



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## **DIPLOMARBEIT**

# Untersuchung des Körperenergieverbrauchs als evidenzbasierter Ansatz zur Unterstützung der Radverkehrsplanung

Betrachtung anhand österreichischer Berufspendlerdaten 1971 - 2001



verfasst von

**Clemens Raffler**

Matrikelnummer 1027274

Studienrichtung Raumplanung und Raumordnung, Studienkennzahl 066 440

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung  
des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs  
unter Betreuung von

**Ao.Univ.Prof. Mag.rer.soc.oec. Mag. Dr.rer.soc.oec. Günter Emberger  
und Univ. Ass. Dipl. Ing. Tadej Brezina**

Fachbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik E230  
der Technischen Universität Wien

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
**Fakultät für Architektur und Raumplanung**

Wien, 12.09.2016



## **Danksagung**

Ich möchte mich an dieser Stelle bei meinen Betreuern Günter Emberger und Tadej Brezina bedanken, welche mich inhaltlich sowie auch methodisch wesentlich beim Verfassen der Diplomarbeit unterstützt haben und zu jedem Zeitpunkt ein offenes Ohr für Ideen oder Probleme hatten.

Ein weiterer Dank geht an dieser Stelle auch an John Parkin nach Großbritannien, welcher mir auf Nachfrage seine bereits vergriffenen Publikationen elektronisch zur Verfügung gestellt hat – sie waren eine Bereicherung für die Arbeit! Auch an Roland Hackl möchte ich einen Dank richten, welcher durch Diskussionen wesentlich zur Qualität der Arbeit beitrug.

Ein besonderer Dank richtet sich an Kerstin, welche mich während meines Studiums und der Arbeit sowohl als Kollegin als auch als Freundin mehr als nur begleitet hat. Auch bei Michaela und Ben möchte ich mich für die gemeinsame Studienzeit bedanken – es ist toll, dass wir so gut zusammenhalten! Vielen Dank auch an Juliane und Roman für die erleichternden Gespräche!

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern und meinem Bruder bedanken, welche mich über das Studium hinaus immer tatkräftig unterstützt haben und in allen Höhen und Tiefen immer hinter mir stehen – DANKE EUCH ALLEN!



## Kurzfassung

„Radverkehrsanteil in Österreich auf 7 % gesteigert“ – Dieser Titel einer Pressemeldung ist nur einer von wenigen, welche das wachsende Interesse aktueller österreichischer Verkehrspolitik an Investitionen in den Radverkehr hervorheben. Doch wo sind Maßnahmensetzungen sinnvoll? Dieser Frage widmet sich die vorliegende Arbeit und entwickelt anhand der zum Radfahren notwendigen Körperenergie und Pendlerinteraktionsdaten zwischen 1971 und 2001 einen evidenzbasierten Ansatz zur Planungsunterstützung. Der erste Schritt dazu ist die statistische Beschreibung der Datengrundlagen der Ausgangslage für heutige Planungen. In einem zweiten Schritt wird anhand eines rasterbasierten GIS-Modells der energetische Aufwand für die Fortbewegung innerhalb und zwischen Gemeinden berechnet. Der abschließende Schritt prüft mithilfe eines regressionsanalytischen Ansatzes den statistischen Zusammenhang und berechnet ein Investitionspotential als Abweichung zwischen dem energetisch vorhergesagten und dem tatsächlichen Radverkehrsanteil von Gemeinden. Die Arbeit endet mit einer Diskussion der Ergebnisse und gibt einen Ausblick auf die Nutzung der Methode zur evidenzbasierten Planungsunterstützung durch nationale und internationale Planung und Forschung.



## Abstract

„The bicycle share has risen to a level of 7 %“ – This headline is just one example that highlights the growing interest of current Austrian transport-policy in the fostering of bicycle traffic. But where is it most expedient to invest into new infrastructure or initiatives? This work seeks to shed light on the question and therefore presents an evidence-based planning-supporting methodology that builds upon body-energy consumption and relies on Austrian census commuter data between 1971 and 2001. The first working step is to provide descriptive information on the interactions of bicycle commuters and inform about the recent developments in bicycle traffic. The second step utilizes a new raster-based GIS-Model to calculate the energetic demand between and inside of Austrian municipalities. The last step is to conduct a regression analysis to check for a statistical relationship between cycle-share and energy consumption. It further allows the calculation of a potential value for investments as the deviation between the energetically predicted cycle-share and the present cycling level. The work concludes with the discussion of results and provides a perspective on the usage of this evidence-based methodology in national and international planning and research.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage und Problemstellung .....	1
1.2	Motivation und Zielsetzung .....	2
<b>2.</b>	<b>Das Rad als Verkehrsmittel – Grundlagen</b> .....	<b>5</b>
2.1	Bedeutung des Radverkehrs .....	5
2.1.1	Historischer Überblick .....	5
2.1.2	Problemfelder heutiger Mobilität .....	6
2.1.3	Radverkehr als alternatives Fortbewegungsmittel .....	8
2.2	Radverkehrsplanung in Österreich .....	9
2.2.1	Maßnahmen und Projekte zur Attraktivierung .....	9
2.2.2	Planungszuständigkeiten .....	10
2.2.3	Herausforderungen österreichischer Radverkehrsplanung.....	13
<b>3.</b>	<b>Radverkehr in internationaler Forschung und Planung</b> .....	<b>17</b>
3.1	Wissenschaftsverständnis – Evidence-Based planning .....	17
3.2	Anwendung in der Radverkehrsplanung .....	19
3.3	Methodische Schwerpunkte .....	19
3.3.1	Zeitliche Überblicke zum Radverkehr .....	20
3.3.2	Modal-Choice Modelle – Einflussfaktoren auf den Radverkehr .....	21
3.4	Schwerpunktsetzung der vorliegenden Arbeit .....	25
<b>4.</b>	<b>Theoretische Grundlagen und Konzepte</b> .....	<b>27</b>
4.1	Evolutionstheoretische Betrachtung von Mobilität .....	27
4.1.1	Struktur und Verhalten.....	28
4.1.2	Empfindungsgesetze zur Messbarmachung von Strukturen.....	28
4.2	Konzepte zur statistischen Modellierung.....	30
4.2.1	Gravitationsmodelle und Widerstandsbewertung .....	30

<b>5.</b>	<b>Methodische Vorgehensweise .....</b>	<b>33</b>
5.1	Datengrundlagen .....	33
5.2	Arbeitsschritte .....	34
5.3	Räumliche und zeitliche Betrachtungsebenen .....	36
5.4	Anpassung des Datensatzes.....	37
5.4.1	Zusammenfassung der Verkehrsmodi .....	37
5.4.2	Berechnung und Aussagekraft des Modal-Splits .....	38
5.4.3	Ausschluss von O-D-Paaren .....	39
5.5	Grenzen der Arbeit.....	40
<b>6.</b>	<b>Deskriptive Analyse des Radpendelverkehrs .....</b>	<b>43</b>
6.1	Deskriptive Analyse des Modal-Splits .....	43
6.1.1	Zeitliche Entwicklung des Modal Splits nach Stadtregionstypen .....	43
6.1.2	Räumliche Verteilung des Modal-Split nach Stadtregionen .....	46
6.2	Deskriptive Analyse des Radverkehrs.....	49
6.2.1	Absolute Entwicklung und Verteilungen des Radverkehrs.....	49
6.2.2	Zeitliche Entwicklung des Radverkehrsanteils nach Stadtregionen .....	52
6.2.3	Entwicklung der Reiseweiten der Radauspendler .....	54
6.3	Zusammenfassung .....	55
<b>7.</b>	<b>Modellierung des Körperenergieverbrauchs .....</b>	<b>57</b>
7.1	Physikalische Grundlagen des Radfahrens .....	57
7.1.1	Luftwiderstand .....	58
7.1.2	Steigungswiderstand .....	58
7.1.3	Widerstandsdefinition dieser Arbeit.....	59
7.2	Herausforderungen der Widerstandsmodellierung in Österreich .....	60
7.3	Ein neuer Ansatz: Rasterbasierte Cost-Path Analysis .....	61
7.4	Neue Konzepte intrazonaler Widerstandsmodellierung.....	64
7.4.1	Circular-Shape Distance Estimates.....	65
7.4.2	Density-Based Scattered Intra-Zonal Distance Estimates .....	65

7.5	Modellmechanik und Funktionsweise .....	66
7.5.1	Räumliche Datengrundlagen .....	66
7.5.2	Ableitung inter- und intrazonaler Quell- und Zielpunkte.....	67
7.5.3	Anpassung des Pathdistance Algorithmus .....	69
7.5.4	Automatisierung der Widerstandsermittlung.....	72
<b>8.</b>	<b>Regressionsmodell und Potentialableitung.....</b>	<b>73</b>
8.1	Umgang mit Extremwerten.....	73
8.2	Deskriptive Beschreibung der Modellvariablen .....	74
8.3	Korrelationsanalyse.....	75
8.4	Kalibration der Gravitationsmodelle .....	78
8.4.1	Gravitationsmodelle als Regressionsgleichung .....	78
8.4.2	Linearisierung der Distance-Decay-Function .....	79
8.5	Modellergebnisse.....	80
8.5.1	Modellauswahl und -güte .....	80
8.5.2	Modellkoeffizienten.....	83
8.6	Ableitung des Investitionspotentials: Residuenanalyse .....	85
8.6.1	Residualanalyse auf Stadtregionsebene .....	86
8.6.2	Investitionspotentialkarte .....	88
<b>9.</b>	<b>Ergebnisdiskussion und Ausblick .....</b>	<b>89</b>
9.1	Anwendbarkeit in der österreichischen Radverkehrsplanung .....	89
9.2	Ähnliche Ansätze aktueller internationaler Forschung .....	91
9.3	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf .....	92
9.4	Zusammenfassung.....	93
<b>10.</b>	<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>97</b>
10.1	Quellenverzeichnis.....	97
10.2	Datenquellen.....	106
10.3	Tabellenverzeichnis.....	106

10.4	Abbildungsverzeichnis .....	107
<b>11.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>109</b>
11.1	Variablenoperationalisierung in internationaler Forschung.....	109
11.2	Quellcode des Python Scripts .....	110
11.3	Tabellarische Auflistung der Radverkehrsentwicklung.....	115
11.4	Physikalische Zusammenhänge .....	117
11.5	Häufigkeitstabellen der ausgeschlossenen Fälle .....	118
11.6	Korrelationsmatrizen .....	118
11.7	Definitionen der Volkszählung .....	119