

# Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

## „Der Preis der Aussicht“ Einsatz von 3D-Stadtmodellen und 3D-Sichtbarkeitsanalysen in einem hedonischen Mietpreismodell

vorgelegt von

**Dipl. Kultur-Ing. ETH Christian Hürzeler**  
U1452, UNIGIS MSc Jahrgang 2009

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:  
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Thalwil, 31.03.2012

## **Vorwort**

Am Anfang dieser Arbeit eröffnete sich mir die Aussicht, mein Wissen in der Geoinformatik in dem für mich unbekanntem Fachgebiet der Immobilienökonomie einzusetzen. Am Ende dieser Arbeit steht für mich die Erkenntnis, dass das Spannende an der Geoinformatik nicht das Werkzeug GIS an sich ist, sondern die vertiefte Auseinandersetzung mit den vielfältigen Themenbereichen, in denen GIS eingesetzt werden. Diese Erfahrung möglich gemacht haben folgende Personen, denen ich ein herzliches Dankeschön aussprechen möchte:

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Strobl und dem UNIGIS Lehrgangsteam für die professionelle und verlässliche Betreuung während des Studiums.

Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Zürcher Kantonalbank, Abteilung Financial Engineering Immobilien, die mir den Einstieg in das Thema ermöglicht und mit hilfreichen Anregungen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Für die Unterstützung bei der Suche und Bereitstellung der Grundlagendaten bedanke ich mich bei meinen Arbeitskolleginnen und -kollegen folgender Ämter der Stadtverwaltung Zürich: GIS Kompetenzzentrum des Hochbaudepartements, Geomatik und Vermessung, Statistik, Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie Stadtpolizei.

Ronny danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit.

Mein allergrösster Dank gilt meiner Frau Karin, die während des gesamten Studiums viel Verständnis und Geduld aufbrachte und mein Ziel stets unterstützt hat.

### **Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit**

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden, sind gekennzeichnet.

Thalwil, 31.03.2012

Christian Hürzeler

## **Kurzfassung**

Der Preis einer Immobilie stellt eine zentrale Kenngrösse in der Immobilienökonomie dar. Die Kenntnis darüber, welche Faktoren den Preis bestimmen und wie gross deren Einflüsse sind, ist für das Verständnis des Immobilienmarktes und seiner Preisbildungsprozesse von grosser Bedeutung. Diese Arbeit untersucht die Zusammenhänge zwischen Wohnungsmerkmalen und Mietpreisen und stellt die Aussicht als standortabhängiges Merkmal ins Zentrum. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Beantwortung der Frage, welche Daten und Methoden sich zur Ermittlung der Aussicht im Hinblick auf die Anwendung in einem Immobilienpreismodell am besten eignen.

Es wurde ein hedonisches Mietpreismodell formuliert, das den Mietpreis mit den Wohnungsmerkmalen mathematisch in Beziehung setzt. Hintergrund bildet die hedonische Annahme, dass der Mietpreis die Zahlungsbereitschaft der Mieter für einzelne nutzenstiftende Wohnungsmerkmale widerspiegelt und sich unterschiedliche Aussichten zweier ansonsten identischer Wohnungen in einem Mietpreisunterschied äussern. Das Mietpreismodell wurde mit einer multiplen Regressionsanalyse anhand von Marktdaten und räumlichen Daten zu den Wohnungsmerkmalen empirisch geschätzt. Die Berechnung der Aussichtsmerkmale erfolgte in einem GIS mit der Sichtlinien-, der Horizontlinien- und einer in dieser Arbeit konzipierten 3D-Sichtraumanalyse. Die Aussichtsmerkmale wurden auf Basis von drei 3D-Stadtmodellen mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden (LoD 0, LoD 1 und LoD 2) berechnet.

Am Beispiel des Mietwohnungsmarktes der Stadt Zürich konnte gezeigt werden, dass die Aussicht einen statistisch nachweisbaren Einfluss auf die Mietpreise hat. Zu den preisrelevanten Aussichtsmerkmalen gehören die Sicht auf Gewässer, auf Berge und auf historische Gebäude, das Volumen des Sichtraums, die Diversität der Aussicht (alle mit preissteigerndem Einfluss) und die Sicht auf Industriegebäude (preismindernder Einfluss). Diese Zahlungsbereitschaften geben direkte Rückschlüsse auf die aussichtbezogenen Präferenzen der Mieter und erklären ihr Entscheidungsverhalten bei Wohnstandortwechseln. Die Untersuchung ergab weiter, dass den Gebäuden als Sichthindernisse eine grosse Bedeutung zukommt. Die unterschiedlich detaillierten Gebäudedaten führten zu statistisch belegbaren Unterschieden der berechneten Aussichten. Ausgehend von den Schätzergebnissen wird für hedonische Immobilienpreismodelle empfohlen, die Aussicht unter Einbezug von 3D-Stadtmodellen mit LoD 1 zu ermitteln.

## Abstract

In real estate economics, price is considered a central statistic of residential property. In order to understand the real estate market as well as its formation of prices, it is essential to have knowledge of the factors that determine prices, along with knowledge of their magnitude of impact. This thesis examines the relationship between apartments' characteristics and their rent prices, with a special focus given to the view. A second key aspect of this work is to identify data and methods for determining views which are best suited to an application in a real estate price model.

A hedonic rent price model is formulated which mathematically relates the characteristics of an apartment to its rent price. The hedonic price method is based on the theory that rental prices reflect the tenants' willingness to pay for particular utility-bearing apartment characteristics. The theory further suggests that for any two apartments that are identical in all but their views, these different views explain the variations in rental prices. The rental price model was estimated with a multiple regression analysis, using both market information and spatial data about apartment characteristics. View characteristics were computed in a GIS using line-of-sight and skyline analysis, as well as a new 3D viewshed analysis which is described in this thesis. Three 3D city models, each one having a different level of detail (LoD 0, LoD 1, and LoD 2), were used as spatial data for these computations.

Using the City of Zürich as study area, it is demonstrated that apartment views have a statistically significant influence on rent prices. Some specific examples of price-relevant view characteristics that lead to increased rents are: water view, mountain view, and view of historical buildings. Rents are further affected by the volume of sight and the diversity of a view (leading to increased rents), as well as by the visibility of industrial buildings (leading to reduced rents). The tenants' willingness to pay for such view characteristics allows direct inferences about their preferences for views, and it explains their decision-making behavior during relocations. Moreover, the results of this study indicate that buildings play an important role when view obstructions are considered. The differing levels of detail of the 3D city models result in statistically significant differences in the computed views. Based on the estimation results, this study recommends 3D city models with a LoD 1 for computing views in hedonic real estate price models.

---

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	I
Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit .....	II
Kurzfassung .....	III
Abstract .....	IV
Inhaltsverzeichnis .....	V
Abbildungsverzeichnis .....	VIII
Tabellenverzeichnis .....	X
Formelverzeichnis .....	XI
Abkürzungsverzeichnis .....	XII
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage .....	1
1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen .....	2
1.3 Lösungsansatz .....	4
1.4 Einordnung und Abgrenzung der Arbeit .....	5
1.5 Struktur der Arbeit .....	6
<b>2 Hedonische Theorie und Stand der Forschung .....</b>	<b>7</b>
2.1 Immobilien und ihre Märkte .....	7
2.2 Methoden der Präferenzmessung .....	9
2.3 Die hedonische Preismethode .....	11
2.3.1 Theoretische Grundlage .....	11
2.3.2 Statistisch-mathematische Formalisierung .....	13
2.3.3 Multiple Regressionsanalyse .....	15
2.3.4 Kritik .....	17
2.4 Nutzenstiftende Wohnungsmerkmale .....	18
2.4.1 Struktur- und Lagemerkmale .....	18
2.4.2 Aussicht .....	19
2.5 Preiswirksamkeit der Wohnungsmerkmale .....	22
2.5.1 Preiswirksamkeit der Struktur- und Lagemerkmale .....	22
2.5.2 Preiswirksamkeit der Aussicht .....	23
2.6 Eingesetzte Daten und Methoden in bisherigen hedonischen Studien .....	29
2.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung aus Theorie und Forschungsstand .....	31

---

<b>3</b>	<b>3D-Stadtmodellierung</b> .....	<b>33</b>
3.1	3D-Stadtmodelle .....	33
3.2	Modellierung der Komponenten von 3D-Stadtmodellen.....	35
<b>4</b>	<b>Methoden der Sichtbarkeitsbestimmung</b> .....	<b>39</b>
4.1	Sichtlinienanalyse .....	39
4.2	Isovist-Analyse .....	40
4.3	Viewshed-Analyse.....	41
4.4	3D-Sichtraumanalyse.....	44
4.4.1	Methode.....	44
4.4.2	Masszahlen .....	48
4.5	Horizontlinienanalyse.....	51
4.5.1	Methode.....	51
4.5.2	Masszahlen .....	53
4.6	Zusammenfassung.....	55
<b>5</b>	<b>Empirische Untersuchung</b> .....	<b>57</b>
5.1	Vorgehen.....	57
5.2	Untersuchungsgebiet .....	58
5.2.1	Die Stadt Zürich .....	58
5.2.2	Der Mietwohnungsmarkt der Stadt Zürich .....	59
5.2.3	Eignung.....	60
5.3	Datengrundlage .....	61
5.3.1	Stichprobe.....	61
5.3.2	Daten zur Modellierung der Aussicht .....	65
5.3.3	Übrige Daten zur Wohnlage.....	71
5.4	Operationalisierung der Sichtbarkeitsanalysen .....	71
5.4.1	Lage des Beobachters .....	71
5.4.2	Parameter der 3D-Sichtraumanalyse .....	72
5.4.3	Erdkrümmung, Refraktion und atmosphärische Einschränkungen .....	73
5.5	Formulierung des hedonischen Mietpreismodells .....	74
5.5.1	Funktionale Form.....	74
5.5.2	Wahl der Variablen.....	75
5.6	Eingesetzte Soft- und Hardware .....	84

---

<b>6</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>86</b>
6.1	Die Aussicht in der Stadt Zürich.....	86
6.1.1	Deskriptive Analyse .....	86
6.1.2	Induktive Analyse.....	88
6.2	Hedonisches Mietpreismodell.....	89
6.2.1	Schätzung der Mietpreisfunktion .....	89
6.2.2	Überprüfung der Mietpreisfunktion und der Modellprämissen .....	91
6.2.3	Interpretation .....	94
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick.....</b>	<b>102</b>
7.1	Zusammenfassung.....	102
7.2	Beantwortung der Forschungsfragen und Diskussion.....	104
7.3	Ausblick.....	107
<b>A</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>108</b>
A.1	Zuordnung der thematischen Klassierung der Bodenbedeckung .....	109
A.2	Genauigkeit und Rechenzeit der 3D-Sichttraumanalyse in Abhängigkeit der Sehstrahlendichte .....	110
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>111</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1–1:	Aussicht von der Waidbadstrasse 45 auf das Stadtzentrum von Zürich, den Zürichsee und die Glarner Alpen (Bild: Stadtverwaltung Zürich).....	1
Abbildung 2–1:	Typologie der Immobilien nach Nutzung (verändert nach HAASE 2011:11) .....	7
Abbildung 2–2:	Der hedonische Preisansatz: Unterschiedliche Aussichtsqualitäten zweier ansonsten identischer Wohnungen äussern sich in einem Mietpreisunterschied.....	13
Abbildung 2–3:	Kategorisierung der nutzenstiftenden Merkmale einer Wohnung (verändert nach MÜRI et al. 2011:14) .....	19
Abbildung 2–4:	Die Aussicht und ihr Betrachter. Zürich, Flüelastrasse 31 (Bild: Stadtverwaltung Zürich).....	20
Abbildung 3–1:	Datenmodelle zur Abbildung des Geländes: a. Gittermodell, b. Rastermodell, c. Dreiecksmodell, d. Höhenlinienmodell (nach LENK 2001:32f.).....	36
Abbildung 3–2:	Datenmodelle zur Abbildung der Gebäude: a. Parameterdarstellung, b. Konstruktion mit Raumprimitiven, c. Zellenzerlegung, d. Enumerationsverfahren, e. Randbeschreibung (nach KADA 2007:13-15).....	37
Abbildung 4–1:	Sichtlinienanalyse .....	39
Abbildung 4–2:	Zweidimensionales Isovist-Sichtfeld (blau) eines Beobachterpunkts (rot), am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Grundlagendaten: Stadtverwaltung Zürich .....	41
Abbildung 4–3:	2.5D-Viewshed (blau) eines Beobachterpunkts (rot), am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Grundlage ist ein rasterbasiertes Oberflächenmodell mit einer Auflösung von 0.2 m, bestehend aus einem DGM und Gebäudedaten LoD 2, dargestellt als Schummerungsbild (Hillshade). Grundlagendaten: Stadtverwaltung Zürich .....	43
Abbildung 4–4:	3D-Sichtraumanalyse mithilfe von Sichtlinien am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Sichtraumparameter: $d_{max} = 100$ m, $\varphi_{min} = 0^\circ$ , $\varphi_{max} = 360^\circ$ , $\theta_{min} = 40^\circ$ , $\theta_{max} = 120^\circ$ , $a = 3^\circ$ . Der Übersichtlichkeit halber sind nur drei Sichtlinien dargestellt. Daten: Stadtverwaltung Zürich.....	46
Abbildung 4–5:	Schnitt durch die Umhüllende des Sichtraums am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Rot: Beobachterpunkt. Sichtraumparameter: $d_{max} = 100$ m, $\varphi_{min} = 0^\circ$ , $\varphi_{max} = 360^\circ$ , $\theta_{min} = 0^\circ$ , $\theta_{max} = 180^\circ$ , $a = 0.1^\circ$ . Daten: Stadtverwaltung Zürich....	47
Abbildung 4–6:	Parameter der 3D-Sichtraumanalyse. Schrägansicht (links), Seitenansicht (Mitte) und Draufsicht (rechts).....	48
Abbildung 4–7:	Volumen des Sichtraums im Querschnitt.....	49
Abbildung 4–8:	Unterteilung des Sichtraumvolumens in einzelne Teilvolumina.....	50

Abbildung 4–9:	Perspektivische Ansicht einer Horizontlinie am Beispiel eines Beobachterpunkts in der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/ Hardstrasse in Zürich. Als Sichthindernisse wurden das Gelände und Gebäude LoD 1 verwendet. Daten: Stadtverwaltung Zürich .....	52
Abbildung 4–10:	Beispiel eines Polardiagramms. Die graue Linie stellt die Horizontlinie dar. Hervorgehoben ist der Azimutwinkel $\varphi_i$ und der Zenitwinkel $\theta_i$ des $i$ -ten Stützpunktes der Horizontlinie .....	52
Abbildung 4–11:	Relative Lage eines Horizontlinienabschnitts in Bezug auf den Beobachterpunkt.....	53
Abbildung 4–12:	Projektion der Horizontlinie auf eine virtuelle Kugeloberfläche zur Bestimmung der Sky Visibility Ratio.....	54
Abbildung 5–1:	Vorgehen der empirischen Untersuchung.....	57
Abbildung 5–2:	Untersuchungsgebiet und Perimeter des Sichtraums .....	58
Abbildung 5–3:	Geografische Verteilung der Stichprobe .....	62
Abbildung 5–4:	Ausschnitt aus den 3D-Stadtmodellen: a. Modell LoD 0, b. Modell LoD 1, c. Modell LoD 2, d. Luftbild (Grundlagendaten und Luftbild: Stadt Zürich).....	69
Abbildung 5–5:	Operationalisierte 3D-Sichtraumanalyse für die Untersuchung; die relative Höhe des Beobachterpunkts bezieht sich beispielhaft auf eine Wohnung im ersten Stockwerk.....	73
Abbildung 5–6:	Hauptmodell der Aussichtsrechnung im ArcGIS ModelBuilder.....	85
Abbildung 6–1:	Histogramm der durchschnittlichen Sichtweite auf Basis der 3D-Stadtmodelle LoD 0, LoD 1 und LoD 2.....	88
Abbildung 6–2:	Diagramme zur Residuenanalyse. Links: Tukey-Anscombe-Diagramm. Rechts: QQ-Diagramm.....	92
Abbildung 6–3:	Preiseffekt der Aussicht .....	97
Abbildung 6–4:	Karte der Aussichtsqualität.....	99
Abbildung A2–1:	Auswirkung der Sehstrahlendichte $a$ auf die Genauigkeit und Rechenzeit der 3D-Sichtraumanalyse für ausgewählte Aussichtsvariablen. Verwendete Sichtraumparameter: $d_{max} = 80$ km, $\varphi_{min} = 0^\circ$ , $\varphi_{max} = 360^\circ$ , $\theta_{min} = 40^\circ$ , $\theta_{max} = 120^\circ$ , $a =$ variabel. Zugrunde gelegtes 3D-Stadtmodell: LoD 2. Am Beispiel der Klosbachstrasse 150, Zürich, 1. Stockwerk ...	110

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Literaturübersicht zur Wirkung von sichtbaren Landschaftselementen auf den Immobilienpreis .....	25
Tabelle 2-2:	Literaturübersicht zu eingesetzten Daten und Methoden zur Ermittlung der sichtbaren Landschaft.....	30
Tabelle 3-1:	Levels of Detail gemäss CityGML (verändert nach GRÖGER et al. 2008:9f.).....	35
Tabelle 5-1:	Stichprobenumfang und Mietpreisgefüge nach Stadtkreis. Grundlage: bereinigte Stichprobe.....	62
Tabelle 5-2:	Überblick der verwendeten Daten zur Modellierung der Aussicht.....	65
Tabelle 5-3:	Beschreibung und deskriptive Statistik der Modellvariablen.....	76
Tabelle 5-4:	Rechenzeiten für die Berechnung der Aussichtsvariablen.....	85
Tabelle 6-1:	Deskriptive und induktive Analyse der Aussichtsvariablen.....	86
Tabelle 6-2:	Ergebnis der OLS-Schätzung für die Modelle A (ohne Aussichtsvariablen), B (mit Aussicht LoD 0), C (mit Aussicht LoD 1) und D (mit Aussicht LoD 2).....	90
Tabelle A1-1:	Zuordnung der thematischen Klassierung der Bodenbedeckung.....	109

**Formelverzeichnis**

Formel 2-1	.....	13
Formel 2-2	.....	14
Formel 2-3	.....	14
Formel 4-1	.....	49
Formel 4-2	.....	49
Formel 4-3	.....	49
Formel 4-4	.....	50
Formel 4-5	.....	50
Formel 4-6	.....	50
Formel 4-7	.....	53
Formel 4-8	.....	54
Formel 4-9	.....	54
Formel 4-10	.....	55
Formel 4-11	.....	55
Formel 4-12	.....	55
Formel 5-1	.....	73
Formel 5-2	.....	75
Formel 5-3	.....	75
Formel 5-4	.....	75
Formel 5-5	.....	75
Formel 5-6	.....	83
Formel 6-1	.....	91
Formel 6-2	.....	98

---

**Abkürzungsverzeichnis**

---

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
CityGML	City Geography Markup Language
DGM	Digitales Geländemodell
EGID	Eidgenössischer Gebäudeidentifikator
GIS	Geographisches Informationssystem
GSM	Global System for Mobile Communications, Standard für digitale Mobilfunknetze der zweiten Generation
LoD	Level of Detail, Detaillierungsgrad von 3D-Stadtmodellen
LoS	Line of Sight, Sichtlinie
LOWESS	Locally-Weighted Scatterplot Smoother, lokal gewichteter Glätter des Streudiagramms
OLS	Ordinary Least Squares, Methode der kleinsten Quadrate
OR	Schweizerisches Obligationenrecht
öV	Öffentlicher Verkehr
Swisstopo	Bundesamt für Landestopographie der Schweiz
TIN	Triangulated Irregular Network, unregelmässiges Dreiecksnetz
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Standard für digitale Mobilfunknetze der dritten Generation
VIF	Variance Inflation Factor, Varianzinflationsfaktor

---

# 1 Einführung

## 1.1 Ausgangslage

„Fantastische Weitsicht“, „herrliche Seesicht“, „unverbaubare Sicht ins Grüne“ und „Top-Aussicht auf Altstadt und Berge“ – mit solchen Affichen wird in Immobilieninseraten in grossen Lettern um potenzielle Mieter oder Käufer geworben. Diese Tatsache lässt darauf schliessen, dass eine schöne Aussicht zu den begehrtesten Eigenschaften eines Hauses oder einer Wohnung gehört und vermutlich den Preis beeinflusst. Die Kenntnis darüber, welche Faktoren den Preis einer Immobilie bestimmen und wie gross deren Einflüsse sind, ist für das Verständnis des Immobilienmarktes und seiner Preisbildungsprozesse von grosser Bedeutung. Mit quantitativen Methoden der Ökonometrie lassen sich die Kausalzusammenhänge zwischen den Immobilieneigenschaften und dem Preis aufschlüsseln und Aussagen über den „Preis der Aussicht“ machen.



**Abbildung 1–1: Aussicht von der Waidbadstrasse 45 auf das Stadtzentrum von Zürich, den Zürichsee und die Glarner Alpen (Bild: Stadtverwaltung Zürich)**

Es ist allgemein bekannt und empirisch nachgewiesen, dass ein Hotelzimmer mit Sicht auf das Meer oder einen See mehr kostet (LANGE & SCHAEFFER 2001, FLEISCHER 2012). Doch welche sonstigen Merkmale einer Aussicht bestimmen die Höhe des Preises einer Wohnung und wie gross ist ihr Einfluss? Diese Frage ist Gegenstand neuerer Studien im Bereich der Immobilienmarktforschung. Wenngleich für die Preiswirkung vieler Aussichtsmerkmale eine allgemeine Anerkennung besteht, ist der komplexe Vorgang von der visuel-

len Wahrnehmung einer Aussicht über die subjektive Bewertung bis zur resultierenden Handlung des Individuums noch weitgehend unerforscht.

Für eine ökonomische Betrachtung preiswirksamer Immobilieneigenschaften hat sich in der Forschung und Praxis die hedonische Preismethode durchgesetzt. Sie ist ein statistisches Verfahren, das auf Basis von Marktdaten den Gesamtpreis eines Gutes in einzelne Preiskomponenten für die einzelnen Eigenschaften des Gutes zerlegt. Ihr Einsatz auf dem Immobilienmarkt erfordert neben den Marktdaten ein Set räumlicher Daten, welches die standortbezogenen Eigenschaften der gehandelten Immobilien beschreibt (z.B. Entfernung zum Bahnhof, Lärmbelastung oder die Aussicht). Zur effizienten Erhebung dieser Daten gehören Geografische Informationssysteme (GIS) mittlerweile zum unverzichtbaren Instrument. Im Kontext präziser modellhafter Aussichtsrechnungen im GIS akzentuieren sich zwei Problemfelder: die Frage nach zweckmässigen Grundlagendaten und die Frage nach geeigneten Methoden der Sichtbarkeitsbestimmung.

Eine Betrachtung hedonischer Studien offenbart, dass die Aussicht mehrheitlich allein auf Basis topographischer Daten ohne Berücksichtigung von Sichthindernissen mit dreidimensionalen Strukturen wie Gebäude oder Bäume berechnet werden. Die Vermutung, dass solche Berechnungen insbesondere im Siedlungsgebiet zu bedeutenden Fehleinschätzungen führen, wurde vereinzelt untersucht und bestätigt (LAKE et al. 2000a, SANDER & MANSON 2007). Mit der zunehmenden Verfügbarkeit digitaler 3D-Stadtmodelle unterschiedlicher Detaillierung und Genauigkeit ist ein Forschungsbedarf betreffend der Zweckmässigkeit solcher Daten für Sichtbarkeitsberechnungen auszumachen. Dies trifft gleichermassen für die Methoden der Sichtbarkeitsbestimmung zu. Denn die weit verbreitete Viewshed-Analyse lässt mit ihrem 2.5D-Ansatz die Verwendung von natürlichen und künstlichen Landschaftselementen mit dreidimensionalen Strukturen nur unzureichend zu (BISHOP et al. 2000, YANG et al. 2007). Für eine Verwendung von 3D-Stadtmodellen zur Aussichtsbestimmung besteht ein Bedarf an 3D-fähigen Sichtbarkeitsanalysen, die in dieser Arbeit schwerpunktmässig betrachtet und empirisch eingesetzt werden.

## **1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen**

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, mit einem hedonischen Mietpreismodell die Wirkungszusammenhänge zwischen den Mietpreisen und den Wohnungsmerkmalen ökonometrisch zu untersuchen. Der Fokus der Untersuchung liegt auf dem Wohnungsmerkmal Aussicht. Es gilt den Wert, den die Mieter bestimmten Aussichtsqualitäten beimessen, empirisch zu schätzen. Für die dafür erforderliche Berechnung der Aussicht sollen unterschiedliche 3D-

Daten und 3D-Sichtbarkeitsanalysen zum Einsatz kommen und auf ihre Eignung hin untersucht werden. Da die Arbeit im Rahmen einer praktischen Anwendung auf dem Gebiet der Immobilienbewertung erfolgt, hat der zu wählende Lösungsansatz dem Anspruch nach Praktikabilität, Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit zu genügen.

Im Zusammenhang mit diesen Zielen stellen sich folgende Forschungsfragen:

- 1. Frage nach dem Zusammenhang zwischen der Aussicht und dem Preis einer Wohnung:** Welches sind die mietpreisbestimmenden Wohnungsmerkmale im gewählten Untersuchungsgebiet? Hat die Aussicht einen Einfluss auf die Mietpreise? Wenn ja, für welche Aussichtsmerkmale bestehen Zahlungsbereitschaften und wie gross sind sie?
- 2. Frage nach geeigneten Daten und Methoden zur Ermittlung der Aussicht:** Wie gross sind die Unterschiede zwischen Aussichten, die auf Basis unterschiedlich detaillierter 3D-Stadtmodelldaten berechnet werden und wie sind diese Unterschiede im Hinblick auf eine Anwendung in hedonischen Preismodellen einzustufen? Wie sehen GIS-Methoden zur Bestimmung der Sichtbarkeit aus, die fähig sind, räumliche Daten mit dreidimensionalen Strukturen einzubeziehen?
- 3. Frage nach der Praxistauglichkeit des Lösungsansatzes:** Lassen sich die Berechnung und die Auswertung der Aussicht vollständig in einem GIS abbilden? Wenn ja, können diese Prozesse nachvollziehbar gestaltet und rationell angewendet werden? Wie ist angesichts des grossen Stichprobenumfangs und der umfangreichen und hochaufgelösten Grundlagendaten die Performanz des implementierten Lösungsansatzes zu beurteilen?

Mit der Beantwortung der Forschungsfragen soll ein Beitrag zum Erkenntniszuwachs im Themengebiet der Immobilienökonomie geleistet werden. Die Erkenntnisse sollen die Mechanismen des Immobilienmarktes transparenter machen und für ein besseres Verständnis sorgen. Für den Bereich der Geoinformatik sind praxisnahe Erkenntnisse zum Einsatz von hochauflösenden dreidimensionalen Daten und von Sichtbarkeitsanalysen zu erwarten. Die Untersuchung soll zudem dazu beitragen, ein neues Einsatzgebiet von 3D-Stadtmodellen zu erschliessen. Zielpublikum dieser Arbeit sind demnach gleichermassen Fachleute aus den Bereichen Immobilienökonomie und Geoinformatik.

### 1.3 Lösungsansatz

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Frage nach dem ökonomischen Wirkungszusammenhang zwischen dem Mietpreis einer Wohnung und ihrer Aussicht. Um diesen Zusammenhang zu untersuchen, wurde die hedonische Preismethode eingesetzt. Sie basiert auf der Theorie, dass sich ein heterogenes Gut (Wohnung) aus einem Bündel homogener nutzenstiftender Eigenschaften (Anzahl Zimmer, Nähe zum Bahnhof, Aussicht, etc.) zusammensetzt, für die nicht direkt beobachtbare Preise bestehen. Zur Ermittlung dieser Preise wurde ein hedonisches Preismodell formuliert, das den Mietpreis mit den nutzenstiftenden Eigenschaften mathematisch in Beziehung setzt. Mit der multiplen Regressionsanalyse, einer Methode der mathematischen Statistik, wurde das Modell geschätzt. Es resultierten die impliziten Preise der mietetragsbestimmenden Eigenschaften einer Wohnung. Sie geben Rückschlüsse auf die Präferenzen der Wohnungssuchenden und das daraus resultierende Entscheidungsverhalten.

Die Anwendung der hedonischen Preismethode erfordert quantitative Angaben zu den einzelnen Wohnungseigenschaften. Es wurden anhand bisheriger Forschungsergebnisse und eigener Überlegungen messbare Aussichtsmerkmale identifiziert, für die eine Preiswirkung vermutet wurde. Die Berechnung dieser Aussichtsmerkmale erfolgte in einem GIS mit verschiedenen 3D-fähigen Methoden der Sichtbarkeitsanalyse. Dazu zählen die Sichtlinienanalyse, die Horizontlinienanalyse und eine in dieser Arbeit konzipierte 3D-Sichtraumanalyse, welche den von einem Standort aus sichtbaren dreidimensionalen Raum ermittelt. Um die Frage nach geeigneten Daten zu beantworten, wurden die Aussichtsmerkmale auf Basis von 3D-Stadtmodellen mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden dreimal berechnet. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit deskriptiven und induktiven Methoden der Datenanalyse.

Die eingesetzten Daten umfassen eine Stichprobe des Mietwohnungsmarktes, drei unterschiedlich detaillierte 3D-Stadtmodelle sowie weitere, die Wohnlage beschreibende geografische Daten. Die empirische Untersuchung erfolgte für die Stadt Zürich, die sich durch einen grossen Mietwohnungsmarkt und eine Bebauung mit vielfältigen Aussichtslagen auszeichnet.

Die detaillierte Vorgehensweise der empirischen Untersuchung ist in Kapitel 5.1 skizziert.

## 1.4 Einordnung und Abgrenzung der Arbeit

Das Thema dieser Arbeit ist den Bereichen der Immobilienökonomie und der Geoinformationswissenschaften zuzuordnen. Bei der Immobilienökonomie handelt es sich um eine interdisziplinäre Wissenschaft, in deren Mittelpunkt die «Erklärung und Gestaltung von realen Entscheidungen von mit Immobilien befassten Wirtschaftssubjekten» steht (SCHULTE & SCHÄFERS 2005:57). Im vorliegenden Fall wird versucht, mit der hedonischen Preismethode die Preisbildung und -zusammensetzung auf einem Mietwohnungsmarkt zu erklären und das Verhalten der Marktteilnehmer zu ergründen. Wegen der Standortgebundenheit von Immobilien nehmen ihre raumbezogenen Eigenschaften bei der Erklärung der Immobilienpreise eine Schlüsselstellung ein. Die Erfassung und Verdichtung räumlicher Daten zur Beschreibung des Immobilienstandortes spielen daher für die Entwicklung hedonischer Modelle eine zentrale Rolle. Hier erfolgt der Berührungspunkt mit den Geoinformationswissenschaften, die sich mit der Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung räumlicher Daten beschäftigen. In dieser Arbeit werden schwerpunktmässig räumliche Methoden der Sichtbarkeitsanalyse und die 3D-Stadtmodellierung beleuchtet.

Das vielschichtige Themengebiet der hedonischen Immobilienpreismodellierung erfordert eine Fokussierung der Arbeit auf einzelne Aspekte. Die Arbeit wird wie folgt abgegrenzt:

- Gegenstand der Untersuchung ist der Mietwohnungsmarkt. Inwiefern die Resultate auf den Wohneigentumsmarkt übertragen werden können, wird nicht untersucht.
- Der hedonische Preisansatz gehört zu den Methoden der offenbarten Präferenzen und stützt sich auf Marktdaten ab. Um die Ergebnisse der Untersuchung zu plausibilisieren, werden bisherige Erkenntnisse aus der Forschung herangezogen, nicht aber Methoden der geäusserten Präferenzen eingesetzt (z.B. Befragung von Mietern). Ebenso erfolgt keine zusätzliche vergleichende Untersuchung für ein anderes Gebiet oder für einen anderen Zeitraum.
- Die Arbeit untersucht schwerpunktmässig das Wohnungsmerkmal Aussicht. Wenngleich andere Wohnungsmerkmale erfahrungsgemäss einen grösseren Einfluss auf die Mietpreise haben, werden diese weniger ausführlich behandelt.
- Hedonische Preismodelle werden in der Praxis häufig als Prognoseinstrument für die Bewertung von Immobilien eingesetzt. Die Prognosefähigkeit des in dieser Untersuchung zu erarbeitenden Modells ist von untergeordneter Bedeutung. Vielmehr soll ein empirischer Nachweis der Preisrelevanz einzelner Aussichtsmerkmale erbracht und die Wirkungsrichtung und -stärke abgeschätzt werden.

## 1.5 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist neben dem ersten und einleitenden Kapitel in sechs weitere Kapitel gegliedert.

Das Kapitel 2 widmet sich der theoretischen Grundlage zu hedonischen Modellen und dem Forschungsstand. Nach einer Einführung in den Immobilienmarkt und in die Methoden der Präferenzmessung wird die hedonische Preismethode erläutert. Die anschließende Auseinandersetzung mit den Wohnungsmerkmalen führt zum Kernthema der Aussicht, das im Kontext aktueller Erkenntnisse aus der hedonischen Forschung eingehend beleuchtet wird. Schlussendlich werden die in der Literatur eingesetzten räumlichen Daten und Methoden zur Ermittlung der Aussicht kritisch betrachtet.

Im Kapitel 3 werden die Grundlagen zu 3D-Stadtmodellen und ihrer Modellierung übersichtsmässig zusammengefasst. Zudem werden Begriffe erklärt, die bei der Beschreibung der Sichtbarkeitsanalysen und in der empirischen Untersuchung verwendet werden.

Das Kapitel 4 befasst sich mit räumlichen Methoden zur Ermittlung der Sichtbarkeit. Es werden klassische und neuere Analyseverfahren betrachtet und bezüglich der Eignung für Siedlungsgebiete und für dreidimensionale räumliche Daten diskutiert. Zudem wird ein neuer Ansatz der 3D-Sichtraumanalyse eingeführt. Zu den eingesetzten Methoden werden Masszahlen beschrieben, welche den Sichtraum quantitativ beschreiben und als mutmassliche Indikatoren für die Aussichtsqualität dienen.

Nach einer ausführlichen Beschreibung des Untersuchungsgebietes und der Datengrundlage wird im Kapitel 5 die 3D-Sichtraumanalyse operationalisiert und der erste Schritt der Regressionsanalyse, die Formulierung des hedonischen Modells, vorgenommen.

Das Kapitel 6 dokumentiert und analysiert die Resultate der empirischen Untersuchung. Nach einer statistischen Prüfung der Aussichtsmerkmale für drei unterschiedlich detaillierte Datenbasen wird das hedonische Preismodell regressionsanalytisch geschätzt. Es resultiert eine quantitative Aussage darüber, welche Wohnungsmerkmale im Allgemeinen und welche Aussichtsmerkmale im Speziellen die Mietpreise im Untersuchungsgebiet erklären.

Die Arbeit endet mit Kapitel 7 mit einer Zusammenfassung, einer Diskussion der Ergebnisse mit abschliessender Beantwortung der Forschungsfragen sowie einem Ausblick.

## 2 Hedonische Theorie und Stand der Forschung

### 2.1 Immobilien und ihre Märkte

Immobilien bilden einen zentralen Bestandteil des gesellschaftlichen und kulturellen Lebens und des wirtschaftlichen Handelns. Sie erfüllen Grundbedürfnisse wie das Wohnen und dienen als Kapitalanlage oder Produktionsfaktor (HAASE 2011:1). Der Begriff Immobilie ist nicht einheitlich definiert, und es bestehen im allgemeinen Sprachgebrauch eine Vielzahl teils synonym verwendeter Wörter wie beispielsweise „Gebäude“, „Liegenschaft“ oder „Realvermögen“. BONE-WINKEL et al. (2005:15f.) definieren den Immobilienbegriff aus einer wirtschaftswissenschaftlichen Sicht wie folgt:

«Immobilien sind Wirtschaftsgüter, die aus unbebauten Grundstücken oder bebauten Grundstücken mit dazugehörigen Gebäuden und Aussenanlagen bestehen. Sie werden von Menschen im Rahmen physisch-technischer, rechtlicher, wirtschaftlicher und zeitlicher Grenzen für Produktions-, Handels-, Dienstleistungs- und Konsumzwecke genutzt.»

Die grosse Vielfalt an Immobilien erfordert eine systematische Klassierung nach Immobilienarten. In Abbildung 2–1 ist eine nutzerspezifische Einteilung der Immobilien abgebildet. Immobilien können grob in Wohnimmobilien und Nicht-Wohnimmobilien unterteilt werden. Von einer Wohnimmobilie spricht man dann, wenn die eigengenutzte oder vermietete Immobilie hauptsächlich zum Wohnen verwendet wird. Diese Arbeit beschränkt sich auf die Betrachtung der Wohnimmobilien und der Wohnungen als Bestandteil der Wohnimmobilien.

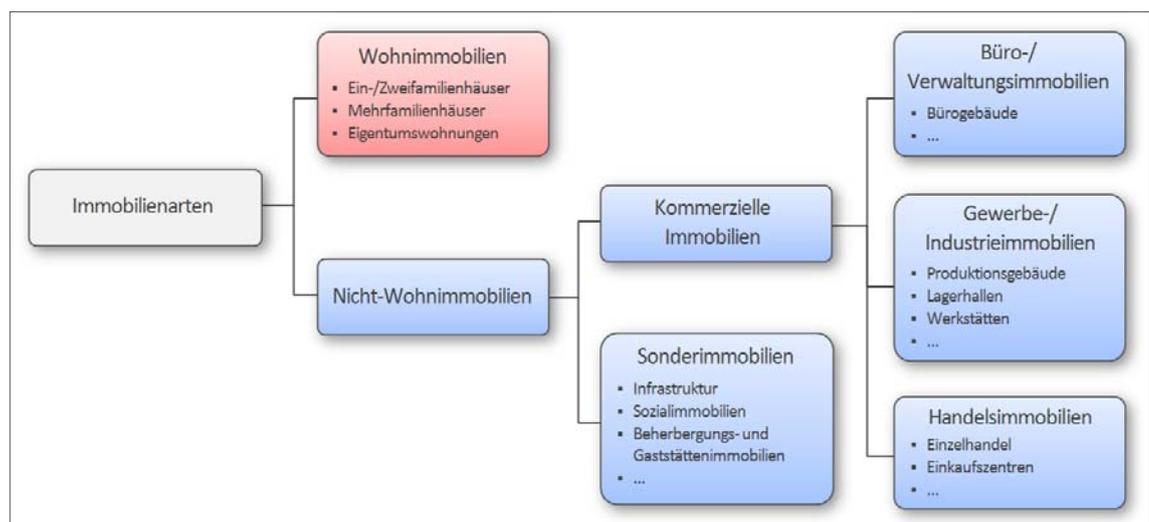


Abbildung 2–1: Typologie der Immobilien nach Nutzung (verändert nach HAASE 2011:11)

Eine Immobilie unterscheidet sich durch eine Reihe von konstitutiven Besonderheiten grundlegend von anderen Konsumgütern. Zu den wesentlichen Besonderheiten, die gleichermaßen für Wohnungen zutreffen, gehören folgende (BONE-WINKEL et al. 2005:16-21):

- **Standortgebundenheit.** Eine Immobilie ist definitionsgemäss an ihren Standort gebunden. Die Lage bestimmt die rechtlich vorgegebenen Nutzungsmöglichkeiten und ist eine wichtige Determinante des Immobilienwertes.
- **Heterogenität.** Wegen ihrer Standortgebundenheit kann es keine zwei identischen Immobilien geben. Die lagebedingte Heterogenität wird verstärkt durch differente Baustrukturmerkmale und durch unterschiedliche Rechtsformen.
- **Langer Entwicklungsprozess und Langlebigkeit.** Die Entwicklung einer Immobilie von der Idee bis zur Übergabe an den Nutzer dauert mehrere Jahre. Einmal erstellt, ist sie über eine lange Lebenszeit funktionstüchtig und gebrauchsfähig.
- **Hohe Investitions- und Transaktionskosten.** Der Erwerb einer Immobilie ist mit einem hohen Kapitaleinsatz verbunden. Ferner verursacht die Eigentumsübertragung hohe Transaktionskosten. Analog dazu stellt die regelmässige Erbringung des Mietzinses durch die Mieter einen wesentlichen Anteil der Lebenshaltungskosten dar.
- **Begrenzte Substituierbarkeit.** Das Konsumgut Wohnraum lässt sich nur sehr begrenzt durch andere Güter ersetzen, die ebenfalls in der Lage sind, das Grundbedürfnis des Wohnens zu erfüllen.

Die Wohnimmobilien werden auf dem Immobilienmarkt gehandelt, der ein bedeutender Teil der Volkswirtschaft eines Landes ist. Die Besonderheiten der Immobilie führen zu einigen spezifischen Charakteristika der Immobilienmärkte (BONE-WINKEL et al. 2005:21-23). Die Standortgebundenheit der Immobilien verursacht Unterschiede in Angebot und Nachfrage in verschiedenen Regionen. Es entstehen regionale Teilmärkte, die sich unterschiedlich entwickeln können. Ein weiteres Merkmal der Immobilienmärkte ist ihre geringe Transparenz. Daten über Immobilien sind normalerweise private Daten, die für die Öffentlichkeit nicht oder nur unvollständig zur Verfügung stehen. Zudem kann die Preisfestsetzung nicht direkt beobachtet werden und eine Vergleichbarkeit der Immobilienpreise ist nur erschwert möglich. Mietpreise, Nachfrage und der Wohnungsleerstand sind zyklischen Schwankungen unterworfen, die durch exogene Faktoren ausgelöst werden (z.B. Konjunktur der Gesamtwirtschaft). Die einzelnen Zyklen variieren in Frequenz und Amplitude so

stark, dass nicht von gesetzmässig wiederkehrenden, typischen Zyklen gesprochen werden kann (CEZANNE 1999:465). Eine weitere für diese Arbeit relevante Besonderheit ist die Regulierung des Marktes durch staatliche Interventionen. So schreibt das Schweizer Mietrecht beispielsweise vor, dass ein Vermieter mit der Vermietung von Wohnraum keinen übersetzten Ertrag erzielen darf (Art. 269 OR). Weitere regulatorische Eingriffe in der Schweiz sind die Festlegung des hypothekarischen Referenzzinssatzes und die Förderung des gemeinnützigen Wohnungsbaus zu Gunsten wirtschaftlich schwächerer Haushalte.

Der Immobilienmarkt kann in drei interdependente Marktsegmente unterteilt werden (GANTENBEIN 1999:35f.): Bauleistungsmarkt, Eigentumsmarkt und Mietmarkt. Diese Arbeit stellt den Mietmarkt ins Zentrum. Auf dem Mietmarkt werden befristete und unbefristete Rechte zur Nutzung von Wohnraum gehandelt. Vermieter überlassen den Mietern für die Zahlung eines Mietpreises den Wohnraum zum vertragsgemässen Gebrauch (HAASE 2011:26). Im Normalfall entsteht der Mietpreis unter Konkurrenz der Anbieter und reguliert sich durch fortwährende Anpassungsmechanismen infolge der Schwankungen von Angebot und Nachfrage. Die erwähnten Charakteristiken der Immobilienmärkte können aber dazu führen, dass sich Mietpreisdifferenzen bei Wohnungen ergeben, welche grösser sind als deren Qualitätsunterschiede (MÄNDLE & GALONSKA 1997:655). Nachfrageseitig wirken die Budgetrestriktionen und die Präferenzen der Mieter auf die Preisbildung ein. Die Präferenzen der Mieter ergeben sich durch individuelle Vorlieben z.B. für eine bestimmte Wohnlage und spielen eine zentrale Rolle im hedonischen Preisansatz. Im nächsten Kapitel wird auf die Verfahren zur Messung der Präferenzen eingegangen.

## **2.2 Methoden der Präferenzmessung**

Ausgangspunkt für eine nachfrageseitige Betrachtung des Mietwohnungsmarktes ist der Umzug eines Mieters und die damit verbundene Wohnstandortentscheidung. Die Wohnstandortentscheidung ist ein Bewertungsprozess, bei dem der Mieter die Eigenschaften der Wohnung und der Wohnumwelt seinen individuellen Präferenzen gegenüberstellt (THOMÄ 2009:5). Zu den Eigenschaften der Wohnung und seiner Umwelt zählen beispielsweise die Wohnungsgrösse, die Erreichbarkeit und die Aussicht. Der Mieter entscheidet sich für jene Wohnung, deren Eigenschaften seine Präferenzen so umfassend wie möglich abdecken. Damit versucht er, seine Wohnzufriedenheit zu maximieren. Dieser Vorgang folgt der Grundannahme der Wirtschaftswissenschaften, dass Individuen stets versuchen, ihren Nutzen zu maximieren (CEZANNE 1999:82). Während der Vermieter einer Immobilie eine maximale Rendite anstrebt, sieht der wohnungssuchende Mieter auf einen maximalen Gesamtnutzen aus dem Gut Wohnung und seiner Umgebung ab.

Mit dem Mietpreis offenbart der Mieter den monetären Wert, den er dem Gesamtnutzen beimisst. Der Mietpreis widerspiegelt die so genannte Zahlungsbereitschaft des Mieters. Unter Zahlungsbereitschaft ist der Preis zu verstehen, der ein Individuum für ein bestimmtes Gut zu zahlen bereit ist (BANFI et al. 2007:19). Die Geldeinheit nimmt dabei die Funktion eines Wertmessers ein, um nicht marktfähige Güter wie beispielsweise die Aussicht messbar und vergleichbar zu machen (HAASE 2011:47).

Ökonomische Methoden der Präferenzmessung haben das Ziel, den Wert eines Gutes über die Zahlungsbereitschaften von Individuen monetär zu bewerten. Diese finden Anwendung in der ökonomischen Messung nicht marktfähiger, öffentlicher Güter. Das Bundesamt für Umwelt der Schweiz beispielsweise hat mit einer Präferenzmessmethode den Wert des Schweizer Waldes für Erholungszwecke monetarisiert (OTT & BAUR 2005). Es können generell zwei verschiedene Ansätze zur Messung der Präferenzen unterschieden werden: Die Methoden der geäußerten Präferenzen und die Methoden der offenbarten Präferenzen (für eine eingehende Übersicht vgl. MATHIS et al. 2003, MÄLER & VINCENT 2006).

Bei den **Methoden der geäußerten Präferenzen** (stated preference methods) werden anhand von Äusserungen von Individuen, die mit einer hypothetischen Entscheidungssituation konfrontiert werden, auf den monetären Wert ihrer Präferenzen geschlossen. Das bekannteste geäußerte Präferenzmessverfahren ist die Contingent Valuation Methode, bei der die Individuen direkt zu ihrer Zahlungsbereitschaft für ein Gut befragt werden. Eine Frage könnte beispielsweise lauten: „Wie viel wären sie bereit zusätzlich an Miete zu bezahlen, wenn sie von ihrer Wohnung 1 km<sup>2</sup> des Zürichsees sehen könnten?“. Der Befragte legt so die Höhe des Betrages offen, den er – unter Berücksichtigung seiner Budgetrestriktion gemäss Einkommen – für den höheren Nutzen auszugeben bereit ist. Anhand der Äusserungen wird ein hypothetischer Markt geschaffen, auf dem das Gut direkt gehandelt wird (PRUCKNER 1995:509). Breite Anwendung findet auch die Conjoint Methode, bei der das befragte Individuum entweder aus einer konkreten Auswahl an Alternativen jene auswählen muss, die ihren individuellen Präferenzen entspricht, oder die Alternativen in eine Rangordnung gemäss ihrer Nutzenstiftung zu bringen hat (BACKHAUS et al. 2008:452). Mit statistischen Methoden zerlegt die Conjoint Analyse den geäußerten Gesamtnutzen in Teilnutzenwerte pro Eigenschaft des Gutes. Für die Bewertung der Aussicht aus einer Wohnung sind die Methoden der geäußerten Präferenzen grundsätzlich gut geeignet. Trotz grossen Fortschritten in den letzten Jahren werden aber bedeutende Kritikpunkte vorgebracht. Es wird argumentiert, dass der hypothetische Charakter zu verzerrten Antworten führt, da die Teilnehmenden nur über unvollständige Informationen zum Gut verfügen

und ihre tatsächliche Einkommenssituation missachten. Ein weiterer Problempunkt ist, dass wegen strategischen Verhaltens der Befragten die geäußerten nicht mehr mit den tatsächlichen Zahlungsbereitschaften übereinstimmen (PRUCKNER 1995:518-523). In dieser Arbeit werden keine Methoden der geäußerten Präferenzen eingesetzt.

Die **Methoden der offenbarten Präferenzen** (revealed preference methods) stützen sich auf das tatsächliche Verhalten der Nachfrager auf dem Markt ab und leiten die Zahlungsbereitschaften aus den beobachtbaren Marktpreisen ab. Aus dem Marktverhalten wird auf die zugrunde liegenden Präferenzen geschlossen. Zu den am meisten verbreiteten Methoden der offenbarten Präferenzen gehören der Reisekostenansatz und die hedonische Preismethode. Der Reisekostenansatz geht von der Grundannahme aus, dass die von einem Individuum aufgewendeten Reisekosten zu einem öffentlichen Umweltgut die untere Grenze der Zahlungsbereitschaft widerspiegeln (MATHIS et al. 2003:74). Zu den Reisekosten zählen die Fahrtkosten, Eintrittspreise, Kosten für Unterkunft und die Opportunitätskosten der Zeit. Dieses Verfahren dient in erster Linie der Bewertung von Erholungslandschaften. Für die Ermittlung der Zahlungsbereitschaft für eine schöne Aussicht aus einer Immobilie ist die Reisekostenmethode wegen der Absenz von Reisekosten nicht geeignet. In der Forschung und Praxis breit eingesetzt wird die hedonische Preismethode. Sie findet insbesondere bei Märkten Anwendung, deren Güter ausgesprochen heterogen sind. Dazu gehört auch der Immobilienmarkt. Ihrem Ansatz liegt die Erwartung zu Grunde, dass sich der Nutzen, der ein Mieter bzw. Käufer den einzelnen Eigenschaften einer Wohnung und seiner Umwelteinflüsse beimisst, im Miet- bzw. Kaufpreis ausdrückt. Die Marktdaten lassen Rückschlüsse auf die Wertschätzung der einzelnen nutzenstiftenden Eigenschaften zu. Der wesentliche Vorteil der offenbarten im Vergleich zu den geäußerten Methoden liegt darin, dass sich die ermittelten Zahlungsbereitschaften auf tatsächliche Marktdaten abstützen. Zudem ist der Aufwand im Vergleich zu Befragungen in der Regel kleiner, da Marktdaten oft bereits verfügbar sind und nicht erst erhoben werden müssen. Die hedonische Preismethode findet in dieser Arbeit Anwendung und wird in den folgenden Abschnitten ausführlich behandelt.

## **2.3 Die hedonische Preismethode**

### **2.3.1 Theoretische Grundlage**

Klassische ökonomische Analysen zur Wertbestimmung basieren auf der Theorie, dass sich ein Gut durch einen Preis beschreiben lässt (CEZANNE 1999:151-183). Bei heterogenen Gütern, die sich in der Ausprägung ihrer Merkmale unterscheiden, versagt dieser Ansatz. Die Wertbestimmung heterogener Güter verlangt nach einer Methode, dessen theoreti-

ches Konzept die Unterschiede der Gütermerkmale berücksichtigen (FAHRLÄNDER 2007:16). Erste Ansätze solcher Methoden sind in Studien der 1920er und 1930er Jahren zu erkennen, welche mit Regressionsanalysen die qualitätsbedingten Preisunterschiede von Gütern erklärten. WALLACE (1926) bzw. WAUGH (1928) ermittelten den Wert von Farmland bzw. Gemüse mit unterschiedlichen Qualitätseigenschaften. Der US-Ökonom COURT (1939) untersuchte die Preisentwicklung verschiedener Autos und erstellte einen qualitätsbereinigten Preisindex. Er berücksichtigte die qualitativen Unterschiede der einzelnen Autoteile und ging von der nutzentheoretischen Annahme aus, dass Autos mit einem stärkeren Motor oder einer luxuriöseren Ausstattung zu mehr Fahrspass und Freude führen und deshalb einen höheren Preis erzielen. Court gab dem eingesetzten Ansatz den Namen „Hedonic Price Method“<sup>1</sup>.

ROSEN (1974) beschrieb erstmals eingehend die ökonomisch-theoretische Fundierung der hedonischen Theorie und wird in der Literatur als eigentlicher Pionier genannt. Seine Theorie baut auf der Konsumtheorie von LANCASTER (1966) auf, die besagt, dass sich der Gesamtnutzen eines Gutes nicht aus dem Gut per se, sondern aus einem Bündel einzelner nutzenstiftender Eigenschaften zusammensetzt. Nach ROSEN weist jede dieser Eigenschaften einen impliziten Preis auf, der auf einem impliziten Markt aus Angebot und Nachfrage zustande kommt. Der Preis wird als implizit bezeichnet, weil er im Gegensatz zum Gesamtpreis nicht direkt auf dem Markt beobachtbar ist<sup>2</sup>. Die impliziten Preise lassen sich aus tatsächlichen Marktdaten und Kenntnissen über die Qualitäten der einzelnen Eigenschaften ökonometrisch ableiten. Der Gesamtpreis des Gutes entspricht der Summe der einzelnen impliziten Preisen seiner Eigenschaften. Mit dieser preislichen Zerlegung werden die Einflüsse der Eigenschaften auf den Gesamtpreis und damit die Präferenzen der Marktteilnehmer für die einzelnen Eigenschaften offenbart.

Da Immobilien ausgesprochen heterogene Güter darstellen, findet der hedonische Preisansatz im Immobilienmarkt breite Anwendung. Übertragen auf den Mietwohnungsmarkt besagt die hedonische Theorie, dass ein Mieter nicht die Wohnung als Kombination von Grundstück, Zement, Glas, Ziegeln, etc. mietet, sondern den damit verbundenen Nutzen wie beispielsweise die Anzahl Zimmer, die Nähe zum nächsten Bahnhof, die ruhige Lage und die Aussicht auf einen See. Der Mieter ist bereit, für die Wohnung so viel zu bezahlen,

---

<sup>1</sup> Der Begriff „hedonic“ bzw. „hedonisch“ stammt vom griechischen Wort „hedone“ ab, das Freude, Vergnügen und Lust bedeutet. Auch wenn COURT (1939) damit eine begriffliche Verknüpfung der wirtschaftswissenschaftlichen Nutzentheorie mit dem Hedonismus erstellte, hat der hedonische Preisansatz inhaltlich nichts mit der philosophischen Hedonismustheorie zu tun.

<sup>2</sup> Beispielsweise ist der Preiszuschlag für die Sicht auf einen zusätzlichen Berggipfel nirgends explizit deklariert.

wie ihm der Nutzen all ihrer Eigenschaften summiert wert ist (GEIGER 2006:11). Mit dem hedonische Preisansatz werden diese nutzenstiftenden Eigenschaften mit impliziten Preisen versehen, die ihrerseits die Zahlungsbereitschaft der Mieter ausdrücken. Unterscheiden sich zwei Wohnungen beispielsweise nur durch ihre Aussicht, so ist ihr Mietpreisunterschied auf die unterschiedliche Aussichtsqualität zurückzuführen (Abbildung 2–2).



**Abbildung 2–2: Der hedonische Preisansatz: Unterschiedliche Aussichtsqualitäten zweier ansonsten identischer Wohnungen äussern sich in einem Mietpreisunterschied.**

Der hedonische Preisansatz geht von einigen idealisierenden Grundannahmen aus (FREEMAN 2003:366f.). Der Markt, auf dem die Güter gehandelt werden, ist nahezu vollkommen. Er befindet sich im Gleichgewicht, d.h. der Marktpreis hält Angebot und Nachfrage nach dem Gut in einer Waage. Die Akteure, die sich auf dem Markt bewegen, sind vollständig über die Preise, Qualitäten und Alternativen informiert. Die Käufer können frei wählen und agieren nutzenmaximierend.

### 2.3.2 Statistisch-mathematische Formalisierung

Das Ziel ökonometrischer Modelle, wie es beispielsweise die hedonischen Preismodelle darstellen, ist es, die ökonomischen Theorien anhand beobachtbaren Daten zu überprüfen (VON AUER 2011:3). Dabei greifen sie auf Methoden der mathematischen Statistik zurück. Die sachlogische Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Mietpreis und den nutzenstiftenden Eigenschaften der Wohnung kann mathematisch formalisiert und mit der Regressionsanalyse statistisch quantifiziert werden. Das hedonische Preismodell kann formell mit folgender allgemeinen Funktion ausgedrückt werden:

$$P_i = f(X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,K})$$

**Formel 2-1**

Die Funktion beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Mietpreis  $P$  (Zielvariable) und den  $K$  mietpreisbestimmenden Eigenschaften  $X$  (erklärende Variablen). Der Parameter  $i$  entspricht der Indexmenge der Beobachtungen.

Der hedonische Ansatz gibt *a priori* nicht vor, wie die funktionale Form des Modells abzubilden ist und welche erklärenden Variablen sie enthalten soll (HALVORSEN & POLLAKOWSKI 1981:37). Dies muss vor der eigentlichen Regressionsschätzung festgelegt bzw. empirisch bestimmt werden. Die einfachste funktionale Form ist die lineare Beziehung zwischen dem Mietpreis und den Wohnungseigenschaften (Formel 2-2). Sie stellt eine multiple lineare Regressionsgleichung dar.

$$P_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{i,k} + \varepsilon_i, \text{ mit } \beta_k = \frac{\partial P}{\partial X_k} \quad \text{Formel 2-2}$$

Die Konstante  $\beta_0$  erfasst die eigenschaftsunabhängige Niveauverschiebung der Miete. Die zu schätzenden Regressionskoeffizienten  $\beta_k$  repräsentieren die impliziten Preise der Eigenschaften. Sie geben die relative Änderung des Mietpreises an, wenn sich nur diese Eigenschaft marginal<sup>3</sup> ändert, und drücken damit die Zahlungsbereitschaft der Mieter aus. Der Zufallsfehler  $\varepsilon$  erfasst die unerklärte Varianz der erklärenden Variablen.

Mit der Annahme der Linearität wird den impliziten Preisen unterstellt, dass sie unabhängig vom Niveau der Eigenschaft konstant sind. Das würde beispielsweise bedeuten, dass die Zahlungsbereitschaft eines Mieters für eine marginale Erhöhung der Wohnfläche um 1 m<sup>2</sup> konstant ist, unabhängig ob die Wohnung 40 m<sup>2</sup> oder 200 m<sup>2</sup> gross ist (BANFI et al. 2007:133). Im realen Immobilienmarkt dürfte diese Annahme nur für eine Minderheit der Eigenschaften zutreffen. In neuerer Literatur herrscht Konsens, dass semi-logarithmische Modelle das Verhalten der Individuen auf dem Immobilienmarkt adäquater abbilden als lineare (MALPEZZI 2003:80, SIRMANS et al. 2005:4). Das semi-logarithmische Modell lautet:

$$\ln P_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{i,k} + \varepsilon_i, \text{ mit } \beta_k = \frac{\partial P}{P \cdot \partial X_k} \quad \text{Formel 2-3}$$

Weitere häufig angewendete funktionale Formen sind diejenige der doppellogarithmischen Modelle, bei denen die Zielvariable und die erklärenden Variablen logarithmiert werden, sowie diejenige der Potenzfunktionen der Box-Cox-Transformation. Da diese Formen in dieser Arbeit keine Anwendung finden, werden sie hier nicht weiter erläutert (für eine eingehende Diskussion dieser und weiterer Modellspezifikationen vgl. FREEMAN 2003).

---

<sup>3</sup> um eine Grösseneinheit; z.B. 1 m<sup>2</sup> für die Eigenschaft Wohnfläche.

### 2.3.3 Multiple Regressionsanalyse

Die multiple Regressionsanalyse ist ein multivariates Analyseverfahren, das den Einfluss mehrerer erklärender Grössen (Wohnungseigenschaften) auf eine Zielgrösse (Mietpreis) schätzt (BACKHAUS et al. 2008:52). Durch simultane Regression über alle erklärenden Grössen löst die Regressionsanalyse mithilfe einer Stichprobe die Formel 2-2 bzw. Formel 2-3. Als Ergebnis liegen Werte für die Konstante  $\beta_0$  und für die Regressionskoeffizienten  $\beta_k$  vor, welche den Kausalzusammenhang zwischen dem Mietpreis und den Wohnungseigenschaften quantitativ beschreiben. Die Regressionsanalyse folgt einer linearen Vorgehensweise, deren einzelne Schritte im Folgenden übersichtsmässig beschrieben werden.

**0. Bereinigung der Stichprobe.** Die Bereinigung der Stichprobe bzw. die deskriptive Statistik ist eine Vorstufe der Regressionsanalyse und verfolgt das Ziel, die Datenqualität zu steigern. Die empirischen Daten der Mietpreise und die zugehörigen Daten der Wohnungseigenschaften sind auf fehlende und unplausible Werte sowie auf Ausreisser<sup>4</sup> zu überprüfen und zu bereinigen. Damit die Regressionsanalyse anwendbar ist, sind qualitativ vorliegende Daten mit einer Transformation in ein quantitatives Skalenniveau zu überführen (BACKHAUS et al. 2008:55). Wie einfach sich eine Eigenschaft in Zahlen ausdrücken lässt, hängt im Wesentlichen von seiner Art ab.<sup>5</sup> Hedonische Preismodelle im Immobilienbereich verwenden häufig die Dummy-Variablen-Technik, um qualitative Variablen in ein metrisches Skalenniveau zu transformieren. Dummy-Variablen haben eine binäre Ausprägung und können nur die Werte 0 (z.B. für „keine Fernsicht“) oder 1 (z.B. für „Fernsicht“) annehmen.

**1. Modellformulierung.** Im ersten Schritt der Regressionsanalyse ist vom Anwender das zu untersuchende Modell auf Basis sachlogischer Überlegungen zu entwerfen (BACKHAUS et al. 2008:57). Der Entwurf umfasst im Wesentlichen die Festlegung der funktionalen Form des Modells und die Wahl der Variablen. Die Wahl der Zielvariablen erschliesst sich in der Regel aus der wissenschaftlichen Fragestellung. Bei der Wahl der erklärenden Variablen geht es darum, aufgrund der empirischen Literatur oder der Intuition jene Variablen zu benennen, für die einen signifikanten Einfluss auf die Zielvariable vermutet wird. Für diese Variablen müssen entsprechende Daten beschafft werden. In der praktischen Anwendung hedonischer Modelle sieht man sich oft mit einem Optimierungsproblem betreffend Kos-

---

<sup>4</sup> Ein Ausreisser ist «eine Beobachtung, die, gemessen an der Streuung der Daten, weit vom Median entfernt ist.» (STAHEL 2008:68)

<sup>5</sup> Beispielsweise kann das Wohnungsmerkmal Wohnungsgrösse mit dem Mass „Wohnfläche in Quadratmetern“ präzise und einfach beschrieben werden. Die Messung der „architektonischen Qualität des Gebäudes“ oder der „Aussichtsqualität“ gestaltet sich hingegen wesentlich schwieriger.

ten und Nutzen konfrontiert (FAHRLÄNDER 2007:27): Während die Erklärungsgüte des Modells zu maximieren ist, ist die Anzahl der zu erfassenden Variablen aus Kostengründen klein zu halten.

**2. Schätzung der Regressionsfunktion.** Bei der Schätzung der Regressionsfunktion wird einerseits ermittelt, welche der bei der Modellformulierung ausgewählten Parameter in das Regressionsmodell aufgenommen werden (Modellselektion). Andererseits werden die einzelnen Koeffizienten der Gleichung bestimmt (Parameterschätzung). Für die Modellselektion stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Dazu gehört beispielsweise das Verfahren „schrittweise vorwärts“, bei dem ausgehend von einem leeren Modell nacheinander jene erklärenden Variablen hinzugefügt werden, die ein bestimmtes Gütekriterium maximieren (STAHEL 2008:88). Ein Abbruchkriterium, beispielsweise ein vorgegebenes Signifikanzniveau, stoppt das Vorgehen. Die Parameterschätzung erfolgt meistens nach der Methode der kleinsten Quadrate, d.h. die Quadrierung der Abweichungen der Beobachtungsvon den Schätzwerten wird minimiert (BACKHAUS et al. 2008:63). Mit der Parameterschätzung liegt nun eine Schätzung der Regressionsfunktion vor.

**3. Überprüfung der Regressionsfunktion und der Modellprämissen.** Die Überprüfung der Regressionsfunktion gibt Aufschluss darüber, ob die im ersten Schritt postulierte Kausalbeziehung statistisch nachgewiesen werden kann und wie gut das vorliegende Modell die Grundgesamtheit beschreibt. Globale Gütemasse (z.B. Bestimmtheitsmass, F-Test) prüfen, wie gut die Zielvariable durch das Modell als Ganzes erklärt wird, während Masse zur Prüfung der Regressionskoeffizienten (z.B. t-Test) klären, wie „wichtig“ eine einzelne erklärende Variable ist (STAHEL 2008:85f.). Die Tests erfolgen in Form von Hypothesen, die mit statistischen Signifikanzniveaus verworfen oder beibehalten werden. Die abschliessende Überprüfung der Modellprämissen klärt, ob Annahmen verletzt wurden, die bei der Durchführung einer Regressionsanalyse gemacht wurden. Dazu gehören u.a. die Linearität, Homoskedastizität, Autokorrelation, Multikollinearität und Normalverteilung (für eine eingehende Beschreibung vgl. BACKHAUS et al. 2008).

Das geschätzte und überprüfte Regressionsmodell liefert Indizien für die Ursache-Wirkungs-Beziehung, die es nun sachlogisch zu interpretieren gilt. Die Regressionskoeffizienten offenbaren den marginalen Effekt der Änderung einer erklärenden Variablen auf die Zielvariable und können direkt ökonomisch ausgelegt werden. Ist beispielsweise der Koeffizient der erklärenden Variable „Fernsicht“ signifikant von Null verschieden, kann dies als Nachweis für eine ursächliche Wirkung der Fernsicht auf die Zielgrösse „Mietpreis“ interpretiert werden. Die Grösse des standardisierten Koeffizienten ist ein Mass für die

Präferenz bzw. Zahlungsbereitschaft des Mieters. Neben der Anwendung als Präferenzmessverfahren kann das geschätzte Regressionsmodell auch als Prognoseinstrument dienen. Sind die im Modell enthaltenen preisbestimmenden Eigenschaften einer Wohnung bekannt, liefert das Modell einen geschätzten Mietpreis.<sup>6</sup>

#### **2.3.4 Kritik**

Die hedonische Preismethode weist diverse Vor- und Nachteile auf, die vor einer Anwendung kritisch zu beurteilen sind. In der theoretischen und angewandten Forschung finden sich vertiefende Betrachtungen zu den Vorzügen und Limitierungen der hedonischen Preismethode im Immobilienmarkt (z.B. HULTEN 2003). Einige davon sind im Kontext der vorliegenden Fragestellung von besonderer Bedeutung und werden im Folgenden kurz diskutiert.

Als Verfahren der offenbarten Präferenzen stützt sich die hedonische Preismethode direkt auf Marktdaten ab. Die Ergebnisse bilden folglich einen realen Zustand ab und sind wegen der Verwendung empirischer Daten weitgehend objektiv. Die Aussicht, deren Empfindung und Wertschätzung durch einen Betrachter stark subjektiv geprägt sind, erfährt durch die Monetarisierung eine objektive Bewertung. Nebst der Objektivität zeichnen sich die Preismodelle durch ihre Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit aus (SCOGNAMIGLIO 2007:1064f.). Diese Eigenschaften sind gemäss Zielsetzung für den zu entwickelnden Lösungsansatz und für die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf praktische Anwendungen von zentraler Bedeutung.

Ein weiterer Vorteil der hedonischen Preismethode ist die breite Abstützung in der Wissenschaft. HERATH & MAIER (2010) führen in ihrem Übersichtsartikel über 450 Veröffentlichungen auf, die hedonische Preismodelle für den Immobilienbereich theoretisch-methodisch betrachten oder empirisch anwenden. Auch in der Praxis findet der hedonische Ansatz zunehmend Verwendung. Er hat sich in den letzten Jahren in der Schweiz als standardisierte Methode zur kosteneffizienten Bewertung von Wohneigentum fest etabliert und fand gerichtliche Anerkennung.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Der geschätzte Mietpreis entspricht nicht dem auf dem Markt beobachtbaren Mietzins, sondern einem prognostizierten Wert, der auf Basis von Vergleichspreisen der zugrunde gelegten Stichprobe zustande kommt.

<sup>7</sup> Das Schweizerische Bundesgericht hat mit dem Entscheid BGE 1E.15/2007 die Verwendung eines hedonischen Preismodells für die Bemessung des Minderwerts infolge Fluglärmimmissionen sanktioniert (FIERZ 2011:279).

Die wesentlichen Schwächen des hedonischen Preisansatzes liegen nicht im Ansatz per se, sondern sind in ihrer Anwendung im Immobilienmarkt begründet. Der Immobilienmarkt erfüllt die idealisierende Grundannahme eines vollkommenen Marktes, welche der Ansatz voraussetzt, nur bedingt (KNIGHT 2008:39). Dies liegt in den besonderen Merkmalen des Immobilienmarktes begründet, allen voran der Standortgebundenheit der Immobilien. Beim Mietwohnungsmarkt im Speziellen besteht die Gefahr, dass die starken Reglementierungen des Mietrechts und ein hoher Anteil an subventionierten oder kostendeckend vermieteten Wohnungen bei Nichtberücksichtigung in den ökonometrischen Modellen zu Schätzfehlern führen. Gleichwohl finden sich in der Literatur neben den Modellen für Wohneigentum in jüngerer Vergangenheit zunehmend auch Mietpreismodelle (z.B. BANFI et al. 2007, SCHAEERER et al. 2007, GLAUSER et al. 2009, BRUNAUER et al. 2010).

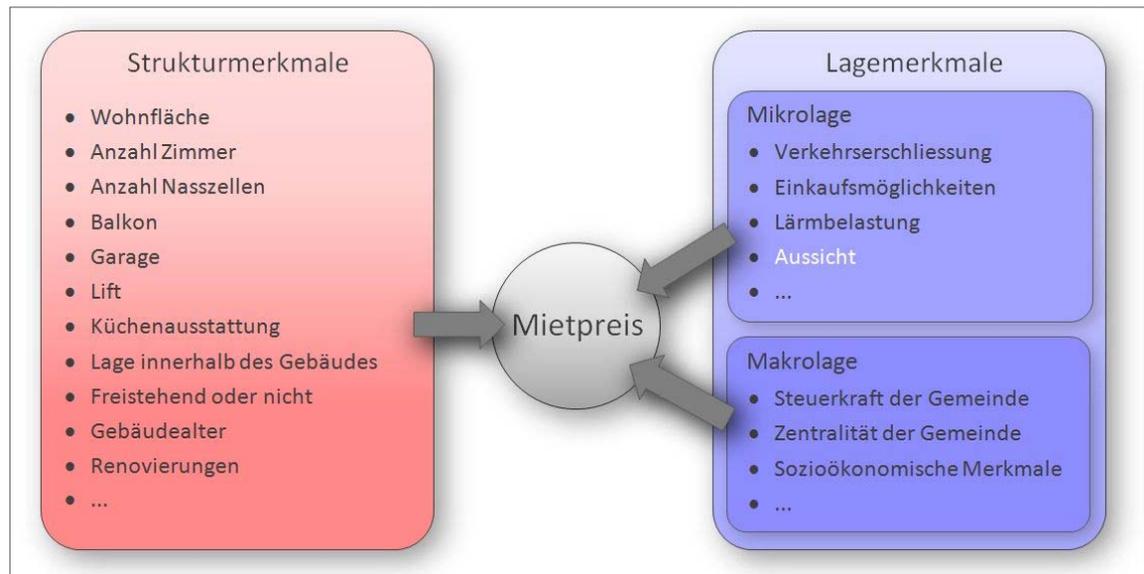
Eine Immobilie lässt sich durch eine beinahe unendliche Anzahl bedeutender und weniger bedeutender nutzenstiftender Merkmale beschreiben. Ein hedonisches Regressionsmodell für Immobilien enthält entsprechend viele erklärende Variablen, was die ökonomische Interpretation der einzelnen Variablen erschwert. Speziell bei der Betrachtung der Aussicht, die nicht zu den bedeutendsten Preisdeterminanten einer Wohnung gehört, könnte die Deutung der Resultate schwierig sein. Eine hohe Anzahl an Variablen begünstigt zudem die Multikollinearität, welche zu einer Über- oder Unterschätzung des Mietpreises führen kann (MATHIS et al. 2003:60).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der hedonische Preisansatz für die Beantwortung der Forschungsfragen grundsätzlich geeignet ist. Gleichwohl gilt es, die Resultate des hedonischen Modells unter dem Gesichtspunkt der getroffenen Modellannahmen und der Rahmenbedingungen des Mietwohnungsmarktes kritisch zu überprüfen.

## **2.4 Nutzenstiftende Wohnungsmerkmale**

### **2.4.1 Struktur- und Lagemerkmale**

In den vorangehenden Kapiteln war bereits einige Male von den nutzenstiftenden Eigenschaften bzw. Merkmalen einer Wohnung und ihren kausalen Zusammenhängen mit dem Mietpreis die Rede. Da Immobilien eine kaum überschaubare Anzahl nutzenstiftender Merkmale aufweisen, ist es aus Gründen der Übersicht angebracht, sie zu kategorisieren. In der Literatur findet sich keine einheitliche Klassierung der nutzenstiftenden Merkmale. Geläufig ist die Kategorisierung von FREEMAN (2003:356f.), der nach strukturellen Merkmalen (z.B. Anzahl Zimmer), Merkmalen der Umgebung (z.B. Kriminalitätsrate) und Umweltmerkmalen (z.B. Luftqualität) unterscheidet.



**Abbildung 2–3: Kategorisierung der nutzenstiftenden Merkmale einer Wohnung (verändert nach MÜRI et al. 2011:14)**

In dieser Arbeit werden die Merkmale gemäss den in Schweizer Studien (z.B. SCOGNAMIGLIO 2000, SALVI 2004, MÜRI et al. 2011) gängigen Kategorien gruppiert (Abbildung 2–3). Demnach kann eine Wohnung gedanklich in Strukturmerkmale und Lagemerkmale unterteilt werden. Die Strukturmerkmale umfassen die Ausstattungseigenschaften der Wohnung und ihres Gebäudes, losgelöst von ihrem Standort. Strukturmerkmale sind materielle Werte einer Wohnung. Die Lagemerkmale charakterisieren den klein- und grossräumlichen Standort der Wohnung und bilden immaterielle Werte. Sie werden ihrerseits unterteilt in die Merkmale der Mikrolage (Qualitäten der unmittelbaren Wohnungsumgebung) und der Makrolage (Qualitäten der Standortgemeinde). Die Aussicht gehört zu den Merkmalen der Mikrolage, da sie von der kleinräumlichen Lage der Wohnung innerhalb des Makrostandortes abhängig ist.

#### 2.4.2 Aussicht

Unter dem Begriff „Aussicht“ wird im allgemeinen Sprachgebrauch der Blick in die (ferne) Landschaft verstanden.<sup>8</sup> Der Wortteil „...sicht“ nimmt Bezug auf die visuelle Wahrnehmung, während die lokale Präposition „Aus...“ auf die Blickrichtung hindeutet („von etwas weg“ bzw. „nach draussen“). Die Aussicht entsteht durch ein Zusammenspiel des wahrnehmenden Betrachters mit der ihn umgebenden Landschaft (Abbildung 2–4). Bezogen auf das vorliegende Themengebiet, den Immobilienmarkt, wird die Aussicht in dieser Arbeit definiert als die visuelle Wahrnehmung derjenigen Teile der Landschaft und des Him-

<sup>8</sup> Neben dieser räumlichen Bedeutung hat der Begriff Aussicht auch eine zeitliche Bedeutung (im Sinne eines Ausblicks in die Zukunft), die in dieser Arbeit nicht von Belang ist.

mels, die von einer Wohnung aus einsehbar sind. Objekte des Wohninnenraums, die sich ggf. im Sichtfeld des Betrachters befinden, sind nicht Gegenstand der Untersuchung.



**Abbildung 2–4: Die Aussicht und ihr Betrachter. Zürich, Flüelastrasse 31 (Bild: Stadtverwaltung Zürich)**

Die Wahrnehmung einer Aussicht ist dem Gebiet der Landschaftswahrnehmung zuzuordnen, die ihrerseits auf der phänomenologischen Forschung und der Wahrnehmungsgeographie gründet. Die Landschaftswahrnehmung ist als Prozess zu verstehen, der von objektiven physischen Merkmalen der Landschaft zu dem vom Menschen wahrgenommenen, subjektiv gedeuteten Bild der Landschaft führt (HUNZIKER 2010:33). Dieser Wahrnehmungsprozess besteht aus einer Abfolge objektiver Schritte, bei denen ein Umgebungsreiz über die Sinnesorgane aufgenommen und zum Gehirn weitergeleitet wird, gefolgt von subjektiv geprägten Schritten, welche die Bewusstwerdung und Bewertung der Sinneseindrücke sowie das Handeln als Reaktion auf die Umwelt beinhaltet (ZIMMER 1995:32). Ca. 90 % der sinnlichen Wahrnehmung erfolgt über das visuelle System, während die anderen Sinnesorgane von untergeordneter Bedeutung sind (NÖHL 1993:6). Dass sich dieses Verhältnis bei der Wahrnehmung einer Aussicht anders gestaltet, ist nicht anzunehmen, weshalb sich der Rahmen dieser Arbeit auf die visuelle Wahrnehmung der Aussicht beschränkt.

Die visuelle Wahrnehmung wird wesentlich von den physikalischen und objektiv-physiologischen Gesetzmässigkeiten der optischen Reize bestimmt. SCHWAHN (1990:15) unterscheidet die Restriktionen der menschlichen Sinneswahrnehmung in „immanente Beschränkungen“ und „externe Filter“. Zu den externen Filtern gehören die atmosphärischen Bedingungen (Nebel, Bewölkung, etc.) sowie die Sichtraumabgrenzung durch Sichtbarrieren wie Relief oder Bebauung. Das Ausmass der Sichtraumabgrenzung hängt von der räumlichen Anordnung der Landschaftselemente relativ zum Standort des Betrachters ab und bestimmt, welche von den Landschaftselementen ausgehenden optischen Strahlen

überhaupt auf das Auge des Betrachters treffen. Die immanenten Beschränkungen umfassen im Wesentlichen das Auflösungsvermögen des menschlichen Sehapparates und die Anzahl visueller Impulse, die innerhalb einer bestimmten Zeit verarbeitet werden können.

Diejenigen visuellen Umgebungsreize, welche diese objektiven Restriktionen überwunden haben, werden im menschlichen Gehirn einer komplexen Weiterverarbeitung zugeführt (SCHWAHN 1990:17). Mit Prozessen wie Erkennen, Erinnern und Assoziieren stellt der Mensch seine subjektive, mit Erfahrungen und Erwartungen hinterlegte Befindlichkeit den objektiven Reizen der bildauslösenden Landschaftselementen und -strukturen gegenüber (NOHL 1993:5). Als Ergebnis dieses kognitiven Vorgangs resultiert ein selektiv wahrgenommenes, individuell interpretiertes und bewertetes Landschaftsbild. Das Bild einer Aussicht erzeugt beim Betrachter eine emotional-ästhetische Wirkung, der er mit Adjektiven wie „schön“, „herrlich“, oder „eintönig“ Ausdruck verleiht. Diese Prädikate sind an die Präferenzen des bewertenden Betrachters gebunden (LOTHIAN 1991:191), die ihrerseits aus dem erwarteten Nutzen der betrachteten Aussicht hervorgehen.

Der Nutzen einer Aussicht liegt in der Befriedigung von Grundbedürfnissen des Wohnens begründet. PIPEREK (1971:33) stufte das «Bedürfnis nach Ausblick und natürlichem Licht» als eines von zwölf elementaren psychischen Wohnbedürfnissen ein. Ein Wohnstandort mit einer präferierten Aussicht trägt zur Wohnqualität bei und mündet in einem gesteigerten Wohlbefinden. Waren bei der Wohnstandortwahl früher strategisch bedingte Aussichtspräferenzen von zentraler Bedeutung (z.B. Bau von Burgen an aussichtsreichen Lagen), stehen heute vornehmlich ästhetische Präferenzen im Vordergrund (BOURASSA et al. 2004:1428). Der Nutzen einer Aussicht lässt sich neben der Ästhetik auch aus anderen Qualitäten der sichtbaren Landschaft ableiten. Dazu gehören die bei der Betrachtung assoziierten funktionalen Eigenschaften der Landschaftselemente. Beispielsweise verbindet man die Sicht auf Bäume oder Wald mit ihrem Erholungsnutzen (BARANZINI & SCHAERER 2007) oder mit ihrer Schutzwirkung bezüglich der Wohnprivatsphäre (DWYER et al. 1991). Auch der negative Nutzen einer Aussicht liegt oft in der funktionalen Komponente der wahrgenommenen Elemente begründet. Es ist beispielsweise anzunehmen, dass ein Betrachter die Aussicht auf ein Industriegebiet oder eine Mobilfunkantenne nicht nur aufgrund ihrer visuell-ästhetischen Ausprägungen negativ wertgeschätzt, sondern auch wegen ihrer funktionalen Ausprägungen (Lärm- und Luftemissionen bzw. Funkstrahlungsbelastung).

Dem letzten Schritt der Wahrnehmung, dem Handeln, kommt im vorliegenden Thema eine besondere Bedeutung zu. Übertragen auf einen wohnungssuchenden Mieter besteht das Handeln im Fällen des Wohnstandortentscheids, der aufgrund einer persönlichen Präfe-

renzordnung der besichtigten Wohnungen zustande kommt (HACKL 2009:228). Diese Präferenzordnung basiert ihrerseits auf den individuellen Bewertungen der Wohnungsmerkmale. Folgedessen offenbart der Mieter mit dem Entscheid seine Präferenzen für die Aussicht und gibt Einblick in seinen subjektiven Wertmassstab, mit dem er die Ästhetik von Landschaften beurteilt. Für welche Landschaftselemente und -strukturen die Forschung allgemeingültige Evidenzen für positive oder negative Präferenzen nachweisen konnte, wird im nächsten Kapitel behandelt.

## **2.5 Preiswirksamkeit der Wohnungsmerkmale**

### **2.5.1 Preiswirksamkeit der Struktur- und Lagemerkmale**

Welche der Wohnungsmerkmale für ein konkretes Untersuchungsgebiet einen nachweisbaren Einfluss auf den Mietpreis haben, zeigt sich als Resultat eines empirisch geschätzten hedonischen Preismodells. Trotzdem muss der Anwender schon beim Entwurf des Preismodells Merkmale benennen, für die er eine Preiswirkung vermutet. Anhaltspunkte dafür geben Resultate von bereits durchgeführten empirischen Untersuchungen, die nun näher betrachtet werden.

SIRMANS et al. (2005) haben in ihrem Übersichtsartikel eine systematische Auswertung der Zusammensetzung hedonischer Immobilienpreismodelle von 125 angelsächsischen Studien vorgenommen. Sie untersuchten die Art, Signifikanz und Wirkungsrichtung der erklärenden Variablen und präsentierten in ihrem Artikel die „Top Twenty“ der am häufigsten modellierten Immobilienmerkmale. Auch wenn darunter überwiegend strukturelle Merkmale zu finden sind, wurden die Lagemerkmale als genauso bedeutend eingestuft. Der grosse Einfluss des Standorts einer Immobilie auf seinen Preis äussert sich nicht nur im oft kolportierten Sprichwort, dass die drei preisbestimmenden Faktoren „die Lage, die Lage und die Lage“ seien, sondern widerspiegelt sich in beinahe jeder hedonischen Studie. Ein eindrückliches Beispiel liefert MATTER (2010), der den Kaufpreis eines fiktiven Hauses mit identischen strukturellen Merkmalen in Beurnevésin (Kanton Jura) mit 340'000 SFr. und in Küsnacht (Kanton Zürich) mit 3'140'000 SFr. hedonisch schätzte.

So unumstritten die Preiswirkung der Lage als Ganzes ist, so unterschiedlich fallen in Studien die Resultate der einzelnen Lagemerkmale aus. Während beispielsweise BANFI et al. (2007) für Zürich eine Preiswirkung der Lärmbelastung und der Distanz zum Stadtzentrum nachwies, fanden DIN et al. (2001) für Genf für diese beiden Merkmale der Mikrolage keine Signifikanz. Für solche Unterschiede gibt es verschiedene Erklärungsansätze: Einerseits verwenden hedonische Studien oft unterschiedliche methodische Ansätze (z.B. Form

der Regressionsfunktion) oder messen die Merkmale auf unterschiedliche Art (z.B. ordinal- vs. ratiokalierte Lärmbelastung) und schränken so die Vergleichbarkeit der Resultate ein (SANDER & POLASKY 2009:838). Andererseits können die Unterschiede auf tatsächlich vorhandene, geografisch oder kulturell bedingte Unterschiede in den Präferenzen der Marktteilnehmer hinweisen. Beispielsweise dokumentierten SIRMANS et al. (2005:10) in ihrem Artikel, dass eine installierte Klimaanlage in 34 von 37 amerikanischen Untersuchungen eine positive Preiswirkung erzielte. Dass dies in einer Studie im skandinavischen Raum nicht so ausfallen würde, liegt auf der Hand.

Trotz dieser Diskrepanzen besteht in der Literatur für viele Merkmale eine empirisch nachgewiesene Übereinstimmung bezüglich ihrer Einflüsse auf die Kauf- oder Mietpreise von Immobilien. Wie sich der Stand der Forschung für das in dieser Arbeit schwerpunktmässig betrachtete Merkmal Aussicht präsentiert, wird im folgenden Kapitel erörtert.

### **2.5.2 Preiswirksamkeit der Aussicht**

Als strukturen-prüfendes Regressionsverfahren erfordert der hedonische Preisansatz eine Vorahnung davon, welche Aussichtsmerkmale präferiert werden. Diese Vorauswahl von Merkmalen, die im Rahmen der Modellformulierung erfolgt, stützt sich idealerweise auf theoretische und empirische Erkenntnisse aus der Forschung ab. Dazu bieten sich einerseits hedonische Untersuchungen im Immobilienbereich und ihre Erkenntnisse über die Aussichtspräferenzen an. Andererseits kann auf Studien zur Landschaftsbewertung aus dem Gebiet der humangeografischen Landschaftsforschung zurückgegriffen werden, die hauptsächlich Methoden der geäußerten Präferenzen einsetzen. Es erscheint sinnvoller, in erster Linie hedonische Literatur zum Immobilienmarkt zu analysieren, da sie das gleiche Fachgebiet beleuchten und denselben Lösungsansatz einsetzen. Die folgende Literaturanalyse zu hedonischen Studien dient als Basis für die Vorauswahl der Aussichtsmerkmale und zur Plausibilisierung der empirischen Resultate.

Die Auswirkungen der Aussicht auf die Immobilienpreise wurden erstmals in den 1970er Jahre ökonometrisch untersucht. DARLING (1973), PLATTNER & CAMPBELL (1978) und ABELSON (1979) konnten für amerikanische und australische Städte nachweisen, dass die Sicht auf Gewässer einen positiven Einfluss auf die Kaufpreise von Immobilien ausübt. Auch neuere Studien belegen die preistreibende Wirkung der Aussicht, unterscheiden sich aber im Vergleich zu älteren Untersuchungen in der Art der Modellierung der Aussicht. Wie die Literaturübersicht von BOURASSA et al. (2004) zeigt, verwenden ältere hedonische Preismodelle für die Aussicht oft nur eine einzige, binärskalierte Dummy-Variable („with

View” bzw. „without View”). Viele Forscher (z.B. BENSON et al. 1998:55, BOURASSA et al. 2004:1448) kritisieren diese sehr grobe Abstraktion der Aussicht, da ein Landschaftsbild vielfältige Ausprägungen aufweist und differenzierte ästhetische Wirkungen auf den wahrnehmenden Betrachter ausübt, die in Form einer binäre Qualitätseinstufung nicht adäquat repräsentiert werden können. Ferner ist eine solche grobe Einstufung der Aussichtsqualität stark subjektiv geprägt und nicht reproduzierbar.

In neuere Studien sind deshalb vermehrt Bestrebungen feststellbar, die Aussicht differenzierter und objektiver abzubilden. Die Aussicht wird in einzelne, objektiv messbare Aussichtsmerkmale unterteilt, die als separate erklärende Variablen in das hedonische Modell integriert werden. Die Hauptschwierigkeit dieses Unterfangens ist die praxistaugliche Auswahl einiger weniger, messbarer Aussichtsmerkmale aus einer so gut wie unbegrenzten<sup>9</sup> Anzahl ästhetischer Eigenschaften der Landschaft. Der hedonische Ansatz stösst hier an dieselbe Grenze wie die kontrovers diskutierten Bestrebungen der sozialwissenschaftlichen Landschaftsforschung, die Landschaft und ihre Ästhetik objektiv zu messen und zu bewerten (z.B. EGLI 2006).

Mittlerweile belegt eine Vielzahl hedonischer Studien, für welche Aussichtsmerkmale eine Preiswirkung besteht. Die preisrelevanten Aussichtsmerkmale können grob in drei Kategorien unterteilt werden:

- Landschaftselemente
- Entfernung der Landschaftselemente vom Betrachter
- Räumliche Anordnung der Landschaftselemente

### **2.5.2.1 Landschaftselemente**

Landschaftselemente bilden die grundlegenden Bestandteile einer Landschaft und unterteilen den Raum in abgegrenzte Elemente (SCHAFRANSKI 1996:109). Sie umfassen natürliche Elemente (z.B. Gewässer, Wald, etc.), die teilweise durch menschliche Einflüsse überprägt sein können, und anthropogene Elemente (z.B. Gebäude, Strassen, Stromleitungen, etc.). Die landschaftsästhetische Präferenz, die eine Aussicht beim Betrachter hervorzurufen vermag, hängt wesentlich von der Präsenz bestimmter Landschaftselemente ab. In hedonische Immobilienpreisstudien werden deshalb Aussichten vornehmlich über das Vorhandensein bestimmter Landschaftselemente definiert und entsprechende Preiswirkungen aus-

---

<sup>9</sup> GOBSTER & CHENOWETH (1989) untersuchten 50 Studien zur Landschaftsästhetik und fanden total 1'194 verschiedene Landschaftseigenschaften, für die ästhetische Präferenzen nachgewiesen wurden.

gewiesen. Tabelle 2-1 enthält eine Zusammenstellung der in hedonischen Immobilienmarktstudien ermittelten Einflüsse der sichtbaren Landschaftselemente auf den Preis von Immobilien. Im Hinblick auf die Empirie dieser Arbeit wurde der Fokus der Übersicht auf neuere europäische Literatur mit urbanen Untersuchungsgebieten gelegt.

**Tabelle 2-1: Literaturübersicht zur Wirkung von sichtbaren Landschaftselementen auf den Immobilienpreis**

Landschaftselement	Preiswirkung <sup>c)</sup>	Quelle
Gewässer	↗	BENSON et al. (1998) <sup>b)</sup> , LUTTIK (2000) <sup>b)</sup> , BISHOP et al. (2004) <sup>b)</sup> , SALVI (2004) <sup>a)</sup> , SALVI et al. (2004) <sup>a)</sup> , BOURASSA et al. (2005) <sup>b)</sup> , RIEDER (2005) <sup>a)</sup> (See), JIM & CHEN (2006) <sup>b)</sup> , BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup> , LÖCHL (2007) <sup>a)b)</sup> , MULLER (2007), SCHAERER et al. (2007) <sup>a)b)</sup> , YU et al. (2007) <sup>b)</sup> , SHULTZ & SCHMITZ (2008) <sup>b)</sup> , KRUSE & AHMANN (2009), SANDER & POLASKY (2009) <sup>b)</sup> , SCHULZ & WALTERT (2009) <sup>a)</sup> , LÖCHL & AXHAUSEN (2010) <sup>a)b)</sup> , GRÉT-REGAMEY & CRESPO (2011) <sup>a)b)</sup> , MÜRI et al. (2011) <sup>a)</sup> , FLEISCHER (2012)
	→	LAKE et al. (2000b) <sup>b)</sup> , PATERSON & BOYLE (2002) <sup>b)</sup> , RIEDER (2005) <sup>a)</sup> (Fluss)
	↘	CAVAILHÈS et al. (2009) <sup>a)</sup> , JOLY et al. (2009) <sup>a)</sup>
Berge	↗	RIEDER (2005) <sup>a)</sup> , BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup> , BEHRER (2010)
	→	SCHAERER et al. (2007) <sup>a)b)</sup> , SCHULZ & WALTERT (2009) <sup>a)</sup> , MÜRI et al. (2011) <sup>a)</sup>
	↘	JIM & CHEN (2009) <sup>b)</sup>
Wald	↗	TYRVAINEN & MIETTINEN (2000), CAVAILHÈS et al. (2008) <sup>a)</sup> , CAVAILHÈS et al. (2009) <sup>a)</sup> , JOLY et al. (2009) <sup>a)</sup> , POUDYAL et al. (2010) <sup>a)</sup>
	→	SANDER & POLASKY (2009) <sup>b)</sup>
	↘	PATERSON & BOYLE (2002) <sup>b)</sup> , BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup>
städtische Grünräume	↗	LUTTIK (2000) <sup>b)</sup> , PRICE (2003) <sup>b)</sup> , BISHOP et al. (2004) <sup>b)</sup> , JIM & CHEN (2006) <sup>b)</sup> , SANDER & POLASKY (2009) <sup>b)</sup> , HACKL (2009) <sup>a)b)</sup> , DONOVAN & BUTRY (2011) <sup>b)</sup>
	→	LAKE et al. (2000b) <sup>b)</sup> , BATEMAN et al. (2001) <sup>b)</sup> , BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup>
	↘	-
Landwirtschaftsflächen	↗	JOLY et al. (2009) <sup>a)</sup>
	→	LAKE et al. (2000b) <sup>b)</sup> , PATERSON & BOYLE (2002) <sup>b)</sup> , BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup> , CAVAILHÈS et al. (2008) <sup>a)</sup>
	↘	CAVAILHÈS et al. (2009) <sup>a)</sup>
Gebäude	↗	-
	→	CAVAILHÈS et al. (2008) <sup>a)</sup> , CAVAILHÈS et al. (2009) <sup>a)</sup> , JIM & CHEN (2009) <sup>b)</sup> , BEHRER (2010)
	↘	LUTTIK (2000) <sup>b)</sup> , BISHOP et al. (2004) <sup>b)</sup> , BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup>
Kirchen	↗	BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup> , WAI (2009) <sup>b)</sup>
	→	-
	↘	-
Strassen und Eisenbahnen	↗	-
	→	-
	↘	LAKE et al. (1998, 2000b) <sup>b)</sup> , BATEMAN et al. (2001) <sup>b)</sup> , CAVAILHÈS et al. (2008) <sup>a)</sup> , CAVAILHÈS et al. (2009) <sup>a)</sup> , JIM & CHEN (2009) <sup>b)</sup> (Strassen), JOLY et al. (2009) <sup>a)</sup> , NAVRUD & STRAND (2011) <sup>b)</sup>
Industriegebiete	↗	-
	→	-
	↘	LAKE et al. (2000a, 2000b) <sup>b)</sup> , BATEMAN et al. (2001) <sup>b)</sup> , PATERSON & BOYLE (2002) <sup>b)</sup> , BISHOP et al. (2004) <sup>b)</sup> , BARANZINI & SCHAERER (2007) <sup>a)b)</sup>

a) Studie aus der Schweiz oder einem Nachbarland

b) Studie mit städtischem Untersuchungsgebiet

c) ↗ statistisch signifikante, positive Preiswirkung

→ keine signifikante Preiswirkung

↘ statistisch signifikante, negative Preiswirkung

Die Übersicht zeigt, dass die Aussicht auf natürliche Landschaftselemente im Allgemeinen einen preissteigernden, die Aussicht auf anthropogene Elemente einen preissenkenden Einfluss haben. Unbestritten ist die Bereitschaft von Wohnungsnachfragern, für eine Aussicht auf Gewässer (Meere, Seen, Flüsse) mehr zu bezahlen, während die Präferenzen für andere natürliche oder naturnahe Elemente wie Berge, Wälder, Landwirtschaftsflächen und städtische Grünräume weniger stark ausgeprägt sind. Für eine Sicht auf Gebäude ist tendenziell keine oder eine negative Zahlungsbereitschaft vorhanden. Eine Ausnahme bilden Kirchen, für deren ästhetische Wirkung eine preistreibende Wirkung nachgewiesen werden konnte. Durchwegs negativ wirkt sich eine Aussicht auf Verkehrswege (Strassen, Eisenbahnen) und Industriegebiete auf den Preis aus. Die Ergebnisse dieser ökonometrischen Studien decken sich grundsätzlich mit jenen aus dem Gebiet der Landschaftsforschung. So belegen zahlreiche Präferenzstudien, dass natürliche bzw. naturnahe Landschaften den anthropogen überprägten vorgezogen werden (AUGENSTEIN 2002:52). WÖBSE (2002) geht davon aus, dass die Gewässer und jede Form von Vegetation der Schönheit von Landschaften am zuträglichsten sein dürften. KAPLAN (2001) untersuchte den psychologischen Nutzen von Fenstern von Wohnungen und fand heraus, dass sich die Sicht auf natürliche Elemente positiv auf das Wohlbefinden auswirkt, während gebaute Elemente im Sichtfeld keinen Einfluss zeigten.

Die quantitativen Ausmasse der Preiswirkungen innerhalb der einzelnen Landschaftselemente variieren stark (z.B. Sicht auf Gewässer von -4 % in JOLY et al. 2009 bis +59 % in BENSON et al. 1998). BOURASSA et al. (2004:1437) erklärten sich diese Differenzen durch die unterschiedlichen hedonischen Modellformulierungen und die ungleich gehandhabte Berücksichtigung der Distanz zwischen Betrachter und Landschaftsobjekt. Die Differenzen liegen vermutlich auch in kulturell-geografisch bedingten Präferenzunterschieden sowie in den unterschiedlichen Landschaftszusammensetzungen der Untersuchungsgebiete begründet.

Für einige anthropogene Elemente urbaner Landschaften liegen nach Kenntnisstand des Autors keine hedonischen Immobilienpreisstudien zur Aussicht vor. Dazu gehören beispielweise Mobilfunkantennen, deren Bestand in den letzten Jahren massiv zugenommen hat und die das Bild der städtischen „Dachlandschaften“ zunehmend prägen. BANFI et al. (2007) wiesen für Mobilfunkantennen im Umkreis von weniger als 200 m von einer Wohnung einen negativen Einfluss auf den Mietpreis nach. Die Studie lässt die Vermutung zu, dass auch für die Sicht auf eine Mobilfunkantenne eine negative Zahlungsbereitschaft besteht.

Der Himmel wird zwar nicht zur Landschaft gezählt, nimmt aber im Regelfall einen bedeutenden Anteil der wahrgenommenen Aussicht ein. Als eine Art Projektionsfläche zeitlich variabler Bilder (z.B. Sonnenuntergang, Sternenhimmel, Wolkenformationen) geht vom Himmel eine unmittelbare ästhetische Wirkung aus. Bringt ein wahrnehmender Betrachter den Himmel mit Assoziationen wie „Wärme“ oder „Lichteinfall“ in Verbindung, erschliesst sich ein weiterer ästhetischer Wert des Himmels. Es besteht die Vermutung, dass Wohnungssuchende dem Himmel als Teil der Aussicht einen positiven Wert beimessen, der sich im Mietpreis äussert. HACKL (2009) wies für die Stadt Wien nach, dass ein grösserer Anteil Himmel an der Aussicht den Immobilienpreis erhöht. Weitere ökonometrische Studien zum Himmel als Aussichtsmerkmal sind rar, möglicherweise weil die am häufigsten angewendete Methode zur Aussichtsbestimmung, die Viewshed-Analyse (vgl. Kap. 4.3), keine direkte Aussage über die Sichtbarkeit des Himmels zulässt.

#### **2.5.2.2 Entfernung der Landschaftselemente vom Betrachter**

Der ästhetische Einfluss eines Landschaftselementes nimmt mit zunehmender Entfernung vom Betrachter ab (NOHL 1993:11). Dies gilt gleichermassen für Elemente, die als bereichernd oder störend empfunden werden. Der Zusammenhang zwischen der Entfernung eines Objektes und seiner visuellen Wirkung ist auf die Grösse des Objektes auf der Netzhaut des Betrachters zurückzuführen. Während ein Objekt in unmittelbarer Nähe gross erscheint und seine Details wahrnehmbar sind, nimmt sein Anteil am wahrgenommenen Bild mit zunehmender Distanz ab, bis es wegen den physiologischen oder atmosphärischen Einschränkungen nicht mehr wahrgenommen werden kann. In der Landschaftsforschung wird der Landschaftsraum vereinfachend in drei Wahrnehmungsebenen unterschieden, deren Objekte wegen ihrer Entfernung zum Betrachter eine unterschiedlich starke ästhetische Wirkung entfalten (GROSJEAN & WIESMANN 1986, WÖBSE 2002, AUGENSTEIN 2002):

- Vordergrund bzw. Mikrotop; bis ca. 500 m - 3 km <sup>10</sup>
- Mittelgrund bzw. Mesotop; von ca. 500 m - 3 km bis ca. 1 - 10 km
- Hintergrund bzw. Makrotop; ab ca. 5 - 15 km

Der entfernungsabhängige Einfluss der Landschaftselemente auf den ästhetischen Wert einer Aussicht widerspiegelt sich auch in Ergebnissen von hedonischen Immobilienpreismodellen. Einige der in Tabelle 2-1 aufgeführten Untersuchungen differenzierten die Sichtbarkeit von Landschaftselementen in unterschiedliche Entfernungskategorien und

---

<sup>10</sup> Die Bemessung der Wahrnehmungsebenen variieren je nach Autor

wiesen nach, dass eine signifikante Preiswirkung nur dann vorhanden ist, wenn sich das Landschaftselement innerhalb einer gewissen Distanz zur Immobilie befindet (BENSON et al. 1998, CAVAILHÈS et al. 2009). CAVAILHÈS et al. beispielsweise fanden heraus, dass sichtbare Landwirtschaftsflächen bzw. Infrastrukturanlagen innerhalb einer Entfernung von ca. 300 m einen positiven bzw. negativen Einfluss auf den Immobilienpreis haben, während für grössere Entfernungen keine Preiswirkung mehr besteht. Sie folgerten, dass «man meinen könnte, die Hauseigentümer seien kurzsichtig» (2009:581), führten diese Ergebnisse aber auch auf das Untersuchungsgebiet Dijon (Frankreich) zurück, das keine attraktive Fernsicht bietet. Studien in Gebieten mit Sicht auf entfernte Berge belegen, dass auch für Sichtbeziehungen zu Landschaftselementen des Hintergrunds eine Zahlungsbereitschaft besteht (RIEDER 2005, BARANZINI & SCHAERER 2007, BEHRER 2010).

### **2.5.2.3 Räumliche Anordnung der Landschaftselemente**

Neben den einzelnen Landschaftselementen zählt die räumliche Anordnung der Elemente zu den bedeutendsten Determinanten der Landschaftspräferenz (AUGENSTEIN 2002:52f.). Erst durch die Anordnung der einzelnen Elemente ergibt sich ein vollständiges Landschaftsbild, das ein ästhetisches Empfinden hervorzurufen vermag. Die räumliche Anordnung trägt massgebend zu den vier präferenzbildenden Dimensionen Komplexität, Kohärenz, Lesbarkeit und Mysteriosität einer Landschaft bei (KAPLAN & KAPLAN 1989:52-58). Die Komplexität einer Szene wird durch die Anzahl unterschiedlicher Objekte im sichtbaren Landschaftsausschnitt bestimmt. Moderat bis komplexe Landschaften werden präferiert, während eine zu komplexe und ungeordnete Landschaft die visuelle Wahrnehmung des Menschen überfordert und sich negativ auf die Ästhetik auswirkt (BOURASSA 1991 zit. in HUNZIKER 2006:45). Auch die Kohärenz, die aufgrund einfacher und wiederkehrender Strukturen ein unmittelbares Verständnis der Landschaft erlaubt, darf nicht im Übermass vertreten sein, da sonst die Landschaft als langweilig empfunden wird. Lesbarkeit heisst, dass man sich in einer Landschaft gut orientieren kann. Sie wird von deutlich unterscheidbaren Elementen und klaren Strukturen gefördert. Die Mysteriosität entsteht durch sichtsverschattete Landschaftsausschnitte und lädt zum Erkunden ein. Im Gegensatz zur Komplexität und Kohärenz gibt es kein Überfluss an Lesbarkeit und Mysteriosität; sie sind in jedem Mass der landschaftlichen Schönheit zuträglich.

Die Auswirkung der räumlichen Anordnung einer Aussicht auf den Immobilienpreis wurden in relativ wenigen hedonischen Studien untersucht. Die meisten Studien beschränkten sich dabei auf die Untersuchung der Komplexität der Landschaft, vermutlich weil sie mit räumlichen Masszahlen relativ einfach quantifiziert werden kann. GEOGHEGAN et al.

(1997) berechneten die Komplexität der Landschaft mit dem Shannon-Diversitätsindex und bezogen sich auf die Anzahl verschiedener Bodenbedeckungsklassen, die sich in unmittelbarer Umgebung der untersuchten Wohnungen befinden (sichtbar und nicht sichtbar). Es zeigte sich, dass die Diversität im Allgemeinen negativ mit dem Preis korreliert, so dass davon ausgegangen werden kann, dass eine sehr komplexe Landschaft in unmittelbarer Nähe zum Wohnstandort nicht präferiert wird. Auf dasselbe Ergebnis kamen neuere Studien, die ebenfalls mit Diversitätsmassen operierten und keinen Unterschied zwischen sichtbarer und nicht sichtbarer Umgebung machten (ACHARYA & BENNETT 2001, DUMAS et al. 2005, SCHAERER et al. 2007). CAVAILHÈS et al. (2009) hingegen beobachteten einen positiven Einfluss komplexer, fragmentierter Landschaften auf die Immobilienpreise. Studien, die sich auf die von der Immobilie sichtbare Landschaft beschränkten, zeigen ebenfalls widersprüchliche Resultate: BASTIAN et al. (2002) und BARANZINI & SCHAERER (2007) fanden eine positive Auswirkung der Diversität der Aussicht auf die Immobilienpreise, während SANDER & POLASKY (2009) eine negative Korrelation zwischen der Anzahl sichtbarer Bodenbedeckungsklassen und dem Preis feststellten. Diese teilweise gegensätzlichen Erkenntnisse bieten keine Anhaltspunkte für eine *a priori* Vermutung über den Einfluss der Komplexität der sichtbaren Landschaft auf den Mietpreis.

## **2.6 Eingesetzte Daten und Methoden in bisherigen hedonischen Studien**

Nachdem im letzten Kapitel beschrieben wurde, welche Aussichtsmerkmale in aktuellen hedonischen Studien modelliert wurden, wird nun darauf eingegangen, mit welchen Daten und Methoden dies erfolgte.

Vor den 90er Jahren wurden die Lagemerkmale von Immobilien ausnahmslos durch aufwändige Erhebungen vor Ort oder durch Befragungen erhoben. Die Beurteilungen der Aussicht basierten weitgehend auf subjektiven Kriterien und waren nicht reproduzierbar. Mit dem Aufkommen der Geografischen Informationssysteme (GIS) in den 90er Jahren hat sich der Einsatz von digitalen räumlichen Daten und von GIS-Methoden zur Ermittlung der Lagemerkmale mehr und mehr durchgesetzt. Die Vorteile von GIS liegen in der objektiven und differenzierten Betrachtung der einzelnen Lagemerkmale, was schlussendlich in präzisen Preismodellen mit hohem Erklärungsgehalt mündet. Auch praktische Gründe sprechen für den Einsatz von GIS, lassen sich doch die Berechnungsprozesse weitgehend automatisieren und damit effizient und nachvollziehbar gestalten. Die aufwändige Inspektion vor Ort von teilweise mehreren tausend Immobilien der Stichprobe entfällt.

**Tabelle 2-2: Literaturübersicht zu eingesetzten Daten und Methoden zur Ermittlung der sichtbaren Landschaft**

Quelle	Methode	Daten
PATERSON & BOYLE (2002), SALVI (2004), SALVI et al. (2004), LÖCHL (2007), SHULTZ & SCHMITZ (2008), SCHULZ & WALTERT (2009), BEHRER (2010), LÖCHL & AXHAUSEN (2010), POUDYAL et al. (2010), GRÉT-REGAMEY & CRESPO (2011), MÜRI et al. (2011)	Viewshed (GIS)	Bodenbedeckung, Gelände
LAKE et al. (1998, 2000a, 2000b), BATEMAN et al. (2001), YU et al. (2007), SANDER & POLASKY (2009)	Viewshed (GIS)	Bodenbedeckung, Gelände, Gebäude mit konstanter Höhe
BARANZINI & SCHAERER (2007), CAVAILHÈS et al. (2009), JOLY et al. (2009)	Viewshed (GIS)	Bodenbedeckung, Gelände, Gebäude mit konstanter Höhe, Bäume
BENSON et al. (1998), LUTTIK (2000), JIM & CHEN (2006, 2009), MULLER (2009), NAVRUD & STRAND (2011), FLEISCHER (2012)	Besichtigung und Einschätzung vor Ort	-
HACKL (2009)	Analyse von Fotopunkten	digitale terrestrische Fotografien

In der Tabelle 2-2 sind die in neueren hedonischen Studien eingesetzten Daten und Methoden zur Ermittlung der Aussicht aufgeführt. Die Untersuchungen bedienten sich hauptsächlich der GIS-basierten Sichtbarkeitsanalyse Viewshed. Die Viewshed-Analyse ermittelt auf Basis eines digitalen Abbildes der Landschaft das von einer Immobilie aus einsehbare Gebiet (für eine ausführliche Beschreibung der Viewshed-Analyse vgl. Kap. 4.3). Der Landschaftsgehalt wurde in allen Viewshed-basierten Studien mit digitalen Daten der Bodenbedeckung bzw. -nutzung repräsentiert. Die Landschaftsform hingegen wurde je nach Studie aus unterschiedlich zusammengesetzten Komponenten abgebildet. Oft wurde ausschliesslich das Gelände als einziger sichteinschränkender Bestandteil der Erdoberfläche herangezogen. Die Nichtberücksichtigung weiterer bedeutsamer Landschaftsobjekte (z.B. Gebäude) lässt vermuten, dass diese Studien das einsehbare Gebiet insb. in Siedlungen erheblich überschätzten. Entsprechend bezeichnen z.B. SALVI et al. (2004:29) die auf diese Art ermittelte Aussicht als «theoretische Aussicht».

Einige Untersuchungen modellierten die Aussicht genauer, in dem sie neben dem Gelände auch die Bebauung und teilweise auch Bäume in 2.5-dimensionaler Ausprägung mitberücksichtigten. Die Abstraktion der Bebauung ist jedoch in allen untersuchten Studien grob gehalten: Die Gebäudehöhe wurden entweder als konstant angenommen (z.B. CAVAILHÈS et al. 2009) oder anhand der Anzahl Stockwerke abgeschätzt (z.B. YU et al. 2007), während die horizontale Ausdehnungen der Gebäude wegen der räumlichen Auflösung der rasterbasierten Höhenmodelle (1 m x 1 m bis 10 m x 10 m) teilweise stark generalisiert wurden.

Dass diese Vereinfachungen die Resultate der Viewshed-Analyse erheblich beeinflussen, stellten SANDER & MANSON (2007) in ihrem Artikel fest. Sie untersuchten die Viewsheds verschiedener Höhenmodelle, deren Gebäude in Höhe und Lage unterschiedlich generalisiert wurden, und wiesen nach, dass die Generalisierung der Gebäude zu signifikant unterschiedlichen sichtbaren Flächen führt. Folglich sind für belastbare Aussichtsrechnungen präzise modellierte Gebäude unerlässlich. Hier stösst die Viewshed-Methode jedoch an ihre Grenzen, da sie als 2.5D-Ansatz Landschaftselemente mit dreidimensionalen Strukturen nur beschränkt berücksichtigen kann und hochauflösende Höhenmodelle zu sehr hohen Rechenzeiten führen (für eine kritische Betrachtung der Viewshed-Methode vgl. Kap. 4.3). Entsprechend herrscht in der Literatur Konsens darüber, dass die Anwendung der Viewshed-Methode für Sichtbarkeitsberechnungen in bebauten Gebieten inadäquat ist (z.B. BISHOP 2003:677, LLOBERA 2003:29, YANG et al. 2007:973).

Tabelle 2-2 zeigt zudem, dass neben der Viewshed-Methode auch in neueren Studien die Aussicht überraschend häufig durch aufwändige Besichtigungen von Sachverständigen eingeschätzt wird. HACKL (2009) ermittelte die Aussichtsmerkmale von Wohnungen mithilfe einer Analyse der Bildpunkte terrestrischer Fotografien. Wegen des «äusserst hohen Bearbeitungsaufwands» (HACKL 2009:227) musste er den Stichprobenumfang auf weniger als 250 Beobachtungen beschränken. Die Effizienz und Praxistauglichkeit von Besichtigungen und Fotoanalysen als Methoden zur Ermittlung der Aussicht sind nur beschränkt gegeben.

## **2.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung aus Theorie und Forschungsstand**

Die hedonische Preismethode geht von der Grundidee aus, dass sich das heterogene Gut Wohnung aus einem Bündel einzelner nutzenstiftender Merkmale zusammensetzt, für die implizite Preise bestehen. Diese Preise lassen sich aus beobachtbaren Marktdaten regressionsanalytisch berechnen und geben Rückschlüsse auf die Präferenzen der Mieter für die einzelnen Wohnungsmerkmale.

Die preisbestimmenden Struktur- und Lagemerkmale einer Wohnung sind mittlerweile gezielt erforscht worden. Bei vielen Merkmalen besteht in der Literatur eine allgemeine Anerkennung. Studien, in welchen die Aussicht als erklärende Variable in das hedonische Modell integriert wurde, kamen mehrheitlich zum Schluss, dass die Aussicht einen signifikanten Einfluss auf die Miet- und Kaufpreise von Immobilien hat. Die Richtung und das Ausmass des Einflusses hängen im Wesentlichen davon ab, welche Landschaftselemente die Aussicht dominieren und wie weit entfernt sie sich befinden. Naturnahe Landschaftselemente im Sichtfeld haben im Allgemeinen eine preissteigernde, anthropogene Elemente

eine preissenkende Wirkung. Es besteht weitgehend Konsens, dass die Preiswirkung mit zunehmender Entfernung eines Elementes vom Betrachter abnimmt. Wenig erforscht ist die Rolle des Himmels bei der Präferenzbildung. Ihr Anteil an der Aussicht ist möglicherweise eine Preisdeterminante und führt bei einer Berücksichtigung im hedonischen Modell zu einer besseren Erklärung der Preise.

Die Ermittlung der Aussicht erfolgte in neueren Studien mehrheitlich mittels Methoden der Geoinformatik. Als zugrunde gelegte räumliche Daten wurden neben dem Gelände vereinzelt auch digitale Repräsentationen der Gebäude eingesetzt. Letztere sind aber oft stark generalisiert, so dass die modellierte Aussicht teilweise stark von der tatsächlichen abweicht und die Resultate der hedonischen Modelle möglicherweise verfälscht. Mittlerweile stehen für viele Städte präzisere Gebäudemodelle zur Verfügung. Es besteht ein Forschungsdefizit hinsichtlich der Frage, ob unterschiedlich detaillierte Stadtmodelldaten zu signifikant abweichenden Resultaten führen. Ein systematischer Vergleich von Sichtbarkeitsberechnungen unterschiedlich detaillierter Datenbasen scheint daher angebracht.

Untersuchungen im Kontext der Sichtbarkeit im Allgemeinen und der Aussicht in hedonischen Modellen im Speziellen wenden vorwiegend die 2.5D-Viewshed-Analyse an. Der Einsatz genauer 3D-Daten zu Gebäuden und Bäumen stellt jedoch die Eignung der Viewshed-Analyse zur Sichtbarkeitsberechnung im Siedlungsgebiet in Frage. Alternative 3D-fähige Sichtbarkeitsanalysen könnten nicht nur die Genauigkeit der Resultate steigern, sondern auch neue, den dreidimensionalen Sichtraum beschreibende Masszahlen generieren (z.B. das Sichtvolumen). Es stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen solchen Aussichtsmerkmalen und der Zahlungsbereitschaft von Wohnungsmietern sowie nach der Praktikabilität solcher 3D-fähigen Methoden. Hier knüpfen das Ziel dieser Arbeit und die in Kap. 1.2 formulierten Forschungsfragen an.

### 3 3D-Stadtmodellierung

3D-Stadtmodelle und ihre unterschiedlichen Detaillierungen stellen einen zentralen Aspekt der Zielsetzung dieser Arbeit dar. Sie bilden die wesentliche Datengrundlage für die rechnergestützte Beantwortung der Frage, welcher Teil der Landschaft von einer Wohnung einsehbar ist. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Grundlagen zu 3D-Stadtmodellen und ihrer Modellierung zusammengefasst und zentrale Begriffe, die bei der Beschreibung der Sichtbarkeitsanalysen und in der empirischen Untersuchung wieder aufgegriffen werden, erläutert.

#### 3.1 3D-Stadtmodelle

Digitale 3D-Stadtmodelle sind raumbezogene dreidimensionale Modelle, welche die natürlichen und künstlichen Elemente der Landschaft digital abbilden (BILL 2010:255). Die Modellierung realweltlicher Objekte in einem 3D-Stadtmodell ist nicht – wie der Name vermuten lässt – den urbanen Landschaften vorbehalten. Auch ländliche Gebiete können in virtuellen Modellen dreidimensional abgebildet werden, wobei im Vergleich zur städtischen Umgebung die Repräsentationen der natürlichen Bestandteile der Landschaft dominieren (z.B. das Gelände) und anthropogene Elemente (z.B. Gebäude) eine untergeordnete Rolle spielen. Obwohl hierfür gelegentlich die Bezeichnung „3D-Landschaftsmodell“ Verwendung findet, wird in dieser Arbeit unabhängig vom Landschaftsgehalt von 3D-Stadtmodellen gesprochen.

3D-Stadtmodelle konnten in den letzten Jahren einer breiten Nutzung zugeführt werden. Zu den schwerpunktmässigen Anwendungen von 3D-Stadtmodellen zählen beispielsweise die städtebauliche Planung, virtuelle Globen, Computerspiele, Navigationssysteme, Modellierung von Lärm- und Luftschadstoffausbreitungen, Solarpotenzialanalysen, Marketing im Immobiliensektor und Sichtbarkeitsanalysen. Standen bisher Visualisierungen im Vordergrund, werden 3D-Stadtmodelle heute vermehrt für Simulationen und analytische Zwecke eingesetzt.

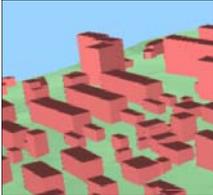
3D-Stadtmodelle bestehen wahlweise aus folgenden thematischen Komponenten: Gelände, Gebäude, Vegetation, Gewässer, Strassenmöblierung, etc. Neben dem Gelände als Referenzfläche bilden für die meisten Anwendungen die Gebäude den wichtigsten Bestandteil eines 3D-Stadtmodells (KADA 2007:12). Ferner werden Oberflächencharakteristika wie künstliche oder photographische Texturen oder Farben aus zweidimensionalen Bodennutzungsdaten als Informations- oder Gestaltungselemente in die Modelle integriert. Wurden früher 3D-Stadtmodelle als reine geometrische oder graphische Modelle erstellt, werden

heute zunehmend auch topologische und semantische Aspekte modelliert (z.B. Klassifizierung von Objekten) und damit neue Anwendungsfelder erschlossen.

Für die Speicherung und den Austausch digitaler 3D-Stadtmodelle und seiner Komponenten stehen verschiedene Datenmodelle und -formate aus dem Umfeld der Geoinformatik und der Computergraphik zur Verfügung (für eine Übersicht siehe BILL 2010). Für Anwendungen im Bereich der Geoinformatik hat sich in den letzten Jahren die City Geography Markup Language (CityGML) etabliert. CityGML ist ein auf den ISO-Standards 191xx basierendes Anwendungsschema für die Modellierung, Erfassung und den Austausch raumbezogener Objekte von 3D-Stadtmodellen (BILL 2010:256). Seit 2008 ist CityGML ein durch das Open Geospatial Consortium (OGC) anerkannter Standard (GRÖGER et al. 2008). CityGML ist modular aufgebaut und ermöglicht wahlweise die Berücksichtigung verschiedener Themen (Gelände, Gebäude, Vegetation, Gewässer, Strassenmöblierung, Verkehrsflächen, etc.). Sie unterstützt neben der massstäblichen Repräsentation der Geometrie eines Objekts auch ihre topologischen Beziehungen, die optische Erscheinung ihrer Oberfläche sowie semantische Informationen. Damit sind in CityGML modellierte Stadtmodelle grundsätzlich geeignet, um geometrische Fragestellungen mittels räumlicher Analysemethoden zu lösen.

CityGML ist als Multiskalen-Repräsentation konzipiert und ermöglicht die Abbildung der Objekte in fünf diskreten Detaillierungsgraden (Level of Detail, LoD). Mit den verschiedenen LoD werden die unterschiedlichen Anforderungen der Anwendungen von 3D-Stadtmodellen an die Detaillierung und die Genauigkeit der Daten abgedeckt. Die Tabelle 3-1 beschreibt den wesentlichen Inhalt, den Betrachtungsmaßstab und Richtwerte zur Genauigkeit der Detaillierungsgrade LoD 0 bis LoD 4. Mit zunehmendem Detaillierungsgrad nehmen der Betrachtungsmaßstab und die absolute Genauigkeit zu, während der Abstraktionsgrad abnimmt. Die 3D-Objekte und das Gelände können in einem CityGML Datensatz gleichzeitig in mehreren Detaillierungsgraden repräsentiert werden (GRÖGER et al. 2008:9). Dies ermöglicht effiziente Visualisierungen, Abfragen und Analysen, in dem beispielsweise nahe am Beobachter befindliche Gebäude in einem hohen und entferntere in einem tiefen Detaillierungsgrad eingesetzt werden.

**Tabelle 3-1: Levels of Detail gemäss CityGML (verändert nach GRÖGER et al. 2008:9f.)**

Abbildung	Level of Detail	Betrachtungsmassstab	Inhalt	absolute Genauigkeit (Lage / Höhe)
	LoD 0	Region	Digitales Geländemodell mit Textur (Orthofoto oder Flächennutzung)	>5 m / >5 m
	LoD 1	Region, Stadt	Gebäude als Blockmodell ohne Dachstrukturen und ohne Texturen	5 m / 5 m
	LoD 2	Stadt, Stadtquartier	Texturierte Gebäude mit differenzierten Dachstrukturen	2 m / 2 m
	LoD 3	Gebäudegruppe, Einzelobjekt	Geometrisch fein ausdifferenzierte Architekturmodelle	0.5 m / 0.5 m
	LoD 4	Einzelobjekt	Geometrisch fein ausdifferenzierte Architekturmodelle mit „begehbaren“ Innenräumen	0.2 m / 0.2 m

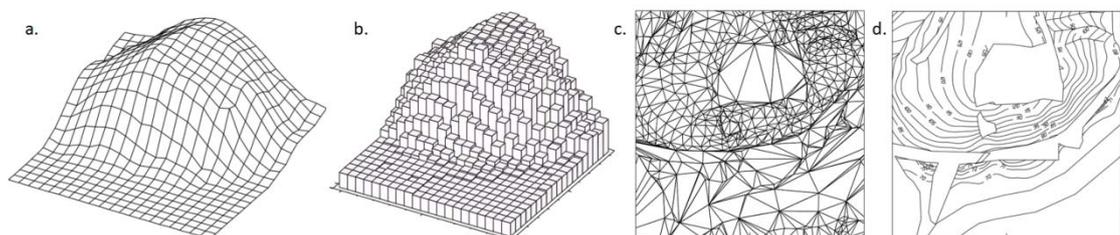
### 3.2 Modellierung der Komponenten von 3D-Stadtmodellen

3D-Stadtmodelle vereinen einzelne thematische Komponenten, die in der Regel unabhängig voneinander und geometrisch unterschiedlich modelliert werden.

Das **digitale Geländemodell (DGM)** repräsentiert die kontinuierliche Form der Erdoberfläche ohne Bewuchs und künstliche Objekte in einer datenverarbeitungsgerechten Form (MILLER & LAFLAMME 1958:434f.). Es beschreibt die für den Anwendungszweck relevanten Phänomene der Geländemorphologie. Darunter fallen markante Einzelpunkte, Bruchkanten, Kammlinien und Muldenlinien, im urbanen Gebiet auch künstlich geschaffene Strukturen wie beispielsweise Strassenböschungen, Garageneinfahrten oder Stützmauern. Bei Gewässern beschreibt das DGM definitionsgemäss den Gewässergrund, in der Praxis

diskretisiert das DGM aber oft die Wasseroberfläche. In der Literatur werden für die digitale Repräsentation der Erdoberfläche neben dem DGM auch Begriffe wie Digitales Höhenmodell (DHM), Digitales Terrainmodell (DTM) oder Digitales Geländehöhenmodell (DGHM) verwendet, jedoch nur teilweise synonym und nicht einheitlich (BILL 2010:361, LENK 2001:32). In dieser Arbeit wird in diesem Zusammenhang nur der Begriff DGM verwendet.

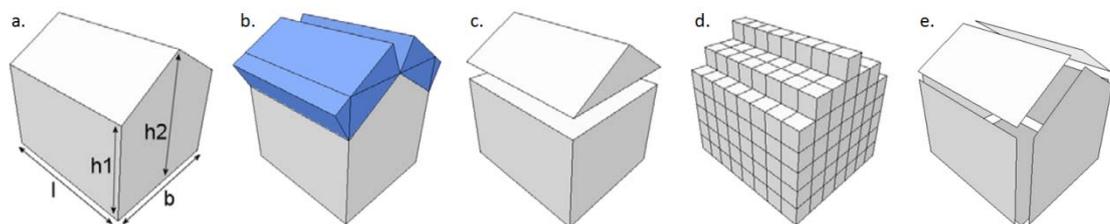
Die digitale Geländemodellierung kann in drei grundlegenden Datenmodellen vorgenommen werden: Gitter-, Dreiecks- und Höhenliniendatenmodell. Beim Gittermodell erfolgt die Diskretisierung des Geländes durch regelmässig angeordnete Stützpunkte mit Höheninformationen (Abbildung 3–1 a.). Eine Variante des Gittermodells stellt das Rastermodell dar, das die Erdoberfläche mit gleichmässigen, den Höhenwert tragenden Flächenelementen (Pixel) abbildet (Abbildung 3–1 b.). Das Dreiecksmodell setzt sich aus unregelmässig verteilten Stützpunkten zusammen, die zu Dreiecken vermascht werden und im Vektorformat als Triangulated Irregular Network (TIN) gespeichert werden (Abbildung 3–1 c.). Beim Höhenlinienmodell beschreiben Verbindungslinien benachbarter Geländepunkte gleicher Höhe die Form der Erdoberfläche (Abbildung 3–1 d.). Höhenlinien dienen hauptsächlich der Geländevisualisierung in 2D-Darstellungen und werden in dieser Arbeit nicht behandelt. Bei allen drei Datenmodellen handelt es sich um zweieinhalbdimensionale (2.5D) Ansätze. Sie erlauben zu jeder Koordinate in der Ebene (X, Y) genau einen Höhenwert (Z). Damit sind senkrechte oder überhängende Strukturen nicht modellierbar, da diese mehrere Z-Werte pro X/Y-Koordinatenpaar erfordern. Weiterführende Grundlagen zu diesen Datenmodellen sind in Nachschlagewerken der GIS-Literatur zu finden (z.B. LONGLEY et al. 1999, BILL 2010).



**Abbildung 3–1: Datenmodelle zur Abbildung des Geländes: a. Gittermodell, b. Rastermodell, c. Dreiecksmodell, d. Höhenlinienmodell (nach LENK 2001:32f.)**

Unter einem **Gebäudemodell** versteht man die digitale Abbildung eines konkreten Gebäudes (CLEMEN 2010:13). Im Gegensatz zum Kontinuum Gelände sind Gebäude diskrete Phänomene mit wohldefinierten Abgrenzungen nach allen Seiten. Für ihre Repräsentation in digitaler Form sind wegen ihren räumlichen Ausprägungen dreidimensionale Modellie-

rungsansätze heranzuziehen. Die Festkörpermodellierung befasst sich mit der geometrischen Modellierung von physikalisch festen, dreidimensionalen Körpern und lässt sich für die Gebäudemodellierung anwenden (KADA 2007:12). MÄNTYLÄ (1988) unterscheidet die Festkörpermodelle in konstruktive Modelle, Dekompositionsmodelle und Randbeschreibung. Bei konstruktiven Modellen werden 3D-Objekte mittels Konstruktionsoperationen aus einfacheren Objekten modelliert (CLEMEN 2010:18). Eine Unterkategorie der konstruktiven Modelle ist die Parameterdarstellung, bei welcher das Objekt durch eine Anzahl von Parametern (z.B. Breite des Grundrisses oder Traufenhöhe) beschrieben wird (Abbildung 3–2 a.).



**Abbildung 3–2: Datenmodelle zur Abbildung der Gebäude: a. Parameterdarstellung, b. Konstruktion mit Raumprimitiven, c. Zellenzerlegung, d. Enumerationsverfahren, e. Randbeschreibung (nach KADA 2007:13-15)**

Ebenfalls zu den konstruktiven Modellen gehört die Konstruktion mit Raumprimitiven, die das abzubildende Gebäude aus einer mengentheoretischen Kombination analytischer Grund- oder Profilkörper modelliert (Abbildung 3–2 b.). Die Dekompositionsmodelle beschreiben 3D-Objekte als Kombination nicht überlappender, elementarer Bausteine. Dazu gehört das Verfahren der Zellenzerlegung (Abbildung 3–2 c.), die ein 3D-Objekt nach dem „Baukastenprinzip“ aus einfacheren Bausteinen wie Würfeln oder Tetraedern zusammensetzt (BREUNIG 2005:42). Ein Spezialfall der Zellenzerlegung ist das Enumerationsverfahren. Der Festkörper wird hier aus gleichförmigen Zellen (Voxel) aufgebaut, die in einem festen regulären Raumgitter angeordnet sind (Abbildung 3–2 d.). Das Enumerationsverfahren ist die dreidimensionale Analogie zum 2D-Rastermodell. Bei der Randbeschreibung wird die Geometrie des Körpers durch seine umhüllende Begrenzungselemente beschrieben (Abbildung 3–2 e.). Begrenzungselemente bilden Flächen, Linien, Punkte oder analytische Funktionen. Für vertiefende Grundlagen zur Festkörpermodellierung sei auf allgemeine Nachschlagewerke hingewiesen (z.B. HOFFMANN 1989, SAMET 2006).

Welches der beschriebenen Datenmodelle zur Modellierung der Gebäude verwendet wird, hängt hauptsächlich von der konkreten Anwendung der Daten ab. In der Praxis werden Gebäude unabhängig von ihrer ursprünglichen Modellierungsart für die Speicherung und

den Austausch in eine Randbeschreibung umgewandelt (KADA 2007:16). Beispielsweise basiert das Geometriemodell Geography Markup Language 3, das im CityGML-Format Verwendung findet, auf der Randbeschreibung (GRÖGER et al. 2008:23).

Die weiteren Komponenten eines 3D-Stadtmodells (z.B. Gewässer, Brücken oder Bäume) können grundsätzlich wie die Gebäude mit Festkörpermodellen beschrieben werden. Beispielsweise kann eine Brücke in Zellenzerlegung mit prismatischen Körpern und die Umhüllende eines Baumes in Randbeschreibung mit planaren oder gekrümmten Flächen modelliert werden. Da diese Komponenten in dieser Arbeit nur eine untergeordnete Rolle spielen, wird ihre geometrische Modellierung nicht weiter beschrieben.

## 4 Methoden der Sichtbarkeitsbestimmung

Die Aussicht ist eine visuelle Sinneswahrnehmung an einem bestimmten Ort. Sichtbarrieren wie das Gelände oder die Bebauung agieren als Filter der visuellen Wahrnehmung und unterteilen die Umgebung eines Betrachters in einen sichtbaren und unsichtbaren Teil. Nur der sichtbare Teil der Landschaft trägt unmittelbar zum Erleben einer Aussicht bei. In diesem Kapitel werden verschiedene Sichtbarkeitsanalysen beschrieben und diskutiert. Sie klären die Frage, welche Objekte der Landschaft von einem bestimmten Ort aus sichtbar sind. Der Fokus liegt auf Methoden, die in gängigen GIS implementiert sind und dreidimensionalen Daten als Sichthindernisse einbeziehen können. Gemäss Zielsetzung dieser Arbeit besteht ein Anspruch auf Effizienz und Praxistauglichkeit des zu entwickelnden Lösungsansatzes. Methoden, die diesem Ziel widersprechen, werden nicht betrachtet (z.B. Analyse von Fotografien). Aus dem Ergebnis der Sichtbarkeitsanalysen können verschiedene Masszahlen abgeleitet werden, welche den Sichtraum bzw. die sichtbare Landschaft quantitativ beschreiben. Diese Masszahlen fungieren als mutmassliche Indikatoren für die Qualität der Aussicht und können als Variablen im hedonischen Modell auf ihre Preiswirksamkeit untersucht werden.

### 4.1 Sichtlinienanalyse

Die Sichtlinienanalyse (Line of Sight Analysis, LoS) prüft die Sichtbeziehung von zwei Punkten im Raum. Die beiden Punkte sind gegenseitig sichtbar, wenn eine die Punkte verbindende Gerade kein Sichthindernis schneidet (LEE 1991:414). Ist dies nicht der Fall, sind die beiden Punkte gegenseitig nicht sichtbar. In realweltlichen Fragestellungen repräsentiert einer der beiden Punkte den Standort eines Beobachters, der andere den Standort eines auf Sichtbarkeit zu überprüfenden Zielobjekts (Abbildung 4–1). Mögliche Sichthindernisse sind das Terrain, die Vegetation und Objekte der bebauten Umwelt.

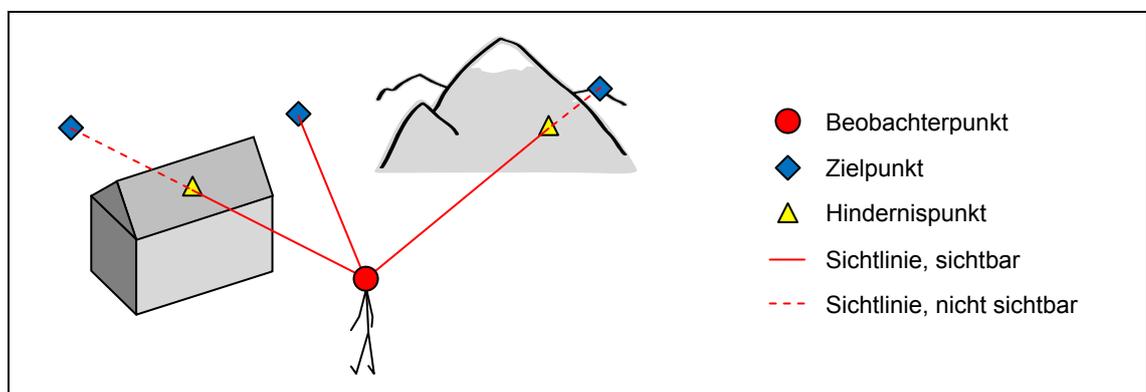


Abbildung 4–1: Sichtlinienanalyse

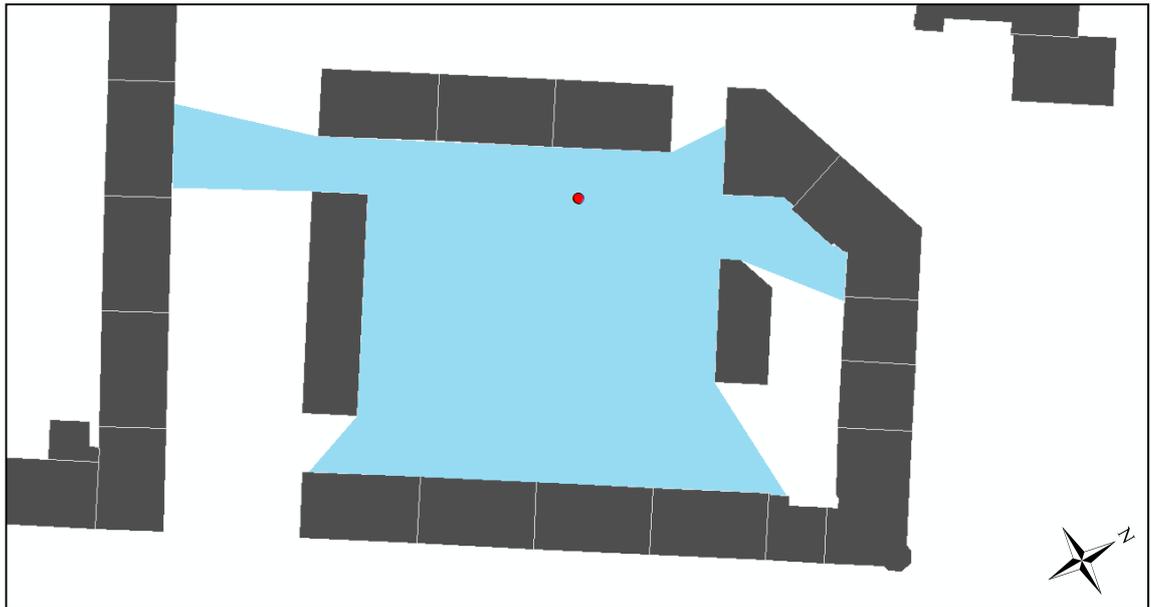
In den letzten 30 Jahren wurden verschiedene Algorithmen entwickelt, um die Sichtbarkeit einer LoS bezogen auf ein Terrain zu bestimmen. Der grundlegende Algorithmus vergleicht schrittweise die Höhen der LoS mit jenen des Terrains an derselben horizontalen Lage. Liegt das Terrain an wenigstens einer Stelle über der LoS, ist der Zielpunkt vom Beobachterpunkt aus nicht sichtbar. Liegt das Terrain an jeder Stelle unterhalb der LoS, ist der Beobachterpunkt sichtbar (FISHER 1993:333). Alternative Algorithmen zielen häufig darauf ab, die erforderliche Rechenzeit zu reduzieren, wobei oft ein Genauigkeitsverlust in Kauf genommen wird. Sind neben dem Terrain auch 3D-Objekte als Sichthindernisse zu berücksichtigen, erfolgt die Prüfung auf Sichtbarkeit mittels analytischer Geometrie. Die LoS wird sequentiell mit den einzelnen Flächen der 3D-Objekte geometrisch geschnitten. Liegt ein Schnittpunkt vor, verhindert das 3D-Objekt die Sicht vom Beobachterpunkt auf den Zielpunkt. Die Lage des Schnittpunkts wird ermittelt durch Gleichsetzen der Parametergleichung der LoS ( $\vec{x} = \vec{p} + r \cdot \vec{u}$ ) mit jener der Ebene des 3D-Objekts ( $\vec{x} = \vec{q} + s \cdot \vec{v} + t \cdot \vec{w}$ ).

In gängigen GIS erfordert die Sichtlinienanalyse als Eingangsdaten eine Sichtlinie in 2D oder 3D, ein digitales Terrainmodell als Raster- oder TIN-Datensatz und wahlweise auch 3D-Objekte. Die Analyse erzeugt als Ergebnis die in sichtbare und unsichtbare Segmente aufgeteilte Sichtlinie und die in der Folge als Hindernispunkte bezeichneten Schnittpunkte der Sichtlinie mit dem Terrain und den 3D-Objekten. Die atmosphärischen Bedingungen (Nebel, Dunst, Luftverschmutzung, etc.) und die physiologischen Limitierungen des menschlichen Sehapparats (Auflösungsvermögen und Sehschärfe in Abhängigkeit von Entfernung, Helligkeit und Kontrast des Zielobjekts) schränken die Sichtbarkeit von Objekten ein. Diese Einschränkungen werden in gängigen GIS nicht berücksichtigt, so dass das Ergebnis der Sichtlinienanalyse als theoretische Sichtbarkeit zu interpretieren ist.

## 4.2 Isovist-Analyse

Das Konzept der Isovist-Analyse geht auf die Untersuchungen von TANDY (1967) und BENEDIKT (1979) auf dem Gebiet der Architektur zurück, die diese Methode der Sichtfeldanalyse erstmals beschrieben und mathematisch abstrahierten. Unter Isovist wird die Menge aller Punkte in einem Raum verstanden, welche von einem Beobachterpunkt sichtbar sind (BENEDIKT 1979:49). BENEDIKT beschrieb diesen Raum als Analogie zum ausgeleuchteten Raum, wenn man an der Stelle des Beobachterpunkts eine Lichtquelle platzieren würde. Obwohl BENEDIKT die Isovists im drei- und vierdimensionalen Raum definierte,

werden sie normalerweise als zweidimensionale Polygone verstanden (Abbildung 4–2), die durch den Beobachterpunkt parallel zur Oberfläche verlaufen (LLOBERA 2003:26).



**Abbildung 4–2: Zweidimensionales Isovist-Sichtfeld (blau) eines Beobachterpunkts (rot), am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Grundlagendaten: Stadtverwaltung Zürich**

Rechnergestützte Isovist-Analysen bauen auf dem LoS-Algorithmus auf. Das resultierende Sichtfeld wird bestimmt durch die sichtbaren Teile einer infiniten Anzahl Sichtlinien, die konzentrisch und horizontal vom Beobachterpunkt in alle Richtungen laufen.

Isovist-Analysen werden vorwiegend in kleinräumigen urbanen Umgebungen eingesetzt. Untersuchungsgegenstand einer Vielzahl von Studien ist die städtische Baustruktur und ihr Einfluss auf die Landschaftswahrnehmung. Die Gebäude werden oft als einzige das Sichtfeld einschränkende Objekte herangezogen. Das Sichtfeld kann durch numerische Merkmale ihrer Form beschrieben werden, beispielsweise die Fläche, der Umfang oder die Kompaktheit (BENEDIKT 1979) oder die minimale, durchschnittliche und maximale Sichtdistanz (BATTY 2001). BATTY argumentierte, dass die Kenntnis darüber, wie weit und wie viel man sieht, ein zentraler Schlüssel für eine hohe städtebauliche Qualität darstellt.

### 4.3 Viewshed-Analyse

Die Viewshed-Analyse ist neben der Isovist-Analyse die zweite klassische Methode der Sichtbarkeitsbestimmung. Sie ermittelt das von einem Beobachterpunkt einsehbare Terrain (LYNCH 1976:99). Die Viewshed-Analyse gehört zu den Standardfunktionalitäten in heutigen GIS und wird in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern eingesetzt, beispielsweise

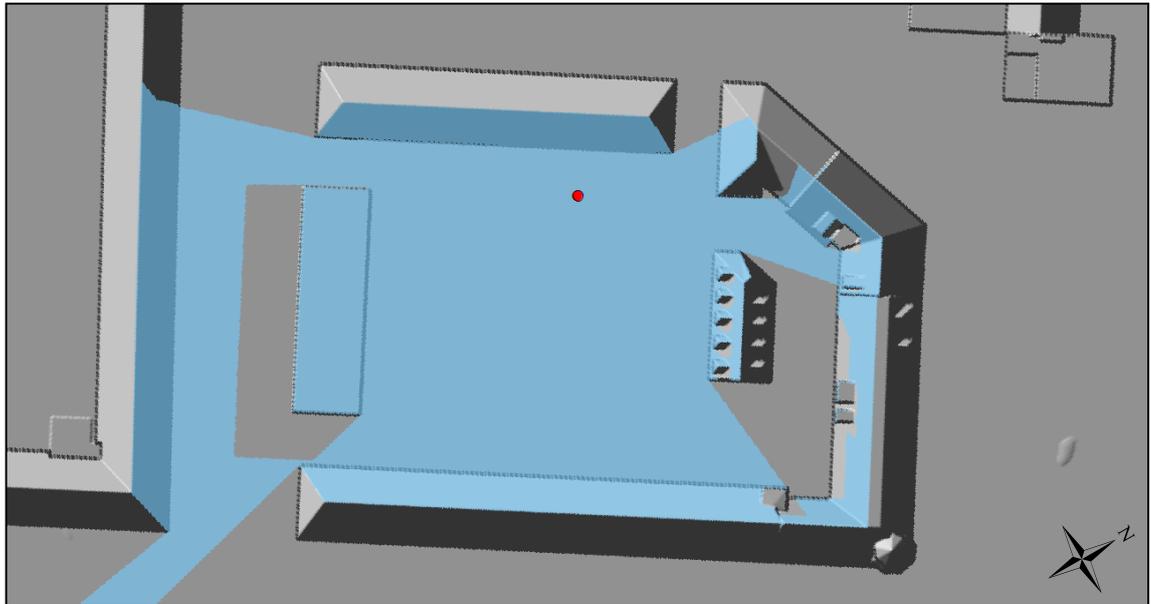
zur Ermittlung geeigneter Standorte von Telekommunikationsanlagen (DE FLORIANI et al. 1994), zur Analyse von archäologischen Stätten (WHEATLEY 1995), in militärischen Anwendungen (RAEHTZ 2011) oder in der Immobilienbewertung (LAKE et al. 2000a).

Ausgangslage der Viewshed-Analyse ist ein Beobachterpunkt und ein die umliegende Topographie repräsentierendes digitales Geländemodell. Die Viewshed-Analyse überprüft die Sichtbeziehungen des Beobachterpunkts mit jeder einzelnen, als Zielpunkt zu verstehenden Zelle des rasterbasierten digitalen Geländemodells. Das Resultat ist ein mit 1 und 0 kodierter binärer Rasterdatensatz, der die vom Beobachterpunkt sichtbaren und unsichtbaren Gebiete des Terrains flächenhaft darstellt (FISHER 1993:332). Die Viewshed-Analyse bedient sich der LoS-Methode und führt sie in sequentieller Weise für jede Verbindung zwischen dem Beobachterpunkt und den einzelnen Rasterzellen aus (für eine Übersicht über Viewshed Algorithmen vgl. DE FLORIANI & MAGILLO 2003). Die flächenhafte Darstellung der sichtbaren und unsichtbaren Gebiete im Ergebnisdatensatz soll nicht darüber hinweg täuschen, dass die Kenntnis über die Sichtbarkeit streng genommen nur punktuell, i.d.R. für die Mittelpunkte der Rasterzellen, vorliegt. Weniger verbreitet und in kommerziellen GIS selten implementiert sind Algorithmen, die auf Geländerepräsentationen in der TIN Datenstruktur basieren (z.B. DEAN 1997).

Bei der Viewshed-Analyse handelt es sich um ein 2.5D-Verfahren. Dies ist in der zugrundeliegenden TIN- oder rasterbasierten Abstraktion des Geländes begründet, die datenmodellbedingt nur ein Höhenwert zu jeder Koordinate in der Ebene zulässt. 3D-Objekte mit Mehrdeutigkeiten hinsichtlich der Höhe (z.B. Gebäude) und Objekte, die über dem Terrain „schweben“ (z.B. Brücken und Balkone), können in Viewshed-Analysen nicht einbezogen werden. Diese Limitierung lässt sich in der Praxis ansatzweise umgehen, indem die relativen Höhen der 3D-Objekte mit dem DGM aufsummiert werden. Das resultierende TIN- oder rasterbasiertes digitales Oberflächenmodell wird als Eingangsdatensatz in der Viewshed-Analyse verwendet. Dieser Workaround<sup>11</sup> wird oft bei Sichtbarkeitsanalysen im Siedlungsraum praktiziert, wo die Gebäude bedeutende Sichthindernisse darstellen und nicht vernachlässigt werden dürfen (z.B. LAKE et al. 2000a, SANDER & MANSON 2007). Ein Beispiel einer 2.5D-Viewshed-Analyse in einem bebauten Gebiet ist in Abbildung 4–3 ersichtlich.

---

<sup>11</sup> Umgehungslösung



**Abbildung 4–3: 2.5D-Viewshed (blau) eines Beobachterpunkts (rot), am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Grundlage ist ein rasterbasiertes Oberflächenmodell mit einer Auflösung von 0.2 m, bestehend aus einem DGM und Gebäudedaten LoD 2, dargestellt als Schummerungsbild (Hillshade). Grundlagendaten: Stadtverwaltung Zürich**

Auch wenn dieses Vorgehen bei gewissen Fragestellungen zielführend sein kann und belastbare Resultate liefert, weist es einige gewichtige Nachteile auf: Erstens können Objekte mit multipel auftretenden Z-Werten wegen der geforderten vertikalen Eindeutigkeit in einem 2.5D-Oberflächenmodell nicht abgebildet werden. Darunter fallen insbesondere im Siedlungsraum auftretende, anthropogene Landschaftselemente wie beispielsweise überkragende Dächer oder Brücken. Zweitens beinhaltet das Resultat einer rasterbasierten Viewshed-Analyse keine Aussage über die Sichtbarkeit vertikaler Strukturen wie Wände von Gebäuden oder Stützmauern, da deren horizontale Projektion auf ein- und dieselbe Rasterzelle fällt. Insbesondere für Sichträume in Siedlungen, die häufig von Gebäudefassaden geprägt sind, bleibt mit diesem Ansatz die Frage offen, ob diese Fassaden vom Beobachterpunkt gänzlich, teilweise oder gar nicht sichtbar sind. Drittens führt eine Umwandlung von vektorbasierten 3D-Objekten in ein Rasterformat immer zu einem Genauigkeitsverlust. Sollen beispielsweise hochauflösende vektorbasierte Dachstrukturen von 3D-Stadtmodellldaten des Detaillierungsgrads 2 ohne grosse Genauigkeitseinbusse in Rasterform abgebildet werden, ist eine Rasterauflösung im Submeterbereich erforderlich. Beinhaltet das auf Sichtbarkeit zu prüfende Gebiet wie in der vorliegenden Untersuchung mehrere hundert km<sup>2</sup> und sind die Sichtbarkeitsanalysen für mehrere tausend Beobachterpunkte durchzuführen, führt dies zu sehr hohen Rechenzeiten und widerspricht der Zielsetzung dieser Arbeit, einen effizienten und praxistauglichen Lösungsansatz zu verfolgen. Viertens handelt es sich bei der

Viewshed-Methode um einen planimetrischen Ansatz, der die abstands- und ausrichtungsbedingte Konstellation zwischen dem Beobachterpunkt und dem sichtbaren Objekt nicht berücksichtigt. Bei der perspektivischen visuellen Wahrnehmung des Menschen hängt der visuelle Effekt eines Objektes jedoch massgebend davon ab, in welcher Entfernung und in welcher Ausrichtung das Objekt zum Beobachter steht (IVERSON 1985:16). Die aus der Viewshed-Analyse abgeleiteten Flächenanteile entsprechen nicht denjenigen des wahrgenommenen Bildes auf der Netzhaut des Beobachters. Zwar lässt sich dieses Missverhältnis nachträglich trigonometrisch korrigieren, was aber in den allermeisten Untersuchungen nicht erfolgt (Ausnahmen bilden z.B. BISHOP et al. 2004 und GRÉT-REGAMEY et al. 2007).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass eine rasterbasierte 2.5D-Abstraktion den Formen urbaner Landschaftselemente nur ungenügend Rechnung trägt und die Sichtbarkeitsberechnung mittels der Viewshed-Analyse für die vorliegende Arbeit als nicht geeignet eingestuft wird. Die gegenständliche Fragestellung und die zugrundeliegenden Daten erfordern einen dreidimensionalen Methodenansatz.

## **4.4 3D-Sichtraumanalyse**

### **4.4.1 Methode**

Methoden zur Ermittlung von dreidimensionalen Sichträumen sind Gegenstand neuerer Studien und wurden bis anhin noch nicht als Werkzeuge in kommerzielle GIS implementiert. Viele dieser Ansätze gehen auf die Theorie der Isovist zurück und werden mehrheitlich zur Erforschung der Landschaftswahrnehmung im urbanen Raum eingesetzt. Ausgehend vom aktuellen Forschungsstand wird in diesem Kapitel eine dreidimensionale Sichttraumanalyse entworfen.

BOSELDMANN (1998 zit. in YANG et al. 2007:973) war einer der ersten, der eine dreidimensionale sphärische Sichtraumanalyse rechnergestützt implementierte und erfolgreich testete. Er ermittelte unter anderem den „Sky View Factor“ als quantitatives Mass des Sichtraums. FISHER-GEWIRTZMAN et al. (2003a, 2003b, 2005) führten den „Spatial Openness Index“, ein metrisches Mass zur Beschreibung des sichtbaren Raums, ein. Der Index entspricht dem Volumen des von einem Beobachterpunkt aus sichtbaren Raums und wurde von FISHER-GEWIRTZMAN et al. als Indikator für die Dichte kleinräumiger urbaner Aussenräume und ihrer Durchlässigkeit mit Sonnenlicht und Luft herangezogen. FISHER-GEWIRTZMAN et al. setzten ein voxelbasiertes 3D-Computermodell ein und stellten fest, dass die vom Menschen wahrgenommene Bebauungsdichte mit dem dreidimensional bestimmten Spatial

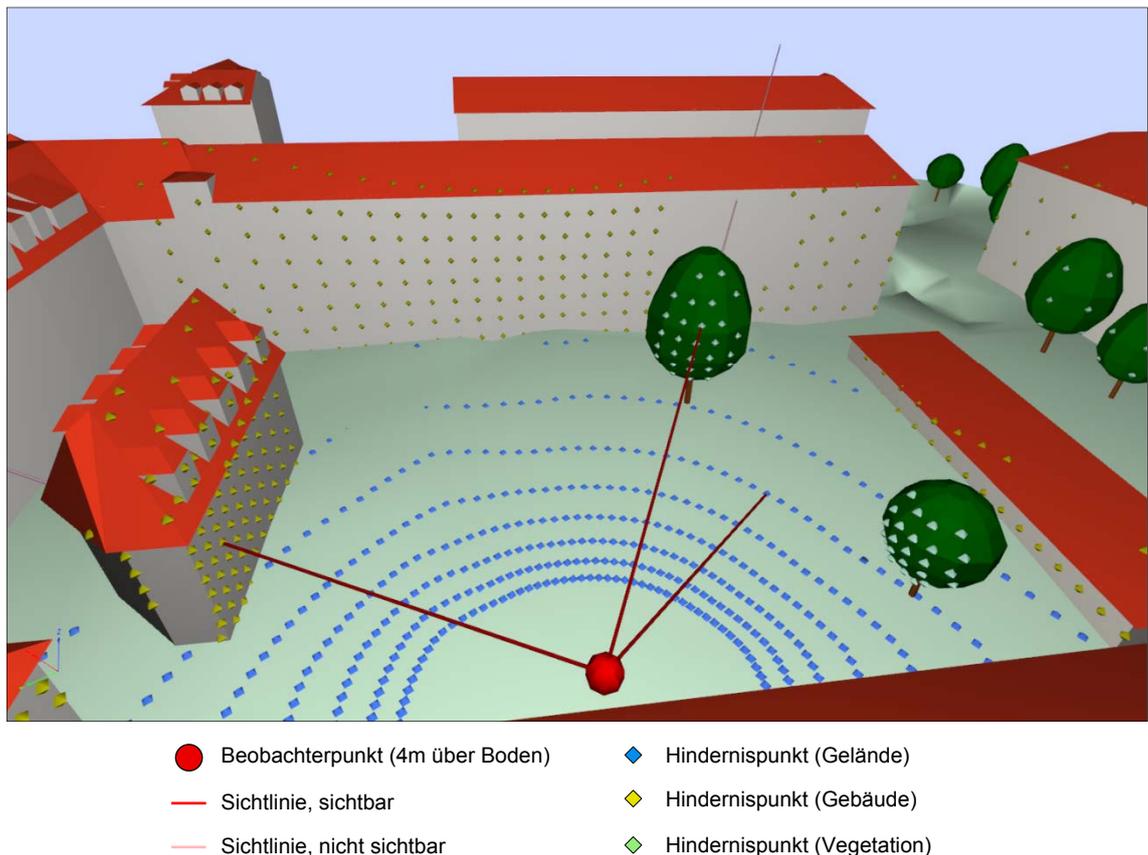
Openness Index besser quantifiziert werden kann als mit Masszahlen aus traditionellen 2D-Methoden.

PUTRA & YANG (2005) und YANG et al. (2007) entwickelten ein GIS-basiertes Instrument zur Analyse der räumlichen Wahrnehmung im städtischen Umfeld. Das Instrument ermittelt mithilfe von Sichtlinien, die strahlenförmig vom Beobachterpunkt wegführen, die dreidimensionale Form des Sichtraums. Als Datengrundlage wurde ein TIN-basiertes Oberflächenmodell verwendet, welches Gebäude- und Geländedaten enthielt. PUTRA & YANG beschrieben und analysierten eine Reihe von quantitativen Eigenschaften des Sichtraums, unter anderem den Indikator „Volume of Sight“, der dem Volumen des sichtbaren Raums entspricht. Mit einer Befragung konnten PUTRA & YANG die Eignung des Sichtvolumens als Indikator für die räumliche Wahrnehmung im urbanen Raum nachweisen. Sie stellten weiter fest, dass der Einfluss einer zusätzlichen Volumeneinheit auf die räumliche Wahrnehmung bei kleinen Sichtvolumina am grössten ist und dass ab einer gewissen Volumengrösse eine weitere Vergrösserung des Volumens von Probanden nicht mehr als solche wahrgenommen wird. Es stellt sich die Frage, ob sich dieses Phänomen auch in der Zahlungsbereitschaft von Mietern äussert und mit der hedonischen Preismethode nachweisen lässt.

MORELLO & RATTI (2009) erstellten „3D-Isovists“ und „Iso-Visi-Matrizen“, die den dreidimensionalen Sichtraum von einem Beobachterpunkt beschreiben. Unter Verwendung des LoS-Algorithmus und einer rasterbasierten Bildverarbeitung erzeugten sie für ein urbanes Gebiet Sichtraumkörper im Enumerationsverfahren. Daraus leiteten sie quantitative Indikatoren urbaner Landschaftsqualität ab und stellten fest, dass unter Berücksichtigung der dritten Dimension genauere und differenziertere Aussagen über die Wirkung der Baustruktur auf die subjektive Landschaftswahrnehmung möglich sind. PYYSALO et al. (2009) verwendeten ebenfalls voxelbasierte Daten und LoS Methoden, um den Unterschied von 2.5D- und 3D-Sichträumen in einem bewaldeten und teilweise bebauten Gebiet aufzuzeigen. GARDINER et al. (2009) entwickelten einen Dienst für mobile Geräte, der mit 3D-Stadtmodellen und einer vektorbasierten 3D-Sichtbarkeitsanalyse die vom aktuellen Standort des Gerätes sichtbaren Points of Interest ermittelt.

Ausgehend von der Grundidee von YANG et al. (2007) wird im Folgenden eine vektorbasierte Methode zur Berechnung des Sichtraums konzipiert. Ausgangslage ist der Standort eines Beobachters, von dem regelmässige, in alle Richtungen laufende Sichtlinien wegführen. Dieses konzentrische Strahlenbündel bildet den menschlichen Sehvorgang in umgekehrter Richtung nach: Das Auge schickt Sehstrahlen in den Raum, anstatt die von Objek-

ten reflektierten Lichtstrahlen aufzunehmen. Mit der 3D-fähigen LoS-Analyse lässt sich ermitteln, ob und wo die einzelnen Sehstrahlen auf Sichthindernisse treffen (Abbildung 4–4). Als Sichthindernisse kommen alle Landschaftsobjekte des zugrundegelegten 3D-Stadtmodells, namentlich das Gelände, die Vegetation und Objekte der bebauten Umwelt in Frage. Liefert der LoS-Algorithmus kein Hindernis, handelt es sich um einen Sehstrahl, der zum Himmel führt.



**Abbildung 4–4:** 3D-Sichttraumanalyse mithilfe von Sichtlinien am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Sichtraumparameter:  $d_{max} = 100$  m,  $\varphi_{min} = 0^\circ$ ,  $\varphi_{max} = 360^\circ$ ,  $\theta_{min} = 40^\circ$ ,  $\theta_{max} = 120^\circ$ ,  $\alpha = 3^\circ$ . Der Übersichtlichkeit halber sind nur drei Sichtlinien dargestellt. Daten: Stadtverwaltung Zürich

**Anmerkung:** Bei dieser Abbildung handelt es sich um ein 3D-PDF, das in der elektronischen Version dieser Arbeit ein freies Navigieren im Raum zulässt.

Die Umhüllende aller Sichthindernispunkte bildet die Grenzfläche des dreidimensionalen Sichtraums. Alle Objekte, welche sich innerhalb dieses Volumenkörpers befinden, sind für den Beobachter sichtbar. Die Geometrie des Sichtraums, ein Polyeder, lässt sich durch Triangulation der Sichthindernispunkte erzeugen (Abbildung 4–5). Die horizontale Schnittebene durch den Beobachterpunkt entspricht dem 2D-Isovist.

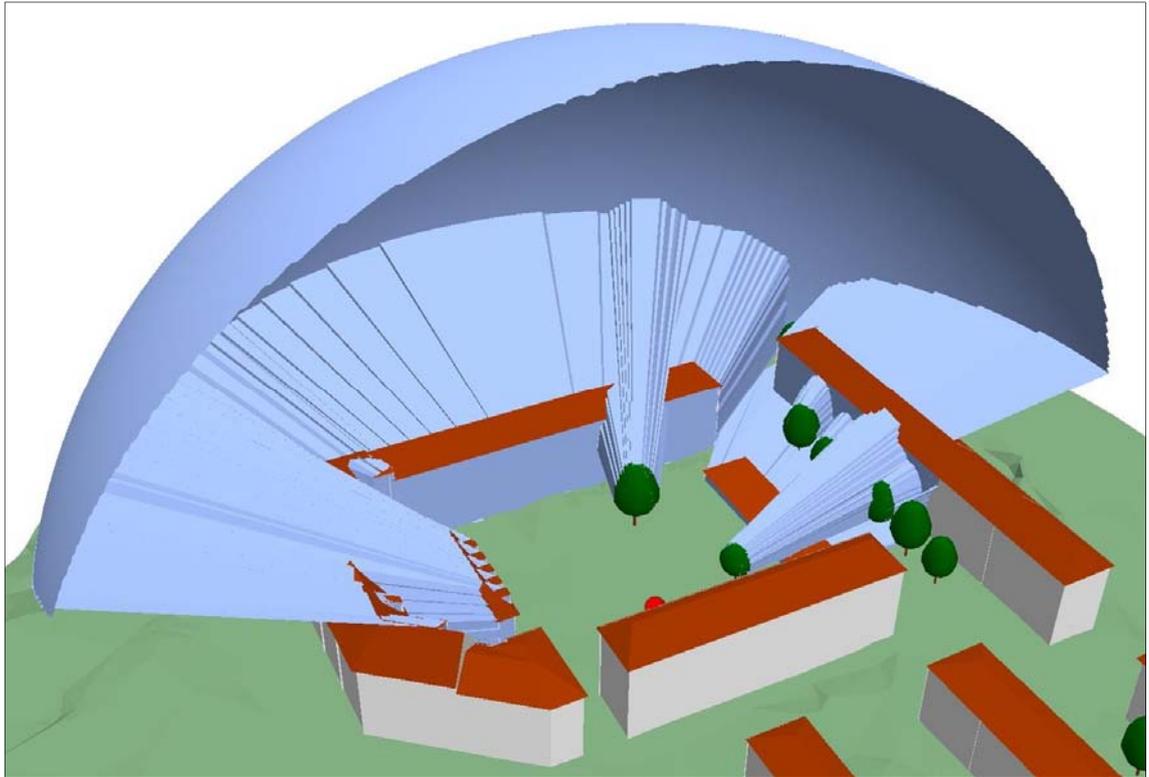
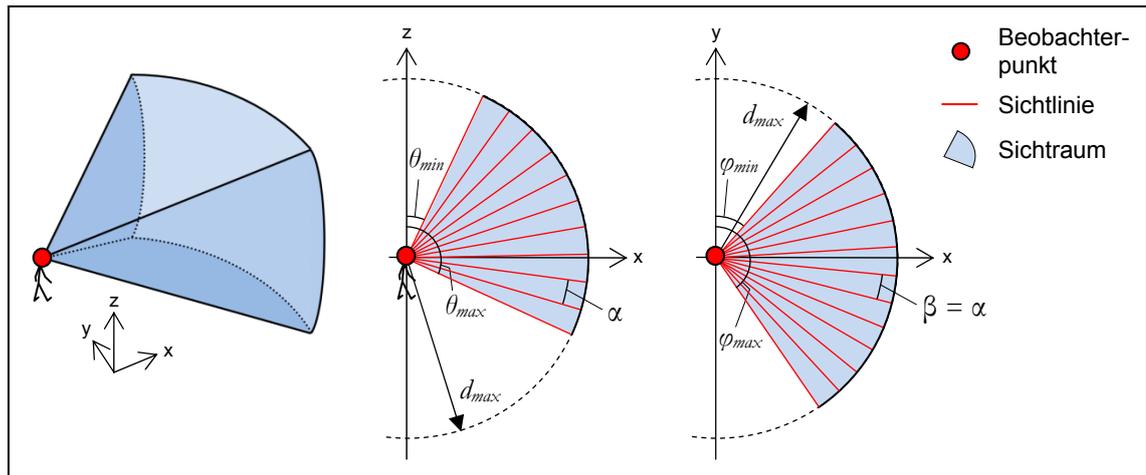


Abbildung 4–5: Schnitt durch die Umhülle des Sichtraums am Beispiel der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Rot: Beobachterpunkt. Sichtraumparameter:  $d_{max} = 100$  m,  $\varphi_{min} = 0^\circ$ ,  $\varphi_{max} = 360^\circ$ ,  $\theta_{min} = 0^\circ$ ,  $\theta_{max} = 180^\circ$ ,  $\alpha = 0.1^\circ$ . Daten: Stadtverwaltung Zürich

Dieser Methodenansatz einer 3D-Sichtraumanalyse wird von folgenden Parametern definiert, die bei der Operationalisierung festgelegt werden müssen (Abbildung 4–6):

- **Radiale Sichtraumbegrenzung**, parametrisiert durch die Länge der Sehstrahlen  $d_{max}$ . Sie definiert die radiale Ausdehnung des betrachteten Raums, innerhalb welchem der sichtbare Teil ermittelt werden soll. Der theoretische Wertebereich beträgt  $[0, \infty]$ .
- **Azimutale Sichtraumbegrenzung**, parametrisiert durch die Winkel  $\varphi_{min}$  und  $\varphi_{max}$ . Der theoretische Wertebereich für beide Parameter beträgt  $[0^\circ, 360^\circ]$ , wobei  $\varphi_{min} < \varphi_{max}$  erfüllt sein muss.  $\varphi_{min} = 0^\circ$  und  $\varphi_{max} = 360^\circ$  entspricht einer Rundum-Sicht.
- **Zenitale Sichtraumbegrenzung**, parametrisiert durch die Winkel  $\theta_{min}$  und  $\theta_{max}$ . Der theoretische Wertebereich für beide Parameter beträgt  $[0^\circ, 180^\circ]$ , wobei  $\theta_{min} < \theta_{max}$  erfüllt sein muss.
- **Sehstrahlendichte**, parametrisiert durch den Winkel  $\alpha$  zwischen zwei vertikal übereinander liegenden Sehstrahlen. Der theoretische Wertebereich beträgt  $[0^\circ, 180^\circ]$ . Je kleiner  $\alpha$  gewählt wird, desto mehr Sehstrahlen umfasst das Modell und

desto genauer wird der sichtbare Raum erfasst. Eine Halbierung des Winkels führt zu einer Vervierfachung der Anzahl Sehstrahlen. Der Winkel  $\alpha$  kann als Gegenstück zur Rastergrösse bei der rasterbasierten Viewshed-Analyse betrachtet werden. Der Winkel  $\beta$  zwischen zwei horizontal nebeneinander liegenden Sehstrahlen ist abhängig von den Winkeln  $\alpha$  und  $\theta$  und beträgt  $\frac{\alpha}{\sin \theta}$ . Bei  $\theta = 90^\circ$  ist  $\beta$  minimal und entspricht dem Winkel  $\alpha$ . Damit wird eine in alle Richtungen regelmässige Verteilung der Sehstrahlen erreicht.<sup>12</sup>



**Abbildung 4-6: Parameter der 3D-Sichtraumanalyse. Schrägansicht (links), Seitenansicht (Mitte) und Draufsicht (rechts)**

Ohne azimuthale und zenitale Sichtraumbegrenzung ( $\varphi_{min} = 0^\circ$ ,  $\varphi_{max} = 360^\circ$ ,  $\theta_{min} = 0^\circ$ ,  $\theta_{max} = 180^\circ$ ) hat der Sichtraum die Form einer Kugel. Nur mit azimuthaler Sichtraumbegrenzung hat der Sichtraum die Form eines Kugelkeils, nur mit zenitaler die Form einer Kugelschicht. Ist der Sichtraum azimuthal und zenital begrenzt, hat der Sichtraum die Form eines Kugelsektors mit rechteckig angeordneter Grundfläche (Abbildung 4-6 links).

#### 4.4.2 Masszahlen

Für die Abstraktion der Aussicht im Rahmen dieser Arbeit sind die Sichthindernispunkte von Interesse. In ihrer Gesamtheit repräsentieren die Sichthindernisse das Bild auf der Augennetzhaut der Person, die sich beim Beobachterpunkt befindet. Die Ermittlung der Lage eines Sichthindernispunktes  $H$  erfolgt mit der LoS-Analyse. Über diese Lage lässt sich auf das sichtbare Landschaftselement (z.B. Gebäude, Gelände, etc.) und dessen Distanz zum Beobachterpunkt schliessen. Die Distanz  $d_{BH}$  vom Beobachterpunkt  $B(x_B, y_B, z_B)$  zum Hindernispunkt  $H(x_H, y_H, z_H)$  beträgt gemäss euklidischer Metrik:

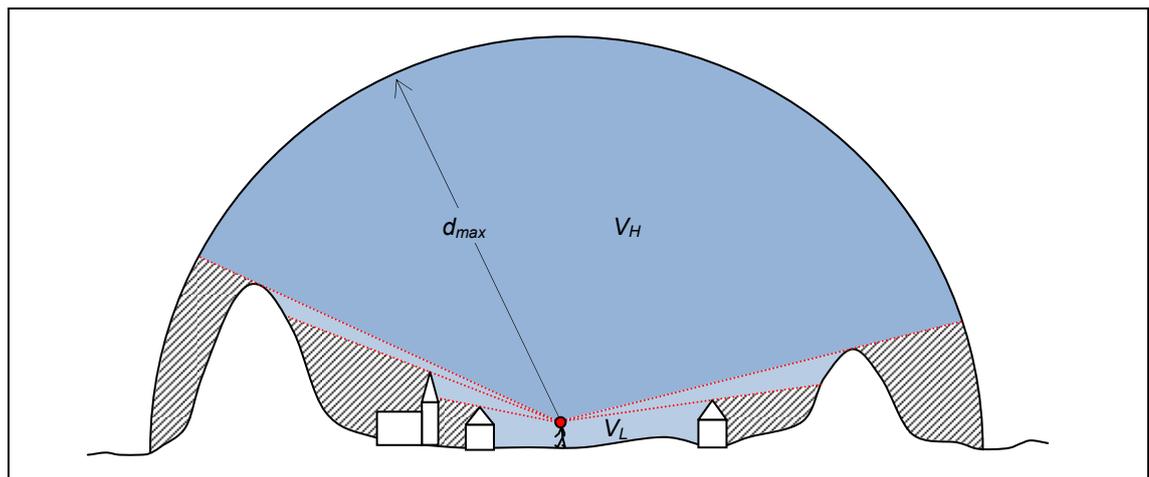
<sup>12</sup> Hier unterscheidet sich der dargestellte Ansatz wesentlich von jenem von YANG et al. (2007), bei welchem die Sichtlinien vertikal stapelten werden und ein unregelmässiges „Abtasten“ des sichtbaren Raums bewirken.

$$d_{BH} = \sqrt{(x_H - x_B)^2 + (y_H - y_B)^2 + (z_H - z_B)^2} \quad B, H \in \mathbb{R}^3 \quad \text{Formel 4-1}$$

Die durchschnittliche Sichtweite, wie sie BATTY (2001) als Mass für das zweidimensionale Isovist-Sichtfeld einführte, kann auch auf den dreidimensionalen Sichtraum übertragen werden. Die durchschnittliche Sichtweite ohne Berücksichtigung jener Sehstrahlen, die zum Himmel führen, entspricht dem arithmetischen Mittel aller Distanzen  $d_{BH_i}$  vom Beobachterpunkt  $B$  zu den Hindernispunkten  $H_i$  (Formel 4-2).  $n$  entspricht der Anzahl Sichtlinien, die auf Hindernisse treffen.

$$\overline{d_{BH}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{BH_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Formel 4-2}$$

Ein weiteres quantitatives Merkmal des Sichtraums ist sein Volumen  $V$ . Es wird begrenzt durch die natürlichen und künstlichen Sichthindernisse der Erdoberfläche und dehnt sich in den hindernisfreien Richtungen bis zur maximalen Sichtdistanz aus (Abbildung 4-7).



**Abbildung 4-7: Volumen des Sichtraums im Querschnitt**

Entsprechend kann das Volumen  $V$  des gesamten Sichtraums unterteilt werden in das durch Hindernisse abgegrenzte Volumen  $V_L$  und in das durch den Himmel abgegrenzte Volumen  $V_H$  (Formel 4-3).

$$V = V_L + V_H \quad \text{Formel 4-3}$$

Zur Bestimmung von  $V_L$  wird das Volumen in  $n$  Teilvolumina  $V_{L_i}$  zergliedert. Sie haben die Form einer Pyramide mit der Spitze im Beobachterpunkt, der Höhe  $d_{BH_i}$  und einem quadratischen Grundriss mit der Seitenlänge  $b_i$  (Abbildung 4-8).

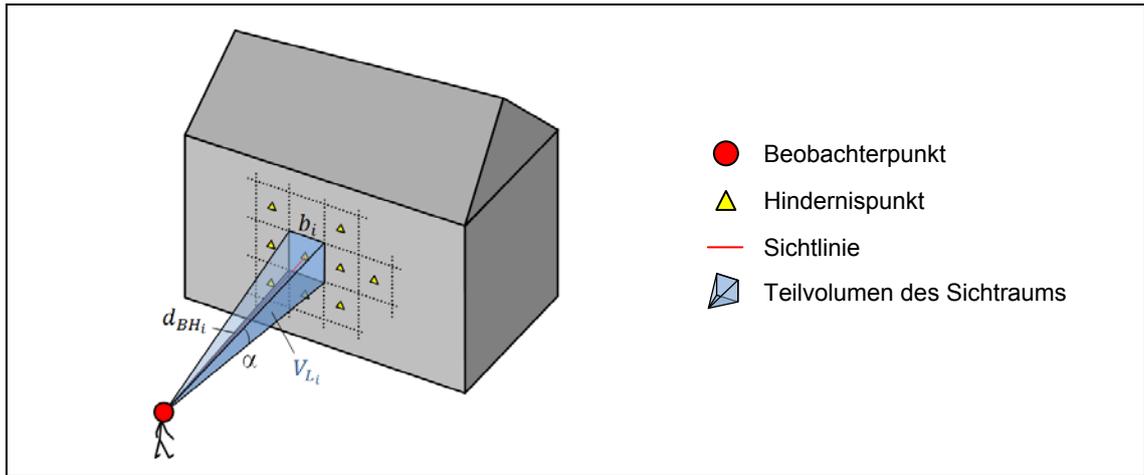


Abbildung 4-8: Unterteilung des Sichtraumvolumens in einzelne Teilvolumina

$V_{L_i}$  beträgt:

$$\begin{aligned}
 V_{L_i} &= \frac{1}{3} \cdot b_i^2 \cdot d_{BH_i} \\
 &= \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot d_{BH_i} \cdot \tan \frac{\alpha}{2})^2 \cdot d_{BH_i} \\
 &= \frac{4}{3} \cdot (\tan \frac{\alpha}{2})^2 \cdot d_{BH_i}^3
 \end{aligned}
 \tag{Formel 4-4}$$

Durch Aufsummierung aller Teilvolumina erhält man das durch Hindernisse abgegrenzte, sichtbare Volumen  $V_L$  (Formel 4-5). Da die Formel 4-4 von einer zur Sichtlinie orthogonal liegenden Hindernisfläche ausgeht und dies in Realität selten der Fall ist, handelt es sich bei der Berechnung von  $V_L$  um eine Näherung. Sie ist umso genauer, je kleiner der Winkel  $\alpha$  gewählt wird.

$$V_L \cong \sum_{i=1}^n V_{L_i} \quad i = 1, 2, \dots, n
 \tag{Formel 4-5}$$

Das Volumen  $V_H$  wird analog ermittelt, wobei anstelle der Distanz zum Hindernispunkt  $d_{BH_i}$  die maximale Sichtdistanz  $d_{max}$  eingesetzt wird (Formel 4-6).  $m$  entspricht der Anzahl Sichtlinien, welche nicht auf Hindernisse treffen.

$$\begin{aligned}
 V_H &\cong \sum_{j=1}^m \frac{4}{3} \cdot (\tan \frac{\alpha}{2})^2 \cdot d_{max}^3 \quad j = 1, 2, \dots, m \\
 &\cong \frac{4}{3} \cdot m \cdot (\tan \frac{\alpha}{2})^2 \cdot d_{max}^3
 \end{aligned}
 \tag{Formel 4-6}$$

Die oben erläuterten Parameter  $d_{max}$ ,  $\varphi_{min}$ ,  $\varphi_{max}$ ,  $\theta_{min}$ ,  $\theta_{max}$  und  $\alpha$  beeinflussen die Merkmale des Sichtraums. Beispielsweise erhöhen sich in der Regel die durchschnittliche Sichtweite  $\overline{d_{BH}}$  und das sichtbare Volumen  $V$ , wenn die Länge der Sehstrahlen  $d_{max}$  erhöht wird. Des-

halb müssen die Parameter für Vergleiche verschiedener Beobachterstandorte konstant gehalten werden.

Es wären weitere Masszahlen denkbar, die den Sichtraum quantitativ charakterisieren. Dazu gehören beispielsweise die Fläche der begrenzenden Aussenhülle, die maximale Ausdehnung oder die Kompaktheit des Sichtraums. Da diese mit den oben beschriebenen Eigenschaften korrelieren oder da angenommen werden kann, dass sie keine Wirksamkeit auf Immobilienpreise haben, werden sie hier nicht beschrieben.

## 4.5 Horizontlinienanalyse

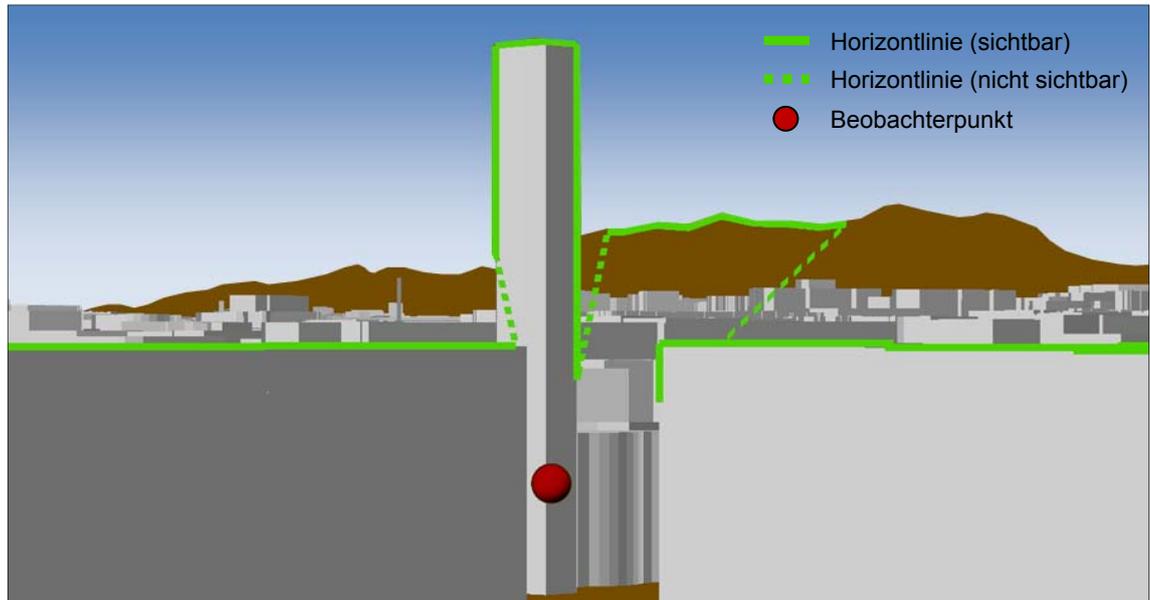
### 4.5.1 Methode

Die Horizontlinie ist die Grenzlinie zwischen dem Himmel und der Erdoberfläche aus der Perspektive eines Betrachters. Im ländlichen Raum verläuft die Horizontlinie meistens auf den Erhebungen des Geländes (z.B. Bergkamm oder Hügelkuppe), im urbanen Raum folgt sie oft den Gebäuden. Bei letzteren spricht man auch von der Stadtsilhouette oder Skyline. Im Gegensatz zu diesen globalen Horizontlinien trennen näher am Beobachter liegende lokale Horizontlinien einzelne Landschaftsabschnitte voneinander ab und erzeugen eine Kammerung der Landschaft. Auch wenn eine solche Landschaftsstrukturierung die Neugier des Beobachters stimuliert, für die eine positive Wirkung auf die Landschaftsästhetik nachgewiesen werden konnte (KAPLAN & KAPLAN 1989), werden die lokalen Horizontlinien wegen ihrer Komplexität im urbanen Raum in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Die Horizontlinienanalyse findet Anwendung im Bereich der Architektur und Stadtplanung (z.B. MAK et al. 2005) und in Studien über das Klima in Städten (z.B. OKE 1981).

Die Horizontlinie ist die geometrische Verbindung der vom Beobachterpunkt in alle Richtungen am weitesten entfernten, sichtbaren Punkte. Alle Objekte, die ausserhalb der Horizontlinie liegen, sind vom Beobachterpunkt nicht sichtbar. Die Horizontlinie beschreibt im Gegensatz zu den Methoden Isovist, Viewshed und 3D-Sichtraumanalyse nur einen Teil des sichtbaren Raums und kann aus diesen Methoden abgeleitet werden. Beispielsweise entspricht die Horizontlinie im 2D-Raum der Grenzlinie der Isovist-Fläche und im 2.5D-Raum der umhüllenden Linie der sichtbaren Rasterzellen der Viewshed-Analyse.

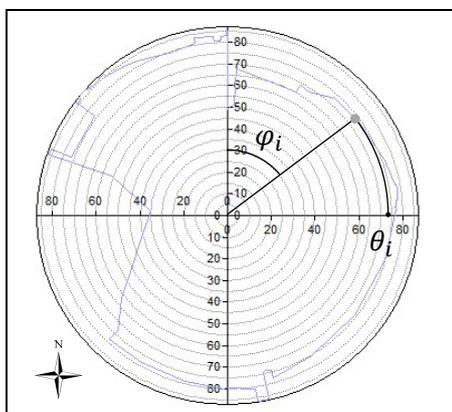
Die Ermittlung der Horizontlinie erfolgt durch Sichtlinien, die vom Beobachterpunkt konzentrisch in alle Richtungen führen. Die Genauigkeit und die Rechenzeit hängen davon ab, wie gross der Winkel zwischen zwei benachbarten Sichtlinien gewählt wird. Die Horizontlinienanalyse der GIS-Software *ArxGIS* erzeugt eine geschlossene 3D-Horizontlinie. Sie ist

unterteilt in sichtbare Abschnitte und in radial vom Beobachterpunkt verlaufende, nicht sichtbare Abschnitte, welche die sichtbaren miteinander verbinden (Abbildung 4–9).



**Abbildung 4–9: Perspektivische Ansicht einer Horizontlinie am Beispiel eines Beobachterpunkts in der Gebäudegruppe Eichbühlstrasse/Hardstrasse in Zürich. Als Sichthindernisse wurden das Gelände und Gebäude LoD 1 verwendet. Daten: Stadtverwaltung Zürich**

Wird die Horizontlinie vom Beobachterpunkt an den als Halbkugel repräsentierten Himmel projiziert, erhält man das Polardiagramm (ESRI 2010, Abbildung 4–10). Es bildet das hemisphärische Sichtfeld in stereografischer Projektion ab und gleicht einer vom Beobachterpunkt in Richtung Polar erstellten Photographie mit Fischaugeneffekt. Die Horizontlinie wird über den Azimutwinkel  $\varphi$  und den Zenitwinkel  $\theta$  ihrer Stützpunkte auf das im Beobachterpunkt zentrierte Polardiagramm übertragen. Im Bereich innerhalb der Horizontallinie ist der Himmel sichtbar, im Bereich ausserhalb durch das Gelände, Gebäude, etc. verdeckt.

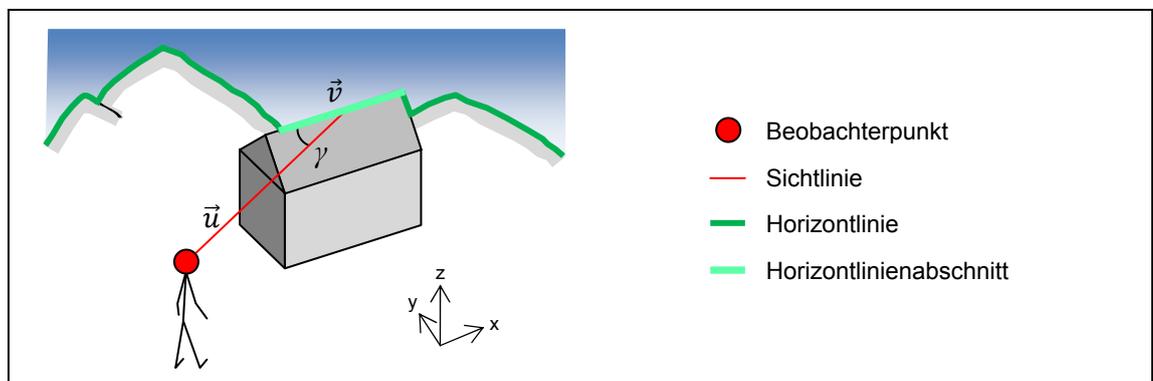


**Abbildung 4–10: Beispiel eines Polardiagramms. Die graue Linie stellt die Horizontlinie dar. Hervorgehoben ist der Azimutwinkel  $\varphi_i$  und der Zenitwinkel  $\theta_i$  des  $i$ -ten Stützpunktes der Horizontlinie**

#### 4.5.2 Masszahlen

Von der Horizontlinie können verschiedene quantitative Masse abgeleitet werden, die im Zusammenhang mit der Qualität eines Wohnstandorts stehen und möglicherweise einen Einfluss auf den Preis einer Wohnung haben können. Eine Charakteristik ist die dreidimensionale Länge der sichtbaren Horizontlinie  $l_{tot}$ . Sie wird durch Aufsummierung der Längen der einzelnen Segmente ermittelt und steht im Verhältnis zur Entfernung des Horizonts vom Beobachterpunkt und damit zur Fernsichtigkeit. Je grösser die Länge, desto weiter weg befindet sich der Horizont im Durchschnitt. In Kenntnis der Objekte, welchen die Horizontlinie folgt, kann  $l_{tot}$  aufgeteilt werden in Abschnitte mit Gebäuden  $l_{Geb}$  und Abschnitte der natürlichen Erdoberfläche  $l_{Nat}$ .

Die Länge ist jedoch ein ungeeignetes Mass zur Quantifizierung des visuellen Einflusses, da ein sichtbares Objekt – im vorliegenden Fall ein Abschnitt der Horizontlinie – je nach Lage relativ zum Beobachterpunkt eine unterschiedliche Grösse auf der Netzhaut des menschlichen Auges einnimmt. IVERSON (1985) nannte den Anteil, den ein Objekt auf der Netzhaut einnimmt, „Visual Magnitude“ ( $VM$ ). Gemäss IVERSON hängt  $VM$  von der Grösse des Objekts sowie seiner Distanz, Neigung und Exposition in Bezug zum Beobachter ab. Je grösser, näher und senkrechter zum Beobachter ein Objekt ausgerichtet ist, desto grösser ist ihre  $VM$  (IVERSON 1985:16).



**Abbildung 4–11: Relative Lage eines Horizontlinienabschnitts in Bezug auf den Beobachterpunkt**

Im Fall eines linienförmigen Objekts wie die Horizontlinie, ist für die  $VM$  der Winkel  $\gamma$  zwischen dem Sichtlinienvektor  $\vec{u}$  und dem Vektor des Horizontlinienabschnitts  $\vec{v}$  massgebend (Abbildung 4–11). Er lässt sich trigonometrisch bestimmen:

$$\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{\|\vec{u}\| \cdot \|\vec{v}\|}\right) \quad \text{Formel 4-7}$$

Bei  $\gamma = 0^\circ$  ist die Linie faktisch nicht sichtbar. Ihre  $VM$  nimmt mit zunehmendem  $\gamma$  zu, bis sie bei  $\gamma = 90^\circ$  ihr Maximum und damit ihren grössten visuellen Effekt erreicht. Ist  $l_i$  die

Länge des  $i$ -ten Horizontlinienabschnitts und  $\bar{d}_i$  ihr mittlerer Abstand zum Beobachterpunkt, so beträgt ihre dimensionslose  $VM_i$ :

$$VM_i = \gamma_i \cdot \frac{1}{\bar{d}_i} \cdot l_i \quad \text{Formel 4-8}$$

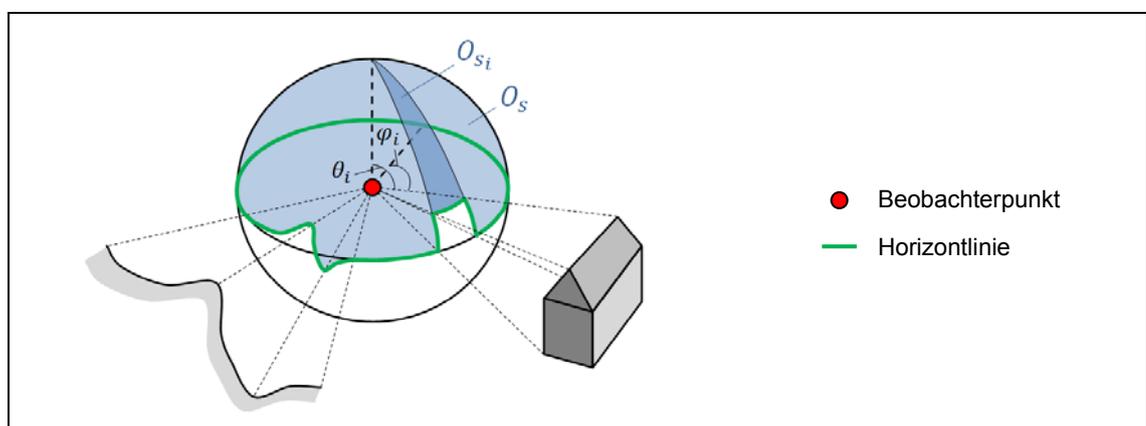
Die  $VM$  der Horizontlinie erhält man durch Aufsummierung der  $n$   $VM_i$ .

$$VM = \sum_{i=1}^n VM_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Formel 4-9}$$

Die  $VM$  derjenigen Horizontlinienabschnitte, die den Gebäuden oder der natürlichen Erdoberfläche folgen, lassen sich analog bestimmen.

Ein weiteres bedeutendes Merkmal einer Aussicht ist die Präsenz des Himmels. Sie steht in direktem Zusammenhang mit der Lage der Horizontlinie und kann durch verschiedene Messgrößen quantifiziert werden. Häufige Anwendung findet der „Sky View Factor“  $\psi_{\text{sky}}$ , der von OKE (1987) beschrieben wurde.  $\psi_{\text{sky}}$  ist eine dimensionslose Parametrisierung der Sichtbarkeit des Himmels und entspricht dem Anteil der auf eine planare Fläche auftreffenden direkten Strahlung an der Gesamtstrahlung. YOKOYAMA et al. (2002) führten den Parameter „Openness“ als Mass für die Eingeschlossenheit eines Standorts in Bezug auf das umliegende Gelände ein. „Openness“ ist gleich dem Mittelwert der Azimutwinkel von acht in die Haupthimmelsrichtungen führenden Sichtlinien zwischen dem Beobachterstandort und dem lokalen Horizont.

In dieser Arbeit wird mit der „Sky Visibility Ratio“ ( $SVR$ ) ein alternatives Mass für die Sichtbarkeit des Himmels herangezogen. Die  $SVR$  ist laut ESRI (2010) der Anteil des Himmels, der nicht vom Terrain oder sonstigen Objekten verdeckt ist. Sie basiert auf der Projektion der Horizontlinie auf eine virtuelle Kugeloberfläche mit dem Beobachterpunkt als Mittelpunkt (Abbildung 4–12).



**Abbildung 4–12: Projektion der Horizontlinie auf eine virtuelle Kugeloberfläche zur Bestimmung der Sky Visibility Ratio**

Die  $SVR$  entspricht dem Verhältnis zwischen der hemisphärischen Oberfläche  $O_S$  über der Horizontlinie und der Oberfläche  $O_{HK}$  der über dem Beobachterpunkt liegenden Halbkugel (Formel 4-10).

$$SVR = \frac{O_S}{O_{HK}} \quad \text{Formel 4-10}$$

Angenommen der Zenitwinkel  $\theta_i$  der einzelnen Stützpunkte  $i$  der Horizontlinie sei konstant, dann entspricht  $O_S$  der Oberfläche einer Kugelkalotte. Ist  $r$  der Radius der Kugel, so beträgt  $SVR$ :

$$\begin{aligned} SVR &= \frac{2\pi r^2(1-\cos\theta)}{2\pi r^2} \\ &= 1 - \cos\theta \end{aligned} \quad \text{Formel 4-11}$$

In realweltlichen Situationen ist  $\theta_i$  nicht konstant und die  $SVR$  ermittelt sich als Näherung durch Aufsummierung der einzelnen Segmente  $O_{S_i}$  oberhalb der Stützpunkte der Horizontlinie (Abbildung 4-12, Formel 4-12).

$$SVR \cong 1 - \sum_{i=1}^n \cos \frac{\theta_i + \theta_{i-1}}{2} \cdot \frac{(\varphi_i + \varphi_{i-1})/2}{2\pi} \quad \text{Formel 4-12}$$

$SVR$  ist dimensionslos und hat einen Wertebereich von  $[0, 2]$ . Bei einer  $SVR$  von 0 ist der Himmel vom Gelände oder sonstigen Objekten vollständig verdeckt. Der Beobachter sieht den Himmel von seinem Standort aus nicht – egal in welche Richtung er blickt. Bei einer  $SVR$  von 1 ist der Himmel vollständig sichtbar. Diese Situation tritt beispielsweise dann ein, wenn das Gelände in alle Richtungen flach ist und sich keine Objekte auf dem Gelände befinden. Eine  $SVR$  von grösser 1 ist gegeben, wenn der durchschnittliche Zenitwinkel der Horizontlinie grösser  $90^\circ$  beträgt. Dies ist beispielsweise für Beobachterpunkte auf Geländeerhebungen der Fall, die höher liegen als die sichtbare Umgebung. Das Beispiel in Abbildung 4-10 weist eine  $SVR$  von 0.69 auf.

## 4.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden verschiedene Methoden der Sichtbarkeitsbestimmung beschrieben, namentlich Isovist, Viewshed, 3D-Sichttraumanalyse und die Horizontlinienanalyse. Sie basieren alle auf der LoS-Analyse, welche die gegenseitige Sichtbarkeit zweier diskreter Punkte im dreidimensionalen Raum prüft. Die Methoden Isovist und Viewshed wurde für die Bearbeitung dieser Arbeit als nicht geeignet eingestuft, da sie wegen ihres 2D- bzw. 2.5D-Ansatzes dreidimensionale Strukturen nicht oder nur ungenügend berücksichtigen.

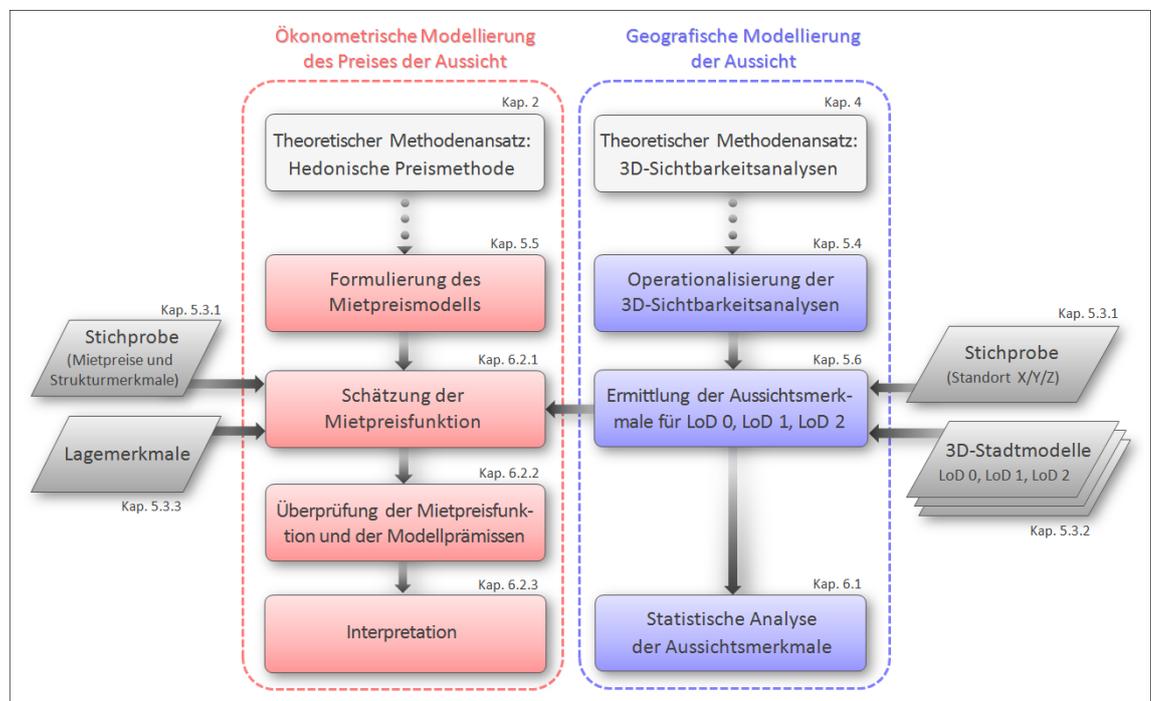
Vollwertige 3D-Ansätze zur Ermittlung des sichtbaren Raums sind zwar Gegenstand der jüngeren Forschung, wurden aber bis anhin nicht in gängige GIS implementiert. Aufgrund dieses Befundes wurde ein vektorbasierter Ansatz zur Berechnung des dreidimensionalen Sichtraums konzipiert. Er basiert auf der Idee, den menschlichen Sehvorgang mit einem Bündel konzentrischer, vom Betrachter wegführender Sehstrahlen nachzubilden. Es resultiert eine Approximation der Form und des Inhalts des sichtbaren Raums. Die wesentlichen Vorteile dieses sphärischen Ansatzes im Vergleich zur oft angewendeten planimetrischen Viewshed-Analyse liegen in der Berücksichtigung von dreidimensionalen Objekten und des Himmels als Teil der wahrnehmbaren Aussicht, sowie in der wahrnehmungstreuen Abbildung des visuellen Effekts unterschiedlich entfernter und orientierter Objekte.

In der folgenden empirischen Untersuchung werden die Sichtlinienanalyse, 3D-Sichttraumanalyse und Horizontlinienanalyse eingesetzt. Aus den Ergebnissen dieser Analysen werden Masszahlen abgeleitet, welche die Aussicht quantitativ beschreiben (z.B. Volumen des Sichtraums, Länge der Horizontlinie, durchschnittliche Sichtweite u.a.). Es gilt, mit einem hedonischen Modell die Wirkung dieser Aussichtsmerkmale auf den Mietpreis zu ermitteln.

## 5 Empirische Untersuchung

### 5.1 Vorgehen

Die empirische Untersuchung dieser Arbeit gliedert sich thematisch in zwei Teile (Abbildung 5–1). Der erste Teil beinhaltet die geografische Modellierung der Aussicht. Basierend auf den theoretisch-methodischen Überlegungen des vorangegangenen Kapitels wurden die eingesetzten Sichtbarkeitsanalysen operationalisiert. Im Anschluss wurden die Methoden für eine Stichprobe des Untersuchungsgebiets und drei unterschiedlich detaillierte Stadtmodelle angewendet. Es resultierten Masszahlen, welche die Aussicht der Wohnungen der Stichprobe quantitativ beschreiben. Diese Zahlen wurden im Anschluss mit deskriptiven und induktiven Methoden statistisch analysiert.



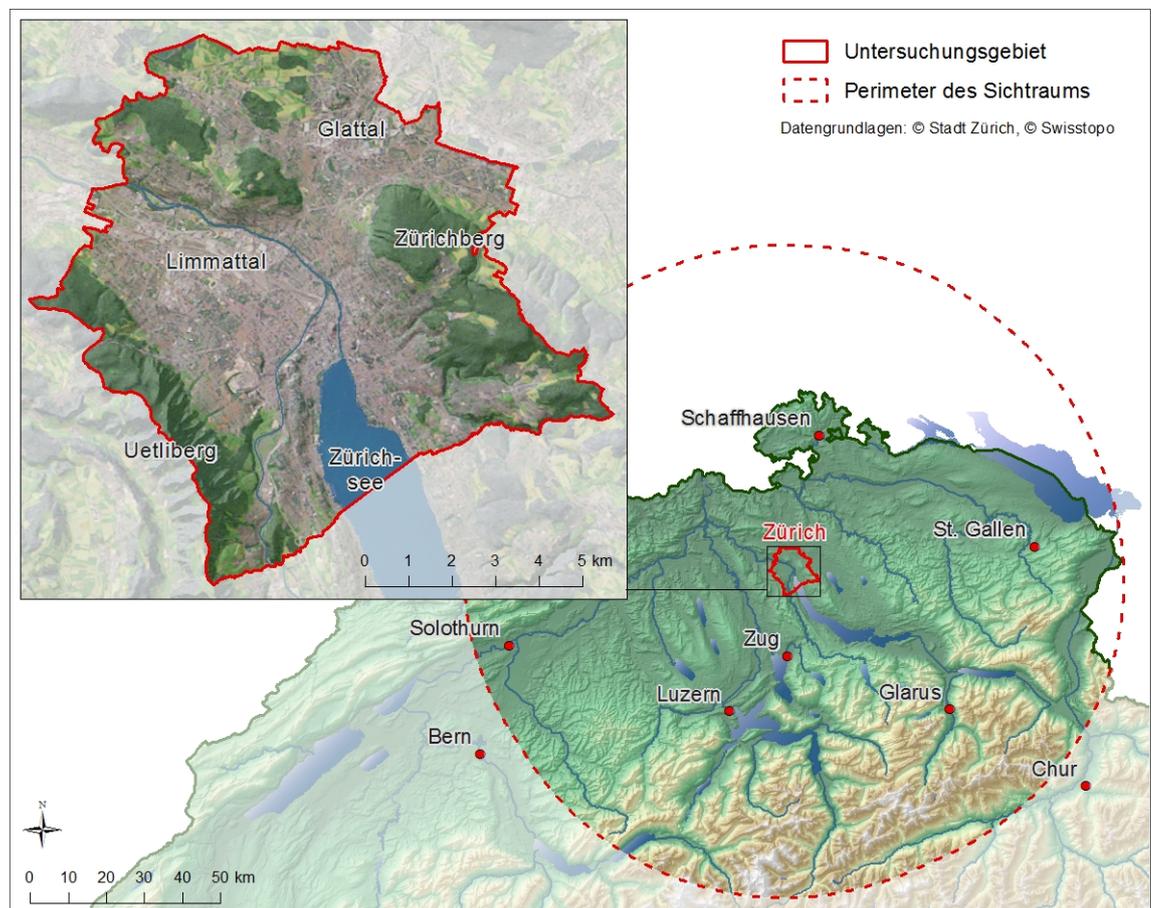
**Abbildung 5–1: Vorgehen der empirischen Untersuchung**

Der zweite Teil der Untersuchung umfasst die ökonometrische Modellierung des Preises der Aussicht und der übrigen Wohnungsmerkmale mithilfe der hedonischen Preismethode. Sie folgt der sequentiellen Vorgehensweise der Regressionsanalyse (vgl. Kap. 2.3.3). Als Erstes wurde das hedonischen Mietpreismodell formuliert und anschliessend geschätzt. Die Schätzung erfolgte mit den Mietpreis- und Strukturdaten der Stichprobe, den ermittelten Aussichtsmerkmalen sowie weiteren Lagemerkmale. Nach der Schätzung wurden die Regressionsfunktion und die Modellprämissen überprüft. Die empirische Untersuchung endet mit einer ökonomischen Interpretation der Schätzergebnisse.

## 5.2 Untersuchungsgebiet<sup>13</sup>

### 5.2.1 Die Stadt Zürich

Das Untersuchungsgebiet umfasst die 91.9 km<sup>2</sup> grosse Gemeindefläche der Stadt Zürich (Abbildung 5–2). Zürich liegt im schweizerischen Mittelland am nördlichen Ende des auf 407 m. ü. M. gelegenen Zürichsees. Der hier entströmende Fluss Limmat formte einen etwa drei Kilometer breiten Talboden namens Limmattal, der zur östlichen Seite vom Zürich- und Käferberg und zur westlichen Seite vom Uetliberg begrenzt wird. Mit 869 m. ü. M. ist der Uetliberg die höchste Erhebung auf dem Gemeindegebiet und in der näheren Umgebung. Im Süden umschliesst die Stadt das nördliche Seebecken des Zürichsees. Der nördliche Teil des Gemeindegebiets liegt in der Ebene des Glatttals und umfasst zwei weitere kleine Seen.



**Abbildung 5–2: Untersuchungsgebiet und Perimeter des Sichttraums**

Der Anteil der Seen und Flüsse an der Gemeindefläche beträgt 5.6 %. Weitaus umfangreicher sind die bewaldeten Gebiete, die sich hauptsächlich auf den Anhöhen vom Uetliberg,

<sup>13</sup> Wo nicht anders vermerkt stammen die Zahlen in diesem Kapitel aus BUNDESAMT FÜR WOHNUNGSWESEN (2005) und STADT ZÜRICH (2009, 2011a).

Zürichberg, Adlisberg, Höggerberg und Käferberg erstrecken. Sie umfassen etwa ein Viertel der Gemeindefläche. Landwirtschaftlich genutzte Flächen und sonstige Grünflächen befinden sich vorwiegend im Norden der Stadt sowie zwischen Siedlungsrand und Wald und bedecken ca. 10 % von Zürich. Knapp die Hälfte der Gemeindefläche ist den Bauzonen zugeteilt, wovon rund 93 % überbaut sind. Die Bebauung erstreckt sich vom Seebecken, dem Zentrum der Stadt, über das gesamte Limmattal und über den Sattel Milchbuck bis ins Glatttal. Ebenfalls bebaut sind die tieferliegenden Hanglagen des Uetlibergs im Westen und des Zürich- und Käferbergs im Osten des Limmattals. Knapp zwei Drittel der Bauzonen der Stadt sind reine Wohnzonen, von denen nur etwa 15 % höher als dreistöckig bebaut werden dürfen. Die Silhouette des Stadtzentrums ist geprägt von markanten Kirchtürmen und im Vergleich zu anderen Städten in Europa verhältnismässig wenigen Hochhäusern.

Die topographische Lage des Gemeindegebiets und seiner Umgebung beschert vielen Wohnlagen eine reizvolle, teils spektakuläre Aussicht auf das Stadtzentrum, den Zürichsee, die umliegenden Hügelketten und die Berge der Glarner und Zentralschweizer Voralpen (Abbildung 1–1). Besonders attraktive und facettenreiche Aussichtslagen befinden sich an den südexponierten Hanglagen des Zürich- und Käferbergs. Die Aussicht von den Wohngebieten im flachen Limmat- und Glatttal ist topographisch bedingt weniger eindrucksvoll.

Mit dem Zürichsee und den Bergen der Voralpen liegen viele die Aussicht prägende Elemente ausserhalb des Untersuchungsgebiets. Unter Berücksichtigung diverser Studien, die der Fernsicht im Allgemeinen und ihrer Bestandteile wie Gewässer und Berge im Speziellen einen signifikanten Einfluss auf Kauf- und Mietpreise von Immobilien bescheinigen (vgl. Tabelle 2-1), wurde für die vorliegende Untersuchung ein erweiterter Perimeter des Sichtraums festgelegt (Abbildung 5–2). Er umfasst das 23'000 km<sup>2</sup> grosse Gebiet, das vom Gemeindegebiet der Stadt Zürich aufgrund der Topographie, der atmosphärisch bedingten Sichtweite und der Erdkrümmung theoretisch einsehbar ist (Umkreis von 80 km um die Stadt Zürich).

### **5.2.2 Der Mietwohnungsmarkt der Stadt Zürich**

Zürich ist mit einer Bevölkerung von 383'000 Personen die grösste Stadt der Schweiz (Stand Januar 2010). Sie bildet den Kern des wirtschaftlich bedeutendsten Ballungsgebietes der Schweiz. Nicht zuletzt dank ihrer landschaftlich reizvollen Lage am Zürichsee ist die Lebensqualität in Zürich ausserordentlich hoch. Die internationale Beratungsfirma MERCER (2011) stuft Zürich auf ihrem internationalen Städteranking auf Rang zwei ein. Diese

hohe Lebensqualität hat jedoch ihren Preis: Die Lebenserhaltungskosten im Allgemeinen und die Wohnkosten im Speziellen sind weltweit und innerhalb der Schweiz nirgends so hoch wie in Zürich (THE ECONOMIST 2012:1, WÜEST & PARTNER AG 2010:146-149).

Zürich verfügt über 207'000 Wohnungen in 35'000 Gebäuden. Der Anteil der Mietwohnungen am Gesamtwohnungsbestand beträgt 92 % und liegt deutlich über dem schweizerischen Durchschnitt von 65 %. Eine weitere Besonderheit des Wohnungsmarktes der Stadt Zürich ist der mit 18 % sehr hohe Anteil an genossenschaftlichen Mietwohnungen (GLAUSSER 2008:6). Im Gegensatz zum privaten Wohnungsmarkt, wo der Mietpreis durch Angebot und Nachfrage zu Stande kommt, bieten Eigentümer der Genossenschaften ihre Wohnungen grösstenteils zu jenem Preis an, der zur Deckung der Kosten erforderlich ist. Im Jahr 2009 betrug die Nettomiete einer 5-Zimmer-Wohnung in der Stadt Zürich durchschnittlich 2'533 Franken. Die Streuung der Mietpreise ist sehr gross und nicht zuletzt auf räumliche Unterschiede zurückzuführen. Besonders teuer sind die Mietwohnungen im Stadtzentrum, dessen zentrale Lage und architektonische Güte preistreibend wirken. Bevorzugte, teure Wohnlagen finden sich auch am Zürichberg, wo der schöne Blick über die Stadt bis zu den Bergen und die gute Besonnung ihren besonderen Reiz ausüben. Günstigere Mietwohnungen findet man in den peripheren nordöstlichen Quartieren der Stadt.

Die Preise auf dem Wohnungsmarkt sind seit dem Jahr 2000 stetig gestiegen (WÜEST & PARTNER AG 2010:29). Gründe dafür sind das durch den Arbeitsmarkt und die Personenfreizügigkeit gegenüber den EU-Staaten induzierte Bevölkerungswachstum, die gute Wirtschaftslage und die anhaltend tiefen Zinsen (CREDIT SUISSE 2011, BUNDESAMT FÜR WOHNUNGSWESEN 2010, 2011). Der Neuwohnungsbau – in den letzten fünf Jahren wurden 7'000 neue Wohnungen erstellt – vermag die hohe Nachfrage nicht zu decken und lindert die anhaltende Anspannung auf dem Wohnungsmarkt nur ungenügend. Ein Indiz dafür ist der sehr geringe Anteil der leer stehenden Wohnungen am Gesamtwohnungsbestand von 0.07 %.

### 5.2.3 Eignung

Mit der Stadt Zürich wurde ein Raum untersucht, der sich durch seinen grossen Mietwohnungsmarkt, seine vielschichtige Baustruktur und seine Wohnlagen mit attraktiven, vielfältigen Aussichten auszeichnet. Die Wahl der Stadt Zürich als Untersuchungsgebiet erfolgte primär wegen der Verfügbarkeit der Daten, die zur Beantwortung der Forschungsfragen erforderlich sind. Zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit waren für die angrenzenden Gemeinden 3D-Stadtmodelle des Detaillierungsgrads 2 nicht verfügbar. Mit der Beschrän-

kung auf eine Gemeinde musste in Kauf genommen werden, dass die Untersuchung dem Immobilienmarkt mit seinen Verflechtungen über die institutionellen Grenzen hinweg möglicherweise nicht umfassend gerecht wird. Verschiedene Studien zeigen aber auf, dass hedonische Modelle für den Immobilienmarkt der Stadt Zürich verlässliche Schätzungen mit hohem Erklärungsgehalt liefern (z.B. BANFI et al. 2007, SCHAERER et al. 2007, GLAUSSER et al. 2009).

### **5.3 Datengrundlage**

Um den Einfluss der Aussicht auf den Mietpreis in der Stadt Zürich statistisch zu ermitteln, müssen empirische Daten herangezogen werden. Zu den Grundlagendaten gehören eine Stichprobe, welche die auf dem Markt beobachteten Mietpreise beinhalten, sowie Daten zu den Wohnungsmerkmalen. Dem Fokus dieser Arbeit folgend werden die aussichtsbezogenen Daten separat beschrieben und ausführlicher behandelt als die übrigen Daten der Wohnungsmerkmale.

Diese Arbeit basiert vollständig auf bereits erhobenen Grundlagendaten. Es mussten keine zusätzlichen Daten erfasst werden. Die Rohdaten mussten bereinigt bzw. aufbereitet werden, um in ausreichender Qualität und in der erforderlichen Form in der hedonischen Preismethode bzw. in den Sichtbarkeitsanalysen eingesetzt werden zu können. Im Folgenden werden die einzelnen Datengrundlagen und ihre Bereinigungs- und Aufbereitungsschritte beschrieben.

#### **5.3.1 Stichprobe**

##### **5.3.1.1 Beschreibung**

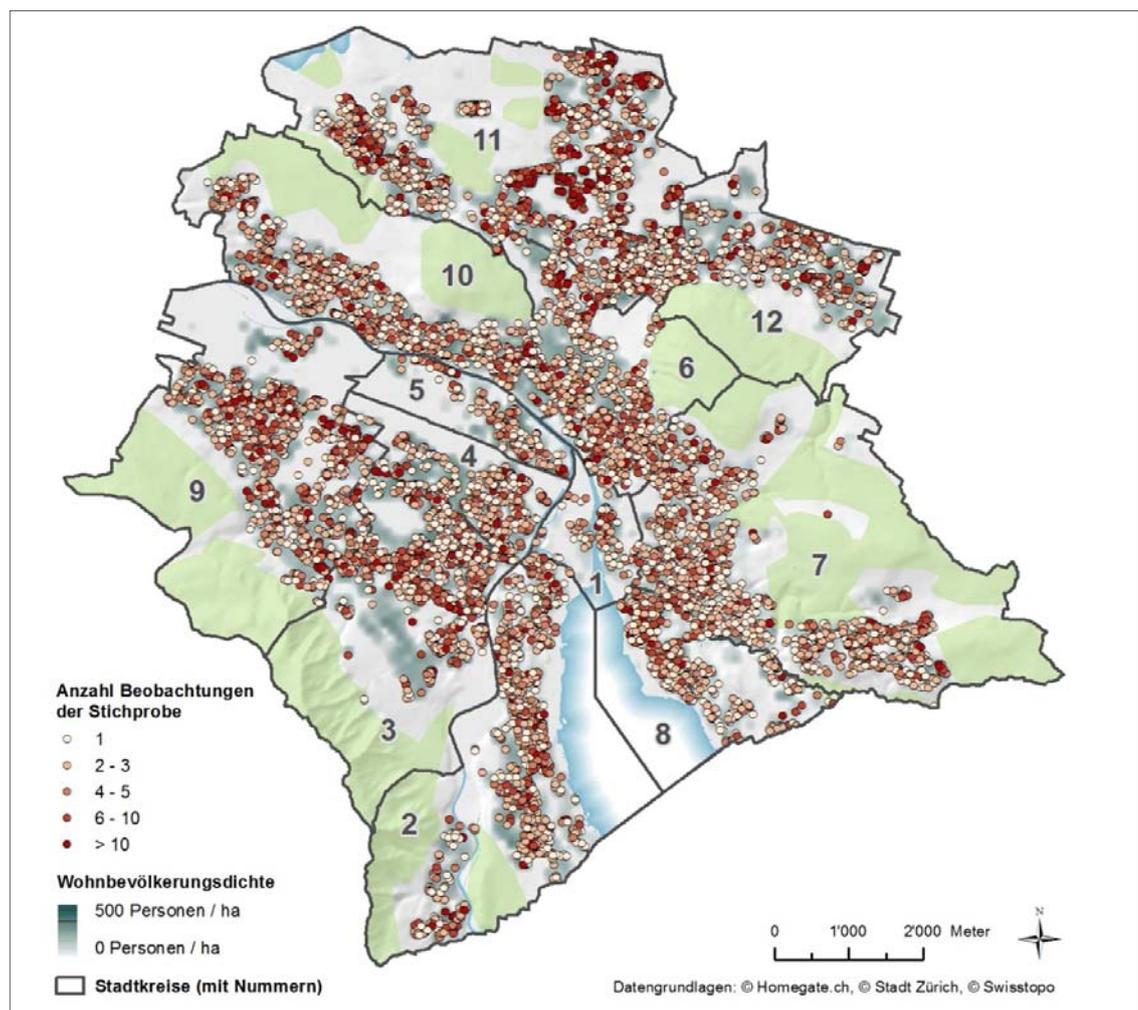
In der vorliegenden Arbeit stellen die Mietwohnungen der Stadt Zürich die betrachtete statistische Grundgesamtheit dar. Als repräsentierende Stichprobe wurden Marktdaten der Firma Homegate AG verwendet. Homegate AG ist der Betreiber des führenden Online-Immobilienportals der Schweiz ([www.homegate.ch](http://www.homegate.ch)) und verfügt über eine umfangreiche Datenbank aktueller und vergangener Miet- und Kaufangeboten. Die verwendete Stichprobe umfasst 39'212 Mietangebote von Wohnungen und Einfamilienhäusern der Stadt Zürich im Zeitraum vom 1. Januar 2002 bis 28. Februar 2011.

Der monatliche Mietpreis ist die zentrale Grösse in den Stichprobendaten. Er setzt sich aus der Nettomiete und den separat erhobenen Nebenkosten (Warmwasser, Heizung, Hauswartung, etc.) zusammen. Die Tabelle 5-1 zeigt die Mediane der Mietpreise in Abhängigkeit ausgewählter Wohnungsgrössen.

**Tabelle 5-1: Stichprobenumfang und Mietpreisgefüge nach Stadtkreis. Grundlage: bereinigte Stichprobe**

	Total		Durchschn. Mietpreis pro Monat (in SFr.)		
	Stichprobenumfang	Anteil am Wohnungsbestand (in %) <sup>a)</sup>	1-Zimmer-Wohnung	3-Zimmer-Wohnung	5-Zimmer-Wohnung
Stadtkreis 1	399	10.2	1326	3454	5120
Stadtkreis 2	3126	19.2	1078	2182	4200
Stadtkreis 3	3848	15.2	952	1957	3553
Stadtkreis 4	1885	12.5	1016	2249	3516
Stadtkreis 5	631	9.3	1086	2225	3433
Stadtkreis 6	2752	15.7	1022	2405	4355
Stadtkreis 7	4373	22.4	1092	2688	4330
Stadtkreis 8	1873	18.8	1135	2627	4475
Stadtkreis 9	4893	19.2	949	1847	3053
Stadtkreis 10	3983	19.6	962	2075	3355
Stadtkreis 11	9435	28.5	928	1830	2858
Stadtkreis 12	2014	14.1	897	1623	2380
Ganze Stadt	39212	18.9	989	2087	3710

<sup>a)</sup> Grundlage: Wohnungsbestand per 31.12.2009 (STADT ZÜRICH 2011a:221)

**Abbildung 5-3: Geografische Verteilung der Stichprobe**

Neben dem Mietpreis sind pro Datensatz die Adresse der Wohnung sowie diverse Strukturmerkmale der Wohnung verfügbar. Zu den strukturellen Daten gehören u.a. die Wohnungsgrösse, Anzahl Zimmer, Verfügbarkeit eines Lifts, Stockwerkangabe, Baujahr, etc. Diese Merkmale sind potenzielle erklärende Variablen im hedonischen Mietpreismodell. Die geografische Verteilung der Stichprobe erschliesst sich über die Adresse und ist in Abbildung 5–3 dargestellt. Beobachtungen mit identischer Adresse sind in der Abbildung entsprechend der Anzahl Beobachtungen farblich hervorgehoben.

### 5.3.1.2 Bereinigung

Als Vorstufe der Regressionsanalyse wurde mit der Bereinigung der Stichprobe ihre Datenqualität erhöht. Die Qualität der unbereinigten Rohdaten kann bereits als hoch bezeichnet werden, da die Datenstruktur im Unterschied etwa zur Vielfalt der Immobilieninserate in Zeitungen einheitlich ist. Gleichwohl mussten folgende Bereinigungen vorgenommen werden: Duplikate und Datensätze mit fehlenden Werten (z.B. fehlende Mietzinsangabe) wurden entfernt. Ausreisser können die Regressionsanalyse verfälschen, da das eingesetzte Kleinste-Quadrate-Verfahren empfindlich auf Ausreisser reagiert (HAASE 2011:64). Sie wurden überprüft und ggf. entfernt.

Angaben zu Wohnungsmerkmalen, an deren Zuverlässigkeit gewisse Zweifel bestanden, wurden durch Daten aus verlässlicheren Quellen ersetzt. Beispielsweise wurde bei den Werten zum Baujahr der Gebäude eine nicht akzeptable Fehlerquote erwartet, da die Angaben in den Stichprobendaten oft von Vormietern stammen, die normalerweise nicht über solche Kenntnisse verfügen. Die Werte zum Baujahr wurden deshalb mit zuverlässigeren Informationen aus dem Gebäudedatenpool<sup>14</sup> der Stadt Zürich ersetzt. Ferner wurden die Stockwerkangaben durch einen Vergleich mit den Gebäudehöhen des 3D-Gebäudemodells<sup>15</sup> der Stadt Zürich plausibilisiert und bei Bedarf berichtigt.

Schlussendlich wurde eine Verknüpfung der Stichproben mit ihrer geografischen Lage erstellt. Die Verknüpfung erfolgte über die Adressangabe in der Stichprobe und den Geodatenatz der Gebäudeadressen<sup>16</sup> der Stadt Zürich. Die geografische Lage der Stichprobendaten ist eine Voraussetzung zur Berechnung der Aussicht und ermöglicht den Zugang zu weiteren Merkmalen der Wohnstandortqualität.

---

<sup>14</sup> © Stadt Zürich, Archiv und Statistik

<sup>15</sup> © Stadt Zürich, Geomatik und Vermessung

<sup>16</sup> © Stadt Zürich, Geomatik und Vermessung

### 5.3.1.3 Repräsentativität

Die Repräsentativität einer Stichprobe ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass das hedonische Modell über die Stichprobe hinaus für die Grundgesamtheit Gültigkeit hat (BACKHAUS et al. 2008:71). Eine Stichprobe ist dann repräsentativ, wenn sie der Grundgesamtheit qualitativ möglichst ähnlich ist. Die Repräsentativität hängt im Wesentlichen vom Stichprobenumfang und von der Art der Stichprobenauswahl ab.

Mit einem Umfang von knapp 40'000 Beobachtungen ist die Stichprobe absolut betrachtet als sehr gross zu bezeichnen. Andere hedonische Studien, die Wohnungsmärkte mit vergleichbarer Grösse betrachten, setzten meistens kleinere Stichproben ein.<sup>17</sup> Zur Beurteilung der Repräsentativität der Stichprobe ist die relative Grösse in Bezug zur Grundgesamtheit besser geeignet als die absolute. Als Mass für die Grösse der Grundgesamtheit wird die Anzahl Wohnungen im Untersuchungsgebiet herangezogen. Mit einem Anteil von 18.9 % am Gesamtwohnungsbestand der Stadt Zürich ist der Umfang der Stichprobe als positiv zu werten. Wie Tabelle 5-1 zeigt, folgt die Stichprobe auch in Teilräumen betrachtet ungefähr der Grundgesamtheit.

Da es sich bei den vorliegenden Beobachtungen ausschliesslich um Daten der Firma Homagate AG handelt, kann nicht von einer einfachen Zufallsstichprobe gesprochen werden. Es liegt eine Klumpenauswahl vor, die sich dadurch kennzeichnet, dass bei der Auswahl auf bereits zusammengefasste Gruppen (Klumpen) und nicht auf die Grundgesamtheit zugegriffen wurde (HAMMANN & ERICHSON 2000:144-146). Ist die Klumpenauswahl homogener als die Grundgesamtheit, ist ihre Repräsentativität eingeschränkt (SANDER 2004:159). Die vorliegende Stichprobe basiert auf Inseraten im Internet und bildet nur den „sichtbaren“ Wohnungsmarkt ab. Weitgehend verborgen bleiben die Marktaktivitäten von gemeinnützigen Anbietern, deren freie Wohnungen selten im Internet publiziert werden. Das Quartier Friesenberg im Kreis 3 mit ihren vielen Genossenschaftswohnungen beispielsweise weist praktisch keine Beobachtungen auf (vgl. Abbildung 5–3). Zudem werden insbesondere günstige Wohnungen oft unter der Hand weitervermietet (GLAUSER et al. 2009:5). Die Vermutung, dass die Stichprobe folglich einen höheren durchschnittlichen Mietzins aufweist als die Grundgesamtheit, kann ein Vergleich mit der so genannten Mietpreisstrukturerhebung, einer anderen Stichprobe, nicht widerlegen.<sup>18</sup> Allein die Tatsache, dass eine

<sup>17</sup> In der Literaturübersicht von BOURASSA et al. (2004) liegt die durchschnittliche Stichprobengrösse der 34 untersuchten Studien bei ca. 3'500 (Minimum: 63, Maximum: 52'000).

<sup>18</sup> durchschnittlicher monatlicher Nettomietzins einer 4-Zimmer-Wohnung im Vergleich:  
 - gemäss Stichprobe: 2'564 SFr.  
 - gemäss Mietpreisstrukturerhebung 2006: 1'611 SFr. (GLAUSER 2008:8)

Klumpenauswahl vorliegt, ist für eine negative Beurteilung der Repräsentativität jedoch nicht ausreichend. Denn je grösser der Anteil des Stichprobenumfangs an der Grundgesamtheit ist, desto mehr treten die Effekte der Klumpenauswahl in den Hintergrund (HAA-SE 2011:75). Unter diesem Aspekt und der Nichtverfügbarkeit von alternativen, besser geeigneten Beobachtungen ist die Anwendung der vorliegenden Stichprobe vertretbar.

### 5.3.2 Daten zur Modellierung der Aussicht

Tabelle 5-2 gibt einen Überblick über die verwendeten Geodaten zur Modellierung der Aussicht. Anschliessend werden die Daten näher erläutert und durchgeführte Aufbereitungen beschrieben. Als Ergebnis der Aufbereitung liegen drei 3D-Stadtmodelle vor, welche als Datengrundlage für die Ermittlung der Aussicht dienen.

**Tabelle 5-2: Überblick der verwendeten Daten zur Modellierung der Aussicht**

Name	Inhalt	Urheber	Genauigkeit (X/Y/Z)	verwendete Ausdehnung	Datenmodell
<i>DTM-AV</i>	Digitales Geländemodell	Swisstopo <sup>a)</sup>	±0.5m/±0.5m/ ±0.5m	Grossraum Zürich	Rastermodell 2m 2.5D
<i>DHM25</i>	Digitales Geländemodell	Swisstopo <sup>a)</sup>	±3m/±3m/ ±3m	Ausserhalb Grossraum Zürich	Rastermodell 25m 2.5D
<i>GebLoD1</i>	Gebäude des Detaillierungsgrads LoD 1	Stadt Zürich <sup>b)</sup>	±0.5m/±0.5m/ ±0.5m	Stadt Zürich	Vektormodell Fläche 2.5D
<i>GebLoD2</i>	Gebäude des Detaillierungsgrads LoD 2	Stadt Zürich <sup>b)</sup>	±0.3m/±0.3m/ ±0.3m	Stadt Zürich	CityGML Randbeschreibung 3D
<i>MFA-ZH</i>	Lage der Mobilfunkantennen	Stadt Zürich <sup>b)</sup>	±0.5m/±0.5m/ ±1.5m	Stadt Zürich	Vektormodell Punkt 3D
<i>Bergspitzen</i>	Lage prominenter Bergspitzen	Swisstopo <sup>a)</sup>	±10m/±10m/ ±25m	gesamter Perimeter	Vektormodell Punkt 3D
<i>BB-GMDE</i>	Bodenbedeckung	Stadt Zürich <sup>b)</sup> und umliegende Gemeinden <sup>c)</sup>	±15cm/±15cm/-	Stadt Zürich und umliegende Gemeinden	Vektormodell Fläche 2D
<i>VECTOR25</i>	Bodenbedeckung	Swisstopo <sup>a)</sup>	±5m/±5m/-	Ausserhalb umliegenden Gemeinden	Vektormodell Fläche 2D
<i>VAS-ZH</i>	Strassenverkehrsachsen mit Verkehrsaufkommen	Stadt Zürich <sup>b)</sup>	±1m/±1m /-	Stadt Zürich	Vektormodell Linie 2D
<i>GebDaten</i>	Div. thematische Sachdaten zu den Gebäuden	Stadt Zürich <sup>b)</sup>	-/-/-	Stadt Zürich	Tabellarische Daten

<sup>a)</sup> © Bundesamt für Landestopographie (DV033638, Topo Schweiz V2, map.geodataviewer.admin.ch, 10.08.2011)

<sup>b)</sup> © Stadt Zürich, Geomatik und Vermessung

<sup>c)</sup> © Kanton Zürich, Amt für Raumordnung und Vermessung

### 5.3.2.1 Beschreibung

**Gelände:** Für die Beschreibung der Geländeoberfläche werden zwei digitale Geländemodelle eingesetzt. *DTM-AV* ist ein sehr präzises Geländemodell in Rasterformat mit einer Rastergrösse von 2 Metern. Es basiert auf Lasermessungen aus Flugzeugen und liegt für diese Arbeit für den Untersuchungsraum Stadt Zürich und einen Umkreis von etwa 10 km vor. Der Datensatz *DHM25* beinhaltet ein weniger genaues, landesweites Geländemodell, das aus den Höheninformationen der Landeskarte 1:25'000 abgeleitet wurde. Es steht in Form eines Rastermodells mit einer Rastergrösse von 25 Metern zur Verfügung. Um den Anforderungen der Untersuchung betreffend abstandsabhängiger Genauigkeit und Performanz gerecht zu werden, wurden die beiden Geländemodelle wie folgt kombiniert:

- Stadt Zürich inkl. 1 km Umkreis: *DTM-AV* mit 0.5 m Toleranz des Höhenwerts
- bis 10 km Umkreis der Stadt Zürich: *DTM-AV* mit 5 m Toleranz des Höhenwerts
- Übriges Gebiet: *DHM25* mit 50 m Toleranz des Höhenwerts

Mit der Zusammenführung erfolgte zudem eine Konvertierung vom Raster- zum TIN-Format. Das TIN erwies sich als ideal für die Ausdünnung gemäss oben aufgeführten Höhentoleranzen und als wenig ressourcenintensiv bei den angewendeten Sichtbarkeitsanalysen. Schlussendlich wurde das Gelände im Bereich des Waldes um 15 Meter angehoben, um die Wirkung des Waldes als Sichthindernis vereinfacht zu modellieren.

**Gebäude:** Für die empirische Untersuchung wurden zwei 3D-Gebäudemodelle mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden eingesetzt. Beide umfassen sämtliche ca. 50'000 Gebäude auf dem Gemeindegebiet der Stadt Zürich. Der Datensatz *GebLoD1* beinhaltet ein Gebäudemodell des Detaillierungsgrads 1 (LoD 1). Es handelt sich um Blockmodelle, die im Rahmen dieser Arbeit durch Extrusion des zweidimensionalen Gebäudegrundrisses auf eine gemittelte Dachhöhe generiert wurden. Die Gebäudegrundrisse stammen aus der Amtlichen Vermessung (Grundbuchplan) und wurden nicht generalisiert. Als Dachhöhe wurde das arithmetische Mittel der von jedem Gebäude mit photogrammetrischen Verfahren bestimmten Traufen- und Frishöhe herangezogen. Damit wird eine möglichst präzise Annäherung an die reale Form der Gebäude angestrebt.

Der Datensatz *GebLoD2* umfasst ein Gebäudemodell des Detaillierungsgrads 2 (LoD 2). Die Gebäude werden in CityGML mittels Randbeschreibung modelliert und bestehen aus planaren Polygonen. *GebLoD2* ist thematisch unterteilt in Grundriss-, Wand- und Dachflächen. Die Grundrisse entsprechen wie jene von *GebLoD1* den Geometrien der Amtlichen Vermessung. Die Wände wurden durch Extrusion der Grundrisse erstellt und beinhalten

keine detaillierten Strukturen wie beispielsweise Balkone oder Erker. Die Dachgeometrien repräsentieren die detaillierten Dachstrukturen inklusive Aufbauten (Gauben, Schornsteine, etc.) und Dachüberstände. *GebLoD2* beinhaltet weder künstliche noch fotografische Texturen. Die Datensätze *GebLoD1* und *GebLoD2* unterscheiden sich geometrisch nur durch die Modellierung der Dachstrukturen.

Beide Gebäudemodelle verfügen als Sachdatum über den so genannten Eidgenössischen Gebäudeidentifikator (EGID). Der EGID wurde in dieser Arbeit als Verknüpfung der Gebäudegeometrien mit thematischen Sachdaten aus externen Datenbanken (z.B. Adressdatenbank, Datenbank der Denkmalpflegeobjekte, etc.) verwendet.

**Bergspitzen:** Der Datensatz der *Bergspitzen* beinhaltet die Lage von 100 Bergspitzen, die vom Untersuchungsgebiet aufgrund der Topographie theoretisch sichtbar sind. Erfasst wurden die höchsten Erhebungen der nahgelegenen Hügel (z.B. Uetliberg, Pfannenstiel, Lägern), der Berge der Ost- und Zentralschweizer Voralpen (z.B. Speer, Rigi, Pilatus) und der hohen Gipfel der Alpen (z.B. Glärnisch, Clariden, Titlis). Die Auswahl erfolgte auf Basis einer kumulativen Viewshed-Analyse über das Siedlungsgebiet der Stadt Zürich. Die Lagen (X/Y/Z) wurden der topografischen Landeskarte 1:25'000 entnommen.

**Mobilfunkantennen:** Im Datensatz *MFA-ZH* sind die 518 Standorte sämtlicher in Betrieb stehender Mobilfunkantennen der Stadt Zürich enthalten (Stand Juni 2011). Es handelt sich um Antennen der Funkdienste GSM und UMTS aller Frequenz- und Strahlungsleistungsklassen. Die Lage in der Ebene wurde den Bewilligungsdaten der Anlagen entnommen, während ihre relative Höhe mit 4 m über Dach angenommen wurde.

**Bodenbedeckung:** Die Daten der Bodenbedeckung beinhalten die flächendeckende, zweidimensionale Repräsentation der Bedeckung resp. Nutzung der Erdoberfläche. Da kein digitaler Datensatz der Bodenbedeckung existiert, der über eine zweckdienliche räumliche Auflösung verfügt und das gesamte Untersuchungsgebiet abdeckt, wurde für die Bodenbedeckung auf zwei Datenquellen zurückgegriffen. Mit dem Datensatz *BB-Gmde* wurde für das Gebiet der Stadt Zürich inklusive einem Umkreis von einem Kilometer<sup>19</sup> die hochpräzise und detailliert klassierte Bodenbedeckung der Amtlichen Vermessung verwendet. Ausserhalb dieses Gebietes wurde die thematische Ebene „Primärflächen“ des weniger genauen und detaillierten Bodenbedeckungsmodell *VECTOR25* der Swisstopo herangezogen. *VECTOR25* basiert geometrisch und thematisch auf der Landeskarte 1:25'000. Abgestützt auf die Festlegungen der Operationalisierung (Kap. 5.4) ging mit der räumlichen Zu-

---

<sup>19</sup> entspricht der in Kap. 5.5.2.5 definierten Grenze Mittelgrund/Hintergrund

sammenführung von *BB-Gmde* und *VECTOR25* auch eine thematische Aggregation der Bodenbedeckungsklassen für den Vorder-, Mittel- und Hintergrund einher. Sie ist in Anhang A.1 in tabellarischer Form dargestellt.

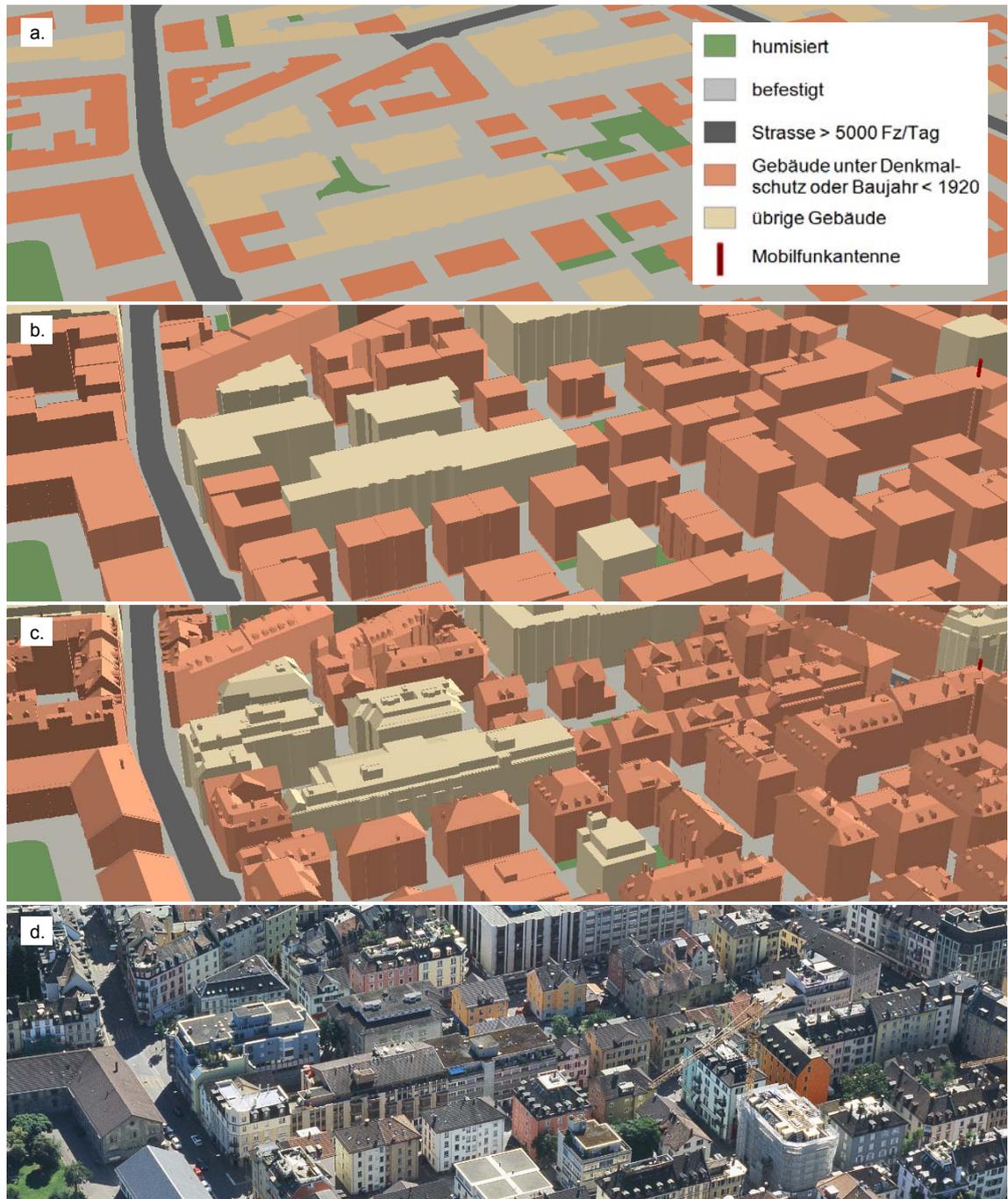
**Strassenverkehrsachsen mit Verkehrsaufkommen:** Da die Strassenflächen der Bodenbedeckung keine Daten zum Verkehrsaufkommen enthalten, wurden die linienförmigen Strassenverkehrsachsen *VAS-ZH* beigezogen. *VAS-ZH* beinhaltet u.a. die tagesdurchschnittlichen Verkehrsbelastungen pro Strassenabschnitt, die ursprünglich aus dem Strassenlärmkataster der Stadt Zürich stammen. Das Verkehrsaufkommen wurde mittels geometrischer Überlagerung mit den Strassenflächen der Bodenbedeckung verknüpft.

**Sachdaten zu den Gebäuden:** Aus dem Gebäudedatenpool und anderen externen Datenbanken wurden folgende tabellarischen Daten zu den Gebäuden entnommen: Baujahr der Gebäude, Gebäudenutzung (in den Kategorien „Wohnen“, „Gewerbe“, „Industrie“, „gemischt“) und Denkmalschutz (in den Kategorien „unter Schutz“, „inventarisiert“, „keine“). Die Verknüpfung mit den 3D-Gebäudemodellen und den Gebäudeflächen der Bodenbedeckung erfolgte über den EGID.

#### 5.3.2.2 Resultierende 3D-Stadtmodelle

Die oben beschriebenen Daten bilden zusammen ein digitales 3D-Stadtmodell. Das Modell besteht neben der physischen Gestalt der Landschaftsobjekte (Geometriedaten) auch aus semantischen Informationen (Sachdaten). Gemäss der Zielsetzung dieser Arbeit wurden aus den Grundlagendaten drei unterschiedliche 3D-Stadtmodelle LoD 0, LoD 1 und LoD 2 erstellt. Sie unterscheiden sich nur in der Repräsentation der Gebäude.

- **Modell LoD 0:** Die Gebäude werden durch ihren Grundriss der auf dem Gelände drapierten Bodenbedeckung repräsentiert. Das Modell enthält keine dreidimensionale Abbildung der Gebäude (Abbildung 5–4 a.).
- **Modell LoD 1:** Die Gebäude werden durch dreidimensionale Objekte des Detaillierungsgrads LoD 1 abgebildet (Abbildung 5–4 b.).
- **Modell LoD 2:** Die Gebäude werden durch dreidimensionale Objekte des Detaillierungsgrads LoD 2 abgebildet (Abbildung 5–4 c.).



**Abbildung 5–4: Ausschnitt aus den 3D-Stadtmodellen: a. Modell LoD 0, b. Modell LoD 1, c. Modell LoD 2, d. Luftbild (Grundlagendaten und Luftbild: Stadtverwaltung Zürich)**

Von den drei Modellen weist das Modell LoD 0 die gröbste, das Modell LoD 2 die exakteste Abbildung der Realität auf. Eine Sichtbarkeitsanalyse auf Basis des Modells LoD 0 berücksichtigt demnach lediglich das Gelände als Sichthindernis, während bei den Modellen LoD 1 und LoD 2 zusätzlich die Gebäude in unterschiedlicher Detailausprägung sichtbindernd wirken.

### 5.3.2.3 Kritik

Die Genauigkeit der zu quantifizierenden Aussichtsmerkmale hängt wesentlich von der Qualität der Grundlagendaten ab. Im Folgenden wird eine kurze qualitative Beurteilung der Datenqualität vorgenommen.

Die räumliche und inhaltliche **Vollständigkeit** der Grundlagendaten ist mit zwei nennenswerten Ausnahmen grundsätzlich gegeben. Eine Ausnahme betrifft die dreidimensionale Repräsentation der Einzelbäume. Digitale Geodaten der Standorte von Einzelbäumen des Untersuchungsraums liegen zurzeit nur für die von der Stadtverwaltung gepflegten Bäume vor (ca. die Hälfte aller Einzelbäume). Um flächendeckend vergleichbare Resultate zu erzielen und die Ergebnisse des hedonischen Modells nicht zu beeinträchtigen, wurden Einzelbäume in keinem der drei 3D-Stadtmodelle abgebildet. Eine weitere Ausnahme betrifft das Geländemodell, welches im süddeutschen Bereich des Sichttraumperimeters gebietsweise nicht verfügbar ist (vgl. Abbildung 5–2). Da dieser Bereich wegen ihrer flachen Topographie vom Untersuchungsgebiet praktisch nicht einsehbar ist und ihre aussichtsbezogene Attraktivität sehr gering ist, wiegt diese Unvollständigkeit nicht schwer.

Die **Genauigkeit** der Grundlagendaten ist sowohl auf räumlicher als auch auf thematischer Ebene als hoch zu beurteilen (vgl. Tabelle 5-2). Einige Grundlagendaten weisen sogar eine für die Belange dieser Arbeit zu hohe räumliche und thematische Auflösung auf, so dass diese im Hinblick auf die Praktikabilität und Performance reduziert wurden.

Die Grundlagendaten weisen eine zweckmässige **Aktualität** auf. Mit Ausnahme der eingesetzten Geländemodelle (2001/2003) sind alle Grundlagendaten nicht älter als drei Jahre. Das Erfassungsdatum respektive der Nachführungsstand aller Daten liegen im Zeitraum der Marktdaten der Stichprobe.

Bezüglich **Richtigkeit** und **Konsistenz** ist den Grundlagendaten eine hohe Qualität zu attestieren. Die Daten aus der Amtlichen Vermessung und jene von Swisstopo unterlagen in ihrer Entstehung und Nachführung verhältnismässig hohen Qualitätsanforderungen und haben sich in den anderen Untersuchungen als zuverlässige Daten bewährt. Einzig die Richtigkeit des Gebäudemodells LoD 1 ist als knapp genügend einzustufen, weisen gemäss einer Stichprobenkontrolle doch ca. 3 % der Gebäude unplausible Gebäudehöhen auf.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die resultierenden 3D-Stadtmodelle eine hohe und zweckmässige Qualität aufweisen. Im Vergleich zu ähnlichen Untersuchungen in der einschlägigen Fachliteratur kann die Qualität der in dieser Arbeit verwendeten Grundlagendaten als überdurchschnittlich bezeichnet werden.

### 5.3.3 Übrige Daten zur Wohnlage

Für die übrigen Wohnungsmerkmale, die nicht durch die in der Stichprobe oder den 3D-Stadtmodellen enthaltenen Informationen beschrieben werden, wurde auf diverse weitere Datenbestände der Stadt- und Kantonsverwaltung, der Stadtpolizei sowie der Zürcher Kantonalbank (ZKB) zurückgegriffen. Sie sind in Kap. 5.5.2 aufgeführt und beschrieben. Die Verknüpfung der Stichprobe mit diesen Daten erfolgte über die geografische Lage der Adressen der Beobachtungen. Damit standen für die Formulierung des hedonischen Mietpreismodells Daten zu weiteren Wohnungsmerkmalen zur Verfügung.

## 5.4 Operationalisierung der Sichtbarkeitsanalysen

Im Kapitel 4 wurden die eingesetzten Sichtbarkeitsanalysen allgemeingültig beschrieben und parametrisiert. Für die Untersuchung mussten die Berechnungsparameter und Modellannahmen konkret spezifiziert werden. Die Festlegungen orientierten sich am Ziel, die Aussichten bei vertretbarem Rechenaufwand möglichst genau zu modellieren. Festgelegt wurden die Lage des Beobachters, die Parameter der 3D-Sichttraumanalyse sowie die Berücksichtigung der Erdkrümmung, der Refraktion und von atmosphärischen Einschränkungen.

### 5.4.1 Lage des Beobachters

Die einsehbare Landschaft wird wesentlich durch die räumliche Lage des Beobachters bestimmt. Im vorliegenden Fall ist der Beobachter der Mieter einer Wohnung, der die Aussicht durch die Fenster oder von seinem Balkon oder Sitzplatz wahrnimmt. Die Standorte der Wohnungen der Stichprobe sind durch ihre Adressen gegeben. Über Geodaten der Gebäudeadressen kann im GIS auf das Gebäude geschlossen werden, in welchem die Wohnung liegt. Die horizontalen Lagen der Wohnungen innerhalb der Gebäude und ihre Fenster sind nicht bekannt und hätten mit einer aufwändigen Erhebung vor Ort erhoben werden müssen. Es wurde deshalb vereinfachend angenommen, dass sich der Beobachter horizontal betrachtet in der Mitte<sup>20</sup> des Gebäudes befindet und in alle Richtungen blicken kann. Diese Annahme hat eine Überschätzung der Aussicht für jene Wohnungen zur Folge, die nicht die gesamte Ausdehnung eines Stockwerks einnehmen. Die vertikale Lage des Beobachters wurde aus den Stockwerkangaben der Stichprobe abgeleitet. Es wurde eine durchschnittliche Stockwerkshöhe von 3.5 m für das Erdgeschoss und 2.8 m für jedes weitere Geschoss angenommen. Zur Stockwerkshöhe wurde eine relative Höhe der Augen von 1.7 m addiert.

---

<sup>20</sup> Zentroid der Gebäudegrundfläche der Amtlicher Vermessung

### 5.4.2 Parameter der 3D-Sichtraumanalyse

Die Parameter der in Kapitel 4.4 beschriebenen 3D-Sichtraumanalyse wurden wie folgt festgelegt:

**Radiale Sichtraumbegrenzung.** Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass auch von weit entfernten, sichtbaren Landschaftsobjekten eine Preiswirkung ausgehen kann. Die radiale Sichtraumbegrenzung hat sich folglich an der maximalen Sichtweite zu orientieren. Die maximale Sichtweite wird durch physiologische, atmosphärische und topografische Rahmenbedingungen bestimmt und variiert von wenigen Dutzend Metern (z.B. bei Nebel) bis zu über 100 km (bei klarer Luft). Die topografischen Bedingungen und die Erdkrümmung lassen in Zürich und Umgebung eine Sichtweite von selten mehr als 80 km zu. Die radiale Sichtraumbegrenzung wurde mit  $d_{max} = 80 \text{ km}$  festgelegt.

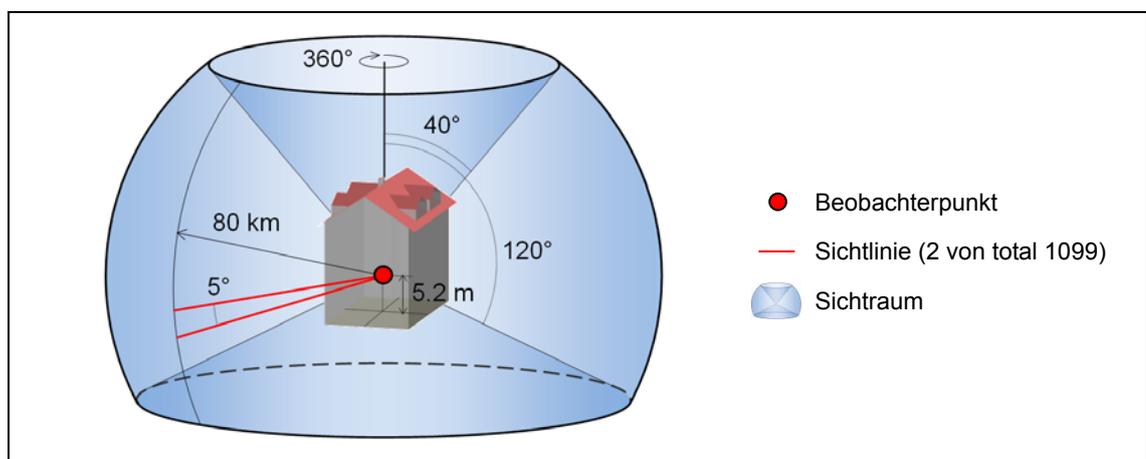
**Azimutale Sichtraumbegrenzung.** Bei einem statischen Blick in eine bestimmte Richtung entspricht die azimutale Sichtraumbegrenzung der horizontalen Beschränkung des menschlichen binokularen Gesichtsfelds (ca. 170 Grad). Bei einer Aussicht aus einer Wohnung interessieren hingegen alle möglichen horizontalen Blickrichtungen. Das *a priori* Weglassen vermeintlich unbedeutender Teilräume (z.B. Aussicht auf einen Innenhof) könnte zu einer falschen Einschätzung der Aussicht führen. Die azimutale Sichtraumbegrenzung wurde demnach mit  $\varphi_{min} = 0^\circ$  und  $\varphi_{max} = 360^\circ$  angenommen (Rundum-Sicht).

**Zenitale Sichtraumbegrenzung.** Die wesentlichen Objekte einer Aussicht befinden sich in der Regel im zenitalen Sichtbereich von etwa  $70^\circ$  bis  $110^\circ$ . Der Sichtraum oberhalb dieses Bereichs wird zunehmend vom Himmel dominiert, während der Sichtraum unterhalb die unmittelbar vor dem Haus liegenden Landschaftselemente erfasst. Die zenitale Sichttraumbegrenzung wurde mit  $\theta_{min} = 40^\circ$  und  $\theta_{max} = 120^\circ$  festgelegt. Hintergrund dieser Festlegung war, Sichtkonstellationen in dicht und hoch bebauten Gebieten zu berücksichtigen und unbedeutende Sichtbereiche aus Performancegründen auszuklammern.

**Sehstrahlendichte.** Mit den regelmässig verteilten, vom Betrachter wegführenden Sehstrahlen der 3D-Sichtraumanalyse wird der Sehvorgang in umgekehrter Richtung abgebildet. Der Sichtraum wird umso genauer erfasst, je mehr Sehstrahlen modelliert werden bzw. je kleiner der Sehstrahlenabstand  $\alpha$  ist. Eine untere Richtgrösse für die Wahl von  $\alpha$  liefert das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges. Das Auflösungsvermögen ist der kleinste Winkel, bei dem der Mensch zwei Punkte noch getrennt wahrnehmen kann, und beträgt für unangestregtes Sehen ca.  $4'$  (LINDNER 2006:379). Wird  $\alpha$  diesem Winkel gleichgesetzt, bildet die Sichtraumanalyse die wahrgenommene Aussicht ohne Genauigkeitsverlust ab, bedingt aber eine ausserordentlich hohe Rechenzeit. Bei der Wahl von  $\alpha$  ist

ein Optimum zwischen Rechenzeit und Genauigkeit der Sichttraumanalyse zu finden. Ein empirischer Vergleich von Sichttraumanalysen unterschiedlicher Winkel  $\alpha$  für eine beispielhafte Wohnung zeigt, dass dieses Optimum für die eingesetzte Software und Hardware bei ca.  $5^\circ$  liegt (vgl. Anhang A.2). Masszahlen der Sichträume mit  $\alpha > 5^\circ$  weichen mehr als 5 % von jenen mit  $4'$  ab, während die Rechenzeit bei  $\alpha < 5^\circ$  bei nur unwesentlichem Genauigkeitsgewinn erheblich ansteigt. Als Sehstrahlenabstand wurde  $\alpha = 5^\circ$  gewählt.

Die Festlegungen zur radialen, azimuthalen und zenitalen Sichtraumbegrenzung sowie der Sehstrahlendichte ergeben einen Sichtraum gemäss Abbildung 5–5. Es resultiert ein Total von 1099 Sichtlinien, die pro Beobachtung der Stichprobe berechnet wurden.



**Abbildung 5–5: Operationalisierte 3D-Sichttraumanalyse für die Untersuchung; die relative Höhe des Beobachterpunkts bezieht sich beispielhaft auf eine Wohnung im ersten Stockwerk**

#### 5.4.3 Erdkrümmung, Refraktion und atmosphärische Einschränkungen

Wegen der Erdkrümmung verschwinden weit entfernte Objekte der Erdoberfläche hinter der Horizontlinie. Dies hat zur Folge, dass beispielsweise eine Sichtlinienanalyse zu einer fernen Bergspitze diese als sichtbar ausweist, obwohl sie es in Realität nicht ist. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Sichtbarkeit ist die Refraktion. Sie entsteht durch die Brechung des Lichts in der Erdatmosphäre und bewirkt, dass entfernte Objekte höher erscheinen als sie tatsächlich sind. Folglich wirkt die Refraktion dem Effekt der Erdkrümmung entgegen. YOELI (1985:92f.) wies die erdkrümmungs- und refraktionsbedingte Korrektur des Höhenwertes wie folgt aus:

$$\Delta Z = -\frac{d^2}{2 \cdot r_E} + k \cdot \frac{d^2}{2 \cdot r_E} \quad \text{Formel 5-1}$$

mit  $d$  = Distanz zwischen Beobachter und Objekt,  $r_E$  = Erdradius und  $k$  = Refraktionskoeffizient. Für letzteren wird üblicherweise ein Durchschnittswert von 0.13 eingesetzt (YOELI

LI 1985:93). Die Korrektur nimmt mit zunehmender Distanz quadratisch zu und beträgt für die oben definierte maximale Sichtdistanz von 80 km ca. 440 Höhenmeter, was die Sichtbarkeit erheblich beeinflussen kann. Die Erdkrümmung und Refraktion wurde deshalb in allen Sichtbarkeitsberechnungen gemäss Formel 5-1 berücksichtigt.

Die Sichtbarkeit hängt neben den topografischen Gegebenheiten und der Effekte der Erdkrümmung und Refraktion massgebend von den atmosphärischen Bedingungen ab. Die Trübung der Atmosphäre durch Wasserteilchen (Nebel, Bewölkung) und Staub dämpfen das Licht und den Kontrast und schränken die Sichtweite ein. Wegen ihrer zeitlichen Variabilität und fehlenden praktikablen Quantifizierungsansätzen wurden die Auswirkungen der atmosphärischen Bedingungen auf die Sichtbarkeit nicht berücksichtigt. Es wurde von konstanten uneingeschränkten Sichtbedingungen ausgegangen.

## 5.5 Formulierung des hedonischen Mietpreismodells

Das hedonische Mietpreismodell beschreibt die Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Mietpreis und den nutzenstiftenden Merkmalen der Wohnung. Die Formulierung des Mietpreismodells ist der erste Schritt der Regressionsanalyse und beinhaltet die Festlegung der funktionalen Form und die Wahl der Variablen.

### 5.5.1 Funktionale Form

Die funktionale Form des hedonischen Modells stellt die Art der Beziehung des Mietpreises (Zielvariable) mit den Wohnungsmerkmalen (erklärende Variablen) dar. Wie bereits erwähnt, liefert die theoretische Literatur keine Argumente, eine funktionale Form *a priori* einer anderen vorzuziehen. In der angewandten Literatur werden häufig lineare, semi-logarithmische und doppellogarithmische Funktionen verwendet. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine semi-logarithmische Funktion mit logarithmisch transformierter Zielvariable eingesetzt. Folgende Gründe führten zu dieser Entscheidung: Erstens haben semi-logarithmische Modelle nach MALPEZZI (2003) wichtige Vorteile gegenüber anderen Formen (u.a. einfachere Interpretation, Verminderung der Heteroskedastizität, flexible Spezifikation der erklärenden Variablen). Zweitens haben sich semi-logarithmische Modelle in zahlreichen hedonischen Untersuchungen im Schweizer Mietwohnungsmarkt bewährt (z.B. BANFI et al. 2007, SCHAEERER et al. 2007, GLAUSER et al. 2009, SCHULZ & WALTERT 2009, MÜRI et al. 2011), so dass anzunehmen ist, dass sie den mietpreisbestimmenden Einfluss sachlogisch richtig beschreiben. Schlussendlich zeigte ein QQ-Plot, dass mit der logarithmischen Transformation der Zielvariable die vorliegende Schiefe der Mietpreisvertei-

lung reduziert wird. Damit konnte der statistisch bedingten Voraussetzung normalverteilter Variablen näherungsweise gerecht werden (vgl. Kap. 6.2.2).

Es wurden vier Modellvarianten geschätzt (Formel 5-2 bis Formel 5-5). Modell A beinhaltet die Variablen der Strukturmerkmale  $S$ , der Makrolage  $G$  und der Mikrolage  $M$  ohne die Aussichtsvariablen. In die Modelle B, C bzw. D gehen zusätzlich die Aussichtsvariablen  $A_{LoD0}$ ,  $A_{LoD1}$  bzw.  $A_{LoD2}$  auf Basis der 3D-Stadtmodelle LoD 0, LoD 1 bzw. LoD 2 ein<sup>21</sup>.

$$\text{Modell A: } \ln P_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j S_{i,j} + \sum_{k=1}^K \beta_k G_{i,k} + \sum_{l=1}^L \beta_l M_{i,l} + \varepsilon_i \quad \text{Formel 5-2}$$

$$\text{Modell B: } \ln P_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j S_{i,j} + \sum_{k=1}^K \beta_k G_{i,k} + \sum_{l=1}^L \beta_l M_{i,l} + \sum_{n=1}^N \beta_n A_{LoD0_{i,n}} + \varepsilon_i \quad \text{Formel 5-3}$$

$$\text{Modell C: } \ln P_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j S_{i,j} + \sum_{k=1}^K \beta_k G_{i,k} + \sum_{l=1}^L \beta_l M_{i,l} + \sum_{n=1}^N \beta_n A_{LoD1_{i,n}} + \varepsilon_i \quad \text{Formel 5-4}$$

$$\text{Modell D: } \ln P_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j S_{i,j} + \sum_{k=1}^K \beta_k G_{i,k} + \sum_{l=1}^L \beta_l M_{i,l} + \sum_{n=1}^N \beta_n A_{LoD2_{i,n}} + \varepsilon_i \quad \text{Formel 5-5}$$

$P_i$  bezeichnet die Bruttomiete pro Monat der  $i$ -ten Wohnung. Der natürlichen Logarithmus von  $P_i$  hängt über eine lineare Funktion von den erklärenden Variablen ab. Die Parameter  $\beta$  sind die zu schätzenden Regressionskoeffizienten und repräsentieren die impliziten Preise. Der Zufallsfehler  $\varepsilon$  deckt den nicht erklärten Teil der Abweichungen ab. Modell D ist wegen seiner genauesten Datengrundlage *a priori* als bestes Modell zu bezeichnen. Die Modelle A bis C dienen lediglich Vergleichszwecken: Ein Vergleich des Modells D mit

- Modell A soll die Bedeutung der Aussicht bei der Mietpreisbildung aufzeigen
- Modell B und C soll die Auswirkungen der unterschiedlichen Datenbasen LoD 0, LoD 1 und LoD 2 auf die Schätzergebnisse aufzeigen

### 5.5.2 Wahl der Variablen

Im Anschluss an die Festlegung der funktionalen Form wurden die erklärenden Variablen bestimmt. Es galt, jene Variablen zu benennen, für die einen Einfluss auf den Mietpreis vermutet wurde. Die Vermutungen gründen auf den im Kap. 2.5 dargelegten Erkenntnissen der empirischen Literatur sowie auf eigenen sachlogischen Überlegungen. Der Zielsetzung dieser Arbeit folgend lag der Schwerpunkt bei einer umfassenden und differenzierten

<sup>21</sup> Obwohl die Aussicht zu den Merkmalen der Mikrolage gehört, werden die Aussichtsvariablen hier der Übersichtlichkeit halber separat aufgeführt.

Abbildung der Aussichtsmerkmale im hedonischen Modell. Entsprechend gross war die Anzahl der Variablen der Aussicht im Vergleich zu den übrigen. Gleichwohl wurde versucht, die nicht aussichtsbezogenen Wohnungsmerkmale ausreichend zu modellieren, um nicht Gefahr zu laufen, die gesamte Preisheterogenität fälschlicherweise auf die Aussicht zurückzuführen.

In der Tabelle 5-3 sind alle Variablen, die in die Schätzung der Modelle A, B, C und D eingegangen sind, beschrieben und deskriptiv aufgelistet. Zudem ist die erwartete Preiswirkung aufgeführt. Die Anzahl der verfügbaren Werte beträgt für alle Variablen 39'212, das heisst es waren für alle Beobachtungen der Stichprobe Daten zu allen Variablen vorhanden.

**Tabelle 5-3: Beschreibung und deskriptive Statistik der Modellvariablen**

Variable	Beschreibung	Einheit <sup>a)</sup>	Min <sup>b)</sup>	Max <sup>b)</sup>	Mittelw. <sup>b)</sup>	Stdabw. <sup>b)</sup>	erw. Effekt <sup>c)</sup>
<b>Zielvariable</b>							
Mietpreis	Monatliche Bruttomiete	[SFr]	447	15053	2063	1123	
<b>Variablen der Strukturmerkmale</b>							
Zimmer	Anzahl Zimmer ohne Küche und Bad	[Anzahl]	1	12	2.79	1.19	↗
Wohnfläche	Grösse der Wohnfläche	[m <sup>2</sup> ]	17	395	77.5	35.4	↗
Cheminée	Beträgt 1, falls Wohnung über ein Cheminée verfügt, ansonsten = 0	D	0	1	0.074	0.261	↗
Lift	Beträgt 1, falls Gebäude über einen Lift verfügt, ansonsten = 0	D	0	1	0.388	0.487	↗
Balkon	Beträgt 1, falls Wohnung über einen Balkon verfügt, ansonsten = 0	D	0	1	0.598	0.490	↗
Alter	Wirtschaftliches Alter der Wohnung						
	Alter_0: 0 - 2 Jahre (Referenzkategorie)	D	0	1	0.123	0.329	=
	Alter_3: 3 - 9 Jahre	D	0	1	0.147	0.354	↘
	Alter_10: 10 - 19 Jahre	D	0	1	0.110	0.312	↘
	Alter_20: 20 - 34 Jahre	D	0	1	0.179	0.383	↘
	Alter_35: 35 - 49 Jahre	D	0	1	0.175	0.380	↘
	Alter_50: 50 - 74 Jahre	D	0	1	0.176	0.381	↘
Eigentümer	Alter_75: > 74 Jahre	D	0	1	0.090	0.287	↘
	Eigentümer der Wohnung						
	Eigentümer_Priv: private Eigentümerschaft (Referenzkategorie)	D	0	1	0.483	0.500	=
	Eigentümer_KapPen: Kapitalgesellschaften und Pensionskassen	D	0	1	0.444	0.497	↘
	Eigentümer_GenOef: Genossenschaften und öffentliches Eigentum	D	0	1	0.073	0.260	↘
Datum	Inseratedatum						
	Datum_2011: ab 1.1.2011 (Referenzkategorie)	D	0	1	0.064	0.246	=
	Datum_2010: 1.1.2010 - 31.12.2010	D	0	1	0.110	0.313	↘
	Datum_2009: 1.1.2009 - 31.12.2009	D	0	1	0.120	0.325	↘
	Datum_2008: 1.1.2008 - 31.12.2008	D	0	1	0.106	0.308	↘
	Datum_2007: 1.1.2007 - 31.12.2007	D	0	1	0.125	0.331	↘
	Datum_2006: 1.1.2006 - 31.12.2006	D	0	1	0.128	0.334	↘
	Datum_2005: 1.1.2005 - 31.12.2005	D	0	1	0.123	0.329	↘
	Datum_2004: 1.1.2004 - 31.12.2004	D	0	1	0.106	0.307	↘
	Datum_2003: 1.1.2003 - 31.12.2003	D	0	1	0.071	0.257	↘
Datum_2002: 1.1.2002 - 31.12.2002	D	0	1	0.046	0.209	↘	
<b>Variablen der Makrolage</b>							
-							

Variable	Beschreibung	Einheit <sup>a)</sup>	Min <sup>b)</sup>	Max <sup>b)</sup>	Mittelw. <sup>b)</sup>	Stdabw. <sup>b)</sup>	erw. Effekt <sup>c)</sup>
<b>Variablen der Mikrolage</b>							
Reisezeit_HB	Kürzeste Reisezeit zum Hauptbahnhof Zürich mit den öffentlichen Verkehrsmitteln	[min]	6	29	18.7	4.44	↘
Distanz_Einkauf	Luftliniendistanz zum nächstliegenden grösseren Lebensmittelladen	[m]	0	1927	310	196	↘
Strassenlärm	Mittlere Lärmbelastung des motorisierten Verkehrs und der Trams während den Tagesstunden (6-22h)	[dB]	50.0	75.1	57.0	6.73	↘
Kriminalitätsrate	Dichte der polizeilich verfolgten Delikte im unmittelbaren räumlichen Umfeld	[-]	$1.50 \cdot 10^{-5}$	0.0768	0.003	0.004	↘
<b>Variablen der Aussicht</b>							
SRA_GebHist_V	Anteil historischer Gebäude (denkmalgeschützt oder mit Baujahr vor 1920) im Vordergrund (0-100 m) des Sichtraums	[-]	0	0.772	0.063	0.112	↗
SRA_GebIndustr_V	Anteil Industriegebäude im Vordergrund	[-]	0	0.326	0.004	0.015	↘
SRA_GebUebrig_V	Anteil übrige Gebäude im Vordergrund	[-]	0	0.862	0.252	0.120	→
SRA_Strasse_V	Anteil grosse Strassen (DTV > 5000 Fz/Tag) im Vordergrund	[-]	0	0.132	0.010	0.019	↘
SRA_Eisenbahn_V	Anteil Eisenbahnareale im Vordergrund	[-]	0	0.109	0.0005	0.004	↘
SRA_UebrBefestigt_V	Anteil übrige befestigte Flächen im Vordergrund	[-]	0	0.340	0.068	0.042	→
SRA_SiedlHum_V	Anteil nicht befestigte bzw. humisierte Flächen im Vordergrund	[-]	0	0.390	0.100	0.068	→
SRA_Landw_V	Anteil Landwirtschaftsflächen im Vordergrund	[-]	0	0.248	0.002	0.012	↗
SRA_Wald_V	Anteil Wald im Vordergrund	[-]	0	0.295	0.002	0.014	↗
SRA_Gewässer_V	Anteil Gewässer (Seen und Flüsse) im Vordergrund	[-]	0	0.112	0.0003	0.003	↗
SRA_Gebaeude_M	Anteil Gebäude im Mittelgrund (100-1000 m)	[-]	0	0.130	0.011	0.011	→
SRA_Befestigt_M	Anteil befestigte Flächen im Mittelgrund	[-]	0	0.114	0.002	0.005	↘
SRA_SiedlHum_M	Anteil nicht befestigte bzw. humisierte Flächen im Mittelgrund	[-]	0	0.112	0.003	0.006	→
SRA_Landw_M	Anteil Landwirtschaftsflächen im Mittelgrund	[-]	0	0.0901	0.001	0.004	↗
SRA_Wald_M	Anteil Wald im Mittelgrund	[-]	0	0.134	0.003	0.008	↗
SRA_Gewässer_M	Anteil Gewässer (Seen und Flüsse) im Mittelgrund	[-]	0	0.0364	0.0002	0.001	↗
SRA_Siedlung_H	Anteil Siedlung im Hintergrund (> 1000 m)	[-]	0	0.0591	0.004	0.006	→
SRA_Landw_H	Anteil Landwirtschaftsflächen im Hintergrund	[-]	0	0.0264	0.001	0.002	↗
SRA_Wald_H	Anteil Wald im Hintergrund	[-]	0	0.0346	0.003	0.004	↗
SRA_Gewässer_H	Anteil Gewässer (Seen und Flüsse) im Hintergrund	[-]	0	0.0282	0.0001	0.001	↗
SRA_Himmel	Anteil Himmel am Sichtraum	[-]	0.091	0.575	0.470	0.065	↗
Durchschn_Sichtweite	Durchschnittliche Sichtweite (ohne Sichtbeziehungen zum Himmel)	[m]	4.56	991	91.4	97.0	↗
Sichtvolumen_Landschaft	Volumen des sichtbaren Raums, unterhalb Horizont	[m <sup>3</sup> ]	1040	$3.01 \cdot 10^{11}$	$4.04 \cdot 10^9$	$1.43 \cdot 10^{10}$	↗
Sichtvolumen_Himmel	Volumen des sichtbaren Raums, oberhalb Horizont	[m <sup>3</sup> ]	$1.30 \cdot 10^{14}$	$8.06 \cdot 10^{14}$	$6.71 \cdot 10^{14}$	$9.29 \cdot 10^{15}$	↗
Diversität	Diversität der sichtbaren Landschaft (Shannon-Diversity)	[-]	0.402	1.95	1.33	0.156	?
Berge	Anzahl sichtbare Bergspitzen	[Anzahl]	0	66	9.09	13.4	↗
Mobilfunkantennen	Anzahl sichtbare Mobilfunkantennen im Umkreis von 150m	[Anzahl]	0	5	0.346	0.633	↘
Sky_Visibility_Ratio	Sichtbarkeit des Himmels	[-]	0.157	0.980	0.766	0.125	↗
Skyline_Länge	Länge der Horizontlinie	[m]	146	454903	$3.62 \cdot 10^4$	$5.82 \cdot 10^4$	↗
Skyline_VM_Gebäude	Visual Magnitude der Horizontlinie, wo sie den Gebäuden folgt	[-]	0	12.2	6.09	1.78	→
Skyline_VM_Gelände	Visual Magnitude der Horizontlinie, wo sie dem Gelände folgt	[-]	0	6.19	1.16	1.27	↗

N = 39'212

a) D = Dummy-Variable

b) Der Übersichtlichkeit halber sind bei den Aussichtsvariablen nur die Werte des Modells D aufgeführt

c) erwarteter Preiseffekt: ↗ positive Preiswirkung, ↘ negative Preiswirkung, → keine Preiswirkung, ? unbekannte Preiswirkung, = Basiskategorie bei Dummy-Variablen

In den nachfolgenden Ausführungen werden die Variablen nach Variablenklassen im Detail beschrieben.

### 5.5.2.1 Zielvariable

Als Zielvariable dient im hedonischen Mietpreismodell die monatliche Bruttomiete der Wohnung. Sie setzt sich aus der Nettomiete und den separat erhobenen Nebenkosten zusammen. Eine räumlich gegliederte Statistik der Bruttomieten der Stichprobe wurde bereits in Tabelle 5-1 aufgelistet. Die Zielvariable wurde wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben logarithmiert.

### 5.5.2.2 Variablen der Wohnungsstruktur

Die Variablen der Wohnungsstruktur beschreiben die wohnungsspezifischen Qualitätsfaktoren. Dazu gehören im Wesentlichen die Grösse, die Ausstattung und der Zustand der Wohnung und ihres Gebäudes.

**Zimmer.** Allgemein kann beobachtet werden, dass Miet- und Kaufpreise von Immobilien mit der Anzahl Zimmer zunehmen. In den allermeisten hedonischen Immobilienpreisstudien wird die Anzahl Zimmer, Schlafzimmer oder Badezimmer als erklärende Variable verwendet (SIRMANS et al. 2005:10). Die Variable Zimmer beschreibt die Anzahl Zimmer der Wohnung ohne Küche und Badezimmer. Es wird eine positive Preiswirkung der Variable erwartet.

**Wohnfläche.** Neben der Anzahl Zimmer gehört die Wohnfläche zu den bedeutendsten Preisdeterminanten. Zwischen diesen Merkmalen besteht jedoch ein Zusammenhang (grosse Wohnungen haben tendenziell viele Zimmer; Pearson-Korrelation von 0.84), was bei gleichzeitiger Verwendung zu unerwünschter Multikollinearität führen kann. Wie sich jedoch später bei der Überprüfung der Modellprämissen herausstellte, hält sich diese Problematik in Grenzen. Deshalb wurden beide Variablen in das Modell integriert. Bei der Schätzung hat sich gezeigt, dass ein Logarithmieren der Wohnfläche die Gesamterklärung verbessert. Der erwartete Einfluss auf den Mietpreis ist positiv.

**Cheminée.** Die Qualität der Innenausstattung spielt bei der Wohnungssuche eine zentrale Rolle. Ein Cheminée weist auf einen allgemein höheren Ausbaustandard der Wohnung hin. Folglich wird ein Mietpreisaufschlag erwartet. Das Vorhandensein eines Cheminéees wurde als Dummy-Variable modelliert (0: kein Cheminée vorhanden, 1: Cheminée vorhanden).

**Lift.** Ein Lift im Wohngebäude erleichtert so manchen Einkauf. Für diese Nutzenstiftung wird eine positive Zahlungsbereitschaft vermutet. Das Vorhandensein eines Lifts wird ebenfalls als Dummy-Variable abgebildet.

**Balkon.** Der Balkon gehört zu den begehrten Charakteristiken einer Wohnung. Es wird vermutet, dass eine Wohnung mit Balkon einen höheren Mietpreis erzielt als eine identische Wohnung ohne Balkon.

**Alter.** Wohnungssuchende achten auf das Jahr der Bauvollendung und der letzten Sanierung. Während Neubauten und sanierte Wohnungen den heutigen Wohnansprüchen bezüglich Grundriss und Ausstattung genügen, werden ältere Wohnungen weniger nachgefragt. Für das hedonische Modell wurde das Bau- und das allfällige Umbaujahr in dieser Variable als wirtschaftliches Alter zusammengeführt. Das wirtschaftliche Alter entspricht der Anzahl Jahre seit der letzten Totalsanierung. Für Wohnungen ohne Totalsanierung gilt das Baujahr. Das wirtschaftliche Alter wird als Dummy-Block mit den Klassen 0-2, 3-9, 10-19, 20-34, 35-49, 50-74 und  $\geq 75$  Jahre modelliert. Mit zunehmendem wirtschaftlichem Alter wird ein abnehmender Mietpreis erwartet.

**Eigentümer.** Unterschiedliche Renditeerwartungen der vermietenden Wohnungs- bzw. Gebäudeeigentümer wirken sich auf den angebotenen Mietpreis aus. Die Eigentumsverhältnisse wurden im hedonischen Modell in die drei Kategorien „private Eigentümer“, „Kapitalgesellschaften und Pensionskassen“ sowie „Genossenschaften und öffentliches Eigentum“ unterteilt und als Dummy-Block abgebildet. Da letztere Kategorie ihre Wohnungen vorwiegend kostendeckend vermieten, wird als Ergebnis der Schätzung ein im Vergleich zu den anderen Kategorien reduzierter Mietpreis erwartet.

**Datum.** Im Immobilienmarkt entstehen durch exogene und endogene Ursachen Angebots- und Nachfrageschwankungen. Diese Auf- und Abwärtsbewegungen sind zyklischer Natur und folgen üblicherweise dem gesamtwirtschaftlichen konjunkturellen Muster. Die Mietpreisschwankungen wurden mit einem Block dichotomer Variablen modelliert, der je Inseratejahr eine Dummy-Variable enthält. Der Immobilienmarkt der Schweiz hat sich in den letzten Jahren in einem Aufschwung befunden. Für Inserate älteren Datums wird deshalb eine günstigere Miete erwartet.

### 5.5.2.3 Variablen der Makrolage

Mit den Variablen der Makrolage werden die Unterschiede der Mieten auf der Stufe der einzelnen Gemeinden modelliert. Da das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit nur eine Gemeinde umfasst und bedeutende Einflussfaktoren der Makrolage wie z.B. die Höhe der Steuern oder die regionale Zentralität konstant sind, wurden keine Variablen der Makrolage eingesetzt.

#### 5.5.2.4 Variablen der Mikrolage

Die Mikrolage einer Wohnung beschreibt den kleinräumigen Standort der Wohnung innerhalb einer Gemeinde und wurde in dieser Untersuchung durch folgende Einflussfaktoren abgebildet:

**Reisezeit\_HB.** Die Zentralität gehört zu den wichtigsten Eigenschaften der Lagequalität einer Immobilie. Der Hauptbahnhof Zürich ist der grösste Verkehrsknotenpunkt der Schweiz und leistet einen überdurchschnittlichen Beitrag zur Erreichbarkeit vieler Ziele des öffentlichen Lebens. Diese Variable beinhaltet die Reisezeit von der Wohnung zum Hauptbahnhof mit den öffentlichen Verkehrsmitteln (beste Verbindung zwischen 7:00 bis 8:00 Uhr). Eine kurze Reisezeit sollte sich positiv auf den Mietpreis auswirken. Datenquelle: Amt für Verkehr des Kantons Zürich.

**Distanz\_Einkauf.** Eine gute Wohnlage zeichnet sich durch kurze Wege zur lokalen Infrastruktur aus (Lebensmittelläden, Poststellen, Schulen, etc.). Diese Variable misst die Luftliniendistanz der Wohnung zum nächstgelegenen, grösseren Lebensmittelladen. Es wird ein negatives Vorzeichen des Regressionskoeffizienten erwartet. Datenquelle: ZKB.

**Strassenlärm.** Lärm beeinträchtigt die Gesundheit und mindert die Wohnqualität. Der Strassenverkehr ist die Hauptlärmquelle in Zürich und belastet etwa ein Drittel der Bevölkerung mit Pegeln über den gesetzlichen Grenzwerten (STADT ZÜRICH 2011b). Mit dieser Variable wird der Lärm als mittlere Lärmbelastung des motorisierten Verkehrs und der Trams während den Tagesstunden (6 bis 22 Uhr) repräsentiert. Der erwartete Einfluss auf den Mietpreis ist negativ. Datenquelle: Stadtverwaltung Zürich.

**Kriminalitätsrate.** In hedonischen Preismodellen des angelsächsischen Raums konnte der negative Einfluss der Kriminalität auf die Immobilienpreise nachgewiesen werden (SIRMANS et al. 2005:10). In dieser Untersuchung wurden alle polizeilich verfolgten Delikte mit Straftatbestand (Diebstahl, Körperverletzung, Raub, Sachbeschädigung, Tötlichkeit, Unfug) und ohne Straftatbestand (Lärm, Trunkenheit, Abfall) im Zeitraum vom 1.1.2006 bis 31.12.2010 herangezogen. Aus den diskreten räumlichen Punktdaten wurde im GIS mit dem Kernel Algorithmus ein kontinuierliches Dichte-Raster erzeugt. Berücksichtigt wurden Delikte der unmittelbaren Umgebung bis zu einem Abstand von 250 m. Damit stand für jeden Wohnstandort eine Kriminalitätsrate zur Verfügung. Es wird von einer negativen Preiswirkung ausgegangen. Datenquelle: Stadtpolizei Zürich.

### 5.5.2.5 Variablen der Aussicht

Die Wahl der Variablen der Aussicht verfolgte das Ziel, die Qualitäten einer Aussicht hinreichend genau quantitativ zu beschreiben. Dies ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass die aussichtsbedingte Variation der Mietpreise mit dem hedonischen Modell gut erklärt werden. Neben Variablen, deren Preiswirkungen gemäss bisheriger Forschungsergebnissen unbestritten sind (z.B. Sicht auf einen See), wurden auch „experimentelle“ Variablen ins Modell einbezogen, die nach Kenntnisstand des Autors noch nie untersucht wurden (z.B. Sky Visibility Ratio). Auch wenn aus sachlogischen Überlegungen oft eine Vermutung besteht, ob für den visuellen Reiz, den eine Aussichtsvariable beschreibt, eine Zahlungsbereitschaft besteht, wird sich die Vermutung erst durch die Schätzung des Mietpreismodells empirisch erhärten lassen.

Die Anzahl der Aussichtsvariablen ist absolut betrachtet und auch im Vergleich mit den übrigen sehr hoch. Im Hinblick auf ein korrekt spezifiziertes Modell ist eine initial hohe Anzahl Variablen durchaus wünschenswert, vermindert dies doch die Gefahr, dass relevante Variablen im Modell fehlen und damit eine wichtige Modellannahme verletzt wird (VON AUER 2011:275). Es ist aber zu erwarten, dass bei der Schätzung nur eine Minderheit im Modell verbleiben wird. Dies hat einerseits mit der teilweise hohen Korrelation von einzelnen Variablen zu tun. Beispielsweise weisen „Sky Visibility Ratio“, „Sichtraumanteil Himmel“ und „Sichtvolumen Himmel“ Pearson-Korrelationskoeffizienten von 0.95 bis 0.99 auf. Hohe Korrelationen deuten an, dass bei der Schätzung Variablen weggelassen werden können, ohne dass damit ein Erklärungsverlust einher geht. Andererseits ist es aus Gründen der Handhabbarkeit und Interpretierbarkeit der Modelle nicht sinnvoll, sehr viele Variablen im Modell zu belassen. Jede Aussichtsvariable wurde drei Mal berechnet (auf Basis LoD 0, LoD 1 und LoD 2) und in das entsprechende Mietpreismodell (B, C und D) eingefügt.

**Sichtraumanteile (SRA):** Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass die Aussichtspräferenzen im Wesentlichen davon abhängen, welche Landschaftselemente sich im Blickfeld befinden und wie weit sie vom Betrachter entfernt sind. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Bündel von insgesamt 21 Variablen definiert, welche angeben, wie gross der Anteil einzelner Landschaftselemente an der Aussicht aus der Wohnung ist. Die Unterteilung erfolgte auf Basis einer Diskretisierung des sichtbaren Raums in einzelne visuelle Landschaftseinheiten (inkl. Himmel). Neben der inhaltlich-thematischen Untergliederung des sichtbaren Raums wurden die Variablen in folgende drei entfernungsabhängigen Wahrnehmungsebenen unterteilt:

- Vordergrund: 0 - 100 m
- Mittelgrund: 100 m - 1 km
- Hintergrund: > 1 km

Die Grenzen orientieren sich an der Literatur und wurden in Anbetracht des urbanen Untersuchungsgebietes, wo sich die Aussicht hauptsächlich im Nahbereich abspielt, festgelegt. Wegen des mit zunehmender Distanz abnehmenden visuellen Effekts erfolgte eine Aggregation der Landschaftseinheiten für den Mittel- und Hintergrund. Ein Wert von 0.06 für die Variable SRA\_Gewässer\_M besagt beispielsweise, dass der Anteil der Gewässer des Mittelgrunds am gesamten Sichtraum 6 % beträgt. Die Summe aller SRA-Variablen pro Beobachtung beträgt 1. Die Berechnung der Variablen erfolgte mit der 3D-Sichttraumanalyse. Der erwartete Einfluss der Variablen auf den Mietpreis ist in Tabelle 5-3 aufgelistet.

**Durchschn\_Sichtweite:** Die durchschnittliche Sichtweite sagt aus, wie weit man von einer Wohnung aus im Mittel sieht. Sie entspricht dem arithmetischen Mittel der Länge sämtlicher Sichtlinien, die vom Betrachter wegführen und auf Hindernisse treffen, und wird mit der 3D-Sichttraumanalyse gemäss Formel 4-2 berechnet. Eine geringe durchschnittliche Sichtweite deutet auf eine Wohnung hin, deren Aussicht durch nahe Objekte eingeschränkt ist. Grosse Sichtweiten hingegen indizieren Wohnungen mit überdurchschnittlich vielen Sichtbeziehungen in die Ferne. Diese Fernsicht scheint ein begehrtes Aussichtsmerkmal zu sein, wird sie doch oft in Immobilieninseraten angepriesen. Der erwartete Einfluss auf den Mietpreis ist positiv.

**Sichtvolumen\_Landschaft:** Der sichtbare Raum ist ein dreidimensionaler Körper, der sämtliche diskrete Punkte im Raum umschliesst, die vom Standort des Betrachters aus sichtbar sind. Der Sichtraum kann aufgeteilt werden in die beiden Kompartimente Himmel (oberhalb der Horizontline) und Landschaft (unterhalb). Ihr Gesamtvolumen (Himmel und Landschaft) ist eine Masszahl für die Grösse des sichtbaren Raums. Die Variable Sichtvolumen\_Landschaft beschreibt das Volumen unterhalb der Horizontline, also desjenigen Teils des Sichtraums, der von Sichthindernissen (Gelände, Gebäude) begrenzt wird. Wohnungen mit vielen Sichtbeziehungen in die Ferne weisen ein grosses, solche in tiefen Stockwerken und mit dicht bebauter Umgebung ein kleines Sichtvolumen auf. Es wird vermutet, dass diese Variable positiv mit dem Mietpreis korreliert. Die Ermittlung erfolgt gemäss Formel 4-4.

**Sichtvolumen\_Himmel:** Das Sichtvolumen Himmel ist theoretisch unendlich gross, wurde aber in dieser Arbeit mit der oben definierten maximalen Sichtweite radial begrenzt. Die Berechnung erfolgte mit der 3D-Sichtraumanalyse gemäss Formel 4-6. Je tiefer sich der Horizont befindet, desto grösser ist das Sichtvolumen Himmel. Es wird ein positives Vorzeichen des Regressionskoeffizienten erwartet.

**Diversität:** Die wahrgenommene Komplexität einer Aussicht wird massgebend durch die Zusammensetzung der sichtbaren Landschaft bestimmt. Wie die Literaturanalyse gezeigt hat, führten bisherige Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Komplexität einer Aussicht und den Wohnpräferenzen zu widersprüchlichen Erkenntnissen. Wie sich dieser Zusammenhang für das vorliegende Untersuchungsgebiet gestaltet, wurde mit dem Diversitätsmass Shannon's Diversity Index (*SHDI*) untersucht (SHANNON & WEAVER 1949:18-22). Der *SHDI* ist ein Mass der Komplexität und wird wie folgt berechnet:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^N P_i \cdot \ln P_i \quad \text{Formel 5-6}$$

$P_i$  ist der Anteil der  $i$ -ten Sichtraumklasse (Anhang A.1) an der gesamten Aussicht und  $N$  die Anzahl der verschiedenen Sichtraumklassen (inkl. Himmel). Je grösser der *SHDI*, desto komplexer gestaltet sich die Aussicht.

**Sky\_Visibility\_Ratio (SVR):** Die SVR ist ein Mass für die Sichtbarkeit des Himmels und wird durch die Höhe der Horizontlinie bestimmt. Hohe SVR indizieren Standorte, deren Horizontlinie tief liegt und deren Anteil des Himmels an der Aussicht gross ist. Die SVR wurde gemäss den Ausführungen in Kap. 4.5 (Formel 4-12) ermittelt. Sie kann auch als Mass für den Lichteinfall in die Wohnung interpretiert werden. Es wird vermutet, dass gut besonnte Wohnungen präferiert werden und die SVR einen positiven Einfluss auf den Mietpreis ausübt.

**Berge:** Diese Variable beschreibt die Anzahl sichtbare Bergspitzen. Verwendet wurde der oben beschriebene Datensatz *Bergspitzen* mit den 100 dominantesten topographischen Erhebungen im Sichtraumperimeter des Untersuchungsgebietes. Die Prüfung auf Sichtbarkeit wurde mit der Sichtlinienanalyse vorgenommen. Aufgrund bisheriger Forschungserkenntnisse wird die Anzahl sichtbarer Berge als positiver Einflussfaktor auf den Mietpreis eingestuft.

**Mobilfunkantennen:** Die Betrachtung einer Mobilfunkantenne ist kein ästhetisches Erlebnis. Zudem ruft sie beim Betrachter eventuell eine ablehnend belegte Assoziation mit der vermutlich gesundheitsschädigenden Wirkung der nichtionisierenden Strahlung hervor. Die Sicht auf eine Mobilfunkantenne hat deshalb möglicherweise einen negativen Einfluss

auf die Zahlungsbereitschaft von Wohnungsmietern. Es wurden Sichtlinien zu den Standorten der Antennen (Datensatz *MFA-ZH*) konstruiert und auf ihre Sichtbarkeit überprüft. Damit eine Vergleichbarkeit zu der Studie von BANFI et al. (2007) gewährleistet ist, wurden nur jene Antennen einbezogen, die sich im Umkreis von 150 m von der Wohnung befinden. Die Variable beschreibt demnach die Anzahl sichtbarer Mobilfunkantennen mit einem maximalen Abstand von 150 m.

**Skyline\_Länge:** Der Horizont grenzt die sichtbare Landschaft vom Himmel ab und stellt ein bedeutendes Element der Aussicht dar. Horizontelemente wie beispielsweise eine komplexe Stadtsilhouette erhöhen den ästhetischen Wert einer Aussicht (HEATH et al. 2000). Die Variable *Skyline\_Länge* beschreibt die Länge der dreidimensionalen Horizontlinie. Grosse Horizontlinienlängen sind ein Indikator für uneingeschränkte Fernsichten, während kleine Längen auf Aussichtslogen in dicht und hoch bebauten Siedlungen hinweisen. Es wird ein positiver Zusammenhang mit dem Mietpreis erwartet. Die Ermittlung erfolgte mit der Horizontlinienanalyse.

**Skyline\_VM\_Gebäude:** Die Visual Magnitude ist ein Mass für den visuellen Effekt eines Objektes. Die VM berücksichtigt die optische Gesetzmässigkeit, dass grosse, nahe und senkrecht zum Betrachter stehende Objekte einen grösseren visuellen Reiz ausüben als kleine, ferne und schiefwinklig stehende. Diese Variable quantifiziert gemäss Formel 4-8 die Visual Magnitude derjenigen Teile der Horizontlinie, die Gebäuden folgen. Je grösser der Wert dieser Variable, desto dominanter erscheint dem Betrachter die von Gebäuden definierten Horizontlinienabschnitte. Der Preiseffekt der Skyline VM Gebäude ist *a priori* nicht klar.

**Skyline\_VM\_Gelände:** Als Gegenstück zur Skyline\_VM\_Gebäude beschreibt diese Variable die Visual Magnitude der Horizontlinie, wo diese dem Gelände folgt. Horizontlinienabschnitte auf dem Gelände umfassen normalerweise entfernt liegende Wälder, Hügelzüge oder Bergketten. Die Aussicht auf solche naturnahen Landschaftselemente wird gemäss Literaturanalyse präferiert, so dass ein positiver Zusammenhang mit dem Mietpreis angenommen wird.

## 5.6 Eingesetzte Soft- und Hardware

Die hedonische Regressionsfunktion wurde mit der Statistik-Software *R* (Version 2.14.0, © R Foundation for Statistical Computing) geschätzt.

Die Berechnung der Aussichtsvariablen erfolgte mit der GIS-Software *ArGIS* (Version 10.0, © ESRI Inc.). Für die Sichtbarkeitsanalysen wurden Werkzeuge der *ArGIS*-

Erweiterung *3D-Analyst* eingesetzt (u.a. Construct Sight Lines, Line of Sight, Skyline, Skyline Graph). Um eine reproduzierbare, nachvollziehbare und effiziente Berechnung zu ermöglichen, wurden alle Arbeitsschritte der Aussichtsrechnung im *ArcGIS ModelBuilder* durchgeführt. Der *ArcGIS ModelBuilder* bietet die Möglichkeit, einen komplexen Berechnungsprozess als Abfolge mehrerer miteinander verknüpfter Werkzeuge abzubilden. Der Berechnungsprozess wurde der Übersichtlichkeit halber in ein Hauptmodell und mehrere inhaltlich abgegrenzte, mit dem Hauptmodell verknüpfte Submodelle unterteilt. Abbildung 5–6 zeigt beispielhaft das Hauptmodell. Dank der schlaufenförmigen Ausgestaltung des Hauptmodells wurden die einzelnen Beobachtungen der Stichprobe sequentiell durchlaufen. So konnte die gesamte Berechnung automatisiert ablaufen.

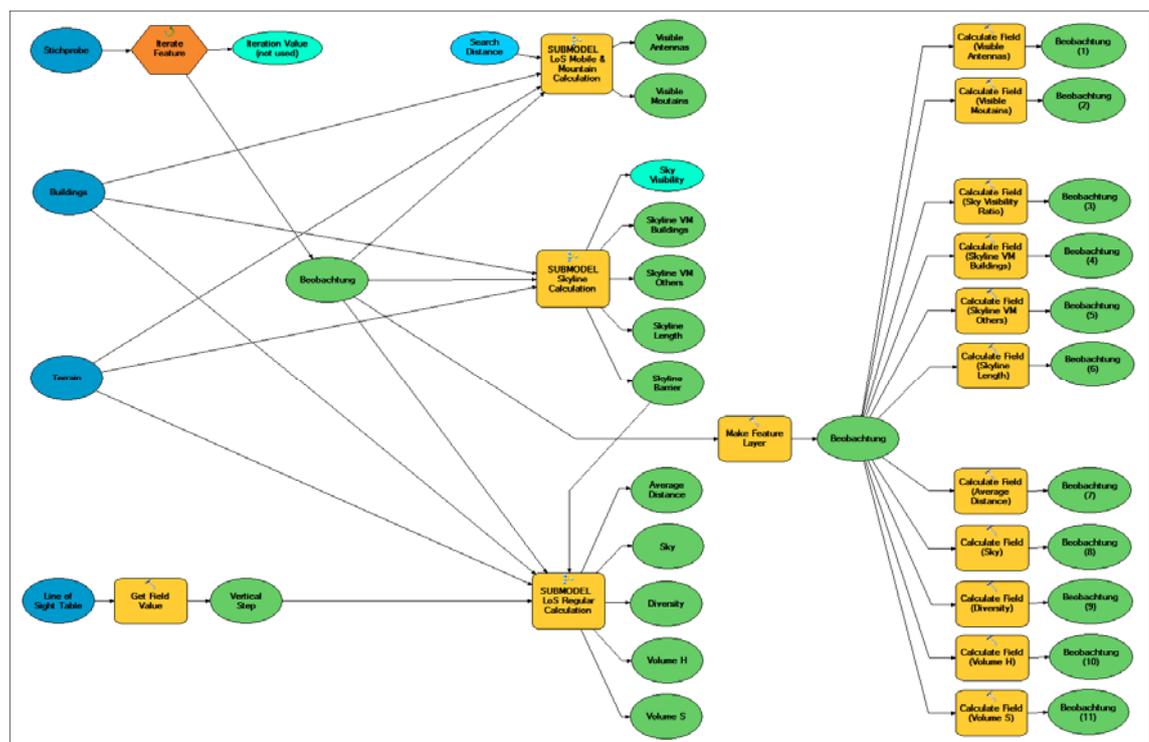


Abbildung 5–6: Hauptmodell der Aussichtsrechnung im ArcGIS ModelBuilder

Für die Berechnungen wurde ein Intel® Core™ Duo CPU Computer mit 3.00 GHz und 4.00 GB RAM benutzt. Mit dieser Software- und Hardwarekonstellation ergaben sich für die Berechnung der Aussichtsvariablen folgende Rechenzeiten (Tabelle 5-4).

Tabelle 5-4: Rechenzeiten für die Berechnung der Aussichtsvariablen

	LoD 0	LoD 1	LoD 2
Rechenzeit für eine Beobachtung	24 sek	43 sek	1 min 12 sek
Rechenzeit für die gesamte Stichprobe	119 h 14 min	213 h 37 min	357 h 41 min

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Die Aussicht in der Stadt Zürich

Für die ca. 40'000 Wohnungen der Stichprobe wurden mit den dargelegten Sichtbarkeitsanalysen verschiedene Aussichtsmerkmale quantifiziert. Die Berechnung erfolgte separat für die drei Stadtmodellldaten LoD 0, LoD 1 und LoD 2. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse mit Methoden der deskriptiven und induktiven Statistik analysiert.

#### 6.1.1 Deskriptive Analyse

In der linken Hälfte der Tabelle 6-1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der 31 Aussichtsvariablen für die drei 3D-Stadtmodelle LoD 0, LoD 1 und LoD 2 aufgeführt. Sie zeigen auf, was die Bewohner der Stadt Zürich sehen, wenn sie aus ihrer Wohnung blicken.

**Tabelle 6-1: Deskriptive und induktive Analyse der Aussichtsvariablen**

Variable	LoD 0		LoD 1		LoD 2		LoD 0 vs. LoD 2		LoD 1 vs. LoD 2	
	Mittelw.	Stdabw.	Mittelw.	Stdabw.	Mittelw.	Stdabw.	t-Test p-Wert	Cohen's d	t-Test p-Wert	Cohen's d
SRA_GebHist_V	0.018	0.043	0.059	0.104	0.063	0.112	0.000***	0.816	0.000***	0.460
SRA_GebIndustr_V	0.001	0.006	0.003	0.014	0.004	0.015	0.000***	0.320	0.000***	0.095
SRA_GebUebrige_V	0.104	0.087	0.240	0.119	0.252	0.120	0.000***	2.944	0.000***	0.968
SRA_Strasse_V	0.013	0.021	0.010	0.019	0.010	0.019	0.000***	0.722	0.000***	0.231
SRA_Eisenbahn_V	0.001	0.005	0.001	0.004	0.0005	0.004	0.000***	0.166	0.000***	0.049
SRA_UebrBefestigt_V	0.092	0.054	0.073	0.045	0.068	0.042	0.000***	1.381	0.000***	1.022
SRA_SiedlHum_V	0.124	0.074	0.105	0.069	0.100	0.068	0.000***	1.859	0.000***	1.143
SRA_Landw_V	0.003	0.012	0.002	0.012	0.002	0.012	0.000***	0.272	0.005***	0.020
SRA_Wald_V	0.003	0.014	0.002	0.014	0.002	0.014	0.000***	0.216	0.000***	0.059
SRA_Gewässer_V	0.0003	0.004	0.0003	0.003	0.0003	0.003	0.000***	0.111	0.103	0.012
<i>Total Vordergrund</i>	<i>0.359</i>		<i>0.495</i>		<i>0.502</i>					
SRA_Gebaeude_M	0.011	0.009	0.011	0.010	0.011	0.011	0.655	0.003	0.000***	0.350
SRA_Befestigt_M	0.018	0.014	0.002	0.005	0.002	0.005	0.000***	1.832	0.000***	0.311
SRA_SiedlHum_M	0.023	0.013	0.003	0.006	0.003	0.006	0.000***	2.589	0.000***	0.396
SRA_Landw_M	0.003	0.006	0.001	0.004	0.001	0.004	0.000***	0.683	0.000***	0.142
SRA_Wald_M	0.009	0.012	0.003	0.008	0.003	0.008	0.000***	1.159	0.000***	0.334
SRA_Gewässer_M	0.001	0.003	0.0002	0.002	0.0002	0.001	0.000***	0.347	0.000***	0.055
<i>Total Mittelgrund</i>	<i>0.065</i>		<i>0.021</i>		<i>0.021</i>					
SRA_Siedlung_H	0.018	0.012	0.004	0.007	0.004	0.006	0.000***	1.847	0.000***	0.534
SRA_Landw_H	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000***	1.030	0.000***	0.331
SRA_Wald_H	0.010	0.007	0.004	0.005	0.003	0.004	0.000***	1.775	0.000***	0.498
SRA_Gewässer_H	0.001	0.002	0.0001	0.001	0.0001	0.001	0.000***	0.478	0.000***	0.125
<i>Total Hintergrund</i>	<i>0.031</i>		<i>0.009</i>		<i>0.007</i>					
SRA_Himmel	0.545	0.015	0.475	0.066	0.470	0.065	0.000***	1.671	0.000***	0.633
Durchschn_Sichtweite	279.6	136.0	103.6	108.7	91.4	97.0	0.000***	2.515	0.000***	0.597
Sichtvolumen_Landschaft	1.18·10 <sup>10</sup>	2.50·10 <sup>10</sup>	4.89·10 <sup>9</sup>	1.60·10 <sup>10</sup>	4.04·10 <sup>9</sup>	1.43·10 <sup>10</sup>	0.000***	0.652	0.000***	0.246
Sichtvolumen_Himmel	7.80·10 <sup>14</sup>	2.21·10 <sup>15</sup>	6.79·10 <sup>14</sup>	9.45·10 <sup>15</sup>	6.71·10 <sup>14</sup>	9.29·10 <sup>15</sup>	0.000***	1.669	0.000***	0.633
Diversität	1.462	0.132	1.344	0.153	1.331	0.156	0.000***	1.572	0.000***	0.607
Berge	31.73	14.34	10.72	14.60	9.09	13.37	0.000***	2.171	0.000***	0.451
Mobilfunkantennen	0.791	1.070	0.413	0.723	0.346	0.633	0.000***	0.752	0.000***	0.260
Sky_Visibility_Ratio	0.941	0.022	0.777	0.079	0.766	0.125	0.000***	2.021	0.000***	0.254
Skyline_Länge	1.91·10 <sup>5</sup>	6.89·10 <sup>4</sup>	6.47·10 <sup>4</sup>	7.38·10 <sup>4</sup>	3.62·10 <sup>4</sup>	5.82·10 <sup>4</sup>	0.000***	3.067	0.000***	1.063
Skyline_VM_Gebäude	0	0	5.298	2.312	6.093	1.780	0.000***	4.840	0.000***	0.971
Skyline_VM_Gelände	5.618	0.255	1.987	1.535	1.157	1.266	0.000***	4.872	0.000***	1.585

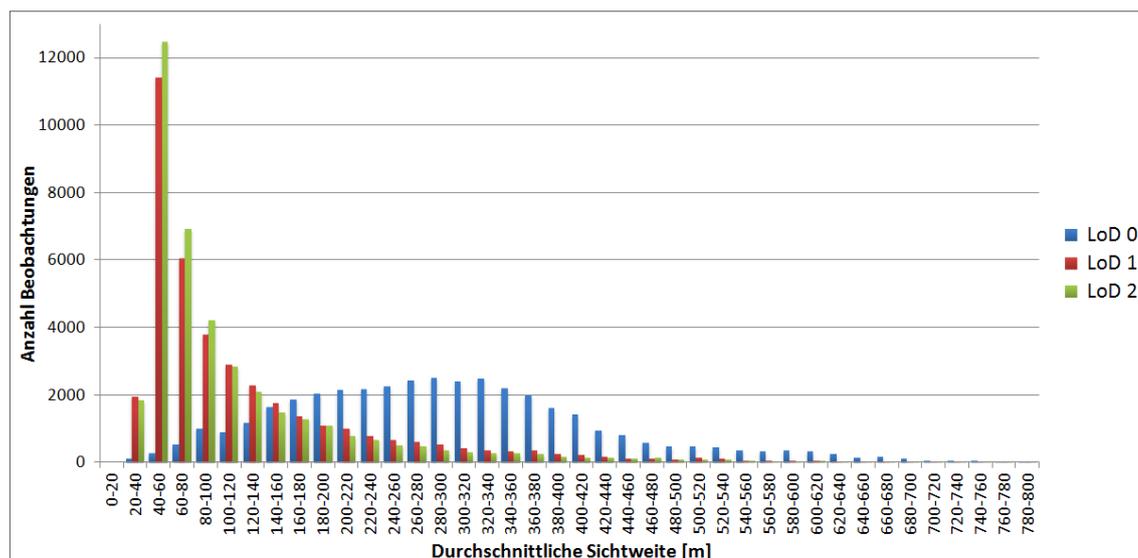
\*\*\* signifikant mit  $p \leq 0.001$ ; \*\* signifikant mit  $p \leq 0.01$ ; \* signifikant mit  $p \leq 0.05$

Ausgehend von der Annahme, dass das Modell LoD 2 die Realität am exaktesten abbildet, werden die Kenngrößen dieses Modells schwerpunktmässig beschrieben. Landschaftsobjekte des Vordergrunds (bis 100 m Distanz vom Betrachter) dominieren die Aussicht. Ihr Anteil an der Aussicht beträgt rund 50 %. Objekte des Mittelgrunds (100 bis 1000 m) umfassen nur 2 %, solche des Hintergrunds (grösser 1000 m) nur 0.7 % der sichtbaren Umgebung. Die in Immobilieninseraten regelmässig angepriesene Fernsicht ist topographisch und baulich bedingt in der Stadt Zürich selten. Die verbleibenden 47 % der Aussicht bestehen aus Himmel. Der sichtbare Vordergrund seinerseits besteht hauptsächlich aus Gebäuden. Die Aussicht auf denkmalgeschützte Gebäude ist keine Seltenheit, was aufgrund der hohen Anzahl geschützter Gebäude in der Stadt Zürich wenig erstaunt.<sup>22</sup> Im Gegensatz dazu sind Sichtbeziehungen zu Industriegebäuden selten (0.4 %). Neben den Gebäuden prägen versiegelte Flächen (Strassen und Plätze) und humisierte Böden (Garten- und Parkanlagen) die Aussicht. Der Anteil des Waldes an der Aussicht beträgt durchschnittlich 0.8 %, derjenige von Flüssen und Seen nur 0.1 %. Obwohl der Zürichsee ein prägendes Landschaftselement der Stadt Zürich ist, ist er nur aus weniger als 10 % der untersuchten Wohnungen sichtbar. Die durchschnittliche Sichtweite beträgt rund 90 m. Sie variiert zwischen 10 und 990 m und weist eine grosse Streuung auf. Von den 100 dominantesten Bergspitzen der Umgebung sind im Durchschnitt 9 sichtbar, wobei von jeder dritten Wohnung aus keine einzige Bergspitze sichtbar ist. Die Aussicht von einem Viertel der Wohnungen beinhaltet mindestens eine Mobilfunkantenne mit weniger als 150 m Distanz.

Vergleicht man die Mittelwerte der Aussichtsvariablen der Modelle LoD 0, LoD 1 und LoD 2, so fällt auf, dass die Werte von LoD 0 stark, jene von LoD 1 nur geringfügig von den Werten von LoD 2 abweichen. Beispielsweise betragen die Mittelwerte der durchschnittlichen Sichtweiten 279.6 m (LoD 0), 103.6 m (LoD 1) und 91.4 m (LoD 2). Für alle anderen Aussichtsvariablen sind die Abweichungen proportional in etwa gleich gross. Das Histogramm des Aussichtsmerkmals „durchschnittliche Sichtweite“ in Abbildung 6–1 unterstreicht diese Feststellung. Während die Häufigkeitsverteilungen von LoD 1 und LoD 2 rechtsschief verlaufen und sich sehr ähnlich sind, verläuft jene von LoD 2 gering gewölbt und in etwa symmetrisch. Diese Unterschiede liegen darin begründet, dass das Modell LoD 0 keine die Sicht blockierenden 3D-Gebäude beinhaltet. Dadurch wird die Bedeutung der Gebäude an der Aussicht systematisch unterschätzt, während die fernen Objekte (z.B. Berge, Seen, Wälder) überschätzt werden. Das Modell LoD 1 scheint die Form urbanen Landschaften und damit die Aussicht wesentlich genauer abzubilden.

---

<sup>22</sup> Im Untersuchungsgebiet stehen 6'900 von total 49'000 Gebäuden unter Denkmalschutz (Stand 31.12.2010)



**Abbildung 6–1: Histogramm der durchschnittlichen Sichtweite auf Basis der 3D-Stadtmodelle LoD 0, LoD 1 und LoD 2**

Ob die Unterschiede der Aussichtsmerkmale der drei 3D-Stadtmodellen auch in statistischer Hinsicht wesentlich sind, zeigt die folgende induktive Analyse.

### 6.1.2 Induktive Analyse

Um die Unterschiede der Aussichtsvariablen statistisch nachzuweisen, wurde ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Der t-Test für abhängige Stichproben ist eine induktive Methode der Datenanalyse und dient der Analyse von Unterschieden zwischen paarweise verbundenen Messwerten (BORTZ 2005:143). Mit dem t-Test wurde die ungerichtete Nullhypothese  $H_0$  überprüft, dass der Mittelwert eines Aussichtsmerkmals basierend auf LoD 0 bzw. LoD 1 sich nicht vom entsprechenden Mittelwert basierend auf LoD 2 unterscheidet ( $H_0: \mu_{\text{LoD}0/1} = \mu_{\text{LoD}2}$  und  $H_1: \mu_{\text{LoD}0/1} \neq \mu_{\text{LoD}2}$ ). Die paarweise verbundenen Messwerte sind im vorliegenden Fall als Messwiederholungen gleicher Beobachtungen unter verschiedenen experimentellen Bedingungen (LoD 0, LoD 1, LoD 2) zu verstehen. Die Anwendung des t-Tests setzen normalverteilte Daten oder eine hinreichend grosse Stichprobe voraus (Anzahl der Messwertpaare  $>$  ca. 30; BORTZ 2005:143). Da letzteres gegeben ist, wurde keine Prüfung auf Normalverteilung durchgeführt.

Die Ergebnisse des t-Tests sind in der rechten Hälfte der Tabelle 6-1 aufgeführt. Sowohl beim Mittelwertvergleich LoD 0 und LoD 2 als auch LoD 1 und LoD 2 sind die empirisch ermittelten p-Werte bis auf je eine Ausnahme kleiner als das Signifikanzniveau von  $\alpha = 0.1$  %. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Unterschiede durch Zufall zustande kamen, ist sehr klein und  $H_0$  ist zu verwerfen. Die Aussichtsrechnungen auf Basis von LoD 0, LoD 1 und LoD 2 führen zu statistisch signifikant unterschiedlichen Resultaten.

Das Resultat des t-Tests ist insofern zu relativieren, als dass sich bei sehr grossem Stichprobenumfang auch sehr kleine, für die Praxis unbedeutende Unterschiede als statistisch signifikant erweisen. Diese Unterschiede können trotz Signifikanz für reale Sachverhalte ohne praktische Bedeutung sein, weshalb für eine bessere Beurteilung der empirischen Relevanz bei grossen Stichproben neben dem Signifikanztest zusätzlich ein Kriterium der praktischen Bedeutsamkeit heranzuziehen ist (BORTZ 2005:120). Dazu wurde *ex post* das Effektstärkemass *Cohen's d* berechnet (nach Formel 5.24b in BORTZ 2005:145). Es ist ein Mass für die Grösse des Mittelwertunterschieds und ist unabhängig von der Stichprobengrösse. Nach COHEN (1988:25) gelten folgende Bewertungen der Effektstärke: Bei  $d = 0.2$  liegt ein kleiner, bei  $d = 0.5$  ein mittlerer, und bei  $d = 0.8$  ein grosser Effekt vor. Die empirisch ermittelten Effektstärken für die einzelnen Aussichtsvariablen sind in der rechten Hälfte der Tabelle 6-1 aufgeführt. Beim Vergleich LoD 0 und LoD 2 liegen die Effektstärken mehrheitlich im Bereich grösser 0.8, beim Vergleich LoD 1 und LoD 2 im Bereich 0.2 bis 0.5. Die Unterschiede der Aussicht auf Basis von LoD 0 und LoD 2 sind demnach als gross, jene auf Basis LoD 1 und LoD 2 als klein bis mittel zu bezeichnen. Dieser statistische Befund deckt sich mit der visuellen Beurteilung der Histogramme in Abbildung 6–1.

## 6.2 Hedonisches Mietpreismodell

Nachdem in Kap. 5.5 das hedonische Mietpreismodell formuliert wurde, folgt nun die Schätzung und Überprüfung der Funktion.

### 6.2.1 Schätzung der Mietpreisfunktion

Mit der Schätzung der Mietpreisfunktion wurden anhand der empirischen Daten die geeignetsten Variablen ausgewählt und ihre Regressionskoeffizienten ermittelt. Geschätzt wurden die vier Modelle A (ohne Aussicht), B (mit Aussicht LoD 0), C (mit Aussicht LoD 1) und D (mit Aussicht LoD 2). Für das Modell D wurde die Schätzung ausgehend von einem Modell mit allen in Kap. 5.5.2 aufgeführten Variablen „schrittweise rückwärts“ durchgeführt. „Schrittweise rückwärts“ bedeutet, dass unbedeutende Variablen in einem sequentiellen Verfahren aus dem Modell entfernt wurden. Ein Ausschluss erfolgte durch Minimierung des Informationskriteriums von Akaike (AIC), welches die Anpassungsgüte eines Regressionsmodells misst. Nebst diesem automatischen Verfahren wurden die Modelle auch fachlich beurteilt und manuell in die Variablenselektion eingegriffen. Variablen mit unplausiblen Koeffizienten wurden genauso entfernt wie solche, die eine nicht akzeptable Multikollinearität verursachten. Schlussendlich resultierte das geschätzte Modell D, das die Mietpreise des Untersuchungsgebiets mit einer möglichst kleinen Anzahl Variablen am besten

erklärt. Im Anschluss wurden die Vergleichsmodelle A bis C mit den Variablen des Modells D geschätzt (Modell A ohne Aussichtsvariablen). Die Koeffizienten der vier Funktionen wurden mit der Methode der kleinsten Quadrate (Ordinary Least Square, OLS) bestimmt.

In Tabelle 6-2 sind die Ergebnisse der Schätzung für die vier Modelle aufgelistet. Aufgeführt sind die nicht-standardisierten Regressionskoeffizienten und die Signifikanz (t-Test). Für das Modell D sind zusätzlich die standardisierten Koeffizienten (Beta-Werte), die Standardfehler, die p-Werte des t-Tests und die Varianzinflationsfaktoren (VIF) der erklärenden Variablen angegeben. Ferner listet die Tabelle das Mass der Modellgüte und Testergebnisse der Prämissenüberprüfung auf, die später diskutiert werden.

**Tabelle 6-2: Ergebnis der OLS-Schätzung für die Modelle A (ohne Aussichtsvariablen), B (mit Aussicht LoD 0), C (mit Aussicht LoD 1) und D (mit Aussicht LoD 2)**

Variable	Modell A		Modell B		Modell C		Modell D					
	Koeffi- zient	Sig.	Koeffi- zient	Sig.	Koeffi- zient	Sig.	Koeffi- zient	Beta	Std. Fehler	p-Wert	Sig.	VIF
Konstante	4.96 ***		4.77 ***		4.90 ***		4.90	-	0.0201	0.000 ***		-
Zimmer	0.041 ***		0.041 ***		0.039 ***		0.0389	0.0983	0.00171	0.000 ***		5.03
ln(Wohnfläche)	0.717 ***		0.696 ***		0.705 ***		0.707	0.718	0.00451	0.000 ***		5.66
Cheminée	0.139 ***		0.104 ***		0.110 ***		0.113	0.0624	0.00372	0.000 ***		1.15
Lift	0.0201 ***		0.0210 ***		0.0193 ***		0.0195	0.0202	0.00206	0.000 ***		1.24
Balkon	0.00519 *		0.0104 ***		0.0134 ***		0.0136	0.0142	0.00203	0.000 ***		1.21
Alter_3	-0.0574 ***		-0.0534 ***		-0.0536 ***		-0.0540	-0.0406	0.00352	0.000 ***		1.90
Alter_10	-0.0591 ***		-0.0616 ***		-0.0598 ***		-0.0608	-0.0404	0.00380	0.000 ***		1.73
Alter_20	-0.114 ***		-0.124 ***		-0.121 ***		-0.121	-0.0982	0.00348	0.000 ***		2.16
Alter_35	-0.128 ***		-0.140 ***		-0.136 ***		-0.135	-0.109	0.00362	0.000 ***		2.30
Alter_50	-0.144 ***		-0.142 ***		-0.142 ***		-0.141	-0.114	0.00358	0.000 ***		2.28
Alter_75	-0.0643 ***		-0.0883 ***		-0.0891 ***		-0.0880	-0.0537	0.00420	0.000 ***		1.77
Eigentümer_KapPen	-0.0652 ***		-0.0550 ***		-0.0550 ***		-0.0554	-0.0585	0.00202	0.000 ***		1.23
Eigentümer_GenOef	-0.148 ***		-0.142 ***		-0.141 ***		-0.142	-0.0785	0.00367	0.000 ***		1.12
Datum_2010	-0.0169 ***		-0.0193 ***		-0.0181 ***		-0.0180	-0.0120	0.00449	0.000 ***		2.42
Datum_2009	-0.0344 ***		-0.0359 ***		-0.0356 ***		-0.0356	-0.0246	0.00443	0.000 ***		2.53
Datum_2008	-0.0736 ***		-0.0708 ***		-0.0723 ***		-0.0723	-0.0473	0.00454	0.000 ***		2.38
Datum_2007	-0.140 ***		-0.135 ***		-0.137 ***		-0.138	-0.0968	0.00441	0.000 ***		2.60
Datum_2006	-0.162 ***		-0.159 ***		-0.160 ***		-0.160	-0.113	0.00439	0.000 ***		2.63
Datum_2005	-0.163 ***		-0.164 ***		-0.163 ***		-0.163	-0.114	0.00442	0.000 ***		2.58
Datum_2004	-0.166 ***		-0.169 ***		-0.169 ***		-0.170	-0.111	0.00455	0.000 ***		2.38
Datum_2003	-0.167 ***		-0.162 ***		-0.165 ***		-0.166	-0.0905	0.00495	0.000 ***		1.98
Datum_2002	-0.167 ***		-0.163 ***		-0.167 ***		-0.167	-0.0744	0.00558	0.000 ***		1.66
Reisezeit_HB	-0.0151 ***		-0.0136 ***		-0.0129 ***		-0.0128	-0.120	2.65·10 <sup>-4</sup>	0.000 ***		1.68
Distanz_Einkauf	-2.83·10 <sup>-5</sup> ***		-3.76·10 <sup>-5</sup> ***		-4.95·10 <sup>-5</sup> ***		-5.01·10 <sup>-5</sup>	-0.0190	5.61·10 <sup>-6</sup>	0.000 ***		1.21
Strassenlärm	-0.00144 ***		-0.00221 ***		-0.00147 ***		-0.00142	-0.0203	1.54·10 <sup>-4</sup>	0.000 ***		1.32
Kriminalitätsrate	-2.98 ***		-3.45 ***		-5.72 ***		-6.04	-0.0498	0.301	0.000 ***		1.66
SRA_GebHist_V			0.763 ***		0.472 ***		0.450	0.107	0.0102	0.000 ***		1.59
SRA_GebIndustr_V			-1.50 ***		-0.7544 ***		-0.6456	-0.0205	0.0620	0.000 ***		1.05
SRA_Gewässer_M			6.64 ***		9.40 ***		9.27	0.0292	0.627	0.000 ***		1.06
Sichtvolumen_Landschaft			2.04·10 <sup>-12</sup> ***		2.25·10 <sup>-12</sup> ***		2.42·10 <sup>-12</sup>	0.0732	7.17·10 <sup>-14</sup>	0.000 ***		1.27
Berge			4.79·10 <sup>-4</sup> ***		9.78·10 <sup>-4</sup> ***		9.46·10 <sup>-4</sup>	0.0269	8.13·10 <sup>-5</sup>	0.000 ***		1.44
Diversität			0.164 ***		0.0244 ***		0.0161	0.00533	0.00674	0.017 *		1.35
Korrigiertes R <sup>2</sup>	0.839		0.860		0.856		0.855					
F-Statistik	7851 ***		7506 ***		7277 ***		7225			0.000 ***		
Breusch-Pagan $\chi^2$ (df)	2480 ***		2975 ***		2929 ***		2982			0.000 ***		
Moran's I	0.544 ***		0.505 ***		0.529 ***		0.539			0.000 ***		

\*\*\* signifikant mit  $p \leq 0.001$ ; \*\* signifikant mit  $p \leq 0.01$ ; \* signifikant mit  $p \leq 0.05$

Die Schätzung des Modells D reduzierte die Anzahl erklärender Variablen von anfänglich 43 auf 18 (Blöcke von Dummy-Variablen werden als eine Variable gezählt). Die weggefallenen Variablen sind entweder nicht signifikant, korrelieren zu stark mit anderen Variablen oder sind Referenzvariablen der Dummy-Blöcke. Für die Prüfung der Signifikanz der einzelnen erklärenden Variablen gegenüber der Zielvariablen wurde ein t-Test mit der Nullhypothese  $H_0: \beta_i = 0$  durchgeführt. Wie Tabelle 6-2 zeigt, konnte die Nullhypothese für alle im Modell verbliebenen Variablen mit einem Signifikanzniveau von maximal 5 % verworfen werden. Inhaltlich bedeutet dies, dass die Wohnungsmerkmale, die durch diese signifikanten Variablen repräsentiert werden, einen nachweisbaren Einfluss auf den Mietpreis haben.

Die geschätzte Funktion für das Modell D lautet:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Mietpreis}) = & 4.9 + 0.0389 \cdot \text{Zimmer} + 0.707 \cdot \ln(\text{Wohnfläche}) + 0.113 \cdot \text{Cheminée} + 0.0195 \cdot \text{Lift} \\ & + 0.0136 \cdot \text{Balkon} - 0.018 \cdot \text{Datum}_{2010} - 0.0356 \cdot \text{Datum}_{2009} - 0.0723 \cdot \text{Datum}_{2008} \\ & - 0.138 \cdot \text{Datum}_{2007} - 0.16 \cdot \text{Datum}_{2006} - 0.163 \cdot \text{Datum}_{2005} - 0.17 \cdot \text{Datum}_{2004} \\ & - 0.166 \cdot \text{Datum}_{2003} - 0.167 \cdot \text{Datum}_{2002} - 0.054 \cdot \text{Alter}_3 - 0.0608 \cdot \text{Alter}_{10} \\ & - 0.121 \cdot \text{Alter}_{20} - 0.135 \cdot \text{Alter}_{35} - 0.141 \cdot \text{Alter}_{50} - 0.088 \cdot \text{Alter}_{75} - 0.0554 \\ & \cdot \text{Eigentümer}_\text{KapPen} - 0.142 \cdot \text{Eigentümer}_\text{GenOef} - 0.0128 \cdot \text{Reisezeit}_\text{HB} - 5.01 \\ & \cdot 10^{-5} \cdot \text{Distanz}_\text{Einkauf} - 6.04 \cdot \text{Kriminalitätsrate} - 0.00142 \cdot \text{Strassenlärm} + 0.45 \\ & \cdot \text{SRA}_\text{GebHist}_\text{V} - 0.646 \cdot \text{SRA}_\text{GebIndustr}_\text{V} + 9.27 \cdot \text{SRA}_\text{Gewässer}_\text{M} + 2.41 \cdot 10^{-12} \\ & \cdot \text{Sichtvolumen}_\text{Landschaft} + 9.46 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Berge} + 0.0161 \cdot \text{Diversität} \end{aligned}$$

**Formel 6-1**

Diese Funktion kann zur Prognose des Mietpreises einer Wohnung, deren erklärende Variablen bekannt sind, herangezogen werden.

## 6.2.2 Überprüfung der Mietpreisfunktion und der Modellprämissen

Da die resultierende Mietpreisfunktion eine Schätzung ist, ist deren Güte zu ermitteln. Sie sagt aus, wie gut die Mietpreisfunktion als Modell die Realität abbildet. Zudem unterliegt die Funktion verschiedenen Modellannahmen, die *a posteriori* auf Verletzungen hin überprüft werden müssen. Die folgende Überprüfung bezieht sich auf Modell D.

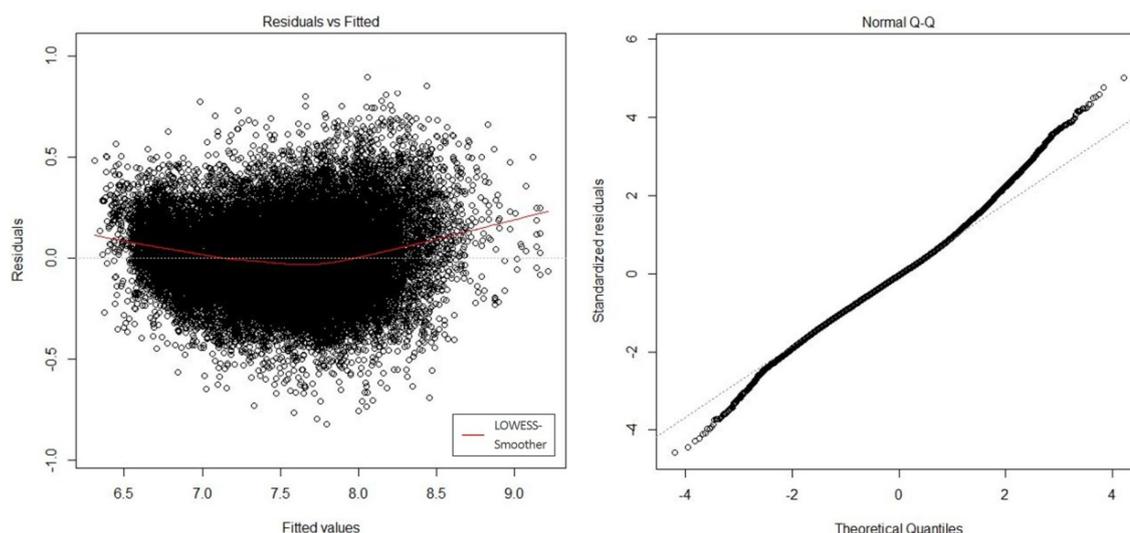
Das Bestimmtheitsmass  $R^2$  misst die Güte der Anpassung der Funktion an die Mietpreisstreuungen.  $R^2$  entspricht dem Verhältnis zwischen der Quadratsumme der erklärten Streuung und der Quadratsumme der Gesamtstreuung. Die Anpassung ist umso besser, je näher  $R^2$  bei 1 liegt. Mit einem korrigierten  $R^2$  von 0.855 verfügt das Modell D über eine sehr hohe globale Güte.<sup>23</sup> Der Wert signalisiert, dass das Modell alle relevanten, die Mietpreise er-

---

<sup>23</sup> Hedonische Immobilienpreismodelle weisen normalerweise Bestimmtheitsmasse von 0.6 bis 0.8 auf.

klärenden Variablen enthält und der resultierende Wirkungszusammenhang auch für die betrachtete Grundgesamtheit ihre Gültigkeit hat. Obwohl nicht Anspruch dieser Arbeit, kann die Funktion zur Prognose von Mietpreisen verwendet werden. Die globale Signifikanzprüfung der Funktion mittels F-Test ergab, dass ein Zusammenhang zwischen dem Mietpreis und den erklärenden Variablen besteht (Nullhypothese  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0$  wurde abgelehnt). Das hohe Bestimmtheitsmass schliesst Zufall aus.

Zu den grundlegenden Modellprämissen gehören die Linearität, Homoskedastizität, Normalverteilung sowie die Absenz von Multikollinearität und Autokorrelation. Sie werden hauptsächlich mit der Residuenanalyse überprüft. Die Residuenanalyse ist eine vornehmlich grafische Untersuchung der geschätzten Fehler und zeigt an, wenn das Modell die Daten nicht genau beschreibt (STAHEL 2008:54). In Abbildung 6–2 sind zwei gängige Residuen-  
diagramme dargestellt.



**Abbildung 6–2: Diagramme zur Residuenanalyse. Links: Tukey-Anscombe-Diagramm. Rechts: QQ-Diagramm**

Im Tukey-Anscombe-Diagramm (Abbildung 6–2 links) sind die Residuen gegen die angepassten Werte aufgetragen. Mit diesem Diagramm können Abweichungen von der Linearität und von nicht-konstanter Varianz (Homoskedastizität) entdeckt werden. Idealerweise streuen die Punkte in allen Bereichen gleichmässig um die Nulllinie  $R = 0$ . Zur Vereinfachung der Interpretation wurde ein robuster LOWESS-Glätter gelegt (CLEVELAND 1981). Folgt der Glätter der Nulllinie, kann von einer konstanten Varianz ausgegangen werden. Der Glätter hat eine leichte U-Form, während die Residuen eine geringe Tendenz haben, mit zunehmendem angepasstem Wert zunehmend zu streuen. Dies sind Anzeichen von Heteroskedastizität, die sich im signifikanten Resultat eines Breusch-Pagan-Tests bestätigen

(Tabelle 6-2). Das Diagramm zeigt zudem kein spezifisches Muster. Dies deutet auf Einhaltung der linearen Modellannahme hin und unterstreicht, dass es keine bedeutenden erklärenden Variablen gibt, die nicht im Modell enthalten sind (MANDERSCHIED 2012:166).

Das QQ-Diagramm (Abbildung 6-2 rechts) vergleicht die Quantile der empirischen Verteilung der Residuen mit jenen der Normalverteilung. Folgen die Residuen der eingezeichneten Geraden, sind sie normalverteilt. Im vorliegenden Fall sind die Residuen langschwänzig verteilt und weichen an den Enden leicht von der Geraden ab. Solche geringfügigen Abweichungen von der Normalverteilung führen bei grösseren Stichproben jedoch nur zu einer unerheblichen Verzerrung und können vernachlässigt werden (HAASE 2011:100).

Eine weitere Modellprämissen ist die Freiheit von Multikollinearität. Multikollinearität liegt dann vor, wenn sich eine erklärende Variable aus einer Linearkombination der übrigen Variablen darstellen lässt (BACKHAUS et al. 2008:87). Sie führt zur Über- oder Unterschätzung der Mietpreise und zu grossen Standardfehlern der Koeffizienten. Ob Multikollinearität vorliegt, lässt sich mit dem Variance Inflation Factor (VIF) prüfen. Er berechnet sich als Kehrwert der Toleranz  $T_i = 1 - R_i^2$  ( $R_i$ : Bestimmtheitsmass der erklärenden Variablen  $i$  auf die übrigen Variablen). Werte über 10 deuten auf eine hohe Multikollinearität hin (GUJARATI & PORTER 2009:340). Die VIF der geschätzten Regressionskoeffizienten liegen deutlich unterhalb dieses Grenzwerts (Tabelle 6-2) und unterstützen die Annahme, dass keine wesentliche Multikollinearität vorliegt. Wegen einer paarweisen Korrelation sind einzig die VIF der Variablen Zimmer und Wohnfläche erhöht. Für eine bessere Erklärung der Mietpreise wurde dies in Kauf genommen und beide Variablen im Modell belassen.

Die räumliche Autokorrelation beschreibt, ob und wie stark der Wert einer Variablen durch einen benachbarten Wert bedingt ist. Sie gehört wegen der Clusterung ähnlicher Lage-merkmale zu den häufig auftretenden Problemen von hedonischen Immobilienpreismodellen (LÖCHL 2010:15). Zur Detektion räumlicher Autokorrelation wurde der geostatistische Moran's-Test für die Residuen benachbarter Stichproben durchgeführt. Der Test ergab einen Moran's-I Index von 0.539 und signalisiert ein Vorliegen räumlicher Autokorrelation und damit eine Annahmeverletzung. Bei der vorliegenden OLS-Schätzung führt dies zu unverzerrten, aber nicht effizienten Regressionskoeffizienten (grosse Streuung). Variablen mit schwacher Signifikanz sind deshalb mit Vorsicht zu interpretieren.

### 6.2.3 Interpretation

Die resultierenden hedonischen Modelle beschreiben, welche Faktoren den Mietpreis bestimmen und wie stark ihr Einfluss ist. Die ökonomische Interpretation der Schätzungen gibt Rückschlüsse auf die Funktionsweise des untersuchten Immobilienmarktes und steht im Zentrum dieses Kapitels. Neben einer eingehenden Interpretation des Modells D mit Fokus auf die Aussicht erfolgt ein Vergleich der Modelle A bis D, um die Bedeutung der Aussicht und der unterschiedlichen Datengrundlagen zu analysieren.

Die Regressionskoeffizienten besitzen eine wichtige inhaltliche Bedeutung und können direkt ökonomisch interpretiert werden. In einem semi-logarithmischen Mietpreismodell entspricht der Regressionskoeffizient  $\beta_i$  der relativen Änderung des Mietpreises, wenn sich die  $i$ -te erklärende Variable um eine Einheit ändert. Die übrigen Variablen werden dabei unter der *ceteris paribus* Annahme konstant gehalten. Beispielsweise gibt der Koeffizient der Variable Berge von 0.000946 an, dass der Mietpreis um ca. 0.1 % steigt, wenn die Wohnung eine Sicht auf eine zusätzliche Bergspitze hat. Die Beta-Werte zeigen die Stärke des Einflusses der einzelnen erklärenden Variablen auf die Zielvariable an und ermöglichen einen von den Messdimensionen unabhängigen Vergleich des Erklärungsgehalts der einzelnen Variablen. Dem Sichtvolumen beispielsweise kommt eine grössere Bedeutung hinsichtlich der Mietpreisbildung zu als der Diversität der Aussicht (Beta-Werte von 0.073 bzw. 0.005). Die Vorzeichen der Regressionskoeffizienten zeigen an, ob eine marginale positive Änderung der Variable zu einem höheren (positives Vorzeichen) oder zu einem niedrigeren Mietpreis (negatives Vorzeichen) führen. Alle Vorzeichen des Modells D entsprechen den *a priori* Erwartungen gemäss Tabelle 5-3. Das Modell vermag die Mietpreise inhaltlich plausibel zu erklären.

#### 6.2.3.1 Preiseffekte der Struktur- und Lagemerkmale

Alle vorausgewählten Strukturvariablen erwiesen sich als signifikant und verblieben im Modell. Die Anzahl Zimmer und die Wohnfläche stellten sich wie erwartet als bedeutende Mietpreisdeterminanten heraus. Ein zusätzliches Zimmer erhöht die Miete um 3.9 %, während eine Zunahme der Wohnfläche um 10 % einen Mietpreisaufschlag von ca. 7 % zur Folge hat. Im Vergleich zu den Studien von GLAUSER et al. (2009) und MÜRI et al. (2011) wird der Effekt der Anzahl Zimmer eher unter-, jener der Wohnfläche überschätzt. Hier scheint sich die hohe positive Korrelation der beiden Variablen von 0.89 auszuwirken, die eine klare Trennung der beiden Einflüsse verunmöglicht. Für ein Cheminée in der Wohnung besteht eine grosse Zahlungsbereitschaft. Der überraschend hohe Preisaufschlag von 11.9 % ist vermutlich auf den allgemein höheren Ausbaustandard von Wohnungen mit

Cheminées zurückzuführen. Auch das Vorhandensein eines Lifts bzw. eines Balkons hat einen positiven, wenn auch geringeren Einfluss auf den Mietpreis. Mieterinnen und Mieter in Zürich sind bereit, 2 % bzw. 1.4 % mehr zu bezahlen. Weiter zeigte sich, dass der Mietpreis massgeblich davon abhängt, wann eine Wohnung erstellt oder letztmals umfassend saniert wurde. Dieser Effekt ist umso grösser, je länger dieser Zeitpunkt her ist. Ältere Wohnungen entsprechen nicht mehr den heutigen Wohnansprüchen und weisen tendenziell einen geringen Ausbaustandard aus und werden folglich weniger nachgefragt. Beispielsweise beträgt der Preisabschlag für eine Wohnung mit einem wirtschaftlichen Alter von 50 bis 74 Jahren ca. 13 %. Auch die Eigentumsverhältnisse stellten sich wie erwartet als Einflussfaktor heraus. Im Vergleich zu privaten Eigentümern kosten Wohnungen von Kapitalgesellschaften oder Pensionskassen 5.4 % weniger. Ein Erklärungsansatz für das in dieser Deutlichkeit erstaunliche Resultat ist, dass der in den letzten Jahren gesunkene mietrechtliche Referenzzinssatz von Privaten nicht so konsequent an die Mieter weitergegeben wurde als von Kapitalgesellschaften und Pensionskassen. Noch grösser ist die Preisreduktion bei Genossenschaften und der öffentlichen Hand, die ihre Wohnungen zu Kostenmieten oder subventioniert anbieten (13.2 %). Diese Zahl ist zwar plausibel und auf einer Linie mit anderen Studien (z.B. RIEDER 2005), liegt aber auf einer Stichprobe mit wenigen Inseraten von Genossenschaften zugrunde und ist mit Vorsicht zu interpretieren. Die Variable Datum ist zwar keine nutzenstiftende Eigenschaft gemäss hedonischer Theorie, bildet aber die konjunkturell bedingten Preisschwankungen der Zeitperiode der Stichprobe ab. Die Regressionskoeffizienten der Dummy-Variablen widerspiegeln die bedeutende Preissteigerung auf dem Wohnungsmarkt der Region Zürich. Eine Wohnung kostete im Jahr 2007 12.9 % und im Jahr 2002 15.4 % weniger als im Jahr 2011.

Neben den Strukturvariablen sind die Variablen der Wohnlage bei der Mietpreisbildung von entscheidender Bedeutung. Wie man anhand der Beta-Werte erkennen kann, hat die Zentralität der Wohnlage, hier mit der öV-Reisezeit zum Hauptbahnhof modelliert, den relativ stärksten Einfluss auf den Mietpreis. Die Mieter der Stadt Zürich sind bereit, für jede Minute weniger Reisezeit zum Hauptbahnhof 1.3 % mehr Miete zu bezahlen. Eine Reisezeitverkürzung von beispielsweise 25 auf 10 Minuten hat für eine ansonsten identische Referenzwohnung<sup>24</sup> einen Preisaufschlag von 462 SFr. zur Folge. Auch die Nähe zur nächsten Einkaufsmöglichkeit erwies sich als signifikante Variable. Dass sie einen deutlich geringeren Einfluss auf den Preis hat als die Reisezeit zum Hauptbahnhof, hat vermutlich

---

<sup>24</sup> Als Referenzwohnung wurde folgende fiktive Wohnung herangezogen: 3 Zimmer, 70 m<sup>2</sup> Wohnfläche, kein Cheminée, mit Lift und Balkon, im Jahr 2011 erstellt und inseriert, mit durchschnittlichen Merkmalen der Mikrolage und Aussicht.

damit zu tun, dass die Versorgungsgüte in den allermeisten Wohngebieten sehr gut ist. Keinen Widerspruch zwischen theoretischer Erwartung und Empirie gab es bei der Schätzung der Variable Strassenlärm. Eine Zunahme des Lärmpegels um ein Dezibel führt zu einer Reduktion des Mietzinses um 0.14 %. Ebenfalls als signifikantes Mikrolagemerkmal mit erwartetem Vorzeichen wurde die Kriminalitätsrate ermittelt. In Gebieten mit einer hohen Anzahl Delikte werden Wohnungen weniger nachgefragt und sind entsprechend billiger. Auch wenn diese Deliktdaten im Vergleich z.B. zu den USA nicht öffentlich zugänglich sind, wird die räumliche Verteilung des Kriminalitätsvorkommens von den Medien implizit kommuniziert und von den Wohnungssuchenden bei ihrer Standortwahl als Entscheidungskriterium einbezogen. Wie die Beta-Werte zeigen, ist der relative Einfluss auf den Mietpreis erstaunlich hoch. Die Kriminalität ist mindestens genauso bedeutend wie der Strassenlärm oder die Nähe zum Einkaufszentrum. Eine Wohnung, in dessen unmittelbarer Umgebung pro Jahr eine stadtweit durchschnittliche Anzahl Delikte begangen werden, ist 43 SFr. günstiger als eine identische Wohnung an einer kriminalitätsfreien Lage.

### 6.2.3.2 Preiseffekte der Aussichtsmerkmale

Von den ursprünglich 31 Aussichtsvariablen verblieben 6 im Modell. Demnach hat die Aussicht im Untersuchungsgebiet einen statistisch nachweisbaren Einfluss auf die Mietpreise. Die verbliebenen Variablen und ihre Koeffizienten geben Auskunft darüber, für welche Aussichtsmerkmale eine Zahlungsbereitschaft besteht und wie gross sie ist.

Die Sicht auf denkmalgeschützte oder auf besonders alte Gebäude übt einen positiven Effekt auf den Mietpreis aus. Diese Zahlungsbereitschaft unterstreicht, dass die Mieterinnen und Mieter der Stadt Zürich der historischen Bausubstanz einen bedeutenden ästhetischen Wert beimessen. Befinden sich hingegen industriell genutzte Gebäude im Vordergrund des Sichtraums, erfahren die Wohnungen in der unmittelbaren Umgebung eine verminderte Nachfrage. Ein geringerer Mietpreis ist die Folge. Es handelt sich um die einzige signifikante Aussichtsvariable, von der eine negative Preiswirkung ausgeht. Das überraschend hohe Ausmass der Wirkung lässt vermuten, dass diese Variable nicht nur jene Mietpreisvarianzen erklärt, die auf das ästhetischen Missfallen dieser Gebäude zurückzuführen sind. Möglicherweise werden die nicht modellierten Lärm- und Luftimmissionen von Industriegebäuden fälschlicherweise der Aussicht zugeschrieben. Ein weiteres Landschaftsobjekt, das den Mietpreis beeinflusst, ist das Gewässer. Erwartungsgemäss führt eine Erhöhung des Anteils der Gewässer im Sichtraum *ceteris paribus* zu höheren Preisen. Damit konnte die in den Immobilieninseraten beobachtbare ausgeprägte Präferenz für eine Sicht auf Gewässer empirisch nachgewiesen werden.

Als weitere signifikante Variable der Aussicht wurde das Sichtvolumen (Landschaft) identifiziert. Wohnungen mit einem grossen Sichtvolumen sind teurer als gleichwertige Wohnungen mit kleinem Sichtvolumen. Dieses Resultat weist darauf hin, dass Aussichten mit Sichtbeziehungen in die Ferne präferiert werden. Demgegenüber erzielen Wohnungen in dicht bebauten Gebieten mit kleinen Sichtvolumina geringere Mieterträge. Auch die Bergsicht stellte sich wie erwartet als mietpreisbestimmendes Merkmal mit erwarteter Einflussrichtung heraus. Je mehr Bergspitzen von einer Wohnung sichtbar sind, desto höher fällt der Mietpreis aus. Wenn auch mit einem relativ schwachen Einfluss, zeigte sich die Diversität der Aussicht als signifikante Variable. Demnach haben die Mieterinnen und Mieter von Zürich eine Vorliebe für komplex zusammengesetzte Aussichten, während monotone Aussichten weniger präferiert werden.

Die Auswirkungen einer Veränderung der sechs signifikanten Aussichtsvariablen auf den Mietpreis werden in Abbildung 6–3 veranschaulicht. Ausgehend vom Preis einer Referenzwohnung mit durchschnittlicher Aussicht wurden einzelne Variablen um ein gewisses Mass verändert und die Auswirkung auf den Mietpreis mit Formel 6-1 bestimmt. Das Diagramm zeigt, dass eine marginale Änderung der Sicht auf Gewässer den Mietpreis deutlich stärker beeinflusst als die Sicht auf historische oder industriell genutzte Gebäude. Ein Erklärungsansatz liegt darin, dass Sichtbeziehungen zu Gewässern gemäss deskriptiver Statistik in Tabelle 6-1 sehr selten sind und die Nachfrage das Angebot übersteigt. Die Effekte der übrigen drei Variablen sind nicht direkt vergleichbar, da diese in Abbildung 6–3 nicht mit einer Zunahme um 1 %, sondern mit anderen Zunahmen gezeigt werden.

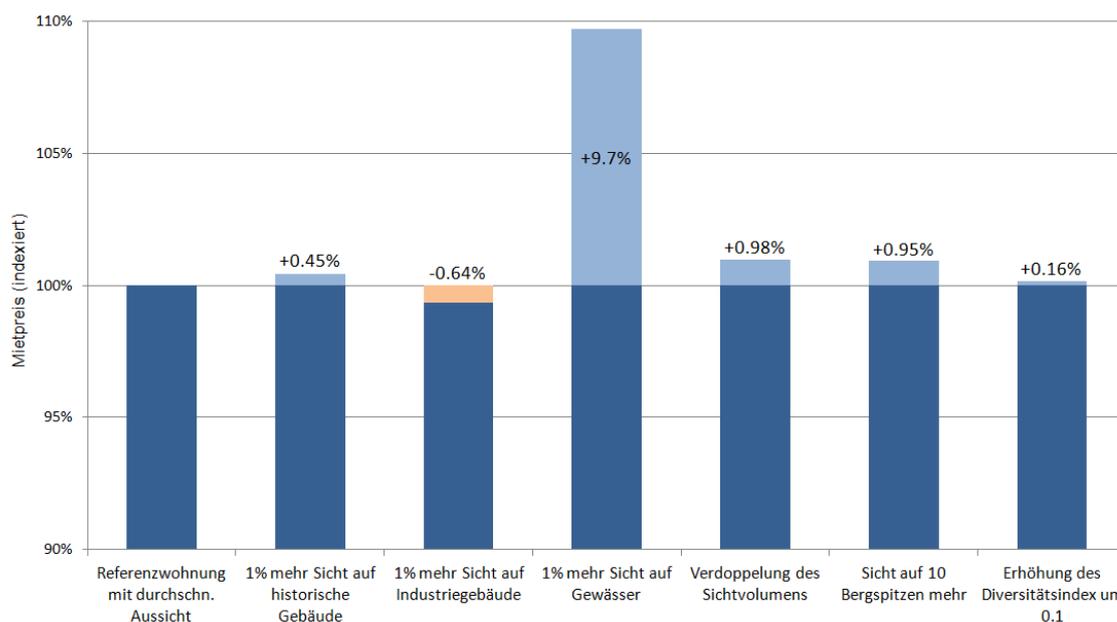


Abbildung 6–3: Preiseffekt der Aussicht

Die weggefallenen Aussichtsvariablen waren entweder nicht signifikant oder korrelierten zu stark mit anderen Variablen. Letzteres traf beispielsweise für den Anteil Strassen am Sichtfeld zu, der einen starken positiven Zusammenhang mit der Strassenlärmvariable aufwies. Auch die durchschnittliche Sichtweite musste trotz Signifikanz wegen ihrer Korrelation mit dem Sichtvolumen aus dem Modell entfernt werden. Der Effekt der Sicht auf Mobilfunkantennen war zwar erwartungsgemäss negativ, jedoch statistisch nicht belegbar. Die Beibehaltung der Nullhypothese ist jedoch kein Nachweis dafür, dass die Sicht auf Mobilfunkantennen keinen Einfluss auf den Mietpreis hat (BORTZ 2005:118). Gleiches gilt für die Variable Sky Visibility Ratio, was im Widerspruch zu den theoretischen Überlegungen steht. Da hohe Werte dieser Variable häufig bei Wohnungen in oberen Stockwerken auftreten, die generell über präferierte Aussichten verfügen, wurde der erwartete Effekt der Sichtbarkeit des Himmels möglicherweise durch die signifikanten Aussichtsvariablen modelliert.

### 6.2.3.3 Gesamteffekt der Aussicht

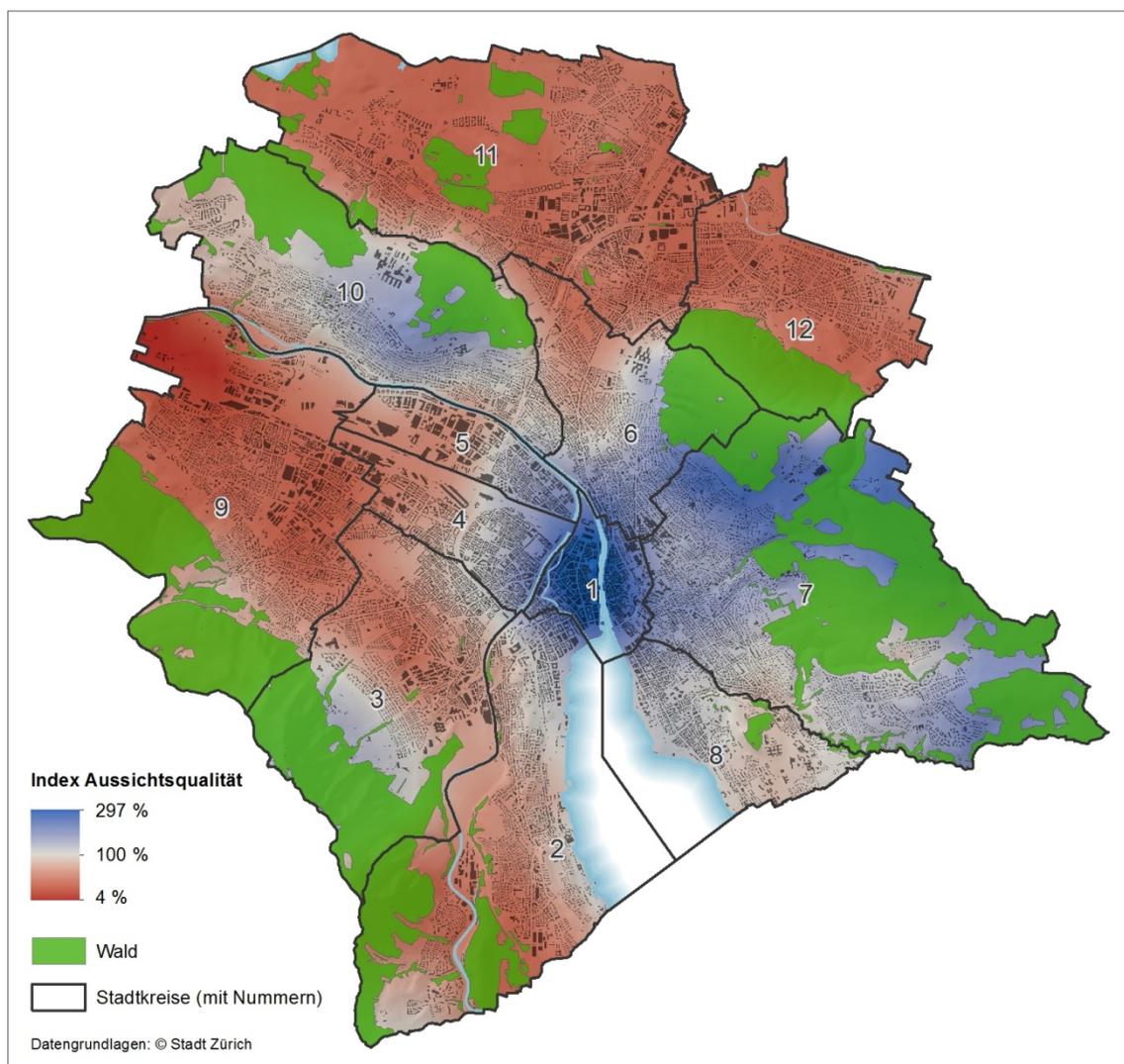
Die Kenntnis der Preiswirkungen der einzelnen Aussichtsmerkmale erlaubt eine gesamthafte Bewertung der Aussicht. Der Gesamteffekt der Aussicht auf die Mietpreise ist positiv und beträgt durchschnittlich 122 SFr. pro Wohnung und Monat. Mit ca. 191'000 Mietwohnungen werden in Zürich pro Jahr allein für die Aussicht ca. 280 Mio. SFr. Miete entrichtet. Da die Aussicht infolge der Topographie und Bebauung räumlich variiert, ist der obige Durchschnittswert nur von geringer Aussagekraft. Um eine räumlich differenzierte Aussage über die Aussichtsqualität innerhalb des Untersuchungsgebiets machen zu können, wurden die Preiseffekte der einzelnen Aussichtsmerkmale auf Stufe der statistischen Zonen<sup>25</sup> in Anlehnung an GLAUSER et al. (2009) nach folgender Formel aggregiert:

$$AQ_Z = \frac{1}{M_Z} \sum_{m=1}^{M_Z} \sum_{n=1}^N \beta_n A_{L_{OD}2_{n,m}} \quad \text{Formel 6-2}$$

Die  $N$  Aussichtsmerkmale  $A_{L_{OD}2_{n,m}}$  wurden mit den Regressionskoeffizienten  $\beta_n$  der Schätzung multipliziert, über alle  $M_Z$  Beobachtungen innerhalb einer statistischen Zone aufsummiert und gemittelt.<sup>26</sup> Es resultiert das Mass der Aussichtsqualität  $AQ_Z$  für eine statistische Zone. Für eine kartographische Darstellung wurden die Werte indexiert (100 % = gesamtstädtischer Mittelwert) und mit einem Glättungsalgorithmus fließende Übergänge zwischen den Zonen erzeugt. Das Ergebnis ist eine Karte der Aussichtsqualität der Stadt Zürich (Abbildung 6–4).

<sup>25</sup> kleinste räumliche Gebietseinteilung der Stadt Zürich

<sup>26</sup> Auch die stockwerkbedingt unterschiedlichen Aussichten innerhalb eines Gebäudes unterlagen dieser Mittelung



**Abbildung 6–4: Karte der Aussichtsqualität**

Die Karte zeigt ein plausibles Bild der räumlichen Unterschiede der Aussichtsqualität. Die grosse Bandbreite der Indexwerte von 4 bis 297 % widerspiegelt die mannigfaltigen Wohnlagen in Zürich.

Alle ausgeprägten Hanglagen der Stadt verfügen über eine überdurchschnittliche Aussicht. Dazu gehören die Gebiete südlich des Högger-, Käfer-, und Zürichbergs (Kreise 10, 6 und 7), das Quartier Witikon sowie Bereiche am Fuss des Uetlibergs (Kreise 2, 3 und 9). Dank der erhöhten Lage und der wenig dichten Bebauung weisen Wohnungen dieser Gebiete hohe Sichtvolumina auf und verfügen oft über Berg- und Seesicht.

Auch die Bewohner der Zürcher Altstadt (Kreis 1) dürfen sich an einer ausgesprochen schönen Aussicht erfreuen. Mit einem Index von beinahe 300 % ist die Aussichtsqualität dreimal so gut wie das stadtzürcherische Mittel. Hier schlagen die vielen historischen Häuser sowie die Sichtbeziehungen auf die Limmat zu Buche. Zusammen mit der zentralen

Lage der Altstadt erklärt die Aussicht einen wesentlichen Teil der überdurchschnittlich hohen Mietpreise.

Die Aussichtsqualität der Wohnlagen um das Seebecken (Seefeld, Enge) liegt über dem Durchschnitt, aber deutlich unter den Werten der Innenstadt und der Hanglagen. Die flache Topographie und die dichte Bauweise lassen nur bei wenigen Wohnungen Sichtbeziehungen zum See zu. Zu den Gebieten mit unterdurchschnittlicher Aussichtsqualität gehören das Glatttal (Kreise 11 und 12) und Teile des Limmattal (Kreise 9 und angrenzende Gebiete). Diese Wohnlagen sind vorwiegend flach mit geringen Sichtvolumina und sehr wenig Sicht auf Gewässer und verfügen über wenig historische Bausubstanz.

#### 6.2.3.4 Vergleich der hedonischen Modelle

Beim Modell A wurden mit Ausnahme der Aussichtsvariablen dieselben Variablen einbezogen, die in Modell D nach der Schätzung im Modell verblieben. Die Signifikanz und die Vorzeichen der Variablen des Modells A unterscheiden sich nicht von jenen des Modells D. Auch die Regressionskoeffizienten unterscheiden sich grösstenteils nur unbedeutend. Einige Koeffizienten (Balkon, Kriminalitätsrate, Distanz Einkauf) variieren jedoch stark, so dass eine Interaktion mit anderen Variablen nicht auszuschliessen ist. Möglicherweise erklären diese Variablen im Modell A fälschlicherweise den Preiseffekt der Aussicht. Das korrigierte Bestimmtheitsmass  $R^2$  des Modells A ist geringfügig kleiner als jenes des Modells D. Modell A vermag die Mietpreise nicht ganz so gut zu erklären wie Modell D. Das tiefere  $R^2$  ist ein Anzeichen dafür, dass relevante Variablen – hier die Aussichtsvariablen – im Modell fehlen. Modell A ist zudem weniger effizient als Modell D. Der Vergleich von Modell A mit D unterstreicht die bereits bei der Schätzung des Modells D gemachte Feststellung, dass die Aussicht im Untersuchungsgebiet einen bedeutenden Einfluss auf die Mietpreise hat. Die Nichtberücksichtigung der Aussicht führt zu einer verminderten Güte des Mietpreismodells.

Die Modelle B und C wurden mit denselben Variablen wie Modell D geschätzt. Ihre Aussichtsvariablen basieren aber auf ungenaueren Grundlagendaten (3D-Stadtmodelle LoD 0 bzw. LoD 1). Die Schätzung dieser Modelle ergab ebenfalls keine Abweichungen bei der Signifikanz und den Richtungen der Preiswirkungen. Die unterschiedlichen Datengrundlagen äussern sich jedoch in den Koeffizienten der Aussichtsvariablen: Die Beträge der Koeffizienten der Modelle B und D variieren sehr stark (im Durchschnitt 202 %). Mietpreisprognosen mit den Modellen B und D fallen entsprechend unterschiedlich aus. Der Schätzpreis der Referenzwohnung liegt für Modell B 26 % über jenem von Modell D. Hingegen weichen die Aussichtskoeffizienten bzw. Preisschätzungen des Modells C nur unbe-

deutend von jenen des Modells D ab (14 % bzw. 1.4 %). Diese Werte sind als Folge der grossen geometrischen Unterschiede zwischen LoD 0 und LoD 2 und den geringfügigen Unterschiede zwischen LoD 1 und LoD 2 zu interpretieren. Die Erkenntnisse aus diesen Modellvergleichen decken sich mit den Ergebnissen aus der induktiven Analyse der Ausichtsvariablen (Kap. 6.1.2).

## 7 Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick

### 7.1 Zusammenfassung

Die Kenntnis darüber, welche Faktoren den Preis einer Immobilie bestimmen und wie gross deren Einflüsse sind, ist für das Verständnis des Immobilienmarktes von grosser Bedeutung. In dieser Arbeit wurde mit der hedonischen Preismethode und unter Einsatz von 3D-Stadtmodellen und 3D-Sichtbarkeitsanalysen der Wert ermittelt, den Mieterinnen und Mieter der Aussicht beimessen.

Bei der Literaturanalyse hat sich gezeigt, dass die preisbestimmenden Struktur- und Lage-merkmale einer Wohnung gezielt erforscht wurden und bei vielen Merkmalen ein allgemeiner Konsens besteht. Einige hedonische Studien konnten einen signifikanten positiven Einfluss der Aussicht auf die Miet- und Kaufpreise von Immobilien nachweisen. Die Richtung und das Ausmass des Einflusses hängen im Wesentlichen davon ab, aus welchen Landschaftselementen die Aussicht zusammengesetzt ist und wie weit entfernt sie sich von der Immobilie befinden. Zur Gewinnung empirischer Daten der Aussicht setzten neuere Studien hauptsächlich die GIS-basierte Sichtbarkeitsanalyse Viewshed ein. Wegen ihres 2.5D-Ansatzes kann die Viewshed-Analyse dreidimensionale Objekte wie z.B. Gebäude nur unzureichend berücksichtigen, so dass ihre Eignung für Sichtbarkeitsberechnungen im Siedlungsraum in der Literatur in Frage gestellt wird. Als Grundlagedaten stehen mittlerweile präzise 3D-Stadtmodelle zur Verfügung, die bis anhin für Sichtbarkeitsberechnungen erst vereinzelt eingesetzt wurden. Es stellte sich die Frage nach der Eignung und der Praxistauglichkeit von 3D-Sichtbarkeitsanalysen und von unterschiedlich detaillierten 3D-Daten im Hinblick auf eine Anwendung in einem hedonischen Preismodell.

Für die Bestimmung des Preiseffekts der Aussicht auf die Mietpreise wurde die hedonische Preismethode eingesetzt. Sie ist ein ökonometrisches Verfahren, das den Mietpreis regressionsanalytisch in einzelne Preiskomponenten der nutzenstiftenden Wohnungsmerkmale zerlegt. Zur Schätzung eines hedonischen Modells werden empirische Daten über die einzelnen Wohnungsmerkmale benötigt. Die Daten zu den Aussichtsmerkmalen wurden in einem GIS mit verschiedenen 3D-fähigen Sichtbarkeitsanalysen ermittelt. Neben der Sichtlinien- und Horizontlinienanalyse wurde eine 3D-Sichttraumanalyse eingesetzt, die in dieser Arbeit konzipiert und parametrisiert wurde. Grundlagedaten bildeten drei unterschiedlich detaillierte 3D-Stadtmodelle (LoD 0, LoD 1 und LoD 2). Gegenstand der empirischen Untersuchung war der Mietwohnungsmarkt der Stadt Zürich, für den ein Stichprobendatensatz eines Online-Immobilienportals zur Verfügung stand.

Als Ergebnis der Sichtbarkeitsberechnungen lagen für jede Wohnung der Stichprobe Daten zu 31 Aussichtsmerkmalen vor. Eine deskriptive Analyse der Daten zeigte, dass naheliegende Gebäude im Durchschnitt den mit Abstand grössten Anteil der Aussicht ausmachen. Die Gebäude stellen ihrerseits bedeutende Sichthindernisse dar, was dazu führt, dass die allgemein präferierten Sichtbeziehungen in die Ferne und auf den Zürichsee selten sind. Die Aussichtsmerkmale wurden separat auf Basis der drei 3D-Stadtmodelle LoD 0, LoD 1 und LoD 2 ermittelt und mit induktiver Statistik verglichen. Sowohl die Aussichten basierend auf LoD 0 als auch jene basierend auf LoD 1 unterscheiden sich signifikant von jenen des detailliertesten Modells LoD 2. Eine genauere Betrachtung der deskriptiven Daten und der Einbezug der Effektgrösse zeigte jedoch, dass nur der Unterschied zwischen LoD 0 und LoD 2 im statistischen Sinn als praktisch bedeutsam einzustufen ist.

Es wurden insgesamt vier hedonische Mietpreismodelle formuliert und geschätzt. Die geschätzten Modelle stellen die Kausalbeziehung zwischen dem Mietpreis und den Wohnungsmerkmalen in quantitativer Form dar. Die Schätzungen ergaben plausible, mit den theoretischen Überlegungen und den bisherigen Forschungsergebnissen vereinbare Resultate. Eine Überprüfung der Modelle offenbarte überdurchschnittlich hohe Modellgüten und keine gravierenden Verletzungen der Modellprämissen. Die Schätzungen und Teststatistiken können somit als zuverlässig bezeichnet werden. Neben den gängigen Struktur- und Lagevariablen wurde erstmals für den Schweizer Immobilienmarkt die Auswirkung der Kriminalität auf die Mietpreise untersucht und eine negative Preiswirkung festgestellt. Weiter konnte empirisch nachgewiesen werden, dass die Aussicht einen signifikanten Einfluss auf die Mietpreise der Stadt Zürich ausübt. Zu den preisrelevanten Aussichtsmerkmalen gehören die Sicht auf Gewässer, Berge und historische Gebäude, das Volumen des Sichtraums, die Diversität der Aussicht (alle mit preissteigerndem Einfluss) und die Sicht auf Industriegebäude (preismindernder Einfluss). Aus diesen monetarisierten Aussichtspräferenzen konnte eine Karte der Aussichtsqualität von Zürich abgeleitet werden, welche Gebiete darstellt, deren Wohnungen über schöne und weniger schöne Aussichten verfügen. Abschliessend wurden die Schätzungen der drei hedonischen Modelle, die sich nur durch die Grundlagendaten der Aussichtsermittlung (LoD 0, LoD 1 und LoD 2) unterscheiden, verglichen. Während sich die Schätzungen der Modelle LoD 1 und LoD 2 nur geringfügig unterscheiden, weichen die Schätzungen basierend auf dem Modell LoD 0 deutlich von jenen des Modells LoD 2 ab.

## 7.2 Beantwortung der Forschungsfragen und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse anhand der einleitend formulierten Forschungsfragen diskutiert.

### 1. Frage nach dem Zusammenhang zwischen der Aussicht und dem Preis einer

**Wohnung:** Welches sind die mietpreisbestimmenden Wohnungsmerkmale im gewählten Untersuchungsgebiet? Hat die Aussicht einen Einfluss auf die Mietpreise? Wenn ja, für welche Aussichtsmerkmale bestehen Zahlungsbereitschaften und wie gross sind sie?

Das Hauptziel dieser Arbeit, die Wirkungszusammenhänge zwischen dem Mietpreis und den Wohnungsmerkmalen ökonometrisch zu untersuchen, konnte erreicht werden. Es gelang, mit dem hedonischen Preisansatz den Mietpreis in seine preisbestimmenden Merkmale aufzuschlüsseln. Regressionsanalytische Hypothesentests ergaben für folgende nicht-aussichtsbezogene Merkmale nachweisbare Preiswirkungen: Anzahl Zimmer, Wohnfläche, das Vorhandensein eines Cheminées, Lifts und Balkons, das wirtschaftliche Alter, die Eigentümerschaft, das Inseratedatum, die Reisezeit zum Hauptbahnhof, die Distanz zum Einkauf, der Strassenlärm und die Kriminalitätsrate. Eine Vielzahl der theoretischen Überlegungen konnte damit empirisch bestätigt werden. Die quantitativen Ausprägungen decken sich weitgehend mit vergleichbaren hedonischen Studien (z.B. RIEDER 2005, BANFI et al. 2007, SCHAERER et al. 2007, GLAUSER et al. 2009, MÜRI et al. 2011).

Die Arbeit lieferte empirische Evidenz für den Einfluss der Aussicht auf die Mietpreise der Stadt Zürich. Diese Erkenntnis deckt sich mit dem allgemeinen Wissensstand zur Preiszusammensetzung bei Immobilien und stützt die Aussage von PATERSON & BOYLE (2002:417), dass «die Aussicht ein wichtiges Lagemerkmal ist und ein Weglassen in hedonischen Preismodellen zu inkorrekten Folgerungen aus der Signifikanz und den Vorzeichen anderer Lagemerkmalen führen kann». Zahlungsbereitschaften bestehen für die Sicht auf Gewässer, auf Berge und auf historische Gebäude, das Volumen des Sichtraums, die Diversität der Aussicht (positive Zahlungsbereitschaften) und die Sicht auf Industriegebäude (negative Zahlungsbereitschaft). Diese Ergebnisse wurden bereits in Kap. 6.2.3 ausführlich ökonomisch diskutiert. Sie sind grundsätzlich vereinbar mit den Forschungsergebnissen vergleichbarer hedonischer Studien (vgl. Tabelle 2-1). Von besonderem Interesse dürfte die Signifikanz des Sichtvolumens sein, für deren Bedeutung für die Immobilienpreisbildung erstmals Erkenntnisse vorliegen. Der positive Preiseffekt des Sichtvolumens drückt nicht nur aus, dass Wohnungen mit Fernsicht besonders geschätzt werden, sondern lässt auch Rückschlüsse auf die Akzeptanz baulicher Dichte zu. Den Ergebnissen zur Folge werden

Wohnungen in Gebieten mit dichter Bauweise wegen ihrer einschränkenden Wirkung auf den Sichtraum weniger präferiert.

Obwohl sich die zugrunde gelegte Stichprobe als qualitativ gut und umfangreich erwies und die Anpassungsgüte des hedonischen Modells hoch war, müssen gewisse Einschränkungen der Validität der Resultate hingenommen werden. Wesentliche Ursache dafür ist einerseits, dass die Aussichtsvariablen untereinander und mit anderen Lagevariablen mehrheitlich nicht orthogonal sind. Dadurch sind die Regressionskoeffizienten mit einer gewissen Unsicherheit behaftet und die Interpretation erschwerte sich. Andererseits wurde räumliche Autokorrelation festgestellt, der mit dem eingesetzten OLS-Verfahren nicht Rechnung getragen werden konnte. Abhilfe schaffen würden Spatial-Error-Modelle oder Spatial-Lag-Modelle, welche die räumliche Struktur berücksichtigen.

**2. Frage nach geeigneten Daten und Methoden zur Ermittlung der Aussicht:** Wie gross sind die Unterschiede zwischen Aussichten, die auf Basis unterschiedlich detaillierter 3D-Stadtmodelldaten berechnet werden und wie sind diese Unterschiede im Hinblick auf eine Anwendung in hedonischen Preismodellen einzustufen? Wie sehen GIS-Methoden zur Bestimmung der Sichtbarkeit aus, die fähig sind, räumliche Daten mit dreidimensionalen Strukturen einzubeziehen?

Die Untersuchung hat gezeigt, dass unterschiedlich detaillierte 3D-Stadtmodelldaten zu statistisch belegbaren Unterschieden der berechneten Aussichten führen. Den Gebäuden kommt bei Sichtbarkeitsanalysen in Siedlungsgebieten als Sichthindernisse eine grosse Bedeutung zu. Angesichts der grossen geometrischen Differenzen zwischen LoD 0 und LoD 2 und den kleinen Differenzen zwischen LoD 1 und LoD 2 erstaunt es nicht, dass sich die Aussichtsvariablen basierend auf LoD 0 und LoD 2 erheblich und jene basierend auf LoD 1 und LoD 2 nur geringfügig unterscheiden. Demnach sind für Sichtbarkeitsanalysen mit mittlerem bis hohem Genauigkeitsanspruch die Grundlagendaten LoD 0 nicht geeignet. Die Studien von LAKE et al. (2000a) und SANDER & MANSON (2007) kamen zu ähnlichen Erkenntnissen, wenngleich die Untersuchungsanordnungen nicht direkt vergleichbar sind (kein Einbezug von Dachformen wie in LoD 2).

Die unterschiedlich ermittelten Aussichtsvariablen wirkten sich direkt auf die Schätzergebnissen der hedonischen Modelle aus. Die Ausmasse der Abweichungen der Regressionskoeffizienten führen zu folgender Handlungsempfehlung: Für hedonische Immobilienpreismodelle wird empfohlen, die Aussicht unter Einbezug von 3D-Gebäuden als Klötzchenmodell (LoD 1) zu ermitteln. Die Nichtberücksichtigung von 3D-Gebäuden (LoD 0) führt zu falschen Schätzungen der Aussichtskoeffizienten, während der geringe Genauigkeitsge-

winn bei der Verwendung von 3D-Gebäuden mit detaillierten Dachformen (LoD 2) den erhöhten Berechnungsaufwand nicht rechtfertigt.

Die Aussichtsmerkmale wurden mit der 3D-fähigen Sichtlinien-, Horizontlinien- und 3D-Sichtraumanalyse ermittelt. Sie sind in der Lage, Merkmale der Aussicht objektiv und nachvollziehbar zu quantifizieren. Mit der 3D-Sichtraumanalyse liegt eine vektorbasierte Methode zur Ermittlung des Sichtraums vor, die dem menschlichen Sehen nachempfunden ist, 3D-Objekte berücksichtigt und in ein GIS implementiert werden kann. Sie kann als Erweiterung der Viewshed-Analyse für den dreidimensionalen Raum gesehen werden, welche die Limitierungen der Viewshed-Analyse weitgehend beseitigt. Abgesehen von der hohen Rechenzeit in *ArcGIS* hat sich der Einsatz der 3D-Sichtraumanalyse bewährt. Sie reiht sich ein in ähnliche Ansätze der dreidimensionalen Sichtraumermittlung der jüngeren Forschung (FISHER-GEWIRTZMAN et al. 2005, PUTRA & YANG 2005, MORELLO & RATTI 2009).

**3. Frage nach der Praxistauglichkeit des Lösungsansatzes:** Lassen sich die Berechnung und die Auswertung der Aussicht vollständig in einem GIS abbilden? Wenn ja, können diese Prozesse nachvollziehbar gestaltet und rationell angewendet werden? Wie ist angesichts des grossen Stichprobenumfangs und der umfangreichen und hochaufgelösten Grundlagendaten die Performanz des implementierten Lösungsansatzes zu beurteilen?

Die Berechnung der Aussichtsvariablen konnte vollständig in *ArcGIS* durchgeführt werden. Das GIS lieferte objektive, valide Messwerte und vermied subjektive, aufwändige Einschätzungen der Aussicht vor Ort. Mit der Abbildung des gesamten Berechnungsprozesses im *ArcGIS ModelBuilder* konnte aufgezeigt werden, dass mit GIS nachvollziehbare, reproduzierbare und automatisierbare Aussichtsrechnungen möglich sind. Damit sind wichtige Voraussetzungen für den Einsatz des Lösungsansatzes in der Praxis gegeben.

Die Berechnung der Aussichtsvariablen für die gesamte Stichprobe erwies sich als sehr rechenintensiv. Besonders ins Gewicht fielen die ca. 1'100 Sichtlinienanalysen, die im Rahmen der 3D-Sichtraumanalyse pro Beobachtung durchgeführt werden mussten. Die gesamte Rechenzeit ist denn auch mehr auf die grosse Stichprobe und die schlechte Performance von *ArcGIS*, als auf die Komplexität der zugrunde liegenden Berechnungsalgorithmen zurückzuführen. Im Kontext hedonischer Preismodelle, bei welchen die Aussicht nur ein Lagemerkmale unter vielen darstellt, für welche Daten ermittelt und verdichtet werden müssen, ist dieser hohe Zeitaufwand negativ zu werten. Unter diesem Aspekt ist der Lösungsansatz dieser Arbeit als nur bedingt praxistauglich einzustufen.

### 7.3 Ausblick

In den letzten Jahren hat sich in der Schweiz der Siedlungsdruck durch die starke Bevölkerungszunahme und die Änderung der Wohnraumbedürfnisse weiter akzentuiert. Ästhetisch wertvolle Landschaften im unmittelbaren Umfeld der Siedlungsgebiete geraten immer stärker unter Druck. Eine Kehrtwende dieses Trends ist mittelfristig nicht in Sicht. Die Raumplanung versucht, mit Vorschriften zur dichteren Bauweise der dispersen Wohnraumentwicklung entgegenzuwirken. Der Verlust von Landschaften mit hoher ästhetischer Qualität und die Verdichtung führen dazu, dass Wohnraum mit schönen Aussichten langfristig betrachtet seltener werden. Nach den Gesetzen der Marktwirtschaft müsste der Wert der Aussicht in Zukunft zunehmen.

Einen unmittelbaren Einfluss auf den Preis einer Immobilie üben bauliche Veränderungen in ihrer Umgebung aus. Beispielsweise kann eine Gebäudeaufstockung dazu führen, dass das benachbarte Gebäude seine Sichtbeziehungen zum See verliert und damit eine Wertminderung erleidet. Mit dem vorliegenden hedonischen Modell liessen sich solche aussichtsbedingten Wertänderungen quantitativ bestimmen und als objektives Entscheidungskriterium bei Planungsvarianten oder bei Änderungen von Zonenvorschriften einsetzen.

Mit dieser Arbeit liegen Erkenntnisse darüber vor, welche Daten und Methoden sich für die Modellierung der Aussicht im Rahmen hedonischer Modelle eignen. Der aufgezeigte Lösungsansatz ist für den Einsatz in der Praxis grundsätzlich geeignet, weist aber durchaus Verbesserungspotenziale auf. Mit der Kenntnis der genauen Lage der Wohnung innerhalb des Gebäudes und dem Einbezug dreidimensionaler Geodaten zu Bäumen könnte der real vorhandenen Aussicht einer Wohnung noch einen Schritt näher gekommen werden. Eine weitere Hürde bildet die Verfügbarkeit einheitlicher Grundlagendaten über die institutionellen Grenzen hinweg. Erfreulicherweise bietet Swisstopo seit kurzem für die gesamte Schweiz Gebäudedaten des Detaillierungsgrads LoD 1 und ab 2016 LoD 2 an. Musste sich diese Arbeit aus Gründen der Datenverfügbarkeit noch auf die Stadt Zürich beschränken, könnten Aussichtsdaten schon bald für regionale, kantonale oder landesweite Preismodelle bereitgestellt werden. Um diese steigende Datenmenge bewältigen zu können, sind seitens GIS-Hersteller Entwicklungen von performanten, 3D-fähigen Sichtbarkeitsanalysen gefordert. Damit könnte sich der Einsatz von GIS zur differenzierten und kosteneffizienten Erfassung von Lagedaten für Immobilienpreismodelle weiter etablieren.

## A Anhang

## A.1 Zuordnung der thematischen Klassierung der Bodenbedeckung

**Tabelle A1-1: Zuordnung der thematischen Klassierung der Bodenbedeckung**

Klassierung der Grundlagendaten	Zielklassierung (Aussichtsvariablen)			
	VECTOR25 („Primärflächen“)	Nahbereich	Mittelbereich	Fernbereich
Gebäude.Verwaltung	Siedlung	SRA_GebHist_V	SRA_Gebäude_M	SRA_Siedlung_H
Gebäude.Wohngebäude		SRA_GebIndustr_V		
Gebäude.Land_Forstwirtschaft_Gaertnerei		SRA_GebUebrig_V		
Gebäude.Verkehr				
Gebäude.Handel				
Gebäude.Industrie_Gewerbe				
Gebäude.Gastgewerbe				
Gebäude.Nebengebäude				
-----				
befestigt.Strasse_Weg.Strasse		SRA_Strasse_V	SRA_Befestigt_M	
befestigt.Strasse_Weg.Velo_Fussweg		SRA_Eisenbahn_V		
befestigt.Strasse_Weg.Landwirtschaftsstrasse		SRA_UebrBefestigt_V		
befestigt.Strasse_Weg.Waldstrasse				
befestigt.Trottoir				
befestigt.Verkehrinsel				
befestigt.Bahn				
befestigt.Flugplatz				
befestigt.Wasserbecken				
befestigt.uebrige_befestigte.Parkplatz				
befestigt.uebrige_befestigte.Hausumschwung				
befestigt.uebrige_befestigte.Sportanlage				
befestigt.uebrige_befestigte.andere_befestigte				
vegetationslos.Fels				
vegetationslos.Geroell_Sand				
vegetationslos.Abbau_Deponie.Abbau				
vegetationslos.Abbau_Deponie.Deponie				
vegetationslos.uebrige_vegetationslose				
-----				
humusiert.Gartenanlage.Gartenanlage_Hausumschwung		SRA_SiedlHum_V	SRA_SiedlHum_M	
humusiert.Gartenanlage.Parkanlage				
humusiert.Gartenanlage.Sportanlage				
humusiert.Gartenanlage.Friedhof				
humusiert.uebrige_humusierte.Verkehrsteilerflaeche				
humusiert.uebrige_humusierte.Boeschung				
humusiert.uebrige_humusierte.andere_humusierte				
-----				
humusiert.Acker_Wiese_Weide	Fels	SRA_Landw_V	SRA_Landw_M	SRA_Landw_H
humusiert.Intensivkultur.Reben	Gebüsch			
humusiert.Intensivkultur.uebrige_Intensivkultur	Geröll mit Gebüsch			
humusiert.Hoch_Flachmoor	Geröll auf Gletscher			
	Geröll			
	Graspiste			
	Sumpf und Gebüsch			
	Gletscher			
	Reben			
	Sumpf			
	Kiesgrube			
	Lehmgrube			
	Steinbruch			
	Übriges Gebiet			
-----				
bestockt.geschlossener_Wald	Obstanlage	SRA_Wald_V	SRA_Wald_M	SRA_Wald_H
bestockt.uebrige_bestockte	Geröll in Wald			
	Geröll in offenem Wald			
	Baumschule			
	Wald			
	Wald offen			
	Sumpf in Wald			
	Sumpf in offenem Wald			
-----				
Gewässer.stehendes	See	SRA_Gewässer_V	SRA_Gewässer_M	SRA_Gewässer_H
Gewässer.fließendes	Fluss			
Gewässer.Schilfguertel				

## A.2 Genauigkeit und Rechenzeit der 3D-Sichtraumanalyse in Abhängigkeit der Sehstrahlendichte

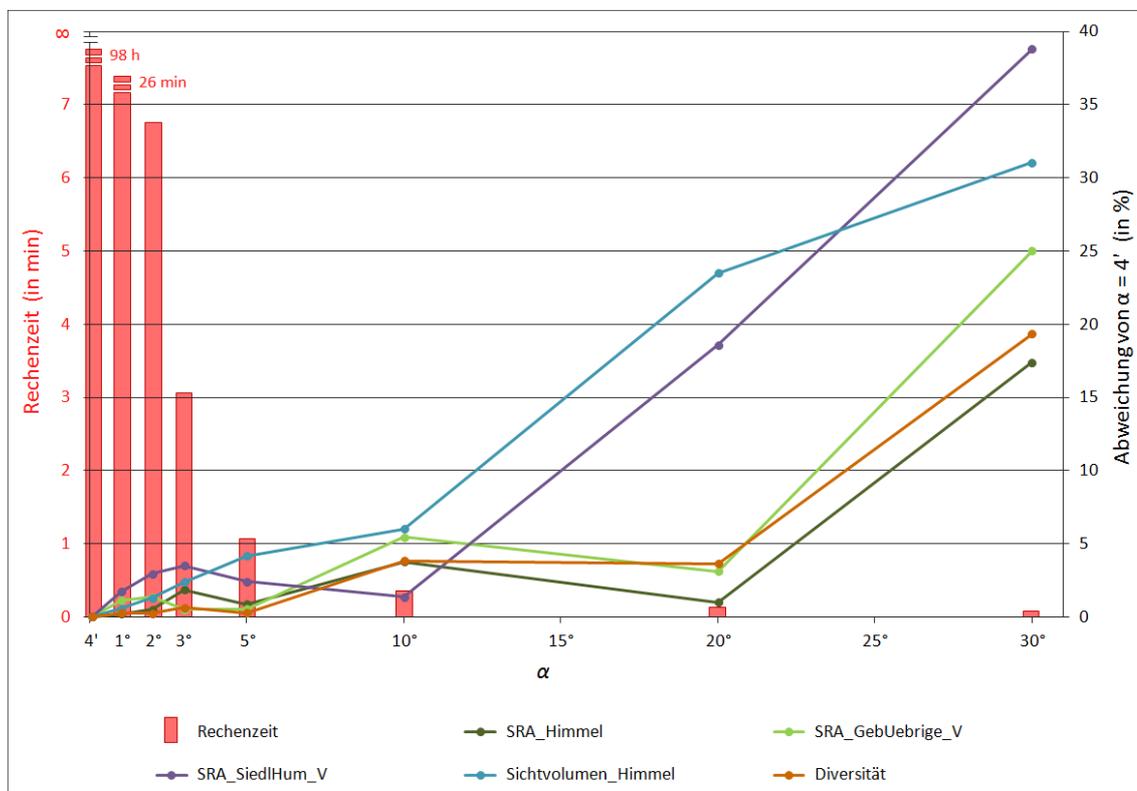


Abbildung A2-1: Auswirkung der Sehstrahlendichte  $\alpha$  auf die Genauigkeit und Rechenzeit der 3D-Sichtraumanalyse für ausgewählte Aussichtsvariablen. Verwendete Sichtraumparameter:  $d_{max} = 80$  km,  $\varphi_{min} = 0^\circ$ ,  $\varphi_{max} = 360^\circ$ ,  $\theta_{min} = 40^\circ$ ,  $\theta_{max} = 120^\circ$ ,  $\alpha = \text{variabel}$ . Zugrunde gelegtes 3D-Stadtmodell: LoD 2. Am Beispiel der Klosbachstrasse 150, Zürich, 1. Stockwerk

---

**Literaturverzeichnis**

- ABELSON, P. (1979): Property prices and the value of amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 6, 11-28.
- ACHARYA, G., BENNETT, L. (2001): Valuing Open Space and Land-Use Patterns in Urban Watersheds. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 22(2), 221-237.
- AUGENSTEIN, I. (2002): *Die Ästhetik der Landschaft. Ein Bewertungsverfahren für die planerische Umweltvorsorge*. Berlin: Weissensee Verlag.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. (2008): *Multivariate Analysemethoden. Eine Anwendungsorientierte Einführung*. Berlin: Springer.
- BANFI, S., FILIPPINI, M., HOREHÁJOVÁ, A., PIÓRO, D. (2007): *Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort. Schätzungen für die Bereiche Elektrosmog von Mobilfunkantennen, Luftverschmutzung und Lärmbelastung in Zürich und Lugano*, Zürich: vdf Hochschulverlag der ETH Zürich.
- BARANZINI, A., SCHAEERER, C. (2007): *A Sight for Sore Eyes: Assessing the Value of View and Landscape Use on the Housing Market*. International Conference on Regional and Urban Modeling, Free University of Brussels, 1-2 June.
- BASTIAN, C., MCLEOD, D., GERMINO, M., REINERS, W., BLASKO, B. (2002): Environmental amenities and agricultural land values: a hedonic model using geographic information systems data. *Ecological Economics*, 40, 337-349.
- BATEMAN, I., DAY, B., LAKE, I., LOVETT, A. (2001): *The effect of road traffic on residential property values: a literature review and hedonic price study*. Scottish Executive Transport Research Series. Edinburgh: Stationery Office.
- BATTY, M. (2001): Exploring isovist fields: space and shape in architectural and urban morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28, 123-150.
- BEHRER, P. (2010): *Building in the Mountains: A hedonic analysis of the value of degraded mountain views using GIS modeling*. Discussion Paper 2009-15, Harvard Environmental Economics Program, Cambridge.
- BENEDIKT, M. (1979): To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6, 47-65.
- BENSON, E., HANSEN, J., SCHWARTZ, A., SMERSH, G. (1998): Pricing residential amenities: the value of a view. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 16(1), 55-73.
- BILL, R. (2010): *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Heidelberg: Wichmann.
- BISHOP, I., WHERRETT, J., MILLER, D. (2000): Using image depth variables as predictors of visual quality. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 27, 865-875.
- BISHOP, I. (2003): Assessment of visual qualities, impacts, and behaviors in the landscape, by using measures of visibility. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, 677-688.
- BISHOP, I., LANGE, E., MAHBUBUL, A. (2004): Estimation of the influence of view components on high-rise apartment pricing using a public survey and GIS modeling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 439-452.
- BONE-WINKEL, S., SCHULTE, K.-W., FOCKE, C. (2005): Begriff und Besonderheiten der Immobilie als Wirtschaftsgut. In: Schulte, K.-W. (Hrsg.): *Immobilienökonomie*. Band 1, Betriebswirtschaftliche Grundlagen. München: Oldenbourg. 3-26.

- BORTZ, J. (2005): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Heidelberg: Springer.
- BOSELTMANN, P. (1998): Representation of Places: Reality and Realism in City Design. Berkeley: University of California Press.
- BOURASSA, S. (1991): The Aesthetics of Landscape. London: Belhaven Press.
- BOURASSA, S., HOESLI, M., SUN, J. (2004): What's in a View? Environment and Planning A, 36, 1427-1450.
- BOURASSA, S., HOESLI, M., SUN, J. (2005): The Price of Aesthetic Externalities. Journal of Real Estate Literature, 13(2), 167-187.
- BREUNIG, M. (2005): Räumliche Repräsentationen. In: Coors, V., Zipf, A. (Hrsg.): 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Heidelberg: Wichmann, 40-55.
- BRUNAUER, W., LANG, S., WECHSELBERGER, P., BIENERT, S. (2010): Additive hedonic regression models with spatial scaling factors: An application for rents in Vienna. Journal of Real Estate Finance and Economics, 41(4), 390-411.
- BUNDESAMT FÜR WOHNUNGSWESEN (2005): Briefing – Wie viele Haushalte haben in der Schweiz Wohneigentum und warum sind es nicht mehr? Bern: Bundesamt für Wohnungswesen.
- BUNDESAMT FÜR WOHNUNGSWESEN (2010): Personenfreizügigkeit und Wohnungsmarkt. Zürich. Entwicklung 2010. Bern: Bundesamt für Wohnungswesen.
- BUNDESAMT FÜR WOHNUNGSWESEN (2011): Der Wohnungsmarkt auf einen Blick. 2/2011. Bern: Bundesamt für Wohnungswesen.
- CAVAILHÈS, J., BROSSARD, T., HILAL, M., JOLY, D., TOURNEUX, F., TRITZ, C., WAVRESKY, P. (2008): Pricing the Homebuyer's Countryside View. In: Baranzini, A., Ramirez, J., Schaerer, C., Thalmann, P. (Hrsg.): Hedonic Methods in Housing Markets: Pricing Environmental Amenities and Segregation. New York: Springer. 83-99.
- CAVAILHÈS, J., BROSSARD, T., FOLTÈTE, J., HILAL, M., JOLY, D., TOURNEUX, F., TRITZ, C., WAVRESKY, P. (2009): GIS-based hedonic pricing of landscape. Environmental and Resource Economics, 44(4), 571–590.
- CEZANNE, W. (1999): Allgemeine Volkswirtschaftslehre. München: Oldenbourg.
- CLEMEN, C. (2010): Ein geometrisch-topologisches Informationsmodell für die Erfassung und Validierung von flächenparametrisierten 3d-Gebäudemodellen. Dissertation. Berlin: Fakultät VI der Technischen Universität Berlin.
- CLEVELAND, W. (1981): LOWESS: A program for smoothing scatterplots by robust locally weighted regression. The American Statistician, 35, 54.
- COHEN, J. (1988): Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- COURT, A. (1939): Hedonic price indexes with automotive examples. In: General Motors (Hrsg.): The Dynamics of Automotive Demand. New York: General Motors Company. 98-119.
- CREDIT SUISSE (2011): Swiss Issues Immobilien. Immobilienmarkt 2011. Fakten und Trends. Zürich: Credit Suisse Economic Research.
- DARLING, A. (1973): Measuring benefits generated by urban water parks. Land Economics, 49, 22-34.

- DEAN, D. (1997): Improving the Accuracy of Forest Viewsheds Using Triangulated Networks and the Visual Permeability Method. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(7), 969-977.
- DE FLORIANI, L., MARZANO, L., PUPPO, P. (1994): Line-of-sight communication on terrain models. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(4), 329–342.
- DE FLORIANI, L., MAGILLO, P. (2003): Algorithms for visibility computation on terrains: a survey. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, 709-728.
- DIN, A., HOESLI, M., BENDER, A. (2001): Environmental Variables and Real Estate Prices. *Urban Studies*, 38(11), 1989-2000.
- DONOVAN, G., BUTRY, D. (2011): The effect of urban trees on the rental price of single-family homes in Portland, Oregon. *Urban Forestry and Urban Greening*, 10/2011, 163-168.
- DUMAS, E., GENIAUX, G., NAPOLÉONE, C. (2005): Les indices de l'écologie du paysage à l'épreuve du marché foncier. *Revue d'économie régionale et urbaine*, 1, 83-106.
- DWYER, J., SCHROEDER, H., GOBSTER, P. (1991): The significance of urban trees and forests: toward a deeper understanding of values. *Journal of Arboriculture*, 17(10), 276-284.
- EGLI, H.-R. (2006): Landschaftsbewertung – die Grenzen der Wissenschaft. In: Tanner, K., Bürgi, M., Coch, T. (Hrsg.): *Landschaftsqualitäten*. Bern: Haupt. 117-130.
- ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (2010): ArcGIS Desktop Help. Redlands: ESRI. <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html> (abgerufen am 31.10.2011).
- FAHRLÄNDER, S. (2007): Hedonische Immobilienbewertung. Eine empirische Untersuchung der Schweizer Märkte für Wohneigentum 1985 bis 2005. Forum Wirtschaft. München: Martin Maidenbauer.
- FIERZ, K. (2011): Immobilienökonomie und Bewertung von Liegenschaften. Zürich: Schulthess.
- FISHER, P. (1993): Algorithm and implementation uncertainty in viewshed analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(4), 331-349.
- FISHER-GEWIRTZMAN, D., WAGNER, I. (2003a): Spatial openness as a practical metric for evaluating built-up environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, 37-49.
- FISHER-GEWIRTZMAN, D., BURT, M., TZAMIR, Y. (2003b): A 3-D visual method for comparative evaluation of dense built-up environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, 575-587.
- FISHER-GEWIRTZMAN, D., SHACH PINSKY, D., WAGNER, I., BURT, M. (2005): View-oriented three-dimensional visual analysis models for the urban environment. *Urban Design International*, 10, 23-37.
- FLEISCHER, A. (2012): A room with a view – A valuation of the Mediterranean Sea view. *Tourism Management*, 33(3), 598-602.
- FREEMAN, A. (2003): *The Measurement of Environmental and Resource Values. Theory and Methods*. Second Edition. Washington: RFF Press.

- GANTENBEIN, P. (1999): Die Institutionen des schweizerischen Immobilienmarktes. Eine Analyse unter dem Transaktionskostenaspekt mit Vorschlägen zur Steigerung der Markteffizienz. Bern: Haupt.
- GARDINER, K., YIN, J., CARSWELL, J. (2009): EgoViz – A Mobile Based Spatial Interaction System. Web & Wireless Geographic Information Systems (W2GIS'09), Maynooth Ireland, Dec. 7-8, 2009. Berlin: Springer.
- GEIGER, M. (2006): Der Mietwohnungsmarkt – Analyse von Ursache und Wirkung im grössten Markt der Schweiz. Schriftenreihe Wohnungswesen Band 77. Grenchen: Bundesamt für Wohnungswesen.
- GEOGHEGAN, J., WAINGER, L., BOCKSTAEEL, N. (1997): Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS. *Ecological Economics*, 23(3), 251-264.
- GLAUSER, T. (2008): Mietpreise Stadt Zürich. Ergebnisse der Mietpreis-Strukturerhebung 2006. Zürich: Statistik Stadt Zürich.
- GLAUSER, T., BRÖHL, A., HOREHÁJOVÁ, A. (2009): Was Wohnqualität in Zürich kostet. Zürich: Statistik Stadt Zürich.
- GOBSTER, P., CHENOWETH, R. (1989): The dimensions of aesthetics preference: a quantitative analysis, *Journal of Environment Management*, 29, 47-72.
- GRÊT-REGAMEY, A., BISHOP, I., BEBI, P. (2007): Predicting the scenic beauty value of mapped landscape changes in a mountainous region through the use of GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34, 50-67.
- GRÊT-REGAMEY, A., CRESPO, R. (2011): Planning from a future vision: inverse modeling in spatial planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 38, 979-994.
- GRÖGER, G., KOLBE, T., LANG, F., CZERWINSKI, A., NAGEL, C. (2008): OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 1.0.0, OGC Doc No. 08-007r1. Open Geospatial Consortium.
- GROSJEAN, G., WIESMANN, U. (1986): Ästhetische Bewertung ländlicher Räume. Am Beispiel von Grindelwald im Vergleich mit andern schweizerischen Räumen und in zeitlicher Veränderung. Bern: Geographisches Institut der Universität Bern.
- GUJARATI, D., PORTER, D. (2009): *Basic Econometrics*. New York: McGraw-Hill.
- HAASE, R. (2011): Ertragspotenziale – Hedonische Mietpreismodellierungen am Beispiel von Büroimmobilien. Dissertation. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- HACKL, R. (2009): Im Auge des Betrachters. Aussicht als Preisfaktor auf dem Immobilienmarkt. *Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär*, 12/2009, 225-234.
- HALVORSEN, R. POLLAKOWSKI, H. (1981): Choice of functional form for hedonic price equations. *Journal of Urban Economics*, 10 (1), 37-49.
- HAMMANN, P., ERICHSON, B. (2000): *Marktforschung*. Stuttgart: Lucius und Lucius.
- HEATH, T., SMITH, S., LIM, B. (2000): Tall Buildings and the Urban Skyline – The Effect of Visual Complexity on Preferences. *Environment and Behavior*, 32(4), 541-556.
- HERATH, S., MAIER, G. (2010): The hedonic price method in real estate and housing market research. A review of the literature. SRE Discussion Papers, 2010/03. Wien: Institut für Regional- und Umweltwirtschaft der Wirtschaftsuniversität Wien.

- HOFFMANN, C. (1989): *Geometric and Solid Modeling. An Introduction*. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers.
- HULTEN, C. (2003): Price Hedonics: A Critical Review. In: Federal Reserve Bank of New York (Hrsg.): *FRBNY Economic Policy Review*. 5-15.
- HUNZIKER, M. (2006): Wahrnehmung und Bewertung von Landschaftsqualitäten – ein Literaturüberblick. In: Tanner, K., Bürgi, M., Coch, T. (Hrsg.): *Landschaftsqualitäten*. Bern: Haupt. 39-56.
- HUNZIKER, M. (2010): Die Bedeutungen der Landschaft für den Menschen: objektive Eigenschaft der Landschaft oder individuelle Wahrnehmung des Menschen? In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (Hrsg.): *Landschaftsqualität. Konzepte, Indikatoren und Datengrundlagen*. Forum für Wissen 2010. 33-41.
- IVERSON, W. (1985): And that's about the size of it: visual magnitude as a measurement of the physical landscape. *Landscape Journal*, 4, 14-22.
- JIM, C., CHEN, W. (2006): Impacts of urban environmental elements on residential housing prices in Guangzhou (China). *Landscape and Urban Planning*, 78, 422-434.
- JIM, C., CHEN, W. (2009): Value of Scenic Views: Hedonic Assessment of Private Housing in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 91, 226-234.
- JOLY, D., BROSSARD, T., CAVAILHÈS, J., HILAL, M., TOURNEUX, F., TRITZ, C., WAVRESKY, P. (2009): A quantitative approach to the visual evaluation of landscape. *Annals of the Association of American Geographers*, 99(2), 292-308.
- KADA, M. (2007): *Zur massstabsabhängigen Erzeugung von 3D-Stadtmodellen*. Dissertation. Stuttgart: Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart.
- KAPLAN, R., KAPLAN, S. (1989): *The Experience of Nature. A Psychological Perspective*. New York: Cambridge University Press.
- KAPLAN, R. (2001): The Nature of the View from Home. Psychological Benefits. *Environment and Behavior*, 33(4), 507-542.
- KNIGHT, J. (2008): Hedonic Modeling of the Home Selling Process. In: Baranzini, A., Ramirez, J., Schaerer, C., Thalmann, P. (Hrsg.): *Hedonic Methods in Housing Markets: Pricing Environmental Amenities and Segregation*. New York: Springer. 39-54.
- KRUSE, S., AHMANN, J. (2009): *The Value of Lake Adjacency: A Hedonic Pricing Analysis on the Klamath River, California*. Ecotrust Working Paper Series No. 5.
- LAKE, I., LOVETT, A., BATEMAN, I., LANGFORD, I. (1998): Modelling environmental influences on property prices in an urban environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 22(2), 121-136.
- LAKE, I., LOVETT, A., BATEMAN, I., DAY, B. (2000a): Using GIS and large-scale digital data to implement hedonic pricing studies. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(6), 521-541.
- LAKE, I., LOVETT, A., BATEMAN, I., DAY, B. (2000b): Improving land compensation procedures via GIS and hedonic pricing. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 18, 681-696.
- LANCASTER, K. (1966): A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132-157.
- LANGE, E., SCHAEFFER, P. (2001): A comment on the market value of a room with a view. *Landscape and Urban Planning*, 55, 113-120.

- LEE, J. (1991): Analyses of Visibility Sites on Topographic Surfaces. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(4), 413-429.
- LENK, U. (2001): 2.5D-GIS und Geobasisdaten. Integration von Höheninformation und Digitalen Situationsmodellen. Dissertation. München: Bayerische Akademie der Wissenschaften.
- LINDNER, H. (2006): Physik für Ingenieure. München: Carl Hanser Verlag.
- LLOBERA, M. (2003): Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualsapes. *International Journal of Geographical Information Systems*, 17(1), 25-48.
- LÖCHL, M. (2007): Considering spatial dependence in hedonic rent price regression. 7th Swiss Transport Research Conference, 12. - 14. September.
- LÖCHL, M. (2010): Application of Spatial Analysis Methods for Understanding Geographic Variation of Prices, Demand and Market Success. Dissertation. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- LÖCHL, M., AXHAUSEN, K. (2010): Modelling hedonic rent prices for land use and transport simulation while considering spatial effects. *The Journal of Land Use and Transport*, 3(2), 39-63.
- LONGLEY, P., GOODCHILD, M., MAGUIRE, D., RHIND, D. (1999): *Geographical Information Systems, Vol. 1. Principles and Technical Issues*. New York: John Wiley & Sons.
- LOTHIAN, A. (1999): Landscape and the Philosophy of Aesthetics: Is Landscape Quality Inherent in the Landscape or in the Eye of the Beholder? *Landscape and Urban Planning*, 44, 177-198.
- LUTTIK, J. (2000): The value of trees, water and open space as reflected by house prices in the Netherlands. *Landscape and Urban Planning*, 48, 161-167.
- LYNCH, K. (1976): *Managing the Sense of a Region*. Cambridge: MIT Press.
- MAK, A., YIP, E., LAI, P. (2005): Developing a City Skyline for Hong Kong Using GIS and Urban Design Guidelines. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 17(1), 33-42.
- MÄLER, K., VINCENT, J. (2006): *Handbook of environmental economics. Vol 2, Valuing Environmental Changes*. Amsterdam: Elsevier.
- MALPEZZI, S. (2003): Hedonic Pricing Models: A Selective and Applied Review. In: Gibb, K., O'Sullivan, A. (Hrsg.): *Housing Economics and Public Policy*. Oxford: Blackwell. 67-89.
- MANDERSCHIED, K. (2012): *Sozialwissenschaftliche Datenanalyse mit R: Eine Einführung*. Wiesbaden: VS Verlag.
- MÄNDLE, E., GALONSKA, J. (1997): *Wohnungs- und Immobilien-Lexikon*. Hamburg: Hammonia.
- MÄNTYLÄ, M. (1988): *An Introduction to Solid Modeling. Principles of Computer Science Series*. Maryland: Computer Science Press.
- MATHIS, M., FAWCETT, A., KONDA, L. (2003): *Valuing Nature: A Survey of the Non-Market Valuation Literature*. Discussion paper VNT03-01. Houston: Advanced Research Center.
- MATTER, D. (2010): Immobilienblase Schweiz? SAS Forum CH, 30.09.2011, Baden. [http://www.sas.com/offices/europe/switzerland/sasforum/pdf/3\\_Risk\\_Management/3\\_Risk\\_DominikMatter\\_FahrlaenderPartnerAG.pdf](http://www.sas.com/offices/europe/switzerland/sasforum/pdf/3_Risk_Management/3_Risk_DominikMatter_FahrlaenderPartnerAG.pdf) (abgerufen am 31.03.2011).

- MERCER (2011): Quality of Living ranking 2011. <http://www.mercer.com/qualityofliving> (abgerufen am 17.02.2012).
- MILLER, C., LAFLAMME, R. (1958): The digital terrain model – Theory and application. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 24(3), 433-442.
- MULLER, N. (2009): Using hedonic property models to value public water bodies: an analysis of specification issues. *Water Resources Research*, 45(1), 1-10.
- MÜRI, R., RAPPL, I., BRÖHL, A., WALKER, U., FISCHER, F., INGOLD, K. (2011): Ruhe bitte! Wie Lage und Umweltqualität die Schweizer Mieten bestimmen. Zürich: Zürcher Kantonalbank.
- MORELLO, E., RATTI, C. (2009): A Digital Image of the City: 3-D isovists in Lynch's Urban Analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36, 837-853.
- NAVRUD, S., STRAND, J. (2011): Using hedonic pricing for estimating compensation payments for noise and other externalities from new roads. In: Bennett, J. (Hrsg.): *The international handbook on non-market environmental valuation*. Cheltenham: Edward Elgar. 14-36.
- NOHL, W. (1993): Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe. Materialien für die naturschutzfachliche Bewertung und Kompensationsermittlung. München: Werkstatt für Landschafts- und Freiraumentwicklung.
- OKE, T. (1981): Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1, 237-254.
- OKE, T. (1987): *Boundary Layer Climates*. London: Routledge.
- OTT, W., BAUR, M. (2005): Der monetäre Erholungswert des Waldes. *Umwelt-Materialien* Nr. 193. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- PATERSON, R., BOYLE, K. (2002): Out of sight, out of mind? Using GIS to incorporate visibility in hedonic property value models. *Land Economics*, 78(3), 417-425.
- PIPEREK, M. (1971): *Umweltpsychohygiene. Wohn- und Baupsychologie*. Wien: Jupiter.
- PLATTNER, R., CAMPBELL, T. (1978): A study of the effect of water view on site value. *Appraisal Journal*, 46, 20-25.
- POUDYAL, N., HODGES, D., FENDERSON, J., TARKINGTON, W. (2010): Realizing the Economic Value of a Forested Landscape in a Viewshed. *Southern Journal of Applied Forestry*, 34(2), 72-78.
- PRICE, C. (2003): Quantifying the aesthetic benefits of urban forestry. *Urban Forestry and Urban Greening*, 1/2003, 123-133.
- PRUCKNER, G. (1995): Der Kontingente Bewertungsansatz zur Messung von Umweltgütern. Stand der Debatte und umweltpolitische Einsatzmöglichkeiten. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, 18(4), 503-536.
- PUTRA, S., YANG, P. (2005): Analysing Mental Geography of Residential Environment in Singapore using GIS-based 3D Visibility Analysis. In: *Proceedings of the International Conference "Doing, thinking, feeling home: the mental geography of residential"*, 14./15. Oktober, Delft, Niederlande.
- PYYSALO, U., OKSANEN, J., SARJAKOSKI, T. (2009): Viewshed analysis and visualization of landscape voxel models. In: *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*, Santiago, Chile.

- RAEHTZ, S. (2011): Accounting for uncertainty in viewshed analysis of IED ambush sites in Afghanistan. Dissertation. Michigan: Michigan State University.
- RIEDER, T. (2005): Die Bestimmung des Mietens in der Schweiz. Lizenzarbeit. Volkswirtschaftliches Institut, Abteilung Ökonometrie, Universität Bern.
- ROSEN, S. (1974): Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *Journal of Political Economy*, 82(1), 34-55.
- SALVI, M. (2004): Ist eine höhere bauliche Dichte wünschenswert? Evidenz aus den Preisen von Einfamilienhäusern im Kanton Zürich. Zürcher Kantonalbank und École Polytechnique Fédérale de Lausanne. <http://www.cer.ethz.ch/resec/sgvs/001.pdf> (abgerufen am 31.10.2011).
- SALVI, M., SCHELLENBAUER, P., SCHMIDT, H. (2004): Preise, Mieten und Renditen. Der Immobilienmarkt transparent gemacht. Zürich: Zürcher Kantonalbank.
- SAMET, H. (2006): Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures, Amsterdam: Elsevier.
- SANDER, M. (2004): Marketing-Management: Märkte, Marktinformationen und Marktbearbeitung. Stuttgart: Lucius und Lucius.
- SANDER, H., MANSON, S. (2007): Heights and locations of artificial structures in viewshed calculation: how close is close enough? *Landscape and Urban Planning*, 82(4), 257-270.
- SANDER, H., POLASKY, S. (2009): The value of views and open space: estimates from a hedonic pricing model for Ramsey County, Minnesota, USA. *Land Use Policy* 26(3), 837-845.
- SCHAEERER, C., BARANZINI, A., RAMIREZ, J., THALMANN, P. (2007): Using the Hedonic Approach to Value Landscape Uses in an Urban Area: An Application to Geneva and Zurich. *Economie Publique/Public Economics*, 20(1), 147-167.
- SCHAFRANSKI, F. (1996): Landschaftsästhetik und räumliche Planung. Theoretische Herleitung und exemplarische Anwendung eines Analyseansatzes als Beitrag zur Aufstellung von landschaftsästhetischen Konzepten in der Landschaftsplanung. Dissertation. Kaiserslautern: Lehr- und Forschungsgebiet Landschafts- und Grünordnungsplanung der Universität Kaiserslautern.
- SCHULTE, K.-W., SCHÄFERS, W. (2005): Immobilienökonomie als wissenschaftliche Disziplin. In: Schulte, K.-W. (Hrsg.): Immobilienökonomie. Band 1, Betriebswirtschaftliche Grundlagen. München: Oldenbourg. 47-69.
- SCHULZ, T., WALTERT, F. (2009): How local landscape resources affect property prices: Evidence from a hedonic pricing model. Working Paper. Institute of Environmental Sciences, University of Zurich.
- SCHWAHN, C. (1990): Landschaftsästhetik als Bewertungsproblem. Beiträge zur räumlichen Planung Nr. 28. Hannover: Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover.
- SCOGNAMIGLIO, D. (2000): Methoden zur Immobilienbewertung im Vergleich. Eine empirische Untersuchung für Schweizer Wohnimmobilien. Dissertation. Bern: Rechts- und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Bern.
- SCOGNAMIGLIO, D. (2007): Die Bewertung von Immobilien. In: Loderer, C., Jörg, P., Pichler, K., Roth, L., Zraggen, P. (Hrsg.): Handbuch der Bewertung. Zürich: Neue Zürcher Zeitung. 1027-1071.

- SHANNON, C., WEAVER, W. (1949): *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press.
- SHULTZ, S., SCHMITZ, N. (2008): Viewshed Analyses to Measure the Impact of Lake Views on Urban Residential Properties. *The Appraisal Journal*, 76(3), 224-232.
- SIRMANS, G., MACPHERSON, D., ZIETZ, E. (2005): The composition of hedonic pricing models. *Journal of Real Estate Literature*, 13(1), 3-43.
- STADT ZÜRICH (2009): *Bevölkerungsbefragung 2009*. Zürich: Stadtentwicklung Stadt Zürich.
- STADT ZÜRICH (2011a): *Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich 2011*. Zürich: Statistik Stadt Zürich.
- STADT ZÜRICH (2011b): *Lärmschutz in der Stadt Zürich. Merkblatt Mai 2011*. Zürich: Umwelt- und Gesundheitsschutz.
- STAHEL, W. (2008): *Lineare Regression*. Zürich: Seminar für Statistik, ETH Zürich.
- TANDY, C. (1967): The isovist method of landscape survey. In: Murray, H. (Hrsg.): *Symposium on Methods of Landscape Analysis*, Landscape Research Group, London, 9-10.
- THE ECONOMIST (2012): *Worldwide Cost of Living 2012*. London: Economist Intelligence Unit.
- THOMÄ, J. (2009): *Wohnzufriedenheit und Nutzerpräferenzen im Quartier – Ergebnisse zweier Bewohnerbefragungen*. Land Use Economics and Planning, Discussion Paper 09-06. Göttingen: Georg-August-Universität Göttingen.
- TYRVAINEN, L., MIETTINEN, A. (2000): Property prices and urban forest amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 39(2), 205-223.
- VON AUER, L. (2011): *Ökonometrie. Eine Einführung*. Heidelberg: Springer.
- WAI, W. (2009): *An empirical study of the impact of church view on residential property prices in Hong Kong*. Dissertation. University of Hong Kong.
- WALLACE, H. (1926): Comparative Farmland Values in Iowa. *Journal of Land and Public Utility Economics*, 2, 385-392.
- WAUGH, F. (1928): Quality Factors Influencing Vegetable Prices. *Journal of Farm Economics*, 10, 185-196.
- WHEATLEY, D. (1995): Cumulative viewshed analysis: a GIS based method of investigating intervisibility and its archaeological application. In: Lock, G., Stancic, Z. (Hrsg.): *Archaeology and GIS: A European Perspective*. London: Taylor and Francis.
- WÖBSE, H. (2002): *Landschaftsästhetik. Über das Wesen, die Bedeutung und den Umgang mit landschaftlicher Schönheit*. Stuttgart: Ulmer.
- WÜEST & PARTNER AG (2010): *Immo-Monitoring 2010-1*. Zürich: Wüest und Partner.
- YANG, P., PUTRA, S., LI, W. (2007): Viewsphere: a GIS-based 3D visibility analysis for urban design evaluation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34, 971-992.
- YOELI, P. (1985): The making of intervisibility maps with computer and plotter. *Cartographica*, 22(3), 88-103.
- YOKOYAMA, R., SHIRASAWA, M., PIKE, R. (2002): Visualizing Topography by Openness: A New Application of Image Processing to Digital Elevation Models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(3), 257-265.

- YU, S., HAN, S., CHAI, C. (2007): Modeling the value of view in high-rise apartments: A 3D GIS Approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34, 139-153.
- ZIMMER, R. (1995): *Handbuch der Sinneswahrnehmung*. Freiburg: Herder.