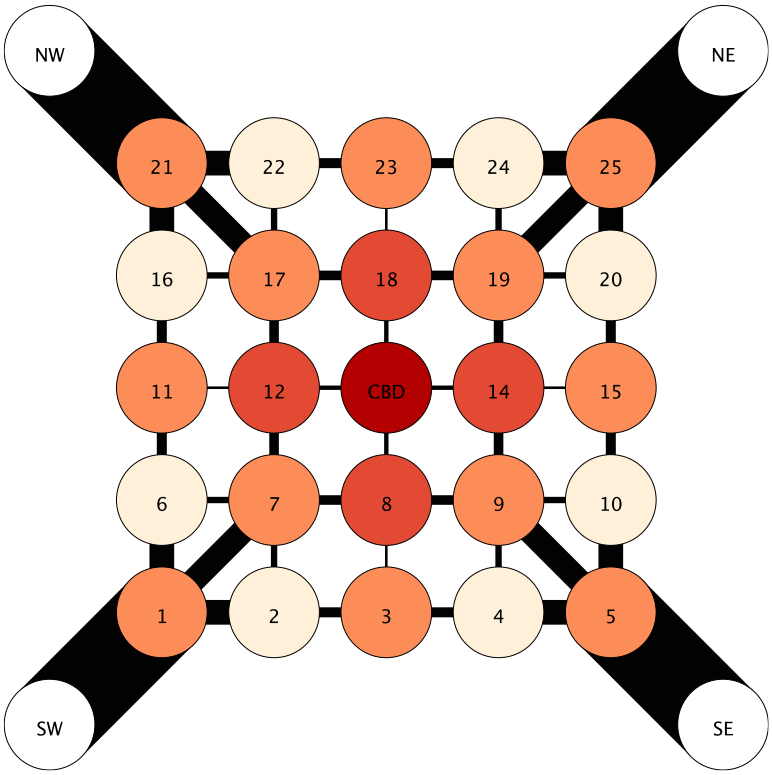


Ein Modell des ruhenden Verkehrs in Zürich: Validation und Massnahmenbewertung

Matthias Oswald

Leitung: Prof. Dr. Kay W. Axhausen
Betreuung: Renger van Nieuwkoop, Rashid A. Waraich

Masterarbeit
Msc Raumentwicklung und Infrastruktursysteme **Juli 2012**

IVT Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Inhaltsverzeichnis

1 Dank 3

2 Einleitung 4

3 Grundlagen 5

3.1 Parkraumbewirtschaftung 5

3.2 Parkierungsmodelle 9

3.3 Modell-Ansatz 12

4 Parkieren in Zürich 15

4.1 Analysen zum ruhenden Verkehr 15

4.2 Erhebung Fussgängerdistanzen 27

5 Zürich Szenario 36

5.1 GIS-Softwareumgebung und Methodik 36

5.2 Zonenbildung 36

5.3 Netzwerk 38

5.4 Nachfrage 39

6 Massnahmenbewertung 42

6.1 Versuchsplan 42

6.2 Resultate 44

7 Fazit und Ausblick 49

8 Literatur 51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Fiktive Beispielstadt: Netz und Knoten 14

Abbildung 2 Einzugsgebiet des historischen Kompromisses 16

Abbildung 3 Parkplatzdichte nach Stadtquartieren 17

Abbildung 4 Gebühren und Grösse von Parkhäusern 19

Abbildung 5 Parkgebühr und Abstand der Parkhäuser von der Bahnhofstrasse 20

Abbildung 6 Anteil privater Parkierung (ohne Parkhäuser) nach Stadtquartier 21

Abbildung 7 Verhältnis privat zu öffentlich zugänglicher Parkierung 23

Abbildung 8 Anteil Blauer Zone an öffentlichen Parkplätzen nach Stadtquartier 24

Abbildung 9 Parkdruck in Blauer Zone 25

Abbildung 10 Gebiete mit höherer Gebühr gemäss PPV 26

Abbildung 11 Lage der Erhebungsgebiete: Neun Strassenabschnitte in Blauer Zone und drei Parkhäuser 28

Abbildung 12 Strassenabschnitte (1.Erhebung): Wipkingen, Allenmoos, Römerhof, Witkikon (von rechts nach links und oben nach unten) 30

Abbildung 13 Strassenabschnitte (2.Erhebung): Leimbach, Seebach, Affoltern, Unterstrass, Wiedikon (von rechts nach links und oben nach unten) 31

Abbildung 15 Strassenabschnitte (1.Erhebung): Wipkingen, Allenmoos, Römerhof, Witkikon (von rechts nach links und oben nach unten) 31

Abbildung 15 Zoneneinteilung Zürich Szenario 37

Abbildung 16 Interpolierte Parkhausgebühren nach Zone 38

Abbildung 17 Strassennetz MATSim vs. TAM-Modell (Linienbreite: Kapazität) 39

Abbildung 18 MIV-Zieldichte pro Stunde 40

Abbildung 19 Strecken in der Innenstadtmaut 43

Abbildung 20 Parkhausgebühr im Szenario: Optimale Strassengebühr 45

Abbildung 21 Parkhausgebühr: Verordnung (links) vs. Kapazität PH-25% (rechts) .. 46

Abbildung 22 Szenario 6: Kombination von optimaler Parkgebühr im Strassenraum (links) und streckenabhängiger Maut (rechts) 47

Abbildung 23 Parkhausgebühr im Szenario: Optimale Strassengebühr 48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Auswirkungen von Massnahmen im ruhenden Verkehr 8

Tabelle 2 Umsätze je Parkfeld in der Innenstadt [CHF] 18

Tabelle 3 Belegung in Blauer Zone 33

Tabelle 4 Resultate Erhebung: Gehdistanzen in Blauer Zone 34

Tabelle 5 Resultate Erhebung: Gehdistanzen in Parkhäusern 35

Tabelle 6 Versuchsplan: Szenarien 44

Tabelle 7 Parkfeldwahlverhalten bei heterogenen Agenten (Szenario: Nutzergleichgewicht) 48

Masterarbeit Msc Raumentwicklung und Infrastruktursysteme

Ein Modell des ruhenden Verkehrs in Zürich: Validation und Massnahmenbewertung

Matthias Oswald
Stalden 14
CH - 6344 Meierskappel

matthiasoswald@hotmail.com

Juli 2012

Kurzfassung

Die Bewirtschaftung des Parkraums agiert als Bindeglied zwischen Raumplanung und Verkehr. Mit numerischen Gleichgewichtsmodellen können politische Massnahmen quantifiziert und verglichen werden. In dieser Arbeit wird ein Ansatz verwendet, welcher die Parkfeldwahl in ein Verkehrsmodell einbindet. Das Modell wurde als Optimierungsproblem mit Komplementeritätsnebenbedingungen formuliert, bei welchem die Minimierung der Kosten der Benutzer die obere Ebene und das Nutzergleichgewicht die untere Ebene darstellt. Verschiedene Szenarien zu Politikmassnahmen wurden in einer monozentrischen Beispielstadt getestet und ergaben realistische Resultate. Zur Anwendung des Modellansatzes in einem realen Umfeld wurden die Grundlagen für die Stadt Zürich bereitgestellt und die Parksituation analysiert. Dabei wurde auch eine empirische Erhebung zu den Gehdistanzen zwischen Parkfeld und Wohnadresse durchgeführt. Diese liegen in der Blauen Zone zwischen 40 m und 110 m und sind vom vorherrschenden Parkdruck abhängig. In Parkhäusern sind die Distanzen länger (200 m).

Schlagworte

Ruhender Verkehr; Stadt Zürich; Gleichgewichtsmodell; Parkraumbewirtschaftung; Massnahmenbewertung; Erhebung Gehdistanzen; Blaue Zone; Parkdruck

Zitierungsvorschlag

Oswald, M. (2012) Ein Modell des ruhenden Verkehrs in Zürich: Validation und Massnahmenbewertung, *Masterarbeit*, IVT, ETH Zürich, Zürich.

1 Dank

Die vorliegende Masterarbeit bildet den Abschluss meines Masterstudiums in Raumentwicklung und Infrastruktursysteme an der ETH Zürich. Zum Gelingen dieser Arbeit haben verschiedene Personen massgebend beigetragen:

Ich möchte mich bei Professor Kay W. Axhausen für die Leitung der Arbeit bedanken. Bei den zahlreichen Zwischenbesprechungen erhielt ich jeweils wegweisende Inputs. Auch seine für Studenten jederzeit offene Tür habe ich während des ganzen Studiums sehr geschätzt.

Zusätzlich möchte ich Rashid A. Waraich danken. Er unterstützte mich vor allem bei der Bereitstellung der Daten und Interpretation der Analysen zum Parkieren. Zudem half er mir mit Ratschlägen und Gedankenanstössen im Bereich Verkehr.

Weiter geht mein Dank an Renger van Nieuwkoop, der für meine Arbeit das Gleichgewichtsmodell in GAMS erweiterte. Diese Erweiterung war mit hohem zeitlichem Aufwand verbunden und hat sicherlich manchmal Nerven gekostet. Bei der Optimierung im Hinblick auf die Rechenleistung wurde er zudem von Thomas Rutherford und Michael Ferris unterstützt.

Das Studium neigt sich dem Ende, daher möchte ich an dieser Stelle auch meinen Mitstudentinnen und Mitstudenten danken, die mich auf diesem Weg begleitet haben. Durch sie sind die fünf Jahre auf dem Hönggerberg unglaublich schnell vergangen. Ich bin mir sicher, dass manche Freundschaften noch lange über den Abschluss andauern werden.

2 Einleitung

Jede Fahrt im motorisierten Individualverkehr (MIV) beginnt und endet auf einem Parkfeld. Fahrzeuge verbringen 95% der Zeit parkiert, was zu einem grossen Flächenbedarf für Parkfelder führt. Der Gesamtwert aller Parkfelder ist wahrscheinlich grösser als jener aller Fahrzeuge (Shoup, 2005). Nach Shoup (2005) werden rund 30% des Strassenverkehrs in Städten durch Parkplatzsuchende verursacht. Die Parkraumbewirtschaftung agiert deshalb als Bindeglied zwischen Raumplanung und Verkehrsplanung (Marsden, 2006).

Im Gegensatz zur USA, wo nach Shoup (2005) 99% der Parkfelder im Strassenraum gebührenfrei sind, gibt es in der Stadt Zürich seit längerer Zeit eine restriktive Parkplatzpolitik. Trotzdem – oder gerade deshalb – nimmt die Thematik des ruhenden Verkehrs eine zentrale Rolle ein und wird laufend diskutiert. Der Glaube, dass Parkierungsbeschränkungen der Attraktivität der Innenstadt schaden kann, erschwert die politische Akzeptanz für Gebühren und für Planung (Marsden, 2006).

Die Integration des ruhenden Verkehrs in Verkehrsmodelle ist noch nicht weitreichend verbreitet. Professor Rutherford und van Nieuwkoop vom Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) an der ETH Zürich entwickelten in Zusammenarbeit mit Professor Axhausen vom Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) einen Ansatz, welcher den ruhenden und fliessenden Verkehr mittels nummerischem Gleichgewichtsmodell kombiniert modelliert. Der Modellansatz erlaubt eine quantitative Bewertung verschiedener politischer Massnahmen zur Parkraumbewirtschaftung und wurde an einer monozentrischen Beispielstadt getestet. Bisher fehlt bisher allerdings Überprüfung in einem realen Umfeld.

In dieser Arbeit soll nun der entwickelte Modellansatz auf die Stadt Zürich angewendet werden, einerseits zur Validierung des Modellansatzes und andererseits um politische Massnahmen zum ruhenden Verkehr zu testen. Dazu braucht es vorgängig umfassende Kenntnisse über Zürich im Allgemeinen und über die Parksituation in der Stadt im Speziellen. Deshalb erweist sich die räumliche Analyse des ruhenden Verkehrs in der Stadt als wichtiger Bestandteil der Arbeit.

Im nächsten Kapitel werden die Grundlagen zum Thema beschrieben. Danach folgt in Kapitel 4 eine umfassende Analyse zum ruhenden Verkehr. Kapitel 5 beschreibt das erarbeitete Szenario für die Stadt Zürich. Im Kapitel 6 werden politische Massnahmen getestet und bewertet. Zum Schluss folgen Diskussion und Ausblick.

3 Grundlagen

Dieses Kapitel soll einen Einblick in die Fülle von Literatur geben, welche es zum Thema „Parkierung“ gibt. Der erste Teil stellt den Wissensstand zur Parkraumbewirtschaftung dar, der zweite Teil befasst sich mit verschiedenen Ansätzen zur Modellierung des ruhenden Verkehrs und zum Schluss werden die Grundlagen über den in dieser Arbeit verwendeten Gleichgewichtsmodell-Ansatz erläutert.

3.1 Parkraumbewirtschaftung

Die Parkraumbewirtschaftung wird als Instrument zur Steuerung der Parkraumnachfrage und effektiveren Ausnutzung des vorhandenen Parkraumes eingesetzt (Dörnemann, 1998). Das Ziel der Parkraumbewirtschaftung beschreibt Topp (1984, S.334) als:

> *„Gesamtheit aller Massnahmen zur Steuerung des Parkraumangebotes entsprechend der Nutzung, zur Verteilung des knappen Angebotes nach stadtentwicklungspolitischen Prioritäten und zur Abstimmung des Angebotes auf die Kapazität des Strassennetzes.“*

Die Parkfelder können nach Eigentum unterteilt werden in Parkfelder auf öffentlichem Grund und auf privatem Grund. Die Einflussmöglichkeit auf privat zugängliche Stellplätze besteht nur langfristig über das öffentliche Baurecht (Huber-Erler, 1996).

Im Gegensatz zum privaten Parkraum bestehen verschiedenen Möglichkeiten für die Bewirtschaftung des öffentlichen Parkraums. Nach Huber-Erler (1996) und Schneider, Bäumler und Seeholzer (2008) gibt es bei der Parkraumbewirtschaftung folgende Beeinflussungselemente:

- Parkraumangebot und dessen räumliche Verteilung
- Parkdauerbeschränkung
- Parkgebühren
- Bevorrechtigung bestimmter Nutzergruppen (Anwohner, Lieferverkehr, ...)
- Überwachung und Durchsetzung

Aus den aufgelisteten Elementen umfasst das Parkregime nach VSS (2009) nur die Bestimmungen einer Parkierungsanlage (Parkdauerbeschränkung, Parkgebühr und Berechtigte), nicht aber das Parkraumangebot und dessen Überwachung.

Typischerweise werden in der Stadtplanung die minimalen Anzahl Parkfelder je Nutzung festgelegt. Nach Shoup (1999) führen solche Vorgaben zu einem Überfluss an unbewirtschafteten Parkfeldern, welche durch den zusätzlichen Suchverkehr hohe externe Kosten verursachen, die von der Allgemeinheit getragen werden müssen. Daher wären Parkgebühren zu Marktpreisen fairer und effizienter als Vorgaben zu minimalen Parkständen. Die Bauherren sollten über den Bestand an Parkfeldern entscheiden können. Die Parkgebühr sollte so gesetzt werden, dass zu jeder Zeit und an jedem Ort ein Parkplatz gefunden werden kann. Vorgeschlagen wird ein Leerstand von 15% (Brierley, 1972; Witheford und Kanaan, 1972; May, 1975).

Auch in der Schweiz ist meist die minimale Anzahl Stellplätze rechtlich vorgeschrieben. Als Grundlage dazu dient die unverbindliche Schweizer Norm (SN) 640 281 „Parkieren: Angebot an Parkfelder für Personenwagen“, welche Richtwerte zur Ermittlung des Angebots an Parkfeldern für verschiedene Nutzungen erteilt. Die Norm widerspiegelt nicht Shoups erstbeste Welt, stellt aber einen realistisch umsetzbaren Kompromiss zwischen den Interessen der Allgemeinheit und der Bauherren dar (Axhausen, 2006).

Die Literatur zu Parkraumbewirtschaftungspolitik ist umfassend. In der Folge werden nur einzelne Arbeiten erwähnt. Eine umfangreiche Zusammenstellung findet sich beispielsweise in Marsden (2006).

Boesch (1986) schätze ab, dass in Zürich zusätzlich zur üblichen Parkgebühr allein zur Deckung der Zufahrtskosten pro Abstellplatz und pro Benutzung eine Gebühr von rund 10 Franken erhoben werden müsste.

Baier, Hebel, Peter und Schäfer (2000) werteten Grundlagen aus über 100 Städten unterschiedlicher Grössenordnung aus mit dem Ziel die Auswirkungen umgesetzter Massnahmen der Parkraumbewirtschaftung festzustellen. Ihre Haupterkenntnis war:

> *„Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen des Forschungsvorhabens zeigen, dass Massnahmen zur Parkraumbewirtschaftung in Innenstädten zur nachhaltigen Beeinflussung des gesamtstädtische Verkehrsmittelwahlverhaltens und des Kfz-Verkehrsaufkommens, insbesondere zur Minderung der ökologischen Folgewirkungen des Kfz-Verkehrs und zur Erzielung eines höheren Masses zur stadträumlichen Verträglichkeit, nur als sehr eingeschränkt wirkungsvoll eingestuft werden müssen.“* (*Baier et al., 2000, S.68)*

Trotzdem kann und soll nach den Autoren das Instrument auf kleinräumiger Ebene genutzt werden, um planerische Ziele in den Bereichen Verkehr, Städtebau und Stadtentwicklung umzusetzen.

Albert und Mahalel (2006) verglichen mittels Stated-Prefence-Befragung Stau- mit Parkgebühren. Die Einführung der Staugebühr verursacht Veränderungen in den Reisegewohnheiten. Vor allem der Zeitpunkt der Reise wird verändert um einer möglichen Staugebühr zu entweichen. Sie stellten fest, dass die Akzeptanz bei Parkgebühren deutlich höher ist. Zur gleichen Erkenntnis gelangen auch die Arbeiten von Vrtic, Schüssler, Erath und Axhausen (2011) und Weis, Vrtic, Widmer und Axhausen (2012).

Die Forschungsarbeit von Schneider et al. (2008) dient als Grundlage für die Schweizer Norm 640 282 „Betrieb und Bewirtschaftung von Parkierungsanlagen“ (VSS, 2009). Sie enthält eine Übersicht, mit welchen Massnahmen bestimmte Ziele der Parkraumbewirtschaftung erreicht werden können, beziehungsweise welche Wirkungen von welchen Massnahmen ausgehen (Tabelle 1). Die Massnahmen können verschiedenen Wirkungen nach sich ziehen und es ist deshalb unumgänglich, das Parkregime auf die konkrete Nutzung und das lokale Umfeld anzupassen.

Tabelle 1 Auswirkungen von Massnahmen im ruhenden Verkehr

Massnahme	Auswirkung	mögliche Folge-Effekte
Erhöhung der Parkgebühr	Nachfrage sinkt	Verdrängungseffekte (falls günstiger Ausweich-parkraum vorhanden)
	Parkierdauer sinkt und Umschlagshäufigkeit steigt	Verkehrsaufkommen steigt
Verringern der Parkgebühr	verbesserte Auslastung	Verlagerungseffekte (z.B. räumlich, Modal Split)
	Parkierdauer steigt und Umschlagehäufikeit sinkt	Verkehrsaufkommen sinkt
Differenzierung von Gebührenhöhe oder gebührenpflichtiger Zeit	Optimierung der Belegung	-
Festlegung einer degressiven Gebührenstruktur	Bevorzugung Langzeitparkieren	Parkierdauer steigt, Verkehrsaufkommen sinkt Einfluss auf Nutzerkategorie
Festlegung einer progressiven Gebührenstruktur	Bevorzugung Kurzparkieren	Parkierdauer sinkt, Verkehrsaufkommen steigt Einfluss auf Nutzerkategorie
Erhöhung der max. Parkierdauer	Umschlagehäufigkeit / Verkehrsaufkommen sinkt	-
	Belegung durch Langzeitparkierung steigt (falls entsprechende Nachfrage vorhanden)	-
Verringern der max. Parkierdauer	Umschlagehäufigkeit steigt (falls entsprechende Nachfrage vorhanden)	Verkehrsaufkommen steigt
Differenzierung der zulässigen Parkierdauer ja nach Tageszeit	Mehrfachnutzung von Parkfeldern wird ermöglicht	-
	Fernhalten unerwünschter Benutzer zu bestimmten Zeiten	-
Bevorzugung einer bestimmten Nutzerkategorie z.B. Anwohner	Nutzung hauptsächlich durch Berechtigte	Gefahr von Verdrängung oder unerlaubtem Parkieren erhöhter Kontrollaufwand

Quelle: (Schneider et al., 2008, S.5)

In der Stadt Zürich, wie auch in weiteren Städten in der Schweiz, sind in Wohngebieten Parkfelder in der sogenannten Blauen Zone vorhanden. In der Blauen Zone können Fahrzeuge mittels angebrachter Parkscheibe für eine bestimmte Zeit gebührenfrei abgestellt werden. Anwohner haben die Möglichkeit Parkkarten zu erwerben, die zum zeitlich unbeschränktem Parkieren ermächtigt. Schneider, Keiser, Allenbach und Häberling (1992) untersuchten, ob durch Parkierungsbeschränkung mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte eine Verbesserung der Verkehrssituation in Wohngebieten erreicht werden kann; namentlich zur Erhöhung der Wohnlichkeit und Einschränkung des Fremdparkierens durch Pendler, zur Verbesserung der Parkierungsmöglichkeiten für Kunden und Besucher sowie zur Reduktion des Individualverkehrs (IV) während der Spitzenstunde. Ihre Erkenntnis war, dass die Massnahme bei zweckmässiger Ausführung zur Verkehrsberuhigung und zum Schutz der Wohnquartiere vor negativen Auswirkungen des MIV eingesetzt werden kann.

Politische Entscheidungsträger sehen oftmals die Parkgebühr als Ersatz für die Strassengebühr und wollen mittels Erhöhung der Parkgebühren die Staubildung in der Innenstadt bekämpfen. Glazer und Niskanen (1992) stellten fest, dass dadurch auch ein gegenteiliger Effekt entstehen kann. Durch die höheren Parkgebühren werden auch die Parkdauern kürzer, was dazu führt, dass mehr Personen pro Zeiteinheit einen Stellplatz benutzen können und insgesamt der Verkehr zunimmt. Verschiedene Aktivitäten werden weniger miteinander kombiniert. In solchen Fällen schlagen die Autoren die Verwendung von Einheitstarifen anstelle einer zeitabhängigen Gebühr vor.

Arnott, de Palma und Lindsey (1991) untersuchen den Einfluss von Parkplatzgebühren auf die Staubildung. Allgemein sind konkurrierende Parkgebühren relativ inneffektiv. Eine Zeitabhängige Gebühr reduziert die Staubildung, hat aber keinen Einfluss auf die Parkplatzwahl. Hingegen beeinflusst eine ortsabhängige Gebühr die Parkplatzwahl, vermindert den Stau aber nicht.

3.2 Parkierungsmodelle

Über lange Zeit wurde der ruhende Verkehr am Ende der Fahrt vereinfacht als fixer Anteil zu den restlichen Kosten addiert. Von dieser Betrachtungsweise kommen die Verkehrsplaner immer mehr ab. Das Parkieren wird je länger je mehr als wichtiges Element des Verkehrs angesehen und Modelle zum ruhenden Verkehr werden verstärkt in Verkehrssimulationen integriert (Arnott, 2011).

Es gibt eine Reihe von Ansätzen zur Modellierung des ruhenden Verkehrs. Young, Thompson und Taylor (1991) und Young (2008) erstellten Übersichten über die Ansätze und versuchten

die Modelle zu kategorisieren. Für die Definition und Einteilung der Modelltypen wurden diese beiden Quellen verwendet:

In einem ersten Schritt werden die Modelle nach vier Hierarchiestufen unterschieden und ihre Verwendung in der Praxis beschrieben. Die erste Hierarchiestufe beschreibt Modelle, die detaillierte Fahrzeugbewegungen auf Parkplätzen simulieren. Sie werden gebraucht um den Parkraum einer Parkanlage optimal gestalten zu können. Die zweite Stufe befasst sich mit Zentren – wie zum Beispiel einer Innenstadt – und untersucht verstärkt die Eigenschaften des Parksuchverkehrs. Metropolitanräume sind Bestandteil der dritten Stufe, wo der Schwerpunkt auf der Interaktion zwischen Angebot und Nachfrage liegt. In der vierten und letzten Stufe wird der indirekte Einfluss des Parkierens auf andere Bereiche, wie beispielsweise der Standortwahl, modelliert. Interaktionen zwischen Modellen der vier Hierarchiestufen sind erstrebenswert.

Die zweite Einteilung befasst sich mit den Hauptaufgaben des Modells. Young (2008) unterscheidet zwischen *parking design models*, *parking allocation models*, *parking search models, parking choice models* und *parking interaction models*.

Parking design models befinden sich in der ersten Hierarchiestufe und zeigen die Leistungsfähigkeit von Parkierungsanlagen. Sie werden eingesetzt zur Optimierung der Anlage. Young (1985) beschreibt ein Simulationsmodell für die Fahrzeugbewegung in Parkeinrichtungen. Für die Bewegung der Fahrzeuge wurde ein Car-Following-Ansatz gewählt.

Eine zweite Gruppe befasst sich mit *parking allocation models*, welche meist in Hierarchiestufe zwei und drei verwendet werden. In diesem Ansatz wird eine bestimmte Anzahl von ankommenden Fahrzeugen dem Parkstand zugewiesen, meist in Abhängigkeit von der Bodennutzung. Als einer der ersten Vertreter dieser Gruppe schlug Bates (1972) vor für die Parkplatznachfrage den Gravitationsansatz zu verwenden, der analog auch bei der Verkehrsverteilung eingesetzt wird.

Parking search models simulieren das Verhalten der Fahrer auf der Suche nach einem Abstellfeld und zeichnet ihre Bewegung durch das Netzwerk auf. Dabei wird ein stochastischer Ansatz verwendet, um das Wahlverhalten zur Akzeptanz eines Parkfeldes zu modellieren.

Ein einfaches stochastisches Modell des ruhenden Verkehrs findet sich in der Arbeit von Arnott und Rowse (1999). Der Fokus wurde auf die Parkplatzsuche gelegt. Zur Vereinfachung wurde räumliche und zeitliche Homogenität angenommen und die Staubildung durch den Verkehrsfluss ignoriert.

Munuzuri, Racero und Larraneta (2002) schlagen ein agentenbasiertes stochastisches Modell zur Parkplatzsuche vor. Das Modell besteht aus zwei Elementen, einerseits einem Element, dass die Parksuche simuliert und andererseits einem Element, dass den effektiven Parkvorgang beschreibt.

Balijepalli, Shepherd und May (2008) stellten in ihrer Arbeit einen Gleichgewichts-Ansatz vor, welcher die Parkstandwahl und die Routenwahl kombiniert. In der Arbeit werden zwei verschiedene Ansätze zur Parkfeldsuchzeit entwickelt und in einer Testphase verglichen. Das Modell wurde in die Verkehrsmodellierungssoftware Saturn implementiert und anhand eines Szenarios in Leeds (UK) verifiziert.

Benenson und Martens (2008) erstellten ein agentenbasiertes Modell des ruhenden Verkehr, welches in eine GIS-Umgebung eingebaut wurde. Der Fokus der Arbeit wurde auch auf die Parkplatzsuche gelegt. Die Kombination mit GIS ermöglicht weitreichende Analysen zur Parkierungspolitik.

Das Ziel der dritten Gruppe (*parking choice models*) ist die Beschreibreibung der Reaktion der Parkierenden auf Änderungen im Angebot wie beispielsweise der Preisgestaltung. Die Reaktionen beinhalten Änderungen in Parkstandortwahl, Startzeit, Verkehrsmittelwahl oder gar das Unterlassen des Weges. Diese Modelle verwenden einen Logit-Ansatz und Nutzenfunktionen.

Axhausen und Polak (1991) führten zwei Studien in England und Deutschland durch und verglichen die mittels Stated-Preference-Befragung gewonnenen Daten um das Parkverhalten zu untersuchen. Bei der Stated-Preference-Befragung wird eine hypothetische Situation beschrieben und die Befragten können zwischen den gezeigten Alternativen auswählen. Die Resultate zeigten unter anderem, dass die Suchzeit nicht gleich wie die restliche Fahrzeit behandelt werden sollte. Dazu hat der Fahrzweck einen massgebenden Einfluss auf die Komponenten der Parkplatzwahl.

Dell'Orco, Ottomanelli und Domenico (2003) schlagen für die Modellierung der Unsicherheit vor, einen stochastischen Ansatz zu benutzen. Der Ansatz verwendet für die Simulierung der Wahrnehmung der Kosten die Theorie der Fuzzylogik.

Die letzte Gruppe beinhaltet die *parking interaction models*, welche das Verhalten der Reisenden als Reaktion auf die Parkraumbewirtschaftung simuliert. Diese Ansätze berücksichtigen nicht nur die Reaktionen in der Parkplatzwahl, sondern auch in Verkehrsmittelwahl oder in der Abfahrtszeit.

Axhausen (1988) beschreibt einen Modellansatz, welcher Aktivitätenketten, Parkplatzwahl und die Bewegungen im Verkehrsnetz miteinander kombiniert. Das daraus entstandene ORIENT/RV bildet als eines der ersten Programme die Wechselwirkungen zwischen ruhendem und fliessendem Verkehr ab.

Calthrop, Proost und van Dender (2000) beschreiben den ruhenden Verkehr mit einem numerischen Ansatz. Das Modell wurde auf Brüssel angewendet um verschiedene Parkregimes auf ihre Effektivität zu testen. Ihre Haupterkenntnis ist, dass Strassen und Parkplatzgebühren unbedingt aufeinander abgestimmt und nicht getrennt betrachtet werden sollten.

Schiller (2004) integrierte den ruhenden Verkehr in den 4-Stufen-Algorithmus (Erzeugung, Verteilung, Verkehrsmittelwahl und Umlegung) des fliessenden Verkehrs. Als Grundlage dienten die Verkehrsangebotssoftware VISUM und das Verkehrsnachfragemodell EVA.

Waraich und Axhausen (2012a) und Waraich, Axhausen und Dobler (2012b) stellten ein agentenbasiertes Modell des ruhenden Verkehrs vor, welches in MATSim implementiert wird. Die Erweiterung des bestehenden Verkehrsmodells berücksichtigt zusätzlich Parkplatzverfügbarkeiten, Gehdistanzen und Preispräferenzen. Die Parkfeldwahl beeinflusst die Verkehrsmittelwahl und die Abgangszeiten. Wie in dieser Arbeit wird das Modell wird anhand eines Szenarios in Zürich getestet und stellt für die Kalibration und Validation eine wichtige Quelle dar.

3.3 Modell-Ansatz

Numerische Gleichgewichtsmodelle werden verbreitet eingesetzt, um Politikmassnahmen zu quantifizieren. Diese Modelle erlauben es, die gesamtwirtschaftlichen Effekte von politischen Massnahmen zu simulieren und auf der Grundlage mikroökonomischer Theorien zu interpretieren (Böhringer und Wiegard, 2003). Dadurch lassen sich verschiedene Alternativen bewerten und miteinander vergleichen.

Die Grundlage für das in dieser Arbeit verwendete Modell bildet der an der ETH Zürich entwickelte Ansatz von Prof. Rutherford, Prof Axhausen und van Nieuwkoop, welcher die Umlegung im Strassennetz mit einem Parkfeldsuch-Modell kombiniert. Es ist kein herkömmliches *Computable General Equilibrium* (CGE) Modell, wie dies beispielsweise in van Nieuwkoop und Rutherford (2011) für Verkehrsmodelle gezeigt wird.

Der verwendete Ansatz stammt aus Ferris, Meeraus und Rutherford (1999) und formuliert das *Traffic Assignment Model* (TAM) als *multicommodity flow problem.* Der Vorteil dieser Me-

thode besteht darin, dass eine komplette Enumeration aller Pfade nicht notwendig wird. Das Modell ist somit einfach erweiterbar und effizient lösbar. Das TAM wird ergänzt durch die Parkfeldsuche.

Das Modell stellt ein Optimierungsproblem mit Komplementaritätsnebenbedingungen (MPCC) dar, bei welchem die Minimierung der Kosten der Benutzer die obere Ebene und das Nutzergleichgewicht die untere Ebene darstellt. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Modellen zum ruhenden Verkehr ergibt sich aus der Verwendung eines ökonomischen Ansatzes die Möglichkeit zur Optimierung der Parkraumbewirtschaftung.

Die untere Ebene des Gleichungssystems beschreibt das Verhalten der Agenten. Die Agenten optimieren ihren Nutzen bis sich das Wardrop-Gleichgewicht einstellt. Die Nutzenfunktion für die Agenten lautet:

$$U_{Agent} = U_{Travel} + U_{ParkingSearch} + U_{Walking} + U_{ParkingPrice} + U_{Toll} \qquad (1)$$

Die obere Ebene des Gleichungssystems beschreibt eine übergeordnete Sichtweise, beispielsweise einer Verwaltungsbehörde, welche die Parkraumbewirtschaftung optimieren möchte. Es gibt verschiedene Stellgrössen (Parkgebühren, Parkraumkapazität, Maut etc.), die zur Beeinflussung des Verhaltens der Agenten verwendet werden können. Das Gleichungssystem optimiert diese Stellgrössen, so dass die Gesamtkosten (Formel 2) aller Agenten minimal sind.

$$U_{Total} = \sum_{Agents} U_{Travel} + U_{ParkingSearch} + U_{Walking} \qquad (2)$$

Aus ökonomischer Sicht ist in der oberen Ebene (Formel 2) nur die Höhe der Zeitkosten der Agenten auschlaggebend, denn bei den Kosten für Parkierung und Maut handelt es sich um eine reine Umverteilung. Die beiden Ebenen werden simultan berechnet.

Das Modell enthält Knoten und Strecken. An jedem Knoten können die Agenten zwischen drei Optionen auswählen:

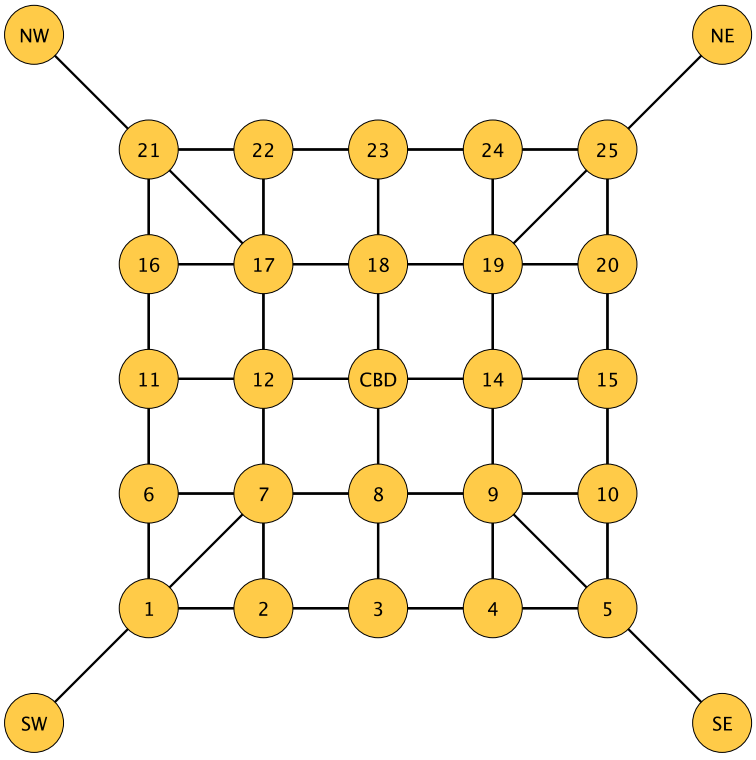
- Weiterfahrt zum nächsten Knoten
- Parkieren im Parkhaus
- Suche nach Parkfeld im Strassenraum

Die Agenten können nach dem Parkieren zu Fuss (oder mit ÖV) zu ihrem Zielknoten weitergehen, sofern sie nicht schon dort geparkt haben. Die Agenten wägen ab zwischen Zeiteinspa-

rungen (Fahrzeit, Parkfeldsuchzeit und Gehzeit) und Parkgebühren. Für die Fahrzeit auf den Strecken wird die weit verbreitete BPR-Funktion benutzt. Die Nachfrage im Modell ist fix. Es berücksichtigt weder die Verkehrsmittelwahl noch die Wahl der Abfahrtszeit.

Die für den Modellansatz verwendete monozentrische Modellstadt besteht aus einem quadratischen Raster mit je fünf Knoten pro Seite und dem Stadtzentrum CBD (Central Business District) im zentralen Knoten (Abbildung 1). Die Agenten (Haushalte) wohnen in vier Knoten ausserhalb der Stadt (Nordost, Südost, Südwest und Nordwest) und haben alle das Stadtzentrum als Ziel. Die Haushalte können je nach Herkunft unterschiedliche Zeitwerte annehmen. Jeder Knoten verfügt über Parkierungsmöglichkeiten sowohl im Strassenraum als auch im Parkhaus mit jeweils beschränkter Kapazität. Die Parkraumkapazität ist gleich für die Parkierung im Strassenraum und die Parkhäuser.

Abbildung 1 Fiktive Beispielstadt: Netz und Knoten



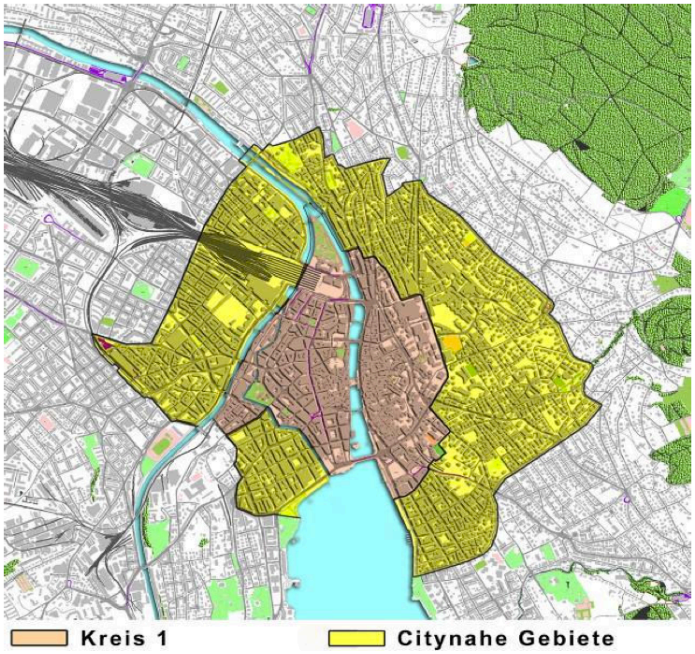
4 Parkieren in Zürich

In diesem Kapitel wird Parksituation in der Stadt Zürich analysiert und beschrieben. Der erste Teil beinhaltet die heutige Parkraumbewirtschaftung und ihren Hintergrund. Danach folgen Analysen zu Parkhäusern, privater und öffentlicher Parkierung. Die für die Analysen verwendeten räumlichen Daten zum ruhenden Verkehr stammen von der Stadt Zürich. Im Rahmen der Analysen wurde auch eine empirische Erhebung der Gehdistanzen von Anwohnern durchgeführt, welche am Ende des Kapitels beschrieben wird.

4.1 Analysen zum ruhenden Verkehr

Zürich besitzt schon seit längerer Zeit eine vergleichsweise restriktive Parkraumpolitik. Im Jahre 1996 hat der Gemeinderat den sogenannten „Historischen Parkplatz-Kompromiss“ beschlossen mit dem Ziel zur Aufwertung der Innenstadt für die Fussgänger und zur Förderung der Urbanität. Der Kompromiss besteht darin, dass oberirdische Parkplätze in der Innenstadt und in citynahen Gebieten (Abbildung 2) aufgehoben werden können, sofern gleichviele Abstellplätze in Parkhäusern geschaffen werden. Somit bleibt die Zahl der öffentlich zugänglichen Parkfelder in der Innenstadt und in stadtnahen Gebieten konstant. Im Jahre 1990 gab es im Einzugsgebietes des historischen Kompromisses 7’622 öffentlich zugängliche Parkfelder und im Jahre 2010 standen 7’698 zur Verfügung (Marti, Ferres, Stutz, Andreou, Schneider, Keiser und Bäumler, 2011).

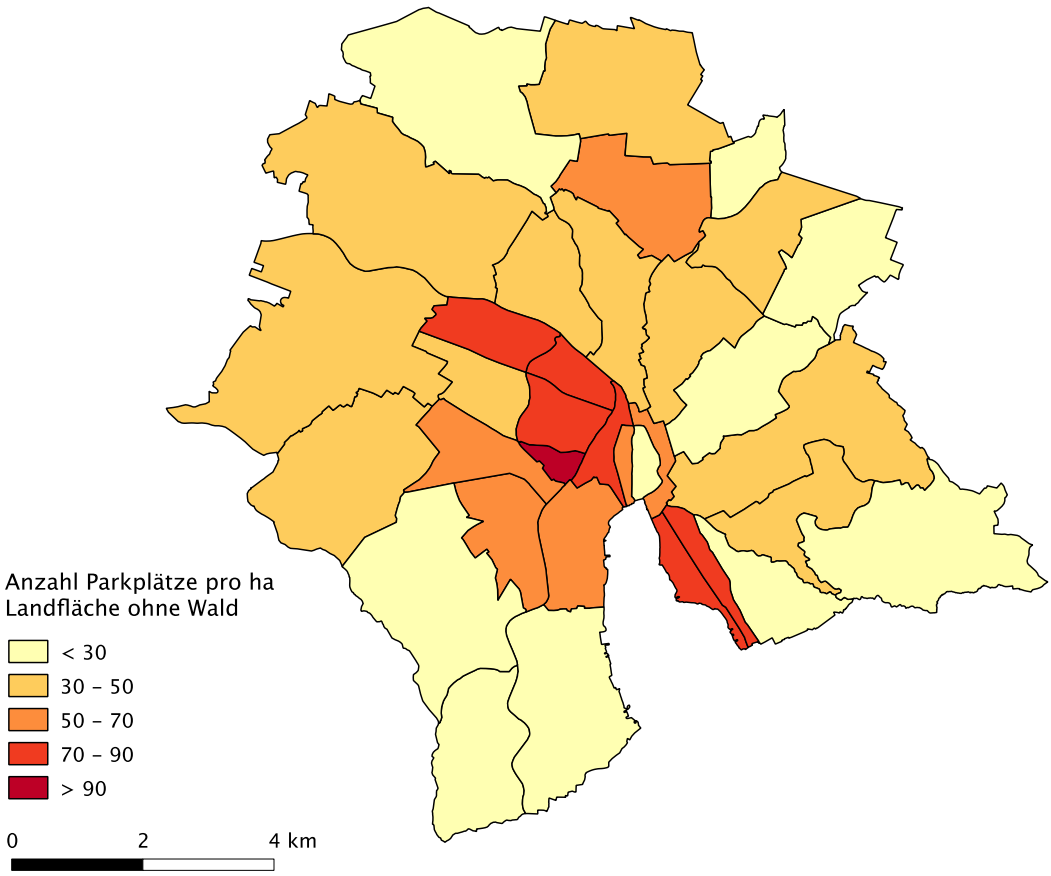
Abbildung 2 Einzugsgebiet des historischen Kompromisses



Quelle: Ott, Fellmann, Willi, Grebe, Misteli und Schirmer (2009, S.4)

In der Stadt Zürich gibt es rund 267'000 Parkfelder (Stand 2007). Ein grosser Teil davon, nämlich 218'000, liegen auf privatem Grund. Wobei der private Grund auch die 16'300 allgemein zugänglichen Parkfelder in Parkhäusern beinhaltet. Rund ⅕ der Parkfelder (49'000) befindet sich auf öffentlichem Grund. Davon liegen 67% in der Blauen Zone, 23% sind bewirtschaftet (Statistik Stadt Zürich, 2012). Die restlichen Parkfelder sind mit Spezialvorschriften (Warenumschlag, Behinderte, Car oder nur nachts) versehen. Die grössten Parkplatzdichten (Abbildung 3) befinden sich in den Quartieren Escher Wyss, Gewerbeschule, Langstrasse, Werd und City nordwestlich der Innenstadt und in den beiden Quartieren Mühlebach und Seefeld am östlichen Seeufer. Ein weiteres Zentrum mit hoher Dichte befindet sich in Oerlikon.

Abbildung 3 Parkplatzdichte nach Stadtquartieren



Daten: Statistik Stadt Zürich (2012)

Im Auftrag des Tiefbauamtes der Stadt Zürich wurden Studien durchgeführt, die sich mit der Parkierung in der Innenstadt und in Quartierzentren auseinandersetzte. Die erste Studie von Planungsbüro Jud (2010) befasste sich mit dem Verkehrsaufkommen und der Belegung von Parkfeldern. Die Studie zeigt, dass in der Innenstadt die oberirdischen Parkfelder fast komplett belegt sind. An einem Werktag zwischen 10.00 Uhr und 20.00 Uhr sind durchschnittlich 10% und am Samstag zwischen 10.00 Uhr und 17.00 Uhr nur 3% der Parkfelder frei. Die Parkhäuser zeigen deutlich tiefere Belegungen und werden mit einer durchschnittlichen Parkdauer von über 2h (gegenüber unter 1.5 h von oberirdischen Parkfeldern) meist für längeres Parkieren aufgesucht. Erstaunlich war auch die Erkenntnis, dass bei oberirdischen Parkfeldern mit Parkdauerbeschränkungen von 30 min rund die Hälfte der Parkvorgänge länger als 30 min dauern und somit eine Busse in Kauf genommen wird.

Die zweite Studie von Marti et al. (2011) führte Befragungen zum Einkaufsverhalten der Parkfeldbenutzer durch um die wirtschaftliche Bedeutung der Parkfelder zu eruieren. Während 8 Tagen wurden zu Ladenöffnungszeiten insgesamt 4 200 Interviews zum Einkaufverhalten der Fahrzeughalter durchgeführt. Aus den Befragungsresultaten wurden die Umsätze ermittelt, die über ein Parkfeld abgewickelt werden. Die ermittelten Umsätze weisen grosse Streuungen auf: Einerseits aufgrund ihrer spezifischen Lage und andererseits aufgrund Parkfeldtypes (Parkfeld im Strassenraum oder Parkfeld im Parkhaus). Parkfeldnutzer im Parkhaus geben pro Parkvorgang mehr aus als Parkfeldnutzer im Strassenraum (Tabelle 2). Aber aufgrund des höheren Parkfeldumschlags bei oberirdischen Parkfeldern, ist der durchschnittliche jährliche Umsatz eines Parkfeldes im Strassenraum mit 328'000 CHF doppelt so hoch als derjenige im Parkhaus 166'000 CHF.

Tabelle 2 Umsätze je Parkfeld in der Innenstadt [CHF]

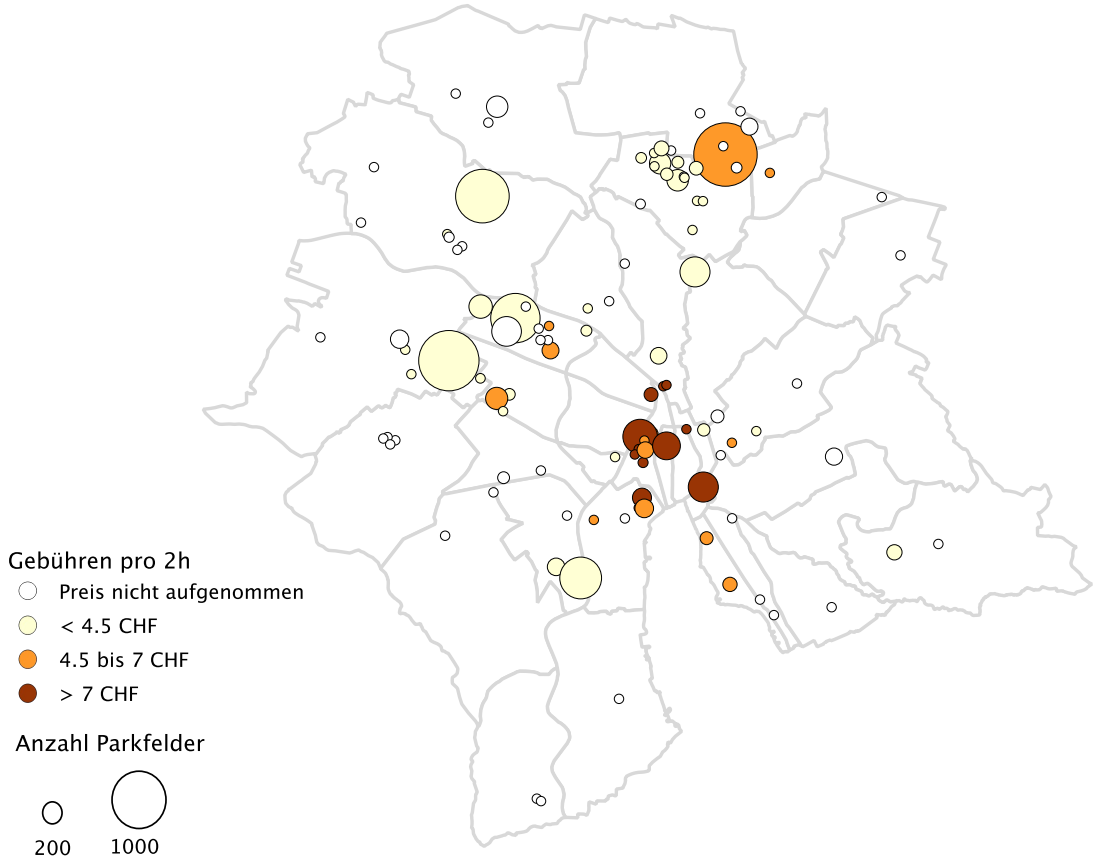
	Tag	Ø Umsatz je Parkiervorgang	Ø Umsatz je Tag und Parkfeld	Ø Jahresumsatz
Parkfeld im Strassenraum	Do	182.-	979.-	328'477.-
	Sa	309.-	1'048.-	
Parkfeld im Parkhaus	Do	215.-	458.-	166'268.-
	Sa	354.-	717.-	

Quelle: Marti et al. (2011)

4.1.1 Parkhaus

Parkfelder in Parkhäusern liegen auf privatem Grund, sind aber öffentlich zugänglich. In der Stadt Zürich gibt es etwas über 100 Parkhäuser. Die Verteilung der Parkhäuser ist in Abbildung 4 ersichtlich. Die Parkhäuser mit den grössten Kapazitäten liegen ausserhalb des Stadtzentrums. Mit 1500 Parkfeldern verfügt das Parkhaus „Messe Zürich" über die grösste Kapazität. In der Innenstadt befindet sich eine Handvoll Parkhäuser mittlerer Grösse (Parking Urania, City Parking, Parkhaus Hauptbahnhof und Parkhaus Globus).

Abbildung 4 Gebühren und Grösse von Parkhäusern

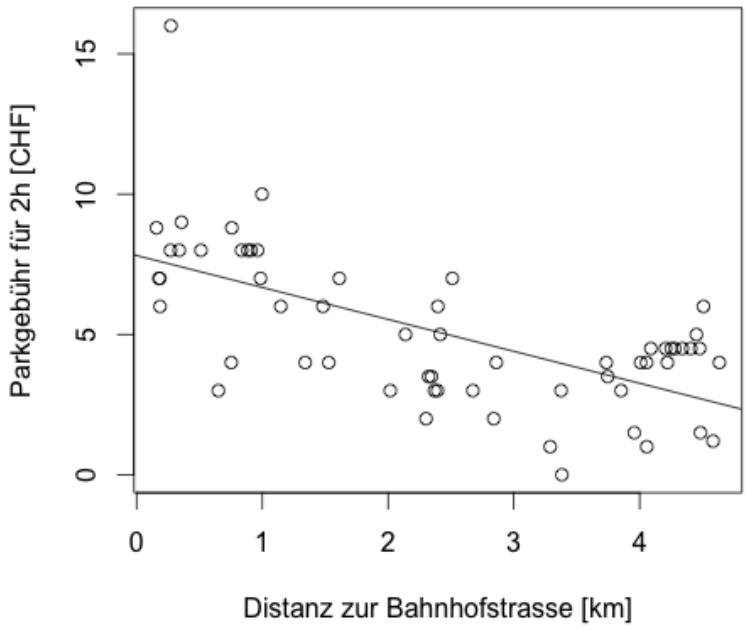


Daten: Stadt Zürich (2012)

Für die Analyse wurde eine Recherche über die Parkhausgebühren angestellt. Mithilfe des Parkleitsystems (Stadt Zürich, 2012) wurden die Gebühren für verschiedene Parkdauern zusammengetragen. Bei Parkhäuser, die nicht Bestandteil des Parkleitsystems sind, wurde zusätzlich auf die Hompage der Anbieter zurückgegriffen. Die meisten Parkhäuser benutzen zur Tarifgestaltung progressive Gebühren, die mit zunehmender Parkdauer überproportional ansteigen. Abbildung 4 zeigt zusätzlich zur Kapazität und Lage der Parkhäuser auch die Parkgebühren für 2 Stunden, was der durchschnittlichen Parkdauer in Parkhäusern entspricht (Marti et al., 2011). Die Gebühren sind am höchsten in der Innenstadt und sinken gegen den Stadtrand hin. Oerlikon kann als Subzentrum betrachtet werden mit einer Anhäufung von Parkhäusern und leicht erhöhten Parkhauspreisen. Das sind jene Gebiete, welche höhere Parkgebühren bei den Parkfeldern auf öffentlichem Grund aufweisen (Kapitel 4.1.3). Abbildung 5 zeigt den Zusammenhang zwischen Parkgebühr und Abstand zum Stadtzentrum detaillierter (Distanz zur Kreuzung Bahnhofstrasse, Uraniastrasse). Auch hier sind die sinkenden Gebühren bei zu-

nehmender Entfernung zum Stadtzentrum deutlich erkennbar. Das Parking der Centrum Garage weist mit 16 CHF für zwei Stunden die weitaus höchste Gebühr auf. Im Parking des Einkaufszentrums Letzipark kann während den Öffnungszeiten die ersten drei Stunden gebührenfrei parkiert werden. Im Mittel kosten die Parkhäuser 5 CHF für 2 h mit einer Standardabweichung von 2.75 CHF. Der rechts sichtbare Cluster mit einer Distanz zur Bahnhofstrasse von über 4 km und einer Parkgebühr von etwa 5 CHF sind die Parkhäuser im Raum Oerlikon.

Abbildung 5 Parkgebühr und Abstand der Parkhäuser von der Bahnhofstrasse



Manche Parkhäuser bieten zusätzlich zum Kurzparkieren sogenannte Dauerparkplätze an, wo ein Parkfeld zu monatlichen Tarifen zwischen 150 und 400 CHF vermietet wird.

4.1.2 Private Parkierung

Private Parkierung umfasst alle Parkfelder auf privatem Grund, die – im Gegensatz zu den Parkhäusern – nicht öffentlich genutzt werden dürfen. Die private Parkierung ist über die städtische Parkplatzverordnung (PPV) geregelt.

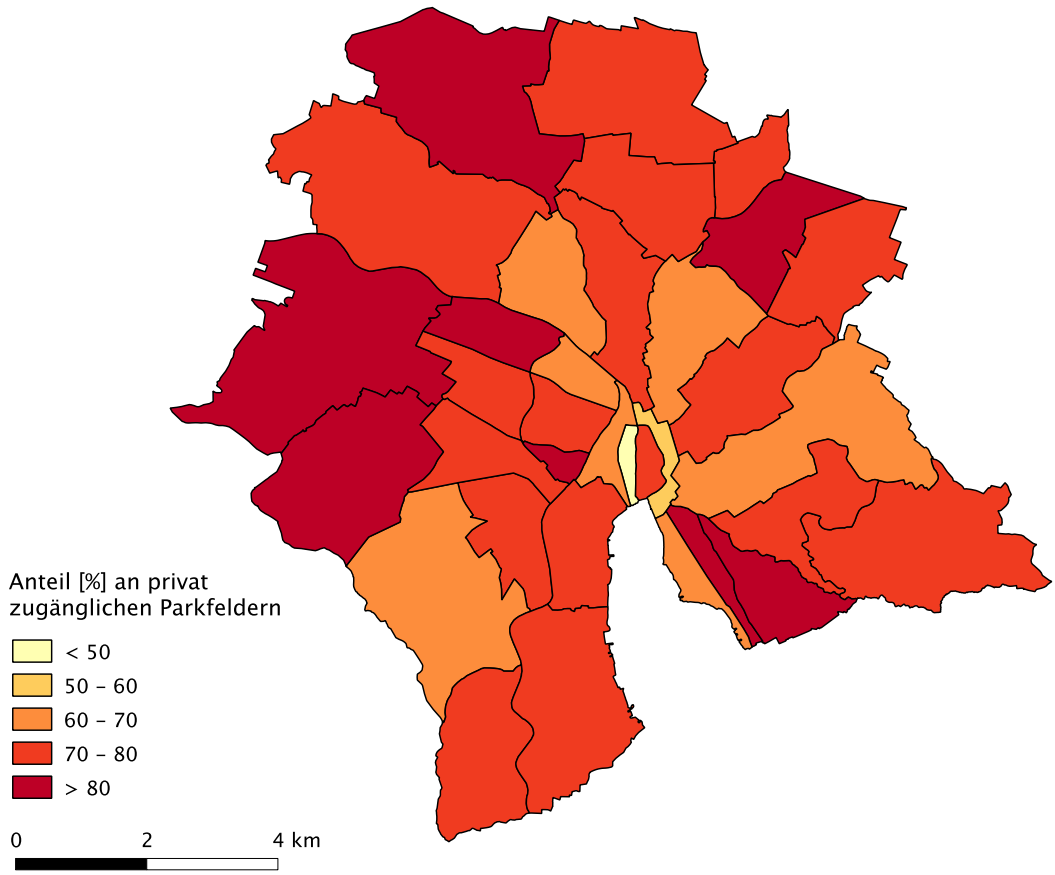
Nach PPV ist der Bedarf an Parkfelder für Angestellte, Mieter, Besucher oder Kunden primär auf privatem Grund abzudecken. Alle Hauseigentümer müssen ein bestimmtes Minimum an Abstellplätzen zur Verfügung stellen. Zusätzlich regelt die Verordnung auch die maximal zulässige Zahl der Abstellplätze in gewissen Quartierzonen. Da innerhalb des Stadtgebiet die

Erschliessung mit dem öffentlichen Verkehr und die Strassenkapazitäten unterschiedlich sind, werden 5 Reduktionsgebiete ausgewiesen, wo die Zahl der minimal erforderlichen und maximal zulässigen Abstellfelder als Prozentsatz vom Normalfall festgelegt sind (Stadt Zürich, 2010b; Stadt Zürich, 2010c). Im Jahr 2010 wurde die PPV teilrevidiert. Die grössten Neuerungen der Teilrevision sind:

- Ermöglichung von autoarmem bzw. autofreiem Wohnen (Entlastung der Parkplatzpflicht bei vorgelegtem alternativem Mobilitätskonzept)
- Anpassung des PP-Bedarfs an Wohnflächenentwicklung
- Ausdehnung der Reduktionsgebiete (Stadt Zürich, 2011)

Die private Parkierung macht einen Grossteil der Abstellplätze im Stadtgebiet aus (75%) (Abbildung 6). Die Anteile an privater Parkierung können bis 87% annehmen (Escher-Wyss). Die Quartiere mit hohen privaten Anteilen liegen eher gegen Stadtrand.

Abbildung 6 Anteil privater Parkierung (ohne Parkhäuser) nach Stadtquartier



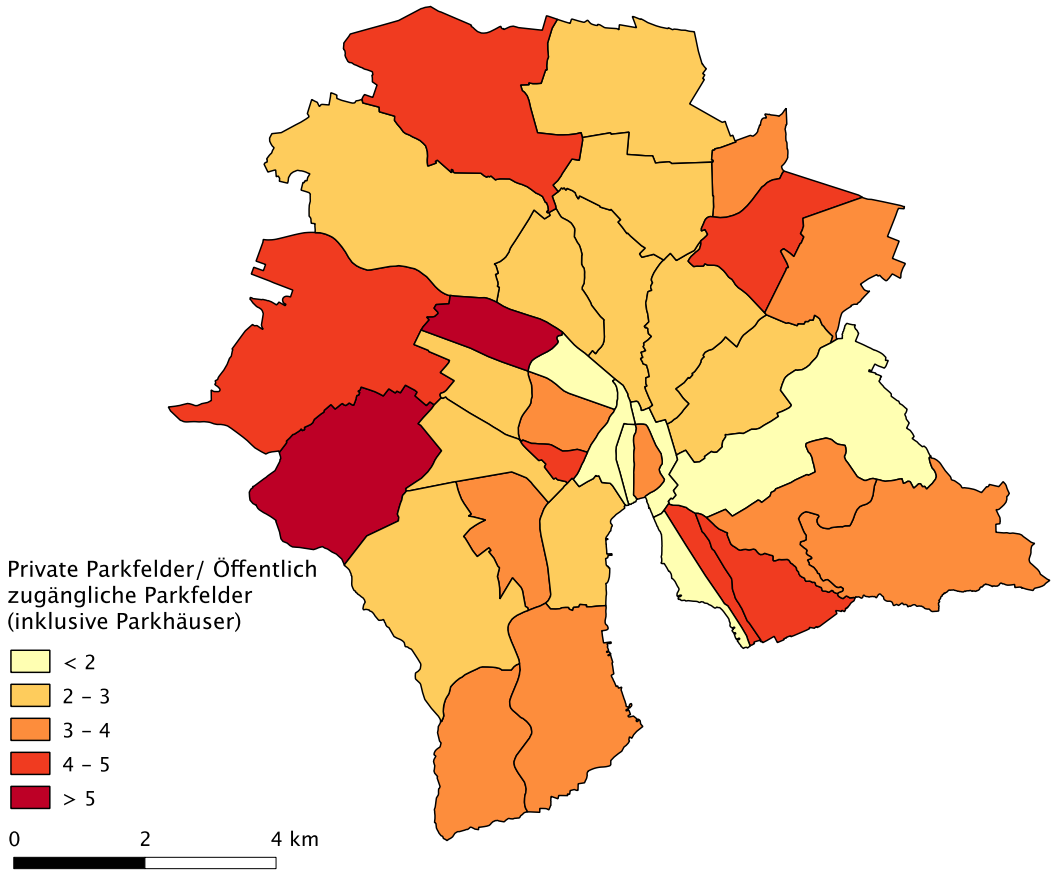
Daten: Statistik Stadt Zürich (2012)

4.1.3 Öffentliche Parkierung

Öffentliche Parkierung beinhaltet alle öffentlich zugänglichen Parkfelder auf öffentlichem Grund. Sie sind Gegenstand des kommunalen Verkehrsplans und dienen zur Erschliessung der Innenstadt und von Quartierzentren oder stehen im Zusammenhang mit Kultur, Erholung, Sport oder Tourismus (Stadt Zürich, 2007).

In der Stadt Zürich macht der Anteil an öffentlich zugänglichen Parkfelder (25%) im Vergleich mit den privat zugänglichen Parkfeldern (75%) einen relativ geringen Anteil aus. Es zeigen sich aber Differenzen zwischen Quartieren (Abbildung 7). In der Innenstadt ist das Verhältnis zwischen privat und öffentlich zugänglicher Parkierung ausgeglichen. Lindenhof ist das einzige Quartier, in welchem mehr öffentlich zugängliche Parkfelder vorhanden sind, was sich vor allem auf die rund 500 Parkfelder in Parkhäusern zurückführen lässt. Im Quartier Escher-Wyss ist das Verhältnis am ausgeprägtesten zu Gunsten der privaten Parkierung.

Abbildung 7 Verhältnis privat zu öffentlich zugänglicher Parkierung

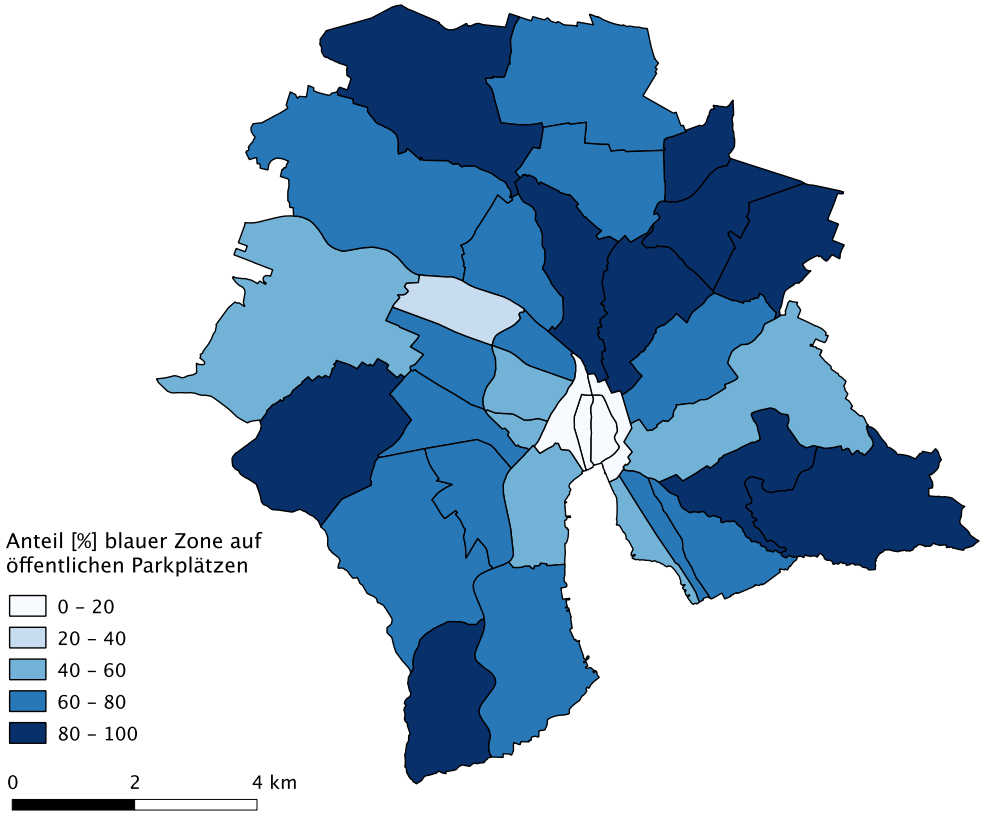


Daten: Statistik Stadt Zürich (2012)

Blaue Zone

Mit rund 67% liegt die Mehrheit der Parkfelder im Strassenraum in der Blauen Zone. Die Blaue Zone soll die Wohnquartiere vor Vekehrsimissionen schützen (siehe Kapitel 3.1). In der Innenstadt selber gibt es praktisch keine Parkfelder in der Blauen Zone (Abbildung 8). Denn geringsten Anteil ausserhalb der Innenstadt mit knapp 30% weist das Quartier Escher-Wyss auf, was mitunter ein Grund für den hohen Anteil an privater Parkierung im Quartier sein kann (Abbildung 7). In den Wohnquartieren gegen den Stadtrand den nehmen die Anteile der Blauen Zone die höchsten Werte an.

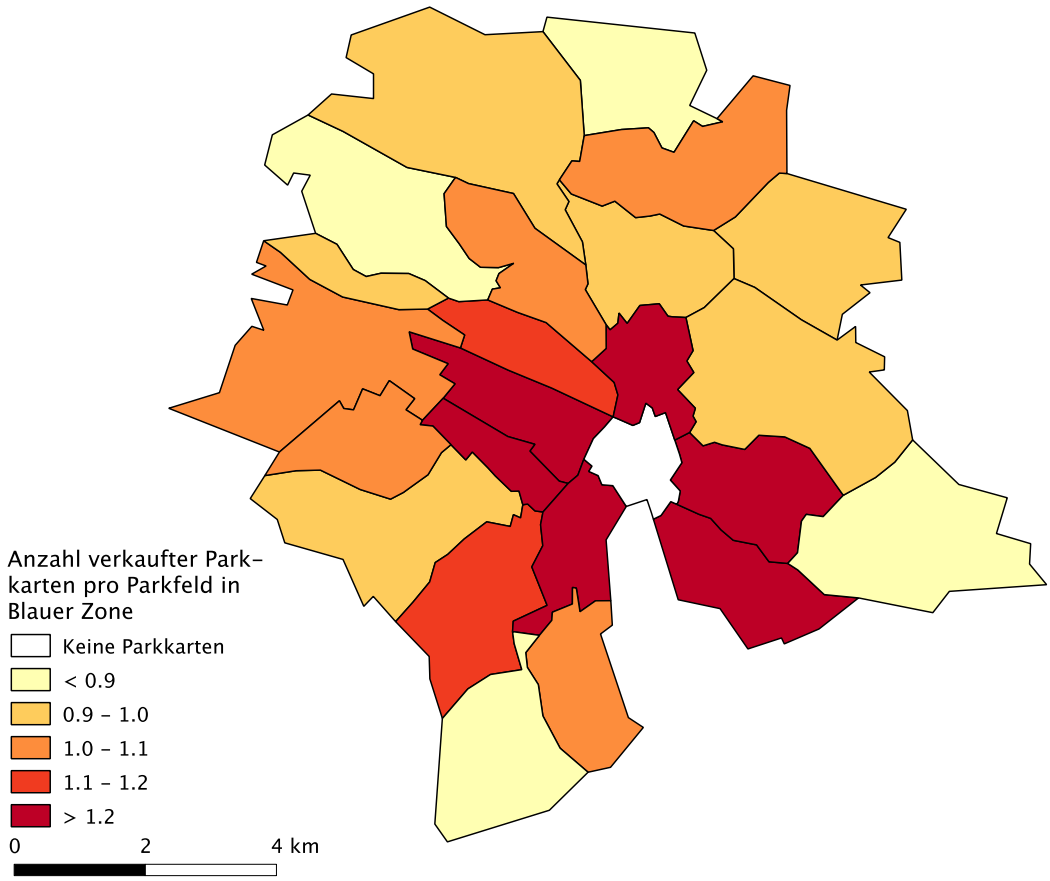
Abbildung 8 Anteil Blauer Zone an öffentlichen Parkplätzen nach Stadtquartier



Anwohner und Handwerksbetriebe können in ihrem Postleitzahlkreis eine Parkbewilligung für die Blaue Zone beantragen. Insgesamt wurden in Zürich im Jahr 2010 über 41'000 dieser Parkkarten verkauft (Stadt Zürich, 2010a). Die Anwohner machen mit fast 90% den Hauptanteil der verkauften Parkkarten aus. Mit 240.- pro Jahr ist die Gebühr für Anwohnerparkkarten verglichen mit anderen Schweizer Städten eher tief (Schneider et al., 2008). Nach neuer PPV kann die Stadt die Gebühr jährlich anpassen, womit mittelfristig die Tarife ansteigen werden. Zusätzlich zu den Jahresparkkarten können auch Tagesparkkarten für 15.- beantragt werden.

Die Parkkarte selbst garantiert noch kein Parkfeld. So werden von der Stadt deutlich mehr Parkkarten verkauft als Parkfelder in Blauer Zone existieren. Abbildung 9 zeigt die Anzahl verkaufter Anwohner Jahreskarten pro verkauftes Parkfeld in Blauer Zone. Der Parkdruck ist in den Gebieten rund um die Innenstadt am grössten und nimmt gegen den Stadtrand tendenziell ab. In der Innenstadt selbst können keine Parkkarten gekauft werden.

Abbildung 9 Parkdruck in Blauer Zone



Daten: Stadt Zürich (2010a)

Gebührenpflichtige Parkfelder

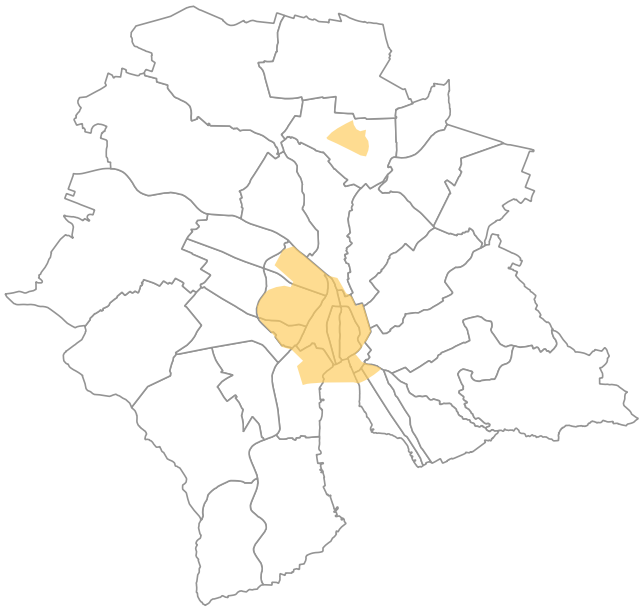
Für gebührenpflichtige Parkfelder im Strassenraum gibt es eine Tarifgestaltung mit zwei verschiedenen Gebührensätzen gemäss PPV. Die Gebühren in der Zentrumszone sind analog wie bei den Parkhäusern progressiv und steigen überproportional mit zunehmender Parkdauer. Die Parktarife sind im Durchschnitt tiefer als in Parkhäuser.

In der Innenstadt und im Zentrum von Oerlikon ist der Tarif fürs Parken auf öffentlichem Grund höher als in den Gebieten ausserhalb (Schneider et al., 2008):

- Zentrumszone: 0.5.- (30 min), 2.- (60 min), 5.- (120 min)
- Zone ausserhalb: 0.5.- (30 min), 0.5.- (60 min), 1.- (120 min)

Abbildung 10 zeigt die Zonen mit höherer Parkgebühr gemäss den Beschreibungen aus der PPV.

Abbildung 10 Gebiete mit höherer Gebühr gemäss PPV



Sonstige öffentliche Parkierung

Zusätzlich zu den Parkfeldern in Blauer Zone und den gebührenpflichtigen Parkfeldern gibt es noch weitere Parkierung im städtischen Strassenraum. Das sind Parkfelder, die nur nachts verfügbar sind und Parkfelder für Behinderte und Reisebusse. Diese sonstige öffentliche Parkierung macht aber nur einen geringen Anteil aus.

4.1.4 Fazit Parkierung

Die private Parkierung dominiert in der Stadt Zürich. Nur rund ¼ der Parkfelder ist öffentlich zugänglich. Der Druck auf die Parkfelder rund um die Innenstadt ist gross, die Parkgebühren für Parkhäuser und öffentliche Parkfelder sind auch entsprechend höher als in Gebieten ausserhalb. Neben der Innenstadt stellt aus Sicht der öffentlichen Parkierung der Kern von Oerlikon ein weiteres Zentrum dar. In den Zentrumszonen ist der Anteil der öffentlich zugänglichen Parkfelder hoch, bedingt durch die hohe Zahl von Parkfeldern in Parkhäusern.

Die Blaue Zone nimmt in den Wohnquartieren eine zentrale Rolle ein, da sie $^2/_3$ der Parkierung auf öffentlichem Grund abdeckt. Mit einer Jahresgebühr für Anwohner von 240.- ist sie

vergleichsweise günstig. Die Anzahl verkaufter Parkkarten ist grösser als die Anzahl Parkfelder in der Blauen Zone, was vor allem in den Gebieten rund um die Innenstadt zu einem hohen Parkdruck führt.

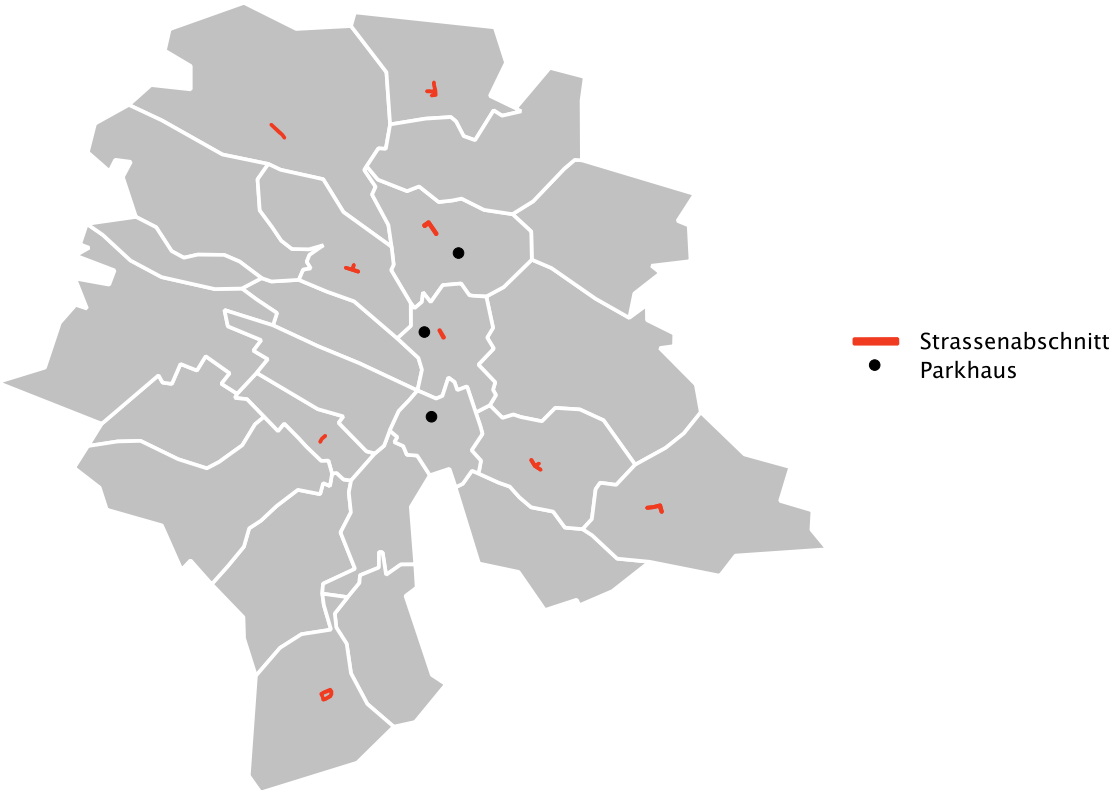
Eine grosse Anzahl Parkhäuser befindet sich im Zentrumsgebiet. Grössere Parkhäuser liegen meist etwas ausserhalb. Die Gebühren der Parkhäuser sind stark abhängig von deren Lage. Je näher sich die Parkhäuser am Stadtzentrum befinden, desto höher werden die Parkgebühren. Die Gebühren sind aber auch sehr stark vom Betreiber abhängig: So sind beispielswiese Parkhäuser von Einkaufszentren für kurze Parkdauern günstiger oder gar gratis, steigen aber stark progressiv mit zunehmender Parkdauer.

4.2 Erhebung Fussgängerdistanzen

4.2.1 Erhebungsanordnung

Die Datengrundlage zu Gehdistanzen zwischen Parkfeld und Endziel sind spärlich. Um einen Eindruck zu erhalten in welcher Grössenordnung die Distanzen von Anwohnern liegen, wurde eine empirische Erhebung durchgeführt, welche Aussagen über die Distanz zwischen Abstellplatz des Fahrzeuges und der Wohnadresse des Halters macht. Zum einen wurden die Standorte von Fahrzeugen in neun Strassenabschnitten in Blauer Zone aufgenommen und zum anderen Dauermieter in drei Parkhäusern (Abbildung 11). Zusätzlich zur Gehdistanz wurden bei den Strassenabschnitten auch die Belegung und die Anzahl illegal parkierter Fahrzeuge erhoben.

Abbildung 11 Lage der Erhebungsgebiete: Neun Strassenabschnitte in Blauer Zone und drei Parkhäuser



Die Stichproben in den Strassenabschnitten wurden so gewählt, dass die Bandbreite des Parkdruckes der Zonen (Abbildung 9) möglichst gut abgedeckt ist. Zudem wurden die beiden Zonen mit jeweils tiefstem und höchstem Parkdruck ausgewählt. Die Strassenabschnitte befinden sich eher in der Mitte der Zonen um Grenzeffekte zu vermindern (Abbildung 11). Pro Strassenabschnitt wurden bei 40 bis 60 Parkfelder die Kontrollschildernummer der Fahrzeuge aufgenommen. Die Aufnahme erfolgte mittels Sprachnotizfunktion eines Smartphones. Andere vorgängig getestete Aufnahmemethoden, wie geocodierte Fotos und Filmaufnahmen, erwiesen sich vor allem aufgrund der abendlichen Lichtverhältnisse als ungeeignet.

Die Erhebung wurde an zwei Dienstagabenden (17.04.12 und 19.06.12) zwischen 19.30 Uhr und 22.00 Uhr durchgeführt. Diese Tageszeit wurde gewählt, da die Anwohner meist zurück von der Arbeit sind und ein Parkfeld in Blauer Zone in Anspruch nehmen.

Die erste Erhebung vom 17.4. umfasste folgende Strassenabschnitte (Abbildung 12). Die Werte in den Klammern beschreiben die Anzahl untersuchten Parkfeldern:

- Abschnitt Wipkingen (41 Parkfelder): Zschökkestrasse, Corrodistrasse
- Abschnitt Allenmoos (44 Parkfelder): Beckhammer, Schürbungert
- Abschnitt Römerhof (44 Parkfelder): Samariterstrasse, Sonnhaldenstrasse
- Abschnitt Witikon (47 Parkfelder): Buchholzstrasse, Lehfrauenweg

Die zweite Erhebung vom 19.6 umfasste die Strassenabschnitte:

- Abschnitt Leimbach (57 Parkfelder): Rebenstrasse, Wegackerstrasse, Bruderwies
- Abschnitt Seebach (48 Parkfelder): Buhrain, Buhnstrasse, Eigewasenstrasse
- Abschnitt Affoltern (54 Parkfelder): Bergacker
- Abschnitt Unterstrass (42 Parkfelder): Turnerstrasse
- Abschnitt Wiedikon (41 Parkfelder): Stationsstrasse

Abbildung 12 Strassenabschnitte (1.Erhebung): Wipkingen, Allenmoos, Römerhof, Witkikon (von links nach rechts und oben nach unten)

Kartengrundlage: Kanton Zürich (2012)

Abbildung 13 Strassenabschnitte (2.Erhebung): Affoltern, Leimbach, Seebach, Unterstrass, Wiedikon (von links nach rechts und oben nach unten)

Kartengrundlage: Kanton Zürich (2012)

Zusätzlich zu den Strassenabschnitten in Blauer Zone wurden auch Parkhäuser in die Erhebung aufgenommen. Die erhobenen Parkhäuser befinden sich in unterschiedlicher Distanz zur Innenstadt. Zudem wurde bei der Auswahl darauf geachtet, dass die Parkhäuser Dauermieten zu Monats- respektive Jahresgebühren anbieten und dass die Parkhäuser über ein Mindestumfang an Parkfeldern verfügen. Mit diesen Anforderungen ist die Auswahlmöglichkeit an Parkhäusern beschränkt. Pro Parkhaus wurden rund 40 Dauerparkfahrzeuge aufgenommen.

Für die Erhebung wurden folgende Parkhäuser verwendet (Abbildung 11):

- Parkhaus Uni Irchel
- Parkhaus Stampfenbach
- Parkhaus Urania

Anschliessend an die Erhebung in der blauen Zone und in den Parkhäusern wurden die Kontrollschildnummern mit dem Fahrzeugregister des Kantons Zürich abgeglichen um die Wohnadressen der Fahrzeughalter zu erhalten. Aus den Wohnadressen wurden die Koordinaten mit Hilfe des geographischen Informationssystems des Kantons Zürich generiert.

4.2.2 Resultate zur Gehdistanzerhebung

Insgesamt wurden mittels der beschriebenen Erhebungsmethode 347 Fahrzeuge in Blauer Zone und 126 Fahrzeuge in Parkhäuser aufgenommen. Davon sind rund ⅔ eindeutig als Anwohner identifizierbar und konnten für die Ermittlung der Gehdistanzen ausgewertet werden. Die restlichen Fahrzeuge sind von Besuchern, auf einen Firmennamen registriert oder verfügen über gesperrte Halterdaten im Fahrzeugregister.

Belegung Blaue Zone

Die Belegung der Parkfelder in der Blauen Zone ist erwartungsgemäss vom Parkdruck abhängig. Der Anteil freier Parkfelder sinkt mit zunehmendem Parkdruck deutlich (Tabelle 3). In den Strassenabschnitten Leimbach, Witikon und Seebach ist rund jedes fünfte untersuchte Parkfeld nicht belegt. Hingegen ist in den Strassenabschnitten mit hohem Parkdruck kaum noch eine Parkiermöglichkeit vorhanden. Eine ähnliche Tendenz lässt sich bei der Anzahl illegal parkierter Fahrzeuge vermuten, welche auch mit zunehmendem Parkdruck steigt. Dafür ist allerdings die Aussagekraft aufgrund der kleinen Stichprobe eher gering. Die Fahrzeuge, die illegal abgestellt werden, heben sich ungefähr mit dem Verlust der Parkmöglichkeiten durch unsauberes Parkieren auf. Mit unsauberem Parken sind übermässig grosse Lücken ge-

meint, die beim Parkvorgang gelassen werden und das Abstellen der vorgesehenen Anzahl Fahrzeuge verunmöglichen.

Tabelle 3 Belegung in Blauer Zone

Strassenabschnitt	Parkdruck*	freie Parkfelder [%]	illegal Parkierte [%]
Leimbach	0.68	26	0
Witikon	0.70	19	0
Seebach	0.85	23	0
Allenmoos	0.90	16	2
Affoltern	0.99	19	2
Wipkingen	1.08	2	7
Unterstrass	1.22	2	2
Wiedikon	1.39	0	2
Römerhof	1.43	2	5

*Anzahl verkaufter Anwohner-Dauerkarten pro Parkfeld

Gehdistanzen Blaue Zone

Die erhobenen mittleren Fussgängerdistanzen in der Blauen Zone liegen zwischen 42 m und 113 m. Nach Jermann (2002) müssen die Luftliniendistanzen noch mit einem Umwegfaktor von 1.25 multipliziert werden um Realdistanzen zu erhalten. Trotzdem sind die Distanzen eher tiefer als erwartet. Mit zunehmendem Parkdruck verlängern sich auch die Fussgängerdistanzen. So sind die Distanzen bei hohem Parkdruck im Strassenabschnitt Römerhof, Wiedikon und Unterstrass mehr als doppelt lange als in Witikon oder Leimbach (Tabelle 4).

Tabelle 4 Resultate Erhebung: Gehdistanzen in Blauer Zone

Strassenabschnitt	Parkdruck*	Gehdistanz μ (σ) [m]	mittlere Differenz zwischen effektiv gewähltem und nächstem Parkfeld [m]
Leimbach	0.68	45 (36)	17
Witikon	0.70	42 (28)	17
Seebach	0.85	60 (49)	38
Allenmoos	0.90	52 (52)	23
Affoltern	0.99	79 (128)	57
Wipkingen	1.08	62 (44)	41
Unterstrass	1.22	113 (98)	89
Wiedikon	1.39	107 (92)	88
Römerhof	1.43	91 (81)	62

*Anzahl verkaufter Anwohner-Dauerkarten pro Parkfeld

Die untersuchten Strassenabschnitte befinden sich in Gebieten mit unterschiedlicher Dichte an Parkfeldern mit Blauer Zone. Gegen den Stadtrand hin wurde vermutet, dass vor allem aufgrund des hohen Anteils der privaten Parkierung eher geringere Dichten an Parkfelder Blauer Zone vorliegen, womit die Gehdistanzen wieder ansteigen könnten. Um diesen Effekt zu eliminieren wurde zusätzlich auch die Differenz zwischen dem theoretisch nächsten (unabhängig ob belegt oder nicht) und dem effektiv gewählten Parkfeld berechnet (Tabelle 3). Im Strassenabschnitt in Witikon mit dem tiefsten Parkdruck ist die Differenz zwischen dem nächsten und dem gewählten Parkfeld mit nur 17 m relativ gering. Die Anwohner können ihr Parkfeld in der Blauen Zone nahezu auswählen. Auch die berechneten Differenzen zwischen dem theoretisch nächsten und dem effektiv gewählten Parkfeld steigen mit zunehmendem Parkdruck an. So sind die Differenzen in den Zonen mit dem höchsten Parkdruck (Römerhof, Wiedikon und Unterstrass) bis fünf mal höher und grössere Abstände müssen in Kauf genommen werden.

Gehdistanzen Parkhaus

Mit rund 200 m sind die Fussgängerdistanzen in den Parkhäusern deutlich höher als jene in der Blauen Zone (Tabelle 5). Die Realdistanzen würden um einiges höher anfallen, da der Weg vom Parkfeld bis zum Ausgang des Parkhauses nicht berücksichtigt wurde. Ein Zusam-

menhang zwischen Fussgängerdistanz und Abstand zur Innenstadt konnte nicht ermittelt werden. Dazu ist allerdings eine Stichprobe von drei Parkhäusern zu gering. Die Nähe zur Innenstadt widerspiegelt sich aber in den steigenden Parkgebühren.

Tabelle 5 Resultate Erhebung: Gehdistanzen in Parkhäusern

	Urania	Stampfenbach	Universität Irchel
Anzahl aufgenommene Fz	35	62	29
Anzahl auswertbarer Fz	18	43	24
Gebühr Dauermiete [CHF/Monat]	360	195	130*
Gehdistanz (Luftlinie)			
μ (σ) [m]	207 (85)	202 (134)	1509 (894)
mittlere Differenz zwischen effektiv gewähltem und nächstem Parkfeld in Blauer Zone [m]	-299**	168	1394

* Reduzierte Gebühren für Angestellte und Studenten der Universität
** Keine Parkfelder Blauer Zone in der Innenstadt vorhanden

Die Parkhäuser müssen einzeln betrachtet werden, so stellt das Parkhaus Universität Irchel einen Sonderfall dar: Es verfügt über viel höhere Fussdistanzen als die anderen beiden Untersuchungsobjekte. Zum einen liegt dies an der unmittelbaren Umgebung, denn das Parkhaus ist in ein Parkgelände eingebettet. Zum anderen sind die Gebühren für Dauermieten relativ tief und es gibt noch zusätzlich Ermässigung für Studenten und Angestellte der Universität, so dass Halter einen weiten Weg in Kauf nehmen um das Fahrzeug abzustellen. Daraus lässt sich schliessen, dass es einen Markt gibt für Parkfelder, die aufgrund der tiefen Miete weit weg in Parkhäuser abgestellt werden und zu der Benutzung der Fahrzeuge zuerst mit einem anderen Verkehrsmittel angereist werden muss.

Da sowohl die Gehdistanzen von Parkhäusern als auch die Gebühren deutlich höher sind als in der Blauen Zone, wäre es interessant zu untersuchen, welche Faktoren beim Wahlverhalten der Fahrzeughalter in welchem Mass eine Rolle spielen. Mögliche Faktoren wären beispielsweise die persönliche Sicherheit, Reduktion der Parkfeldsuchzeit und Schutz des Fahrzeuges vor Umwelteinflüssen. Eine kombinierte Befragung der Fahrzeughalter könnte hierzu aufschlussreich sein.

5 Zürich Szenario

Der in dieser Arbeit verwendete Modellansatz (Kapitel 3.3) soll am Beispiel der Stadt Zürich zur Validation und zur Bewertung von Parkraumbewirtschaftungsmassnahmen angewendet werden. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die gewonnenen Erkenntnisse der Analysen zum ruhenden Verkehr (Kapitel 4) in das Modell implementiert werden können. Es zeigt die Herkunft und die Methodik zur Bereitstellung der Inputdaten für das Zürich Szenario.

5.1 GIS-Softwareumgebung und Methodik

Für die Bereitstellung der Daten wurden vorwiegend OpenSource Software-Lösungen eingesetzt. Die Daten wurden in das objektrelationale Datenbanksystem PostgresSQL importiert. Durch die Erweiterung von PostgreSQL mit PostGIS lassen sich auch räumliche Informationen speichern und räumliche Abfragen machen, wobei die räumlichen und vektorbasierten Abfragen mittels PostGIS-Funktionalität über sehr effiziente Laufzeiten verfügen. Zur Visualisierung der räumlichen Daten wurde QGIS verwendet, welches direkt auf die PostGIS Datenbank zugreifen kann, aber nur beschränkte Analysemöglichkeiten hat. Darum wurde für die Bearbeitung der Daten zusätzlich GRASS GIS verwendet, dass in Kombination mit Python-Scripting ein leistungsfähiges Analysewerkzeug darstellt.

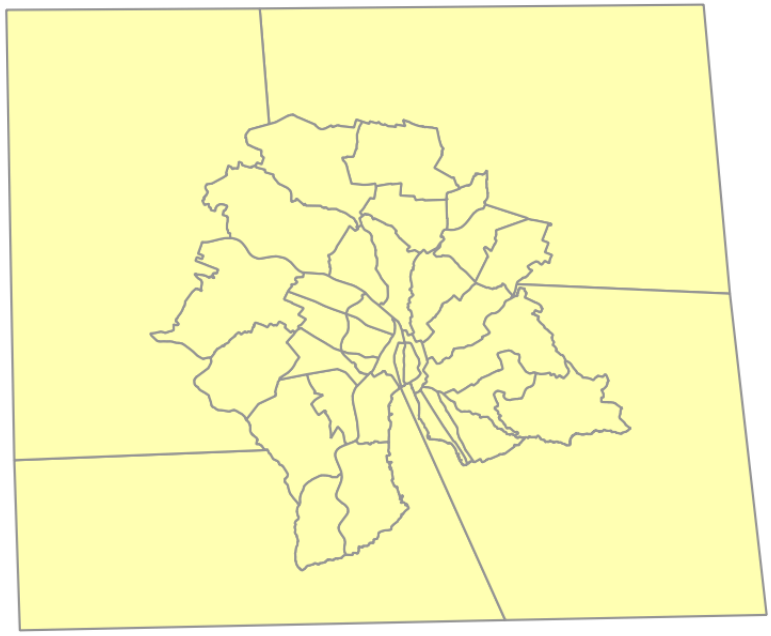
Für die in den nächsten Kapiteln beschriebene Vorgehensweise zur Bereitstellung der Daten für das Zürich Szenario wurden schlussendlich die beiden beschriebenen Analysemöglichkeiten kombiniert angewendet: Erstens Grass-Skripte in Python und zweitens direkte räumliche SQL-Abfragen mittels den PostGIS-Funktionalitäten.

5.2 Zonenbildung

Die Zoneneinteilung ist ein Abwägen zwischen Auflösung und Rechengeschwindigkeit. Da mit dem Ziel der Massnahmenbewertung die grossräumigen Effekte im Vordergrund stehen, wurde für die Zoneneinteilung die Ebene der Stadtquartiere gewählt. Die Quartiere haben zudem verlässliche Datengrundlagen. Zusätzlich zu den 34 Quartieren wurden noch vier Zonen ausserhalb des Stadtgebietes definiert, welche die Bewegungen über die Stadtgrenzen symbolisieren. Die vier Aussenzonen sind so gewählt, dass sie die 4 Hauptströme in die Stadt widerspiegeln. Die NW-Zone charakterisiert die Einflüsse aus der Achse Limmattal, die NO-Zone beschreibt die Ströme vom Glatttal, aus SO kommen die Fahrzeuge von dem rechten Seeufer

und der Forch und die SW-Zone nimmt die Ströme vom Üetlibergtunnel und dem linken Seeufer auf (Abbildung 15). Insgesamt bildet das Modell 38 Zonen ab. Die Knoten bilden sich aus den Zentroiden der Zonen.

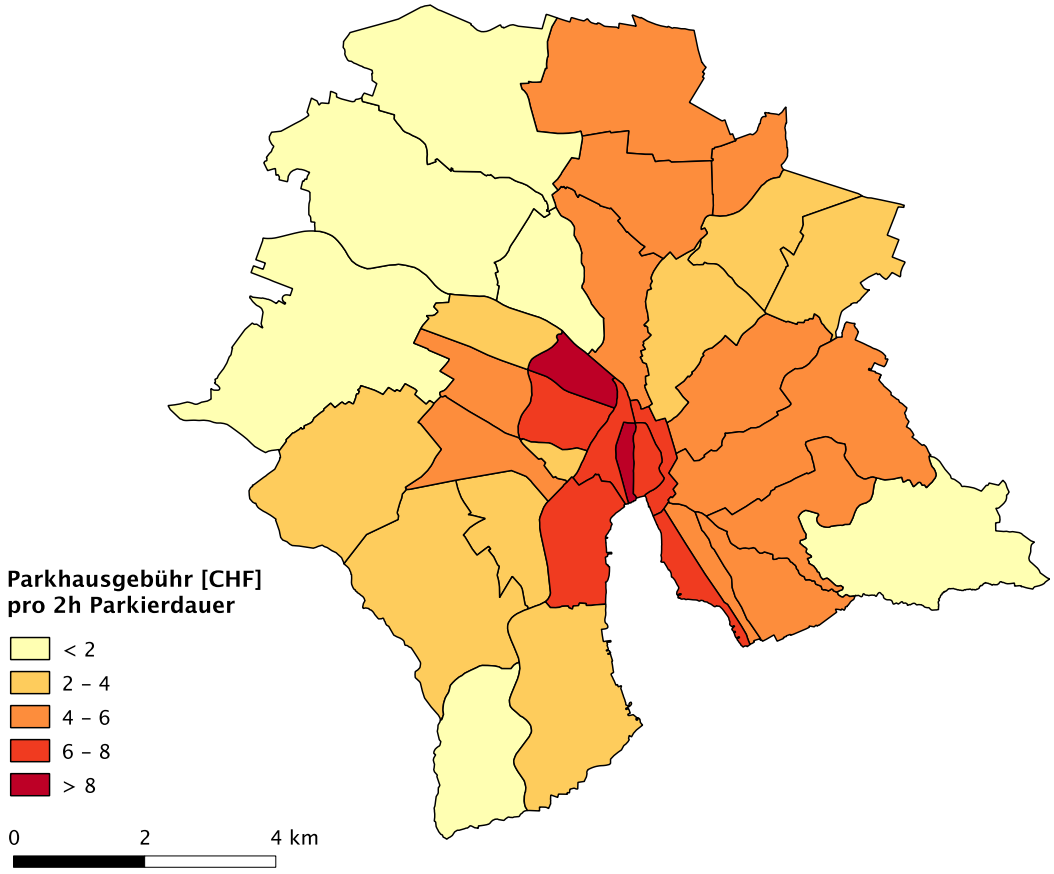
Abbildung 15 Zoneneinteilung Zürich Szenario



Für jede Zone wurden die Anzahl Parkfelder für private Parkierung, Parkierung im Strassenraum und Parkierung in Parkhäusern aggregiert. Zusätzlich zu der Anzahl Parkfelder wurde auch die Parkgebühr aufgenommen. Dabei wurden die Gebühren für eine Parkdauer von 2 h verwendet, da dies in etwa der durchschnittlichen Parkdauer in der Stadt Zürich entspricht (Marti et al., 2011). Für Parkfelder auf öffentlichem Grund werden die Gebühren aus der PPV-Verordnung verwendet (Kapitel 4.1.2). Für die Gebühren der Parkierung in Parkhäuser werden die Erkenntnisse aus den Analysen angewendet. Dabei wurde das nach Anzahl Parkfeldern gewichtete Mittel der einzelnen Parkhäuser pro Zone berechnet. Wo keine Parkgebühren bekannt sind, werden die Gebühren aus den Erkenntnissen der Analysen (Kapitel 4.1.1) modelliert (Abbildung 16). Die Gebühren wurden linear interpoliert in Funktion der Entfernung der Zentroids der Zone zur Bahnhofsstrasse (Abbildung 5):

$$Parkgeb\ddot{u}hr\ PH_{2h} = 7.8\ [CHF] - 1.4\ [CHF/km] \times Distanz\ [km]$$

Abbildung 16 Interpolierte Parkhausgebühren nach Zone



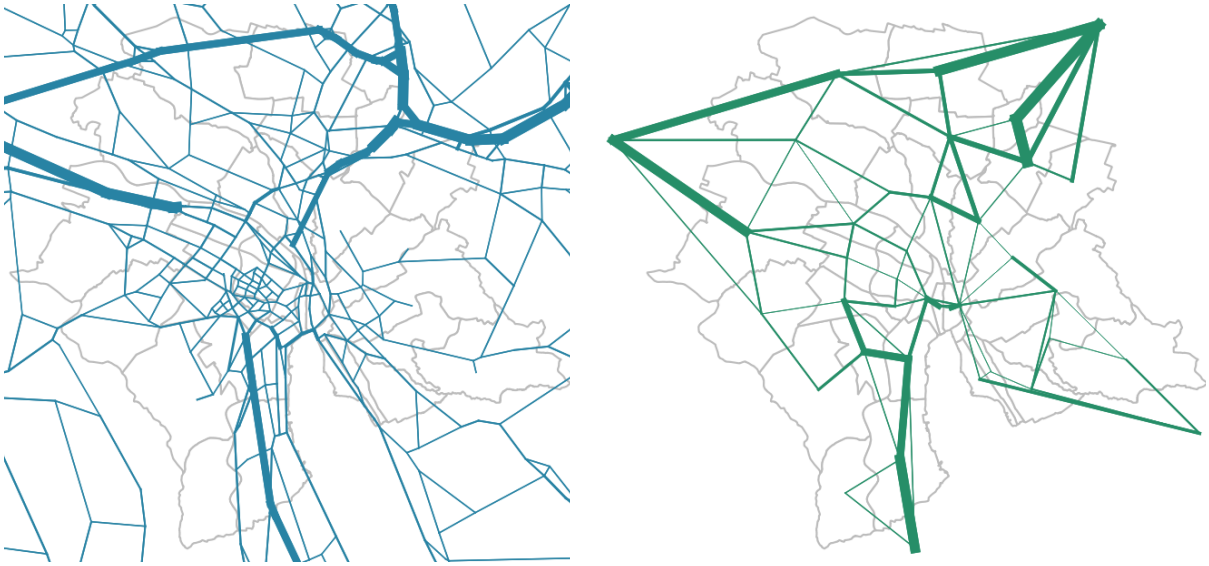
5.3 Netzwerk

Das Strassennetzwerk stellt ein zentrales Element des Modells dar. Bei dem in dieser Arbeit verwendeten Ansatz wird das Strassennetz stark vereinfacht, sodass vom Zentroid einer Zone jeweils nur eine Verbindung zu den Zentroiden der umliegenden Zonen besteht.

Für die Streckenkapazitäten und Geschwindigkeiten wurde das MATSim-Planungsnetz von Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Dasen, Erne, Singer, Axhausen und Lohse (2005) als Grundlage verwendet. Zur Ermittlung der Streckenkapazitäten zwischen zwei Zonen wurden die Kapazitäten aller Streckenabschnitte aufsummiert, welche den gemeinsamen Grenzabschnitt der beiden Zonen überqueren. Bei Streckengeschwindigkeit wurde nahezu analog vorgegangen mit dem Unterschied, dass anstatt der Summation das nach Kapazität gewichtete Mittel der überquerenden Strecken berechnet wurde. Die Strecken wurden richtungsabhängig berechnet. Abbildung 17 vergleicht das als Grundlage verwendete Strassennetz mit dem nach der oben be-

schriebenen Methodik aggregierten Netz. Die Resultate sehen plausibel aus, die Hauptachsen sind deutlich erkennbar. Auch die trennende Wirkung der Topographie (Hügelzüge des Zürich- und Üetlibergs) sind abgebildet. Da die Strecken immer über die Zentroide der Zonen führen, können Zickzack-Effekte entstehen. Dies ist vor allem im Bereich von Zürich Nord deutlich sichtbar, wo der Autobahnzubringer zur A1 liegt.

Abbildung 17 Strassennetz MATSim vs. TAM-Modell (Linienbreite: Kapazität)



5.4 Nachfrage

In der fiktiven Beispielstadt ist die Nachfrage einfach implementiert: Die Agenten kommen aus 4 Richtungen und wollen alle ins CBD. Das Zürich Szenario ist mit den detaillierteren Quell-Zielbeziehungen deutlich komplexer. Als Grundlage für die Generierung der Nachfrage wurde das Zürich Szenario von MATSim verwendet, welches in Meister, Balmer, Ciari, Horni, Rieser, Waraich und Axhausen (2010) und Waraich et al. (2012a) vorgestellt wurde. MATSim modelliert Aktivitätenpläne, die das Verhalten der Agenten während eines Tages abbilden. Weiterführende Literatur zur Generierung der Aktivitätenpläne in MATSim findet sich beispielsweise in Meister, Rieser, Ciari, Horni, Balmer und Axhausen (2009).

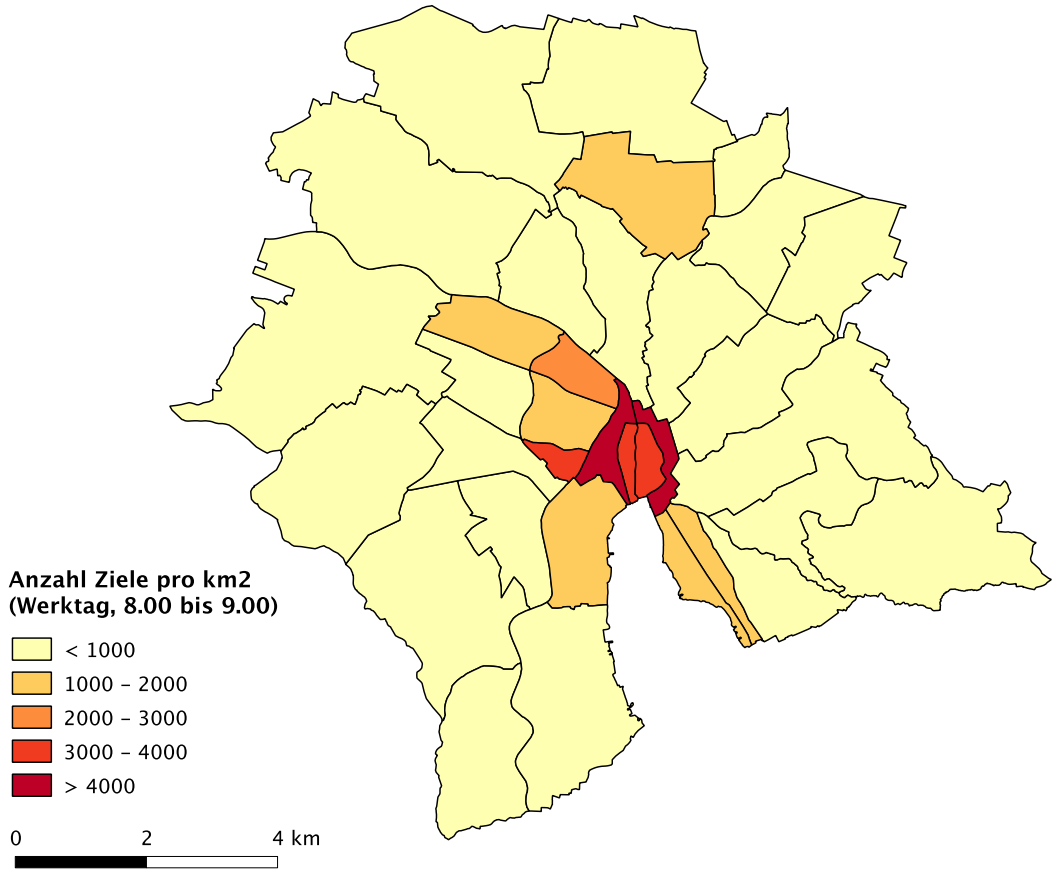
Aus den Nachfrage-Grundlagen von MATSim wurden alle MIV-Agenten extrahiert, welche sich während des Betrachtungszeitraumes im städtischen Perimeter befinden. Als Betrachtungszeitraum wurde 8:00 bis 9:00 gewählt, weil zu diesem Zeitpunkt die Parkhäuser die stärksten Belegungen aufweisen (Waraich et al., 2012a). Die detaillierten Nachfrage-Daten

wurden auf Ebene der Zonen aggregiert, und daraus Quell-Ziel-Matrizen abgeleitet. Die Nachfrage teilt sich in zwei unterschiedliche Klassen auf:

- Fahrten mit Ziel im Stadtgebiet (Bedarf an Slots im Strassennetz und im Parkraum)
- Fahrten, die das Strassennetz im Stadtgebiet beanspruchen, aber nicht Parkieren; zum Beispiel mit Ziel ausserhalb des Stadtgebietes oder ausserhalb des zeitlichem Untersuchungsperimeter (nur Bedarf an Slots im Strassennetz)

Zusätzlich zu den Fahrzeugen, die während des Betrachtungszeitraumes unterwegs sind, wurde auch die Grundbelegung des Parkstands aus MATSim abgeleitet, welcher zum Startzeitpunkt vorherrscht. Konkret: Wie viele Parkfelder je Zone zum Zeitpunkt „Null“ schon durch Fahrzeuge belegt sind.

Abbildung 18 MIV-Zieldichte pro Stunde



Die Ziele der Aktivitätenpläne liegen stark konzentriert in Quartieren der Innenstadt. Die höchste Zieldichte weist das Quartier City auf, gefolgt von dem Quartier Hochschulen. Oerlikon zeigt wiederum den Zentrumscharakter mit deutlich höheren Werten als die umliegenden Quartiere (Abbildung 18). Da das Szenario einen Werktags abbildet sind dies auch die Gebiete mit hoher Arbeitsplatzdichte, was die Plausibilität der generierten Daten stärkt.

6 Massnahmenbewertung

6.1 Versuchsplan

Um Aussagen über die Effektivität der Parkraumbewirtschaftung in der Stadt Zürich machen zu können werden verschiedene Szenarien vorgeschlagen. Dabei stehen drei Variablen im Vordergrund: Parkgebühren, Parkraumkapazität und die Einführung einer Strassenmaut.

Als Referenzszenario dient die heutige Parkraumsituation: Die Gebühren für Parkierung im Strassenraum werden gemäss PPV festgelegt. Das heisst, rund fünf mal höhere Tarife in der Innenstadt (Quartiere: Werd, Langstrasse, Gewerbeschule, City, Lindenhof, Rathaus und Hochschule) und im Zentrum von Oerlikon als in den übrigen Gebieten (Abbildung 10).

Die Gebühren für Parkhäuser entsprechen dem jetzigen Stand (gemäss Kapitel 5.2). Es besteht keine Strassenmaut. Abweichend vom Referenzszenario werden folgende Ausprägungen der Variablen getestet:

Gebühr:

- Referenzfall
- Optimal
- Referenzfall – 50%
- Referenzfall +100%

Strassenmaut:

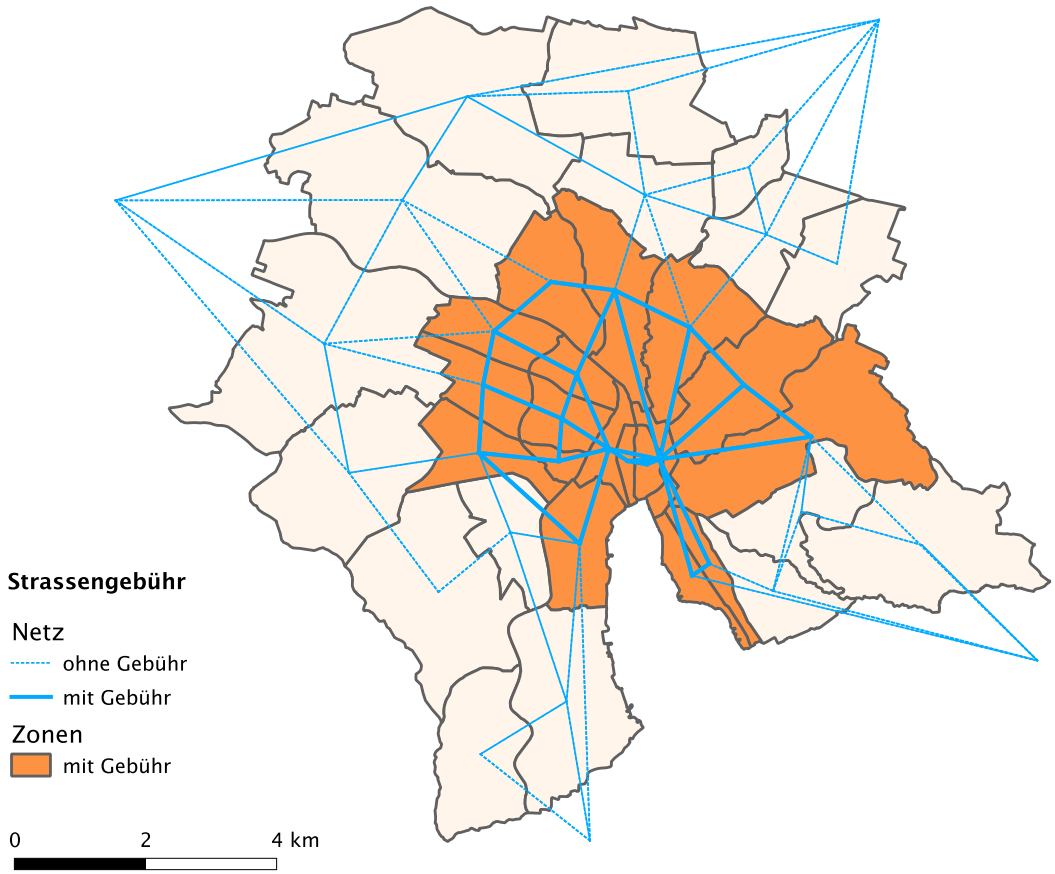
- Ja
- Nein

Parkraumkapazität:

- Referenzfall
- Strassenraum – 100 % und Parkhäuser +100 % (vom Strassenraum)
- Strassenraum – 25% und Parkhäuser + 0%
- Strassenraum – 50% und Parkhäuser + 50% (vom Strassenraum)
- Strassenraum + 0% und Parkhäuser – 10%
- Strassenraum + 0% und Parkhäuser – 25%

Die Maut wird fiktiv für die Innenstadt getestet. Dabei wird die Strassengebühr auf die Quartiere im und um das Einzugsgebiet des historischen Parkplatzkompromisses angewendet. Die Strassengebühr betrifft die Quartiere Enge, Sihlfeld, Hard, Escher-Wyss, Langstrasse, Gewerbeschule, Wipkingen, Unterstrass, Oberstrass, Fluntern, Hottingen, Seefeld, Mühlebach, City, Lindenhof, Hochschulen und Rathaus (Abbildung 19). Für alle Strecken, die zwei Quartiere des Mautperimeters verbindet, wird eine Strassengebühr erhoben.

Abbildung 19 Strecken in der Innenstadtmaut



Aus den beschriebenen Ausprägungen lassen sich die Szenarien aus Tabelle 6 ableiten. Das Verordnungsszenario stellt den Referenzzustand dar und dient als Grundlage für die anderen Szenarien. Endogene Variablen werden dem Modell als freie Variablen übergeben und stellen die zu optimierenden Grössen dar.

Tabelle 6 Versuchsplan: Szenarien

Szenario	Gebühren		Maut	Kapazität	
	Strassenraum	Parkhaus		Strassenraum	Parkhaus
1. Verordnung	gemäss PPV (Referenz)	endogen	nein	heutiger Stand (Referenz)	heutiger Stand (Referenz)
2. Optimale Gebühren	endogen	endogen	nein	Referenz	Referenz
3. Gebühr – 50%	Referenz – 50%	endogen	nein	Referenz	Referenz
4. Gebühr + 100%	Referenz + 100%	endogen	nein	Referenz	Referenz
5. Maut	Referenz	endogen	ja (endogen)	Referenz	Referenz
6. Maut und optimale Gebühr	endogen	endogen	ja (endogen)	Referenz	Referenz
7. Keine Strassenraum-parkierung (Innenstadt)	Referenz	endogen	nein	-	Referenz + Referenz Strassenraum
8. Strassenraum – 25%	Referenz	endogen	nein	Referenz – 25%	Referenz
9. Strassenraum – 50% , PH + 50 %	Referenz	endogen	nein	Referenz – 50%	Referenz + 50%
10. PH – 25%	Referenz	endogen	nein	Referenz	Referenz – 25%
11. Nutzergleichgewicht	0	endogen	nein	Referenz	Referenz

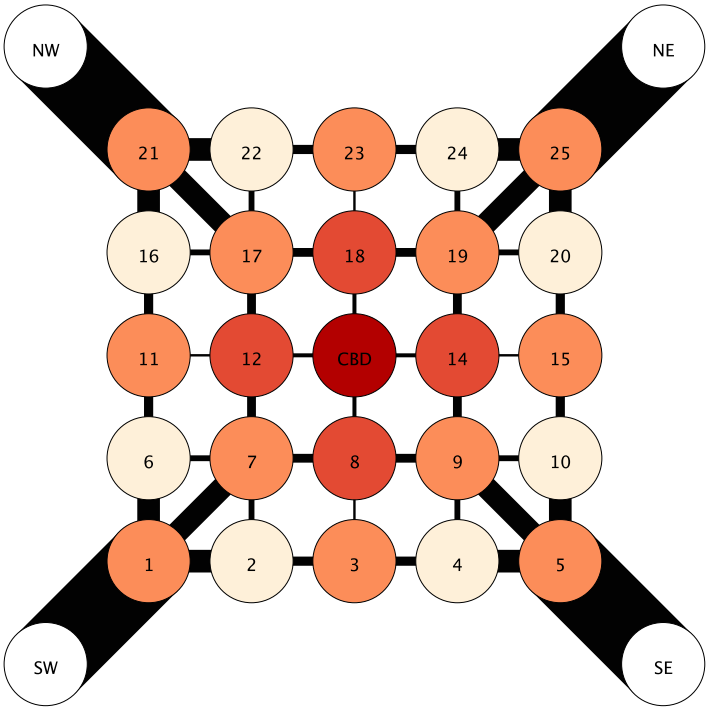
6.2 Resultate

Anhand der fiktiven Beispielstadt (Kapitel 3.3) wurden die vorgestellten Szenarien getestet. Einerseits um den neuen Modellansatz zu validieren und andererseits um Erkenntnisse über die Auswirkungen der vorgestellten Massnahmen (Tabelle 6) zu gewinnen. In einer ersten Phase werden zur Vereinfachung der Interpretation homogene Agenten verwendet mit einheitlichen Zeitwerten.

Die Parkhausgebühren werden in allen Szenarien als endogene Variablen des Modells verwendet und eignen sich daher ideal um die Nachvollziehbarkeit der Modellresultate zu untersuchen und die Szenarien zu vergleichen. Abbildung 20 zeigt beispielhaft die Parkhausgebühren des Szenarios *Optimale Strassengebühr*. Die Farbe des Knotens widerspiegelt die Gebühr

im Parkhaus und die Linienbreite zeigt die Belastungen auf den Strecken. Erwartungsgemäss sind die Gebühren im Stadtzentrum hoch und nehmen Richtung Stadtrand ab. An den Ecken (Knotennummer 1, 5, 21, 25) sind die Parkgebühren leicht höher als in den umliegenden Knoten. Das liegt daran, dass auch die Belastungen bei den Netzzugängen am höchsten sind und entsprechend steigen die Fahrzeiten auf den Strecken. Deshalb wird schon von diesem Knoten zu Fuss zum Zentrum gegangen. Die Nachfrage nach den Parkfeldern in den Eckknoten steigt und somit reagieren auch die Parkgebühren.

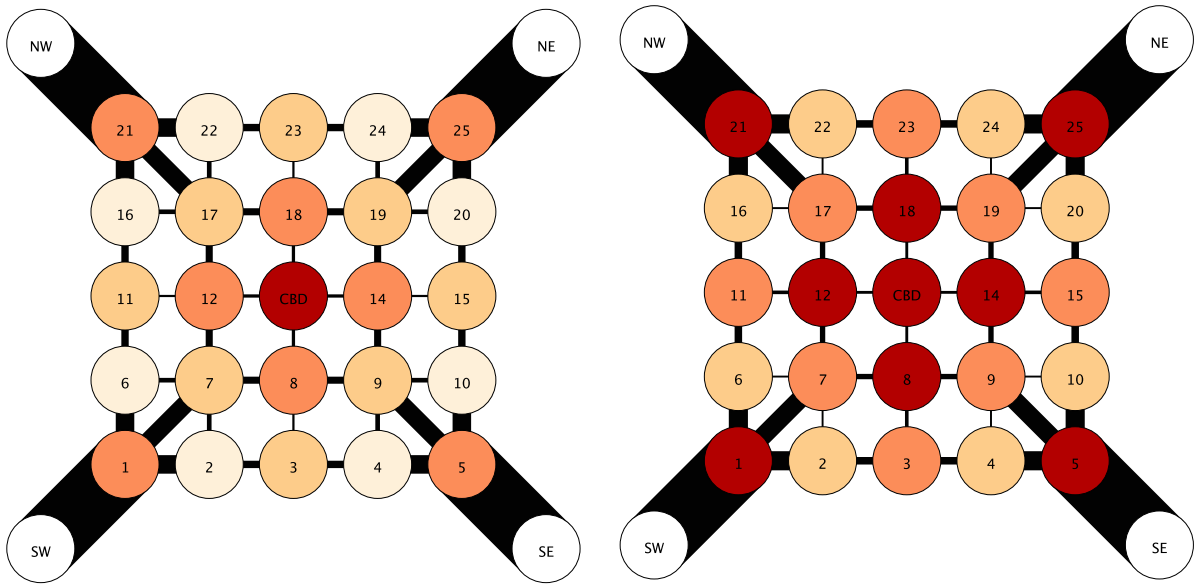
Abbildung 20 Parkhausgebühr im Szenario: Optimale Strassengebühr



Die Parkfelder im Strassenraum und in Parkhäuser sind in den Knoten entweder vollständig oder gar nicht belegt; Zwischenwerte kommen nicht vor. Bei den Parkhäusern scheint dies plausibel, hingegen weniger bei der Parkierung im Strassenraum. Es wird erwartet, dass bei stark ausgelasteten Knoten die Suchzeiten soweit ansteigen, dass ein anderer Knoten aufgesucht wird. Für die vollständig belegten Parkfelder im Strassenraum kommen zwei Erklärungen in Frage: Erstens, könnte dies an den einheitlichen Parkraumkapazitäten und an der symmetrischen Stadtstruktur liegen und zweitens an der implementierten Funktion zur Parkfeldsuche. Dort wären detailliertere Test nötig, um die Kalibrierung der Suchfunktion zu verbessern.

Beim Szenario *Kapazität PH-25%* wurden die Parkraumkapazitäten der Parkhäuser um 25% reduziert. Abbildung 21 zeigt, wie sich die Gebühren gegenüber Kapazitätsänderungen verhalten. Es wird deutlich, dass die Gebühren von Angebot und Nachfrage abhängig sind: Sinkt die Parkraumkapazität, so steigen die Gebühren an.

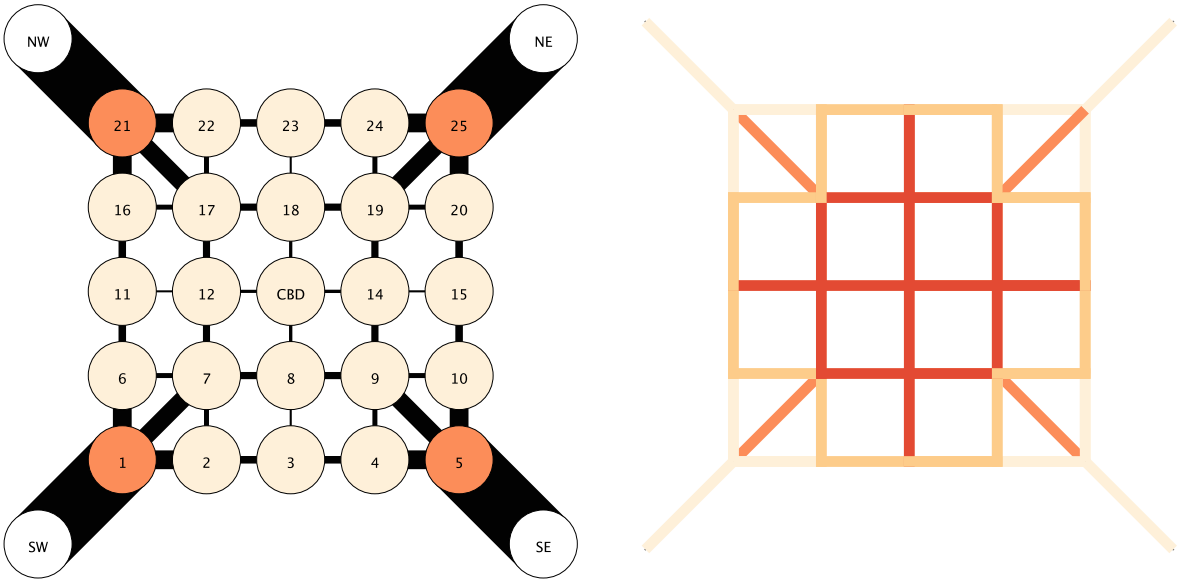
Abbildung 21 Parkhausgebühr: Verordnung (links) vs. Kapazität PH-25% (rechts)



Die Gebühren der Parkhäuser sind zusätzlich zur Kapazität auch von den Parkgebühren im Strassenraum abhängig und umgekehrt. Steigen die Gebühren der Parkierung im Strassenraum an (Szenario 4: Verordnung +100%), so steigen auch die Preise in den Parkhäusern. Demgegenüber sinken die Preise in den Parkhäusern, wenn die Gebühren im Strassenraum (Szenario 3: Verordnung -50%) sinken.

Im Szenario 6 wird sowohl eine optimale Parkgebühr als auch eine streckenabhängige Maut eingeführt. Abbildung 22 zeigt einerseits die optimale Parkgebühr in Parkhäusern und andererseits die Mautgebühren auf den Strecken. Die Resultate weisen darauf hin, dass die optimale streckenabhängige Strassengebühr die gleichen Wirkungen hat wie die optimale Parkgebühr im Strassenraum. Die Maut ist am höchsten bei den Strecken, die zum CBD führen, sinkt mit zunehmender Distanz vom Stadtzentrum und ersetzt somit die Bewirtschaftung der Parkfelder im Strassenraum. Die Parkgebühren im Strassenraum sind im Szenario 6 mit Ausnahme der Eckknoten über das gesamte Stadtgebiet einheitlich tief. Es macht daher wenig Sinn, die beiden Bewirtschaftungsmethoden kombiniert einzusetzen.

Abbildung 22 Szenario 6: Kombination von optimaler Parkgebühr im Strassenraum (links) und streckenabhängiger Maut (rechts)



Die totalen Zeitkosten, welche zur Quantifizierung und Bewertung der Szenarien verwendet werden, bewegen sich in einem vergleichbaren Bereich. Die tiefsten Zeitkosten verfügen die Szenarien, in denen die Parkfelder im Strassenraum durch die Parkfelder in Parkhäusern ersetzt werden (Szenario 7 und 9) sowie die Szenarien mit optimalen Parkgebühren im Strassenraum (Szenario 1 und 6). Die höchsten Zeitkosten weisen die Szenarien auf, in welchen die Parkraumkapazitäten reduziert werden (Szenario 8 und 10).

Durchschnittlich wählen 60% der Agenten ein Parkfeld im Parkhaus und 40% ein Parkfeld im Strassenraum. Die Parkgebühren sind in den Parkhäuser rund um ein Drittel höher. Grund dafür sind die Suchzeiten, die bei der Parkierung im Strassenraum anfallen.

Durch die Einführung der optimalen Parkgebühr können die Suchzeiten um 20% reduziert werden gegenüber einem Szenario mit gebührenfreier Parkierung im Strassenraum. Werden die Gebühren im Strassenraum erhöht (Szenario 4), wählen die Agenten vermehrt Parkhäuser und die Suchzeiten reduzieren sich. Der gegenteilige Effekt kann bei einer Reduktion der Parkgebühren (Szenario 3) beobachtet werden.

Sowohl die Belastungen im Netz als auch die Fahrzeiten sind über alle Szenarien gesehen nahezu konstant. Lediglich wenn die Parkraumkapazitäten heruntergeschraubt werden, reduzieren sich auch die Belastungen im Stadtzentrum. Die Agenten müssen weiter entfernt parkieren, wodurch sich die Gehdistanzen verlängern.

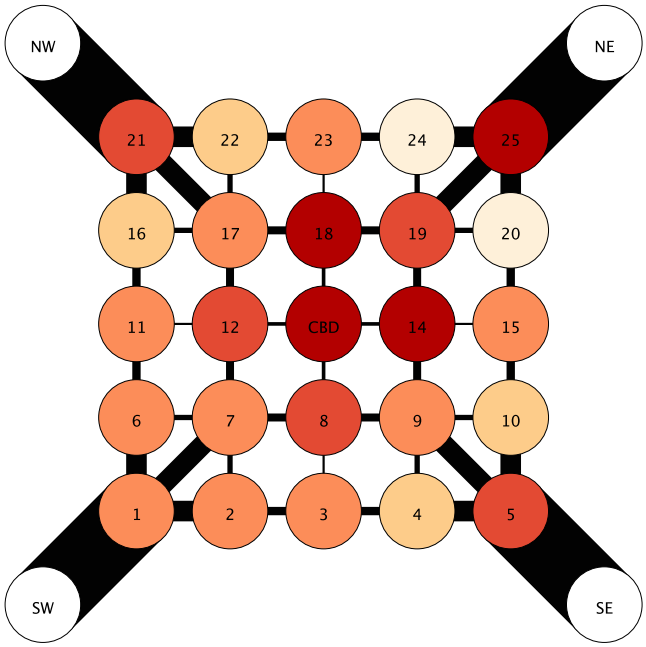
Zum Schluss wurde das Modell mit heterogenen Agenten berechnet. Die Zeitwerte sind je nach Herkunft unterschiedlich. Tabelle 7 zeigt das Verhalten bezüglich Parkfeldwahl der heterogenen Agenten. Agenten mit hohem Zeitwert wählen vermehrt Parkfelder in Parkhäuser (67%), um allfälligen Suchzeiten auszuweichen. Agenten mit tiefen Zeitwerten hingegen benutzen hauptsächlich die Parkierung im Strassenraum.

Tabelle 7 Parkfeldwahlverhalten bei heterogenen Agenten (Szenario: Nutzergleichgewicht)

Agententyp	Herkunftsknoten	im Parkhaus	im Strassenraum
Hoher Zeitwert	NE	68%	32%
Mittlerer Zeitwert	NW, SE	58%	42%
Tiefer Zeitwert	SW	38%	62%

Die unterschiedlichen Zeitwerte der Agenten widerspiegeln sich auch in den Parkgebühren. Die Gebühren steigen in Richtung NE, der Herkunft der Agenten mit hohem Zeitwert. Abbildung 23 zeigt beispielsweise die Parkhausgebühren im Szenario 2 (Optimale Parkgebühren). Die gleiche Tendenz weisen auch die anderen Szenarien auf.

Abbildung 23 Parkhausgebühr im Szenario: Optimale Strassengebühr



7 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurden verschiedene Themen im Bereich des ruhenden Verkehrs untersucht. Die Haupterkenntnisse der einzelnen Themen werden in diesem Kapitel zusammenfassend vorgestellt und diskutiert.

Die Analyse der Parksituation in der Stadt Zürich hat verschiedene Zusammenhänge aufgezeigt. Die private Parkierung überwiegt deutlich mit rund 75% der Parkfelder. Der Parkdruck ist im Zentrum am grössten und nimmt Richtung Stadtrand ab. Auch finden sich die höchsten Gebühren der Parkhäuser im Stadtzentrum und nehmen mit steigender Entfernung ab. Neben der Innenstadt kann Oerlikon als weiteres Subzentrum für die umliegenden Quartiere betrachtet werden.

Die durchgeführte empirische Erhebung lieferte neue Erkenntnisse zu den Gehdistanzen zwischen Abstellfeld und Endziel. Die Distanzen liegen in der Blauen Zone zwischen 40 und 110 m und sind abhängig vom vorherrschenden Parkdruck. Die Dauermieter der Parkhäuser verfügen mit rund 200 m über längere Distanzen. Die Distanzen bei den Parkhäusern sind allerdings stark von deren spezifischen Lage und Tarifgestaltung abhängig. Die Erhebung wurde versuchte die Bandbreite des Parkdruckes möglichst umfassend abzudecken. Daher ist die Stichprobengrösse in den einzelnen Strassenabschnitten eher gering. Zuverlässigere Resultate könnten durch weitere Erhebungen und eine Vergrösserung des Stichprobenumfangs erreicht werden. Die Erhebung zielte auf die Gehdistanzen der Anwohner. Die Resultate können daher nicht auf andere Aktivitätsbereiche wie Freizeit oder Einkauf übernommen werden. Da wären eigene Erhebungen notwendig und wünschenswert. Spannend wäre zusätzlich, die Erhebung mit einer Befragung der Fahrzeughalter zu kombinieren.

Der Modellansatz zum ruhenden Verkehr wurde in der Beispielstadt anhand verschiedener Massnahmenszenarien angewendet und zeigte grösstenteils nachvollziehbare Resultate, sowohl bei homogenen als auch bei heterogenen Agenten:

- Parkgebühren steigen mit zunehmender Nähe zum Stadtzentrum.
- Streckenbelastungen sind am höchsten bei den Netzzugängen
- Parkgebühren sind abhängig von Angebot und Nachfrage
- Streckenbasierte Maut ersetzt Parkgebühr

Die Parkfeldsuche erweist sich allerdings noch als problematisch und sollte noch zusätzlich untersucht werden, um eine verbesserte Kalibrierung zu erreichen. Das Modell berücksichtigt

weder die Verkehrsmittelwahl noch die Wahl der Abgangszeit. Die Nachfrage ist fix und unabhängig von den getroffenen Massnahmen. Es können daher nur beschränkt Aussagen über die gesamtverkehrlichen Auswirkungen gemacht werden. Trotzdem stellt der Ansatz ein sehr effizientes Instrument dar, die Effekte von Politikmassnahmen auf den ruhenden Verkehr abzubilden und zu testen.

Als nächster Schritt soll der Ansatz auf ein reales Umfeld angewendet werden. Die Grundlagen dazu wurden mit dieser Arbeit geschaffen. Das Szenario für die Stadt Zürich ist bereit für die Umsetzung. Als Input für das Modell wurde für die definierten Zonen die Parkrauminformationen zusammengestellt, ein für den Ansatz passendes Strassennetz erstellt und die Verkehrs- und Parkfeldnachfrage ermittelt.

In Zürich – wie auch in anderen Schweizer Städten – dominiert die private Parkierung Im Modell ist bisher allerdings nur die öffentlich zugängliche Parkierung implementiert. Es stellt sich die Frage, inwieweit eine Anwendung beschränkt auf die öffentliche Parkierung sinnvoll ist und wie die private Parkierung berücksichtigt werden könnte. Die Umsetzung der Stadt Zürich könnte hier aufschlussreich sein.

8 Literatur

Albert, G. und D. Mahalel (2006) Congestion tolls and parking fees: A comparison of the potential effect on travel behavior, *Transport Policy*, **13** (6), 496-502.

Arnott, R., A. de Palma und R. Lindsey (1991) A temporal and spatial equilibrium analysis of commuter parking, *Journal of Public Economics*, **45** (3), 301-335.

Arnott, R. und J. Rowse (1999) Modeling parking, *Journal of Urban Economics*, **45** (1), 97-124.

Arnott, R. (2011) Parking economics, in A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet und R. Vickerman (Hrsg.) *A Handbook of Transport Economics*, 726-743, Edward Elgar Publishing, Cheltenham.

Axhausen, K.W. (1988) Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstandswahl, *Schriftenreihe*, **40**, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

Axhausen, K.W. und J.W. Polak (1991) Choice of parking: Stated preference approach, *Transportation*, **18** (1), 59-81.

Axhausen, K.W. (2006) Rationale Parkstandsbereitstellung: Besprechung von D. Shoups „The High Costs of Free Parking", *Strasse und Verkehr*, **59** (5), 35-37.

Baier, R., C. Hebel, C. Peter und K.H. Schäfer (2000) Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung, *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen*, **V 75**, Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach.

Balijepalli, N.C., S.P. Shepherd und A.D. May (2008) Modelling the choice of car parks in urban areas and managing the demand for parking, paper presented at the, *87th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2008.

Bates, J.W. (1972) A gravity allocation model for parking demand, *Highway Research Record*, **10** (395), 1-4.

Benenson, I. und K. Martens (2008) From modeling parking search to establishing urban parking policy, *Künstliche Intelligenz*, **22** (3), 8-13.

Boesch, H. (1986) Der Fussgänger als Kunde, *Berichte zur Orts-, Regional- und Landesplanung*, **58**, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung, ETH Zürich, Zürich.

Böhringer, C. und W. Wiegard (2003) *Methoden der angewandten Wirtschaftsforschung: Eine Einführung in die numerische Gleichgewichtsanalyse*, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.

Brierley, J. (1972) *Parking of Motor Vehicles*, Applied Science Publishers, London.

Calthrop, E., S. Proost und K. van Dender (2000) Parking policies and road pricing, *Urban Studies*, **37** (1), 63-76.

Dell'Orco, M., M. Ottomanelli und S. Domenico (2003) Modelling uncertainty in parking choice behaviour, Vortrag, *82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2003.

Dörnemann, M. (1998) Parkraumbewirtschaftung, *Schriftenreihe A des Instituts für Strassen- und Schienenverkehr*, **32**, Institut für Strassen- und Schienenverkehr, TU Berlin, Berlin.

Ferris, M.C., A. Meeraus und T.F. Rutherford (1999) Computing Wardropian equilibria in a complementarity framework, *Optimization Methods and Software*, **10** (5), 669-685.

Glazer, A. und E. Niskanen (1992) Parking fees and congestion, *Regional Science and Urban Economics*, **22** (1), 123-132.

Huber-Erler, R. (1996) Dokumentation Parken, *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen*, **V 30**, Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach.

Jermann, J. (2002) Vergleich verschiedener Ansätze der GIS-gestützten Potenzialberechnung, Vortrag, *2. Swiss Transport Research Conference 2002*, Monte Verità, März 2002.

Kanton Zürich (2012) Geografisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH), http://www.gis.zh.ch, Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation, Zürich, Juni 2012.

Marsden, G. (2006) The evidence base for parking policies: A review, *Transport Policy*, **13** (6), 447-457.

Marti, P., C. Ferres, J. Stutz, M. Andreou, S. Schneider, S. Keiser und R. Bäumler (2011) *Förderung der städtischen Standortattraktivität durch effizienten und finanzierbaren Verkehr, Teil 1: Wirtschaftliche Bedeutung von Parkplätzen in der Stadt Zürich*, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich.

May, A.D. (1975) *Parking control: Expirience and problems in London*, Printhall, London.

Meister, K., M. Rieser, F. Ciari, A. Horni, M. Balmer und K.W. Axhausen (2009) Anwendung eines agentenbasierten Modells der Verkehrsnachfrage auf die Schweiz, *Strassenverkehrstechnik*, **53** (5), 269.

Meister, K., M. Balmer, F. Ciari, A. Horni, M. Rieser, R.A. Waraich und K.W. Axhausen (2010) Large-scale agent-based travel demand optimization applied to Switzerland, including mode choice, Vortrag, *12th World Conference on Transportation Research*, Lisbon, Juli 2010.

Munuzuri, J., J. Racero und J. Larraneta (2002) Parking search modelling in freight transport and private traffic simulation, Vortrag, *8th International Conference on Urban Transport and the Environment*, Seville, März 2002.

Ott, R., A. Fellmann, E. Willi, B. Grebe, H.P. Misteli und M. Schirmer (2009) *Der Historische Kompromiss von 1996: Erläuterungen zu Entstehung und Umsetzung*, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich.

Planungsbüro Jud (2010) *Belegung und Verkehrsaufkommen von Parkfeldern in der Stadt Zürich*, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich.

Schiller, C. (2004) Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodellierung, *Schriftenreihe*, **8**, Instituts für Verkehrsplanung und Strassenverkehr, Technische Universität Dresden, Dresden.

Schneider, S., S. Keiser, R. Allenbach und D. Häberling (1992) Parkierungsbeschränkungen mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte, Schlussbericht SVI 41/90, *Schriftenreihe*, **257**, UVEK, Bern.

Schneider, S., R. Bäumler und I. Seeholzer (2008) Bewirtschaftungssysteme für Parkierungsanlagen, *Forschungsauftrag VSS 2000/456 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)*, **1215**, Bundesamt für Strassen, Ittigen.

Shoup, D.C. (1999) The trouble with minimum parking requirements, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **33** (7-8), 549-574.

Shoup, D.C. (2005) *The High Cost of Free Parking*, Planners Press, Chicago.

Stadt Zürich (2007) Parkierung, *Gestaltungs-Standarts: Stadträume*, **9**, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich.

Stadt Zürich (2010a) Anwohner: Übersicht verkaufte Parkkarten, http://www.stadt-zuerich.ch/content/pd/de/index/dav/parkkarten_bewilligungen/parkkarten_beziehen/parkkarte_anwohner.html, Polizeidepartement Stadt Zürich, Zürich, Mai 2012.

Stadt Zürich (2010b) *Abstimmungsvorlage: Teilrevision der städtischen Parkplatzverordnung*, Stadtrat von Zürich, Zürich.

Stadt Zürich (2010c) *Teilrevision Parkplatzverordnung - Vergleichende Übersicht PPV1996 und PPV2010*, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich.

Stadt Zürich (2011) *Regionales Gesamtverkehrskonzept Stadt Zürich*, Teifbauamt, Amt für Verkehr, Stadt Zürich, Zürich.

Stadt Zürich (2012) Parkleitsystem Stadt Zürich, http://www.pls-zh.ch, Dienstabteilung Verkehr, Zürich, Mai 2012.

Statistik Stadt Zürich (2012) *Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich*, Präsidialdepartement, Statistik Stadt Zürich, Zürich.

Topp, H.H. (1984) Stadtverkehrspolitik: Parken als Verteilungsproblem, *Internationales Verkehrswesen*, **36** (5), 334-339.

Vrtic, M., P. Fröhlich, N. Schüssler, S. Dasen, S. Erne, B. Singer, K.W. Axhausen und D. Lohse (2005) *Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr*, Forschungsbericht, UVEK, ASTRA, IVT, ETH Zürich, Emch und Berger, TU Dresden, Zürich.

Vrtic, M., N. Schüssler, A. Erath und K.W. Axhausen (2011) Mobility Pricing: Zahlungsbereitschaft und Verhaltensreaktionen, *Heureka 2011*, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln.

VSS (2009) Parkieren: Betrieb und Bewirtschaftung von Parkierungsanlagen, *Schweizer Norm*, **SN 640 282**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich.

Waraich, R.A. und K.W. Axhausen (2012a) An agent-based parking choice model, Vortrag, *91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2012.

Waraich, R.A., K.W. Axhausen und C. Dobler (2012b) Modelling parking search behaviour with an agent-based approach, Vortrag, *13th International Conference on Travel Research Behaviour (IATBR)*, Toronto, Juli 2012.

Weis, C., M. Vrtic, P. Widmer und K.W. Axhausen (2012) Influence of parking on location and mode choice: A stated choice survey, Vortrag, *91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2012.

Witheford, D.K. und G.E. Kanaan (1972) *Zoning, Parking, and Traffic*, Eno Foundation for Transportation, Washington, D.C.

Young, W. (1985) Modelling the circulation of parking vehicles: A feasibility study, *Schriftenreihe*, **34**, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

Young, W., R.G. Thompson und M.A.P. Taylor (1991) A review of urban car parking models, *Transport Reviews*, **11** (1), 63-84.

Young, W. (2008) Modelling parking, in D.A. Hensher und K.J. Button (Hrsg.) *Handbook of Transport Modelling*, 475-487, Elsevier, Oxford.

Anhänge

A 1 Modellresultate

Beispielstadt: Homogene Agenten

Abbildung 24 Szenario 1 (Verordnung): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

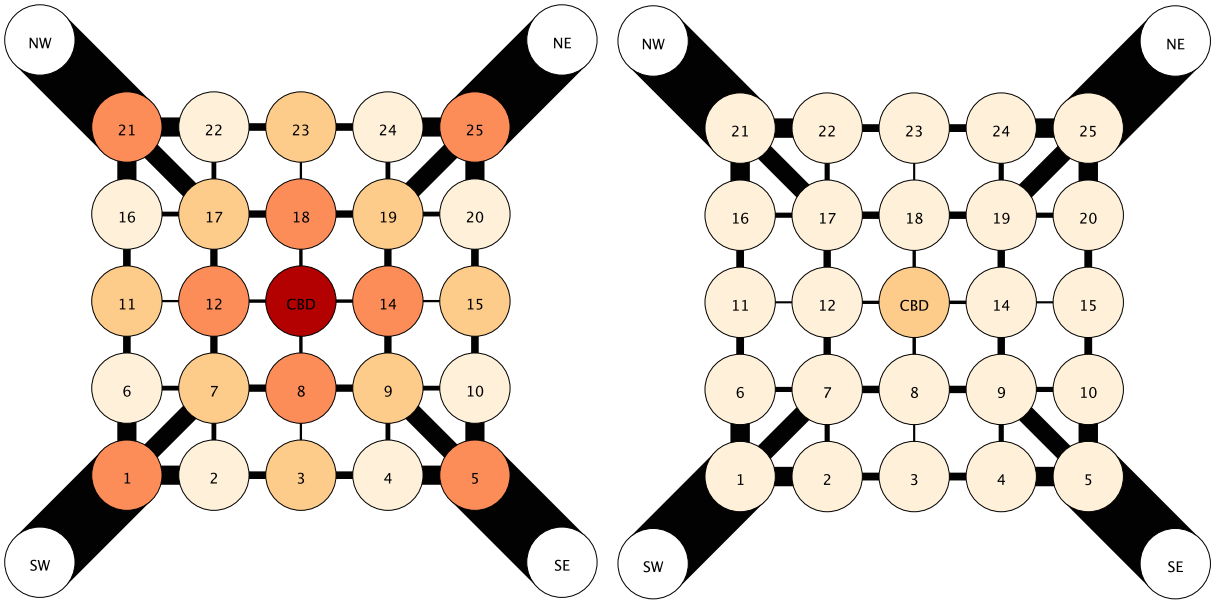


Abbildung 25 Szenario 2 (Optimale Gebühren): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

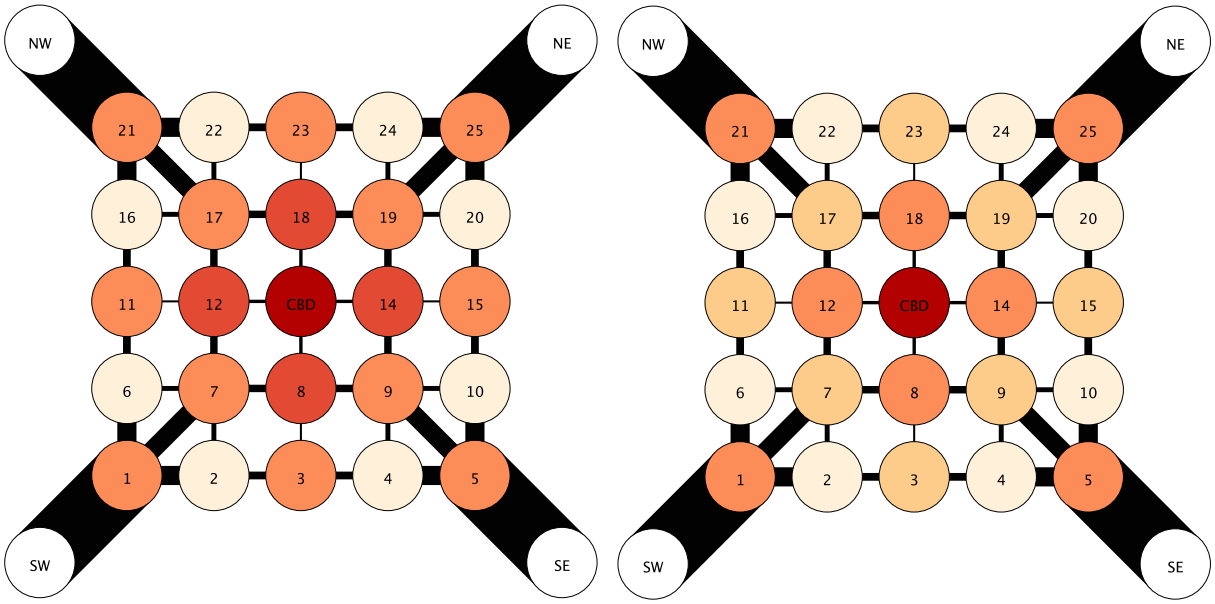


Abbildung 26 Szenario 3 (Gebühr – 50%)<. Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

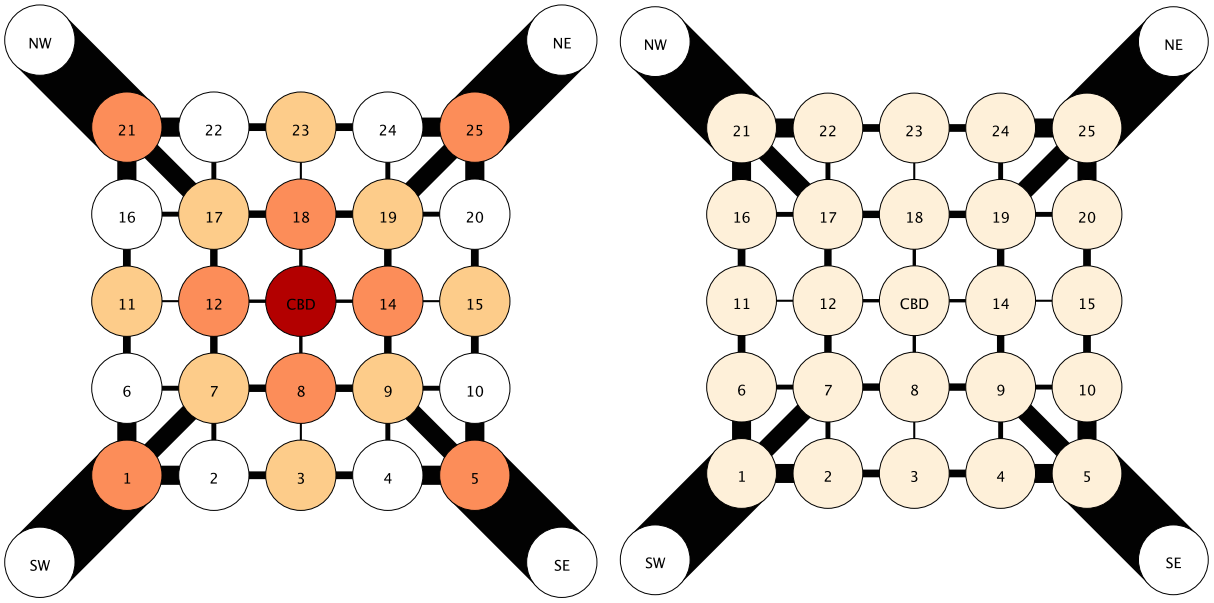


Abbildung 27 Szenario 4 (Gebühr + 100%): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

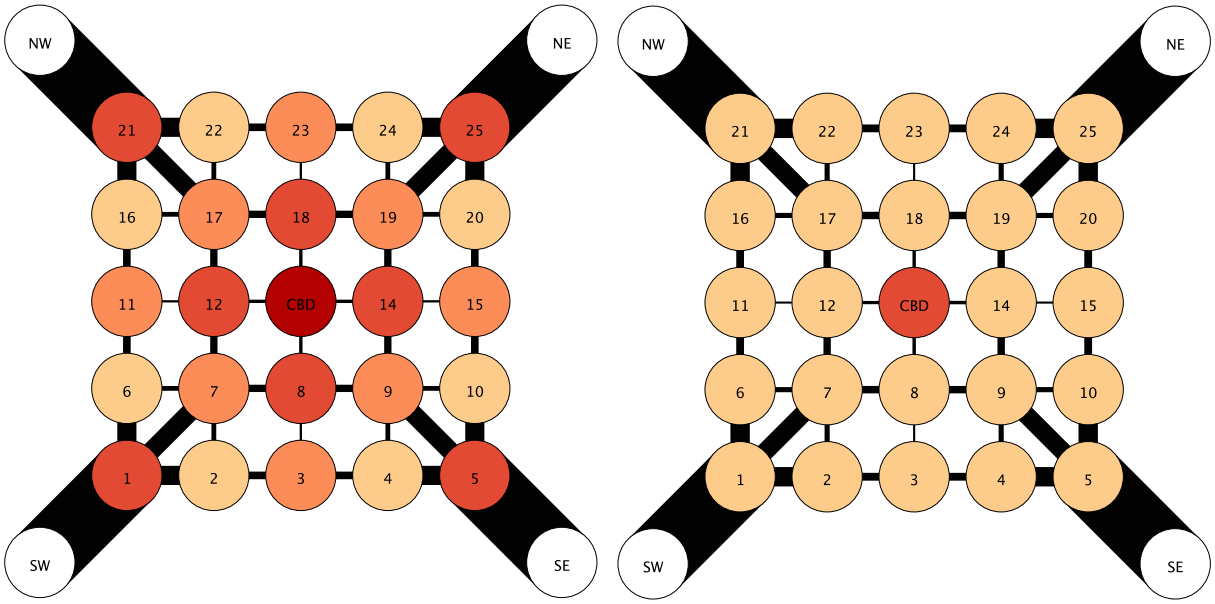


Abbildung 28 Szenario 5 (Maut): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

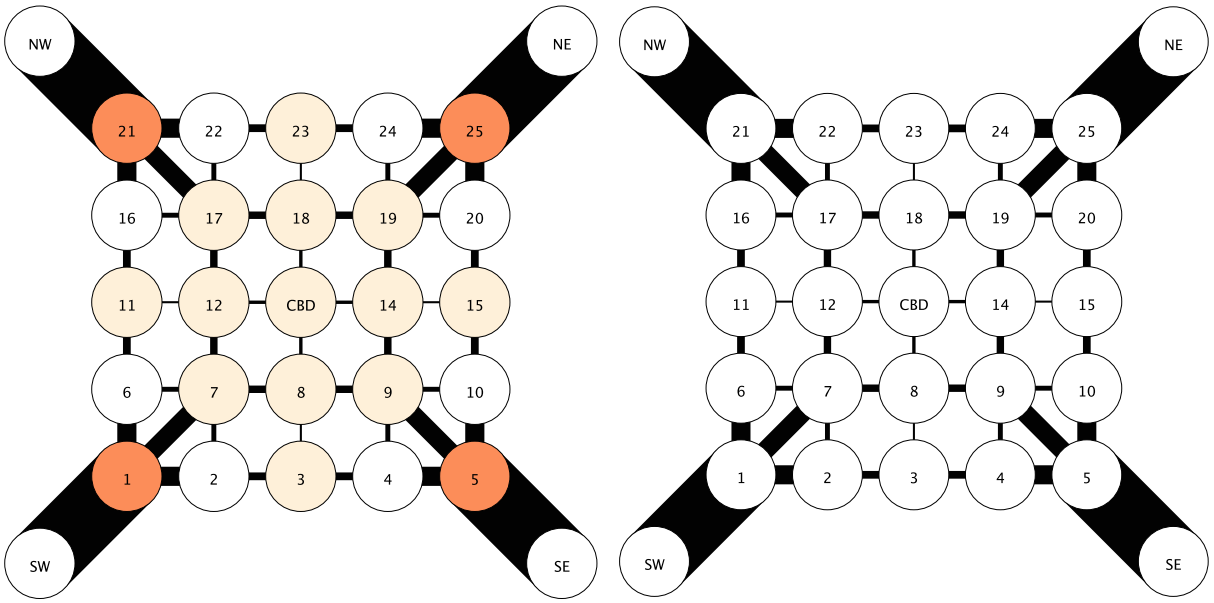


Abbildung 29 Szenario 6 (Maut & optimale Gebühr): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

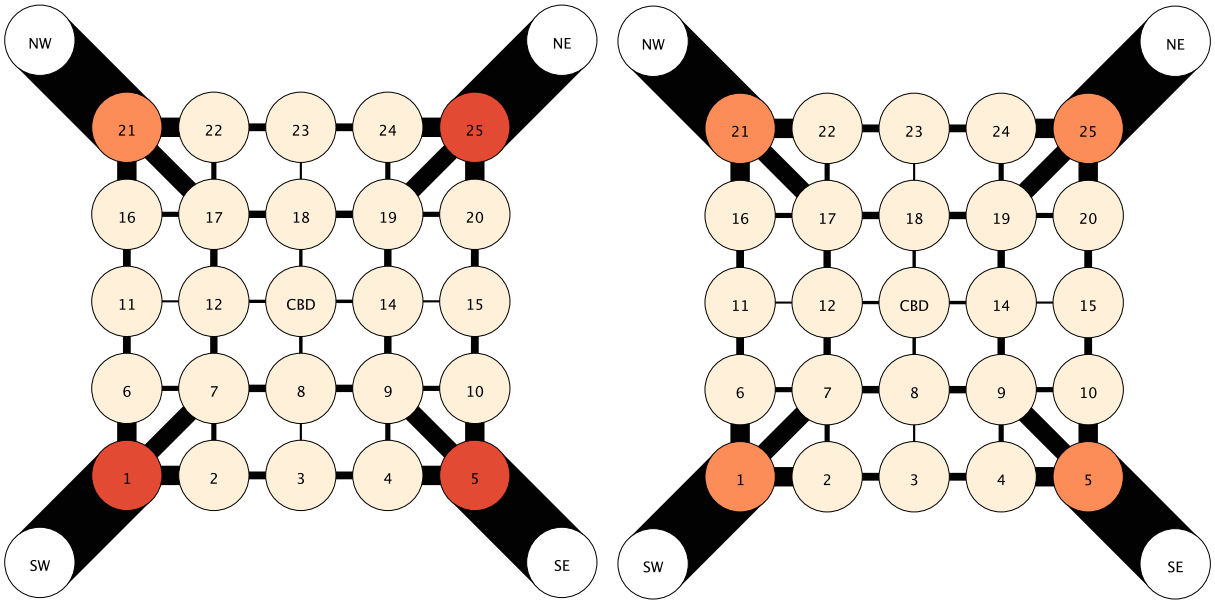


Abbildung 30 Szenario 7 (Keine Strassenraumparkierung in Innenstadt): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

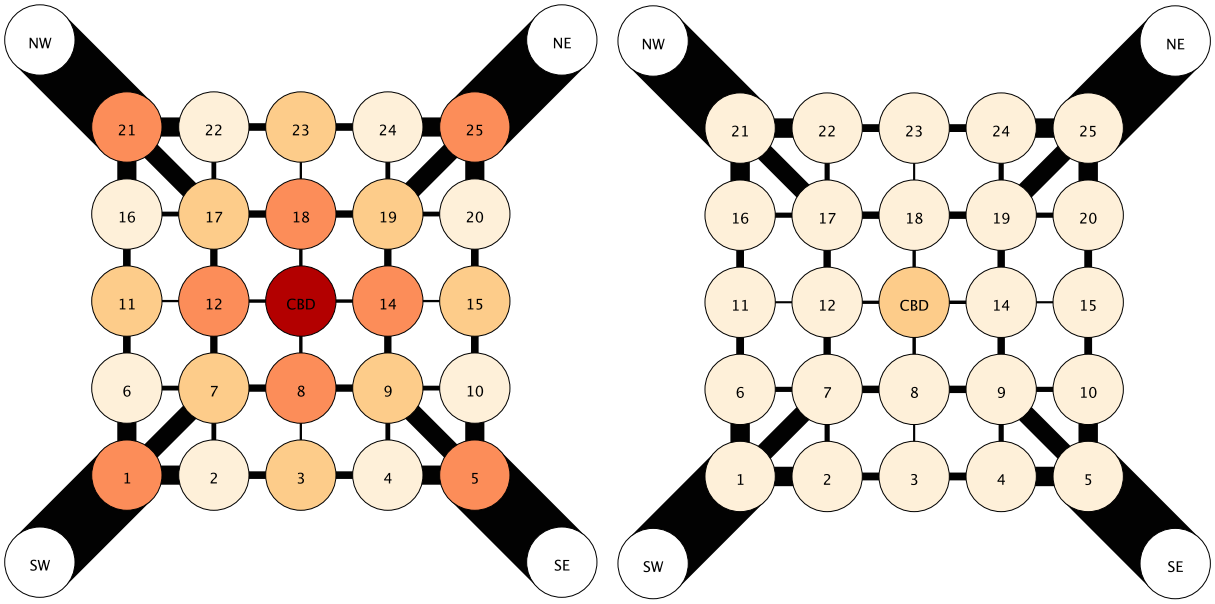


Abbildung 31 Szenario 8 (Strassenraum – 25%): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

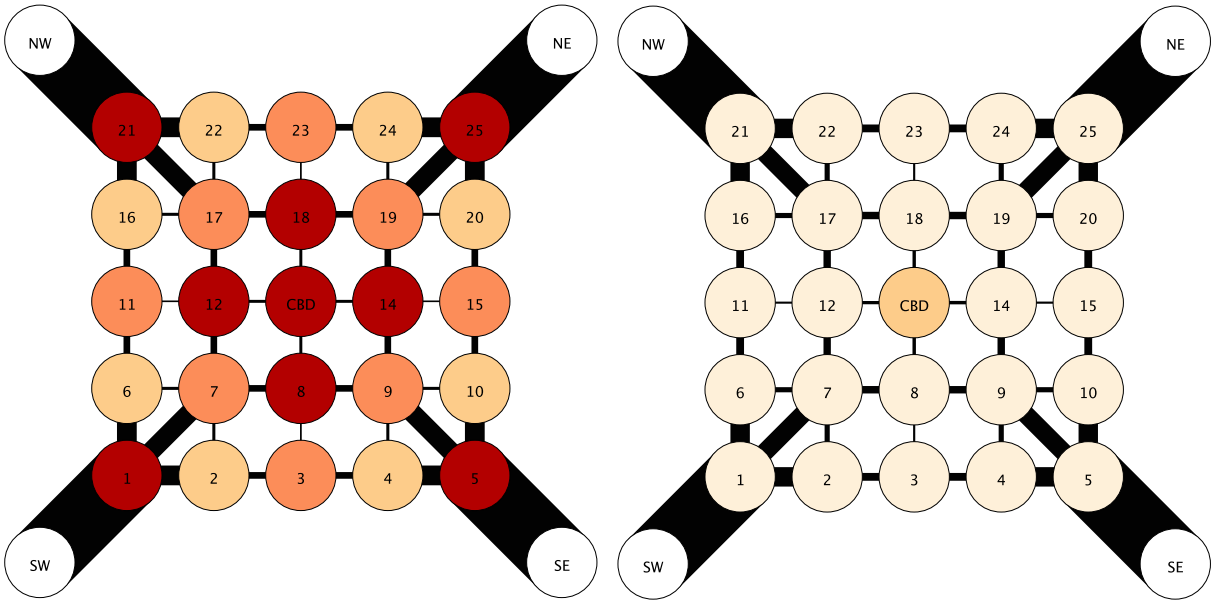


Abbildung 32 Szenario 9 (Strassenraum -50%, PH+50%): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

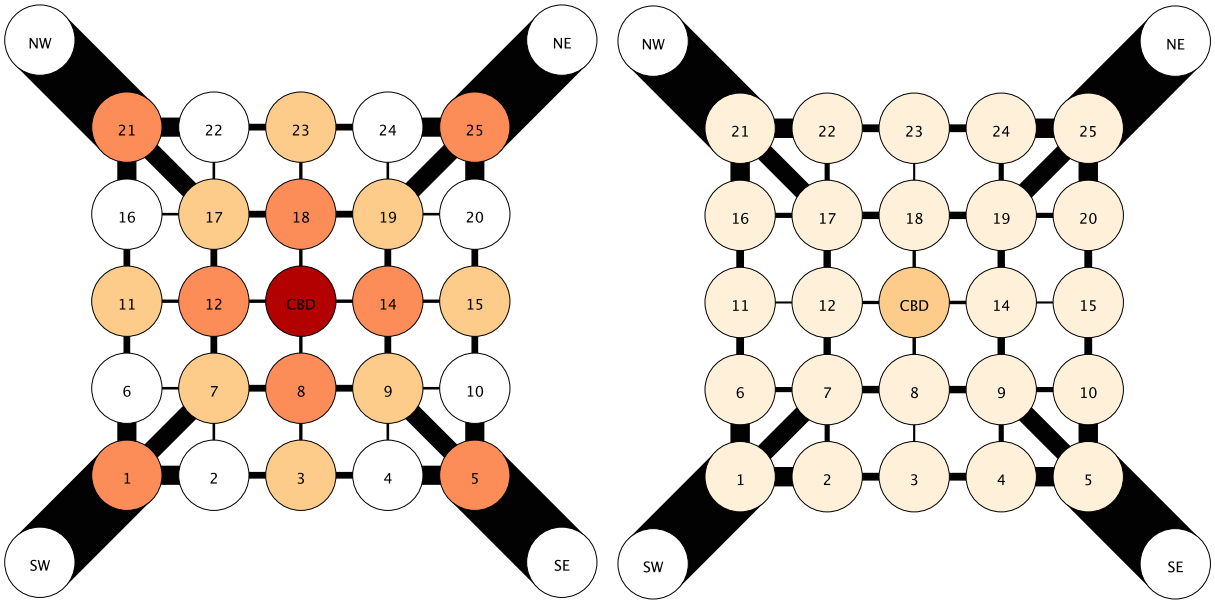


Abbildung 33 Szenario 10 (PH-25%): Gebühr Parkhaus (links), Gebühr Strassenraum (rechts)

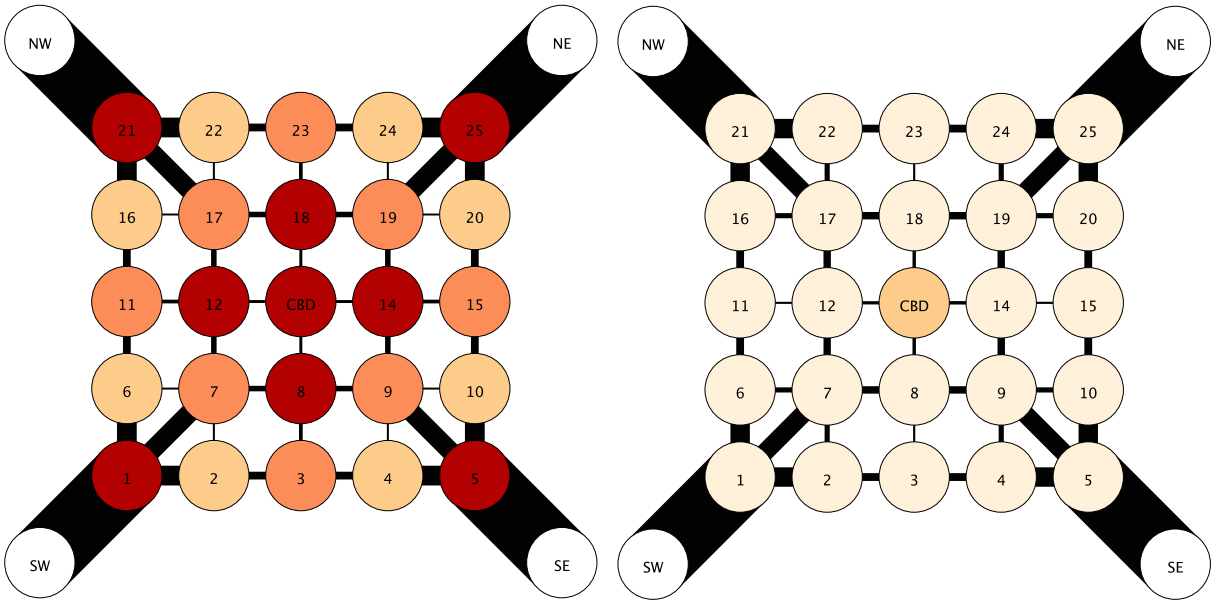
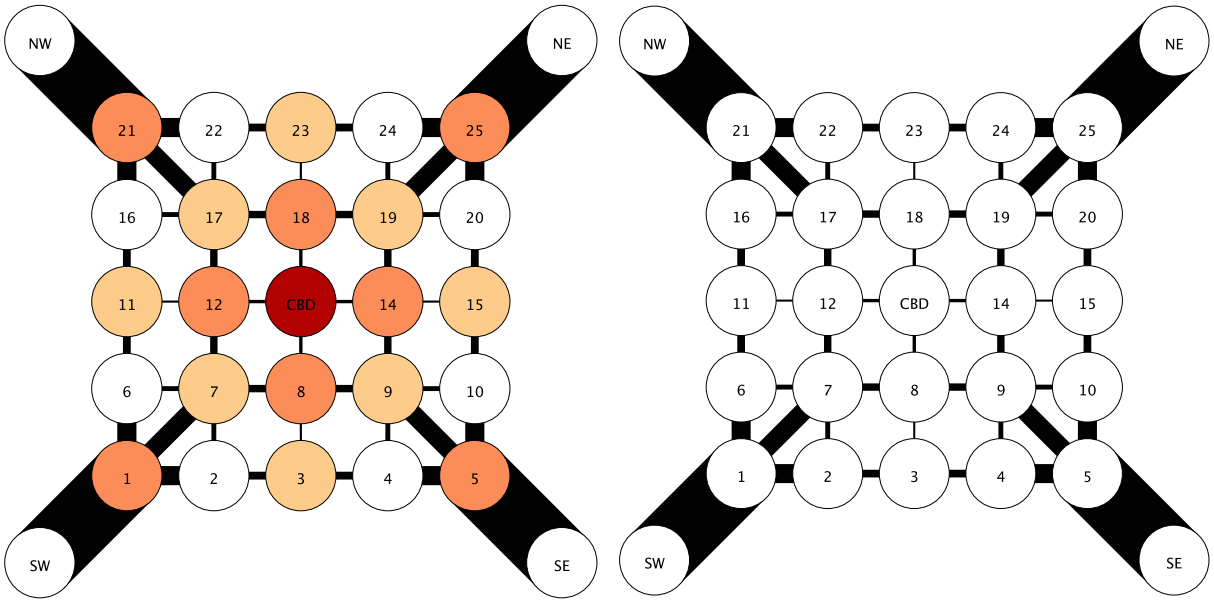



Abbildung 34 Szenario 11 (Nutzergleichgewicht): Parkhaus (links), Strassenraum (rechts)