

---

# Nachhaltigkeit von Wohngebieten: Indikatoren der Mischung

Andrina Kuhn

Seminararbeit  
Studiengang Raumentwicklung und Infrastruktursysteme

Juni 2014

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	3
2	Methoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets.....	6
2.1	Berechnungsgrundlagen.....	7
2.2	Integrale Quantifizierungsmethoden.....	11
2.3	Differenzierte Quantifizierungsmethoden .....	14
2.4	Vergleich der Methoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets .....	20
3	Bewertung der Mischung der Zürcher Stadtquartiere .....	21
3.1	Wahl einer Quantifizierungsmethode .....	21
3.2	Grundlagen .....	21
3.3	Daten und Implementierung .....	24
3.4	Nutzungsmischung .....	24
3.5	Mix der Ausbildungsstufen.....	26
3.6	Mischung der Haushalteinkommen .....	28
3.7	Altersdurchmischung .....	30
3.8	Sprachenvielfalt .....	31
3.9	Mischung der Haushaltsgrößen .....	33
3.10	Zusammenfassung und Gesamtergebnis.....	34
4	Einfluss der Nutzungsmischung auf die Mobilität.....	36
4.1	Auswirkungen auf die Mobilität.....	36
4.2	Grundlagen, Daten und Implementierung .....	38
4.3	Zürcher Stadtquartiere: Einfluss der Nutzungsmischung auf die Mobilität.....	39
4.4	Untersuchung der Zürcher Mobilitätsparameter: Ergebnisse in der Übersicht .....	43
5	Fazit .....	45
6	Dank .....	47
7	Literaturverzeichnis .....	48

Seminararbeit Studiengang Raumentwicklung und Infrastruktursysteme

## Nachhaltigkeit von Wohngebieten

Andrina Kuhn  
Departement Bau, Umwelt und Geomatik (D-BAUG)  
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)  
Lindenhofstrasse 10b  
8624 Grüt

Telefon: 044/935'14'86  
akuhn@student.ethz.ch

Juni 2014

### Kurzfassung

Die Arbeit gibt einen Überblick über die wichtigsten Methoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets. Es werden sowohl integrale wie auch differenzierte Quantifizierungsmethoden vorgestellt sowie deren Vor- und Nachteile aufgezeigt. Der Entropy Index und der Dissimilarity Index werden auf die Züricher Stadtquartiere angewendet. Dabei wird die Nutzungsmischung, der Mix der Ausbildungsstufen, die Mischung der Haushaltseinkommen, die Altersdurchmischung, die Sprachenvielfalt sowie die Mischung der Haushaltsgrössen analysiert. Es folgt eine Untersuchung der Auswirkungen der Nutzungsmischung der Stadtquartiere auf die Mobilität.

Die Analyse hat gezeigt, dass es keinen Zusammenhang zwischen dem Entropy und dem Dissimilarity Index gibt. Ist ein Quartier auf Quartiersebene durchmischt, kann es auf Hektarbasis sowohl durchmischt als auch nicht durchmischt sein. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass die Nutzungsmischung einen Einfluss auf die Mobilität ihrer Bewohner hat. In besser nutzungsdurchmischten Quartieren sind die Anzahl Wege zwar höher, dafür werden längere LV- und ÖV-Tagesdistanzen zurückgelegt. Die MIV-Tagesdistanzen und die Anzahl Motorfahrzeuge sind dafür geringer.

### Schlagworte

Nutzungsmischung, Mischungsindex, Dissimilarity Index, Entropy Index, Mobilität

### Zitierungsvorschlag

Kuhn, A. (2014) Nachhaltigkeit von Wohngebieten: Indikatoren der Mischung, Seminararbeit, IVT, ETH Zürich, Zürich.



# 1 Einleitung

Nachhaltigkeit ist heutzutage ein gängiges Wort und sie anzustreben ist angesichts der begrenzten Ressourcen auf unserem Planeten wünschenswert wenn nicht gar zwingend nötig. Sie ist in diversen Bereichen ein Thema. So hat sie zum Beispiel auch in einem attraktiven Wohngebiet einen wichtigen Stellenwert. Wie lässt sich nun diese Nachhaltigkeit quantifizieren? Ein Aspekt der Nachhaltigkeit eines Wohngebiets ist dessen Mischung. Für diese Mischung gibt es viele verschiedene Kriterien, die untersucht werden können. Solche Mischungstypen sind z.B. soziale Durchmischung, ökonomische Mischung, zeitliche Mischung und Nutzungsmischung (Evans und Foord, 2007).

Die soziale Durchmischung berücksichtigt das Einkommen, die Besitzverhältnisse, die Demographie und den Lebensstil der Bewohner (Evans und Foord, 2007). Durch die soziale Durchmischung wird das Gebiet belebt und der soziale Austausch gefördert (Musterd und Ostendorf, 2012). Bei zukünftigen Entwicklungen spielt die soziale Durchmischung deshalb eine immer wichtigere Rolle (Lelévrier, 2013) und so hat sie in den letzten zwei Jahrzehnten in der politischen Agenda vieler europäischer Länder einen wichtigen Stellenwert eingenommen (Bacqué et al., 2011 zitiert nach Mugnano und Palvarini, 2013).

Die ökonomische Mischung beschäftigt sich mit den wirtschaftlichen Kenngrößen: Aktivitäten, Industrie, Konsum und Produktion (Evans und Foord, 2007).

Bei der zeitlichen Mischung geht es darum, einen Raum 24 Stunden am Tag belebt zu haben. So sollen Räume gemeinsam und vielfältig genutzt werden. Auf derselben Fläche soll Wohnen, Arbeit und Freizeit stattfinden (Evans und Foord, 2007).

Ein spezielles Augenmerk bezüglich Mischung eines Gebietes liegt häufig auf der Nutzungsdurchmischung. Die Nutzungsmischung (engl. mixed use development) beschreibt die Diversität von Bodenlandnutzungen bzw. Funktionen (wie Wohnen, Arbeit, Einkauf und Freizeit) innerhalb eines bestimmten Gebietes. Städte haben sich seit ihrer Entstehung in der Dichte, Grösse und kulturellen Vielfalt stark unterschieden, doch eines hatten sie immer gemein: die Mischung der Funktionen. Mit dem Beginn der Industrialisierung, Massenproduktion und der Mobilisierung ging diese Eigenschaft weitgehend verloren (Bretschneider, 2007). Die Separierung der Nutzungsformen war einst gedacht zum Schutze der Gesundheit vor den Externalitäten der Industriegebiete. So wurde das Wohn- und Arbeitsgebiet strikte getrennt (Frumkin et al., 2004). Doch die Separierung führte zu einigen negativen Auswirkungen. Es gab ein Verlust von Freiflächen, und es entstand eine erhöhte Abhängigkeit vom Automobil. Das

wiederum führte zu erhöhten Betriebs- und Instandhaltungskosten, zu Luftverschmutzungen und zur sozialen Isolation. Insgesamt kann man sagen, dass es einen negativen Effekt auf die Umwelt, die Wirtschaft, das soziale Leben und somit auf die Lebensqualität gegeben hat (Smyth, 1992). Auch gesundheitlich birgt die Isolation der Wohngebiete neue Probleme. Die Leute bewegen sich weniger und es kommt vermehrt zu Übergewicht (Transportation Research Board, 2005). Genau diesen Zusammenhang zwischen der Nutzungsmischung und dem Body Mass Index, dem Übergewicht und der Fettleibigkeit untersuchten Brown et al., (2009). Mit der Nutzungsmischung in innerstädtischen Gebieten können folgende positive Entwicklungen realisiert werden:

- steigende städtische Vitalität und urbane Qualität durch Aktivität
- keine Verödung der Stadtquartiere durch Monofunktionalität
- kürzere Verkehrswege und stärkere Benutzung der öffentlichen Verkehrsmittel
- mehr Überlebenschancen für kleine und mittlere Betriebe
- effizientere Bodenflächennutzung und Reduzierung der bebauten Flächen
- effizientere Benutzung der städtischen Infrastrukturen
- Synergieeffekte der Funktionen Wohnen und Arbeiten; dadurch leichtere Etablierung anderer Stadtfunktionen wie zum Beispiel kultureller Einrichtungen, Nahversorgung (Bretschneider, 2007).

Die verschiedenen Mischungstypen beeinflussen sich gegenseitig. So ist ein nutzungsgemischtes Gebiet auch ökonomisch und zeitlich gemischt. Oftmals spielt da auch die soziale Durchmischung eine Rolle.

Interessant sind solche Indikatoren der Mischung vor allem auch als Einflussfaktoren auf das Mobilitätsverhalten, was in vielen Modellen untersucht wird. Eine spezielle Rolle nimmt die Nutzungsmischung ein. Viele Studien zeigen, dass die Nutzungsmischung eines Gebiets Einfluss auf das Mobilitätsverhalten der Wohnbevölkerung hat (Litman, 2014; Kuzmyak und Pratt, 2003; Cervero und Kockelman, 1997; Franz, 1978). Beispielsweise kann eine Nutzungsmischung die Quelle (z.B. Wohnort) und das Ziel (z.B. Arbeitsort) eines Verkehrsweges näher zusammenrücken. Es entstehen kürzere Reisedistanzen und -zeiten. Das kann wiederum zu einem veränderten Modalsplit führen, weil eine Person die Strecke vielleicht eher zu Fuss oder mit dem Velo zurücklegt anstatt mit dem Auto (Song und Knaap, 2004; Song et al., 2013).

All dies zeigt, dass es sich lohnt, die Mischung eines Gebiets und dessen Auswirkungen auf die Mobilität genauer zu untersuchen. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Bewertung und Quantifizierung der Mischung eines Gebiets und den daraus erkennbaren Zusammenhängen. Ausserdem soll der Einfluss der Nutzungsmischung auf die Mobilität analysiert werden.

Diese Arbeit befasst sich mit mehreren Zielen. Das erste Ziel der Arbeit ist es, verschiedene (integrale sowie differenzierte) Quantifizierungsmethoden der Mischung eines Gebiets vorzustellen und Vor- und Nachteile aufzuzeigen. Das zweite Ziel ist die Anwendung des Entropy Index sowie des Dissimilarity Index auf die Zürcher Stadtquartiere. Dabei werden verschiedene Parameter bezüglich ihrer Mischung untersucht: Bodennutzung, Ausbildung, Haushaltseinkommen, Alter, Sprache und Haushaltsgrösse. Als letztes Ziel soll der Einfluss der Nutzungsmischung der Zürcher Stadtquartiere auf die Mobilität untersucht werden.

Die Arbeit beginnt mit einem Überblick über die wichtigsten Methoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets. Es werden sowohl integrale wie auch differenzierte Quantifizierungsmethoden vorgestellt und miteinander verglichen. Im folgenden Kapitel werden die Quartiere der Stadt Zürich mit zwei der zuvor beschriebenen Indizes untersucht. Dabei wird die Nutzungsmischung, der Mix der Ausbildungsstufen, die Mischung der Haushaltseinkommen, die Altersdurchmischung, die Sprachenvielfalt sowie die Mischung der Haushaltsgrößen analysiert. Ein spezielles Augenmerk wird dabei auf die Nutzungsmischung gelegt. Es folgt eine Untersuchung der Auswirkungen der Nutzungsmischung der Stadtquartiere auf die Mobilität. In einer kurzen Übersicht wird noch der Einfluss weiterer Größen (Altersdurchmischung, Haushaltseinkommen etc.) auf die Mobilität analysiert. Das führt dann zur Schlussfolgerung.

Fachbegriffe werden fortwährend in der Arbeit erklärt.

Zur Vereinfachung wird in der Arbeit jeweils nur die männliche Form verwendet. Dabei ist jedoch auch immer die weibliche Form gemeint.

## 2 Methoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets

Im folgenden Kapitel werden einige Quantifizierungsmethoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets vorgestellt. Zur Illustration wird hier die Mischung der Bodennutzungsformen, kurz Nutzungsformen, untersucht. Die Quantifizierungsmethoden können jedoch auch in Bezug auf andere Indikatoren (beispielsweise Haushaltseinkommen, Alter) angewendet werden. Dieses Kapitel basiert überwiegend auf Song et al. (2013) und so werden nur andere Quellen explizit als solche gekennzeichnet.

Beim Konzept der Mischung muss jeweils immer die Quantität sowie die räumliche Verteilung der verschiedenen Nutzungsformen betrachtet werden. Eine Nutzungsform hat nämlich nur in einem beschränkten Rahmen räumlichen Einfluss. Somit sollen beide Grössen (Quantität und räumliche Verteilung) in die Berechnung der Mischung einfließen.

Im Folgenden werden verschiedene Methoden zur Quantifizierung der Nutzungsmischung auf einer lokalen Ebene (zum Beispiel eines Quartiers) beschrieben, welche alle die räumliche Ausprägung sowie die Quantität beinhalten. Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen integralen (engl. integral) und differenzierten (engl. divisional) Methoden. Eine integrale Methode berechnet die Nutzungsdurchmischung über das gesamte Untersuchungsgebiet (engl. area). Solche Methoden werden eher bei der Betrachtung von kleineren Untersuchungsgebieten (z.B. einem Stadtquartier) verwendet. Als Beispiele gelten: Percentage and Proportion, Balance Index, Entropy Index, Herfindahl-Hirschman Index. Integrale Quantifizierungsmethoden sind zwar einfach zu berechnen, sind aber wenig sensitiv bezüglich der Variabilität des Landnutzungsmusters. Bei den differenzierten Methoden wird das Untersuchungsgebiet in kleinere Zonen (engl. districts) eingeteilt, welche einzeln untersucht werden. Ein Beispiel wäre die Unterteilung des Untersuchungsgebiets in Gitterzellen. Diese Methoden werden für grössere Untersuchungsgebiete (z.B. eine ganze Stadt) angewendet. Zu dieser Gruppe gehören Atkinson Index, Dissimilarity Index, Gini Index, Exposure Index und Clustering Index.

Sowohl bei den integralen als auch bei den differenzierten Quantifizierungsmethoden ist bei der Wahl des Untersuchungsgebiets und der Zonen immer das Problem der veränderbaren Gebietseinheit (engl. Modifiable Areal Unit Problem; MAUP) zu beachten. MAUP bezeichnet das Problem bei der Wahl der Form und Grösse des zu untersuchenden Gebiets und dessen Auswirkungen auf die statistische Analyse (vgl. Dark und Bram, 2007). So sind die Indizes gegenüber der Gebietsgrösse sehr sensitiv. Bei integralen Methoden können so grössere



Untersuchungsgebiete bei der Berechnung nutzungsdurchmischter erscheinen als kleinere, weil sie mehr verschiedene Dinge erfassen. Bei differenzierten Methoden können abhängig von der geographischen Ausprägung der Zonen (z.B. Grösse, Form) beim selben Nutzungsmix unterschiedliche Messresultate entstehen.

Ein weiteres wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Methoden ist die Symmetrie der Indizes in Bezug auf die verschiedenen Nutzungstypen. Ist ein Index symmetrisch, spielt es keine Rolle, ob die Verteilung der Nutzungstypen 70%/30% oder 30%/70% ist. Der Wert des Index bleibt gleich.

## **2.1 Berechnungsgrundlagen**

Um die Berechnungen der folgenden Quantifizierungsmethoden einheitlich zu betrachten, werden im Folgenden die Grundlagen dafür erarbeitet. Alle folgenden Formeln bauen auf diesen Berechnungsgrundlagen auf und verwenden die Variablen aus Tabelle 1 beziehungsweise Tabelle 2.

### **2.1.1 Untersuchung von zwei Ausprägungen**

Wenn lediglich zwei Landnutzungstypen erforscht werden, wird im Untersuchungsgebiet die Fläche der einen Nutzungsart mit X, der anderen mit Y beschrieben. Die gesamte Fläche des Untersuchungsgebiets beträgt Z ( $=X+Y$ ). In Tabelle 1 werden alle wichtigen Variablen für die Untersuchung von zwei Ausprägungen beschrieben und erklärt. Wenn man das Wort ‚Fläche‘ mit ‚Menge‘ sowie das Wort ‚Nutzungsart‘ mit ‚Klasse‘ ersetzt, können die Variablen für die Untersuchung von anderen Parametern wie Alter, Haushaltsgrösse etc. verwendet werden.

Tabelle 1 Variablen bei der Untersuchung von zwei Ausprägungen

Variable	Einheit	Bedeutung	Berechnung
i	-	Zonennummer	-
n	-	Anzahl Zonen	-
X	m <sup>2</sup>	Fläche der Nutzungsart 1 im Untersuchungsgebiet	$\sum x_i$
Y	m <sup>2</sup>	Fläche der Nutzungsart 2 im Untersuchungsgebiet	$\sum y_i$
Z	m <sup>2</sup>	Gesamtfläche Untersuchungsgebiet	X + Y
P	%	Anteil Nutzungsart 1 im Untersuchungsgebiet	$\frac{X}{Z}$
Q	%	Anteil Nutzungsart 2 im Untersuchungsgebiet	$\frac{Y}{Z}$
x <sub>i</sub>	m <sup>2</sup>	Fläche der Nutzungsart 1 in Zone i	-
y <sub>i</sub>	m <sup>2</sup>	Fläche der Nutzungsart 2 in Zone i	-
z <sub>i</sub>	m <sup>2</sup>	Gesamtfläche Zone i	x <sub>i</sub> + y <sub>i</sub>
p <sub>i</sub>	%	Anteil der Nutzungsart 1 in Zone i relativ zur Gesamtfläche dieser Zone	$\frac{x_i}{z_i}$
q <sub>i</sub>	%	Anteil der Nutzungsart 2 in Zone i relativ zur Gesamtfläche dieser Zone	$\frac{y_i}{z_i}$
r <sub>i</sub>		Anteil der Fläche der Nutzungsart 1 in Zone i relativ zur Gesamtfläche dieser Nutzungsart im Untersuchungsgebiet	$\frac{x_i}{X}$
s <sub>i</sub>		Anteil der Fläche der Nutzungsart 2 in Zone i relativ zur Gesamtfläche dieser Nutzungsart im Untersuchungsgebiet	$\frac{y_i}{Y}$
t <sub>i</sub>		Anteil der Zonenfläche relativ zur Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes	$\frac{z_i}{Z}$

In Abbildung 1 wird eine beispielhafte Verteilung der Bodennutzung gezeigt. Links wird das Untersuchungsgebiet (z.B. ein Stadtquartier) als Ganzes gezeigt (für die integrale Quantifizierungsmethode verwendbar). Rechts wird das Untersuchungsgebiet mit einer Unterteilung in neun Zonen (Hektarzellen) gezeigt. Es wird jeweils die Flächen der Nutzungsart X bzw. Y gezeigt. Je nach Berechnungstyp (integral versus differenziert) wird es eine andere Einschätzung der Mischung ergeben.

Abbildung 1 Beispiel einer Verteilung der Bodennutzung

$510\text{m}^2 \text{ X}$ $390\text{m}^2 \text{ Y}$	$60\text{m}^2 \text{ X}$ $40\text{m}^2 \text{ Y}$	$80\text{m}^2 \text{ X}$ $20\text{m}^2 \text{ Y}$	$20\text{m}^2 \text{ X}$ $80\text{m}^2 \text{ Y}$
	$20\text{m}^2 \text{ X}$ $80\text{m}^2 \text{ Y}$	$40\text{m}^2 \text{ X}$ $60\text{m}^2 \text{ Y}$	$70\text{m}^2 \text{ X}$ $30\text{m}^2 \text{ Y}$
	$100\text{m}^2 \text{ X}$ $0\text{m}^2 \text{ Y}$	$90\text{m}^2 \text{ X}$ $10\text{m}^2 \text{ Y}$	$30\text{m}^2 \text{ X}$ $70\text{m}^2 \text{ Y}$

### 2.1.2 Untersuchung von mehr als zwei Ausprägungen

Für die Berechnung von mehr als zwei Landnutzungstypen werden andere Variablen verwendet. Diese werden in Tabelle 2 erläutert.

Tabelle 2 Variablen bei der Untersuchung von mehr als zwei Ausprägungen

Variable	Einheit	Bedeutung	Berechnung
j	-	Nutzungsart	-
k	-	Anzahl Nutzungsarten	-
i	-	Zonenummer	-
n	-	Anzahl Zonen	-
$X^j$	m <sup>2</sup>	Fläche der Nutzungsart j im Untersuchungsgebiet	$\sum_{i=1}^n x_i^j$
Z	m <sup>2</sup>	Gesamtfläche Untersuchungsgebiet	$\sum X^j$
$p^j$	%	Anteil der Nutzungsart j im Untersuchungsgebiet	$\frac{X^j}{Z}$
$x_i^j$	m <sup>2</sup>	Fläche der Nutzungsart j in Zone i	-
$X_i$	m <sup>2</sup>	Gesamtfläche Zone i	$\sum_{j=1}^k x_i^j$
$p_i^j$	%	Anteil der Nutzungsart j in Zone i relativ zur Gesamtfläche dieser Zone	$\frac{x_i^j}{X_i}$
$r_i^j$	%	Anteil der Fläche der Nutzungsart j in Zone i relativ zur Gesamtfläche dieser Nutzungsart im Untersuchungsgebiet	$\frac{x_i^j}{X^j}$
$t_i^j$		Anteil der Zonenfläche relativ zur Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes	$\frac{X_i}{Z}$

## 2.2 Integrale Quantifizierungsmethoden

Die integralen Methoden berechnen den Nutzungsmix lediglich über das gesamte Untersuchungsgebiet und machen keine feineren Einteilungen. Zum einen führt das dazu, dass kleinflächigere Schwankungen im Gebiet nicht erkannt werden. Zum anderen sind sie gegenüber der Gebietsgrösse sehr sensitiv (vgl. MAUP). Dies zeigt, dass obwohl die integralen Methoden relativ einfach umzusetzen sind, sie auch einige Einschränkungen bzw. Nachteile aufweisen.

### 2.2.1 Percentage and Proportion

#### **Definition**

Der prozentuale Anteil (engl. percentage; pct.) beschreibt den Anteil einer bestimmten Nutzungsart innerhalb des Untersuchungsgebiets. Dabei werden jeweils Dinge mit der gleichen Einheit zueinander in Bezug gesetzt.

$$p_j = \frac{X^j}{Z}$$

Zum Beispiel wird die Anzahl Quadratmeter eines Gebiets, welche mit Wohngebäuden überbaut ist, mit der gesamten Gebietsgrösse verglichen. Wohingegen beim Verhältnis (engl. proportion; prop.) Quantitäten mit verschiedenen Einheiten zueinander in Bezug gesetzt werden können. Ein Beispiel dafür wäre die Anzahl Beschäftigte pro Quadratmeter.

#### **Diskussion**

Die Berechnung von prozentualen Anteilen und Verhältnissen ist einfache Algebra. Dennoch beinhalten sie praktische Informationen über die Intensität einer bestimmten Nutzungsart innerhalb des Gebiets. Eine reine Prozentangabe einer Nutzungsform kann informativ sein, wenn diese beispielsweise im untersuchten Gebiet sehr selten ist. Bei Verhältnissen muss darauf geachtet werden, dass es immer im gleichen räumlichen Bezug steht, wie zum Beispiel zu einem Quadratmeter oder zu einer Parzelle. Sowohl der prozentuale Anteil als auch das Verhältnis sind nicht symmetrische Methoden.

## 2.2.2 Balance Index

### **Definition und Berechnung**

Der Balance Index (BAL) misst den Grad des Gleichgewichtes von zwei verschiedenen Nutzungsarten innerhalb des Untersuchungsgebietes. Die Berechnung des Balance Index beinhaltet lediglich die Gesamtmenge der zwei untersuchten Nutzungskategorien.

$$\text{BAL} = 1 - \frac{|X - aY|}{(X + aY)}; \text{ wobei } a = \frac{X^*}{Y^*}$$

Die Variable  $a$  ist ein Korrekturfaktor, welcher das relative Gleichgewicht der beiden Nutzungsformen auf einer grösseren Massstabsebene beschreibt. Er dient als Orientierungswert für ein realistisches Gleichgewicht, typischerweise einer Metropolitanregion.

Die Ausprägung des Index ist zwischen 0 und 1. Je näher der Wert bei 1 ist, desto grösser ist der Nutzungsmix, d.h. das Level an Gleichgewicht ist grösser. Als Beispiel könnte man das Gleichgewicht zwischen Beschäftigten und Bewohnern in einem Quartier untersuchen (vgl. Cervero und Duncan, 2003).

### **Diskussion**

Der Balance Index ist eine klare konzeptionelle Berechnung und Interpretation. Eine Schwierigkeit bildet die Findung eines adäquaten Korrekturfaktors  $a$ . Doch immerhin kann damit ausgedrückt werden, was eine gute Mischung bedeutet. Ein weiteres Merkmal der Quantifizierungsmethode ist die Symmetrie der Berechnung in Bezug auf die beiden Nutzungstypen.

## 2.2.3 Entropy Index

### **Definition und Berechnung**

Der Entropy Index (ENT) untersucht den relativen Anteil zweier oder mehrerer Nutzungsarten im Untersuchungsgebiet (Turner et al., 2001 zitiert nach Song et al., 2013).

Bei der Berechnung des Entropy Index können zwei oder mehr Nutzungstypen untersucht werden.

$$\text{ENT} = - \left[ \sum_{j=1}^k p^j \cdot \ln(p^j) \right] / \ln(k)$$

Der Entropy Index kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je höher der Wert ist, desto grösser ist die Nutzungsmischung (Song und Knaap, 2004).

### **Diskussion**

Auch der Entropy Index ist in Bezug auf die Nutzungstypen symmetrisch. Ein Entropy Index von 1 ist der höchste Wert und steht für eine perfekte Balance zwischen den Nutzungsarten (z.B. 50%/50%). Auf die selbe Weise wie beim Balance Index kann auch für den Entropy Index ein Korrekturfaktor verwendet werden, damit definiert werden kann, was eine optimale Nutzungsmischung überhaupt bedeutet (s. Song et al., 2013). Das ist dann zentral, wenn die Anteile der Nutzungsklassen für einen perfekten Mix nicht gleich gross sein sollten.

## **2.2.4 Herfindahl-Hirschman Index**

### **Definition und Berechnung**

Der Herfindahl-Hirschman Index (HHI) kommt ursprünglich aus der Wirtschaft und beschreibt die Marktkonzentration. Das Mass kann jedoch auch zur Beschreibung der Mischung anderer Aspekte (z.B. Nutzungsmischung) verwendet werden. Die Formel des Herfindahl-Hirschman Index kann sowohl für zwei als auch für mehrere Nutzungstypen angewendet werden.

$$\text{HHI} = \sum_{j=1}^k (100 \cdot p_j)^2$$

Die Spannweite des Index liegt normalerweise zwischen 0 und 10'000, was auf die Multiplikation mit 100 und der Quadrierung zurückzuführen ist. Die Werte lassen sich jedoch auch problemlos zwischen 0 und 1 skalieren. Dabei liegt der minimale Wert bei dieser Skalierung bei  $1/k$ . Je tiefer der Wert liegt, desto besser ist die Nutzungsdurchmischung. Bei  $\text{HHI}=1/k$  wird die optimale Nutzungsdurchmischung erreicht. Wenn nur eine Nutzungsart im Gebiet vorhanden ist, entspricht HHI dem Wert 1.

### **Diskussion**

Der Hauptvorteil des Herfindahl-Hirschman Index ist seine Einfachheit. Auch der Herfindahl-Hirschman Index ist in Bezug auf die Nutzungstypen symmetrisch. Zusätzlich ist er sehr sensitiv auf die Grösse des dominanten Nutzungstyps.

## 2.3 Differenzierte Quantifizierungsmethoden

Im Gegensatz zu integralen Quantifizierungsmethoden sind differenzierte Quantifizierungsmethoden sensitiv gegenüber Schwankungen der Nutzungsarten innerhalb des Untersuchungsgebiets. Dennoch ergeben sich nach der Einteilung des Untersuchungsgebiets in kleinräumigere Zonen einige Einschränkungen. (1) Differenzierte Messmethoden sind nämlich innerhalb der Zonengrenzen nicht mehr sensitiv gegenüber Schwankungen der Nutzungstypen. (2) Die meisten differenzierten Quantifizierungsmethoden sind gegenüber der räumlichen Anordnung der Zonen und ihrer gegenseitigen Beeinflussung nicht sensitiv. Nur der Clustering Index ist sensitiv gegenüber der relativen Zoneneinteilung. (3) Es ist wiederum das MAUP (vgl. S. 6) zu beachten. Es braucht eine Basis, welche die Zonengrößen und -formen bestimmt (vgl. Dark und Bram, 2007). Um die richtige Zoneneinteilung zu finden, sollten einerseits verschiedene Zonengrößen auf ihre Sensitivität getestet werden und andererseits die themenspezifische Forschung beachtet werden.

Es gibt verschiedene Arten ein Gebiet in kleinräumigere Zonen einzuteilen. Man kann beispielsweise über das Untersuchungsgebiet ein regelmässiges Grid legen. Eine andere Variante wäre, eine bereits vorhandene politische Einteilung zu verwenden. Zum Beispiel kann man bei der Betrachtung einer Stadt, die verschiedenen Stadtquartiere als Zonen benennen. Eine weitere Variante wäre, eine Zone durch eine fixe Distanz (einem sogenannten Puffer) von einem Interessenspunkt aus (z.B. von einem Haushalt aus) zu definieren. Auf diese Weise können administrative Grenzen ausser Acht gelassen werden und man kann sich auf die Fläche konzentrieren, die tatsächlich einen Einfluss auf die Bewertung der Mischung hat. Gleichzeitig haben alle untersuchten Zonen dieselbe Fläche.

### 2.3.1 Atkinson Index

#### ***Definition und Berechnung***

Der Atkinson Index (ATK) ist eine der bekanntesten Ungleichheitskennziffern. Speziell an diesem Mass ist, dass man die Variable  $\epsilon$  selbst bestimmen kann.  $\epsilon$  ist ein Gewicht für extremes Landnutzungsungleichgewicht. Normalerweise wählt man  $\epsilon$  zwischen 0 und 1.  $\epsilon = 0$  bedeutet, dass die Nutzungsmischung nur von der Grösse der Nutzungsart und nicht von dessen Verteilung abhängt. Für  $\epsilon > 0$  reagiert ATK hingegen auf Umverteilungen. Je höher  $\epsilon$  ist, desto größer sind die entsprechenden Sensitivitäten. So wirken sich Ungleichheiten (z.B. extremer Mangel der untersuchten Nutzungsart) stark auf den Index aus. Der Atkinson Index misst den Level der Gleichmässigkeit der Verteilung einer Nutzungsart über die verschiedenen Zo-



nen. Die Werte des Atkinson Index liegen zwischen 0 und 1, wobei 0 auf einen grösseren Nutzungsmix hindeutet (vgl. Faik, 2007; Atkinson, 1970).

Wenn  $s_i$  der Anteil der Nichtwohngebiete (Y) in Zone  $i$  ist, wird der Atkinson Index wie folgt definiert (Atkinson, 1970 zitiert nach Song et al., 2013):

$$\text{ATK}(Y) = 1 - \left[ \frac{1}{n^\varepsilon} \sum_{j=1}^n (s_j)^{1-\varepsilon} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}$$

### **Diskussion**

Weil bei der Berechnung des Atkinson Index nur eine Nutzungskategorie untersucht werden kann, ist das Ergebnis stark vom allgemeinen Vorkommen dieser Nutzungsklasse im gesamten Untersuchungsgebiet abhängig. Ausserdem ist dieser Index bei der Umsetzung relativ schwierig, weil zuerst die zu untersuchende Nutzungsklasse definiert werden muss und anschliessend ein angemessener Wert für  $\varepsilon$  gewählt werden muss.

## **2.3.2 Dissimilarity Index**

### **Definition und Berechnung**

Der Dissimilarity Index (DIS) beschreibt den Unterschied zwischen der Verteilung der verschiedenen Nutzungstypen in einer Zone im Vergleich zur gesamten Untersuchungsfläche. Es wird also die Gleichmässigkeit der Verteilung der Nutzungstypen im betrachteten Gesamtgebiet untersucht. Der Index kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 0 einen höheren Nutzungsmix darstellt.

Diese Quantifizierungsmethode kann für zwei oder mehrere Landnutzungstypen angewandt werden. Für zwei Landnutzungsarten gilt (Duncan und Duncan, 1955; Massey und Denton, 1988; Song et al., 2013):

$$\text{DIS} = 0.5 \sum_{i=1}^n |r_i - s_i|$$

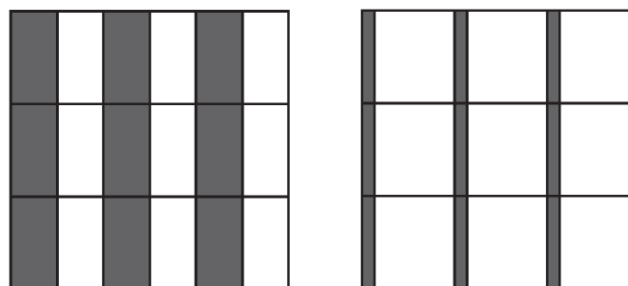
Für mehrere Landnutzungstypen gilt (Sakoda, 1981 zitiert nach Song et al., 2013)<sup>1</sup>:

$$\text{DIS}(k) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sum_j X^j \cdot (Z - X^j)} \cdot \sum_{ij} |Z \cdot x_i^j - z_i \cdot X^j|$$

### **Diskussion**

Der Dissimilarity Index ist relativ einfach zu berechnen und trotzdem effektiv in der Aussage betreffend der Gleichmässigkeit der Verteilung der verschiedenen Nutzungsarten. Im Vergleich zu anderen Indizes betrachtet der Dissimilarity Index den Flächenanteil einer Nutzungsart im Vergleich zum gesamten Untersuchungsgebiet und nicht bloss innerhalb der Zone. So wird die Zone im Verhältnis seiner Grösse betrachtet. Der Nachteil der Methode ist, dass ein schlechter Nutzungsmix über das gesamte Untersuchungsgebiet betrachtet nicht erkannt wird. Auch dieser Index unterliegt dem MAUP: Die Zonengrösse hat Einfluss auf den Index. Ein weiteres Problem wird erkannt: Je nach Zonenwahl kann der Index einen guten Nutzungsmix bezeichnen, obwohl eigentlich ein Clustern der Nutzungsarten erkennbar ist. Dieser Effekt zeigt sich bei vielen Quantifizierungsmethoden. Um zu vermeiden, dass ein Clustern unerkannt bleibt, sollte dieser Index auf jeden Fall in Kombination mit einem anderen Index (z.B. Clustering Index) angewendet werden.

Abbildung 2 Zwei mögliche Verteilungsmuster



Quelle: Song et al. (2013), S. 5

Da der Dissimilarity Index auf den Anteil der Landnutzungstypen im gesamten Untersuchungsgebiet insensitiv ist, wird bei den beiden möglichen Verteilungen der Nutzungsklassen

<sup>1</sup> Bei der Umsetzung der Formel nach Song et al. (2013) waren die Index-Werte teilweise grösser als 1. Aus diesem Grund wurde die Formel nach Sakoda (1981) verwendet und so umgeformt, dass es der Terminologie von Song et al. (2013) entspricht. Diese Umformung wird im Anhang aufgezeigt und legt nahe, dass die Formel in Song et al. (2013) fehlerhaft notiert wurde.

in Abbildung 2 derselbe Dissimilarity Index ( $DIS = 0$ ) berechnet, obwohl die Anteile über das gesamte Untersuchungsgebiet gesehen ganz anders sind. Integrale Quantifizierungsmethoden hingegen würden unterschiedliche Index-Werte ergeben. Im Gegensatz dazu erkennen integrale Quantifizierungsmethoden die kleinräumigeren Unterschiede nicht. Es spielt keine Rolle, ob die Anteile gleichmässig über die Zonen verteilt sind, solange über das gesamte Untersuchungsgebiet betrachtet eine Gleichmässigkeit herrscht, wird das Untersuchungsgebiet als gut durchmischt erkannt.

### 2.3.3 Gini Index

#### **Definition und Berechnung**

Der Gini Index (GINI) misst die Gleichmässigkeit der Verteilung zweier Landnutzungstypen zwischen den verschiedenen Zonen (Gini, 1955 zitiert nach Song et al., 2013). Er misst den Unterschied der verschiedenen Zonen in Bezug auf deren Nutzungsmix, ähnlich wie der Dissimilarity Index. Der Wert bewegt sich zwischen 0 und 1, wobei 0 ein grösserer Nutzungsmix (bzw. eine Gleichmässigkeit zwischen den verschiedenen Zonen) und 1 eine Segregation bedeutet.

Die Zonen müssen als erstes sortiert werden, damit gilt:  $r_i/s_i < r_{i+1}/s_{i+1}$ .  $\sigma r_i$  und  $\sigma s_i$  sind nun die kumulierten Anteile von  $r_i$  bzw.  $s_i$ . Erneut folgt eine Sortierung, damit gilt:  $\sigma r_i < \sigma s_i$ . So wird gesteuert, dass der Gini Index nicht über 1 geht (Brown, 1994 zitiert nach Song et al., 2013; Brown et al., 2009).

$$\text{GINI} = \left| 1 - \sum_{i=1}^n (\sigma r_{i+1} + \sigma r_i)(\sigma s_{i+1} + \sigma s_i) \right|$$

#### **Diskussion**

Die Berechnung für den Gini Index ist relativ komplex, weil zuerst alle Zonen in die richtige Reihenfolge gebracht werden müssen, um dann eine kumulative Summe zu bilden. Immerhin ist die Berechnung in Bezug auf die verschiedenen Nutzungstypen symmetrisch. Wie der Dissimilarity Index ist auch der Gini Index auf die Anteile der Landnutzungstypen über das gesamte Untersuchungsgebiet betrachtet insensitiv.

### 2.3.4 Exposure Index

#### **Definition und Berechnung**

Der Exposure Index (EXP) misst den Grad potentieller Interaktionen zweier Nutzungstypen. Die Werte variieren zwischen 0 und 1, wobei 1 ein grösserer Nutzungsmix bzw. eine grössere Interaktionsmöglichkeit bedeutet.

Da der Exposure Index nicht symmetrisch ist in Bezug auf zwei Landnutzungstypen, gibt es zwei mögliche Berechnungsformeln (Massey und Denton, 1988 zitiert nach Song et al., 2013):

$$\text{EXP}(x) = \sum_{i=1}^n s_i \cdot p_i ; \quad \text{EXP}(y) = \sum_{i=1}^n r_i \cdot q_i$$

#### **Diskussion**

Quantifizierungsmethoden zur Abdeckung (engl. exposure) hängen von der relativen Grösse der zwei zu vergleichenden Gruppen ab. Quantifizierungsmethoden zur Gleichmässigkeit (engl. evenness) (wie z.B. Dissimilarity Index oder Gini Index) hängen nicht von der relativen Grösse ab. Somit sind Quantifizierungsmethoden zur Abdeckung nützlicher, wenn eine klare Interaktion zwischen den Nutzungsarten bekannt ist. Wenn der Anteil einer Nutzungsart in allen Zonen gleich niedrig ist, bewirkt das bei den Quantifizierungsmethoden zur Gleichmässigkeit einen hohen Nutzungsmix. Im Gegensatz dazu würde der Exposure Index einen niedrigen Nutzungsmix ergeben, was in diesem Beispiel (vgl. Abbildung 2) auch stimmen würde (Massey und Denton, 1988 zitiert nach Song et al., 2013).

### 2.3.5 Clustering Index

#### **Definition und Berechnung**

Der Clustering Index (CLST) beschreibt das Cluster-Vorkommen einer Nutzungsart und der damit verbundenen Segregation von anderen Nutzungsformen. Der Index kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei ein höherer Wert ein niedrigeres Level an Nutzungsdurchmischung bzw. ein grösseres Cluster-Vorkommen bedeutet.

$Y$  ist als Gesamtfläche der Nichtwohngebiete und  $s_i$  ist als Anteil der Nichtwohngebiete in Zone  $i$  definiert.  $y_i$  ist die Fläche an Nichtwohngebiet in Zone  $i$  und  $z_i$  ist die Fläche der Zone

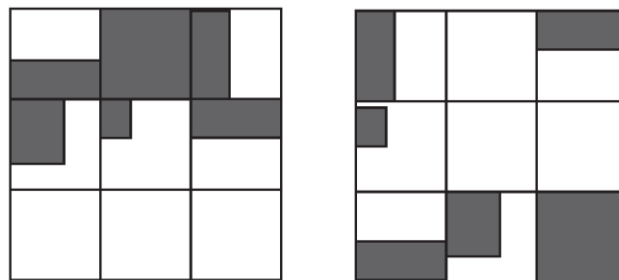
i. Wenn dann  $d_{ii^*}$  die Distanz zwischen den Zentroiden zweier Zonen ist, wird der Clustering Index wie folgt definiert (Massey und Denton, 1988 zitiert nach Song et al., 2013):

$$CLST(Y) = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \sum_{i^*=1}^n y_{i^*} \cdot e^{-d_{ii^*}} - \frac{Y}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{i^*=1}^n e^{d_{ii^*}}}{\sum_{i=1}^n s_i \sum_{i^*=1}^n z_{i^*} \cdot e^{-d_{ii^*}} - \frac{Y}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{i^*=1}^n e^{d_{ii^*}}}$$

### Diskussion

Bei den beiden möglichen Verteilungsmustern in Abbildung 3 ist der Clustering Index die einzige von den vorgestellten Quantifizierungsmethoden, welche nicht denselben Index-Wert berechnet. Er erkennt die räumliche Anordnung. Da die Anteile in den Zonen bei beiden Verteilungsmustern gleich sind, ergeben die anderen Quantifizierungsmethoden für beide denselben Index-Wert.

Abbildung 3 Clustering bei zwei möglichen Verteilungsmustern



Quelle: Song et al. (2013), S. 6

Auch der Clustering Index birgt Nachteile. Er misst nur die räumliche Verteilung innerhalb eines Nutzungstyps. Der Clustering Index würde eine Erweiterung (Verknüpfung mit weiteren Nutzungstypen) benötigen. Ausserdem wird der Index durch die gewählten Zonen beeinflusst und variiert entsprechend bei Variation der Zonen (Massey und Denton, 1988 zitiert nach Song et al., 2013).

## 2.4 Vergleich der Methoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets

In Tabelle 3 werden die wichtigsten Eigenschaften der in Kapitel 2 besprochenen Quantifizierungsmethoden zusammengefasst und einander gegenübergestellt. Der wichtigste Unterschied zwischen den Methoden ist der Berechnungstyp: integral versus differenziert. Dabei muss man sich entscheiden, ob man das Untersuchungsgebiet als Ganzes oder aufgeteilt in Zonen betrachten will. Die nächste wichtige Unterscheidung besteht darin, wie viele Nutzungsklassen mit der Quantifizierungsmethode erfasst werden können. Das spielt vor allem dann eine Rolle, wenn der Analyst die Beziehung von mehr als zwei Nutzungsklassen untersuchen will. Die Symmetrie zeigt auf, ob sich das Resultat der Quantifizierungsmethode verändert, wenn zum Beispiel der Anteil von Wohn- und Nichtwohngebiet genau getauscht wird. Bei Symmetrie bliebe das Resultat beim Tausch unverändert. Diese Eigenschaft wird unwichtig, wenn der Analyst sowieso nur eine Nutzungsklasse untersuchen will. Ansonsten ist die Symmetrie eine wünschenswerte Eigenschaft. Zum Schluss wird noch die Komplexität der Berechnung berücksichtigt. Simple Quantifizierungsmethoden können verwendet werden, wenn der Aufwand nicht zu gross sein soll (Song et al., 2013).

Tabelle 3 Eigenschaften verschiedener Quantifizierungsmethoden zur Bewertung der Mischung eines Gebiets

Quantifizierungsmethode	Methodentyp	Anzahl Nutzungsklassen	Symmetrie der Nutzungsklassen	Berechnungsschwierigkeit
PCT / PROP	integral	$k = 1$	nicht symmetrisch	simpel
BAL	integral	$k = 2$	symmetrisch	simpel
ENT	integral	$k \geq 2$	symmetrisch	simpel
HHI	integral	$k \geq 2$	symmetrisch	simpel
ATK	differenziert	$k = 1$	nicht symmetrisch	mittelmässig
DIS	differenziert	$k \geq 2$	symmetrisch	mittelmässig
GINI	differenziert	$k = 2$	symmetrisch	schwierig
EXP	differenziert	$k = 2$	nicht symmetrisch	mittelmässig
CLST	differenziert	$k = 1$	nicht symmetrisch	schwierig

Quelle: Song et al. (2013); überarbeitet

## **3 Bewertung der Mischung der Zürcher Stadtquartiere**

### **3.1 Wahl einer Quantifizierungsmethode**

Bei der Untersuchung der Mischung verschiedener Parameter innerhalb eines Stadtquartiers werden nur Quantifizierungsmethoden in Betracht gezogen, die mehr als zwei Kategorien vergleichen können. Somit sind bereits viele der in Kapitel 2 beschriebenen Quantifizierungsmethoden für die Untersuchung der Zürcher Stadtquartiere auszuschliessen. Es verbleiben die beiden integralen Quantifizierungsmethoden Entropy Index und Herfindahl-Hirschman Index sowie die differenzierte Quantifizierungsmethode Dissimilarity Index. Alle diese Methoden sind ausserdem symmetrisch. Die beiden integralen Methoden sind simpel in der Berechnung, der Dissimilarity Index ist etwas schwieriger. Bei der Untersuchung von mehr als zwei Landnutzungstypen empfiehlt Song et al. (2013) den Entropy Index oder den Dissimilarity Index.

Um die Unterschiede der beiden Methodentypen (integral versus differenziert) zu erkennen, wird bei der Untersuchung der Zürcher Stadtquartiere sowohl der Entropy Index als auch der Dissimilarity Index (bzw. Similarity-Index; s. S. 22) berechnet. So können die Resultate zweier verschiedener Quantifizierungsmethoden Mischung miteinander verglichen werden, insbesondere bezüglich Übereinstimmung.

Die beschriebenen Quantifizierungsmethoden in Kapitel 2 wurden nur in Bezug auf Landnutzungsklassen beschrieben. Natürlich können damit auch andere Mischungen, zum Beispiel bezüglich der Alters- oder Sozialstruktur, untersucht werden. Die Bewertung verschiedener Parameter eines Gebietes folgen in den Kapitel 3.4 - 3.9.

### **3.2 Grundlagen**

In Tabelle 4 sind die relevanten Variablen der beiden verwendeten Quantifizierungsmethoden aufgeführt. In Kapitel 2.2.3 bzw. 2.3.2 werden die beiden Berechnungsmethoden ausführlicher beschrieben.

Tabelle 4 Relevante Variablen für die Untersuchung der Zürcher Stadtquartiere

Variable	Einheit	Bedeutung	Berechnung
j	-	Klasse	-
k	-	Anzahl Klassen	-
i	-	Hektarzelle	-
$X^j$	$m^2$	Fläche/Menge der Klasse j im Stadtquartier	$\sum_{i=1}^n x_i^j$
Z	$m^2$	Gesamtfläche/Gesamtmenge im Stadtquartier	$\sum_{j=1}^k X^j$
$P^j$	%	Anteil der Klasse j im Stadtquartier	$\frac{X^j}{Z}$
$x_i^j$	$m^2$	Fläche/Menge der Klasse j in Hektarzelle i	-
$X_i$	$m^2$	Gesamtfläche/Gesamtmenge in Hektarzelle i	$\sum_{j=1}^k x_i^j$
$r_i^j$	%	Anteil der Fläche/Menge der Klasse j in Hektarzelle i relativ zur Gesamtfläche/Gesamtmenge dieser Klasse im Stadtquartier	$\frac{x_i^j}{X^j}$

In dieser Arbeit werden bei der Umsetzung der Bewertung der Mischung der Zürcher Stadtquartiere folgende zwei Formeln verwendet:

$$ENT = - \left[ \sum_{j=1}^k P^j \cdot \ln(P^j) \right] / \ln(k)$$

$$DIS(k) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sum_j X^j \cdot (Z - X^j)} \cdot \sum_{ij} |Z \cdot x_i^j - z_i \cdot X^j| \quad SIM(k) = 1 - DIS(k)$$

Da beim Entropy Index und beim Dissimilarity Index die Werte eine gegenteilige Bedeutung haben (ENT-Wert = 1: optimale Mischung; DIS-Wert = 0: optimale Mischung), wird ein neuer Index eingeführt: Similarity Index (SIM).

Als Untersuchungsgebiete dienen die verschiedenen Stadtquartiere Zürichs. Es soll herausgefunden werden, wie gemischt die Quartiere in Bezug auf verschiedene Parameter sind. Für den Dissimilarity bzw. Similarity Index werden die Stadtquartiere weiter in Hektarzellen un-



terteilt. So sind die Zonen alle gleich gross (100·100m). Die Hektarzellen werden anstelle von beispielsweise Puffern gewählt, um die Untersuchung einfach zu halten. Beim Entropy Index wird ausserdem auf einen Korrekturfaktor verzichtet. Man könnte die Mischung über die ganze Stadt betrachtet als Korrekturfaktor verwenden. In dieser Analyse wird jedoch davon ausgegangen, dass eine ausgeglichene Verteilung eine gute Mischung darstellt.

In Abbildung 4 werden die Zürcher Stadtquartiere dargestellt, um einen Überblick zu erhalten.

Abbildung 4 Zürcher Stadtquartiere



### 3.3 Daten und Implementierung

Für die Umsetzung der beiden Indizes (Entropy Index, Dissimilarity Index) werden die Geodaten der Statistik Schweiz (Geodatenabonnement Pro) verwendet. Für die Bodennutzung wird die Arealstatistik nach Nomenklatur 2004 „AREA\_NOAS04\_27\_130918.csv“ (Bundesamt für Statistik, 2013) gebraucht und für die höchste abgeschlossene Ausbildungsstufe, das Alter, die Hauptsprache und die Haushaltgrösse die Volkszählung 2000 „vz2000\_dsview.csv“ (Bundesamt für Statistik, 2005). Beide Datensätze basieren auf Hektar-rasterzellen und sind als CSV-Datei vorhanden. Des Weiteren werden die Quartiergrenzen der Schweizer Städte „quart06.shp“ (Bundesamt für Statistik, 2007) benutzt. Die Angaben zum Haushaltseinkommen sind aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 „haushalte.sav“ (Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung, 2011). Die Implementierung erfolgt in verschiedenen Scripts mit R 3.1.0 (s. Anhang).

### 3.4 Nutzungsmischung

#### 3.4.1 Grundlagen

Im verwendeten Datensatz ‚Arealstatistik nach Nomenklatur 2004‘ sind auf Hektarbasis Angaben zu 27 Aggregationen der Bodennutzung. Es ist pro Rasterzelle (100·100m) jeweils angegeben, welche Bodennutzungsart dominiert.

Für die Berechnung der Indizes werden nur Nutzungsformen beachtet, welche für die Bewertung der Mischung des Gebiets bedeutend sind. Nutzungsklassen wie Wald, Ackerland etc. werden gänzlich aus der Analyse ausgeschlossen.

Zur Bestimmung der Nutzungsmischung werden die folgenden fünf Nutzungsarten (analog BFS-Nomenklatur) unterschieden:

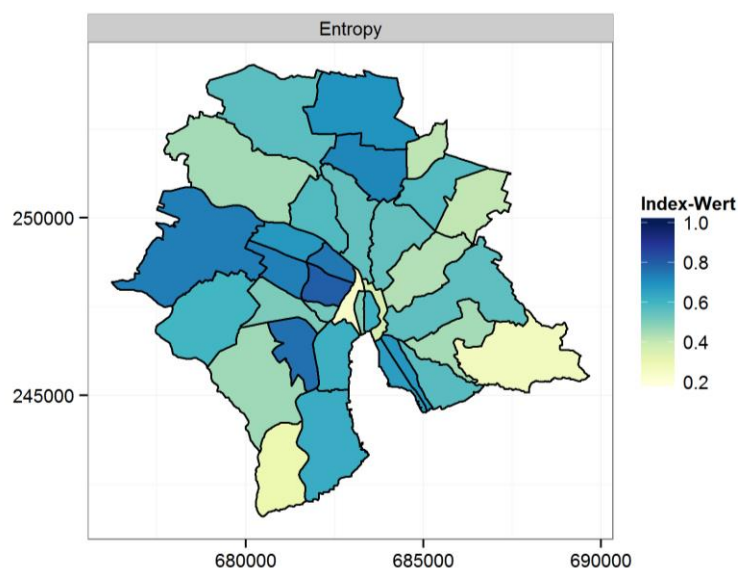
- 1) Industrie- und Gewerbeareal
- 2) Wohnareal (Ein- & Zweifamilienhäuser, Reihen- & Terrassenhäuser, Mehrfamilienhäuser)
- 3) Öffentliches Gebäudeareal (Erholungs- & Grünanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulhäuser, Kindergärten, Kirchen, Spitäler, Heime, Anstalten, Gefängnisse, Kasernen usw.)
- 4) Landwirtschaftliches Gebäudeareal (Bauernhäuser, Ökonomiebauten, Feldställe, Scheunen, Schuppen etc.)
- 5) Nicht spezifiziertes Gebäudeareal (Gebäude mit Mischnutzung, mit unbekannter Nutzung oder Bauten, die dem Dienstleistungssektor zugeordnet werden können wie z.B. Bürogebäude, Banken, Restaurants, Hotels, Verkaufsläden oder Warenhäuser).

Obwohl das landwirtschaftliche Gebäudeareal nur einen sehr kleinen Anteil (17 Hektarzellen) in der ganzen Stadt ausmacht, wird diese Bodennutzungsklasse trotzdem verwendet. Es ist jedoch aus diesem Grund zu beachten, dass die Entropy-Werte tendenziell kleiner werden, denn zumindest diese Nutzungsklasse wird jeweils sehr gering bis nicht vorkommend sein. Wenn ein Korrekturfaktor mit der Mischung über die ganze Stadt betrachtet angewendet würde, könnte dieser Einfluss behoben werden. In dieser Analyse wird jedoch ohne Korrekturfaktor gearbeitet.

### 3.4.2 Interpretation der Index-Werte

In Abbildung 5 wird die mittels Entropy Index berechnete Nutzungsdurchmischung der Zürcher Stadtquartiere dargestellt.

Abbildung 5 Nutzungsmischung der Zürcher Stadtquartiere: Entropy Index



Die Entropy Werte bewegen sich zwischen 0.236 und 0.802. Zum Vergleich liegen die Entropy-Werte (LUMIX, NRMIX) von Song und Knaap (2004), S. 671 zwischen 0 bis 0.95 bzw. 0.99. In dieser Analyse ist somit eine deutlich grössere Spannbreite vorhanden. Wenn jedoch die Spannbreite von Massey und Denton (1988), S. 300 (0.042 bis 0.780) betrachtet, ist diese eher mit der hier erhaltenen Spannbreite vergleichbar.

Der Entropy Index zeigt in den Quartieren City, Hochschulen, Leimbach und Witikon die niedrigsten Werte ( $\leq 0.4$ ), was auf eine schlechte Nutzungsdurchmischung hindeutet.

Das Ergebnis der City mit einem Wert von 0.236 ist etwas erstaunlich. Wenn man die Bodennutzung dann jedoch genauer betrachtet, wird ersichtlich woran dies liegt. In der City dominiert die Bodennutzungs-kategorie 5 (nicht spezifiziertes Gebäudeareal). Dazu zählen unter anderem Gebäude mit Mischnutzung. Es kann also sein, dass obwohl der Entropy-Wert auf ein schlecht durchmischtes Quartier hindeutet, es dennoch nutzungsdurchmischt ist.

Zu beachten ist ebenfalls, dass Gewerbe- und Industriebauten in der Arealstatistik nicht gesondert betrachtet werden. Dann wären die Entropy-Werte eher etwas grösser.

In den Quartieren Langstrasse, Alt-Wiedikon, Gewerbeschule, Altstetten, Hard und Oerlikon sind die Entropy Index-Werte am grössten ( $\geq 0.7$ ). Die Anteile in diesen Quartieren sind somit gleichmässiger verteilt. Das Quartier Langstrasse hat beispielsweise 4 Zellen mit Industrie- und Gewerbebauten, 16 Zellen mit Wohnbauten, 11 Zellen mit öffentlichen Gebäuden, keine Zelle mit landwirtschaftlichem Gebäuden und 14 Zellen mit nicht spezifizierten Gebäuden.

Die Werte des Similarity Index lassen bei der Bodennutzung keine Interpretation zu. Da bereits in den Ursprungsdaten pro Hektarzelle jeweils nur die dominante Nutzung vorhanden ist, werden die Werte alle Null. Pro Hektarzelle ist jeweils nur eine Nutzung in den Daten notiert und somit ist die Nutzungsmischung schlechtmöglichst. Das stimmt so natürlich nicht. Es müssten andere Daten verwendet werden, die eine kleinräumigere Identifikation der Nutzungsklassen erlauben würden. Es wäre möglich, die Hektardaten zu aggregieren, beispielsweise zu 500m-Rasterzellen, und diese Aggregationen dann als Zone zu bezeichnen. Darauf wird in dieser Arbeit jedoch verzichtet und es werden nur die Werte des Entropy Index analysiert.

## **3.5 Mix der Ausbildungsstufen**

### **3.5.1 Grundlagen**

Die soziale Durchmischung drückt sich durch verschiedene sozioökonomische Merkmale aus. Dazu gehören beispielsweise das Einkommen, die Abstammung oder das Bildungsniveau. Es sind Merkmale, die auf einen sozialen Status hinweisen (Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen, 2014). In dieser Arbeit wird versucht, die soziale Durchmischung mit den Parametern der von einer Person höchsten abgeschlossenen Ausbildungsstufe sowie dem Haushaltseinkommen abzubilden.

Im verwendeten Datensatz ‚Volkszählung 2000‘ wird pro Rasterzelle (100·100m) angegeben, wie viele Erwerbstätige eine bestimmte höchste abgeschlossene Ausbildungsstufe haben.

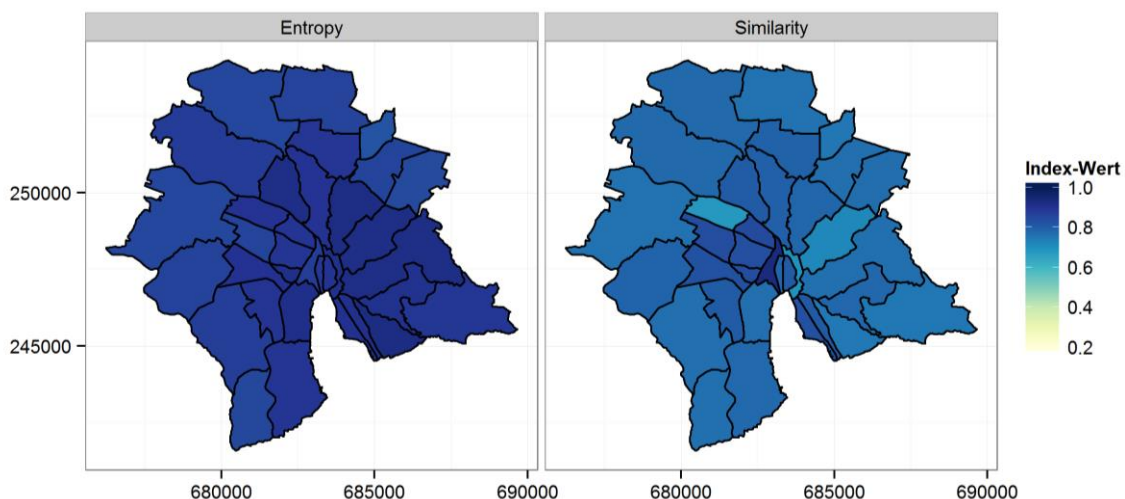
Für die Berechnung der Indizes werden die folgenden Ausbildungsstufen (analog BFS-Nomenklatur) unterschieden:

- keine Ausbildung abgeschlossen
- obligatorische Schule, Diplommittelschule oder berufsvorbereitende Schule
- Berufslehre, Vollzeit-Berufsschule
- Maturitätsschule, Lehrerseminar
- Höhere Fach- und Berufsausbildung
- Höhere Fachschule, Fachhochschule
- Universität, Hochschule

### 3.5.2 Interpretation der Index-Werte

In Abbildung 6 werden die beiden Indizes pro Stadtquartier dargestellt.

Abbildung 6 Mix der höchsten abgeschlossenen Ausbildungsstufe in den Zürcher Stadtquartieren



Es wird ersichtlich, dass keine Korrelation zwischen den beiden Indizes bezüglich des Mixes der höchsten abgeschlossenen Ausbildungsstufen besteht (vgl. Anhang). Das liegt daran, dass der Entropy Index die Anteile auf Quartiersebene und der Similarity Index die Anteile auf Hektarbasis (und somit feinere Unterschiede) misst. Ein Quartier, welches zwar insgesamt gut durchmischt ist bezüglich der Ausbildungsstufen, kann auf Hektarbasis schlecht durchmischt

sein. Andersherum kann ein Quartier, welches insgesamt schlecht durchmischt ist, auf Hektarbasis gut durchmischt sein.

Beim Entropy Index weisen die Stadtquartiere Weinegg, Oberstrass, Fluntern, Hottingen, Wipkingen und Enge die höchsten Werte ( $\geq 0.915$ ) auf. Diese Quartiere haben auf Quartiers-ebene die höchste Durchmischung der Ausbildungsstufen.

Beim Similarity Index hingegen weist die City mit Abstand den höchsten Wert (0.9346) auf. Das bedeutet, dass die City zwar auf Hektarbasis in Bezug auf die Ausbildungsstufe am stärksten durchmischt ist, auf Quartierebene jedoch andere Quartiere dominieren bezüglich guter Durchmischung. Das liegt daran, dass in der City die Wohnbevölkerung in einer Hektarzelle konzentriert ist. Die meisten anderen Hektarzellen enthalten somit keine Erwerbstätigen. Der Similarity Index vergleicht dann diese Zellen mit Nullwerten miteinander und kommt auf einen hohen Similarity-Wert. Der Entropy-Wert der City liegt bei 0.873. Der Wert bildet eher die Durchmischung der Ausbildungsstufen im Quartier ab.

Die niedrigsten Werte weisen beim Entropy Index die Quartiere Saatlen und Hirzenbach ( $\leq 0.85$ ) und beim Similarity Index die Quartiere Escher-Wyss und Hochschulen ( $\leq 0.7$ ) auf. Auch hier zeigt sich keine Übereinstimmung der Index-Werte.

## 3.6 Mischung der Haushalteinkommen

### 3.6.1 Grundlagen

Im verwendeten Datensatz des Mikrozensus (haushalte.sav) wird je untersuchtem Haushalt angegeben, wie hoch das monatliche Haushaltseinkommen ist. Dazu sind die Koordinaten der Haushalte vorhanden. Ausserdem wird jedem Haushalt ein Gewicht zugeteilt. Die Angaben zum Haushalt müssen somit jeweils immer mit dem Haushaltgewicht verrechnet werden. Das wurde auch bei der Angabe zum Haushaltseinkommen gemacht.

Für die Berechnung der Indizes werden die folgenden Einkommensklassen unterschieden:

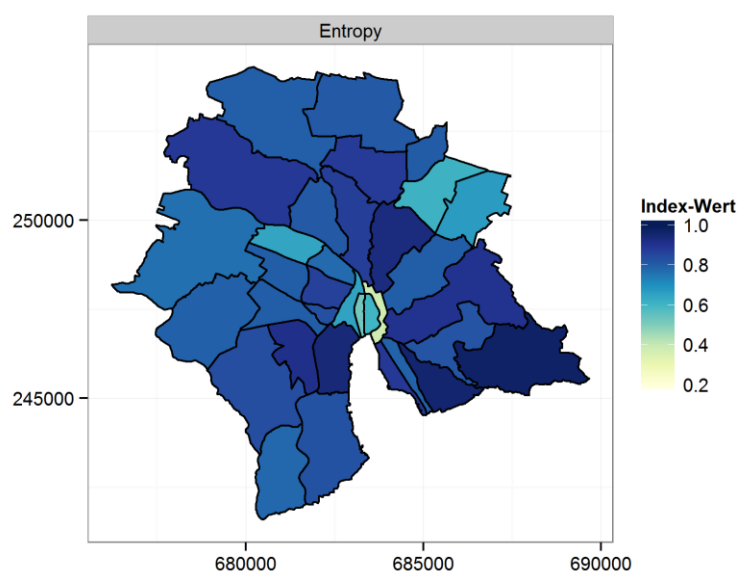
- bis und mit CHF 4'000
- CHF 4'001 – 8'000
- CHF 8'001 – 12'000
- CHF 12'001 – 16'000
- über CHF 16'000

Da die Angaben pro untersuchten Haushalt und nicht pro Zelle vorhanden sind, wird bei diesem Parameter nur der Entropy Index analysiert.

### 3.6.2 Interpretation der Index-Werte

In Abbildung 7 wird der Entropy Index pro Stadtquartier dargestellt.

Abbildung 7 Mischung der Haushaltseinkommen der Zürcher Stadtquartiere: Entropy Index



Während die Stadtquartiere Weinegg und Witikon die höchsten Werte ( $\geq 0.95$ ) aufweisen, haben die Quartiere Hochschulen, Lindenhof und Rathaus die niedrigsten Werte ( $\leq 0.6$ ). Es zeigt sich, dass diese Untersuchung nicht sehr aussagekräftig ist. Da relativ wenige Haushalte untersucht wurden, repräsentieren die Index-Werte nicht wirklich die Durchmischung. Bei den scheinbar schlecht durchmischten Quartieren (in Bezug auf das Haushaltseinkommen) wurden nur einige wenige Haushalte untersucht, was zu einer schlechten Mischung führt. Es sind genau jene Quartiere, welche auch wenige Haushalte im Vergleich zur ganzen Stadt aufweisen. Die Stadtquartiere mit grosser Wohnnutzung und entsprechend vielen untersuchten Haushalten hingegen weisen die hohen Werte auf.

## 3.7 Altersdurchmischung

### 3.7.1 Grundlagen

Im verwendeten Datensatz ‚Volkszählung 2000‘ sind auf Hektarbasis Angaben zum Alter der Wohnbevölkerung in Hektarzelle  $i$ . Dabei werden Frauen und Männer nicht unterschieden. Es ist pro Rasterzelle (100·100m) jeweils angegeben, wie viele Personen in einer bestimmten Altersklasse sind.

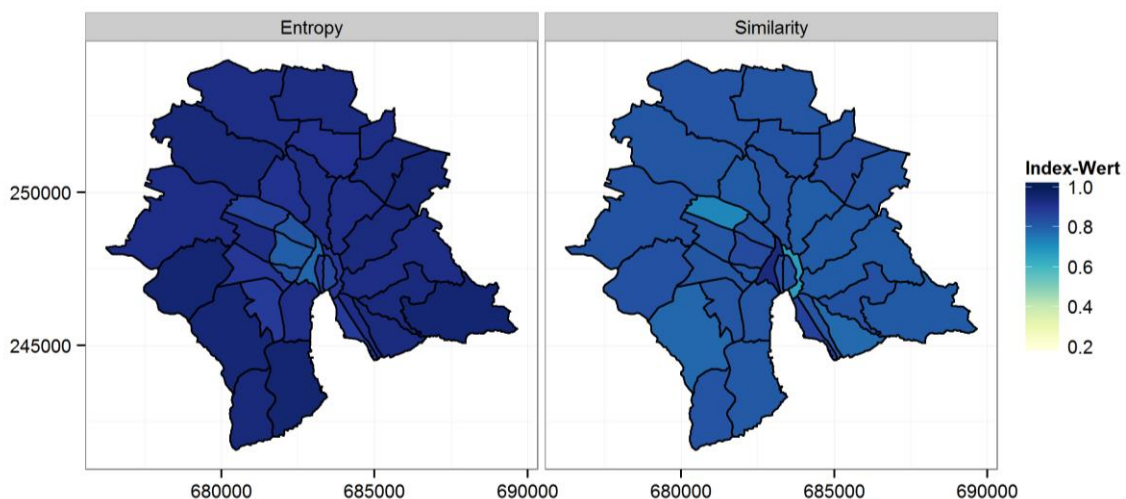
Für die Berechnung der Indizes werden die folgenden Altersklassen unterschieden:

- 0-19 Jahre: Kinder und Jugendliche
- 20-39 Jahre: Junge Erwachsene
- 40-64 Jahre: Erwachsene
- 65-79 Jahre: Pensionäre
- 80 Jahre und älter: Senioren

### 3.7.2 Interpretation der Index-Werte

In Abbildung 8 werden die beiden Indizes pro Stadtquartier dargestellt.

Abbildung 8 Altersdurchmischung der Zürcher Stadtquartiere



Es wird ersichtlich, dass eine leicht negative Korrelation zwischen den beiden Indizes bezüglich der Altersdurchmischung besteht (vgl. Anhang). Das bedeutet, dass ein Quartier mit guter



Durchmischung auf Quartiersebene, eher eine schlechte Durchmischung auf Hektarbasis hat und umgekehrt.

Die Quartiere Hochschulen und Escher-Wyss haben die geringsten Similarity-Werte ( $\leq 0.75$ ) und sind somit auf Hektarbasis schlechter durchmischt als die anderen Quartiere. Beim Entropy-Wert hat die City den geringsten Wert (0.7841) und ist somit auf Quartiersebene nicht so gut durchmischt. Im Gegensatz dazu weist die City beim Similarity Index den höchsten Wert (0.9351) auf. Auf Hektarbasis scheint das Quartier gut durchmischt. Dies könnte jedoch wiederum darauf zurückzuführen sein, dass in der City einige Hektarzellen nicht bewohnt sind. Dies verzerrt die Durchmischung (vgl. Kapitel 3.5.2).

Die höchsten Entropy-Werte haben die Quartiere Wollishofen, Witikon, Albisrieden und Friesenberg ( $\geq 0.95$ ). Es sind Quartiere, die für verschiedene Altersklassen attraktiv sind und sowohl von Familien als auch von älteren Personen bewohnt werden.

## 3.8 Sprachenvielfalt

### 3.8.1 Grundlagen

Im verwendeten Datensatz ‚Volkszählung 2000‘ sind die Angaben zur Hauptsprache der Wohnbevölkerung auf Hektarbasis. Es ist pro Rasterzelle (100·100m) jeweils angegeben, wie viele Personen eine bestimmte Hauptsprache haben.

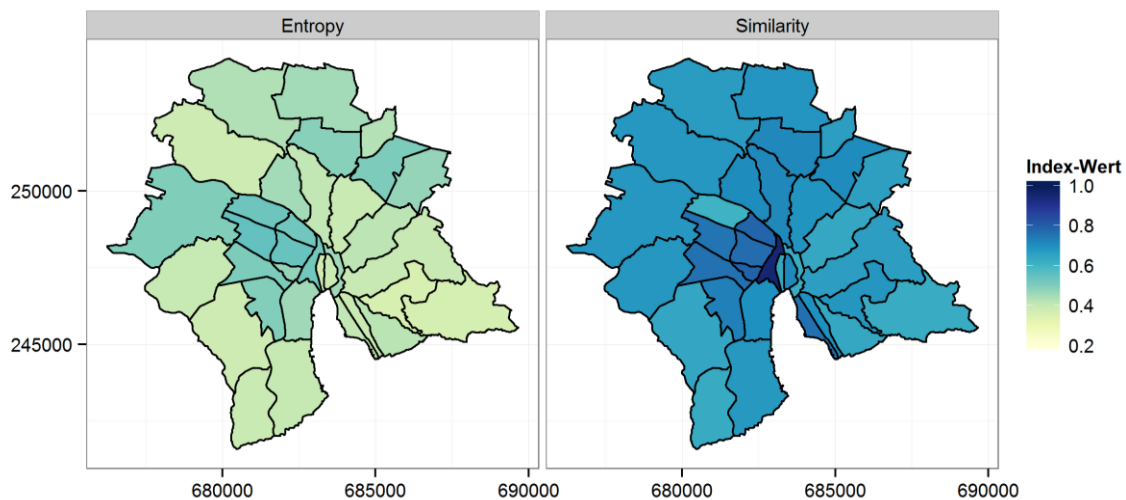
Für die Berechnung der Indizes werden die folgenden Sprachklassen (analog BFS-Nomenklatur) unterschieden:

- Deutsch
- Französisch
- Italienisch
- Rätoromanisch
- Englisch
- Niederländisch
- Spanisch
- Portugiesisch
- Nordeuropäisch
- übrig europäisch
- übrige Hauptsprachen

### 3.8.2 Interpretation der Index-Werte

In Abbildung 9 werden die beiden Indizes pro Stadtquartier dargestellt.

Abbildung 9 Sprachenvielfalt der Zürcher Stadtquartiere



Es wird ersichtlich, dass eine positive Korrelation zwischen den beiden Indizes bezüglich der Sprachenvielfalt besteht (vgl. Anhang). Das heisst, ein Quartier mit grosser Sprachenvielfalt auf Quartiersebene hat auch eine grosse Sprachenvielfalt auf Hektarbasis und umgekehrt. Die höchsten und niedrigsten Index-Werte von Entropy bzw. Similarity sind trotzdem nicht genau die gleichen.

Beim Entropy Index haben die Quartiere Hirslanden, Witikon und Lindenhof die geringsten Werte ( $\leq 0.38$ ), während Hard, Langstrasse sowie Escher-Wyss die höchsten Werte ( $\geq 0.53$ ) aufweisen.

Beim Similarity Index haben die Quartiere Escher-Wyss, Hochschulen, Witikon und Leimbach die geringsten Werte ( $\leq 0.63$ ) und die City den höchsten Wert (0.9552).

Generell lässt sich sagen, dass die Entropy-Werte bei der Sprachenvielfalt relativ tief sind mit einem Maximalwert von 0.5487 (vgl. A 4). Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass die rätoromanische und niederländische Sprache in den meisten Quartieren nur gering vertreten ist und dies eine schlechtere Durchmischung bewirkt.

## 3.9 Mischung der Haushaltsgrößen

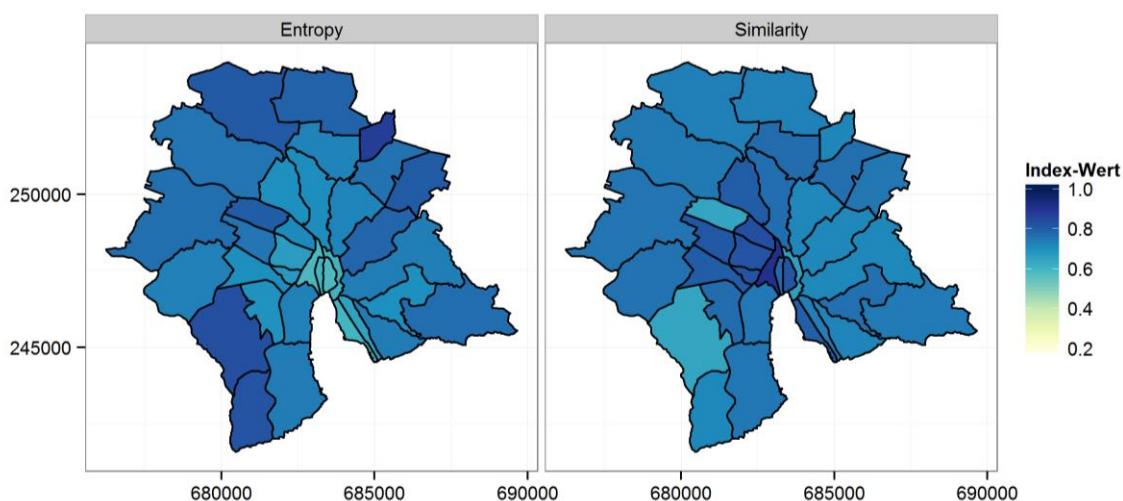
### 3.9.1 Grundlagen

Im verwendeten Datensatz ‚Volkszählung 2000‘ sind auf Hektarbasis Angaben zur Anzahl Personen pro Haushalt. Es ist pro Rasterzelle (100·100m) jeweils angegeben, wie viele Haushalte einer bestimmten Haushaltsgröße vorhanden sind. Für die Berechnung der Indizes werden die Privathaushalte in sechs Klassen unterteilt, wobei Haushalte mit sechs oder mehr Personen in einer Klasse zusammengefasst werden.

### 3.9.2 Interpretation der Index-Werte

In Abbildung 10 werden die beiden Indizes pro Stadtquartier dargestellt.

Abbildung 10 Mischung der Haushaltsgrößen der Zürcher Stadtquartiere



Es wird ersichtlich, dass eine negative Korrelation zwischen den beiden Indizes bezüglich der Mischung der Haushaltsgrößen besteht (vgl. Anhang). Somit hat ein Quartier mit einer guten Mischung der Haushaltsgrößen auf Quartiersebene keine gute Mischung auf Hektarbasis und umgekehrt.

Beim Entropy Index sticht Saatlen als höchster Wert ( $\geq 0.85$ ) heraus, während die Quartiere der Innenstadt und des rechten Seeufers (Rathaus, City, Lindenhof, Seefeld, Hochschulen und Mühlebach) geringe Werte ( $\leq 0.66$ ) haben. Es zeigt sich, dass in der Innenstadt und am rechten Seeufer die Kleinhaushalte (1 oder 2 Personen) dominieren und sich so keine gute Mi-

schung der Haushaltsgrössen ergeben kann. In Saatlen sind die verschiedenen Haushaltsgrössen gleichmässiger verteilt.

Beim Similarity Index haben die Quartiere Friesenberg und Escher-Wyss die geringsten Werte ( $\leq 0.65$ ). Die City hat den höchsten Wert (0.9116), welcher wiederum durch die geringe Wohnnutzung und den vielen Nullwerte erklärt werden kann (vgl. Kap. 3.5.2).

### 3.10 Zusammenfassung und Gesamtergebnis

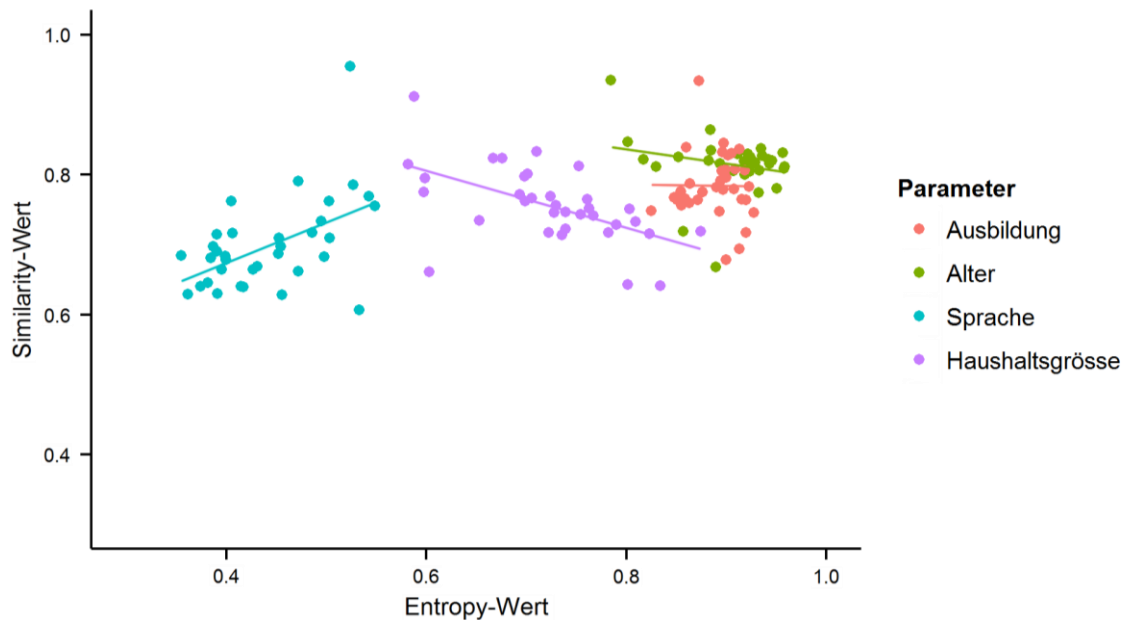
In Tabelle 5 werden die wichtigsten Eigenschaften der untersuchten Parameter zusammengefasst.

Tabelle 5 Untersuchte Parameter: Zusammenfassung

Parameter	Korrelation	Minimaler Wert		Maximaler Wert	
Bodennutzung	-	ENT: 0.2364	City	ENT: 0.8018	Langstrasse
Ausbildung	keine	ENT: 0.8246	Saatlen	ENT: 0.9272	Weinegg
		SIM: 0.6780	Escher-Wyss	SIM: 0.9346	City
Haushaltseinkommen	-	ENT: 0.3790	Hochschulen	ENT: 0.9747	Weinegg
Alter	negativ	ENT: 0.7841	City	ENT: 0.9581	Wollishofen
		SIM: 0.6678	Hochschulen	SIM: 0.9351	City
Sprache	positiv	ENT: 0.3547	Hirslanden	ENT: 0.5487	Hard
		SIM: 0.6065	Escher-Wyss	SIM: 0.9552	City
Haushaltsgrösse	negativ	ENT: 0.5818	Rathaus	ENT: 0.8743	Saatlen
		SIM: 0.6415	Friesenberg	SIM: 0.9116	City

Die Untersuchung der verschiedenen Parameter hat gezeigt, dass sich die Entropy- und Similarity-Werte nicht vergleichen lassen (vgl. Abbildung 11; Anhang). Zwischen den Indizes kann es eine positive, eine negative oder gar keine Korrelation geben. Bei zwei Parametern ist die Umsetzung des Dissimilarity Index (bzw. Similarity Index) aufgrund der verwendeten Daten nicht möglich. Auch die Spannbreiten der Index-Werte der verschiedenen Parameter sind sehr verschieden (s. Tabelle 5; Anhang).

Abbildung 11 Scatterplot Similarity Index - Entropy Index



Des Weiteren hat sich gezeigt, dass es zu Fehlinterpretationen kommen kann. Am Beispiel des Similarity Index beim Parameter der Ausbildungsstufen hat sich gezeigt, dass auch viele Nullwerte in den Hektarzellen zu einem hohen Similarity-Wert führen können (vgl. Kap. 3.5.2). Obwohl viele Hektarzellen unbewohnt sind, zeigt der Similarity-Index eine gute Mischung an.

Die Wahl der Hektarzellen beim Dissimilarity Index wäre vielleicht nochmals zu überdenken. Song et al. (2013) halten fest, dass für die Bewertung der Mischung typischerweise ein Gebiet in der Grössenordnung von einer Quadratmeile oder weniger betrachtet wird. Eine Zelle von 100·100m ist doch einiges kleiner.

Da sich die Entropy-Werte bei allen Parametern berechnen lassen und sie ausserdem die Mischung integral für das ganze Quartier ausdrücken, wird dieser Index präferiert.

## 4 Einfluss der Nutzungsmischung auf die Mobilität

### 4.1 Auswirkungen auf die Mobilität

Dieses Kapitel basiert überwiegend auf Litman (2014) und so werden nur andere Quellen explizit als solche gekennzeichnet.

Es gibt eine ganze Reihe von Bodennutzungsfaktoren, die die Mobilität beeinflussen. Einer davon ist die Nutzungsmischung. Weitere Faktoren sind Tabelle 6 zu entnehmen. Diese Faktoren haben verschiedenartige Auswirkungen auf die Mobilität, welche ebenfalls in Tabelle 6 ersichtlich sind.

Tabelle 6 Bodennutzungsfaktoren und deren möglichen Auswirkungen auf die Mobilität

Bodennutzungsfaktoren	Auswirkungen auf die Mobilität
Nutzungsmischung	Fahrzeugbesitz
regionale Erreichbarkeit	Anzahl Verkehrswege und Fahrleistung
Dichte	Fusswege
zentrale Lage	Fahrradwege
Konnektivität der Strassen und Wege	Öffentlicher Verkehr
Gestaltung der Verkehrswege	Fahrgemeinschaften
Bedingungen der Langsamverkehrsachsen	Telearbeit
Qualität des Angebots des öffentlichen Verkehrs	Kürzere Reisedistanzen
Parkangebot und -management	
Mobilitätsmanagements	

Quelle: Litman, 2014; bearbeitet

Die Auswirkungen können entweder einzeln für jeden Bodennutzungsfaktor (zum Beispiel Nutzungsmischung) analysiert werden oder man untersucht den Einfluss der Bodennutzungsfaktoren zusammen. Die Kombination der verschiedenen Faktoren verstärken die Auswirkungen auf die Mobilität.

Es gibt bereits eine ganze Reihe von Literatur, die sich mit dem Zusammenhang von Nutzungsmischung und Mobilität befasst hat. Die Schlüsse sind immer wieder die gleichen und

bestätigen sich somit: Die Nutzungsmischung hat einen Einfluss auf die Mobilität und mit einer guten Planung der Flächen lässt sich das Verkehrsaufkommen verringern (Franz, 1978).

Erhöhte Nutzungsdurchmischung reduziert die Reisedistanz und fördert das Reisen zu Fuss oder mit dem Fahrrad. Ausserdem können Pendlerdistanzen verringert werden, indem der Wohn- und Arbeitsort näher beieinander liegen. Dies verändert wiederum den Modal Split.

Nutzungsmischung kann auch einen Einfluss auf die Anzahl Wege (engl. Vehicle Trips; VT) haben. „Ein Weg [zeichnet sich durch ein oder mehrere Etappen aus, kann also aus] einem oder mehreren hintereinander benutzten Verkehrsmitteln bestehen. Ein Weg wird durch den Zweck definiert, der sich nach der Art der Aktivität am Zielort richtet (z.B. Einkaufen). Ist der Zielort erreicht, dann ist der Weg zu Ende. Ein neuer Weg beginnt, wenn der Zweck wechselt oder wenn der Rückweg nach Hause angetreten wird“ (Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung, 2012, S. 39).

Einige Studien zeigen, dass eine erhöhte Nutzungsmischung einerseits die Anzahl Wege und andererseits auch die Fahrkilometer (engl. Vehicle Miles of Travel; VMT) des motorisierten Individualverkehrs verringert (Kuzmyak und Pratt, 2003; Ewing et al., 2010; Litman, 2014). Auch Cervero und Kockelman (1997) sowie Bordoloi et al. (2013) folgern mit ihrer Untersuchung, dass Nutzungsmischung die Fahrkilometer reduzieren und den Langsamverkehr fördert.

Eine andere Studie hat herausgefunden, dass Nutzungsmischung eine grössere Anzahl Wege induziert. Diese werden jedoch vermehrt zu Fuss oder mit dem Fahrrad zurückgelegt. Somit reduziert sich der motorisierte Individualverkehr dennoch (Sperry et al., 2012). Die Verschiebung des Modal Splits von motorisiertem Individualverkehr zu Langsamverkehr (v.a. Fussverkehr) hat schliesslich positive Auswirkungen auf die Bewegung und die Gesundheit der Bevölkerung. Gerade Übergewicht kann so gesenkt werden (Tomalty und Haider, 2009).

Eine weitere Untersuchung bestätigt, dass ein guter Nutzungsmix die Fahrkilometer reduziert, was wiederum zu einer Reduktion des Kohlendioxidausstosses führt. So kann die Umwelt zusätzlich geschont werden (Wang et al., 2013). Frank et al. (2011) haben dazu eine Kalkulationstabelle entwickelt, um den Einfluss von Veränderungen verschiedener Parameter (u.a. dem Nutzungsmix) auf die Fahrkilometer und die Emissionen zu schätzen.

Eine nächste Untersuchung zeigt, dass durch eine Nutzungsmischung die Fahrkilometer reduziert und die Bewegung zu Fuss deutlich erhöht wird (Ewing und Cervero, 2010). Daraus folgt ein Bericht, dass die Elastizität der Fahrkilometer in Bezug auf die Nutzungsmischung -0.02 bis -0.11 beträgt, was bedeutet, dass bei einem Anstieg des Entropy Index um 10% die

Fahrkilometer 0.2 bis 1.1% abnehmen (Spears et al., o. J.). Lawton (o. J.) zeigt zudem, dass der Fahrzeugbesitz mit zunehmendem Mischungsindex abnimmt.

Es zeigt sich, dass die Nutzungsmischung einen starken Einfluss auf das Mobilitätsverhalten hat. Teilweise sind es auch Kleinigkeiten (wie zum Beispiel ein Bankautomat, eine Cafeteria oder ein Postschalter), welche die Autobenutzung beeinflussen (Davidson, 1994 zitiert nach Litman, 2014). Litman (2014) schreibt, dass nutzungsdurchmischte Gebiete typischerweise 5 – 15% weniger Autoverkehr haben. Aber auch wenn die Nutzungsdurchmischung nur zu einem kleinen Teil zur Reduktion des motorisierten Individualverkehrs beiträgt, kann sie zusammen mit weiteren Bodennutzungsfaktoren (z.B. Dichte, Art des Strassennetzes, Parkangebot) eine grosse Auswirkung auf den Fahrzeugbestand und die Reisezeiten und –weiten ausmachen.

## 4.2 Grundlagen, Daten und Implementierung

Im Folgenden soll nun für die Zürcher Stadtquartiere der Einfluss der Nutzungsmischung auf die Mobilität untersucht werden. Es soll herausgefunden werden, ob die in Kapitel 4.1 beschriebenen Ergebnisse auch auf Zürich zutreffen. Für diese Untersuchung werden die Ergebnisse des Entropy Index (vgl. Kapitel 3) verwendet, da die Mischung des Stadtquartiers als Ganzes interessiert.

Folgende Aspekte der Mobilität werden untersucht:

- Anzahl Wege pro Person und Tag
- Tagesdistanz Langsamverkehr (LV) pro Person
- Tagesdistanz Öffentlicher Verkehr (ÖV) pro Person
- Tagesdistanz Motorisierter Individualverkehr (MIV) pro Person
- Anzahl Motorfahrzeuge pro Haushalt

Für die Analyse des Verkehrsverhaltens dienen die Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 „haushalte.sav“ sowie „zielpersonen.sav“ (Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung, 2011). Diese Daten beinhalten Stichproben, welche jedoch das Verhalten der gesamten Stadtbevölkerung wiedergeben. Dazu gibt es Haushalts- und Personengewichte. Der Mittelwert der Gewichte (Haushalts- bzw. Personengewichte) liegt bei Eins. Kleinere Gewichte bedeuten, dass das untersuchte Objekt einen geringeren Anteil der Bevölkerung repräsentiert. Anhand dieser Gewichte lässt sich berechnen, für wie viele Personen bzw. Haushalte die ermittelten Angaben eines Untersuchungsobjektes zutreffen. Die Implementierung erfolgt mit R 3.1.0 (vgl. Anhang).



### 4.3 Zürcher Stadtquartiere: Einfluss der Nutzungsmischung auf die Mobilität

In diesem Kapitel wird mit Hilfe der in R erstellten Scatterplots der Einfluss der Nutzungsdurchmischung (unabhängige Variable) auf verschiedene Mobilitätsparameter (abhängige Variablen) untersucht. Dabei wird auch immer die Regressionsgerade ( $y = a + b x$ ;  $a = \text{Konstante}$ ,  $b = \text{Steigung}$ ) dargestellt.

Abbildung 12 zeigt, je nutzungsdurchmischer ein Quartier ist (hoher Entropy-Wert), desto mehr Wege werden pro Tag zurückgelegt. Dieses Ergebnis deckt sich mit jenem der Studie von Sperry et al. (2012). Dieses Resultat könnte darauf zurückzuführen sein, dass ein besser nutzungsdurchmischtes Gebiet mehr Aktivitäten zu bieten hat und dadurch mehr Wege resultieren. Diese Folgerung wird durch die hohe Anzahl an Wegen im Quartier Escher-Wyss bestätigt. Im Quartier werden mit durchschnittlichen 5.4 Wegen pro Person und Tag mit Abstand am meisten Wege zurückgelegt. Dies deckt sich mit dem vielfältigen kulturellen Angebot im Quartier.

Abbildung 12 Scatterplot Anzahl Wege – Entropy Index

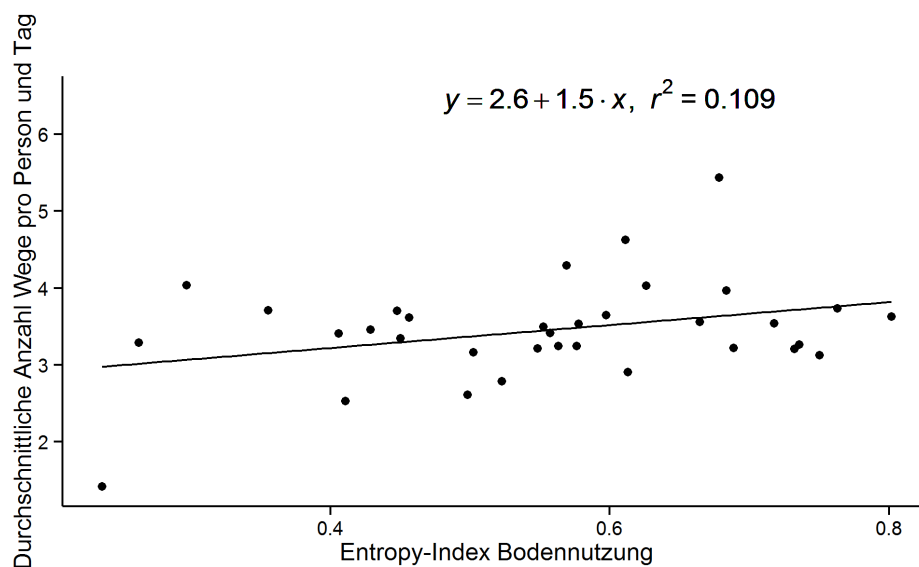


Abbildung 13 zeigt, dass bei einer grösseren Nutzungsdurchmischung grössere Tagesdistanzen zu Fuss oder mit dem Fahrrad (Langsamverkehr) zurückgelegt werden. Auch dies bestätigt die in Kap. 4.1 vorgestellten Trends. Mit fast 9 km durchschnittlicher Tagesdistanz mit Langsamverkehr sticht wiederum das Quartier Escher-Wyss heraus. Die zurückgelegten Wege werden offenbar oft zu Fuss oder mit dem Fahrrad zurückgelegt. Das legt die Vermutung nahe, dass viele Aktivitäten im Quartier selbst ausgeübt werden.

Abbildung 13 Scatterplot Tagesdistanz LV – Entropy Index

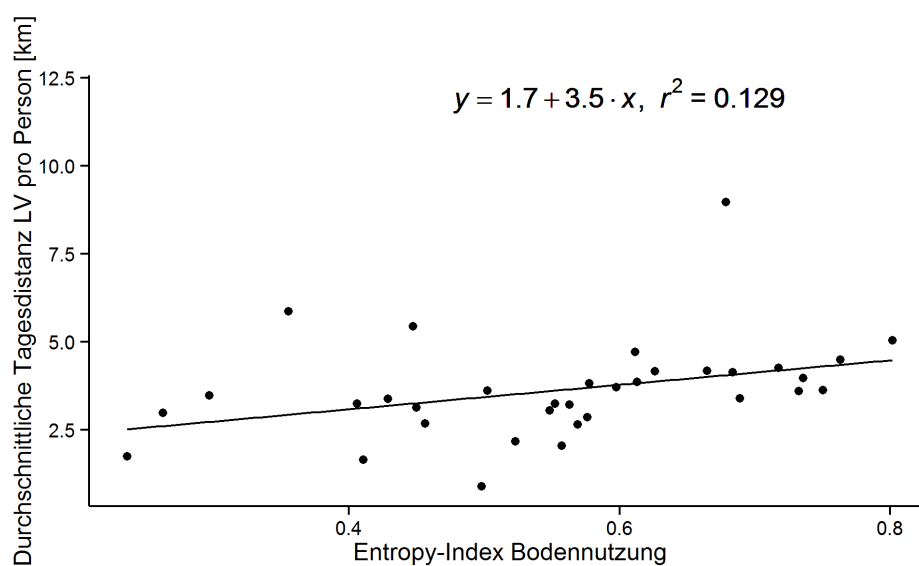


Abbildung 14 zeigt, dass bei einer grösseren Nutzungsdurchmischung auch grössere Tagesdistanzen mit dem öffentlichen Verkehr (Bus, Tram, Zug) zurückgelegt werden. Während die Bewohner des Quartiers Langstrasse die grössten durchschnittlichen Tagesdistanzen mit dem ÖV zurücklegen, legen Bewohner der Quartiere Hochschulen und Lindenhof eine sehr geringe Distanz mit dem ÖV zurück. Das könnte auf der einen Seite daran liegen, dass in diesen Quartieren eher Personen mit einem höheren sozialen Status leben, welche eher das Auto benutzen. Auf der anderen Seite könnte es auch sein, dass generell nur geringe Distanzen zurückgelegt werden, weil die Lage der Quartiere sehr zentral ist.

Abbildung 14 Scatterplot Tagesdistanz ÖV – Entropy Index

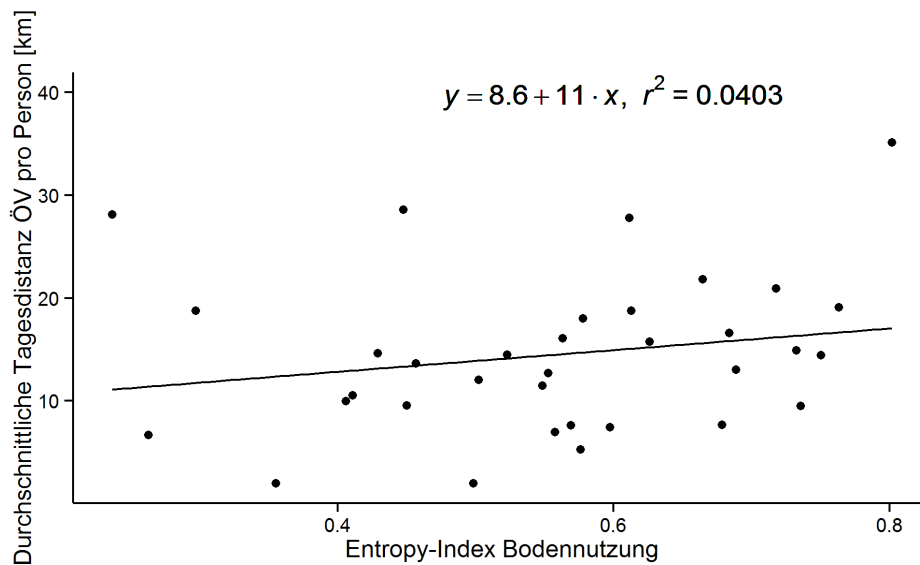
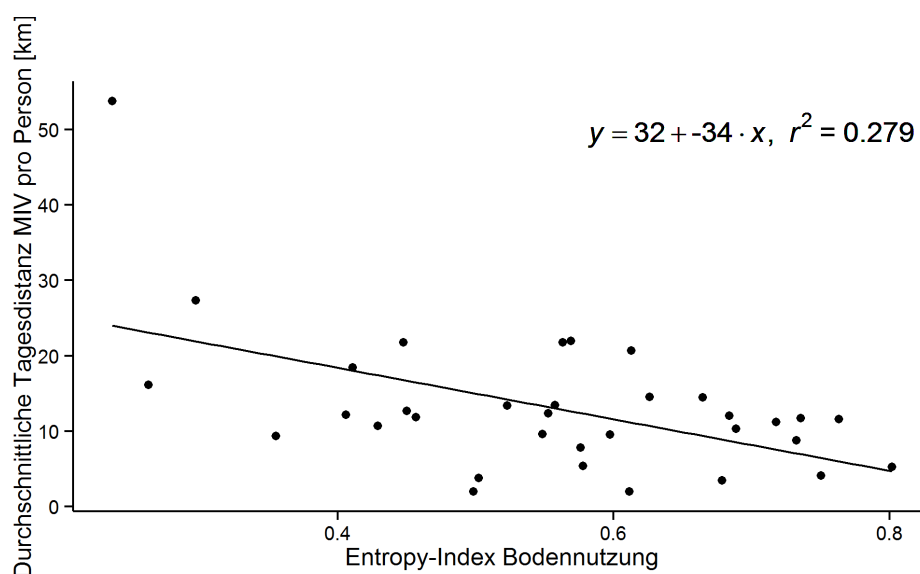


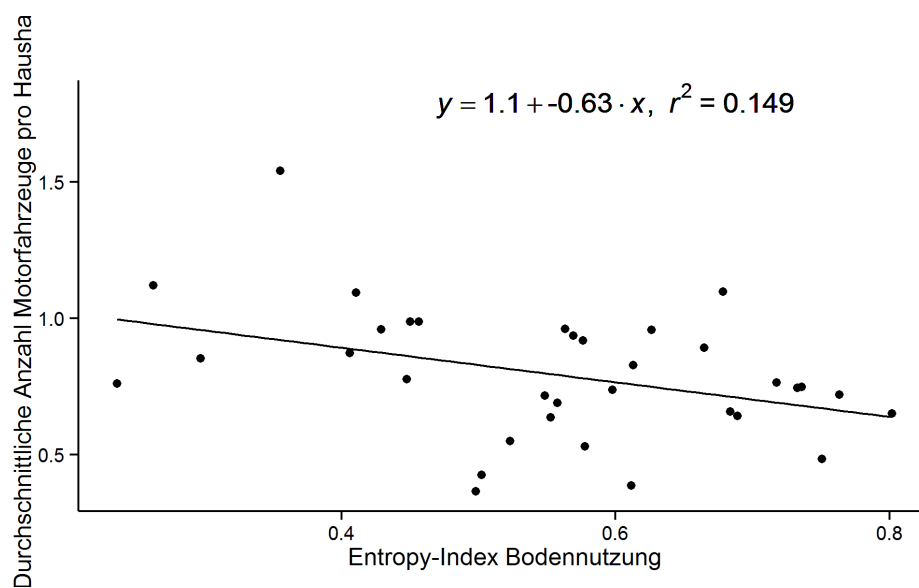
Abbildung 15 illustriert, dass in einem besser nutzungsdurchmischten Quartier geringere Tagesdistanzen mit dem motorisierten Individualverkehr (Auto, Motorrad) zurückgelegt werden. Ein Ausreisser bildet das Quartier City. Dort liegt die durchschnittliche Tagesdistanz mit MIV bei über 50 km. Das könnte daran liegen, dass in diesem Quartier eher Personen mit einem hohen sozialen Status leben, die sehr oft mit dem Auto verkehren.

Abbildung 15 Scatterplot Tagesdistanz MIV – Entropy Index



Das Resultat der Tagesdistanz MIV wird auch dadurch gestärkt, dass auch die Anzahl Motorfahrzeuge pro Haushalt in einem besser nutzungsdurchmischten Gebiet sinken (s. Abbildung 16). Das Quartier Hochschulen hat mit durchschnittlichen 1.5 Fahrzeugen pro Haushalt den höchsten Wert. Dieser Wert stimmt mit der kleinen Tagesdistanz ÖV überein. Das deutet wiederum auf Bewohner mit einem hohen sozialen Status hin. Die Quartiere Lindenhof, Sihlfeld und Gewerbeschule haben dagegen mit einer durchschnittlichen Anzahl von unter 0.5 einen niedrigen Wert.

Abbildung 16 Scatterplot Anzahl Motorfahrzeuge - Entropy Index



#### 4.4 Untersuchung der Zürcher Mobilitätsparameter: Ergebnisse in der Übersicht

Die Scatterplots aus Kapitel 4.3 stützen die Ergebnisse aus bisherigen Studien (vgl. Kap. 4.1). Mit einer überlegten, vorbeugenden Planung kann somit die Mobilität tatsächlich beeinflusst werden. Es wurde zusätzlich der Einfluss der Mischung weiterer Parameter (z.B. Altersdurchmischung) untersucht. Auch hier werden immer die Entropy-Werte als unabhängige Variablen definiert. In Tabelle 7 werden die Regressionskoeffizienten kurz zusammengefasst. Da jedoch der Zusammenhang der weiteren Parameter nicht so klar und nachvollziehbar erscheint, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen. Hervorzuheben ist an dieser Stelle dennoch, dass die Werte von  $R^2$  sehr tief liegen. Dieser Umstand deckt sich mit der Analyse von Bordoloi et al. (2013).

Zusätzlich wurde noch der Einfluss des durchschnittlichen Haushaltseinkommens eines Stadtquartiers auf die Mobilität untersucht (vgl. Anhang). Auch da war das Resultat ähnlich wie erwartet. Je grösser das durchschnittliche Haushaltseinkommen eines Quartiers, desto mehr Wege pro Person werden zurückgelegt, desto mehr Motorfahrzeuge pro Haushalt sind vorhanden und desto grössere Tagesdistanzen werden mit dem MIV zurückgelegt. Dafür nimmt die Tagesdistanz mit dem ÖV mit zunehmendem Haushaltseinkommen ab. Spannend ist jedoch das Ergebnis, dass die Tagesdistanz zu Fuss oder mit dem Fahrrad bei höheren Haushaltseinkommen ebenfalls zunimmt. Dafür wurde keine plausible Erklärung gefunden.

Tabelle 7 Regressionskoeffizienten

Unabhängige Variable (ENT)	Abhängige Variable	a	b	R <sup>2</sup>
Bodennutzung	Anzahl Wege	2.621	1.494	0.109
Ausbildung	Anzahl Wege	-2.512	6.707	0.070
Haushaltseinkommen	Anzahl Wege	3.473	-0.028	0.000
Alter	Anzahl Wege	0.715	3.019	0.043
Sprache	Anzahl Wege	4.167	-1.622	0.020
Haushaltsgrösse	Anzahl Wege	2.662	1.090	0.015
Bodennutzung	Tagesdistanz LV	1.689	3.478	0.129
Ausbildung	Tagesdistanz LV	-7.672	12.701	0.055
Haushaltseinkommen	Tagesdistanz LV	5.128	-1.901	0.030
Alter	Tagesdistanz LV	7.568	-4.358	0.019
Sprache	Tagesdistanz LV	0.688	6.637	0.072
Haushaltsgrösse	Tagesdistanz LV	4.382	-1.053	0.003
Bodennutzung	Tagesdistanz ÖV	8.623	10.521	0.040
Ausbildung	Tagesdistanz ÖV	-12.230	30.020	0.010
Haushaltseinkommen	Tagesdistanz ÖV	3.901	13.320	0.051
Alter	Tagesdistanz ÖV	84.020	-76.770	0.205
Sprache	Tagesdistanz ÖV	5.298	20.748	0.024
Haushaltsgrösse	Tagesdistanz ÖV	37.630	-37.020	0.095
Bodennutzung	Tagesdistanz MIV	32.050	-34.121	0.279
Ausbildung	Tagesdistanz MIV	75.100	-69.740	0.037
Haushaltseinkommen	Tagesdistanz MIV	5.302	9.827	0.018
Alter	Tagesdistanz MIV	27.070	-15.420	0.005
Sprache	Tagesdistanz MIV	17.610	-10.220	0.004
Haushaltsgrösse	Tagesdistanz MIV	12.308	1.091	0.000
Bodennutzung	Anzahl Motorfahrzeuge	1.146	-0.634	0.149
Ausbildung	Anzahl Motorfahrzeuge	2.076	-1.442	0.025
Haushaltseinkommen	Anzahl Motorfahrzeuge	0.966	-0.217	0.014
Alter	Anzahl Motorfahrzeuge	-0.876	1.843	0.228
Sprache	Anzahl Motorfahrzeuge	0.971	-0.401	0.242
Haushaltsgrösse	Anzahl Motorfahrzeuge	-0.057	1.175	0.130

## 5 Fazit

In Zukunft wird die Nachhaltigkeit von Wohngebieten wohl noch an Bedeutung gewinnen. Dabei ist es von Interesse, diese messen zu können. Dazu kann beispielsweise eine der vorgestellten Quantifizierungsmethoden dienen. Auch der Zusammenhang zwischen Nachhaltigkeit und Mobilität ist wichtig. Dabei interessieren insbesondere Faktoren, welche zu einer Reduktion des motorisierten Individualverkehrs führen.

Die Arbeit hat gezeigt, dass es sehr viele verschiedene Quantifizierungsmethoden gibt, welche unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen. Anhand der Zürcher Stadtquartiere wurde die Mischung bezüglich Bodennutzung, Ausbildungsstufen, Einkommen, Alter, Sprache und Haushaltsgrösse untersucht. Dies erfolgte mittels Entropy- und Similarity-Index und es wurde festgestellt, dass es keinen Zusammenhang zwischen diesen beiden Werten gibt. Ist ein Quartier auf Quartiersebene durchmischt, kann es auf Hektarbasis sowohl durchmischt als auch nicht durchmischt sein. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass die Nutzungsmischung der Stadtquartiere einen Einfluss auf die Mobilität ihrer Bewohner hat. In besser nutzungsdurchmischten Quartieren sind die Anzahl Wege pro Tag und Person zwar höher, dafür werden längere Tagesdistanzen mit Langsamverkehr und öffentlichem Verkehr zurückgelegt. Die durchschnittlichen Tagesdistanzen mit dem motorisierten Individualverkehr pro Person und die Anzahl Motorfahrzeuge pro Haushalt sind hingegen geringer.

Es hat sich gezeigt, dass der Dissimilarity Index nicht immer anwendbar ist. Wenn beispielsweise nur die dominante Bodennutzung pro Hektarzelle in den Daten vorhanden ist, ergeben sich für den Similarity Index Nullwerte. Interpretationen sind keine möglich. Es wäre denkbar, andere bzw. weitere Daten zu verwenden, um auch für die Bodennutzung und das Haushaltseinkommen den Similarity Index berechnen zu können. Ausserdem könnten dann auch noch weitere Parameter bezüglich ihrer Mischung untersucht werden.

Bei der Berechnung der Nutzungsmischung hat sich ausserdem gezeigt, dass Industrie- und Gewerbenutzung zu unterscheiden wären. So wären die Entropy-Werte für das Quartier City wohl auch höher ausgefallen.

Rückblickend wäre eine alternative Herangehensweise bei der Bewertung der Mischung der Zürcher Stadtquartiere denkbar. Man könnte jeweils nur eine Nutzungsklasse betrachten und dann untersuchen, wie viel Fläche von dieser Nutzungsklasse und wie viel Fläche von anderen Nutzungsklassen eingenommen wird. Dabei wäre zum Beispiel die Mischung von Wohn- und Nichtwohngebieten (bzw. Gewerbe- und Nichtgewerbegebieten) zu analysieren. So könn-

ten auch binäre Indizes angewendet werden. Die Ergebnisse pro Parameter (z.B. Nutzungsklassen) müssten dann am Schluss gemeinsam betrachtet werden.

Durch die Gegenüberstellung der Quantifizierungsmethoden und der Analyse der Zürcher Stadtquartiere hat sich gezeigt, dass eine Kombination von integralen und differenzierten Methoden wünschenswert wäre. Es wurde leider kein entsprechender Index ausfindig gemacht, der beide Arten in einem Index kombiniert.

Die statistische Analyse des Mobilitätsverhaltens wäre zu erweitern. Einerseits könnten die weiteren untersuchten Mischungsparameter (z.B. Alter) in Kombination mit der Bodennutzung untersucht werden. Vielleicht ergäbe sich so eine Interaktion, die Auswirkungen in der Mobilität zeigen. Andererseits wird die Mobilität von vielen anderen Variablen beeinflusst (z.B. räumliche Dichte, sozioökonomische Merkmale, Topographie, Haltestellendichte). Diese könnten in einer integrierten Analyse (vgl. Bordoloi et al., 2013) gemeinsam betrachtet werden.

In einer weiteren Arbeit wäre es ausserdem interessant, dieselbe Analyse mit einer anderen Stadt durchzuführen und mit Zürich zu vergleichen. Was ist ähnlich, wo zeigen sich Unterschiede?

Die Analysen in dieser Arbeit haben auf jeden Fall gezeigt, dass es sich durchaus lohnt, die Mischung von Wohngebieten, insbesondere die Nutzungsmischung, zu untersuchen und zu quantifizieren, da daraus ein Einfluss auf die Mobilität erkennbar ist.



## 6 Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Als erstes möchte ich Prof. Kay W. Axhausen für die Begleitung und die interessanten Inputs danken.

Dann gilt mein Dank Kirill Müller, der mir mit viel Geduld bei der Umsetzung in R geholfen hat und mich mit vielen Tipps und Anregungen unterstützt hat.

Zum Schluss möchte ich dem Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich für die Beschaffung der Daten danken.

## 7 Literaturverzeichnis

Atkinson, A. B. (1970) On the Measurement of Inequality, *Journal of Economic Theory*, **2** (3) 244–263.

Bordoloi, R., A. Mote, P. P. Sarkar und C. Mallikarjuna (2013) Quantification of land use diversity in the context of mixed land use, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **104**, 563–572.

Bretschneider, B. (2007) *Remix City*, **27**, Lang, Frankfurt am Main.

Brown, B. B., I. Yamada, K. R. Smith, C. D. Zick, L. Kowaleski-Jones und J. X. Fan (2009) Mixed land use and walkability: Variations in land use measures and relationships with BMI, overweight, and obesity, *Health & Place*, **15** (4) 1130–1141.

Bundesamt für Statistik (2005) *Eidgenössische Volkszählung 2000*, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2007) *Quartiergrenzen von Schweizer Städten*, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2013) *Arealstatistik nach Nomenklatur 2004 – Standard*, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2011) *Mobilität in der Schweiz: Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2012) *Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*, Neuchâtel.

Cervero, R. und M. Duncan (2003) Walking, bicycling, and urban landscapes: Evidence from the San Francisco Bay area, *American Journal of Public Health*, **93** (9) 1478–1483.

Cervero, R. und K. Kockelman (1997) Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design, *Transportation Research*, **2** (3) 199–219.

Dark, S. J. und D. Bram (2007) The Modifiable Areal Unit Problem in Physical Geography, *Progress in physical geography*, **31** (5) 471–479.

Duncan, O. D. und B. Duncan (1955) A methodological analysis of segregation indexes, *American Sociological Review*, **20** (2) 210–217.

- Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen (2014) *Glossar*, <http://www.sport.admin.ch/compi/glossar.php?a=einkommensklassen#einkommensklassen>, Mai 2014.
- Evans, G. und J. Foord (2007) The Generation of Diversity: Mixed-Use and Urban Sustainability, in K. Thwaites, S. Porta, O. Romice und M. Greaves (Hrsg.), *Urban Sustainability Through Environmental Design* 95–100, Routledge, London.
- Ewing, R. und R. Cervero (2010) Travel and the Built Environment, *Journal of the American Planning Association*, **76** (3) 265–294.
- Ewing, R., M. Greenwald, M. Zhang, J. Walters, R. Cervero, L. Frank, S. Kassa und J. Thomas (2010) Traffic Generated by Mixed-Use Developments, *Journal of Urban Planning and Development*, **137** (3) 248–261.
- Faik, J. (2007) *Verteilungsmaße: Theorie und Empirie*, [http://vwl.faik.net/downloads/vortraege/2007-11-13\\_Lueneburg.pdf](http://vwl.faik.net/downloads/vortraege/2007-11-13_Lueneburg.pdf), o. A., Lüneburg, März 2014.
- Frank, L. D., M. J. Greenwald, S. Kavage und A. Devlin (2011) *An Assessment of Urban Form and Pedestrian and Transit Improvements as an Integrated GHG Reduction Strategy*, Urban Design 4 Health, Inc., Seattle.
- Franz, L. (1978) *Minimierung des Verkehrsaufkommens durch Optimierung der Nutzungsmischung*, Institut für Stadtbauwesen, Aachen.
- Frumkin, H., L. D. Frank und R. Jackson (2004) *Urban Sprawl and Public Health*, Island, Washington D.C.
- Kuzmyak, R. J. und R. H. Pratt (2003) *Land Use and Site Design*, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Lawton, T. K. (o. J.) *The Urban Structure and Personal Travel: An Analysis of Portland, or Data and Some National and International Data*, [http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/conf\\_proceedings/CF170z1-1/CF170.1.lawto.pdf](http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/conf_proceedings/CF170z1-1/CF170.1.lawto.pdf), Mai 2014.
- Lelévrier, C. (2013) Social mix neighbourhood policies and social interaction: The experience of newcomers in three new renewal developments in France, *Cities*, **35** (December) 409–416.

- Litman, T. A. (2014) *Land Use Impacts on Transport*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria.
- Massey, D. S. und N. A. Denton (1988) The dimensions of residential segregation, *Social Forces*, **67** (2) 281–315.
- Mugnano, S. und P. Palvarini (2013) “Sharing space without hanging together”: A case study of social mix policy in Milan, *Cities*, **35** (December) 417–422.
- Musterd, S. und W. Ostendorf (2012) Social Mix in Western Countries, *International Encyclopedia of Housing and Home*, **6**, 469–472.
- Sakoda, J. M. (1981) A generalized index of dissimilarity, *Demography*, **18** (2) 245–250.
- Smyth, J. (1992) The Economic Power of Sustainable Development: Building the new American Dream, in B. Walter, L. Arkin und R. Crenshaw (Hrsg.), *Sustainable Cities*, Eco-Home Media, Los Angeles.
- Song, Y. und G. J. Knaap (2004) Measuring the effects of mixed land uses on housing values, *Regional Science and Urban Economics*, **34** (6) 663–680.
- Song, Y., L. Merlin und D. Rodriguez (2013) Comparing measures of urban land use mix, *Computers, Environment and Urban Systems*, **42** (November) 1–13.
- Spears, S., M. Boarnet und S. Handy (o. J.) *Policy Brief on the Impacts of Land Use Mix Based on a Review of the Empirical Literature*, California Air Resources Board, Sacramento.
- Sperry, B. R., M. W. Burris und E. Dumbaugh (2012) A Case Study of Induced Trips at Mixed-Use Developments, *Environment and Planning B: Planning and Design*, **39** (4) 698–712.
- Tomalty, R. und M. Haider (2009) *BC Sprawl Report*, Smart Growth BC, Vancouver.
- Transportation Research Board (2005) *Does the Built Environment Influence Physical Activity?*, Institute of Medicine, Washington D.C.
- Wang, X., A. Khattak und Y. Zhang (2013) Is Smart Growth Associated with Reductions in Carbon Dioxide Emissions?, *Transportation Research Record*, **2375**, 62–70.

## Anhänge

### A 1 Umformung des Dissimilarity Index nach Sakoda (1981) gemäss Song et al. (2013)

Bei der Umsetzung der Formel nach Song et al. (2013) waren die Index-Werte teilweise grösser als 1. Aus diesem Grund wurde die Formel nach Sakoda (1981) verwendet und so umgeformt, dass es der Terminologie von Song et al. (2013) entspricht. Diese Umformung legt nahe, dass die Formel in Song et al. (2013) fehlerhaft notiert wurde. In Tabelle 8 werden sich die Variablennamen der beiden Autoren gegenübergestellt. Das wird als Grundlage für die Umformung der Formel verwendet.

Tabelle 8 Variablen nach Sakoda (1981) bzw. Song et al. (2013)

Sakoda (1981)	Song et al. (2013)	Bedeutung
$D_G$		$D(k)$ generalisierter Dissimilarity Index
$i$		$i$ Zone
$j$		$j$ Nutzungsklasse
-		$k$ Anzahl Nutzungsklassen
$N_{ij}$		$x_i^j$ Fläche der Nutzungsklasse $j$ in Zone $i$
$N_i$	$X_i = \sum_{j=1}^n x_i^j (= z_i)$	Gesamtfläche aller Nutzungsklassen in Zone $i$
$N_j$	$\sum_{i=1}^k x_i^j = X^j$	Gesamtfläche der Nutzungsklasse $j$ im Untersuchungsgebiet (Stadtquartier)
$N$		$Z$ Gesamtfläche aller Nutzungsklassen im Untersuchungsgebiet (Stadtquartier)
$\frac{N_{ij}}{N_j}$	$\frac{x_i^j}{X^j} = r_i^j$	-
$P_j = \frac{N_j}{N}$	$\frac{X^j}{Z} = p^j$	-
$E_{ij} = \frac{N_i \cdot N_j}{N}$	$\frac{z_i \cdot X^j}{Z}$	-

Die ursprüngliche Formel nach Sakoda (1981) sieht wie folgt aus:

$$D_G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_j \sum_i |N_{ij} - E_{ij}|}{\sum_j N \cdot P_j \cdot (1 - P_j)}$$

Die Formel nach Song et al. (2013) sieht folgendermassen aus:

$$D(k) = 0.5 \sum_j \frac{1}{(Z - X^j)} \sum_i |Z \cdot r_i^j - z_i|$$

Bei der Umformung von der ursprünglichen Formel werden zuerst die Variablen entsprechend Song et al. (2013) ersetzt und schliesslich wird versucht, möglichst nahe an die Formel von Song et al. (2013) zu kommen. In hellgrau wird angezeigt, wo eine Veränderung vorgenommen wird und in dunkelgrau wird hervorgehoben, wie sich die umgeformte Formel von der Formel nach Song et al. (2013) unterscheidet.

$$\begin{aligned} D_G &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_j \sum_i |N_{ij} - E_{ij}|}{\sum_j N \cdot P_j \cdot (1 - P_j)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{ij} \left| x_i^j - \frac{z_i \cdot X^j}{Z} \right|}{\sum_j Z \cdot \frac{X^j}{Z} \cdot \left(1 - \frac{X^j}{Z}\right)} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{ij} \left| x_i^j - \frac{z_i \cdot X^j}{Z} \right|}{\sum_j X^j \cdot \left(1 - \frac{X^j}{Z}\right)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Z \cdot \sum_{ij} \left| x_i^j - \frac{z_i \cdot X^j}{Z} \right|}{\sum_j X^j \cdot (Z - X^j)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{ij} |Z \cdot x_i^j - z_i \cdot X^j|}{\sum_j X^j \cdot (Z - X^j)} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sum_j X^j \cdot (Z - X^j)} \cdot \sum_{ij} |Z \cdot x_i^j - z_i \cdot X^j| \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sum_j X^j \cdot (Z - X^j)} \cdot \sum_j X^j \cdot \sum_i \left| Z \cdot \frac{x_i^j}{X^j} - z_i \right|^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sum_j X^j \cdot (Z - X^j)} \cdot \sum_j X^j \cdot \sum_i |Z \cdot r_i^j - z_i|^3 \end{aligned}$$

$$^2 \sum_i \begin{cases} \left| Z \cdot \frac{x_i^j}{X^j} - z_i \right| & : X^j \neq 0 \\ 0 & : X^j = 0 \end{cases}$$

$$^3 \sum_i \begin{cases} |Z \cdot r_i^j - z_i| & : X^j \neq 0 \\ 0 & : X^j = 0 \end{cases}$$

## A 2 Implementierung mit R 3.1.0

In einem ersten Script (Berechnung.R) wurde eine Funktion erarbeitet, welche aus einem entsprechend vorbereiteten Datensatz den Entropy sowie den Similarity Index berechnet. In weiteren sechs Scripts (Bodennutzung.R, Höchste Ausbildung.R, Haushaltseinkommen.R, Alter.R, Hauptsprache.R, Haushaltsgrösse.R) werden die Datensätze als erstes auf die Stadt Zürich reduziert und dann so strukturiert und vorbereitet, dass die Indizes mit der Funktion aus ‚Berechnung.R‘ berechnet werden können. Danach werden die Index-Werte als Karte dargestellt. Die Skala liegt dabei bei allen Parametern zwischen 0.2 und 1, damit die Werte untereinander vergleichbar sind. Es folgt eine kurze statistische Analyse zu den Index-Werten.

Die Analyse mit dem Mikrozensus sind in zwei Scripts (MZ\_Zielpers.R, MZ\_Haushalte.R) zu finden. Die Daten werden zuerst aufbereitet. Danach werden pro Stadtquartier die durchschnittlichen Werte der untersuchten Parameter (Anzahl Wege pro Person, Anzahl Motorfahrzeuge pro Haushalt etc.) berechnet. Es folgt eine statistische Analyse der Mobilitätsparameter in Zusammenhang mit den Entropy-Werten der untersuchten Mischungsparametern.

Die Scripts sind so aufbereitet, dass die Analyse reproduzierbar ist (Reproducible Research). Sie sind alle auf der beigelegten DVD vorhanden.

### A 3 Scatterplots mit Regressionsgerade: Entropy versus Similarity

Abbildung 17 Mix der höchsten Ausbildungsstufen: Scatterplot Similarity- Entropy

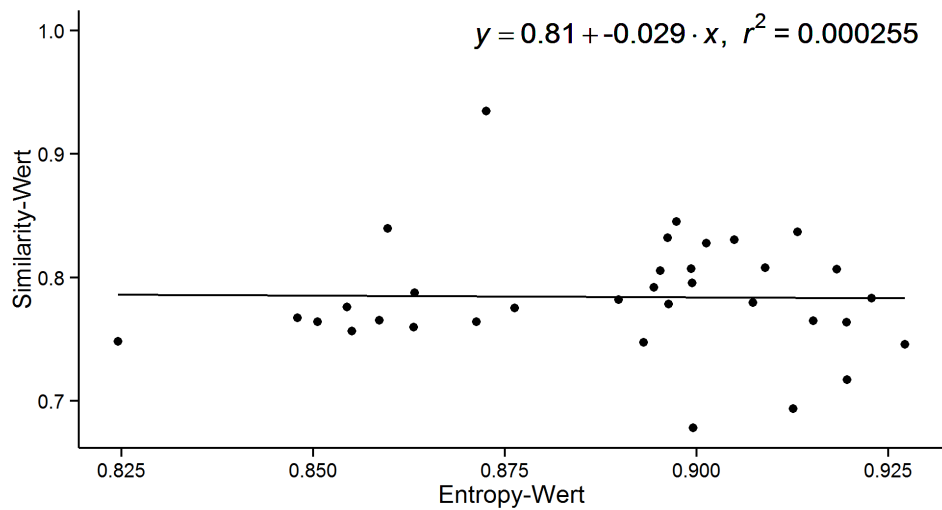


Abbildung 18 Altersdurchmischung: Scatterplot Similarity- Entropy

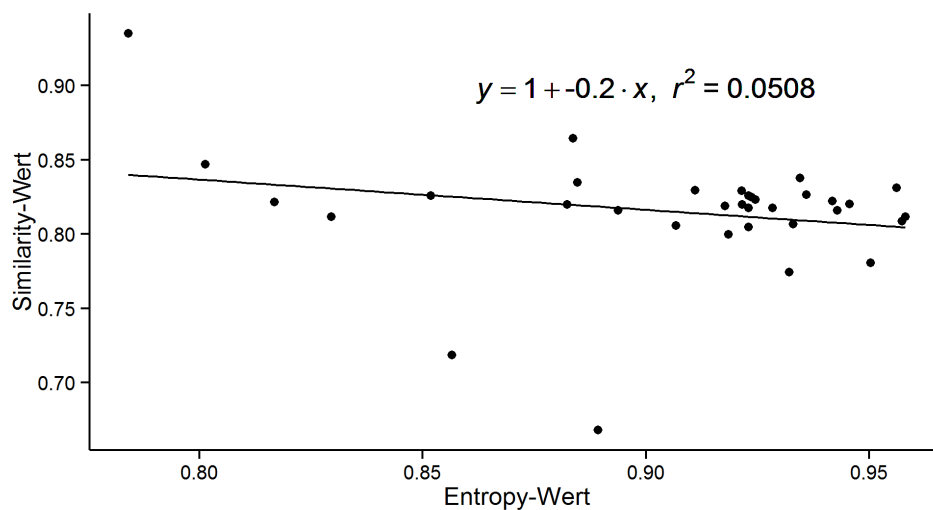




Abbildung 19 Sprachenvielfalt: Scatterplot Similarity- Entropy

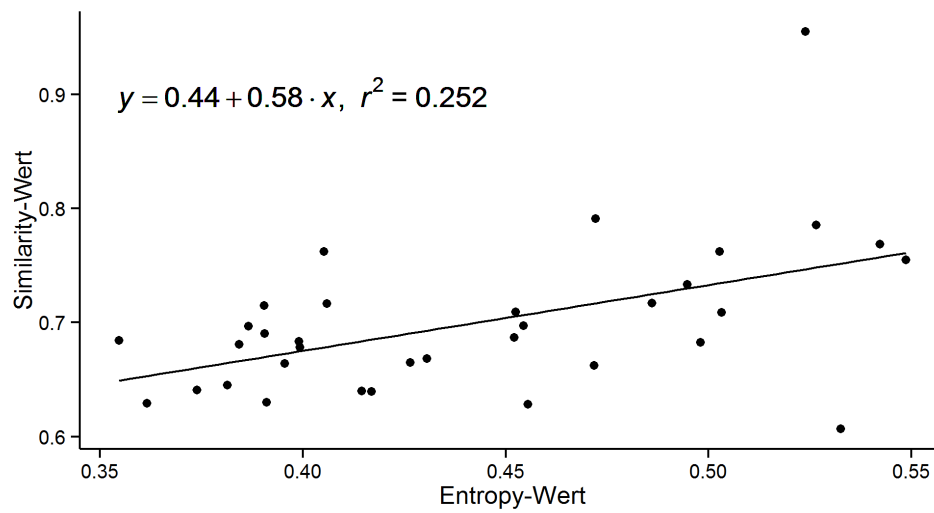
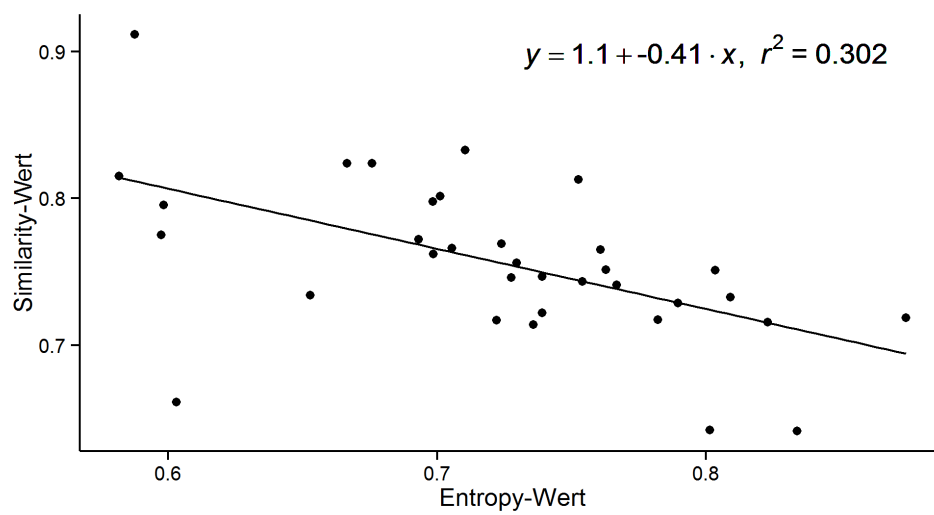
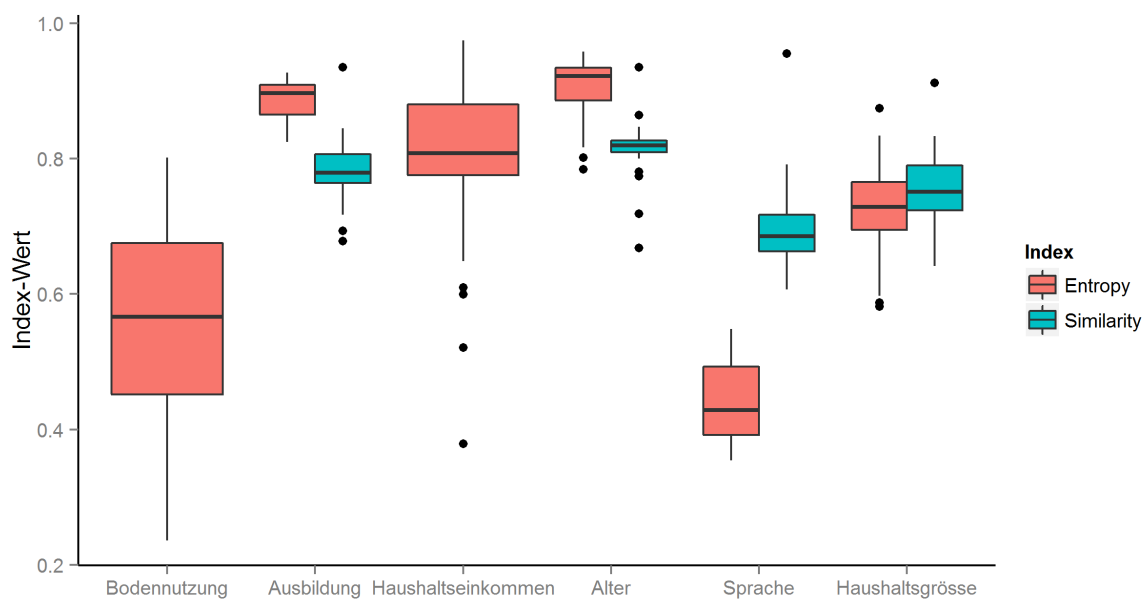


Abbildung 20 Mischung der Haushaltsgrößen: Scatterplot Similarity- Entropy



## A 4 Verteilung der Werte von Entropy und Similarity

Abbildung 21 Boxplot zur Verteilung der Index-Werte



## A 5 Parameter des Mikrozensus

Abbildung 22 Durchschnittliche Anzahl Wege pro Person (je Stadtquartier)

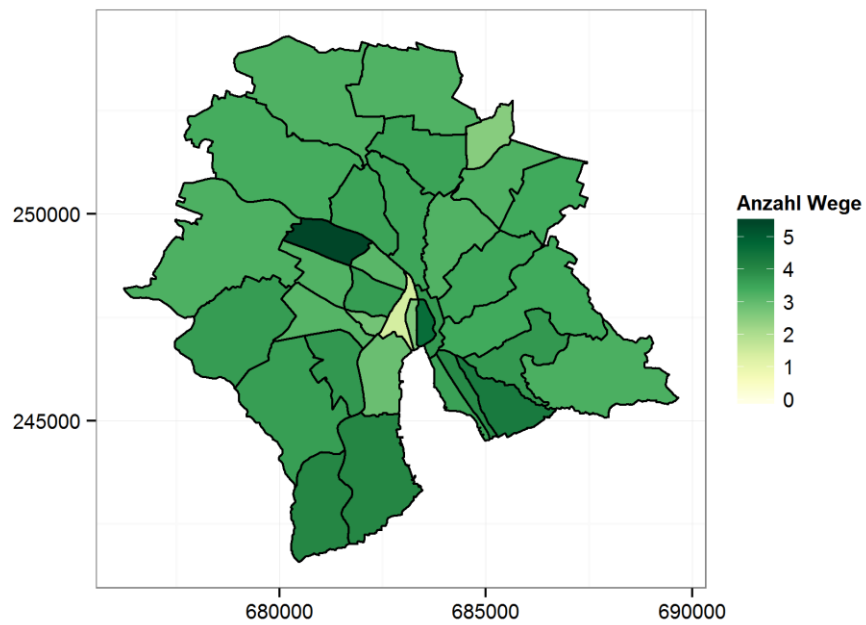


Abbildung 23 Durchschnittliche Tagesdistanz LV pro Person (je Stadtquartier)

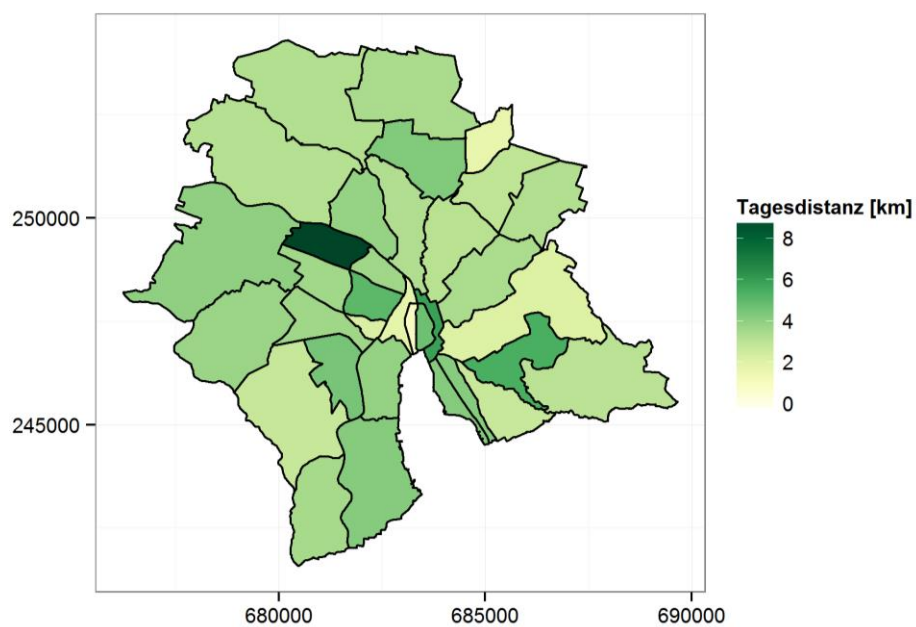


Abbildung 24 Durchschnittliche Tagesdistanz ÖV pro Person (je Stadtquartier)

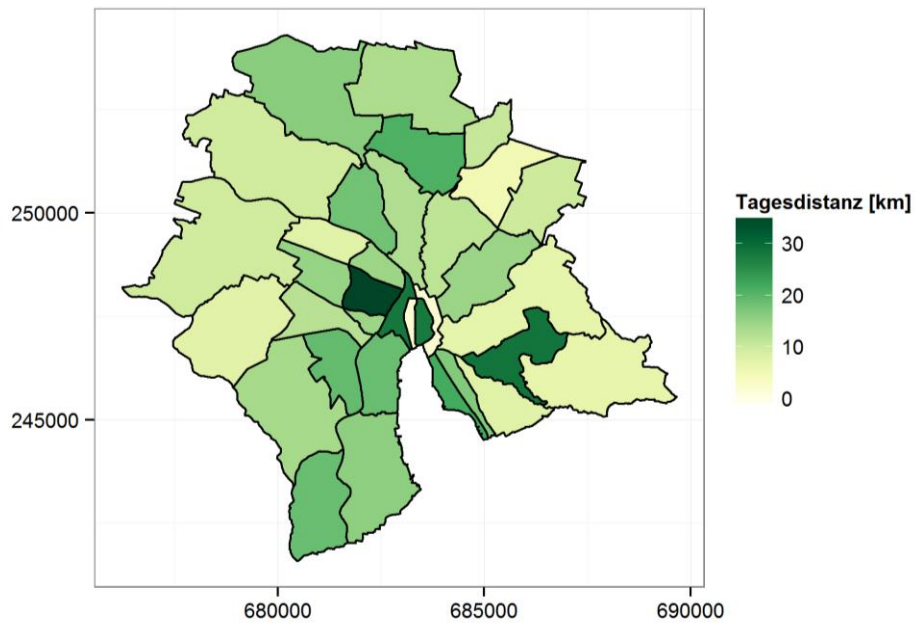


Abbildung 25 Durchschnittliche Tagesdistanz MIV pro Person (je Stadtquartier)

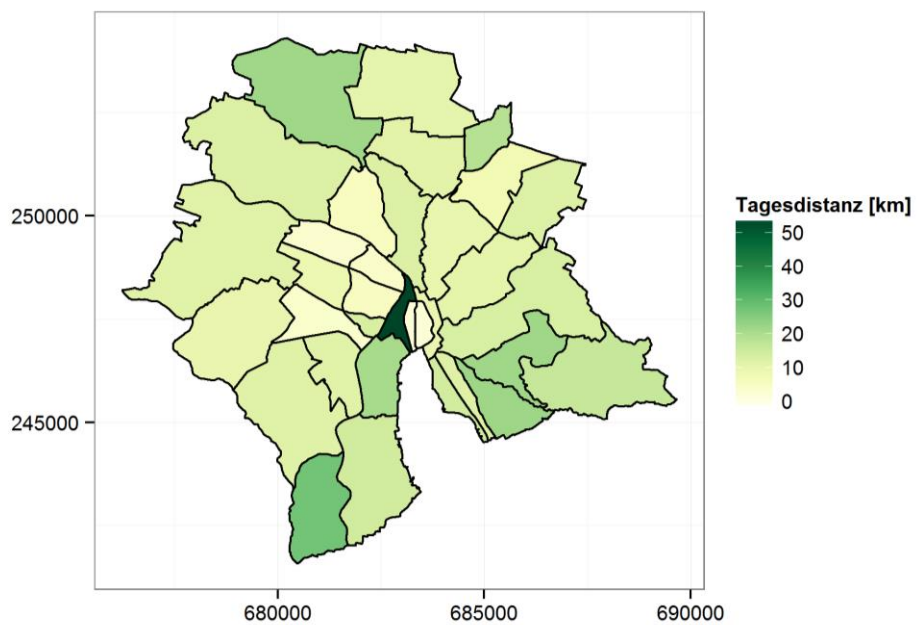
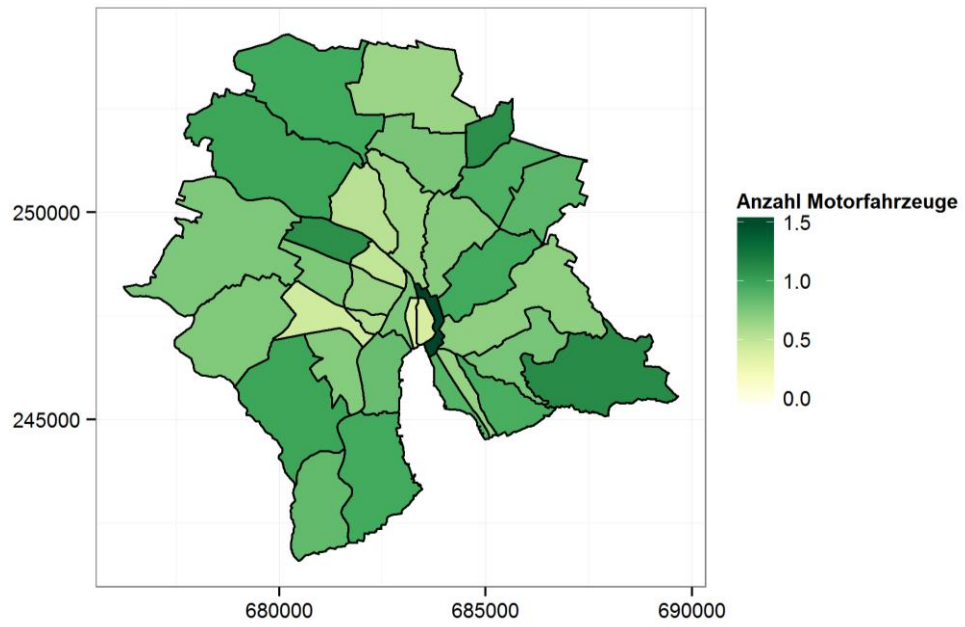


Abbildung 26 Durchschnittliche Anzahl Motorfahrzeuge pro Haushalt (je Stadtquartier)



## A 6 Durchschnittliches Haushaltseinkommen und dessen Einfluss auf die Mobilität

Abbildung 27 Durchschnittliches Haushaltseinkommen der Zürcher Stadtquartiere

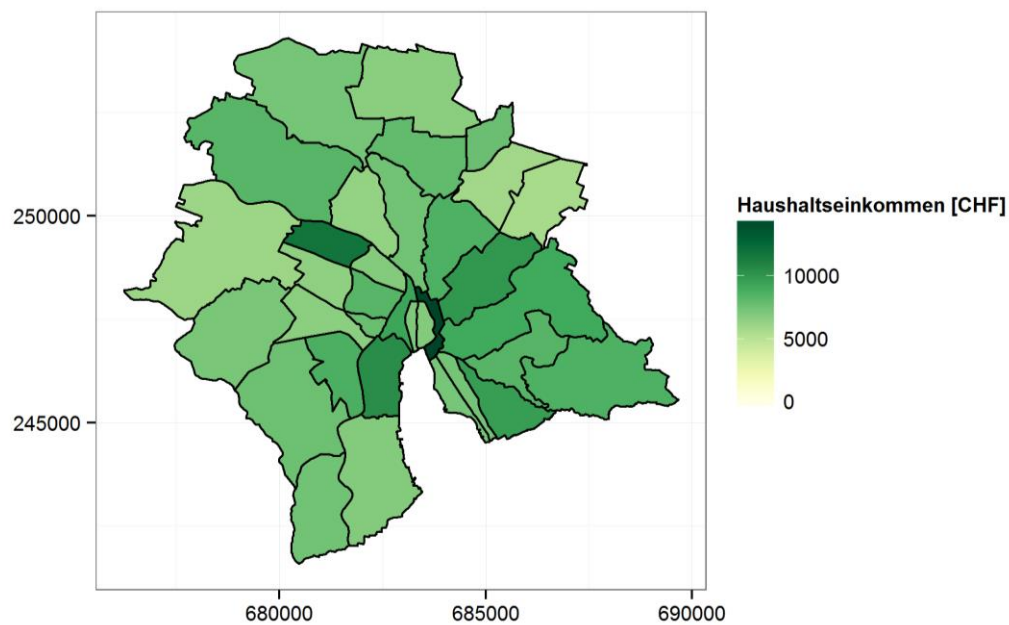


Abbildung 28 Scatterplot Anzahl Wege - Haushaltseinkommen

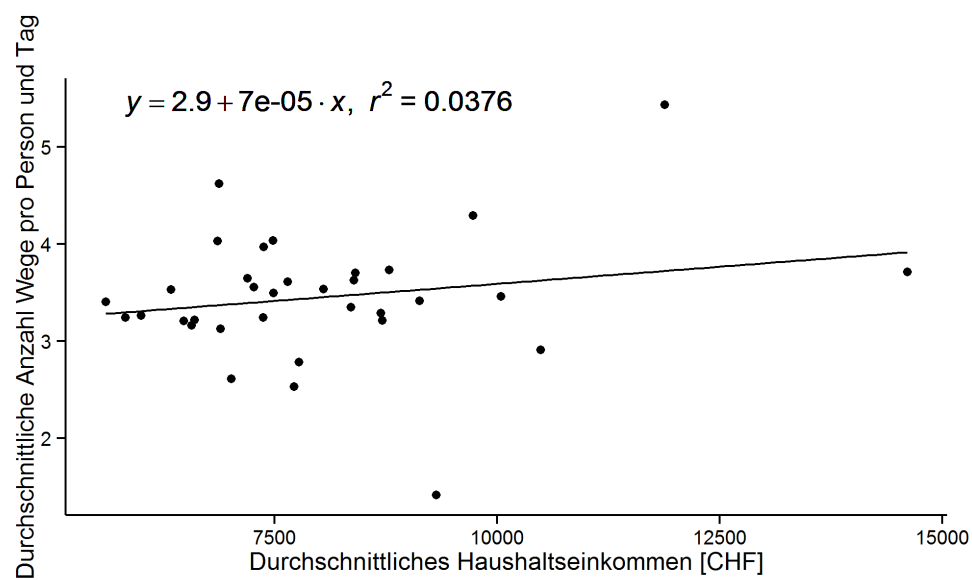


Abbildung 29 Scatterplot Tagesdistanz LV - Haushaltseinkommen

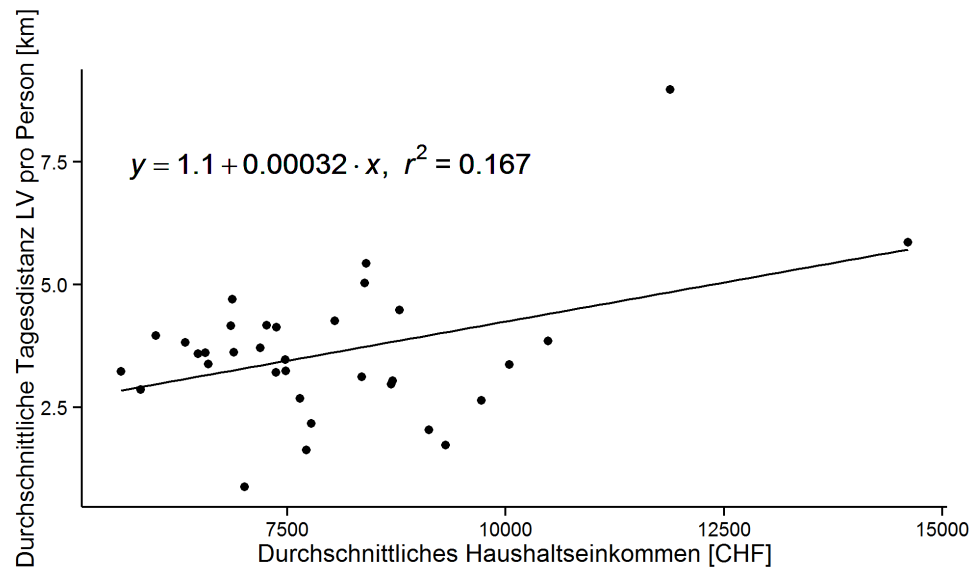


Abbildung 30 Scatterplot Tagesdistanz ÖV - Haushaltseinkommen

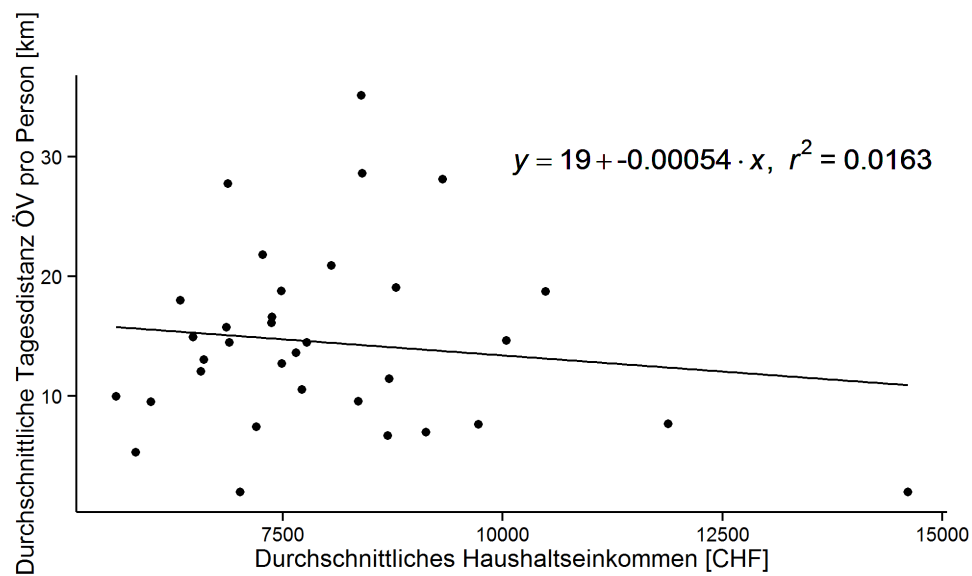


Abbildung 31 Scatterplot Tagesdistanz MIV - Haushaltseinkommen

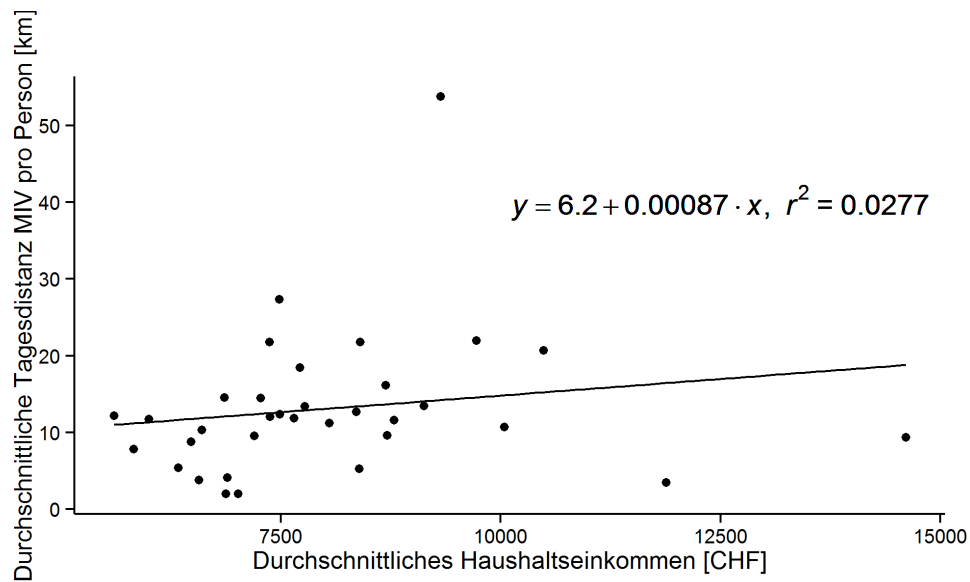
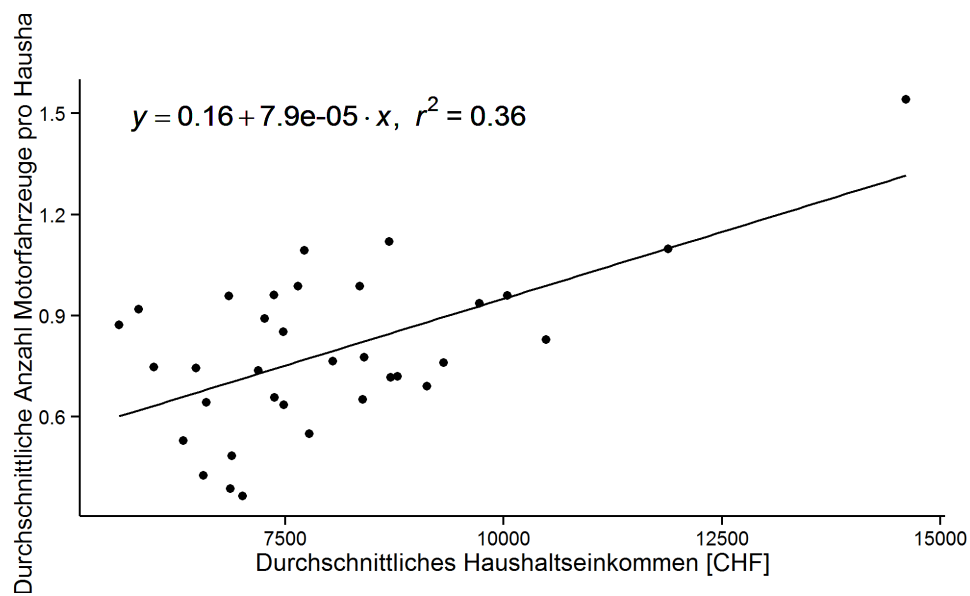


Abbildung 32 Scatterplot Anzahl Motorfahrzeuge - Haushaltseinkommen





## **Persönliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, sie oder Teile davon zuvor nicht für andere Qualifikationsarbeiten verwendet und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Plagiatsverordnung der ETH Zürich wird zur Kenntnis genommen.

Andrina Kuhn

Zürich, 02. Juni 2014