

# su:b:city

suburbia bike city



## Endbericht

Wien, im Mai 2011

**komobile**



**umweltbundesamt**<sup>U</sup>  
PERSPEKTIVEN FÜR UMWELT & GESELLSCHAFT

Durchgeführt im Auftrag der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)  
Bereich Thematische Programme



**iv2splus**  
.....

**ways2go**  
.....

# su:b:city

## Endbericht

Durchgeführt im Auftrag der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)  
Bereich Thematische Programme

Wien, im Mai 2011

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Dr. techn. Romain MOLITOR (Projektkoordination, komobile w7 GmbH)  
Dipl.-Ing. Martin NIEGL (komobile w7 GmbH)  
Dipl.-Ing Tadej BREZINA (IVV TU Wien)  
Dipl.-Ing. Helmut LEMMERER (IVV TU Wien)  
Dipl.-Ing Nikolaus IBESICH (Umweltbundesamt)

# komobile

komobile w7 GmbH  
Schottenfeldgasse 51/17  
A-1070 Wien  
☎ +43-1-89 00 681  
Fax +43-1-89 00 681 10  
e-mail: wien@komobile.at

komobile s.à.r.l.  
43, rue de Strasbourg  
L-2561 Luxembourg  
☎ +352-22 70 74  
Fax +352-22 70 74  
e-mail: luxembourg@komobile.at

## Zusammenfassung

### su:b:city - Schnell und bequem mit dem Fahrrad aus dem Stadtumland in die City

Der Anteil des Umweltverbundes am Stadt-Umland-Verkehr ist im typischen österreichischen Ballungsraum signifikant niedriger als der innerstädtische Anteil. Ein großer Anteil dieser stadtgrenzenüberschreitenden Fahrten geht von den Randgemeinden - dem so genannten Speckgürtel - aus, einem Bereich, der innerhalb eines 5-25km Radius vom Stadtzentrum liegt.

Im Rahmen des Projektes su:b:city (suburbia:bike:city) wurde untersucht, in welchem Umfang ein integrierter Ansatz aus Infrastrukturmaßnahmen (hochrangige Radinfrastruktur) und verbesserter Fahrzeugtechnologie (E-Fahrrad bzw. Pedelec) zur Erhöhung des Radanteils am Stadt-Umland-Verkehr beitragen könnte.

### Standards für hochrangige Radinfrastruktur

Hochrangige Radinfrastruktur sollte die Funktion im Radverkehrsnetz übernehmen, die heute den Bundesstraßen im Autoverkehrsnetz zukommt. Ähnlich wie für diese sollten auch für hochrangige Radrouten einheitliche, für ganz Österreich gültige Standards gelten.

Im Rahmen einer breit angelegten Literaturstudie wurden Mindestanforderungen an hochrangige Radinfrastruktur erarbeitet und Vorschläge für die Parameter Projektierungsgeschwindigkeit, Breite (daraus abgeleitet auch Leistungsfähigkeit), Radien für Kurven sowie Kuppen und Wannen, maximale Steigung und Oberflächenqualität sowie Empfehlungen zu Abstellanlagen gemacht.

### Pedelec vs. Fahrrad

Pedelecs (Pedal Electric Cycles) sind Fahrräder, die zusätzliche Unterstützung durch einen Elektromotor bieten. Bergfahrten und Fahren bei Gegenwind werden damit speziell für wenig trainierte Personen leichter. Sie bieten im Vergleich zum konventionellen Fahrrad höhere Geschwindigkeiten bei gleicher Kraftanstrengung, sind durch Elektromotor und Akku aber auch deutlich schwerer als herkömmliche Fahrräder.

Für su:b:city hat das Projektteam den ExtraEnergy Pedelec-Test 2009/2010 detailliert ausgewertet, mit dem Ergebnis, dass gute Pedelecs im Schnitt eine Geschwindigkeit von 20 km/h ohne Schwitzen, eine Reichweite von 30 km (dann ist ein Aufladen des Akkus notwendig) und einen Unterstützungsfaktor von 100% (Verdoppelung der Tretleistung) bieten. Gute Pedelecs kosten zwischen 1.500 und 4.200 Euro, dadurch bedingt ist auch die Notwendigkeit nach sicheren Abstellmöglichkeiten (Zusatzausstattung Stromanschluss!) höher als bei durchschnittlichen Fahrrädern ohne Elektroantrieb. Die meisten Pedelec-Akkus können ausgebaut und unabhängig vom Rad an der Steckdose geladen werden, was die Handhabung zB. im Vergleich zu E-Autos deutlich vereinfacht.

### Nutzerpotential und Fallstudie

Ergebnisse aus dem Projekt *Landrad* in Vorarlberg zeigen, dass Pedelecs zu einer Attraktivierung des Fahrradfahrens führen: Die Fahrleistung der Testpersonen stieg um den Faktor 4, der Umweltverbundan-

teil (alle Verkehrsmittel außer Pkw) stieg von 46% auf 68%, dh. es wurden größtenteils Fahrten vom Pkw auf das Pedelec verlagert, nur Wenige stiegen vom öV auf das Pedelec um.

Umgelegt auf die su:b:city-Fallstudien-Region Wien und Umgebung ergibt sich auf Basis der *Landrad*-Daten durch den Umstieg von Pkw auf Pedelec ein Potential von ca. 400.000 eingesparten Pkw-Fahrten - das entspricht 2,0 Mio. Fzgkm bzw. 2,3 Mio. Pkm - pro Jahr.

Ein weiterer Bestandteil der Fallstudie war die Festlegung der Lage einer hochrangigen radialen Radroute. Eine Strukturdatenanalyse ergab, dass das größte Nutzerpotential für eine solche Radroute im Südwesten Wiens liegt. Anschließend wurde der Verlauf dieser Radroute zwischen Mödling und Wien 10 straßenzuggenau festgelegt.

### Iso-Energeten-Ansatz

Mit dem Unterstützungsfaktor aus dem Pedelec-Test kann bereits grob abgeschätzt werden, wie viel größer die Reichweite eines Pedelecs - bei gleichem Einsatz von Körperenergie - im Vergleich zum konventionellen Fahrrad ist. Aufbauend auf diesen Ergebnissen ist es dem Projektteam gelungen, den Ansatz weiter zu verfeinern und GIS-unterstützt auf das Straßennetz von Wien und Umgebung umzulegen. Das Ergebnis sind Schaubilder, die zeigen, welcher Einzugsbereich - bei gleichem Körperenergieeinsatz - mit Pedelec bzw. Fahrrad abgedeckt werden kann. Die Umgrenzungslinien der Einzugsbereiche werden als Isoenergeten (Linien gleichen Energieverbrauchs) bezeichnet. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass der zugrunde liegende Formelapparat ortsunabhängig ist und für beliebige Netze automatisiert angewendet werden kann.

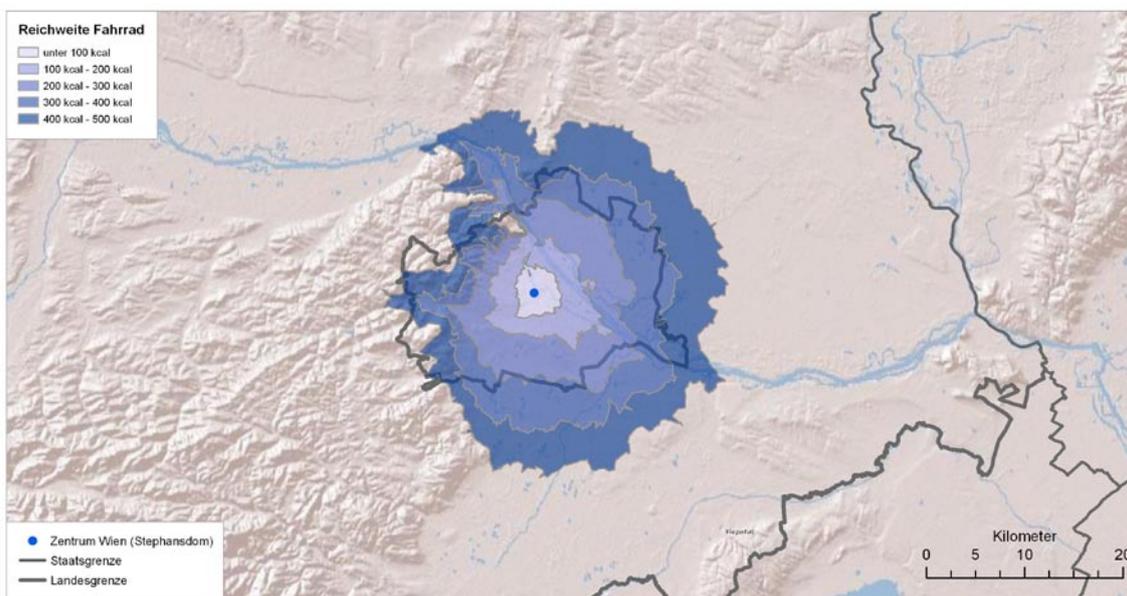


Abb. 1: Isoenergeten (kcal) für den Bezugspunkt Stephansdom (Zentrum Wien) mit Höhenmodell im Hintergrund

### Evaluierung

Das Einsparungspotential durch Verlagerung von Fahrten vom Pkw zum Pedelec für die Fallstudienregion Wien und Umgebung liegt bei 350 Tonnen Einsparung CO<sub>2</sub> im Jahr, das entspricht 93.000 Liter Treibstoff oder 12.500 km mit einem durchschnittlichen PKW. Der monetarisierte Gesundheitsnutzen durch das Plus an Radverkehr beträgt rund 16 Millionen Euro pro Jahr.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anforderungen an die Infrastruktur .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Geschwindigkeiten .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Geometrie .....</b>	<b>12</b>
1.2.1	Umwege.....	12
1.2.2	Breiten.....	12
1.2.3	Kurven.....	14
1.2.4	Kuppen und Wannen .....	14
<b>1.3</b>	<b>Leistungsfähigkeit .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Verziehungen .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5</b>	<b>Steigungen .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6</b>	<b>Oberflächenqualität .....</b>	<b>16</b>
<b>1.7</b>	<b>Organisationsform.....</b>	<b>18</b>
<b>1.8</b>	<b>Abstellanlagen .....</b>	<b>19</b>
1.8.1	Anforderungen an Abstellsysteme.....	20
1.8.2	Radabstellanlagen an ÖV-Haltepunkten.....	21
1.8.3	Fahrradstationen an ÖV-Haltepunkten .....	22
1.8.4	Zusätzliche Angebote .....	23
1.8.5	E-Bikes und Pedelecs – Anforderungen.....	24
1.8.6	Adaptierung von Altbauten.....	24
<b>1.9</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>Fahrzeug-Grundlagen .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Pedelec vs. E-Bike.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Pedelec-Eigenschaften .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>Pedelec-Markt .....</b>	<b>28</b>

<b>3</b>	<b>Quantifizierung des Nutzerpotentials .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Verbesserung der Infrastruktur .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Verbesserte Fahrzeugtechnologie .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>Begleitende Maßnahmen und Anpassung der Rahmenbedingungen ..</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Öffentlichkeitsarbeit.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Rechtliche Rahmenbedingungen .....</b>	<b>32</b>
4.2.1	Straßenverkehrsordnung (StVO).....	33
4.2.2	Kilometergeld.....	33
4.2.3	Pendlerpauschale .....	33
4.2.4	Diensträder.....	33
4.2.5	Vorschläge für Anpassungen.....	33
<b>4.3</b>	<b>Förderungen.....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Fallstudie.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>Analyse.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2</b>	<b>Radroute .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3</b>	<b>Räumliche Netzwerkanalyse für den Reichweitenvergleich Fahrrad - Pedelec.....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>Evaluierung und Potentialabschätzung .....</b>	<b>48</b>
<b>6.1</b>	<b>Umweltauswirkungen .....</b>	<b>48</b>
6.1.1	Annahmen.....	48
6.1.2	Input-Daten.....	48
6.1.3	Szenarien-Definition.....	49
<b>6.2</b>	<b>Beschäftigungseffekte.....</b>	<b>54</b>
<b>6.3</b>	<b>Gesundheitseffekte.....</b>	<b>56</b>

---

**7 Referenzen ..... 58**

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Isoenergeten (kcal) für den Bezugspunkt Stephansdom (Zentrum Wien) mit Höhenmodell im Hintergrund.....	3
Abb. 2: Geschwindigkeitsverteilung im Berufsverkehr (links) und Freizeitverkehr (rechts); Quelle: (Fleischmann, 1983) .....	11
Abb. 3: Durchschnittliche Geschwindigkeit von Radfahrern in Abhängigkeit von der Steigung; Quelle: (Parkin et al., 2010).....	12
Abb. 4: Breitenverteilung eines zweispurigen, fahrbahnbegleitenden Einrichtungsradweges; Quelle: (Schopf, 1985).....	13
Abb. 5: Breitenverteilung eines zweispurigen, fahrbahnbegleitenden Zweirichtungsradweges; Quelle: (Schopf, 1985).....	14
Abb. 6: Kurvenradien und Fahrgeschwindigkeit; Quellen: (Richard, 1981, FSV, 2001a, FGSV, 2010). .....	14
Abb. 7: Leistungsfähigkeit für einspurige Fahrzeuge (Räder und Mopeds) in Abhängigkeit der Breite; Quellen: (FSV, 2001b, S. 8) (Meschik, 2008, S. 9) (Bruder et al. 1988 in Falkenberg et al., 2003, S. 11), Erhebungen Emberger und Pfaffenbichler. ....	15
Abb. 8: Maximale Steigung in Abhängigkeit von der Steigungslänge; Quelle: (FSV, 2001a). .....	16
Abb. 9: Diagramm der mit einem Messfahrrad aufgezeichneten Erschütterung auf einem Radwegbelag: andere Bauweise; Quelle: (Wirth, 1998, S. 20). .....	17
Abb. 10: Diagramm der mit einem Messfahrrad aufgezeichneten Erschütterung auf einem Radwegbelag: Asphaltbeton; Quelle: (Wirth, 1998, S. 20).....	17
Abb. 11: Energieverbrauch Fahrradfahren, Abhängig von der Oberflächen; Quelle: (Teufel et al., 2000, S. 18). .....	18
Abb. 12: Trenn-Mischverkehrsdiagramm; Quelle: (FSV, 2001a, S. 6) .....	19
Abb. 13: First-Mile-Verkehrsmittel von ÖV-Reisenden in Abhängigkeit von der Länge des ersten Weges; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 232).....	20
Abb. 14: Verbesserungsvorschläge der „RadfahrerInnen“ für weitere zukünftige Radnutzung; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 244).....	21
Abb. 15: Dezentraler und zentraler Positionierungsansatz; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 68).....	22
Abb. 16: Qualitätsstufen von Radabstellanlagen im ÖV-Haltestellen-Kontext; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 358).....	23

Abb. 17: Aufladung, Verbuchung und Abrechnung über die Steckdose nach dem System Plug & Charge; Quelle: (Vogel, 2009). .....	24
Abb. 18: Verteilungen der wichtigsten Parameter aus dem Pedelec-Test 2009/2010; ein Unterstützungsfaktor von 1,0 bedeutet eine Verdoppelung der vom Fahrer am Pedal geleisteten Arbeit bzw. der E-Motor leistet 50% der notwendigen Arbeit bzw. mit demselben Körperenergieverbrauch kann am Pedelec die doppelte Strecke im Vergleich zum Fahrrad zurückgelegt werden (ein Faktor von 2,0 entspräche einer Verdreifachung, dh. 66% E-Motor- Anteil); Quelle: Eigene Berechnung auf Basis ExtraEnergy, 2010). .....	27
Abb. 19: Konkurrenzfähige Reiseweite für Fahrrad und Pedelec, Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis Schnabel-Lohse (1997), Knoflacher (1995), Whitelegg (1994) .....	28
Abb. 20: Pedelec-Verkaufszahlen in Österreich (links) und Deutschland (rechts), Quelle: BMVIT (2010), Infoblatt Pedelec ADFC .....	28
Abb. 21: Betrachtetes Gebiet .....	35
Abb. 22: Einteilung Wien – Umland in 5 Zonen: Nord, Ost, Süd-Ost, Süd-West, West.....	36
Abb. 23: Analyse der Situation: Einwohner - Arbeitsplätze .....	37
Abb. 24: Analyse der Situation: Einwohner - Erwerbstätige .....	37
Abb. 25: Betrachtetes Gebiet für die Festlegung der hochrangigen Radroute.....	38
Abb. 26: Analyse Pendler aus Umland SW nach Wien.....	40
Abb. 27: Analyse der Pendler im Wiener Umland SW.....	40
Abb. 28: Verlauf der hochrangigen Radroute im Südwesten Wiens .....	41
Abb. 29: Isoenergeten (=Energieradius) Fahrrad (kcal).....	45
Abb. 30: Isoenergeten (=Energieradius) Fahrrad (kcal) mit Höhenmodell als Hintergrund .....	45
Abb. 31: Isoenergeten (=Energieradius) Pedelec (kcal) .....	46
Abb. 32: Isoenergeten (=Energieradius) Pedelec (kcal) mit Höhenmodell als Hintergrund.....	46
Abb. 33: Reichweitenvergleich Fahrrad – Pedelec bei 500kcal Energieverbrauch .....	47
Abb. 34: Reichweitenvergleich Fahrrad – Pedelec bei 500kcal Energieverbrauch mit Höhenmodell als Hintergrund.....	47
Abb. 35: Betrachtetes Gebiet Szenario I und II .....	50
Abb. 36: Betrachtetes Gebiet Szenario III .....	50

Abb. 37: Beschäftigungseffekte verschiedener Arten von Verkehrsinfrastruktur in Beschäftigten pro Mrd. Euro Investitionsvolumen (Preise 2000), Quelle ÖZV 3/4 2008 .....	56
--	----

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Projektierungsgeschwindigkeiten nach Routenarten (links) und Teil des Netzes (rechts) Quellen: (Meschik, 2008, FSV, 2001a).....	12
Tab. 2: Umwegfaktoren für Langsamverkehrsarten.....	12
Tab. 3: Mindestausrundungsradius für Kuppen und Wannen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit; Quelle: (FGSV, 2010). .....	15
Tab. 4: Mindestausrundungsradius für Kuppen und Wannen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit; Quelle: (FSV, 2001a).....	15
Tab. 5: Zusammenfassung Pendlerstatistik Wien [Arbeitswege/Tag] .....	37
Tab. 6: Zusammenfassung Pendlerstatistik Graz [Arbeitswege/Tag].....	38
Tab. 7: : Zusammenfassung Pendlerstatistik Salzburg [Arbeitswege/Tag] .....	38
Tab. 8: Pendlerbeziehungen mit dem höchsten Potential (Top 9) .....	39
Tab. 9: Abschnitte der hochrangigen Radroute im Südwesten Wiens.....	41
Tab. 10: Summe der Wege aus der Pendlerstatistik und .....	50
Tab. 11: Summe der PKW-Fahrten nach Szenarien.....	51
Tab. 12: Summe der zurückgelegten Distanz nach Szenarien.....	51
Tab. 13: Summe FZG-km hin und retour nach Szenarien.....	51
Tab. 14: Summe des Potentials der Umsteiger von MIV auf Pedelec je Szenario .....	51
Tab. 15: direkte und vorgelagerte Emissionsfaktoren in g/km.....	52
Tab. 16: direkte und vorgelagerte Emissionen in g/a .....	52
Tab. 17: gesamtes Einsparungspotential durch die Verlagerung von PKW Fahrten.....	52
Tab. 18: Summe Pkm Fahrrad hin und retour je Szenario.....	53
Tab. 19: Summe des Potentials der Umsteiger von Fahrrad .....	53
Tab. 20: Summe der Pedelec-km aus den verlagerten Fahrrad-km und Personen-km vom PKW.....	53
Tab. 21: Stromverbrauch Pedelec je Szenario .....	53

---

Tab. 22: Emissionsfaktoren für Energie in g/kWh .....	54
Tab. 23: Gesamtpotential der beiden Maßnahmen in Tonnen pro Jahr für CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> und PM .....	54

# 1 Anforderungen an die Infrastruktur

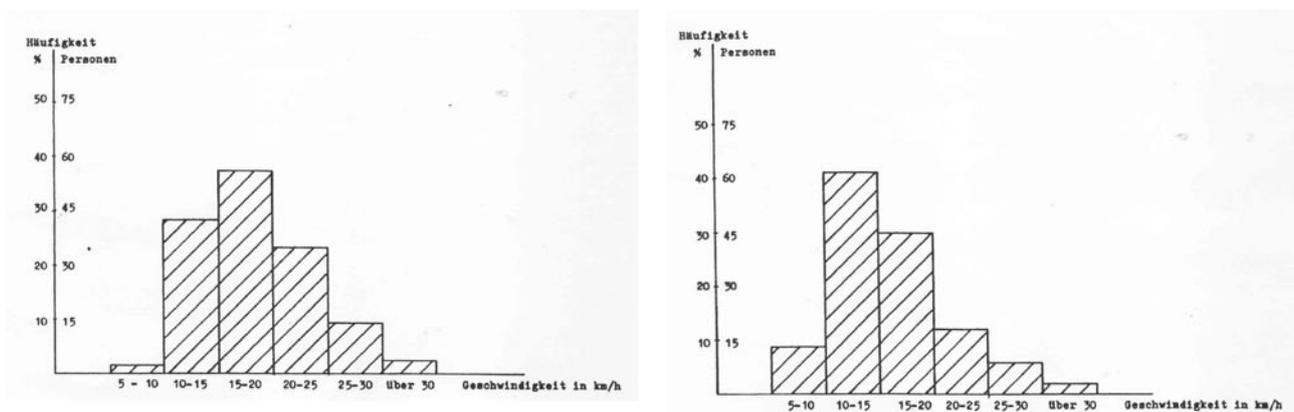
Für ein qualitativ hochwertiges Angebot an Radfahrer/-innen sind folgende Eigenschaften der Infrastruktur verantwortlich (ADFC, 2001, Meschik, 2008, Knoflacher, 1995):

- ▶ Rasche Reisegeschwindigkeit durch großzügige Radien, geringe Längsneigungen und Bevorrechtigung;
- ▶ Direktheit der Linienführung;
- ▶ Qualität der Verkehrswege (Breite, Oberfläche, Wartung);
- ▶ Verkehrsregelungen (Kreuzungen, Ampeln).

## 1.1 Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeitsverteilung wird in der Literatur relativ weit streuend in Abhängigkeit unterschiedlicher Kriterien (Alter, Fahrradtyp, Geschlecht) angegeben.

Fleischmann (1983) hat bei seinen Untersuchungen eine Häufigkeitsverteilung nach Fahrzweck – Berufsverkehr vs. Freizeitverkehr – ermittelt (Abb. 2). Daraus ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeit im Berufsverkehr deutlich höher ist als im Freizeitverkehr.



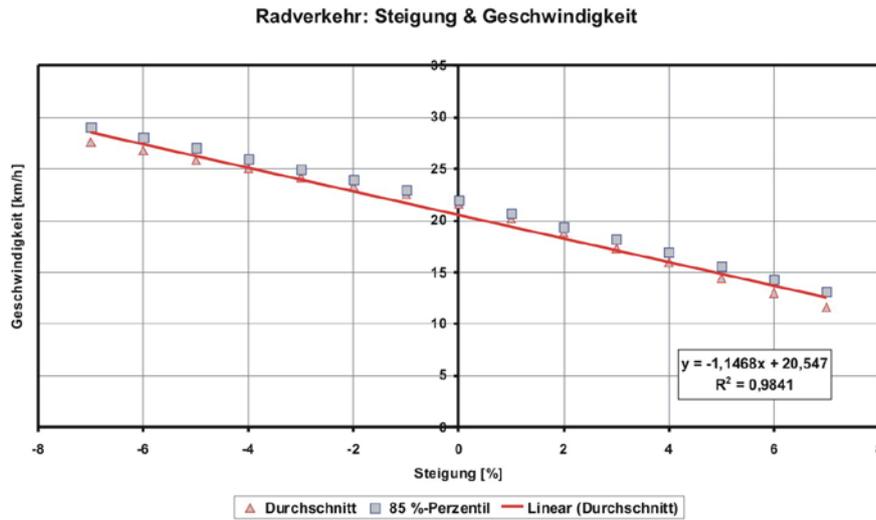
**Abb. 2: Geschwindigkeitsverteilung im Berufsverkehr (links) und Freizeitverkehr (rechts); Quelle: (Fleischmann, 1983)**

Eine aktuelle GPS- und GIS-basierte Untersuchung mit unterschiedlichen Probanden ergibt die in Abb. 3 aufgezeigten Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Steigung (Parkin et al., 2010).

Die ERA 2010 gibt für die beiden RVI-Arten „nahräumige Radverkehrsverbindung“ und „innergemeindliche Radschnellverbindung“ die angestrebte Fahrgeschwindigkeit in den Spannweiten 15 – 25 km/h und 20 – 30 km/h an (FGSV, 2010).

Aus den vorangegangenen empirischen Befunden kann man festhalten, dass im praktischen, nicht-sportlichen Radverkehr, die Geschwindigkeiten unterhalb von 30 km/h bleiben. D.h., dass als Projektierungsgeschwindigkeit im Regelfall 30 km/h ausmacht. Parkin et al. (2010) empfehlen, dass bis zu Gefällen

von 3 % eine Projektierungsgeschwindigkeit von 25 km/h herangezogen wird. Bei größeren Gefällen bis zu 35 km/h, hier geht Meschik (2008) sogar bis auf 50 km/h hinauf.



**Abb. 3: Durchschnittliche Geschwindigkeit von Radfahrern in Abhängigkeit von der Steigung; Quelle: (Parkin et al., 2010).**

**Tab. 1: Projektierungsgeschwindigkeiten nach Routenarten (links) und Teil des Netzes (rechts) Quellen: (Meschik, 2008, FSV, 2001a).**

Routenart	v <sub>p</sub> [km/h]	Netzteil	v <sub>p</sub> [km/h]
Hauptroute	20 – 30	Fahrstrecke eben	20
Hauptroute mit Gefälle	– 50	Kreuzungsbereich	10
Verbindungsroute	15 – 30	3 % Gefälle	30
Flächenerschließung	15 – 20	6 % Gefälle	40

## 1.2 Geometrie

### 1.2.1 Umwege

Die Literatur zu Langsamverkehrsarten gibt folgende Bandbreite an zulässigen Umwegfaktoren an:

**Tab. 2: Umwegfaktoren für Langsamverkehrsarten.**

1,10 (a)	(FGSV, 2010)	a...gegenüber parallelen Hauptverkehrsstraßen, b... gegenüber der kürzestmöglichen Verbindung, c...Durchschnitt für Fußgänger
1,20 (b)	(FGSV, 2010)	
1,25	(Richard, 1981, S. 98)	
1,30	(Alrutz in Meschik, 2008, S. 37)	
1,42 (c)	(Boesch et al., 1989, S. 55)	

### 1.2.2 Breiten

Die Breite des zur Verfügung stehenden bzw. gestellten Raumes ist der wesentliche Parameter für den Radverkehr in Betracht auf die Bewegungsfreiheit der Radfahrer und die daraus abgeleiteten Größen: beigemessene Wichtigkeit und Prioritätensetzung.

## Richtlinien

Die Österreichischen Richtlinien RVS mit Fahrradbezug geben folgende Breiten an:

Verkehrsraumbreite lt. RVS 03.04.12 (FSV, 2001b, S. 7):  $b_{VR} = b \cdot n + z$

mit  $b = 1,00$  m bzw.  $1,20$  m bei Dreirädern oder Radanhängern,  $n =$  Anzahl der nebeneinander fahrenden, oder sich begegnenden Radfahrer/-innen,  $z =$  Breitenzuschlag für Radien kleiner  $40$  m.

In der RVS 03.04.12 (FSV, 2001b) werden auch Breitenrichtwerte für gemischte Geh- und Radwege angegeben:

- ▶ Mindestens:  $1,50$  m (Einrichtungsverkehr Rad),  $2,50$  m (Zweirichtungsverkehr Rad, wobei für beengte Verhältnisse  $2,00$  m angegeben werden)
- ▶ Maximal:  $3,50 - 4,00$  m.

Verkehrsraumbreiten betragen lt. RVS 03.02.13 (FSV, 2001a): ein Radfahrer =  $1,50$  m, zwei Radfahrer =  $2,50$  m, drei Radfahrer =  $3,50$  m. Dreiräder und Räder mit Radanhängern brauchen mindestens  $1,30$  m befestigte Breite

## Breiten aus Messungen

(Schopf, 1985) hat das Breitenverhalten von gefilmten und vermessenen Radfahrten in unterschiedlichen, räumlichen Konfigurationen als Häufigkeitsverteilung aufgetragen (Abb. 4 bis Abb. 5). Daraus leiten wir eine Breite von  $4,00$  m für einen sehr komfortablen Zweirichtungsradweg ab und  $3,00$  m für Einrichtungsradwege. Diese breiten ermöglichen bequemes Überholen auch bei höherem Tempo und Gegenverkehr (Zweirichtungsvariante).

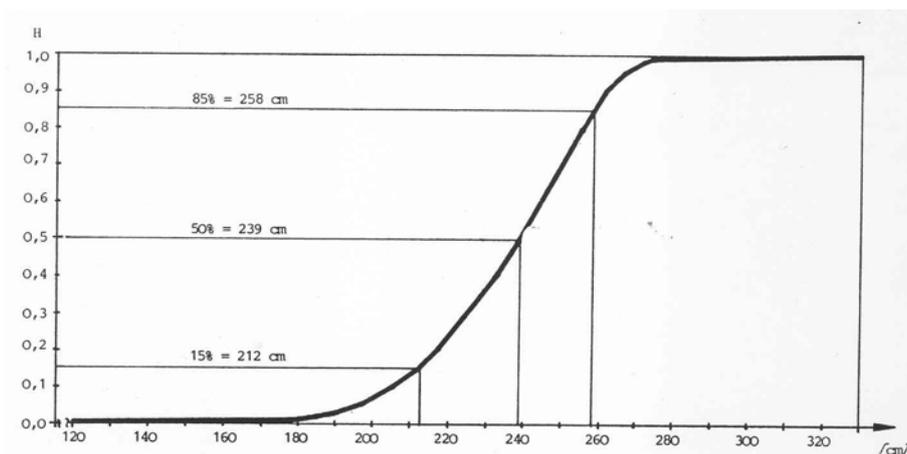


Abb. 4: Breitenverteilung eines zweispurigen, fahrbahnbegleitenden Einrichtungsradweges; Quelle: (Schopf, 1985).

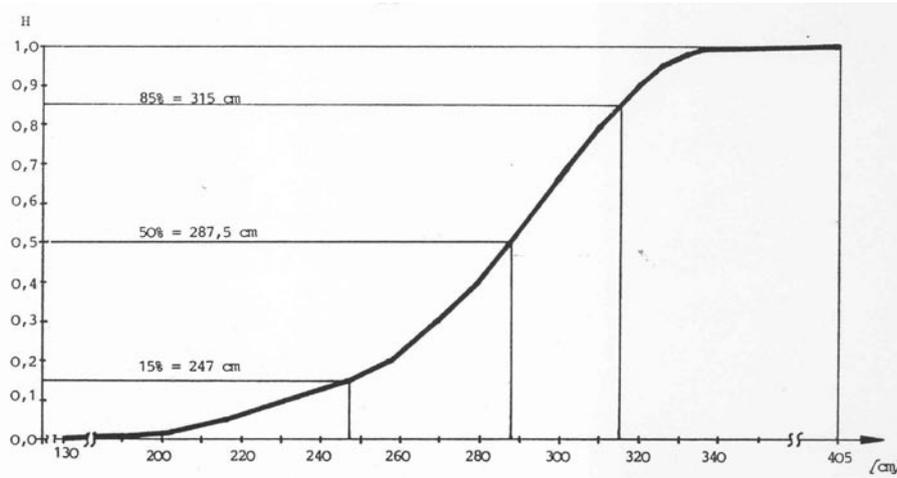


Abb. 5: Breitenverteilung eines zweispurigen, fahrbahnbegleitenden Zweirichtungsweges; Quelle: (Schopf, 1985).

### 1.2.3 Kurven

Die (FSV, 2001a) legt fest, dass im Regelfall der Kurven-Innenradien größer als 8 m sein soll. Im Kreuzungsbereich sind auch 4 m möglich. Zusammenhänge aus Radien und möglicher Geschwindigkeit aus unterschiedlichen Quellen sind in der Abb. 6 ausgewiesen.

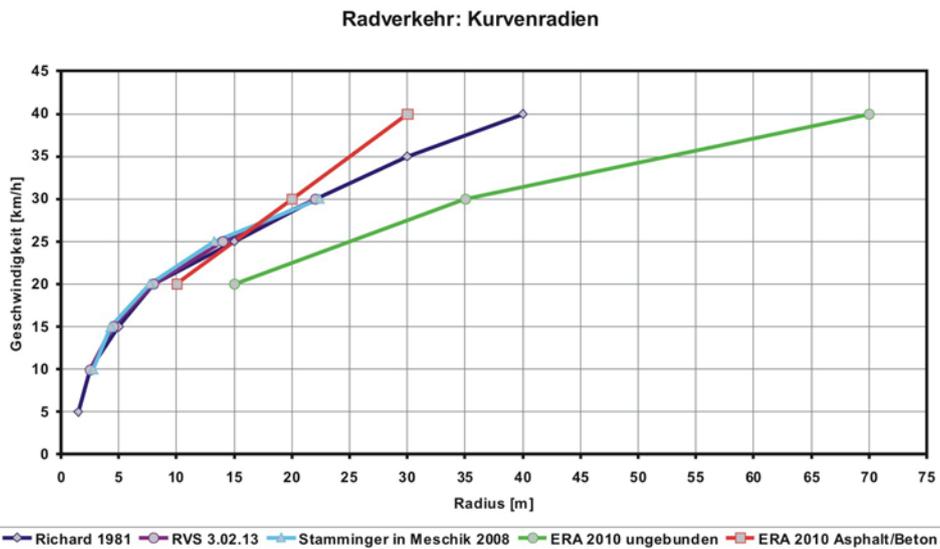


Abb. 6: Kurvenradien und Fahrgeschwindigkeit; Quellen: (Richard, 1981, FSV, 2001a, FGSV, 2010).

### 1.2.4 Kuppen und Wannen

In der aktuellen deutschen Radrichtlinie ERA 2010 (FGSV, 2010) werden folgende minimale Radien für Kuppen und Wannen definiert.

**Tab. 3: Mindestausrundungsradius für Kuppen und Wannen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit; Quelle: (FGSV, 2010).**

Geschwindigkeit [km/h]	Mindestradius [m]	
	Kuppe	Wanne
20	40	25
30	80	50
40	150	100

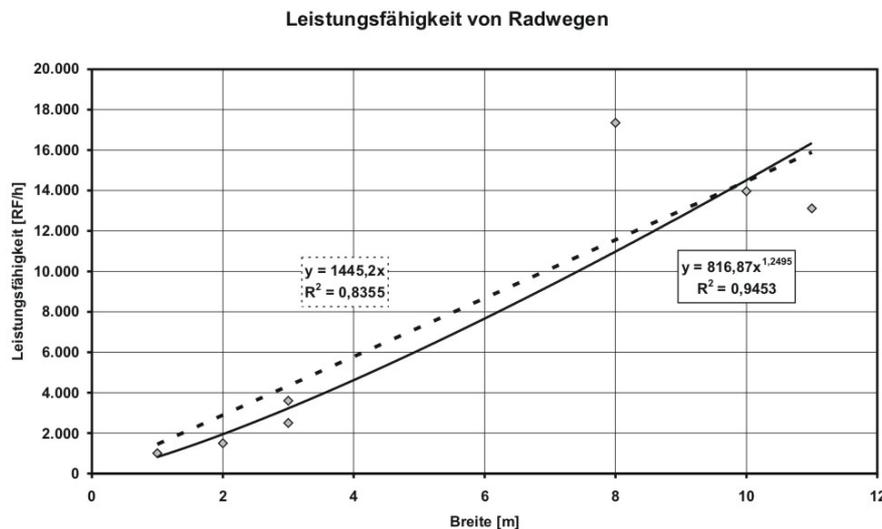
Zum Vergleich die Werte der österreichischen RVS von 2001:

**Tab. 4: Mindestausrundungsradius für Kuppen und Wannen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit; Quelle: (FSV, 2001a).**

Geschwindigkeit [km/h]	Mindestradius [m]	
	Kuppe	Wanne
20	20	10
30	40	20
40	65	40

### 1.3 Leistungsfähigkeit

Klassische Leistungsfähigkeitsangaben von Radwegen sind für relativ geringe Breiten angegeben. Für die abgeleitete Breite von 4 m müssen Hilfwerte von Messungen in ostasiatischen Städten hergenommen werden. Hier sind Fahrräder und Leichtmopeds in einer großen Masse im Sättigungsbereich unterwegs. Daraus leitet sich bei 4 m Breite eine theoretische Leistungsfähigkeit von 4.600 bis 5.700 Fahrrädern ab.



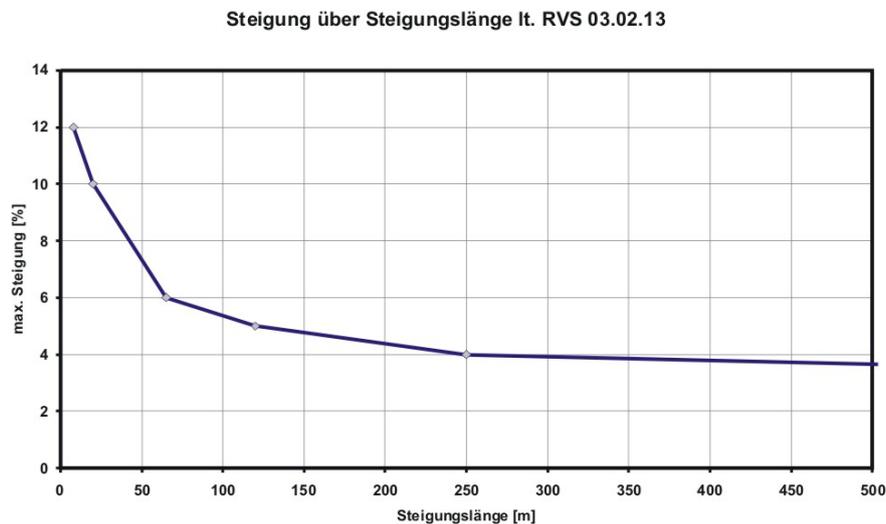
**Abb. 7: Leistungsfähigkeit für einspurige Fahrzeuge (Räder und Mopeds) in Abhängigkeit der Breite; Quellen: (FSV, 2001b, S. 8) (Meschik, 2008, S. 9) (Bruder et al. 1988 in Falkenberg et al., 2003, S. 11), Erhebungen Emberger und Pfaffenbichler.**

## 1.4 Verzierungen

Verzierungen sind die Ausformung des Überganges eines Verkehrsweges auf einen anderen, dessen Achse annähernd parallel zum ersten ist, aber seitlich versetzt. Die Geschwindigkeit die von Verkehrsmitteln gefahren werden kann hängt vom Winkel des Übergangs und der Ausrundung an den Schnittpunkten ab. Straßenbaurichtlinien geben z.B. bei Aufweitungen Neigungen von 1:20 bis 1:40 gegenüber der Achse an. Bei Radwegerichtlinien wird dieses Thema selten angesprochen. Parkin et al. (2010) zitieren die Planungsrichtlinie des Lancashire Country Council, der bei 40 km/h eine Verziehung 1:9 vorsieht und bei 30 km/h eine mit 1:7.

## 1.5 Steigungen

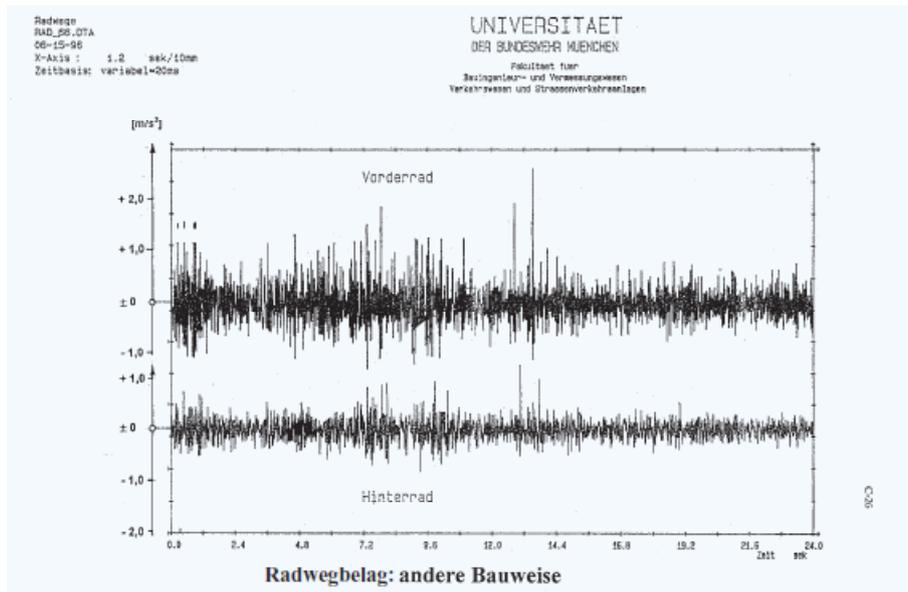
Bei Neuplanungen sind Steigungen mit max. 4 % auszuführen.



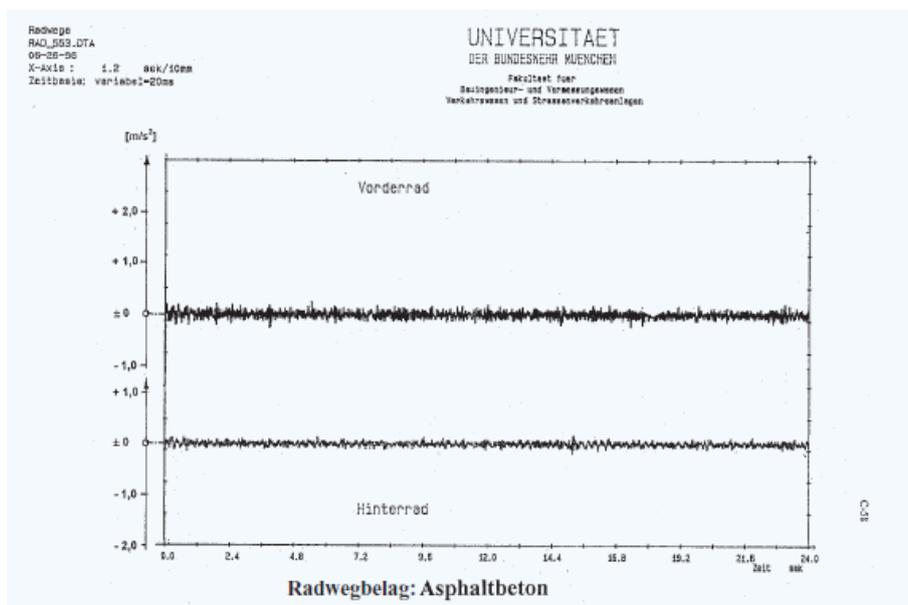
**Abb. 8: Maximale Steigung in Abhängigkeit von der Steigungslänge; Quelle: (FSV, 2001a).**

## 1.6 Oberflächenqualität

Ein wesentliches Merkmal für den Fahrkomfort auf Radwegen stellt die Gestaltung der Oberflächen dar. Eine mögliche Bewertung von Radwegen bezüglich der baulichen Qualität der Oberflächen kann unter anderem durch das Befahren mit einem Messfahrrad erfolgen. Abb. 9 und Abb. 10 bilden die gemessene Erschütterung an einen Messfahrrad abhängig von der befahrenen Oberfläche ab. Zahlreiche und große Ausschläge charakterisieren eine schlechte Oberflächenqualität des Radweges. Eine deutliche Abnahme der Ausschläge zeigt sich bei der Befahrung eines Radweges mit Asphaltbeton Oberfläche.

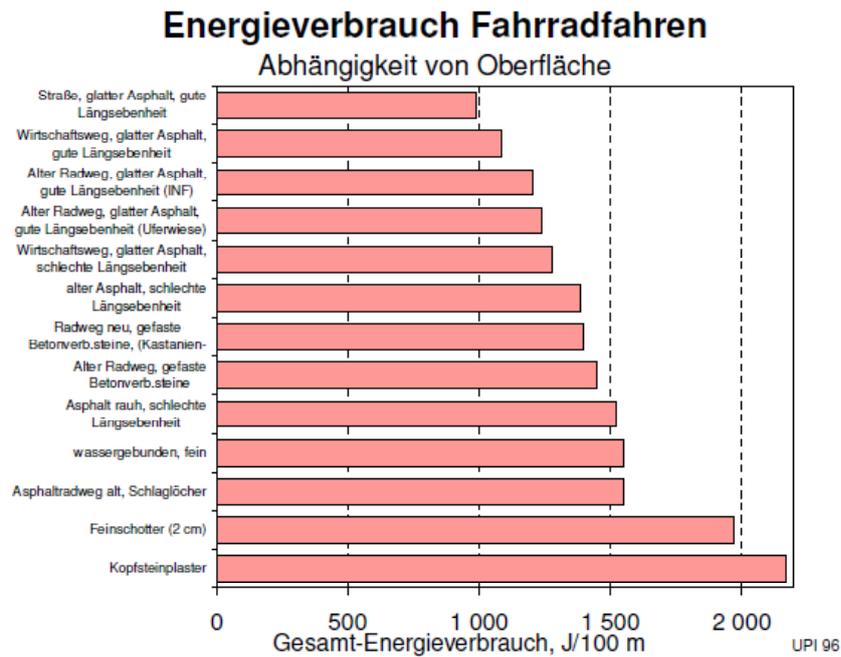


**Abb. 9: Diagramm der mit einem Messfahrrad aufgezeichneten Erschütterung auf einem Radwegbelag: andere Bauweise; Quelle: (Wirth, 1998, S. 20).**



**Abb. 10: Diagramm der mit einem Messfahrrad aufgezeichneten Erschütterung auf einem Radwegbelag: Asphaltbeton; Quelle: (Wirth, 1998, S. 20).**

Die Qualität der Oberfläche einer Radverkehrsanlage hat einen direkten Einfluss auf die Energie, die ein Radfahrer einsetzen muss um eine gewisse Geschwindigkeit zu erreichen. Weitere Einflussgrößen auf den Energieverbrauch neben der Oberflächenqualität stellen ansteigende Radwege und der Luftwiderstand dar. Das Umwelt- und Prognose-Institut (UPI) aus Heidelberg hat den Energieverbrauch von Radfahren auf unterschiedlichen Oberflächen untersucht (Abb. 11). Es zeigte sich, dass der Gesamtenergieverbrauch (Summe aus Rollreibung, Windwiderstand und innere Reibung des Fahrrades) bei Radfahren auf Kopfsteinpflaster um mehr als das doppelte höher ist als beim Radfahren auf einer glatten Asphaltstraße. Im Vergleich benötigen Radfahrer auf Kopfsteinpflaster 120 % mehr Energie um die gleiche Wegstrecke wie auf einer glatten Asphaltstraße zurück zulegen.



**Abb. 11: Energieverbrauch Fahrradfahren, Abhängig von der Oberflächen; Quelle: (Teufel et al., 2000, S. 18).**

Abschließend soll noch auf Maßnahmen, die den Einfluss der Witterung minimieren können hingewiesen werden. Der Witterungseinfluss ist eine immanente Einflussgröße für die Fahrradnutzung, deshalb sollen Radwege an besonders exponierten Abschnitten geschützt werden. Ein durch Vegetation, Mauern und Zäune gestalteter Windschutz bzw. ein Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung durch schattenspendende Bäume kann die Qualität von Radwegen positiv beeinflussen.

## 1.7 Organisationsform

Meschik (2008) leitet aus der Grundbedingung einer zügigen, möglichst konstanten Befahrbarkeit ohne häufiger Nachrangsituation, ohne zusätzlich gefährdender oder behinderender Abschnitte z.B. durch Hauseinfahrten oder Fußgeher auf gemeinsamen Flächen ab, dass der Mischverkehr auf der Fahrbahn die ideale Radverkehrsinfrastruktur ist. Gleichzeitig zur Flächenteilung ist das Geschwindigkeitslevel zu harmonisieren, die vorgeschriebene Geschwindigkeit für alle Verkehrsteilnehmer ist den faktischen Radverkehrsgeschwindigkeiten anzupassen – 30 km/h. Optimal ist eine Bevorrangung von Haupttrouten des Radverkehrs gegenüber dem (querenden Kfz-) Verkehr.

Die RVS 03.02.13 sieht eine Wahl des Organisationskonzeptes in Abhängigkeit der durchschnittlichen Verkehrsstärke und des 85 Perzentils der Geschwindigkeit vor (Abb. 12).

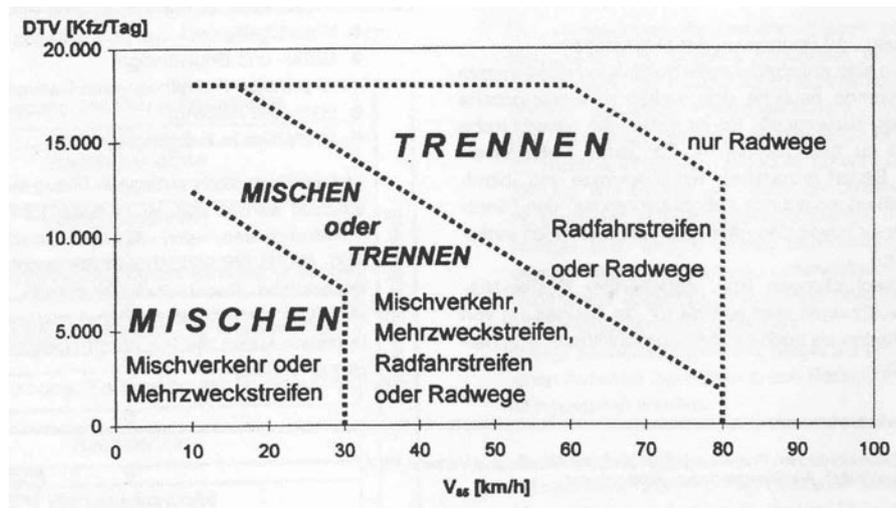


Abb. 12: Trenn-Mischverkehrsdiagramm; Quelle: (FSV, 2001a, S. 6)

## Knotengestaltung

Die zwei grundsätzlichen Philosophien des Abbiegevorganges nach links sind:

- ▶ direkt, mit Linksabbiegerelation des Fahrbahnstromes;
- ▶ indirekt, Einreihung in den querenden Verkehrsstrom (auf Fahrbahn oder baulich getrennt, hat Nachteil, dass mindestens eine Ampel-Teil-Phase länger gebraucht wird).

Bei der Gestaltung für hochrangige Radverkehrsinfrastrukturen ist zu beachten:

- ▶ dass die Radien entsprechend gestaltet sind und keine Engstellen und Bruchpunkte im Verlauf darstellen;
- ▶ dass eine möglichst direkte Führung ermöglicht ist;
- ▶ dass Maßnahmen der Priorisierung des RV baulich und organisatorisch umgesetzt werden, um eine durchgängig zügige Befahrbarkeit zu ermöglichen. Z.B. durch geänderte Vorrangverhältnisse zu Gunsten des Radverkehrs, Brücken und Unterführungen bei topographisch günstigen Verhältnissen, etc.)

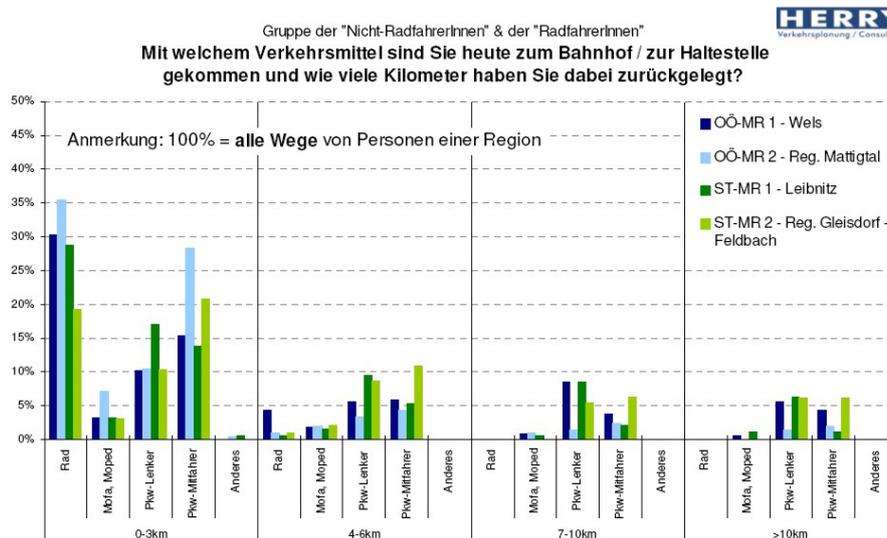
## 1.8 Abstellanlagen

Für die Nutzung des Fahrrads für Alltagswege sind Abstellmöglichkeiten an Quelle und Ziel des Weges wichtig. Muss das Rad umständlich über eine Treppe aus dem Keller geholt werden, wird es vielfach erst gar nicht benutzt. Leicht zugängliche Fahrradabstellanlagen am Wohnort sowie sichere und nahe am Zielort positionierte Anlagen fördern die Nutzung des Radverkehrs für tägliche Wege.

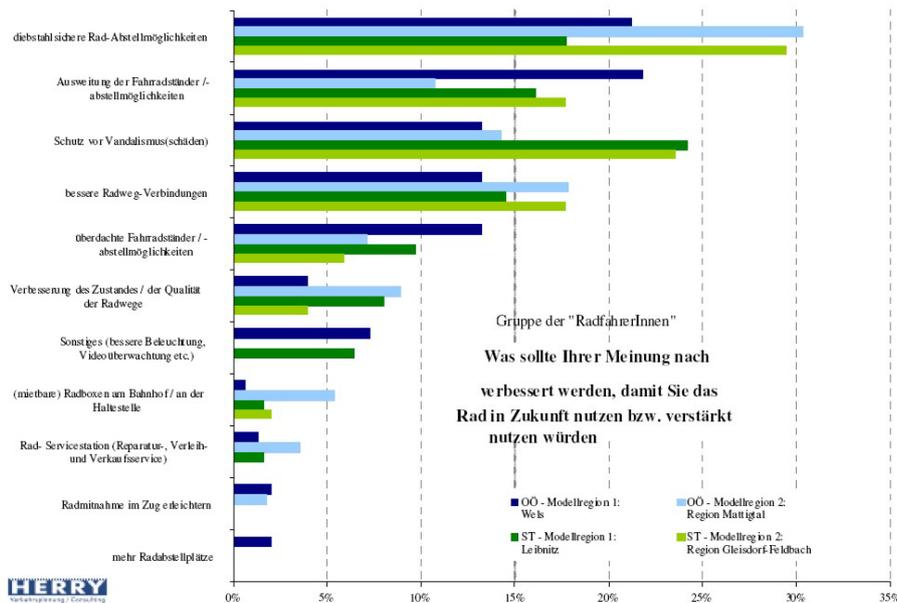
## 1.8.1 Anforderungen an Abstellsysteme

Ein Fahrradständer hat ein geordnetes, platzsparendes und sicheres Abstellen des Fahrrades zu ermöglichen. Jeder Fahrradständertyp weist dabei besondere Qualitäten auf. Generell sind bei der Wahl des Fahrradständers nachfolgende Anforderungen zu beachten (Dosti et al., 2010):

- ▶ Schutz vor Diebstahl und Beschädigung (Anschließen des Fahrradrahmens und eines Rades, Beschädigungen des eigenen Fahrrades bzw. eines fremden Fahrrades sind zu vermeiden; geringe Vandalismusgefahr);
- ▶ Einfache Bedienung und Funktionsweise aller Vorrichtungen (verschiedene Abmessungen und Lenkerformen);
- ▶ Schutz vor Witterungseinflüssen → Überdachung und Einhausung;
- ▶ Erreichbarkeit direkt, ungehindert und sicher;
- ▶ Max. ca. 30 m vom Eingang entfernt, große Wohnüberbauungen mit mehreren dezentralen Anlagen versehen;
- ▶ Außenanlagen müssen fahrend erreicht werden können; Innenanlagen sollen im Optimalfall fahrend erschlossen werden, jedenfalls sind sie ebenerdig oder mit flachen Rampen zu erschließen;
- ▶ Das Fahrrad muss sicher und fest im/am Ständer stehen.
- ▶ Einfache Reinigung des Fahrradständers und des Untergrundes.



**Abb. 13: First-Mile-Verkehrsmittel von ÖV-Reisenden in Abhängigkeit von der Länge des ersten Weges; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 232).**



**Abb. 14: Verbesserungsvorschläge der „RadfahrerInnen“ für weitere zukünftige Radnutzung; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 244).**

## 1.8.2 Radabstellanlagen an ÖV-Haltestellen

Radfahrer nutzen Radabstellanlagen im ÖV-Zugang und ÖV-Abgang. Die folgenden Abbildungen zeigen Ergebnisse von Untersuchungen aus Österreich zu Eigenschaften und zur Zusammensetzung der Nutzergruppe „ÖV und Radfahrer“.

Eine Münchener Untersuchung ergab, dass tatsächlich ein Großteil der Nutzer von Bike & Ride Anlagen auch ÖV-Nutzer sind – 92 %. Weiters wurde ermittelt, dass der Einzugsbereich von Bike & Ride Anlagen im Mittel 1,6 km beträgt, sodass ca. 94 % der Nutzer 10 Minuten oder weniger Anfahrzeit haben. Die durchschnittliche Abstelldauer betrug dabei 9 Stunden (König, 2007).

Radabstellanlagen dienen primär dem Wetterschutz und der Verringerung des Diebstahlrisikos. Besonderen Schutz bieten versperrbare Abstellboxen. Neue Systeme basieren nicht mehr auf klassischen Schlosssystemen sondern auf Magnetstreifenkarten, zentralen Bedienungseinheiten und Anmeldung und Verrechnung per Internet. Trotz dieser vereinfachten Handhabung werden versperrbare Abstellboxen an Haltestellen von Schienenverkehrsmitteln dominierend von Arbeitspendlern benützt, bei anderen Bike & Ride Benutzern (Schüler, Studenten, etc.) dominiert „das billige Fahrrad“ als Anti-Diebstahlstrategie. An Bushaltestellen werden Fahrradboxen tendenziell schlechter angenommen als an Schienenverkehrsmitteln (Martens, 2007).

Die Anordnung sollte dabei auf beiden Seiten des Verkehrsmittels erfolgen, bei Bus- und Tram-Haltestellen im Straßenraum auf beiden Straßenseiten. Die Positionierung hat möglichst nahe an die natürlichen Zugangsströme zu erfolgen, ebenso die aliquote Größenaufteilung, sodass Umwege minimiert werden können (Martens, 2007).

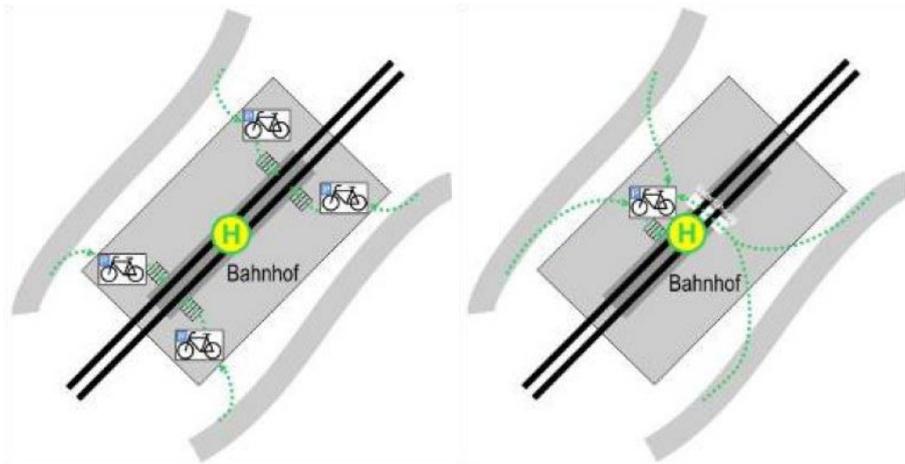


Abb. 15: Dezentraler und zentraler Positionierungsansatz; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 68).

### 1.8.3 Fahrradstationen an ÖV-Haltestellen

Fahrradstationen bieten neben dem bewachten Abstellen auch darüber hinaus weitere wichtige Dienstleistungen von der Reparatur über die Vermietung bis zum Warendepot an. Die Fahrradstationen können entweder durch Personal oder automatisiert bewacht sein und sollten über weitreichende Öffnungszeiten (bis zu über 20 Stunden) verfügen.

In den Niederlanden unterliegen Fahrradstationen an Bahnhaltestellen folgenden Grundprinzipien (Martens, 2007):

- ▶ Radabstellplätze für regelmäßige und Gelegenheitsradler anbieten;
- ▶ Gemischtes Angebot aus sicheren (bewacht bzw. versperrbare Fahrradboxen) und normalen Abstellanlagen;
- ▶ 200 m maximale Gehdistanz zwischen den sicheren Abstellanlagen und dem Haltestelleneingang;
- ▶ Ungesicherte Abstellanlagen einsehbar von belebten Flächen zur Diebstahls- und Vandalismusprievention;
- ▶ 20 % Überangebot bei gesicherten und ungesicherten Anlagen.

Der Zutritt ist häufig nur mit Berechtigung möglich und kann kostenpflichtig sein. Fahrradstationen sind dort sinnvoll, wo eine hohe Nachfrage für Fahrradstellplätze in dicht genutzten Gebieten besteht. Dies ist insbesondere der Fall bei Bahnhöfen, aber auch bei Geschäftszentren in Innenstädten und in Quartieren mit städtischem Charakter (Sigrist et al., 2008, S. 62, Merkli et al., 2004, S. 2).

Fahrradstationen bieten Komfort und leisten zugleich einen Beitrag zur Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs. Erfahrungen zeigen, dass mindestens 50 % der gesamten Abstellplätze für Fahrgäste kostenlos sein müssen. Fahrradstationen sind deshalb zwingend in ein Gesamtabstellkonzept zu integrieren. Dieses Konzept beinhaltet an mittleren und größeren Bahnhöfen einen Mix aus verschiedenen Anlagentypen

(Sigrist et al., 2008, S. 62). Fahrradstationen sind bereits ab einer Größe von 200 Stellplätzen sinnvoll (Lüdke, 2009).



**Abb. 16: Qualitätsstufen von Radabstellanlagen im ÖV-Haltestellen-Kontext; Quelle: (Dosti et al., 2010, S. 358).**

### 1.8.4 Zusätzliche Angebote

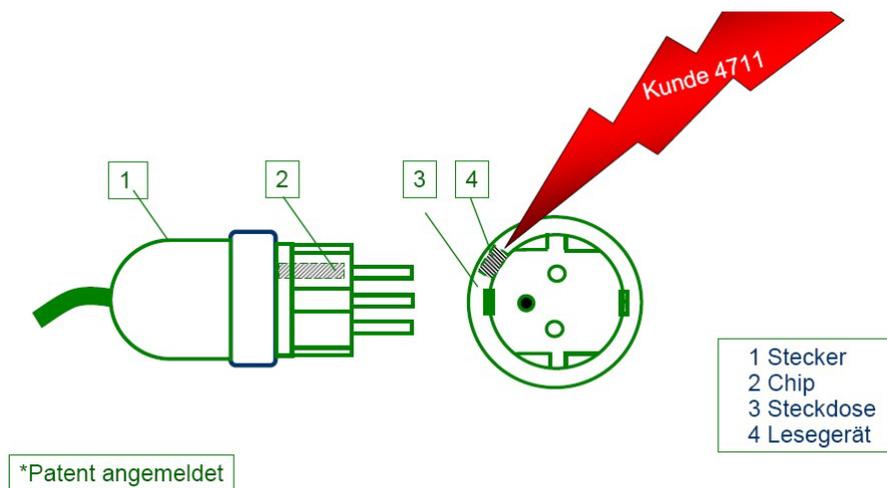
Die Grundinfrastruktur von Fahrradstationen kann ergänzt werden mit Schließfächern, Pumpstation, Reparaturwerkstatt, Reinigungsservice, Stromanschluss für E-Bikes und Pedelecs und Umkleidekabinen/Duschen/WC. Einige Fahrradstationen bieten weitere Dienstleistungen an wie Radverleih, Hauslieferdienst, Kurierdienst, Mobilitätsberatung und Cafébar. Häufig sind auch Informationen zu Mobilität und Tourismus erhältlich, aber auch Fahrkarten oder Kurierdienstleistungen (Sigrist et al., 2008, S. 63, Merkli et al., 2004, S. 12).

### 1.8.5 E-Bikes und Pedelecs – Anforderungen

Sowohl bei E-Bikes<sup>1</sup> als auch Pedelecs<sup>2</sup> kommt es durch den Motor und den Akku zu einem deutlich höheren Gewicht von ca. 25 bis 30 kg, also knapp dem doppelten eines StVO-mäßig ausgerüsteten Fahrrads (Wikipedia, 2009b, c, a). Zusätzlich zum erhöhten Gewicht ist mit einer leicht vergrößerten Länge zu rechnen, da bei einigen Modellen der Akku zwischen Sattelrohr und Hinterrad, über dem Tretlager, verbaut ist und sich daraus ein verlängerter Radstand ergibt. Die Energieversorgung von Elektrofahrrädern ist in zwei Grundausführungen möglich:

Der Akku ist in abnehmbarer Form ausgeführt und ist in eigenen Halterungen oder Taschen (z.B. am Gepäckträger) befestigt. Der Akku muss mit einem separaten Ladegerät geladen werden. Dies geschieht entweder in der Wohnung (Höhentransport!) oder im Fahrradabstellraum. Hierbei sind Fragen des sicheren Verstauens, der Energieverrechnung und der Prävention von Missbrauch zu klären.

Der Akku ist mit einem On-Board-Ladegerät verbunden und auch am Abstellort ladbar. Die technologische Entwicklung scheint in diese Richtung zu gehen, die in Zukunft ein Aufladen abseits der Heimladestation auch an entfernten Ladestellen ermöglicht.



**Abb. 17: Aufladung, Verbuchung und Abrechnung über die Steckdose nach dem System Plug & Charge; Quelle: (Vogel, 2009).**

Leider haben Akkus und Akkuladegeräte noch keinen industrieüberspannenden, einheitlichen Standard. Unterschiedliche Produzenten verwenden unterschiedliche Akkuladegeräte.

### 1.8.6 Adaptierung von Altbauten

Bei Altbauten, die nicht für eine alltägliche Fahrradnutzung geplant und gebaut wurden, kann in beschränktem Rahmen – abhängig vom vorhandenen Platz – eine Adaptierung für verbesserte Fahrradzugänglichkeit vorgenommen werden. Am einfachsten ist die Nachrüstung von pavillonartigen Radgaragen die auf zugänglichen Freiflächen (z.B. im Hof) abgestellt werden können. Eine nachträgliche Verbes-

<sup>1</sup> Elektroantrieb unabhängig vom Treten.

<sup>2</sup> Elektroantrieb als Unterstützung beim Treten

serung von gebäudeinternen Anlagen ist wegen Niveau-Unterschieden und beengten Verhältnissen oft nur bescheiden (z.B. nachträgliche Montage von Rampen oder Rillen) möglich.

## 1.9 Zusammenfassung

Die Anforderungen an leistungsfähige Radverkehrsinfrastruktur lassen sich unter dem Schlagwort „Bundesstraßenqualität“ zusammenfassen.

- ▶ Die Planung ist mit einer Reisegeschwindigkeit  $v_{\text{REISE}}$  von 20 km/h und einer Projektierungsgeschwindigkeit  $v_p$  von 30 km/h vorzunehmen.
- ▶ Steigungen sollten vor allem mit Blick auf die Mischbenützung von Hochleistungsinfrastrukturen bei kleiner gleich 4 % gehalten werden.
- ▶ Für Zweirichtungsradwege ist eine Breite von 4,00 m nötig, sie ermöglicht ein bequemes Überholen. Daraus ergibt sich eine Leistungsfähigkeit zwischen 4.600 und 5.700 Radfahrern pro Stunde.
- ▶ Im Einrichtungsbetrieb bei getrennter Bauart sind 3,00 m notwendig.
- ▶ Fahrbelagsoberflächen sind mit möglichst geringer Rauheit aber hoher Griffigkeit auszuführen, sodass der damit einhergehende Energieverlust minimiert wird.
- ▶ Kurvenradien auf innerstädtischen Anlagen sind heute für einen Hochleistungsbetrieb im Regelfall zu gering ausgeführt. Für eine Projektierungsgeschwindigkeit von 30 km/h ist auf gebundener Decke (Asphalt, Beton) ein Mindestradius von 20m notwendig.
- ▶ Radien für Kuppen und Wannen sollten nach den Vorgaben der ERA 2010 gewählt werden (Für  $v_p$  von 30 km/h:  $R_K = 80\text{m}$ ,  $R_W = 50\text{m}$ )

Pedelecs haben einige Anforderungen, die über die von normalen Rädern hinaus gehen. Da sie im Regelfall teurer sind als vergleichbare unmotorisierte Räder, ist das Bedürfnis, sie wirklich diebstahlsicher ab- oder noch besser weg zu sperren, größer. Am wirkungsvollsten geschieht dies in eigenen Boxen, vor allem in öffentlich und halböffentlich zugänglichen Abstellanlagen. Die Abstellanlagen sind mit einer Steckdose und der entsprechenden Stromverbuchungsinfrastruktur auszustatten. Durch ihr höheres Gewicht gegenüber normalen Rädern ist besonderes Augenmerk auf geradliniges Handling zu legen. Leider weisen die bisherigen Regelungen der Landesbauordnungen auch für normale Fahrradabstellanlagen in Gebäuden keine oder nur unzureichende Qualitätsvorgaben zu Platzbedarf, Zu- und Abgang (Rampen, Höhenunterschiede,...) auf. Eine alltagsgebräuchliche Bereitstellung von Fahrrädern und insbesondere Pedelecs stellt vor allem für Altbauten eine große Herausforderung dar. Hier ist eine vermehrte Nutzung von Höfen sowie Fahrbahn- und Abstellflächen im öffentlichen Raum notwendig.

## 2 Fahrzeug-Grundlagen

Elektrisch unterstützte Fahrräder unterscheiden sich von konventionellen Rädern im Wesentlichen durch drei Komponenten: elektrischen Antrieb, Steuerung und Akku.

### 2.1 Pedelec vs. E-Bike

Der Name Pedelec leitet sich von Pedal Electric Cycle ab und wird für elektrisch unterstützte Fahrräder verwendet, die verkehrsrechtlich konventionellen Fahrrädern (keine Versicherungspflicht, keine Nummerntafel notwendig,...) gleichgestellt sind. In der EU-RL 2002/24/EG ist ein Pedelec wie folgt definiert:

- ▶ Die Motor-Nennleistung ist geringer als 250 Watt.
- ▶ Die Geschwindigkeit, bis zu der unterstützt wird, beträgt max. 25 km/h.
- ▶ Der Motor unterstützt nur, wenn in die Pedale getreten wird.

Der Ausdruck E-Fahrrad bzw. E-Bike wird im allg. Sprachgebrauch üblicherweise für alle elektrisch unterstützten Fahrräder, egal ob Pedelec oder nicht, verwendet. In der Fachwelt scheint sich der Begriff E-Fahrrad bzw. E-Bike aber mehr und mehr für elektrisch unterstützte Fahrräder, die keine Pedelecs sind, durchzusetzen.

### 2.2 Pedelec-Eigenschaften

Die einzelnen Modelle unterscheiden sich vor allem durch das Fahrradmodell, auf dem das Pedelec aufbaut, die Antriebsart und den Akku. Der Antrieb ist entweder als Nabenmotor im Vorder- bzw. Hinterrad untergebracht oder sitzt als Tretlagermotor in der Mitte des Fahrrads, der Akku kann entweder beim Gepäckträger, stehend zwischen dem Sattelrohr und dem Hinterrad, oder auf dem Rahmenunterrohr angeordnet werden bzw. kann direkt im Rahmen integriert sein. Hochwertige Pedelec-Modelle verfügen über eine dynamische Antriebssteuerung, bei der die Tretkraft gemessen und die Motorunterstützung dementsprechend angepasst wird.

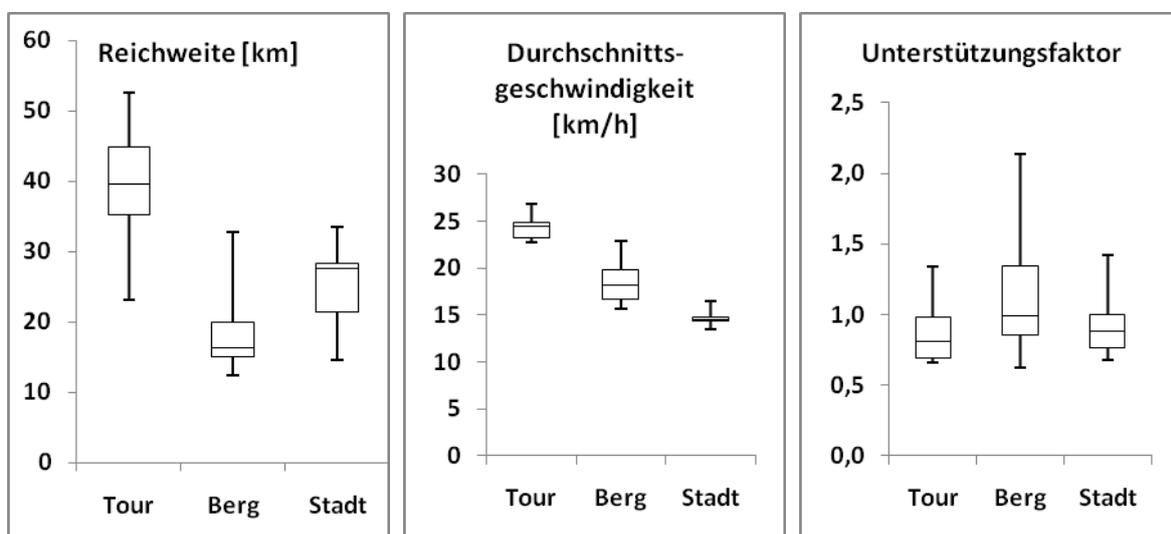
Einige Modelle bieten außerdem die Möglichkeit zur Energierückgewinnung: Beim Bergabfahren kann der E-Motor Energie zurück in den Akku laden, was die konventionellen Bremsen schont und die Reichweite verlängert (vgl. Energieinstitut Vorarlberg, 2010).

Im ExtraEnergy Pedelec-Test 2009/2010 (ExtraEnergy, 2010) wurden über 20 aktuelle Pedelec-Modelle mit Preisen zwischen EUR 1.500 und 4.200 getestet. Aus den umfangreichen Testergebnissen, die auch unter [www.topprodukte.at](http://www.topprodukte.at) nachzulesen sind, wurden die für su:b:city wichtigsten Parameter

- ▶ Reichweite (Wie viel km können ohne Akkuladung zurückgelegt werden?),

- ▶ Durchschnittsgeschwindigkeit (Welche Geschwindigkeit ist bei mittlerer Anstrengung möglich?) sowie
- ▶ Unterstützungsfaktor (Wie viel Leistung liefert der E-Motor im Vergleich zur Leistung der fahrenden Person?)

herausgegriffen. Jeder dieser drei Werte wurde für jedes getestete Pedelec-Modell auf drei Strecken (Tour, Berg und Stadt) mit unterschiedlicher Charakteristik ermittelt. Die Reichweite streut stark über alle 3 Streckentypen, der Unterstützungsfaktor v.a. beim Bergfahren. Die Streuung bei der Geschwindigkeit ist allgemein gering. Betrachtet man die Mediane, so ist die Reichweite beim Bergfahren am geringsten (max. Belastung bedingt schnellere Entladung des Akku) und beim Tourenfahren mit Abstand am höchsten (konstante Entladung im Vergleich zu Stop-and-Go im Stadtverkehr). Die Mediane der Unterstützungsfaktoren liegen sehr nahe beieinander.



**Abb. 18: Verteilungen der wichtigsten Parameter aus dem Pedelec-Test 2009/2010; ein Unterstützungsfaktor von 1,0 bedeutet eine Verdoppelung der vom Fahrer am Pedal geleisteten Arbeit bzw. der E-Motor leistet 50% der notwendigen Arbeit bzw. mit demselben Körperenergieverbrauch kann am Pedelec die doppelte Strecke im Vergleich zum Fahrrad zurückgelegt werden (ein Faktor von 2,0 entspräche einer Verdreifachung, dh. 66% E-Motor-Anteil); Quelle: Eigene Berechnung auf Basis ExtraEnergy, 2010).**

Als grobe überschlagswerte für hochwertige Pedelecs ergeben sich damit aus dem ExtraEnergy-Pedelec-Test:

- ▶ Reichweite: 30 km
- ▶ Geschwindigkeit: 20 km/h
- ▶ Unterstützungsfaktor: 1,0

### Konkurrenzfähige Reiseweite

In der Fachliteratur (Schnabel-Lohse, 1997; Knoflacher, 1995; Whitelegg, 1994) finden sich Angaben zur mittleren Reisegeschwindigkeit im innerstädtischen Verkehr und zu den mittleren Zu- und Abgangszeiten unterschiedlicher Verkehrsmittel. Trägt man diese Daten in einem Zeit-Weg-Diagramm auf, lassen sich aus den Schnittpunkten der Geraden Reiseweiten ablesen, bis zu denen ein gewisses Verkehrsmittel

schneller und damit konkurrenzfähiger ist als ein anderes. Diese Methode stellt eine gewisse Vereinfachung dar, es lässt sich anhand des Diagramms aber sehr deutlich zeigen, welchen Einfluss die Verfügbarkeit einer Abstellmöglichkeit in der Nähe des Start- bzw. Zielpunktes hat (kurze Zu- und Abgangszeit) und in welcher Bandbreite sich die Geschwindigkeit des Autoverkehrs in der Stadt bewegt. Mit Zu- und Abgangszeiten von 1,5min für Rad bzw. Pedelec und knapp 5 min für das Auto und Durchschnittsgeschwindigkeiten von 12,5 km/h (Fahrrad), 20 km/h (Pedelec) und 23,5 km/h (Auto) (Schnabel-Lohse, 1997; Knoflacher, 1995; Whitelegg, 1994) ist das Rad bis 1,5 km schneller als das Auto, das Pedelec bis ca. 7,5 km (vgl. untenstehende Abb.)

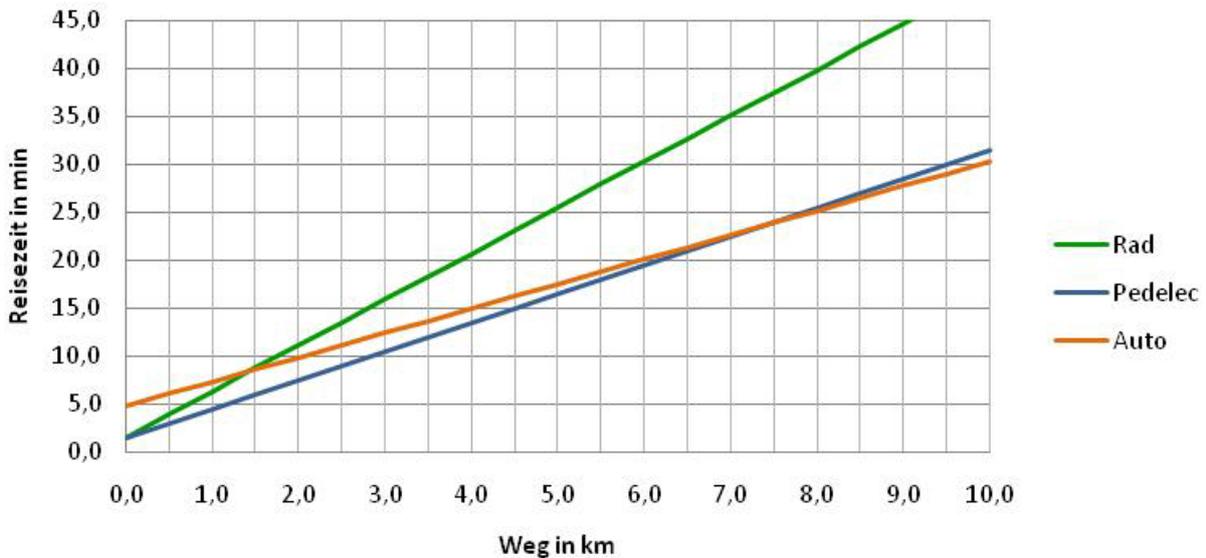
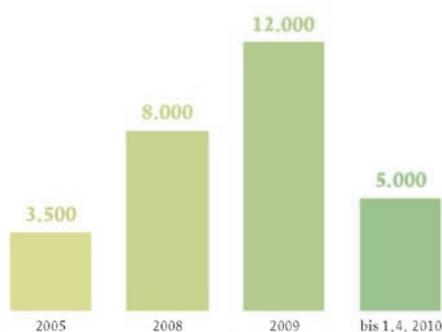


Abb. 19: Konkurrenzfähige Reiseweite für Fahrrad und Pedelec, Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis Schnabel-Lohse (1997), Knoflacher (1995), Whitelegg (1994)

### 2.3 Pedelec-Markt

In den letzten Jahren haben Verkauf und Nutzung von Pedelecs enorm zugenommen, wie die nachstehende Abbildung zeigt. Für 2010 wurden 200.000 verkaufte Pedelecs und E-Bikes für Deutschland prognostiziert, 700.000 für ganz Europa (Quelle: Infoblatt Pedelec ADFC)

Anzahl der verkauften Pedelecs in Österreich 2005 – 1.4.2010 Quelle: V



Marktsituation Elektrofahräder



Abb. 20: Pedelec-Verkaufszahlen in Österreich (links) und Deutschland (rechts), Quelle: BMVIT (2010), Infoblatt Pedelec ADFC

### 3 Quantifizierung des Nutzerpotentials

Der im Rahmen dieses Projektes vorgeschlagene Ansatz zur Erhöhung des Radverkehrsanteils im Stadt-Umland-Verkehr stützt sich auf zwei Elemente:

- ▶ Verbesserung des Infrastrukturangebotes durch hochrangige, radial ausgerichtete Infrastruktur (vgl. AP1)
- ▶ Verbesserte Fahrzeugtechnologie: Einsatz von Pedelecs als Ergänzung zum klassischen Fahrrad

Im Rahmen dieses Arbeitspakets soll eine Abschätzung getroffen werden, wie viele zusätzliche Wege aufgrund der oben angeführten Verbesserungen für den Radverkehr mit Fahrrad bzw. Pedelec zurückgelegt werden könnten und welche Fahrleistung (in Pkm) erreicht werden könnte. Besonderes Augenmerk gilt der Frage, ob es durch den Einsatz von Pedelecs zu einem - verkehrspolitisch gewünschten - Anstieg des Umweltverbundanteils<sup>3</sup> - und damit zu weniger Autofahrten - kommen wird oder ob vermehrt Wege, die zuvor zu Fuß, mit dem konventionellen Rad oder mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt wurden, substituiert werden.

#### 3.1 Verbesserung der Infrastruktur

Infrastrukturverbesserungen im Verkehrsbereich werden üblicherweise über die Steigerung der Reisegeschwindigkeit bzw. die Verkürzung der Reisezeit (bei konstant angenommener Weglänge) beschrieben. Inwiefern diese Verbesserungen auch tatsächlich zu einer Erhöhung des Anteils der Verkehrsart, für die die Infrastruktur verbessert wurde, führt, hängt maßgeblich von den vorhandenen Alternativen bei der Verkehrsmittelwahl zusammen. Die Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen und die Quantifizierung von Verkehrsmittelverlagerungen (Bsp.: Dichter Takt führt dazu, dass mehr Menschen die Bahn nehmen und das Auto stehen lassen) erfolgt oft über makroskopische Verkehrsmodelle. Der Formelapparat dieser Verkehrsmodelle muss je nach gewünschter Aussage parametrisiert werden, dh. üblicherweise ist es nicht möglich, mit einem bereits für einen bestimmten Zweck ermittelten Parametersatz weitere Aufgabenstellungen zu bearbeiten. Die Parameter werden im Allgemeinen über Befragungen ermittelt bzw. sind aus der Fachliteratur bekannt.

Die Ermittlung von Parametern mittels Befragung zur weiteren Verwendung hätte den Rahmen dieses Projektes gesprengt, aus der Fachliteratur konnten ebenfalls keine ausreichenden Daten zur Weiterverwendung in einem Verkehrsmodell gewonnen werden. Es können hier daher keine quantitativen Aussagen zum Nutzerpotential zufolge Infrastrukturverbesserung getroffen werden. Aufgrund von Erfahrungswerten aus dem öffentlichen Verkehr und dem Autoverkehr kann jedoch geschlossen werden, dass die Verkürzung der Reisezeit durch Infrastrukturverbesserungen auch im Radverkehr zu einer Attraktivierung führt und damit bestehende Nutzer in ihrem Verhalten bestätigt bzw. neue Nutzer angezogen werden. Das gilt im Besonderen für zielgerichtete, tägliche Wege, wie es Wege von der Wohnung zum Arbeitsplatz sind.

---

<sup>3</sup> Umweltverbund: Überbegriff für Fuß-, Rad- und öffentlichen Verkehr

## 3.2 Verbesserte Fahrzeugtechnologie

Für die Abschätzung des Nutzerpotentials infolge des vermehrten Einsatzes von Pedelecs kann auf Daten aus dem Projekt „Landrad“ aus Vorarlberg zurückgegriffen werden (Kairos GmbH, 2010).

Im Rahmen dieses Projektes fand ein Flottenversuch mit 500 Pedelecs gleichen Typs statt. Ziel war es, folgende Fragen zu beantworten:

- ▶ In welchem Ausmaß können Pedelecs PKW-Wege ersetzen?
- ▶ Wie groß ist das Marktpotential dafür in Vorarlberg?
- ▶ Welche Begleitmaßnahmen sind notwendig und zielführend, um den Radverkehrsanteil in Vorarlberg weiter zu erhöhen?

Die Pedelecs konnten von Organisationen und Privatpersonen zu einem vergünstigten Preis erworben werden, anschließend sollten die Testpersonen während 12 Monaten (Juli 2009 bis Juli 2010) Daten zu ihrem Verkehrsverhalten sammeln. 342 dieser 500 „Landräder“ waren bei Privatpersonen im Einsatz, insgesamt konnten 196 vollständige Datensätze ausgewertet werden.

Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts „Landrad“ aus der Sicht von su:b:city sind (vgl. Kairos GmbH, 2010):

- ▶ Die durchschnittliche Pedelec-Fahrleistung betrug ca. 1.400 km pro Jahr (Rad ohne Motor in Vorarlberg 400 km/a), vgl. S.18
- ▶ Die Fahrleistung der Testpersonen schwankte zwischen 40km und 8.000 km (S.18)
- ▶ Die Fahrleistung verteilte sich recht konstant über die Jahreszeiten, wobei im Herbst der größte Fahrleistungsanteil (33%) festgestellt werden konnte. Im Winter fiel immerhin noch 17% der Jahresfahrleistung an (S.19).
- ▶ 89% aller *Landrad*-Besitzer wohnen in weniger als 500m Entfernung zur nächsten Haltestelle des öffentlichen Verkehrs, für 59% ist der Weg sogar kürzer als 300m. Die typischen *Landrad*-Besitzer sind dennoch keine regelmäßigen Nutzer des ÖV (S.20)
- ▶ Der Umweltverbundanteil bei *Landrad*besitzern liegt mit 68% deutlich höher als im Vorarlberg-Durchschnitt (46%;S.21)
- ▶ Die mit dem *Landrad*-Pedelec zurückgelegten Wege waren durchschnittlich 7 km lang (S.22).
- ▶ 21% aller *Landrad*-Besitzer haben ihr Verhalten dauerhaft geändert und häufig statt dem Pkw das *Landrad* benutzt, es waren dies vor allem Personen, die stark vom Auto abhängig und gleichzeitig mit dem Angebot des öffentlichen Verkehrs relativ unzufrieden sind (S.24).
- ▶ Fahrten wurden von zwei Verkehrsmitteln auf das *Landrad* verlagert: In etwa die Hälfte der *Landrad*-Fahrten wurden vom konventionellen Fahrrad abgezogen, ca. 35% vom Pkw (S.23).

- ▶ Die Testpersonen würden noch mehr *Landrad* fahren, wenn (S.21)
  - es mehr Radinfrastruktur gäbe (von 58% der Befragten angegeben)
  - die Infrastruktur in besserem Zustand wäre (Winterdienst, Glasscherben,... ; 47%)
  - die Mitnahme des Rades im öV einfacher wäre (61%)

Die Ergebnisse aus dem Landrad-Projekt können durchwegs positiv bewertet werden, vor allem das große Verlagerungspotential von Pkw zu Pedelec bestätigt die Hypothese, dass es durch den vermehrten Einsatz von Pedelecs sehr wohl zu einem Anstieg des Umweltverbundanteils kommen kann und nicht nur Personen, die bisher zu Fuß gegangen sind, das konventionelle Fahrrad oder den öffentlichen Verkehr benutzt haben, auf dieses neue Verkehrsmittel umsteigen. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Gruppe der Testpersonen keinen repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt abbildet und es daher nicht ohne weiteres zulässig ist, das Verhalten der *Landrad*-Besitzer auf die Gesamtbevölkerung zu übertragen (vgl. Kairos GmbH, 2010, S.22).

Trotz dieser Einschränkung stellen die erhobenen Daten die einzige uns bekannte empirische Untersuchung in Österreich dar, in der über einen längeren Zeitraum (12 Monate) die Nutzung von Pedelecs detailliert untersucht wurde. Die gewonnenen Daten dienen uns daher als Grundlage für die Quantifizierung des Potentials im Rahmen der Evaluierung (AP6).

## 4 Begleitende Maßnahmen und Anpassung der Rahmenbedingungen

Die Anpassung der Rahmenbedingungen eröffnet wichtige Spielräume bei der Entwicklung und Umsetzung von Projekten zur Radverkehrsförderung. Begleitende Maßnahmen im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und Bewusstseinsbildung sind eine wichtige Ergänzung zu „harten“ Infrastrukturmaßnahmen.

### 4.1 Öffentlichkeitsarbeit

Beispiele für Maßnahmen in diesem Bereich enthält etwa der Masterplan Radfahren (BMFLUW, 2011):

- ▶ Zentrale Informationsplattform im Internet mit regelmäßigen Fachinformationen zum Thema Radverkehr
- ▶ Bewusstseinsbildung durch Imagekampagnen und öffentlichkeitswirksame Initiativen (z.B. Wettbewerbe, Veranstaltungen etc.) mit Unterstützung von imageträchtigen Stakeholdern oder Testimonials
- ▶ Einführung von Dachmarken zur Identitätsstiftung
- ▶ Postwurfsendungen und digitale Newsletter zu aktuellen Entwicklungen
- ▶ Radwegekarten

#### Weitere Maßnahmen

Zentrale Radverkehrskoordination in den einzelnen Ebenen der Verwaltung, Wirtschaft und Tourismus zur Förderung des Erfahrungsaustausches und besseren Nutzung von Synergien

Standardisierte Erhebungsmethodik zur Analyse und Bewertung laufender Entwicklungen

Radfahrfreundliche Verkehrsorganisation, wie z.B. Shared Space, flächendeckendes Radfahren gegen die Einbahn, vorgezogene Haltelinien für Radfahrer etc.

Attraktivierung der Fahrradmitnahme in Bahn und Bus

Aufbau von automatischen Radverleihsystemen an zentralen Einrichtungen

Service- und Reparatereinrichtungen

### 4.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Derzeit bestehen einige gesetzliche Regelungen, deren Anpassung einen Anreiz für die vermehrte Nutzung von Fahrrad bzw. Pedelec bringen könnte.

### 4.2.1 Straßenverkehrsordnung (StVO)

Trotz zahlreicher Novellen bestehen nach wie vor einige Regelungen zum Radverkehr, die nicht mehr zeitgemäß sind.

### 4.2.2 Kilometergeld

Das Kilometergeld ist eine pauschale Abgeltung für alle Kosten, die durch die Verwendung des privaten Fahrzeuges für Dienstfahrten anfallen. Für Wege über 2km, die mit dem Fahrrad oder zu Fuß bewältigt werden, können EUR 0,38/km und für jegliche Autofahrten EUR 0,42/km geltend gemacht werden (vgl. help.gv.at, 10.5.2011).

### 4.2.3 Pendlerpauschale

Das Pendlerpauschale ist ein Steuerfreibetrag, der die zu leistende Lohnsteuer des Arbeitnehmers vermindert. Wenn der Arbeitsplatz mindestens 20km von der Wohnung entfernt ist und die Benützung eines öffentlichen Verkehrsmittels möglich und zumutbar ist, kann das kleine Pendlerpauschale geltend gemacht werden. Das große Pendlerpauschale wird schlagend, wenn der Arbeitsplatz mindestens zwei Kilometer von der Wohnung entfernt ist, aber die Benützung eines öffentlichen Verkehrsmittels nicht möglich oder nicht zumutbar ist (vgl. help.gv.at, 10.5.2011). Der Anspruch auf Geltendmachung ist unabhängig vom benutzten Verkehrsmittel.

### 4.2.4 Diensträder

Diensträder werden vom Arbeitgeber zur Verfügung gestellt und können von den Mitarbeitern für dienstliche Wege genutzt werden. Beispiele für Betriebe, die Diensträder zur Verfügung stellen: Uni Graz (25 Stück), Klimabündnis NÖ (22 Stück), MA59 (Wien).

### 4.2.5 Vorschläge für Anpassungen

- ▶ StVO: Anpassung der Radwegbenutzungspflicht (cf. Deutschland), Einführung von Fahrradstraße (cf. Deutschland) sowie Begegnungszone (cf. Schweiz, Luxemburg,...)
- ▶ Kilometergeld: Der Abgeltungsbetrag sollte unabhängig vom benützten Verkehrsmittel sein. Ein erhöhter Kilometersatz bei der Nutzung des Fahrrades aufgrund des positiven Gesundheitseffekts würde einen finanziellen Anreiz für den Radverkehrs schaffen (z.B. EUR 0,50/km, cf. BMFLUW, 2011).
- ▶ Pendlerpauschale: Vereinheitlichung der Regelung mit dem Ziel der Förderung der Kombination Fahrrad/Pedelec und öffentlicher Verkehr (cf. BMFLUW, 2011)

- ▶ Die Privatnutzung von Diensträdern sollte analog dem Jobticket lohnsteuerfrei gestellt werden (cf. BMFLUW, 2011)

### **4.3 Förderungen**

Für Radverkehrsmaßnahmen gibt es eine Fülle von Förderungen. Der Bund, einige Bundesländer sowie einige Städte und Gemeinden fördern z.B. die Anschaffung von Pedelecs. Viele der Förderangebote sind zeitlich befristet. Eine Übersicht der Pedelec-Förderung in Österreich 2011 bietet etwa <http://www.klimaaktiv.at/article/articleview/75070/1/24637/> (Zugriff 13.5.2011).

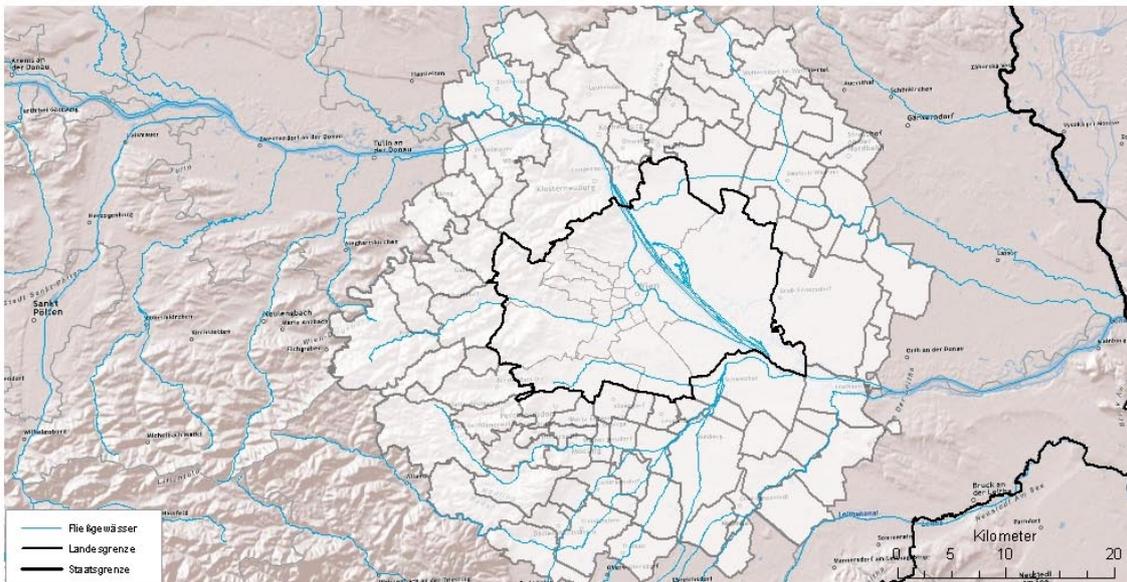
## 5 Fallstudie

Das entwickelte Konzept soll als Fallbeispiel anhand einer ausgewählten österreichischen Agglomeration verdeutlicht werden. Eine hochrangige Radroute wird nach Qualitätskriterien, wie in AP1 beschrieben, geplant. Weiters wird das betrachtete Gebiet auf bestehendes und zukünftiges Potential sowie bestehende Infrastruktur analysiert.

### 5.1 Analyse

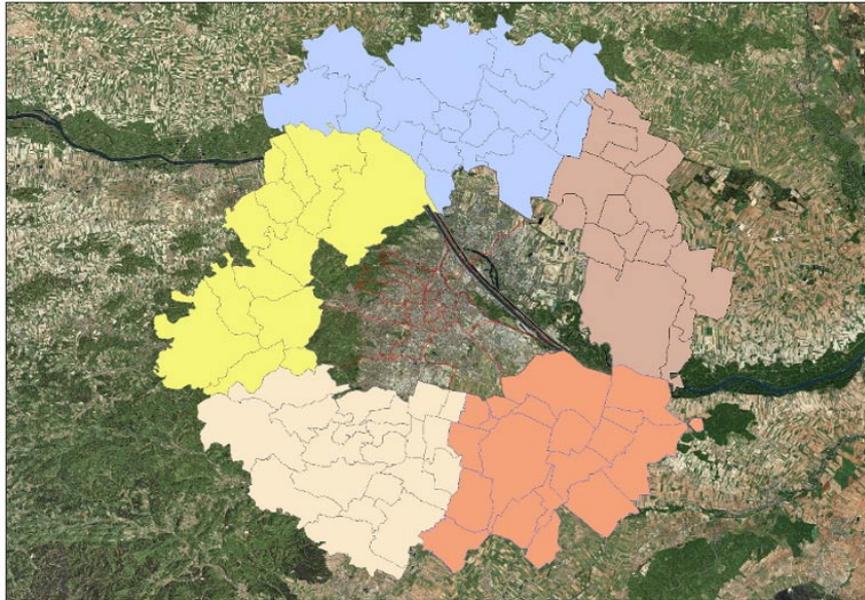
Als Analysegebiet wurde das Umland um Wien festgelegt. Alle Gemeinden innerhalb eines 25 km Radius (entspricht der Reichweite eines Pedelecs, vgl. AP1) um das Wiener Zentrum werden näher betrachtet. Auswahlkriterien sind:

- ▶ Einwohner, Arbeitsplätze, Erwerbstätige: Grobanalyse über das vorhandene Potential
- ▶ Entwicklungsgebiete in Wien, Zielgebiete der Wiener Stadtentwicklung: Grobanalyse über die zukünftige Entwicklung und die zukünftigen Potentiale
- ▶ bestehende Radrouten: entlang der Donau, Donauinsel, Thermenradweg, Wienfluss und Liesing: Analyse der IST-Situation im Radverkehrsinfrastruktur
- ▶ Pendlerstatistik, Verkehrsmodell Österreich: Daten für die Potentialberechnung im Detail



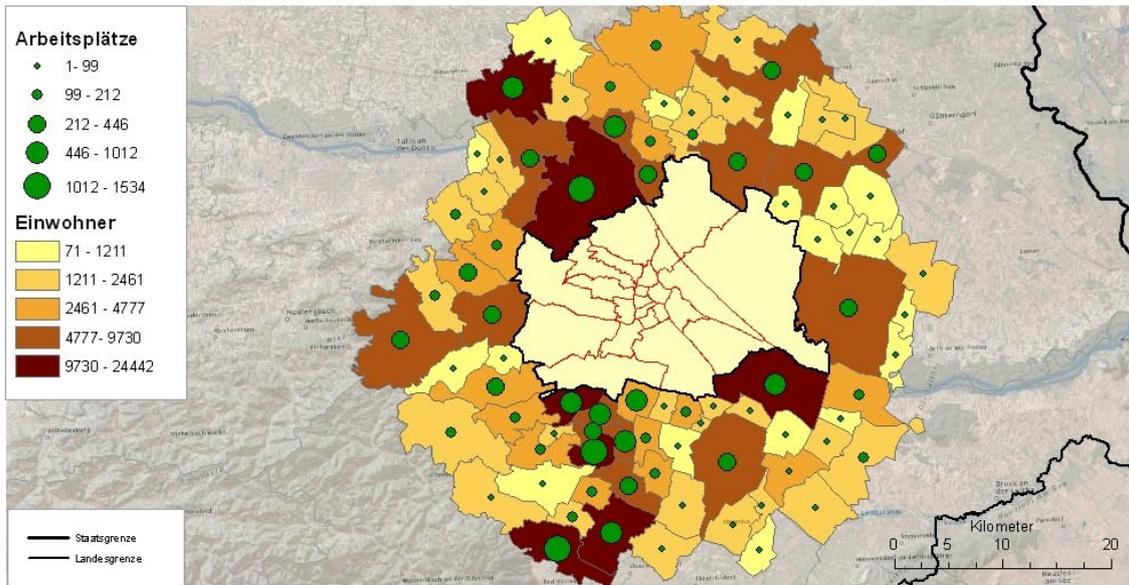
**Abb. 21: Betrachtetes Gebiet**

Die Umland-Gemeinden wurden in 5 Zonen eingeteilt, im Uhrzeigersinn: Nord, Ost, Süd-Ost, Süd-West, West.

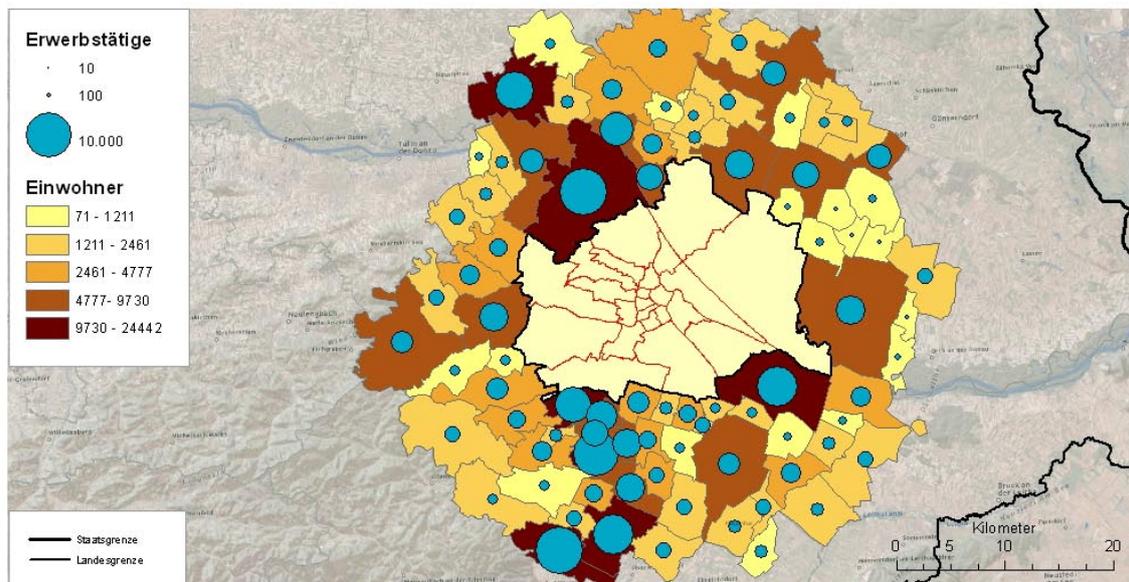


**Abb. 22: Einteilung Wien – Umland in 5 Zonen: Nord, Ost, Süd-Ost, Süd-West, West**

In dieser Einteilung wurde die Ist-Situation analysiert: Einwohner, Arbeitsplätze, Erwerbstätige, Pendler.



**Abb. 23: Analyse der Situation: Einwohner - Arbeitsplätze**



**Abb. 24: Analyse der Situation: Einwohner - Erwerbstätige**

Darüber hinaus wurden auch Entwicklungsgebiete in Wien, Zielgebiete der Wiener Stadtentwicklung und bestehende Radrouten (Radwege entlang der Donau, inklusive der Donauinsel, Thermenradweg, Wienfluss und Liesing) in Betracht gezogen.

Hauptbestandteil der Analyse war die Pendlerstatistik aus dem Jahr 2001 für Wien und Umland, zum Vergleich auch die Städte Salzburg und Graz jeweils mit Umland.

**Tab. 5: Zusammenfassung Pendlerstatistik Wien [Arbeitswege/Tag]**

Pendlerstatistik Wien [Arbeitswege/Tag]	Radfahrer	Gesamt	Anteil RF
von Wiener Umland Nord nach Wien	82	16.800	0,5%
von Wiener Umland Ost nach Wien	21	7.889	0,3%
von Wiener Umland SO nach Wien	53	11.236	0,5%
von Wiener Umland SW nach Wien	114	25.667	0,4%
von Wiener Umland West nach Wien	70	16.068	0,4%

von Wien nach Wiener Umland Nord	26	5.746	0,5%
von Wien nach Wiener Umland Ost	11	1.481	0,7%
von Wien nach Wiener Umland SO	65	11752	0,6%
von Wien nach Wiener Umland SW	77	17035	0,5%
von Wien nach Wiener Umland West	8	3732	0,2%
von Wien nach Wien	10.500	585.234	1,8%

**Tab. 6: Zusammenfassung Pendlerstatistik Graz [Arbeitswege/Tag]**

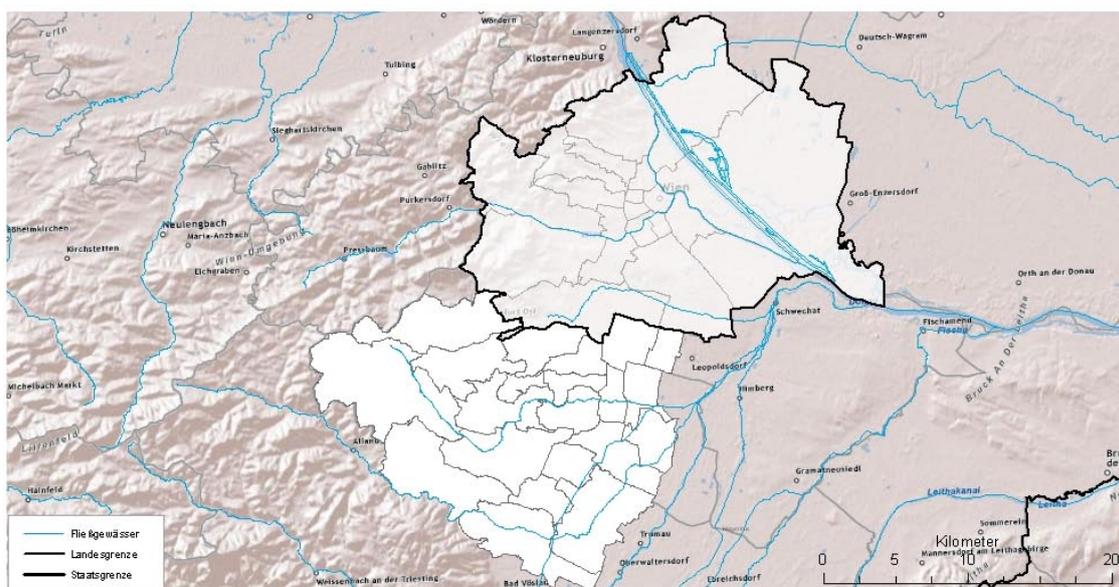
Pendlerstatistik Graz [Arbeitswege/Tag]	Radfahrer	Gesamt	Anteil RF
von Graz-Umland nach Graz	294	41.736	1%
von Graz nach Graz-Umland	155	86.071	0%
von Graz nach Graz	8.660	78.059	11%

**Tab. 7: : Zusammenfassung Pendlerstatistik Salzburg [Arbeitswege/Tag]**

Pendlerstatistik Salzburg [Arbeitswege/Tag]	Radfahrer	Gesamt	Anteil RF
von Salzburg-Umland nach Salzburg	675	27.220	2%
von Salzburg nach Salzburg-Umland	432	10.201	4%
von Salzburg nach Salzburg	7.327	49.334	15%

## 5.2 Radroute

Die Analyse der angeführten Parameter kommt zu dem Schluss, dass das meiste Potential im Südwestlichen Umland von Wien zu finden ist. Daher wird der weitere Fokus der Fallstudie darauf gelegt.



**Abb. 25: Betrachtetes Gebiet für die Festlegung der hochrangigen Radroute**

Das meiste Potential findet sich in folgenden Pendlerbeziehungen [Bezirke], Top 6 aus Umland- Umland und Umland – Wien ergibt die zusammengeführten Top 9:

**Tab. 8: Pendlerbeziehungen mit dem höchsten Potential (Top 9)**

<b>Umland - Umland</b>	<b>von</b>	<b>nach</b>
	Baden	Baden
	Mödling	Mödling
	Traiskirchen	Traiskirchen
	Wiener Neudorf	Wiener Neudorf
	Guntramsdorf	Maria Enzersdorf
	Brunn am Geb	Vösendorf
<b>Umland - Wien</b>	<b>von</b>	<b>nach</b>
	Perchtoldsdorf	Wien 23
	Mödling	Wien 1
	Vösendorf	Wien 3
	Traiskirchen	Wien 13
	Brunn	Wien 12
	Baden	Wien 10
<b>Zusammengefasst</b>	<b>Umland</b>	<b>Wien</b>
	Baden	Wien 23
	Mödling	Wien 1
	Traiskirchen	Wien 3
	Wiener Neudorf	Wien 13
	Guntramsdorf	Wien 12
	Brunn am Geb	Wien 10
	Maria Enzersdorf	Wien 9
	Vösendorf	Wien 4
	Perchtoldsdorf	Wien 5

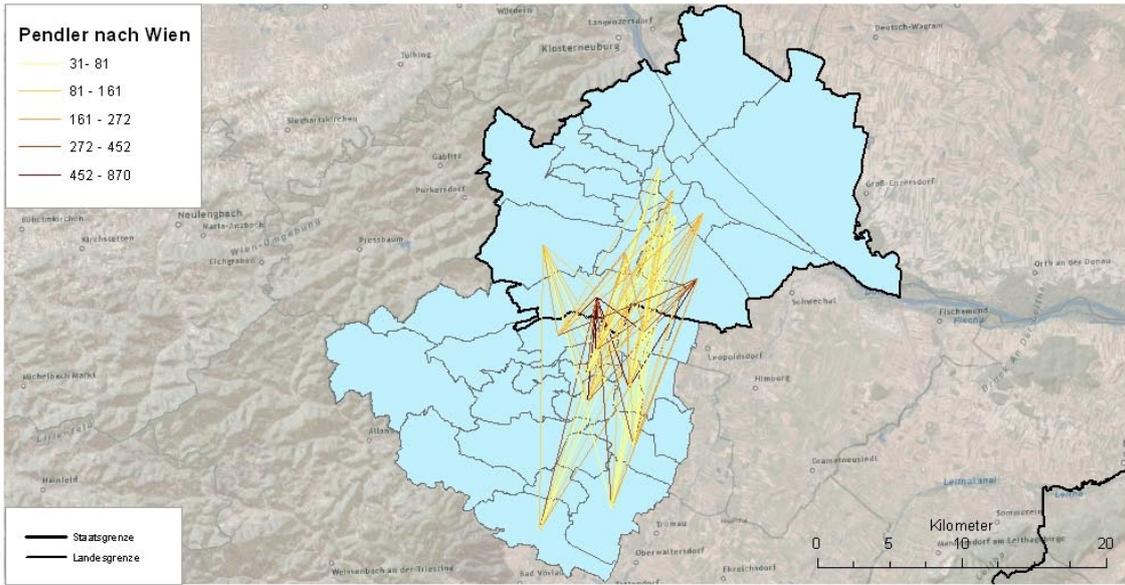


Abb. 26: Analyse Pendler aus Umland SW nach Wien

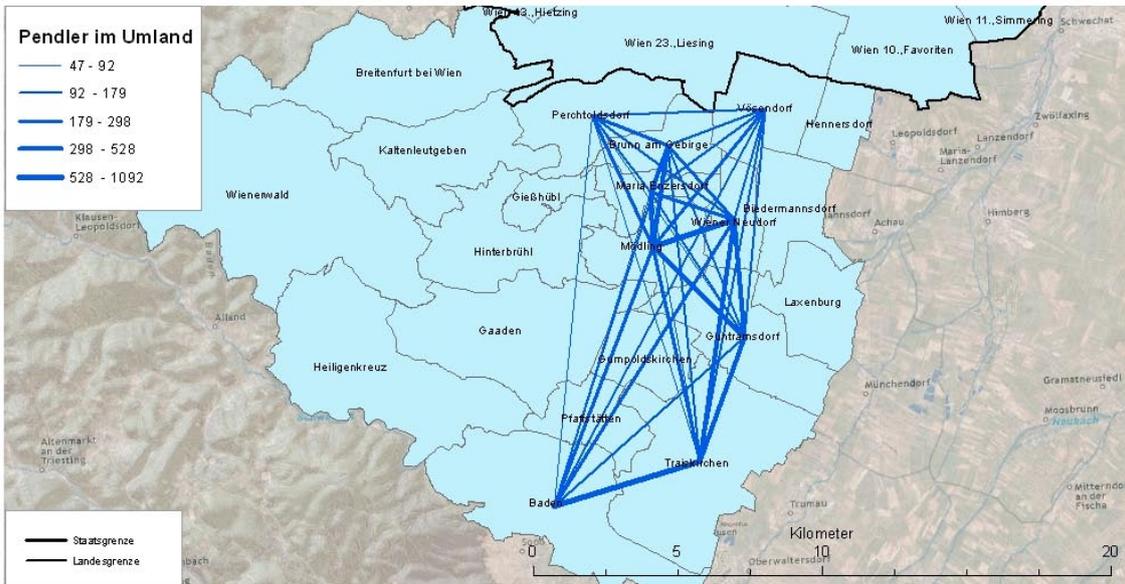
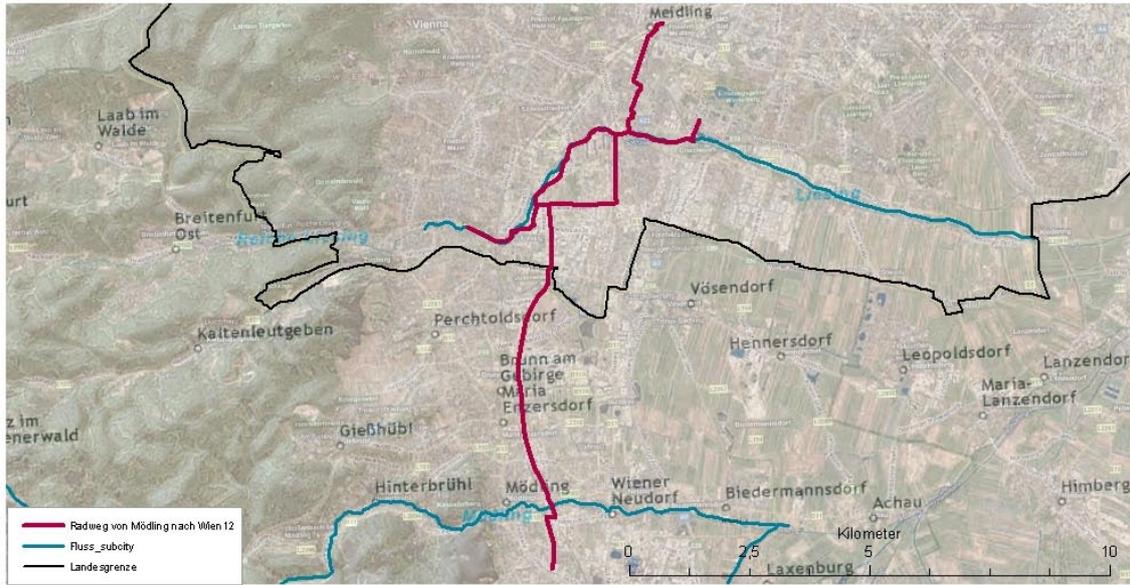


Abb. 27: Analyse der Pendler im Wiener Umland SW

Dies war für das Projektteam ausschlaggebend, die geplante Radroute nahe den meistfrequentierten Pendlerbeziehungen zwischen Mödling und Wien 23 bzw. Wien 10 zu planen.



**Abb. 28: Verlauf der hochrangigen Radroute im Südwesten Wiens**

Die folgende Tab. listet die einzelnen Abschnitte der vorgeschlagenen hochrangigen Radroute im Südwesten Wiens auf.

**Tab. 9: Abschnitte der hochrangigen Radroute im Südwesten Wiens**

Route	Abschnitt/Straßenzug	Abschnitts-länge [m]	Radverkehrs-Infrastruktur	Gemeinde
<b>Breitenfurt - Wien 10</b>				
	Start Herbert-Mayr-Park			
	Liesingbachradweg	739	Fuß- und Radweg (F+RW)	Wien
	Liesing S-Bahn, Bus	50	Mischfläche am Busbhf., Unterführung, Fuß- & Radweg	Wien
	Fröhlichgasse	473	Radfahrstreifen (RFS)	Wien
	R. Waisenhorng.	106	RFS	Wien
	Seybelgasse	858	RFS	Wien
	Carlbergergasse bis Anschluss Brunnerstraße	241	RFS	Wien
	Meisgeyergasse	567	RFS	Wien
	Josef-Österreicher-Gasse	734	RFS	Wien
	Riegermühle	480	RFS	Wien
	Liesingbachradweg bis Anschluss Liesingbachradweg	974	F+RW	Wien
<b>Mödling - Wien 23</b>				
	Start Mödling Höhe HTL			
	Weisses Kreuz-Gasse	1123	RFS	Mödling
	Friedrich-Schiller-Straße	183	RFS	Mödling
	Thomas-Tamussino-Straße, Bahnhofplatz	469	RFS	Mödling
	Doktor-Otto-Scheff-Weg	641	RFS	Mödling
	Neugasse	663	RFS	Mödling

Hans-Weigel-Gasse	441	RFS	Maria Enzersdorf
entlang Bahn bis Bahnhof Brunn-Maria Enzersdorf	476	RFS	Maria Enzersdorf
entlang Bahn	578		Maria Enzersdorf
B12 Feldstraße	1361		Brunn/G.
T-Kreuzung Brunnerfeldstraße - Brunner Straße - Feldstraße			Brunn/G.
Brunner Straße	1085		Brunn/G.
Krztg. Brunnerstraße / Ketzergasse			Brunn/G.
Brunner Straße	1307		Wien
Carlberggasse	1444		Wien
U6 Station Erlaer Straße	48	Grüne Welle mit Lichtschranken oder Brücke auf U-Bahnniveau	Wien
Entlang U6 (Erilaweg, Erlaer Schleife)	1058	Radweg	Wien
Wohnparkstraße	370		Wien
Liesingbachradweg	335	F+RW	Wien
Tuschlgasse	271		Wien
Danilovatzgasse	65		Wien
Querung über Wilhelm-Erben-G., Brücke über Südosttangente	304		Wien
An den Eisteichen, vorbei an der U6 Station Am Schöpfwerk	619		Wien
Hoffingergasse	208		Wien
Oswaldgasse (Unterführung unter Donauländebahn)	969		Wien
Breitenfurter Straße	432		Wien
Ziel Meidling U-, S- Bahn			Wien
Mödling - Wien 10			
Liesingbachradweg	1804	F+RW	Wien
Triester Straße	626	RFS	
Ziel Triester/Computerstraße			

### 5.3 Räumliche Netzwerkanalyse für den Reichweitenvergleich Fahrrad - Pedelec

Mit dem in AP2 vorgestellten Unterstützungsfaktor (Wie viel Leistung liefert der E-Motor im Vergleich zur Leistung der fahrenden Person?) kann bereits grob abgeschätzt werden, wie viel größer die Reichweite eines Pedelecs - bei gleichem Einsatz von Körperenergie - im Vergleich zum konventionellen Fahrrad ist.

Im Rahmen der Fallstudie sollte dieser Ansatz verfeinert und GIS-unterstützt auf ein konkretes Straßennetz umgelegt werden.

Für die Analyse wird ein gerichteter Einfachgraph verwendet. Dieser Graph basiert auf einem topologisch aufgebautem Straßendatensatz der Firma NAVTEQ. Aus diesem Straßendatensatz werden lokale und höherrangige Straßen extrahiert (keine Autobahnen), welche die Basis für die weitere Analyse darstellen. Weitere Schritte beim Aufbau des Graphensystems sind:

▶ **Das Übertragen der Höhe der Netzwerkknoten**

Hierfür wurde das frei verfügbare Höhenmodell von Eurostat (basierend auf SRTM 90m Auflösung) mit einer Auflösung vom 100m verwendet. Die Höhen der jeweiligen Knotenpunkte des Netzwerkes wurden ermittelt und in das Netzwerk integriert. Die Differenz von Linienend- und Linienstartpunkt ist die Höhendifferenz in Linienrichtung. Da das Straßennetzwerk aber prinzipiell in beide Richtungen befahrbar ist (Gefälle/Steigung sind Richtungsabhängig), werden für den Höhenunterschied, wie auch alle darauf aufbauenden folgenden Berechnungen zwei Werte – in Linienrichtung und entgegen der Linienrichtung – ermittelt und mitgeführt.

▶ **Berechnung von Steigung**

Basierend auf den ermittelten Höhen der Netzwerkknoten wurde mittels der Länge der angrenzenden Liniensegmente Steigungen berechnet. Wie bereits beim Höhenunterschied erwähnt ist die Steigung Richtungsabhängig weswegen pro Liniensegment 2 Steigungswerte (Start-Ende bzw. Ende-Start) berechnet werden. Bei Steigungen über 12% wird eine Beschränkung eingeführt, da angenommen wird, dass diese Strecken nur in eine Richtung befahren werden können.

▶ **Berechnung der Geschwindigkeit**

Die Berechnung der Geschwindigkeit basiert auf einer Formel, welche von einer Grundgeschwindigkeit von 18 km/h ausgeht und die Steigung berücksichtigt (Parkin, 2010).

- $\text{Geschwindigkeit [m/s]} = (-1.1468 * (\text{Steigung} * 100) + 18) / 3.6$

▶ **Berechnung der Zeit**

Die benötigte Zeit berechnet sich in diesem Fall aus der Linienlänge und der berechneten Geschwindigkeit. Da sowohl Fahrrad als auch Pedelec von der gleichen Grundgeschwindigkeit ausgehen, sind die teilstreckenabhängigen Geschwindigkeiten ident. Zusätzlich wird jeder Strecke eine Pauschale von 5 Sekunden addiert, welche einen Zeitverlust durch Anhalten oder Abbremsen an Netzwerkknoten berücksichtigt.

▶ **Berechnung der Arbeit**

Die Berechnung der geleisteten Arbeit bzw. des notwendigen Körperenergieverbrauchs basiert auf einer individuellen Formel für Fahrrad und Pedelec, welche Steigung, Linienlänge und Geschwindigkeit, Systemgewicht (fahrende Person plus Fahrrad/Pedelec), sowie den Unterstützungsfaktor aus AP2 berücksichtigt (Quelle: Wilson, 2004). Auf die berechneten Werte werden zudem Pauschalen addiert, welche das Abbremsen und Beschleunigen an Ampeln und Kreuzungen als auch die grundsätzlich benötigte Körperspannung beim Radfahren berücksichtigt.

- **Fahrrad**

Arbeit =  $\frac{((90 \cdot 9.81 \cdot \text{Geschwindigkeit} \cdot (0.005 + \text{Steigung}) + 0.25 \cdot \text{Geschwindigkeit}^3) / 0.85) \cdot (\text{Länge} / \text{Geschwindigkeit})}{1000}$

- **Pedelec**

Arbeit =  $\frac{(((100 \cdot 9.81 \cdot \text{Geschwindigkeit} \cdot (0.005 + \text{Steigung}) + 0.25 \cdot \text{Geschwindigkeit}^3) / (0.85 \cdot 2.1)) \cdot \text{Länge} / \text{Geschwindigkeit})}{1000}$

- ▶ Strecken, welche negative Energie ausweisen (Gefälle) werden auf den Wert Null zurückgesetzt.
- ▶ Allgemeine Pauschale pro Liniensegment von 0,7 kcal wird addiert (Bremsen und Beschleunigen nach Kurven, Kreuzungen und Ampeln).
- ▶ Zeitabhängige Pauschale pro Liniensegment von 0,01434 kcal pro Sekunde Fahrtzeit (Balance und Körperspannung) wird ebenfalls addiert.

Das Ziel der aufgelisteten Prozesse ist die Berechnung der Arbeits- und Zeitwiderstände pro Liniensegment des Netzwerkes in jeweils zwei Richtungen. Diese beiden Werte sind die Basis der widerstands-basierten Netzwerkauswertung. Unter Verwendung der Software *ArCInfo* der Firma ESRI und der Erweiterung *Network Analyst* wurden Ausbreitungsberechnungen durchgeführt, bei welchem innerhalb des Netzwerkes eine Widerstandsminimierung - bei mehreren möglichen Routen wird jene gewählt, die den geringsten Widerstand hat, dh. bei der am wenigsten Körperenergie verbraucht wird - vorgenommen wird.

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen den Aktionsradius eines Fahrrades in 100 kcal Schritten bis 500 kcal. Ausgangspunkt der Fahrten ist der Wiener Stephansdom. Diese von uns **Isoenergeten** (dh. Linien gleichen Energieverbrauchs) getauften Umgrenzungslinien zeigen, wie weit man auf dem bestehenden Straßennetz unter Berücksichtigung der Topographie mit einer bestimmten Anzahl Kilokalorien (kcal) kommt. 500 kcal entsprechen in etwa einer 100g Tafel Schokolade oder 2 Krügel Bier.

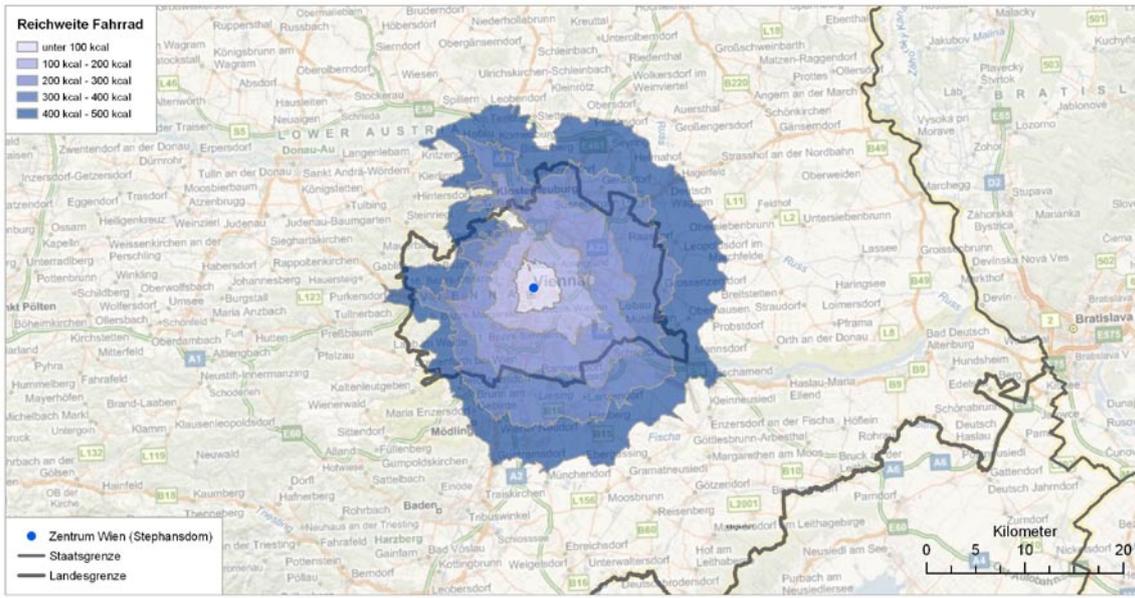


Abb. 29: Isoenergeten (=Energieradius) Fahrrad (kcal)

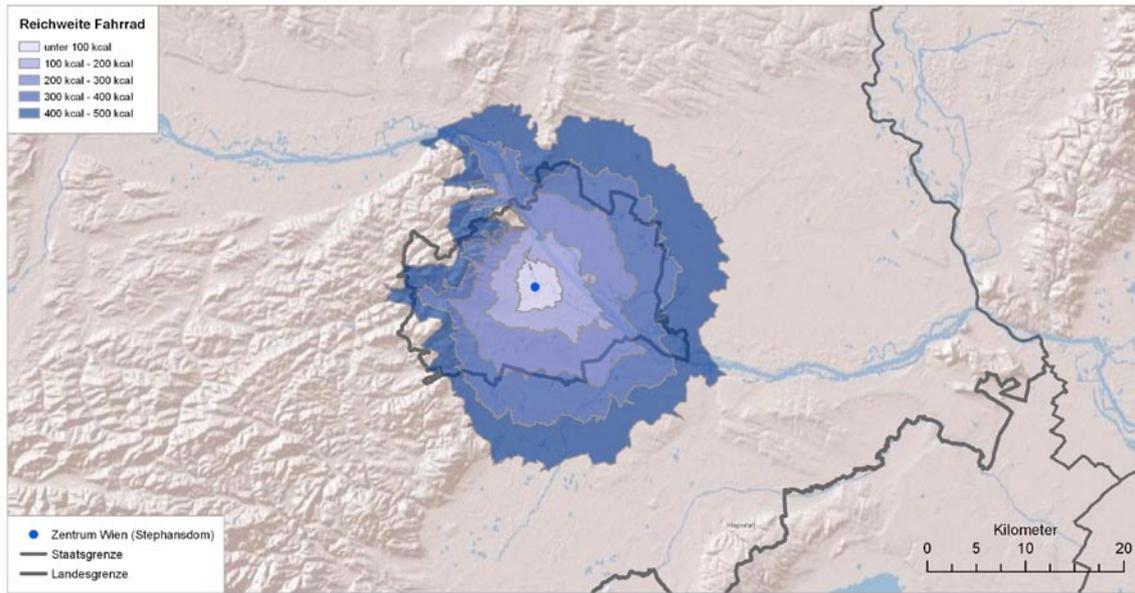


Abb. 30: Isoenergeten (=Energieradius) Fahrrad (kcal) mit Höhenmodell als Hintergrund

In den folgenden zwei Abbildungen werden Isoenergeten für Pedelecs in 100 kcal Schritten bis 500 kcal dargestellt. Ausgangspunkt der Fahrten ist der Wiener Stephansdom. Der Einfluss der Steigung ist dank eingebautem Rückenwind (= Elektromotor) nicht mehr ganz so gravierend wie beim Fahrrad (vgl. oben).

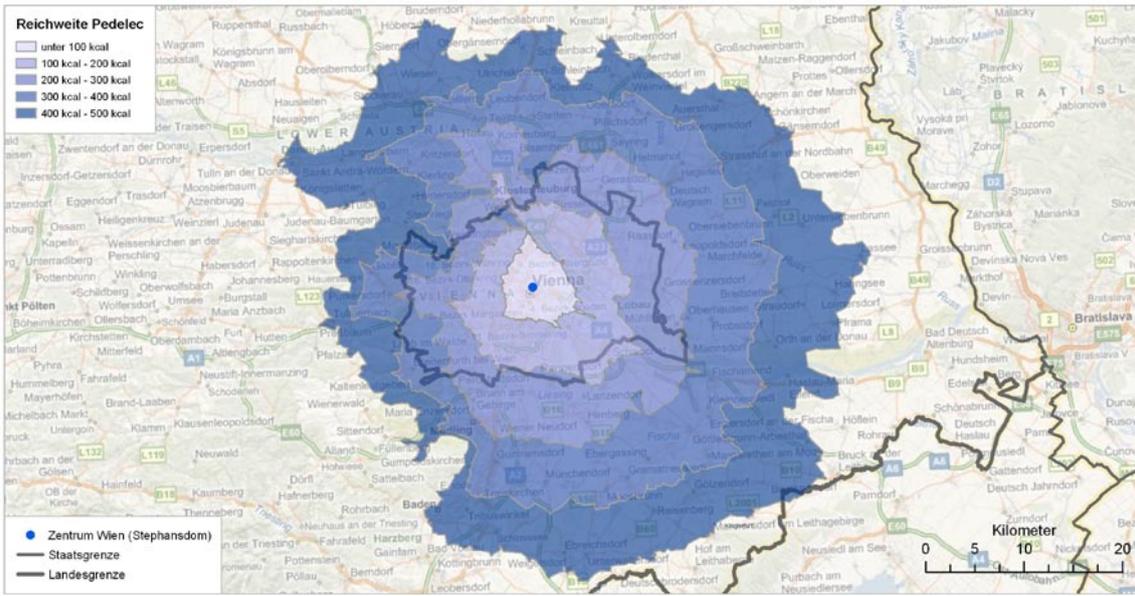


Abb. 31: Isoenergeten (=Energieradius) Pedelec (kcal)

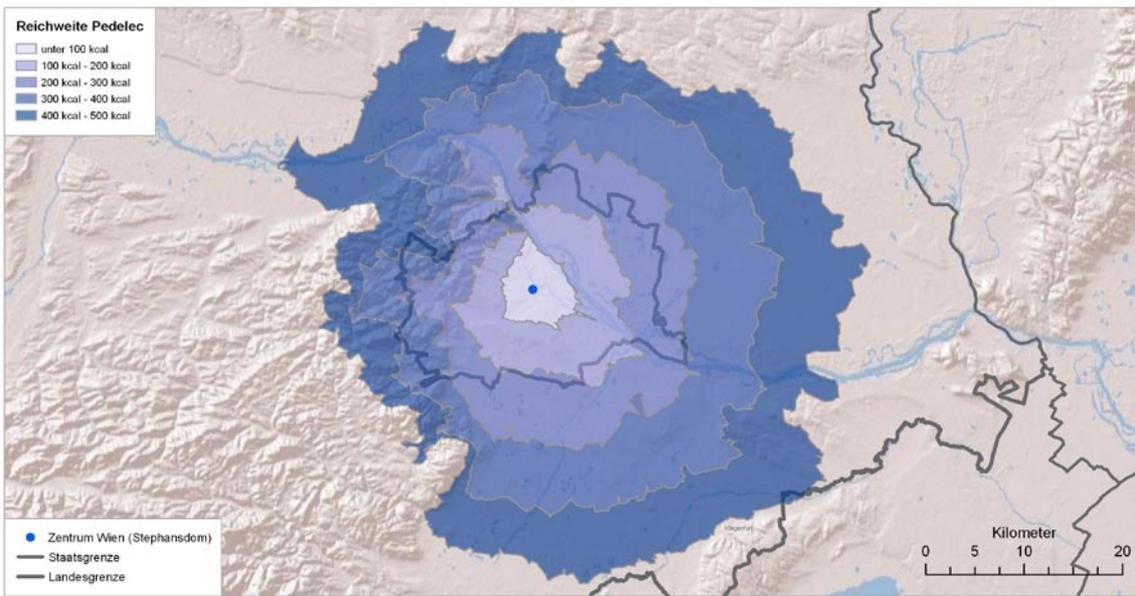


Abb. 32: Isoenergeten (=Energieradius) Pedelec (kcal) mit Höhenmodell als Hintergrund

In den folgenden zwei Abbildungen werden die Reichweiten von Fahrrad und Pedelec bei einem Energieeinsatz von 500 kcal miteinander verglichen. Startpunkt ist jeweils der Wiener Stephansdom. Die Isoenergeten von Fahrrad und Pedelec werden einmal mit einer Österreichkarte und einmal mit einem Höhenmodell im Hintergrund dargestellt.

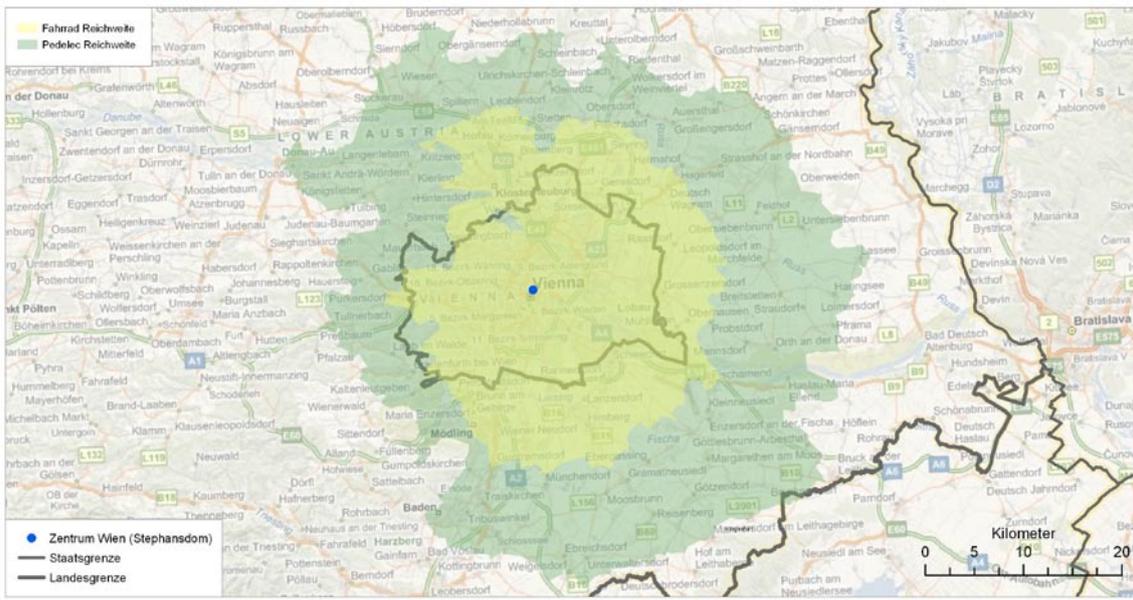


Abb. 33: Reichweitenvergleich Fahrrad – Pedelec bei 500kcal Energieverbrauch

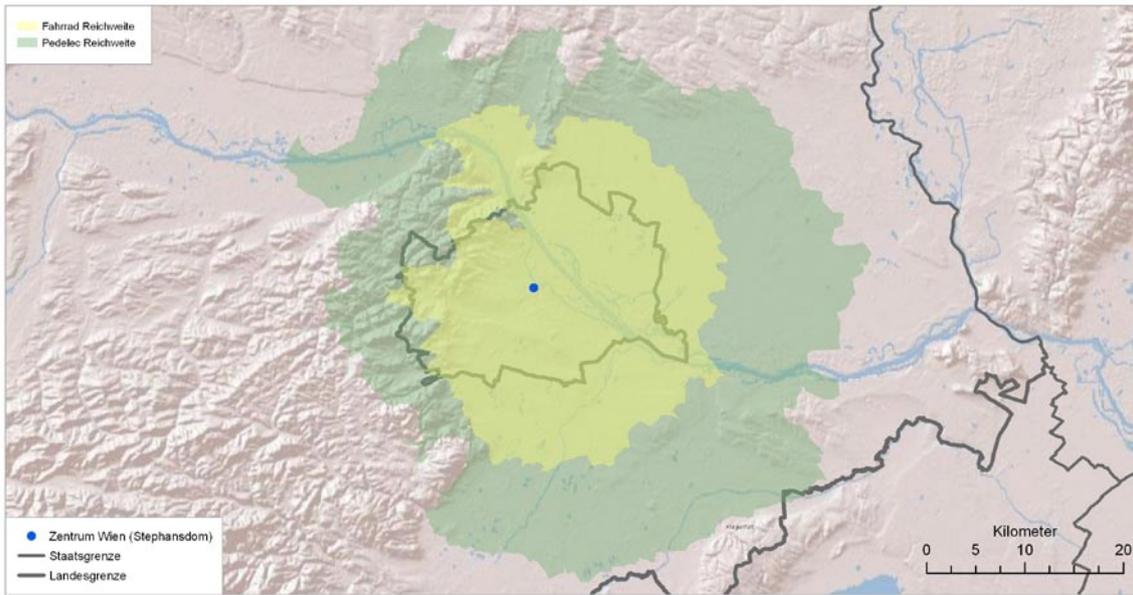


Abb. 34: Reichweitenvergleich Fahrrad – Pedelec bei 500kcal Energieverbrauch mit Höhenmodell als Hintergrund

## 6 Evaluierung und Potentialabschätzung

In diesem Arbeitspaket werden die Umweltauswirkungen für den Umstieg von PKW und Fahrrad auf Pedelecs für CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Partikel quantitativ abgeschätzt. Weiters werden die Gesundheitseffekte mit Hilfe des WHO-Kalkulators für Gesundheitseffekte durch Radfahren bewertet. Beschäftigungseffekte werden anhand von Literatur qualitativ dargestellt. Außerdem wird ein Vergleich Fahrrad – Pedelec mit Hilfe von ESRIs Network Analysten angestellt.

### 6.1 Umweltauswirkungen

Folgende Maßnahmen werden evaluiert:

- ▶ Vermehrter Einsatz von Pedelecs
- ▶ Umstieg von PKW und Fahrrad auf Pedelec

#### 6.1.1 Annahmen

- ▶ 21% Dauerhafte Verlagerung vom PKW zum Pedelec (Quelle: Kairos GmbH, 2010, S.24)
- ▶ Umgesetzt mit 3 Distanzklassen:
  - <5km - 21%,
  - zwischen 5 und 15km - 11,55%
  - >15km - 2,1%
- ▶ 50% Dauerhafte Verlagerung vom Rad zum Pedelec (Quelle: Kairos GmbH, 2010, S.23)
- ▶ Besetzungsgrad PKW: 1,18 (Quelle: Umweltbundesamt, 2011)
- ▶ Akkuleistung Pedelec: 308,22 Wh (Quelle: ExtraEnergy, 2010)
- ▶ Reichweite Pedelec: 29 km (Quelle: ExtraEnergy, 2010)
- ▶ Ladewirkungsgrad Li-Ion: 90% (Quelle: Wikipedia <http://de.wikipedia.org/wiki/Akkumulator>)
- ▶ Durchschnittlicher PKW 2010 lt HBEFA 3.1, 7,5% Beimischung Biokraftstoffe

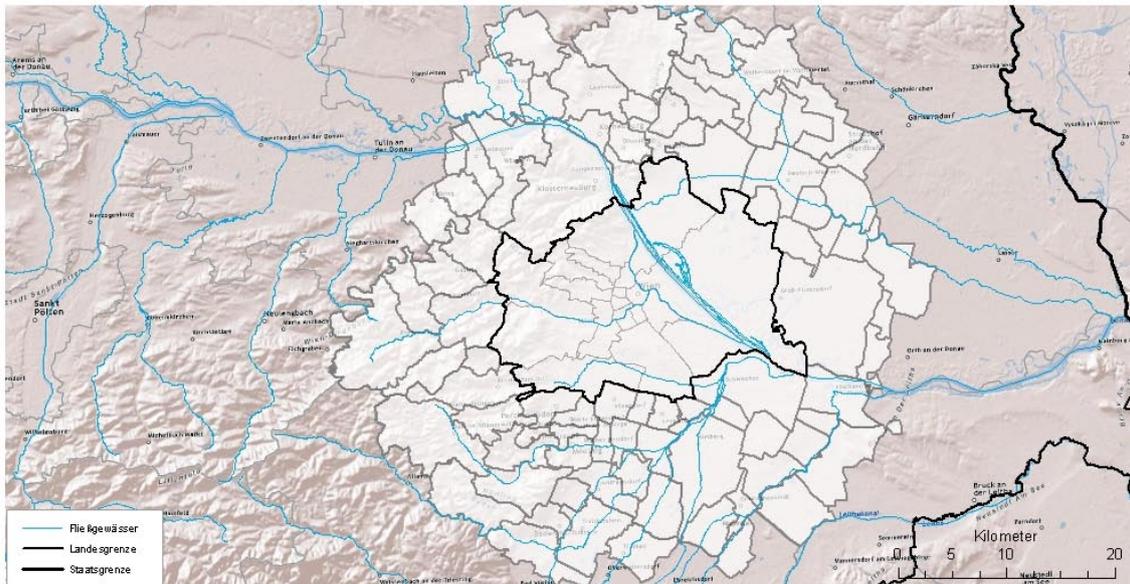
#### 6.1.2 Input-Daten

- ▶ Verkehrsmodell Österreich, PKW und Fahrrad für die betrachteten Bezirke, im Jahr 2005, BMVIT

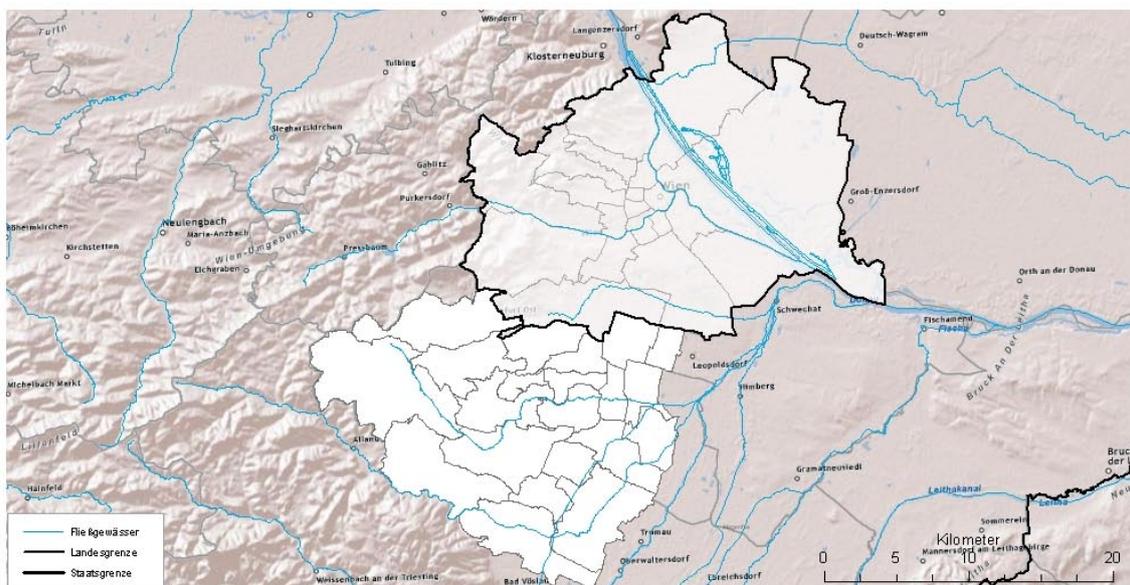
- ▶ Pendlerstatistik 2001 für alle Verkehrsmittel, für die betrachteten Bezirke (Quelle: Statistik Austria 2004)
- ▶ Verwaltungsgrenzen Österreich, Stand: 04/2008,
- ▶ DKM-Parzellenscharf, Punktlayer Gemeinden und Katastralgemeinden (generiert aus DKM Stand 2008), mit Zentroid (CENTROID) und Labelpunkt (INSIDE), (Quelle: GDI-L 2010)
- ▶ HBEFA 3.1: Infrac (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), Version 3.1. Bern/Zürich

### 6.1.3 Szenarien-Definition

- ▶ Szenario I: Alle Zwecke, Input Verkehrsmodell Österreich, Wien und Umgebung ( $\leq 25$ km vom Zentrum Wien)
- ▶ Szenario II: Pendler (Zweck Arbeit), Input Pendlerstatistik 2001, Wien und Umgebung ( $\leq 25$ km vom Zentrum Wien)
- ▶ Szenario III: Pendler (Zweck Arbeit), Input Pendlerstatistik 2001, Wien und Umgebungsteil Süd-West



**Abb. 35: Betrachtetes Gebiet Szenario I und II**



**Abb. 36: Betrachtetes Gebiet Szenario III**

### Berechnung

Aus der Pendlerstatistik wurde die PKW-Pendler und Fahrrad-Pendler entnommen (Quelle - Ziel - Matrix), aus dem Verkehrsmodell Österreich alle PKW und Fahrrad Fahrten pro Werktag.

**Tab. 10: Summe der Wege aus der Pendlerstatistik und**

Summe Wege/Jahr	
MIV II (nur Pendler)	365.086
MIV III (nur Pendler)	286.145
Fahrrad I	207.175
Fahrrad II (nur Pendler)	15.325
Fahrrad III (nur Pendler)	12.419

## Emissionseinsparung durch PKW Verlagerung

Um auf die Anzahl der PKW-Fahrten zu kommen, wurden die PKW-Pendler bei einer Fahrtenanzahl > 5 durch den Besetzungsgrad von 1,18 dividiert (Quelle - Ziel - Matrix), bei Fahrtenanzahl ≤ 5 ist die Anzahl der PKW-Fahrten gleich den Pendlern. PKW-Fahrten I stammen direkt aus dem Verkehrsmodell Österreich.

**Tab. 11: Summe der PKW-Fahrten nach Szenarien**

Summe PKW-Fahrten/Jahr	
PKW-Fahrten I	2.660.729
PKW-Fahrten II	310.302
PKW-Fahrten III	242.496

Als Entfernungen wurden die Distanzen zwischen den Zentroidpunkten der Gemeinden (Quelle - Ziel - Matrix) ausgemessen, was eine grobe Näherung darstellt. Für die Pendeldistanz innerhalb der Gemeinden/Bezirke wurden 3 km angenommen.

**Tab. 12: Summe der zurückgelegten Distanz nach Szenarien**

Summe Distanz in km	
Distanz I	243.289
Distanz II	243.289
Distanz III	24.049

PKWs multipliziert mit der Entfernung in km ergibt die Fahrleistung in FZG-km in eine Richtung. Verdoppelt ist es dann hin und retour. Diese PKW-Fahrleistung ist die Grundlage für die Potentialabschätzung.

**Tab. 13: Summe FZG-km hin und retour nach Szenarien**

Summe FZG-km hin und retour	
FZG-km I	17.225.570
FZG-km II	5.301.190
FZG-km III	3.543.011

Je nach Entfernung der einzelnen Quell-Ziel-Beziehung ergibt sich das Verlagerungspotential mit 21%, 11,55% oder 2,1% davon.

**Tab. 14: Summe des Potentials der Umsteiger von MIV auf Pedelec je Szenario**

Summe Potential MIV --> Pedelec					
Potential PKW I	2.020.886	KFZ-km	-->	2.384.645	Pkm
Potential PKW II	497.689	KFZ-km	-->	587.273	Pkm
Potential PKW III	394.122	KFZ-km	-->	465.063	Pkm

Diese eingesparte Fahrleistung multipliziert mit Emissionsfaktoren (aus dem HBEFA 3.1: Infras (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), Version 3.1. Bern/Zürich) für CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und PM für einen durchschnittlichen PKW 2010 mit 7,5% Beimischung Biokraftstoff ergibt das direkte Emissions-Einsparungspotential.

GEMIS-Österreich 4.6 (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme 4.6, Öko-Institut Freiburg, 2011) liefert entsprechende Emissionsfaktoren für die vorgelagerten Emissionen.

**Tab. 15: direkte und vorgelagerte Emissionsfaktoren in g/km**

Emissionsfaktoren in g/km	CO <sub>2</sub> (rep.) <sup>4</sup>	NOx	PM
direkt	147,15	0,50	0,028
vorgelagert	26,26	0,10	0,009
Gesamt	173,41	0,60	0,037

Multipliziert mit dem Potential MIV → Pedelec ergeben sich folgende direkte und vorgelagerte Emissionen in g:

**Tab. 16: direkte und vorgelagerte Emissionen in g/a**

Direkte Emissionen in g/a	CO <sub>2</sub> (rep.)	NOx	PM
Potential III	57.995.267	197.328	11.043
Potential II	73.235.308	249.182	13.945
Potential I	297.374.727	1.011.813	56.625
Vorgelagerte Emissionen in g/a	CO <sub>2</sub> (rep.)	NOx	PM
Potential III	10.348.895	40.824	3.637
Potential II	13.068.385	51.552	4.592
Potential I	53.064.671	209.330	18.647

Die Summe der direkten und vorgelagerten Emissionen ergeben das gesamte Einsparungspotential durch die Verlagerung von PKW Fahrten auf das Pedelec.

**Tab. 17: gesamtes Einsparungspotential durch die Verlagerung von PKW Fahrten**

Umweltauswirkungen, wenn 21% der Pendler dauerhaft von PKW auf Pedelec umsteigen in t/a.			
PKW gesamt	CO <sub>2</sub> (rep.)	NOx	PM
Potential III	68	0,2	0,01
Potential II	86	0,3	0,02
Gesamtpotential 21% aller Wegzwecke	CO <sub>2</sub> (rep.)	NOx	PM
Potential I	350	1,2	0,08

### Zusätzliche Emissionen durch vermehrte Pedelec-Benutzung

Um nun auch den größeren Energieverbrauch durch vermehrte Pedelec-Benutzung berücksichtigen zu können, müssen auch die vorgelagerten Emissionen aus der Pedelec-Benutzung eingerechnet werden.

Dazu wurden die Fahrradpendler bzw. die Fahrrad Fahrenden aus dem Verkehrsmodell Österreich mit den Distanzen multipliziert, um auf Personen-km zu kommen. Diese werden wiederum verdoppelt um beide Richtungen abzudecken. Diese Personen-km sind die Grundlage für die Potentialabschätzung.

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub>(rep.): Beimengung Biokraftstoffe lt. Richtlinie Erneuerbare (bzw. früher Biokraftstoff RL), wie an die EU berichtet (reported), wurde berücksichtigt.

**Tab. 18: Summe Pkm Fahrrad hin und retour je Szenario**

Summe Pkm Fahrrad hin und retour	
Pkm I Fahrrad	681.530
Pkm II Fahrrad	131.091
Pkm III Fahrrad	104.000

Das Verlagerungspotential wird mit 50% dauerhafter Verlagerung von Fahrrad auf Pedelec angenommen (Quelle: Kairos GmbH, 2010)

**Tab. 19: Summe des Potentials der Umsteiger von Fahrrad**

Summe Potential Fahrrad --> Pedelec in Pkm	
Potential Fahrrad I	340.765
Potential Fahrrad II	65.545
Potential Fahrrad III	52.000

Zusätzlich zu den verlagerten Fahrrad-km werden noch die verlagerten Personen-km vom PKW addiert und daraus der Stromverbrauch berechnet.

**Tab. 20: Summe der Pedelec-km aus den verlagerten Fahrrad-km und Personen-km vom PKW**

Pedelec km	
Pedelec-km gesamt I	2.725.410
Pedelec-km gesamt II	652.819
Pedelec-km gesamt III	517.063

Der Energieverbrauch dieser Pedelec-km wird mit Daten aus dem ExtraEnergy-Pedelec Test (Quelle: ExtraEnergy 2010) abgeschätzt.

**Tab. 21: Stromverbrauch Pedelec je Szenario**

Stromverbrauch Pedelec in kWh	
Verbrauch gesamt I	32.185
Verbrauch gesamt II	7.709
Verbrauch gesamt III	6.106

Mit Emissionsfaktoren aus GEMIS können nun die vorgelagerten Emissionen berechnet werden. Direkte Emissionen fallen beim Radfahren bzw. Pedelec Fahren keine an. Zwei Varianten wurden hier berücksichtigt:

- ▶ Strompark Österreich 2008
- ▶ Ökostrom AG 2008

**Tab. 22: Emissionsfaktoren für Energie in g/kWh**

Emissionsfaktoren Energie in g/kWh:					
		CO <sub>2</sub> (rep.)	NO <sub>x</sub>	PM	
Strompark 2008	Österreich	231	0,344	0,018	g/kWh
Ökostrom AG 2008		10	0,493	0,013	g/kWh

Die Summe aus beiden Verlagerungen ergibt das Gesamtpotential der beiden Maßnahmen in Tonnen pro Jahr:

**Tab. 23: Gesamtpotential der beiden Maßnahmen in Tonnen pro Jahr für CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und PM**

Pedelec: Normaler Strommix Österreich					
		CO <sub>2</sub> (rep.)	NO <sub>x</sub>	PM	
Potential III		67	0,2	0,01	t/a
Potential II		85	0,3	0,02	t/a
Gesamtpotential 21% aller Wegzwecke					
Potential I		343	1,2	0,07	t/a
Pedelec: Ökostrom AG					
		CO <sub>2</sub> (rep.)	NO <sub>x</sub>	PM	
Potential III		68	0,2	0,01	t/a
Potential II		86	0,3	0,02	t/a
Gesamtpotential 21% aller Wegzwecke					
Potential I		350	1,2	0,07	t/a

Wie man sieht, ist die Einsparung durch die Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr hin zum Pedelec – bei einem Verlagerungspotential von 21% unter 5km Entfernung, 12% zwischen 5 und 15km Entfernung und 2% über 15km Entfernung – durchaus beträchtlich. Die 350 Tonnen Einsparung CO<sub>2</sub> im Jahr entsprechen 93.000 Liter Treibstoff oder 12.500 km mit einem durchschnittlichen PKW.

Die 50% dauerhafte Verlagerung vom Fahrrad zum Pedelec verringert das Einsparungspotential bei CO<sub>2</sub> durch den erhöhten Stromverbrauch der Pedelecs unter Berücksichtigung des Österreichischen Strommix um 2% und bei Ökostrom um 0,1%.

## 6.2 Beschäftigungseffekte

In der Kurzstudie Wirtschaftsfaktor Radfahren - Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Radverkehrs in Österreich (BMFLUW, 2009) wurden sechs Module für die Ermittlung der Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzeffekte erfasst:

- ▶ Fahrrad-Produktion: Fahrräder, Fahrradkomponenten und -zubehör
- ▶ Fahrrad-Handel: Großhandel und Einzelhandel

- ▶ Fahrrad-Service: Reparatur und Verleih (Gewerbe)
- ▶ Radtourismus: Radurlaube und Rad-Tagesausflüge, inkl. Events, Transportservice, Karten und Magazine
- ▶ Radsport: Touristische Radsportveranstaltungen und Radrennen
- ▶ Rad-Infrastruktur: Radwegebau, inkl. Marketing und Promotion, Verleihsysteme und Servicestationen

Darüber hinaus erfolgte noch eine Querschnittsbetrachtung des Spezialsegments Elektro-Fahrräder (Produktion und Handel), um die Bedeutung dieses internationalen Trends für Österreich zu erfassen.

Zusammengefasst belaufen sich die direkten Effekte der untersuchten Sektoren auf 601,9 Mio. Euro an Wertschöpfung und 10.865 Vollzeit-Äquivalenten. Auf die Rad-Infrastruktur entfallen 41 Mio. Euro an Wertschöpfung und 700 Vollzeit-Äquivalenten.

Die Input-Output-Analyse ergibt für die Radwirtschaft Österreich direkte und indirekte Wertschöpfungseffekte in der Höhe von 882,5 Mio. Euro und Arbeitsplatzeffekte in der Höhe von 18.328 Vollzeit-Äquivalenten.

Im ÖZV-Artikel 3/4 2008 geht Reinhard Haller genauer auf die Beschäftigungseffekte von Verkehrsinfrastruktur-Investitionen ein.

Eine Investitionsausgabe von 1 Mrd. EUR im Bereich der Verkehrsinfrastruktur hatte im Jahr 2000, basierend auf den Ergebnissen des WIFO (1999), insgesamt einen Beschäftigungseffekt von 10.000 bis 17.000 Personenjahren; auf der Grundlage der Ergebnisse von Baum (1982) lag der Beschäftigungseffekt im Bereich von 10.000 bis 26.000 Personenjahren.

Die geringsten Beschäftigungseffekte werden einheitlich für den Bereich des Fernstraßenbaus ermittelt:

Basierend auf den Ergebnissen des WIFO ergibt sich hier ein Gesamt-Beschäftigungseffekt von 10.200 Personenjahren je Mrd. Euro Investitionsvolumen; die Ergebnisse von Baum zeigen eine Beschäftigung im Ausmaß von 10.400 Personenjahren pro Mrd. Euro im Jahr 2000.

Sehr hohe Beschäftigungseffekte werden hingegen - ebenfalls übereinstimmend von beiden Studien - für den Bereich der Verkehrsberuhigung (inkl. Radwegen) ausgewiesen. Hier ergeben sich gesamte Beschäftigungseffekte von 16.000 (WIFO) bzw. 26.000 Personenjahren pro Mrd. Euro. Nur in der WIFO-Studie liegen die Beschäftigungseffekte für die Bereiche öffentlicher Nahverkehr und Bahninfrastruktur mit 16.400 bis 17.400 Personenjahren je Mrd. Euro noch etwas höher als bei der Verkehrsberuhigung.

basierend auf WIFO (1999)				basierend auf Baum (1982)					
Infrastruktur-Kategorie	Direkt	Indirekt+induziert	Gesamt	Infrastruktur-Kategorie	Direkt	Indirekt	Induziert	Indirekt+induziert	Gesamt
Hochrangiges Straßennetz	5.759	4.430	<b>10.189</b>	Autobahnneubau	3.987	4.669	1.731	6.400	<b>10.387</b>
				Ortsumgehungen	5.980	4.972	2.190	7.163	<b>13.142</b>
				Landstraßen	7.508	4.972	2.496	7.469	<b>14.977</b>
				Brückenbau	11.199	5.147	3.269	8.416	<b>19.615</b>
Niederrangiges Straßennetz	7.679	4.430	<b>12.109</b>	Örtliche Erschließungsstraßen	13.174	4.699	3.575	8.274	<b>21.448</b>
				Innerortsstraßen	17.362	3.383	4.149	7.532	<b>24.894</b>
Verkehrsberuh., Radw.	11.505	4.430	<b>15.935</b>	Verkehrsberuhigte Zone	17.446	4.284	4.346	8.630	<b>26.076</b>
ÖPNV, U-Bahnbau	11.735	4.706	<b>16.441</b>	ÖPNV	11.752	4.753	3.301	8.054	<b>19.806</b>
Eisenbahn, Strecken	11.505	4.794	<b>16.299</b>	Eisenbahn	10.691	3.334	2.805	6.139	<b>16.830</b>
Eisenbahn, Bahnhöfe	12.465	4.894	<b>17.359</b>						

**Abb. 37: Beschäftigungseffekte verschiedener Arten von Verkehrsinfrastruktur in Beschäftigten pro Mrd. Euro Investitionsvolumen (Preise 2000), Quelle ÖZV 3/4 2008**

Die Beschäftigungseffekte, die sich durch die su:b:city Szenarien ergeben, können nicht genau beziffert werden, da die zu recherchierenden und modellierenden Inputdaten für eine volkswirtschaftliche Betrachtung den Rahmen dieses Projekts sprengen würden. Es kann aber betont werden, dass durch die behandelten Szenarien in su:b:city die Bereiche Produktion, Handel, Fahrrad-Service und Rad-Infrastruktur einen Zuwachs erfahren werden.

### 6.3 Gesundheitseffekte

Die Gesundheitseffekte werden mit Hilfe des WHO-Kalkulators für Gesundheitseffekte durch Radfahren bewertet.

Der Kalkulator basiert auf Daten zum sogenannten "Relativen Risiko" (relative risk) der Copenhagen Center for Prospective Population Studien. Das Ergebnis dieser Langzeitstudie ist, dass das Risiko für eine Todesursache im Alter von 20-60 Jahren bei RadfahrerInnen um 28% geringer ist als bei Nicht-RadfahrerInnen.

Die Studie berücksichtigt sowohl die üblichen sozioökonomischen Variablen (Alter, Geschlecht, Raucher, etc.) als auch die sportliche Bewegung in der Freizeit. Somit wurde der mögliche Ersatz von sportlicher Bewegung in der Freizeit durch Alltagsradfahren berücksichtigt.

Nicht explizit berücksichtigt in dieser Berechnung werden Unfallkosten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die absolute Anzahl der Radunfälle steigt, wenn mehr Rad gefahren wird. Untersuchungen

haben jedoch gezeigt, dass bei steigenden Radverkehrszahlen das personenbezogene Unfallrisiko sinkt (safety by numbers). Gleichzeitig ist anzunehmen, dass die Verlagerung von Fahrten vom Pkw zum Fahrrad bzw. Pedelec aufgrund des niedrigeren Geschwindigkeitsniveaus im Radverkehr zu weniger Schwerverletzten und getöteten Personen im Straßenverkehr insgesamt führen wird.

Die vom Anwender eingegebenen Daten werden vom Kalkulator dazu verwendet, den Gesamtwert für eine Reduktion der volkswirtschaftlichen Kosten basierend auf der Reduktion aller Todesursachen unter diesen Radfahrern zu berechnen.

Diese Einschätzung basiert sowohl auf einer reduzierten Sterblichkeit über alle Todesursachen, als auch auf Einsparungen infolge jedes mit dem Rad zurückgelegten Kilometers oder je zurückgelegten Weg.

Für das Szenario I ergeben sich somit 14 gerettete Leben und der durchschnittliche Gesundheitsnutzen beläuft sich auf rund 16 Mio. Euro pro Jahr.

Im Szenario II, wo nur die Pendler berücksichtigt werden, rettet ein Umstieg auf das Pedelec 4 Leben und der durchschnittliche Gesundheitsnutzen beläuft sich auf rund 4 Mio. Euro pro Jahr.

Das Szenario III (betrachtet werden nur Pendler zwischen Wien und den Umlandbezirken im Südwesten) rettet immerhin 3 Leben und der durchschnittliche Gesundheitsnutzen beläuft sich auf rund 3 Mio. Euro pro Jahr.

Im Vergleich dazu liegt der Radverkehrsanteil in Österreich derzeit bei 5% mit einer durchschnittlichen Fahrlänge von 2 km. Laut WHO Rechner rettet Radfahren in Österreich jedes Jahr 412 Leben. Der durchschnittliche Gesundheitsnutzen beläuft sich damit auf 405 Mio. Euro pro Jahr.

Mit dem Ziel von 10% Radverkehrsanteil verdoppelt sich auch der Nutzen, d.h. es entsteht ein durchschnittlicher Gesundheitsnutzen für Österreich von 810 Mio. Euro pro Jahr.

## 7 Referenzen

- ADFC (2001) *Positionsbestimmung zum Thema Lichtsignalanlagen*, München, pp. 7.
- Baum, H. (1982) *Beschäftigungswirkungen von Straßenbauinvestitionen*, Deutsche Straßenliga, Hamburg.
- BMFLUW (2011) *Masterplan Radfahren*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW (2009) *Kurzstudie: Wirtschaftsfaktor Radfahren - Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Radverkehrs in Österreich*, Wien, April 2009
- BMVIT (2010) *Radverkehr in Zahlen*, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- Boesch, H. und Huber, B. (1989) *Der Fußgänger in der Siedlung: Fußweg-Planung unter besonderer Berücksichtigung der Haltestellen-Zugänge*, ETH Zürich, Zürich, pp. 143.
- Dosti, P., Rauch, A., Muth, A., Hummer, C., Rockenschaub, T., Fuchs, E., Matiasek, F., Herry, M., Schuster, M., Steinacher, I., Korab, R., Mather, M., Toschler, G., Wolf Eberl, S., Käfer, A., Fürst, B., Gaug, A. und Greisl, G. (2010) *ISR - Intermodale Schnittstellen im Radverkehr: Endbericht final*, SCHIG, BMVIT, Wien, pp. Endbericht final.
- ExtraEnergy (2010) *Die Testberichte 2009/2010*, ExtraEnergy e.V., Tanna.
- Energieinstitut Vorarlberg, Kairos GmbH (2010) *PEDELECS - Orientierungshilfen für den Kauf von elektrisch unterstützten Fahrrädern*, Dornbirn.
- Falkenberg, G., Blase, A., Bonfranchi, T., Cosse, L., Draeger, W., Vortisch, P., Kautzsch, L., Stampf, H. und Zimmermann, A. (2003) *Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten*, In: *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Unterreihe Verkehrstechnik*; BAST, Bergisch Gladbach, pp. 34.
- FGSV (2010) *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen - ERA 2010*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- Fleischmann, M. (1983) *Dynamischer Breitenbedarf der Radfahrer*, TU Wien, Wien.
- FSV (2001a) *RVS 03.02.13: Nicht motorisierter Verkehr - Radverkehr*, FSV - Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien.
- FSV (2001b) *RVS 03.04.12: Stadtstraßenquerschnitte; Querschnittsgestaltung von Innerortsstraßen*, FSV - Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien.
- GDI-L (2010) *Geodatenkatalog des BMLFUW, Übersicht über Geodatenätze in der GeoDatenInfrastruktur-Lebensministerium GeoDatenSammlung*, August 2010
- GEMIS Österreich (2010) *Globales Emissions-Modell integrierter Systeme 4.6*, Öko-Institut Freiburg, <http://www.umweltbundesamt.at/gemis/>
- Haller R. (2008) *Beschäftigungseffekte von Verkehrsinfrastruktur-Investitionen*, ÖZV 3-4/2008
- Infras (2010): *Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), Version 3.1*. Bern/Zürich
- Kairos GmbH (2010) *Landrad – Neue Mobilität für den Alltagsverkehr in Vorarlberg, Endbericht*, Bregenz, Dezember 2010
- Knoflacher, H. (1995) *Fußgeher- und Fahrradverkehr: Planungsprinzipien*, Böhlau, Wien.
- König, M. (2007) *Bike & Ride in Munich*, In: *Velo-city 2007 - From Vision to Reality*, München.

- Lüdke, E. (2009) *Das Fahrrad als Bestandteil der Reisekette und der Intermodalität*, In: 12. SRL-ÖPNV-Tagung: *Integrierte Nahmobilität*, Dresden.
- Martens, K. (2007) *Promoting bike-and-ride: The Dutch experience*, Transportation Research Part A, **41**, 326–338.
- Merkli, C., Garcia, J. und Wälti, M. (2004) *Leitfaden - Für die Planung und Umsetzung von Velostationen*, Büro für Mobilität AG, Bern.
- Meschik, M. (2008) *Planungshandbuch Radverkehr*, Springer Verlag, Wien.
- Parkin, J. und Rotheram, J. (2010) *Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal.*, Transport Policy, **17**, 335-341.
- Richard, H. (1981) *Handbuch für Radverkehrsanlagen und Radverkehr*, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstad.
- Schnabel, W., Lohse D. (1997) *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, Band 2 Verkehrsplanung, 2. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Schopf, J. M. (1985) *Bewegungsabläufe, Dimensionierung und Qualitätsstandards für Fußgänger, Radfahrer und Kraftfahrzeuge*, TU Wien, Wien.
- Sigrist, D., Zahnd, T., Rothenbühler, M. und Diem, I. (2008) *Veloparkierung - Empfehlungen zu Planung, Realisierung und Betrieb - Handbuch*, Bundesamt für Strassen, Bern.
- Statistik Austria (2004) *Volkszählung – Berufspendler*, Wien
- Teufel, D., Bauer, P., Lippold, R. und Toczek, N. (2000) *Entwicklung und Potentiale des Fahrrad-Verkehrs*, Umwelt- und Prognose- Institut e.V., Heidelberg, pp. 30.
- Umweltbundesamt (2011) *Austria´s Annual Greenhouse Gas Inventory 1990-2009, Submission under Decision 280/2004/EC*, Wien, 2011
- Vogel, F. (2009) *Everynear - Electricity very near*, Baden.
- Whitelegg, J. *Transport for a Sustainable Future - The Case for Europe*, John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex.
- WIFO Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (1999) *Beschäftigungseffekte umweltrelevanter Verkehrsinvestitionen*, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- Wikipedia (2009a) *Elektrorad*, Vol. 2009 Wikimedia Foundation.
- Wikipedia (2009b) *Motorized Bicycle*, Vol. 2009 Wikimedia Foundation.
- Wikipedia (2009c) *Pedelec*, Vol. 2009 Wikimedia Foundation.
- Wirth, W. (1998) *Radwege planen und bauen mit Asphalt*, Deutscher asphaltverband e.V., Bonn, pp. 56.