

„MARS meets ANIMAP“

**Die Koppelung der Modellsuite MARS mit dynamischer Internet-Kartographie**

*Günter EMBERGER und Leopold RIEDL*

Prof. Dr. Günter Emberger: Institut für Verkehrsplanung & Verkehrstechnik,  
Technische Universität Wien, Gusshausstrasse 30/2, A-1040 Wien, Österreich, guenter.emberger+e231@tuwien.ac.at;

DI Leopold Riedl: Department für Raumentwicklung, Infrastruktur- & Umweltplanung, Technische Universität Wien,  
Fachbereich für Stadt- & Regionalforschung, Operngasse 11, A-1040 Wien, Österreich, leopold.riedl+e280@tuwien.ac.at

## 1 KURZFASSUNG

Verkehr spielt in immer mehr Bereichen eine wichtige Rolle. Die Ausprägungen der Verkehrsorganisation beeinflussen die Wirtschaftsstrukturen, die Siedlungsstrukturen und in weiterer Folge die soziale und natürliche Umwelt.

Um Folgewirkungen verkehrspolitischer und raumplanerischer Maßnahmen auf die genannten Bereiche (Wirtschaft, Siedlungsstrukturen, Umwelt) zu quantifizieren wurde das Simulationsmodell MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (TU-IVV) entwickelt und implementiert. MARS ist ein integriertes dynamisches Raumnutzungs- und Verkehrsmodell, welches in der Lage ist, Auswirkungen verschiedenster verkehrs- und raumplanerischer Maßnahmen über einen Zeitraum von 30 Jahren zu simulieren.

In diesem Papier wird der Stand der Entwicklung von MARS dargestellt. Ein wichtiger Punkt bei der Kommunikation von Modellergebnissen ist deren Darstellung. Hier wurde von den Entwicklern von MARS in der jüngeren Vergangenheit zwei wichtige Erneuerungen realisiert.

Einerseits wurde durch die Portierung von MARS in die Programmierumgebung VENSIM die zugrunde liegende Komplexität immens gesteigert, gleichzeitig kann diese Komplexität relativ einfach an verschiedene Nutzergruppen (Verkehrsplaner, Modellierer, Entscheidungsträger, etc) kommuniziert werden.

Zur problemadäquaten Präsentation dieser Berechnungsergebnisse muss gleichzeitig mit den räumlichen Auswirkungen auch deren zeitliche Abfolge dargestellt werden. Diese gekoppelte Darstellung stellt die zweite wesentliche Verbesserung von MARS dar. Die Einbindung der „dynamischen“ Kartographie-Applikation ANIMAP in MARS ermöglicht die historisch-räumliche Entwicklung beliebiger Indikatoren zu visualisieren.

Ein Ziel dieses Papiers ist es, genauer auf die technische Umsetzung dieser Neuerungen einzugehen und die dadurch ermöglichte Informationskommunikation darzustellen.

## 2 GRUNDLEGUNG

In den letzten Jahrzehnten fand europa- bzw. weltweit eine stetige Zunahme der Verkehrsprobleme statt. Die angewendeten Lösungsstrategien (meistens Maßnahmen im Infrastrukturbereich) waren nicht in der Lage die Verkehrs- und die damit verbundenen Umweltprobleme zu lösen. Dies führte zu der Erkenntnis, dass nachhaltige Lösungen nur über integrierte Strategien, d.h. durch Kombination mehrerer verkehrlicher und raumplanerischer Maßnahmen, erreichbar sind. Die Europäische Union förderte deshalb ab den 90-er Jahren des vergangenen Jahrhundert einen Forschungsschwerpunkt zur Entwicklung geeigneter Methoden zur Beurteilung integrierter Raumnutzungs- und Verkehrsplanungsstrategien [Emberger and Brunsch 2002]. Konkret wurde z.B. die Entwicklung von kombinierten Flächennutzungs- und Verkehrsmodellen (Land Use and Transport Interaction models – LUTI-Models) gefördert. Diese Modelle sollten in der Lage sein eine Vielzahl verkehrs- und raumplanerischen Maßnahmen, deren Rückkoppelungen und Interdependenzen zu berücksichtigen und gleichzeitig deren räumliche und zeitliche Effekte abbilden. Zusätzlich sollten die entwickelten Methoden dazu geeignet sein, Maßnahmbündel hinsichtlich synergetischer oder kompensatorischer Effekte zu evaluieren. Die Ergebnisse der Anwendung dieser Methoden wie auch die Methoden selbst sollten für die Entscheidungsfindung auf strategischer Ebene herangezogen werden können.

Das Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Universität Wien war Teilnehmer mehrerer in diesem Rahmen geförderter Forschungsprojekte<sup>22</sup>.

### 3 DAS INTEGRIERTE, DYNAMISCHE FLÄCHENNUTZUNGS- UND VERKEHRSMODELL MARS

MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulation) ist ein aggregiertes, dynamisches Flächennutzungs- und Verkehrsmodell. Mit MARS können wahrscheinliche Entwicklungspfade urbaner Regionen für einen Zeitraum von 30 Jahren simuliert werden. Es wurde als Kernstück eines Bewertungs- und Optimierungssystems zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von urbaner Regionen entwickelt. Das Modell basiert auf der Hypothese, dass Städte selbstorganisierende Systeme sind und daher die Prinzipien der Synergetik zur Beschreibung des kollektiven Verhaltens angewendet werden können. Aufbauend auf Wiener Forschungsergebnissen [Knoflacher and Pfaffenbichler 1999] wurde zuerst ein qualitatives Modell erstellt. Dabei kam die Methode der Causal-Loop-Diagramme zur Anwendung um Ursache-Wirkungsbeziehungen darzustellen. Auf dieser Basis wurde ein quantitatives Modell entworfen und in Computercode transformiert. Am Beginn der Entwicklung von MARS stand dem Institut für Verkehrstechnik und Verkehrsplanung keine System Dynamics Software zur Verfügung, welche in der Lage gewesen wäre, einfach und effizient mit Matrizen und Vektoren zu operieren. Als Softwareentwicklungsumgebung wurde deshalb 1996 Visual Basic® für Applikationen und Excel® gewählt.

Modelltechnisch gesehen basierten die MARS-Submodelle auf Gravitations- bzw. LOGIT-Modellen. Dieser Modellansatz wird im den Verkehrsteil wie auch dem Flächennutzungsteil angewandt. In beiden Fällen werden Ziel- und Quellpotentiale von Zonen berechnet und hinsichtlich so genannter Widerstandsfunktionen simultan verteilt. Die Grundform der Widerstandsfunktionen im Verkehrsmodell basieren auf deutschen Forschungsergebnissen [Walther 1991; Walther et al. 1997]. Sie können als generalisierte Kostenfunktionen mit subjektiver Gewichtung von Zugang-, Warte-, Umsteige- und Abgangszeiten verstanden werden. Für das Flächennutzungsmodell werden die Widerstandsfunktionen getrennt für Wohnzwecke und Arbeitsstättenentwicklung ermittelt. Hierbei werden Information bzgl. Arbeitsplätzen, Grundstückspreisen, Flächenverfügbarkeiten etc. mit den verkehrsmittelspezifischen Reisezeiten gewichtet und zur Berechnung der Widerstände herangezogen. Mit MARS können strategische verkehrsplanerische und raumplanerische Maßnahmenbündel simuliert und ihre räumlichen und zeitlichen Auswirkungen auf die Stadtentwicklung abgeschätzt werden. Eine detaillierte Beschreibung von MARS bietet [Pfaffenbichler 2003]. Die Entwicklung und Anwendung des Modells MARS wurde auch in mehreren CORP Beiträgen präsentiert [Pfaffenbichler and Emberger 2001; Pfaffenbichler and Emberger 2003; Pfaffenbichler and Emberger 2004].

#### 3.1 Vorteile der Portierung von MARS auf VENSIM

Die Entwicklung von MARS erfolgte über einen Zeitraum von mehreren Jahren. Softwaretechnische Beschränkungen von Visual Basic® machten seinerzeit eine Limitierung auf maximal 34 Verkehrszonen und drei Verkehrsmittel (Pkw, ÖV und Fußgeher) notwendig. Die ständige Weiterentwicklung des Modells innerhalb der letzten 8 Jahre erhöhte die Komplexität des Modells derart, dass, obwohl der Quellcode öffentlich verfügbar war, das Modell zu einem Black-Box Modell geworden war. Die nachträgliche Hinzufügung von Funktionalitäten, wie zum Beispiel, der Einbau eines ÖV-Kapazitätsmodelles (public transport overcrowding model) erwies sich als schwierig und fehleranfällig.

Zunehmende Rechnerleistung und die Erhöhung der elektronischen Verfügbarkeit von Inputdaten ermöglichen heute einen höheren Detaillierungsgrad. Eine Anhebung der möglichen Verkehrszonenanzahl und die Hinzunahme von weiteren Verkehrsmitteln wurde daher angestrebt. Aus diesen Gründen wurde die Entscheidung getroffen, MARS auf VENSIM® als neue Software Entwicklungsplattform zu portieren: Dadurch ist es gelungen die Limitation der Zonenanzahl zu eliminieren, zusätzliche Verkehrsmittel zu inkludieren und weitere Modellmodule zu integrieren.

<sup>22</sup> Z.B.: Optimisation of Policies for Transport Integration in Metropolitan Areas (OPTIMA), Financial Assistance for Transport Integration in Metropolitan Areas (FATIMA), Strategic Assessment Methodology for the Interaction of CTP-Instruments (SAMI), TRANSPORT Planning, Land Use and Sustainability (TRANSPLUS), Procedures for Recommending Optimal Sustainable Planning of European City Transport Systems (PROSPECTS) und Planning Urban Mobility in Europe (PLUME).

Die wichtigsten Vorteile dieser Portierung von Visual Basic nach VENSIM sind:

- a) einfache Darstellung im Modell implementierter Ursache-Wirkungsbeziehungen,
- b) einfache Umsetzung dieser Ursache-Wirkungsbeziehungen in Programmcode,
- c) die Möglichkeit das Modell mit relativ geringem Aufwand um neue Verkehrsmittel, Reisezwecke, verhaltenshomogene Personengruppen usw. zu ergänzen,
- d) die verbesserte Modellierung der Zeitdimension,
- e) die Nutzung der graphischen Ausgabemöglichkeiten der VENSIM® Programmierumgebung und
- f) die Nutzung der VENSIM® internen Kalibrierung- und Optimierungsalgorithmen.

Die Verwendung von VENSIM® ermöglicht es zum Beispiel für Entscheidungsträger nur die wichtigsten Ursache-Wirkungsbeziehungen von MARS darzustellen.

Auf der anderen Seite ist es möglich mit versierten Verkehrs- und Landnutzungsmodellierern bis in die letzten Details der mathematischen Umsetzung der Ursache-Wirkungsbeziehungen hinabzusteigen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Arbeitsweise ist, dass einerseits die Kommunikation gefördert und andererseits die Modellstruktur (oberster Level) mit dem Programmcode (unterster Level) fix verbunden ist.

Die Inputdaten für MARS sind in EXCEL Dokumenten abgelegt. Die Verwendung von EXCEL für die Verwaltung und Bearbeitung der Inputdaten hat den Vorteil, dass mittlerweile davon ausgegangen werden kann, dass jeder in der Verkehrsplanung Tätige diese Software beherrscht.

In den folgenden Sektionen werden einige der Vorteile der Verwendung vom VENSIM als Modellentwicklungsumgebung näher dargestellt. Zuerst wird auf die Darstellung, Programmierung und Lesbarkeit von Programmcode mittels eines einfachen Beispiels eingegangen. Danach wird gezeigt, wie Modellteile einfach kommuniziert und wie Modellergebnisse dargestellt und in/mit anderen Softwarepaketen weiterverarbeitet werden können. Zum Schluss wird ein Beispiel gezeigt, wie man VENSIM einsetzen kann, Modelle auf empirische Zeitreihen hin zu kalibrieren.

### 3.1.1 Programmierung, Darstellung und Kommunikation

Ein einfaches Beispiel – Die Implementation eines Bankguthabens

Sie haben 100 Euro am Konto und wollen wissen wie viel Geld Sie nach 30 Jahren am Konto haben wenn sie 3,5% Zinsen per anno bekommen. In BASIC würde das folgendermaßen aussehen:

```

Dim i As Integer
Const Zinssatz = 0.035
Const timemax = 30
Dim Bankguthaben(0 To timemax), Zuwachs_pro_Jahr(0 To timemax) As Single

Sub main()
Open "TESTFILE" For Output As #1 ' Open file for output.

    Bankguthaben(0) = 100 'Anfangswert

    For i = 1 To timemax
        Zuwachs_pro_Jahr (i) = Zinssatz * Bankguthaben (i - 1)
        Bankguthaben (i) = Bankguthaben (i - 1) + Zuwachs_pro_Jahr (i)
        Print #1, i, Zuwachs_pro_Jahr (i), Bankguthaben (i)
    Next i

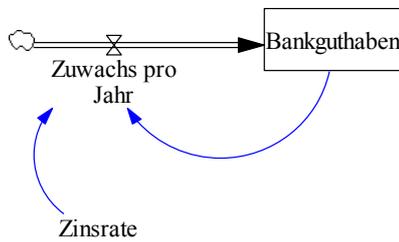
Close #1 ' Close file.
End Sub

```

Für nicht geübte Programmierer ist nicht ohne weiteres festzustellen, was der oben gelistete Code macht. Es ist daher notwendig den Code manuell in eine Graphik zu übersetzen, wenn man ihn einem Laien erklären will. In VENSIM wird hier ein alternativer Weg eingeschlagen. Anstatt Quellcode zu schreiben wird hier zuerst eine Graphik der zu untersuchenden Aufgabenstellung erstellt. Die Syntax der Graphik ist relativ einfach, es gibt rechteckige Entitäten (Stocks – wird später noch genauer erklärt), Doppelpfeile (genannt Flows) die in bzw. aus diesen Stocks zeigen, und Variablen. Diese Entitäten (Stock, Flow, Variablen) werden mit einfachen Pfeilen verbunden. Entitäten am Anfang des Pfeils beeinflussen die Entität am Ende des Pfeils. Diese Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den Entitäten und die Einteilung in drei

verschieden Typen (Stock, Flow, Variable) reicht aus um komplexe Sachverhalte dynamischer Systeme qualitativ zu beschreiben.

a) Die graphische Eingabe in Vensim



b) Der automatisch generierte Code

```
Bankguthaben= INTEG (
    Zuwachs pro Jahr,
    100)

Zinsrate=
    0.035

Zuwachs pro Jahr=
    Bankguthaben*Zinsrate
```

Abbildung 1: Graphische Eingabe in VENSIM und der dazugehörige automatisch generierte Code

Die graphische Darstellung erleichtert dem Programmierer und dem Leser des Modells intuitiv festzustellen was das „Programm“ macht

Für den interessierten Laien sind die Zusammenhänge in der Graphik dargestellt. Das Bankguthaben wird als rechteckige Box dargestellt und zeigt an, dass sich etwas über die Zeit ansammelt (in der Sprache von System Dynamics (SD) handelt es sich um einen Stock). Der Zuwachs\_pro\_Jahr ist in der SD-Sprachweise ein Flow, die Zinsrate eine Konstante. Die Pfeile zeigen an, dass der Zuwachs\_pro\_Jahr vom Bankguthaben und der Zinsrate abhängt. Für das prinzipielle Systemverständnis reicht diese Darstellung.

Der Code (dargestellt in der linken Seite der Tabelle in Abbildung 1) wird dabei automatisch generiert und ist auch ohne spezielle Programmierausbildung lesbar. Im Code sind die Konstanten und die Funktionen explizit dargestellt. Diese Darstellung ist für Modellierer wichtig.

Das MARS-Modell ist natürlich etwas komplexer, exemplarisch stelle ich in diesem Papier dar wie in MARS das Teilmodell der Flächennutzung implementiert wurde.

Die folgende Graphik ist direkt aus dem MARS-Modell entnommen:

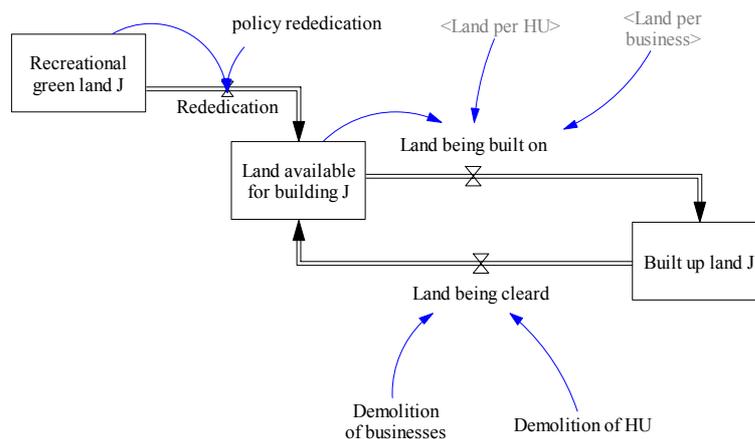


Abbildung 2: Flächennutzungsmodell implementiert in MARS

Man erkennt hier 3 Stocks. Der Stock Recreational green land J enthält die Fläche welche für Erholung im Bezirk J gewidmet ist. Über die Variable policy rededication kann gesteuert werden ob zusätzliche Fläche für Bauland (Stock Land available for building J) gewidmet wird oder nicht. Dieser Stock repräsentiert die verfügbare Fläche für Neubau.

In Abhängigkeit von einer exogenen Nachfrage (nicht dargestellt in der Graphik), der Flächenverfügbarkeit (ausgedrückt durch den Pfeil von Land available for building J nach Land being built on), des Flächenbedarf je Haus (Land per HU (housing unit)) und des Flächenbedarfs je Gewerbebetriebs (Land per businesses) werden diese Flächen verbaut (dargestellt mit dem Flow Land being built on).

Im Stock Built up land J wird festgehalten wie viel Fläche in Bezirk J bebaut ist. Wie man erkennen kann werden im Laufe der Zeit wieder Flächen frei (durch Abriss bzw. Änderungen in der Nutzung – dargestellt durch die Entitäten Demolition of businesses und Demolition of HU und sind so wieder frei für neue Nutzungen (Flow Land being cleared) und werden wieder den Stock Land available for building J zugeführt. Der Kreislauf ist geschlossen. Die Stocks Recreational green land J, Land available for building J und Built up land J ergeben zusammen die Gesamtfläche des Bezirks.

Wie unschwer zu erkennen ist, bietet die graphische Darstellung des oben beschriebenen Sachverhalts einen enormen Vorteil bei der Kommunikation der im Modell berücksichtigten Sachverhalte.

Die Graphik zeigt wie die einzelnen Stocks zusammenhängen, was die Bebauung beeinflusst und wie sich die einzelnen Stocks über die Zeit entwickeln. Gleichzeitig wird ein Großteil der Komplexität versteckt, da die dargestellten Zusammenhänge simultan für alle Bezirke im Modell gerechnet werden.

Durch einfaches Anklicken auf ein beliebiges Element kann die dahinter stehende Formel angezeigt werden – hier gezeigt am Beispiel Built up land J:

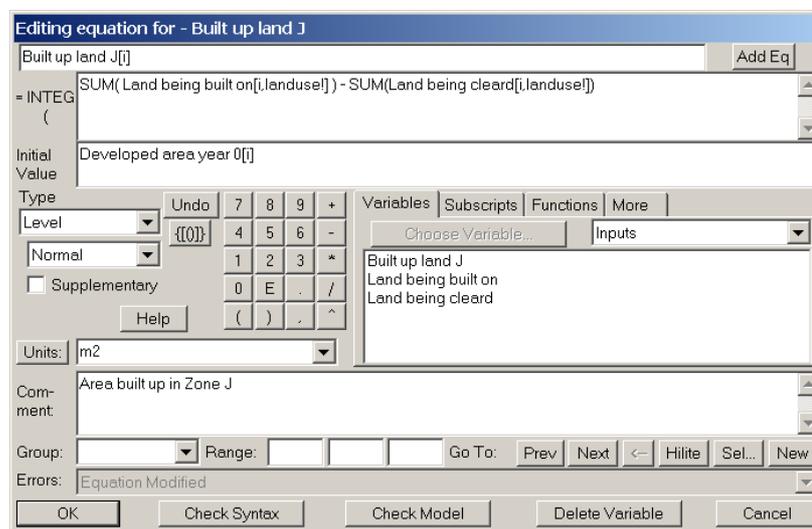


Abbildung 3: VENSIM Formeleditor

Die Formel zeigt, dass das bebaute Land zum Zeitpunkt t aus dem Bestand zum Zeitpunkt t-1 und der Differenz aus Zufluss (neu bebaute Fläche) zum Zeitpunkt t minus dem Abfluss (frei werdenden Flächen) zum Zeitpunkt t zusammensetzt. Betrachtet man die Formel genauer, so sieht man, dass zwei Subskripts verwendet worden sind, einerseits i (stellt die Bezirksnummer dar) und landuse (stellt die Flächennutzung getrennt für Wohnen und Gewerbe dar).

Zusätzlich zur einfachen Formeleingabe bietet der VENSIM-Formeleditor die Möglichkeit die Einheiten (Units) des Stocks zu definieren. Dieses Feature kann auch dazu genutzt werden zu kontrollieren, ob Einheiten-Konflikte zwischen den einzelnen Inputparametern aufgetreten sind oder nicht. Zusätzlich ermöglicht der Editor auch die Eingabe eines Kommentars der die Verständlichkeit der Formel unterstützt.

### 3.1.2 Datendarstellung und Analyse

Ein weiterer Vorteil der VENSIM Programmierumgebung ist, dass alle Werte aller im Modell existierenden Variablen entweder in Listenform oder als Graphik durch einfaches Anklicken sofort angesehen werden können. Natürlich können diese Informationen entweder direkt via copy&paste oder indirekt über eine File-Export-Funktion in andere Computeranwendungen (z.B. EXCEL, AniMap - siehe Kapitel 3) zur weiteren Verarbeitung exportiert werden.

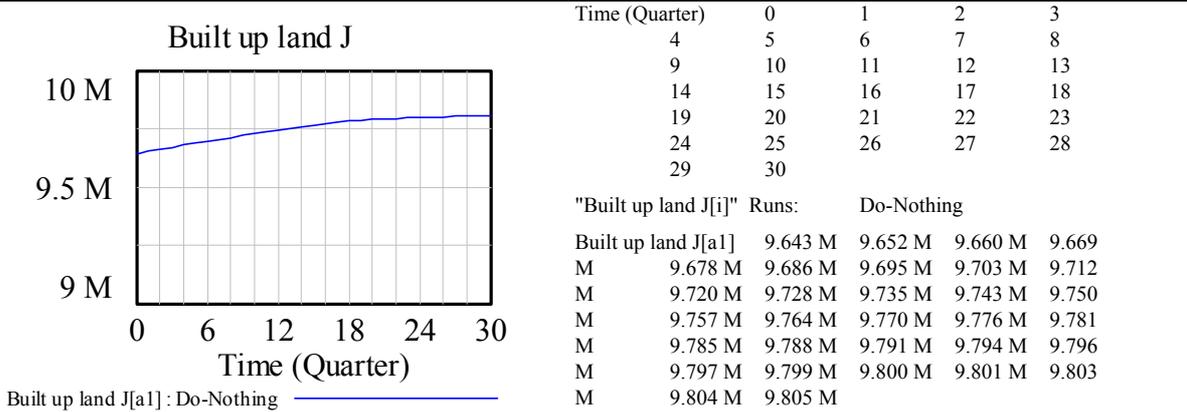


Abbildung 4: Darstellung der Ergebnisse, entweder als Graph oder Tabelle

### 3.1.3 Modellkalibrierung auf empirische Zeitreihen

Neben diesen oben genannten Vorteilen der Verwendung der VENSIM Programmierumgebung finden sich noch eine Reihe weiterer nützlicher Features, die den Modellierer von komplexen Systemen wirkungsvoll von Nebensächlichkeiten entlasten.

Dazu zählt zum Beispiel die Möglichkeit das Modell auf empirisch erhobenen Zeitreihen hin zu kalibrieren. Hierbei erstellt der Modellierer ein Modell, dass die erwartete zeitliche Entwicklung einer Variablen zuerst näherungsweise abbildet. Diese zeitliche Entwicklung kann entweder einen exponentiellen Wachstumsverlauf, einer Oszillation, oder ähnlichem entsprechen. Sobald das Modell dieses generelle Verhaltensmuster zeigt, kann eine Kalibrierungsroutine eingesetzt werden, die jene Parameterkombination ermittelt, welche im Vergleich mit einer empirischen Zeitreihe die geringste Abweichung liefert. Natürlich müssen die gefundenen Werte zusätzlich noch einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden.

Beispiel - Kalibrierung des Modells am Beispiel des Bevölkerungsmodells:

Die folgende Abbildung 5 stellt ein einfaches Kohortenmodell dar:

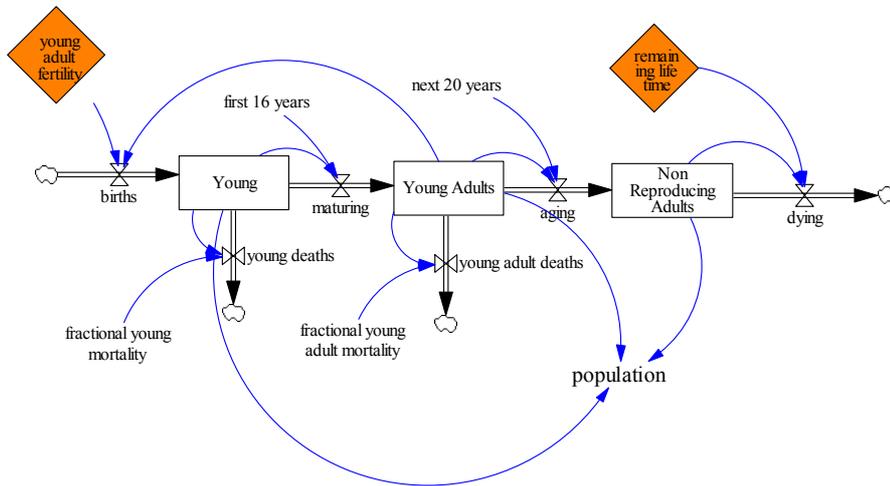


Abbildung 5: Kohortenmodell der Bevölkerungsentwicklung

Die Bevölkerung wird in 3 verschiedene Altersgruppen eingeteilt. Kinder (dargestellt durch den Stock mit dem Namen Young), Personen mittleren Alters (Stock Young\_adults) und Personen die keine Kinder mehr bekommen können (Stock Non\_Reproducing\_Adults). Durch Geburten (births), welche von der Geburtenrate (young adult fertility) und der Anzahl der Personen in der Gruppe Young\_Adults abhängen, werden Kinder geboren und im Stock Young „zwischengelagert“. Nachdem sie dort 16 Jahre lang waren, kommen diese Youngs in die Gruppe der Young\_Adults wo sie 20 Jahre verbleiben und das Reservoir der potentiellen Eltern bilden. Nach 20 Jahren wechseln die Young\_Adults in die Gruppe der

Non\_Reproducing\_Adults und verbleiben dort bis sie sterben. Das Modell wird noch ergänzt um Personen die früher sterben (Flow young\_deaths und young\_adult\_deaths).

Das Modell stellt ein einfaches, allgemein anerkanntes Kohortenmodell dar und liefert ein zufrieden stellendes Verhalten über die Zeit, jedoch entsprechen die berechneten Werte noch nicht den empirischen Werten (Abbildung 6).

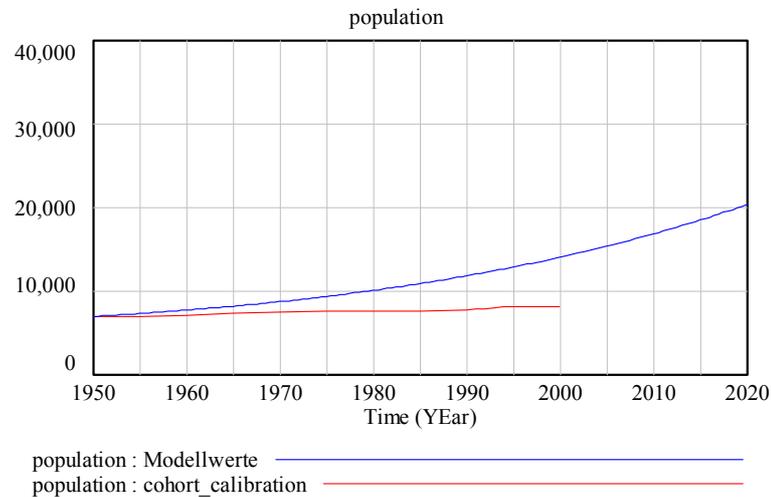


Abbildung 6: Vergleich der empirischen Werte mit den Modellwerten

Die untere (rote) Linie stellt die empirischen Werte für die Bevölkerungsentwicklung dar. Die obere (blaue) Linie stellt die vom Modell berechneten Werte für die Bevölkerung dar. Wie man sieht, überschätzt das Modell die Bevölkerungsentwicklung. Um nun das Modell auf die empirischen Werte hin zu kalibrieren bietet VENSIM eine Prozedur an geeignete Inputparameter abzuleiten. In diesem Beispiel wurde festgelegt, dass die Parameter `young_adult_fertility` und `remaining_life_time` variiert werden können<sup>23</sup>. Diese beiden Parameter sind in Abbildung 5 durch die orangen, um 90 Grad gedrehten Quadrate gekennzeichnet.

Für dieses Beispiel wurde festgelegt, dass sich diese Parameter in folgenden Wertebereichen beliebig bewegen dürfen:

$$0.01 \leq \text{young\_adult\_fertility} \leq 0.3$$

$$30 \leq \text{remaining\_lifetime} \leq 80$$

Danach startet man die Kalibrierungsprozedur und erhält folgenden Output von VENSIM.  
Initial point of search

```

remaining lifetime = 50
young adult fertility = 0.1
Simulations = 1
Pass = 0
Payoff = -2.86711e+008
-----
Maximum payoff found at:
remaining lifetime = 55.5516
*young adult fertility = 0.0625945
Simulations = 205
Pass = 3
Payoff = -100388
-----
The final payoff is -100388

```

Nach 205 Iterationen hat das Programm jene Lösung gefunden, welche am Besten geeignet ist, die empirischen Werte vorherzusagen. Graphisch erhält man folgendes Ergebnis:

<sup>23</sup> Welche Parameter in welchem Wertebereich variiert werden können, muss vom Modellierer festgelegt werden. Hierzu benötigt man natürlich das Fachwissen und die nötige Erfahrung im Modellbau.

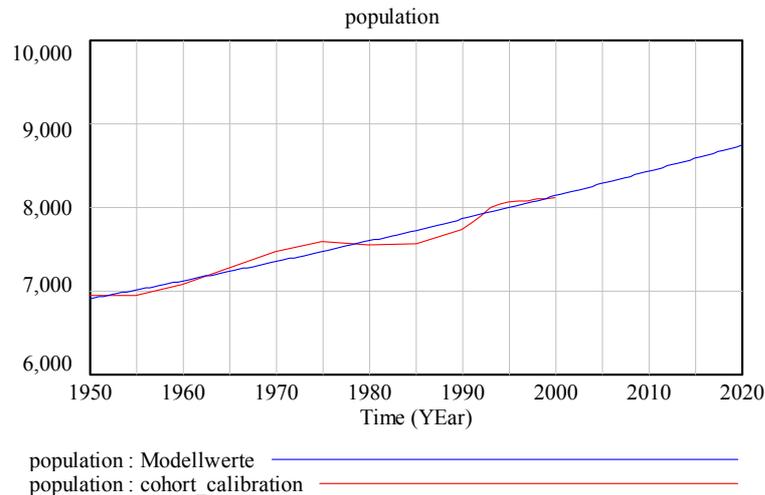


Abbildung 7: Vergleich Bevölkerungsentwicklung empirische Werte versus Modellwerte

Wie man sieht, liefert das Modell nun Werte, die sehr nahe an den Werten der Realität liegen. Vorausgesetzt, dass die oben in Abbildung 5 definierte Modellstruktur der Realität entspricht, kann man davon ausgehen, dass das Modell die Bevölkerungsentwicklung auch für Jahre nach 2000 (wo keine empirischen Daten mehr existieren) richtig vorhersagen kann. Natürlich kann dieser Algorithmus auch für viel komplexere Kalibrierungsaufgaben verwendet werden. Ziel hier war es einfach einige der Features der Programmierumgebung VENSIM vorzustellen und zu zeigen wie diese beim Entwurf und Implementierung von MARS eingesetzt wurden.

#### 4 ANIMAP

AniMap entstand ursprünglich als Spin-Off der Forschungs- und Lehrtätigkeit am Fachbereich für Stadt- und Regionalforschung der TU-Wien [Kalasek et al. 2002; Riedl 2005] in dem Möglichkeiten zur animierten Darstellung räumlich-zeitlicher Information mit Hilfe von Open-Source Software und offener Standards untersucht wurden [Hocevar et al. 2004]. In seiner ursprünglichen Architektur war AniMap als klassische Client-Server Web-Applikation konzipiert, bestehend aus einem DHTML-Frontend mit eingebetteten SVG-Vektorgraphiken [W3C 2003] und einem Backend zum Einpflegen von Daten und Visualisierungsoptionen in die Datenbank auf einem Server mit PHP und MySQL. Die Möglichkeiten zur kartographischen Präsentation und Animation umfassten Farbflächen, in die Karte gesetzte Balkendiagramme oder Größenpunkte.

##### 4.1 Anforderungen von MARS-Seite

Zur Einpassung von AniMap in die Modellsuite MARS wurden folgende Punkte diskutiert und umgesetzt:

- Kein WebServer

Die raum-zeitliche Visualisierung von MARS-Modellergebnissen mit AniMap soll auch in Umgebungen ohne funktionierender Internetanbindung und/oder ohne verfügbaren (lokalen) Web-Server möglich sein (z.B. Präsentation mit einem Notebook-Computer).

Die gewählte Vorgangsweise vermeidet damit sogleich Aufwände zur Administration eines Web-Servers und einer dahinter stehenden Datenbank. Die Parametrisierung der Anwendung erfolgt hier über eine spezielle ArcView3-Extension und über Javascript-Dateien.

- Mehrere Karten gleichzeitig animieren

Das synchrone Ablaufen mehrerer animierter Karten ermöglicht den direkten Vergleich der Entwicklung mehrerer Modellvariablen parallel in einem Fenster.

- Szenarienvergleich

Zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener MARS-Modellparameterwerte und -bündel auf die Simulationsergebnisse wurde ein Modus zum automatischen Vergleich von Modellvariablen zwischen verschiedenen Modellszenarien geschaffen.

#### 4.1.1 Einbettung in MARS

Die Anbindung an MARS erfolgt in einem ersten Schritt mittels loser Koppelung. Ein in VBScript geschriebenes Konvertierungsprogramm übersetzt von VENSIM erzeugte Ausgabedateien in Javascript-Befehle, welche von AniMap interpretiert werden.

### 4.2 Funktionalität von AniMap/MARS

#### 4.2.1 Zeitschaltung und Zoom

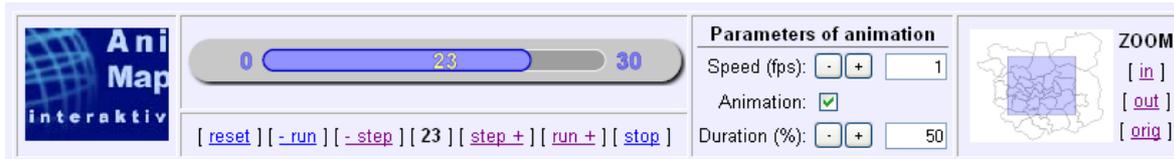


Abbildung 8: Animationsfortgang, Animationsparameter und Zoomwerkzeug

Die Benutzerinteraktion zur Zeitschaltung wurde gegenüber der Ursprungsversion ausgebaut. Nunmehr ist es möglich neben einem Mausklick auf die HTML-Steuererelemente im linken oberen Bereich des AniMap-Fensters (s. Abbildung 8 oben) die Animation auch über die Pfeiltasten der Tastatur zu steuern. Die Steuerung der Animationsgeschwindigkeit erfolgt ebenfalls wahlweise über HTML-Steuererelemente (s.o.) oder die Tastatur (+/- Tasten). Ob eine Karte überhaupt gleichförmig animiert wird – oder alternativ dazu sprunghafte Zeitübergänge stattfinden – legt der Benutzer über eine Checkbox fest.

Weiters bewirkt ein Mausklick in eine Zeile des Attributinfo-Bereiches (s. Abbildung 9 rechts) die Anzeige des entsprechenden Jahres für alle dargestellten Karten gleichzeitig.

Die Wahl des dargestellten Kartenausschnitts wird über ein einfaches Zoom-Fenster bewerkstelligt. Ein Mausklick legt den neuen Kartenmittelpunkt fest.

#### 4.2.2 Animierte Einzelkarten (Modus VIEW)

Im VIEW-Modus werden bis zu 3 Variablen (Karten) gleichzeitig dargestellt. Die Animation erfolgt genauso wie ein etwaiges Zoomen in allen Karten synchron. Die Festlegung der Kartenanordnung auf dem Bildschirm erfolgt im Layout-Modus und ist wahlweise nebeneinander, untereinander und übers Eck (für die erste Option siehe die Abbildung 9., für die letzte Abbildung 10 Szenarienvergleich weiter hinten im Text).

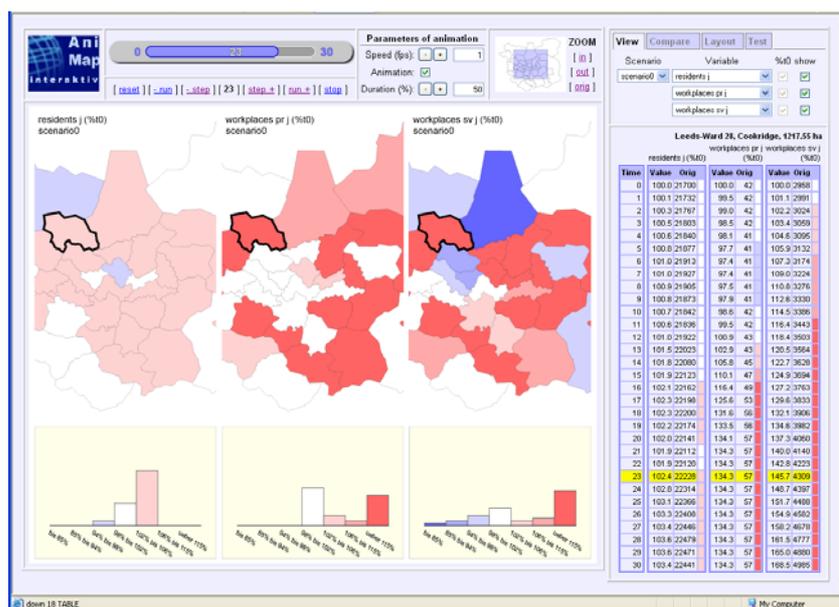


Abbildung 9: AniMap im VIEW-Modus mit 3 Karten

Die Stabdiagramme zur Visualisierung der Häufigkeitsverteilung in der Legende werden synchron zu den Karten animiert. Die Attributinfo-Anzeige im rechten Bereich des Fensters erfolgt über Mausklick auf ein Polygon in eine Karte. Die Zeile des aktuellen Jahres im Animationsverlauf wird dabei mit gelber Hintergrundfarbe hervorgehoben. In einer zusätzlichen Spalte ist der über die Legende (farb)klassifizierte Verlauf der dargestellten Variable über die Jahre erkennbar.

Eine Bemerkung zur kartographischen Visualisierung: Da im Rahmen von AniMap/MARS nur animierte Choropletenkarten eingesetzt werden, dürfen Variablen mit absoluten Wertausprägungen (wie z.B. Bevölkerungszahlen, Anzahl an Arbeitsplätzen, etc.) nicht direkt in die Flächenfarbe umgelegt werden (siehe dazu einschlägige Lehrbücher wie z.B. [Dickinson 1973], p. 51ff). Solche Variablen müssen zuerst anhand eines zweiten absoluten Merkmals normalisiert werden. Oft wird dazu das Merkmal Fläche herangezogen und so z.B die Bevölkerungszahl auf einen Dichtewert (pro ha) umgerechnet.

Experimente zeigten jedoch, dass durch diese Transformation (und auch ähnliche, wie z.B. pro Kopf) sich die numerischen Werte über die Zeit hinweg nur relativ marginal verändern und dadurch Veränderungen nur relativ schlecht bis gar nicht perceptiv erfassbar sind. In AniMap wurde daher hier der Weg einer Indexberechnung eingeschlagen. Dabei wird ein (absolutes) Merkmal anhand seines Ursprungszustand (zum Zeitpunkt t=0) relativiert und in Prozent angezeigt (i.e. die Option „%t0“). Die farbliche Klasseneinteilung weist Werte über 100% in dunkler werdenden Rottönen (i.e. Zunahmen) und unter 100% in entsprechenden Blautönen aus (i.e. Abnahmen). Im Attributinfo-Bereich wird sowohl dieser Indexwert in % (Spalte „Value“) als auch der Ursprungswert (Spalte „Orig“) angezeigt.

#### 4.2.3 Szenarienvergleich (Modus COMPARE)

Dieser Modus wird über die Auswahl des entsprechenden Registerblattes rechts oben im AniMap-Fenster angesprochen und bietet einen Vergleich verschiedener Simulationsläufe eines VENSIM-Modells.

Die Ergebnisse eines Simulationslaufes werden in einer sog. Szenariendatei abgelegt und einzelne Variablen daraus können über Szenarien hinweg mit einander verglichen werden. Die Berchnung der Differenz erfolgt automatisch und wird gemeinsam mit den Originaldaten der beteiligten Szenarien kartographisch angezeigt.

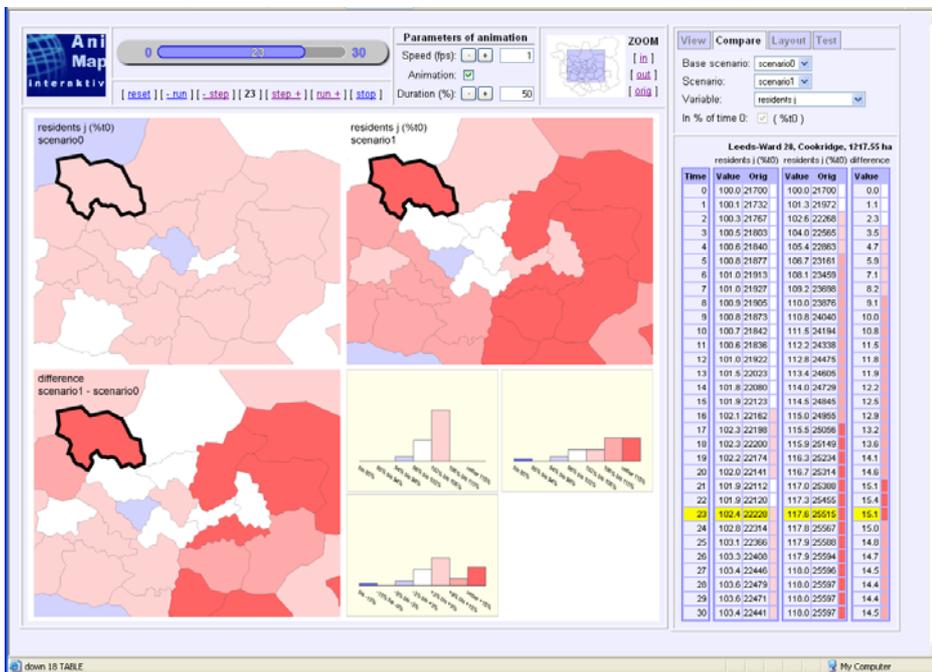


Abbildung 10: AniMap im COMPARE-Modus (Szenarienvergleich)

(links oben: Residents Szenario0, rechts oben: Residents Szenario1, links unten: Differenz Szenario1-Szenario0)

#### 4.3 Ausblick

Aktuell sind in AniMap/MARS Animationen von Datenzeitreihen mit flächenhaften Bezug implementiert. Nach einer angemessenen Test- und Bewährungsphase ist in einem nächsten Ausbauschritt daran gedacht, auch linien- und punktförmige Information animiert darzustellen. Dies eröffnet beispielsweise Möglichkeiten zur Darstellung von Netzausbaumaßnahmen öffentlicher Verkehrsmittel, Radwegen oder Bahnhöfen in ihrer

zeitlichen Abfolge. Als größte Herausforderung wird sich dabei vermutlich herausstellen, diese dann vielschichtig und synchron ablaufenden Animationsvorgänge mit dem kognitiven Erfassungsvermögen des menschlichen Betrachters in Einklang zu bringen.

Eine engere Koppelung zwischen AniMap und MARS wird – die technische Machbarkeit mit angemessenem Aufwand vorausgesetzt – angestrebt.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Papier wurden einige Konzepte und Features der Programmierumgebung VENSIM dargestellt. Obwohl VENSIM sehr gut geeignet ist zeitliche Abfolgen zu modellieren und darzustellen sind die räumlichen Darstellung über die Zeit nicht ausreichend. Aus diesem Grund wurde das Modell MARS um das Softwaremodul AniMap erweitert.

Ziel des Papiers ist es die zugrunde liegenden Ideen einer dynamischen Modellierung dem Leser anhand des integrierten Flächennutzungsmodells MARS näher zubringen. Das komplexe Zusammenspiel von Raumnutzung und Verkehr, von Raumplanung und Verkehrsplanung und deren Darstellung in Zeit und Raum benötigt adäquate Methoden. Eine dieser Methoden ist System Dynamics und die darauf aufbauenden Programmierumgebung VENSIM. Viele Problemstellungen, wie räumliche und zeitliche Entwicklungen, Rückkoppelungen zwischen Verkehrssystem und Raumnutzungssystem sind nur mit dieser Methode zielführend zu modellieren. Dem gegenüber sind Gleichgewichtsmodelle nur bedingt geeignet, da die raumzeitliche Entwicklung komplett ausgeklammert wird.

Im System Dynamics Ansatz ist gerade das der interessante Punkt; wie geht ein System von einem Status in einem anderen über? Kann ein (dynamischer) Gleichgewichtszustand erreicht werden? Findet Konzentration oder Zersiedelung statt? Was sind die treibenden Größen? Wo sind Hebelpunkte um zielorientiert in das System eingreifen zu können? Was ist die Eigengeschwindigkeit bzw. die Trägheit des Systems?

All diese Fragen können zumindest ansatzweise mit SD und MARS in Kombination mit AniMap simuliert, visualisiert und wissenschaftlich analysiert werden.

## 6 LITERATUR

- Dickinson, G. C. (1973). "Statistical mapping and the presentation of statistics." Edward Arnold Ltd., London 1973
- Emberger, G., and Brunsch, S. "Urban Planning in European Research - The Land Use and Transport Research Cluster." CORP 2002 - Computergestützte Raumplanung, Vienna
- Hocevar, A., Lunak, D., and Riedl, L. "Darstellung von Zeitreihen räumlicher Daten mittels WebMapping." Schrenk M. (Hrsg.): Beiträge zum Symposium CORP2004, Wien
- Kalasek, R., Riedl, L., and KRAMER, K. (2002). "FIS – the Special Information System of the Vienna Municipal Department for Environmental Protection. A Flexible Internet-based System for Environmental Data." Pillmann W., Tochtermann K.
- Knoflacher, H., and Pfaffenbichler, P. C. (1999). "BENEFICIAL - Economic Benefits of an Efficient Institutional Co-ordination between Transport and Landuse policy, Illustrated on Austrian Level, Forschungsprojekt im Rahmen der EU-COST-Aktion 332."
- Pfaffenbichler, P. C. (2003). "The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator)," Technische Universität Wien, Vienna.  
[http://www.ivv.tuwien.ac.at/publications/online/MARS\\_smallest\\_size.pdf](http://www.ivv.tuwien.ac.at/publications/online/MARS_smallest_size.pdf)
- Pfaffenbichler, P. C., and Emberger, G. "Ein strategisches Flächennutzungs-/Verkehrsmodell als Werkzeug raumrelevanter Planungen." CORP 2001: Computergestützte Raumplanung, Vienna, 195-200
- Pfaffenbichler, P. C., and Emberger, G. "Are European cities becoming similar?" CORP2003, 8. internationales Symposium zur Rolle der IT in der und für die Planung sowie zu den Wechselwirkungen zwischen realem und virtuellem Raum, Vienna, 243-250.  
[www.corp.at/archiv.htm](http://www.corp.at/archiv.htm)
- Pfaffenbichler, P. C., and Emberger, G. "Die Bewertung der Nachhaltigkeit innovativer städtebaulicher Maßnahmen mit dem Simulationsmodell MARS." CORP 2004 - Computergestützte Raumplanung, in: "Beiträge zum 9. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der Stadt- und Raumplanung sowie zu den Wechselwirkungen zwischen realem und virtuellem Raum", Vienna, 689 - 694
- Riedl, L. (2005). "Räumliches Informationsmanagement und Applikationsentwicklung, Online-Unterlagen zur Lehrveranstaltung, <http://www.srf.tuwien.ac.at/lva/imak/> [2007-03-11]."
- W3C. (2003). "Scalable Vector Graphics (SVG) inkl. Link zur Spezifikation (Recommendation) von SVG 1.1 , <http://www.w3c.org/Graphics/SVG/> [2007-03-13]."
- Walther, K. (1991). Maßnahmenreagibler Modal-Split für den städtischen Personenverkehr - Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung, Aachen
- Walther, K., Oetting, A., and Vallée, D. (1997). Simultane Modellstruktur für die Personenverkehrsplanung auf der Basis eines neuen Verkehrswiderstands, Aachen