

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## **DIPLOMARBEIT**

### **Hedonische Immobilienbewertung von Dachgeschosswohnungen mittels „Geographically Weighted Regression“ (GWR):**

Eine empirische Untersuchung des Mietmarktes für Dachgeschosswohnungen in Wien mit  
Sichtbarkeitsanalyse in den Jahren 2001 bis 2011

**Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der  
Leitung von**

**Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn Wolfgang Feilmayr**

E 280

Fachbereich Stadt- und Regionalforschung

**Eingereicht an der Technischen Universität Wien**

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Markus PETER

Matr.Nr. 0525950

Studentenheim Josef Kraus

Lainzerstraße 129

1130 Wien

Wien am 7.06.2013

## **Kurzfassung**

Die vorliegende Arbeit ist eine empirische Untersuchung des Mietmarktes für Dachgeschosswohnungen in Wien über die Jahre 2001 bis 2011. Zentrales Element dieser empirischen Untersuchung ist dabei das hedonische Konzept der Immobilienbewertung, welches mittels einer „Geographically Weighted Regression“ kurz GWR umgesetzt wurde. Im Verlauf der Arbeit wird dabei zuerst auf das grundlegende Konzept der hedonischen Immobilienbewertung sowie die innovative Methode der GWR eingegangen, bevor eine ausführliche Darstellung der empirischen Untersuchung erfolgt. Im Zuge dieser empirischen Analyse wurden die Einflüsse der Lagevariablen sowie der Ausstattungsvariablen auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen ermittelt, zentrales Element dieser Analyse war dabei eine Sichtbarkeitsanalyse, welche sich über das gesamte Wiener Stadtgebiet erstreckte. Im weiteren Verlauf der Analyse wurde auch die Entwicklung der Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen aufgezeigt. Die Arbeit versucht somit ein möglichst umfassendes Bild über den Wiener Mietmarkt für Dachgeschosswohnungen in den letzten Jahren zu geben und aktuelle Entwicklungen aufzuzeigen.

## **Abstract**

This project is an empirical study of the rental market for penthouses in Vienna between 2001 and 2011. The central element of this study is the hedonic real estate pricing concept which was implemented using „Geographically Weighted Regression“ analysis (GWR). The thesis will first explain the hedonic real estate pricing concept as well as the innovative GWR method before an in-detail description of the empirical investigation is given. In the course of this analysis influencing factors on the rental prices of Vienna's penthouses have been determined, such as variables related to the location as well as facility-related variables. Central element of this analysis was a visibility analysis which was conducted for the entire urban area of Vienna. Additionally, the development of the rental prices has been demonstrated. Therefore, this work attempts to give a comprehensive picture and to show current developments of Vienna's rental market for penthouses.

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir die Erstellung der Arbeit in diesem Umfang ermöglicht haben und die mich stets tatkräftig unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang meinem Betreuer am Fachbereich für Stadt- u. Regionalforschung der TU Wien, Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Feilmayr, der sich stets für mich Zeit nahm und entscheidend zum Erfolg der externen Kooperationen sowie der Arbeit beitrug.

In diesem Rahmen möchte ich auch den externen Kooperationspartnern meinen Dank aussprechen, da sie durch die Bereitstellung des umfangreichen Datenmaterials die Arbeit in diesem Rahmen und Umfang überhaupt erst ermöglicht haben. In diesem Zusammenhang ist vor allem die Immobilien Rating GmbH kurz IRG zu erwähnen, von welcher ich den umfangreichen Grundlagendatensatz erhalten habe, sowie die Stadt Wien, die mir ebenfalls umfangreiche GIS Daten zur Verfügung gestellt hat. Mein besonderer Dank in der Stadt Wien gilt dabei Herrn Oberstadtbaurat Dipl.-Ing. Robert Doppler von der MA 69 der Liegenschaftsverwaltung für die Unterstützung meiner Arbeit, sowie Herrn Oberstadtbaurat Mag. Wolfgang Jörg und Herrn Oberstadtbaurat Dipl.-Ing. Erich Wilmersdorf von der MA 14 der Vienna GIS Koordinationsstelle für die gute Zusammenarbeit im Rahmen der Datenübergabe.

Im Weiteren möchte ich auch noch Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Kurt Weninger, Projektassistent am Department für Raumplanung, danken, da er die im Rahmen der Arbeit angewandte Sichtbarkeitsanalyse mithilfe eines „Python Skripts“ für die Beobachtungen automatisierte.

Ebenfalls möchte ich den Entwicklern der angewandten GWR Analysesoftware Univ. Prof. Martin Charlton vom “National Center for Geocomputation” an der “National University of Ireland Maynooth” sowie Univ. Prof. Tomoki Nakaya BSc, MSc, Ph.D. am „Department of Geography“ an der Ritsumeikan University Japan für die Bereitstellung ihrer Software und den intensiven Austausch per Mail danken. Mein besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang Univ. Prof. Tomoki Nakaya BSc, MSc, Ph.D. welcher mehrmals ein eigens für meinen Datensatz angepasstes „Softwarerelease“ heraus gab und somit einen entscheidenden Anteil am Zustandekommen der Arbeit in dieser Form hat.

Abschließend möchte ich noch allen in meinem Umfeld danken, die mich am langen Weg zu dieser Arbeit unterstützt haben und die mir diese Ausbildung ermöglicht haben. Der zentrale Dank gilt dabei vor allem meiner Mutter, die mich stets mit aller Kraft auf meinem Weg mit viel Verständnis unterstützte.

## Inhaltsangabe

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>II</b>
<b>INHALTSANGABE</b> .....	<b>III</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>IX</b>
<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1. Ausgangslage und Aktualität der Arbeit.....	1
2. Problemstellung .....	2
2.1 Fragestellungen.....	2
2.2 Ziele.....	3
3. Konzeption und Methodik .....	3
4. Grundlagendefinitionen und Rahmenbedingungen .....	3
4.1 Allgemeine Grundlagendefinitionen.....	3
4.1.1 Dachgeschosswohnungen .....	4
4.1.2 Mietwohnung .....	4
4.1.3 Sichtbarkeit.....	5
4.2 Allgemeine Rahmenbedingungen.....	5
4.2.1 Immobilie und Immobilienmarkt .....	5
4.3 Statistische Grundlagendefinitionen .....	7
4.3.1 Global versus lokal .....	7
4.3.2 „Räumliche Nicht-Stationarität“ .....	8
4.3.2.1 Lokaler geographischer Variabilitätstest .....	8
4.3.3 Determinationskoeffizient .....	10
4.3.4 „Akaike Information Criterion“ und „Corrected Akaike Information Criterion“ .....	12
4.3.5 Kollinearität .....	14
4.3.5.1 „Variance Inflation Factor“ .....	15
4.3.5.2 „Condition Number“ .....	16
4.3.6 „Räumliche Autokorrelation“ .....	17
4.3.6.1 Globaler Moran´s <i>I</i> .....	19
<b>I. HEDONISCHES KONZEPT</b> .....	<b>22</b>
1. Hedonische Theorie .....	22
1.1 Hedonische Methode.....	24
1.1.1 Hedonische Preisfunktion.....	26
1.1.2 Ableitung des Regressionsmodells .....	27
2. Hedonische Modelle .....	29

2.1 Anwendung in der Praxis .....	29
2.1.1 Hedonischer Preisindex .....	30
2.1.2 Hedonische Immobilien Bewertung .....	31
2.2 Robustheit des hedonischen Modells.....	31
3. Zusammenfassung und Perspektive des hedonischen Konzepts.....	32
<b>II. „GEOGRAPHICALLY WEIGHETED REGERSSION“ GWR .....</b>	<b>34</b>
1. Theorie und Methodik .....	35
1.1 Grundlegende Methodik GWR.....	36
1.1.1 Gewichtungsmatrix.....	37
1.1.2 Gewichtungsfunktion.....	39
1.2 Beobachtungsbandbreite.....	43
1.2.1 Selektionskriterium und Selektionsmethode .....	45
1.3 Prämissen „local weighted least square“ Schätzung .....	46
1.4 „Mixed GWR“ .....	47
2. GWR Software.....	48
2.1 NCG “stand alone Software” .....	49
2.1.1 GWR 3 .....	49
2.1.2 GWR 4 .....	50
2.1.3 Gegenüberstellung Funktionsumfang GWR3 und GWR4.....	51
2.2 Weitere „Softwarelösungen“ und Resümees.....	51
<b>III. SICHTBARKEITSANALYSE.....</b>	<b>53</b>
1. Datengrundlage und Analyseraum .....	53
1.1 Datenaufbereitung.....	54
1.2 Definierte Elementgruppen der Sicht .....	55
2. Sichtfeld.....	57
2.1 Sichtfeldanalyse .....	57
2.1.1 Resultate der Sichtfeldanalyse.....	58
2.1.2 Aufbereitung der Resultate .....	59
<b>IV. DATENGRUNDLAGE UND ANALYSERAUM .....</b>	<b>60</b>
1. Datenaufbereitung und Bereinigung .....	60
2. Räumliche Eingrenzung des Analyseraums und der Beobachtungen .....	61
3. Erörterung Datenstruktur und Datenbeschreibung.....	64
3.1 Deskriptive Statistik .....	64
<b>V. EMPIRISCHE GWR ANALYSE.....</b>	<b>66</b>
1. Modellbildung und Prämissenprüfung.....	66
1.1 Grundlegende Variablenselektion .....	67

1.2 Kollinearität und Beobachtungsbandbreite .....	67
1.2.1 „Globale“ – Kollinearität .....	67
1.2.2 Beobachtungsbandbreite .....	68
1.2.3 „Lokale“ – Kollinearität .....	69
1.3 Endgültige Variablenselektion .....	70
1.4 „Räumliche Nicht-Stationarität“ .....	71
1.5 Ausreißer Reduktion .....	72
1.6 Globale Autokorrelation .....	73
1.7 Normalverteilung .....	74
1.8 Homoskedastizität .....	75
2. Parametervergleich und Modell Gegenüberstellung .....	75
2.1 Globale Regression und lokale GWR .....	77
2.2 Lokale „Bi-quadrat GWR“ und „Gaussain Mixed GWR“ .....	77
2.3 Lokale „Gaussain Mixed GWR“ Modellkennwerte im Detail .....	78
<b>VI. RESULTATE DER HEDONISCHEN ANALYSE .....</b>	<b>79</b>
1. Periodische Entwicklung der Mieten bei Dachgeschosswohnungen .....	79
1.1 Entwicklung des Mietpreisindexes .....	79
1.2 Variation der Mieten im Jahr 2008 .....	81
1.3 Variation der Mieten im Jahr 2009 .....	82
1.4 Variation der Mieten im Jahr 2010 .....	83
1.5 Variation der Mieten im Jahr 2011 .....	84
2. Lagebezogene Einflussfaktoren auf die Mieten bei Dachgeschosswohnungen .....	85
2.1 Einfluss der Sichtbarkeitsfaktoren auf die Mieten .....	85
2.1.1 Einfluss der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Ferne auf die Mieten .....	85
2.1.2 Einfluss der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Nähe auf die Mieten .....	86
2.1.3 Einfluss der Sichtbarkeit des Grüngürtels in der Ferne auf die Mieten .....	87
2.2 Einfluss der sozioökonomischen Faktoren auf die Mieten .....	88
3. Einflussfaktoren der Ausstattungsmerkmale auf die Mieten bei Dachgeschosswohnungen .....	89
3.1 Einfluss der Wohnungsfläche auf die Mieten .....	90
3.2 Einfluss des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche auf die Mieten .....	91
3.3 Einfluss der Bäderklassen auf die Mieten .....	92
3.4 Einfluss der Baujahresklasse auf die Mieten .....	94
3.5 Einfluss einer Garage auf die Mieten .....	98
<b>VII. SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE MIETEN VON DACHGESCHOSSWOHNUNGEN .....</b>	<b>99</b>
1. Schlüsse aus der periodischen Entwicklung der Mieten .....	99
2. Schlüsse aus den lagebezogenen Einflussfaktoren auf die Mieten .....	100

3. Schlüsse aus den Einflussfaktoren der Ausstattungsmerkmale auf die Mieten .....	101
<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>103</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>105</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>A</b>

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gewichtungsfunktion.....	40
Abbildung 2: Adaptive Gewichtungsfunktion .....	42
Abbildung 3: Ausgabe GWR4 .....	F

### Grafikverzeichnis

Grafik 1: Selektion des Beobachtungsbandes mittels $Z$ - Werten.....	62
Grafik 2: Endgültige Variablenselektion mittels Stufenweiser $AICc$ Selektion.....	70
Grafik 3: Ausreißer Reduktion der Beobachtungen im Modell mittels standardisierter Residuen .....	72
Grafik 4: Häufigkeitshistogramm der standardisierten Residuen der Normalverteilung .....	74
Grafik 5: Standardisierte Residuenplot der Homoskedastizität .....	75
Grafik 6: Preisindex der Mieten im Dachgeschoss in den Jahren 2008 bis 2011 bezogen auf die Indexbasis von 2001 bis 2007 .....	80
Grafik 7: Standardisierter Residuen Quantilsplot der Homoskedasitzität .....	A
Grafik 8: Parametervergleich Werkstätten, Industrie- oder Lagerhalle.....	A
Grafik 9: Parametervergleich der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Ferne .....	A
Grafik 10: Parametervergleich der Angebotsjahre .....	B
Grafik 11: Parametervergleich der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Nähe.....	B
Grafik 12: Parametervergleich Garage.....	C

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung besondere Eigenschaften der Immobilie und des Immobilienmarktes .....	6
Tabelle 2: Gegenüberstellung der Eigenschaften von globalen und lokalen Statistiken .....	8
Tabelle 3: Detaillierte Gegenüberstellung des Funktionsumfangs der GWR3 und der GWR4 .....	51
Tabelle 4: Deskriptive Statistik der Modellvariablen .....	65
Tabelle 5: Globale Kollinearitätstestung mittels <i>VIF</i> .....	68
Tabelle 6: „Räumliche Nicht-Stationaritätstestung“ mittels <i>DIFF</i> Kriterium .....	71
Tabelle 7: Statistik des Moran's <i>I</i> .....	74
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Parameter der lokalen und globalen Modelle .....	76
Tabelle 9: Gegenüberstellung der Modellgüteindikatoren des globalen und lokalen Modells .....	77
Tabelle 10: Gegenüberstellung der Modellgüteindikatoren des „Bi-quadrat“ und „Gaussain Mixed Modells“ .....	77
Tabelle 11: Variablen der Gruppe der Abhängigen und zeitlichen Periodenvariablen.....	C
Tabelle 12: Variablen der Gruppe A der Ausstattungsvariablen.....	D
Tabelle 13: Variablen der Gruppe L der Lagevariablen .....	E

## Kartenverzeichnis

Karte 1: Raster der definierten Elementgruppen für die Sichtfeldanalyse .....	56
Karte 2: Kerndichte der Beobachtungen per Quadratkilometer.....	63
Karte 3: Lokale Kollinearitätstestung mittels <i>CN</i> .....	69
Karte 4: <i>Z</i> - Werte des globalen Moran's Indexes der standardisierten Residuen auf Zählsprengel Ebene .....	73
Karte 5: Lokale Determinationskoeffizienten des „Gaussain Mixed Modells“ .....	78
Karte 6: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2008 bezogen auf die Indexbasis .....	81
Karte 7: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2009 bezogen auf die Indexbasis .....	82
Karte 8: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2010 bezogen auf die Indexbasis .....	83
Karte 9: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2011 bezogen auf die Indexbasis .....	84
Karte 10: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Sichtfläche bedeutender Gebäude in der Ferne .....	85
Karte 11: Steigerung der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Sichtfläche bedeutender Gebäude in der Nähe .....	86
Karte 12: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Sichtfläche des Wiener Grüngürtels in der Ferne .....	87
Karte 13: Steigerung der Quadratmetermieten bei Steigerung des Akademikeranteils .....	88

Karte 14: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Gebäudeanteils an Werkstätten Industrie- oder Lagerhallen.....	89
Karte 15: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Wohnfläche .....	90
Karte 16: Steigerung der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Terrassenfläche .....	91
Karte 17: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse von zwei Bädern im Verhältnis zur Referenzklasse .....	92
Karte 18: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse von mehr als zwei Bädern im Verhältnis zur Referenzklasse .....	93
Karte 19: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse mit keiner Baujahresangabe im Verhältnis zur Referenzklasse .....	94
Karte 20: Rückgang der Quadratmetermieten bei der Klasse der Baujahre von 1983 bis 2000 im Verhältnis zur Referenzklasse .....	95
Karte 21: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse der Baujahre von 2001 bis 2007 im Verhältnis zur Referenzklasse .....	96
Karte 22: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse der Baujahre von nach 2008 im Verhältnis zur Referenzklasse .....	97
Karte 23: Steigerung der Quadratmetermieten bei Vorhandensein einer Garage.....	98

## Abkürzungsverzeichnis

§ Paragraph

Abs. Absatz

GWR „Geographically Weighted Regression“ oder Geographisch gewichtete Regression

*AIC* „Akaike Information Criterion“

*AIC<sub>c</sub>* „Corrected Akaike Information Criterion“

*VIF* „Variance Inflation Factor“

*CN* „Condition Number“

$r^2$  Determinationskoeffizient oder Bestimmtheitsmaß

$m^2/p$  € Quadratmeterpreis in Euro

*OLS* „ordinary least squares“ Schätzung

*WLS* „weighted least squares“ Schätzung

*LWLS* „local weighted least squares“ Schätzung

NCG „National Center of Geocomputation“

DOM Digitales Oberflächenmodell

# EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis einer eingehenden Recherche und einer empirischen Analyse des Wiener Immobilienmarktes. Bedingt durch die Konzeption sowie die Methodenwahl beschränkt sich die Arbeit ausschließlich auf einen speziellen Teilmarkt am Wiener Immobilienmarkt. Bei diesem speziellen Teilmarkt handelt es sich um Dachgeschosswohnungen am Wiener Mietwohnungsmarkt, welcher in vielerlei Hinsicht interessante Besonderheiten aufweist. Im Rahmen der Einleitung werden diese Besonderheiten kurz aufgezeigt, der Focus der Arbeit liegt jedoch hauptsächlich auf einer eingehenden Darstellung der Methodenbeschreibung und der Konzeption der empirischen Analyse sowie der Erörterung der Resultate. Auf eine darüber hinaus gehende Darstellung wird weitgehend verzichtet, um den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen.

## 1. Ausgangslage und Aktualität der Arbeit

Die aktuelle Ausgangslage am Wiener Immobilienmarkt ist geprägt durch die demographische Entwicklung einer stetig steigenden Einwohnerzahl. Prognosen gehen davon aus, dass bis 2050 die Einwohnerzahl Wiens die 2-Millionen-Marke überschreiten wird. Dieser Entwicklung steht zwar eine kontinuierliche Wohnungsbautätigkeit gegenüber, die jedoch trotz Steigerung die hohe Nachfrage am Immobilienmarkt nicht abfedern wird können. Auf Basis dieser hohen Nachfrage und des gleichzeitig begrenzten Angebots kam es in den letzten Jahren am Wiener Immobilienmarkt schon zu Angebotslücken, die sich angesichts dieser Situation weiter vermehren werden. Diese Situation führte vor allem am Wiener Eigentumsmarkt zu einer beträchtlichen Steigerung des Preisniveaus und zu einer beachtlichen Preisdynamik.<sup>1</sup> Eine Besonderheit des Wiener Immobilienmarktes ist dabei die Verteilung zwischen Eigentum und Miete mit einem Eigentumsanteil von ca. 18% und einem Mietanteil von ca. 82%.<sup>2</sup> Durch den enorm hohen Mietanteil, ist für den Wiener Immobilienmarkt die Entwicklung der Preise bei den Mieten entscheidend. Es zeigt sich, dass die Entwicklung der Preise bei den Mieten weitgehend entkoppelt von der Preisdynamik am Eigentumsmarkt ist und nicht annähernd diese Dynamik aufzeigt. Dabei wird die Schere zwischen den Preisen für Eigentum und Miete immer größer. Innerhalb der letzten 12 Jahre stiegen die Eigentumspreise durchschnittlich um ca. 80%, während die Mieten im gleichen Zeitraum um ca. 25% stiegen. Dieses enorme Auseinanderschere ist vor allem auf eine weitere Besonderheit des Wiener Immobilienmarktes zurückzuführen, die in der starken Reglementierung des Wiener Mietwohnungsmarktes liegt.<sup>3</sup> Am Wiener Mietwohnungsmarkt unterliegen ca. 75% aller Wohnungen einer Reglementierung.<sup>4</sup> Die dennoch beachtliche Preissteigerung am Mietwohnungsmarkt,

---

<sup>1</sup> Vgl. Brey, Thomas (2013) S. 2 ff

<sup>2</sup> Vgl. WienWert (2011)

<sup>3</sup> Vgl. Holzapfel, Anton (2012) S. 4 ff

<sup>4</sup> Vgl. Brey, Thomas (2013) S. 2 ff

ist vor allem auf die sukzessive steigende Zahl der Mietwohnungen, am freien Markt im gehobenen Segment zurückzuführen, welche größtenteils im Dachgeschoss liegen. Gerade aus diesem Grund, ist es entscheidend die aktuelle Entwicklung am Teilmarkt der Wiener Dachgeschosswohnungen aufzuzeigen, da sich Wien als krisensicherer Immobilienstandort erwiesen hat. Diese Krisensicherheit ist vor allem auf den hohen Eigenmittelanteil bei der Finanzierung zurückzuführen, sowie auf die ungebrochen starke inländische Nachfrage. Trotz des hohen Preisniveaus schließt Wien erst langsam zum Preisniveau vergleichbarer Städte in Deutschland wie München und Hamburg auf. Aufgrund des hohen Eigenmittelanteils in der Finanzierung besteht in Wien jedoch keine Gefahr einer „Preisblasenbildung“.<sup>5</sup>

## 2. Problemstellung

Basierend auf der Ausgangslage am Wiener Immobilienmarkt, die in Punkt 1 kurz erörtert wurde, ergibt sich die Problemstellung, dass zwar die Entwicklung des Preisniveaus am Wiener Immobilienmarkt genau beobachtet wird, jedoch der Einfluss mancher Faktoren auf diese Entwicklung bis dato nur sehr vage geschätzt werden konnte. Speziell für den Teilmarkt der Dachgeschosswohnungen gibt es für Wien keine Arbeit oder Studie, die sich eingehend mit den speziellen Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren dieses Teilmarktes beschäftigt und die Einflüsse auf diesen auf breiter Ebene aufzeigt. Um jedoch die Einflüsse auf den für Wien so wichtigen Mietwohnungsmarkt und vor allem auf den so stark boomenden Teilmarkt der Dachgeschosswohnungen aufzuzeigen, werden im Rahmen der Arbeit folgende Fragestellungen in Punkt 2.1 behandelt, mit denen die in Punkt 2.2 gesetzten Ziele der Arbeit verfolgt werden.

### 2.1 Fragestellungen

Nachfolgend sind die zentralen Fragestellungen der Arbeit angeführt, die in Kapitel V und Kapitel VI sowie in der Zusammenfassung behandelt und beantwortet werden.

- Wie haben sich die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen entwickelt?
- Welche räumliche Variation weisen die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen auf?
- Welche räumliche Variation und welchen Einfluss weisen die Lagevariablen auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen auf?
- Welche räumliche Variation und welchen Einfluss weisen die Ausstattungsvariablen auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen auf?

---

<sup>5</sup> Vgl. Holzapfel, Anton (2012) S. 4 ff

## **2.2 Ziele**

Die zentralen Ziele der Arbeit beschränken sich in zusammengefasster Form auf die zwei nachfolgenden Zielsetzungen.

- Abbildung der Entwicklung der Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen.
- Darstellung der Einflüsse der Lagevariablen und Ausstattungsvariablen auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen.

## **3. Konzeption und Methodik**

Die Arbeit ist als eine rein empirische Arbeit mit einem analytischen Teil konzipiert, wobei sie sich im engeren Sinne in zwei Teile gliedert. Zu diesen zwei Teilen gehört zum einen der Teil der Methodik der Arbeit von Kapitel I bis Kapitel III, sowie der Teil der empirischen Analyse von Kapitel IV bis Kapitel VII. Im Teil der empirischen Analyse wurden die grundlegenden statistischen Voranalysen und die Datenaufbereitung mit der Statistiksoftware „SPSS 20“ von „IBM“ durchgeführt. Die GWR Analyse wurde mittels der in Kapitel II Punkt 2 vorgestellten „NCG Softwarelösung“ durchgeführt. Als „GIS Softwarelösung“ kam „ArcGIS 10.0“ von „ESRI“ zur Anwendung. Die Visualisierungen der Grafiken beruhen auf „Microsoft Excel 2010“ Darstellungen.

## **4. Grundlagendefinitionen und Rahmenbedingungen**

Als Grundlage für die Arbeit werden im Punkt 4.1 die wichtigsten Definitionen, auf welchen die Arbeit basiert, kurz erörtert. Diese Definitionen bilden den Rahmen für die wichtigsten themenrelevanten Grundlagen. Neben dieser Erörterung der Grundlagendefinitionen erfolgt im Punkt 4.2 auch noch ein Überblick über die wichtigsten grundlegenden Eigenschaften von Immobilien.

### **4.1 Allgemeine Grundlagendefinitionen**

In den folgenden Punkten erfolgt eine grundlegende Arbeitsdefinition der wichtigsten allgemeinen themenrelevanten Sachverhalte und Begriffe. Die Definitionen stellen ausschließlich Arbeitsdefinitionen von grundlegenden Begrifflichkeiten dar, auf denen die Arbeit basiert.

### 4.1.1 Dachgeschosswohnungen

In der geltenden Fassung definiert die Wiener Bauordnung eine Wohnung als einen oder mehrere Aufenthaltsräume gemäß § 87 Abs. 3, welche zu Wohnzwecken dienen und nach § 199 Abs. 1 mindestens eine Nutzfläche von 30m<sup>2</sup> aufweisen. Ebenfalls muss jede Wohnung über eine Toilette und ein Bad, sowie eine Kochnische verfügen.<sup>6</sup> Eine Wohnung kann somit als eine in sich geschlossene Einheit von einem oder mehreren Räumen gesehen werden, welche über Sanitäreinrichtungen und eine Kochnische verfügen. Parallel dazu kann auch aus der Wiener Bauordnung ein Hauptgeschoss und weiter daraus ein Dachgeschoss abgeleitet werden. Ein Hauptgeschoss ist gemäß § 87 Abs. 8 ein Geschoss:

*„deren Fußbodenfläche mindestens zur Hälfte ihres Umfanges über dem anschließenden Gelände liegt und die mit keinem Raumteil innerhalb des zulässigen Dachumrisses liegt.“<sup>7</sup>*

Basierend auf dieser Definition, wird in § 87 Abs. 9 ein Dachgeschoss als ein Geschoss, welches über dem letzten Hauptgeschoss liegt, definiert und welches vollständig oder zum Teil innerhalb des zulässigen Dachumrisses gemäß § 81 Abs. 4 liegt.<sup>8</sup>

Basierend auf diesen Definitionen kann die Arbeitsdefinition einer Dachgeschosswohnung abgeleitet werden: Laut Arbeitsdefinition ist eine Dachgeschosswohnung eine in sich geschlossene Einheit von einem oder mehreren Räumen, welche über Sanitäreinrichtungen und eine Kochnische verfügt und oberhalb des letzten Hauptgeschosses liegt.

### 4.1.2 Mietwohnung

Im Sinne des Mietrechtsgesetzes - kurz MRG - in der geltenden Fassung definiert sich Miete als das Überlassen einer Sache zum Gebrauch gegen Entgelt. Diese simple Definition impliziert jedoch eine bestimmungsgemäße Verwendung des Mieters sowie die Bezahlung des Mietzinses. Die Grundlage dafür bildet in der Regel ein schriftlicher Mietvertrag.<sup>9</sup>

Basierend auf dieser Definition sowie der zuvor in Punkt 4.1.1 erfolgten Definition einer Wohnung, kann für eine Mietwohnung folgende Arbeitsdefinition abgeleitet werden: Eine Mietwohnung ist eine gegen Entgelt zum Gebrauch überlassene in sich geschlossene Einheit von einem oder mehreren Räumen, welche über Sanitäreinrichtungen und eine Kochnische verfügt.

---

<sup>6</sup> Vgl. Kirchmayer, Wolfgang (2009) S. 324 u. 352

<sup>7</sup> Kirchmayer, Wolfgang (2009) S. 325

<sup>8</sup> Vgl. Kirchmayer, Wolfgang; Popp, Roland; Kolbitsch, Andreas (2011) S. 27

<sup>9</sup> Vgl. Arbeiterkammer Wien (2008) S. 11

### 4.1.3 Sichtbarkeit

Sichtbarkeit definiert sich aufgrund der visuellen Wahrnehmung, wobei die visuelle Wahrnehmung in der Physiologie

*„die Aufnahme und Verarbeitung von visuellen Reizen, bei der über Auge und Gehirn eine Extraktion relevanter Informationen, Erkennung von Elementen und deren Interpretation durch Abgleich mit Erinnerungen“<sup>10</sup>*

ist. Die visuelle Wahrnehmung geht in der Physiologie somit weit über das reine Aufnehmen von Informationen hinaus. Im Rahmen der Arbeit beschränkt sich die visuelle Wahrnehmung, aber rein auf eine theoretische visuelle Wahrnehmung, reduziert auf die Erkennung von bestimmten definierten Elementgruppen auf Basis eines Sichtfeldes. Als Sichtfeld sind die Positionen auf einer Rasteroberfläche zu sehen, die von einem bestimmten Punkt aus theoretisch visuell wahrgenommen werden können. Dabei beruht die theoretische visuelle Wahrnehmung im Rahmen der Arbeit auf der Annahme eines Sichtfeldes von 360°, bei dem die tatsächliche Ausrichtung der Sichtbeziehungen außer Acht gelassen wird. Die Sichtbarkeit im Rahmen der Arbeit definiert sich somit auf einer theoretischen visuellen Wahrnehmung eines Sichtfeldes, reduziert auf die Erkennung von bestimmten definierten Elementgruppen.

## 4.2 Allgemeine Rahmenbedingungen

Im folgenden Punkt erfolgt ein kurzer Überblick über die wichtigsten grundlegenden Eigenschaften von Immobilien. Um jedoch den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen, werden bewusst die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen ausgeklammert.

### 4.2.1 Immobilie und Immobilienmarkt

Die Begriffsdefinition von Immobilien basiert in den Wirtschaftswissenschaften auf zwei unterschiedlichen Konzepten des Immobilienbegriffes. Zu diesen Konzepten gehören der investitionstheoretische Ansatz der Begriffsdefinition und der produktionswirtschaftliche Ansatz. In der Arbeit wird die immobilienökonomische Definition des Begriffes Immobilie verwendet, welcher auf dem produktionswirtschaftlichen Ansatz basiert, aber jedoch von diesem zum Teil abweicht und auch Einflüsse vom investitionstheoretischen Ansatz beinhaltet. Demzufolge, sind Immobilien nach immobilienökonomischer Definition:

---

<sup>10</sup> Wikipedia (2013)

*„Wirtschaftsgüter, die aus unbebauten Grundstücken oder bebauten Grundstücken mit dazugehörigen Außenanlagen bestehen. Sie werden von Menschen im Rahmen physisch-technischer, rechtlicher, wirtschaftlicher und zeitlicher Grenzen für Produktions-, Handels-, Dienstleistungs- und Konsumzwecke genutzt.“<sup>11</sup>*

Im Rahmen der immobilienökonomischen Definition wird das Gut Immobilie als ein spezielles Gut in den Wirtschaftswissenschaften gesehen, bei dem der aus ihm gezogene Nutzen im Vordergrund steht. Immobilien unterscheiden sich durch eine Vielzahl von besonderen Eigenschaften von anderen Gütern, aus denen auch die Abweichung von der neoklassischen Theorie eines vollkommenen Marktes resultiert. Diese besonderen Eigenschaften, welche sich direkt auf die Funktionsweise des Immobilienmarktes auswirken, werden in Tabelle 1 den Besonderheiten des Immobilienmarktes gegenübergestellt, wobei auch der Immobilienmarkt als ein Spezialmarkt zu sehen ist.<sup>12</sup>

**Tabelle 1: Gegenüberstellung besondere Eigenschaften der Immobilie und des Immobilienmarktes**

<b>Besondere Eigenschaften der Immobilie</b>	<b>Besonderheiten des Immobilienmarktes</b>
Standortgebundenheit (Heterogenität)	Räumliche Teilmärkte
Komplexität (Heterogenität)	Sachliche Teilmärkte
Lange Entwicklungsprozesse und Lebenszyklen	Unzureichende Markttransparenz
Hohe Investitionsvolumen und eingeschränkte Liquidität	Abhängigkeit von anderen Märkten
Hohe Transaktionskosten und Managementkosten	Geringe Anpassungselastizitäten an Marktveränderungen
Beschränkte Teilbarkeit	Zyklizität
Beschränkte Substituierbarkeit	

Quelle: Schulte, Karl Werner (2008) S. 14

Immobilien sind - wie im Namen bereits enthalten - immobil und somit an einen Standort gebunden, von dem sie geprägt werden. Aufgrund der Standortgebundenheit resultiert, dass Immobilien Unikate auf fragmentierten lokalen Märkten sind. Grundsätzlich sind diese Märkte relativ intransparent, da die Eigenschaften von Immobilien aufgrund der Standortgebundenheit sowie anderen Faktoren extrem heterogen sind. Immobilien sind komplexe und äußerst langlebige Güter, welche eines langen Entwicklungsprozesses bis zur Nutzung bedürfen. Die Nutzung basiert jedoch dann in der Regel auf langen Lebenszyklen. Kehrseite dieser langen Prozesse und Zyklen ist die lange Bindung der hohen Investitionsvolumina für den Erwerb und die Errichtung von Immobilien. Der Markt ist jedoch nur eingeschränkt liquide und somit von der Kreditvergabe von Banken und Investoren abhängig. Neben den

<sup>11</sup> Schulte, Karl Werner (2008) S. 13

<sup>12</sup> Vgl. Schulte, Karl Werner (2008) S. 13

hohen Investitionsvolumina sind auch hohe Transaktionskosten und Managementkosten für den Eigentumsübertrag vonnöten, welche sich nicht nur aus Steuern und Eintragungsgebühren zusammensetzen. Zwei weitere besondere Eigenschaften von Immobilien sind die begrenzte Substituierbarkeit sowie die beschränkte Teilbarkeit. Daraus resultiert, dass Immobilien nicht austauschbar und nur beschränkt teilbar sind. In der Theorie und in der Praxis bedingt die Heterogenität der Immobilie eine der Besonderheiten des Immobilienmarktes, nämlich dass sich dieser im Grunde aus stark fragmentierten Teilmärkten zusammensetzt. Diese Segmentierung erfolgt in der Regel in sachliche und räumliche sowie zum Teil auch in rechtliche Teilmärkte.<sup>13</sup> Im Rahmen der Arbeit wird ausschließlich der räumliche Teilmarkt des Wiener Mietwohnungsmarktes in seinem sachlichen Teilmarkt der Dachgeschosswohnungen behandelt.

### **4.3 Statistische Grundlagendefinitionen**

In den folgenden Punkten wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten in der Arbeit verwendeten themenrelevanten statistischen Kennwerte und Messzahlen gegeben. Die Erklärungen beziehen sich nur auf die wesentlichen Eigenschaften sowie auf die grundlegende formale Darstellung in mathematischer Notationsform. Für eine tiefer gehende Darstellung wird auf weiterführende Literatur sowie die Quellenangabe verwiesen.

#### **4.3.1 Global versus lokal**

In der Statistik muss man heute zwischen zwei großen methodischen Richtungen unterscheiden, welche sich auf Grundlage der Datenqualität ergeben. Zum einen hat eine Unterscheidung zwischen den globalen Methoden zu erfolgen und zum anderen hat eine Unterscheidung zwischen den lokalen Methoden zu erfolgen, welche in den letzten Jahren durch die rasante Verbreitung von Geoinformationssystemen einen enormen Aufschwung erlebt haben. Typisch für den methodischen Ansatz der globalen Statistik sind Einzelwerte, wie zum Beispiel ein Mittelwert oder eine Standardabweichung für ein Rechenmodell. Im Unterschied dazu ist beim methodischen Ansatz der lokalen Statistik jeweils ein Einzelwert für jede Beobachtung typisch. Zur genaueren Veranschaulichung und Differenzierung siehe Tabelle 2.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Vgl. Schulte, Karl Werner (2008) S. 13 ff

<sup>14</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 6

**Tabelle 2: Gegenüberstellung der Eigenschaften von globalen und lokalen Statistiken**

Global	Local
Summarise data for whole region	Local disaggregations of global statistics
Single-value statistic	Multi-valued statistic
Non-mappable	Mappable
GIS-unfriendly	GIS-friendly
Aspatial or spatially limited	Spatial
Emphasise similarities across space	Emphasise differences across space
Search for regularities or 'lwas'	Search for exceptions or local 'hot-spots'
<i>Example:</i>	<i>Example:</i>
Classic Regression	Geographically Weighted Regression (GWR)

Quelle: Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 6

### 4.3.2 „Räumliche Nicht-Stationarität“

Der Begriff leitet sich aus dem englischen „spatial non stationarity“ ab und wird im deutschen als „Räumliche Nicht-Stationarität“ oder „geographische Nicht-Stationarität“ bezeichnet. Mit diesem Begriff wird neben der ungleichen Ausprägungsverteilung über den Beobachtungsraum ein Dilemma der empirischen Sozialforschung in der Statistik bezeichnet, nämlich, dass die Einflüsse von Ausprägungen meist nicht ohne Informationsverlust klar abgrenzbar sind, sondern dass diese innerhalb des Beobachtungsraumes fließend variieren. Die Tatsache, dass die Einflüsse von Variablenausprägungen, wie zum Beispiel die Anzahl der WC´s räumlich variieren und somit unterschiedlichen Einfluss auf die abhängige Variable ausüben, wird als „Räumliche Nicht-Stationarität“ bezeichnet. „Stationarität“ würde einer gleichbleibenden konstanten Verteilung der Einflussnahme entsprechen, wie sie normal in physikalischen Prozessen vorherrscht.<sup>15</sup>

#### 4.3.2.1 Lokaler geographischer Variabilitätstest

Die Prüfung, ob statistisch gesehen „Räumliche Nicht-Stationarität“ – also eine Variation der Einflussnahmen über den Beobachtungsraum – vorliegt oder ob diese nur äußerst gering ist, ist sehr komplex und es gibt dazu verschiedenste Herangehensweisen. Im Zusammenhang mit der GWR wird in der Literatur vor allem der „Monte Carlo“ Signifikanztest sowie vereinzelt auch der „Leung´s“ Signifikanztest zur Findung signifikanter variierender Parameter genannt. In der jüngsten Literatur wird jedoch davon abgeraten und stattdessen der geographische Variabilitätstest empfohlen, welcher auch in

<sup>15</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 9 f

dieser Arbeit verwendet wird. Einer der Gründe dafür ist, dass bei diesem die Gesamtmodellspezifikation sowie die Beobachtungsbandbreite, welche auch hier eine entscheidende Rolle spielt, besser in die Variabilitätstestung miteinbezogen wird.<sup>16</sup> Als Beobachtungsbandbreite wird eine lokal begrenzte Teilmenge der Beobachtungspunkte der Stichprobe  $n$  bezeichnet, welcher für die Schätzung der einzelnen Regressionskoeffizienten  $\beta_k$  für den Punkt  $i$  herangezogen wird. In Kapitel II Punkt 1.2 wird die Beobachtungsbandbreite detailliert und ausführlich definiert. Der Test basiert auf dem Schema, dass die räumliche Variation für jeden Koeffizienten – also für jeden Parameter – mittels GWR Modellvergleich geprüft wird. Für diese Prüfung der Variation der  $k$ -ten Regressionskoeffizienten wird ein Modellvergleich zwischen dem „vollständigen GWR Modell“ und dem jeweiligen „Mixed GWR Modell“, bei dem der  $k$ -te Regressionskoeffizient konstant gehalten wird, durchgeführt. Diese Prüfungsroutine wird für jede Variation sowie für jeden Regressionskoeffizienten wiederholt, bis das bestmögliche Modell, basierend auf einem Modellgüteindikator, gefunden ist. Aufgrund der zahlreichen Variationsmöglichkeiten der Regressionskoeffizienten ist diese Prüfungsroutine dementsprechend rechenintensiv. Als Modellgüteindikator wird auch hier so wie bei der Beobachtungsbandbreitenfindung das „Corrected Akaike Information Criterion“  $AIC_c$  verwendet, siehe Punkt 4.3.4. In mathematischer Notationsform kann diese Prüfungsroutine folgendermaßen dargestellt werden: Zur räumlichen Variationsprüfung von  $\beta_0(u_i, v_i)$  und  $\beta_1(u_i, v_i)$  wird das „vollständige GWR Modell“ der Formel 0.01 mit dem jeweiligen „Mixed GWR Modell“ des  $k$ -ten Regressionskoeffizienten verglichen, wobei auch ein Vergleich mit dem Modelldurchschnitt erfolgt.<sup>17</sup>

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i)x_{1,i} + \varepsilon_i \quad (0.01)$$

Formel 0.02 ist eine „Mixed GWR“, bei der der Regressionskoeffizient konstant gehalten wurde zur Testung des lokalen Regressionskoeffizienten.<sup>18</sup>

$$y_i = \beta_0 + \beta_1(u_i, v_i)x_{1,i} + \varepsilon_i \quad (0.02)$$

Formel 0.03 ist ein „Mixed GWR Modell“, bei dem der Modelldurchschnitt konstant gehalten wurde zur Testung des lokalen Modelldurchschnittes.<sup>19</sup>

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1 x_{1,i} + \varepsilon_i \quad (0.03)$$

<sup>16</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki, A Stewart Fotheringham, C Brunson, and Martin E Charlton. (2005) S. 2696 f

<sup>17</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki. 2012. (June 2009). S. 18 ff

<sup>18</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki. 2012. (June 2009). S. 18 ff

<sup>19</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki. 2012. (June 2009). S. 18 ff

Wenn das „Mixed GWR Modell“ mit dem konstant gehaltenen Modelldurchschnitt eine bessere Performance zeigt als das „vollständige GWR Modell“, ist dies ein Indikator dafür, dass der Einfluss von  $\beta_1(u_1, v_1)$  signifikant über den Beobachtungsraum variiert, also dass „Räumliche Nicht-Stationarität“ vorliegt. Eine signifikante räumliche Variation des Einflusses eines Parameters ist somit gegeben, wenn der lokale geographische Variabilitätstest einen Wert mit negativem Vorzeichen für eine Variable wiedergibt. Grundlegend ist bei dieser statistischen Methode, dass immer die konstante Beobachtungsbandbreite des „vollständigen GWR Modells“ verwendet wird; dadurch wird der Einfluss etwaiger Unterschiede in der Beobachtungsbandbreite ausgeklammert.<sup>20</sup> Aufgrund dieser Gegebenheit ist jedoch die räumliche Variation immer in engem Zusammenhang mit dem Umfang der Beobachtungsbandbreite zu sehen. Daraus resultiert: Je höher die Beobachtungsbandbreite, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit dass „räumliche Stationarität“ vorliegt. Im umgekehrten Fall, je kleiner die Beobachtungsbandbreite, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass „Räumliche Nicht-Stationarität“ vorliegt.

### 4.3.3 Determinationskoeffizient

Der Determinationskoeffizient  $r^2$ , welcher auch als Bestimmtheitskoeffizient  $R^2$  bezeichnet wird, findet in der Statistik als Relativmaßzahl synonyme Verwendung in der Regressionsanalyse. Im vorliegenden Fall wird der Determinationskoeffizient anhand einer multiplen linearen Regression veranschaulicht, da das Prinzip der multiplen linearen Regression im weiteren Verlauf der Arbeit zum Einsatz kommt. Ganz allgemein drückt  $r^2$  das Verhältnis zwischen erklärtem und unerklärtem Teil der Variation der Regressionsgleichung aus. Demnach ist der Determinationskoeffizient  $r^2$  definiert als der<sup>21</sup>

*„Anteil der Variation der abhängigen Variablen  $y$ , der durch die unabhängigen Variablen  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$  „erklärt“ werden kann“<sup>22</sup>*

Bezogen auf die vorliegende Arbeit stellt der Determinationskoeffizient  $r^2$  in diesem Fall den Anteil der Streuung der Quadratmetermieten in Euro dar, welche durch die unabhängigen Variablen erklärt werden kann.<sup>23</sup> Legt man dies auf den Fall eines lokalen Determinationskoeffizient  $r_i^2$  um, resultiert daraus in Formel 0.04 der Anteil der Streuung der abhängigen Variable am Punkt  $i$  welcher durch die unabhängigen Variablen erklärt werden kann.

$$r_i^2 = (TSS^w - RSS^w) / TSS^w \quad (0.04)$$

<sup>20</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki. 2012. (June 2009). S. 18 ff

<sup>21</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 73 f

<sup>22</sup> Ernste, Huib (2011) S. 73

<sup>23</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 71 ff

Wobei  $TSS^w$  der Formel 0.04 die geographisch gewichtete Summe der Variation wie in Formel 0.05 definiert und  $RSS^w$  der Formel 0.04 die geographisch gewichtete Summe der Residuen, welche wie in Formel 0.06 definiert wird.

$$TSS^w = \sum_j w_{ij} (y_j - \bar{y})^2 \quad (0.05)$$

$$RSS^w = \sum_j w_{ij} (y_j - \hat{y}_j)^2 \quad (0.06)$$

Dabei beschreibt  $w_{ij}$  die Gewichtung des Beobachtungspunktes  $j$  am Regressionspunkt  $i$ .<sup>24</sup>

Die Skala des Wertebereichs von  $r^2$  liegt allgemein zwischen null und eins, durch Multiplikation der Skala mit 100 erhält man den erklärten Anteil der Variation der abhängigen Variablen in Prozent. Je näher die Werte von  $r^2$  bei eins liegen, desto mehr wird die abhängige Variable durch die unabhängigen Variablen beeinflusst.<sup>25</sup> Werte nahe eins oder gleich eins stellen einen Indikator dafür dar, dass alle Punkte exakt auf der Regressions-Hyperben liegen. Ein nicht zu vernachlässigender Faktor bei der multiplen Regression ist, dass jede weitere unabhängige Variable, welche dem Regressionsmodell hinzugefügt wird, im Allgemeinen zu einer Steigerung des  $r^2$  führt. Diese Steigerung ist jedoch nicht automatisch mit einer Verbesserung der Güte des  $r^2$  gleichzusetzen, da deren wahrer Gehalt zur Erklärung der abhängigen Variable  $y$  unsicher ist. Die Unsicherheit resultiert daraus, dass das  $r^2$  unabhängig vom Erklärungsgrad auf die abhängige Variable steigt, wenn die Anzahl der unabhängigen Variablen  $m$  näher an die Anzahl der Stichprobe  $n$  geht.<sup>26</sup>

Um diese Unsicherheit weitest gehend auszuschalten, wird das angepasste  $r^2$  welches auch als „adjusted  $r^2$ “ ( $r^2adj.$ ) bezeichnet wird angewandt. Das angepasste  $r^2$  definiert sich wie in Formel 0.07 und setzt sich aus dem Determinationskoeffizienten  $r^2$ , der Anzahl der unabhängigen Variablen  $m$  und dem Stichprobenumfang  $n$  zusammen.<sup>27</sup>

$$r^2adj. = 1 - (1 - r^2) \frac{n - 1}{n - m - 1} \quad (0.07)$$

Im Fall der lokalen Regression muss jedoch bei der Interpretation des  $r_i^2$  im Weiteren besonders Rücksicht auf folgende zwei Fragen genommen werden:

<sup>24</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 215 f

<sup>25</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 73 f

<sup>26</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 92 f

<sup>27</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 93 f

„how well the model replicates the data and how stationary are the processes being modelled.“<sup>28</sup>

Vor allem aufgrund der Ungewissheit, wie stationär die lokalen Prozesse sind, kann das lokale  $r_i^2$  nicht mit dem gleichen Ausmaß an Vertrauen interpretiert werden wie das  $r^2$  eines globalen Modells.<sup>29</sup>

#### 4.3.4 „Akaike Information Criterion“ und „Corrected Akaike Information Criterion“

Es gibt die unterschiedlichsten Philosophien zum Thema, ob ein wahres also ein realitätsgetreues Modell überhaupt existieren kann oder nicht. Das „Akaike Information Criterion“ ( $AIC$ ) sowie das „Corrected Akaike Information Criterion“ ( $AIC_c$ ) bauen auf der grundlegenden Philosophie auf:

„All models are wrong but some are useful“<sup>30</sup>

Ausgehend von dieser grundlegenden Philosophie wird beim  $AIC$  jedoch angenommen, das ein wahres Modell vielleicht doch existieren könnte, aber dass dieses nicht direkt verifizierbar ist.<sup>31</sup> Aufbauend auf dieser grundlegenden Theorie geht man davon aus abschätzen zu können, wie weit das angenommene Modell vom wahren Modell entfernt liegt. Diese geschätzte Distanz ist eine Relativzahl, welche als „Kullback-Leibler Informationsdistanz“ bekannt ist und aus der sich die Relativmaßzahl des  $AIC$  zusammensetzt.<sup>32</sup> Das  $AIC$  ist eine globale Maßzahl für die Güte der Modellanpassung, immer unter Betrachtung eines oder mehrerer Vergleichsmodelle, dabei ist jenes Modell, welches den niedrigeren  $AIC$  aufweist als das Modell anzusehen, welches dem wahren Modell am nächsten kommt. Die Differenz der Modellgüte zwischen dem niedrigsten  $AIC$  Wert und dem darauffolgenden  $AIC$  Wert sollte immer größer als drei sein, da sonst keine signifikante Verbesserung der Modellgüte mehr vorliegt. Die zwei Formen des  $AIC$  sind strikt zu trennen, da die abgeleiteten  $AIC$ 's eine deutlich unterschiedliche mathematische Notation aufweisen und die Resultate nicht eins zu eins vergleichbar sind. Auch wird der Vergleich unterschiedlicher Modelle mittels  $AIC$  in der Literatur als sehr kritisch gesehen, da der  $AIC$  nicht den Erweiterungsterm des  $AIC_c$  aufweist.

$$AIC = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n + tr(S) \quad (0.08)$$

In der Formel 0.08 des  $AIC$  ist  $n$  als der Stichprobenumfang definiert und  $\hat{\sigma}$  als der Schätzer der Standardabweichung, wobei  $\sigma$  die Standardabweichung darstellt.<sup>33</sup> Die Standardabweichung leitet sich aus der in Formel 0.09 definierten Varianz  $\sigma^2$  des lokalen Regressionsmodells ab.

<sup>28</sup> Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 215

<sup>29</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 215

<sup>30</sup> Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 87

<sup>31</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 87

<sup>32</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E (2009) S. 8

<sup>33</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 96

$$\sigma^2 = \sum_i (y_i - \hat{y}_i) / (n - 2v_1 + v_2) \quad (0.09)$$

Die Varianz  $\sigma^2$  am Regressionspunkt  $y_i$  setzt sich aus der abhängigen Variable  $y$  sowie deren Schätzung zusammen, wobei Formel 0.10 und Formel 0.11 mit einem Teil von Formel 0.09 gleichzusetzen ist.<sup>34</sup>

$$v_1 = \text{tr}(S) \quad (0.10)$$

$$v_2 = \text{tr}(S^T S) \quad (0.11)$$

Dabei stellt  $S$  in Formel 0.10 und 0.11 die sogenannte „*hat matrix*“ oder „*Hütchen Matrix*“ dar und  $\text{tr}(S)$  die Summe der Elemente auf der Hauptdiagonale. Die abhängige Variable  $y$  sowie ihr Koeffizient  $\hat{y}$  können wie in Formel 0.12 durch Einsetzen in die Regressionsgleichung in die  $S$  Matrix übergeführt werden.<sup>35</sup>

$$\hat{y} = Sy \quad (0.12)$$

Die Elemente auf der Hauptdiagonale der „*Hütchen Matrix*“ können auch als die Hebelwirkungen der entsprechenden Beobachtung  $i$  bezeichnet werden, wobei sich jede Reihe der Matrix  $S$  wie in Formel 0.13 durch  $s_i$  definiert.<sup>36</sup>

$$s_i = X_i(X^T W(u_i, v_i)X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) \quad (0.13)$$

Das  $AIC_c$  in Formel 0.14 weist anfangs die gleiche Ableitung wie das  $AIC$  auf, jedoch erfolgt abschließend eine Erweiterung mit einem entscheidenden Term für das  $AIC_c$ , sodass kein direkter Vergleich zwischen  $AIC$  und  $AIC_c$  erfolgen kann.<sup>37</sup>

$$AIC_c = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n \left\{ \frac{n + \text{tr}(S)}{n - 2 - \text{tr}(S)} \right\} \quad (0.14)$$

Jedoch ist ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Modellen mittels  $AIC_c$  möglich.

<sup>34</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 55

<sup>35</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002): S. 55

<sup>36</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002): S. 55

<sup>37</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002): S. 96

### 4.3.5 Kollinearität

Im Zuge der Regressionsanalyse ist es entscheidend, sich der vorhandenen Zusammenhänge der Variablen bewusst zu sein und diese bestmöglich zu kennen. Dabei handelt es sich nicht nur um den Zusammenhang der unabhängigen Variablen  $x$  auf die abhängige Variable  $y$ , sondern vor allem auch um die Zusammenhänge der unabhängigen Variablen  $x_j$  untereinander, wobei  $j = (1, 2, \dots, p)$  ist. Ein Zusammenhang einer unabhängigen Variable  $x_1$  mit weiteren unabhängigen Variablen  $x_p$  bedeutet, dass eine systemische Verbindung zwischen den Variablen besteht, welche eine Veränderung bei einer oder mehreren der weiteren unabhängigen Variablen  $x_p$  verursacht, wenn die unabhängige Variable  $x_1$  verändert wird. Es besteht also eine Relation zwischen der einen unabhängigen Variablen  $x_1$  mit einer oder mehreren der weiteren unabhängigen Variablen  $x_p$ . Eine Relation bedeutet nichts anderes, als dass die Variablen etwas miteinander zu tun haben, d. h. sie hängen in irgendeiner Weise voneinander ab. Der Zusammenhang zwischen den unabhängigen Variablen wird im Allgemeinen als durchschnittlicher Zusammenhang in einem Datensatz gemessen. Dabei ist das Skalenniveau der Variablen egal, es können Zusammenhänge zwischen Variablen mit den unterschiedlichen Skalenniveaus bestehen. Diese Zusammenhänge können einen positiven oder negativen Einfluss auf die weiteren unabhängigen Variablen ausüben. Aufbauend auf diesen Ausführungen kann der Zusammenhang kurz und prägnant definiert werden als die:<sup>38</sup>

*„Existenz eines Zusammenhangs zwischen zwei Variablen, wenn die beiden Variablen kovariieren, das heißt, eine Veränderung einer dieser Variablen geht in der Regel mit einer Veränderung der anderen Variablen einher.“<sup>39</sup>*

Dieses kovariieren wird auch als die Kovariation der Variablen bezeichnet. Die Kovarianz ist ein unstandardisiertes Maß für den Zusammenhang zweier Variablen und stellt das durchschnittliche Abweichungsprodukt aller Messwerte von ihrem jeweiligen Mittelwert dar. Durch eine Standardisierung kann die Kovarianz in den Korrelationskoeffizienten  $r$  übergeführt werden.<sup>40</sup> Das am weitesten verbreitete Maß für einen Zusammenhang zweier metrisch skalierten Variablen (z.B.  $x$  und  $y$ ) ist die Korrelation. Die Korrelation entspricht der Kovarianz zweier  $Z$ -standardisierter Variablen. Die Korrelation misst nicht den generellen Zusammenhang zwischen zwei Variablen, sondern nur einen linearen Zusammenhang. Dadurch lässt sich der durchschnittliche Zusammenhang mathematisch in Formel 0.15 in einer linearen Gleichung darstellen.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 \tag{0.15}$$

---

<sup>38</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011): S. 28 ff

<sup>39</sup> Ernste, Huib (2011) S. 29

<sup>40</sup> Vgl. Rasch, Björn; Friese, Malte; Hofmann, Wilhelm; et al. (2010) S. 134 ff

Die Korrelation bringt somit die Stärke des linearen Zusammenhanges zwischen zwei metrisch skalierten Variablen zum Ausdruck.<sup>41</sup> Bei einer perfekten linearen Abhängigkeit zwischen einer bestimmten unabhängigen Variable und einer oder mehreren anderen unabhängigen Variablen ist die betroffene Variable redundant. Alle Informationen, die diese bestimmte Variable beinhaltet, sind bereits in den übrigen Variablen enthalten. Eine Aufnahme dieser Variable würde einen verfälschenden Einfluss auf die anderen Variablen ausüben.<sup>42</sup> Eine Korrelation von unabhängigen Variablen liegt somit vor,

*„wenn mindestens zwei oder mehrere unabhängige Variablen hoch miteinander korreliert sind.“<sup>43</sup>*

Wenn eine unabhängige Variable mit mehreren anderen unabhängigen Variablen korreliert, bezeichnet man dies als Multikorrelation.<sup>44</sup> Im Laufe der Zeit wurden unzählige Indikatoren und Methoden zur Ermittlung von Kollinearität entwickelt, im Anschluss werden zwei in der Arbeit verwendete Indikatoren kurz erörtert.

#### 4.3.5.1 “Variance Inflation Factor”

Der „Variance Inflation Factor“ kurz *VIF* ist als eines der Standardmaße zu sehen, welches als Indikator für Multikollinearität verwendet wird. Im Rahmen der Arbeit wird die globale Multikollinearität mittels *VIF* Indikator ermittelt. Der *VIF* in Formel 0.16 spiegelt in Form eines Indexes die Stärke des linearen Zusammenhanges zwischen der betreffenden unabhängigen Variable und allen übrigen unabhängigen Variablen wieder. Der Namen des „Variance Inflation Factor“ basiert auf der Varianz  $\hat{\beta}_j$  des Bestimmtheitsmaßes  $R_j^2$ , welches mittels sogenannter Hilfsregression ermittelt wird.<sup>45</sup>

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (0.16)$$

Bei der Hilfsregression wird der multiple Bestimmtheitskoeffizient  $R_j^2$  mittels Regression der betreffenden unabhängigen Variable  $x_j$  auf alle anderen unabhängigen Variablen ermittelt. Ein  $R_j^2$  einer Hilfsregression nahe eins ist ein Indikator für starke Multikollinearität der betreffenden unabhängigen Variable  $x_j$ . Grundsätzlich gilt für  $R_j^2$  „Klein´s“ Faustregel der Multikollinearität, welche besagt, dass ernste Kollinearitätsprobleme bestehen, wenn  $R_j^2$  größer ist als das  $r^2$  der ursprünglichen Regression. Dieser Grundsatz ist jedoch bei hohen Werten des ursprünglichen  $r^2$  zu relativieren, da in diesem Fall  $R_j^2$  Werte

<sup>41</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 30 ff

<sup>42</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 140 f

<sup>43</sup> Rasch, Björn; Friese, Malte; Hofmann, Wilhelm; et al. (2010) S. 123

<sup>44</sup> Vgl. Rasch, Björn; Friese, Malte; Hofmann, Wilhelm; et al. (2010): S. 123 f

<sup>45</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 153 f

nahe eins in Ausnahmefällen auch noch akzeptabel sein könnten.<sup>46</sup> Die  $VIF_j$  Resultate der betreffenden unabhängigen Variablen  $x_j$  spiegeln nur die Multikollinearität dieser mit den restlichen unabhängigen Variablen  $x$  wieder, die problematischen  $x$  Variablen werden nur angedeutet. Trotz dieser Schwächen, ist der  $VIF$  jedoch ein geeigneter Indikator zur Identifikation von generellen globalen Multikollinearitätsproblemen. In der Literatur findet man unterschiedliche Grenzwerte für den  $VIF$ , welche von 10 bis 2 reichen.<sup>47</sup>

#### 4.3.5.2 „Condition Number“

Neben dem in Punkt 4.3.5.1 genannten Indikator kommt in der Arbeit der „Condition Index“ kurz  $CI$  mit der „Condition Number“ welche mittels  $CN$  abgekürzt wird, als Indikator für das Vorhandensein von lokaler Multikollinearität zum Einsatz. Der  $CI$  ist ein etwas anspruchsvollerer Indikator, welcher sich im Falle der Arbeit aus der lokalen Designmatrix  $X'WX$  definiert. Bezüglich der genauen Definition der lokalen  $X'WX$  wird auf die weiterführende Literatur in Belsley DA, Kuh E and Welsch RE (1980, 2004) Regression Diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity, Wiley, verwiesen.

$$CI = \sqrt{\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}} \quad (0.17)$$

Im Kern stellt der  $CI$  wie in Formel 0.17 mittels  $CN$  das Verhältnis der höchsten zu den niedrigsten normalisierten Eigenwerten der lokalen  $X'WX$  Matrix dar, wobei  $\lambda_{max}$  die maximalen und  $\lambda_{min}$  die minimalen normalisierten Eigenwerte darstellen.<sup>48</sup> Das Matrixdesign des  $CI$  ermöglicht sogar Rückschlüsse auf kollineare Beziehungen mit den Erwartungswerten des Modelldurchschnittes. D. h., es kann mittels  $CI$  die Kollinearität einer einzelnen unabhängigen Variable mit dem Modelldurchschnitt ermittelt werden. In der Literatur findet man den  $CN$  Grenzwert von 30, welcher eine starke Multikollinearität zwischen den Variablen widerspiegelt, sowie den  $CN$  Grenzwert von 20, ab den auf das Vorhandensein einer geringen Multikollinearität geschlossen werden kann.<sup>49</sup>

<sup>46</sup> Vgl. Stocker, Herbert (2012) S. 267

<sup>47</sup> Vgl. Albers, Sönke; Klapper, Daniel; Konradt, Udo; et al.; Albers, Sönke; Klapper, Daniel; Konradt, Udo; et al. (eds.) (2009) S. 225 f

<sup>48</sup> Vgl. Hackl, Peter (2005) S. 176

<sup>49</sup> Vgl. Stocker, Herbert (2012) S. 267

#### 4.3.6 „Räumliche Autokorrelation“

Fast alle räumlichen Daten, werden mehr oder weniger stark von ihrer Umgebung sowie dessen Nachbarschaft beeinflusst. Dieser Beeinflussung liegen unterschiedliche Beziehungen zwischen den Ausprägungen der Daten zugrunde, welche zum einen von der Distanz sowie zum anderen von den Merkmalen der Daten selbst abhängig sind. Tobler´s erstes Gesetz der Geographie

*“everything is related to everything else, but near things are more related than distant things.”<sup>50</sup>*

unterstreicht diese Gegebenheit. Aus dieser Tatsache kann abgeleitet werden, dass die Beziehungen der räumlichen Daten als eine Funktion der Distanz des einzelnen Datenpunktes zwischen den benachbarten Datenpunkten dargestellt werden kann. Dieses Phänomen wird als räumliche Abhängigkeit der Daten bezeichnet, veranschaulicht wird es durch die Aggregation der räumlichen Daten auf einer zwei-dimensionalen Fläche und Visualisierung der räumlichen Daten. Durch diese Darstellung wird die bis dato versteckte Struktur der Daten aufgezeigt. Diese Struktur geht auf die Nachbarschaftsbeziehungen sowie deren Beeinflussung zurück und wird als „Räumliche Autokorrelation“ bezeichnet. „Räumliche Autokorrelation“, ist die Korrelation zwischen den Werten einer einzelnen Merkmalsausprägung auf einer zwei-dimensionalen Fläche, welche von der Annahme der globalen klassischen Statistik einer unabhängigen Zufallsverteilung der Datenausprägungen abweicht.<sup>51</sup> Mit anderen Worten ausgedrückt:

*“Spatial autocorrelation means a dependency exists between values of a variable in neighboring or proximal locations, or a systematic pattern in values of a variable across the locations on a map due to underlying common factors.”<sup>52</sup>*

Daraus resultiert:

*“Spatial autocorrelation can be interpreted as a descriptive index, measuring aspects of the way things are distributed in space, but at the same time it can be seen as a causal process, measuring the degree of influence exerted by something over its neighbors.”<sup>53</sup>*

Die zuvor beschriebene Struktur der Daten wird in der Literatur basierend auf den zugrundeliegenden Merkmalsausprägungen in drei Muster der Merkmalsausprägungen eingeteilt, welche nachfolgend in der Aufzählung dargestellt werden.

- Negative „Räumliche Autokorrelation“ der Merkmalsausprägungen bezeichnet eine Struktur, die strukturell eine extrem disperse Verteilung der Merkmalsausprägungen über die Fläche aufweist. Dieser Begriff wird für eine Struktur verwendet, bei welcher die Zufallsnullhypothese  $H_0$  des

---

<sup>50</sup> Tobler, Waldo (1970) S. 234 ff

<sup>51</sup> Vgl. Griffith, Daniel A (2009) S. 1 f

<sup>52</sup> Griffith, Daniel A (2009) S. 1

<sup>53</sup> Goodchild, Michael F. (1986) S.2

Moran's *I* Test abgelehnt wird und der *Z*-Wert negativ ist. Bei einer solchen Struktur grenzen extrem hohe Werte der Merkmalsausprägung an extrem niedrige Werte der Merkmalsausprägung; es ist eine Tendenz zur extremen Zerstreung der minimalen und maximalen Werte zu erkennen.

- Positive „Räumliche Autokorrelation“ der Merkmalsausprägungen bezeichnet eine Struktur, die strukturell zur „Clusterbildung“ neigt. Dieser Begriff wird für eine Struktur verwendet, bei welcher die Zufallsnullhypothese  $H_0$  des Moran's *I* Test abgelehnt wird und der *Z*-Wert positiv ist. Bei einer solchen Struktur ist eine Tendenz zur räumlichen Gruppierung von hohen Werten der Merkmalsausprägung sowie von niedrigen Werten der Merkmalsausprägung zu erkennen.
- Eine Zufallsverteilung der Merkmalsausprägungen bezeichnet eine Struktur, die im englischen „random“ genannt wird und im weitesten Sinne der Standardnormalverteilung entspricht. Dieser Begriff wird für eine Struktur verwendet, bei welcher die Zufallsnullhypothese  $H_0$  des Moran's *I* Test angenommen wird. Bei einer solchen Struktur, ist weder eine Tendenz zur „Clusterbildung“ noch eine Tendenz zur extrem dispersen Verteilung der Merkmalsausprägungen zu erkennen.

Als die am weitesten verbreiteten statistischen Testmethoden für die „Räumliche Autokorrelation“ werden in der Literatur der Geary's *C* Test und der Moran's *I* Test genannt. Das Konzept der „Räumlichen Autokorrelation“ ist für unzählige Bereiche relevant; in der nachfolgenden Aufzählung werden nur die wichtigsten genannt.<sup>54</sup>

- *“A test on model mis-specification e.g. regression models*
- *A measure of the strength of the spatial effects on any variable*
- *A test on assumptions of spatial stationarity and spatial heterogeneity*
- *A means of identifying spatial clusters*
- *A means of identifying the role that distance decay or spatial interaction might have on any spatial auto regressive model*
- *A way to understand the influence that the geometry of spatial units has on a variable*
- *A test on hypotheses about spatial relationships ...”<sup>55</sup>*

---

<sup>54</sup> Vgl. Griffith, Daniel A (2009) S. 1 f

<sup>55</sup> Fischer, Manfred M; Getis, Arthur; Fischer, Manfred M.; Getis, Arthur (eds.) (2010) S. 257 f

#### 4.3.6.1 Globaler Moran's $I$

Der globale Moran's  $I$  – auch als globaler Moran's Index bezeichnet – ist ein klassisches Beispiel für eine Inferenzstatistik, welche auf Annahme oder Ablehnung von Hypothesen basiert.<sup>56</sup> Die Bezeichnung als globale Statistik erscheint auf den ersten Blick etwas verwirrend, da der globale Moran's Index eigentlich ein Maß für die „Räumliche Autokorrelation“ ist. Die Einordnung in das Gebiet der globalen Statistik erfolgt jedoch aufgrund der Methodik der Inferenzstatistik, eine Hypothese entweder global anzunehmen oder global abzulehnen. Aus dieser Methodik resultiert, dass der globale Moran's  $I$  nur den durchschnittlichen globalen Trend der räumlichen Verteilung einer Variablen widerspiegelt, trotz seines lokalen Ursprungs. In diesem Zusammenhang ist jedoch noch der Anselin's Moran's  $I$  zu erwähnen, welcher eine lokale Form des Moran's  $I$  darstellt und strikt von der globalen Form zu differenzieren ist.<sup>57</sup> Im Zuge der Arbeit wird jedoch ausschließlich der globale Moran's  $I$  dargestellt und angewendet.

Den Berechnungen einer Inferenzstatistik liegt neben der Annahme einer Hypothese auch immer die Annahme einer Verteilung der Daten zugrunde. Die Berechnung der Formel 0.18 des globalen Moran's  $I$  kann auf Grundlage von unterschiedlichen Annahmen der Verteilung der Daten erfolgen. Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwischen einer experimentellen Annahme oder einer theoretischen Annahme der Verteilung der Daten.<sup>58</sup>

$$I = \left( \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \right) \left( \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \right) \quad (0.18)$$

Die Formel 0.18 des globalen Moran's  $I$  setzt sich aus dem Stichprobenumfang  $n$  der Beobachtungen sowie den Werten der Beobachtung mit dessen Mittelwerten  $\bar{x}$  und der Gewichtung  $w_{ij}$  zwischen  $i$  und  $j$  zusammen. Wobei  $i$  die Lage der Beobachtung markiert und  $j$  jeweils die Lage der umliegenden Beobachtungspunkte. Die Gewichtung  $w_{ij}$  erfolgt auf Basis der „euclidian distanz to the nearest neighbors“. Der „Erwartungswert des Moran's  $I$ “  $E(I)$  – also der theoretische Wert, wenn keine positive oder negative Autokorrelation erwartet wird – ist durch Formel 0.19 definiert.<sup>59</sup>

$$E(I) = -\frac{1}{n-1} \quad (0.19)$$

---

<sup>56</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunsdon, C (2000) S. 201

<sup>57</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunsdon, C (2000) S. 101 f

<sup>58</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunsdon, C (2000) S. 202

<sup>59</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunsdon, C (2000) S. 202 f

Werte  $I$ , die größer als  $E(I)$  sind, stellen einen Indikator für positive „Räumliche Autokorrelation“ dar; kleinere Werte wiederum stellen einen Indikator für negative „Räumliche Autokorrelation“ dar.

Zur Berechnung der Varianz  $I$  unter der Annahme einer theoretischen Verteilung muss wiederum eine Entscheidung zwischen zwei Verteilungsannahmen getroffen werden. Im Falle der Arbeit wurde die Annahme gewählt, dass die Prozesse, welche die Fläche der Beobachtungsdaten bilden, zufällig und wahllos sind, sowie die daraus resultierende Beobachtungsfläche eine von vielen möglichen Permutationen des Stichprobenumfangs  $n$  verteilt über die räumlichen Einheiten von  $n$  ist. Diese Annahme drückt sich formal in Formel 0.20 der Varianz des Moran's  $I$  aus.<sup>60</sup>

$$\text{var}(I) = \frac{nS_4 - S_3S_5}{(n-1)(n-2)(n-3)(\sum_i \sum_j w_{ij})^2} \quad (0.20)$$

Dabei wird  $S_4$  der Formel 0.20 durch Formel 0.21 definiert und  $S_3$  durch Formel 0.22, sowie  $S_5$  durch Formel 0.23.<sup>61</sup>

$$S_4 = (n^2 - 3n + 3)S_1 - nS_2 + 3 \left( \sum_i \sum_j w_{ij} \right)^2 \quad (0.21)$$

$$S_3 = \frac{n^{-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^4}{(n^{-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^2)^2} \quad (0.22)$$

$$S_5 = S_1 - 2nS_1 + 6 \left( \sum_i \sum_j w_{ij} \right)^2 \quad (0.23)$$

Wobei  $S_1$  der Formeln 0.21 und 0.23 durch Formel 0.24 definiert wird, sowie  $S_2$  der Formel 0.21 durch Formel 0.25.<sup>62</sup>

$$S_1 = \frac{\sum_i \sum_j (w_{ij} + w_{ji})^2}{2} \quad (0.24)$$

$$S_2 = \sum_i \left( \sum_j w_{ij} + \sum_j w_{ji} \right)^2 \quad (0.25)$$

<sup>60</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunsdon, C (2000) S. 202 f

<sup>61</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunsdon, C (2000) S. 203

<sup>62</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunsdon, C (2000) S. 203 f

Aufbauend auf der Annahme einer Zufallsverteilung resultiert eine der wichtigsten Kennzahlen zur Interpretation des Moran's  $I$  der  $Z$ -Wert. Der  $Z$ -Wert stellt die Standardabweichung innerhalb einer Standardnormalverteilungskurve der  $I$  Verteilung dar und kann problemlos wie in Formel 0.26 berechnet werden, solange der Stichprobenumfang  $n$  der Beobachtungen groß genug ist.<sup>63</sup>

$$Z = \frac{I - E(I)}{\text{var}(I)} \quad (0.26)$$

Zur weiteren Interpretation des Moran's  $I$  und des  $Z$ -Werts wird zu der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit die Signifikanz der Berechnung der Verteilung mittels  $p$ -Wert ermittelt. Aufbauend auf den  $Z$  und  $p$ -Werten ist dann eine Interpretation des Moran's  $I$ , sprich eine Annahme oder Ablehnung der Zufallsnullhypothese möglich. Die Zufallsnullhypothese  $H_0$  besagt, dass die aktuelle Verteilung der Daten auf einer zufälligen räumlichen Verteilung der Daten mit nahezu unendlich vielen Möglichkeiten von verschiedenen Verteilungsversionen beruht, wobei bei diesen die Datenwerte immer fest sind und nur die räumliche Anordnung veränderbar ist. Eine Annahme der Zufallsnullhypothese  $H_0$  kann erfolgen, wenn der  $Z$ -Wert zwischen -1,96 und 1,96 liegt und der  $p$ -Wert größer als 0,05 ist, was einem Konfidenzniveau von 95% entsprechen würde. Eine Ablehnung der Zufallsnullhypothese  $H_0$  kann erfolgen, wenn der  $Z$ -Wert größer als -1,96 und 1,96 ist und der  $p$ -Wert kleiner als 0,05 ist. Bei einer Ablehnung der  $H_0$  muss anhand des  $Z$ -wertes entschieden werden, ob es sich um eine negative oder positive Autokorrelation der Merkmalsausprägungen handelt. Ein positiver  $Z$ -Wert entspricht einer Gruppierung der Merkmalsausprägungen, also einer positiven „Räumlichen Autokorrelation“. Ein negativer  $Z$ -Wert entspricht einer extrem dispersen Verteilung der Merkmalsausprägungen, also einer negativen „Räumlichen Autokorrelation“.<sup>64</sup>

Bei einer Ablehnung der  $H_0$  und einem positiven  $Z$ -Wert spricht man von einer positiven „Räumlichen Autokorrelation“, also von einer Gruppierung der Merkmalsausprägungen. Bei einer Ablehnung der  $H_0$  und einem negativen  $Z$ -Wert spricht man von einer negativen „Räumlichen Autokorrelation“, also von einer extrem dispersen Verteilung der Merkmalsausprägungen.

---

<sup>63</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunson, C (2000) S. 203 f

<sup>64</sup> Vgl. ArcGIS Resource Center (2012d)

# I. HEDONISCHES KONZEPT

Das hedonische Konzept ist der Ökonometrie, einer Querschnittsmaterie der Statistik, Mathematik und der Ökonomie, sowie den damit verbundenen ökonomischen Theorien zuzurechnen. Der Begriff leitet sich aus der griechischen Philosophie vom Wortstamm „hedone“ ab. „Hedone“ bedeutet im griechischen „Freude“ und steht in der Philosophie für „das Lustprinzip befolgend“. Diese Bedeutung, verweist im Besonderen in der Ökonometrie auf die nutzenstiftenden Eigenschaften, welche im Rahmen des Ansatzes untersucht werden. In der ökonometrischen Literatur, ist jedoch die englische Ableitung „hedonic“ prägend, welche im Deutschen in der Regel mit hedonisch übersetzt wird. Ursprünglich stammt das hedonische Konzept aus dem angloamerikanischen Sprachraum. Erste praktische Ansätze der Erhebung hedonischer Preise sind bereits 1912 bei Davies sowie 1922 bei Haas zu erkennen. Beide verfolgten praxisnahe Ansätze in der Immobilienbewertung. 1926 wurden diese Ansätze von Wallace wieder aufgegriffen und weiter bearbeitet. Kurz darauf gelang es Waugh 1928 als einem der Ersten in einer systemischen Analyse den Einfluss von Qualität auf den Preis nachzuweisen. Trotz dieses Erfolgs gilt Waugh in der gängigen Literatur nur als Wegbereiter des Konzepts der hedonischen Preise.<sup>65</sup> Als Begründer des Ansatzes der hedonischen Preise wird in der gängigen Literatur Andrew Court gesehen, da er 1939 als Erster den methodischen Ansatz im heutigen Sinne verwendete und die hedonische Hypothese formulierte. Court erstellte einen Preisindex für General Motors, bei dem er mit dem prägenden Begriff „hedonic“ die Gewichtung verschiedener nutzenstiftender Eigenschaften umschrieb. Crout's Arbeit wurde aber aufgrund ihrer Komplexität und schweren Verständlichkeit erst 1961 von Grilliches wieder aufgegriffen. Durch Grilliches erhielt die Methode breite Aufmerksamkeit im angloamerikanischen Sprachraum. Eine eingehende sowie auch ökonomisch-theoretische Fundierung der Methode fehlte jedoch bis dato. Die gänzliche theoretische Fundierung der methodischen Ansätze lieferte erst 1974 Rosen, wobei er zum Teil auf den 1966 getätigten Fundierungsansätzen von Lancaster aufbaute.<sup>66</sup>

## 1. Hedonische Theorie

Zentrales Element der hedonischen Theorie ist die Definition von Qualitätseigenschaften bei heterogenen Gütern. Ziel dabei ist, den Einfluss der preisrelevanten Merkmale zu erheben, um jene Preisänderungen zu ermitteln, die ausschließlich auf qualitativen Veränderungen und Unterschieden von Eigenschaften beruhen. Durch Abgrenzung und letztlich durch Ausschluss der Eigenschaften ist es möglich Einfluss, bereinigte Preise zu ermitteln. Dies ist vor allem bei Gütern relevant, bei denen eine kontinuierliche

---

<sup>65</sup> Vgl. Heyser, Hartwig (2006) S.93 f

<sup>66</sup> Vgl. Haupt, Harald (2002) S. 15 f

Produktivitäts- oder Qualitätsveränderung zu beobachten ist. Die hedonische Theorie beruht ebenfalls wie die ökonomische Standardlehre im Allgemeinen auf gewissen Modellannahmen, welche zu robusteren Ergebnissen und allgemein gültigen und objektiven Aussagen führen sollen. Zu diesen zählen etwa die Annahme eines Marktgleichgewichts, die Unterstellung von nutzenmaximierenden wie auch rational agierenden Akteuren, sowie die Annahme von vollkommener Information und Preistransparenz. Dabei ist das Verhalten der Marktakteure geprägt durch ihre Nutzenmaximierung sowie den Budgetbeschränkungen, denen sie unterliegen. An dieser Stelle ist auch zu erwähnen, dass die Modellannahmen sehr restriktiv sind und die Realität der theoretischen Systematik zum Opfer fällt. Eine diesbezüglich tiefer gehende Ausführung unterbleibt jedoch im Rahmen der Arbeit. Vor allem das optimierende Verhalten als Nutzenmaximierer sowie die Bekundung von Präferenzen spielen eine zentrale Rolle bei der quantitativen Untersuchung der Qualitätseigenschaften eines heterogenen Gutes. Durch die individuelle Wahrnehmung der Immobilienqualität und individuellen Präferenzen der Mieter ist es zudem schwierig, diese intersubjektiv vergleichbar zu machen und objektiv darzustellen.<sup>67</sup> Die Definition von Immobilienqualität ist somit zentral, wobei Immobilienqualität laut DIN EN ISO 9000

*„der Grad, in dem ein Satz inhärenter Immobilienmerkmale Mieteranforderungen erfüllt“<sup>68</sup>*

ist. Neben der Immobilienqualität ist das zentrale Element der hedonischen Theorie in der Immobilienbewertung die Annahme, dass

*„der Preis eines homogenen Gutes Immobilie existiert, aber unbeobachtbar ist“<sup>69</sup>*

und darüber hinaus, dass dieser Preis mittels hedonischer Regression auf die Mittelwerte der Qualitätseigenschaften ermittelbar ist.<sup>70</sup> Die Immobilienqualität integriert verschiedene Kategorien von Eigenschaften und umfasst somit einen mehrdimensionalen Sachverhalt. Ein zum Wesen der Immobilie gehörendes Merkmal ist die Immobilieneigenschaft, welche eine charakteristische Teilbeschaffenheit beschreibt. Die Eigenschaften des jeweiligen Gutes müssen zuerst konkret identifiziert und definiert und anschließend bewertet werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass jede Eigenschaft auch tatsächlich eindeutig und objektiv charakterisierbar ist. Erst mit der Ausprägung dieser Eigenschaften erfährt der Begriff Qualität eine Wertung. Die Eigenschaften orientieren sich dabei hinsichtlich der Eignung des Gutes, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse des Mieters, also dessen Präferenzen, zu erfüllen.<sup>71</sup> Präferenzen sind somit das Ergebnis eines individuellen Auswahlprozesses der Mieter zwischen zwei oder mehreren Alternativen. Der Präferenzbildungsprozess umfasst die Bewertung der Eigenschaften hinsichtlich ihres Nutzens und eine Verknüpfung dieser Nutzenwerte zu einem Präferenzwert. Präferenzwerte geben somit den Erfüllungsgrad des erwarteten Nutzens als Maß der Bedürfnisbefriedigung an. Die Eingangs genannte Nutzenmaximierung basiert also auf den individuellen

---

<sup>67</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 48 ff

<sup>68</sup> Haase, Ronny; Kytzia, Susanne (2007) S. 56 f

<sup>69</sup> Demary, Markus (2009) S. 5

<sup>70</sup> Vgl. Demary, Markus (2009) S. 5

<sup>71</sup> Vgl. Haase, Ronny; Kytzia, Susanne (2007) S. 56 f

Präferenzen des Mieters, insbesondere auf seiner Budgetrestriktion und den jeweiligen Restriktionen seines Handelns sowie den Entscheidungsprozessen. Die Untergrenze des Präferenzwerts wird dabei durch die minimale Zahlungsbereitschaft des Mietpreises durch den Mieter ausgedrückt. Die Zahlungsbereitschaft ist somit ein monetäres Maß für den Nutzen beziehungsweise die Wertschätzung, welche der Mieter dem Gut Immobilie sowie seinen einzelnen Eigenschaften im Gesamten beimisst. Die Präferenzen der Mieter finden also ihren Ausdruck in den Zahlungsbereitschaften, sprich in den realisierten Preisen des Guts Immobilie. Die differenzierte Erfassung der Präferenzen für ein Gut sowie die monetäre Bewertung mit Ermittlung der maximalen Zahlungsbereitschaft spielen eine zentrale Rolle bei ökonomisch geprägten Bewertungsmethoden. Festgehalten werden muss in diesem Zusammenhang, dass sich die Entscheidungen der Mieter jedoch dennoch nur begrenzt rational erklären lassen.<sup>72</sup>

## 1.1 Hedonische Methode

Der methodische Ansatz der hedonischen Theorie beruht – wie in Punkt 1 kurz erwähnt – auf den Präferenzen der Marktteilnehmer. Zur Erfassung dieser gibt es in der angewandten empirischen Literatur eine Einteilung in zwei grundsätzliche methodische Verfahrensansätze. Diese Verfahrensansätze können in einen direkten und einen indirekten methodischen Ansatz eingeteilt werden. Die direkten Verfahren beruhen auf der impliziten methodischen Annahme, dass auf Basis des realisierten Marktverhaltens auf die zugrunde liegenden Präferenzen geschlossen werden kann. In diesem Zusammenhang spricht man im Englischen auch von „Stated Preference Analysis“, also bekundende Präferenzanalysen und „Revealed Preference Analysis“, offenbarende Präferenzanalysen.<sup>73</sup>

Die Bandbreite wissenschaftlich mikrofundierter empirischer Methoden und Verfahren zur Qualitätsmessung heterogener Güter ist nicht sehr groß. Zu den bekanntesten Methoden zählen der hedonische Ansatz mit stetigem Gütereinsatz von Rosen (1974) und die „Discrete Choice“ Methode von Mc Fadden (1973, 1977).<sup>74</sup> Im Allgemeinen ist die hedonische Methode eine empirische Aggregationen der Beziehungen zwischen dem Preis eines Gutes und dessen Eigenschaften, welche zu den indirekten Verfahren der „Revealed Preference Analysis“ zu zählen ist und methodisch den statistisch fundierten Vergleichswertverfahren zuzuordnen ist. Dabei geht die Methode von komplexen multidimensionalen Gütern aus, welche heterogen sind.<sup>75</sup>

---

<sup>72</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 48 ff

<sup>73</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 50 f

<sup>74</sup> Vgl. Haupt, Harald (2002) S. 18

<sup>75</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 19

Der methodische Ansatz von Rosen (1974) unterliegt folgenden Prämissen:

- Stetiges Güterspektrum mit Entscheidungsfindung innerhalb eines „spectrum of products“<sup>76</sup>
- Heterogene Güter
- Bündelung der Qualitätseigenschaften in Eigenschaftsvektoren
- Eigenschaften sind identifizierbar, definierbar und objektiv messbar (charakterisierbar)
- Jedes Gut hat einen konkreten Angebotspreis
- Jedes Gut verfügt aufgrund des Angebotspreises und seinen Eigenschaften über eine Preisfunktion
- Die gebündelten Eigenschaftsvektoren sind grundsätzlich nicht teilbar und auch nicht veränderbar<sup>77</sup>
- Die Zahl der angebotenen Güter entspricht der Zahl der nachgefragten Güter
- Entscheidungen basieren auf der Annahme der beidseitigen Nutzenmaximierung
- Es herrscht ein Marktgleichgewicht sowie ein Pareto-Optimum.<sup>78</sup>
- Die Möglichkeit von Wiederverkäufen wird ausgeschlossen.<sup>79</sup>

Entscheidend für den hedonischen Ansatz nach Rosen (1974) ist die Hypothese, dass sich heterogene Güter aus einem Bündel von einzelnen nutzenstiftenden Eigenschaften zusammensetzen, die identifizierbar, definierbar und objektiv messbar sind. Kern der Hypothese ist, dass der Mieter basierend auf seinen Präferenzen nicht ein Gut alleine kaufen will, sondern den damit verbundenen Nutzen.<sup>80</sup> Dieser Ansatz beruht auf der Konsumtheorie von Lancaster welcher 1966 aufzeigte, dass sich der Gesamtnutzen eines Gutes nicht aus dem Gut selbst ergibt, sondern aus der Summe der Nutzen seiner einzelnen Eigenschaften.<sup>81</sup> Maßgebend dabei ist die Annahme von Muth (1960) aus der traditionellen neoklassischen Nachfragetheorie, dass sich der Mieter bei seiner Kaufentscheidung nicht auf das beobachtbare heterogene Gut bezieht, sondern auf ein nicht beobachtbares homogenes Gut, welches im Falle der Immobilie als „housing services“ bezeichnet wird.<sup>82</sup>

---

<sup>76</sup> Vgl. Rosen, Sherwin (1974) S. 37

<sup>77</sup> Vgl. Serrat, Nikolaus Georg (2011) S. 31

<sup>78</sup> Vgl. Rosen, Sherwin (1974) S. 35

<sup>79</sup> Vgl. Rosen, Sherwin (1974) S. 37

<sup>80</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 52

<sup>81</sup> Vgl. Haase, Ronny; Kytzia, Susanne (2007) S. 56 f

<sup>82</sup> Vgl. Haupt, Harald (2002) S. 18

### 1.1.1 Hedonische Preisfunktion

Die hedonische Preisfunktion beruht auf dem Prinzip ,dass alle involvierten Akteure ihren Nutzen maximieren, sowie auf der Hypothese, dass bei heterogenen Gütern konkrete nutzenstiftende Eigenschaften identifiziert und definiert werden können. Dabei werden die Optimierungstendenzen der Mieter auf der Nachfrageseite sichtbar, sie basieren auf den erwarteten Nutzen der jeweiligen Eigenschaften eines heterogenen Gutes sowie den Budgetrestriktionen, welchen die Mieter unterliegen – wie bereits in Punt 1.1 angedeutet. Die Angebotsseite bildet sich durch die Kosten- bzw. Produktionsfunktionen der Anbieter bzw. Verkäufer ab. Eine Grundannahme im Rahmen der hedonischen Preisfunktion ist, dass es durch die Interaktion aller involvierten Akteure zu einem Marktgleichgewicht kommt, bei dem die Präferenzen der Mieter bedient werden. Von diesem Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage ausgehend kann nun die hedonische Preisfunktion abgeleitet werden. Sie stellt den Schnittpunkt der individuellen Nachfragefunktionen mit den jeweiligen Angebotsfunktionen dar, und gibt im Weiteren jenen Zustand an, in welchem eine gänzliche Marktberreinigung vorherrscht.<sup>83</sup> Die hedonische Preisfunktion stellt die Beziehungen zwischen dem Wohnungspreis und ihren jeweils unterschiedlichen Eigenschaftsausprägungen der realisierten Marktpreise dar.<sup>84</sup> Diese Beziehungen werden in Formel 1.01 in Form der hedonischen Preisfunktion mittels der Eigenschaftsvektoren abgebildet und stellen das Fundament der hedonischen Preisfunktion dar.

$$V = f\langle L, S, N, A, P, R, t \rangle \quad (1.01)$$

Wobei in der englisch sprachigen Literatur die Charakteristika der Eigenschaftsvektoren allgemein wie in Formel 1.01 zu folgenden sieben Gruppen zusammengefasst werden: Die Charakteristika der Ausprägungen unterteilen sich in die Gruppe *L* der Liegenschaftscharakteristika (lot characteristics), die Gruppe *S* der baulichen u. strukturellen Charakteristika (structural characteristics), die Gruppe *N* der Nachbarschaftscharakteristika (neighborhood variables), die Gruppe *A* der Erreichbarkeit (accessibility), die Gruppe *P* der externen Umwelt Effekte (proximity externalities), die Gruppe *R* der Landnutzung (land use variables) sowie letztlich die Gruppe *t* der zeitlichen Periode, in der die Daten erhoben wurden (time period that property information was collected).<sup>85</sup> Neben dieser siebenteiligen Gliederung ist des Öfteren auch eine Generalisierung der Charakteristika der Eigenschaftsvektoren zu den zwei Hauptgruppen der strukturellen Charakteristika und der Nachbarschaftscharakteristika zu finden. Wobei in der deutschen Literatur die Charakteristika von Bökemann und Feilmayr (1994) zu den Gruppen *A* der Ausstattungsvariablen der Immobilie (Zustand, Baujahr, Stockwerk, usw.) sowie zu der Gruppe *L* der

---

<sup>83</sup> Vgl. Matthes, Stephanie (2010) S. 14 f

<sup>84</sup> Vgl. Haupt, Harald (2002) S. 23

<sup>85</sup> Vgl. Basu, Sabyasachi; Thibodeau, TG (1998) S. 65 f

Lagevariablen (Naturraum, Infrastruktur, soziales Milieu usw.) zusammengefasst werden.<sup>86</sup> Dabei gibt die hedonische Preisfunktion allgemein Auskunft über die Beschaffenheit der Eigenschaftsvektoren.

$$v_p = \frac{\partial V}{\partial p} \quad (1.02)$$

Ausgehend von dieser Beschaffenheit kann aus der hedonischen Preisfunktion in Formel 1.01 durch partielle Ableitung der Funktion wie in Formel 1.02 der hedonische Preis einer konkreten Eigenschaft, sprich der implizite Preis, am Markt ermittelt werden.<sup>87</sup> Der Preis wird dabei als implizit bezeichnet, da die Zahlungsbereitschaft indirekt durch den Preis der gesamten Immobilie offenbart wird. Auf impliziten Märkten kommt es ebenfalls zum Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage, aus dem durch partielle Ableitung der hedonische Preis resultiert. Basierend auf diesen ökonomischen Ansatz ergibt sich der Gesamtpreis der jeweils separat betrachteten Eigenschaften aus der Summe der impliziten Preise. Dabei ist, wie schon zuvor erwähnt, der implizite Preis nicht explizit am Markt beobachtbar. Als Informationsträger der latenten und nicht direkt beobachtbaren kausalen Zusammenhänge fungiert der Gesamtpreis. Basierend auf diesem Ansatz ist es möglich die heterogene Anlageklasse der Immobilien in homogene Eigenschaften zu zerlegen und deren Einfluss auf den Gesamtpreis zu bestimmen. Gleichzeitig werden dabei die Präferenzen der Nutzer, also der Mieter, offenbart.<sup>88</sup> Ziel der impliziten Preise ist es, die nichtlineare Beziehung zwischen Marktpreis und den gemessenen Eigenschaften darzustellen, indem aufgezeigt wird, wie sich der Preis der Immobilie verändert, wenn sich die Qualität einer einzelnen Eigenschaft ändert, während die restlichen Parameter konstant gehalten werden. Zentral ist dabei, dass die hedonischen Preise eines Marktes nicht auf einen anderen Markt übertragen werden können, da sie das Ergebnis dieser speziellen impliziten Marktbedingungen sind.<sup>89</sup>

### 1.1.2 Ableitung des Regressionsmodells

Aus dem funktionalen Zusammenhang zwischen dem Immobilienpreis und den Eigenschaften der Immobilie, auf welchem die hedonische Preisfunktion in Punkt 1.1.1 beruht, kann ein Regressionsmodell zur Überprüfung des Zusammenhangs und der quantitativen Abschätzung abgeleitet werden. Dabei beruhen hedonische Regressionsmodelle auf den Grundannahmen, dass jede Produkteigenschaft eindeutig charakterisierbar ist, sowie dass sich die Märkte in einem Gleichgewichtszustand befinden und als nahezu vollkommen anzusehen sind. Ebenfalls wird angenommen, dass alle Akteure Nutzenmaximierer sind und über vollständige Preis und Qualitätsinformationen verfügen, sowie dass die Transaktionskosten

---

<sup>86</sup> Vgl. Bökemann, Dieter; Wolfgang, Feilmayr (1994) S. 27 ff

<sup>87</sup> Vgl. Trolf, Norbert (2009) S. 70

<sup>88</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 52 f

<sup>89</sup> Vgl. Matthes, Stephanie (2010) S. 14 ff

Null sind oder zumindest für alle gleich.<sup>90</sup> Basierend auf diesen Annahmen kann aus dem Vektor der Eigenschaften aus der Formel 1.01 die grundlegende Form der hedonischen Preisfunktion wie in Formel 1.03 in mathematischer Notationsform dargestellt werden. Dabei stellt  $x_p$  die  $p$ -te Eigenschaftenkombination dar. Eine unendliche Anzahl an potentiellen Eigenschaften ist jedoch nicht zielführend, da der Informationsgehalt mancher Eigenschaften bezogen auf die Konsumentenpräferenzen fraglich ist und die Wahrscheinlichkeit der Korrelation der Charakteristika steigt.<sup>91</sup>

$$V = f(x_1, x_2, \dots, x_p) \quad (1.03)$$

Unter der Annahme einer linearen Funktionsform  $f$  lässt sich die hedonische Preisfunktion der Formel 1.03 in eine multiple lineare Regressionsgleichung der Formel 1.04 überführen. Dabei wird in der hedonischen Regression die erklärende Variable  $V$  allgemein durch den Preis repräsentiert und die erklärten Variablen  $x_p$  durch die Vektoren der Charakteristika.<sup>92</sup>

$$V = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2, \dots, \beta_p x_p \quad (1.04)$$

Dabei kann wie zuvor der hedonische oder implizite Preise durch partielle Ableitung ermittelt werden. Der geschätzte Parameter  $\beta_p$  in Formel 1.05 repräsentiert die partielle Ableitung der hedonischen Regression in Formel 1.04. Folglich geben die Parameterschätzer die marginale Zahlungsbereitschaft der Mieter für die betreffende Eigenschaft an und stellen zugleich den impliziten, sprich hedonischen Preise für die jeweilige Eigenschaft dar.<sup>93</sup>

$$\beta_p = \frac{\partial V}{\partial x_p} \quad (1.05)$$

Die Parameter quantifizieren somit die Wirkungsrichtung und die Bedeutung der Eigenschaften des Gutes Immobilie. Der Preis ist somit durch die Eigenschaften der Immobilie beschreibbar und kann um die beinhaltenden Eigenschaftscharakteristika qualitätsbereinigt werden. Über die Struktur zwischen Angebot und Nachfrage kann jedoch keine Aussage getroffen werden.<sup>94</sup>

In der Literatur der hedonischen Regressionsmodelle haben sich verschiedene Annahmen für unterschiedliche Funktionsformen der hedonischen Preisfunktion etabliert. Dabei können diese Annahmen in die zwei Gruppen der endogenen sowie der exogenen Funktionsannahmen eingeteilt

---

<sup>90</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 53

<sup>91</sup> Vgl. Haupt, Harald (2002) S. 20

<sup>92</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 53

<sup>93</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 53 f

<sup>94</sup> Vgl. Trolf, Norbert (2009) S. 71

werden. Eine der allgemein am häufigsten verwendeten etablierten exogenen Funktionsformen unterstellt einen grundlegenden linearen Funktionszusammenhang. Diese exogene Unterstellung eines linearen Funktionszusammenhangs, ist jedoch in der Realität meist nicht gegeben. Um dennoch unter der Linearitätsannahme eine bestmögliche Linearisierung der Zusammenhänge zu erreichen, erfolgt eine Transformation der hedonischen Regression in ein semi-logarithmisches Modell. Im Zuge der Transformation in ein semi-logarithmisches Modell erfolgt die Logarithmierung der erklärten Variable oder einzelner erklärender Variablen mittels natürlichem Logarithmus, man spricht in diesem Zusammenhang auch von Exponentialmodellen. Unter der semi-logarithmischen Funktionsannahme sind die hedonischen Preise als Semi-Elastizitäten interpretierbar. Neben der exogenen Gruppe der Funktionsannahmen gibt es die endogene Gruppe der Funktionsannahmen, bei der die „Box - Cox“ Transformation zu den am etabliertesten Methoden gehört. Da bei der hedonischen Regression explizit Bezug zu einer ökonomischen Theorie genommen wird, spricht man in diesem Zusammenhang auch von einem ökonometrischen Modell.<sup>95</sup>

## 2. Hedonische Modelle

Hedonische Modelle stellen eine Aggregation der Beziehungen zwischen dem Preis eines Gutes sowie dessen Eigenschaften dar und sind von ihrem empirischen Ansatz her den statistisch fundierten Vergleichswertmethoden zuzurechnen.<sup>96</sup> Allgemein gehören hedonische Modelle zu den „Revealed-Preferences“ Analysen und haben sich International als geeignete Modelle der Qualitätsanpassung des Preises in den verschiedensten Bereichen durchgesetzt. Dabei werden sie bevorzugt zum Vergleich von Preisen sowohl im Querschnitt als auch im Längsschnitt bei heterogenen Gütern eingesetzt, bei denen ein rascher Wechsel der Qualitätsmerkmale zu beobachten ist. Beispiele dafür sind Unikate, die extrem heterogen ausgeprägt sind, wie eben Immobilien.<sup>97</sup>

### 2.1 Anwendung in der Praxis

Die hedonische Immobilienbewertung, ist vor allem im angloamerikanischen Sprachraum in den verschiedensten Sektoren und Bereichen weit verbreitet. Seit Jahrzehnten zählt die hedonische Immobilienbewertung am Sektor der amtlichen Statistik zum Standard. Auch im Bankensektor zählt die hedonische Methode der Immobilienbewertung zum internationalen Standard. Ebenfalls breite Anwendung findet die Methode bei renommierten internationalen Immobilienunternehmen, im Bewertungs- und Immobilieninvestmentbereich. In den letzten Jahren hat sich die Methode der hedonischen Immobilienbewertung am Schweizer Immobilienmarkt durchgesetzt und auch immer stärker

---

<sup>95</sup> Vgl. Haase, Ronny (2011) S. 53 f

<sup>96</sup> Vgl. Fahrländer, Stefan (2007) S. 3

<sup>97</sup> Vgl. Fahrländer, Stefan (2007) S. 51

am deutschen Immobilienmarkt Einzug gehalten. Mittlerweile zählt der qualitätsbereinigte Preisindex in der amtlichen Statistik in der Schweiz und in Deutschland zum Standard. Auch im Bankensektor findet mittlerweile die hedonische Methode der Immobilienbewertung nicht nur international breite Anwendung. In der täglichen Bewertungspraxis hat sich die Methode bis dato aufgrund des hohen Methodenaufwandes der Datenerhebung nur bei großen renommierten Immobilienunternehmen durchgesetzt. In Österreich hat sich der methodische Ansatz der hedonischen Immobilienbewertung bis dato noch nicht so breit durchgesetzt wie in der Schweiz und in Deutschland. Dies ist vor allem auf die kleineren Strukturen in Österreich zurückzuführen. Jedoch gehört auch mittlerweile in Österreich der qualitätsbereinigte Preisindex in amtlichen Statistiken zum Standard. Weiters findet der hedonische Ansatz am österreichischen Bankensektor im Bereich der Hypothekendarfinanzierung sowie bei der Bewertung von einzelnen Märkten breite Anwendung. Hauptsächlich Anwendungsbereich des hedonischen Ansatzes am Immobilienmarkt ist der qualitätsbereinigte hedonische Preisindex sowie die aus ihm resultierende Möglichkeit der Quantifizierung der preisbestimmenden Eigenschaften für die Bewertung von Immobilien, welche allgemeine Aussagen über die Immobilie und den Immobilienmarkt ermöglichen.

### **2.1.1 Hedonischer Preisindex**

Der qualitätsbereinigte Preis und die daraus resultierende Indizes sind in der amtlichen Statistik zentral. Ziel der amtlichen Preisstatistik ist die unverzerrte Messung der Preisänderung. Diese ist vor allem bei heterogenen Gütern problematisch. Die hedonische Methode stellt jedoch einen Ansatz dar, der weitgehend unverzerrte Preisänderungen über eine Zeitperiode bei heterogenen Gütern wiedergibt, welche um den qualitativen Einfluss bereinigt sind. Hedonische Preisindizes sind um den qualitativen Einfluss der Charakteristika der erklärten Variablen qualitätsbereinigt. Die Methoden zur Ermittlung periodischer Indexänderungen können in direkte und indirekte Ansätze eingeteilt werden. Zu den indirekten Ansätzen zählen die Methoden der charakteristischen Preise und der konstanten Preise. Zu den direkten Verfahren zählt die Methode der Zeit Dummies, welche auch in der Arbeit verwendet wird. Der Ansatz der Zeit Dummies stellt eine sinnvolle Methode für rückblickende historische Indizes dar und hat den Vorteil, dass sie einfach und schnell kalkulierbar sowie interpretierbar ist.<sup>98</sup>

---

<sup>98</sup> Vgl. Wolfgang, Feilmayr (2004) S. 74 ff

### **2.1.2 Hedonische Immobilien Bewertung**

Neben der Kalkulation der Veränderung ortsüblicher Marktpreise für vergleichbare Wohnungen über hedonische Preisindizes kann mittels der hedonischen Methode auch eine Bewertung der Immobiliencharakteristika vorgenommen werden. Während traditionelle Immobilienbewertungsverfahren immer mit dem Ziel der Bewertung des Verkehrswertes vorgenommen werden, ist die Bewertung des Verkehrswertes nicht unbedingt Bestandteil der hedonischen Immobilienbewertung. Auch ohne diesen Schritt liefert die hedonische Bewertung wertvolle Erkenntnisse über Immobilien, da sie veranschaulicht, wie verschiedene Eigenschaftscharakteristika zum Verkehrswert, der am Markt erzielt wird, beitragen.<sup>99</sup> Daraus resultiert, dass mittels der hedonischen Methode Zuschläge und Abschläge für eine normativ definierte Standardimmobilie ermittelt werden können, sowie dass eine Verkehrswertermittlung für eine fiktive Immobilie mittels Charakteristika Kombinationen vorgenommen werden kann. Die hedonische Methode liefert dem Immobilienfachmann somit wertvolle Informationen für die Anwendung der Vergleichswertmethode.<sup>100</sup> Im Zuge der Arbeit wird im Rahmen der hedonischen Immobilienbewertung das System der Zuschläge und Abschläge verwendet.

## **2.2 Robustheit des hedonischen Modells**

Grundsätzlich ist das hedonische Modell eine robuste und stabile theoretische Methode, welche wissenschaftlich fundiert ist. Das hedonische Modell ist jedoch nur dann robust und stabil, wenn grundlegende restriktive Annahmen getroffen werden, die in der empirischen Forschungspraxis kaum gehalten werden können. Die Problematik der restriktiven Annahmen ist jedoch ein allgemein bekanntes und generelles Phänomen bei ökonometrischen Modellen. Problematisch für die Robustheit des hedonischen Modells sind vor allem nachfolgende Rahmenbedingungen.

Dabei ist vor allem das hedonische Identifikationsproblem zu nennen, das von der Annahme ausgeht, dass die Nachfragefunktion unter diversen restriktiven Annahmen über die Preisfunktion hergeleitet werden kann, um zusätzliche Informationen über die Struktur von Angebot und Nachfrage zu ermitteln. Diese Annahme ist jedoch in der Realität eher unrealistisch, und zusätzliche Informationen über die Struktur von Angebot und Nachfrage sind nur durch weitere restriktive Funktionsannahmen möglich.

Im Weiteren ist für die Robustheit die Spezifikation der hedonischen Preisfunktion modellentscheidend. Zu beachten ist dabei, dass die grundlegenden Probleme der Regressionsanalyse auch im vollen Umfang für die hedonische Preisfunktion gelten. Dazu ist die Wahl der geeigneten Funktionsform bis hin zur Korrelation sowie die Überprüfung und die Interpretation der Resultate zu zählen.

---

<sup>99</sup> Vgl. Maier, Gunther (2011) S. 12

<sup>100</sup> Vgl. Haupt, Harald (2002) S. 23

Neben diesen Problemen ist die subjektive Wahrnehmung der objektiven Eigenschaften der Güter durch die Individuen entscheidend. Dabei sollten in einem robusten hedonischen Modell nur solche objektiven Merkmale Berücksichtigung finden, welche auch im engen Zusammenhang mit den subjektiv durch die Individuen empfundenen Merkmalen stehen.

Maßgebend für die Robustheit des hedonischen Modells ist der Grundsatz der Marktsegmentierung, da die Marktsituation mit der hedonischen Preisfunktion nur immer für einen bestimmten Teilmarkt im jeweiligen Marktsegment korrekt abgebildet werden kann. Wird dieser Grundsatz nicht berücksichtigt, erfolgt eine Aggregation verschiedener heterogener Teilmärkte und Preisgefüge und die implizite Marktsituation wird nicht mehr korrekt abgebildet. Basierend darauf ist eine schwache Korrelation zwischen dem Preis und den Eigenschaften der Güter anzunehmen.

Die Kernrahmenbedingung eines Marktgleichgewichtes mit vollständigen Merkmalsräumen, welcher der hedonischen Theorie unterstellt wird, birgt die größte Problematik. Dies resultiert aus der Annahme, dass dem Marktgleichgewicht vollständige Merkmalsräume unterstellt werden, welche implizieren, dass alle nachgefragten Eigenschaften auch tatsächlich am Markt existieren. Diese Annahme ist in der Realität jedoch nicht gegeben, aus diesem Grund und aus dem Grund der unvollständigen Information der Marktteilnehmer, ist ein vollständiges Marktgleichgewicht sowie ein gänzlich robustes Modell eher unwahrscheinlich.<sup>101</sup>

### **3. Zusammenfassung und Perspektive des hedonischen Konzepts**

Obwohl die Methodik der hedonischen Theorie, wie in Punkt 1.1.1 dargestellt, auf zahlreichen theoretischen sowie methodischen Restriktionen beruht, die in der Realität kaum zu halten sind, stellt das hedonische Konzept einen Ansatz dar, der in der empirischen Forschung große Bedeutung hat. Wie in allen empirischen Analysen unterliegt es vor allem der Aufgabe der Analysten, die theoretischen sowie methodischen Restriktionen bei der Interpretation zu berücksichtigen und daraus richtige Schlüsse zu ziehen. Trotz aller restriktiven Annahmen des hedonischen Konzepts ist dessen Gehalt für die empirische Analyse in der Immobilienbewertung so groß, dass diese in Kauf genommen werden.<sup>102</sup> Die maßgebendsten Vorteile des hedonischen Konzepts sind dessen Replizierbarkeit sowie deren großflächige Anwendbarkeit auf einen gesamten Teilmarkt.<sup>103</sup> In der großflächigen Anwendbarkeit des Konzeptes liegt vor allem dessen Perspektive, welche bis dato bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist. Die mangelnde Ausschöpfung ist vor allem auf zwei Faktoren zurückzuführen. Dabei beruht der erste Faktor auf den Rechenkapazitäten der EDV Systeme, welche sich erst in den letzten Jahrzehnten so gesteigert haben, dass eine Analyse mit umfangreichem Datenmaterial auf breiter Ebene möglich wurde. Durch die rasante Entwicklung am EDV Sektor erschlossen sich nicht nur in der Analyse, sondern auch in der Datenerhebung

---

<sup>101</sup> Vgl. Trolf, Norbert (2009) S. 71 ff

<sup>102</sup> Vgl. Trolf, Norbert (2009) S. 81 f

<sup>103</sup> Vgl. Immobilienpreis.ch (2010)

und dessen Möglichkeiten neue Perspektiven. Auf die Perspektiven und die Möglichkeiten der Datenerhebung sowie dessen Umfang ist der zweite Faktor zurückzuführen. Dieser ist bis dato auch bei weitem noch nicht ausgeschöpft, da die diversen Datenbanken laufend erweitert und ergänzt werden. Vor allem in Verbindung mit Geoinformationssystemen sowie im Hinblick auf die lokale, sprich räumliche, Statistik ergeben sich ungeahnte Perspektiven für das hedonische Konzept.

## II. „GEOGRAPHICALLY WEIGHETED REGERSSION“ GWR

Die „geographically weigheted regression“ kurz GWR baut auf dem von Burndson, Fortheringham und Charlton verfassten Gerüst von Ansätzen auf, welche in einer Reihe von wissenschaftlichen Artikeln im Zeitraum von 1996 bis 1999 veröffentlicht wurden. Die Artikel von Burndson, Fortheringham und Charlton beruhen auf dem 1972 und später weiter verfolgten Ansatz von Casetti, die Regression um einen geographischen Lagebezug zu erweitern. Dabei entstand im Rahmen einer Forschungskoooperation von Burndson, Fortheringham und Charlton die GWR. Die GWR ist als ein Spezialfall der lokal gewichteten Regression zu sehen, welche von Cleveland und Devlin 1988 entwickelt wurde und bereits 1996 von McMillen für Studien über den Immobilienpreis verwendet wurde.<sup>104</sup> Während der Schwerpunkt der lokal gewichteten Regression auf der Schätzung und Vorhersage der Kurvenanpassung liegt, liegt der Schwerpunkt der GWR in der Ableitung von Schlussfolgerungen aus den Beziehungen der räumlich variierenden Parameter. Basierend auf diesen Schwerpunkt wurde die GWR in der lokalen Statistik zur Analyse von „Räumlich Richt-Stationärer“ Beziehungen in den Parametern eingeführt. Gerade in der Analyse von „Räumlich Nicht-Stationärer“ Beziehungen und in der Ableitungsmöglichkeit von Schlussfolgerungen aus diesen Beziehungen liegt der große Vorteil der GWR. Dieser Vorteil der GWR gegenüber der lokal gewichteten Regression, beruht auf ihrem innovativen Ansatz, nur jene lokal begrenzte Teilmenge der Beobachtungspunkte zur Modellkalibration heranzuziehen, welche geographisch gesehen am nächsten zum Kalibrationspunkt liegt wie in Punkt 1.1 verdeutlicht wird.<sup>105</sup> Diesem Vorteil stehen jedoch die üblichen Probleme der Regression gegenüber. Typisch für die GWR ist dabei vor allem die Kollinearitätsproblematik in Verbindung mit extremen Parametern sowie der Findung eines adäquaten Umfanges für die lokal begrenzte Teilmenge zum Kalibrationspunkt. Ein weiterer Aspekt ist die räumliche Autokorrelation.<sup>106</sup> Die allgemeine Ableitung der GWR aus seiner multiplen linearen Regression wird in Punkt 1 und Punkt 1.1 veranschaulicht.

---

<sup>104</sup> Vgl. Geniaux, Ghislain; Ay, Jean-Sauveur; Napoléone, Claude (2011) S. 970 f

<sup>105</sup> Vgl. Fischer, Manfred M.; Getis, Arthur; Fischer, Manfred M.; Getis, Arthur (eds.) (2010) S. 461

<sup>106</sup> Vgl. Geniaux, Ghislain; Ay, Jean-Sauveur; Napoléone, Claude (2011) S. 972

## 1. Theorie und Methodik

Wie in Kapitel I Punkt 1.1.2 dargestellt, kann die hedonische Preisfunktion in eine globale multiple lineare Regression der Formel 2.01 übergeführt werden.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \quad (2.01)$$

In einer multiplen linearen Regression wie in Formel 2.01, wird  $y$  allgemein als die abhängige oder erklärende Variable bezeichnet, wobei  $x$  mit  $j$  indiziert werden kann und  $x_j$  somit als die  $j$ -te unabhängige oder erklärte Variable definiert ist. Der Parameter  $\beta$  kann ebenfalls mit  $j$  indiziert werden, wobei  $\beta_j$  somit als der  $j$ -te zu schätzende Koeffizient oder auch Parameter der Regression zu sehen ist. Der Index  $j$  stellt in diesem Zusammenhang die  $j$ -te Ausprägung eines Beobachtungspunktes dar, der auf tatsächlich in der Realität gemessenen Daten beruht, wobei  $j = (1, 2, \dots, p)$  ist. Die Regressionskonstante  $\beta_0$  gibt den Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der  $y$  Achse an. Ziel der Regression in diesem Fall ist es, die unbekannt Parameter  $\beta$  zu schätzen. Ein Modell der Formel 2.01 unterscheidet bei der Schätzung der Parameter  $\beta_j$  jedoch nicht, von welcher räumlichen bzw. geographischen Position aus die Schätzung durchgeführt wird. Die Parameter sind somit konstant über den Beobachtungsraum verteilt, egal auf welcher räumlichen Position die Schätzung erfolgt. Die Verteilung der Parameter ist somit stationär über den Raum und weist keine Variation auf, egal auf welcher Position  $y$  erklärt wird. Die Formel 2.01 stellt den Fall einer einzelnen Beobachtung zur Beschreibung der unabhängigen Variable  $y$  dar, wie er klassisch für die Erklärung der Regression verwendet wird. Dieser Fall ist jedoch in der Praxis meist nicht anzutreffen, da in der Regel mehrere Beobachtungen der Grundgesamtheit vorhanden sind. Um dieser Tatsache gerecht zu werden, erfolgt in der Formel 2.02 eine Indexierung der Formel 2.01 mit  $i$ , wobei  $i = (1, 2, \dots, n)$  ist.<sup>107</sup>

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (2.02)$$

Im Zuge dieser Indexierung erfolgt in Formel 2.02 ebenfalls eine Zusammenfassung der zuvor indizierten unabhängigen Variablen und Parameter  $j$  zu  $k$ , wobei die Regression auch noch um den Störfaktor oder Störterm  $\varepsilon_i$  erweitert wird. Daraus resultiert in Formel 2.02 die allgemein bekannte Notation einer globalen multiplen linearen Regression mit gleich gewichteten Parametern für die  $i$ -te Beobachtung. In diesem Fall stellt  $\beta_k$  den Parameter der  $k$ -ten erklärenden Variable dar, sowie  $x_{ik}$  die  $k$ -te erklärende

---

<sup>107</sup> Vgl. Chow, Lee-fang; Zhao, Fang; Liu, Xuemei; et al. (2005) S. 14 f

Variable verbunden mit der  $i$ -ten Beobachtung und  $\varepsilon_i$  den Störterm ebenfalls verbunden mit der  $i$ -ten Beobachtung.<sup>108</sup>

## 1.1 Grundlegende Methodik GWR

Die GWR basiert auf dem Ansatz der traditionellen globalen multiplen linearen Regression wie in Punkt 1 dargestellt, jedoch mit dem entscheidenden Unterschied, dass grundlegende Ansatzweiterungen und Annahmen getroffen werden. Ein zentraler Ansatz dieser Erweiterung ist, dass bei der GWR ein geographischer Positions- bzw. Lagebezug eingeführt und angenommen wird. Ausgehend von Formel 2.01 welche den Fall einer globalen multiplen linearen Regression mit einer einzelnen Beobachtung darstellt, erfolgt in Formel 2.03 die grundlegende Erweiterung des Ansatzes, auf dem die GWR aufbaut, nämlich die Einführung des geographischen Lage- und Positionsbezugs. Die Schätzung des Parameters  $\beta_j$  ( $j = 0, 1, \dots, p$ ) stellt somit nicht länger eine konstante Funktion über den Beobachtungsraum dar, sondern ist als eine kontinuierliche Schätzung der Funktion  $\beta_j(u, v)$  an einem geographisch definierten Punkt  $i = (1, 2, \dots, n)$ . Wobei  $i$  in  $(u_i, v_i)$  der Funktion  $\beta_j(u_i, v_i)$  die  $i$ -te Beobachtung der Parameter definiert. Die Parameter  $\beta_j(u, v)$  weisen einen geographischen Lagebezug auf, welcher sich aus dem geographischen Koordinatenpaar  $(u, v)$  ergibt. Das geographische Koordinatenpaar  $(v, u)$  definiert sich aus den Koordinaten der östlichen Länge  $u$  und der nördlichen Breite  $v$ .<sup>109</sup> Die lokalen Parameter der GWR sind somit nicht länger räumlich stationär wie die globalen Parameter in der multiplen linearen Regression in Punkt 1.

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i)x_1 + \beta_2(u_i, v_i)x_2 + \dots + \beta_p(u_i, v_i)x_p \quad (2.03)$$

In der Formel 2.03 wurde zunächst der Fall einer einzelnen Beobachtung angenommen, sowie dass die lokalen Parameter  $\beta_j$  jeweils auf einem Beobachtungspunkt  $j$  der  $i$ -ten Beobachtung liegen.<sup>110</sup> Die Formel 2.03 wird mit Formel 2.04 an die Tatsache so wie in Punkt 1 angepasst, dass in der Regel nicht nur eine Beobachtung geschätzt wird. Im Zuge dieser Anpassung erfolgt ebenfalls wieder die Indexierung der Beobachtungen mit  $i$ , wobei jedoch in diesem Fall die Beobachtung  $i$  nicht mehr zwingend mit einem Beobachtungspunkt  $j$  gleichzusetzen ist, wie später in Punkt 1.1.1 verdeutlicht wird.

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (2.04)$$

<sup>108</sup> Vgl. Chow, Lee-fang; Zhao, Fang; Liu, Xuemei; et al. (2005) S. 15 f

<sup>109</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 61

<sup>110</sup> Vgl. Chow, Lee-fang; Zhao, Fang; Liu, Xuemei; et al. (2005) S. 15

Aus den Ausführungen der Formel 2.03 kann zum Teil schon darauf rückgeschlossen werden, dass die Schätzung lokaler Parameter im Beobachtungsraum auch für Punkte möglich ist, denen keine in der Realität gemessenen Datenpunkte zugrunde liegen, wie später noch deutlich in Punkt 1.1.1 dargestellt wird. Aufgrund solcher Punkte ist es möglich, kontinuierliche Flächen von Parameterwerten zu erstellen und durch Schätzungen an definierten Punkten die räumliche Variabilität des Beobachtungsraumes zu zeigen. Durch die Möglichkeit von relativ vielen Unbekannten in Formel 2.04 kann die Kalibration der Regressionsgleichung problematisch werden. Doch wie schon zuvor angedeutet wird bei der GWR angenommen, dass die Parameter nicht zufallsverteilt sind, sondern dass sie eine deterministische Funktion  $\beta_k(u_i, v_i)$  der geographischen Lage sind. Durch diese Annahme ist es möglich, eine Regression mit relativ vielen Unbekannten zu kalibrieren und Parameter mit nur geringen Verzerrungen zu schätzen. Eine verzerrungsfreie Schätzung, also erwartungsgetreue Parameter, sind deshalb jedoch auch nicht möglich. Kern der Kalibration ist, dass angenommen wird, dass die Parameter einen gewissen Grad an räumlicher Stetigkeit zeigen. Folglich kann ein Parameter an einem bestimmten geographisch definierten Punkt  $i$  mit Formel 2.04 geschätzt werden, indem Formel 2.02 auf eine lokale begrenzte Teilmenge der Beobachtungspunkte, welche nahe zu  $i$  liegen, angewandt wird. Auf diese Weise wird  $\beta_k(u_i, v_i)$  wie allgemein üblich geschätzt und für weitere Punkte  $i$  werden fortlaufend immer die am nächsten liegenden lokalen Beobachtungspunkte zur Schätzung verwendet. Die so resultierenden Parameterschätzer weisen immer ein gewisses Maß an Verzerrung auf, da die Parameter der Formel 2.04 immer eine gewisse Streuung über die lokale Teilmenge zeigen. Wenn jedoch die lokale Teilmenge der Beobachtungspunkte groß genug ist, ist eine Kalibration auch mit verzerrten Parametern möglich. Je größer der Umfang der lokalen Teilmenge der Beobachtungspunkte ist, desto kleiner ist der Standardfehler der geschätzten Parameter. Jedoch muss dies wiederum der Tatsache gegenübergestellt werden, dass bei einer Vergrößerung der Teilmenge der Beobachtungspunkte die Chance einer Verzerrung dieser steigt. Somit kann der Kalibrationsprozess als ein Kompromiss zwischen Verzerrung und Standardfehler gesehen werden.<sup>111</sup>

### 1.1.1 Gewichtungsmatrix

Die Notwendigkeit der Gewichtungsmatrix resultiert aus der Verzerrung der Parameter, welche auf eine große oder zu große Teilmengen von lokalen Beobachtungspunkten für den Punkt  $i$  zurückzuführen ist. Um diesen Effekt zu reduzieren wird der Ansatz der Formel 2.04 um die zuvor schon angedeutete Annahme erweitert, dass Beobachtungspunkte der lokalen Teilmenge, welche geographisch gesehen näher bei  $i$  liegen, einen größeren Einfluss auf die Schätzung von  $\beta_k(u_i, v_i)$  ausüben als Beobachtungspunkte der lokalen Teilmenge, welche weiter entfernt liegen. Diese Annahme der Gewichtung basiert im weitesten Sinne auf Toblers erstem Gesetz der Geographie - welches besagt:

---

<sup>111</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 52 f

*"Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things."*<sup>112</sup>

Ausgehend von diesem Gesetz wird angenommen, dass Beobachtungspunkte in der Teilkalibrationsmenge, welche relativ weit von  $i$  entfernt liegen, mit großer Wahrscheinlichkeit unterschiedliche Parameterwerte aufweisen. Dieses Erkenntnis wird in der Gewichtungsmatrix mittels einer gewichteten Kalibration umgesetzt, indem Beobachtungspunkte, welche näher am Punkt  $i$  liegen, ein größerer Einfluss auf den Kalibrationsprozess zugeordnet wird. Dabei stellt die Gewichtungsmethode der "weighted least squares" die Basis zum Verständnis der Gewichtungsmatrix dar. In der Gewichtungsmatrix werden die Beobachtungspunkte der lokalen Teilmenge entsprechend ihrer geographischen Nähe zum Punkt  $i$  gewichtet, sodass die Gewichtung der Beobachtungspunkte nicht mehr konstant innerhalb des Kalibrationsprozesses ist, sondern mit  $i$  variiert. Daraus resultiert, dass Beobachtungspunkte nahe  $i$  stärker gewichtet werden als Beobachtungspunkte weiter entfernt. Die Implementierung der Parametergewichtung in Formel 2.04 erfolgt mittels Gewichtungsmatrix sowie der damit verbundenen Gewichtungsfunktion wie anschließend erörtert.<sup>113</sup>

Die Parameter  $\beta$  der Formel 2.04 werden zum Zweck der Gewichtung in Formel 2.05 in Matrixform dargestellt.

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0(u_1, v_1) & \beta_1(u_1, v_1) & \dots & \beta_k(u_1, v_1) \\ \beta_0(u_2, v_2) & \beta_1(u_2, v_2) & \dots & \beta_k(u_2, v_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_0(u_n, v_n) & \beta_1(u_n, v_n) & \dots & \beta_k(u_n, v_n) \end{bmatrix} \quad (2.05)$$

Ein einzelner Beobachtungspunkt setzt sich jeweils aus einer vollständigen Matrixreihe der Matrix der Formel 2.05 zusammen. Dabei werden die partiellen Parameter  $\beta_k$  für jede unabhängige Variable mit  $\hat{\beta}_{(i)}$  wie in der Gleichung der Formel 2.06 geschätzt.<sup>114</sup>

$$\hat{\beta}_{(i)} = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) y \quad (2.06)$$

In der Gleichung der Formel 2.06 repräsentiert  $i$  eine Reihe der Matrix der Formel 2.05, sowie  $W(u_i, v_i)$  definiert die Form einer  $n$  mal  $n$  Matrix wie in Formel 2.07, wobei  $W(u_i, v_i)$  zu  $W_{(i)}$  reduziert wird.<sup>115</sup>

<sup>112</sup> Tobler, Waldo (1970) S. 234 ff

<sup>113</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 53 f

<sup>114</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 53 f

<sup>115</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 53 f

$$W(i) = \begin{bmatrix} w_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_{i2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & w_{in} \end{bmatrix} \quad (2.07)$$

Zur Schätzung der Parameter der Formel 2.07 wird jedoch eine abgewandelte Methode der „weighted least squares“, kurz *WLS* Schätzung, verwendet. Die Abwandlung der *WLS* Methode erfolgt mittels einer variierenden Gewichtungsmatrix wie in Formel 2.0.7, bei der die Gewichte der Matrix in Abhängigkeit der Lage des Punktes  $i$  zu den Beobachtungspunkten  $j$  ermittelt werden. Die Gewichtungsmatrix muss aus diesem Grund für jeden Punkt  $i$  einzeln berechnet werden und die daraus resultierenden Gewichte zeigen die Nähe der Beobachtungspunkte  $j$  zum Punkt  $i$ , welcher auch als Regressionspunkt  $i$  bezeichnet wird. Aus dieser Gewichtung ergibt sich wiederum, die Beziehung der anderen Beobachtungspunkte zum Punkt  $i$ . Diese abgewandelte Methode der *WLS* Schätzung wird auch als „local weighted least squares“ Schätzung, kurz *LWLS* bezeichnet. Die Gewichtungsmatrix zeigt somit die Beziehungen auf, welche anschließend in Punkt 1.1.2 unter Zuhilfenahme der Gewichtungsfunktion als funktionale Beziehungen modelliert werden.

Aus Formel 2.05 und der Formel 2.06 ergibt sich, dass kein Grund vorhanden ist, dass der Regressionspunkt  $i$  dieselbe räumliche Lage wie ein Beobachtungspunkt  $j$  haben muss. Daraus resultiert, wie schon zuvor angedeutet, dass die partiellen lokalen Regressionskoeffizienten  $\beta_k$  für jede beliebige Stelle im Beobachtungsraum errechnet werden können, egal ob dieser Stelle eine Beobachtung zugrunde liegt oder nicht. Lokale Residuen sind jedoch nur für Beobachtungspunkte  $j$  verfügbar. Sprich es ist mittels der GWR möglich eine Rasteroberfläche des Einflusses der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable im Falle der Arbeit den Quadratmetermieten zu interpolieren.<sup>116</sup>

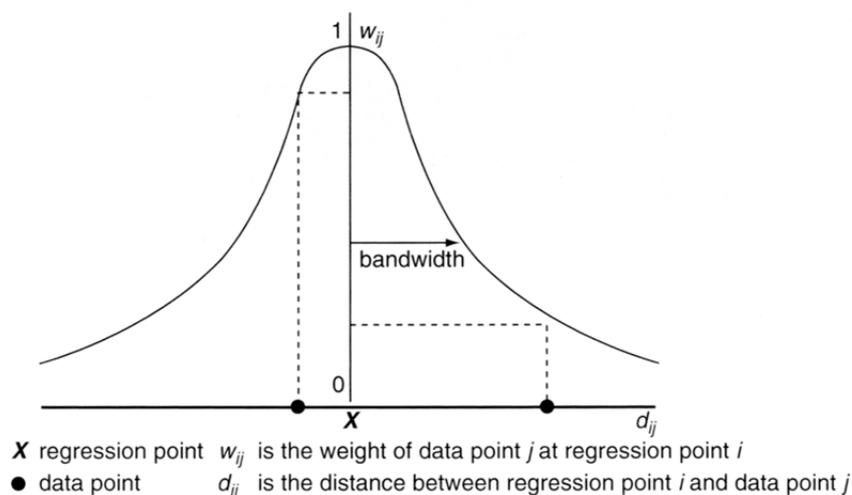
### 1.1.2 Gewichtungsfunktion

In Punkt 1.1.1 wurde aufgezeigt, dass  $W(u_i, v_i)$ , welches zu  $W_{(i)}$  generalisiert wurde, ein Gewichtungsschema der lokale begrenzte Teilmenge des näheren Umfeldes des Punktes  $i$  zu den tatsächlichen Beobachtungspunkten  $j$  um  $i$  herum in Matrixform darstellt, ohne jedoch explizit die funktionellen Beziehungen zwischen  $i$  und  $j$  eingehend zu erörtern. Gerade diese funktionellen Beziehungen und deren Abgrenzungen sind äußerst problematisch, da sie innerhalb der lokal begrenzten Teilmenge der Beobachtungspunkte nicht kontinuierlich sind. Diese Diskontinuität beruht auf der Tatsache, dass die lokale begrenzte Teilmenge des näheren Umfeldes des Punktes  $i$  je nach geographischer Lage der Stichprobe variiert. Diese Variation ist wiederum auf eine nicht kontinuierliche Verteilung der Beobachtungspunkte zurückzuführen. Zum besseren Verständnis der weiteren Ausführungen wird kurz der Definition in Punkt 1.2 vorgegriffen, in der die lokal begrenzte Teilmenge der

<sup>116</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 54

Beobachtungspunkte detailliert als Beobachtungsbandbreite definiert wird. Um der Problematik der Diskontinuität bei der Schätzung gerecht zu werden, wird versucht mittels verschiedener Funktionen eine bestmögliche Anpassung an diesen Sachverhalt zu finden. Diese Funktionen werden aus dem englischen kommend auch als „kernel“ bezeichnet, klassische Kerndichteschätzungen in der GWR sind die adaptive „Bi-quadrat Funktion“ und die adaptive „Gaussain Funktion“. Grundintention dieser Kernfunktionen ist, wie in Abbildung 1 ersichtlich,  $w_{ij}$  in eine kontinuierliche Funktion der euklidischen Distanz  $d_{ij}$  zwischen  $i$  und  $j$  zu transformieren, sowie die Anzahl der Beobachtungspunkte  $j$  zu begrenzen.<sup>117</sup>

**Abbildung 1: Gewichtungsfunktion**



Quelle: Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 44

Zur Transformation und Begrenzung wurden in der Arbeit sowohl die adaptive „Bi-quadrat Funktion“ als auch die adaptive „Gaussain Funktion“ verwendet. Wobei sich die adaptive „Bi-quadrat Funktion“ aus Formel 2.08, der euklidischen Distanz zwischen  $i$  und  $j$  also  $d_{ij}$  sowie  $\theta_{ik}$  der adaptiven Beobachtungsbandbreite der  $k$ -ten am nächsten liegenden Nachbarpunkte definiert.<sup>118</sup>

$$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \frac{d_{ij}^2}{\theta^2}\right)^2 & d_{ij} < \theta_{i(k)} \\ 0 & d_{ij} > \theta_{i(k)} \end{cases} \quad (2.08)$$

Die Grundintention der lokalen Regression ist, das Gewichtungsschema nur auf das nähere Umfeld des Regressionspunktes  $i$  zu begrenzen und Beobachtungspunkte, die außerhalb einer bestimmten Distanz  $d$  liegen, von der Modellkalibration für Punkt  $i$  auszuschließen. Dieser Ausschluss erfolgt mittels der Funktionsannahme der Formel 2.08 die Gewichtung gleich Null zu setzen, wenn  $d_{ij}$  größer als die

<sup>117</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 56 f

<sup>118</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki (2012) S. 23

adaptive Beobachtungsbandbreite der  $k$ -ten am nächsten liegenden Nachbarpunkte ist. Wie zuvor bereits erwähnt, resultiert aus dieser scharfen Abgrenzung die Problematik der Diskontinuität, um dieser entgegenzuwirken wird eine adaptive „Gaussain Funktion“ angewendet.<sup>119</sup> Wobei sich die adaptive „Gaussain Funktion“ wie folgend in Formel 2.09 aus der euklidischen Distanz zwischen  $i$  und  $j$  also  $d_{ij}$  sowie  $\theta_{ik}$  der adaptiven Beobachtungsbandbreite der  $k$ -ten am nächsten liegenden Nachbarpunkte definiert.<sup>120</sup>

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{\theta_{i(k)}^2}\right) \quad (2.09)$$

Wenn  $i$  und  $j$  deckungsgleich sind, ist die Gewichtung der Daten an diesem Punkt gleich eins und die Gewichtung von allen anderen Beobachtungspunkten  $j$  nehmen anhand einer Gaussainkurve wie in Abbildung 1 je nach Vergrößerung der Distanz zwischen  $i$  und  $j$  ab. Diese Abnahme geht soweit, bis die inkludierten Beobachtungspunkte  $j$  minimal und somit unbedeutend werden. Durch diese kontinuierliche Abnahme werden Beobachtungspunkte  $j$ , welche weit von  $i$  entfernt liegen, gleich virtuell Null gesetzt und somit quasi von der Modellkalibration für Punkt  $i$  ausgeschlossen. Durch diese Minimalsetzung sowie die virtuelle Null Setzung wird ein sogenannter sanfterer „cut off“ erzeugt als bei der „Bi-quadrat Funktion“.<sup>121</sup>

Die Wortbeifügung adaptiv sowohl in der „Gaussain“ als auch in der „Bi-quadrat Funktion“ bringt zum Ausdruck, dass die Beobachtungsbandbreite je nach Anzahl der im näheren Umfeld liegenden Beobachtungspunkte variiert. Es wird somit der unterschiedlichen Verteilung der Beobachtungspunkte Genüge getan, spricht der Beobachtungsraum wird in Gegenden mit hoher Beobachtungsdichte verkleinert und in Gegenden mit niedriger Beobachtungsdichte vergrößert. Diese Variation kann durch drei verschiedene Methoden erreicht werden, wobei in der Praxis die beiden Methoden der „rank distance“ sowie die Methode der „nearest neighbors“ am häufigsten verwendet werden. Da in der Arbeit die Methode der „nearest neighbors“ verwendet wurde, beschränkt sich die nachfolgende Erklärung auch nur auf diese. Die adaptive Form der „Bi-quadrat“ sowie „Gaussain Funktion“ stellt im Grunde nur eine Erweiterung der Funktionsannahme der jeweiligen Funktion wie in Formel 2.08 und Formel 2.09 dargestellt dar. Im Zuge der Erweiterung wird wie in Formel 2.10  $k$  in die Modellkalibration miteinbezogen, wobei  $k$  die Nummer der Beobachtungspunkte  $j$  je Regressionspunkt  $i$  darstellt. Die Beobachtungspunkte werden auch in diesem Fall durch die Gewichtungsfunktion gewichtet, wobei diese

<sup>119</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 57

<sup>120</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki (2012) S. 23

<sup>121</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 56 f

jeden Beobachtungspunkt  $j$  bis zum  $k$ -ten nächsten Nachbar definiert und Beobachtungspunkte  $j$ , die darüber hinausgehen, funktionsabhängig gleich virtuell Null oder Null setzt.<sup>122</sup>

$$w_{ij} = \exp\left(\frac{-d_{ij}^2}{\theta_{i(k)}^2}\right) \text{ if } j \text{ is one of the } k \text{ th nearest neighbours of } i \text{ and } \theta_{i(k)} \text{ is}$$

the adaptive distance to the  $k$  th nearest neighbor

(2.10)

= virtual zero otherwise

In annähernd derselben Weise wie für die adaptive „Gaussain Funktion“ erfolgt auch die Funktionsannahme für die adaptive „Bi-quadrat Funktion“, wie in Formel 2.11 zu sehen ist, jedoch mit dem Unterschied, dass Werte außerhalb der Funktionsannahme nicht gleich virtuell Null gesetzt werden, sondern gleich Null.<sup>123</sup>

$$w_{ij} = \left(\frac{1-d_{ij}^2}{\theta_{i(k)}}\right)^2 \text{ if } j \text{ is one of the } k \text{ th nearest neighbours of } i \text{ and } \theta_{i(k)} \text{ is the}$$

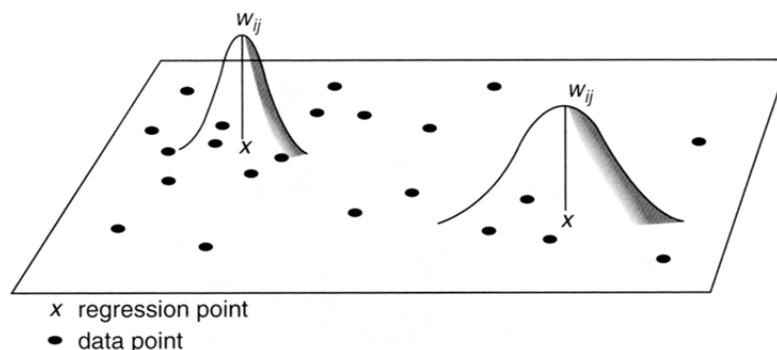
adaptive distance to the  $k$  th nearest neighbor

(2.11)

= 0 otherwise

Um die Funktionsweise der adaptiven Funktionen sowie die unterschiedliche Verteilung der Beobachtungspunkte im Falle der Abbildung 2 der „Data points“ zu veranschaulichen, wurde diese graphische Darstellung in die Arbeit aufgenommen.<sup>124</sup>

**Abbildung 2: Adaptive Gewichtungsfunktion**



Quelle: Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 47

<sup>122</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 57 f

<sup>123</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 58

<sup>124</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 68  
Nakaya, Tomoki (2012) S. 23

Im Normalfall, wenn die Beobachtungspunkte nicht zu extrem verteilt sind sowie die Beobachtungswerte ebenfalls nicht zu extrem variieren, ist eine adaptive „Bi-quadrat Funktion“ zur bestmöglichen Anpassung an die Situation ausreichend. In Extremfällen der linearen GWR, bei denen die Eingangswerte sowie die Ausgangswerte ein extremes Ungleichgewicht aufweisen, ist eine „Bi-quadrat Funktion“ zur bestmöglichen Anpassungsbeschreibung der Situation nicht mehr ausreichend und es muss stattdessen auf eine adaptive „Gaussain Funktion“ zurückgegriffen werden, um eine bestmögliche Anpassung an die Situation zu erreichen.<sup>125</sup>

## 1.2 Beobachtungsbandbreite

Aufbauend auf den Ausführungen der Gewichtungsmatrix in Punkt 1.1.1 sowie der Gewichtungsfunktion mit den unterschiedlichen Kernen in Punkt 1.1.2 entsteht der Eindruck, dass die Ergebnisse der GWR fast ausschließlich auf diesen Elementen beruhen. Jedoch würde man mit dieser Annahme einem fatalen Irrtum aufliegen, da man das Kernelement der GWR, auf welchem diese Elemente aufbauen, außer Acht lassen würde. Das Kernelement der GWR, welches indirekt bei der Gewichtungsmatrix und später direkt bei den Kernen der Gewichtungsfunktion angesprochen wurde, ist die Beobachtungsbandbreite. Die Beobachtungsbandbreite kann graphisch am besten anhand der Abbildung 1 erörtert werden und ist als die maximale Ausdehnung der Kerngewichtungsfunktionskurve für jeden Regressionspunkt  $i$  zu sehen. Die Definition der maximalen Ausdehnung der Kerngewichtungsfunktion, sprich der Beobachtungsbandbreite, kann anhand der Distanz sowie anhand der Anzahl der Beobachtungspunkte erfolgen. Wenn die Begrenzung der Kerngewichtungsfunktion anhand der Distanz erfolgt, wird im Allgemeinen die Beobachtungsbandbreite mit  $\theta$  bezeichnet und es handelt sich um einen fixen Beobachtungsradius. Wird jedoch die Kerngewichtungsfunktion anhand der Anzahl der Beobachtungspunkte begrenzt, handelt es sich im Allgemeinen um einen adaptiven Beobachtungsradius und die Beobachtungsbandbreite wird mit  $\theta_{ik}$  bezeichnet.<sup>126</sup> Im Fall der Arbeit kommt die Anzahl der Beobachtungspunkte zur Anwendung, welche auf der Methode der adaptiven Kerngewichtungsfunktion der „nearest neighbours“ basiert. Somit definiert sich die Bandbreite der Beobachtungen  $j$  respektive die Beobachtungsbandbreite aus der Anzahl der dem Regressionspunkt  $i$  am nächsten liegenden  $k$ -ten Nachbarpunkte, welche innerhalb der adaptiven Ausdehnung der Kerngewichtungsfunktionskurve liegen. Die adaptive Ausdehnung der Kerngewichtungsfunktionskurve wiederum ergibt sich aus der Anzahl der zuvor definierten  $k$ -ten Nachbarpunkte, welche dem Regressionspunkt  $i$  am nächsten liegen. Die Anzahl der zuvor definierten  $k$ -ten Nachbarpunkte, welche dem Regressionspunkt  $i$  am nächsten liegen, definiert sich aus einer fixen Anzahl der  $k$ -ten Nachbarpunkte, welche für jeden Regressionspunkt  $i$  konstant ist.<sup>127</sup> Diese fixe Anzahl von Nachbarpunkten, wird mittels den in Punkt 1.2.1 genannten Methoden ermittelt. Das Prinzip der

---

<sup>125</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki (2012) S. 23

<sup>126</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki (2012) S. 24 f

<sup>127</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 57 f

Adaptivität resultiert somit, aus den unterschiedlichen Verteilungsdichten der Beobachtungspunkte  $j$ , welche sich bei konstanter Anzahl der Nachbarpunkte  $k$  für jeden Regressionspunkt  $i$  in einer unterschiedlichen Ausdehnung der Kerngewichtungsfunktionskurve ausdrückt. Die Wahl der adäquaten Beobachtungsbandbreite stellt somit das entscheidende Element der Beeinflussung auf die Ergebnisse der GWR dar. Im Grunde kann die Beobachtungsbandbreite als Betrachtungsmaßstab und Glättungsparameter in der GWR gesehen werden, welcher bei großer Ausdehnung sanftere Übergänge und eine glattere Ergebnisverteilung liefert. Ein Modell mit extremen Glättungsparametern liefert eine Ergebnisverteilung mit entweder annähernd gleichen Werten über die Beobachtungsfläche und kaum erkennbaren räumlichen Mustern, oder Werte, die so stark differieren, dass es überhaupt schwierig ist, ein klares räumliches Muster darin zu erkennen. Eine adäquate Beobachtungsbandbreite entspricht dem Mittel dieser Extreme.<sup>128</sup> Bei der Findung der Beobachtungsbandbreite sollte man folgende zwei Grundsätze beachten, welche um einen dritten Grundsatz erweitert werden können, der sich im Zuge der Arbeit klar herausstellte:

- *“Too small a bandwidth leads to a large variance in the local estimates because of the relatively small number of data points used in the local calibration;*
- *Too large a bandwidth leads to large bias in the local estimates because data are drawn from locations further away from regression point;”<sup>129</sup>*
- A Small bandwidth leads to a higher potential of collinearity among the independent variables

Der Zusammenhang der Beobachtungsbandbreite mit dem Ausmaß der Korrelation ist im Grunde eine logische Schlussfolgerung des ersten Grundsatzes, welche im Zuge der Arbeit zum Tragen kam und im gewissen Maße in Widerspruch mit den im Moment verwendeten Standardselektionsmethoden der Beobachtungsbandbreite in Punkt 1.2.1 steht. Genauer wird darauf in Kapitel V Punkt 1.2 eingegangen, in dem diese Erkenntnis eingehend erörtert und verdeutlicht wird. Eine zu kleine Beobachtungsbandbreite birgt im Weiteren die Gefahr, dass keine gewissenhaften Aussagen getroffen werden können, da eine zu kleine Anzahl von Beobachtungspunkten in die Analyse miteinbezogen wurde. Jedoch nicht nur eine zu kleine Beobachtungsbandbreite birgt Gefahren, sondern auch eine zu große Wahl der Beobachtungsbandbreite, da in diesem Fall die Verzerrungseffekte stark zunehmen, da Punkte miteinbezogen werden, welche nicht mehr derselben räumlichen Gruppierung angehören. Um dies zu verhindern und eine adäquate Beobachtungsbandbreite zu ermitteln, kommen verschiedene Kriterien sowie Methoden zur Anwendung.

---

<sup>128</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 211

<sup>129</sup> Fotheringham, A Stewart; Rogerson, P A (2009) S. 247

### 1.2.1 Selektionskriterium und Selektionsmethode

Die verwendete Softwarelösung bietet vier unterschiedliche Indikatoren als Selektionskriterium der Beobachtungsbandbreite an. Zu diesen vier Indikatoren gehören die Kennzahlen des Bayesian Information Criterion  $BIC$ , die Cross Validation  $CV$  sowie die beiden verwandten Kennzahlen des  $AIC$  und  $AIC_c$ , wobei die Option des  $CV$  Indikators nur bei der Verwendung eines „Gaussian Kerns“ angewendet werden kann.<sup>130</sup> Als Selektionskriterium der Beobachtungsbandbreite wurde der Indikator des  $AIC_c$  gewählt, welcher sich wie in der Einleitung in Punkt 4.3.4 definiert. Der Indikator des  $AIC_c$  als Selektionskriterium der Beobachtungsbandbreite weist den Vorteil gegenüber dem  $BIC$  und  $CV$  auf, dass er nicht auf Vorhersagen von geschätzten Variablen beruht. Der  $AIC_c$  basiert stattdessen auf der Minimierung des Schätzfehlers der vorhergesagten Variablen. Dadurch kann der  $AIC_c$  als ein Kompromiss zwischen Anpassungsgüte und Modellkomplexität gesehen werden, bei dem auch die effektive Anzahl der Parameter Berücksichtigung findet.<sup>131</sup> Im Weiteren hat der Indikator des  $AIC_c$  den Vorteil, dass er in der GWR auch als Maß für die relative Modellgüte Anwendung findet und somit ein direkter Vergleich zwischen Beobachtungsbandbreite und Modellgüte leichter möglich ist. Da der  $AIC_c$  jedoch auf der Minimierung der Schätzfehler beruht ergibt sich die Gefahr, dass die durch den  $AIC_c$  ermittelte Beobachtungsbandbreite einer Überanpassung entspricht. Das Hauptproblem bei solchen Indikator Minimierungen ist, sicherzustellen, dass diese auch wirklich das globale Minimum der Beobachtungsbandbreite erreicht haben und nicht in ein lokales Minimum gefallen sind.<sup>132</sup> Um dies sicherzustellen, werden für die Selektion mittels Indikatorselektionskriterien zum Teil sehr komplexe Selektionsmethoden angewandt. Die verwendete Softwarelösung bietet hierfür drei Optionen an, den „Golden section search“, bei welchem optional die Minimal und Maximalwerte der Suche benutzerdefiniert festgelegt werden können, sowie die Optionen der Intervallsuche und des benutzerdefinierten Fixwertes. In allen Selektionsmethoden besteht die Optionen, die Suche der Beobachtungsbandbreite aufgrund bestimmter theoretischer Hintergründe sowie aufgrund der Forschungsfrage in einem gewissen Rahmen zu begrenzen oder sogar zu fixieren.<sup>133</sup> Generell wird jedoch empfohlen die Beobachtungsbandbreite immer Anhand einer eingehenden Analyse zu ermitteln oder Anhand wohlüberlegter Grenzen mittels „Golden section search“ zu ermitteln und stets zu hinterfragen, ob das Resultat auch in einem logischen Kontext zur Konzeption der Forschungsfragen und der Realität steht oder stehen kann.

---

<sup>130</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki (2012) S. 22

<sup>131</sup> Vgl. Fischer, Manfred M; Getis, Arthur; Fischer, Manfred M.; Getis, Arthur (eds.) (2010) S. 466

<sup>132</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 203 S. 61

<sup>133</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 211 ff

### 1.3 Prämissen „local weighted least square“ Schätzung

Die in Punkt 1.1.1 genannte *LWLS* Schätzung der GWR beruht weitgehend auf den Prämissen der *WLS* Schätzung, welche wiederum auf den Prämissen der „ordinary least squares“ Schätzung kurz *OLS* genannt beruht. Die *OLS* Schätzung stellt die Basis der beiden Schätzungen dar, wobei diese um die Annahme der Schätzung auf einer lokalen begrenzten Ebene erweitert wurden. Daraus resultiert, dass für die *LWLS* Schätzung dieselben Prämissen wie für die *OLS* Schätzung gelten, jedoch mit der Erweiterung der Annahme der Schätzung auf einer lokalen Ebene. Diese Erweiterung hat vor allem dahingehend Einfluss auf die Prämissen, dass sie nicht mehr nur global, sondern auch lokal zu sehen sind; dies ist vor allem in Punkt e zu beachten. Nichts desto trotz gelten nachfolgende grundlegende *OLS* Prämissen auch für die *LWLS* Schätzung.

- a) *„Der Erwartungswert der bedingten Abweichung (Residualwerte) in der Grundgesamtheit ist für jede Ausprägungskombination der unabhängigen Variablen genau Null*
- b) *Die bedingten Residualwerte einer Ausprägungskombination der unabhängigen Variablen ist von den bedingten Residualwerten aller übrigen Ausprägungskombinationen unabhängig (keine Autokorrelation).*
- c) *Die Streuung der bedingten Residualwerte ist für jede Ausprägungskombination der unabhängigen Variablen gleich (Homoskedastizität).*
- d) *Die unabhängigen Variablen sind unabhängig von den Residualwerten bzw. nicht mit den Residualwerten korreliert. (Nur notwendig wenn die unabhängigen Variablen nicht experimentell kontrolliert werden, sondern ebenfalls anhand der Stichprobe erhoben werden.)*
- e) *Die unabhängigen Variablen sollten nicht perfekt voneinander abhängig (perfekt miteinander korreliert) sein (keine Kollinearität)*
- f) *Die (bedingten) Residualwerte sind normalverteilt.<sup>134</sup>*

Den Prämissen liegen neben der unterschiedlichen Relevanz des Erfüllungsgrades auch unterschiedliche Testverfahren zu Grunde. Nachfolgend wird kurz deren Relevanz sowie der Verweis zur Prüfung der Prämissen, welche im Rahmen der Arbeit durchgeführt wurden, angeführt.

Die Prämisse des Punkts a, dass die Erwartungswerte der Residualwerte Null beträgt, nimmt Bezug auf den Mittelwert der Residualwerte in der Grundgesamtheit. Da diese so wie in der Arbeit in der Regel nicht

---

<sup>134</sup> Ernste, Huib (2011) S. 131 f

bekannt sind, unterbleibt eine Prüfung dieser Prämisse. Die Erfüllung dieser Prämisse ist nur untergeordnet relevant, da von ihr nur die Regressionskonstante betroffen ist und deren Nichterfüllung nur zu einer geringfügigen Verzerrung der Schätzung der Regressionskonstanten führt.

Im Gegensatz dazu zählt die Prämisse des Punkts *b*, die Freiheit von Autokorrelation der Residualwerte zu den zentralen Prämissen der *LWLS* Schätzung. Die Erfüllung dieser Prämisse wird in Kapitel V Punkt 1.6 durch die Globale Moran's *I* Testung geprüft.<sup>135</sup>

Die Homoskedastizitätsprämisse des Punkts *c*, sprich die Streuungsgleichheit der Residuen mit den unabhängigen Variablen, zählt ebenfalls zu den zentralen Prämissen. Die Erfüllung dieser Prämisse wird in Kapitel V Punkt 1.8 durch ein Streudiagramm geprüft.<sup>136</sup>

Die Prämisse *d*, dass keine Korrelation der Residualwerte mit den unabhängigen Variablen existieren sollte, kann ebenfalls zu den untergeordneten Prämissen gezählt werden. Sie wird in der Regel in der Praxis durch die Bedingung vieler unberücksichtigter unabhängiger Variablen, die nicht miteinander korreliert sind und im Einzelnen relativ unbedeutend sind, erfüllt.<sup>137</sup>

Im Gegensatz dazu ist die Prämisse *e*, dass die unabhängigen Variablen nicht miteinander korrelieren sollten, in der Praxis meist nicht gegeben. Aus diesem Grund zählt diese Prämisse nicht nur zu den zentralen Schätzungsprämissen, sondern auch zu den problematischsten Schätzungsprämissen. Wobei im Weiteren vor allem bei der *LWLS* Schätzung zu beachten ist, dass nicht nur auf globale Kollinearität zu prüfen ist, sondern auch auf lokale Kollinearität. Die Prüfung der globalen und lokalen Kollinearität erfolgt im Rahmen der Arbeit in Punkt 1.2.1 und Punkt 1.2.3 in Kapitel V.<sup>138</sup>

Die letzte Prämisse *f*, die Normalverteilung der Residualwerte, ist nur bei der Verwendung von Signifikanztests relevant. Da im Rahmen der Arbeit Signifikanztests zur Anwendung kommen, wird in Kapitel V Punkt 1.7 auf die Normalverteilung der Residuen mittels Histogramm geprüft.<sup>139</sup>

## 1.4 „Mixed GWR“

Die „Mixed GWR“ baut auf den Grundannahmen der GWR auf, jedoch mit der Erweiterung, dass nicht alle unabhängigen Variablen „Räumlich Nicht-Stationär“ sind. Dadurch wird die „Mixed GWR“ der in der Praxis auftretenden Tatsache gerecht, dass bestimmte Charakteristika einen konstanten Einfluss über den Beobachtungsraum ausüben, während andere Charakteristika variieren. Daraus resultiert, dass globale und lokale Ausprägungen je nach Ausprägungsart Eingang in das Regressionsmodell finden. Durch die semiparametrische Gliederung, bei der sowohl global fixierte als auch lokal variierende Variablen miteinbezogen werden, wird die „Mixed GWR“ auch als semiparametrische GWR bezeichnet. Die „Mixed

---

<sup>135</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 147

<sup>136</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 150 f

<sup>137</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 152 f

<sup>138</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 153 f

<sup>139</sup> Vgl. Ernste, Huib (2011) S. 161 ff

GWR“ kann aufgrund ihrer semiparametrischen Gliederung ganz klar in einen lokalen Anfangsterm  $a$  und in einen globalen Endterm  $b$  gegliedert werden.<sup>140</sup>

$$y_i = \sum_{j=1, k_a} a_j x_{ij}(a) + \sum_{l=1, k_b} b_l(u_i, v_i) x_{il}(b) + \varepsilon_i \quad (2.12)$$

Dabei definiert sich diese Gliederung wie in Formel 2.12,  $y_i$  stellt die abhängige Variable am Regressionspunkt  $i$  dar und  $(u_i, v_i)$  bestimmt die geographische Lage der lokalen Parameter. Der lokale Term setzt sich also aus den lokalen Parametern  $b_{k_b} = \{b_1(u, v) \dots b_{k_b}(u, v)\}$  sowie den unabhängigen Variablen  $\{x_{i1}(b) \dots x_{ik_b}(b)\}$ , welche mit dem lokalen Parameter verbunden sind, zusammen. Der globale Term setzt sich umgekehrt aus den globalen Regressionskoeffizienten  $a_{k_a} = \{a_1 \dots a_{k_a}\}$  sowie den unabhängigen Variablen  $\{x_{i1}(a) \dots x_{ik_a}(a)\}$ , welche mit dem globalen Parameter verbunden sind, zusammen. Aus diesen Zusammensetzungen resultiert die Gruppe der  $a$  lokalen und der  $b$  globalen Variablen. Die „Mixed GWR“ ist somit im Grunde ein „Mix“ der zuvor in Punkt 1 dargestellten und erörterten globalen multiplen Regression sowie der lokalen GWR in Punkt 1.1, welche mittels einer 5 stufigen Kalibration geschätzt werden kann.<sup>141</sup>

*“Step 1. For each global regressor, regress the variable with the local regressors using GWR and compute the residuals from the regression.*

*Step 2. Regress the dependent variable with the local regressors using the basic GWR and compute the residuals from the regression.*

*Step 3. and 4. Regress the residuals from Step 3 against the residuals from Step 1 using OLS to obtain the estimated coefficients of the global variables.*

*Step 5. Subtract the global variables with estimated coefficients from the dependent variable and regress the resulted values using basic GWR to obtain the GWR coefficients.”<sup>142</sup>*

## 2. GWR Software

Die Theorie des Ansatzes der GWR wurde – wie bereits in Punkt 1.1 angeführt – von Burndson, Fortheringham und Charlton Ende 1990 im Rahmen einer Forschungskoooperation erarbeitet. Im Rahmen dieser Forschungskoooperation entwickelte das irische Forschungsteam am „National Center of Geocomputation“, kurz NCG, an der „National University of Ireland Maynooth“ neben der Theorie auch

<sup>140</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki (2012) S. 2 f

<sup>141</sup> Vgl. Fortheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002) S. 65

<sup>142</sup> Chow, Lee-fang; Zhao, Fang; Liu, Xuemei; et al. (2005) S. 20

erste Softwareversionen zur Kalkulation der GWR. Basierend auf diesen wurden weitere Versionen entwickelt und die Forschungsk Kooperation wurde auf weitere Universitäten ausgeweitet. Resultat dieser Entwicklungsarbeit sind bis dato zwei "stand alone Softwareversionen" sowie diverse Erweiterungen für das Statistik Softwarepaket der „R environment“. Die Theorie der GWR wurde aber auch von konventionellen Softwareanbietern aufgegriffen und in ihre „Softwarelösungen“ aufgenommen. Ein kurzer Überblick über die diversen „Softwarelösungen“ wird in den nachfolgenden Punkten gegeben, wobei diese bis auf die in der Arbeit verwendeten nur kurz aufgezählt werden.<sup>143</sup>

## 2.1 NCG "stand alone Software"

Die Entwicklung der "stand alone Software" ging vom NCG an der „National University of Ireland Maynooth“ aus und wurde im Rahmen der Kooperationserweiterung auf weitere irische Universitäten ausgedehnt, sowie auf eine Kooperation mit der Ritsumeikan University in Japan. Im Zuge der Kooperation entstanden die zwei aktuellen "stand alone Softwareversionen" GWR 3 und GWR 4. Beide Softwareversionen liefern jedoch keine Visualisierung, sie geben lediglich die Rohdaten für diese aus. Die Visualisierung muss basierend auf den Rohdaten in einem GIS Programm vorgenommen werden.

### 2.1.1 GWR 3

Die "stand alone Softwareversion" GWR3 ist eine Windows basierte Software mit visueller Benutzeroberfläche. Der Quellcode basiert auf den ersten Softwareversionen, welche im Rahmen der Forschungsk Kooperation am NCG an der „National University of Ireland Maynooth“ entwickelt wurden und stellt die dritte Stufe der Softwareentwicklung dar. Die Version GWR3 ist die erste Softwareversion mit visueller Benutzeroberfläche und wurde von Charlton in Kooperation mit Fortheringham und Burndson geschrieben. Mit der Version 3 ist die Kalkulation von GWR Modellen mit fixer oder adaptiver Beobachtungsbandbreite, die auf einer „Bi-quadrat Kernfunktion“ sowie „Poisson Verteilung“ beruhen möglich. Auch enthält die Version GWR3 eine Option zur Monte Carlo Signifikanztestung der unabhängigen Variablen, diese Testung ist jedoch sehr rechenintensiv. Als Methode zur Selektion der Beobachtungsbandbreite stehen eine stufenweise Selektion mit automatisch definierten Grenzen innerhalb der gesamten Grundgesamtheit, sowie eine Selektion innerhalb eines prozentualen Anteiles der Grundgesamtheit zur Verfügung. Innerhalb der Selektionsmethode kann dabei zwischen den beiden Selektionskriterien  $AIC_c$  und  $CV$  gewählt werden. Auch ist die Wahl eines zuvor definierten fixen Beobachtungsbandbreitenwertes möglich.<sup>144</sup> In der Arbeit wurde zum Teil das „Softwarerelease 3.5.1“ verwendet, welches zu den letzten „Releases“ der Version 3 zählt und nur unter Lizenz der Entwickler

---

<sup>143</sup> Vgl. Geographically Weighted Regression website (2013)

<sup>144</sup> Vgl. Brunson, Chris; Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Fischer, Manfred M; Getis, Arthur (eds.) (1998) S. 3 ff

vergeben wurde. Die Weiterentwicklung der Version 3 wurde Ende 2008 wegen eines Versionswechsels eingestellt. Die Version ist jedoch aufgrund ihrer Stabilität und der relativ raschen Kalkulationszeiten gegenüber der Nachfolgeversion noch immer häufig in Verwendung. Wobei rasch als relativ zu sehen ist, da abhängig von der Konfiguration der EDV Hardware sowie der Daten auch mit einer Kalkulationszeit von mehreren Tagen gerechnet werden kann. Eine Veranschaulichung und Gegenüberstellung der Versionen wird diesbezüglich in Tabelle 3 gegeben.

### 2.1.2 GWR 4

Die "stand alone Softwareversion" GWR4 ist ebenfalls eine Windows basierte Software mit visueller Benutzeroberfläche, welche im Rahmen einer Kooperation mit dem „Geography department“ der „Ritsumeikan University Japan“ entwickelt wurde. Die Basis des Quellcodes stellt die Softwareversion 3 dar, wobei die Softwareversion 4 durch Nakaya 2009 in Kooperation mit Charlton, Lewis, Fotheringham und Brunsdon von Grund auf neu geschrieben wurde. Nakaya implementierte im Zuge des Versionswechsels zahlreiche grundlegende Erweiterungen sowie eine Neugestaltung der visuellen Benutzeroberfläche. Diese Erweiterungen gingen jedoch zu Lasten der Kalkulationszeit.<sup>145</sup> Zu den grundlegendsten Erweiterungen ist die Möglichkeit der Kalkulation von mixed, sprich semiparametrischen, Modellen zu zählen, sowie die Implementierung einer Oberflächeninterpolationsoption mit Rohdatenausgabe zur Rastererstellung in einem GIS Programm. Die Anzahl der Auswahl der GWR Modellvarianten wurde ebenfalls erweitert, sodass nun neben der „Bi-quadrat Kernfunktion“ und der „Poisson Verteilung“ auch eine „Gaussain Kernfunktion“ zur Verfügung steht. Als Methode zur Selektion der Beobachtungsbandbreite ist neben der Eingabe eines Fixwertes wie bei Version 3 der „Golden section search“ sowie die Intervallsuche vorhanden. Auch die Anzahl der Selektionskriterien innerhalb der Selektionsmethode wurde erweitert, es stehen nun  $AIC_c$ ,  $AIC$ ,  $BIC/MDL$  und  $CV$  zur Selektion der Beobachtungsbandbreite zur Auswahl. Neben diesen Erweiterungen wurde auch eine Option zur Standardisierung der unabhängigen Variablen eingeführt, sowie zwei weitere, aber sehr kalkulationsintensive Optionen. Zu diesen Optionen zählen zum einen einmal der geographische Variabilitätstest und zum anderen die automatische Variablenselektion der globalen und lokalen unabhängigen Variablen, wobei die automatische Variablenselektion aufgrund der extrem langen Kalkulationszeit noch eher als experimentell zu sehen ist.<sup>146</sup> Nach Einstellung der Weiterentwicklung der Version 3 ist die Version 4 von Nakaya jene "stand alone Softwareversion", welche fortlaufend erweitert und verbessert wird. Im Rahmen der Arbeit wurde das „Software release 4.0.73“ zur Kalkulation der Resultate verwendet. Bei diesem „Release“ handelt es sich um ein „Sonderrelease“, welches Nakaya extra für dies Arbeit angepasst und herausgegeben hat. Die Version 4 steht unter einer freien Lizenz.

---

<sup>145</sup> Vgl. Geographically Weighted Regression website (2013)

<sup>146</sup> Vgl. Nakaya, Tomoki (2012) S. 3 ff

### 2.1.3 Gegenüberstellung Funktionsumfang GWR3 und GWR4

In einer direkten Gegenüberstellung des Funktionsumfangs in Tabelle 3 wird der Sprung des Funktionsumfangs zwischen Version 3 und Version 4 am besten verdeutlicht. Version 4 wurde um eine entscheidende Modellvariante sowie zahlreiche weitere Funktionen und Optionen erweitert.

**Tabelle 3: Detaillierte Gegenüberstellung des Funktionsumfangs der GWR3 und der GWR4**

	<b>GWR 3</b>	<b>GWR 4</b>
<i>Modellvariante</i>	Parametrische Variante,	Parametrische Variante, Semiparametrische/mixed Variante,
<i>Kernfunktion/ Verteilung</i>	Bi-square, Poisson Verteilung,	Bi-square, Gaussian, Poisson Verteilung,
<i>Beobachtungsbandb.</i>	fix oder adaptive,	fix oder adaptive,
<i>Selektionsmethoden</i>	Stufenweise Selektion (gesamten Datenumfange oder prozentueller Anteil), fixe Beobachtungsbandbreite,	„Goden section search“ (mit oder ohne Benutzerdefinierter Begrenzung), fixe Beobachtungsbandbreite, Intervallsuche
<i>Selektionskriterium</i>	AICc, CV (Gaussian) Monte Carlo Signifikanztest	AICc, AIC, BIC/MDL, CV (Gaussian) Variablen Standardisierung, Geographischer variabilitäts Test,
<i>Optionen</i>		globale und lokale Variablenselektion, Oberflächeninterpolationsoption mit Rohdatenausgabe zur Rastererstellung

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der „Softwaremanuels“ der Versionen GWR3 und GWR4

## 2.2 Weitere „Softwarelösungen“ und Resümee

Neben der „stand alone Softwarelösung“ des NCG wurden parallel auch weitere Softwarelösungen und „Plug-ins“, welche zum Großteil auf den Entwicklungsergebnissen und der Forschungsarbeit am NCG basieren, entwickelt. Zu diesen weiteren „Softwarelösungen“ sind die umfangreichen „Plug-ins“ für das weit verbreitete Statistikprogramm der „R environment“ zu zählen, welche zum Teil von Personen des NCG Entwicklungsteams selbst sowie von Personen aus dem Umfeld des NCG entwickelt wurden. Bis dato sind folgende GWR „Plug-ins“ für die „R environment“ verfügbar, „spgwr“ von Bivand und Yu, „gwr“ von Wheeler und „fgwr“ von Lu. Neben diesen „Freewarelösungen“ wurde die Theorie der GWR auch von konventionellen Softwareanbietern aufgegriffen und in ihre Softwarelösungen implementiert. Zu den

wohl prominentesten Vertretern ist die „ESRI Inc.“ zu zählen, die 2009 in Kooperation mit dem NCG die GWR zum ersten Mal in den Funktionsumfang ihrer Softwarelösung „ArcGIS 9.3.1“ aufnahm. Seit „ArcGIS 9.3.1“ ist die GWR fester Bestandteil des Funktionsumfangs von „ArcGIS Desktop“ und wird von der „ESRI Inc.“ eigenständig weiter entwickelt. Durch die Aufnahme in den Funktionsumfang von „ArcGIS Desktop“ wurde die GWR weltweit auf breiter Ebene verfügbar. Als zweiter konventioneller Softwareanbieter hat „BioMedware Inc.“ die Theorie der GWR aufgegriffen und in ihre Softwarelösung „Space Stat“ implementiert. Beide Softwarelösungen der konventionellen Anbieter sind vollwertige Geoinformationsprogramme, welche auch Visualisierungsmöglichkeiten beinhalten.<sup>147</sup>

Im Rahmen der Arbeit kam nur die „stand alone Softwarelösung“ des NCG sowie die „ESRI ArcGIS Desktop“ Lösung zum Einsatz. Basierend darauf kann nur ein kurzes Resümee zu diesen beiden Softwarelösungen erfolgen. Grundsätzlich ist die „ArcGIS Desktop“ Lösung zu empfehlen und der NCG „stand alone Softwarelösungen“ vorzuziehen, da die „ArcGIS Desktop“ Lösung im Zuge der Kalkulation zahlreiche Konfigurationstests automatisch durchführt, welche bei der NCG „stand alone Softwarelösungen“ Großteils über Umwege mit weiteren Softwarelösungen ermittelt werden müssen. Ein weiterer Grund, der für die „ArcGIS“ Desktoplösung spricht, ist, dass für die Visualisierung der NCG „stand alone Softwarelösungen“ erst wieder eine GIS Lösung benötigt wird. Die „ArcGIS“ Desktoplösung würde somit die praktikablere Lösung darstellen, wenn nicht bedingt durch die Modellkonzeption sowie die Datengrundlage ein zwingender Umstieg auf die „stand alone Softwarelösungen“ des NCG nötig ist, da diese eine breitere Palette an Modelloptionen bietet. Im Rahmen der Arbeit war dieser Umstieg aufgrund der Datengrundlage nötig.

Im Zuge der Arbeit stellte sich heraus, dass bei Grundkenntnissen in der „R environment“ die Verwendung der „Plug-ins“ das Optimum gewesen wäre, da die Automatisierung von Abläufen möglich gewesen wäre sowie alle nötigen Statistikfunktionen in einer Softwarelösung enthalten gewesen wären. Man hätte einzig und alleine für die Visualisierung der Resultate eine GIS Lösung benötigt. Auch ermöglichen die „R Plug-ins“ zahlreiche Erweiterungs- und Anpassungsmöglichkeiten, die in den „stand alone Softwarelösungen“ des NCG und in der „ArcGIS Desktop“ Lösung nicht möglich sind.

---

<sup>147</sup> Vgl. Geographically Weighted Regression website (2013)

### III. SICHTBARKEITSANALYSE

Die Sichtbarkeit ist, wie in der Einleitung in Punkt 4.1.3 dargestellt, die visuelle Wahrnehmung von bestimmten Elementen in der Umwelt. Diese visuelle Wahrnehmung der Umwelt ist gerade bei den Dachgeschosswohnungen, neben weiteren Faktoren, der zentrale Faktor für den Preis einer Wohnung. Aus diesem Grund, wurde im Rahmen der Arbeit eine Sichtbarkeitsanalyse, reduziert auf die theoretische visuelle Wahrnehmung von bestimmten definierten Elementgruppen, auf Basis eines Sichtfeldes durchgeführt. In den nachfolgenden Punkten wird eingehend auf den Analyserahmen sowie die Analyse selbst und die theoretische visuelle Wahrnehmung von bestimmten definierten Elementgruppen mittels Sichtfeld eingegangen. Durch die Sichtbarkeitsanalyse mittels Sichtfeld soll der Einfluss der Sichtbarkeit auf den Preis auf breiter Ebene aufgezeigt und dargestellt werden.

#### 1. Datengrundlage und Analyseraum

Die Datengrundlage für diese Analyse bildet ein von der Stadt Wien zur Verfügung gestelltes aggregiertes digitales Oberflächenmodell, welches auf einer „Airborne Lasercanning“ Befliegung des Wiener Stadtgebietes im Frühjahr 2007 beruht. Aus dieser „Airborne Lasercanning“ Befliegung wurde ein digitales Oberflächenmodell, welches auch als DOM oder als DOM Wien bezeichnet wird, abgeleitet. Das Ergebnis der „Airborne Laserscanning“ Befliegung lieferte ein digitales Oberflächenmodell, welches hinsichtlich Punktdichte und Datenqualität selbst im urbanen Raum herausragend ist und die Höhenstruktur der Stadt inklusive der Gebäude und der Vegetation abbildet. Die „Ur“ Daten der „Airborne Lasercanning“ Befliegung weisen eine durchschnittliche Punktdichte von 15 bis 20 Punkten pro Quadratmeter auf. Das aus diesen Daten abgeleitete digitale „Ur“ Oberflächenmodell weist eine Toleranz von ca. 10 Zentimeter in der Höhenbestimmung sowie ca. 15 Zentimeter in der Lagebestimmung auf und besitzt eine Rasterweite von 50 Zentimeter.<sup>148</sup>

Im Rahmen der Arbeit wurde mir eine Aggregation dieses abgeleiteten digitalen „Ur“ Oberflächenmodells mit einer Rasterweite von 1 Meter für das gesamte Wiener Stadtgebiet zur Verfügung gestellt. Im Zuge der Sichtbarkeitsanalyse wurde das zur Verfügung gestellte digitale Oberflächenmodell jedoch aufgrund der Kalkulationszeiten auf eine Rasterweite von 4 Meter aggregiert. Eine visuelle Darstellung des aggregierten digitalen Oberflächenmodells unterbleibt jedoch im Rahmen der Arbeit, da diese aufgrund des „DIN A4 Formates“ der Arbeit nicht zielführend ist. Die Sichtbarkeitsanalyse der ca. 3.000 Beobachtungen von Mietobjekten für Angebotsfälle der Kategorie Dachgeschoss umfasst das gesamte Wiener Stadtgebiet und nicht nur Teile davon wie die GWR Analyse in Kapitel III Punkt 2.

---

<sup>148</sup> Vgl. Magistratsabteilung 41 Stadtvermessung Wien (2013)

## 1.1 Datenaufbereitung

Ausgangsbasis für die Datenaufbereitung der Sichtbarkeitsanalyse ist ein Teil der in Kapitel IV Punkt 1 aufbereiteten und bereinigten Beobachtungspunkte aus der vorselektierten IRG Datenbank. Bei dieser Ausgangsbasis handelt es sich um die ca. 5.000 Beobachtungspunkte von Angebotsfällen für Mietobjekte der Kategorie Dachgeschoss. Auf Basis dieser Beobachtungspunkte erfolgte die weitere Datenaufbereitung der Grundlagendaten der Sichtbarkeitsanalyse. Zu diesen Grundlagendaten zählt vor allem das aggregierte digitale Oberflächenmodell der Stadt Wien aus Punkt 1 in Verbindung mit den Flächenumrissen der Gebäude. Basierend auf diesen Daten, erfolgen die weiteren Schritte der Datenaufbereitung für die Sichtbarkeitsanalyse.

Im Zuge dieser weiteren Schritte der Datenaufbereitung stellte sich jedoch heraus, dass viele der ca. 5.000 Beobachtungspunkte von Angebotsfällen für Mietobjekte der Kategorie Dachgeschoss keine adäquate Lagegeoreferenzierung für die Sichtbarkeitsanalyse aufwiesen. Diese nicht adäquate Georeferenzierung der Lage, für die Sichtbarkeitsanalyse ist dabei hauptsächlich auf die Adressgeoreferenzierung der Beobachtungen zurückzuführen. Die Problematik der Georeferenzierung auf Adresspunkte besteht darin, dass diese Punkte in der Regel außerhalb der Flächenumrisse der Gebäude liegen und somit die Beobachtung nicht eindeutig einem Flächenumriss zugeordnet werden kann. Diese Zuordnung ist jedoch für die folgenden Schritte sowie die Sichtfeldanalyse in Punkt 2 entscheidend. Eine automatisierte Zuordnung der Beobachtungen zu den am nächsten liegenden Flächenumrissen war aufgrund der Lage der Beobachtungspunkte nicht möglich. Aus diesem Grund musste in diesem Schritt eine manuelle, äußerst aufwendige und zeitintensive Anpassung der Lage der ca. 5.000 Beobachtungspunkte vorgenommen werden, in der jeder Beobachtungspunkt einzeln in den Flächenumriss eines Gebäudes verschoben wurde. Im Zuge dieser manuellen Einzelanpassung stellte sich im Weiteren heraus, dass nicht alle Beobachtungen auf Adresspunkte georeferenziert waren. Es zeigte sich dabei, dass ein Großteil der Beobachtungen aus den Jahren 2001 bis 2005 nur auf die Wiener Gemeindebezirke georeferenziert war. Aus diesem Grund erfolgte in diesem Schritt nicht nur eine manuelle Anpassung, sondern auch eine Bereinigung der Beobachtungsfälle. Nach dieser manuellen äußerst aufwendigen und zeitintensiven Anpassung und Bereinigung blieben ca. 3.000 Beobachtungspunkte von Angebotsfällen für Mietobjekte der Kategorie Dachgeschoss für die Sichtbarkeitsanalyse übrig. Im nächsten Schritt der Datenaufbereitung für die Sichtbarkeitsanalyse erfolgte mittels der einzeln manuell angepassten Beobachtungspunkte die Ermittlung der Flächenumrisse von Gebäuden mit Beobachtungspunkten. Auf Basis dieser Ermittlung erfolgte in der Datenaufbereitung für die Sichtbarkeitsanalyse als nächster Schritt die Berechnung des Mittelwertes der Höhen für die Flächenumrisse von Gebäuden mit Beobachtungspunkten. Sprich, für die Flächenumrisse von Gebäuden mit Beobachtungspunkten wurden in diesem Schritt der Datenaufbereitung anhand des angepassten digitalen Oberflächenmodells die gemittelten Höhen errechnet. In einem endgültigen Schritt, wurden diese gemittelten Höhen der Flächenumrisse von

Gebäuden mit Beobachtungspunkten wieder mit dem angepassten digitalen Oberflächenmodell verschnitten und für die Sichtfeldanalyse in Punkt 2 herangezogen.

## 1.2 Definierte Elementgruppen der Sicht

Im Rahmen der in der Arbeit verwendeten Sichtbarkeitsanalyse stellt die theoretische visuelle Wahrnehmung von definierten Elementgruppen das zentrale Element der Sichtbarkeit dar. Die theoretische visuelle Wahrnehmung von definierten Elementgruppen wurde bereits in der Einleitung in Punkt 4.1.3 definiert und kurz erörtert. Wobei sich die definierten Elementgruppen der visuellen Wahrnehmung aus den Elementen der Karte 1 zusammensetzen und wie nachfolgend definieren.

- Grüngürtel (z.B. Wienerwald, Bisamberg, Lobau, Wiener Terrassenlandschaft, ... )
- Grünflächen kleiner als 1 ha
- Stadtgliedernde Grünflächen
- Bedeutende und bekannte Parks (z.B. Schönbrunn, Belvedere, Augarten, Stadtpark, Volksgarten, Burggarten , ... )
- Gewässer
- Bekannte und Stadtraum aufwertende Gebäude (z.B. Kalrskirche, Votivkirche, Rathaus, Parlament, Hofburg, Belvedere, Oper, Theater, Museen, Kirchen, ... )
- Stephansdom, Schönbrunn, Riesenrad

Eine ausführliche Definition der Elementgruppen sowie die Geometrie der Elemente des Grüngürtels, der Grünfläche kleiner als 1 ha, der Gewässer und der stadtgliedernden Grünflächen kann dabei aus den Grundlagendaten des Grünraummonitorings der Stadt Wien entnommen werden, da diese Elementgruppen auf den Daten des Grünraummonitorings der Wiener Umweltschutzabteilung MA 22 beruhen.<sup>149</sup> Die Geometrie der Elementgruppe der bedeutenden und bekannten Parks beruhen ebenfalls auf den Daten des Grünraummonitorings der Wiener Umweltschutzabteilung MA 22; die einzelnen Parks für diese Gruppe wurden jedoch im Rahmen der Arbeit anhand ihrer Bedeutung und Bekanntheit ausgewählt. Neben den Grünraumelementen wurden auch Elementgruppen für bekannte und Stadtraum aufwertende Gebäude definiert. Die Geometrie dieser Elementgruppe sowie die Auswahl der Elemente beruht dabei Großteils auf manuell angepassten und bereinigten „open streetmap“ Daten der Kategorien „attraction“, „church“ und „place\_of\_worship“. Die letzte Elementgruppe, welche Stephansdom, Schönbrunn und das Riesenrad umfasst, wurde ebenfalls manuell aus den „open streetmap“ Daten

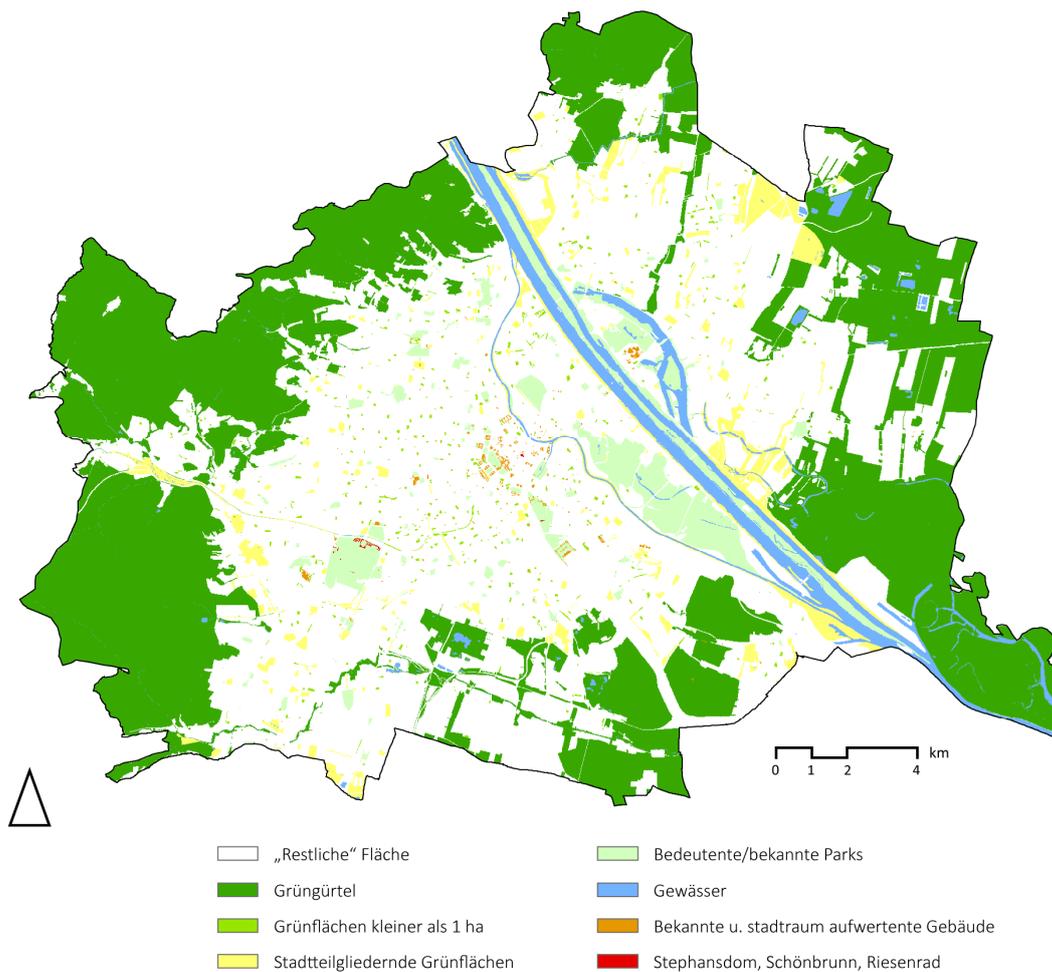
---

<sup>149</sup> Vgl. Open Government Data (2006)

selektiert und angepasst. Auf Basis der Definition der Elementgruppen wurde für ganz Wien in Karte 1 ein Raster mit diesen Elementgruppen erstellt, der im weitesten Sinne eine Gewichtung der visuellen Wahrnehmung darstellt. Die Rasterweite dieses Rasters beträgt so wie bei dem aufbereiteten digitalen Oberflächenmodells der Stadt Wien in Punkt 1 4 Meter.

**Karte 1: Raster der definierten Elementgruppen für die Sichtfeldanalyse**

**Raster der Elementgruppen für die Sichtfeldanalyse**



**Quelle: Eigene Darstellung und Erhebung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien**

## 2. Sichtfeld

Im Rahmen der Sichtbarkeitsanalyse wird mittels des Sichtfeldes die theoretische visuelle Wahrnehmung der ca. 3.000 Beobachtungspunkte von Angebotsfällen für Mietobjekte der Kategorie Dachgeschoss ermittelt. Die Ermittlung der theoretischen visuellen Wahrnehmung erstreckt sich über das gesamte Stadtgebiet und beruht dabei auf dem in Punkt 1.1 angepassten und aufbereiteten Oberflächenmodell sowie den definierten Elementgruppen der Sicht aus Punkt 1.2. Ein Sichtfeld bestimmt dabei die Zellen in einem Raster, die von Beobachtungspunkten aus theoretisch visuell wahrgenommen werden können. Mittels Sichtfeld lassen sich somit verschiedene definierte Elementgruppen bestimmen, die von einem Beobachtungspunkt aus theoretisch visuell wahrgenommen werden können. Dabei beruht die Analyse des Sichtfeldes im Rahmen der Arbeit auf der zentralen Annahme einer theoretischen visuellen Wahrnehmung eines Sichtfeldes von 360°, bei dem die tatsächliche Ausrichtung der Sichtbeziehungen außer Acht gelassen wird, wie bereits kurz in der Einleitung in Punkt 4.1.3 erörtert. Die theoretische visuelle Wahrnehmung des Sichtfeldes beruht im Rahmen der Arbeit dabei auf folgenden grundlegenden Annahmen.<sup>150</sup>

Im Rahmen der Arbeit wird aufgrund des Beobachtungsumfanges sowie der methodischen Durchführbarkeit angenommen, dass die Ausrichtung der Wohnung bei der Analyse des Sichtfeldes außer Acht gelassen wird, da angenommen werden kann, dass in der Praxis bei Dachgeschosswohnungen stets die bestmögliche Optimierung der Ausrichtung in Bezug auf die Sicht angestrebt wird. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Arbeit die theoretische visuelle Wahrnehmung mittels einer 360° Analyse des Sichtfeldes durchgeführt, bei der jegliche Ausrichtung der Terrasse oder Fenster außer Acht gelassen wird. Im Weiteren wird bei der theoretischen visuellen Wahrnehmung davon ausgegangen, dass die Analyse des Sichtfeldes auf den ca. 3.000 in Punkt 1.1 ermittelten beobachteten Adresspunkten, die innerhalb der Gebäudeumrisse liegen, basiert, sowie auf dem verschnittenen angepassten digitalen Oberflächenmodell aus Punkt 1.1. Bei diesem verschnittenen angepassten digitalen Oberflächenmodell handelt es sich, wie in Punkt 1.1 dargestellt, um ein Oberflächenmodell, bei dem nur die Höhen der Flächenumrisse von Gebäuden mit beobachteten Adresspunkten gemittelt wurden.

### 2.1 Sichtfeldanalyse

Auf Basis dieser im Rahmen der Arbeit getroffenen grundlegenden Annahmen in Punkt 2 wurde die Sichtfeldanalyse mittels eines GIS basierten Sichtfeld Algorithmus durchgeführt. Dabei wurden für die Sichtfeldanalyse mittels Sichtfeld Algorithmus im Rahmen der Arbeit folgende grundlegende Annahmen getroffen.

---

<sup>150</sup> Vgl. ArcGIS Resource Center (2012c)

- Sichtfeldradius von 360° mit einem horizontalen Blickwinkel von jeweils 70°
- Minimaler Sichtfeldradius von 8 Meter
- Begrenzung des Sichtfeldradius auf eine Distanz von unter und über 1.000 Meter

Im Rahmen der Sichtfeldanalyse wurde von einem Sichtfeldradius von 360° ausgegangen, der 1 Meter über der gemittelten Rasteroberfläche aus Punkt 1.1 liegt und einen horizontalen Blickwinkel von jeweils 70° aufweist. Ergänzend dazu, wurde von einem minimalen Sichtfeldradius ausgegangen, also das das Sichtfeld erst ab einer Distanz von 8 Meter analysiert wird. Basierend auf diesen grundlegenden Annahmen für die Sichtfeldanalyse wurde im Weiteren der Sichtfeldradius auf eine Distanz eines Sichtfeldes von unter und über 1.000 Meter eingeschränkt. Diese grundlegenden Annahmen für den Sichtfeld Algorithmus wurden getroffen, um das Sichtfeld in ein Sichtfeld der Fernsicht und Nahsicht zu unterteilen, sowie um sicher zu stellen, dass das Sichtfeld außerhalb des Flächenumrisses des beobachteten Gebäudes liegt.<sup>151</sup>

Basierend auf diesen Annahmen wurde die Sichtfeldanalyse mittels eines GIS basierendem Sichtfeld Algorithmus durchgeführt. Damit dieser Sichtfeld Algorithmus nicht einzeln für jeden der ca. 3.000 Beobachtungspunkte, welche in Punkt 1.1 ermittelten wurden, manuell aufgerufen werden muss, wurde von Kurt Weninger ein „Python Skript“ erstellt, welches diesen Vorgang automatisierte und die Resultate in eine Datei schrieb.

### **2.1.1 Resultate der Sichtfeldanalyse**

Das Resultat des Sichtfeld Algorithmus mittels „Python Skript“, war eine Datei, welche jeweils für die in Punkt 1.2 ermittelten definierten Elementgruppen die Anzahl der theoretisch visuell wahrnehmbaren Rasterzellen für den jeweiligen Beobachtungspunkt beinhaltete. Dabei waren diese theoretisch visuell wahrnehmbaren Rasterzellen ebenfalls nach dem Sichtfeldradius von unter und über 1.000 Meter differenziert. Die Anzahl der Rasterzellen innerhalb eines 1.000 Meter Sichtfeldradius stellen dabei die theoretisch visuell wahrnehmbaren definierten Elementgruppen in der Nähe dar und die Anzahl der Rasterzellen außerhalb eines 1.000 Meter Sichtfeldradius stellen dabei die theoretisch visuell wahrnehmbaren definierten Elementgruppen in der Ferne dar. Die Kalkulation dieser Resultate benötigte ca. 3 Tage für die Anzahl der Rasterzellen außerhalb eines 1.000 Meter Sichtfeldradius und ca. 1,5 Tage für die Anzahl der Rasterzellen innerhalb eines 1.000 Meter Sichtfeldradius.

---

<sup>151</sup> Vgl. ArcGIS Resource Center (2012c)

### **2.1.2 Aufbereitung der Resultate**

Im Rahmen der Aufbereitung der Resultate aus der Sichtfeldanalyse in Punkt 2.1.1 für die weitere empirische GWR Analyse in Kapitel V wurde folgende Aufbereitung der Daten für die definierten Elementgruppen durchgeführt. Für jede der definierten Elementgruppen wurde die maximale Anzahl der theoretisch möglichen visuell wahrnehmbaren Rasterzellen der jeweiligen definierten Elementgruppe aus Punkt 1.2 ermittelt. Auf Basis dieser Ermittlung wurden die definierten Elementgruppen in Verhältnis zueinander gestellt und dieses Verhältnis der maximalen Anzahl der Rasterzellen wurde anschließend auf die Anzahl der Rasterzellen des Sichtfeldradius von unter und über 1.000 Meter umgelegt. Aus dieser Umlegung resultiert die maximal mögliche Anzahl, der theoretisch möglichen visuell wahrnehmbaren Rasterzellen der Sichtfeldradien von unter und über 1.000 Meter. Im Verlauf der weiteren Aufbereitung der Resultate wurde die in der Sichtfeldanalyse ermittelte Anzahl der Rasterzellen der jeweiligen definierten Elementgruppen jeder Beobachtung auf diese umgelegte maximal mögliche Anzahl der Rasterzellen des Sichtfeldradius normiert. Eine Aufzählung der unterschiedlichen normierten Anteile der maximalen Sichtfläche von definierten Elementgruppen, die Eingang in die GWR Analyse in Kapitel V gefunden haben, kann der Aufzählung der Tabelle 12 im Anhang entnommen werden.

## IV. DATENGRUNDLAGE UND ANALYSERAUM

Die empirische Datengrundlage der Immobilienverkäufe basiert auf Angebotsdaten der ehemaligen Immobilienplattform „Ameta-Net“ – jetzt „EDI-Real“ – der Firma „EDIORG Software GmbH“. In dieser Datenbank sind für Wien im Zeitraum von 2001 bis 2011 ca. 90.000 Angebotsfälle für Miet- und Kaufobjekte aller Kategorien enthalten. Die „EDI-Real“ Datenbank enthält ausschließlich objektbezogene Eigenschaftsmerkmale, die wie in Kapitel I Punkt 1.1.1 erörtert, in Gruppe *A* der Ausstattungsvariablen der Immobilie wie Größe, Zustand und Baujahr fallen. In dieser Datenbank sind jedoch keine Variablen der Gruppe *L* der lagebezogenen Merkmale sowie sozioökonomische Merkmale und Faktoren enthalten. Auf Basis der „EDI-Real“ Datenbank wurde von der „Immobilien Rating GmbH“ – kurz „IRG“ – eine Erweiterung der Datenbank um lagebezogene sowie sozioökonomische Merkmale und Faktoren vorgenommen. Die erweiterte Datenbank der „IRG“ enthält lagebezogene sowie sozioökonomische Merkmale auf Zählsprengelenebene. Diese Datenbank wurde von der IRG dem Fachbereich für Stadt- und Regionalforschung an der TU Wien für universitäre Forschungszwecke zur Verfügung gestellt. Nach Vorselektion durch den Fachbereich wurde der Datensatz zur Nutzung im Rahmen dieser Arbeit freigegeben.

### 1. Datenaufbereitung und Bereinigung

Die Ausgangsbasis für die Datenaufbereitung und Bereinigung bildet der vorselektierte Rohdatensatz aus der IRG Datenbank. Dieser aufbereitete Rohdatensatz enthält über den Zeitraum von 2001 bis 2011 für Wien ca. 90.000 Angebotsfälle für Miet- und Kaufobjekte aller Kategorien. Im ersten Datenaufbereitungsschritt wurde der Rohdatensatz auf Angebotsfälle der Kategorie Dachgeschoss gefiltert. Nach Filterung blieben ca. 11.000 Angebotsfälle für Miet- und Kaufobjekte der Kategorie Dachgeschoss übrig. Im nächsten Schritt wurden diese ca. 11.000 Angebotsfälle für Miet- und Kaufobjekte in GIS halbautomatisch um doppelte Angebotsfälle mit hohem manuellen Aufwand bereinigt. Als Selektionsbasis der Bereinigung dienten die Kriterien des Angebotsjahres, des Angebotspreises sowie der geographischen Lage. Diese äußerst zeitaufwendige Bereinigung der doppelten Fälle reduzierte die Angebotsfälle für Miet- und Kaufobjekte auf ca. 9.000. In einem weiteren Schritt wurden aus den ca. 9.000 Angebotsfällen für Miet- und Kaufobjekte die Mietobjektsfälle gefiltert. Nach Filterung blieben ca. 5.000 Angebotsfälle für Mietobjekte der Kategorie Dachgeschoss übrig. Im Zuge der Datenaufbereitung für die Sichtbarkeitsanalyse stellte sich jedoch heraus, dass viele Angebotsfälle der Jahre 2001 bis 2005 nur auf die Wiener Gemeindebezirke georeferenziert sind, sodass im nächsten Schritt eine Bereinigung um diese Angebotsfälle erfolgte. Nach Bereinigung dieser auf die Bezirke georeferenzierten Angebotsfälle blieben ca. 3.000 Fälle übrig. Auf Basis dieser Fälle erfolgte im letzten Schritt die Bereinigung der

Angebotsfälle um Ausreißer mit einer Fläche unter 28 m<sup>2</sup> sowie einer Quadratmetermiete unter 5 Euro, sodass nach diesen Schritten 2.950 Angebotsfälle übrig blieben. Diese 2.950 im Rahmen der Arbeit aufbereiteten Angebotsfälle wurden in Punkt 2 auf Basis ihrer Lage in einem endgültigen Schritt noch weiter eingegrenzt und dann anschließend für die Analyse herangezogen.

## 2. Räumliche Eingrenzung des Analyse-raums und der Beobachtungen

Die räumliche Verteilung der Angebotsfälle wurde in der Datenaufbereitung und Bereinigung in Punkt 1 vollständig außer Acht gelassen. Um jedoch fundierte Modellaussagen treffen zu können, darf die räumliche Verteilung nicht außer Acht gelassen werden. Aus diesem Grund erfolgte eine eingehende Analyse der Verteilung der Angebotsfälle sowie eine Eingrenzung des weiteren Analyse-raums. Als Basis dafür wurde die Dichte der Verteilung der beobachteten Angebotsfälle gewählt. Damit die Verteilungsdichte der Beobachtungspunkte zur Eingrenzung des Analyse-raums genutzt werden kann, wurde eine GIS basierte Analyse gewählt und die Ergebnisse auf eine Rasterfläche projiziert.

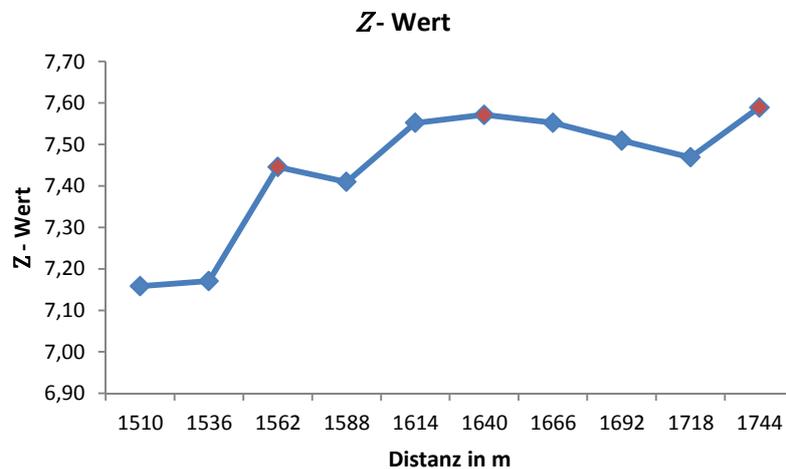
Als GIS Analysewerkzeug für die Rasterflächenprojektion wurde eine quadratische Kerndichtefunktion gewählt. Diese quadratische Kerndichtefunktion liefert sanftere Übergänge zwischen den Dichtestufen als die weiteren im GIS zur Verfügung stehenden Rasterfunktionen.<sup>152</sup> Um jedoch aussagekräftige Resultate der quadratischen Kerndichtefunktion in zu erhalten, muss zuerst ein sogenanntes Entfernungsband bzw. ein Maßstab für die Analyse ermittelt werden. Ein Entfernungsband kann als ein sich bewegliches Fenster gesehen werden, welches sich vorübergehend auf jedem Punkt der Beobachtung  $i$  niederlässt und die Beobachtungspunkte innerhalb des Fensters im Kontext mit den Nachbarn betrachtet. Die Ermittlung des angebrachten Entfernungsbandes für die Analyse ist jedoch äußerst diffizil, da es entscheidend das Resultat beeinflusst. In der Literatur werden diesbezüglich häufig folgende zwei Methoden genannt. Eine dieser Methoden ist die logische Schlussfolgerung des Beobachtungsbandes für die gegebene Fragestellung. Dieser Methode liegt jedoch zugrunde, dass die hinter den Daten liegenden räumlichen Prozesse und Rahmenbedingungen weitestgehend bekannt sind. Da dies jedoch nur selten der Fall ist, wird mittels einer weiteren Methode versucht ein Beobachtungsband zu wählen, bei dem klar räumliche Muster und Prozesse zu erkennen sind. Um diese ablaufenden räumlichen Prozesse und die daraus resultierenden Muster zu identifizieren, wird ein globaler Moran's  $I$  Test durchgeführt. Da jedoch nicht auf jeder Ebene des Entfernungsbandes klare räumliche Prozesse und Muster zu identifizieren sind, wird die Moran's  $I$  Testung für verschiedene Ausdehnungen des Entfernungsbandes durchgeführt. Zur eindeutigen Identifikation räumlicher Prozesse und Muster werden die  $Z$ -Werte, welche in der Einleitung in Punkt 4.3.6.1 erörtert wurden, in Grafik 1 mit den verschiedenen Ausdehnungen des Entfernungsbandes in Form eines Graphen dargestellt. Im Zuge dieser Darstellung ist jedoch entscheidend ein Entfernungsband zu wählen, welches weder zu groß noch zu klein ist, um zuverlässige  $Z$ -Werte zu

---

<sup>152</sup> Vgl. ArcGIS Resource Center (2012a)

erhalten. Als Faustregel werden diesbezüglich in der Literatur mindestens ein bis acht Nachbarpunkte innerhalb eines Beobachtungsbandes empfohlen, um etwaige Verzerrungen in den Grundlagedaten auszugleichen. In der Arbeit wurde ein Entfernungsband von mindesten zwei gewählt.<sup>153</sup>

**Grafik 1: Selektion des Beobachtungsbandes mittels Z - Werten**



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Auf dieser Basis wurden anhand der unterschiedlichen Scheitelpunkte des Graphen der Grafik 1 die Entfernungsbänder ermittelt, bei denen deutliche räumliche Prozesse ablaufen und räumliche Muster zu erkennen sind. Jeder Scheitelpunkt stellt eine Entfernung dar, bei dem die Prozesse, welche die räumliche „Cluster-Bildung“ fördern, am stärksten sind. Grundsätzlich sind die Entfernungsbänder im unteren Entfernungsbereich als interessanter einzustufen, da diese die Prozesse auf einer größeren Maßstabebene darstellen. Jedoch ist die Wahl des Scheitelpunktes auch hier wieder anhand der Fragestellung logisch zu hinterfragen.<sup>154</sup> In der Arbeit wurde ein Entfernungsband von 1.536 Meter verwendet, da es die räumlichen Prozesse und Muster der Punktdichte sowie den Maßstab der Dichteanalyse am besten widerspiegelt.

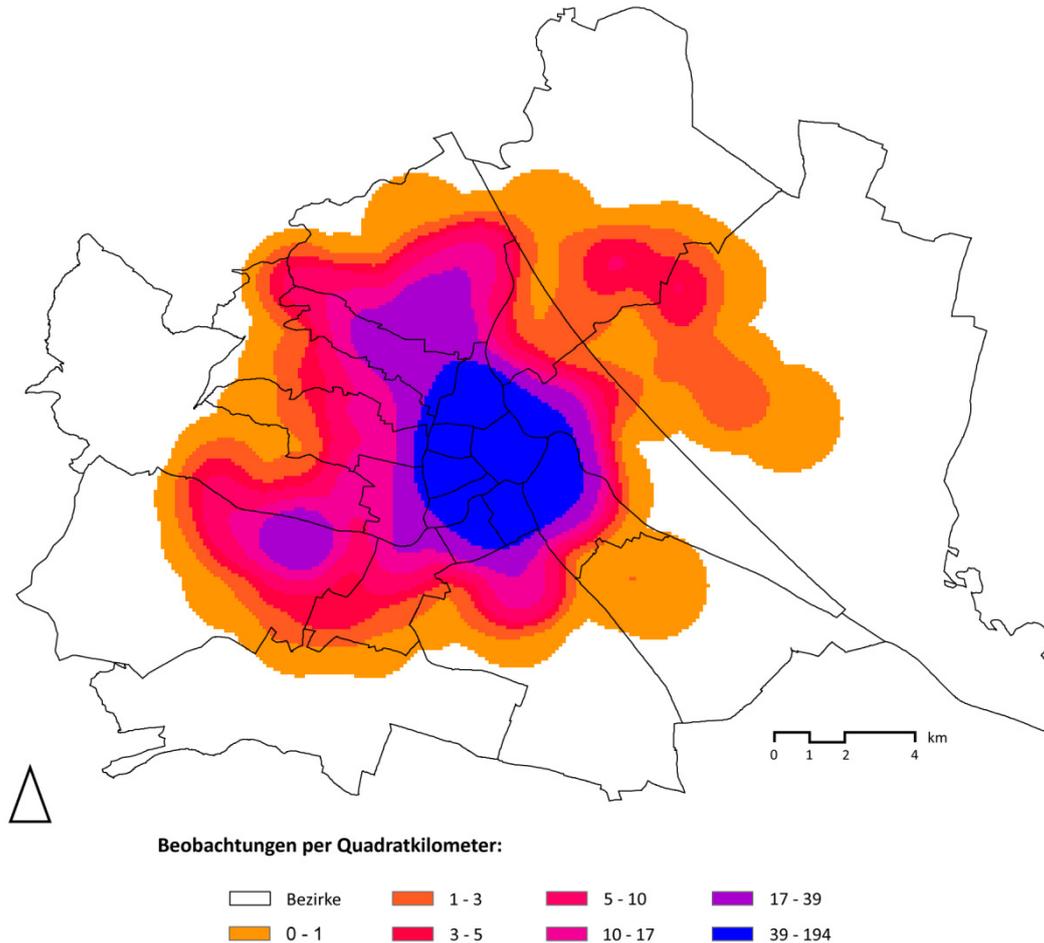
Aufbauend auf diesem Entfernungsband wurde mittels GIS eine Kerndichterasteroberfläche mit einer Rasterweite von 100 Meter für das gesamte Stadtgebiet berechnet und in Karte 2 visualisiert. Die Kategorisierung der Rasterskala erfolgte anhand einer Quantil Verteilung der Skala, da diese am besten die Histogramm Verteilung der Daten widerspiegelte.

<sup>153</sup> Vgl. ArcGIS Resource Center (2012b)

<sup>154</sup> Vgl. ArcGIS Resource Center (2012b)

## Karte 2: Kerndichte der Beobachtungen per Quadratkilometer

### Dichte der Beobachtungen per Quadratkilometer



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Auf Basis der Analyse der Verteilungsdichte der Beobachtungen in Karte 2 erfolgte in einem endgültigen Schritt die Eingrenzung des Analysebereiches sowie eine weitere Eingrenzung der Beobachtungsfälle. Der weitere Analysebereich für die GWR wurde anhand der in Karte 2 durchgeführten Analyse auf eine Beobachtungsdichte von mindestens einer Beobachtung pro Quadratkilometer eingegrenzt. Auf Basis dieser Eingrenzung von mindestens einer Beobachtung pro Quadratkilometer wurde im selben Schritt auch die Anzahl der Beobachtungen auf diese Fläche begrenzt. Nach Eingrenzung der Beobachtungen auf diese Fläche blieben letztendlich für die anschließende GWR Analyse 2.926 Beobachtungsfälle übrig.

### **3. Erörterung Datenstruktur und Datenbeschreibung**

Wie bereits in Kapitel I Punkt 1.1.1 erörtert, erfolgt im Rahmen des hedonischen Konzeptes eine Strukturierung der Variablen in zwei große Gruppen. Die erste Gruppe ist die Gruppe *A* der Ausstattungsvariablen der Immobilie und die zweite Gruppe ist die Gruppe *L* der lagebezogenen Variablen. Der aufbereitete Rohdatensatz der „IRG“ enthält die schier unglaubliche Anzahl von ca. 1.080 Variablen der Gruppe *A* und *L*, die bis auf die Adress- und Zählsprenglebene reichen. Bei diesen ca. 1.080 Variablen überwiegen die Variablen der Gruppe *L* deutlich. Die Variablen der Gruppe *A* und *L* wurden im Rahmen der Arbeit mit Hilfe meines Betreuers, einem anerkannten Immobilienexperten, auf die in Kapitel V Punkt 1.1 genannten Variablen der Expertenselektion eingegrenzt. Diese eingegrenzten Variablen wurden noch um die im Rahmen der Arbeit durchgeführte Sichtbarkeitsanalyse des Kapitels III sowie der Distanz zum Stephansplatz ergänzt und für die weitere GWR Analyse herangezogen. Diese für die weitere GWR Analyse verwendeten Variablen können aus der Tabelle 12 der Gruppe *A* und der Tabelle 13 der Gruppe *L* sowie der Tabelle 11 der Gruppe *t*, dem Anhang, entnommen werden.

#### **3.1 Deskriptive Statistik**

Die Indikatoren der deskriptiven Statistik in Tabelle 4 beruhen auf dem in Punkt 1 und Punkt 2 im Rahmen der Arbeit aufbereiteten und bereinigten Datensatzes sowie der endgültigen Variablenselektion von Kapitel V Punkt 1.3. Auf eine Darstellung der gesamten Variablen der Expertenselektion wurde im Rahmen der Arbeit verzichtet. Der aufbereitete und bereinigte Datensatz der endgültigen Variablenselektion von Kapitel V in Punkt 1.3 umfasst 2.926 Angebotsfälle für Mietobjekte in der Kategorie Dachgeschoss in Wien und stellt somit eine fundierte Grundlage für die weitere Analyse dar.

**Tabelle 4: Deskriptive Statistik der Modellvariablen**

Variable	Beschreibung	Typ*	Anzahl	Min	Max	Mittelw.	Standard.	Varianz
qm_p_m	Monatliche Miete in €/m <sup>2</sup>	K	2926	5,19	50	12,92	3,84	14,77
qm_pm_ln	LN Monatliche Miete €/m <sup>2</sup>	K	2926	1,65	3,91	2,52	0,28	0,08
ant_ter	Anteil Terrassenfläche an Gesamtwohnfläche in %	K	2926	0	8,91	0,20	0,31	0,10
Ref. Kl. year_ch	Angebotsjahre 2001 - 2007 (Referenzklasse)	D	786	0	1	-	-	-
year_ch1	Angebotsjahr 2008	D	353	0	1	-	-	-
year_ch2	Angebotsjahr 2009	D	389	0	1	-	-	-
year_ch3	Angebotsjahr 2010	D	852	0	1	-	-	-
year_ch4	Angebotsjahr 2011	D	546	0	1	-	-	-
z_akad	Akademikeranteil in %	K	2926	0,01	0,49	0,22	0,093	0,01
Ref. Kl. bath_kl	Baujahr vor 1945 (Referenzklasse)	D	796	0	1	-	-	-
bj_kl_1	Keine Baujahresangabe	D	1195	0	1	-	-	-
bj_kl_2	Baujahr von 1946 bis 1982	D	101	0	1	-	-	-
bj_kl_3	Baujahr von 1983 bis 2000	D	337	0	1	-	-	-
bj_kl_4	Baujahr von 2001 bis 2007	D	349	0	1	-	-	-
bj_kl_5	Baujahr nach 2008	D	148	0	1	-	-	-
pb_geb1	Anteil max. Sichtfläche bedeutender Gebäuden innerhalb von 1000 m in %	K	2926	0	1	0,07	0,12	0,01
Ref. Kl. bath_kl	Ein Bad (Referenzklasse)	D	1795	0	1	-	-	-
bath_kl1	Zwei Bäder	D	976	0	1	-	-	-
bath_kl2	Mehr als zwei Bäder	D	155	0	1	-	-	-
a_all	Gesamte Wohnungsfläche in m <sup>2</sup>	K	2926	28	1000	121,27	58,12	3377,46
gar	Garage ja oder nein	D	533	0	1	-	-	-
pb_geb1	Anteil max. Sichtfläche bedeutender Gebäuden innerhalb von 1000 m in %	K	2926	0	1	0,07	0,12	0,01
pb_geb10	Anteil max. Sichtfläche bedeutender Gebäuden außerhalb von 1000 m in %	K	2926	0	1	0,04	0,10	0,01
p_g_g10	Anteil max. Sichtfläche wiener Grüngürtel außerhalb von 1000 m in %	K	2926	0	1	0,10	0,11	0,01
z_geb_8	Gebäudeanteil an Werkstätten, Industrie- od. Lagerhallen in %	K	2926	0	0,54	0,02	0,04	0,00

\*Typ des Skalenniveaus K Kontinuierliche, od. D Dummy (Binär) Skala

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## V. EMPIRISCHE GWR ANALYSE

Die Basis für die empirische Analyse bilden die im Rahmen der Arbeit aufbereiteten und bereinigten Daten von Kapitel III Punkt 1 und Punkt 2 sowie die Ergebnisse der im Rahmen der Arbeit durchgeführten Sichtbarkeitsanalyse des Kapitels III. Auf Basis dieser Daten wurden alle weiteren Schritte der GWR Analyse durchgeführt. Die einzelnen Schritte, welche im Rahmen der GWR Analyse durchgeführt wurden, sind in Punkt 1 angeführt und deren Resultate werden in Punkt 2 gegenübergestellt. Aufgrund dieser ausführlichen Darstellung der empirischen GWR Analyse, ist die Nachvollziehbarkeit der Analyse in allen Schritten gegeben.

### 1. Modellbildung und Prämissenprüfung

In Kapitel I Punkt 1.1.1 wurden bereits die zwei Gruppen der unterschiedlichen Annahmen für die verschiedenen etablierten Funktionsformen hedonischer Regressionsmodelle angeführt. Die Modellfindung im Rahmen der Arbeit basiert dabei auf einer der allgemein am häufigsten und am etabliertesten exogenen Funktionsannahmen, welche einen grundlegenden linearen Funktionszusammenhang im Modell unterstellt. Dieser exogene lineare Funktionszusammenhang ist in der Realität jedoch meist nicht gegeben; um jedoch dennoch eine bestmögliche Linearisierung der Zusammenhänge zu erreichen, wurde die abhängige Variable des Modells mittels natürlichen Logarithmus transformiert. Das Resultat dieser Logarithmierung ist ein semi-logarithmisches Modell, welches angibt, um wie viel Prozent sich der Immobilienpreis ändert, falls sich eine Immobilieneigenschaft um eine bestimmte Einheit ändert. Ein Modell dieser Form wird auch als Exponentialmodell bezeichnet. Im weiteren Zuge der Modellfindung werden auch die Prämissen der *LWLS* Schätzung von Kapitel II Punkt 1.3 geprüft. Diese Prüfungen werden in den nachfolgenden Punkten dargestellt und aufgezeigt.

## 1.1 Grundlegende Variablenselektion

Im Rahmen der Arbeit erfolgte – wie bereits in Kapitel III Punkt 3 erwähnt – mit Hilfe meines Betreuers, einem anerkannten Immobilienexperten, eine Expertenselektion der ca. 1.080 Variablen der Gruppe *A* und *L*. Im Zuge dieser Selektion erfolgte ein spezieller Zuschnitt der Ausstattungs- und Lagevariablen auf den Teilmarkt der Wiener Dachgeschosswohnungen. Aus dieser Selektion resultierten 11 relevante Ausstattungsvariablen, sowie 28 relevante Lagevariablen. Diese Variablen sind der Tabelle 12, sowie der Tabelle 13 im Anhang zu entnehmen. Auf Basis dieser Expertenselektion wurde die weitere GWR Analyse durchgeführt.

## 1.2 Kollinearität und Beobachtungsbandbreite

In der Einleitung wurde in Punkt 4.3.5 die Kollinearität sowie die dahinter stehende Theorie der in der Arbeit verwendeten Testverfahren kurz erörtert. Im Zentrum der Prüfung der Kollinearität steht die Prämisse der *LWLS* Schätzung, dass die unabhängigen Variablen – wie in Kapitel II Punkt 1.3 aufgezeigt – nicht korreliert sein sollten. Dies wird in den nachfolgenden Punkt 1.2.1 und Punkt 1.2.3 geprüft. Ebenfalls wird auf den tieferen Zusammenhang der Kollinearität und der Beobachtungsbandbreite in Punkt 1.2.2 eingegangen.

### 1.2.1 „Globale“ – Kollinearität

Zur Prüfung der globalen Korrelation der unabhängigen Variablen mit einem kontinuierlichen Skalenniveau kommt in der Arbeit der *VIF* Indikator, der in Einleitung in Punkt 4.3.5.1 kurz erörtert wurde, zur Anwendung. Die Tabelle 5 enthält die Kombination der unabhängigen Variablen mit kontinuierlichem Skalenniveau, welche weiter in die Modellfindung miteinfließen, da sie einen *VIF* Wert aufweisen, der annähernd drei oder kleiner als drei ist.<sup>155</sup> Eine Kollinearitätsprüfung der binären Variablen entfällt auf globaler Ebene.

---

<sup>155</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin; Brunson, Chris; et al. (2005) S. 15

**Tabelle 5: Globale Kollinearitätstestung mittels VIF**

Variable				VIF	Variable				VIF
Typ* Eigensch.**			Typ* Eigensch.**						
a_all	K	A	1,131	p_g_g10	K	L	2,734		
ant_log	K	A	1,107	p_r_v1	K	L	2,316		
ant_ter	K	A	1,017	p_r_v10	K	L	3,194		
bath_kl	D	A	-	p_st_g1	K	L	1,575		
bj_kl	D	A	-	pb_geb1	K	L	1,557		
cond	D	A	-	pb_geb10	K	L	1,058		
dis_st_m	K	L	1,645	room_kl	D	A	-		
gar	D	A	-	unt_g	D	A	-		
heiz_t	D	A	-	wc_kl	D	A	-		
keller	D	A	-	year_ch	D	t	-		
lift	D	A	-	z_akad	K	L	2,526		
moeb_kl	D	A	-	z_geb_8	K	L	1,189		
n_st_d	D	A	-	z_geb_9	K	L	1,061		
p_b_p_1	K	L	1,145	z_neg_au	K	L	1,923		
p_g_1h1	K	L	1,284	*Typ des Skalenniveaus					
				K Kontinuierliche, o.d. D Dummy (Binär)					
**Eigenschaft der Variable				A Ausstattungsvariable, L Lagevariable, t Zeitliche Periode					

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

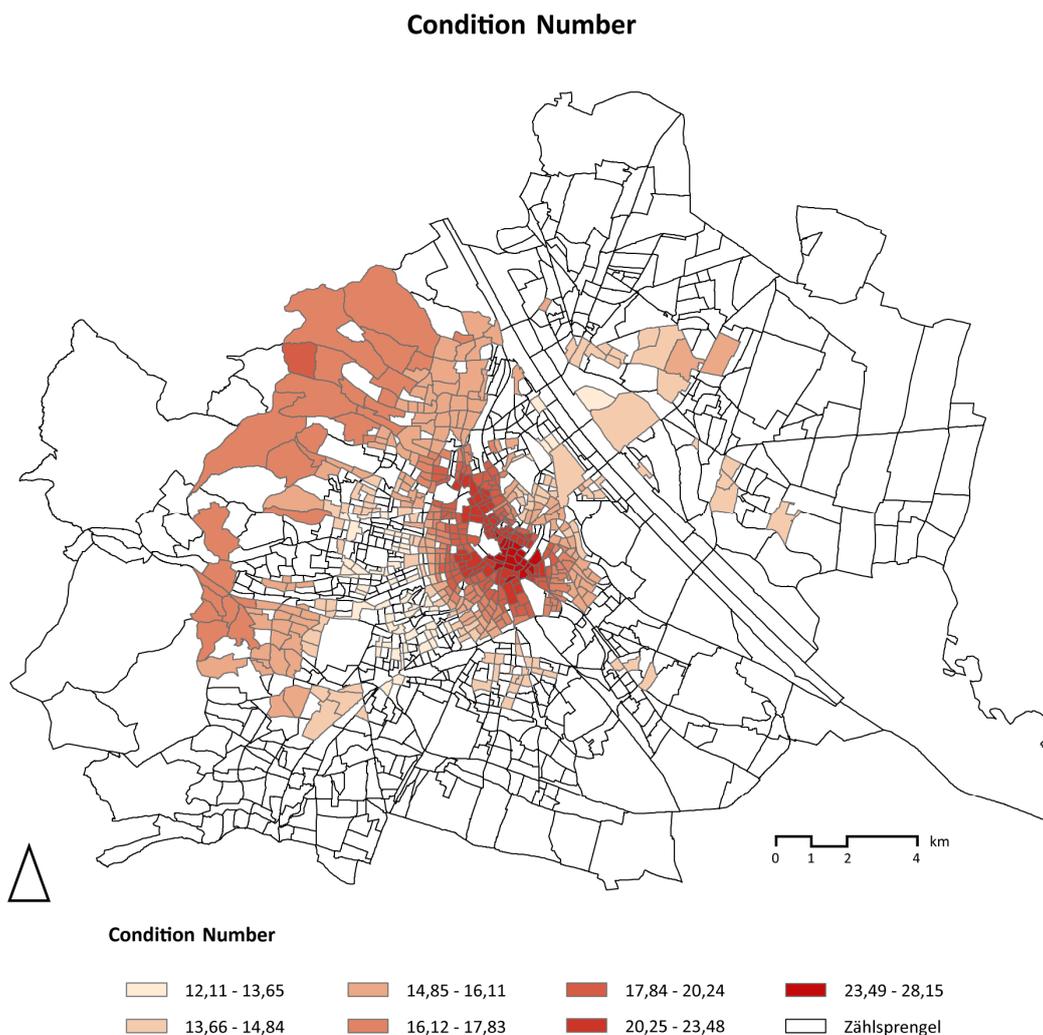
### 1.2.2 Beobachtungsbandbreite

Die Beobachtungsbandbreite wurde ausführlich in Kapitel II Punkt 1.2 erörtert. Im Zuge dieser Erörterung wurde bereits kurz aufgezeigt, dass sich in wiederholten Versuchen im Rahmen der Arbeit ein direkter Zusammenhang zwischen der Beobachtungsbandbreite und der lokalen Korrelation gezeigt hat. Dieser direkte Zusammenhang bestätigte sich auch in weiteren eingehenden Versuchen. Laut diesem direkten Zusammenhang sinkt in der Regel die lokale Korrelation der unabhängigen Variablen, wenn die Beobachtungsbandbreite steigt und wenn die Beobachtungsbandbreite sinkt, steigt die Korrelation der unabhängigen Variablen. Diese Erkenntnis ist im Rahmen der lokalen Kollinearitätsprüfung zentral. Auf Basis dieser zentralen Erkenntnis wurde im Rahmen einer eingehenden Analyse, welche alle in Kapitel II Punkt 1.2.1 enthaltenen Aspekte beinhaltet, eine fixe Beobachtungsbandbreite von 694 Beobachtungspunkten je Regressionspunkt definiert. Diese fixe Beobachtungsbandbreite wurde im weiteren Verlauf der Arbeit für alle lokalen Analysen der GWR verwendet.

### 1.2.3 "Lokale" – Kollinearität

Zur Prüfung der lokalen Korrelation aller unabhängigen Variablen wurde in der Arbeit, wie in der Einleitung in Punkt 4.3.5.2 kurz erörtert, die *CN* als Indikator verwendet. Dieser Indikator steht wie in Kapitel II Punkt 1.2 und Punkt 1.2.1 beschrieben in engem Zusammenhang mit der Beobachtungsbandbreite. Die Karte 3 stellt die *CN* Indikatoren auf Zählsprengelebene aggregiert dar, welche einen *CN* Wert kleiner als 30 aufweisen. Die *CN* Indikatoren beruhen hier ebenfalls auf der fixen Beobachtungsbandbreite von 694 Beobachtungen. Dieser fixe Wert der Beobachtungsbandbreite resultierte hauptsächlich aus der Tatsache, dass bei einer niederen Beobachtungsbandbreite der *CN* Wert von 30 bereits bei einer Anzahl von 4 unabhängigen Variablen überschritten wurde.

Karte 3: Lokale Kollinearitätstestung mittels *CN*

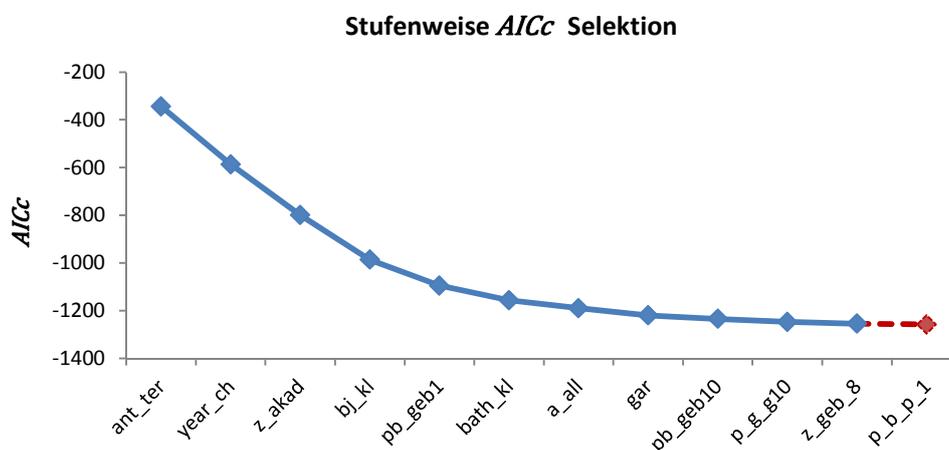


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### 1.3 Endgültige Variablenselektion

Auf Basis der in Punkt 1.1 durchgeführten grundlegenden Variablenselektion erfolgt im Rahmen der Arbeit eine weitere Selektion der Variablen, um eine bestmögliche Modellanpassung zu erreichen. Im Zuge dieser finalen Variablenselektion für das hedonische Modell wurde eine sogenannte stufenweise „forward selection“ anhand des  $AIC_c$  Gütekriteriums vorgenommen. Die stufenweise „forward selection“ wurde bis zu einer Verringerung der  $AIC_c$  Stufendifferenz von drei durchgeführt.<sup>156</sup> Dieses Selektionsverfahren bedarf speziell bei der NCG Software eines äußerst hohen manuellen Aufwands und ist zudem sehr rechen- und damit zeitintensive. Als Beispiel dafür kann die „forward selection“ der Grafik 2 herangezogen werden. Die NCG Software lastete für diese „forward selection“ eine „Desktopworkstation“ der neuesten Generation (i7 Xenon 4 Kern) ca. 1 Woche zu 100% aus, wobei in unterschiedlichen Intervallen von ein paar Minuten bis zu einem halben Tag ein manuelles Eingreifen notwendig war. Die stufenweise „forward selection“ der Grafik 2 basiert ebenfalls auf der in Punkt 1.2.2 definierten fixen Beobachtungsbandbreite von 694 Beobachtungen. Die 11 Variablen dieser stufenweise „forward selection“ der Grafik 2 bilden die endgültige Basis für die im Rahmen der Arbeit verwendeten Modellvariablen, auf denen die GWR Analyse basiert.

Grafik 2: Endgültige Variablenselektion mittels Stufenweiser  $AIC_c$  Selektion



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

<sup>156</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Kelly, Mary H; Charlton, Martin (2012) S. 8 f

## 1.4 „Räumliche Nicht-Stationarität“

Die „Räumliche Nicht –Stationarität“ wurde ausführlich in der Einleitung in Punkt 4.3.2 erörtert und ist für die Fragestellung, ob ein „Mixed GWR“ zur Anwendung kommen soll oder nicht, zentral. Das „Mixed GWR“ Modell beruht auf der in Kapitel II Punkt 1.4 bereits erwähnten Annahme, dass nicht alle Modellvariablen „Räumlich nicht-Stationär“ sind. Im Rahmen der Arbeit erfolgt mittels dem in der Einleitung in Punkt 4.3.2.1 erörterten lokalen geographischen Variabilitätstest die Prüfung ,ob statistisch gesehen „Räumliche Nicht-Stationarität“ in den Variablen vorliegt oder nicht. Im Zuge dieser Prüfung ist ebenfalls die Beobachtungsbandbreite zentral, wobei auch hier wiederum die in Punkt 1.2.2 definierte fixe Beobachtungsbandbreite von 694 Beobachtungen zur Anwendung kam. Aus Tabelle 6 kann anhand des positiven *DIFF* Kriteriums des geographischen Variabilitätstests entnommen werden, dass für die Klasse der Baujahre von 1946 bis 1982 statistisch gesehen keine räumliche Variation der Einflussnahme vorliegt und dass aus diesem Grund eine „Mixed GWR“ zur Anwendung kommen muss.

**Tabelle 6: „Räumliche Nicht-Stationaritätstestung“ mittels *DIFF* Kriterium**

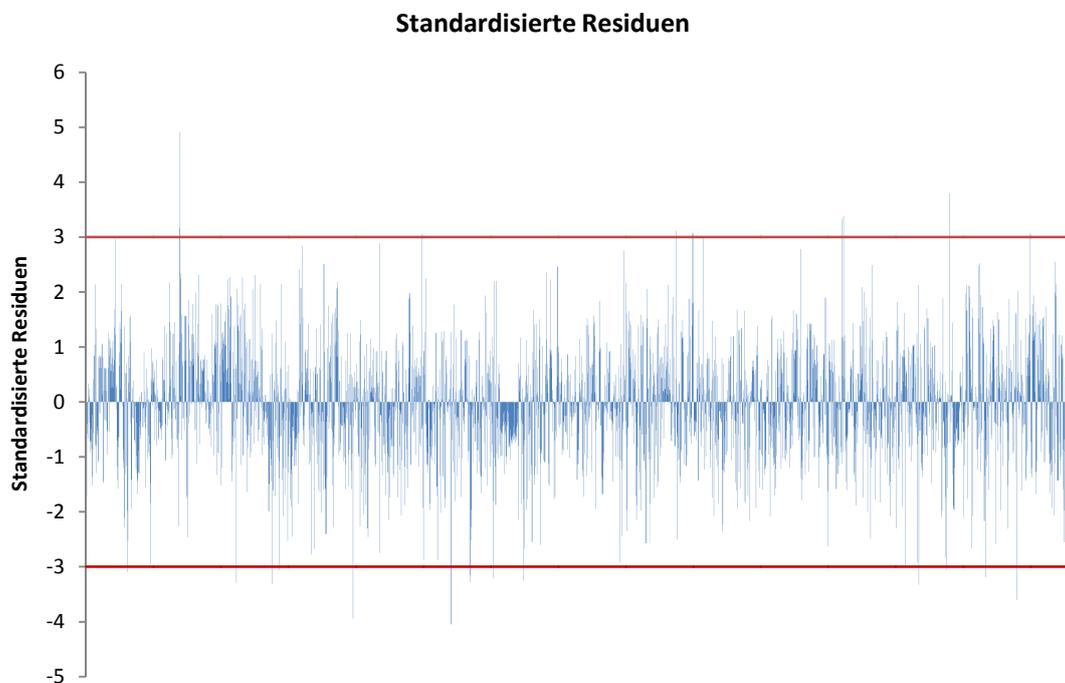
<i>Variable</i>	<i>F</i>	<i>DIFF Kriterium</i>	<i>Variable</i>	<i>F</i>	<i>DIFF Kriterium</i>
Intercept	43,948	-72,478	gar	3,317	-2,480
a_all	60,708	-77,605	p_g_g10	8,754	-11,527
ant_ter	49,406	-91,375	pb_geb1	36,859	-24,878
bath_kl1	8,498	-9,631	pb_geb10	6,269	-7,370
bath_kl2	5,028	-3,825	year_ch1	6,353	-6,814
bj_kl_1	11,074	-13,624	year_ch2	4,203	-3,622
bj_kl_2	0,999	2,497	year_ch3	9,547	-12,784
bj_kl_3	3,788	-3,102	year_ch4	7,079	-8,566
bj_kl_4	6,950	-8,346	z_akad	67,750	-104,351
bj_kl_5	4,273	-4,318	z_geb_8	4,889	-5,684

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 1.5 Ausreißer Reduktion

Auf Basis der in Punkt 1.3 ermittelten Variablen sowie der aus Punkt 1.4 resultierenden Notwendigkeit eines „Mixed GWR“ Modells erfolgt in diesen Schritt die Reduktion der Ausreißer im Modell. Als Ausreißer werden im „Mixed GWR“ Modell alle Beobachtungen definiert, deren Residuen über plus oder minus drei liegen.<sup>157</sup> Mittels Grafik 3 wird veranschaulicht, dass nur wenige Beobachtungen über diesen Punkten liegen. Anhand dieser Definition wurden 25 Beobachtungen als Ausreißer identifiziert, sodass sich nach Reduktion der Ausreißer ein Datensatz von 2.901 Angebotsfälle für Mietobjekte in der Kategorie Dachgeschoss ergaben.

**Grafik 3: Ausreißer Reduktion der Beobachtungen im Modell mittels standardisierter Residuen**



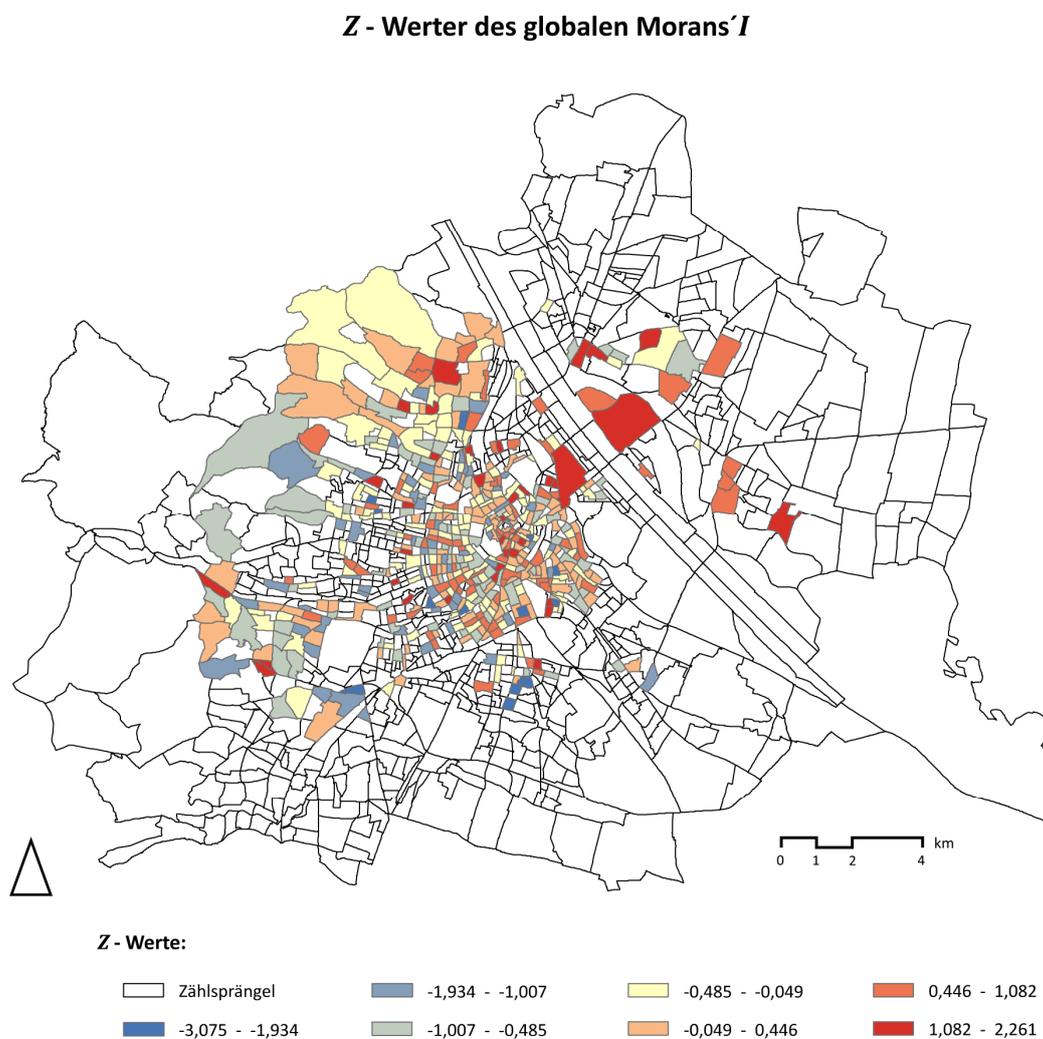
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

<sup>157</sup> Vgl. Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; Charlton, M (2002) S. 73 ff

## 1.6 Globale Autokorrelation

In der Einleitung wurde in Punkt 4.3.6 die Autokorrelation, sowie die dahinter stehende Theorie des in der Arbeit verwendeten Testverfahrens erörtert. Im Zentrum der Prüfung der Autokorrelation steht die Prämisse der *LWLS* Schätzung, dass die bedingten Residualwerte voneinander unabhängig sind, wie in Kapitel II Punkt 1.3 aufgezeigt. Zur Prüfung der globalen Autokorrelation wurde in der Arbeit der in der Einleitung in Punkt 4.3.6.1 erörterte globale Moran's *I* verwendet. Der globale Moran's *I* beruht auf der „euclidean inverse distance“ mit einem „distance Threshold“ von 272. Die Karte 4 stellte die *Z*-Werte des globalen Moran's Indexes der standardisierten Residuen auf Zählsprengelenebene dar.

Karte 4: *Z* - Werte des globalen Moran's Indexes der standardisierten Residuen auf Zählsprengelenebene



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Wobei die  $Z$ -Werte des globalen Moran's  $I$  in Karte 4 eine eindeutige „random“ Verteilung aufweisen, wie in der Einleitung in Punkt 4.3.6.1 erörtert. Diese „random“ Verteilung wird auch durch die Tabelle 7 belegt, aus der deutlich die Annahme der Zufallsnullhypothese  $H_0$  hervorgeht, da die  $Z$ -Werte und die  $p$ -Werte innerhalb der in der Einleitung in Punkt 4.3.6.1 erörterten Toleranz liegen. Darauf beruhend ist bewiesen, dass keine globale Autokorrelation vorliegt.

**Tabelle 7: Statistik des Moran's  $I$**

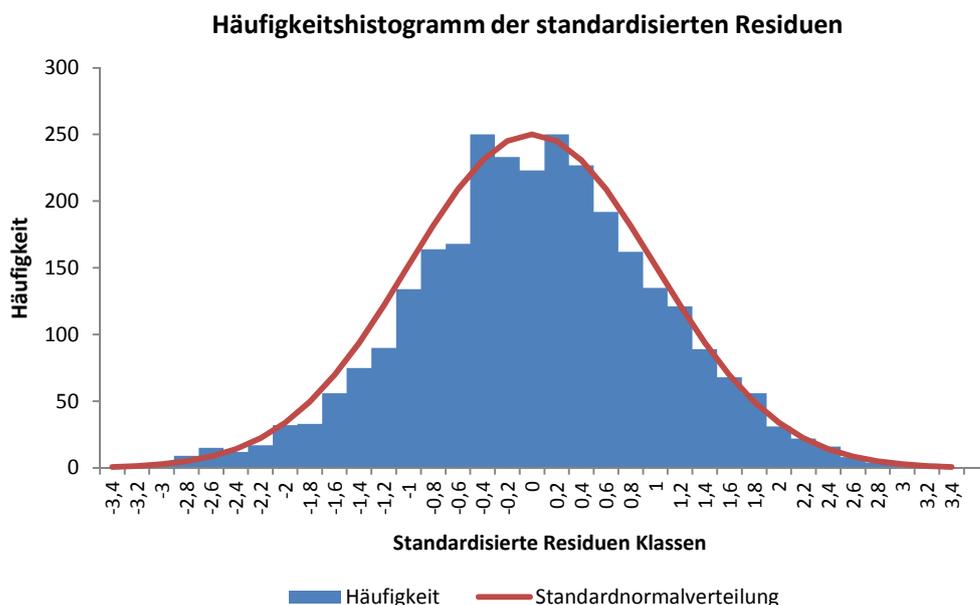
Moran's Index	0,071
$Z$ -Wert	1,610
$p$ -Wert	0,107

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 1.7 Normalverteilung

Die Notwendigkeit der Prüfung der Normalverteilung der standardisierten Residuen ist, wie in Kapitel II Punkt 1.3 erörtert, nur bei der Verwendung von Signifikanztests relevant und zentral. Da im Rahmen der Arbeit Signifikanztests zur Anwendung kommen, wurde in Grafik 4 die Normalverteilung der standardisierten Residuen mittels Häufigkeitshistogramm geprüft. Das Häufigkeitshistogramm der Grafik 4 weist eindeutig eine Normalverteilung der standardisierten Residuen auf, da die Häufigkeitsverteilung innerhalb der „Gaussain Glockenkurve“ der Standartnormalverteilung liegt.

**Grafik 4: Häufigkeitshistogramm der standardisierten Residuen der Normalverteilung**

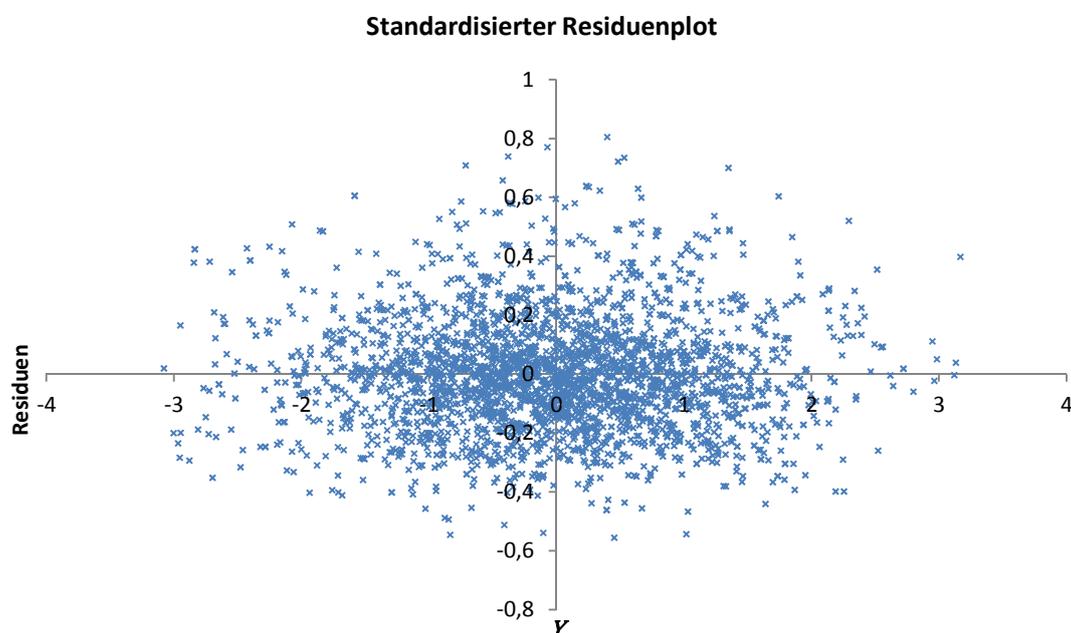


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 1.8 Homoskedastizität

Zur Prüfung der Homoskedastizität, sprich der Streuungsgleichheit der Residuen mit den unabhängigen Variablen, wurde in der Arbeit ein Streuungsdiagramm verwendet. Das Streuungsdiagramm in Grafik 5, stellt den Zusammenhang zwischen den standardisierten Residuen und den vom Modell geschätzten  $\hat{Y}$  Variablen dar. Da im Streuungsdiagramm in Grafik 5 eindeutig kein klares Muster zu erkennen ist, sondern nur eine Streuung um den Nullpunkt, herrscht mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Streuungsgleichheit vor.

Grafik 5: Standardisierte Residuenplot der Homoskedastizität



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 2. Parametervergleich und Modell Gegenüberstellung

Im Zuge der in Punkt 1 durchgeführten Modellfindung und Prämissenprüfung, wurden die für die GWR Analyse relevanten Variablen ermittelt. Im Zuge dieser Ermittlung kamen unterschiedliche Gewichtungsfunktionen der GWR zum Einsatz. In Tabelle 8 werden die Parameter dieser unterschiedlichen lokalen Gewichtungsfunktionen den globalen Parametern gegenübergestellt. Anhand der Tabelle 8 werden die Unterschiede in den lokalen Parametern zwischen der „Bi-quadrat“ und der „Gaussain Gewichtungsfunktion“ in ihrer GWR sowie ihrer „Mixed GWR“ Variante aufgezeigt. Diese Unterschiede zwischen den beiden Gewichtungsfunktionen bestehen vor allem in den Extremwerten der

„Bi-Quadrat Gewichtungsfunktion“, die sich zum Teil auch in den Werten der Mediane widerspiegelt. Am deutlichsten sind diese Unterschiede bei den Parametern der Industrie- oder Lagerhallen, der Angebotsjahre, der Sichtbarkeit von bedeutenden Gebäuden sowie bei den Garagen. Um diese Unterschiede zu verdeutlichen, wurden diese lokalen Parameter im Anhang mittels Box Plot Grafiken visualisiert. Aus diesen Grafiken im Anhang kann von Grafik 8 bis Grafik 12 ein deutlicher Unterschied der Quantilsverteilungen der lokalen Parameter sowie dessen Maximalwerten entnommen werden. Aufgrund dieser Verteilung, die im Fall der „Bi-Quadrat Funktion“ Großteils jeder Logik widerspricht, wurde für die weitere Analyse die „Gaussain Gewichtungsfunktion“ in ihrer „Mixed GWR“ Variante herangezogen, da diese logische Parameter liefert.

**Tabelle 8: Gegenüberstellung der Parameter der lokalen und globalen Modelle**

Variable	Lokal										Global
	Bi-Quadrat GWR Parameter					Gaussain Mixed GWR Parameter					Parameter
	Min	Untere Quartile	Median	Obere Quartile	Max	Min	Untere Quartile	Median	Obere Quartile	Max	Median
Intrcept	1,909	2,105	2,198	2,244	2,473	2,124	2,150	2,170	2,198	2,234	2,140
a_all	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001
ant_ter	0,011	0,195	0,296	0,380	0,647	0,269	0,309	0,327	0,354	0,388	0,292
bath_kl1	0,005	0,041	0,063	0,092	0,170	0,059	0,069	0,077	0,087	0,095	0,081
bath_kl2	0,025	0,140	0,203	0,248	0,387	0,190	0,211	0,233	0,250	0,266	0,220
bj_kl_1	-0,054	0,019	0,036	0,061	0,165	0,002	0,013	0,020	0,028	0,045	0,033
bj_kl_2	-0,357	-0,211	-0,145	-0,095	0,048	-	-	-0,190	-	-	-0,045
bj_kl_3	-0,184	-0,078	-0,049	-0,018	0,113	-0,082	-0,070	-0,062	-0,055	-0,031	0,050
bj_kl_4	-0,047	0,033	0,082	0,118	0,216	0,016	0,037	0,045	0,049	0,065	0,093
bj_kl_5	-0,108	0,056	0,098	0,135	0,236	0,051	0,072	0,096	0,114	0,128	0,033
gar	-0,046	0,026	0,055	0,076	0,164	0,021	0,027	0,031	0,037	0,049	-0,104
p_g_g10	-0,493	-0,225	-0,115	0,043	0,371	-0,333	-0,241	-0,171	-0,147	-0,087	0,551
pb_geb1	-1,479	0,268	0,410	0,695	1,249	0,413	0,463	0,502	0,532	0,570	-0,001
pb_geb10	-0,643	-0,126	0,004	0,087	0,510	-0,200	-0,123	-0,076	-0,032	0,009	0,139
year_ch1	-0,002	0,070	0,104	0,135	0,235	0,054	0,077	0,090	0,100	0,108	0,999
year_ch2	-0,008	0,075	0,109	0,126	0,221	0,059	0,083	0,095	0,104	0,123	0,106
year_ch3	0,021	0,109	0,132	0,170	0,246	0,117	0,126	0,135	0,137	0,149	0,112
year_ch4	0,041	0,100	0,131	0,164	0,253	0,128	0,132	0,133	0,142	0,155	0,136
z_akad	0,084	0,616	0,869	1,004	1,440	0,887	0,959	1,016	1,076	1,174	-0,178
z_geb_8	-3,875	-0,702	-0,148	0,073	0,538	-0,638	-0,398	-0,266	-0,190	-0,047	-0,190

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 2.1 Globale Regression und lokale GWR

In Tabelle 9, werden die Modellkennwerte der globalen Regression den Modellkennwerten der lokalen GWR gegenübergestellt. Dabei ist die Aussage der in der Einleitung in Punkt 4.3.4 und Punkt 4.3.3 erörterten Kennwerte eindeutig. Die lokale GWR weist einen doppelt so niedrigen  $AIC_c$  sowie ein deutlich höheres angepasstes  $r^2$  als die globale Regression auf und bildet demzufolge die Realität besser ab als die globale Regression. Jedoch weist die lokale GWR, wie schon in Punkt 2 zuvor erwähnt, im Falle einer „Bi-quadrat Gewichtungsfunktion“ unlogische Parameterwerte auf, sodass für die weitere Analyse eine „Gaussain Gewichtungsfunktion“ in ihrer „Mixed GWR“ Variante herangezogen wurde.

**Tabelle 9: Gegenüberstellung der Modellgüteindikatoren des globalen und lokalen Modells**

	Globale Regression	Lokale GWR
$AIC_c$	-676,498468	-1254,56526
Determinationskoeffizient	0,41361	0,588863
Angepasstes $r^2$	0,409573	0,55368

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 2.2 Lokale „Bi-quadrat GWR“ und „Gaussain Mixed GWR“

Die in Tabelle 10 gegenüber gestellten GWR Modellkennwerte der lokalen „Bi-quadrat Gewichtungsfunktion“ und der lokalen „Gaussain Gewichtungsfunktion“ weisen ebenfalls eine eindeutige Aussage auf, die ebenfalls auf den in der Einleitung in Punkt 4.3.4 und Punkt 4.3.3 erörterten Kennwerten beruht. Laut diesen Kennwerten würde auch in diesem Fall so wie in Punkt 2.1 die „Bi-quadrat Gewichtungsfunktion“ die Realität besser abbilden als die „Gaussain Gewichtungsfunktion“. Wie jedoch zuvor ausführlich in Punkt 2 dargestellt, liefert die „Bi-quadrat Gewichtungsfunktion“ zum Teil unlogische Parameterwerte, sodass für die weitere Analyse trotz der schlechteren Modellkennwerte eine „Gaussain Gewichtungsfunktion“ in ihrer „Mixed GWR“ Variante herangezogen wird.

**Tabelle 10: Gegenüberstellung der Modellgüteindikatoren des „Bi-quadrat“ und „Gaussain Mixed Modells“**

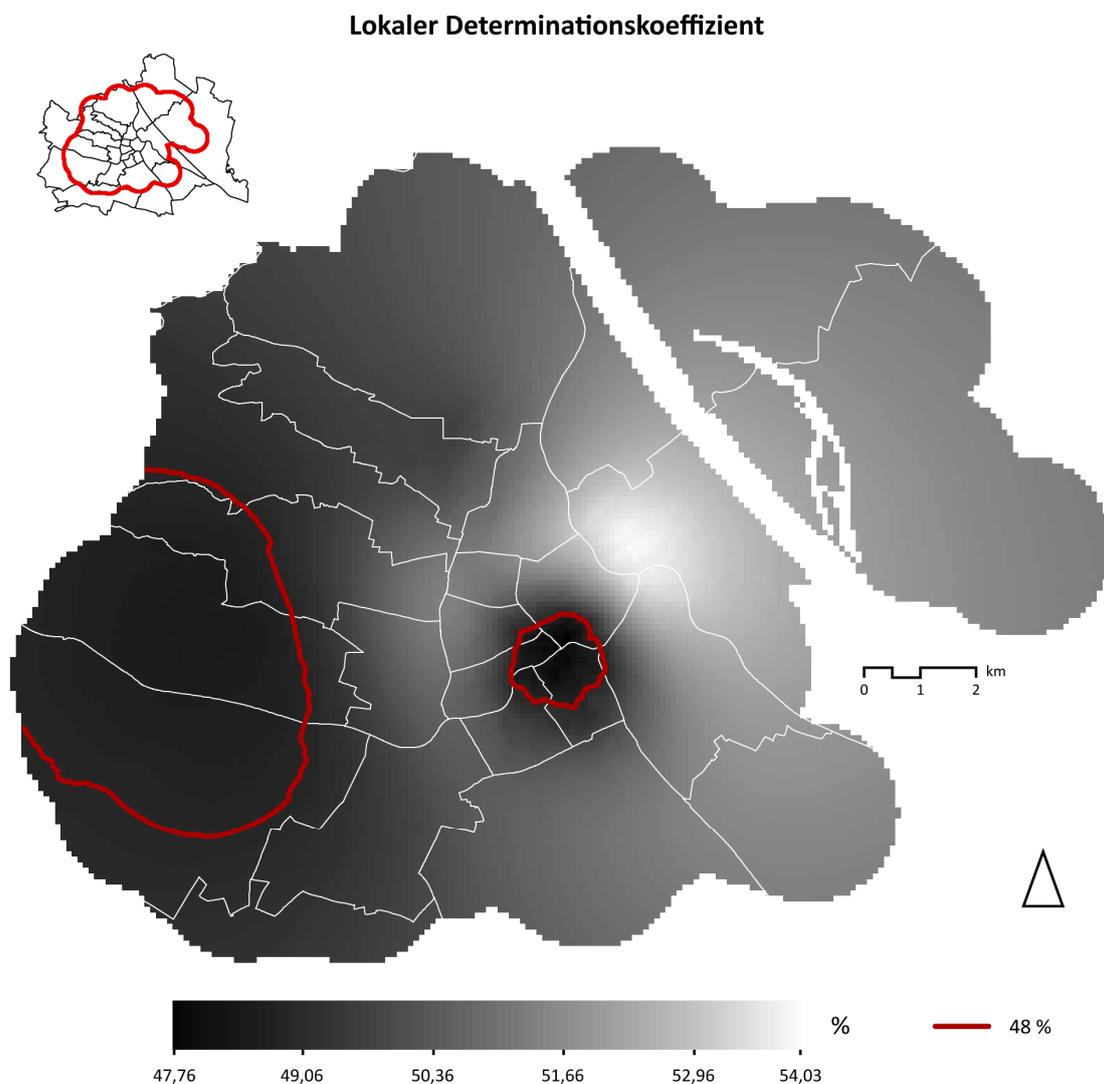
	Bi-quadrat GWR	Gaussain Mixed GWR
$AIC_c$	-1254,56526	-1194,847197
Determinationskoeffizient	0,588863	0,501017
Angepasstes $r^2$	0,55368	0,488861

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 2.3 Lokale „Gaussain Mixed GWR“ Modellkennwerte im Detail

Betrachtet man die Modellwerte der lokalen „Gaussain Gewichtungsfunktion“ in ihrer „Mixed GWR“ Variante aus Tabelle 10 genauer, so zeigt sich, dass der angepasste  $r^2$  Wert, welcher in der Einleitung in Punkt 4.3.3 erörtert wurde, für ein komplexes Modell mit diesem Beobachtungsumfang noch innerhalb der gängigen Toleranz liegt. Dies wird vor allem durch die Karte 5, welche die Verteilung der lokalen angepassten  $r^2$  Werte aufzeigt, verdeutlicht, da der Anteil der Variation der abhängigen Variable, der durch die unabhängigen Variablen erklärt werden kann, in weiten Teilen des Analysebereichs über 48% liegt.

Karte 5: Lokale Determinationskoeffizienten des „Gaussain Mixed Modells“



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## VI. RESULTATE DER HEDONISCHEN ANALYSE

Die Resultate der hedonischen Analyse aus der empirischen GWR Analyse in Kapitel V werden in diesem Kapitel anhand verschiedener Grafiken und Karten ausführlich erörtert und dargestellt. Dabei weisen alle Resultate der hedonischen Analyse ein Signifikanzniveau von mindestens 0,025 auf. Dieses Signifikanzniveau basiert auf  $t$ -Werten von über  $\pm 1,96$  und wurde anhand einer  $t$ -Tabelle ermittelt. Den Kartendarstellungen liegt ein Raster mit einer Rasterweite von 100 Metern des in Kapitel III Punkt 2 ermittelten Analysebereichs zugrunde. In manchen Kartendarstellungen verringert sich der Analysebereich des Kapitel III Punkt 2 aufgrund des ermittelten Signifikanzniveaus, da die Resultate außerhalb des Signifikanzniveaus von mindestens 0,025 liegen.<sup>158</sup>

### 1. Periodische Entwicklung der Mieten bei Dachgeschosswohnungen

Im Rahmen dieses Punktes wird eine der zentralen Fragestellungen der Arbeit aus der Einleitung in Punkt 2.1 behandelt, nämlich wie sich die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen entwickelt haben. In den nachfolgenden Punkten wird die Entwicklung des Mietpreisindex sowie die räumliche Variation der Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen aufgezeigt und erörtert.

#### 1.1 Entwicklung des Mietpreisindex

Die Entwicklung des Mietpreisindex basiert in der Arbeit, wie bereits in Kapitel I Punkt 2.1.1 erwähnt, auf dem direkten Ansatz einer periodischen Indexänderung nach der Methode der Zeit Dummies. Bei dieser Methode basiert die Indexbasis auf einer Referenzklasse, die im Verhältnis der Beobachtungen zu den Indexjahren möglichst groß ist.<sup>159</sup> Im Falle der Arbeit wurde als Indexbasis der Zeitraum von 2001 bis 2007 definiert. Im folgenden Verlauf der Arbeit beziehen sich alle periodischen Darstellungen auf diesen Zeitraum der Indexbasis von 2001 bis 2007.

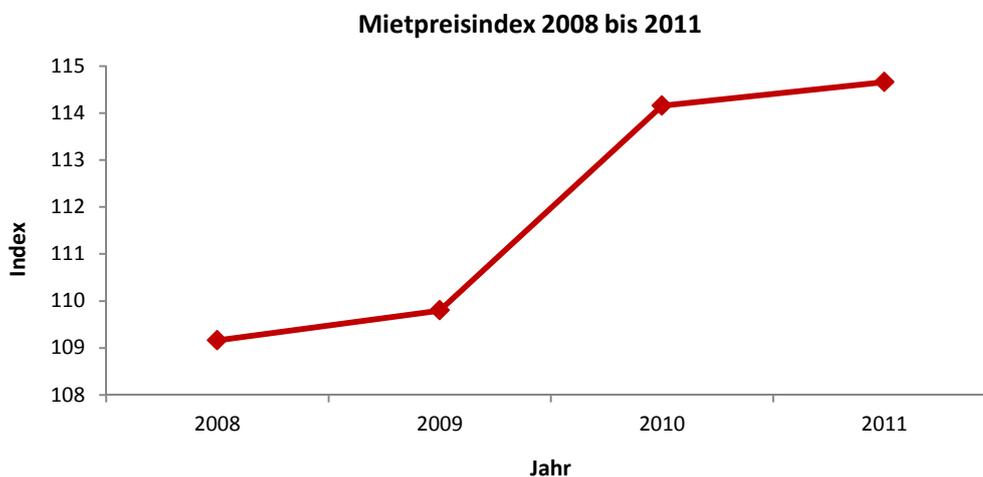
---

<sup>158</sup> Matthews, Stephen a.; Yang, Tse-Chuan (2012) S. 155 ff

<sup>159</sup> Wolfgang, Feilmayr (2004) S. 75 ff

Betrachtet man die Entwicklung der Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen in den letzten Jahren anhand eines Preisindexes für ganz Wien, so spiegelt sich ein klares Bild wie in Grafik 6 ersichtlich wieder. Dieses Bild der Entwicklung zeigt auch in Wien bei den Mieten im Dachgeschoss eine klare Steigerung der Quadratmetermieten von ca. 15% bezogen auf die Indexbasis. In den Jahren 2008 bis 2011 steigerten sich die Quadratmetermieten um ca. 6%, wobei ein deutlicher Sprung des Anstieges mit ca. 5,5% in den Jahren 2009 und 2010 zu erkennen ist. Davor und danach zeigt sich ein deutlich flacherer Anstieg des Preisindexes bei den Dachgeschosswohnungen von nur ca. 0,6% und ca. 0,5%. Insgesamt ist die Mietpreisentwicklung bei Dachgeschosswohnungen positiv und es ist eine weitere positive Tendenz zu erwarten, jedoch liegt die Steigerung deutlich unter der Steigerung, welche bei Eigentum in dieser Periode erreicht wurde.

**Grafik 6: Preisindex der Mieten im Dachgeschoss in den Jahren 2008 bis 2011 bezogen auf die Indexbasis von 2001 bis 2007**



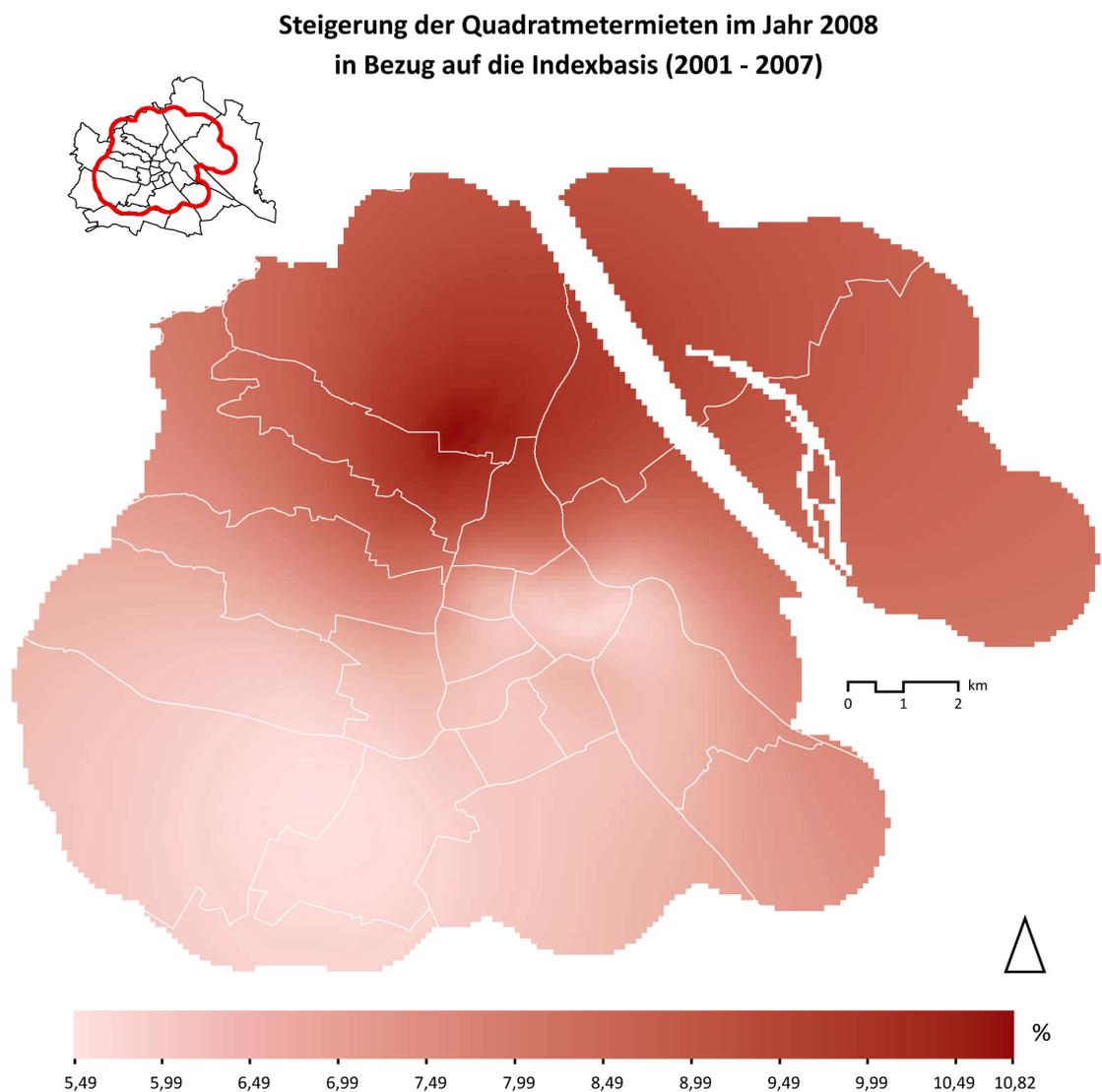
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

In den folgenden Punkten wird die räumliche Variation der Quadratmetermieten der Indexjahre dargestellt. Dabei gab es bei der räumlichen Variation der Quadratmetermieten über das Wiener Stadtgebiet, punktuell deutlich stärkere Steigerungen der Quadratmetermieten als beim Mietpreisindex von 2008 bis 2011 für das gesamte Stadtgebiet. Aus diesen punktuellen räumlichen Variationen, lassen sich zum Teil deutliche Trends der Einflussnahme und der Entwicklung auf die Quadratmetermieten ableiten, die anschließend in Kapitel VII sowie in der Zusammenfassung dargestellt und aufgezeigt werden.

## 1.2 Variation der Mieten im Jahr 2008

Die Karte 6 spiegelt bezogen auf die Indexbasis der Jahre 2001 bis 2007 die räumliche Variation der Quadratmetermieten für das Jahr 2008 wieder. Dabei zeigt sich deutlich, dass in den traditionell als gehoben geltenden Randbezirken im 19. sowie in Teilen vom 18. Bezirk mit ca. 11% die höchsten Steigerungen der Quadratmetermieten bezogen auf die Indexbasis erreicht wurden. Wobei die Spitze in der Nähe der großen Parks wie Türkenschanzpark und Hugo-Wolf-Park lag. Aber auch in den angrenzenden Bezirken im 9. und 20. Bezirk sowie über der Donau gab es deutliche Steigerungen der Quadratmetermieten. Im 1. Bezirk sowie den restlichen Bezirken fiel die Steigerung der Quadratmetermieten eher moderat aus. Die geringste Steigerung der Quadratmetermieten gab es dabei in der Nähe des Schlossparks Schönbrunn sowie beim Springerschlüssel mit nur ca. 5% Steigerung der Quadratmetermieten bezogen auf die Indexbasis.

Karte 6: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2008 bezogen auf die Indexbasis

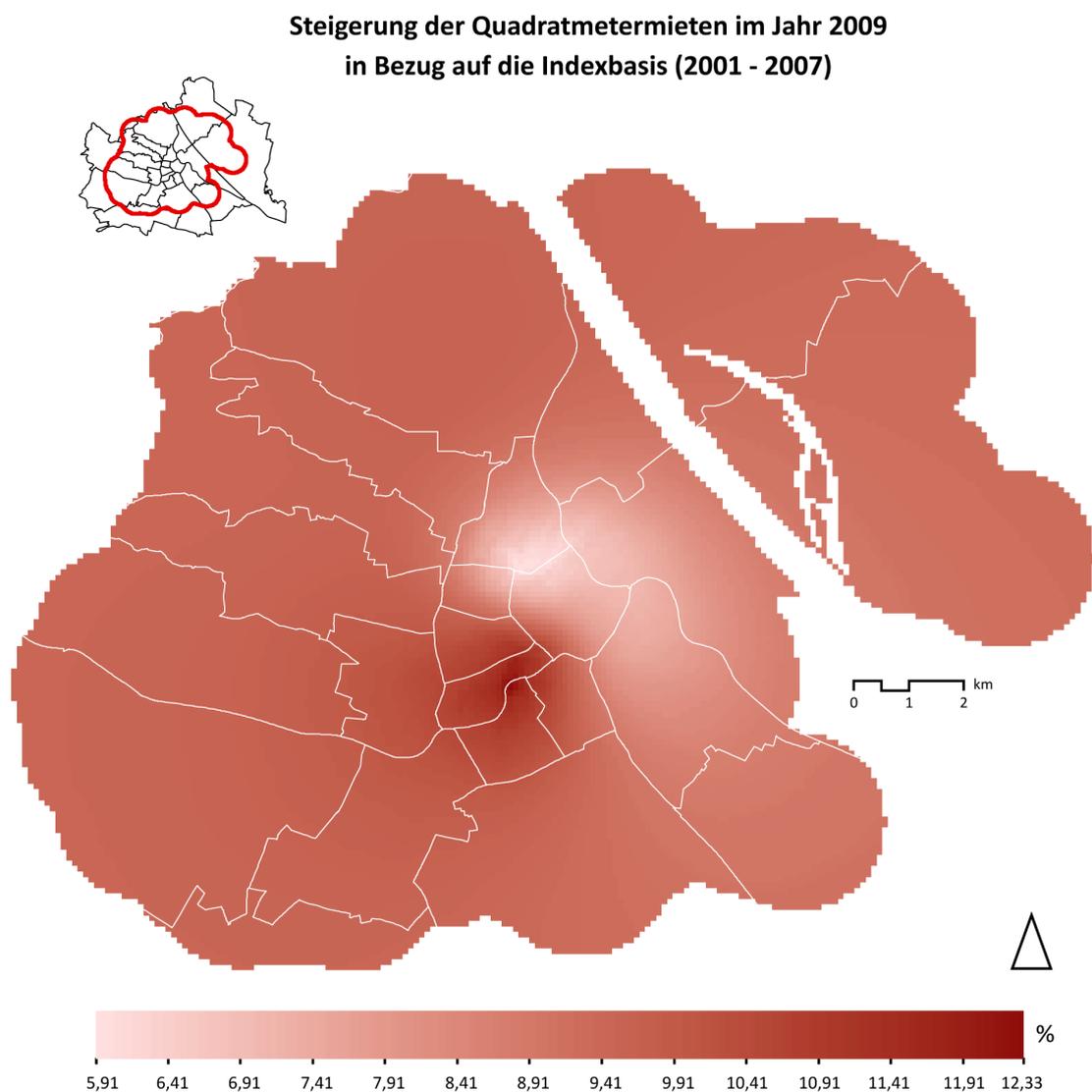


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### 1.3 Variation der Mieten im Jahr 2009

Aus Karte 7 ist ebenfalls die räumliche Variation der Quadratmetermieten bezogen auf die Indexbasis der Jahre 2001 bis 2007 ersichtlich. Im Jahr 2009 zeigt sich eine völlig andere Variation als im Jahr 2008 in Punkt 1.2. Es zeigt sich dabei deutlich, dass im Jahr 2009 vor allem in der Nähe des Naschmarktes der U4 entlang im 6. und 5. Bezirk die höchsten Steigerungen der Quadratmetermieten mit ca. 12%, bezogen auf die Indexbasis, erreicht wurden. Aber auch in Teilen vom 1. Bezirk sowie in Teilen vom 7. und 4. Bezirk gab es beträchtliche Steigerungen der Quadratmetermieten. Die geringsten Steigerungen der Quadratmetermieten hingegen gab es mit nur ca. 6%, bezogen auf die Indexbasis, im 9. Bezirk nahe der Votivkirche, sowie in Teilen vom 1., 2. und 3. Bezirk. In den restlichen Bezirken lag die Steigerung der Quadratmetermieten leicht über dem Mittel des Jahres 2009 und zeigte keine sonderliche Variation.

Karte 7: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2009 bezogen auf die Indexbasis

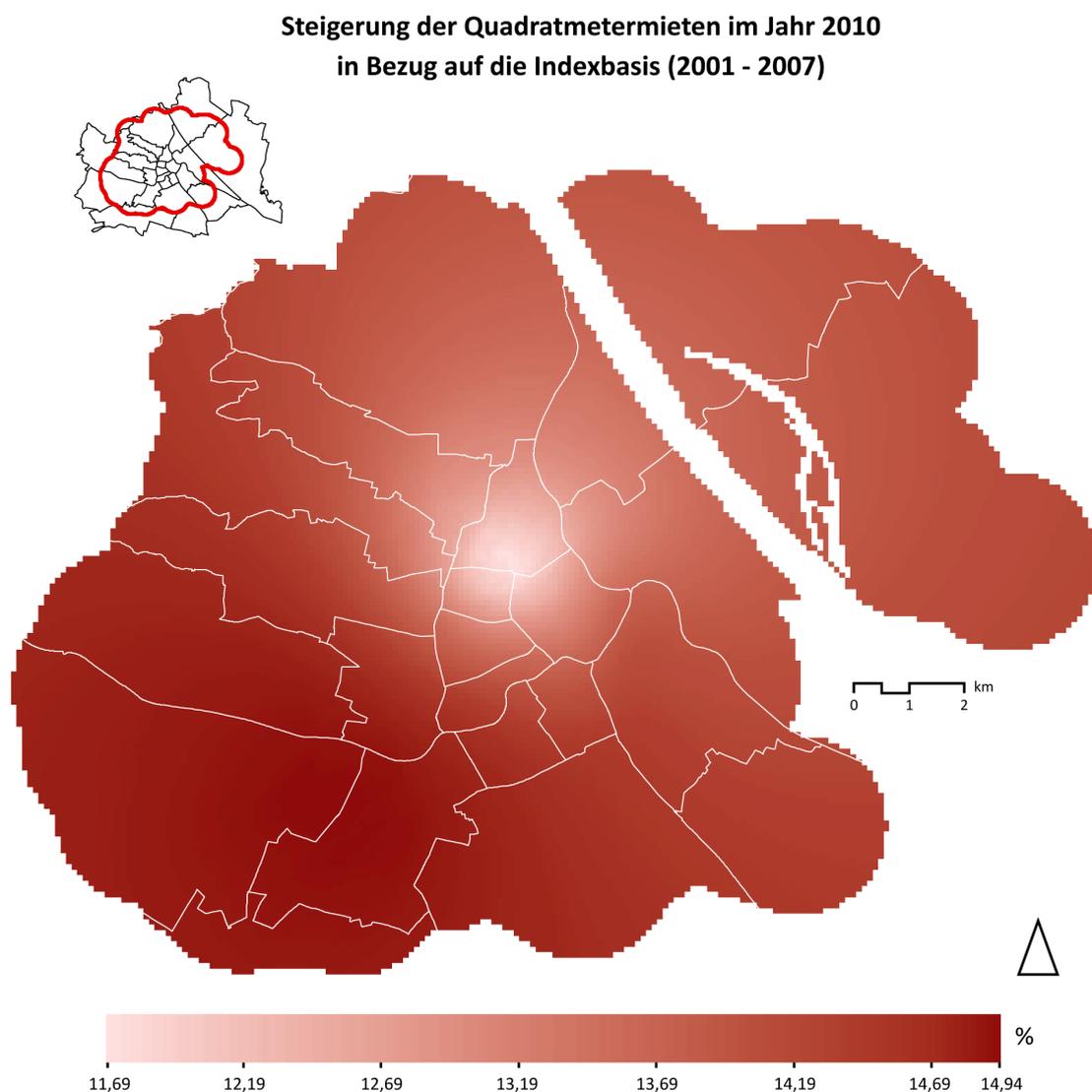


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 1.4 Variation der Mieten im Jahr 2010

Die Karte 8 spiegelt ebenfalls die räumliche Variation der Quadratmetermieten bezogen auf die Indexbasis der Jahre 2001 bis 2007 wieder. In den Quadratmetermieten des Jahres 2010 ist klar der in Punkt 1.1 dargestellte Sprung nach oben zu erkennen. Dabei ist in der räumlichen Variation in der Innerstadt der Trend aus dem Jahr 2009 in Punkt 1.3 erkennbar. Auch im Jahr 2010 zeigt sich deutlich, dass vor allem in der Nähe des Alten AKH im 9. und 8. Bezirk sowie in Teilen vom 1. Bezirk die geringsten Steigerungen der Quadratmetermieten mit ca. 12%, bezogen auf die Indexbasis, erreicht wurden. Die höchsten Steigerungen der Quadratmetermieten bezogen auf die Indexbasis mit ca. 15% wurden in den Außenbezirken im 13., 14. und 12. Bezirk erreicht. Beträchtliche Steigerungen gab es auch noch in Teilen der angrenzenden Bezirke. In den restlichen Bezirken lag die Steigerung der Quadratmetermieten im Durchschnitt des hohen Niveaus des Jahres 2010.

Karte 8: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2010 bezogen auf die Indexbasis

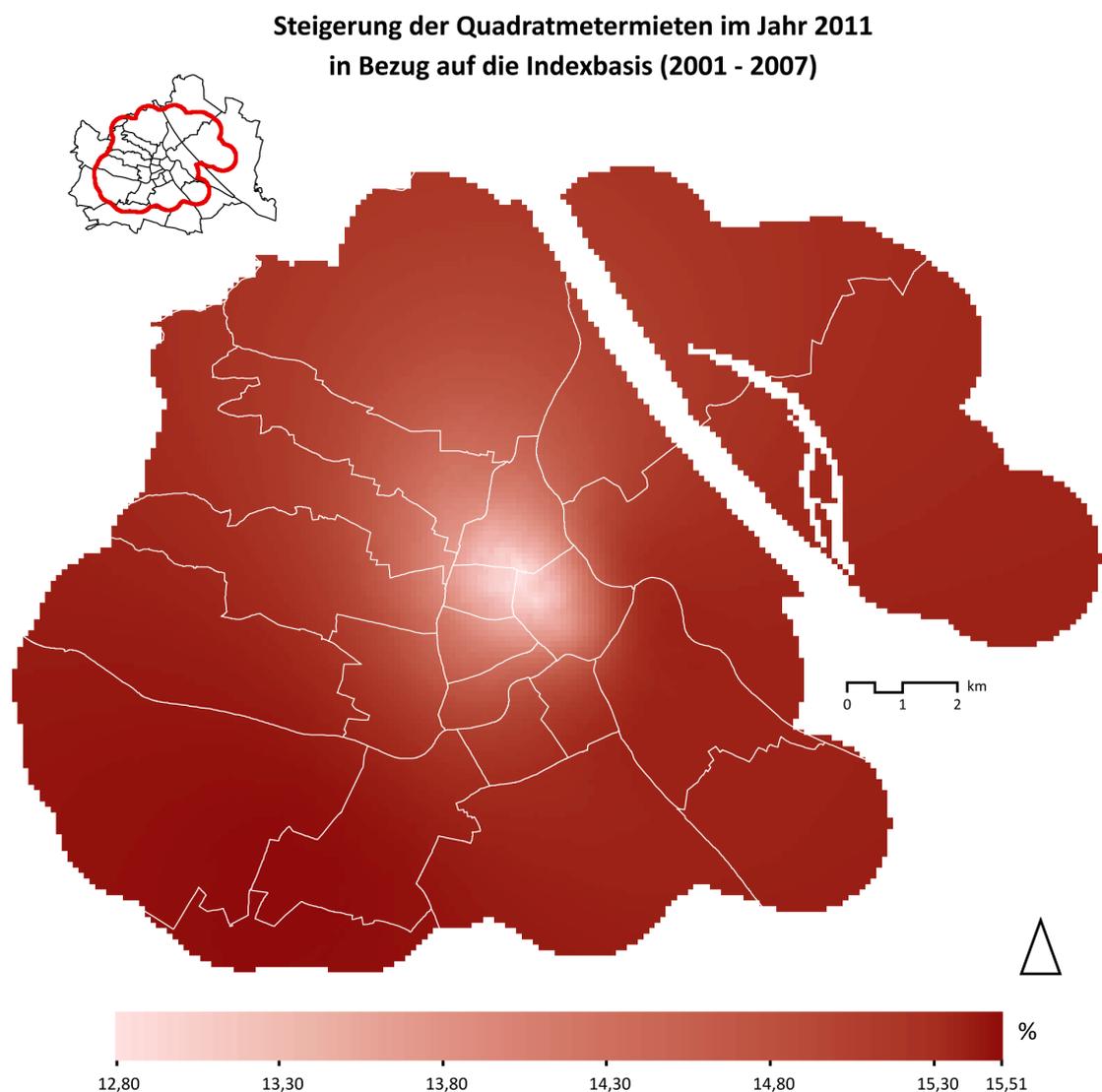


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 1.5 Variation der Mieten im Jahr 2011

Aus Karte 9 ist ebenfalls die räumliche Variation der Quadratmetermieten, bezogen auf die Indexbasis der Jahre 2001 bis 2007, ersichtlich. Im Jahr 2011 setzt sich der klare Trend der räumlichen Variation aus den Jahren 2010 in Punkt 1.4 sowie 2009 in Punkt 1.3 fort. Es zeigt sich dabei deutlich, dass auch im Jahr 2011 die geringsten Steigerungen der Quadratmetermieten mit ca. 13% bezogen auf die Indexbasis im 9. und 8. Bezirk sowie in Teilen vom 1. Bezirk erreicht wurden, wobei sich der Trend deutlich in Richtung Universität verschoben hat. Ebenfalls setzt sich der Trend zu den höchsten Steigerungen in den Außenbezirken fort. Die höchsten Steigerungen bezogen auf die Indexbasis wurden mit ca. 15% Steigerung der Quadratmetermieten im 13. und 12. Bezirk erreicht. Auch über der Donau gab es beträchtliche Steigerungen der Quadratmetermieten.

Karte 9: Steigerung der Quadratmetermieten im Jahr 2011 bezogen auf die Indexbasis



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 2. Lagebezogene Einflussfaktoren auf die Mieten bei Dachgeschosswohnungen

Im Rahmen dieses Punktes wird eine der zentralen Fragestellungen der Arbeit aus der Einleitung in Punkt 2.1 behandelt, nämlich welche räumliche Variation und welchen Einfluss die Lagevariablen auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen aufweisen. In den nachfolgenden Punkten wird diese Fragestellung eingehend anhand Punkt 2.1 und Punkt 2.2 aufgezeigt.

### 2.1 Einfluss der Sichtbarkeitsfaktoren auf die Mieten

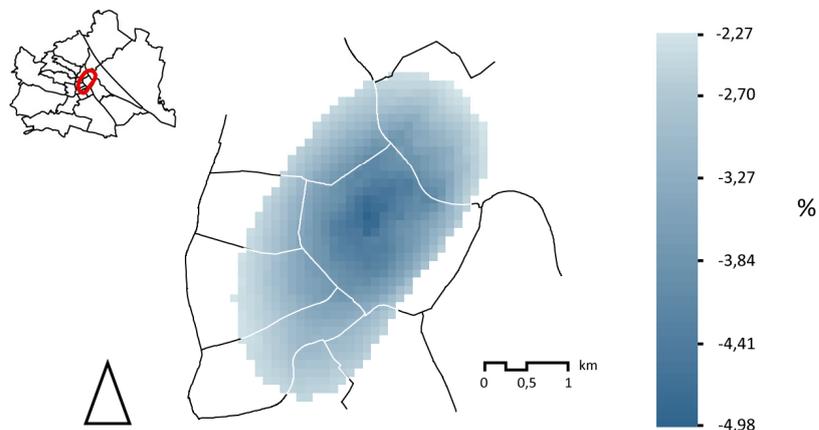
Im Rahmen dieses Punktes wird der Einfluss der Sichtbarkeitsfaktoren auf die Quadratmetermieten sowie die räumliche Variation des Einflusses dargestellt und eingehend erörtert.

#### 2.1.1 Einfluss der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Ferne auf die Mieten

Aufgrund des Signifikanzniveaus von mindestens 0,025 kann in Karte 10 nur dieser beschränkte Einfluss der Sichtbarkeit von fern gelegenen bedeutenden Gebäuden auf die Quadratmetermieten dargestellt werden. Wobei sich als fern in diesem Zusammenhang die Sicht auf bedeutende Gebäude außerhalb eines 1.000 Meter Sichtradius definiert. Dabei zeigt sich, dass wenn innerhalb des Gürtels der Anteil an bedeutenden Gebäuden, welche außerhalb eines 1.000 Meter Sichtradius liegen, um ein Viertel erhöht wird, ein deutlich negativer Einfluss auf die Quadratmetermieten besteht. Der größte negative Einfluss besteht dabei mit ca. -5% Rückgang der Quadratmetermieten im Zentrum des 1. Bezirks und nimmt vom Zentrum aus ab.

**Karte 10: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Sichtfläche bedeutender Gebäude in der Ferne**

#### Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der max. Sichtfläche bedeutender Gebäude außerhalb von tausend Meter um ein Viertel

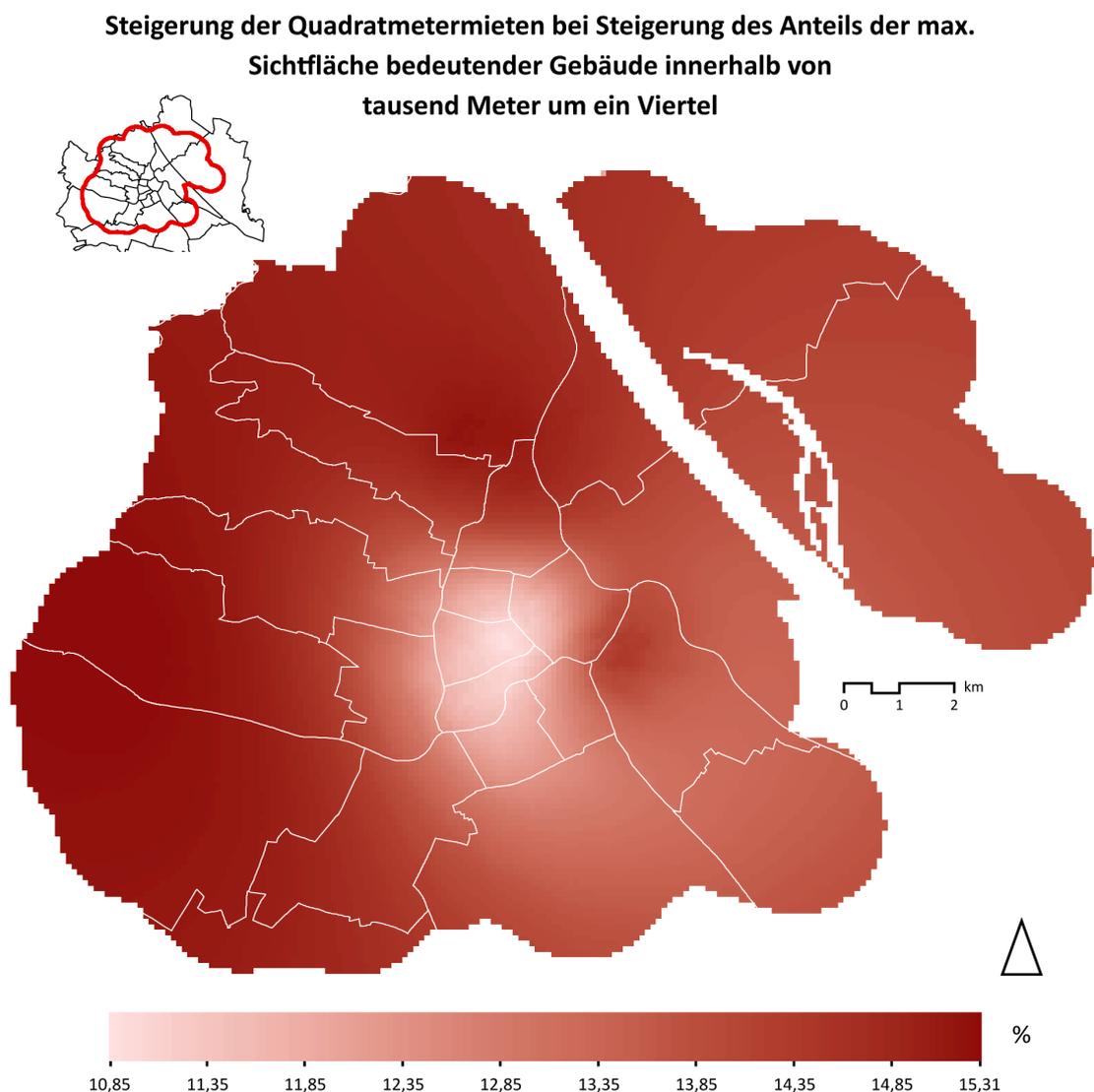


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 2.1.2 Einfluss der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Nähe auf die Mieten

Aus Karte 11 ist die räumliche Variation des Einflusses der Sichtbarkeit nah gelegener bedeutender Gebäude auf die Quadratmetermieten ersichtlich. Wobei sich als nah in diesen Zusammenhang die Sicht auf bedeutende Gebäude innerhalb eines 1.000 Meter Sichtradius definiert. Es zeigt sich dabei allgemein ein deutlich positiver Einfluss auf die Quadratmetermieten, wenn der Anteil an bedeutenden Gebäuden innerhalb eines 1.000 Meter Sichtradius um ein Viertel erhöht wird. Jedoch sind die Steigerungen der Quadratmetermieten am Spittelberg mit ca. 11% sowie in Teilen vom 8., 6., 5. und 1. Bezirk am geringsten. Die höchsten Steigerungen werden in den Randbezirken erreicht, wobei im 13. und 18. Bezirk mit ca. 15% die Steigerung der Quadratmetermieten am höchsten ist. Ein ebenfalls bedeutender Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten besteht in Stadtparknähe, wenn der Anteil bedeutender Gebäude in der Nähe erhöht wird.

**Karte 11: Steigerung der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Sichtfläche bedeutender Gebäude in der Nähe**

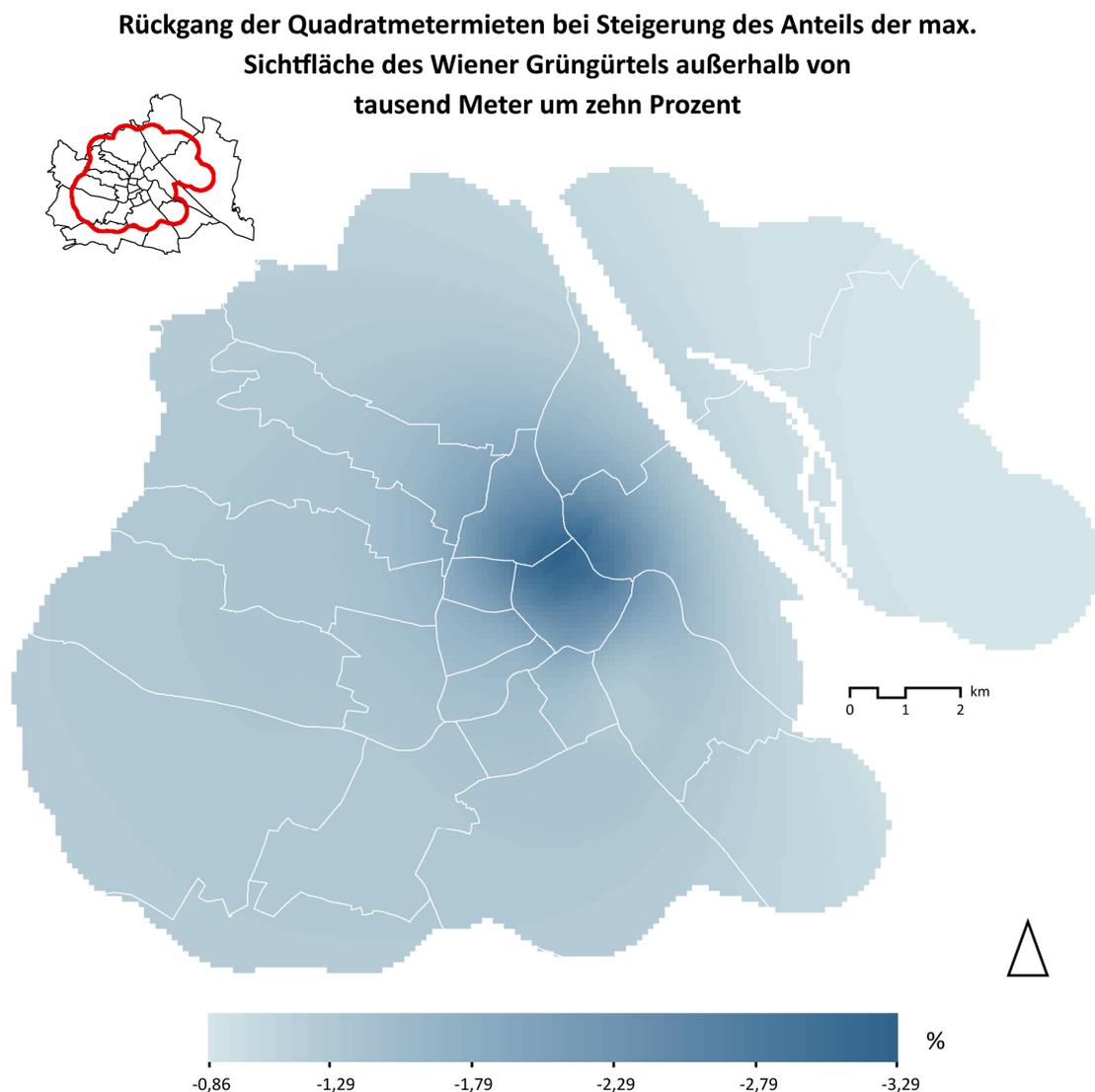


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### 2.1.3 Einfluss der Sichtbarkeit des Grüngürtels in der Ferne auf die Mieten

In Karte 12 ist die räumliche Variation des Einflusses der Sichtbarkeit des Grüngürtels in der Ferne auf die Quadratmetermieten dargestellt. Wobei sich als fern in diesem Zusammenhang die Sicht auf den Grüngürtel außerhalb eines 1.000 Meter Sichtradius definiert. Dabei zeigt sich deutlich ein allgemein negativer Einfluss auf die Quadratmetermieten, wenn der Anteil des Grüngürtels welcher außerhalb eines 1.000 Meter Sichtradius liegt, um 10% erhöht wird. Der negative Einfluss, wenn die Sichtbarkeit des Grüngürtelanteils in der Ferne um 10% erhöht wird, ist mit ca. - 3% Rückgang der Quadratmetermieten zwischen Schottentor und Schottenring im Dreieck 9., 2. und 1. Bezirk am größten. Am stärksten von diesem negativen Einfluss ist der gesamte 1. Bezirk betroffen. Am geringsten ist der negative Einfluss mit ca. -0,9% Rückgang der Quadratmetermieten über der Donau. In den restlichen Bezirken ist der Einfluss eher moderat.

**Karte 12: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Sichtfläche des Wiener Grüngürtels in der Ferne**

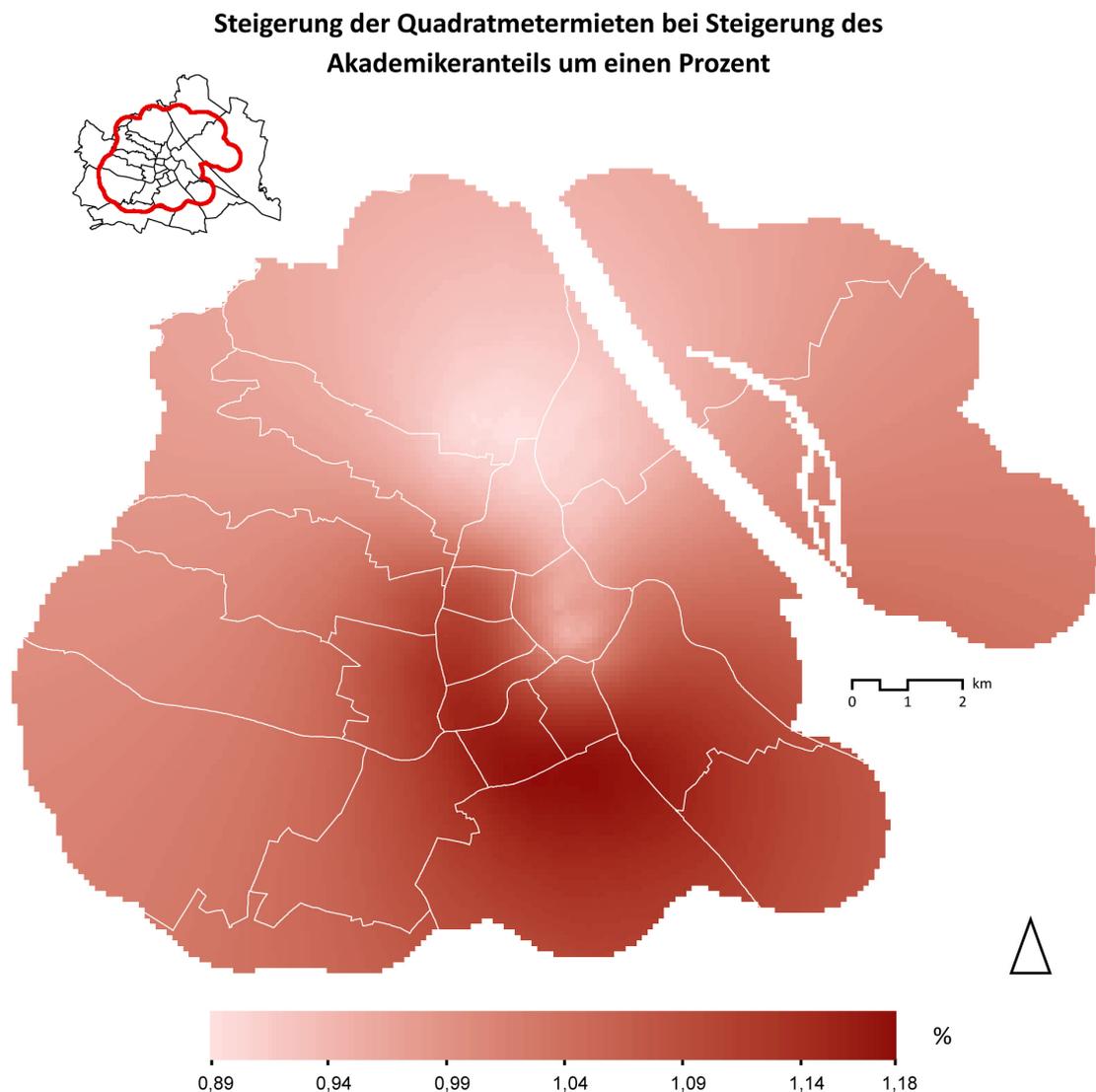


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## 2.2 Einfluss der sozioökonomischen Faktoren auf die Mieten

Karte 13 stellt die räumliche Variation des Einflusses des Akademikeranteils auf die Quadratmetermieten dar. Dabei zeigt sich deutlich ein allgemein positiver Einfluss auf die Quadratmetermieten, wenn der Akademikeranteil um 1% steigt. Generell variiert der Einfluss auf die Quadratmetermieten bei Steigerung des Akademikeranteils nur sehr schwach. Die höchste Steigerung der Quadratmetermieten bei Erhöhung des Akademikeranteils um 1% zeigt sich jedoch mit ca. 1,2% Steigerung der Quadratmetermieten entlang des Gürtels, vom 9. bis zum 3. Bezirk sowie im 10. Bezirk. Den niedrigsten Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten mit ca. 0,9% hat der Akademikeranteil in Spittelau sowie in Teilen vom 19. und 20. Bezirk. In den restlichen Bezirken setzten sich diese Trends der Einflüsse in abgeschwächter Form fort.

Karte 13: Steigerung der Quadratmetermieten bei Steigerung des Akademikeranteils



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Aufgrund des Signifikanzniveaus von mindestens 0,025 kann nur diese räumlich beschränkte Einflussnahme des Gebäudeanteils an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen auf den Mietpreis in Karte 14 dargestellt werden. Dabei zeigt sich, dass bei Steigerung des Gebäudeanteils an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen um ein Viertel ein deutlich negativer Einfluss auf die Quadratmetermieten besteht. Der größte Rückgang der Quadratmetermieten mit ca. -15% besteht dabei in den Innenstadtbezirken. In den traditionellen Arbeiterbezirken Meidling und Favoriten beträgt der Rückgang der Quadratmetermieten bei einer Steigerung des Gebäudeanteils an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen um ein Viertel ca. -5%.

**Karte 14: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Gebäudeanteils an Werkstätten Industrie- oder Lagerhallen**



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

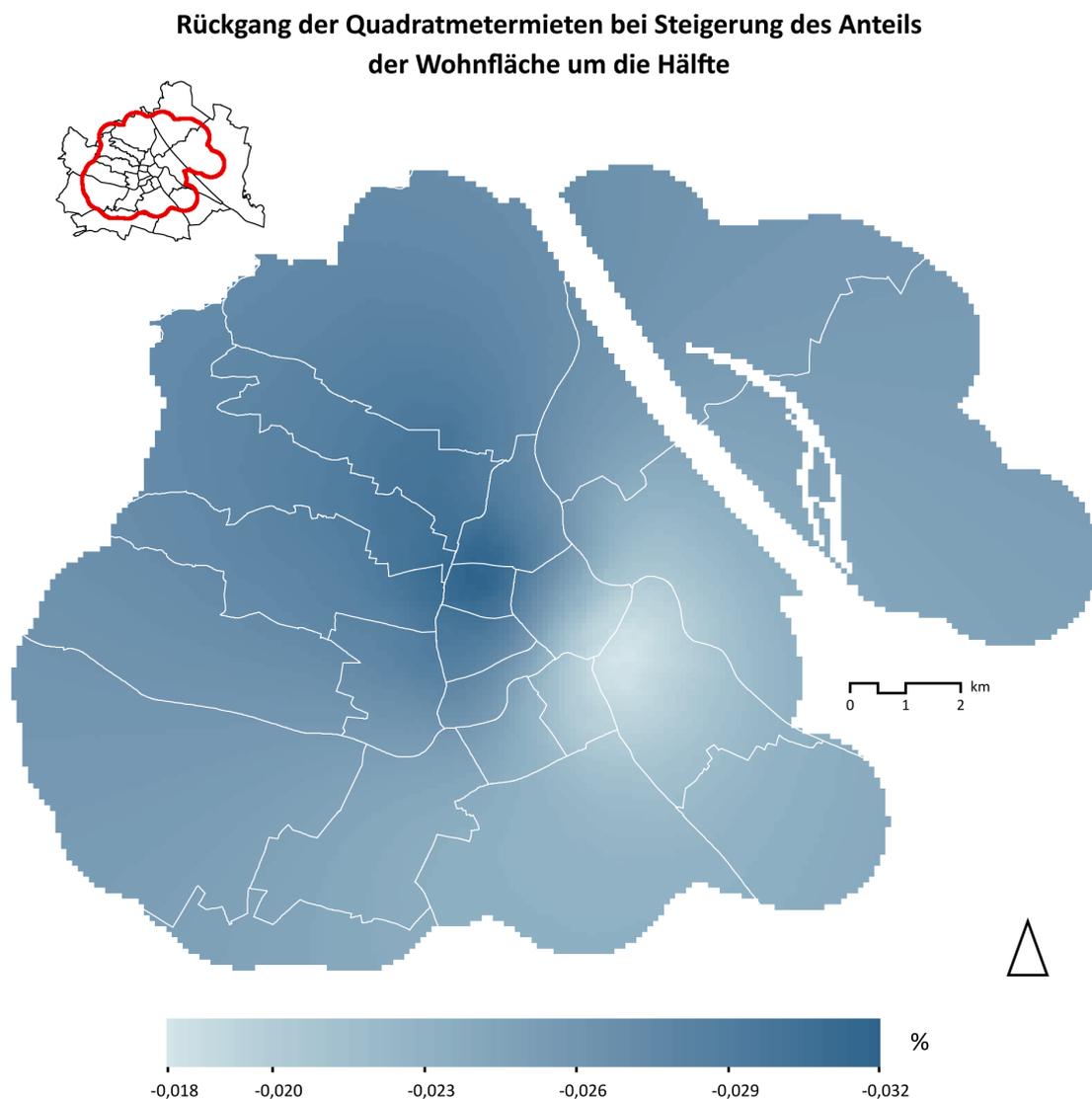
### 3. Einflussfaktoren der Ausstattungsmerkmale auf die Mieten bei Dachgeschosswohnungen

Im Rahmen dieses Punktes wird eine der zentralen Fragestellungen der Arbeit aus der Einleitung in Punkt 2.1 behandelt, nämlich welche räumliche Variation und welchen Einfluss die Ausstattungsvariablen auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen aufweisen. In den nachfolgenden Punkten werden die Einflussfaktoren der Ausstattungsmerkmale auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen aufgezeigt und erörtert.

### 3.1 Einfluss der Wohnungsfläche auf die Mieten

In Karte 15 ist die räumliche Variation des Einflusses der Wohnungsfläche auf die Quadratmetermieten dargestellt. Es zeigt sich dabei deutlich ein äußerst schwacher allgemein negativer Einfluss auf die Quadratmetermieten, wenn die Wohnungsfläche um die Hälfte erhöht wird. Dabei ist jedoch auch die Variation des Einflusses gering. Der größte negative Einfluss auf die Quadratmetermieten bei Steigerung der Wohnungsfläche um die Hälfte besteht mit ca. -0,04% Rückgang der Quadratmetermieten im 8. Bezirk sowie zum Teil in den angrenzenden Bezirken. Am geringsten ist der negative Einfluss in Teilen vom 1. sowie im 3. und 4. Bezirk mit ca. -0.02% Rückgang der Quadratmetermieten. In den restlichen Bezirken setzten sich diese Trends der Einflüsse in abgeschwächter Form fort.

Karte 15: Rückgang der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Wohnfläche

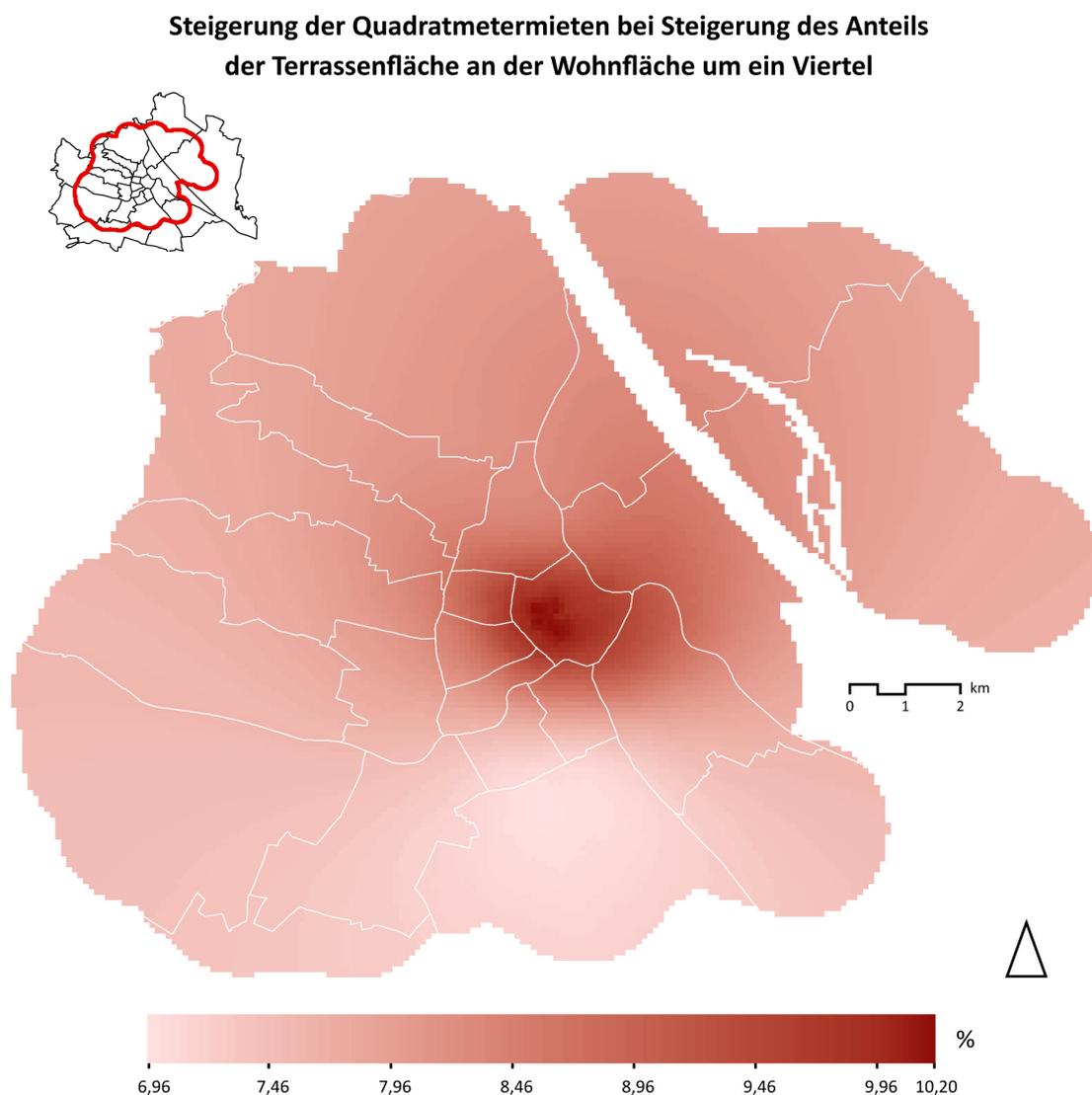


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### 3.2 Einfluss des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche auf die Mieten

Aus Karte 16 ist die räumliche Variation des Einflusses des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche auf die Quadratmetermieten dargestellt. Dabei zeigt sich ein allgemein positiver Einfluss des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche auf die Quadratmetermieten, wenn der Terrassenanteil um ein Viertel erhöht wird. Der größte positive Einfluss auf die Quadratmetermieten bei Steigerung des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche um ein Viertel besteht im 1. Bezirk, mit ca. 10% Steigerung der Quadratmetermieten in der Nähe des Volksgartens und des Heldenplatzes, entlang der Herrengasse und der Augustinerstraße Richtung Michaelerplatz. In den angrenzenden und restlichen Bezirken schwächt sich der Trend nach außen hin ab, wobei im 10. Bezirk mit ca. 7% Steigerung der Quadratmetermieten der Einfluss am geringsten ist.

Karte 16: Steigerung der Quadratmetermieten bei Steigerung des Anteils der Terrassenfläche

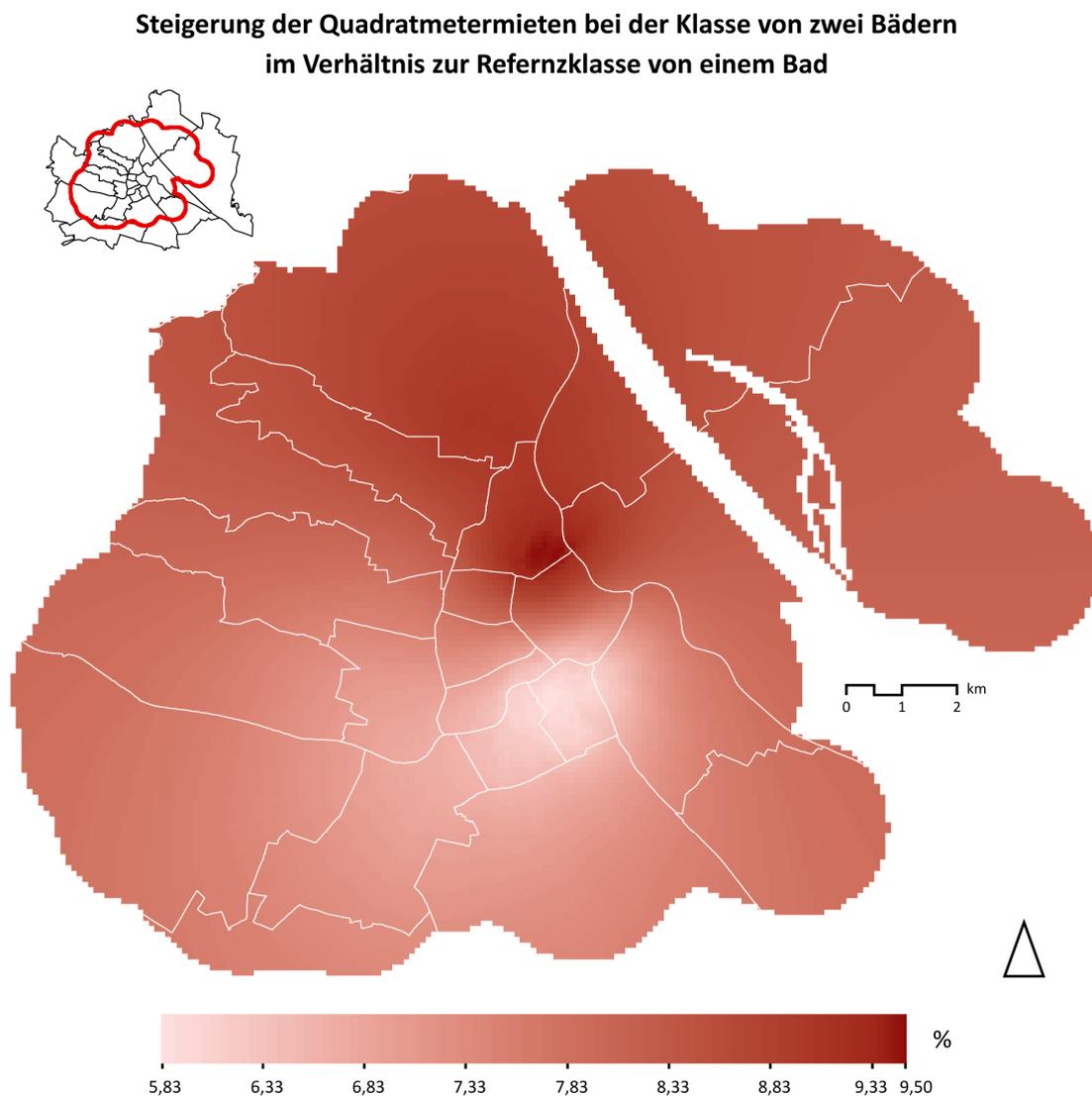


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### 3.3 Einfluss der Bäderklassen auf die Mieten

In Karte 17 und Karte 18 ist die räumliche Variation des Einflusses der Bäderklassen auf die Quadratmetermieten, bezogen im Verhältnis auf die Referenzklasse von einem Bad, ersichtlich. Wobei Karte 17 den Einfluss auf die Quadratmetermieten der Klasse von zwei Bädern, bezogen auf die Referenzklasse, darstellt. Dabei zeigt sich ein deutlich positiver Einfluss, welcher mit einer Steigerung der Quadratmetermieten um ca. 9% im 9. Bezirk sowie teilweise im 1. und 2. Bezirk am höchsten ist. Den geringsten Einfluss auf die Quadratmetermieten im Verhältnis zur Referenzklasse hat die Klasse von zwei Bädern im 4. Bezirk mit ca. 6% Steigerung der Quadratmetermieten. In den restlichen Bezirken setzen sich diese Trends der Einflüsse in abgeschwächter Form fort.

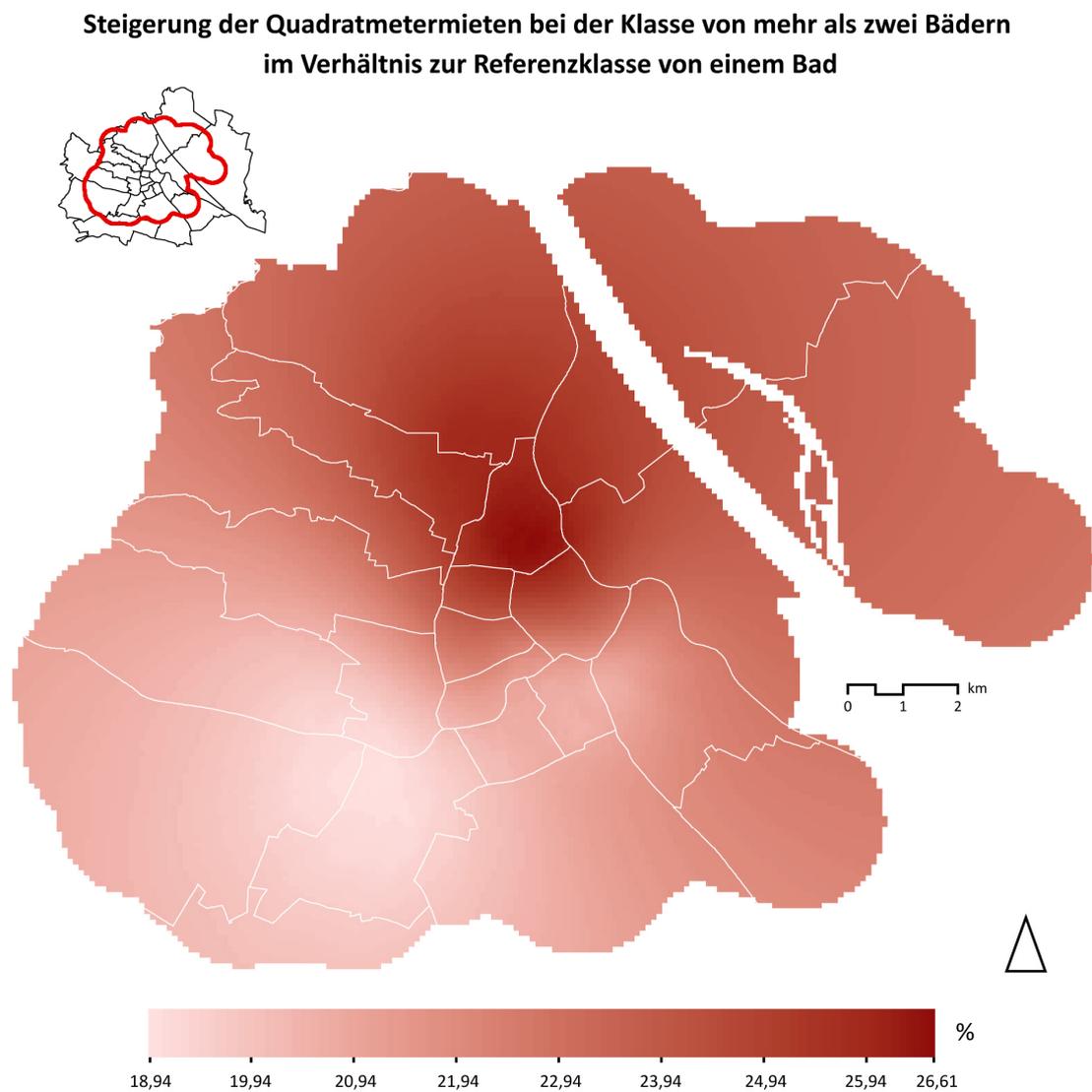
Karte 17: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse von zwei Bädern im Verhältnis zur Referenzklasse



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Karte 18 stellt die räumliche Variation des Einflusses der Klasse von mehr als zwei Bädern auf die Quadratmetermieten in Bezug auf die Referenzklasse dar. Bei der Klasse von mehr als zwei Bädern zeigt sich eine enorme Steigerung der Quadratmetermieten von ca. 26% gegenüber der Referenzklasse von einem Bad. Dabei hat sich der Trend der höchsten Steigerungen aus Karte 17 völlig auf den 9. sowie die angrenzenden Bezirke verlagert. Den geringsten Einfluss auf die Quadratmetermieten im Verhältnis zur Referenzklasse hat die Klasse von mehr als zwei Bädern im 13. und 12. Bezirk sowie in Teilen vom 14. und 15. Bezirk, vor allem in der Nähe von Schloss Schönbrunn mit einer Steigerung der Quadratmetermieten von ca. 19%. In den restlichen Bezirken setzten sich diese Trends der Einflüsse in abgeschwächter Form fort.

**Karte 18: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse von mehr als zwei Bädern im Verhältnis zur Referenzklasse**

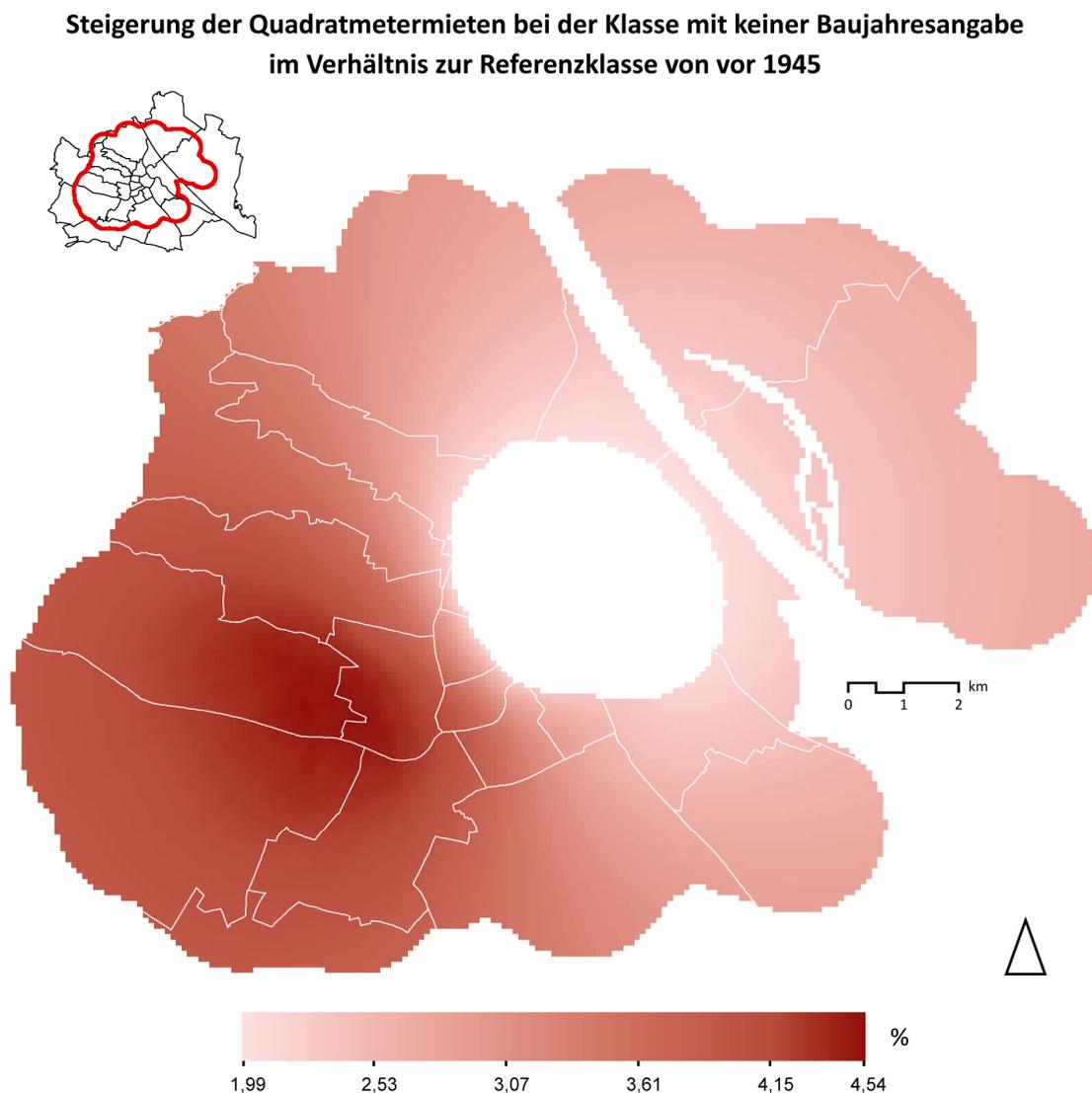


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### 3.4 Einfluss der Baujahresklasse auf die Mieten

In den folgenden Karten ist die räumliche Variation der Einflussnahme der Baujahre der Klasse mit keiner Baujahresangabe auf die Quadratmetermieten bezogen im Verhältnis auf die Referenzklasse der Baujahre von vor 1945 dargestellt. Aus Karte 19 ist die Einflussnahme der Baujahre der Klasse mit keiner Baujahresangabe ersichtlich, wobei aufgrund des Signifikanzniveaus von mindestens 0,025 nur zum Teil eine Darstellung der Innenbezirke möglich ist. Das Fehlen einer Baujahresangabe hat im Allgemeinen einen positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten, wobei dieser mit ca. 4% Steigerung im 14. und 15. Bezirk in Schmelznähe am höchsten ist. Der geringste Einfluss auf die Quadratmetermieten im Verhältnis zur Referenzklasse besteht über der Donau sowie in Innenstadtnähe mit einer Steigerung der Quadratmetermieten von ca. 2%.

**Karte 19: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse mit keiner Baujahresangabe im Verhältnis zur Referenzklasse**



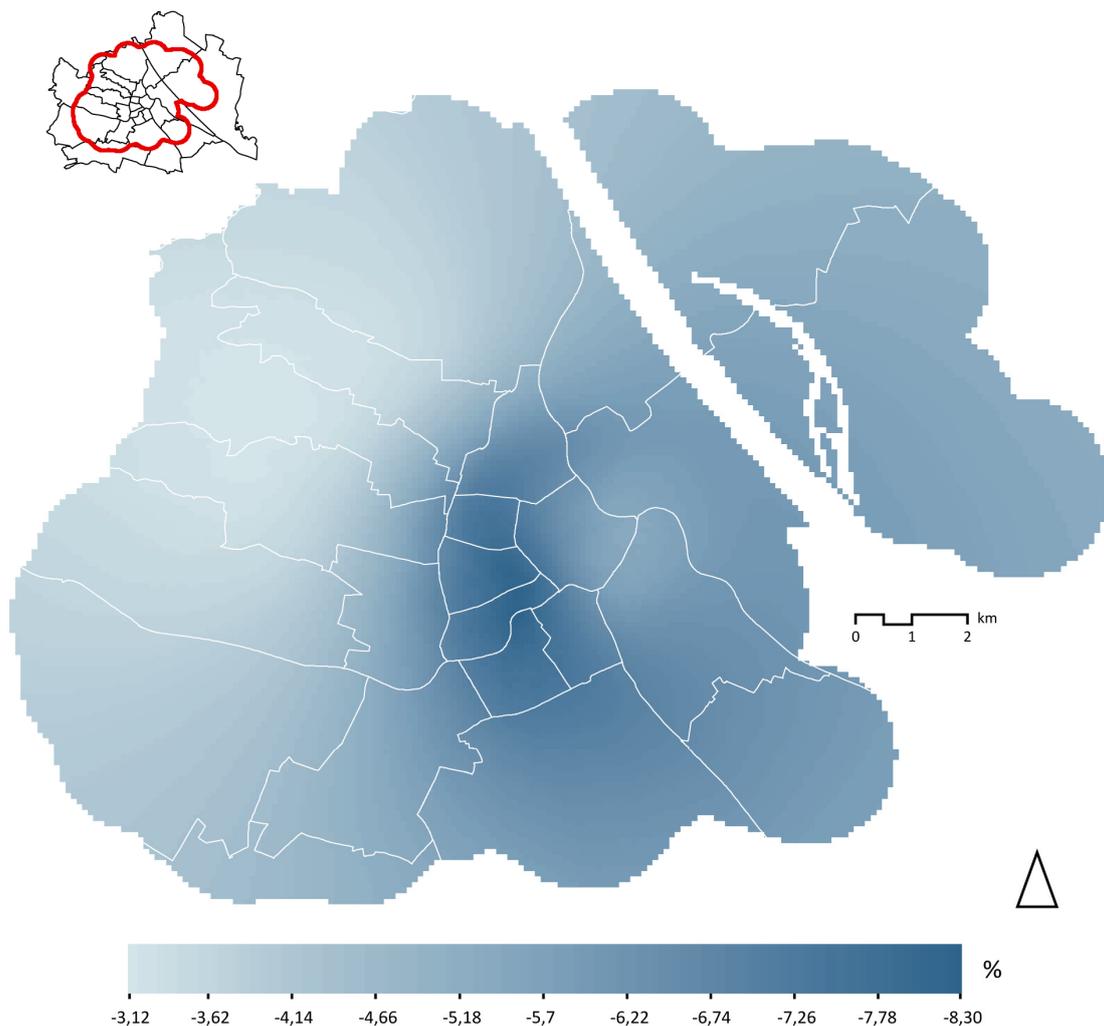
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Die Klasse der Baujahre von 1946 bis 1982 weist keine Variation der Einflussnahme auf die Quadratmetermieten im Verhältnis zur Referenzklasse der Baujahre von vor 1945, wie in Kapitel V Punkt 1.4 aufgezeigt, auf und ist somit „räumlich stationär“. Aus diesem Grund ist der Einfluss auf die Quadratmetermieten mit ca. -0.19% Rückgang über den Beobachtungsraum konstant negativ und weist statistisch gesehen keine räumliche Variation auf, sodass keine Kartendarstellung möglich ist.

Der Einfluss der Klasse der Baujahre von 1983 bis 2000 weist jedoch wieder eine räumliche Variation auf, die in Karte 20 bezogen auf die Quadratmetermieten im Verhältnis zur Referenzklasse dargestellt ist. Dabei ist der negative Einfluss auf die Quadratmetermieten mit einem Rückgang um ca. -8% der Quadratmetermieten entlang des Gürtels, sowie in den inneren Gürtelbezirken am höchsten. Am niedrigsten ist er in den äußeren Wienerwaldbezirken mit einem Rückgang der Quadratmetermieten von ca. -3%.

**Karte 20: Rückgang der Quadratmetermieten bei der Klasse der Baujahre von 1983 bis 2000 im Verhältnis zur Referenzklasse**

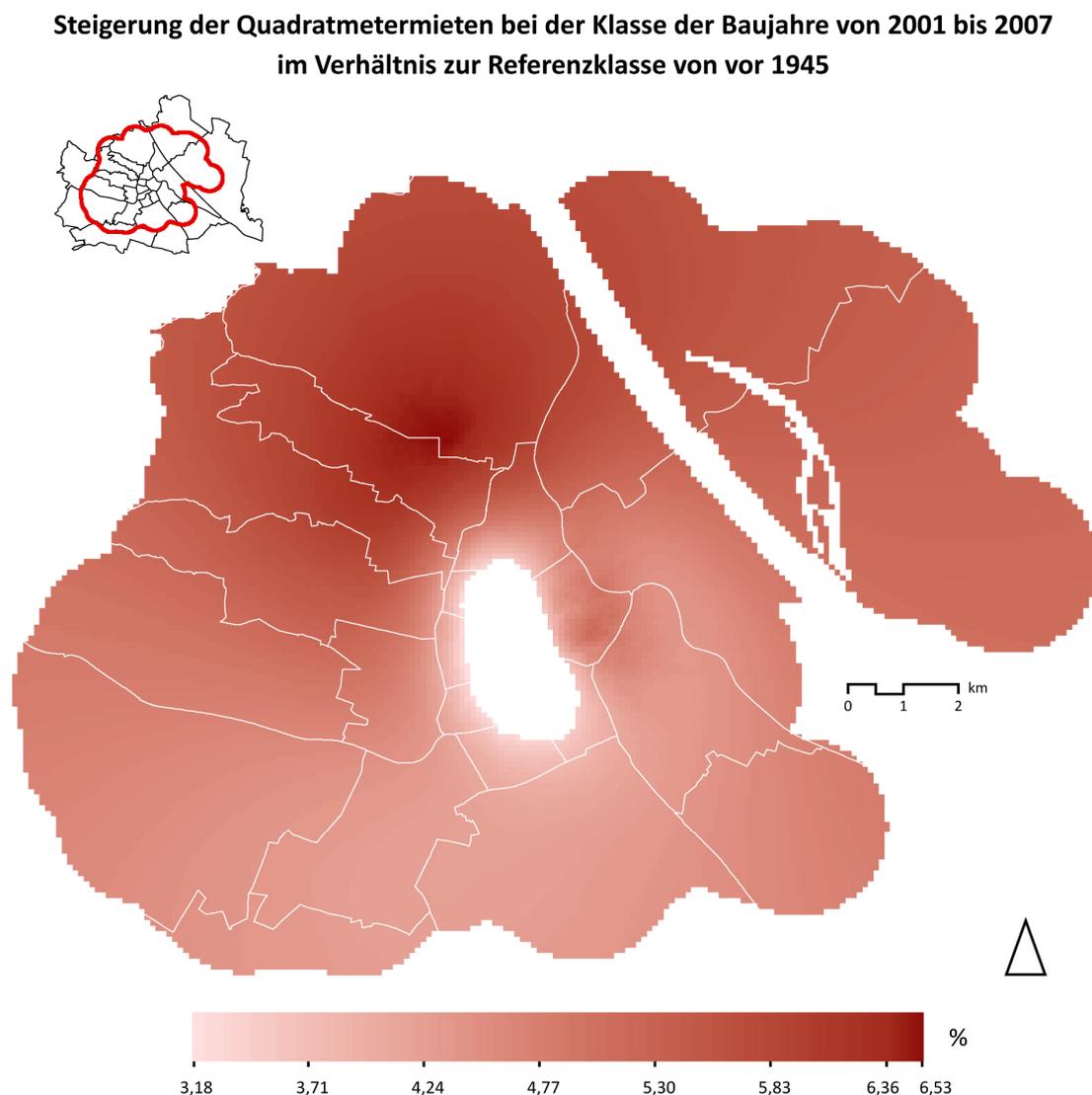
**Rückgang der Quadratmetermieten bei der Klasse der Baujahre von 1983 bis 2000  
im Verhältnis zur Referenzklasse von vor 1945**



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Karte 21 stellt die räumliche Variation des Einflusses der Klasse der Baujahre von 2001 bis 2007 bezogen auf die Quadratmetermieten im Verhältnis auf die Referenzklasse der Baujahre von vor 1945 dar, wobei aufgrund des Signifikanzniveaus von mindestens 0,025 nur zum Teil eine Darstellung der inneren Gürtelbezirke möglich ist. Die Klasse der Baujahre von 2001 bis 2007 hat im Verhältnis zur Referenzklasse einen allgemeinen positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten. Am höchsten ist dieser Einfluss mit ca. 6% Steigerung der Quadratmetermieten in der Nähe des Türkenschanzparkes im 18. und 19. Bezirk. Auch über der Donau sowie in Teilen vom 1. Bezirk ist der Einfluss auf die Quadratmetermieten noch beträchtlich. Der Einfluss der Klasse der Baujahre von 2001 bis 2007 auf die Quadratmetermieten ist im Verhältnis zur Referenzklasse vor allem rund um die inneren Gürtelbezirke mit ca. 3% Steigerung der Quadratmetermieten am geringsten. In den restlichen Bezirken setzten sich diese Trends der Einflüsse in abgeschwächter Form fort.

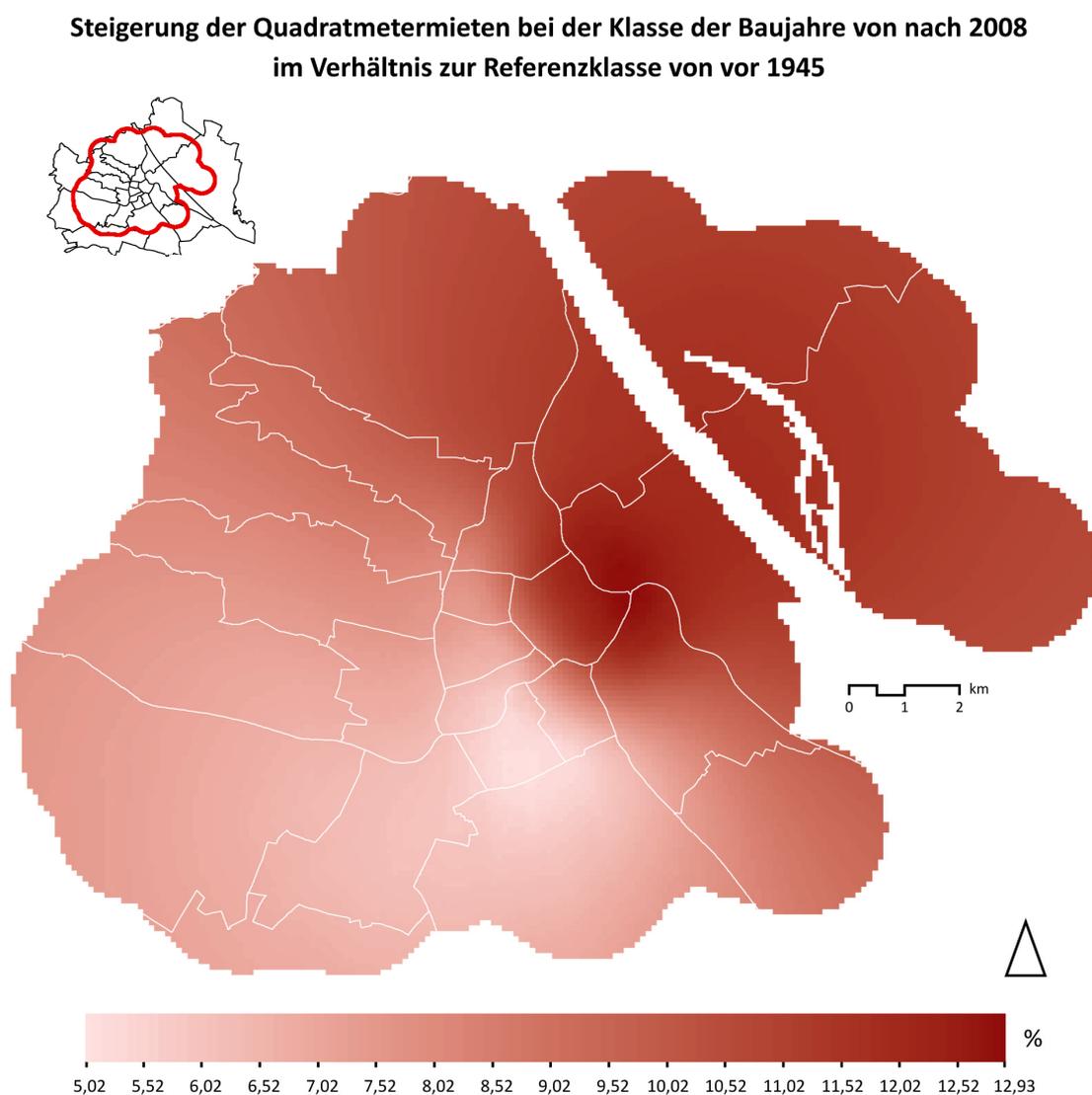
**Karte 21: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse der Baujahre von 2001 bis 2007 im Verhältnis zur Referenzklasse**



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

In Karte 22 wird die räumliche Variation des Einflusses der Klasse der Baujahre von nach 2008 bezogen auf die Quadratmetermieten im Verhältnis auf die Referenzklasse der Baujahre von vor 1945 dargestellt. Dabei hat die Klasse der Baujahre von nach 2008 im Verhältnis auf die Referenzklasse einen allgemeinen hohen positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten, wobei dieser mit einer Steigerung der Quadratmetermieten von ca. 13% in Augartennähe und im 1. Bezirk sowie in Teilen vom 3. Bezirk am höchsten ist. Auch im 19. und 20. Bezirk sowie über der Donau hat die Klasse der Baujahre von nach 2008 gegenüber der Referenzklasse einen bedeutenden positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten. Am geringsten ist der positive Einfluss der Klasse der Baujahre von nach 2008 auf die Quadratmetermieten im 5. Bezirk mit einer Steigerung der Quadratmetermieten um ca. 5%. In den restlichen Bezirken setzten sich diese Trends der Einflüsse in abgeschwächter Form fort.

**Karte 22: Steigerung der Quadratmetermieten bei der Klasse der Baujahre von nach 2008 im Verhältnis zur Referenzklasse**

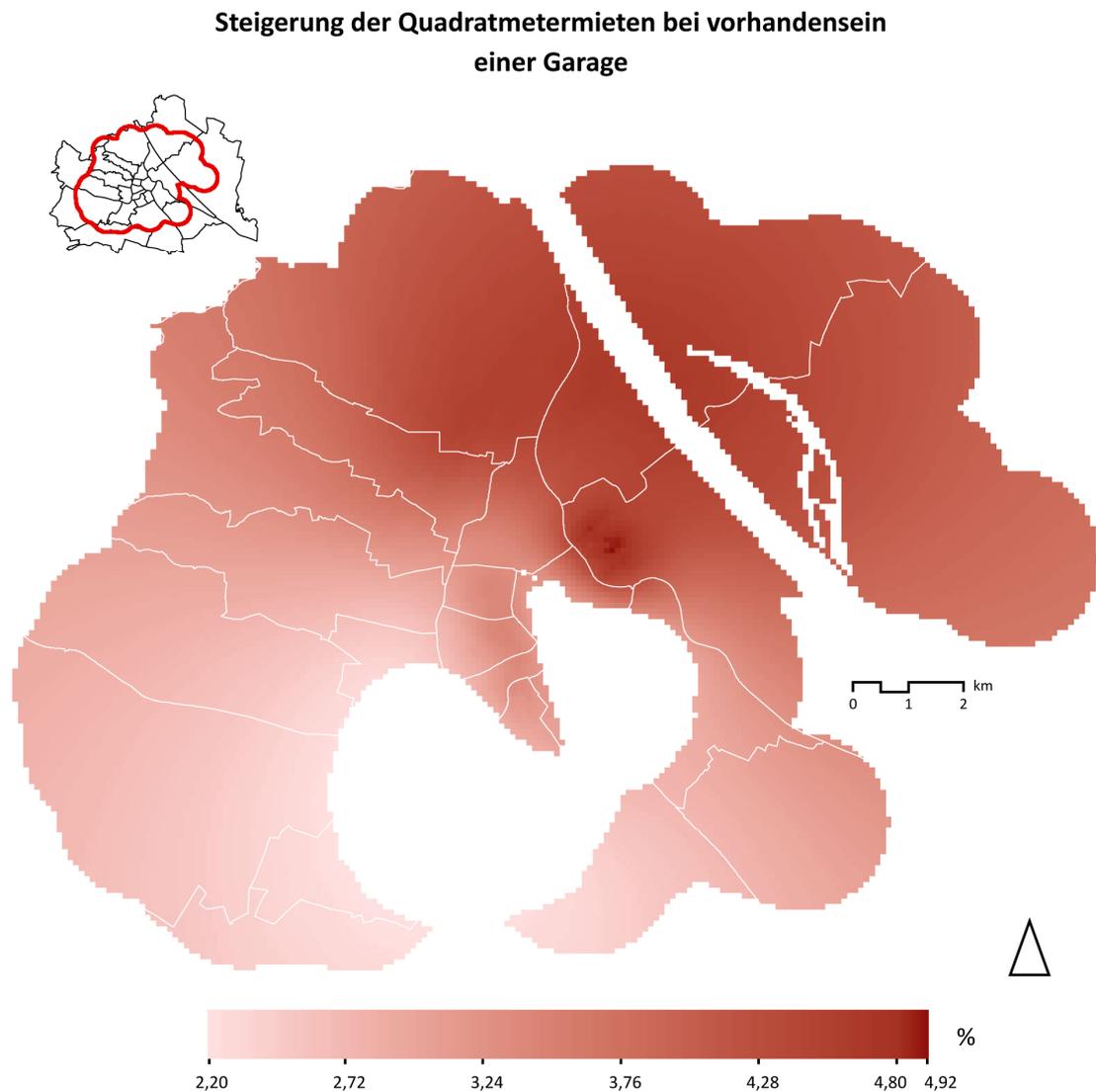


Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### 3.5 Einfluss einer Garage auf die Mieten

Aufgrund des Signifikanzniveaus von mindestens 0,025 kann in Karte 23 die räumliche Variation des Einflusses einer Garage auf die Quadratmetermieten für einzelne Bezirke und Bezirksteile nicht dargestellt werden. Dabei zeigt sich, dass der Einfluss der Klasse von einer Garage auf die Quadratmetermieten im Verhältnis zur Referenzklasse von keiner Garage mit einer Steigerung der Quadratmetermieten von ca. 5% in Augartennähe am höchsten ist. Ebenfalls einen beträchtlichen Einfluss auf die Quadratmetermieten hat eine Garage im 19. und 20. Bezirk sowie über der Donau. Den geringsten Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten hat eine Garage im 13. und 14. Bezirk. In den restlichen Bezirken setzten sich diese Trends der Einflüsse in abgeschwächter Form fort.

Karte 23: Steigerung der Quadratmetermieten bei Vorhandensein einer Garage



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

## **VII. SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE MIETEN VON DACHGESCHOSSWOHNUNGEN**

Im Nachfolgenden werden die Schlussfolgerungen, welche aus den Darstellungen der Analyse in Kapitel VI gezogen werden können, gegliedert nach den Themen der Fragestellungen erörtert. Dabei wird ausführlich auf die erkennbaren Trends sowie die Resultate der Analyse eingegangen.

### **1. Schlüsse aus der periodischen Entwicklung der Mieten**

Anhand der periodischen Entwicklung der Quadratmetermieten für Dachgeschosswohnungen in Wien ist für die Jahre 2008 bis 2011 bezogen auf die Indexbasis von 2001 bis 2007 in Kapitel VI Punkt 1.1 eine stetig steigende Tendenz zu erkennen. Aus dieser Entwicklung wird deutlich, dass Wien auch in schwierigen Zeiten einen stabilen Immobilienmarkt im gehobenen Segment der Dachgeschosswohnungen hat, der stetig wächst und auf dem die Nachfrage hoch ist. Dies ist hauptsächlich auf die solide inländische Basis, sowie die starke internationale Nachfrage zurückzuführen, die vor allem auf dem hohen Stellenwert Wiens im Osten als sichere Stadt mit höchster Lebensqualität basiert. Der starke Sprung des Mietpreisindex in den Jahren 2009 und 2010 in Grafik 6 um ca. 5,5% nach oben, ist vor allem auf die Stabilität und das im internationalen Vergleich noch immer moderate Preisniveau am Wiener Immobilienmarkt sowie die internationale Marktlage zurückzuführen.

Trotz der in Grafik 6 zum Teil marginalen Steigerungen im Mietpreisindex für ganz Wien der Jahre 2008 bis 2011 gab es eine beträchtliche räumliche Variation der Preise der Quadratmetermieten für diesen Zeitraum bezogen auf die Indexbasis. Aus dieser räumlichen Variation der Quadratmetermieten kann geschlossen werden, dass über den Beobachtungszeitraum von 2008 bis 2011 die Steigerung der Quadratmetermieten gerade im 1. Bezirk eher moderat waren. Dies ist auf das bereits hohe Preisniveau im 1. Bezirk zurückzuführen, bei welchem nur mehr wenig Steigerungspotential vorhanden ist. Im Weiteren ist vor allem in den letzten Jahren aus Karte 8 und Karte 9 ein klarer Trend der höchsten Steigerungsraten der Quadratmetermieten in den Außenbezirken ab dem Jahr 2010 zu erkennen. Aus diesem Trend kann geschlossen werden, dass gerade in den Außenbezirken aufgrund des niedrigeren Preisniveaus noch ein beträchtliches Steigerungspotential der Quadratmetermieten liegt. Da dieses Potential bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist, sind auch in den nächsten Jahren erhöhte Steigerungsraten der Quadratmetermieten in den Außenbezirken zu erwarten.

## 2. Schlüsse aus den lagebezogenen Einflussfaktoren auf die Mieten

Aus den lagebezogenen Einflussfaktoren lassen sich bei den Mieten für Dachgeschosswohnungen in Wien die Einflüsse der Sichtbarkeitsfaktoren und der sozioökonomischen Faktoren auf die Preise der Quadratmetermieten ableiten.

Wobei zu den zentralen Faktoren der Sichtbarkeit die Sicht auf bedeutende Gebäude sowie die Sicht auf den Wiener Grüngürtel zählt. Im Zuge dieser zentralen Faktoren kommt es zu einer Teilung der Sichtbarkeit in eine Fernsicht und eine Nahsicht. Generell kann man dabei erkennen, dass die Steigerung des Sichtanteils von Objekten in der Ferne einen negativen Einfluss auf die Quadratmetermieten ausübt. Deutlich wird dies durch den Schluss, der aus der Steigerung des Sichtanteils bedeutender Gebäude in der Ferne aus Karte 10 gezogen werden kann. Es kann geschlossen werden, dass eine Steigerung des Anteils der Sicht auf bedeutende Gebäude in der Ferne um ein Viertel gerade im 1. Bezirk den höchsten negativen Einfluss auf die Quadratmetermieten mit bis zu einem ca. -5% Rückgang der Quadratmetermieten hat. Dieser negative Einfluss ist vor allem auf die hohe Dichte an bedeutenden Gebäuden in der Innenstadt zurückzuführen, aus welcher resultiert, dass gerade im 1. Bezirk eine Steigerung des Sichtanteils von bedeutenden Gebäuden in der Ferne den höchsten negativen Einfluss auf die Quadratmetermieten hat. Ähnlich verhält sich der Einfluss der Sichtbarkeit des Wiener Grüngürtels in der Ferne auf die Quadratmetermieten. Bei Steigerung des Anteils der max. Sichtfläche des Wiener Grüngürtels in der Ferne um 10%, kann aus Karte 12 ebenfalls der Schluss gezogen werden, dass gerade in den Innenbezirken und dabei vor allem im 1. Bezirk der negative Einfluss der Sicht des Wiener Grüngürtels in der Ferne mit bis zu ca. -3% Rückgang der Quadratmetermieten am höchsten ist. Zurückzuführen ist dieser negative Einfluss vor allem darauf, dass gerade in der Innenstadt der Grüngürtel am weitesten entfernt ist und die Steigerung des Sichtanteils auf den Grüngürtel, bedingt durch seinen untergeordneten Rang in der Innenstadt, den höchsten negativen Einfluss auf die Quadratmetermieten hat. Im Gegensatz dazu kann man in Karte 11 erkennen, dass die Steigerung des Sichtanteils von Objekten in der Nähe einen positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten ausübt. Deutlich wird dies durch den Schluss, der aus der Steigerung des Sichtanteils bedeutender Gebäude in der Nähe gezogen werden kann. Aus der Steigerung des Sichtanteils bedeutender Gebäude in der Nähe um ein Viertel kann aus Karte 11 geschlossen werden, dass gerade der positive Einfluss auf die Quadratmetermieten in den Randbezirken mit bis zu ca. 15% Steigerung der Quadratmetermieten am höchsten ist. Dieser positive Einfluss ist vor allem auf die geringe Dichte an bedeutenden Gebäuden in den Randbezirken zurückzuführen; in diesen Bezirken hat gerade eine Steigerung des Sichtanteils von bedeutenden Gebäuden den höchsten positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten.

Neben diesen zentralen Faktoren der Sichtbarkeit haben auch die sozioökonomischen Faktoren des Akademikeranteils sowie des Gebäudeanteils an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen einen

entscheidenden Einfluss auf die Quadratmetermieten. Verdeutlicht wird dies durch den Schluss, der aus Karte 13 der Steigerung des Akademikeranteils um 1% gezogen werden kann. Es kann geschlossen werden, dass vor allem entlang des Gürtels durch eine Steigerung des Akademikeranteils der positive Einfluss auf die Quadratmetermieten mit bis zu ca. 1,2% Steigerung am höchsten ist. Dieser hohe positive Einfluss basiert auf dem geringen Akademikeranteil entlang des Gürtels, aus dem resultiert, dass gerade entlang des Gürtels eine Steigerung des Akademikeranteils den höchsten positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten hat. Im Gegensatz dazu hat der Gebäudeanteil an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen einen negativen Einfluss auf die Quadratmetermieten. Aus Karte 14 kann bei Steigerung des Gebäudeanteils an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen um ein Viertel auf einen negativen Einfluss auf die Quadratmetermieten geschlossen werden, der in den inneren Bezirken mit bis zu ca. -15% Rückgang der Quadratmetermieten am höchsten ist. Dieser hohe negative Einfluss basiert auf dem niedrigen Gebäudeanteil an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen in den inneren Bezirken. Aus diesem niedrigen Anteil resultiert, dass gerade in den inneren Bezirken aufgrund der Lage und des geringen Gebäudeanteils an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen der negative Einfluss auf die Quadratmetermieten mit einem Rückgang von bis zu ca. -15% am höchsten ist.

### **3. Schlüsse aus den Einflussfaktoren der Ausstattungsmerkmale auf die Mieten**

Anhand der Ausstattungsmerkmale lassen sich bei den Mieten für Dachgeschosswohnungen in Wien die Einflüsse des Baujahres, der Bäder, der Wohnungsfläche und des Terrassenanteils an der Wohnfläche auf die Quadratmetermieten ableiten. Dabei üben bei den Ausstattungsmerkmalen die Klassen der Baujahre, die im Verhältnis zur Referenzklasse der Baujahre von vor 1945 stehen, einen grundlegenden Einfluss auf die Quadratmetermieten aus. Wobei bei der Klasse von keiner Baujahresangabe in der Regel auf einen positiven Einfluss des Baujahres auf die Quadratmetermieten geschlossen werden kann, welcher mit bis zu ca. 4% Steigerung der Quadratmetermieten im Verhältnis zur Referenzklasse im 14. und 15. Bezirk, wie in Karte 19 ersichtlich, am höchsten ist. Bei Angabe der Klasse eines Baujahres zwischen 1946 bis 2000 im Verhältnis zur Referenzklasse der Baujahre von vor 1945 kann aus Karte 20 generell auf einen negativen Einfluss des Baujahres auf die Quadratmetermieten geschlossen werden. Wobei dieser negative Einfluss der Baujahre der Klassen von 1983 bis 2000 im Verhältnis zur Referenzklasse mit einem Rückgang der Quadratmetermieten von bis zu ca. – 8% entlang der inneren Gürtelbezirke am höchsten ist. Begründet kann dieser negative Einfluss der Baujahresperioden auf die Quadratmetermieten dadurch werden, dass gerade in diesen Perioden zum Teil die Ausführung sowie die Wärmedämmung mangelhaft waren. Im Gegensatz dazu kann bei Angabe eines Baujahres der Klasse nach 2001 im Verhältnis zur Referenzklasse auf einen generellen positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten wie in Karte 21 und Karte 22 geschlossen werden. Dabei ist dieser positive Einfluss auf die Quadratmetermieten für die Angabe eines Baujahres der Klasse nach 2008 im Verhältnis zur Referenzklasse in der Innenstadt mit einer

Preissteigerung der Quadratmetermieten von bis zu ca. 13% am höchsten. Diese enorme Preissteigerung der Quadratmetermieten resultiert aus dem hohen bautechnischen Standard in diesen Perioden sowie aus einer restriktiven Auslegung der Bebauungsvorschriften, durch die ein Rückgang der Dachausbauten in diesen Perioden zu verzeichnen war. Neben dem Einfluss des Baujahres ist bei den Ausstattungsmerkmalen auch noch der Einfluss der Bäder und des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche auf die Quadratmetermieten zentral. Verdeutlicht wird dies durch den Schluss, der aus Karte 16 der Steigerung des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche um ein Viertel gezogen werden kann. Es kann deutlich geschlossen werden, dass gerade im 1. Bezirk bei Steigerung des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche um ein Viertel der positive Einfluss auf die Quadratmetermieten mit einer Steigerung der Quadratmetermieten von bis zu ca. 10% am höchsten ist. Dieser hohe positive Einfluss der Steigerung des Terrassenanteils auf die Quadratmetermieten ist gerade im 1. Bezirk auf die historische Bausubstanz, welche Großteils unter Denkmalschutz steht, sowie auf die einzigartigen Sichtbeziehungen im 1. Bezirk zurückzuführen. Aus diesen Gründen hat eine Steigerung des Terrassenanteils um ein Viertel gerade im 1. Bezirk den höchsten positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten. Ebenfalls einen hohen positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten hat eine Steigerung der Anzahl der Bäder im Verhältnis zur Referenzklasse von einem Bad. Deutlich wird dies durch die Schlussfolgerungen, die aus Karte 17 und Karte 18 gezogen werden können. Aus beiden Karten kann auf einen generell positiven Einfluss der Klassen der Bäder auf die Quadratmetermieten geschlossen werden. Wobei die Steigerung der Quadratmetermieten, bezogen auf die Referenzklasse, bei der Klasse von zwei Bädern mit bis zu ca. 9%, sowie bei der Klasse von mehr als zwei Bädern von bis zu ca. 26% Steigerung der Quadratmetermieten, im 9. Bezirk sowie in den angrenzenden Bezirken am höchsten ist. Diese Steigerungen sind darauf zurückzuführen, dass gerade in diesen Bezirken die Ausstattung einen entscheidenden Einfluss auf die Quadratmetermieten hat. Im Weiteren hat auch das Vorhandensein einer Garage einen generellen positiven Einfluss auf die Quadratmetermieten. Aus Karte 23 kann eindeutig auf einen positiven Einfluss der Klasse von einer Garage im Verhältnis zur Referenzklasse von keiner Garage geschlossen werden, der mit einer Steigerung der Quadratmetermieten mit bis zu ca. 5% im 2. Bezirk am höchsten ist. Der Einfluss einer Garage auf die Quadratmetermieten ist gerade im 2. Bezirk durch seine zentrale Lage mit guter Anbindung an das hochrangige Straßennetz sowie bedingt durch die rege Bautätigkeit am höchsten, da eine Garage im 2. Bezirk zum Standard zählt und für die Quadratmetermieten entscheidend ist. Im Gegensatz dazu hat die Steigerung des Anteiles der Wohnungsfläche an der Gesamtfläche einen marginalen negativen Einfluss auf die Quadratmetermieten. Wie in Karte 15 ersichtlich, kann bei Steigerung des Anteils der Wohnungsfläche um die Hälfte auf einen marginalen negativen Einfluss der Wohnungsfläche auf die Quadratmetermieten geschlossen werden, der mit einem Rückgang der Quadratmetermieten von ca. -0,04% im 8. Bezirk sowie in den angrenzenden Bezirken am höchsten ist.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Teilmarkt der Dachgeschosswohnung am Wiener Mietwohnungsmarkt eingehend anhand der Fragestellungen in der Einleitung in Punkt 2.1 und der Zielsetzungen in der Einleitung in Punkt 2.2 analysiert. Basierend auf den Fragestellungen sowie den Zielen, werden in der Zusammenfassung die wichtigsten und zentralen Resultate der Analyse kurz dargestellt.

Fasst man die Entwicklung der Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen zusammen, so ergibt sich aus Kapitel VI Punkt 1, dass im Zeitraum der Jahre von 2008 bis 2011 die Quadratmetermieten bezogen auf die Indexbasis um bis zu ca. 15% gestiegen sind. Die höchste Steigerung der Quadratmetermieten mit ca. 5,5% gab es dabei in den Jahren 2009 und 2010. Betrachtet man neben der periodischen Entwicklung auch noch die zentrale Entwicklung der räumlichen Variation der Steigerungen der Quadratmetermieten, so ergibt sich, dass gerade im 1. Bezirk die Preissteigerungen bei den Quadratmetermieten gegenüber den Außenbezirken eher moderat waren.

Bezogen auf die Frage des Einflusses und der räumlichen Variation des Einflusses der Lagevariablen auf die Mieten, lassen sich die Resultate der Lagevariablen im Rahmen der Arbeit zu den Resultaten der Sichtbarkeitsfaktoren sowie zu den Resultaten der sozioökonomischen Faktoren zusammenfassen. Aus der Zusammenfassung der wichtigsten Sichtbarkeitsfaktoren in Kapitel VI in Punkt 2.1 ergibt sich, dass vor allem die Sicht auf bedeutende Gebäude einen zentralen Einfluss auf die Quadratmetermieten hat. Dabei zeigt sich in Kapitel VI in Punkt 2.1.1, dass in der Innenstadt bei Steigerung des Sichtanteils bedeutender Gebäude in der Ferne ein deutlich negativer Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten besteht. Im Gegensatz dazu, zeigt sich in Kapitel VI in Punkt 2.1.2, dass vor allem in den Randbezirken ein starker positiver Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten bei Steigerung des Sichtanteils bedeutender Gebäude in der Nähe besteht.

Aus der Zusammenfassung der wichtigsten sozioökonomischen Faktoren in Kapitel VI ergibt sich, dass vor allem der Akademikeranteil einen zentralen Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten hat. Es zeigt sich dabei in Punkt 2.2, dass bei Steigerung des Akademikeranteils vor allem entlang des Gürtels sowie im 10. Bezirk ein starker positiver Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten besteht.

Die wichtigsten Resultate der Ausstattungsvariablen aus Kapitel VI Punkt 3 lassen sich bezogen auf die Frage des Einflusses und der räumlichen Variation des Einflusses der Ausstattungsvariablen auf die Mieten wie folgt zusammenfassen. Es zeigt sich dabei, dass vor allem die Anzahl der Bäder und die Klasse der Baujahre sowie der Terrassenanteil an der Wohnungsfläche einen zentralen Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten haben. Dabei zeigt sich in Kapitel VI in Punkt 3.3, dass gerade die Steigerung der Anzahl der Bäder im Verhältnis zur Referenzklasse einen starken positiven Einfluss auf die Steigerung der

Quadratmetermieten ausüben, der im 9. Bezirk am stärksten ist. Im Gegensatz dazu zeigt sich in Kapitel VI in Punkt 3.4 ein deutlich negativer Einfluss der Baujahre der Klassen von 1946 bis 2000 auf die Steigerung der Quadratmetermieten, wobei dieser negative Einfluss entlang des Gürtels in den inneren Gürtelbezirken am höchsten ist. Für die Baujahre der Klassen von 2001 bis nach 2008 zeigt sich in Kapitel VI in Punkt 3.4 ein deutlich positiver Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten, wobei dieser für die Klasse der Baujahre von nach 2008 im 1. Bezirk am höchsten ist. Ebenfalls einen zentralen Einfluss auf die Steigerung der Quadratmetermieten hat der Anteil der Terrassenfläche an der Wohnungsfläche. Wie sich in Kapitel VI in Punkt 3.2 zeigt ist der positive Einfluss der Steigerung des Terrassenanteils an der Wohnungsfläche auf die Steigerung der Quadratmetermieten ebenfalls gerade im 1. Bezirk am höchsten.

Es zeigt sich, dass die Fragestellungen der Arbeit beantwortet werden konnten und dass die Ziele der Arbeit, wie die Abbildung der Entwicklung der Mieten sowie die Darstellung der Einflüsse der Lagevariablen und Ausstattungsvariablen auf die Mieten bei den Wiener Dachgeschosswohnungen, großteils erfüllt werden konnten.

## Literaturverzeichnis

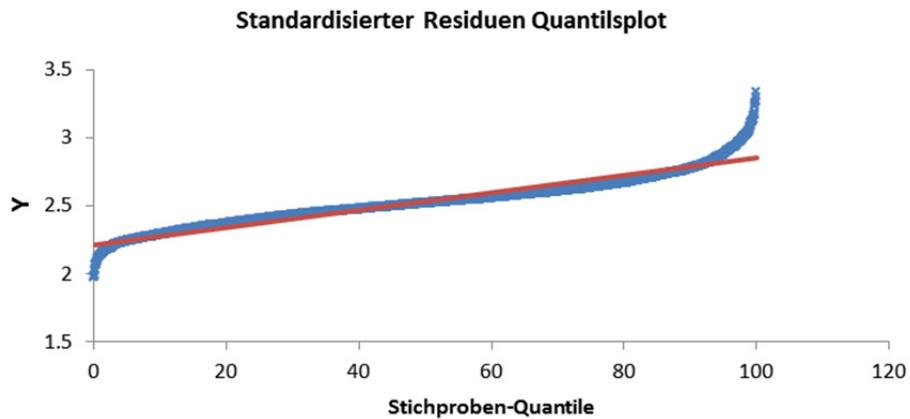
- Albers, Sönke; Klapper, Daniel; Konradt, Udo; et al.; Albers, Sönke; Klapper, Daniel; Konradt, Udo; et al. (eds.) (2009): *Methodik der empirischen Forschung. Forschung*. Gabler, DOI: 10.1007/978-3-8349-9121-8. — ISBN: 9783834904690
- Arbeiterkammer Wien (2008): *Mietrecht für Mieter. Klagenfurt*. Wien.
- ArcGIS Resource Center (2012a): „Funktionsweise von Kernel Density“. Gesehen am 03.12.2012 auf <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000011000000>.
- ArcGIS Resource Center (2012b): „Modellieren von räumlichen Beziehungen“. Gesehen am 10.12.2012 auf <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/005p00000005000000>.
- ArcGIS Resource Center (2012c): „Verwenden von “Sichtfeld” und “Beobachterpunkte” für die Sichtbarkeitsanalyse“. Gesehen am 10.11.2011 auf <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z000000v8000000/>.
- ArcGIS Resource Center (2012d): „Was ist ein Z-Ergebnis? Was ist ein p-Wert?“. Gesehen am 12.01.2013 auf <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/005p00000006000000>.
- Basu, Sabyasachi; Thibodeau, TG (1998): „Analysis of spatial autocorrelation in house prices“. In: *The Journal of Real Estate Finance and Economics*. 17 , pp. 61–85.
- Bökemann, Dieter; Wolfgang, Feilmayr (1994): „Kleinräumige Analyse der Wiener Grundstückspreise“. In: *Seminarbericht 35 der Gesellschaft für Regionalforschung*. Heidelberg: Gesellschaft für Regionalforschung, pp. 22 – 46.
- Brey, Thomas (2013): „BUWOG und EHL präsentieren den 1. Wiener Wohnungsmarktbericht“. In: *Pressekonferenz*. Wien: BUWOG und EHL, p. 6.
- Brunsdon, Chris; Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Fischer, Manfred M; Getis, Arthur (eds.) (1998): „Geographically Weighted Regression GWR3“. *Journal of the Royal Statistical Society Series D The Statistician*. JSTOR, DOI: 10.1111/1467-9884.00145. — ISBN: 9783642036460
- Chow, Lee-fang; Zhao, Fang; Liu, Xuemei; et al. (2005): „Transit Ridership Model Based on Geographically Weighted Regression“. In: *Transportation Research Record*. 1972 (1972), pp. 105–114, DOI: 10.3141/1972-15.
- Demary, Markus (2009): „Hedonische Immobilienpreisindizes – Verfahren und Beispiele“. In: *IW Trends*. 3 (September).
- Ernste, Huib (2011): *Ernste Angewandte Statistik in Geografie und Umweltwissenschaften*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich. — ISBN: 9783825233099
- Fahrländer, Stefan (2007): *Hedonische Immobilienbewertung. Universität Bern, Diss.* München: Martin Meidenbauer Verlagsbuchhandlung. — ISBN: 9783899756234
- Fischer, Manfred M; Getis, Arthur; Fischer, Manfred M.; Getis, Arthur (eds.) (2010): *Handbook of Applied Spatial Analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-642-03647-7. — ISBN: 978-3-642-03646-0

- Fotheringham, A Stewart; Brunson, C; Charlton, M (2002): *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. Recherche*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. — ISBN: 0471496162
- Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin; Brunson, Chris; et al. (2005): „Model Selection Issues in Geographically Weighted Regression“. In: *Proceedings of the 8th International Conference on GeoComputation University of Michigan*.
- Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E (2009): „Geographically Weighted Regression: White Paper“.
- Fotheringham, A Stewart; Charlton, Martin E; Brunson, C (2000): *Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis*. London: SAGE Publications Ltd. — ISBN: 978-0761959489
- Fotheringham, A Stewart; Kelly, Mary H; Charlton, Martin (2012): „The demographic impacts of the Irish famine: towards a greater geographical understanding“. *Transactions of the Institute of British Geographers.*, DOI: 10.1111/j.1475-5661.2012.00517.x.
- Fotheringham, A Stewart; Rogerson, P A (2009): *The SAGE handbook of spatial analysis*. London: SAGE Publications Ltd. — ISBN: 9781412910828
- Geniaux, Ghislain; Ay, Jean-Sauveur; Napoléone, Claude (2011): „A SPATIAL HEDONIC APPROACH ON LAND USE CHANGE ANTICIPATIONS“. In: *Journal of Regional Science*. 51 (5), pp. 967–986, DOI: 10.1111/j.1467-9787.2011.00721.x.
- Geographically Weighted Regression website (2013): „Geographically Weighted Regression“. Gesehen am 08.12.2012 auf <http://gwr.nuim.ie/>.
- Goodchild, Michael F. (1986): *Spatial autocorrelation*. o.V. — ISBN: 0860942236
- Griffith, Daniel A (2009): „Spatial Autocorrelation“. In: *Elsevier*.
- Haase, Ronny (2011): „Ertragspotenziale–Hedonische Mietpreismodellierungen am Beispiel von Büroimmobilien“. ETH Zürich.
- Haase, Ronny; Kytzia, Susanne (2007): „Mietertragspotenziale“. In: *disP - The Planning Review*. 43 (168), pp. 56–73, DOI: 10.1080/02513625.2007.10556975.
- Hackl, Peter (2005): *Einführung in die Ökonometrie*. München: Pearson Studium. — ISBN: 978-3-8273-7118-8
- Haupt, Harald (2002): *Die Charakteristika des hedonischen Gutes Wohnung: Eine ökonometrische Analyse*. Frankfurt am Main: Peter Lang. — ISBN: 3631398727
- Heyser, Hartwig (2006): *Bestimmungsgründe des Büromietzinses*. Duncker & Humbolt GmbH. — ISBN: 9783428119226
- Holzappel, Anton (2012): „Immobilienmarkt Österreich - Ausblick 2013“. In: *Pressekonferenz*. Wien: Österreichischer Verband der Immobilienwirtschaft, p. 6.
- Immobilienpreis.ch (2010): „Hedonisches Bewertungsmodell“. Gesehen am 23.04.2013 auf [http://www.immobilienpreis.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=23](http://www.immobilienpreis.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=23).
- Kirchmayer, Wolfgang (2009): *Wiener Baurecht*. 3. ed. Wien: Verlag Österreich. — ISBN: 978~3~ 7046-5334-5

- Kirchmayer, Wolfgang; Popp, Roland; Kolbitsch, Andreas (2011): *Dachgeschoßausbau in Wien*. Wien: Verlag Österreich. — ISBN: 9783704654267
- Magistratsabteilung 41 Stadtvermessung Wien (2013): „Produktinformation - Oberflächenmodell - Airborne Laserscanning (ALS)“. Gesehen am 23.05.2013 auf <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/als/produkt.html>.
- Maier, Gunther (2011): „Immobilienbewertung-theoretische Konzepte und praktische Anwendungen“. In: *SRE-Discussion 2011/03*. Wien: Institut für Regional- und Umweltwirtschaft Institute for the Environment and Regional Development, p. 16.
- Matthes, Stephanie (2010): „Semiparametrische Modellierung von Erwartungswert und Varianz in der hedonischen Immobilienbewertung“. Innsbruck.
- Matthews, Stephen a.; Yang, Tse-Chuan (2012): „Mapping the results of local statistics: Using geographically weighted regression“. In: *Demographic Research*. 26 , pp. 151–166, DOI: 10.4054/DemRes.2012.26.6.
- Nakaya, Tomoki (2012): „GWR4 User Manual“.
- Nakaya, Tomoki; Fotheringham, A Stewart; Brunsdon, C; et al. (2005): „Geographically weighted Poisson regression for disease association mapping.“. In: *Statistics in medicine*. 24 (17), pp. 2695–717, DOI: 10.1002/sim.2129.
- Open Government Data (2006): „Wiener Grüngürtel“. *Offene Daten für Wien*. Gesehen am 20.10.2012 auf <http://data.wien.gv.at/katalog/wiener-gruenguertel.html>.
- Rasch, Björn; Friese, Malte; Hofmann, Wilhelm; et al. (2010): „Quantitative Methoden Band 1“. In: *Springer Verlag Berlin Heidelberg ....* — ISBN: 9783642052712
- Rosen, Sherwin (1974): „Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition“. In: *Journal of Political Economy*. JSTOR 82 (1), pp. 34–55, DOI: 10.1086/260169.
- Schulte, Karl Werner (2008): *Immobilienökonomie: Band IV Volkswirtschaftliche Grundlagen*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. — ISBN: 978-3-486-58281-9
- Serrat, Nikolaus Georg (2011): „Der hedonische Ansatz am Beispiel der Wiener Altbaumieten“. WU Wien.
- Stocker, Herbert (2012): „Einführung in die angewandte Ökonometrie“. Innsbruck.
- Tobler, Waldo (1970): „A computer movie simulating urban growth in the Detroit region“. In: *Economic Geography*. 46 (2), pp. 234–240.
- Trolf, Norbert (2009): „Grün als Marktwert: Der Einfluss der Grün- und Freiflächen auf die Preisbildung am Grundstücksmarkt am Beispiel Wien“. TU Wien.
- WienWert (2011): „Der Wiener Immobilienmarkt“. Gesehen am 29.04.2013 auf <http://www.wienwert.at/de-immobilienmarkt-potenzial-wachstum.htm>.
- Wikipedia (2013): „Visuelle Wahrnehmung“. Gesehen am 10.05.2013 auf [http://de.wikipedia.org/wiki/Visuelle\\_Wahrnehmung](http://de.wikipedia.org/wiki/Visuelle_Wahrnehmung).
- Wolfgang, Feilmayr (2004): „Immobilienindizes aus hedonischen Regressionen“. In: *Seminarbericht 47 der Gesellschaft für Regionalforschung*. Heidelberg: Gesellschaft für Regionalforschung, pp. 74 – 97.

## Anhang

Grafik 7: Standardisierter Residuen Quantilsplot der Homoskedasitzität



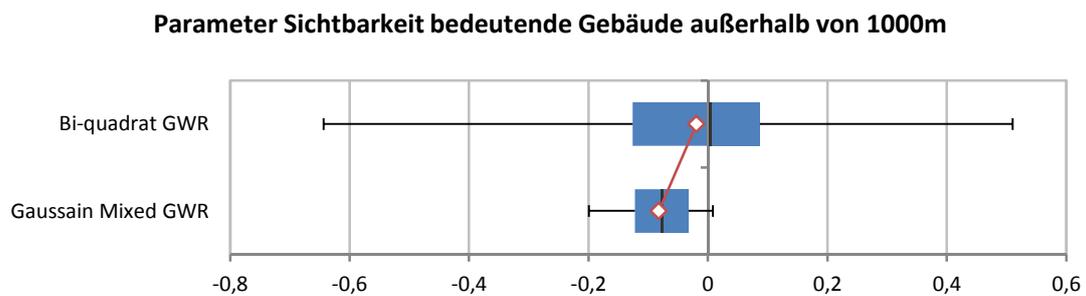
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Grafik 8: Parametervergleich Werkstätten, Industrie- oder Lagerhalle



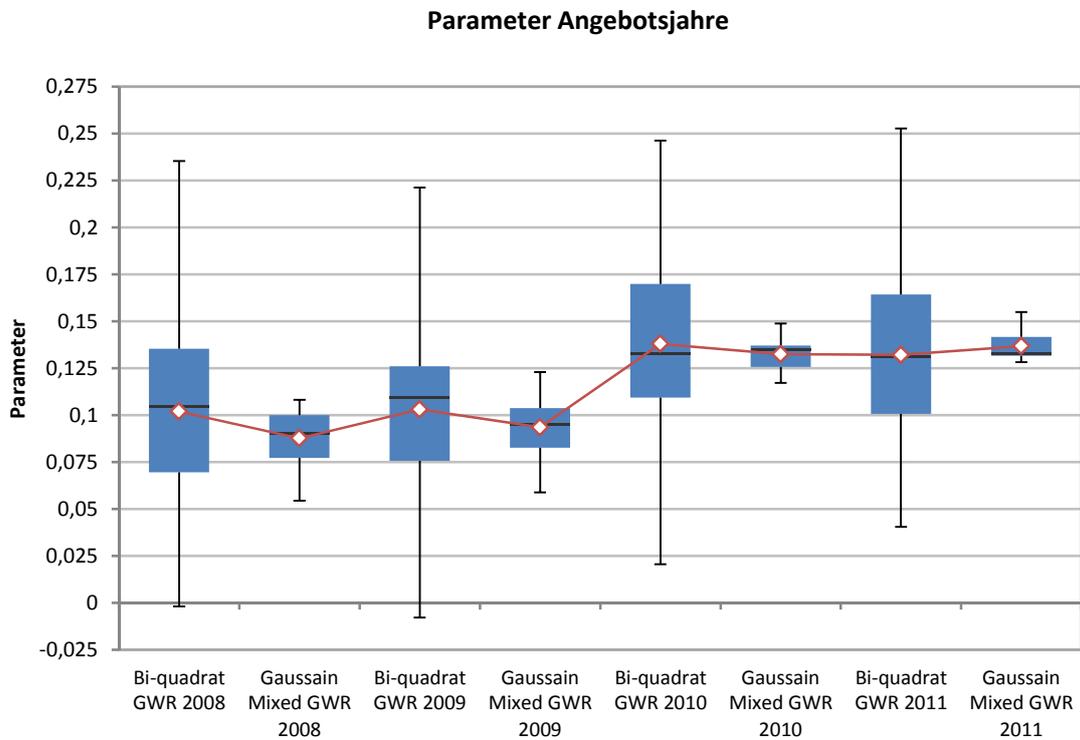
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

Grafik 9: Parametervergleich der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Ferne



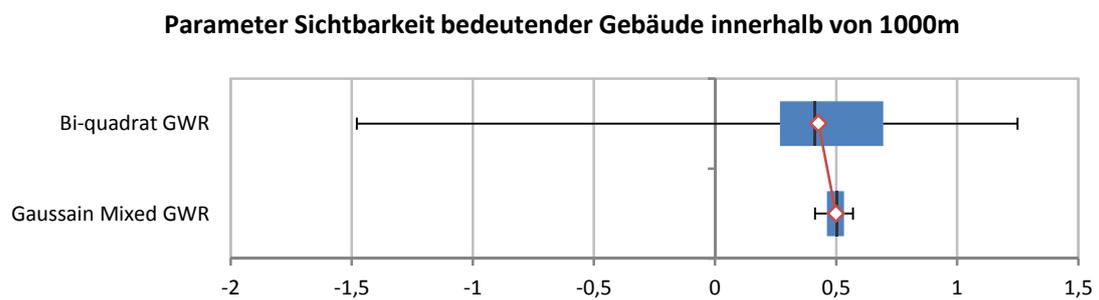
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

**Grafik 10: Parametervergleich der Angebotsjahre**



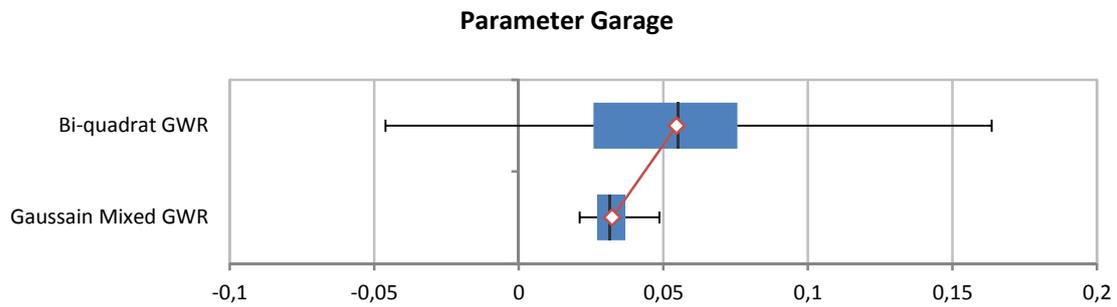
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

**Grafik 11: Parametervergleich der Sichtbarkeit bedeutender Gebäude in der Nähe**



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

**Grafik 12: Parametervergleich Garage**



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

**Tabelle 11: Variablen der Gruppe der Abhängigen und zeitlichen Periodenvariablen**

Abhängige und Zeitliche Perioden Variablen		
Typ* Beschreibung		
qm_pm_ln	K	LN Monatliche Miete €/m <sup>2</sup>
qm_p_m	K	Monatliche Miete in €/m <sup>2</sup>
Ref. Kl. year_ch	D	Angebotsjahre 2001 - 2007 (Referenzklasse)
year_ch1	D	Angebotsjahr 2008
year_ch2	D	Angebotsjahr 2009
year_ch3	D	Angebotsjahr 2010
year_ch4	D	Angebotsjahr 2011
*Typ des Skalenniveaus K Kontinuierliche, o. D Dummy (Binär) Skala		

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

**Tabelle 12: Variablen der Gruppe A der Ausstattungsvariablen**

<b>Ausstattungsvariablen</b>		
	<b>Typ*</b>	<b>Beschreibung</b>
<i>Ref. Kl.</i> bath_kl	D	Ein Bad (Referenzklasse)
bath_kl1	D	Zwei Bäder
bath_kl2	D	Mehr als zwei Bäder
<i>Ref. Kl.</i> bj_kl	D	Baujahr vor 1945 (Referenzklasse)
bj_kl_1	D	Keine Baujahresangabe
bj_kl_2	D	Baujahr von 1946 bis 1982
bj_kl_3	D	Baujahr von 1983 bis 2000
bj_kl_4	D	Baujahr von 2001 bis 2007
bj_kl_5	D	Baujahr nach 2008
<i>Ref. Kl.</i> cond	D	sehr guter Zustand (Referenzklasse)
cond_1	D	Keine Angaben
cond_2	D	Gut bis Mittlerer Zustand
gar	D	Garage ja oder nein
<i>Ref. Kl.</i> heiz_t	D	Gasetagenheizung (Referenzklasse)
heiz_t_1	D	Sonstige Heizung oder keine Angabe
heiz_t_2	D	Zentralheizung
heiz_t_3	D	Biomasseheizung oder Solarheizung
heiz_t_4	D	Fußbodenheizung oder Klimaanlage
keller	D	Keller ja oder nein
lift	D	Lift ja oder nein
<i>Ref. Kl.</i> moeb_kl	D	Komplett oder teilweise möbliert (Referenzklasse)
moeb_kl1	D	Keine Angaben oder nicht möbliert
moeb_kl2	D	Küche
<i>Ref. Kl.</i> room_kl	D	Drei Zimmerwohnung (Referenzklasse)
room_kl1	D	Ein Zimmerwohnung
room_kl2	D	Zwei Zimmerwohnung
room_kl3	D	Vier Zimmerwohnung
room_kl4	D	Wohnung mit mehr als fünf Zimmern
unt_g	D	Wohnung oder sonstige Wohnung (Referenzklasse)
unt_g_1	D	Rohdachboden
unt_g_3	D	Penthouse
wc_kl	D	Ein WC (Referenzklasse)
wc_kl_1	D	Zwei WC's
wc_kl_2	D	Mehr als drei WC's
ant_ter	K	Anteil Terrassenfläche an Gesamtwohnfläche in %
ant_log	K	Anteil Loggiafläche an Gesamtwohnfläche in %
a_all	K	Gesamte Wohnungsfläche in m <sup>2</sup>

\*Typ des Skalenniveaus K Kontinuierliche, od. D Dummy (Binär) Skala

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

**Tabelle 13: Variablen der Gruppe L der Lagevariablen**

<b>Lagevariablen</b>		
	<b>Typ*</b>	<b>Beschreibung</b>
n_st_d	D	Sichtbarkeit Stephansdom ja oder nein
z_wohn_i	K	Wohnqualitätsindex der TU Wien
z_neg_au	K	Ausländeranteil ohne EU Staatsbürger in %
z_laerm	K	Lärm
z_k_i_10	K	Kaufkraft Index Jahr 2010
z_geb_9	K	Gebäudeanteil für Kultur, Freizeit, Bildung u. Gesundheit in %
z_geb_8	K	Gebäudeanteil an Werkstätten, Industrie- oder Lagerhallen in %
z_etw_i	K	Wohnungspreis Index der TU Wien
z_aut	K	Anteil österreichischer Staatsbürger in %
z_akad	K	Akademikeranteil in %
z_age_i	K	Bevölkerungsaltersindex
pb_geb10	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche von stadtraum aufwerteten Gebäude außerhalb von 1.000 m in %
pb_geb1	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche von stadtraum aufwerteten Gebäude innerhalb von 1.000 m in %
p_st_g10	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche von stadteilgliederntem Grün außerhalb von 1.000 m in %
p_st_g1	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche von stadteilgliederntem Grün innerhalb von 1.000 m in %
p_st_d10	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche des Stehpansdoms außerhalb von 1.000 m in %
p_st_d1	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche des Stehpansdoms innerhalb von 1.000 m in %
p_r_v10	K	Normierter Anteil der max. "restlichen" Sichtfläche außerhalb von 1.000 m in %
p_r_v1	K	Normierter Anteil der max. "restlichen" Sichtfläche innerhalb von 1.000 m in %
p_gew10	K	Normierter Anteil der max. Gewässersichtfläche außerhalb von 1.000 m in %
p_gew1	K	Normierter Anteil der max. Gewässersichtfläche innerhalb von 1.000 m in %
p_g_g10	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche des wiener Grüngürtels außerhalb von 1.000 m in %
p_g_g1	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche des wiener Grüngürtels innerhalb von 1.000 m in %
p_g_1h10	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche von Grünflächen unter 1 ha außerhalb von 1.000 m in %
p_g_1h1	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche von Grünflächen unter 1 ha innerhalb von 1.000 m in %
p_b_p10	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche bedeutender Parks außerhalb von 1.000 m in %
p_b_p_1	K	Normierter Anteil der max. Sichtfläche bedeutender Parks innerhalb von 1.000 m in %
dis_st_m	K	Distanz zum Stephansdom in m

\*Typ des Skalenniveaus      K Kontinuierliche, od. D Dummy (Binär) Skala

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Daten der Stadt Wien und der IRG

### Abbildung 3: Ausgabe GWR4

```
*****
*           Semiparametric Geographically Weighted Regression           *
*           Release 1.0.73 (GWR 4.0.73)                               *
*           11 Feb 2013                                              *
*           (Originally coded by T. Nakaya: 1 Nov 2009)                *
*                                                                           *
*           Tomoki Nakaya(1), Martin Charlton(2), Paul Lewis(2),      *
*           A. Stewart Fotheringham (3), Chris Brunson (4)           *
*           (c) GWR4 development team                                  *
* (1) Ritsumeikan University, (2) National University of Ireland, Maynooth, *
* (3) University of St. Andrews, (4) University of Liverpool         *
*****
```

Program began at 16.04.2013 21:35:38

```
*****
Session: final_step11_694_gau_mixed_gis_id
Session control file:
D:\GWR_Auswertung\GWR4\vis_final_m\final_step11_694_gau_mixed_gis_id.ctl
*****
Data filename: D:\GWR_Auswertung\GWR4\vis_final_m\0418wmg.csv
Number of areas/points: 2901
```

```
Model settings-----
Model type: Gaussian
Geographic kernel: adaptive Gaussian
Method for optimal bandwidth search: fixed value
Criterion for optimal bandwidth: AICc
Number of varying coefficients: 19
Number of fixed coefficients: 1
```

```
Modelling options-----
Standardisation of independent variables: OFF
Testing geographical variability of local coefficients: OFF
Local to Global Variable selection: OFF
Global to Local Variable selection: OFF
Prediction at non-regression points: On
```

```
Variable settings-----
Area key: field2: GIS_id
Easting (x-coord): field3 : x_cor
Northing (y-coord): field4: y_cor
Cartesian coordinates: Euclidean distance
Dependent variable: field7: qm_pm_ln
Offset variable is not specified
Intercept: varying (Local) intercept
Independent variable with varying (Local) coefficient: field9: a_all
Independent variable with varying (Local) coefficient: field10: ant_ter
Independent variable with varying (Local) coefficient: field11: bath_kl1
Independent variable with varying (Local) coefficient: field12: bath_kl2
Independent variable with varying (Local) coefficient: field13: bj_kl_1
Independent variable with varying (Local) coefficient: field15: bj_kl_3
Independent variable with varying (Local) coefficient: field16: bj_kl_4
Independent variable with varying (Local) coefficient: field17: bj_kl_5
Independent variable with varying (Local) coefficient: field22: gar
Independent variable with varying (Local) coefficient: field30: p_g_g10
Independent variable with varying (Local) coefficient: field34: pb_geb1
Independent variable with varying (Local) coefficient: field35: pb_geb10
Independent variable with varying (Local) coefficient: field38: year_ch1
Independent variable with varying (Local) coefficient: field39: year_ch2
Independent variable with varying (Local) coefficient: field40: year_ch3
Independent variable with varying (Local) coefficient: field41: year_ch4
Independent variable with varying (Local) coefficient: field42: z_akad
Independent variable with varying (Local) coefficient: field43: z_geb_8
Independent variable with fixed (Global) coefficient: field14: bj_kl_2
```

Number of prediction at non-regression points 19100

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Global regression result

\*\*\*\*\*

< Diagnostic information >

Residual sum of squares: 117.980458  
Number of parameters: 20  
(Note: this num does not include an error variance term for a Gaussian model)  
ML based global sigma estimate: 0.201665  
Unbiased global sigma estimate: 0.202364  
Log-likelihood: -1057.167087  
Classic AIC: -1015.167087  
AICc: -1014.846142  
BIC/MDL: -889.738060  
CV: 0.041281  
R square: 0.457429  
Adjusted R square: 0.453661

Variable	Estimate	Standard Error	t (Est/SE)
Intercept	2.140404	0.017544	121.999665
a_all	-0.000546	0.000091	-6.015388
ant_ter	0.292089	0.018399	15.875284
bath_kl1	0.081151	0.009991	8.122149
bath_kl2	0.220039	0.021262	10.348681
bj_kl_1	0.032937	0.009384	3.509995
bj_kl_3	-0.044908	0.013673	-3.284450
bj_kl_4	0.049836	0.013470	3.699671
bj_kl_5	0.092615	0.018855	4.912067
gar	0.033028	0.010473	3.153705
p_g_g10	-0.104226	0.037024	-2.815108
pb_geb1	0.550793	0.036772	14.978481
pb_geb10	-0.001092	0.039696	-0.027514
year_ch4	0.138783	0.013182	10.528186
year_ch3	0.135878	0.012724	10.678490
year_ch2	0.111596	0.010235	10.903492
year_ch1	0.105514	0.011640	9.064817
z_akad	0.999404	0.051444	19.427169
z_geb_8	-0.177943	0.105961	-1.679333
bj_kl_2	-0.189855	0.021743	-8.731564

\*\*\*\*\*

GWR (Geographically weighted regression) bandwidth selection

\*\*\*\*\*

Bandwidth search <fixed value>: 694

\*\*\*\*\*

GWR (Geographically weighted regression) result

\*\*\*\*\*

Bandwidth and geographic ranges

Bandwidth size: 694.000000

Coordinate	Min	Max	Range
X-coord	-5684.603674	10714.124310	16398.727984
Y-coord	336126.266700	347616.101900	11489.835200

Diagnostic information

Residual sum of squares:	108.502274	
Effective number of parameters (model: trace(S)):		50.680398
Effective number of parameters (variance: trace(S'S)):		32.392440
Degree of freedom (model: n - trace(S)):		2850.319602
Degree of freedom (residual: n - 2trace(S) + trace(S'S)):		2832.031644
ML based sigma estimate:	0.193395	
Unbiased sigma estimate:	0.195736	
Log-likelihood:	-1300.119678	
Classic AIC:	-1196.758882	
AICc:	-1194.847197	
BIC/MDL:	-888.081642	
CV:	0.038807	
R square:	0.501017	
Adjusted R square:	0.488861	

\*\*\*\*\*

<< Fixed (Global) coefficients >>

\*\*\*\*\*

Variable	Estimate	Standard Error	t (Estimate/SE)
bj_kl_2	-0.190353	0.021117	-9.014046

\*\*\*\*\*

<< Geographically varying (Local) coefficients >>

\*\*\*\*\*

Estimates of varying coefficients have been saved in the following file.

Listwise output file:

D:\GWR\_Auswertung\GWR4\vis\_final\_m\final\_step11\_694\_gau\_mixed\_gis\_id\_listwise.csv

Summary statistics for varying (Local) coefficients

Variable	Mean	STD
Intercept	2.173886	0.030724
a_all	-0.000534	0.000077
ant_ter	0.330117	0.029788
bath_kl1	0.077314	0.010331
bath_kl2	0.231114	0.021201
bj_kl_1	0.021441	0.011261
bj_kl_3	-0.060082	0.012898
bj_kl_4	0.043508	0.010762
bj_kl_5	0.093323	0.022356
gar	0.032411	0.006713
p_g_g10	-0.193584	0.058357
pb_geb1	0.499093	0.043132
pb_geb10	-0.082108	0.054470
year_ch4	0.136758	0.007343
year_ch3	0.132368	0.007392
year_ch2	0.093457	0.015720
year_ch1	0.087645	0.013949
z_akad	1.020300	0.071883
z_geb_8	-0.292616	0.134138

Variable	Min	Max	Range
Intercept	2.124484	2.234273	0.109789
a_all	-0.000657	-0.000376	0.000281
ant_ter	0.269357	0.388486	0.119128
bath_kl1	0.058628	0.094956	0.036328
bath_kl2	0.189698	0.266194	0.076496
bj_kl_1	0.001979	0.045276	0.043296
bj_kl_3	-0.082371	-0.031300	0.051071
bj_kl_4	0.015972	0.065300	0.049328
bj_kl_5	0.050570	0.128492	0.077922
gar	0.021079	0.048684	0.027605
p_g_g10	-0.332990	-0.086584	0.246407
pb_geb1	0.413365	0.569791	0.156426
pb_geb10	-0.199622	0.008532	0.208154
year_ch4	0.128277	0.154983	0.026706
year_ch3	0.117133	0.148763	0.031631
year_ch2	0.058797	0.122894	0.064096
year_ch1	0.054440	0.108170	0.053730
z_akad	0.887416	1.174170	0.286754
z_geb_8	-0.638365	-0.047290	0.591075

Variable	Lwr Quartile	Median	Upr Quartile
Intercept	2.150195	2.169753	2.198108
a_all	-0.000601	-0.000547	-0.000466
ant_ter	0.308702	0.327005	0.353535
bath_kl1	0.068857	0.077062	0.086747
bath_kl2	0.210787	0.232864	0.250262
bj_kl_1	0.012715	0.020295	0.028383
bj_kl_3	-0.069971	-0.061994	-0.054630
bj_kl_4	0.036951	0.044804	0.048537
bj_kl_5	0.071907	0.096369	0.113906
gar	0.027042	0.031327	0.036931
p_g_g10	-0.240722	-0.171370	-0.146895
pb_geb1	0.462674	0.502191	0.532230
pb_geb10	-0.122524	-0.076423	-0.032394
year_ch4	0.131715	0.133076	0.141718
year_ch3	0.125756	0.134679	0.137157
year_ch2	0.082602	0.095044	0.103834
year_ch1	0.077103	0.090121	0.100027
z_akad	0.959047	1.016309	1.075811
z_geb_8	-0.398328	-0.265594	-0.190457

Variable	Interquartile R	Robust STD
Intercept	0.047913	0.035518
a_all	0.000135	0.000100
ant_ter	0.044833	0.033234
bath_kl1	0.017890	0.013262
bath_kl2	0.039476	0.029263
bj_kl_1	0.015668	0.011615
bj_kl_3	0.015341	0.011372
bj_kl_4	0.011586	0.008589
bj_kl_5	0.041999	0.031134
gar	0.009889	0.007330
p_g_g10	0.093827	0.069553
pb_geb1	0.069556	0.051561
pb_geb10	0.090130	0.066813
year_ch4	0.010003	0.007415
year_ch3	0.011402	0.008452
year_ch2	0.021232	0.015739
year_ch1	0.022924	0.016993
z_akad	0.116763	0.086555
z_geb_8	0.207871	0.154093

(Note: Robust STD is given by (interquartile range / 1.349) )

```

*****
GWR ANOVA Table
*****
Source                SS          DF          MS          F
-----
Global Residuals      117.980     20.000
GWR Improvement        9.478       48.968         0.194
GWR Residuals         108.502    2832.032         0.038    5.052065

```

```

*****
Program terminated at 17.04.2013 06:18:29

```

**Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage der GWR4 Software**