

# Anforderungen an ein individuelles Verkehrsinformationssystem zur Optimierung der Verkehrsmittel- und Routenwahl von Pendlern

*Oliver Roider*

(Dipl. Ing. Oliver Roider, Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Peter-Jordan-Str. 82, 1190 Wien, oliver.roider@boku.ac.at)

## 1 ABSTRACT

Dezentrale Siedlungsentwicklungen und steigendes Mobilitätsbedürfnis führen vor allem in Spitzenzeiten oft zu Kapazitätsengpässen im Verkehrssystem von Städten. Der Einsatz neuer Technologien wie satellitengestützte Lokalisierung sowie intermodale und interoperable Verkehrszustandserfassung ermöglicht die Entwicklung eines individuellen Verkehrsinformationssystems, welches das Mobilitätsverhalten von Personen optimiert und dadurch die Effizienz des bestehenden Gesamtverkehrssystems in Städten und deren Umland ohne kostenintensive Investitionen in die Infrastruktur steigert.

Im Zuge des von der FFG im Auftrag des BMVIT geförderten Projekts PROVET wurden die Voraussetzungen für ein individuelles Verkehrsinformationssystem geschaffen, welches anhand historischer und aktueller Bewegungs- bzw. Positionsdaten einer Person das Verkehrsmittel sowie das wahrscheinlich angestrebte Ziel eines Weges, auf dem sich die Person gerade befindet oder eines Weges, der unmittelbar bevorsteht, automatisch erkennt und mit entsprechenden Verkehrszustandsdaten vergleicht. So werden Störungsinformationen für diesen Weg (Staus, Verspätungen) in Echtzeit überwacht und im Störfall individuelle Verkehrsinformation über mögliche Alternativen (modi-übergreifend) bereitgestellt.

Neben der technischen Machbarkeitsuntersuchung wurde im Projekt ein Anforderungsprofil an das individuelle Verkehrsinformationssystem aus Sicht der potentiellen Nutzer erstellt. Die Ergebnisse einer Befragung von Pendlern im Raum Wien zeigen, dass diese Gruppe der Verkehrsteilnehmer grundsätzlich diesem Informationssystem vertrauen würden, allerdings ist ein hohes Maß an individuell bestimmbarer Handhabung gefordert. Um aus der Vielzahl möglicher Alternativen nur jene anzubieten, welche dem Verkehrsteilnehmer den größten Nutzen bringt, wurde im Projekt ein Wahlverhaltensmodell kalibriert, bei dem Einflussgrößen, wie Fahrzeitgewinn, Kosten, Grundnutzen der Pkw-Benützung etc., berücksichtigt wurden.

## 2 RAHMENBEDINGUNGEN

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich das Aussehen der urbanen Räume wesentlich verändert. Ökonomische Prosperität sowie der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur führten von einer kompakten Stadtarchitektur hin zu einer verstärkt dezentralen Siedlungsentwicklung. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Wohnbevölkerung in Österreich von 1991 bis 2006. Deutlich ist der massive Anstieg der Wohnbevölkerung im Umland der großen Ballungsräume wie Wien, Graz oder Linz zu erkennen. Beispielsweise ist im Raum süd- und südöstlich von Wien ein Bevölkerungswachstum von über 25 % feststellbar. Andererseits weisen von den Ballungsräumen weiter entfernte Gebiete, wie das Waldviertel oder die Obersteiermark, einen Rückgang an Wohnbevölkerung auf. Gründe hierfür liegen vor allem im schlechten Arbeitsplatzangebot bzw. der schlechten Erschließungsqualität zur Erreichung eines adäquaten Arbeitsplatzes.

Das verstärkte Wachstum der Kernstadt in das einstmalig ländliche Umland und der damit verbundene Flächenverbrauch führen zu einer zunehmend funktionalen Verflechtung in Form von Güter-, Kaufkraft- und Pendlerströmen [Loibl 2002] (Abbildung 2). Gemeinden im Umland von Wien oder Linz beispielsweise weisen oft einen Anteil von mehr als 50 % an Tagesausendlern auf, die meisten davon in die Kernstadt. In Summe pendeln mehr als 200.000 Personen nach Wien [Statistik Austria 2007].

Auf Grund der dispersen Siedlungsentwicklung hat sich der Anteil der Autofahrten an den täglichen Wegen zur Arbeit nahezu verdoppelt. Im Jahr 2001 betrug der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) bei Wegen zur Arbeit in Österreich rund 61 %, wobei die durchschnittliche Länge von 11 km (1991) auf 20 km (2001) gestiegen ist [Herry 2007].

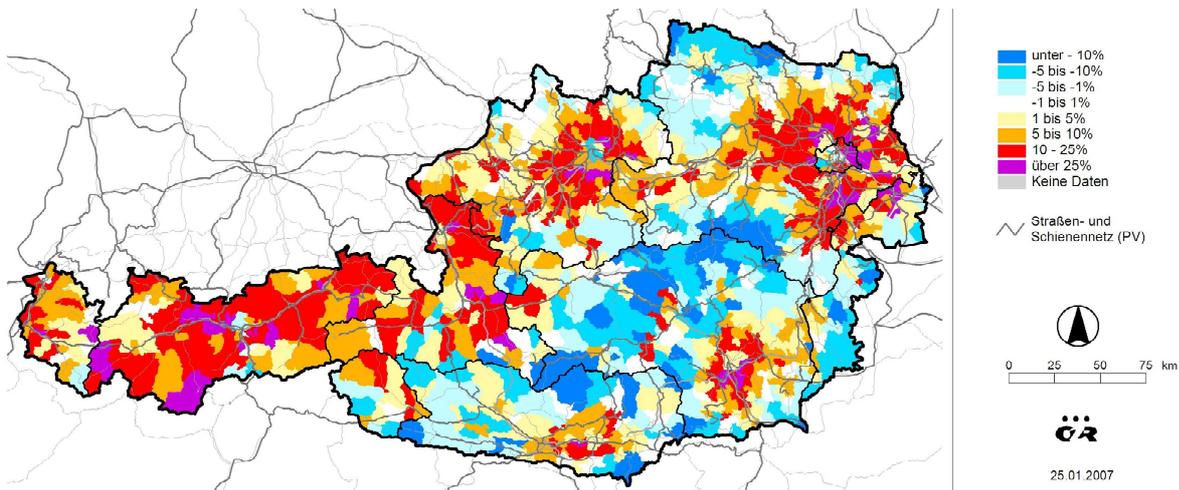


Abbildung 1: Entwicklung der Wohnbevölkerung 1991 bis 2006 in Österreich (Quelle: ÖIR 2010)

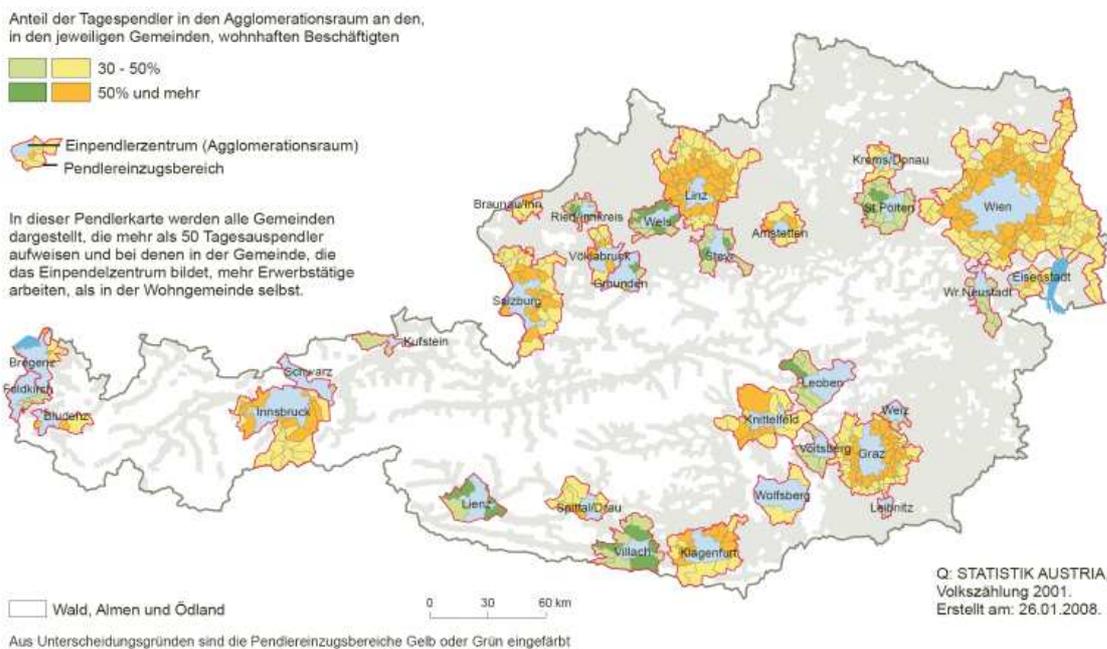


Abbildung 2: Pendlereinzugsbereich der Agglomerationsräume in Österreich 2001 (Quelle: Statistik Austria 2008)

### 3 PROJEKTIDEE

#### 3.1 Outline

Steigendes Verkehrsaufkommen vor allem im Pendlerverkehr hervorgerufen durch die oben beschriebenen Siedlungsentwicklung führen oft zu Kapazitätsengpässen, welche durch den weiteren Ausbau der Verkehrsinfrastruktur nur sehr kostenintensiv kompensiert werden können. Unfälle, Baustellen oder technische Gebrechen erschweren die Situation für Pendler in Spitzenzeiten auf ihrem täglichen Weg in die Arbeit.

Satellitengestützte Lokalisierungssysteme, wie GPS oder zukünftig GALILEO sowie intermodale und interoperable Verkehrstelematiksysteme werden im Projekt PROVET genutzt, um das individuelle Mobilitätsverhalten zu optimieren. Hierbei werden Bewegungsdaten von Einzelpersonen erfasst, um Rückschlüsse auf das benutzte Verkehrsmittel (Mode Detection), die benutzte Route bzw. Linien und das angestrebte Ziel des Weges (Profiling) zu ziehen, und diese Information mit Echtzeitverkehrsdaten zu verknüpfen und dem User individuell und der jeweiligen Verkehrssituation angepasst (Situation Awareness) optimierte Empfehlung für sein Verkehrsverhalten zur Verfügung zu stellen (Abbildung 3).

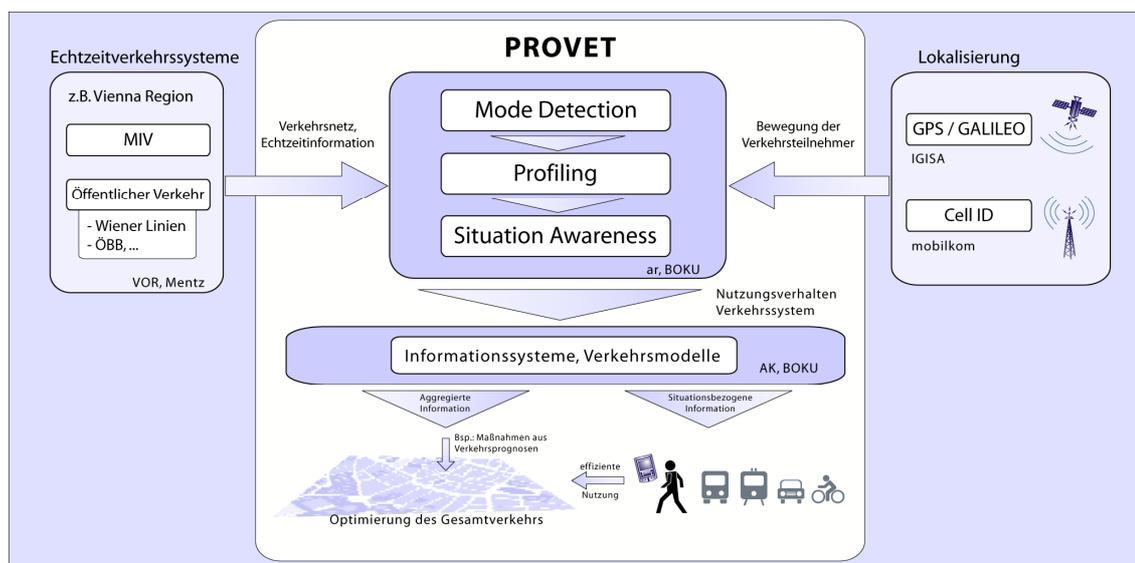


Abbildung 3: Systemskizze eines situationsbezogenen, intermodalen, personalisierten Verkehrsinformationssystems  
(Grafik: Austrian Institute of Technology (AIT) )

Das Projekt PROVET wurde von der FFG im Auftrag des BMVIT im Rahmen des Förderprogramms IV2Splus gefördert und bestand primär aus 2 Aufgabenbereichen:

- Technische Aspekte und Umsetzbarkeit von individueller Verkehrsinformation und
- Anforderungen an das individuelle Verkehrsinformationssystem aus Sicht der potentiellen Benutzer.

Das Projekt PROVET stand unter der Leitung von Austrian Institute of Technology (AIT) und wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur Wien, Mentz Datenverarbeitung GmbH, Positec GmbH, Verkehrsverbund Ostregion (VOR), A1 Telekom Austria AG, und der Kammer für Arbeiter und Angestellte Wien durchgeführt.

### 3.2 Funktionsweise des individuellen Informationssystems

Die Grundidee des Systems basiert darauf, dass Bewegungs- bzw. Positionsdaten aufgezeichnet werden und daraus folgende Mobilitätskenngrößen abgeleitet werden:

- Start- und Zieladresse des Weges
- Uhrzeit der Abfahrt bzw. Ankunft
- Häufigkeit des Weges pro Woche / Monat
- Benutzte Verkehrsmittel (inkl. Routen, Linien, Umsteigevorgänge, ... )

Basierend auf den individuell aufgezeichneten Mobilitätsdaten ist das System nun in der Lage ein Mobilitätsprofil zu erstellen, bei dem regelmäßige Wege, benutzte bzw. bevorzugte Verkehrsmittel und Routen abgebildet sind. Diese Datenbasis bildet die Grundlage zur Prognostizierung von unmittelbar bevorstehenden oder gerade durchgeführten Wegen, einschließlich dem benutzten Verkehrsmittel und dem wahrscheinlich angepeilten Ziel (z. B. der regelmäßig durchgeführte morgendliche Weg in die Arbeit). Durch die Verknüpfung mit aktuellen Echtzeitverkehrsdaten sind zwei Systemzustände definiert:

#### 3.2.1 Information vor der Abfahrt

Das Informationssystem prognostiziert den geplanten Weg mit dem üblicherweise benutzten Verkehrsmittel und schlägt dem User einen optimalen Abfahrtszeitpunkt bzw. eine optimale Route vor. Vor allem regelmäßige Pendlerwege eignen sich für diese Art der Informationsbereitstellung, da das System auf Grund der Regelmäßigkeit der beobachteten Wege sehr genau das Ziel, das Verkehrsmittel und die übliche Ankunftszeit errechnen kann. Ein Stau auf der Autobahn kann beispielweise zur Empfehlung führen, heute den Zug zu benutzen oder auch etwas später wegzufahren und dennoch zu der üblichen Zeit (im Rahmen definierter bzw. beobachteter Zeitbereiche) am Arbeitsplatz anzukommen.

### 3.2.2 Information während der Fahrt

Befindet sich der User bereits am Weg so analysiert das System die verbleibende Wegstrecke und berechnet aus der Kenntnis des prognostizierten Zieles eine individuell optimierte Route im MIV bzw. Linienwahl im ÖV. Auch hier kann modi-übergreifend agiert werden, .d.h. befindet sich ein Pendler mit dem Auto auf dem Weg zur Arbeit und das System detektiert einen unvorhergesehen Zeitverlust auf der verbleibenden Wegstrecke (z.B. durch Stau), so kann das System nicht nur Routenalternativen mit dem Pkw vorschlagen, sondern berechnet auch Alternativen mit dem ÖV (Abbildung 4). Dies aber nur dann, wenn sichergestellt ist, dass der Pendler nicht nach der Arbeit auf den Pkw angewiesen ist, z. B. weil Ziele mit unzureichender ÖV-Erschließungsqualität am Abend aufgesucht werden könnten. Diese wird wahrscheinlichkeitstheoretisch aus der Kenntnis des beobachteten und gespeicherten Mobilitätsprofils berechnet.

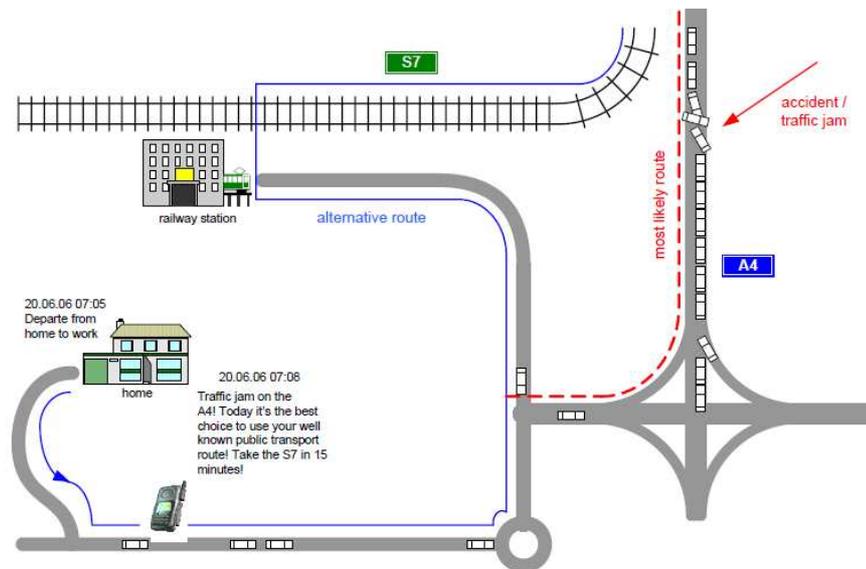


Abbildung 4: Modi-übergreifendes Anwendungsbeispiel für das Informationssystem  
(Grafik: Austrian Institute of Technology (AIT))

### 3.3 Technische Umsetzung

Die Erfassung der Bewegungsdaten stellen einen hohen Anspruch an die Genauigkeit der qualitativen GPS Lokalisierungsdaten. Mittels Testfahrten wurde die Erfüllung der geforderten Anforderungen getestet, wobei Positionierungen nicht nur mittels GPS sondern auch durch zellbasierte Lokalisierung von Mobilfunkmasten vorgenommen wurde. Zur Positionsermittlung wird in diesem Fall auf die Mobilfunkzelle zurückgegriffen, in der das Mobilfunkgerät aktuell registriert ist. Für die Identifizierung des verwendeten Verkehrsmittels wurden Anfang-, End- und Umsteigepunkte erfasst, die Routen anhand dieser Punkte segmentiert und für jedes Segment mittels logistischer Regression die Wahrscheinlichkeit des Verkehrsmittels unter Verwendung folgender definierter Variablen bestimmt:

- Geschwindigkeit bzw. Beschleunigungsdaten
- Anteil an der Gesamtfahrzeit in Geschwindigkeitsklassen (für Haltestellenbereich oder langsam fließenden Verkehr)
- Richtungsänderungen zur Unterscheidung von Schiene oder Straße
- Länge des GPS Signalverlusts auf Grund von Tunnelstrecken

Fußgänger, Radfahrer, Züge und Pkw-Fahrten im Freiland können auf diese Weise mit hoher Genauigkeit identifiziert werden, Probleme entstehen allerdings bei der Unterscheidung von Busfahrten zu anderen Verkehrsmitteln auf Grund des ähnlichen Geschwindigkeitsprofils. Durch die Erfassung weiterer Datensätze ist hier eine Verbesserung der Bestimmungsgenauigkeit zu erwarten [Bauer et. al 2008, Rudloff et. al 2010].

Zur Abfrage der Echtzeitinformation der Verkehrszustände bediente man sich im Projekt PROVET dem mult-modalem Verkehrslagebild des VORs, welches auf den Daten der ASFINAG, der ÖBB, von Taxis etc. Fahrzeiten in Echtzeit abrufbar zur Verfügung stellt. Hierzu wurden Algorithmen programmiert, die diese Informationen automatisch abrufen, um so die Fahrzeit (inklusive allfälliger Störungen) prognostizieren zu



können und diese mit den möglichen Alternativen zu vergleichen. Um die Berechnung des Nutzenvorteils von Alternativen weiter zu optimieren, wurde im Zuge von PROVET ein Wahlverhaltensmodell entwickelt (siehe Kap. 4.8), welches bei einer prototypischen Umsetzung des Informationssystems Verwendung finden sollte.

## 4 NUTZERBEFRAGUNG

### 4.1 Zielsetzung

Zentrale Fragestellung an das Anforderungsprofil des Informationssystems ist die Definition der Eigenschaften, die eine Alternative aufweisen muss, um vom Verkehrsteilnehmer als wählbare Alternative beurteilt zu werden und dementsprechend einen Nutzenvorteil mit sich bringt, wobei folgende Eigenschaften berücksichtigt werden sollen:

- Kriterien zur Beschreibung der Abweichung der angebotenen Alternative gegenüber dem ursprünglich geplanten Weg;
- Optimierung des Zeitpunkts, an dem die Information angeboten werden soll;
- Technische Anforderungen an das System, wie beispielsweise die Übertragungsform (bildlich, akustisch, ...) oder das Übertragungsmedium (Mobiltelefon, Navigationsgerät, ...);
- Kriterien zur Beurteilung des Vorteils der angebotenen Alternative gegenüber dem ursprünglich geplanten Weg.

### 4.2 Methodische Vorgangsweise

Zur Erhebung der notwendigen Datengrundlage wurde ein zweistufiges Erhebungsverfahren entwickelt:

- Telefonisches Screening zur Erfassung geeigneter Zielpersonen und deren Mobilitätsverhalten sowie
- eine vertiefte persönliche Befragung zur Ermittlung von Gründe für die Verkehrsmittel-, Routen- bzw. Linienwahl sowie der Anforderungen an ein personalisiertes Verkehrsinformationssystem.

Als Zielpersonen für die Erhebung wurden Pendler aus Niederösterreich nach Wien definiert, da diese die Voraussetzung eines regelmäßigen Verkehrsverhaltens erfüllen. Im Fokus der Befragung standen Wege zwischen der Wohnung und dem Arbeitsplatz, die mit dem Pkw, dem ÖV oder als Park&Ride-Weg zurückgelegt wurden. Zunächst wurden Gemeinden mit starken Pendlerverflechtungen mit Wien erhoben, aus denen anhand eines Kriterienkatalogs (Entfernung zu Wien, Lage zu Wien, Verbindungsqualität im MIV bzw. im ÖV, ...) im ersten Schritt sechs Erhebungsgemeinden repräsentativ ausgewählt wurden. Im Laufe der Befragung wurde das Erhebungsgebiet um zwei zusätzliche Erhebungsgemeinden erweitert (Abbildung 5).

Die Anzahl der durchgeführten Interviews erlaubt Aussagen über das Mobilitätsverhalten und die Anforderungen an das Informationssystem in einer ersten Tendenz sowie die Erstellung eines signifikanten Wahlverhaltensmodells. Weitere Detailauswertungen sind auf Grund der limitierten Projektlaufzeit und der daraus resultierenden Stichprobenzahl nicht möglich und wären im Zuge eines möglichen Folgeprojektes zu behandeln.

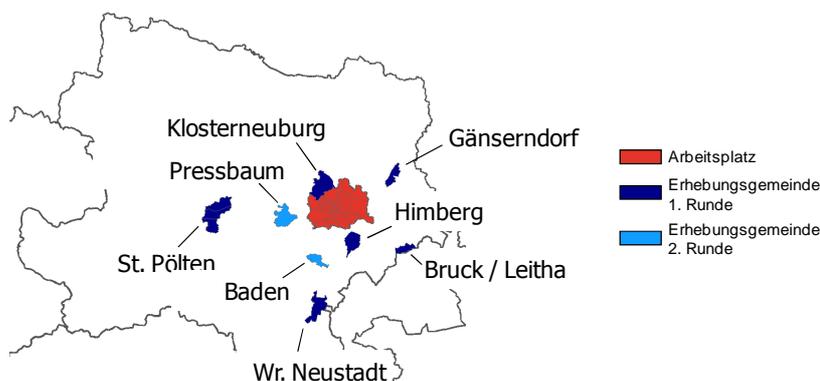


Abbildung 5: Erhebungsgemeinden

### 4.3 Verkehrsverhalten der befragten Pendlern

Der durchschnittliche Weg der befragten Pendler von der Wohnung zum Arbeitsplatz mit dem Pkw dauert rund 36 Minuten und ist 26 km lang, mit dem ÖV dauert der Weg in Arbeit durchschnittlich 67 Minuten. Die Abfahrzeit ist vor allem durch den Beginn der Arbeitszeit bestimmt, wobei 66 % der befragten Pendler angaben flexible Arbeitszeiten zu haben (Gleitzeit) und einen Ankunftszeit am Arbeitsplatz im Schnitt +/- einer Stunde möglich ist. Pendler mit fixen Arbeitszeiten gaben an, im Schnitt maximal 10 Minuten später am Arbeitsplatz eintreffen zu können.

Die befragten Pendler sind in ihrer Verkehrsmittelwahl nicht sehr flexibel. Im Schnitt wird der Weg in die Arbeit an 4,6 Tagen pro Woche mit dem gleichen Verkehrsmittel zurückgelegt. Die Gründe für die Wahl des Pkws sind vor allem der Zeitvorteil, die Bequemlichkeit, das unzureichende ÖV-Angebot sowie die Flexibilität dieses Verkehrsmittels. Die befragten ÖV-Nutzer nannten die Bequemlichkeit und die Kostenersparnis im Vergleich mit dem Pkw als Hauptgründe für die Benutzung. Ähnlich unflexibel wie bei der Verkehrsmittelwahl ist das Verhalten der befragten Pendler bei der Wahl der Route im MIV bzw. der Linien im ÖV. An durchschnittlich 4,2 Tagen der Woche wird dieselbe Route gewählt, wobei aber Pkw-Lenker im Schnitt mehr als 5 Alternativrouten bekannt sind (die allerdings sehr selten benutzt werden). ÖV-Pendler gaben hingegen wesentlich weniger bekannte Linialternativen an (im Schnitt 1,3).

Um Informationen über Routenalternativen individuell optimiert anbieten zu können, ist die gewünschte Eigenschaft von wesentlicher Bedeutung, wobei es naturgemäß Unterschiede zwischen Pkw-Nutzern und ÖV-Fahrern gibt. Die wichtigsten Eigenschaften einer Pkw-Route sind laut befragter Pendler eine geringer Fahrzeit, eine hohe Zuverlässigkeit und kurze Fahrtweite. Interessant erscheint, dass die befragten ÖV-Pendler einen hohen Bahnanteil am Weg in die Arbeit als wichtigste Eigenschaft genannt wurde. Nach der Zuverlässigkeit steht eine kurze Fahrzeit erst an dritte Stelle (Abbildung 6).

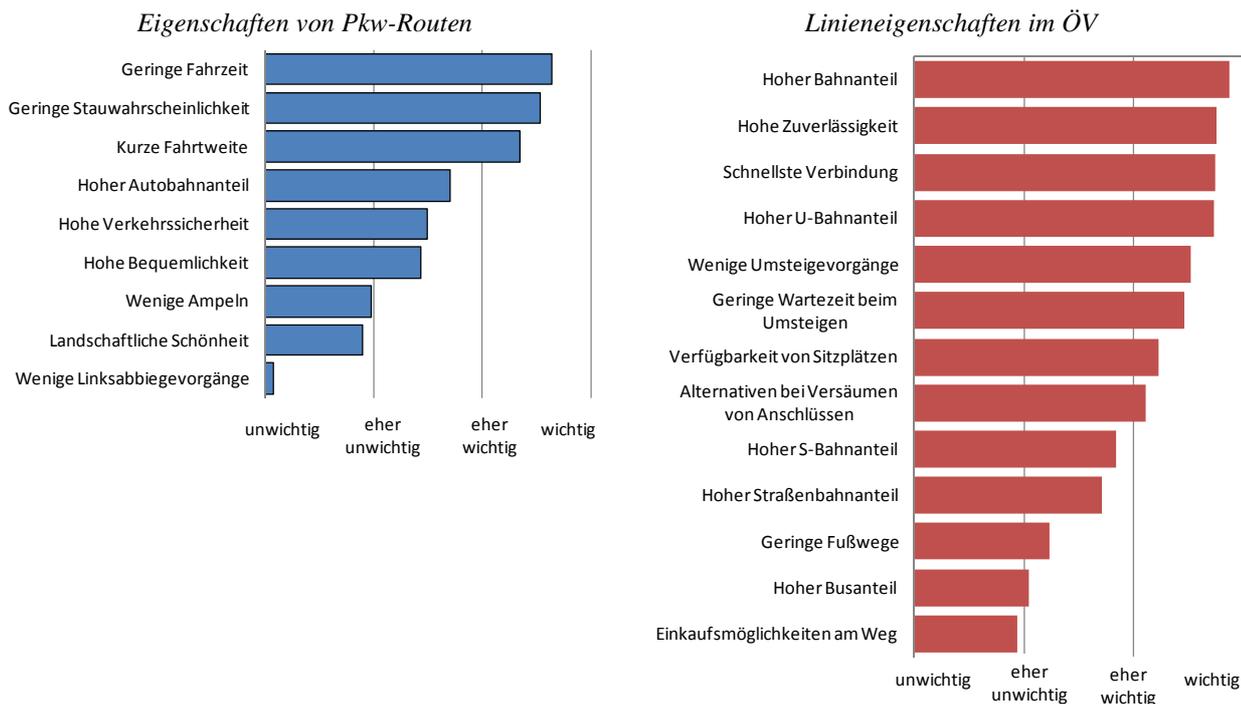


Abbildung 6: Bewertung verschiedener Routen- bzw. Linieneigenschaften

Das erhobene Mobilitätsverhalten bestätigt die Hypothese, dass das Verkehrsverhalten in den meisten Fällen sehr regelmäßig ist und dass sich die Pendlerfahrten sehr gut als Grundlage für die Entwicklung eines individuellen Verkehrsinformationssystems eignen, da das System lernfähig ist und die gespeicherten Mobilitätsdaten für die Prognose des Verkehrsverhaltens herangezogen werden können. Betrachtet man die als am wichtigsten eingestuften Kriterien oder Eigenschaften für die Wahl einer Pkw-Route bzw. einer ÖV-Verbindung so zeigt sich, dass es sich dabei zum größten Teil um Kriterien und Eigenschaften handelt, die von dem geplanten individuellen Informationssystem objektiv ermittelt und für die Bewertung der zur Verfügung stehenden Alternativen herangezogen werden können.

#### 4.4 Nutzung von Informationsquellen

Für die Planung einer Pkw-Route sind nachwievor Straßenkarten das am häufigsten benutzte Hilfsmittel gefolgt von Routenplaner im Internet. Ähnlich häufig vertrauen die befragten Pkw-Nutzer auf ihr eigenes Gefühl und ihre Intuition, um die (subjektiv) beste Route zu finden. Erst danach folgen in der Nutzungshäufigkeit Navigationssysteme. Derzeit kaum verwendet werden hingegen Handyapplikationen. Die befragten ÖV-Nutzer vertrauen bei der Wahl einer Verbindung fast immer einem Routenplaner im Internet. Fahrplanaushänge, Netzpläne oder Fahrplanbücher spielen eher eine untergeordnete Rolle. Auch im ÖV wird das Handy für die Wahl von Linien derzeit kaum benützt. Durch die steigende Verbreitung von Multimedia-Handys (Smartphones) ist allerdings davon auszugehen, dass die Verwendung für die Routenplanung im Pkw-Verkehr bzw. die Nutzungshäufigkeit von bestehenden Auskunftssystemen wie „quando“ oder „scotty“ im ÖV zunehmen wird.

#### 4.5 Beobachtetes Verhalten im Störfall

Derzeit informieren sich die befragten Pendler vor Abfahrt kaum über den aktuellen Verkehrszustand auf ihrer geplanten Route. Jene, die sich informieren, tun dies hauptsächlich passiv durch das Hören des Verkehrsfunks im Radio. Hier scheint demnach großes Potenzial vorhanden zu sein, den Informationsstand der Benutzer (individuell) zu verbessern und steuernd bzw. optimierend in deren Mobilitätsverhalten einzugreifen. Im Falle einer Störung auf dem Weg (Stau, Verspätungen im ÖV etc.) verbleibt ein Großteil der Befragten vorerst auf ihrer Route und wartet ab, ob sich die Situation verbessert (59 %). Einen ersten Anhaltspunkt ab welcher Verzögerungen reagiert wird, gibt die Antwort auf die Frage nach dem Verkehrsverhalten in so einem Falle, wo die Spanne der Wartezeit zwischen dem Eintreten der Störung und der Suche nach einer alternativen Route bzw. ÖV-Verbindung zwischen 5 und 15 Minuten liegt.

#### 4.6 Auswirkungen individueller Verkehrsinformation

Um einschätzen zu können, ob und in welcher Form das geplante System von den Benutzern angenommen wird, wurden die Zielpersonen im Laufe des Interviews mit der Funktionsweise des Systems vertraut gemacht und in eine fiktive Situation versetzt, in der das System bereits funktioniert. In diesem Planspiel (Szenario) wurde angenommen, dass auf dem üblichen Weg von zu Hause in die Arbeit ein Störfall aufgetreten ist.

##### 4.6.1 Verhalten im Störfall bei Information vor der Abfahrt

Die deutliche Mehrheit der Befragten würde den Empfehlungen des Informationssystems Folge leisten und eine der vorgeschlagenen Alternativen wählen, wobei allerdings Pkw-Nutzer zumeist eine Alternative mit dem gleichen Verkehrsmittel wählen (75 %) und nur ein sehr geringer Prozentsatz auf den ÖV umsteigen bzw. eine Park & Ride Variante wählen würde. Auch ÖV-Nutzer bleiben in der Mehrheit bei ihrem Verkehrsmittel, allerdings in einem wesentlich geringeren Anteil als Pkw-Fahrer (35 %). Vor allem der Umstieg auf den Pkw (26 %) oder die Möglichkeit P&R zu nutzen (15 %) sind für die Befragten durchaus akzeptable Alternativen.

##### 4.6.2 Verhalten im Störfall bei Information während der Fahrt

Wird die Information über einen Störfall erst während der Fahrt an die Benutzer weitergegeben, gibt es große Unterschiede im Verhalten zwischen Pkw- und ÖV-Nutzern. Während Pkw-Nutzer auf Informationen während der Fahrt ähnlich wie auf Informationen vor der Fahrt reagieren und zum Großteil (69 %) die angebotene Alternative zum Umfahren der Störung wählen würden, verbleiben mehr als zwei Drittel der befragten ÖV-Fahrer auf ihrer üblichen Verbindung. Dies zeigt, dass die Fahrzeit nicht das einzige Kriterium ist, das für die Bewertung von Alternativen herangezogen werden kann und zusätzlich Variablen wie Umsteigevorgänge oder Bahn- bzw. Busanteil berücksichtigt werden müssen. Der Vorschlag einer Park & Ride Alternative findet bei den Pkw-Nutzern mit 3 % nur wenig Anklang.

#### 4.7 Bewertung eines individuellen Informationssystem

Mehr als  $\frac{3}{4}$  der Befragten glauben, dass ein individuelles Informationssystem zur Optimierung ihrer täglichen Wege beitragen kann. Interessant erscheint, dass an erster Stelle die Angabe von Fahrzeitverzögerungen bzw. Verspätungen als wichtigste Information gewünscht sind und erst der Wunsch nach schnelleren Alternativen an zweiter Stelle steht, d.h. die befragten Pendler wünschen sich, grundsätzlich

über Störungen auf ihrem täglichen Weg informiert zu werden. Auf Grund der wenig flexiblen Wahl der Verkehrsmittel, wird auch die Information über Routen mit alternativen Verkehrsmitteln als eher unwichtig bewertet (Abbildung 7).



Abbildung 7: Bewertung des gewünschten Informationsinhaltes

Als Übertragungsmedium wünschen sind 75 % der Befragten das Handy und 14 % das Navigationsgerät. Es ist demnach offensichtlich, dass das entwickelte Informationssystem kompatibel mit bestehenden Geräten sein muss und als Applikation anzubieten ist. Bei der Art der Informationsübermittlung konnte keine Präferenz zwischen automatischer Übermittlung der Information oder Informationsübermittlung per Abfrage festgestellt werden (beide Arten wurden annähernd gleich oft genannt). Interessant erscheint aber, dass in erster Linie Textnachrichten gewünscht werden (49 %), der Gebrauch von interaktiven Karten scheint demnach noch nicht sehr vertraut zu sein (29 %). Grundsätzlich wären die Befragten auch bereit, für die bereit gestellte Information zu bezahlen, wobei keine präferierte Zahlungsmodalität festgestellt werden konnte (Pauschale oder auf Abruf).

#### 4.8 Wahlverhaltensmodell

Um den Nutzen einzelner Alternativen zu bewerten, wird auf das Verfahren der Discrete Choice Analyse zurückgegriffen (vgl. z. B. [Ben-Akiva et. al 1997] oder [Maier et al 1990]). Als Datenbasis für die Kalibrierung dienten sowohl die Ergebnisse der Stated Preference Befragung (vgl. z. B. [Axhausen et. al 2001]) des Szenarios „Information vor Fahrtantritt“ also auch jene der Revealed Preference (beobachtetes Verhalten). Die Hinzunahme des derzeitigen Verhaltens ermöglicht es, die Reaktion der befragten Personen auf eine Störung vor dem Hintergrund ihrer gewohnheitsmäßigen Routen- und Verkehrsmittelwahl zu analysieren. Im Stated Preference Szenario wird angenommen, dass Informationen über die prognostizierte Fahrzeitverlängerung ca. 10 Minuten vor Fahrtantritt übermittelt werden und dass das System 3 Alternativen vorschlägt (Alternative mit gleichem Verkehrsmittel, Park & Ride Variante oder Umstieg auf ein alternatives Verkehrsmittel). Die Befragten entscheiden sich für eine der 3 Alternativen oder für das Verbleiben auf der bisherige Route, wobei die Fahrzeitverzögerung in Kauf genommen wird. Da ein Großteil der befragten Pendler regelmäßig dasselbe Verkehrsmittel benützt und meist auch dieselbe Route befährt, erschien im Zuge der Modellspezifikation eine a-priori Klassifizierung zweckmäßig („Known Class Ansatz“) [Vermunt J. 2005]:

$$P_n(y_i) = \sum_K P_n(c_k) \times P_n(y_i | c_k) \quad \text{mit} \quad P_n(y_i | c_k) = \frac{e^{V_{nik}}}{\sum_J e^{V_{njk}}}$$

$$\text{und} \quad V_{nik} = \beta_{ik}^c + \sum_L \beta_{lik}^a \times X_{mik} + \sum_M \beta_{mik}^p \times Y_{nmk}$$

mit

$P_n(y_i)$  Wahrscheinlichkeit für das Individuum n die Alternative i zu wählen

$P_n(c_k)$  Wahrscheinlichkeit für das Individuum n der Klasse k anzugehören



$P_n(y_i   c_k)$	Wahrscheinlichkeit für das Individuum n die Alternative i zu wählen unter der Bedingung, dass es der Klasse k angehört
$V_{nik}$	deterministische Nutzenkomponente der Alternative i für Individuum n in Klasse k
$\beta_{ik}^c$	konstante Nutzenkomponente der Alternative i in Klasse k
$\beta_{lik}^a$	Koeffizient für den Beitrag des alternativenspezifischen Merkmals l zum Nutzen der Alternative i in Klasse k
$\beta_{mik}^p$	Koeffizient für den Beitrag des personenspezifischen Merkmals m zum Nutzen der Alternative i in Klasse k

Als Klassen wurden Pendler, die normalerweise den Pkw bzw. Pendler, die normalerweise den ÖV für die Fahrt in die Arbeit nutzen, definiert. Das Ergebnis der Analyse ist eine Nutzenfunktion von Routenalternativen (Werte der Koeffizienten sind in Tabelle 1 angeführt):

$$V_i = \beta_{SP} \times SP + \beta_P \times P + \beta_B \times B + \beta_{Fp} \times Fp + \beta_Z \times Z + \beta_{Kö} \times Kö + \beta_{MP} \times MP + \beta_{ZkP} \times ZkP$$

Erklärende Variablen (Abkürzung)	Koeff. $\beta$ Pkw-Fahrer	Koeff. $\beta$ ÖV-Nutzer	p-value *)	p-value **)
Stat. Pref. Szenario x Verkehrsm. Pkw (SP)	-3,063	5,062	0,160	0,063
Hauptverkehrsmittel = Pkw (P)	16,877	1,755	0,000	0,002
Hauptverkehrsmittel = Bahn (B)	1,949	1,949	0,000	
Pkw-Fahrzeit ohne Verzögerung in min (Fp)	-0,133	-0,045	0,000	0,070
Pkw- & ÖV-Fahrzeitverzögerung in min (Z)	-0,155	-0,038	0,000	0,004
ÖV-Kosten in € (Kö)	-0,610	-0,610	0,000	
Geschlecht = männlich x Verkehrsm. Pkw (MP)	-2,541	-2,541	0,016	
ÖV-Zeitkarte x Verkehrsm. Pkw (ZkP)	-2,618	-2,618	0,066	

\*) Signifikanz der Abweichung des Koeffizienten von Null

\*\*\*) Signifikanz der Unterschiedlichkeit des Koeffizienten in den zwei Klassen

Modellgüte	Pkw-Fahrer	ÖV-Nutzer	Gesamt
R <sup>2</sup>	0,6448	0,2966	0,4646

Tabelle 1: Koeffizienten der ausgewählten Variablen für die Klassen Pkw-Fahrer bzw. ÖV-Nutzer

Die bestimmenden Merkmale des Nutzens einer Routenalternative sind das verwendete Verkehrsmittel (Pkw, Bahn), das gewohnheitsmäßige Verhalten (Pkw- bzw. ÖV-Fahrer) sowie Kosten und Personenmerkmale. Dieses Ergebnis spiegelt das beobachtet Verhalten wider, bei dem die befragten Pendler in ihrer Verkehrsmittelwahl nicht sehr flexibel sind. Deutlich erkennbar ist der hohe Grundnutzen des Pkw für Pendler, die normalerweise den Pkw für den täglichen Weg zur Arbeit verwenden (Koeffizient der Variablen „Hauptverkehrsmittel Pkw“ (P) = 16,88). Anhand der Interaktionsvariable aus State Preference-Szenario und Verkehrsmittel Pkw (SP) zeigt sich der verminderte Nutzen des Pkw im Stated Preference Szenario gegenüber dem gewohnheitsmäßigen Verhalten. Er wird durch die Annahme der Störung auf der üblichen (Pkw-)Route hervorgerufen. Sinngemäß besitzt die Variable bei regelmäßigen ÖV-Fahrern einen positiven Koeffizienten (5,06), weil hier die Störung auf der ÖV-Route auftritt und der Pkw im Vergleich dazu einen Nutzengewinn erfährt.

Im Rahmen der hier beobachteten Fahrten spielt die Fahrzeit im ÖV offenbar eine untergeordnete Rolle und zeigte keinen signifikanten Einfluss auf das Wahlverhalten. Es wurde demnach nur die Pkw-Fahrzeit ohne Verzögerung (Fp) ins Modell aufgenommen. Die Koeffizienten der Fahrzeitverzögerung (Z) wurden alternativenübergreifend für Pkw und ÖV, aber klassenspezifisch geschätzt, d.h. je ein Koeffizient für regelmäßige Pkw-Fahrer und ÖV-Nutzer. Besonders auffällig ist, dass sowohl die Fahrzeit wie auch allfällige Verzögerungen von den befragten Pkw-Fahrern viel negativer bewertet wurden als von den ÖV-Nutzern. Die Kosten des Pkw-Weges haben im Rahmen dieser Untersuchung keinen signifikanten Einfluss auf das Wahlverhalten, die Kosten des ÖV-Weges spielen dagegen sehr wohl eine Rolle, und zwar sowohl für regelmäßige Pkw-Fahrer als auch ÖV-Nutzer. Es wurde ein klassenübergreifender Koeffizient (Kö) für beide Gruppen geschätzt. Eine mögliche Erklärung ist, dass einerseits die Kosten einer Pkw-Fahrt nicht

unmittelbar wahrgenommen werden, andererseits aber die Kosten einer ÖV-Fahrt vor allem für Personen ohne Zeitkarte eine wesentliche Rolle spielen.

Der negative Koeffizient der Interaktionsvariable aus "Geschlecht = männlich x Verkehrsm. Pkw" (MP) zeigt, dass Männer dem Pkw weniger Nutzen beimessen und eher auf eine ÖV-Alternative umsteigen. Dieses Ergebnis drückt nicht die derzeitige (beobachtete) Verkehrsmittelwahl aus, sondern zeigt die Umsteigebereitschaft auf ein alternatives Verkehrsmittel. Der negative Koeffizient der entsprechenden Interaktionsvariablen „Zeitkartenbesitz x Verkehrsm. Pkw“ (ZkP) zeigt, dass der Besitz einer ÖV-Zeitkarte den Nutzen einer Pkw-Alternative deutlich verringert.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG DER ANFORDERUNGEN AN EIN INDIVIDUELLES INFORMATIONSSYSTEM

Das Informationssystem muss vom jeweiligen Benutzer individuell und flexibel handhabbar sein. Dies betrifft beispielsweise die Art der Informationsübermittlung (entweder automatisch oder auf Anfrage) oder die Form der Bezahlung (monatliche Pauschale oder Bezahlung pro Information). Nachdem kein neues Gerät wünschenswert erscheint, ist das System als Applikation für bestehende Geräte (Handy oder Navigationsgerät) anzubieten. Die Übermittlung der Informationen ist zwar von den Befragten mehrheitlich in Form einer Textnachricht gewünscht, allerdings sollte angestrebt werden, auch interaktive Karten anzubieten, da dessen Gebrauch in Zukunft durch die Entwicklung der Smartphonetechnologie vermehrt an Bedeutung gewinnen wird.

Ein wesentlicher Aspekt scheint die Informationsübermittlung zu sein, auch wenn es in bestimmten Fällen keine Alternativen gibt, möchte der Verkehrsteilnehmer über Ursache, Gründe und prognostizierte Verzögerungen von Störungen informiert werden. Ab welcher Dauer einer Verzögerung Personen informiert werden möchten, konnte nicht eindeutig festgestellt werden, es wird daher empfohlen, dass diese Werte vom Benutzer individuell anpassbar sind. Grundsätzlich sehen die Befragten einen großen Nutzen für ihre tägliche Mobilität durch das Informationssystem, allerdings ist dabei ganz entscheidend, dass das System zuverlässig arbeitet, denn durch vermehrte Falschinformationen können die Benutzer sehr rasch das Vertrauen in das System verlieren.

## 6 REFERENCES

- Axhausen K. W., G. Sammer: „stated responses“: Überblick, Grenzen, Möglichkeiten, Arbeitsbericht Nr. 73 am Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen und Eisenbahnbau der ETH Zürich, Zürich 2001
- Ben-Akiva M., S. R. Lerman: Discrete Choice Analysis, Theory and Application to Travel Demand, Hrsg: the MIT Press Cambridge, London 1997
- Bauer D., M. Ray, N. Braendle, und H. Schrom-Feiertag: On Extracting Commuter Information from GPS Motion Data, in Proceedings International Workshop on Computational Transportation Science (IWCTS08), 2008.
- Loibl, W.; Giffinger, R.; Sedlacek, S.; Kramar, H.; Schuh, B.: "STAU-Wien" Stadt-, Umlandbeziehungen in der Region Wien: Siedlungsentwicklung, Interaktionen und Stoffflüsse; ARC Seibersdorf research Report, Seibersdorf 2002
- Herry et. al: Verkehr in Zahlen 2007, Österreich, Ausgabe 2007 in Auftrag gegeben und herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Abteilung V/Infra 5, Wien 2007
- Maier G., P. Weiss: Modelle diskreter Entscheidungen, Theorie und Anwendungen in der Sozial- und Wirtschaftswissenschaft, Hrsg: Springer-Verlag Wien New York, Wien 1990
- ÖIR - Österreichisches Institut für Raumplanung: Bevölkerungsentwicklung 1991 bis 2006, zur Verfügung gestellt von Deussner R., Wien 2010 in: R. Klementsitz: Der ländliche Raum aus verkehrlicher Sicht: Absiedeln oder investieren? veröffentlicht in: Mobilitätspolitik in Österreich, FSV-Schriftenreihe 007 | 2010, Hrsg: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2010
- Rudloff C. und M. Ray, "Detecting Travel Modes and Profiling Commuter Routes Solely Based on GPS Data," in TRB 89th Annual Meeting, 2010.
- Statistik Austria: Ergebnissen der Volkszählung vom 15. Mai 2001 auf [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/bevoelkerung/volkszaehlungen\\_registerzaehlungen/pendler/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen/pendler/index.html) am 22.02.11. Wien 2008
- Statistik Austria, Volkszählung 2001. Wien 2007
- Vermunt J., J. Magidson: Latent Gold @ Choice, User's Guide, Hrsg: Statistic Innovation Inc. Belmont 2005

