Kontext der jeweiligen Objekte berücksichtigen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein hochauflösendes Satellitenbild nicht unbedingt ein besseres Ergebnis einer Klassifikation zur Folge hat. Der Grund hierfür ist, dass kleinere Pixelgrößen zu einer höheren radiometrischen Varianz in einer Landnutzungsklasse führen (DONNAY, 1999). Dies ist der Grund für die Anwendung einer objektorientierten Klassifikation, um das große Fehlerpotential einer ausschließlich multispektralen Klassifikation, durch Einbeziehung von Nachbarschaftsbeziehungen, Form und Größe zu reduzieren.

Zur Klassifikation der Landnutzung hochauflösender Satellitenbilder wird daher eine Bildanalysesoftware verwendet, mit der eine objektorientierte Klassifikation berechnet werden kann. Um eine solche Klassifikation in den Untersuchungsgebieten abzuleiten, kam in dieser Arbeit das Softwareprodukt eCognition Developer zum Einsatz.

### **4.2.1 Segmentierung**

Grundlage jeder objektorientierten Klassifikation mit der Software eCognition ist eine Segmentierung des Rasterbildes (WEIDNER & LEMP, 2005). Dabei umfasst die Segmentierung ein Teilgebiet der Bildverarbeitung und stellt den ersten Schritt der Bildanalyse dar. Sie beschreibt die interaktive Zusammenfassung von Pixeln oder Objekten zu sich nicht überlagernden Segmenten aufgrund eines Homogenitätskriteriums (Farbe, Form, Glattheit, Kompaktheit) (BAATZ et al., 2006 & WEIDNER & LEMP, 2005). Ziel einer jeden Segmentierung ist es, eine Reduktion der Daten zu erhalten, um auf Basis der gebildeten Objekte die Klassifikation durchzuführen.

Die Güte der Segmentierung entscheidet über die Qualität einer nachfolgenden Klassifizierung und ist daher von großer Bedeutung (WEIDNER & LEMP, 2005). Es bestehen unterschiedliche Segmentierungsverfahren welche, punkt-, kanten-, oder regionen-basiert arbeiten und können auf unterschiedlichen Ebenen von Skalen durchgeführt werden (SCHIEWE & TUFTE, 2002).

Nachfolgend werden die in eCognition zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der Segmentierung kurz erläutert:

- „Chessboard Segmentation“: Unterteilung des Bildes in gleichgroße quadratische Segmente
- „Quad Tree-Based Segmentation“: Zerlegung des Bildes in quadratisch unterschiedlich große Blöcke
- „Spectral Difference Segmentation“: Fusion von Nachbarsegmenten aufgrund deren spektraler Eigenschaften
- „Contrast Filter Segmentation“: Verwendung eines Pixelfilters, der aufgrund von Kontrast und Gradient die Pixel einer bestimmten Klasse („kein Objekt“, „Objekt in ersten Layer“, „Objekt in zweiten Layer“, „Objekt in beiden Layern“, „von Schwellwert ignoriert“) zuweist und anschließend die Chessboard Segmentation anwendet und in Objekte umwandelt
- „Multiresolution Segmentation“: Region-Merging-Segmentierung (bottom-up-Verfahren) welches einzelne Pixel oder Bildobjekte zu größeren Objekten zu-

sammenfasst (*merging*) (LEUKERT, 2002). Ziel dieser Methode ist es, möglichst ähnlich große Segmente zu erhalten (WEIDNER & LEMP, 2005).

HARALICK und SHAPIRO (1985, 1992) sowie JÄHNE (1997) geben einen guten Überblick über Vor- und Nachteile der einzelnen Segmentierungsmethoden.

Letztere Segmentierungsmethode wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet, da sie zu guten Ergebnissen führte (USER GUIDE ECOGNITION, 2011) und es sich um eine regionen-basierte Methode handelt. Es wurde versucht eine Erzeugung von möglichst ähnlich großen Segmenten zu erreichen. Mit Hilfe dieser können, wie in den nachfolgenden Kapiteln 4.3.1 und 4.3.2 beschrieben, bestimmte Eigenschaften der Flächengröße der Segmente in der Klassifizierung ergänzt oder gelöscht werden (z.B. große Gebäude sind meist Industriegebäude). In der Regel werden mehrere Segmentierungsebenen gebildet. Kleinere Segmente (Sub-Objekte) sind in größeren Segmenten (Superobjekte) enthalten und stehen somit zueinander in Verbindung und können bestimmte Merkmale der Elternklasse auf die Kindklasse vererben.

#### **4.2.2 Klassifikation**

Im Anschluss an die Segmentierung wurde die objektbasierte Klassifikation angewendet. Für die Klassifikation nutzt eCognition die „Fuzzy-Logik“ (Boolesche Logik) (vgl. WEIDNER & LEMP, 2005, S. 111). Das Konzept der Fuzzy-Klassifizierung besagt, dass Mischpixel (Entstehung durch die Aufnahme verschiedener Objekte auf der Erdoberfläche mit unterschiedlichen spektralen Eigenschaften, die versucht werden in einem Pixel wiederzugeben), aufgrund der spektralen Eigenschaften mehreren Objektklassen anteilig zugeordnet werden können.

Eine objektorientierte Klassifikation beruht immer auf mehreren Klassifizierungsschritten, die das Ergebnis weiter verfeinern. Allgemein gibt es keine festgeschriebenen Vorgehensweisen, um ein bestimmtes Ergebnis wie beispielsweise eine Gebäudeextraktion zu berechnen. Um dieses Klassifikationsergebnis zu erhalten müssen die unterschiedlichen Merkmale (Kanten, Kontrast, Größe etc.) und deren Schwellwerte getestet und deren Ergebnisse überprüft werden, ob diese den gewünschten Erfolg erbringen. Grund hierfür sind die zumeist unterschiedlichen verwendeten Satellitendaten mit deren

unterschiedlichen Eigenschaften, aber auch unterschiedliche Nachbarschaftsbeziehungen der Bildobjekte wie zum Beispiel typische Helligkeitswerte (z.B. die Annahme, Industriegebäudedächer sind heller und größer als Wohngebäudedächer, trifft nicht auf alle Gebiete zu). Treffen jedoch mehrere Eigenschaften (Größe, Helligkeit, Anhäufung von Industriegebäuden (=Industriegebiete) zu, und größere Freiflächen darum herum), stellen diese zumeist Industriekomplexe dar. Daher müssen für jedes Testgebiet regionenspezifische Klassifikationsschritte erarbeitet werden und der Prozessablauf (ProcessTree – Ablauf der Arbeitsschritte) kann nicht einfach auf andere Untersuchungsgebiete übertragen werden. Die nötige Anpassung bringt, abhängig von der jeweilig verwendeten Methode und der Größe des Untersuchungsgebietes, einen sehr hohen Zeitaufwand mit sich. Beispielsweise die Berechnung von Distanzen zu definierten Objektklassen, oder auch nur deren Anpassung geeigneter Schwellwerte, benötigt besonders viel Rechenzeit, wohingegen Merkmale wie Helligkeitswerte sehr schnell zu bestimmen sind.

Das Ziel dieser Klassifikation ist eine Gebäudemasken mit zwei Klassen zur Gebäudenutzung (Wohngebäude, Industriegebäude). Die Arbeitsschritte und verwendeten Klassifikationsmerkmale werden in den Kapiteln 4.3.1 sowie 4.3.2 für die Testgebiete München und Padang näher beschrieben. Zusätzlich wird am Ende der Gebäudeextraktion für München (Kapitel 4.3.1) sowie für Padang (Kapitel 4.3.2) eine Übersicht der verwendeten Arbeitsschritte mit einer kurzen Beschreibung der Zwischenergebnisse gegeben.

Aus dem Ergebnis der Gebäudemasken lassen sich daraufhin die Bevölkerungsdaten, abhängig von Tag und Nacht auf die Nutzungsklassen verteilen (Kapitel 4.4.1 und 4.4.2).

### **4.3 Gebäudeextraktion**

Zur Umsetzung einer qualitativ hochwertigen objektorientierten Klassifikation sind, wie bereits zuvor erwähnt, einige Rechenschritte notwendig und nehmen dabei zum Teil (z.B. Abstandsberechnungen) eine hohe Rechenzeit in Anspruch (USER GUIDE ECOGNITION, 2011). Die Rechenzeiten sind dabei natürlich abhängig von den tech-

nischen Rahmenbedingungen (Einzelplatzrechner oder Serverbasiert), sind aber dennoch abhängig von der Größe des Testgebietes. Aus diesem Grund wurden alle Arbeitsschritte nicht auf das jeweilige Gesamtgebiet angewendet, sondern lediglich für ausgewählte Bereiche (Abb. 4.2 und Abb. 4.8), welche in den jeweiligen Kapiteln 4.3.1 und 4.3.2 näher erläutert werden. Bei der Auswahl der Bildausschnitte wurde darauf geachtet, Gebiete mit verschiedenartiger Gebäudenutzung auszuwählen. Diese Auswahl geschah auf Grundlage der visuellen Erscheinung und umfasst in den Testgebieten München und Padang in etwa ein Zehntel der gesamten Stadtfläche.

Die in den Kapiteln 4.3 und 4.4 zusätzlich angegebenen Klammern in kursiver Schrift definieren die Bezeichnungen der angewendeten Methoden in der verwendeten Software eCognition und ArcGIS (ArcMap).

### **4.3.1 Gebäudeextraktion München**

Die Grundüberlegung zur Unterteilung der Gebäudearten basiert auf den unterschiedlichen Dacheigenschaften (Material und Farbe) sowie deren Größe. Aufgrund dieser Eigenschaften der Dächer sollten sich Industrie- und Wohngebäude gut differenzieren lassen. Hierfür wurde angenommen, dass Industriegebäude in Bezug auf die Helligkeitswerte, der größeren Dimension sowie gewisse Seitenverhältnisse der Gebäudekanten (eher quadratisch) verfügbar, im Gegensatz zu schmaleren, zumeist dunkleren und kleineren Dächern der Wohngebäude. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Mischnutzung (z.B. Gewerbe in den unteren Stockwerken und Wohnnutzung in den oberen Etagen des Gebäudes), was in München hauptsächlich in der Innenstadt und an den Stadträndern der Wohngebiete der Fall ist, aus Fernerkundungsdaten nicht erkennbar und selektierbar ist. Hierfür müssten zusätzliche statistische Informationen (welche dieses Phänomen beschreiben) zur Gebäudenutzung hinzugezogen werden, um diese Kategorie der Gebäudearten ebenfalls in der Gebäudemasken zu klassifizieren. Diese Informationen lagen jedoch nicht vor und konnten daher nicht berücksichtigt werden. Es waren auch keine zusätzlichen Daten zur Gebäudehöhe für diese Arbeit verfügbar und konnten aus den verwendeten optischen Fernerkundungsdaten im Rahmen dieser Arbeit nicht gewonnen werden. Somit musste vorausgesetzt werden, dass alle Gebäude die gleiche Höhe haben. Zur Gewinnung von Gebäudehöhen aus Fernerkundungsdaten besteht bereits von Seiten des DLR ein



Ansatz, auf dessen Quelle später (Kapitel 5.2) verwiesen wird. Die Annahme es bestehe eine konstante Gebäudehöhe, hat zur Folge, dass die Bevölkerungsdaten auf die reine Gebäudefläche und nicht auf die jeweilige Nutzfläche umverteilt werden. Beispielsweise bei Hochhäusern mit einer geringen Gebäudefläche, aber einer großen Höhe und damit vielen Stockwerken und Wohnungen, basiert die Umverteilung ausschließlich auf der Gebäudefläche, auf die die Personen verteilt werden. Daher wird ihnen eine deutlich geringere Anzahl an Menschen zugewiesen, als sich darin tatsächlich aufhalten.

Unter Berücksichtigung der erwähnten Eigenschaften von Industriekomplexen und Wohngebäuden wurde mit der Software eCognition eine Gebäudemasken für die Stadtteile Altstadt-Lehel sowie Schwabing-Freimann (Abb. 4.5) kreiert. Die Gebäudemasken umfasste zunächst alle Gebäude, ohne Unterscheidung der Nutzungsart. Aus dieser wurden die Industriekomplexe angesichts der spezifischen Merkmale selektiert und der entsprechenden Nutzungsklasse zugewiesen. Die verbleibenden Gebäude wurden der Klasse Wohngebäude zugewiesen. Der Grund für die Wahl der beiden Stadtgebiete (Abb. 4.2) ist die unterschiedliche Nutzung der Gebiete. Altstadt-Lehel ist ein zentralgelegener Stadtteil mit vermehrter Mischnutzung, wohingegen im Stadtteil Schwabing-Freimann zum großen Teil Industriebauten Bestand haben.

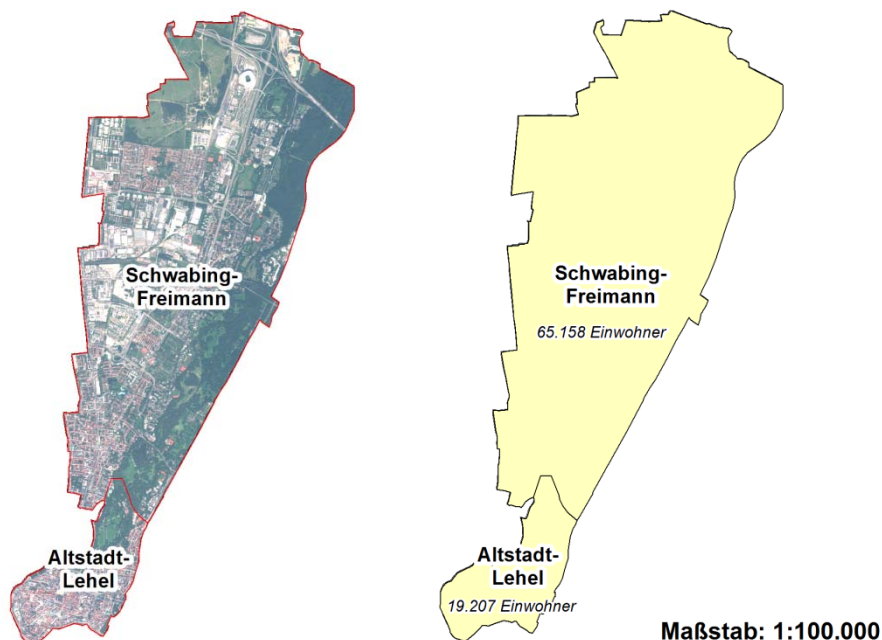


Abb. 4.2 Untersuchte Stadtteile der Stadt München

Zunächst wurden per Multiresolution Segmentation zwei unterschiedliche Segmentierungen erzeugt. Wie in Kapitel 4.2.1 erläutert, stellt das untere Level (mit kleineren Segmenten) die Pixelebene dar, im Gegensatz zur Segmentierung mit größeren Segmenten, welches das darüber liegende Level der Bildobjekte umfasst.

Dabei wurde für das Level 30 (gröbere Segmentierung) der „*Scale Parameter*“ 30, welcher für die Größe der Segmente zuständig ist, verwendet. Je größer dieser ist desto größer sind die Segmente. Das Level 10 besitzt somit kleinere Segmente als das Level 30.

Da, wie bereits in Kapitel 4.2.2 erwähnt, bisher kein konkreter, universeller Lösungsansatz zur objektorientierten Gebäudeklassifikation existiert, wurden einige sich theoretisch eignende Ansätze ausprobiert und die Ergebnisse miteinander verglichen, um die besten Ergebnisse einer Gebäudemaske und deren Nutzung zu erzielen.

In den folgenden Schritten kamen die bereits am Anfang des Kapitels überlegten Merkmale (kleinere, rote oder braune Dächer beschreiben Wohngebäude; Industriebäude sind zumeist heller aufgrund nicht gedeckter Dächer und zumeist größer) zur Differenzierung der Gebäudearten in der Klassifizierung zur Anwendung. Um die Einteilung der Gebäudetypen zu verwirklichen, musste jedoch zuvor eine Gebäudemaske ohne Differenzierung nach deren Nutzung generiert werden.

Einleitend wurde versucht die Straßen zu klassifizieren, die in der Gebäudemaske nicht mehr enthalten sein sollen. Die Anwendung eines Vegetationsindex (z.B. NDVI) hätte zur Folge, dass alle versiegelten Flächen (Flächen ohne Vegetation) und somit auch Straßen in der Gebäudemaske enthalten wären. Eine Entfernung dieser aus der Gebäudemaske ist deutlich schwieriger umzusetzen, als eine zuvor errechnete Selektion der Straßen. Im gröberen Level (im ProcessTree als Level 30 beschrieben) der Segmentierung konnten aufgrund der Kantenlänge (*border length*) der einzelnen Segmente ein relativ gutes erstes Ergebnis einer Klassifikation von Straßen ermittelt werden, da diese im Vergleich zu den anderen Segmenten in ihrer Länge deutlich zu unterscheiden waren (Abb. 4.3). In Bezug auf die gewünschte Gebäudemaske waren in diesem Level die Segmente jedoch nicht ausreichend detailliert. Daher wurde für den weiteren Teil der Klassifikation die feiner aufgelöste Segmentierung (Level 10) verwendet (Abb.4.4).

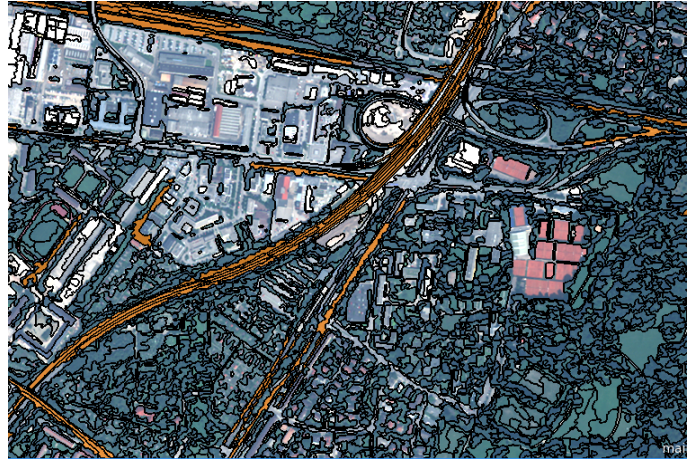


Abb. 4.3 Ausschnitt der groben Segmentierung Level 30 und Klassifikation der Straßen in München

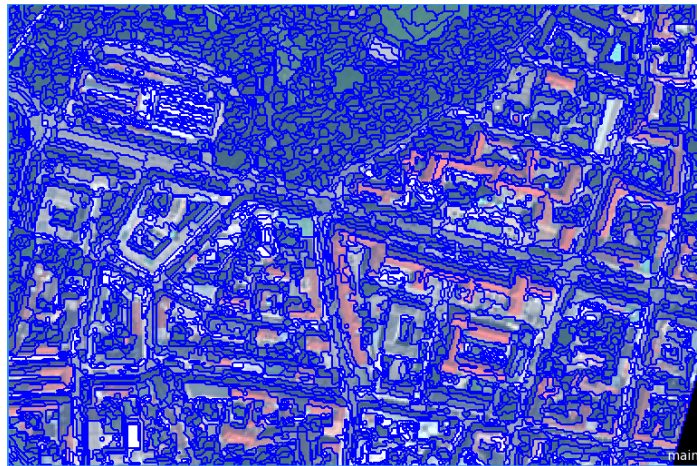


Abb. 4.4 Ausschnitt der feinen Segmentierung Level 10 in München

Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Werte des Rotkanals (*mean red*) und der durchschnittlichen maximalen Differenz (*max. diff.*) konnten zunächst alle versiegelten Flächen als Gebäude klassifiziert werden. Der Einsatz eines NDVI (= Normalized Differenced Vegetation Index) war zunächst für die erste grobe Klassifikation der Gebäude nicht geeignet, da dieser die kompletten versiegelten Flächen (Straßen, Felsen, Sand, Gebäude etc.) als Gebäude klassifiziert hätte. Der Anwendung eines NDVI hätte zu Beginn der Klassifikation somit zu einem Mehraufwand der Verbesserungsschritte (Entfernung von Fehlklassifikationen) der Klassifizierung geführt.

Durch die Bestimmung von Grenzwerten im durchschnittlichen Helligkeitsbereich (*brightness*) konnten Gewässer sowie Schattenflächen klassifiziert und somit aus der Klasse „Gebäude“ entfernt werden.

Da die Dächer der Gebäude unterschiedliche Farben (weiß, rot, braun, grau) aufweisen, wurden zunächst in der Klasse Gebäude zwei Unterklassen „(Helle Dächer“, „Dunkle Dächer“) eingeführt. Da jedoch in der Gebäudeklasse fälschlicherweise auch Straßen als Gebäude klassifiziert waren, wurden die klassifizierten Straßenstücke im darüber liegenden gröberen Level in das feiner aufgelöste Level (Level 10) mit der Gebäudeklassifikation überführt. Daraufhin wurden diese von der Gebäudeklassifikation durch die Zugehörigkeit der kleineren Segmente (Level 10) zu den Superobjekten (*existence of superobject*) (Level 30) der klassifizierten Straßen entfernt.

Das bisher entstandene Ergebnis zeigt eine Gebäudemasken mit vielen Überklassifikationen, hauptsächlich in der direkten Nachbarschaft der Einzelhäuser, und Fehlklassifikationen von Gebäuden in versiegelten Freiflächen. Außerdem ist die Darstellung von Einzelgebäuden noch nicht gegeben, das Gesamtbild stellt zum größten Teil die Einzelgebäude innerhalb eines Blockes (begrenzt durch Straßen) als ein Haus mit kleineren Löchern (hauptsächlich Vegetation) dar.

Die folgenden Klassifikationsschritte befassten sich mit der Verminderung der Fehlklassifikationen, da bisher noch einige Straßen als Gebäude klassifiziert waren, sowie auch versiegelte Freiflächen fälschlicherweise als Gebäude eingestuft wurden. Hierfür wurden die Schwellwerte verschiedener Merkmale der Segmente, unter anderem der RedEdgeNDVI, relative Grenzen (*relative border*) zu Straßen, Flächengröße (*area*), Volumen (*volume*), Blauverhältnis (*Ratio of Blue*), durchschnittlicher Wertebereich im Kanal des Nahen Infrarot 1 (*mean NIR1*), sowie der Breite der Segmente (*width*), berücksichtigt und kamen zur Anwendung.

Für die Klassifizierung des RedEdgeNDVI sowie des Blauverhältnisses mussten deren arithmetische Funktionen (1) (2) in der Software definiert werden, da hierfür keine vorgefertigte Funktion zur Verfügung steht. Der RedEdgeNDVI ist eine Sonderform des NDVI, der ein Indikator für den Gesundheitszustand der Vegetation ist. Da der RedEdge-Kanal ( $\delta$  RedEdge) bestens zur Bestimmung von Pflanzenarten sowie der Beobachtung von Vegetationszuständen geeignet ist, wurde diese spezielle Art des NDVI verwendet. Der RedEdgeNDVI wird wie folgt (1) beschrieben:

$$\text{RedEdgeNDVI} = \frac{\delta \text{NIR1} - \delta \text{RedEdge}}{\delta \text{NIR1} + \delta \text{RedEdge}} \quad (1)$$

Der NDVI wird in diesem Fall jedoch nicht zur Klassifizierung der Vegetationszustände verwendet. Ein niedriger NDVI beschreibt eine geschädigte Vegetation, aber auch versiegelte Flächen (Gebäude, Straßen) werden als geschädigte Vegetation klassifiziert und konnten daher zur Verbesserung der Gebäudemasken verwendet werden.

Da im Blau-Kanal ( $\delta$  Blue) versiegelte Flächen gut erkennbar sind, wurde hierfür das Blauverhältnis (*Ratio of Blue*) mittels der folgenden Formel berechnet.

$$\text{Ratio of Blue} = \frac{\delta\text{Blue}}{\delta\text{Red} + \delta\text{Green} + \delta\text{Blue}} \quad (2)$$

Das größte Problem stellte die noch mangelhafte Genauigkeit der Zuweisung von Straßen zu dieser Klasse dar. Diese konnte jedoch mit der Hilfe eines thematischen Straßenlayers, in diesem Fall den freiverfügbaren Straßendaten von Open Street Map (OSM) verbessert werden. Hierfür wurden die Straßen zunächst in ArcMap gepuffert, da thematische Layer in eCognition lediglich eine Haarlinie darstellen und somit nicht der Realität einer etwa 5 Meter breiten Straße entsprechen. Ein Puffer beschreibt die Nähe bzw. Distanz von Merkmalen und erzeugt unter Berücksichtigung eines bestimmten Abstandes eine Fläche um das Objekt. Jedoch muss hierbei berücksichtigt werden, dass die OSM-Straßen nicht immer exakt richtig liegen. Aus diesem Grund wurde bei dem Puffer nur eine Distanz von einem Meter (in jede Richtung) verwendet, um dadurch keine Überklassifikation oder Fehlklassifikation von Gebäuden zur Klasse Straßen (falls die Signatur der Straßen verschoben ist) zu erhalten. Desweiteren wurde der Typ „Treppen“ in den OSM-Daten entfernt, da diese Daten oftmals die Gebäudeklassifikation überlagerten (Zugang zur Haustür) und durch eine Klassifikation derer zur Klasse Straßen ein Teil der Häuser fehlerhaft klassifiziert werden würde. Sobald die Straßendaten sich mit Segmenten der Klasse „Gebäude“ überlagerten (*number of overlap* „thematic layer“), wurden diese der Klasse der Straßen zugewiesen. Selbige Vorgehensweise wurde für Schienenwege (ebenfalls OSM-Daten) verwendet, um diese aus der Gebäudeklasse zu entfernen. Da jedoch immer noch Überklassifikationen vorkamen, vor allem kleinere geteerte und gekieste Plätze in Parkflächen als Gebäude identifiziert wurden, kam der Layer der Grünflächen des OSM-Projektes ohne Puffer zum Einsatz, um diese Fehler zu eliminieren. Mit Hilfe der thematischen Layer konnten zügig und mit relativ guter Qualität unerwünschte Straßendaten entfernt werden. Jedoch sind große unbewohnte, ver-



siegelte Flächen wie beispielsweise Parkplätze mit Hilfe von OSM-Daten meist nicht entfernbar.

Nach diesem Schritt war die Erstellung der Gebäudemasken abgeschlossen. Die weiteren Arbeitsschritte befassen sich mit Bestimmung der Gebäudenutzung.

Zur weiteren Unterteilung der Gebäude in Wohn- und Industriegebäude wurden hierfür zunächst die Gebäude mit hohen Schwellwerten bezüglich der Helligkeitswerte (*brightness*) als Industrie klassifiziert, da wie zuvor erwähnt, Industriegebäude zu meist helle Dächer (nicht gedeckte Flachdächer) besitzen. Das daraus resultierende Ergebnis war schon recht gut und beinhaltete den größten Teil der visuell eindeutig als Industriegebäude erkennbaren Häuser. Um das bisherige Klassifikationsergebnis weiter zu verfeinern wurden die Segmente der Klassen „unklassifiziert“, „Gebäude“ und „Industrie“ jeweils fusioniert (*merge region*) und in der Klasse „Gebäude“ wurden sehr kleine Flächen (*area*), welche aufgrund dieser keine Häuser darstellen können, entfernt. Zusätzlich kamen Merkmale wie Dichte (*density*) und durchschnittliche Werte des Blaukanals (*mean Blue*) zur weiteren Verbesserung zum Einsatz. Durch das Schließen („close island“) kleinerer „Löcher“ (unklassifizierte Stellen) in klassifizierten Gebieten (relative Grenze zum jeweiligen Gebiet) wurde ein homogeneres Bild der Gebäudemasken erreicht. Nachfolgende Abbildung (Abb. 4.5) zeigt einen kleinen Ausschnitt der Gebäudemasken im Stadtteil Altstadt-Lehel.



Abb. 4.5 Ausschnitt des Satellitenbildes und erstellten Gebäudemasken im Stadtteil Altstadt-Lehel mit Wohngebäuden (rot) und Industriegebäuden (grün)

Jene zuvor erwähnten Arbeitsschritte der erzeugten Gebäudemasken des Münchener Testgebietes veranschaulicht nachstehende Abbildung des ProcessTree (Abb. 4.6).

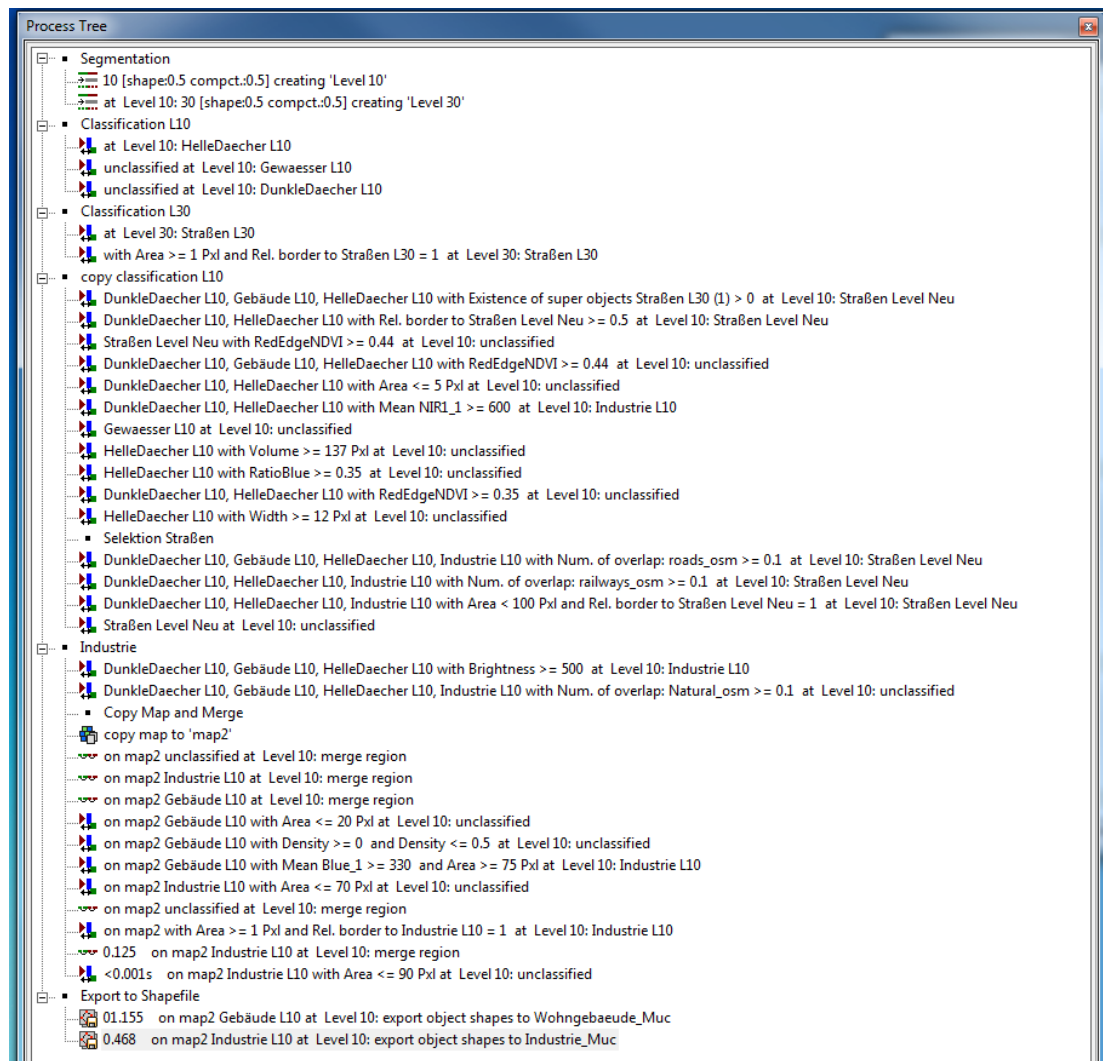


Abb. 4.6 ProcessTree (eCognition) der Gebäudemasse für die Testregion der Stadt München

Zuletzt wurden die Klassen „Industrie“ und „Gebäude“ (welche die Wohngebäude darstellt) als Vektorlayer (Shapefile) exportiert, um zur weiteren Verwendung in ArcMap genutzt werden zu können.

In Abbildung 4.7 werden alle in eCognition durchgeführten Arbeitsschritte für die Erstellung einer Gebäudemasse im Testgebiet München zusammengefasst.

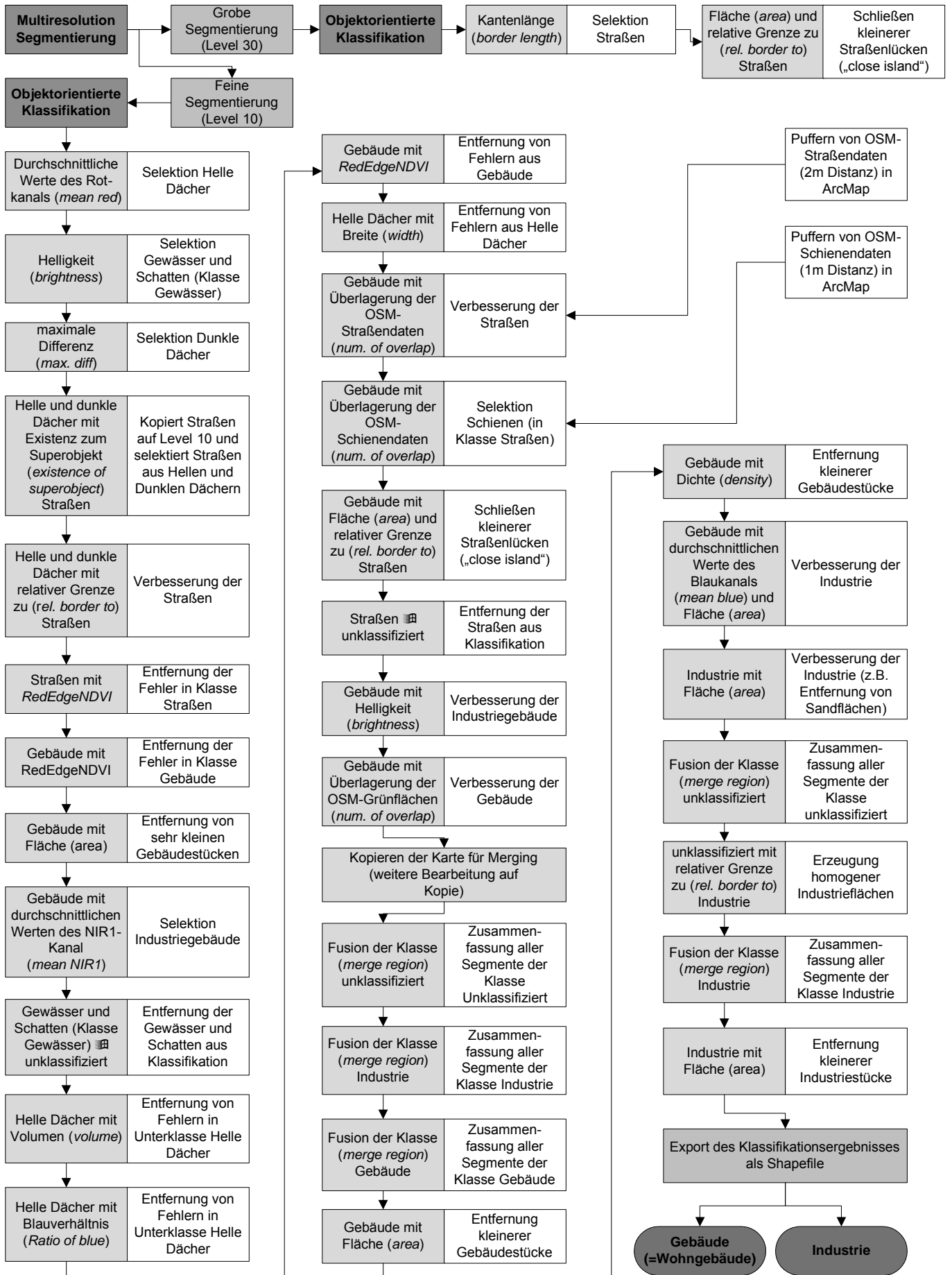


Abb. 4.7 Übersicht der Arbeitsschritte in eCognition für das Untersuchungsgebiet in München



### 4.3.2 Gebäudeextraktion Padang

Der zuvor in eCognition erstellte ProcessTree für München konnte für die Stadt Padang aufgrund der nur drei vorhandenen Kanäle (rot, grün, blau) des Ikonosbildes nicht übernommen werden (z.B. wegen des RedEdgeNDVI). Ebenso mussten wegen der unterschiedlichen Bandbreiten und spektralen Eigenschaften neue Schwellwerte für die jeweiligen Merkmale getestet werden, bedingt durch eine völlig andere Siedlungsstruktur und auch der Nutzungsarten, welche sich deutlich von den Wohn- und Industriegebäuden in München unterscheiden. Hierauf wird in diesem Kapitel noch näher eingegangen. In Kapitel 4.3.1 wurde erwähnt, dass keine Informationen zur Höhe der Gebäude vorlagen, dies war auch hier der Fall und bringt die selben Nachteile wie in der Münchner Region mit sich.

Wie auch für München wurde aus Gründen der erheblichen Rechenzeit die Gebäudeextraktion nur für ein Teilgebiet der Stadt angewendet (vgl. Kapitel 4.3). Der zentrale Stadtteil Padang Barat, welcher einen hohen Anteil gewerblich genutzter Gebäude aufweist, stellt im Testgebiet Padang das Untersuchungsgebiet dar (Abb. 4.8).

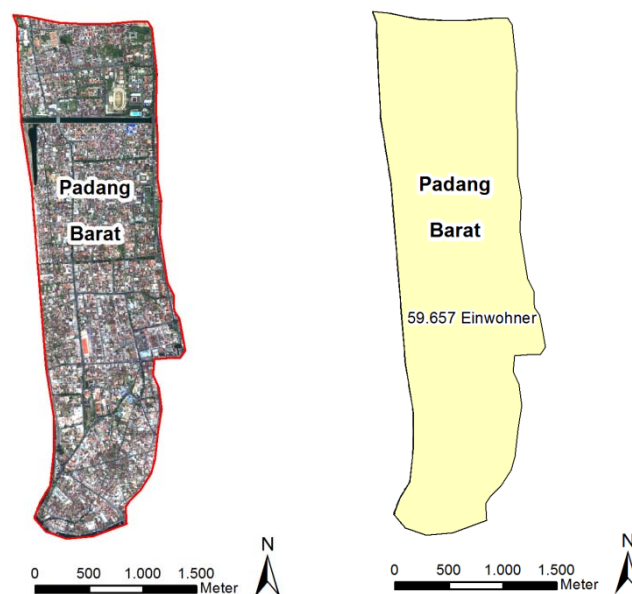


Abb. 4.8 Untersuchter Stadtteil (Padang Barat) in Padang

Jedoch blieb die grundsätzliche Vorgehensweise (vgl. Kapitel 4.3.1) erhalten. Somit entstand ein neuer ProcessTree, welchen Abb. 4.9 zeigt.

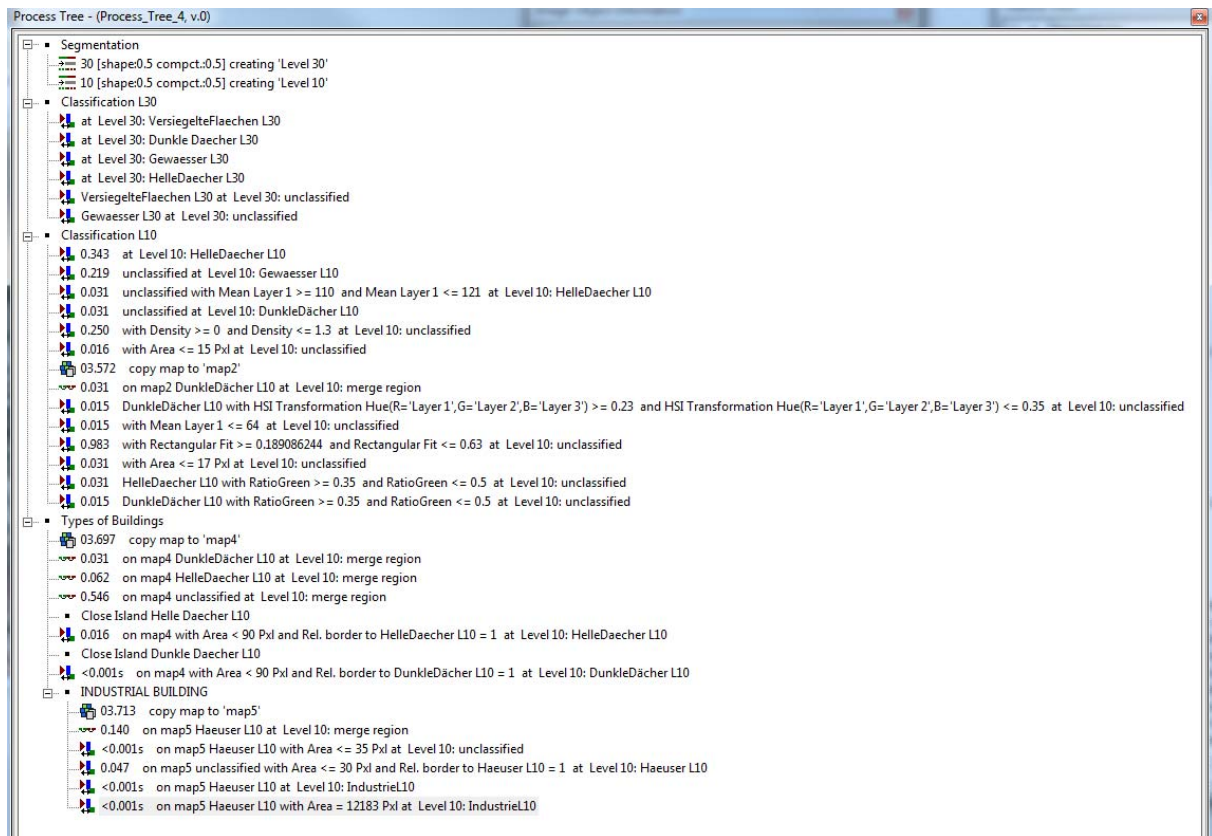


Abb. 4.9 ProcessTree (eCognition) der Gebäudemasse für die Testregion der Stadt Padang

Ebenso, wie bereits zuvor für die Münchener Gebiete, erfolgten zu Beginn zwei Multi-resolution Segmentierungen (grob: Level 30 und fein: Level 10). Die Wahl der gleichen Segmentgrößen wurde auch aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit der beiden Gebiete so bestimmt. Wiederum wurden im nächsten Arbeitsschritt Klassifikationsschritte zur Erzeugung einer Gebäudemasse durchgeführt. Die Klassifikation im Level 30 konnte wie auch im Gebiet München, aufgrund ihrer gröberen Auflösung (Abb. 4.10), kein ausreichend gutes Ergebnis einer Gebäudemasse erzielen.

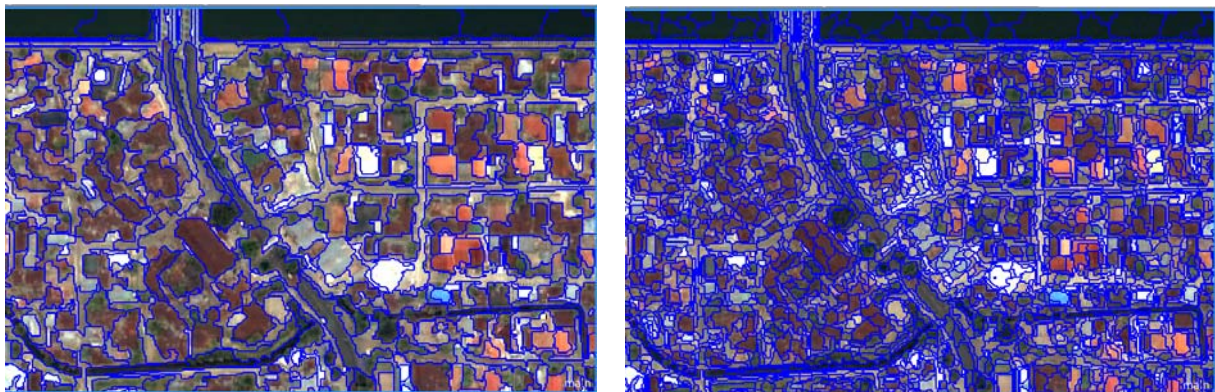


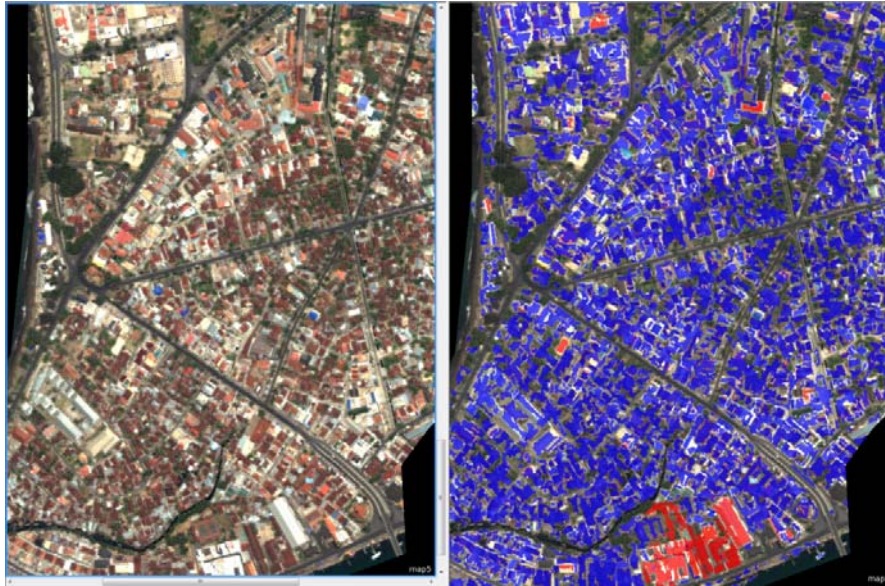
Abb. 4.10 Ausschnitt des Segmentierungslevel 30 (links) und des Segmentierungslevel 10 (rechts) für des Untersuchungsgebietes Padang Barat

Daher wurde das grobe Level 30 für alle folgenden Schritte nicht weiter berücksichtigt. Die Klasse „Gebäude“ wurde in zwei Unterklassen „Dunkle Dächer“ und „Helle Dächer“ untergliedert um ein genaueres Ergebnis der Klassifikation zu erhalten. Unter Anwendung von getesteten Schwellwerten des durchschnittlichen Wertebereich des Roten Kanals (*mean Red*), Flächengröße (*area*) und dem „*Ratio of Green*“ (Grünverhältnis) wurden die hellen Dächer als solche klassifiziert. Gewässer konnten wie auch im Gebiet München mittels Schwellwerten der Helligkeit (*brightness*), der Klasse „Gewässer“ zugewiesen werden um keine Fehlklassifikationen im Gebäudebereich zu erhalten. Mit der durchschnittlichen maximalen Differenz (*max. diff.*) der Kanäle und der Flächengröße (*area*) der Segmente konnten auch die dunklen Hausdächer zur Klasse der Gebäude hinzugenommen werden.

In Padang stellten Straßen erfreulicherweise kein Problem dar und wurden nicht fälschlicherweise als Gebäude klassifiziert, welches auch den Grund für die nicht weiter benötigte gröbere Segmentierung darstellt. Da die Straßen im Vergleich zu den Hausdächern einen deutlich größeren Unterschied in den Helligkeitswerten aufwiesen (dunkler) als im deutschen Testgebiet, war das wohl der Grund für dieses Klassifikationsergebnis und ersparte daher einen großen Arbeitsaufwand, in welchem Straßen wieder aus der Gebäudemasken hätten entfernt werden müssen. Somit musste die bereits bestehende Gebäudeklassifikation lediglich weiter verbessert und Fehlklassifikationen entfernt werden. Dies geschah mittels Schwellwerten bezüglich der Dichte (*density*), Flächengröße (*area*), durchschnittlichem Wertebereich des Rotkanals (*mean Red*), Rechteckiger Form (*rectangular fit*), *Ratio of Green* (Grünverhältnis) sowie dem Farbton einer IHS-Transformation. Der Merge-Region-Algorithmus wurde auf die Hauptklasse „Gebäude“ angewendet, um weitere Verbesserungen in Bezug auf die Entfernung kleinerer Fehlklassifikation (Flächengröße) zu erwirken. Wie auch zuvor im Testgebiet München wurden kleinere Löcher durch die Bestimmung einer berücksichtigten Flächengröße sowie der relativen Grenze zu den Gebäuden („close island“) geschlossen, um ein einheitlicheres Bild zu erzielen. Ebenso wurden die zuvor fälschlicherweise entfernten „Gebäude“-Segmente (Klassifikationsfehler) wieder der Gebäude-Klasse zugewiesen.

Dafür stellte im indonesischen Untersuchungsgebiet die Unterscheidung der Nutzung (Wohn- oder Industriegebäude) der Gebäude ein erhebliches Problem dar. Zunächst als Industriebauten vermutete Gebäudekomplexe stellten sich nach Überprüfungen

mit beispielsweise der Typenbezeichnung von OSM-Gebäudedaten oder den erhobenen Daten des Last-Mile Projektes zur Nutzung der Gebäude als Wohngebäude heraus. Eine eindeutige visuelle Zuweisung und Umsetzung einer Klassifikation von Industriebauten (helle Dächer und größer als restliche Dächer) war im indonesischen Testgebiet daher nicht möglich. Die Merkmale Größe, Helligkeit und Form der Dächer, welche im Gebiet München ein Industriegebäude von einem Wohngebäude unterscheiden lassen, treffen daher hier nicht zu. Da jedoch die Tätigkeitsfelder der Bevölkerung in Indonesien zu einem großen Teil im Agrarbereich liegen (Statistiken zu den Tätigkeitsbereichen des BPS), kann dies auch ein Grund sein, dass weniger Industriegebäude ausfindig gemacht werden konnten. Zudem sind in Entwicklungsländern große Industriekomplexe eher selten und die Mehrzahl der Einwohner arbeitet in kleineren Geschäften oder sogar unter freiem Himmel (BMZ, 2012). Kleinere, industriell genutzte Gebäude sind jedoch ebenfalls aus dem Satellitenbild mittels visueller Interpretation nicht von Wohngebäuden zu differenzieren. Daher wird vermutet, ein qualitativ geringwertigeres Ergebnis aus der Nutzungsklassifikation der Gebäudeselektion als in der Region München zu erhalten. Nur eine gute Gebäudeklassifikation und deren Unterteilung nach Nutzungsart versprechen eine realistische Modellierung der Bevölkerungsverteilung. Durch die nicht eindeutige Zuweisung von Industriegebäuden wird im Umkehrschluss das Ergebnis der Bevölkerungsverteilung deutlich geringwertiger ausfallen als im Testgebiet München. Dies wird im Weiteren hinsichtlich der Realität mit Hilfe der erhobenen Daten verglichen. Durch die schlechte visuelle Interpretation von Industrieflächen konnte nur angenommen werden, dass hellere und zugleich deutlich größere Gebäude, im Vergleich zum Rest, Industriebauten sein müssen und wurden als diese klassifiziert. Das Ergebnis der Gebäudemasken des Stadtteils Padang Barat sowie die Probleme der Trennung von Wohn- und Industriebauten in dieser Region visualisiert Abbildung 4.11 und wurde zuletzt ebenfalls als Shapefile exportiert. Eine Übersicht der in diesem Kapitel durchgeführten Arbeitsschritte liefert Abbildung 4.12.



*Abb. 4.11 Ausschnitt des Satellitenbildes (links) und der erstellten Gebäudemasken im Stadtteil Padang Barat (rechts) mit Wohngebäuden (blau) und Industriegebäuden (rot)*

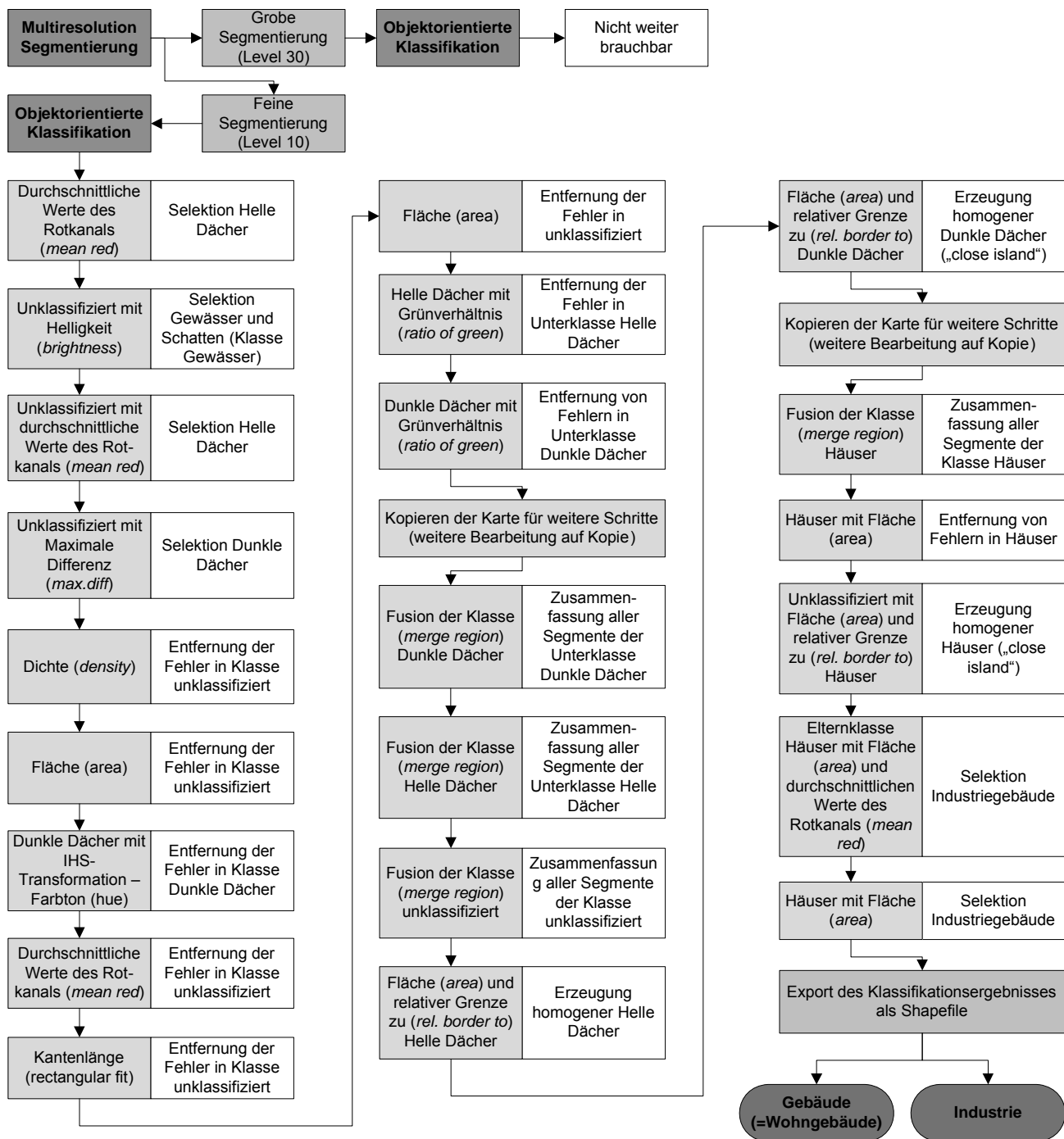


Abb. 4.12 Übersicht der Arbeitsschritte in eCognition für das Untersuchungsgebiet in Padang



## **4.4 Modellierung Tag- und Nachtkarten**

In den weiteren Schritten werden die statistischen Daten zur Verknüpfung mit den Gebäudemasken und deren Nutzung bearbeitet. Dabei wurden Zusammenhänge zwischen den Daten, wie etwa Altersstrukturdaten mit Daten zu Schulen verknüpft um daraus die Anzahl der Schulkinder abzuleiten, sowie Anpassungen in ArcMap 10 der Firma ESRI und dem Office-Tabellenkalkulationsprogramm Excel von Microsoft vorzunehmen. Mit Hilfe der Nutzungsarten der in eCognition klassifizierten Gebäudemaske konnten die Bevölkerungsdaten entsprechend dem Tage oder der Nacht umverteilt werden, da davon auszugehen ist, dass die Bevölkerung die Nacht in ihren Wohnungen verbringt und tagsüber einer Beschäftigung außerhalb der Wohngebäude nachgeht. Somit beschreiben nachstehende Kapitel der raum-zeitlichen-Methode der Städte München und Padang vorliegende statistische Daten von Bevölkerungszahlen, Altersstruktur und Tätigkeitsfeldern und wie diese im Folgenden auf die gewünschte Situation (Tagverteilung, Nachtverteilung) und deren Untersuchungsgebiete angepasst und in die Gebäudemaske integriert werden.

Dieser Teil der Arbeit gibt einen Überblick der Umsetzung der raum-zeitlichen-Methode, wobei nicht alle Situationen der Bevölkerungsverteilung, auch aufgrund der Datenlage, berücksichtigt werden konnten. In Kapitel 5 werden die entstandenen Kartenprodukte zur Tag-/ Nachtverteilung dahingehend diskutiert und ein Überblick weiterer möglicher integrierbarer Referenzdaten wird aufgezeigt. Die folgenden beiden Kapitel 4.4.1 und 4.4.2 beschreiben daher ausschließlich die Umsetzung der Bearbeitung und Integration der Referenzdaten. Ebenfalls, wie in den Kapiteln zuvor (4.3.1 und 4.3.2) werden die jeweiligen Arbeitsschritte in den beiden folgenden Kapiteln (4.4.1 und 4.4.2) am Ende in einer Übersicht kurz wiedergegeben.

### ***4.4.1 Raum-zeitliche-Methode im Testgebiet München***

Zur Erzeugung einer Tag- und Nachtkarte in München mussten die verfügbaren Statistischen Daten, welche in Tabelle 4.1 hinsichtlich deren Genauigkeit und deren verbundenen Probleme zur Umsetzung einer Tages- und Nachtbevölkerungsverteilung zusammengefasst werden, insofern bearbeitet werden, damit diese sich auf die aus eCognition exportierten Shapefiles der Wohn- und Industriegebäude für den Tag und

die Nacht umverteilen lassen. Im Allgemeinen ist das Ziel der Bearbeitung der Referenzdaten, die in einer gröberen Genauigkeit (z.B. Stadtteil) vorliegenden Daten auf die Einzelgebäude umzuverteilen um eine Realisierung einer auf Einzelhäuser genauen Tag-/ Nachtkarte zu erreichen. Ausgeführte Bearbeitungsschritte der Referenzdaten werden in diesem Kapitel erläutert und daraufhin eine Tag- und Nachtkarte für die Stadtteile Altstadt-Lehel und Schwabing-Freimann abgeleitet.

Referenzdaten	Genauigkeit	Probleme/ Herausforderungen
Bevölkerungszahlen (kleinräumige Gliederung)	Bezirks- viertel	Höhere Genauigkeit im Vergleich zu den anderen verwendeten Referenzdaten.
Altersgliederung	Stadtteile	Altersstruktur in den Stadtvierteln und Stadtbezirken unbekannt. Annahme: Gleichmäßige Verteilung.
Arbeitslosenzahlen	Stadtteile	Arbeitslosenzahlen in den Stadtvierteln und Stadtbezirken unbekannt. Annahme: Gleichmäßige Verteilung.
Schulkinder	Stadtteile	Anzahl der Schüler in den Stadtvierteln und Stadtbezirken unbekannt. Annahme: Gleichmäßige Verteilung.

Tab. 4.1 Übersicht der verwendeten Referenzdaten, deren Genauigkeit sowie damit verbundene Herausforderungen zur Integration in die Gebäudemasken in München

Vor der Integration der Referenzdaten mit der Gebäudemasken musste zunächst die aus eCognition exportierten Shapefiles der Wohn- und Industriegebäude um deren Nutzungsart als neue Attributeigenschaft in der jeweiligen Attributtabelle in ArcMap ergänzt werden. Attributinformationen sind beschreibende Sachdaten (Eigenschaften) der dargestellten Features in tabellarischer Form, der Attributtabelle. Ein Attribut beschreibt eine Eigenschaft (z.B. die Fläche) eines Objektes und wird in einem Tabellenfeld dargestellt. Die Attributspalte hingegen charakterisiert die jeweilige Eigenschaft (z.B. Flächengröße) aller in der Karte dargestellten Objekte. Alle unterschiedlichen Eigenschaften (z.B. Flächengröße, Umfang) eines Features werden in der Attributzeile durch mehrere Attributfelder beschrieben. Eine Attributtabelle ist beliebig erweiterbar und lässt eine Zuweisung von bestimmten Eigenschaften (z.B. Bevölkerungsdaten) auf ein oder mehrere Objekte zu.

Die beiden Gebäudearten wurden daraufhin zu einem Gesamtergebnis der Gebäudemasken vereinigt (*union*). In dieser konnten die Gebäude aufgrund der zuvor ergänzten Nutzungsart eindeutig differenziert werden. Da aufgrund der Vereinigung (*union*) die Nutzungsarten in zwei separaten Spalten dargestellt waren (Wohnge-



bäude, Industriegebäude), wurden für spätere Abfragen zur Verteilung der Bevölkerung nach Gebäudenutzung diese in einer gemeinsamen Spalte zusammengefasst.

Die verfügbaren statistischen Daten aus Tabelle 4.1 wurden aus diesem Grund, wie im Weiteren beschrieben, in der Attributtabelle der Bezirksviertel sowie der Gebäudemasken ergänzt und entsprechend (z.B. zur Verbesserung der Genauigkeit) bearbeitet. Zunächst mussten die Bevölkerungsdaten, welche auf Bezirksviertel genau vorlagen (Abb. 3.2) mit den räumlich dargestellten Bezirksvierteln (Shapefile) verbunden (*join*) werden. Um eine Verteilung der Bevölkerungsdaten auf Einzelgebäude umzusetzen mussten die Bezirksviertel mit der Gebäudemasken verschnitten (*intersect*) werden.

Da die absoluten Bevölkerungsdaten auf Bezirksviertel genau vorlagen (Abb. 3.2), mussten im folgenden Schritt die Bezirksteile, mit der verbundenen (*join*) bearbeiteten Bevölkerungsdatentabelle, mit den jeweilig zugehörigen Gebäudedaten in Verbindung gebracht werden. Da jedoch einige Gebäude über die Grenzen zum jeweiligen Nachbarbezirk hinausragten, sollten diese in ihrer Gesamtfläche nicht zweimal (jedem Bezirksviertel) zugewiesen werden, sondern nur soviel Gebäudefläche wie auch der Bezirk an Gebäudefläche enthält (d.h. Gebäude wurden anteilig zugewiesen). Die Verschneidung (*intersect*) erfolgte über das Analysis Tool der ArcGIS-Toolbox. Das Ergebnis in der Attributtabelle des neu entstandenen Vektorlayers weist den Einzelgebäuden die Bezirksviertelnummer zu, in welchem sie existieren. Zur weiteren Umverteilung der Bevölkerungsdaten auf die Gebäude musste hierfür deren Gebäudefläche in der Attributtabelle berechnet werden, dies erfolgte mittels des Geometrierechners auf der Einheit in Quadratmetern. Da wie zuvor in Kapitel 4.3.1 erwähnt, keine Informationen zur Gebäudehöhe vorlagen, bezieht sich die Gebäudefläche allein auf die Grundfläche des Gebäudes und berücksichtigt nicht die tatsächliche Wohn- bzw. Nutzfläche eines Hauses. Für eine erste Näherung der Bevölkerungsverteilung auf Einzelgebäude ist diese allerdings ausreichend. Die Schwäche des Ansatzes bezüglich der nicht berücksichtigten Gebäudehöhe wird in Kapitel 5.2. diskutiert.

Abbildung 4.13 liefert das Ergebnis der Attributtabelle der Verschneidung der Gebäudemasken mit den Stadtteilen sowie die Flächenberechnung der einzelnen Gebäude.

Stadtteil Nr	Stadtteil	Flaeche	Stadtteil	Bezirksteil Nr	Bezirksteil	Bezirksviertel	EW	Bezirksviert	GebNutzung	Gebaeudflaeche
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	111	52	Wohngebaeude	789,5		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	111	52	Wohngebaeude	275,7		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Industrie	164,7		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Industrie	177,3		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Industrie	38,23		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Industrie	102,6		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Industrie	913,6		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	48,24		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	67,87		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	1054		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	81,15		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	1168		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	622,9		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	353,9		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	106,4		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	696,7		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	0,705166		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	3092		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	112	65	Wohngebaeude	46,71		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	113	1879	Industrie	735,8		
1	Altstadt-Lehel	318,46	01.1	Graggenau	113	1879	Industrie	1117		

Abb. 4.13 Ausschnitt der Attributtabelle (ArcMap) der verschnittenen Bezirksteile mit den zugehörigen Gebäuden sowie deren Flächenberechnung für das Untersuchungsgebiet in München

Da bisher nur Wohn- und Industriegebäude als potentielle Aufenthaltsorte der Bevölkerung berücksichtigt wurden, Schulkinder sich jedoch, wie in Abbildung 2.3 dargestellt, tagsüber in Schulen aufhalten, mussten diese Daten aus der Gebäudemasken selektiert werden. Anhand der Typenbezeichnung von OSM-Gebäudedaten konnten Schulen im Testgebiet auffindig gemacht werden. Um diese in der Gebäudemasken darzustellen, mussten die sich mit den Schulen der OSM-Daten überlagernden Gebäude in ihrer Bezeichnung der Nutzung in der Attributtabelle als Schulgebäude geändert werden.

Während sich die Bevölkerung am Tage sehr unterschiedlich verteilt, ist anzunehmen, dass sich die Bevölkerung in der Nacht in den Wohngebäuden aufhält. Die Erhebung der statistischen Daten beruht auf den gemeldeten Wohnsitzen der Bevölkerung und kann daher auf die Gebäude umverteilt werden. Nachdem aber nicht bekannt war, wie viele Personen sich in welchem Haus aufhalten, musste eine gleichmäßige Zuweisung der Bevölkerung zur Wohnfläche erfolgen. Hierfür war es zunächst notwendig, die Summe der Gebäudeflächen in Abhängigkeit zur Nutzung je Bezirksviertel zu errechnen (3).

$$\text{Bevölkerungsdichte je Bezirksviertel} = \frac{\text{Bevölkerungszahlen je Bezirksviertel}}{\text{Summe der Wohngebäudeflächen je Bezirksviertel}} \quad (3)$$

Zur Bestimmung der absoluten Bevölkerungszahlen je Wohngebäude (Nachtbevölkerung) wurde das Ergebnis der Bevölkerungsdichte je Bezirksviertel auf die Gebäudefläche jedes Hauses übertragen (4).

$$\text{Nachtbevölkerung} = \text{Bevölkerungsdichte je Bezirksviertel} * \text{Wohngebäudefläche} \quad (4)$$

Damit wird angenommen, dass je größer die Fläche des Wohnhauses ist, umso mehr Menschen halten sich darin auf. Dies ist im Allgemeinen auch meistens so, gibt aber in Hochhäusern eine zu niedrige Bevölkerungszahl wieder, da sich die Bevölkerungszahlen wie bereits erwähnt nur auf der Grundfläche der Gebäude verteilen.

Das Verhältnis der Einwohner zur Fläche (Kapitel 2.2.1) beschreibt jedoch die Bevölkerungsdichte und ist daher ein geeignetes Maß zur Visualisierung der Bevölkerung. Die Nacht-Bevölkerungsdichte je einzelnes Wohngebäude wird durch die Formel (5) repräsentiert.

$$\text{Nachtbevölkerungsdichte} = \frac{\text{Nachtbevölkerung je Wohngebäude}}{\text{Wohngebäudefläche}} \quad (5)$$

Eine Bestimmung der Verteilung der Tagbevölkerung ist jedoch mit erheblichem Mehraufwand verbunden, da zusätzliche Daten wie die Altersstruktur etc., aber auch Hypothesen zu den Aufenthaltsorten und der Verteilung berücksichtigt werden müssen. Das daraus resultierende Ergebnis ist abhängig von der Einbeziehung und Qualität der Zusatzdaten und kann mit Hilfe ergänzender Informationen zu den Aufenthaltsorten (z.B. Arbeitsorte, Hausfrauen vgl. Tabelle 5.1) der Bevölkerung stetig verbessert und verfeinert werden.

Zur Generierung der Verteilung der Tagesbevölkerung wurden die bereits erwähnten Daten zur Altersverteilung, sowie zusätzliche Informationen zu Arbeitslosenzahlen und Anzahl der Schüler in der Attributtabelle des Vektorlayers ergänzt. Diese Daten existierten allerdings nur auf der Ebene der Stadtteile und mussten daher prozentual auf die jeweiligen Bezirksviertel umverteilt werden, aus welchen somit die absoluten Bevölkerungszahlen ermittelt werden konnten. Unter Beachtung der Bevölkerungsverteilung tagsüber, wie es Abbildung 2.3 aufzeigt, wurden somit die Bevölkerungszahlen je Bezirksviertel berechnet, welche tagsüber aufgrund des Alters (Senioren, Babies) oder Arbeitslosigkeit in den Wohngebäuden bleiben. Hierbei gab es keine Informationen zur Anzahl der Hausfrauen, die tagsüber ebenfalls daheim sind. Kinder

zwischen 6 Jahren und 15 Jahren halten sich in der Regel tagsüber in Schulen auf. Da es jedoch auch Schüler (Gymnasium, Fachoberschulen etc.) im Alter von über 15 Jahren gibt, hierzu jedoch keine Daten vorlagen, wurde das Ergebnis der Schüler im Alter von 6 bis 15 Jahren von den zusätzlichen Daten der Schüler je Schule (Gesamtschülerzahl) subtrahiert und deren Differenz stellten die Schüler ab 16 Jahren dar (6).

$$\text{Schüler ab 16 Jahren} = \text{Gesamtschülerzahl} - \text{Schüler zwischen 6 und 15 Jahren} \quad (6)$$

Zusätzlich sollten bei der Betrachtung der Schüler in den Schulen jedoch Ferienzeiten berücksichtigt werden, da in dieser Zeit anzunehmen ist, dass sich dort keine Personen aufhalten. Eine Beachtung dieser würde jedoch die Notwendigkeit einer zweiten Tagkarte (für die Ferienzeit) mit sich bringen. Hinzu kommt, dass der Unterricht häufig am frühen Nachmittag endet, und sich ab dann nur noch wenige Schüler (aufgrund von zusätzlichen Schulstunden, Wahlfächern etc.) in den Schulgebäuden aufhalten. Des Weiteren wurde angenommen, dass sich die Schüler tagsüber in den Schulen des Stadtteils aufhalten und wurden somit mittels der bereits mehrfach erwähnten Dichteformel auf die Schulgebäude umverteilt. Die restliche Bevölkerung im Alter zwischen 16 und 64 Jahren konnte somit als erwerbsfähige Personen bezeichnet werden. Hiervon konnte jedoch der Anteil der Arbeitslosen, und damit in den Wohngebäuden bleibende Einwohner, abgezogen werden. Dadurch ermittelte erwerbstätige Personen

$$\begin{aligned} \text{Erwerbstätige} = \\ \text{Bevölkerung zwischen 16 und 64 Jahren} - (\text{Schüler ab 16 Jahren} + \text{Arbeitslose}) \end{aligned} \quad (7)$$

wurden ebenfalls durch die Dichte-Formel auf die Industriegebäude des gesamten Testgebietes verteilt. Es war davon auszugehen, dass die arbeitende Bevölkerung nicht unmittelbar in nächster Nähe zu dessen Wohnhaus beschäftigt ist.

Somit konnten aus den Dichtewerten der einzelnen Gebäude die absoluten Zahlen der sich dort aufhaltenden Personen (Schüler, Arbeitslose, Senioren, Kinder, Erwerbstätige) ermittelt werden und in einer neuen Spalte der Attributtabelle, welche die absoluten Bevölkerungszahlen der Tagesbevölkerung wiedergibt, festgehalten werden. Auch hierfür wurden die Dichtewerte je Gebäudeeinheit zur Tageszeit ermittelt. Die Abbildung 4.15 gibt das Resultat der Tag- und Nachtbevölkerungsverteilung

des Untersuchungsgebietes der Stadt München wieder. Zusätzlich wurden aufgrund von OSM-Daten die Standorte der Krankenhäuser ermittelt und manuell als Signatur in den Karten ergänzt. Bei Krankenhäusern wird eine volle Auslastung am Tag sowie in der Nacht angenommen. Absolute Zahlen liegen hierfür jedoch nicht vor.

Für die festgelegte Klasseneinteilung der Bevölkerungsdichte wurde eine manuelle Klassifikationsmethode gewählt, welche sich an den natürlichen Brüchen der Daten orientiert. Um einen Vergleich der Daten (Tag- und Nachtkarte) zu gewährleisten wurden diese Klassen anhand der Tagkarte, wegen der zum Teil dichteren Bevölkerungsverteilung, umgesetzt und auf die Nachtkarte übertragen. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Daten aufgrund der Histogramme zur Tag- und Nachtdichte (Abb. 4.14) sich möglichst gleichmäßig über die gewählten Klassen verteilen. Die letzte Klasse enthält ausschließlich die Extremwerte („Ausreißer“) um diese, zum Teil Spitzenwerte, besser von den anderen hervorzuheben. In Tabelle 4.2 werden die Werte (Anzahl der Gebäude) verdeutlicht, die der jeweiligen Klasse zugewiesen wurden.

Klassen (Einwohner je km <sup>2</sup> )	0–1.045	1.046-7.830	7.831-16.325	16.326-80.000	80.001-122.671
<b>Tag</b>	1.814	1.441	1.380	883	26
<b>Nacht</b>	1.808	549	708	2.480	0

Tab. 4.2 Anzahl der auf die Klassen zugewiesenen Gebäude im Untersuchungsgebiet in München

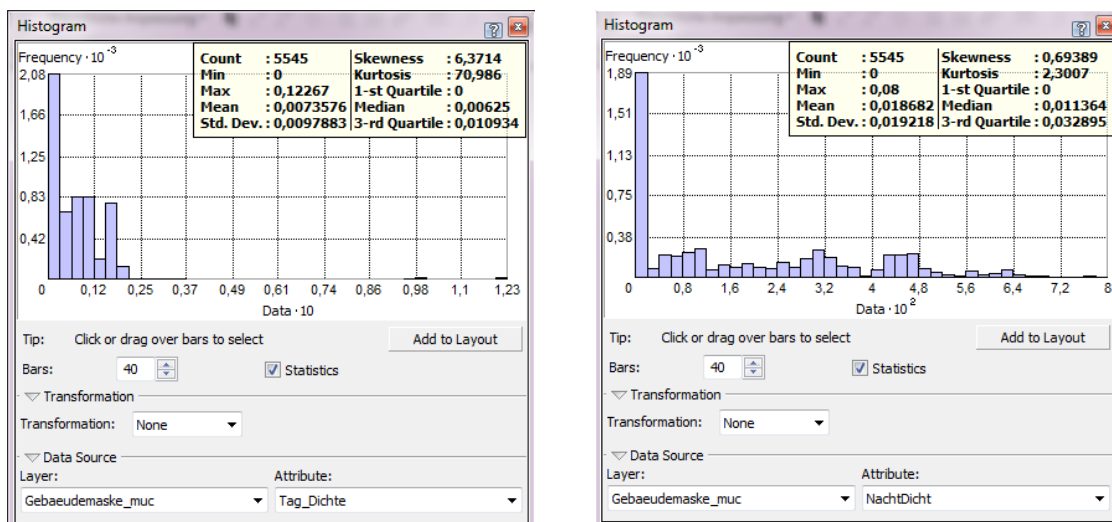


Abb. 4.14 Histogramm der Tag- (links) und Nachtdichte (rechts) im Untersuchungsgebiet in München (aus ArcMap). Die X-Achse beschreibt die Dichtewerte in m<sup>2</sup> und die Y-Achse das Dichtevorkommen



# TAG-/NACHTKARTE MÜNCHEN 2011- Altstadt-Lehel und Schwabing-Freimann

1:22.000

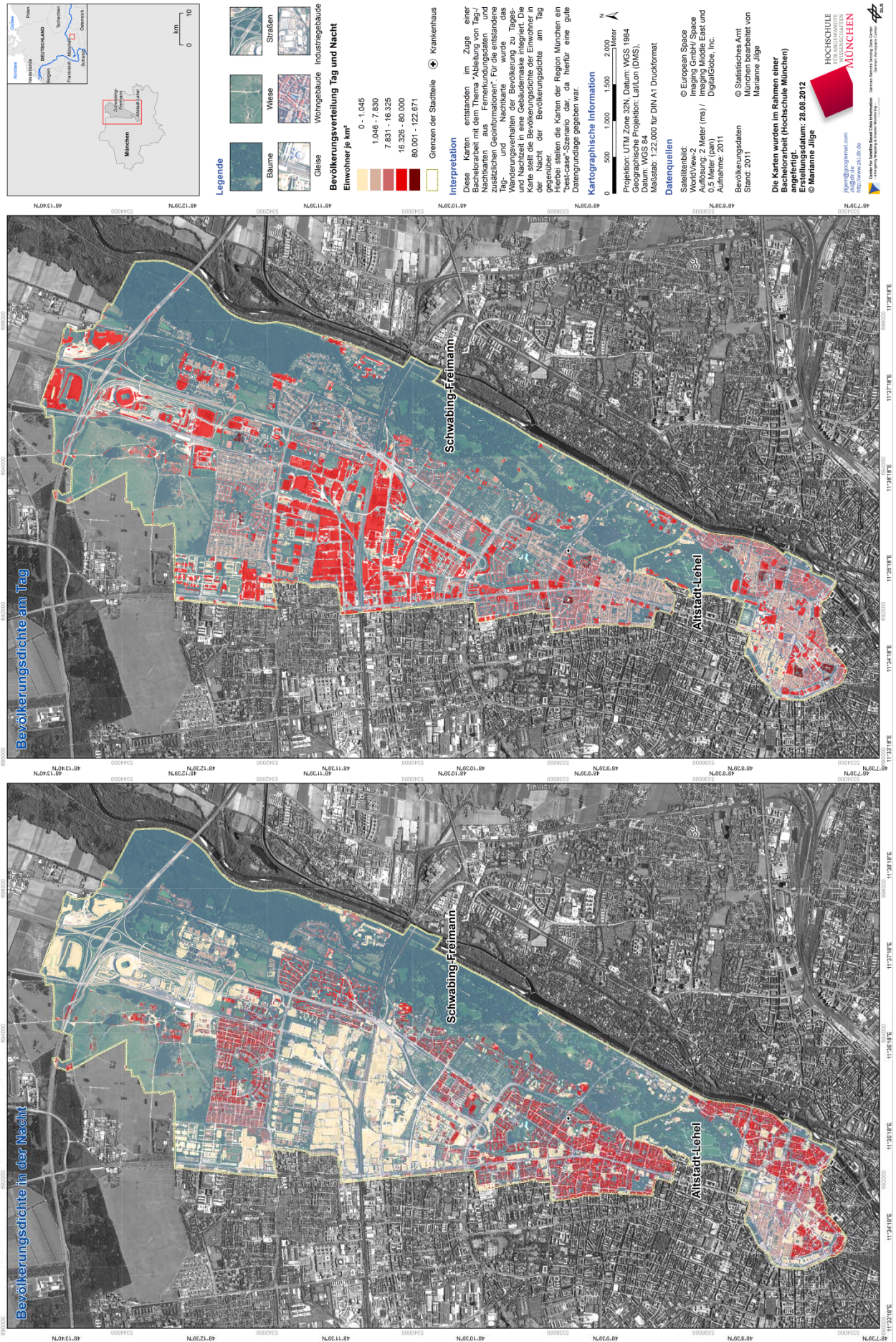


Abb. 4.15 Tag- (rechts) und Nachtkarte (links) im Untersuchungsgebiet der Stadt München



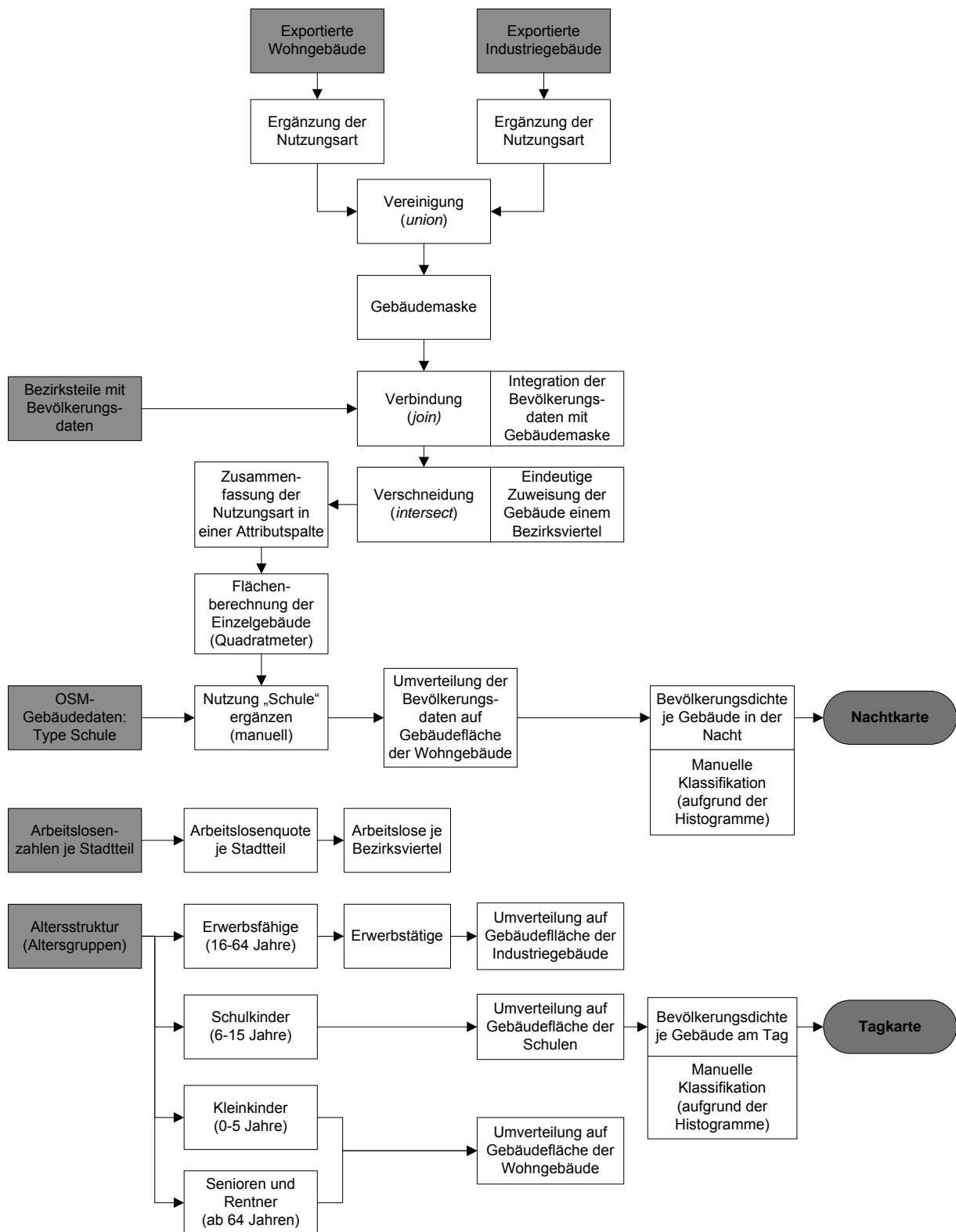


Abb. 4.16 Übersicht der Arbeitsschritte in ArcMap für das Untersuchungsgebiet in München

#### 4.4.2 Raum-zeitliche-Methode im Testgebiet Padang

Für die Ableitung einer Tag-/ Nachtkarte in Padang wurden andere statische Referenzdaten hinzugezogen, welche ebenfalls, wie für das deutsche Testgebiet, in Tabelle 4.3 hinsichtlich der Genauigkeit und der damit verbundenen Herausforderungen dargestellt werden. Grundsätzlich ist der Ablauf der Generierung der Kartenprodukte der gleiche, da versucht wurde, den bereits in München getesteten Ansatz auf Padang zu übertragen. Aufgrund der unterschiedlichen Daten mussten jedoch einige andere Rechenschritte durchgeführt werden, welche in diesem Kapitel beschrieben werden.

Referenzdaten	Genauigkeit	Probleme/ Herausforderungen
Bevölkerungszahlen	Stadtteil	Höhere Genauigkeit zu den anderen verwendeten Referenzdaten.
Altersgliederung	Provinz Sumatera Barat	Sehr ungenau, da Daten für die gesamte Provinz (ländlich und städtisch). Altersgliederung in der Stadt unbekannt.
Tätigkeitsbereiche der arbeitenden Bevölkerung	Provinz Sumatera Barat	Sehr ungenau, da sich Daten auf die gesamte Provinz beziehen und auch landwirtschaftliche Regionen beinhaltet. Tätigkeitsbereiche der in der Stadt lebenden Menschen ist nicht bekannt.

Tab. 4.3 Übersicht der verwendeten Referenzdaten, deren Genauigkeit sowie damit verbundene Herausforderungen zur Integration in die Gebäudemasken in Padang

Ebenfalls, wie im Untersuchungsgebiet in München, wurde den aus eCognition exportierten Datensätzen (Shapefiles) der Gebäudenutzung (Industriegebäude, Wohngebäude), eine in ArcMap weitere Attributspalte hinzugefügt und um die jeweilige Nutzungsart als Attributeigenschaft ergänzt. Um die beiden einzelnen Datensätze zu einer Gebäudemasken mit der jeweiligen Nutzungsart zusammenzuführen, kam, ebenso wie in München, das Werkzeug „vereinigen“ (*union*) der ArcGIS-Toolbox zur Anwendung.

Zur Berechnung der Tag- und Nachtverteilung der Bevölkerung wurden zunächst, wie auch im Untersuchungsgebiet in München, die sich in Padang Barat befindlichen Schuleinrichtungen ermittelt. Dieser Arbeitsschritt erfolgte unter Zuhilfenahme der Webseite [www.wikimapia.org](http://www.wikimapia.org), da diese Informationen über OSM-Daten nicht ermit-



telt werden konnten. Wikimapia bietet nicht, wie Open Street Map, die Möglichkeit Daten (Vektorlayer) herunterzuladen. Somit musste dieser Schritt durch visuelle und manuelle Zuweisung des Gebäudetyps „Schule“ erfolgen. In dessen Anschluss wurde eine Flächenberechnung (Quadratmeter) der Einzelgebäude vorgenommen, wie bereits in Kapitel 4.4.1 durchgeführt.

Daten zu den Einwohnern der Stadt Padang (Quelle: Université de la Rochelle), die den zentralen Stadtteil Padang Barat bevölkern, waren, wie zuvor erwähnt (Kapitel 3.3.2), über die Webseite von CartoONG als Shapefiles mit den Stadtteilgrenzen heruntergeladen worden. Diese grundlegenden Informationen wurden auf Grundlage des Intersect-Werkzeuges, aus selbigem Grund wie die Münchener Daten (Kapitel 4.4.1) miteinander verschnitten.

Das daraus resultierende Ergebnis, die Gesamtgebäude des Stadtteils, wurden um die Informationen zur Altersstruktur der ansässigen Bevölkerung in der Attributtabelle ergänzt. Die über die Webseite des Statistischen Amtes Indonesiens (BPS) bezogenen Daten der Altersgliederung mussten zuvor allerdings zur weiteren Verwendung überarbeitet werden. Eine Zusammenfassung zu Altersgruppen (Kleinkinder, Schulkinder, erwerbsfähige Personen) reduzierte die Datenmenge. Da sich diese Daten jedoch auf die west-indonesische Provinz Sumatera Barat (West-Sumatra) beziehen, wurden die Bevölkerungsklassen aufgrund der Annahme sich gleichmäßig verteilen-der Altersstruktur über das gesamte Gebiet prozentual der Testregion zugewiesen.

Mit Zuhilfenahme einer, ebenfalls durch BPS bezogenen Statistik zu den Tätigkeitsbereichen erwerbstätiger Personen West Sumatras, konnte ermittelt werden, dass die indonesische Bevölkerung zum Teil ab 15 Jahren zu arbeiten beginnt. Ebenso gab diese Statistik über mögliche Aufenthaltsorte der arbeitenden Bevölkerung zu Tage Auskunft. Da keine Informationen zum Rentenalter verfügbar waren, konnte ebenfalls auf Grundlage der erwähnten Statistik, welche zusätzlich Auskunft über das Alter der in den jeweiligen Berufszweigen erwerbstätigen Personen gibt, ermittelt werden wie hoch der Anteil der Bevölkerung ab 15 Jahren war, die einer bezahlten Beschäftigung nachging. Die restliche Bevölkerung ab einem Alter von 15 Jahren mussten somit Arbeitslose, Hausfrauen oder Senioren sein. Wie auch in der Statistik der Altersstruktur beziehen sich diese Daten auf West-Sumatra und wurden ebenfalls prozentual dem Untersuchungsgebiet unter der Annahme der gleichmäßigen Vertei-

lung zugewiesen und in der Attributtabelle der verschnittenen Gebäudemasken ergänzt. Eine weitere BPS-Statistik zur Anzahl der Schulkinder, ebenfalls auf Sumatera Barat bezogen, gab Aufschluss über das gewöhnliche Einschulungsalter von 5 Jahren. Wiederum erfolgte dem Stadtteil Padang Barat eine prozentuale Zuweisung der Schulkinder. Die ermittelten Prozentsätze der Bevölkerungsdaten erlaubten eine Berechnung der absoluten Zahlen der Bevölkerung je Altersgruppe.

Abbildung 4.17 veranschaulicht die bearbeiteten BPS-Tabellen der Altersstruktur und Abb. 4.18 gibt die Berufsfelder wieder, auf deren Grundlage die Attributtabelle der mit den Grenzen Padang Barats verschnittenen Gebäudemasken ergänzt wurde.

Altersstruktur - Provinz Sumatera Barat					
Altersgruppe	Personen	Zusammengefasste Altersgruppen	Personenanzahl	Prozentuale Verteilung	Aufenthaltsort tagsüber
0-4	503.241	0-4	503.241	10,3827202	Wohngebäude
5-9	522.827	5 bis 14	1.043.810	21,53558072	Schule
10-14	520.983	15 bis 95	3.299.858	68,08169908	Industrie, Wohngebäude, außerhalb des Stadtteils (z.B. Fischfang)
15-19	441.235	<b>Gesamt</b>	<b>4.846.909</b>	<b>100</b>	
20-24	377.834				
25-29	386.003				
30-34	363.142				
35-39	334.651				
40-44	297.987				
45-49	271.436				
50-54	247.670				
55-59	188.084				
60-64	117.084				
65-69	97.692				
70-74	79.422				
75-79	47.026				
80-84	32.512				
85-89	10.942				
90_94	4.671				
95+	2.467				
<b>Gesamt</b>	<b>4.846.909</b>				

Abb. 4.17 Bearbeitete Altersstrukturtafel (BPS)

Tätigkeitsbereich der arbeitenden Bevölkerung - Provinz Sumatera Barat				
Altersgruppe	Landwirtschaft	Fischerei	Industrie und Gewerbe	Gesamt
15-95+	868.080	31639	1053715	1.953.434
prozentuale Verteilung	44,43866545	1,619660557	53,941674	100
Bevölkerung ab 15 in der Provinz Sumatera Barat	10684,38833	389,4149877	12969,19668	24043
Gesamtbevölkerung im Testgebiet				4846909
Arbeitende Bevölkerung gesamt in Prozent				40,3026754
Arbeitende Bevölkerung gesamt				1953434
Bevölkerung ab 15 gesamt				3299858
Arbeitende Bevölkerung ab 15 gesamt in Prozent				59,197517
Arbeitende Bevölkerung ab 15 gesamt				1953434
Arbeitslose, Rentner und Hausfrauen ab 15 gesamt in Prozent				40,802483
Arbeitslose, Rentner und Hausfrauen ab 15 gesamt				1346424

Abb. 4.18 Bearbeitete Tätigkeitsbereiche der arbeitenden Bevölkerung (BPS)

Um eine Bevölkerungsverteilung auf Einzelgebäude genau abzuleiten, mussten im folgenden Schritt die Gebäudeflächen der Gebäude berechnet und daraufhin die Gesamtfläche aller Wohn-, Industrie- und Schulgebäude ermittelt werden. Eine Umverteilung auf die Gesamtfläche der jeweiligen Nutzungsart gewährleistet eine gleichmäßige Verteilung über das gesamte untersuchte Gebiet. Unter Anwendung der Formel (3) konnte daraufhin die Bevölkerungsdichte in den Wohngebäuden während der Nacht berechnet werden. Die absoluten Bevölkerungszahlen je Wohngebäude definiert Formel (4). Alle ermittelten Flächen der Gebäude beziehen sich auf die reine Gebäudefläche und nicht auf den durch mehrere Stockwerke zur Verfügung stehenden Wohnraum bzw. Nutzfläche. Die Industriegebäude bleiben über Nacht leerstehend. Die Nachtdichte der jeweiligen Wohngebäude wurde errechnet (5).

Erwerbstätige Personen in den Berufszweigen Fischerei, Landwirtschaft und Bergbau befinden sich aufgrund ihrer Berufe tagsüber nicht in der Stadt sondern auf den Feldern (Landwirtschaft), in der Grube (Bergbau) sowie auf dem Meer (Fischerei), und konnten somit aus der Gesamtzahl der Bevölkerung dieses Stadtteils für die Tagbevölkerung entfernt werden. Die restliche arbeitende Bevölkerung wurde, wie in Formel

$$\text{Bevölkerungsdichte in Industriegebäuden} = \frac{\text{Erwerbstätige Personen im Stadtgebiet}}{\text{Summe der Industriegebäudeflächen}} \quad (8)$$

beschrieben, gleichmäßig auf die Industriebauten, Schüler auf Schulen,

$$\text{Bevölkerungsdichte in Schulgebäuden} = \frac{\text{Schüler}}{\text{Summe der Schulgebäudeflächen}} \quad (9)$$

sowie Arbeitslose, Senioren und Hausfrauen auf die Wohngebäude (10), umverteilt.

$$\text{Tagesbevölkerungsdichte in Wohngebäuden} = \frac{\text{Bevölkerung ab 15 Jahren} - \text{Erwerbstätig Personen}}{\text{Summe der Wohngebäudefläche}} \quad (10)$$

Die absoluten Bevölkerungszahlen der einzelnen Gebäude konnten unter Berücksichtigung der Formel

$$\text{Absolute Bevölkerung} = \text{Bevölkerungsdichte je Gebäude} * \text{Gebäudefläche} \quad (11)$$

errechnet werden. Daraufhin wurden die absoluten Bevölkerungszahlen in einer neuen Attributspalte (Tagesbevölkerung) zusammengefasst und die Bevölkerungsdichte je Einzelgebäude am Tage errechnet.

Wie auch das Ergebnis der Tag-/ Nachtdichte in den Gebieten Altstadt-Lehel und Schwabing-Freimann in München wurden die Werte in einer klassifizierten Version als Tag- und Nachtkarte wiedergeben.

Zuletzt wurden, ebenfalls auf Grundlage der in Wikimapia verzeichneten Krankenhäuser, diese manuell in den entstandenen Kartenprodukten verzeichnet. Dabei wird mangels Daten, wie auch im Münchener Testgebiet angenommen, dass die Krankenhäuser Tag und Nacht, auch durch Personen außerhalb des Testgebietes, voll ausgelastet sind. Somit entstand die in Abbildung 4.20 dargestellte Tag- und Nachtverteilung der Bevölkerung Padang Barats.

Ebenfalls wie in der Anwendung der raum-zeitlichen Methode für die Region in München, wurde zur Klassifizierung der Bevölkerungsdichtewerte eine manuelle Klasseneinteilung vorgenommen. Diese umfasst alle Dichtewerte der beiden Karten und entstand auf der Grundlage der natürlichen Brüche in dem Histogramm der Tagverteilung (Abb. 4.19). Die Klassengrenzen wurden auch für die Bevölkerungsdichte in der Nacht verwendet, um die beiden Karten besser miteinander vergleichen zu können. Wie auch im deutschen Untersuchungsgebiet werden in der letzten Klasse die Spitzenwerte (am dichtesten besiedelte Gebiete) wiedergegeben. Tabelle 4.4 enthält die je Klasse zugewiesene Anzahl der Gebäude.

<b>Klassen</b> (Einwohner je km <sup>2</sup> )	<b>0-11.600</b>	<b>11.601-23.185</b>	<b>23.186-34.040</b>	<b>34.041-42.555</b>	<b>42.556-609.000</b>
<b>Tag</b>	1.506	3.430	147	0	132
<b>Nacht</b>	132	143	3.939	1.002	0

*Tab. 4.4 Anzahl der auf die Klassen zugewiesenen Gebäude im Untersuchungsgebiet in Padang*

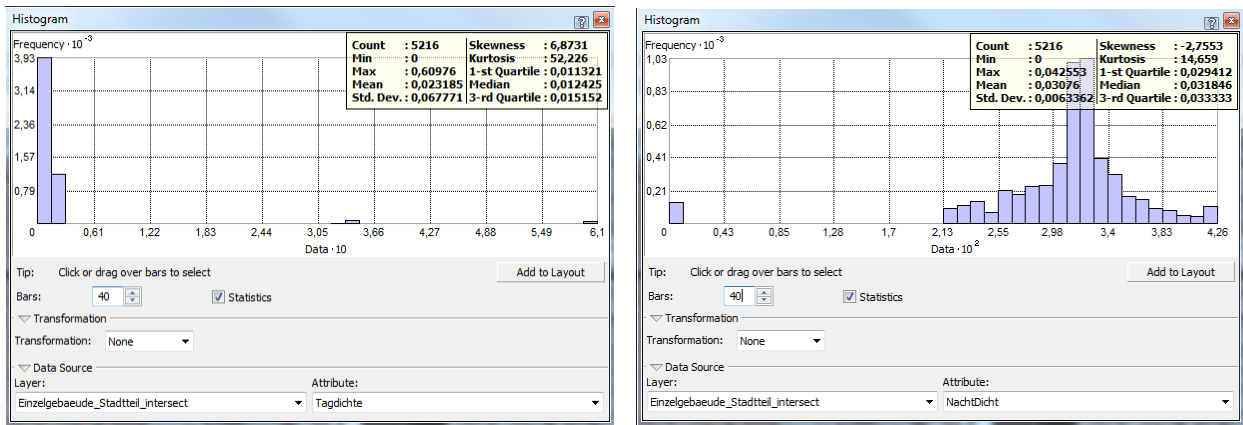


Abb. 4.19 Histogramm der Tag- (links) und Nachtdichte (rechts) im Untersuchungsgebiet in Padang (aus ArcMap). Die X-Achse beschreibt die Dichtewerte in  $m^2$  und die Y-Achse das Dichtevorkommen

Da die Statistik der Tätigkeitsfelder sich auf die ganze Provinz Sumatera Barat bezieht und auch Fischer und Landwirte erfasst, diese jedoch zumeist nicht in den Städten leben, jedoch prozentual auf die gesamte Region umverteilt werden, wird angenommen, dass sich der gleiche Anteil dieser Berufsgruppen in den Städten und am Land aufhält. Daher erweckt es den Eindruck, dass die Innenstadt (Padang Barat) tagsüber dünner besiedelt ist als in der Nacht, da die Fischer und Landwirte des Stadtteils zum Arbeiten den Stadtteil verlassen. Daten zu Ein-Pendlern aus anderen Stadtteilen oder dem Umland Padangs existieren nicht und konnten dadurch nicht berücksichtigt werden.

Abbildung 4.21. gibt einen Überblick der in diesem Kapitel durchgeführten Arbeitsschritte in ArcMap.



# TAG-/NACHTKARTE PADANG 2010 - Padang Barat

1:10.000



Abb. 4.20 Tag- (rechts) und Nachtkarte (links) im Untersuchungsgebiet der Stadt Padang

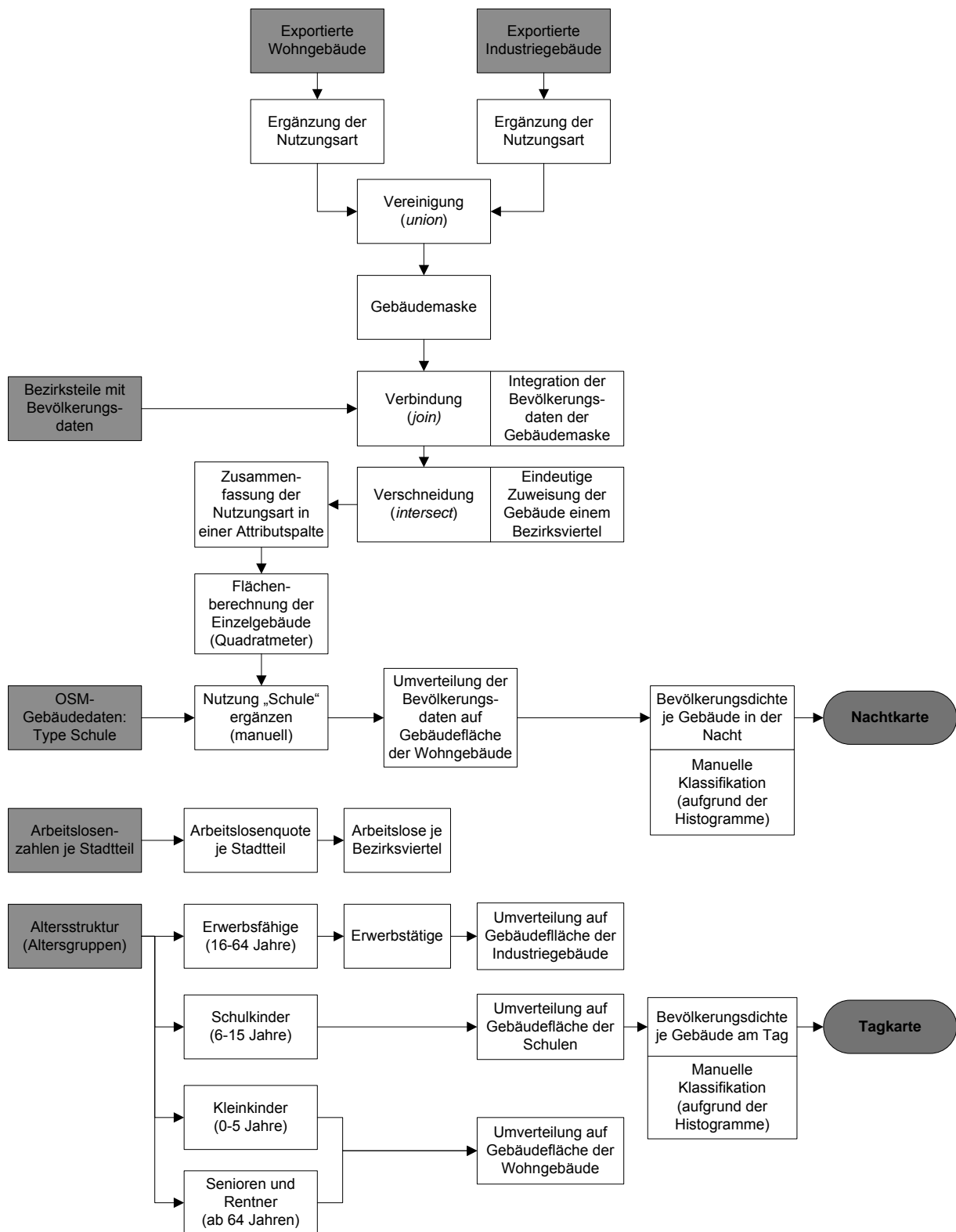


Abb. 4.21 Übersicht der Arbeitsschritte in ArcMap für das Untersuchungsgebiet in Padang

## 5. Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Gebäudeklassifikation und die damit verbundene Beschaffenheit der Disaggregation der Bevölkerungsdaten diskutiert. Ebenfalls werden die Möglichkeiten und Grenzen der verwendeten Referenzdaten erörtert, sowie ein kurzer Überblick weiterer Zusatzdaten gegeben. Außerdem wird auf die Datengrundlagen nicht berücksichtigter Gegebenheiten (Hausfrauen, Schichtarbeiter etc.), welche das Ergebnis der tatsächlichen Tag-/ Nachtbevölkerung beeinflussen, näher eingegangen.

Qualität und Verfügbarkeit der zusätzlich verwendeten Daten, aber auch die Güte der Gebäudemasken beeinflussen das Ergebnis von Tag- und Nachtkarten. Zusätzlich hat eine Vielzahl nicht berücksichtigter Informationen, auf welche in Kapitel 5.2 weiter eingegangen wird, Einfluss auf die Bevölkerungsverteilung zur Tages- und Nachtzeit.

Wie in Kapitel 3.3.2 aufgeführt, verfügt das DLR aufgrund des Projektes „Last Mile Evacuation“ für die Stadt Padang über Stichprobenerhebungen zu Tag- und Nachtbevölkerungsdaten und die Gebäudenutzung. Auf deren Grundlage ist eine Validierung der in dieser Arbeit errechneten Tag-/ Nachtkarten von Padang erfolgt.

### 5.1 Ergebnis der Ableitung von Tag- und Nachtkarten

Die Komplexität des Programmes eCognition erlaubt die Möglichkeit einer Klassifikation bis zur Perfektion. Schwerpunkt dieser Arbeit war aber nicht die Ableitung eines universell anwendbaren Ansatzes zur Gebäudemaskenerstellung, sondern die generelle Ableitung von Tag- und Nachtkarten an zwei Beispielgebieten. Somit weist der Ansatz zur Ableitung der Gebäudemasken eine gute Basisstruktur auf, für weitere Verfeinerung und Anpassung blieb jedoch im Rahmen dieser Arbeit keine Zeit.

Die Berücksichtigung der hier verwendeten Daten zu Ableitung von Tag-/ Nachtkarten gibt eine grobe Näherung der Aufenthaltsorte der Bevölkerung wieder, und ist aufgrund der geringeren Anzahl von Informationen deutlich schneller zu erzeugen und dadurch im Katastrophenfall anwendbar. Allerdings weisen diese Karten, vor allem im indonesischen Untersuchungsgebiet, wegen der schlechteren Genauigkeit der zusätzlichen Daten ein unzureichendes Ergebnis der Bevölkerungsverteilung am Tage und in der Nacht auf. Einige Personengruppen (z.B. Ein-Pendler, Hausfrauen



etc.) bleiben unberücksichtigt und ergeben somit eine andere Verteilung der Bevölkerung als unter Einbeziehung dieser Daten, sind jedoch mit größerem Zeitaufwand zur Generierung dieser Kartenprodukte verbunden und für eine Anwendung im Rapid Mapping nicht anwendbar.

Das Hauptproblem in dem Ergebnis der Klassifikation und beide Untersuchungsgebiete betreffend, sind Einzelgebäude, die aufgrund ihrer Nachbarschaftsbeziehung und daraus entstandenen Fehlklassifikationen sowie der Gebäudedichte fälschlicherweise zu einem größeren Gebäudeblock zusammengefasst wurden. Alle Bevölkerungsdaten beziehen sich in diesem Fall nicht auf ein Einzelhaus, sondern auf den entstandenen Zusammenschluss mehrerer Häuser zu einem einzelnen, und beeinflussen das Resultat. Dieses Zusammenfallen mehrerer Einzelgebäude zu einem fälschlicherweise größeren Gebäude entsteht hauptsächlich in Gebieten mit sehr dichter Besiedlung, bei geringen Abständen der Gebäude zueinander.

Wenngleich in den beiden Testgebieten einige Fehler in der Klassifikation zu registrieren sind, ist dennoch zu bedenken, dass sich die Bevölkerung nicht ausschließlich in den Gebäuden aufhält. Überklassifikationen, beispielsweise auf den Straßen, welche einen Teil der Bevölkerung außerhalb der Häuser beschreiben, geben dieses Phänomen wieder, jedoch ohne das Wissen an welchem Ort diese Personen sich tatsächlich aufhalten. Eine Anzahl und der Standort der sich im Freien aufhaltenden Menschen, aufgrund von zum Beispiel Pendelverhalten oder Freizeitaktivität, existieren nicht. Derartige Daten, würde es hierzu welche geben, wären jedoch niemals aussagekräftig genug um daraus die Tagebevölkerungsverteilung zu visualisieren. Die Aufenthaltsorte der Bevölkerung, hauptsächlich in der Freizeit, verändern sich individuell von Tag zu Tag und es müsste daher jeden Tag eine andere Situation wiedergegeben werden.

### **5.1.1 Validierung München**

Im Testgebiet in München sind immer wieder, hauptsächlich im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes, durch visuelle Vergleiche mit dem Satellitenbild und dem Ergebnis der Klassifikation Fehler durch Überklassifikationen aber auch Unterklassifikationen festzustellen. Des Weiteren konnten unter Zuhilfenahme des *European Urban Atlas*, welcher über die European Environment Agency (EEA) vertrieben wird und insgesamt 117 europäische Städte auf der Grundlage hochauflösender Satellitenbildern bezüglich deren Landnutzung beschreibt (EEA, 2011), weitere Fehlklassifikationen erkannt werden. Stücke von Straßen, Kies- oder Sandflächen und Parkwege wurden fälschlicherweise als Gebäude klassifiziert. Sehr schmale und helle Dächer, aber auch sehr dunkle Dächer fielen aufgrund ihrer Merkmale den Verbesserungsschritten (zur Verminderung von Überklassifikationen) irrtümlicherweise zum Opfer und wurden aus der Klassifikation genommen (Abb. 5.1). Ferner wurden eine zu große Gebäudemasken eines Hauses erzeugt oder aber auch zu kleine Teile des Bauwerks entfallen aus der Gebäudemasken. Darüber hinaus wurden die roten Beläge von Sportplätzen nicht als solche erkannt, sondern als Gebäude eingestuft und der Klasse „Gebäude“ zugeordnet.

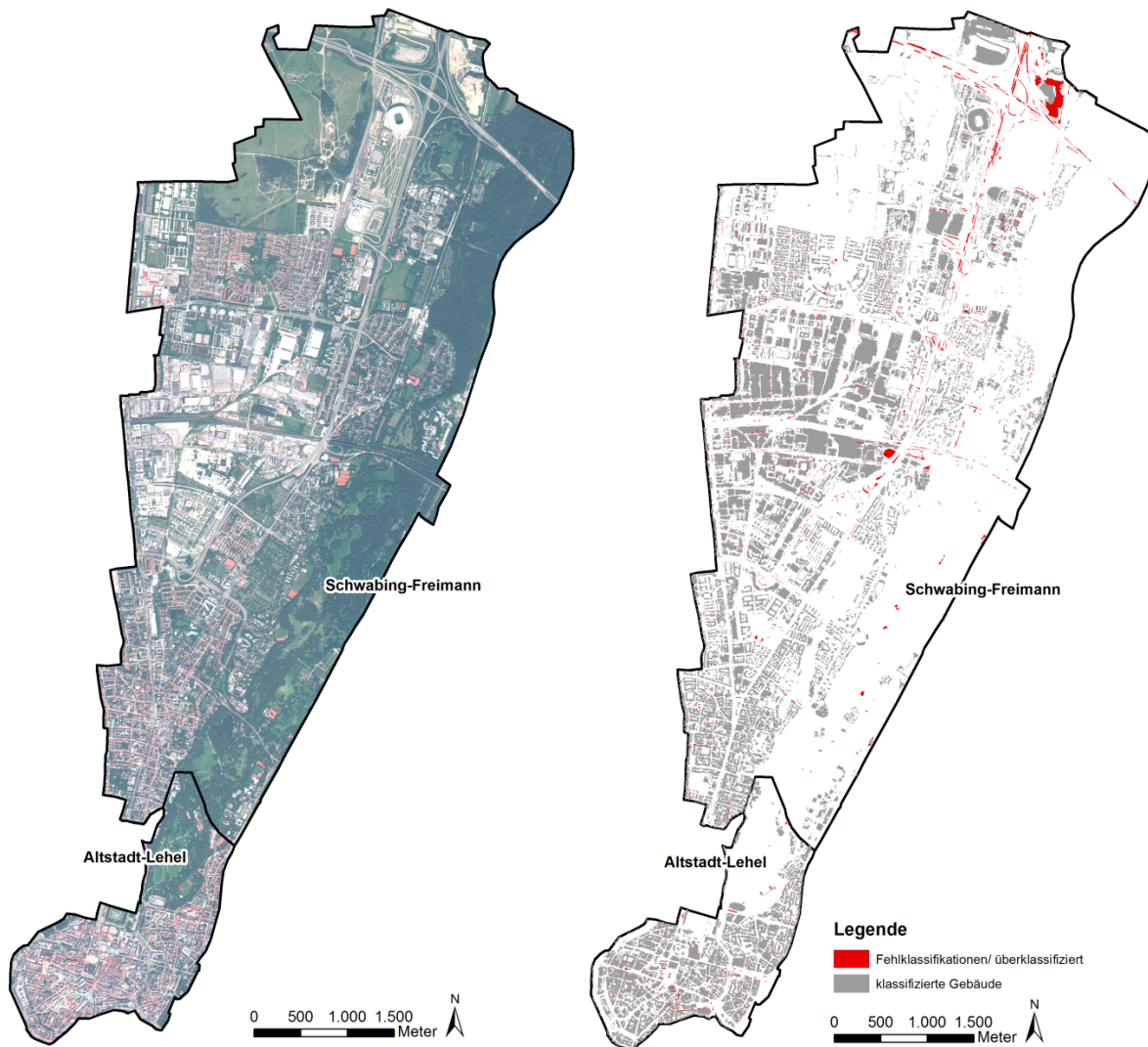


Abb. 5.1 Satellitenbild des Untersuchungsgebietes München (links) und Überklassifikation (rechts) der abgeleiteten Gebäudemasse

Insgesamt veranschaulichen die Karten in München jedoch auf den ersten Blick einen guten ersten Gesamteindruck. Tagsüber sind die Industriegebäude und Schulen stark ausgelastet, wohingegen die Wohngebäude eine deutlich geringere Dichte aufweisen. Im Gegensatz dazu sind in der Nacht die Industriegebäude und Schulen leerstehend und die gesamte Bevölkerung befindet sich in den Wohnhäusern. Abgesehen von den Über- und Unterklassifikationen ergibt sich ein realistisches Gesamtbild (Abb. 5.2). Auf die Genauigkeit der statistischen Daten, sowie unberücksichtigte Personengruppen (Ein- und Aus-Pendler, Hausfrauen, Schichtarbeiter etc.) wird in Kapitel 5.2 näher eingegangen.



*Abb. 5.2 Ausschnitte des Satellitenbildes (links), abgeleiteten Gebäudemasken (Mitte) und Klassifikation der Wohn- (rot) und Industriegebäude (blau) in München (rechts)*

Eine Anwendung auf ganz München würde das Ergebnis in Bezug auf die Verteilung der Bevölkerung verändern, da die Testgebiete (Stadtteile) eine in sich abgeschlossene Einheit wiedergeben, d. h. die Einwohner der Stadtteile bewegen sich nur innerhalb des Untersuchungsgebietes. Erwerbstätige Personen, welche in andere Stadtteile (die nicht berechnet wurden) zur Arbeit pendeln, werden daher nicht berücksichtigt und auf die Industriegebiete innerhalb der Testgebietsgrenzen verteilt. Dasselbe ist der Fall bei erwerbstätigen Personen welche in einem anderen Stadtteil wohnhaft sind, aber zur Arbeit in die untersuchten Gebiete pendeln.

### **5.1.2 Validierung Padang**

Im Gegensatz zu der Bevölkerungsverteilung in München zeigt die Tag- und Nachtkarte eine relativ gleichmäßig verteilte Bevölkerung über das gesamte Gebiet. Dies erweckte den Eindruck, es handle sich bei dem Untersuchungsgebiet um eine Wohngegend, die in der Nacht dichter besiedelt ist als am Tage. Da jedoch bekannt war, dass es sich bei dem Stadtteil Padang Barat um das Stadtzentrum mit einer hohen großen Anzahl kommerziell genutzter Gebäude handelt, konnte daraus gefolgert werden, dass die Ableitung der Tag-/ Nachtbevölkerung mit einer hohen Fehlerquote belegt sein muss. Die Gründe hierfür können Fehlklassifikationen oder ungenügende statistische Daten sein, welche in diesem Kapitel weiter ausgeführt werden.

Im indonesischen Untersuchungsgebiet entfällt aufgrund visueller Vergleiche mit der Testregion in München eine deutlich geringere Fläche an Überklassifikationen auf Straßen. Jedoch sind vermehrt an den Straßenrändern Stellen (v.a. helle Bereiche wie Zufahrten) inkorrekt als Gebäude klassifiziert worden. Gleichermassen geschah

dies mit im Süden des Stadtteils angelegten Schiffen, aber auch mit sandigen Freiflächen und Sportplätzen. Das größere Problem stellten jedoch sehr dunkle Gebäudedächer dar oder Dächer mit untypischen Dachfarben (dunkel- und hellblau), welche in der Klassifikation nicht berücksichtigt wurden. Gepflasterte oder geteerte Höfe und Zufahrten sind zudem oftmals falsch klassifiziert.

Über- und Unterklassifikationen lassen sich, wenn Validierungsdaten vorliegen (z.B. wie im Testgebiet Padang die Stichprobenerhebungen) leicht mit dem ArcGIS-Werkzeug „Symmetrische Differenz“ (Analysis Tool – Overlay) bestimmen. Die ArcGIS-Werkzeughilfe beschreibt dabei die Ausgabedatei der Symmetrischen Differenz aus sich nicht überlagernden Erscheinungen von zwei Datensätzen. Damit beschreibt dieses Werkzeug das Gegenteil von „Ausschneiden“ (*clip*). Folgende Abbildung veranschaulicht das Ergebnis der Gebäudeklassifikation im Stadtteil Padang Barat (Abb. 5.3).

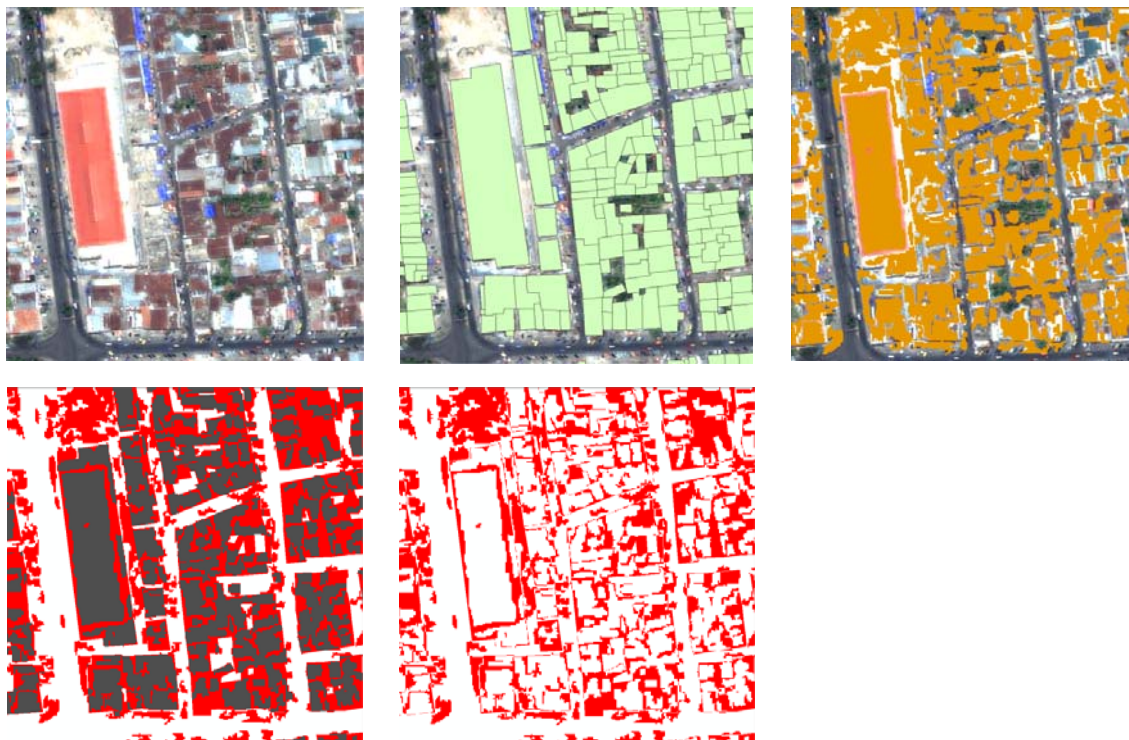


Abb. 5.3 Ausschnitt des Satellitenbildes (oben links), Extrapolation der Gebäudemasken aus der Stichprobenerhebung (oben Mitte), abgeleitete Gebäudemasken (oben rechts), abgeleitete Gebäudemasken (grau) mit Klassifikationsfehlern (rot) (unten links), sowie Über- und Unterklassifikationen (rot) (unten rechts) im Testgebiet Padang



Nicht unberücksichtigt darf das Ergebnis der Nutzungsart der Gebäude bleiben, da dieses die Grundlage der Umverteilung der Bevölkerung ist. Deren Qualität bestimmt auch die Güte der Tag-/ Nachtkarten. Jedoch wurden auch hier, wie bereits in Kapitel 4.3.2 erläutert, Probleme in der Ableitung der Gebäudenutzung registriert. Durch die erwähnten Fehler in der Klassifikation wurden folglich nicht willentlich Personen auf diese „Falschen Gebäude“ umverteilt oder Gebäude, welche nicht in der Maske enthalten sind, wurden infolgedessen nicht mit Bevölkerungsdaten verknüpft. In Abbildung 5.4 werden die Qualitätsunterschiede der erhobenen Daten sowie der in dieser Arbeit abgeleiteten Gebäudedaten gegenüber gestellt. Hierbei ist ein erheblicher Unterschied, vor allem in der Klassifikation der Industriebauten und öffentlichen Einrichtungen, festzustellen.

Die These, Padang stelle ein „worst-case-Szenario“ (Kapitel 3.1) dar, wird eindeutig durch den Vergleich der Ergebnisse der Tag-/ Nachtverteilung der Bevölkerung und der Daten der Stichprobenerhebung belegt (Abb. 5.5). Das grundlegende Problem war die Differenzierung der Gebäudenutzung. Ohne ein gutes Ergebnis dieser werden die Bevölkerungsdaten falsch auf die Gebäude umverteilt. Hinzu kommt, dass nicht bekannt war, wie groß die Zahl der Ein-Pendler ist, die jeden Tag in das Stadtzentrum zum Arbeiten kommen, außerdem verlässt die arbeitende ansässige Bevölkerung entsprechend der Tätigkeitsfelder tagsüber das Stadtzentrum. Dadurch entsteht der erste Eindruck bei der Betrachtung der Karten, es könne sich mehr um eine Wohngegend als um ein kommerziell genutztes Stadtzentrum handeln.

Die Klassifikation und die Einteilung geschah in den Stichprobendaten ebenfalls manuell und mit den gleichen Klassenintervallen zum besseren Vergleich dieser Karten mit den in dieser Arbeit errechneten Tag-/ Nachtkarten. Dabei wird deutlich, dass nicht nur angesichts der schlechteren und qualitativ geringwertigeren statistischen Daten (Kapitel 5.2), sondern auch durch die Unterscheidung der Gebäudenutzung auf Grundlage von Fernerkundungsdaten das Endprodukt erheblich verändert und damit die Bevölkerungsverteilung stark verfälscht wird.



Abb. 5.4 Validierung der Gebäudenutzung. Links: Aus Fernerkundungsdaten abgeleitete Gebäudenutzung. Rechts: Mit Hilfe von Stichproben („Last-Mile-Evacuation“/ DLR) erhobene Gebäudenutzung

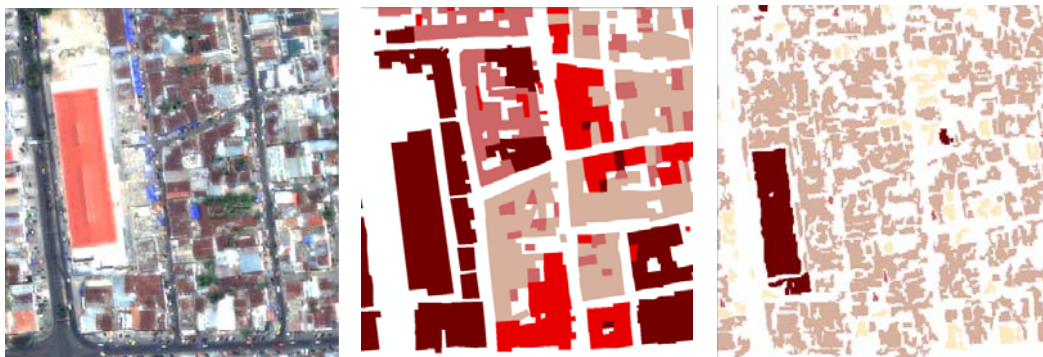


Abb. 5.5 Unterschiede in der Tagdichte. Ausschnitt des Satellitenbildes (links), rechnerisch ermittelte Tagverteilung (rechts) im Vergleich zur Tagbevölkerung durch Stichprobenerhebung (Mitte)

Die ausschließliche Berücksichtigung eines Stadtteils aus Gründen der Rechenzeit bringt die gleichen Konsequenzen der Bevölkerungsverteilung zum Pendlerverhalten mit sich, wie in Kapitel 5.1.1 erläutert.

## **5.2 Grenzen und Möglichkeiten der Referenzdaten**

In den in dieser Arbeit entstandenen Tag- und Nachtkarten für einen Ausschnitt in München und Padang wurden die Bevölkerungsdaten unter Zuhilfenahme von Altersstatistiken, Information zu Erwerbstätigen und arbeitslosen Personen sowie zum Teil zu Daten zu Schulkindern, auf die klassifizierte Gebäudemasse umverteilt. Um eine Genauigkeitssteigerung in den Endergebnissen der Kartenprodukte zu erzielen, sind neben einer verbesserten Klassifikation der Gebäudemasse weitere Referenzdaten notwendig.

Dabei muss jedoch beachtet werden, dass der zeitliche Aufwand an Recherchearbeit möglicher zusätzlicher Daten sowie deren Aufbereitung erheblich sein kann. Außerdem ist wie bereits erwähnt, die Beschaffung einiger Daten aus Gründen des Datenschutzes oftmals mit enormen Kosten oder Zusatzbedingungen verbunden. Aber auch die Verfügbarkeit ist nicht immer gewährleistet, da die Datengrundlagen nicht in jedem gewünschten Bereich oder Qualität erhältlich sind. Hinzu kommt die Schwierigkeit der Aktualität sowie der Auflösung, welche mit Abnahme des Grades der wirtschaftlichen Entwicklung eines Landes meist deutlich geringer ist als in hoch entwickelten Ländern. Einige verwendete, aber auch weitere erwünschte Zusatzdaten zur Verbesserung der Bevölkerungsverteilung in der Nacht und am Tage werden in Tabelle 5.1 beschrieben.



<b>Datengrundlage</b>	<b>Beschreibung der Daten</b>
Bevölkerungszahlen je Gebäude	Beschreibt die Wohnbevölkerung
Tätigkeitsfelder	Beschreibt die Arbeitsbereiche der arbeitenden Bevölkerung
Arbeitskräfte je Industriegebäude	Anzahl dort arbeitender Personen
Arbeitslosenzahlen	Anteil Arbeitsloser an der Gesamtbevölkerung
Verhalten von Pendlern	Beschreibt Entfernung zur Arbeit
Urlauber	Beschreibt wie viele Menschen Urlaub haben
Anteil an Touristen	Beschreibt wie viele Touristen zu einem bestimmten Zeitpunkt im Untersuchungsgebiet sind
Anzahl der Kindergartenkinder	Anteil der Kindergartenkinder im Gebiet
Ein- und Auspendler	Pendler die regelmäßig von außen (Wohnsitz) in die Stadt zum Arbeiten fahren und Pendler die in eine andere Stadt zum Arbeiten fahren
Freizeitaktivitäten	Aufenthaltsorte draußen (Park), Einkaufen
Stoßzeiten	Berufsverkehr: Besonders viele Menschen sind auf der Straße unterwegs
Studentenzahlen	Anzahl der Studenten je Universität und woher diese kommen (z.B. Wohnheime)
Schichtarbeiter	Arbeitende Bevölkerung mit unregelmäßigen Arbeitszeiten z.B. nachts
Betriebe mit Schichtarbeit	Beschreibt Betriebe in denen Schicht gearbeitet wird
Kranke	Beschreibt in Krankenhäusern befindliche Anzahl an Personen
Stockwerke je Gebäude	Anzahl der Stockwerke je Gebäude/ Gebäudehöhe
Nutzung der Gebäude	Beschreibt die Nutzungsart der Gebäude (Industrie, Wohngebäude, öffentliche Gebäude, Mischnutzung)
Schülerzahlen	Anzahl der Schüler je Schule, Alter und Wohnort
Hausfrauen	Beschreibt die Anzahl der Hausfrauen, welche tagsüber zu Hause oder beim Einkaufen sind
Hotelauslastung	Bevölkerungszahlen in Hotels
Ferienzeiten	Beschreibt wann Schüler keine Schule haben (evtl. auch Eltern Urlaub haben)

*Tab. 5.1 Mögliche Referenzkarten zu Verbesserung der Tag- und Nachtkarten*

Zur Verfügbarkeit der erwähnten zusätzlichen Daten kann an dieser Stelle keine Angabe gemacht werden, da diese abhängig vom jeweiligen Land bereitgestellt werden oder nicht. Einige erwünschte Informationen (z.B. Freizeitaktivitäten) lassen sich wegen der stetig ändernden Situation jedoch sicherlich nicht erheben und damit nicht als verwendbare Zusatzinformationen im Sinne von statistischen Daten mit einbeziehen.

Zudem wurden Hausfrauen, Schichtarbeiter, Kindergartenkinder sowie Studenten wegen der fehlenden Datengrundlage nicht berücksichtigt. Stünden weitere Daten, wie zum Beispiel die eben erwähnten zur Verfügung, würde sich eine andere Umverteilung der Bevölkerungsdaten ergeben.

Hinzu kommen die Gebäudehöhen und Stockwerke, welche eine genauere Verteilung der Bevölkerungsdaten gewährleisten würden. Diese Informationen könnten aus Digitalen Geländemodellen (DGM) oder auch Laserdaten (z.B. LiDAR) erzeugt werden. Hierfür bestehen bereits Ansätze (TAUBENBÖCK et al., 2011).

Nicht verfügbare Daten und komplexe Zustände (Schichtarbeiter, Freizeitaufenthaltsorte etc.) könnten möglicherweise durch Berücksichtigung eines speziell gewählten Faktors diese Informationen ersetzen und dadurch ein besseres Ergebnis der Bevölkerungsverteilung erzielen als ohne diese Informationen. Die Entwicklung eines möglichen Faktors bedarf jedoch eines hohen Wissens über spezielle Gegebenheiten (z.B. Arbeitszeiten, Pendelverhalten, genutzte Fahrzeuge der Pendler, durchschnittliche Dauer für Arbeitswege etc.) des Landes in dessen dieser Faktor zum Einsatz kommen soll. Zudem sollte berücksichtigt werden, dass die Entwicklung eines solchen Faktors vermutlich (je nach integrierter landesspezifischer Informationen) nicht auf andere Regionen übertragbar ist.

Eine Steigerung der Güte der Tag-/ Nachtkarten ist mit zusätzlichen Daten jederzeit möglich, nimmt aber auch an Komplexität und benötigter Arbeitszeit zu.

In erster Konsequenz ist eine Verbesserung und eine mögliche Vermeidung von Fehlern in der Gebäudemaske und der Klassifikation der Nutzungsarten zur Qualitätssteigerung der Tag- und Nachtkarten zwingend erforderlich, da bei der Anwendung dieses Ansatzes die Bevölkerungsdaten auf deren Grundlage umverteilt werden. Sind zusätzlich Informationen, wie in Tabelle 5.1 verfügbar und werden in der An-

wendung berücksichtigt, ist mit einer Steigerung in der Qualität der Karten zu rechnen. Jedoch muss hierfür auch die Genauigkeit der Daten beachtet werden, je größer die Auflösung (z.B. auf die ganze Stadt) dieser, umso gleichmäßiger werden Bevölkerungsdaten auf kleinere Einheiten (z.B. Einzelgebäude) umverteilt, da Spitzenwerte (z.B. in einzelnen Stadtteilen, Regionen etc.) nicht bekannt sind und damit nicht berücksichtigt werden können. Eine universelle Anwendung auf andere Gebiete ist möglich jedoch abhängig von der Verfügbarkeit, Genauigkeit und Qualität zusätzlicher Daten.

## 6. Fazit und Ausblick

Der Abschluss dieser Arbeit gibt ein Fazit der Ergebnisse wieder und zeigt Zukunftsperspektiven für die Ableitung von Tag- und Nachtkarten auf.

Die Generierung von Tag- und Nachtkarten im urbanen Siedlungsraum ist ein komplexer Prozess und erfordert neben der Erstellung mit einer Genauigkeit auf Einzelgebäude einer Gebäudemasken einen hohen Zeitaufwand an Rechenarbeit (Gebäudemasken) sowie Rechercharbeit für integrierbare Zusatzinformationen (z.B. sozioökonomische Daten). Eine Klassifikation der Landnutzung des Untersuchungsgebietes ist für eine spätere Verknüpfung mit den Daten zur Bevölkerung unerlässlich. Die Gebäudemasken sind am besten durch die Anwendung einer objektorientierten Klassifikation zu verwirklichen und sollte auf eine wolkenfreie Satellitenbildszene angewendet werden (vgl. Kapitel 3.2.2). Die hierfür berücksichtigten Merkmale der Gebäudearten (Industrie, Wohngebäude) resultieren zumeist aus deren visuellen Erscheinung im Satellitenbild, können aber auch unter Einbeziehung von Informationen aus z.B. OSM-Daten abgeleitet werden. Daraus gewonnene Informationen (Gebäudenutzung) geben über die Aufenthaltsorte der Bevölkerung am Tag und in der Nacht Aufschluss. Je weniger Fehlklassifikationen die erzeugte Gebäudemasken enthält und je detailreicher diese ist, umso präziser lassen sich Bevölkerungsdaten auf diese verteilen. Eine qualitativ hochwertige Nutzungsklassifikation ist daher ausschlaggebend für eine Ableitung der Bevölkerungsdaten am Tage und in der Nacht.

Statistische Bevölkerungsdaten sind in unterschiedlicher Güte und Genauigkeit für fast alle Länder verfügbar, beruhen jedoch auf den Wohnsitzen der erfassten Be-

völkerung und geben daher eine Bevölkerungsverteilung während der Nacht (Nachtkarte) wider. Zur Modellierung einer Tagverteilung sind aus diesem Grund vor allem weitere Daten wie Altersstruktur und Tätigkeitsfelder der arbeitenden Bevölkerung von großer Wichtigkeit. Unter Einbeziehung dieser Daten lassen sich bestimmte Altersgruppen auf die entsprechenden Nutzungsklassen verteilen. Außerdem müssen unterschiedliche Siedlungsstrukturen und Pendlerverhalten der untersuchten Gebiete berücksichtigt werden, da eine Nichtbeachtung dieser das Ergebnis verfälschen würde.

In dieser Arbeit wurde anhand von zwei Untersuchungsgebieten, München und Padang, jeweils eine Tag- und eine Nachtkarte abgeleitet und diese hinsichtlich verfügbarer Referenzdaten und der sich daraus ergebenden Genauigkeit getestet. Verfügbarkeit, Genauigkeit und Aktualität der statistischen Daten sind für das Entwicklungsland Indonesien deutlich schlechter ausgefallen als für die Industrieregion München. Allgemein lässt sich sagen, dass die Fülle, Genauigkeit und Aktualität an Daten in hochentwickelten Industrieländern relativ gut ist. Wohingegen in einigen Entwicklungsländern nur wenige, veraltete und ungenaue Daten (beziehen sich auf große Einheiten z.B. ganzes Land) verfügbar sind. Daraus ergaben sich zwei qualitativ unterschiedliche Ergebnisse der Tag- und Nachtkarten.

Hinzu kommt, dass die Information zur Mischnutzung (Gewerbe in den unteren Stockwerken und Wohnnutzung in den oberen Stockwerken eines Gebäudes) nicht aus Fernerkundungsdaten gewonnen werden kann und daher unberücksichtigt bleibt. Dies wird vor allem in Regionen mit geringer Differenzierung der Nutzungsart aus Fernerkundungsdaten zum Nachteil. Ebenfalls sind aus den verwendeten Satellitenbilddaten keine Informationen zu Gebäudehöhen ableitbar, hierfür wären weitere Fernerkundungsdatensätze (LiDAR) nötig.

Die Genauigkeit der Tag-/ Nachtkarten des Untersuchungsgebietes in Padang konnte mit Hilfe der durch das „Last Mile Projekt“ gewonnenen Daten einer Stichprobenerhebung validiert werden und unterscheiden sich erheblich voneinander. Beide Datensätze zeigen ein komplett unterschiedliches Bild. Eine Ableitung der Tag-/ Nachtbevölkerung in der Genauigkeit von Einzelgebäuden wäre daher nur unter weiterer Beachtung zusätzlicher Daten möglich (vgl. Kapitel 5.2), welche bisher für diese

Region nicht verfügbar sind. Daher lässt sich folgern, dass umso weniger Fehler in der abgeleiteten Tag-/ Nachtverteilung sichtbar sein dürften, je kleiner der Kartenmaßstab ist. Im urbanen Raum ist eine Anwendung auf Einzelgebäude für Such- und Bergungsteams im Katastrophenfall jedoch sinnvoll.

Somit wurde auch deutlich, dass das Endergebnis umso feiner wird, je mehr Zusatzinformationen, aus welchen sich die Aufenthaltsorte der Bevölkerung ableiten lassen, verfügbar sind und integriert werden. Eine Beachtung von weiteren Informationen führt zwar zu einem besseren Ergebnis, ist jedoch auch mit einem zeitlich deutlich höheren Aufwand (Datenrecherche, Rechenschritte) verbunden und ist im Falle der Krisenkartierung (Rapid Mapping) nur schwer mit gutem Ergebnis umzusetzen. Ebenso, wie bereits erwähnt, ist in Entwicklungsländern mit ungenügenden Ergebnissen, aufgrund zum Teil nicht verfügbarer statistischer Daten zu rechnen.

Im zuvor aufgeführten Fazit wurde klar, dass unter Einbindung weiterer statistischer Daten und einer Verbesserung der Gebäudemaske sich bessere Ergebnisse erzeugen lassen. In Entwicklungsländern gibt es jedoch kaum eine Möglichkeit, weitere Daten zur Verbesserung zu beziehen, da diese nicht existieren. Eine Verbesserung der Gebäudemaske und der Einbeziehung von Gebäudehöhen ist jedoch auch in diesen Regionen möglich.

Für den deutschen Raum sind über die Vermessungsämter der Länder bereits unterschiedliche digitale Kartenprodukte (Abb. 6.1), zum Teil mit Einzelhausdarstellungen, erhältlich. Mit Hilfe dieser Daten wäre der Arbeitsschritt der Selektion einer Gebäudemaske überflüssig. Statistische Bevölkerungsdaten könnten dadurch exakter und schneller den Gebäuden zugewiesen werden, wodurch eine zügigere Kartierung der Bevölkerungszahlen in Deutschland erreicht werden könnte.

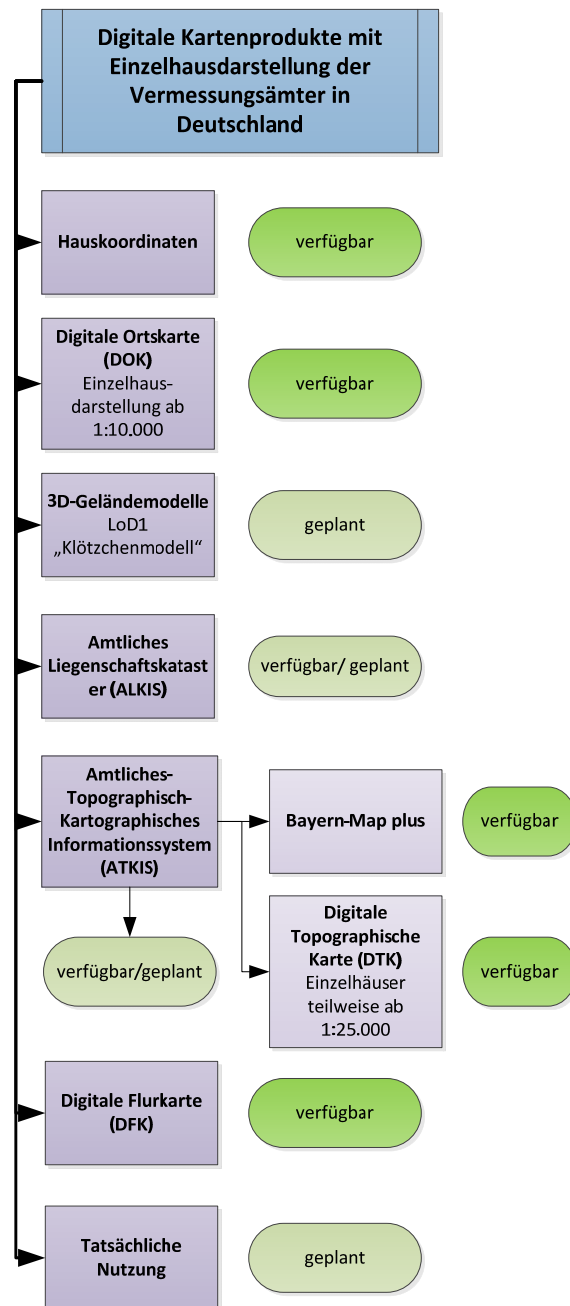


Abb. 6.1 Digitale Kartenprodukte mit digitalen Einzelhausinformation der deutschen Vermessungsämter zur Integration mit Fernerkundungsdaten und Disaggregation von Bevölkerungsdaten

Die Genauigkeit von Tag- und Nachtkarten wird mit der Güte und Verfügbarkeit statistischer Bevölkerungsdaten steigen. Um jedoch den hohen Zeitaufwand für die Datenrecherche der statistischen Daten zu verringern, wäre eine Datenbank, die Auskunft gibt, welche Daten für das jeweilige Land existieren und woher man diese beziehen kann, sehr hilfreich um diese auch für die Krisenkartierung verwenden zu können.

## Literaturverzeichnis

- AHOLA, T., VIRRANTAUS, K., KRISP, J. M., & HUNTER, G. J. (2008). A spatio-temporal population model to support risk assessment for emergency response decision-making. *International Journal of Geographical Information Science - IJGIS*, 21 (8) , (S. 935-953).
- ALBERTZ, J. (2001). *Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*. 2. Auflage; Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- BAATZ M. et al. (2006). *eCognition User Guide*.München: Trimble Documentation.
- BÄHR, J. (1988). *Bevölkerungsgeographie*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.
- BÄHR, J. (2004). *Bevölkerungsgeographie*. Stuttgart: 4. Auflage; Eugen Ulmer GmbH & Co.
- BÄHR, J., JENTSCH, C., & KULS, W. (1992). *Lehrbuch der Allgemeinen Geographie - Bevölkerungsgeographie*.Berlin: Walter de Gruyter & Co.
- BAUER, T., & STEINNOCHER, K. (2000). Objektbasierte Auswertung von Hochauflösenden Fernerkundungsdaten in urbanen Räumen. In J. STROBL, T. BLASCHKE, & G. GRIESEBNER, *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII - Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000* (S. 30-38). Heidelberg: Wichmann Verlag.
- COENRAADS, R. R., & KOIVULA, J. I. (2008). *Geologica*. Elanora Heights (Australien): Tandem Verlag – h.f. ullmann.
- DONNAY, J.-P. (1999). Use of remote sensing information in planning. In J. STILLWELL, S. GEERTMAN & S. OPENSHAW, *Geographical Information and Planning* (S. 242-260). Berlin: Springer Verlag.
- EICHER, C. L., & BREWER, C. A. (2001). Dasymetric mapping and areal interpolation-implementation and evaluation. *Cartographic and Geographic Information Science*, 28 (2) , (S. 125-138).
- ENGELHARD, K., ALBERS, H. J., APPELT, D., JUCHLER, I., & OTTO, K.-H. (2004). *Welt im Wandel, Band 8*. Stuttgart: Omnia Verlag.
- GALLEGO, F. J. (2010). A population density grid of the european union. *Population Environment*, 31 , (S. 460-473).
- GEOINFORMATIK GmbH. (2011). *ArcGIS 10 - das deutschsprachige Handbuch für ArcView und ArcEditor*. Berlin: Wichmann Verlag.
- HARALICK R., & L. G. SHAPIRO (1985). *Image segmentation techniques*. Computer Version, Graphics and Image Processing, 12 (S. 100-132).
- HARALICK R., & L. G. SHAPIRO (1992). *Computer and Robot Vision*. Reading, Addison-Wesley.

- HESS, H. (2003). *Taschen Atlas Vulkane und Erdbeben*. Gotha: 1. Auflage; Klett-Perthes Verlag.
- HOLLOWAY, S. R., SCHUMACHER, J., & REDMOND, R. (1997). *Population & Place: Dasymeric mapping using Arc/Info. Cartographic Design Using ArcView and Arc/Info*. Missoula: University of Montana, Wildlife Spatial Analysis Lab.
- JÄHNE, B. (1997). *Digitale Bildverarbeitung*. Berlin: Springer.
- KHOMARUDIN M. R.. (2010). *Tsunami Risk and Vulnerability: Remote sensing and GIS approaches for surface roughness determination, settlement mapping and population distribution modeling. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München*.
- KÜRBIS, I. (2010). *Münchner Statistik, 3. Quartalsheft, Jahrgang 2010. Bevölkerungsprognose 2009 bis 2030 der Landeshauptstadt München*. Statistisches Amt der Landeshauptstadt München.
- LÄMMEL, G., RIESER, M., NAGEL, K., TAUBENBÖCK, H., STRUNZ, G., GOSEBERG, N., et al. (2008). *Emergency Preparedness in the case of a Tsunami - Evacuation Analysis and Traffic Optimization for the Indonesian city of Padang*. In W. KLINGSCH, C. ROGSCHE, A. SCHADSCHNEIDER, A. SCHRECKENBERG. (2010). *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*. Heidelberg: Springer Berlin.
- LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN REFERAT FÜR STADTENTWICKLUNG UND BAUORDNUNG. (2011). *Bezirksdatenblätter zur kleinräumigen Bevölkerungsprognose 2009 - 2030*. München: Landeshauptstadt München Referat für Stadtplanung und Bauordnung.
- LANGFORD, M., MAGUIRE, D. J., & UNWIN, D. J. (1991). *The areal interpolation problem: Estimating Problem using Remote Sensing in a GIS Framework*. In MASSER I., & BLAKEMORE M., *Handling Geographical Information: Methodology and Potential Applications* (S. 55-77). London: Longman.
- LANGFORD, M., & UNWIN, D. J. (1994). *Generating and mapping population-density surfaces within a geographical information system. Cartographic Journal, 31*, (S. 21-26).
- LEIB, J., & MERTINS, G. (1983). *Bevölkerungsgeographie*. Braunschweig: 1. Auflage: Westermann Verlag.
- LEUKERT, K. (2002). *Untersuchungen zur Segmentierung von Satellitenbilddaten für die Extraktion von GIS-Objekten. 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF 24.-26.09.2002* (S. 237-244). Neubrandenburg: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung.
- MENNIS, J. (2003). *Generating surface model of population using dasymmetric mapping*. *The Professional Geographer, 55 (1)*, (S. 31-42).
- MENNIS, J. & HULTGREN T. (2005). *Dasymmetric mapping for disaggregating coarse resolution population data. Proceedings of the International Cartographic Conference*.



- POST, J., WEGSCHEIDER, S., MÜCK, M., ZOSEDER, K., KIEFL, R., STEINMETZ, T., et al. (06. 07 2009). Assessment of human immediate response capability related to tsunami threats in Indonesia at a sub-national scale. *Natural Hazards and Earth System Sciences* , S. 1075-1086.
- RUSNARDI, R., KIYONO, J., GRADUATE SCHOOL OF ENGINEERING, KYOTO UNIVERSITY JAPAN, ONO Y, DEPARTMENT OF URBAN SOCIAL SYSTEMS AND CIVIL ENGINEERING, TOTTORI UNIVERSITY. (Oktober 2011). Estimation of Earthquake Ground Motion in Padang, Indonesia. *International Journal of Geomate, Oktober 2011, Vol.1, No.1, Serial 1,S. 71-77.*
- SCHIEWE, J., & TUFTE, L. (2002). Potenzial regionen-basierter Verfahren für die integrative Auswertung von GIS- und Fernerkundungsdaten. In T. BLASCHKE, *Fernerkundung und GIS. Neue Sensoren - innovative Methoden* (S. 41-52). Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag.
- STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER (2006). *Die Qualitätsstandards der amtlichen Statistik*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- STATISTISCHES AMT MÜNCHEN. (2011). *Statistisches Taschenbuch 2011*. München: Statistisches Amt der Landeshauptstadt München.
- SLEETER, R., & WOOD, N. (2006). Estimating daytime and nighttime population density for coastal communities in Oregon . *Urban and Rural Information Systems Association Annual Conference Proceedings*.
- TAUBENBÖCK H., WURM M., KLEIN I., ESCH T. (2011). Verwundbarkeitsanalyse urbaner Räume: Ableitung von Indikatoren aus multisensoralen Fernerkundungsdaten. Proceedings REAL CORP 2011 Tagungsband, Seiten 1107-1118. Im Selbstverlag des Vereins CORP – Competence Center of Urban and Regional Planning
- USER GUIDE ECOGNITION. (2011). *eCognition Developer 8.64.1 - User Guide*. München: Trimble Documentation.
- WEIDNER, U., & LEMP, D. (2005). Objektorientierte Klassifizierung. In H.-P. BÄHR, & T. VÖGTLE, *Digitale Bildverarbeitung. Anwendungen in Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS* (S. 106-122). Heidelberg: Wichmann Verlag.
- WITT, W. (1971). *Bevölkerungskartographie*. Hannover: Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Band 63.
- WRIGHT, J. K. (1936). A method of mapping densities of population with cape code as an example. *Geographical Review*, 26.
- WU, S., QUI, X., & WANG, L. (Januar-März 2005). Population Estimation Methods in GIS and Remote Sensing: A Review. *GIScience & Remote Sensing* , (S. 80-96).

## Internetquellen

- BMZ. (2012). *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung*. Abgerufen am 06. 09 2012 von <http://www.bmz.de/de/service/glossar/E/entwicklungsland.html>
- BUNDESANSTALT TECHNISCHES HILFSWERK. *Technisches Hilfswerk*. Abgerufen am 24. 08 2012 von <http://www.thw.de/SharedDocs/Einheiten/DE/Ausland/FGGr-SEEBA.html?nn=925116>
- BUNDESINSTITUT FÜR BEVÖLKERUNGSFORSCHUNG. (2012). *BiB - Demografie*. Abgerufen am 16. 07 2012 von [http://www.bib-demografie.de/nn\\_1645598/SharedDocs/Glossareintraege/DE/R/raeumliche\\_\\_bevoelkerungsbewegung.html](http://www.bib-demografie.de/nn_1645598/SharedDocs/Glossareintraege/DE/R/raeumliche__bevoelkerungsbewegung.html)
- BPS (2010). *Badan Pusat Statistik*. Abgerufen am 05. 08 2012 von <http://bps.go.id/>
- EEA. (13. 04 2011). *European Environment Agency*. Abgerufen am 05. 09 2012 von <http://www.eea.europa.eu/highlights/check-out-europe2019s-urban-atlas>
- EUROPEAN SPACE IMAGING. (2012). *European Space Imaging*. Abgerufen am 19. 07 2012 von <http://www.euspaceimaging.com/>
- IT-WISSEN, I. (2012). *IT Wissen - Das große Online-Lexikon für Informationstechnologie*. Abgerufen am 05. 08 2012 von <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Funkzelle-radio-cell.html>
- LMU, BAY. LANDESAMT FÜR UMWELT. (2008). *Erdbebendienst Bayern*. Abgerufen am 17. 07 2012 von <http://www.erdbebendienst.de/>
- MINISTRY OF TOURISM AND CREATIVE ECONOMY, R. (2008). *Indonesia's Official Tourism Website*. Abgerufen am 16. 07 2012 von <http://www.indonesia.travel/en/discover-indonesia>
- PORTAL MÜNCHEN BETRIEBS-GMBH & CO. KG. (2012). *München - Das offizielle Stadtportal*. Abgerufen am 17. 07 2012 von <http://www.muenchen.de/sehenswuerdigkeiten/muenchen-in-zahlen.html>
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. (26. 07 2012). *USGS - Earthquake Hazards Program*. Abgerufen am 05. 08 2012 von <http://earthquake.usgs.gov/>
- UT BATTELLE (2012). *GIST - Geographic Information Science and Technology*. Abgerufen am 05. 08.2012 von Oak Ridge National Laboratory: <http://www.ornl.gov/sci/landscan/index.shtml>
- SCHMIDT, U. (26. 12 2011). *Der Tag, an dem sich das Meer aufbäumte*. Abgerufen am 22. 06 2012 von [tagesschau.de: http://www.tagesschau.de/ausland/tsunamigedenken110.html](http://www.tagesschau.de/ausland/tsunamigedenken110.html)

SIEBERT, M. (kein Datum). *Tsunami-Frühwarnsystem für Indonesien*.  
Abgerufen am 22. 06 2012 von  
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH:  
<http://www.giz.de/themen/de/21020.htm>

STATISTISCHES BUNDESAMT. (2010). *Zensus 2011*. Abgerufen am 17. 07 2012  
von <https://www.zensus2011.de/>

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG. (2010). *Statistik-Portal*.  
Abgerufen am 16. 07 2012 von <http://www.statistik-portal.de/BevoelkGebiet/Erlaeuterungen.asp>

THE WORLD BANK. (2012). *The World Bank*. Abgerufen am 17. 07 2012 von  
<http://www.worldbank.org/en/country/indonesia>

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 2.1**      **Seismische Aktivität entlang der tektonischen Platten**  
U.S. GEOLOGICAL SURVEY. (23. 07 2012). *USGS - Earthquake Hazards Program*.  
Abgerufen am 05. 08 2012 von  
[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/seismicity\\_maps/](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/seismicity_maps/)
- Abb. 2.2**      **Formen der Bevölkerungsverteilung**  
BAHRENBERG G. & GIESE E. (1975). *Statistische Methoden und ihre Anwendung  
in der Geographie. Studienbücher d. Geogr. Stuttgart, 2. Auflage; Boustedt (1975)  
Grundriss der empirischen Regionalforschung. Teil 2: Bevölkerungsstrukturen.  
Taschenbücher zur Raumplanung 5. Hannover*
- Abb. 2.3**      **Aufenthaltsorte der Bevölkerung tagsüber (Deutschland)**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.1**      **Testgebiet München**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.2**      **Statistische Daten (kleinräumige Gliederung) der Hauptwohnsitzbevölkerung  
München**  
STATISTISCHES AMT DER LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN. (2012) Ansprech-  
partner: Sven Nöldner (Auskunftsbüro)      E-Mail: [stat.amt@muenchen.de](mailto:stat.amt@muenchen.de)
- Abb. 3.3**      **Testgebiet Padang**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.4**      **Erdbeben im Jahr 2011 in Indonesien**  
**Generiert in GoogleEarth mit Daten des „Earthquake Hazard Programs“ des U.S.  
Geological Survey**  
**URL:** <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/kml/>  
(Abgerufen: 22.06.2012)

- Abb.3.5**      **Geometrische Auflösung multispektraler optischer Sensoren**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.6**      **Übersicht möglicher Basisdaten zur Ableitung der Bevölkerungsverteilung**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.7**      **Stadtbezirke der Stadt München**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.8**      **Absolute Bevölkerungszahlen in den Bezirksvierteln der Stadt München**  
Eigene Darstellung (aus kleinräumigen Gliederung des Statistischen Amtes München)
- Abb. 3.9**      **Bevölkerungsdichte in den Bezirksviertel der Stadt München**  
Eigene Darstellung (aus kleinräumigen Gliederung des Statistischen Amtes München)
- Abb. 3.10**     **Verwendete Basisdaten zur Ableitung von Tag- und Nachtkarten der Stadt München**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.11**     **Absolute Bevölkerungszahlen (links) und Bevölkerungsdichte (rechts)in den Stadtteilen der Stadt Padang**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.12**     **Altersstruktur und Verteilung der Bevölkerung tagsüber (Padang)**  
Eigene Darstellung
- Abb. 3.13**     **Tag- (rechts) und Nachtkarte (links) abgeleitet aus Stichproben im Stadtteil Padang Barat der Stadt Padang**  
Quelle: DLR und bearbeitet von Marianne Jilge
- Abb. 3.14**     **Verwendete Basisdaten zur Ableitung von Tag- und Nachtkarten der Stadt Padang**  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.1**      **Übersicht der Methoden zur Generierung einer Bevölkerungsverteilung**  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.2**      **Untersuchte Stadtteile der Stadt München**  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.3**      **Ausschnitt der groben Segmentierung Level 30 und Klassifikation der Straßen in München**  
Screenshot aus eCognition
- Abb. 4.4**      **Ausschnitt der feinen Segmentierung Level 10 in München**  
Screenshot aus eCognition

- Abb. 4.5** *Ausschnitt des Satellitenbildes und erstellten Gebäudemasken im Stadtteil Altstadt-Lehel mit Wohngebäuden (rot) und Industriegebäuden (grün)*  
Screenshot aus eCognition
- Abb. 4.6** *ProcessTree (eCognition) der Gebäudemasken für die Testregion der Stadt München*  
Screenshot aus eCognition
- Abb. 4.7** *Übersicht der Arbeitsschritte in eCognition für das Untersuchungsgebiet in München*  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.8** *Untersuchter Stadtteil (Padang Barat) in Padang*  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.9** *ProcessTree (eCognition) der Gebäudemasken für die Testregion der Stadt Padang*  
Screenshot aus eCognition
- Abb. 4.10** *Ausschnitt des Segmentierungslevel 30 (links) und des Segmentierungslevel 10 (rechts) für das Untersuchungsgebietes Padang Barat*  
Screenshot aus eCognition
- Abb. 4.11** *Ausschnitt des Satellitenbildes (links) und der erstellten Gebäudemasken im Stadtteil Padang Barat (rechts) mit Wohngebäuden (blau) und Industriegebäuden (rot)*  
Screenshot aus eCognition
- Abb. 4.12** *Übersicht der Arbeitsschritte in eCognition für das Untersuchungsgebiet in Padang*  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.13** *Ausschnitt der Attributtabelle (ArcMap) der verschnittenen Bezirksteile mit den zugehörigen Gebäuden sowie deren Flächenberechnung für das Untersuchungsgebiet in München*  
Screenshot aus ArcMap
- Abb. 4.14** *Histogramm der Tag- (links) und Nachtdichte (rechts) im Untersuchungsgebiet in München (aus ArcMap). Die X-Achse beschreibt die Dichtewerte in m<sup>2</sup> und die Y-Achse das Dichtevorkommen.*  
Screenshot aus ArcMap
- Abb. 4.15** *Tag- (rechts) und Nachtkarte (links) im Untersuchungsgebiet der Stadt München*  
Eigene Darstellung

- Abb. 4.16** **Übersicht der Arbeitsschritte in ArcMap für das Untersuchungsgebiet in München**  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.17** **Bearbeitete Altersstrukturtafel**  
BPS-Statistik; Bearbeitung von Marianne Jilge
- Abb. 4.18** **Bearbeitete Tätigkeitsbereiche der arbeitenden Bevölkerung (BPS)**  
BPS-Statistik; Bearbeitung von Marianne Jilge
- Abb. 4.19** **Histogramm der Tag- (links) und Nachtdichte (rechts) im Untersuchungsgebiet in Padang (aus ArcMap). Die X-Achse beschreibt die Dichtewerte in m<sup>2</sup> und die Y-Achse das Dichtevorkommen.**  
Screenshot aus ArcMap
- Abb. 4.20** **Tag- (rechts) und Nachtkarte (links) im Untersuchungsgebiet der Stadt Padang**  
Eigene Darstellung
- Abb. 4.21** **Übersicht der Arbeitsschritte in ArcMap für das Untersuchungsgebiet in Padang**  
Eigene Darstellung
- Abb. 5.1** **Satellitenbild des Untersuchungsgebietes München (links) und Überklassifikation (rechts) der abgeleiteten Gebäudemasse**  
Eigene Darstellung
- Abb. 5.2** **Ausschnitte des Satellitenbildes (links), abgeleiteten Gebäudemasse (Mitte) und Klassifikation der Wohn- (rot) und Industriegebäude (blau) in München (rechts)**  
Screenshot aus ArcMap
- Abb. 5.3** **Ausschnitt des Satellitenbildes (oben links), Extrapolation der Gebäudemasse aus der Stichprobenerhebung (oben Mitte), abgeleitete Gebäudemasse (oben rechts), abgeleitete Gebäudemasse (grau) mit Klassifikationsfehlern (rot) (unten links), sowie Über- und Unterklassifikationen (rot) (unten rechts) im Testgebiet Padang**  
Screenshots aus ArcMap
- Abb. 5.4** **Validierung der Gebäudenutzung. Links: Aus Fernerkundungsdaten abgeleitete Gebäudenutzung. Rechts: Mit Hilfe von Stichproben („Last-Mile-Evacuation“/DLR) erhobene Gebäudenutzung**  
Eigene Darstellung (links) und Bearbeitung der Gebäudemasse aus Stichproben des DLR
- Abb. 5.5** **Unterschiede in der Tagdichte. Ausschnitt des Satellitenbildes (links), rechnerisch ermittelte Tagverteilung (rechts) im Vergleich zur Tagbevölkerung durch Stichprobenerhebung (Mitte)**  
Screenshot aus ArcMap

**Abb. 6.1**      ***Digitale Kartenprodukte mit digitalen Einzelhausinformation der deutschen Vermessungsämter zur Integration mit Fernerkundungsdaten und Disaggregation von Bevölkerungsdaten***  
*Eigene Darstellung*

## **Tabellenverzeichnis**

**Tab. 3.1**      ***Details des Satelliten WorldView-2 und verwendete Szene***  
*Eigene Darstellung*

**Tab. 3.2**      ***Details des Satelliten Ikonos und verwendete Szene***  
*Eigene Darstellung*

**Tab. 4.1**      ***Übersicht der verwendeten Referenzdaten, deren Genauigkeit sowie damit verbundene Herausforderungen zur Integration in die Gebäudemaske in München***  
*Eigene Darstellung*

**Tab. 4.2**      ***Anzahl der auf die Klassen zugewiesenen Gebäude im Untersuchungsgebiet in München***  
*Eigene Darstellung*

**Tab. 4.3**      ***Übersicht der verwendeten Referenzdaten, deren Genauigkeit sowie damit verbundene Herausforderungen zur Integration in die Gebäudemaske in Padang***  
*Eigene Darstellung*

**Tab. 4.4**      ***Anzahl der auf die Klassen zugewiesenen Gebäude im Untersuchungsgebiet in Padang***  
*Eigene Darstellung*

**Tab. 5.1**      ***Mögliche Referenzkarten zu Verbesserung der Tag- und Nachtkarten***  
*Eigene Darstellung*



## Abkürzungsverzeichnis

<b>BPS</b>	Badan Pusat Statistik
<b>CLC</b>	CORINE Land Cover
<b>DGM</b>	Digitales Geländemodell
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
<b>EEA</b>	European Environment Agency
<b>ESRI</b>	Environmental Systems Research Institute
<b>GIS</b>	Geoinformationssystem
<b>GPW</b>	Gridded Population of the World
<b>GRUMP</b>	Global Rural Urban Mapping Project
<b>IDW</b>	Inverse-distance-weighting
<b>IHS</b>	Intensität (Intensity), Farbton (Hue), Sättigung (Saturation)
<b>INSARAG</b>	International Search and Rescue Advisory Group
<b>LCI</b>	Land Cover Institute
<b>NDVI</b>	Normalized Differenced Vegetation Index
<b>OSM</b>	Open Street Map
<b>SEEBA</b>	Schnell-Einsatz-Einheit-Bergung Ausland
<b>THW</b>	Technisches Hilfswerk
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>USGS</b>	U.S. Geological Survey
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator
<b>WGS-84</b>	World Geodetic System 1984
<b>ZKI</b>	Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation

Marianne Jilge, geb. am 16.04.1988 in München

Studiengruppe KA | GM 5P

Sommersemester 2012

## Erklärung

---

gemäß § 35 Abs. 7 RaPO

Hiermit erkläre ich, dass ich die Bachelorarbeit selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

---

München, 07.09.2012