

- MOnitoring LANDuse change – Die Landnutzungs-Entwicklung von Istanbul 1945-2000

Gerhard KEMPER, Orhan ALTAN und Carlo LAVALLE

Zusammenfassung

Dies ist ein Bericht über das Projekt MOLAND der Europäischen Kommission. Es wird darin die Land-Umlandveränderung von Istanbul seit 1945 beleuchtet. Ein vergleichbares Projekt wurde im Jahr 1999 für Bratislava auf der AGIT vorgestellt (MURBANDY). Die methodischen Ansätze sind ähnlich, unter MOLAND jedoch um 2 Aspekte erweitert. Es werden nun auch die städtischen Verbindungen zu Nachbaragglomerationen betrachtet (Korridore) und weitere Datengrundlagen (demographische, ökonomische, touristische .Quellen) einbezogen. In diesem Zusammenhang hat Istanbul eine ganz besondere Bedeutung. Als Tor zum asiatischen Kontinent ist diese Stadt seit je her von wirtschaftlichem und politischem Interesse. Es ist die einzige Großstadt auf 2 Kontinenten. Mit über 10 Mio. Einwohner zählt Istanbul zu den größten Städten der Welt. Entsprechend groß sind auch die ökologisch-sozialen und wirtschaftlichen Spannungen in dieser Stadt. Durch besondere rechtlich-religiöse Bedingungen, ist das urbane Wachstum enorm. Regelrecht über Nacht entstehen neue Häuser in sogenannten „Gecekondus“. Sie sind eines der Hautprobleme von Istanbul.

1 Materialbeschaffung und Aufbereitung

Die Definition des Projektgebietes ist nicht einfach, da zahlreiche kleinere Städte und Dörfer nun im zusammenhängenden dichten urbanen Bereich liegen. Da Karten entweder veraltet oder geheim sind (militärische Kontrolle) sind die Satellitenbilder ein hervorragendes Mittel, die Ausdehnung der Stadt zu verfolgen. Die Änderung der Landnutzung wird anhand von 4 Zeitscheiben analysiert 1945, 1968, 1988 und dem Referenzjahr 2000. Fotogrammetrie, Satellitenbildauswertung und GIS sind hierbei die methodischen Werkzeuge. Die Satellitenbilder des Referenzjahres wurden vom Auftraggeber (Institute for Environment and Sustainability JRC/EC) zur Verfügung gestellt. Für das Referenzjahr wurden 4 IRS-1D PAN mit 5 m Bodenauflösung, 4 IRS-1D multispektral mit 25 m sowie 3 Ikonos- Satellitenszenen mit 1 m Auflösung in Pan- bzw. 3 m in MS-Modus ausgewählt. Die IRS Satellitenbilder wurden als Image-Datei mit separatem Beschreibungstext (Zeilen und Spalten) in die genutzte Software eingelesen. Die Ikonos Satellitenbilder lagen bereits als Tiff vor, die Goreferenz war jedoch unbrauchbar.

Für das erste historische Jahr 1987/88 wurden ebenfalls Satellitenbilder ausgewählt, nämlich Satellitenphotos der sowjetischen Sputnik-Mission. Die Kamera KVR-1000 erreicht 2 m Bodenauflösung und nutzt panchromatisches Filmmaterial. 4 Bilder wurden bereits hochaufgelöst gescannt gekauft. Die Kamera KFA-1000 besitzt einen Farbfilm und löst bis 5 m auf. Hier wurden 2 Bilder bestellt. Für die älteren Jahre wurden Luftbilder des

türkischen Militärs gewählt. 94 Aufnahmen von 1968 und 114 Bilder der 40er Jahre wurden bestellt und in der ITÜ (Technische Universität Istanbul) gescannt. Als geodätische Basis dienten topographische Karten 1:25.000 ebenfalls türkischen Militär. Diese Karten sind, wie auch die Luftbilder, nicht frei zugänglich. Nur Institutionen können diese Bilder unter bestimmten Voraussetzungen kaufen. Über das Photogrammetrische Institut der ITÜ war dies möglich. Die Karten liegen als UTM-Projektion mit 6 °Meridianstreifen auf Hayford-Ellipsoid vor. Es wurden noch weitere digitale Karten im Maßstab 1:1000 bzw. 1:5000 zur Verfügung gestellt, allerdings liegen diese in UTM-30° Meridian vor, was eine Transformation notwendig machte. Neben den Karten wurde uns auch ein DGM zur Verfügung gestellt, was vor allem für die Luftbildentzerrung notwendig war. Die darin vorliegenden Höhenlinien und Messpunkte wurden als Netzpunkte und Kanten in das TIN-DGM „Atlas DMT“ integriert. Das gesamte Modell hat über 1 Mio. Höhenpunkte.



Abb. 1: Vergleich der Daten des Referenzjahres, Ikonos links, IRS Mitte und Karte rechts

2 Georeferenzieren von Karten und Luftbildern

Die Karten wurden jeweils mit 2 A3 Scans digital erfasst und dann in mehreren Schritten georeferenziert. Eine erste affine Transformation mit 4 Punkten legte die Karte in das Karten-Bezugssystem. Dieses war entweder Hayford UTM 27 oder 33. Nun wurden beide Kartenteile mit einer partiellen Affintransformation optimal entzerrt. Über die Umrechnung der geografischen Koordinaten der Blattecken nach UTM 30 wurden auch diese „unge-raden“ Koordinaten nutzbar. Durch die partielle Transformation mittels Dreiecks-vermaschung werden auch Blattverzüge und Scanungenauigkeiten weitgehend eliminiert und der Rahmen abgeschnitten. Nun wurden beide Kartenteile mosaikiert. Das neue Raster wurde in das neue Koordinatensystem (Hayford UTM 30) mittels einer 4 Punkt Affintransformation übersetzt. Sämtliche Transformationsschritte wurden mittels „TopoL-GIS“ bewerkstelligt. Die Georeferenzierung der Satellitenbilder erfolgte in ähnlicher Weise. Alle Bilder wurden zunächst mit etwa 10 Kontrollpunkten gegen die Karten affin transformiert. Bei den 2 ausgewählten IRS-Bildern erfolgte dann eine kollineare Transformation mittels je etwa 30 Punkten. Anschließend wurden die Bilder mittels dem Überlappungsbereich

farblich balanciert und zu einem Image mosaikiert. Die Transformation der Ikonos- Szenen war weitaus schwieriger, da durch die hohe Auflösung und der geringeren Flughöhe größere Verzerrungen bestehen. Insbesondere im stark reliefierten Bereich des Bosphorus traten größere Abweichungen auf. Dies wurde mittels affiner Dreieckstransformation weitgehend ausgeglichen. Die historischen Satellitenphotos von 1988 wurden ebenfalls mittels Transformation entzerrt. Bei den KFA-1000 Bildern genügte eine polynomiale Transformation 2 Grades um die Residuen unter 10 m zu drücken. Die Entzerrung der KVR-1000 Bilder gelang jedoch trotz partieller Transformation nur lokal. Dies liegt an der besonderen Aufnahme-technik der Spezialkamera, die nicht auf eine Ebene sondern auf eine Wölbung mittels Schwenkspiegel projiziert. Daher wurden diese Bilder nur teilweise für geometrische Aufgaben verwendet sondern vielmehr zur Interpretation der Landnutzung. Die Luftbilder der Jahre 68 und 45 wurden mittels digitaler Fotogrammetrie in der Software „PhoTopoL“ orthorektifiziert. Das Auffinden von Kontrollpunkten war dabei der aufwendigste Schritt da sich die Landschaft auf den Fotos deutlich anders ist als auf den Karten darstellt. Die Orthorektifizierung erfolgte mit „PhoTopoL“ in Kopplung mit dem DGM-Programm „Atlas-DMT“. Die Orthophotos wurden auf eine Auflösung von 1m reduziert, um die Datenmenge von über 200 Photos zu managen.

3 Interpretation des Referenz- und der historischen Jahre

Die Interpretation der Ausgangsdaten erfolgte grundsätzlich mittel „on-screen“ Digitalisierung. Die Interpretation durch Vektorisierung erfolgte in TopoL-GIS parallel in mehreren Fenstern oder durch transparentes Überlagern mehrerer Rasterdatensätzen (z.B. IRS-Pan 30% transparent über der Karte“. Es wurde auf Basis der topographischen Karten gearbeitet, das Ergebnis aber parallel auf dem Satelliten- und aktuellen Orthophotos verglichen. Teilweise wurde auch direkt auf dem Satellitenbild gearbeitet. In einem zweiten Schritt wurden die Scheitelpunkte um kleinere Beträge so versetzt, dass eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen Satellitenbild und Karte gegeben war. Dadurch konnten Fehler durch lange Schatten im Satellitenbild ausgeglichen werden. Zunächst wurde das „Transportation Network“ erfasst. Das sind Linien und Polylinien von Straßen, Bahnlinien aber auch Kanälen und Flüssen. Die Art der Linie wurde anhand eines Moland-Indexschlüssels 4 definiert und weitere Merkmale in einem separaten Feld der Datenbank vermerkt. Das Digitalisieren der Linien erfolgte topologisch, das bedeutet das die Linien an Kreuzungspunkten verknotet werden und die Linien unter Erhalt der Attribut-Merkmale geteilt werden. Aufgrund der enormen Zahl von Linien wurden die europäische und asiatische Seite von Istanbul getrennt bearbeitet. Insgesamt wurden 117.529 Linien im Referenzjahr erfasst. Dieser Line-Feature-Layer wurde als Grundlage für die Flächen-erfassung genutzt. Zunächst wurden die Linien eingelesen und die gebildeten Umringpolygone kontrolliert. Durch Ergänzen oder Löschen von Linien wurden homogene Polygone gebildet. Die Flächen wurden durch Absetzen des Label-Punktes definiert, der ebenso wie die Linien, eine Codierung nach dem Moland-Indexschlüssel 4 erhielt.

Tab. 1: Der Moland Indexschlüssel Ebene 4 für Urbane Flächen, der auf einer mehrfach aktualisierten Corine- Klassifikation, fußt.

1.1 Urban fabric	1.1.1 Continuous urban fabric	1.1.1.1 Residential continuous dense urban fabric 1.1.1.2 Residential continuous medium dense urban fabric 1.1.1.3 Informal settlements
	1.1.2 Discontinuous urban fabric	1.1.2.1 Residential discontinuous urban fabric 1.1.2.2 Residential discontinuous sparse urban fabric 1.1.2.3 Residential urban blocks 1.1.2.4 Informal discontinuous residential structures
1.2 Industrial, commercial and transport units	1.2.1 Industrial, commercial, public and private units	1.2.1.1 Industrial areas 1.2.1.2 Commercial areas 1.2.1.3 Public and private services not related to the transport system 1.2.1.4 Technological infrastructures for public service 1.2.1.5 Archaeological sites 1.2.1.6 Places of worship 1.2.1.7 Non-vegetated cemeteries 1.2.1.8 Hospitals 1.2.1.9 Restricted access services
	1.2.2 Road and rail networks and associated land	1.2.2.1 Fast transit roads and associated land 1.2.2.2 Other roads and associated land 1.2.2.3 Railways and associated land 1.2.2.4 Other rails 1.2.2.5 Additional transport structures 1.2.2.6 Parking sites for private vehicles 1.2.2.7 Parking sites for public vehicles
	1.2.3 Port areas	
	1.2.4 Airports	
1.3 Mine, dump and construction sites	1.3.1 Mineral extraction sites	
	1.3.2 Dump sites	
	1.3.3 Construction sites	
	1.3.4 Abandoned land	
1.4 Artificial non-agricultural vegetated areas	1.4.1 Green urban areas	1.4.1.1 Vegetated cemeteries
	1.4.2 Sport and leisure facilities	

Auch hier wurde zunächst in 2 Teilen gearbeitet (Europa und Asien) und die Daten später zu einem Flächen-Layer zusammen geführt. Für das Referenzjahr wurden 12816 Flächen in 65 Klassen erfasst. Die gesamte digitalisierte Fläche beträgt 3107 km².

Das „downdaten“ erfolgte zunächst für die Linienobjekte. Meist wurden Linien entfernt, lediglich an manchen Stellen wurden Klassen verändert oder neue Linien hinzugefügt. Diese rückdatierten Linienobjekte wurden zusammen mit den Umringspolygonen des Vorjahres (in diesem Falle das aktuellere) neu eingelesen und eine neue Topologie erzeugt. Die Flächendatenbank wurde zuvor in automatisch erzeugte Punkte als „back-up“ geschrieben. Damit gehen die Datenbankinhalte bei der Flächenveränderung nicht verloren. Die Umringspolygone wurden modifiziert und die Flächennutzung angepasst. Dabei wurden durch Löschen und Verschieben der Scheitelpunkte die Informationen angeglichen. Dies erfolgte für alle 3 historischen Jahre nacheinander. Teilweise war die Überarbeitung so aufwendig, dass eine Neuerfassung weniger Mühe gekostet hätte. Um jedoch eine möglichst große Kompatibilität der Linien verschiedener Jahre zu gewährleisten, wurde dies so beibehalten. Pro Jahr wurde noch ein 3D-Layer mit Flächen erzeugt. Hierin wurden spezielle Objekte erfasst, z.B. größere Tunnel, Brücken und Viadukte.

4 Temporale Analyse

Die Daten der GIS-Erfassung wurden sowohl statistisch über Flächenvergleich, als auch über Verschneidungen, Clusterungen usw. analysiert. Ergänzend wurden demographische Daten verwendet und Tendenzen der Wohndichte abgeleitet. Die Interpretationsmöglichkeiten sind vielfältig und es wurden auch Trendanalysen angefertigt.

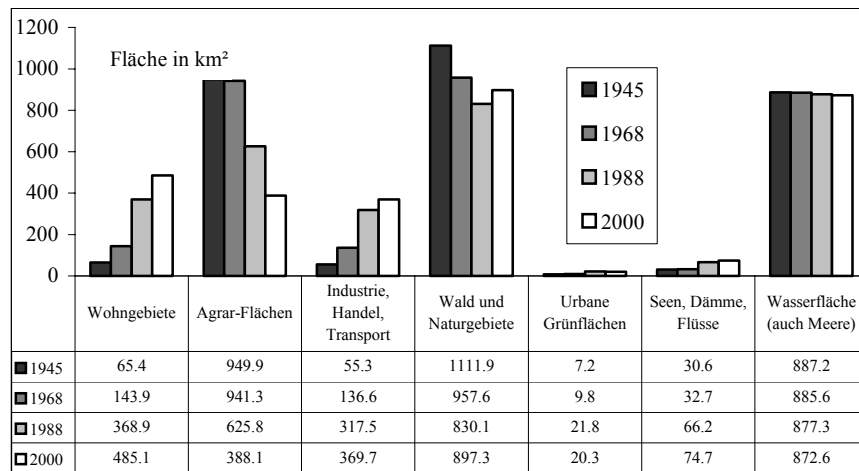


Abb. 2: Entwicklung der Landnutzung von Istanbul seit 1945

Die Interpretation der Daten und die Kombination mit den vielfältig akquirierten zusätzlichen Datenquellen dauert noch an. Nicht alle Daten liegen in räumlicher Ausprägung vor, was die kombinierte Auswertung mit den GIS-Daten erschwert. Besonders demographische Daten liegen nur für Gesamt-Istanbul vor oder sind nur mit denen der Region Marmara verglichen. Grundsätzlich bestehen auch Inkompatibilitäten zwischen den Daten selbst und dem Untersuchungsgebiet. Da Istanbul sowohl Stadt als auch Distrikt ist, verschwimmen die Angaben etwas. Außerdem sind in Istanbul nicht alle Einwohner registriert was sich schon in den verschiedenen Angaben zur Einwohnerzahl widerspiegelt.

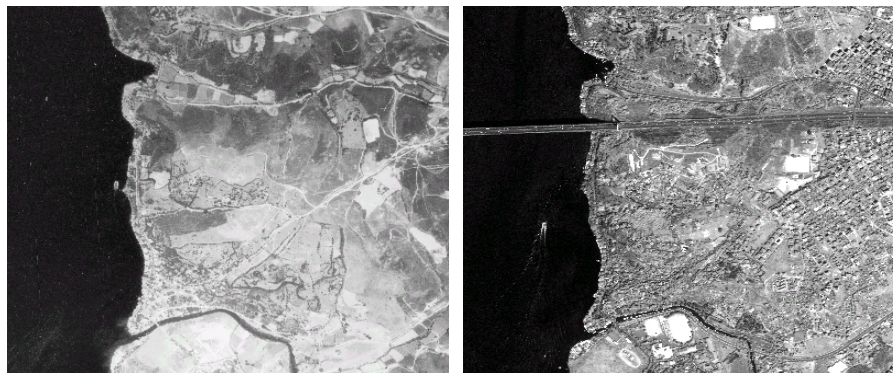


Abb. 3: Veränderung von Dorf- und Agrarlandschaft (links Orthophoto 1945) zu Stadt- und Industriegebieten (rechts Ikonos 2000)

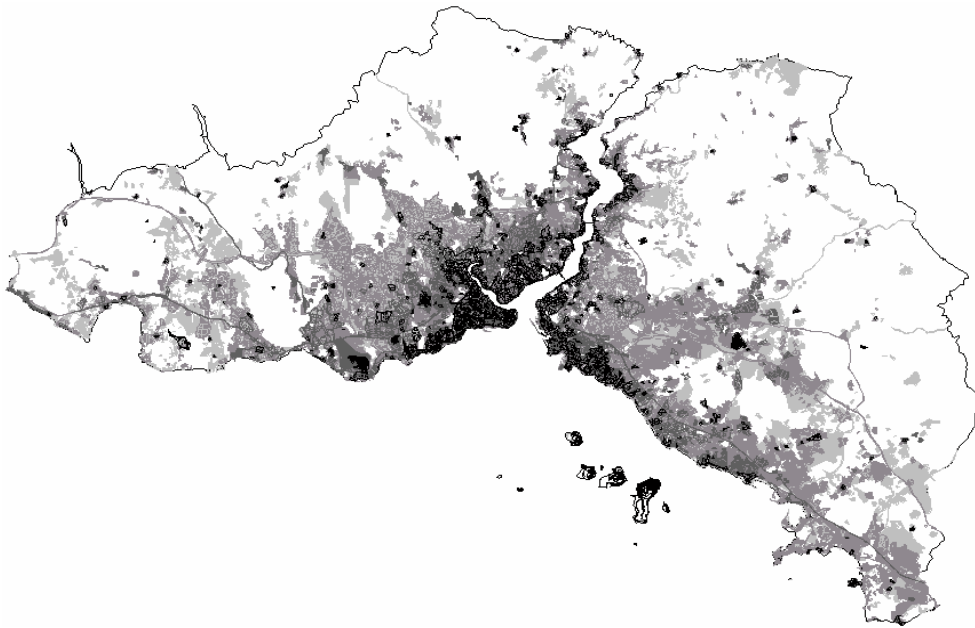


Abb. 4: Wachstum urbaner Strukturen von Istanbul von 1945 (schwarz) bis 2000 (grau)

5 Schlussfolgerung

Das Wachstum von Istanbul ist enorm. Die Zunahme urbaner Strukturen liegt bis 1988 deutlich über dem Bevölkerungszuwachs während in den letzten Jahren bei gleichem Populations-Trend der zusätzlich Flächenbedarf weniger stark auffällt. Dies deutet auf eine Verdichtung der inneren Stadt hin, was in anbetracht der katastrophalen Nahverkehrssituation nicht verwundert. Der Bau der beiden Bosphorusbrücken hat das starke Wachstum von der europäischen auf die asiatische Seite überschwappen lassen, was erneut verkehrstechnische Probleme bewirkt. Ein großes Problem ist die unkontrollierte Bebauung, was ja ein altbekanntes Problem darstellt. Das enorme Wachstum bringt auch ökologische und soziale Probleme, ganz zu Schweigen von großen infrastrukturellen Aufgaben für die Zukunft. Die vorgelegte Untersuchung ermöglicht Einblicke in die räumliche Entwicklung und auch den Vergleich mit anderen Europäischen Großräumen. Dies kann eine nachhaltige und zukunftssträchtige Planung anregen. Diese Studie ermöglicht hierfür die Ableitung geeignete Szenarios.