

Entwicklung von Maßen zur Charakterisierung und Bewertung der physischen und funktionalen Kompaktheit von Stadtregionen

NGUYEN XUAN THINH, Dresden

Keywords: urban form, physical & functional compactness, entropy measures, fractal dimension, variance measure, Dresden

Zusammenfassung: Im vorliegenden Aufsatz definiert der Autor zunächst den Begriff „räumliches Ordnungsgefüge“ für Stadtregionen bzw. Stadtlandschaften und seine wesentlichen Dimensionen. Die physischen und funktionalen Dimensionen prägen im entscheidenden Maße das Raummuster einer Stadtregion. Der Autor gibt eine kurze Diskussion über Zusammenhänge zwischen kompakter Stadt und nachhaltiger Entwicklung. Der Schwerpunkt des Beitrages liegt in der GIS-basierten Entwicklung von neuen Methoden zur Messung der physischen und funktionalen Kompaktheit: Varianzmaß, radial-fraktale Dimension und Entropiemaße. Die Anwendung der Maße zur Verfolgung der historischen Flächennutzungsänderung der Stadtregion Dresden liefert interessante Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Raumstruktur und Prozessen.

Summary: *GIS-based Measuring of the physical and functional Compactness in City Regions.* At first, the author defines the concept of spatial structure of city regions and its essential dimensions. The physical and functional dimensions are central to the urban form of a city region. The author gives a brief discussion about the relationship between urban form and sustainable development. The main part of the contribution describes the GIS-based development of new measurements of the physical and functional compactness in city regions: variance measure, radial fractal dimension, and entropy measures. The application of the measurements to identify the changes of historical land-use patterns of the Dresden city region for the years 1880, 1900, 1940, 1953, 1968, 1986, and 1998 allows interesting insight into the relationship between urban form and processes.

1 Das räumliche Ordnungsgefüge einer Stadtlandschaft und seine Dimensionen

Städte sind komplexe Phänomene. Man kann sie über ihre Geschichte, Merkmale der Gegenwart, die Nutzungsstruktur und Realstruktur beschreiben, oder über statistische Daten, Unfälle und Verbrechen oder über Impressionen und die Darstellung von Erlebnissen und Schicksalen. Geographen und Stadtforscher zielen auf die Beschreibung und Ergründung der Stadtstruktur ab. In den klassischen Arbeiten über Stockholm von GEER 1923 und über Innsbruck von BOBEK 1928 (zitiert in HOFMEISTER 1996, S. 1)

wurde die Frage nach der Anordnung der Funktionen im Raum, ihrer Konzentration oder Streuung, ihrer Mischung oder Trennung innerhalb des Stadtgebietes behandelt. Der Ausdruck „Stadtstruktur“ ist im deutschen Schrifttum geläufig, im englischen wird aber der Begriff „urban form“ häufiger verwendet als „urban structure“. Ebenso wie der Begriff „Raumstruktur“ gehört Stadtstruktur zu den zentralen Begriffen in Raumforschung, Raumordnung und Raumplanung, die durch Nominaldefinitionen bestimmt sind. Für Stadtregionen oder Stadtlandschaften ist statt Stadtstruktur der Begriff „räumliches Ordnungsgefüge“ präziser und passender. Das räumliche Ord-

nungsgefüge wird verstanden als die Gesamtheit der räumlichen Konfiguration, Anordnung und Verteilung von Flächen unterschiedlicher Nutzungsarten. Seine wesentlichen Dimensionen sind:

- die physische Dimension (urban physics),
- die funktionale Dimension (urban biology),
- die ökonomische Dimension,
- die ökologische Dimension,
- die soziale Dimension,
- die historische Dimension (politische Geschichte, Ereignisse, lokale und regionale Stadtgeschichte),
- die kulturelle Dimension und
- die virtuelle Dimension.

Die physische Dimension entspricht den gebauten Strukturen (Gebäude, Straßen, Plätze, Leitungsnetze etc.), die funktionale der räumlichen Verteilung der Nutzungsfunktionen bzw. Grunddaseinsfunktionen (Wohnen, Arbeiten, Erholen, Verkehr, Kommunikation) und die virtuelle der Effizienz des Transportsystems und der Erreichbarkeit in Zeitaufwand zwischen Orten innerhalb der Stadtregion. Die demographische Dimension ist in den sozialen und funktionalen Dimensionen enthalten. Die Dimensionen stehen in einer wechselseitigen Abhängigkeit. Die Stadtstruktur bzw. das räumliche Ordnungsgefüge einer Stadtregion (spatial pattern) ist jedoch im Wesentlichen durch die physischen und funktionalen Dimensionen geprägt.

Weltweit wird gegenwärtig noch kontrovers diskutiert, welche Stadtstruktur eine nachhaltige Stadtentwicklung fördern würde und wie eine solche zu erreichen wäre. Man geht von der Haupthypothese aus, dass die Stadtstruktur die Nachhaltigkeit beeinflussen kann (WILLIAMS, BURTON & JENKS 2001, S. 1). Die Suche nach Stadtstrukturen, die eine ausgewogene Entwicklung der ökonomischen, ökologischen, sozialen und kulturellen Dimensionen ermöglichen, ist weltweit in vollem Gang. International gibt es zurzeit drei Hauptströmungen: die Verfechter der kompakten Stadt auf der einen (z. B. HILLMAN 1996), ihre Widersacher auf der anderen Seite (vgl. JENKS, BURTON & WIL-

LIAMS 1996, S. 12) und solche Autoren, die eine Kompromisslösung bevorzugen (weder extrem zentrale noch extrem dezentrale Entwicklung zwischen kompakt und unkompakt, z. B. BREHENY 1996).

Der Begriff „Kompakte Stadt“ taucht erstmalig 1982 im Vorentwurf des Strukturplans der Amsterdamer Stadtplanung auf. Seither wird das Leitbild der kompakten Stadt auf internationaler, nationaler und lokaler Ebene propagiert. Im Grünbuch der EG-Kommission zur städtischen Umwelt 1990 (BREHENY 1992, S. 143) wurde argumentiert, dass der Hauptvorteil der kompakten Stadt in ihrem Beitrag zur nachhaltigen Stadtentwicklung liegt. Zahlreiche Stadtentwicklungskonzepte der letzten Jahre zielen auf die Erhöhung der Kompaktheit der Städte (BEATLEY 2000, S. 29–75). Die kompakte Stadt könnte zu einem Leitbild der Stadtplanung und Stadtpolitik im 21. Jahrhundert werden (DEIMER 1998, S. 2). Mit den vier zentralen Zielelementen einer hohen Bebauungsdichte, hohen Durchmischung, guten Erschließung durch öffentlichen Personennahverkehr und Verbesserung von öffentlichen Räumen und Wohnumfeld sollen zukunftsbeständige Flächen-nutzungsstrukturen geschaffen werden. Der Münchener Stadtentwicklungsplan von 1996 brachte das Leitbild der Stadtentwicklung auf die knappe Formel „kompakt, urban, grün“. Das Leitbild der kompakten Stadt wird von Stadtforschern und -planern auch zunehmend in den Zusammenhang mit einer „Stadt der kurzen Wege“ gestellt. Der Autor unterscheidet zwischen physischer, funktionaler und virtueller Kompaktheit der Städte und Stadtregionen (drei Dimensionen der Kompaktheit).

Über das Leitbild der kompakten Stadt gibt es heftige Diskussion (BREHENY 1992, S. 142–156). Es muss gegen die planerisch kaum beeinflussbaren Rationalisierungsprozesse in allen Wirtschaftssektoren und gegen die funktionstrennende Logik des Bodenmarktes durchgesetzt werden. Es kollidiert mit den dominanten Wohnwünschen der Bevölkerungsmehrheit, die das ruhige Wohnen im Grünen vorzieht (compact city versus suburban quality of life). Die meisten

aktuellen bau- und planungsrechtlichen Rahmenbedingungen entstanden im Zeichen der Nutzungstrennung und stehen dadurch einer Umsetzung der kompakten Stadt entgegen. In einer weiteren Argumentation stehen kompakt gebaute Städte im Gegensatz zur Sicherung städtischer Grünflächen (*compact city versus the green city*), zur Entwicklung des ländlichen Raumes (*compact city versus rural economic development*), zur Nutzung von Wind- und Sonnenenergie (*compact city versus renewable energy sources*) und schränken die Chancen der Telekommunikationstechnologie (*compact city versus telecommunication dispersal*) ein. Gegen diese ablehnende Kritik gibt es zahlreiche wohlbegründete Argumente (GATZWEILER 1996, S. 131; HESSE 1999, S. 317–318; JESSEN 2000, S. 50). Beispielsweise ermöglichen innovative und umweltverträgliche Produktionstechnologien die Integration gewerblicher Nutzungen (emissionsarme Fabriken) in die Stadt, insbesondere auch auf Brach- und Konversionsflächen in zentraler Stadtlage. Des Weiteren gehen aus dem Wandel zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft wohn- und stadtverträgliche Arbeitsplätze hervor, die eine Erhöhung der städtebaulichen Dichte und Funktionsmischung erwarten lassen. Der sich vollziehende sozial-demografische Wandel lässt eine städtische Lebensweise wahrscheinlich werden, die die Befriedigung der Wohn-, Bildungs-, Versorgungsbedürfnisse in einem kompakten räumlichen Ordnungsgefüge präferiert.

Die Vorzüge einer physisch kompakten Stadt sind unumstritten, auch wenn die empirischen Befunde über die Reduktion des Verkehrs durch kompakte Städte noch begrenzt aussagekräftig sind. Ohne Zweifel dämpfen kompakt gebaute Siedlungsstrukturen die Flächeninanspruchnahme, reduzieren die innerstädtischen Distanzen, schaffen kurze Wege und damit Einsparpotenzial im Verkehr. Außerdem bieten diese Strukturen Voraussetzungen für bessere Anschlussmöglichkeiten und effektive Nutzung sowie Auslastung von Infrastruktureinrichtungen. Kompakt gebaute Städte, in denen Entfernungen zwischen Wohnen, Arbeit,

Erholen, Versorgung, Bildung und Kommunikation leicht und weitestgehend zu Fuß oder mit dem Rad zu überwinden sind, bringen den Stadtbewohnern mehr Lebensqualität und werden sozialverträglicher (vgl. STETE 1995, S. 42). Daher haben Stadtforscher in der letzten Zeit verstärkt versucht, die „Kompaktheit“ von Städten zu messen und zu untersuchen. Allerdings wird der Begriff „Kompaktheit“ bisher weitgehend unscharf oder qualitativ definiert. Arbeiten zur Messung der funktionalen Kompaktheit von Stadtregionen sind noch selten.

Im Forschungsschwerpunkt „Ressourcenschonende Flächennutzung“ haben sich Wissenschaftler am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR) der Messung und Bewertung der Kompaktheit von Stadtregionen seit vielen Jahren angenommen (EINIG, GÖSSEL & SIEDENTOP 1997, THINH 1999 und 2002). Der Autor beschreibt im zweiten Kapitel die Entwicklung von neuen Methoden zur Messung verschiedener Aspekte der Kompaktheit als wesentliche Ergänzung zum methodischen Beitrag, der vom Autor im Rahmen eines interdisziplinären Projektes (siehe ARLT et al. 2001) geleistet und bereits im Heft 6/2002 der Zeitschrift PFG publiziert wurde (THINH 2002). Mit diesen Maßen kann man den Zustand der Siedlungsentwicklung leicht fassbar beschreiben. Der Verständlichkeit halber sollen die in THINH (2002) beschriebenen Maße (Zerklüftungsgrad, Umfang-Fläche-fragale Dimension und Gravitationsmaß) kurz dargestellt werden.

2 Charakterisierung und Messung des räumlichen Ordnungsgefüges von Stadtlandschaften

2.1 *Methoden zur Messung der physischen Kompaktheit*

Zerklüftungsgrad (The jaggedness degree)

Seit Jahrzehnten ist die Form von Polygonen (Patches) Gegenstand der Forschungen von Geographen und Landschaftsökologen. Eine Sammlung von Maßen für die

Form von Landschaftselementen wurde z. B. von WALZ (2001, S. 20) gegeben. Betrachtet man nur die Siedlungsfläche einer Stadtregion, so besteht das Muster ihrer Flächennutzungsstruktur aus einer Menge von Polygonen unterschiedlicher Formen. Ziel ist es, die Kompaktheit für das räumliche Gefüge dieser Polygone zu messen (nicht die Form oder Kompaktheit der einzelnen Polygone). Durch den Vergleich mit dem Idealfall, wenn alle genannten Polygone in einem einzigen äquivalenten Kreis vereinigt wären, wurde der Zerklüftungsgrad definiert und abgeleitet (siehe THINH 2002, S. 412–413).

Umfang-Fläche-fraktale Dimension

Diese fraktale Dimension wird als Anstieg der Regressionsgeraden für die Logarithmen der Umfänge und Flächeninhalte der Polygone ermittelt (THINH 2002, S. 413).

Mit den oben beschriebenen Maßen kann man einige fundierte Aussagen über die Stadtentwicklung ableiten (HUMPERT et al. 1996, FRANKHAUSER 1997 und 2000). Allerdings haben die Maße den wesentlichen Nachteil, dass sie die räumlichen Distanzen zwischen einzelnen Siedlungsflächen nicht erfassen und daher die unterschiedlichen Dispersionsgrade urbaner Strukturen nicht widerspiegeln können (siehe THINH 2002, S. 418–419). Deshalb ist es erforderlich, andere Maße für die Kompaktheit der Städte zu entwickeln.

Radial-fraktale Dimension

Hierzu greift der Autor auf die von FRANKHAUSER 1997 vorgeschlagene radiale Analyse zurück, formuliert die mathematische Fundierung dafür und knüpft diese Analyse an die Ermittlung des Dichtegradienten an. Zur Erfassung der räumlichen Distanz wird das Siedlungsmuster in Distanzzonen (Kreise) um den Mittelpunkt mit den Radien $r_1 < r_2 < \dots < r_n$ aufgeteilt (siehe Abb. 1) und das Verhältnis zwischen den Siedlungsflächen innerhalb der Kreise und ihren Radien analysiert. Es bezeichne $s(r)$ ($r \in r_1, r_2, \dots, r_n$) die Siedlungsfläche innerhalb eines

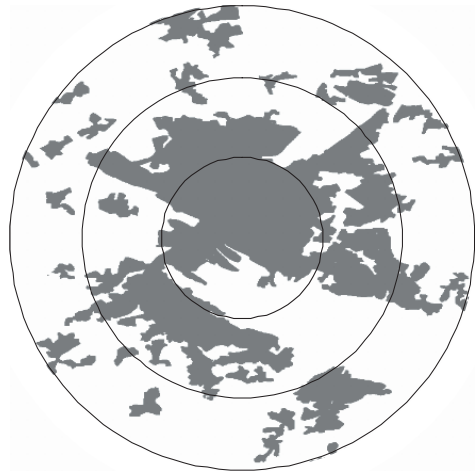


Abb. 1: Kreise um den Mittelpunkt eines Siedlungsmusters.

Kreises mit dem Radius r . So gilt $0 < s(r) \leq \pi r^2$. Hätte das Siedlungsmuster genau die Form eines Kreises, so wäre $s(r) = \pi r^2$. Daher kann für $s(r)$ folgende Beziehung angenommen werden: $s(r) = \beta r^D$ mit $0 < D \leq 2$. Durch Logarithmierung ergibt sich $\ln(s(r)) = D \ln(r) + \ln(\beta)$.

Hieraus ist die radial-fraktale Dimension als Anstieg der Regressionsgeraden der n Punkte $(\ln(r_i), \ln(s(r_i)))$ zu ermitteln. Diese Analyse liefert auch die Erkenntnis, wie der Gradient der Bebauungsdichte mit der Entfernung zum Mittelpunkt der Stadt oder Stadtregion ausfällt (siehe Abb. 8).

Gravitationsmaß

Diese Messung basiert auf einer GIS-Rasteranalyse und dem Gravitationsansatz. Dabei wird das Siedlungsmuster mit einem quadratischen Gitternetz von der Maschenweite 500 m x 500 m überdeckt (Abb. 2) und die Siedlungsfläche innerhalb jeder Rasterzelle quantifiziert. Das Gravitationsmaß berücksichtigt sowohl den Füllungsgrad der Rasterzellen mit Siedlungsflächen als auch die euklidischen Distanzen zwischen den Rasterzellen. Bezüglich einer ausführlichen Darstellung sei auf THINH 2002, S. 414–415, verwiesen.

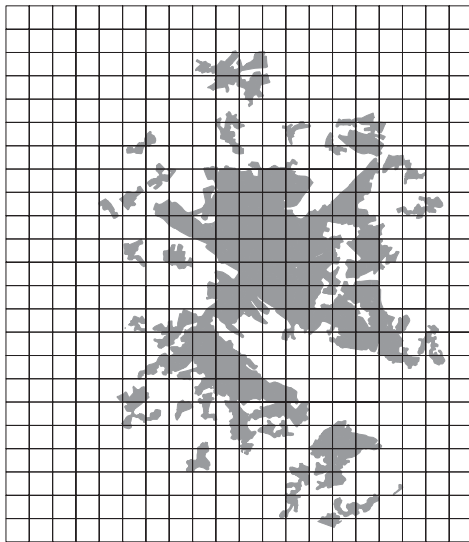


Abb. 2: Überdeckung des Siedlungsmusters mit einem quadratischen Rasternetz.

Dieses Maß ist sensitiv gegenüber dem Auseinanderdriften von Siedlungsclustern und vermag Unterschiede in der Kompaktheit von Stadtlandschaften auszudrücken, was andere Maße wie z. B. Zerklüftungsgrad oder Umfang-Fläche-fraktale Dimension nicht leisten können. Ein Nachteil besteht im hohen Rechenaufwand und in der Schwierigkeit in der Normierung der Werte auf einen bestimmten Skalenbereich, z. B. von 0 bis 1. Beim Versuch zur Normierung dieses Gravitationsmaßes entstand die Idee, die Varianzanalyse für diesen Rasteransatz anzuwenden. Dabei konnte der Autor eine mathematische Formel entdecken und beweisen.

Varianzmaß

Nach der oben beschriebenen Rasterung werden alle Rasterzellen berücksichtigt, die irgendwelche Siedlungsfläche enthalten. Je weiter die Zellen entfernt voneinander liegen, desto größer sind die Varianzen der x- und y-Koordinaten ihrer Mittelpunkte (varianz(x) und varianz(y)). Daher liegt es nahe, die Varianzen zur Messung der Kompaktheit einzusetzen. Es sei S die Gesamtsiedlungsfläche des Musters. Wäre diese Fläche

S in einem äquivalenten Quadrat vereinigt, so bestünde das Rasternetz aus n^2 Quadratzellen (n eine natürliche Zahl). Für diesen Idealfall gilt die folgende Beziehung:

$$\frac{S}{6(\text{varianz}(x) + \text{varianz}(y))} = 1$$

Im allgemeinen Fall ist der Wert der linken Seite diese Gleichung stets kleiner als 1. Auf eine Darstellung des Beweises für diese Beziehungen soll in diesem Rahmen verzichtet werden. Es sei auf eine andere Mitteilung verwiesen. Für die Messung der Kompaktheit wird das folgende Maß vorgeschlagen:

$$V = \frac{S}{6(\text{varianz}(x) + \text{varianz}(y))}$$

Es gilt $0 < V \leq 1$ (je kleiner V ausfällt, desto unkompakter ist das Muster).

2.2 Entropie-Methoden zur Messung der physischen und funktionalen Kompaktheit

Eine weitere Idee besteht darin, mittels des Entropieansatzes und der Pufferanalyse die Dichte und die räumlichen Distanzen zu einem Zentrum oder zu Verkehrsachsen in einem Maß zu erfassen. YEH & LI (2001) haben bereits ein Entropiemaß zur Messung

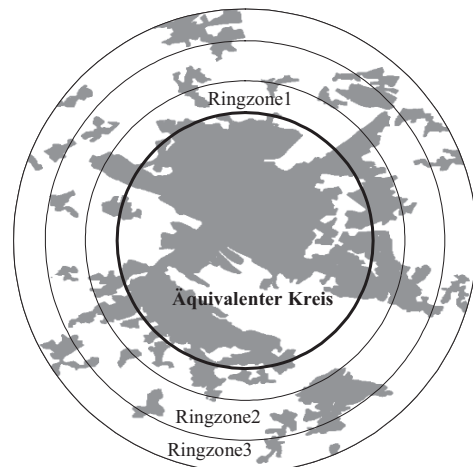


Abb. 3: Der äquivalente Kreis und weitere Ringzonen um den Mittelpunkt des Musters.

der städtischen Zersiedelung verwendet. Die beiden Autoren haben jedoch nicht den äquivalenten Kreis konstruiert, sondern Pufferzonen um die innere Altstadt. Dadurch hat man keinen Anhaltspunkt zum Vergleich und zur Normierung des Maßes. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Methoden sind für jedes beliebige dichte Maß, z. B. Bevölkerungs-, Arbeitsplatz-, Beschäftigten-, Bebauungsdichte usw. anwendbar und deshalb zur Messung sowohl der physischen als auch der funktionalen Kompaktheit geeignet.

Auf Punkt gerichtetes Entropiemaß

Zunächst sollen um den Mittelpunkt einer Stadt(region) der äquivalente Kreis (vgl. Erläuterung zum Zerklüftungsgrad) und danach weitere Kreisinge (Ringzonen) um diesen Kreis konstruiert werden (Abb. 3).

Es bezeichnen d_0 die Bebauungsdichte im äquivalenten Kreis, d. h. das Verhältnis der Siedlungsfläche innerhalb des Kreises zum Kreisflächeninhalt und d_n die Bebauungsdichte in der Ringzone n . Aus diesen Dichten werden die relativen Anteile abgeleitet:

$$q_i = \frac{d_i}{d_0 + d_1 + \dots + d_n} \quad i = 0(1)n$$

Würde die gesamte Siedlungsfläche des Musters in dem äquivalenten Kreis liegen (die kompakteste Form), so gelte $d_0 = 1$ und $d_i = 0$ bzw. $q_0 = 1$ und $q_i = 0$ ($i = 1(1)n$). Bei einem extrem unkompakten Fall $d_0 = d_1 = \dots = d_n$ gilt $q_i = 1/(n+1)$ ($i = 0(1)n$). Je stärker die d_i bzw. q_i bei zunehmenden i abfällt, desto stärker die Konzentration des Musters um den Mittelpunkt. Deshalb liegt es nahe, ein Entropiemaß als Kompaktheitsmaß zu verwenden:

$$H = - \sum_{i=0}^n q_i \ln(q_i) / \ln(n+1)$$

Für H gilt $0 \leq H \leq 1$. Je größer H ist, desto unkompakter das untersuchte Siedlungsmuster ($H = 0$ beim kompaktesten Fall, $H = 1$ beim extrem unkompakten). Im Vergleich mit dem Gravitationsmaß ist dieses Entropiemaß besser geeignet zur Überwa-

chung von historischen Flächennutzungsänderungen innerhalb eines festgelegten Gebietes, z. B. innerhalb eines 20-km-Kreises wie beim MURBANDY-Projekt (MEINEL et al. 1999). Mit diesem Maß können Übereinstimmungen oder Abweichungen der zeitlichen Flächennutzungsänderungen von den Leitbildern „monozentrische Entwicklung“ oder „Urbanität durch Dichte“ herausgearbeitet werden. Hierin liegt ein wesentlicher Vorteil des Maßes. Der Autor verwendet statt Kreisen auch andere allgemeine Pufferformen, um der beliebigen Form von Stadtregionen in ihren administrativen Grenzen zu entsprechen. An der Stelle des äquivalenten Kreises werden das äquivalente Polygon und danach weitere Pufferzonen um dieses Polygon konstruiert.

Auf Achsen gerichtetes Entropiemaß

Um die zeitlichen Änderungen der Flächennutzung mit dem Leitbild „Achsenmodell“ vergleichen zu können, schlägt der Autor folgende Modifizierung der geometrischen Konstruktion vor: Um die Hauptentwicklungsachsen wird eine Pufferzone gebildet, die dieselbe Flächengröße wie die Gesamtsiedlungsfläche des Musters hat; danach werden weitere Pufferzonen um die erste Zo-

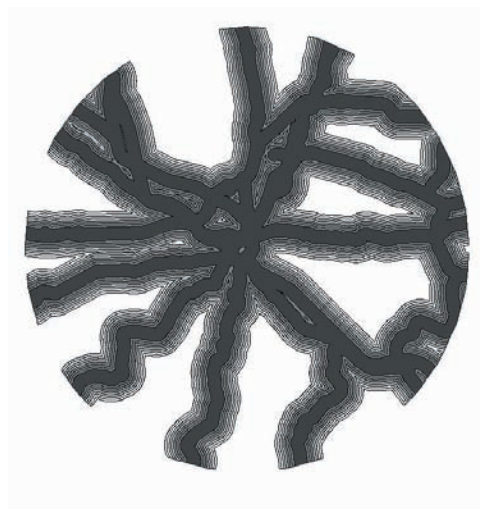


Abb. 4: Pufferzonen um die Hauptentwicklungsachsen.

ne konstruiert (siehe Abb. 4). Die Berechnung des Entropiemaßes erfolgt analog wie oben beschrieben. Eine Zusammenschau der zwei Entropiemaße (Mittelpunkt oder Achsen gerichtet) liefert interessante Aspekte der Siedlungsentwicklung.

Auf Teilräume gerichtetes Entropiemaß

Zur Messung des Dispersionsgrades von Grunddaseinsfunktionen (funktionale Kompaktheit) mit dem Entropiemaß können anstelle von Ringzonen und Dichtegrößen auch Teilräume in ihren administrativen Grenzen und relative Anteile der Aktivitäten verwendet werden. Bestehe das Untersuchungsgebiet aus $n + 1$ Teilräumen, deren Bevölkerungszahlen (oder Arbeitsplatz- oder Beschäftigtenzahlen usw.) b_i ($i = 0(1)n$) bekannt seien, so kann man anstatt der Dichtegrößen die relativen Anteile

$$q_i = \frac{b_i}{b_0 + b_1 + \dots + b_n}$$

($i = 0(1)n$) zum Berechnen des oben beschriebenen Entropiemaßes heranziehen.

3 Anwendung der Maße zur Verfolgung von historischen Flächennutzungsänderungen der Stadtregion Dresden

Zur Verfolgung von historischen Flächennutzungsänderungen „Monitoring Urban Dynamics (MURBANDY) – Change Dresden“ haben MEINEL et al. (1999) ein kreisförmiges Gebiet mit dem Mittelpunkt im Stadtzentrum Dresden und einem Radius von 20 km als Untersuchungsgebiet abgegrenzt. Für dieses Gebiet konnten digitale Flächennutzungsdaten in den Jahren 1880, 1900, 1940, 1953, 1968, 1986 und 1998 gewonnen werden (siehe MEINEL et al. 1999, WINKLER 2001, NEUMANN 2002). Diese digitale Datenerfassung basierte auf Satelliten- und Luftbilddaten sowie historischem Kartenmaterial und CORINE-Daten. Es wurden u. a. verwendet: IRS-1C-Satellitenbilder (1998), SPOT-Satellitenbilder (1986), CORONA-Satellitenbilder (1968), Luftbilder (1953), Messtischblätter (1940, 1900) und Äquidistantenkarten (um 1880). Die Karten wurden gescannt, georeferenziert, zusammengefügt und danach unter Anwendung des MURBANDY-Flächennutzungs-Klassifikationsschlüssels in ArcView editiert (vgl. MEINEL & NEUMANN 2003, WITSCHAS 2002).

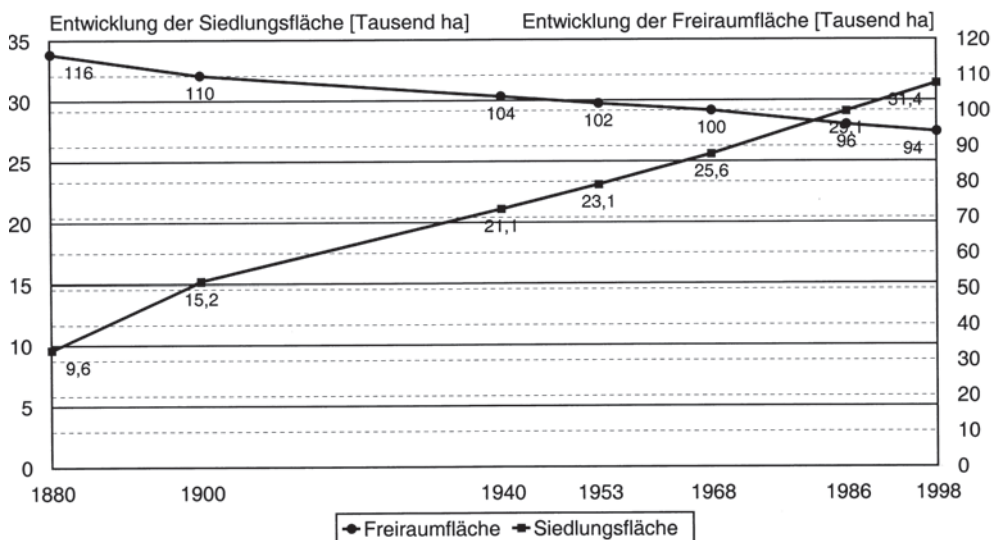


Abb. 5: Die Dynamik der Siedlungsentwicklung im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden.

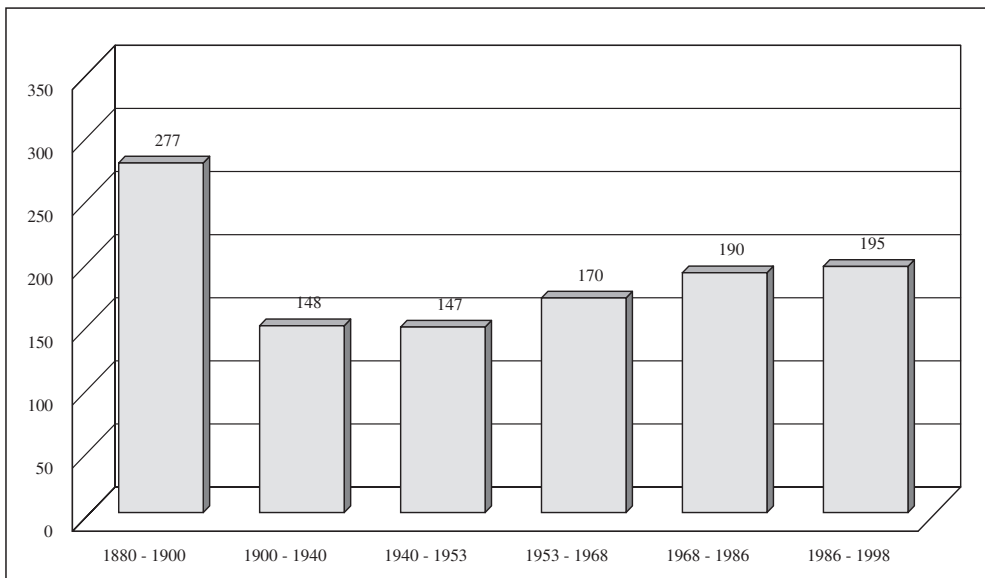


Abb. 6: Der durchschnittliche Flächenverbrauch im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden in ha/Jahr zu verschiedenen Zeiträumen.

Die Untersuchungsfläche beträgt ca. 125 Tausend ha (Fläche des Kreises mit 20-km-Radius). Die Abb. 5 und 6 zeigen deutlich, dass das Untersuchungsgebiet stark von der Siedlungsflächenexpansion betroffen ist. Von 1880 bis 1998 hat sich die Siedlungsfläche mehr als verdreifacht. Die höchste durchschnittliche Siedlungsflächenzunahme pro Jahr (277 ha/Jahr, Abb. 6) fand im Zeitraum von 1880 bis 1900 statt. Diese stürmische Expansion ist mit der raschen wirtschaftlichen Entwicklung während der Gründerzeit verbunden. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte sich Dresden unaufhaltsam zur Großstadt. Es war eine Geschichte der Industrialisierung, der weiteren flächenmäßigen Ausdehnung der Stadt und des Anwachsens der Bevölkerungszahl. Die bis in das 20. Jahrhundert hinein typischen Dresdner Industriezweige (die Nahrungs- und Genussmittelbranche, die Zigarettenherstellung, die Chemie- und Pharmaindustrie, die feinmechanisch-optische Industrie, die Elektro- und Verpackungsmaschinenindustrie) bildeten sich in dieser Zeitperiode endgültig heraus (STIMMEL et al. 1994, S. 22). Zwischen 1892 und

1903 wurde eine große Anzahl von Gemeinden und Industriesiedlungen eingemeindet (vgl. Landeshauptstadt Dresden, Kommunale Statistikstelle 2001, S. 25; STIMMEL et al. 1994, S. 24). Mit mehr als einer halben Million Einwohner rückte Dresden zur viertgrößten Stadt des Deutschen Reiches auf (STIMMEL et al. 1994, S. 24). Diesem atemberaubenden Tempo der Wirtschaftsentwicklung entsprechend wuchs die Industriefläche innerhalb des Kernraums (die größte zusammenhängende Siedlungsfläche) zwischen 1880 und 1900 von 186 ha auf 582 ha, die wohnbaulich und gemischt genutzte Fläche von 1.979 ha auf 3.488 ha (vgl. NEUMANN 2002, S. 68). Dieser enorme Zuwachs an Siedlungsfläche wurde in den Zeitperioden (1900–1940, 1940–1953) gebremst. Seit 1953 hat im Untersuchungsgebiet der durchschnittliche Flächenverbrauch pro Jahr aber ständig zugenommen (Abb. 6).

Gemäß dieser ständigen Füllung mit Siedlungsflächen innerhalb des 20-km-Kreises der Stadtregion Dresden nimmt die durchschnittliche Distanz zwischen einem beliebigen Punkt zu allen möglichen Punkten der Siedlungsfläche mit der Zeit ab; die durch-

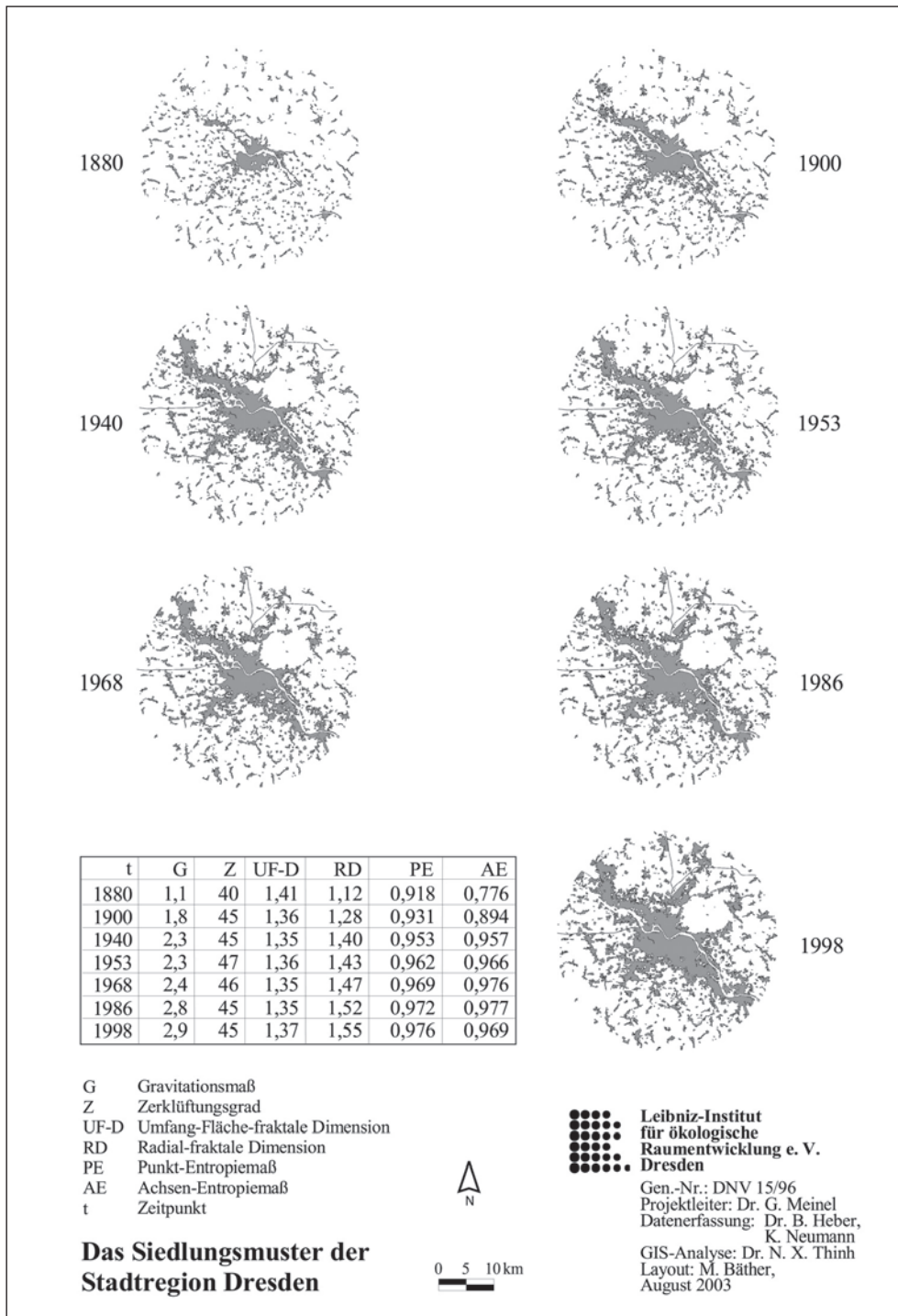


Abb. 7: Die Entwicklung der Siedlung im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden und ihrer Kompaktheitsmaße.

schnittliche Anziehungskraft zwischen Orten der Siedlungsfläche wird größer. Daher ist es plausibel, dass das Gravitationsmaß von 1880 bis 1998 zunimmt (siehe Abb. 7). Ebenfalls mit der Zeit wächst der Besiedlungsgrad bzw. die Bebauungsdichte innerhalb jeder Ringzone um den Mittelpunkt des Stadtzentrums (Abb. 8). Deshalb ist es logisch, dass die radial-fraktale Dimension ständig steigt (Abb. 7). Anhand der Abb. 8 erkennt man, wo und in welcher Entfernung die Unter- bzw. Kleinzentren liegen (die lokalen Extrema des Dichtegradients). Interessant ist zu sehen, dass die Kurven der Gradienten fast parallel zueinander verlaufen und wie stark diese Gradienten bis etwa 6,5 km vom Stadtzentrum abfallen (Abb. 8). Bei diesem Abstand könnte man eine physische Grenze zwischen Stadt und Landschaft ziehen. Die stürmische Siedlungsflächenexpansion zwischen 1880 und 1900 wird durch die deutlichen Veränderungen von Gravitationsmaß, Zerklüftungsgrad, Umfang-Fläche-fraktale Dimension und radial-fraktale Dimension widergespiegelt. Der Zerklüftungsgrad nimmt zunächst zu (von 1880 bis 1953) und danach ab (1953–1998); die Entwicklung der Umfang-Fläche-fraktale Dimension ist umgekehrt (Abb. 7).

Interessante Einsicht in die zeitliche Entwicklung des Siedlungsmusters innerhalb des 20-km-Kreises liefern die Entropiemaße. Beim Vergleich der Entwicklung dieses Musters mit den Leitbildern „monozentrische Entwicklung“ und „Achsenmodell“ zeigen die Berechnungen, dass es weit entfernt vom Idealmuster der Zentralisation bzw. der totalen Konzentration an Hauptverkehrsstraßen (die Autobahn, die Eisenbahnlinien, die Bundesstraßen B 6, B 170, B 172, B 173, E 55) liegt (Abb. 7). Sowohl das Punkt-Entropiemaß als auch das Achsen-Entropiemaß streben gegen 1. Unter den Aspekten der Zentralisation und Konzentration deuten die Entropiemaße darauf hin, dass die Siedlungsentwicklung innerhalb des 20-km-Kreises dispers ist. Das Achsen-Entropiemaß zeigt, dass nach der Wende etwas mehr an den genannten Hauptverkehrsstraßen gebaut wurde (Abnahme des Achsen-Entropiemaßes von 1986 zu 1998; siehe Abb. 7 und Abb. 9). Die Entropiemaße sind gut geeignet, um die raum-zeitlichen Entwicklungen von mehreren Städten bezüglich der zwei erwähnten Leitbilder zu vergleichen und zu typisieren (vgl. YEH & LI 2001).

Die theoretisch-methodische Fundierung und die empirischen Berechnungen haben

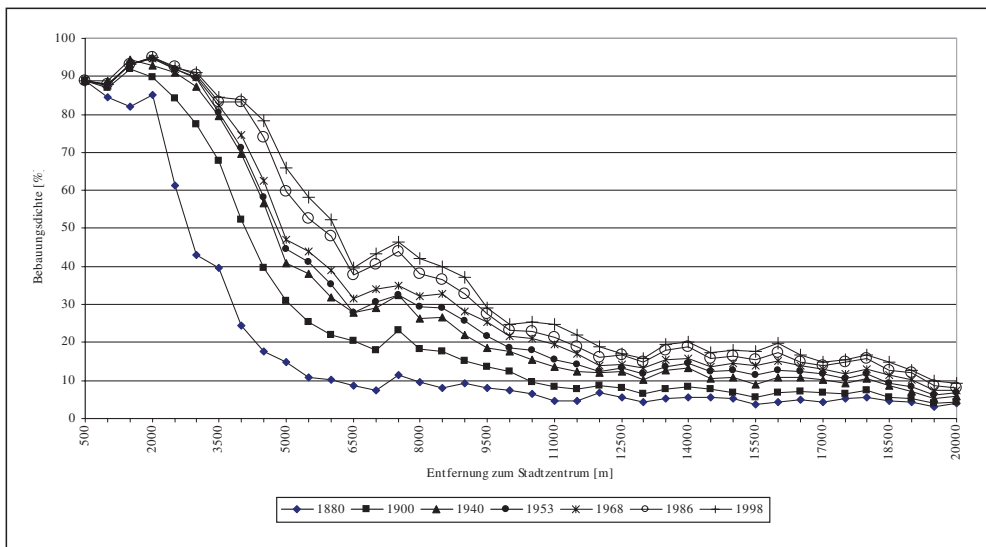


Abb. 8: Die Entwicklung des Dichtegradients im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden.

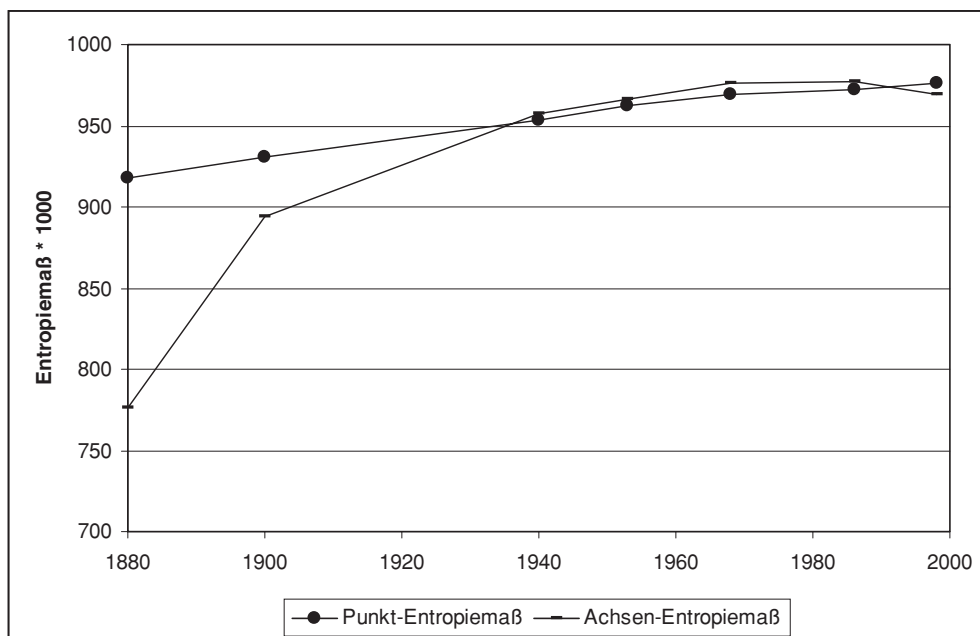


Abb. 9: Die Entwicklung der Entropiemaße im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden.

gezeigt, dass man bei der Charakterisierung der Kompaktheit des räumlichen Ordnungsgefüges von Stadtlandschaften viele räumliche Aspekte (Anordnung, Distanz, Dichte, Form usw.) berücksichtigen muss. Weil es schwierig ist, mit einem einzigen Maß viele Aspekte zu erfassen, sind zur Untersuchung der Kompaktheit von solchen Mustern verschiedene Maße (wie oben beschrieben) anzuwenden. Die Entscheidung, welches Maß man verwenden soll, hängt auch von der inhaltlichen Fragestellung ab.

Danksagung

Das zweite Kapitel stellt eine Weiterentwicklung von theoretisch-methodischen Beiträgen dar, die der Autor im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes am IÖR unter Leitung von Herrn Dr. G. ARLT leistete. Der Autor dankt den Herren Dr. G. MEINEL, U. SCHUMACHER, K. NEUMANN und M. WINKLER für die fruchtbare Diskussion und freundliche Unterstützung bei der Nutzung der GIS-Daten der Stadtregion Dresden.

Literatur

- ARLT, G., GÖSSEL, J., HEBER, B., HENNERSDORF, J., LEHMANN, I. & THINH, N.X., 2001: Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Bodenversiegelung und Bodenpreis. – IÖR-Schriften, Bd. 34, Dresden.
- BEATLEY, T., 2000: Green Urbanism Learning from European Cities. – Island Press Washington.
- BOBEK, H., 1928: Innsbruck, eine Gebirgsstadt. Ihr Lebensraum und ihre Erscheinung. – Forschungen zur deutschen Landes- u. Volkskunde, Stuttgart.
- BREHENY, M.J., 1992: The Contradictions of the Compact City: A Review. – In: BREHENY, M.J. (Ed.): Sustainable Development and Urban Form, European research in regional science. – 138–159, London.
- BREHENY, M.J., 1996: Centrists, Decentrists and Compromisers: Views on the Future of Urban Form. – In: JENKS, M., BURTON, E. & WILLIAMS, K. (Eds.): The Compact City – A Sustainable Urban Form. – 13–35, E & FN SPON London.
- DEIMER, J., 1998: Leitstern kompakte Stadt. – Der Städtetag 1/1998: 1–2.
- EINIG, K., GÖSSEL, J. & SIEDENTOP, S., 1997: Nutzen von CORINE-Daten zur Verfolgung des

- Verstädterungsprozesses in ostdeutschen Ballungsräumen. – GIS 1/1997.
- FRANKHAUSER, P., 1997: Fractal Analysis of Urban Structures. – In: HOLM, E. (Ed.): Modelling space and Network Progress in Theoretical and Quantitative Geography. – Gerum Kultur-geografi.
- FRANKHAUSER, P., 2000: GIS and the Fractal Formalisation of Urban Patterns: Towards a New Paradigm for Spatial Analysis. – In: FOTHERINGHAM, A. S. & WEGENER, M. (Eds.): Spatial Models and GIS New Potential and New Models. – 121–142, Taylor & Francis London.
- GATZWEILER, H.-P., 1996: Siedlungsentwicklung und Siedlungspolitik in Deutschland. – Raumforschung und Raumordnung 1996 (2/3): 129–136.
- GEER, S. de, 1923: Greater Stockholm. – Geographical Review: 487–500.
- HESSE, M., 1999: Die Logik der kurzen Wege: Räumliche Mobilität und Verkehr als Gegenstand der Stadtforschung. – Erdkunde, Band 53: 317–329.
- HOFMEISTER, B., 1996: Die Stadtstruktur. – Wissenschaftl. Buchgesellsch., Darmstadt.
- HILLMAN, M., 1996: In Favour of the Compact City. – In: JENKS, M., BURTON, E. & WILLIAMS, K. (Eds.): The Compact City – A Sustainable Urban Form. – 36–44, E & FN SPON London.
- HUMPERT, K., BECKER, S. & BRENNER, K., 1996: Entwicklung großstädtischer Agglomerationen. – In: TEICHMANN, K. & WILKE, J. (Hrsg.): Prozess und Form natürlicher Konstruktionen. – 182–189, Ernst & Sohn Verlag Berlin.
- JENKS, M., BURTON, E. & WILLIAMS, K. (Eds.), 2000: The Compact City – A Sustainable Urban Form. – 215–216, E & FN SPON London.
- JESSEN, J., 2000: Leitbild kompakte durchmischte Stadt. – GR 52, H. 7–8: 48–50.
- Landeshauptstadt Dresden, Kommunale Statistikstelle, 2001: Statistische Informationen, Dresden in Zahlen 2000.
- MEINEL, G., COLDITZ, U., GÖSSEL, J., HEBER, B., HENNERSDORF, J., SCHUMACHER, U. & SIEDENTOP, S., 1999: Monitoring Urban Dynamics (MURBANDY) – Change Dresden. – Final Report of EU-Project No 14672-1998-12 F1PCISP DE, IÖR Dresden
- MEINEL, G. & NEUMANN, K., 2003: Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790 – Methodik und Ergebnisse eines Langzeitmonitorings. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 2003 (5): 409–422.
- NEUMANN, K., 2002: GIS-basierte Aufnahme und Analyse der Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden von 1880 bis 1998. – Diplomarbeit, IÖR und TU Dresden.
- STIMMEL, F., EIGENWILL, R., GLODSCHKEI, H., HAHN, W., STIMMEL, E. & TITTMANN, R., (1994): Stadtlexikon Dresden. – Verlag der Kunst, Dresden, Basel.
- STETE, G., 1995: Frauen unterwegs. Forderungen an die Stadtplanung. – Internat. Verkehrswesen, Jg.47, Nr.1/2: 35–42.
- THINH, N. X., 1999: Charakterisierung städtischer Siedlungsstrukturen. – In: Grützner, R. & Möhring, M. (Hrsg.): Werkzeuge für die Modellierung und Simulation im Umweltbereich. – Umweltinformatik Aktuell Bd. 22: 155–166, MetropolisVerl. Marburg.
- THINH, N. X., 2002: Entwicklung von AML-Programmen zur räumlichen Analyse der Flächennutzungsmuster von 116 kreisfreien Städten in Deutschland. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 2002 (6): 409–422.
- WALZ, U., 2001: Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der Satelliten-Fernerkundung und der Geoinformatik. – Logos Verlag Berlin.
- WILLIAMS, K., BURTON, E. & JENKS, M., 2001: Achieving Sustainable Urban Form. – Spon Press London.
- WINKLER, M., 2001: GIS-basierte Flächenentwicklungsanalyse von fünf europäischen Großstädten (Bilbao, Bratislava, Dresden, Lyon, Palermo) und deren Visualisierung auf der Basis digitaler Datenbestände. – Diplomarbeit, IÖR und TU Dresden.
- WITSCHAS, S., 2002: Erinnerung an die Zukunft – sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. – Kartographische Nachrichten 52 (3): 111–117.
- YEH, A.G.O. & LI, X., 2001: Measurement and Monitoring of Urban Sprawl in a Rapidly Growing Region Using Entropy. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 67, No. 1: 83–90.

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. NGUYEN XUAN THINH
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden
Weberplatz 1, D-01217 Dresden
e-Mail: NG.Thinh@ioer.de

Manuskript eingereicht: August 2003
Angenommen: November 2003