

Das Stadtmodell MOBIDYN

Ein systemdynamisches, verhaltensgesteuertes Simulationsmodell der Raum-, Mobilitäts- und Verkehrsentwicklung in Stadtregionen

Johann FIBY & Robert KORAB

(Dipl.-Ing. Johann FIBY, Ingenieurbüro Rosinak, Schloßgasse 11, A-1050 Wien; e-mail: fiby@rosinak.co.at

Robert KORAB, Österreichisches Ökologie-Institut für angewandte Umweltforschung, Seidengasse 13/7; e-mail: oekoinst@sun1.alpin.or.at)

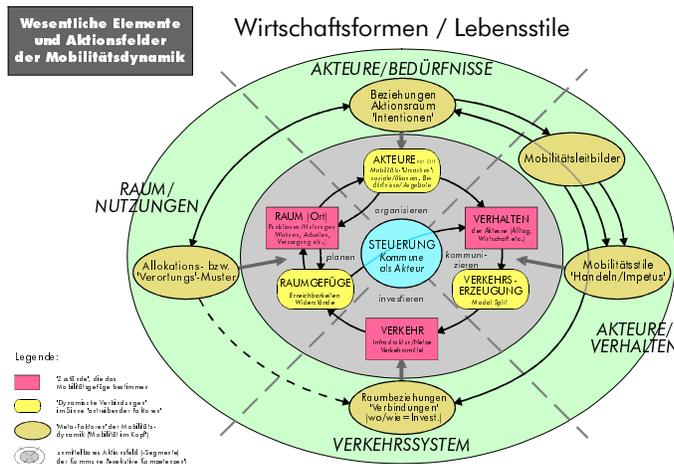
Im Rahmen des BMFT-Forschungsprojekts: 'Stadtverträgliche Mobilität - Handlungsstrategien für eine ökologisch und sozial verträgliche, ökonomisch effiziente Verkehrsentwicklung in Stadtregionen' wird in Subprojekt 2 der Themenbereich 'Mobilität und Stadtstruktur' untersucht. Zu diesem Zweck wurde auf Basis von planungspraktischen Vorgaben (Stadtentwicklungspläne, Flächennutzung, Soziodemografie, Wirtschaftsstruktur), von Verkehrsverhaltensuntersuchungen (Subprojekt 1 des Forschungsverbunds) und von modelltheoretischen Überlegungen (Stadtmodelle, Verkehrssimulation) das EDV-gestützte Stadtmodell **MOBIDYN** entwickelt. Die nun vorliegende Erstversion des Modells wurde im speziellen auf die Verhältnisse der beiden Modellkommunen Freiburg/Breisgau und Schwerin angepaßt und enthält auch Verkehrsmodelle für die beiden Städte. Die beiden primär als Lernmodelle und nicht als Prognosewerkzeuge entwickelten Stadtmodelle geben Einblicke in die Zusammenhänge zwischen Verkehrsverhalten, Mobilität, Verkehrs-, Siedlungs- und Raumnutzungsentwicklung und ermöglichen die Simulation von Folgewirkungen verschiedener kommunalpolitischer Interventionen für Freiburg und Schwerin.

1. MODELLHINTERGRUND

MOBIDYN ist als heuristisches, praxisnahes Lernmodell konzipiert, das

1. auf 'intuitive' Art und Weise Einblicke in die komplexen Zusammenhänge zwischen räumlichen Strukturen (Wohnbau, Versorgungs- und Infrastruktureinrichtungen, Betriebe, Flächenreserven), Mobilitätsverhalten der Akteure (Privatpersonen, Betriebe) und Verkehrsentwicklung gibt;
1. in seinen Grobstrukturen gut durchschaubar und für den/die AnwenderIn aus den Kommunen leicht bedienbar ist, aussagekräftige und leicht einstellbare Simulationsparameter enthält, und einen guten grafischen Output liefert;
1. modular aufgebaut ist, sodaß zukünftige Veränderungen am Modell (Aktualisierung der Basisdaten, Modellierung weiterer Problemstellungen) von Fachleuten aus den Kommunen eigenständig und mit vertretbarem Aufwand vorgenommen werden können. Der modulare Aufbau hat es auch ermöglicht, daß beispielsweise die soziodemografische Auswertung der Mobilitätsstile aus Subprojekt 1 unmittelbar in die Simulation übernommen werden konnte, sodaß erstmals eine hervorragende und verfeinerte Datenbasis für ein Verkehrsmodell zur Verfügung stand.
1. auch mit unvollständigen Daten Ergebnisse liefert (z.B. fehlende bzw. räumlich ungenügend aufgelöste Beschäftigendaten in Schwerin).

Abb. 1:



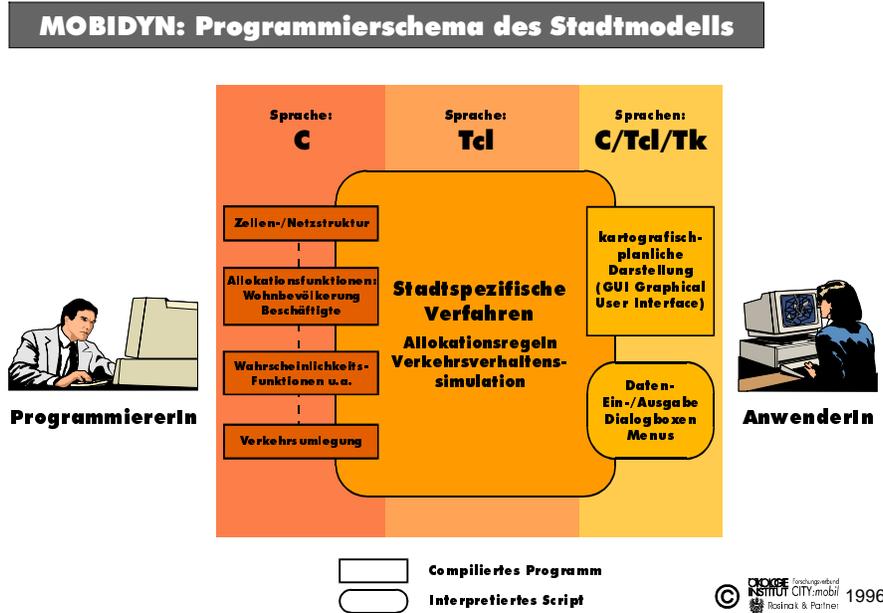
Die theoretischen Hintergrundüberlegungen zur Konzeptualisierung und Darstellung der Mobilitätsdynamik in Stadtregionen ('Wesentliche Elemente und Aktionsfelder der Mobilitätsdynamik'), die sowohl dem Forschungsprojekt insgesamt als auch der Modellierung zugrundeliegen, sind in der folgenden Grafik dargestellt.

2. MODELLAUFBAU

MOBIDYN ist aus Teilmodellen bzw. ‘Modulen’ aufgebaut, die unterschiedliche stadtentwicklungsrelevante Sachverhalte abbilden und in die auf unterschiedliche Weise ‘von außen’ eingegriffen werden kann: einige Module sind nur durch die Programmierer-Gruppe veränderbar, einige durch die Projektgruppe, wenige an genau definierten Schnittstellen durch die AnwenderInnen. Die einzelnen Module, die auch mit unterschiedlichen Simulationsebenen korrespondieren, stellen vom formalen Standpunkt Modell-‘Mischtypen’ dar und wurden dementsprechend auch in unterschiedlichen Sprachen programmiert.

In der nachstehenden Grafik ist das zugrundeliegende Programmierschema dargestellt.

Abb. 2:



Eine besondere Herausforderung an die Modellierung stellten die Simulation der Allokationen und die Verhaltenssimulation dar. Beispielsweise werden Allokations-Prozesse und Standort-Entscheidungen heute - neben den klassischen ‘harten’ Einflußfaktoren - in hohem Maß von raumordnerischen und gesetzlichen Vorgaben, fiskalischen Anreizen, innerbetrieblichen Überlegungen und subjektiven Präferenzen bestimmt und gehorchen nur mehr bedingt den in der klassischen Standorttheorie formulierten Gesetzmäßigkeiten (wie sie etwa mit einem Gravitations-, Potential- oder Entropieansatz simuliert werden können). Auch wenn dem Allokationsmodell bekannte, generalisierte Verfahren zugrundegelegt sind, müssen darüberhinaus spezifische Einschränkungen und Regeln festgelegt werden, die die Allokations-Prozesse in der jeweils modellierten Stadt besonders beeinflussen oder prägen. Diese Regeln können nicht allgemein für irgendeine Stadt festgelegt werden, sondern sie müssen für jede einzelne Stadt (u.U. für verschiedene Zeiten oder Szenarien unterschiedlich) bestimmt werden. Das Programm ist so aufgebaut, daß die Formulierung solcher Regeln ohne tiefe Eingriffe in die Programmstrukturen möglich ist, damit auch interessierte PlanerInnen nach einer angemessenen kurzen Einarbeitungszeit diese Regeln oder ‘Stadtspezifischen Verfahren’ nach Ihren Vorstellungen formulieren und abändern können.

3. MODELLTHEORIE: MOBIDYN ALS ‘UNITÄRES MODELL’

Modelltheoretisch gesehen werden in **MOBIDYN** systemtheoretische bzw. systemdynamische Ansätze mit aktorsorientierten Ansätzen zu einem sogenannten ‘unitären’ oder vereinheitlichenden Modell verbunden. In einem ‘unitären Modell’ werden die raum-zeitlichen Eigenschaften von Systemen in Abhängigkeit von Eigenschaften und Verhalten der sie konstituierenden Teile untersucht. Dies kann auch so interpretiert werden, daß die räumliche Systemdynamik die makroskopische Ebene des untersuchten ‘Systems’ bildet, während die Verhaltensdynamik auf der Mikroebene des Systems liegt. Dementsprechend muß es in unitären Modellen auch zwei Simulationsebenen geben: die Ebene der systemischen ‘Makro’-Simulation

räumlichen Erreichbarkeiten beeinflusst. Die Veränderung der räumlichen Erreichbarkeiten ist Antreiber für die Umverteilung der räumlichen Funktionen und der soziodemografischen Struktur, wodurch sich wiederum das Allokationspotential der einzelnen Standorte verändert. Die Veränderung der Stellgrößen der Allokationspotentiale resultiert aus Flächenkonsum, Bevölkerungsanstieg und Arbeitsplatzwachstum in den Wirtschaftsabteilungen der einzelnen räumlichen Einheiten, wobei die Veränderung der Wirtschaftsstruktur zugleich Indikator für Arbeitsmöglichkeit, Versorgungsqualität und generelle Standortattraktivität ('Zentralitätsfaktor') ist. Der neue Ausgangszustand des Systems (Verteilung der Raumfunktionen und Belastung der Netze) stellt seinerseits die Randbedingung für die Verkehrserzeugung und die Verkehrsmittelwahl im nächstfolgenden Simulationsschritt dar. Der Simulationszyklus ist in der folgenden Grafik dargestellt und auf das theoretische Mobilitätsdynamik-Schema bezogen.

Das Zusammenwirken systemischer und akteursbezogener Elemente kann so aufgefaßt werden, daß das Verhalten der einzelnen Akteure ein selbstorganisierender Prozeß ist, in dem die makroskopischen Systemeigenschaften zwar als Randbedingungen eingehen, aber nicht als primäre Verhaltensdeterminanten auftreten. Individuelles Verhalten wirkt auf die raum-zeitlichen Eigenschaften und Beziehungen im System, zugleich wirken ebendiese makroskopischen Systemeigenschaften auf der anderen Seite als Randbedingungen, innerhalb derer sich individuelles Verhalten realisieren kann. Dabei können sowohl positive als auch negative Rückkopplungen auftreten: die Änderung von räumlichen Erreichbarkeiten aufgrund von Belastungen der Verkehrsnetze kann auf der systemischen Ebene den Ausbau des Verkehrssystems erzwingen, sie kann aber auch verhaltensändernd wirken und kompensatorische Wirkung haben. Dies deutet auch schon an, daß vor allem die Auswertung der Simulationsergebnisse im Hinblick auf die 'Transaktionsprozesse' zwischen Systemebene und Akteursebene interessant sein wird, mithin die Frage, in welcher Weise Interventionen auf System- und Akteursebene wirken und welches die erfolversprechendsten, auf beiden Ebenen zugleich ansetzenden, kombinierten Strategien bzw. Maßnahmenbündel sind, mit denen die städtische Mobilität nachhaltig beeinflusst werden kann. Ein sich daraus ergebendes Optimierungsproblem ist etwa die Fragestellung, welche flankierenden Maßnahmen im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und Bewußtseinsbildung ('Software' bzw. 'soft policies') gesetzt werden müssen, um Änderungen im Verkehrssystem ('Hardware' bzw. Infrastrukturpolitik) überhaupt zur Wirkung zu bringen bzw. solche Änderungen in die gewünschte Richtung wirksam werden zu lassen.

4. EIGENSCHAFTSMERKMALE VON MOBIDYN

MOBIDYN operiert in einem begrenzten Bezugsraum und beschreibt ein geschlossenes System diskreter Raumzellen in diskreten Zeitschritten, mit speziellen Randwertfunktionen. Die vom Modell durchlaufenen Zustände stellen partielle, temporäre Gleichgewichtszustände dar. Die Modellierung der Algorithmen erfolgt z.T. kausal-deterministisch, z.T. statistisch-empirisch und z.T. stochastisch. Es gibt generalisierte Elemente (z.B. durchschnittlicher Flächenbedarf je Beschäftigtem/r nach Wirtschaftsabteilungen, Steigerung der ÖV-Attraktivität infolge allgemeiner Infrastrukturverbesserungen) und räumlich-lokale Elemente (z.B. bebaubare Flächen, Zentralitätsindikatoren, Wohnwert und Grünausstattung, Verkehrsinfrastruktur). Von außerhalb des Bezugsraums wirkende generalisierte Elemente werden exogen vorgegeben, sind aber variierbar (z.B. bestimmte Faktoren, die das allgemeine Verhalten von Wirtschaftssektoren beschreiben) und können etwa im Regel-Set 'Allokationsregeln' von der Projektgruppe oder der Programmierergruppe verändert werden. Darüberhinaus gibt es auch räumlich selektiv wirkende Stellgrößen (z.B. road pricing an Bundesstraßen, Parkdruck in Teilgebieten der Kernstadt, Tempo 30 in innerstädtischen Wohngebieten).

Bei der Modellierung wird auf eine aufwendige Kalibrierung bzw. Eichung verzichtet. Dies ist insofern vertretbar, als das Modell nicht als Prognose-, sondern als Lernmodell konzipiert ist und die Simulation der Systemdynamik vorrangig ist vor der exakten Simulation zukünftiger Systemzustände. Unserer Meinung nach sind komplexe Stadtmodelle, die wie **MOBIDYN** mit einem Prognosehorizont von fünfzehn und mehr Jahren arbeiten, ohnehin mit derartigen Unwägbarkeiten realer Entwicklungen konfrontiert, daß aufwendige Kalibrierungen nur eine nicht einlösbare Scheingenauigkeit suggerieren. Allerdings wurde die in **MOBIDYN** enthaltene Verkehrsumlegung selbstverständlich auf den verkehrlichen IST-Zustand in den beiden Modellkommunen abgeglichen.

Der Ausgangs- oder Referenzzustand des Stadtmodells ist ein definierter IST-Zustand, der mit der realen Entwicklung der Kommunen aus der Vorperiode abgestimmt wird. Auf Basis dieses Zustands wird die zukünftige Systemdynamik modelliert. Eine Testung des Modells findet insofern statt, als in den Folgeschritten iterativ geprüft wird, ob das Systemverhalten rational und stabil bleibt. Um das Systemverhalten zu stabilisieren, ist außerdem die Angabe von sinnvollen Schwellwerten erforderlich. Beispielsweise sind die bebaubaren Flächen zum einen aus physischen Gründen begrenzt, zum anderen aber auch deshalb, weil angenommen werden muß, daß realpolitisch ein gewisses Ausmaß an Frei- und Grünflächen zu erhalten ist. Es werden also Regeln und Schwellwerte angegeben, die verhindern, daß das System 'überläuft' und irrationale, wenngleich physisch mögliche Systemzustände eingenommen werden (im vorgehenden Beispiel etwa: 100 %-ige Bebauung oder übermäßige Allokation von Gewerbeflächen in einer bestimmten Raumeinheit).

Die räumliche Aussagegenauigkeit und die 'Tiefenschärfe' der Teilmodelle ist unterschiedlich, dh. die Teilmodelle können aufgrund des modularen Aufbaus quantitativ unterschiedlich 'genau' sein. Auch die Attribute der einzelnen Raumzellen, die mit den Verkehrszellen des Verkehrs-Teilmodells übereinstimmen, sind unterschiedlich genau beschrieben: die Zelleigenschaften bzw. auch die generellen Parameter werden für die Kernstadt (das eigentliche Stadtgebiet) genauer modelliert als für die restliche Agglomeration/Region. Prinzipiell gilt: die dynamischen Systemzusammenhänge sollen möglichst fein modelliert werden, die räumliche Schärfe (Auflösegenauigkeit der Flächen) und die zeitliche Schärfe (Länge der Betrachtungsintervalle) sollen demgegenüber gröber bleiben und später nach Bedarf verfeinerbar sein. Dies ist auch insofern angebracht, als übermäßiger Aufwand für die Datengrundausrüstung - der sich etwa bei Abbildung einer ganzen Region und hoher Flächenschärfe ergeben würde - vermieden werden soll.

5. PROGRAMMIERUNG

Die Handhabung des Programms soll jedem interessierten Laien intuitiv möglich sein. Daraus ergab sich die Notwendigkeit einer guten grafischen Benutzeroberfläche.

Nachdem die den beiden in Abb. 3 dargestellten Simulationsebenen 'Räumliche Verteilung von Funktionen und Personen' (Allokation) und 'Individuelles Verkehrsverhalten' (Verkehrserzeugung) zugrundeliegenden Verfahren für jede Stadt und Region unterschiedlich sind, muß gewährleistet sein, daß auf diese Module relativ leicht zugegriffen werden kann, ohne die Grundstruktur des Programms verändern zu müssen. Die Verkehrsumlegung ('Verkehr in den einzelnen Netzen, Erreichbarkeit von Orten') kann demgegenüber fix programmiert werden. Diese Flexibilität findet sich im Programmaufbau wieder:

5.1. 2-stufiger Aufbau

- **Grundstufe: vorgegebene Verfahren**

In einem Stadtmodell gibt es einige Standard-Verfahren, die grundsätzlich in jeder Stadt angewendet werden können. Dazu zählen die Berechnung von Potentialen anhand von Erreichbarkeiten, die Berechnung von Erreichbarkeiten auf Basis von Netzumlegungen und die Berechnung von Verkehrsmengen. Ebenso müssen die Programmteile zur kartografisch-planlichen Darstellung im Bildschirmfenster und die Daten- und Filemanagement-, Druck- und Plotfunktionen aus Effizienzgründen hartcodiert werden.

- **Aufbaustufe: änderbare Teile**

Bestimmte zentrale Teile des Programms können je nach Anwendungsfall unterschiedlich aufgebaut sein. Diese flexiblen Teile verwenden die vorgegebenen Verfahren. Die Struktur und Funktion der Bedienelemente ist ebenfalls von der jeweiligen Anwendung abhängig und kann gegebenenfalls in begrenztem Ausmaß geändert werden, wobei solche Adaptierungen von der Programmierergruppe, aber auch von gut geschulten AnwenderInnen vorgenommen werden können. Abgesehen von einer einfachen Grundstruktur für die Simulation über die Zeit kann die Struktur des Stadtmodells für verschiedene Städte erheblich variieren.

5.2. Grundlage: das Modell-‘Toolkit’ **Sum**

Sum (‘Some urban model’) ist ein Satz von Werkzeugen für den Aufbau von Stadtmodellen. Unter Verwendung dieses ‘Bausatzes’ können unterschiedliche Stadtmodelle von einem/r AnwenderIn oder ProgrammiererIn frei konfiguriert werden. Aufbauend auf der vorliegenden Basisversion können auch je nach Aufgabenstellung weitere Module generiert und in das Modell integriert werden.

Sum basiert auf dem Interpreter Tcl/Tk und erweitert dessen Funktionalität um Module für die Berechnung von Verkehrsumlegungen, Verkehrserzeugung und die dynamische Änderung von Zelleneigenschaften. Weiters ist ein Widget-Typ (‘Fenster’) vorhanden, der für die Darstellung und Veränderung von Zellenkarten und Verkehrsgraphen ausgelegt ist.

Sum generiert im wesentlichen folgende Datenstrukturen:

- **Zellen-Aufteilung**

Das Untersuchungsgebiet mit seinem Umland wird in ‘Zellen’, das sind homogene Teilflächen mit Flächeneigenschaften, die zugleich identisch mit den Verkehrszellen des Verkehrsmodells sind, aufgeteilt.

- **Zellen-Eigenschaften**

Jeder Zelle können beliebige Attribute zugeordnet werden. Es wird angenommen, daß die einzelnen Attributausprägungen über die gesamte Zellenfläche gleichverteilt sind. Die Zellen müssen fein genug modelliert werden, damit diese Annahme für das Ergebnis genau genug ist. Die jeweiligen Merkmalsausprägungen der Attribute in den einzelnen Zellen sind durch die räumlichen Nachbarschaftsbeziehungen der Zellen und entsprechende Verteilungsregeln für die Merkmalsausprägungen über alle Zellen bestimmt. Solche Verteilungsregeln sind beispielsweise Allokationsregeln für das Vorkommen bestimmter Nutzungen in den einzelnen Zellen, gewonnen aus standorttheoretischen Überlegungen, empirischen Kenngrößen und Erwartungswerten.

- **Netz**

Die wichtigsten Verkehrsverbindungen im Untersuchungsgebiet werden in Form von Verkehrsnetzen modelliert. Es werden für verschiedene Verkehrsmittel (IV, ÖPNV, Rad) verschiedene Netze gebildet. Die Netze sind Graphen aus Knoten und gerichteten Kanten zur Umlegung und Darstellung von Verkehrsströmen im Individualverkehr, im öffentlichen Personenverkehr und im Radverkehr. Die fußläufige Erreichbarkeit wird aufgrund ihres i.A. nicht Zellen-übergreifenden Charakters als Zelleneigenschaft abgebildet. Die Netze dienen vor allem zur Berechnung der Erreichbarkeiten zwischen den Zellen.

- **Widerstandsmatrix**

Die (gewichteten) Fahrzeiten zwischen je 2 Zellen werden in Form von Widerstandsmatrizen für die unterschiedlichen Verkehrsmittel modelliert, deren Einträge formal Relationen zwischen je 2 Zellen beschreiben. Eine Widerstandsmatrix definiert die Erreichbarkeit der Zellen untereinander mit einem bestimmten Verkehrsmittel.

- **Fahrtenmatrix**

Die Verkehrsverflechtungen zwischen je 2 Zellen werden in einer Fahrtenmatrix gespeichert. Es können Fahrtenmatrizen für verschiedene Verkehrsmittel und/oder Betrachtungszeiträume gebildet werden.

- **Darstellungsfenster**

Der Widget- bzw. ‘Fenster’-Typ **sumap** dient zur Darstellung und Bearbeitung der Zellenaufteilung und der Netzgraphen.

5.3. Objektorientierung

Zellen, Netze, Matrizen und Darstellungsfenster sind ‘Objekte’. Die Programmobjekte bestehen aus Datenstrukturen, die mit bestimmten Operationen oder Funktionen verknüpft sind. Dazu einige grundlegende Erläuterungen zur objektorientierten Programmierung:

Allgemein werden bei der objektorientierten Programmierung Daten und Operationen zu einem Ganzen vereinigt. Die daraus entstehende ‘abstrakte’ Sicht der Daten - die Daten sind dabei gewissermaßen ‘versteckt’ bzw. in den aus Daten und Operationen gebildeten ‘Bausteinen’ enthalten - besteht aus einer Menge von Zugriffsprozeduren, über die die Daten abgefragt und verändert werden können. Die ‘Bausteine’

haben einen lokalen Zustand, der über die Operationen manipuliert werden kann. Mehrere Exemplare dieser Bausteine bilden einen abstrakten Datentyp oder eine 'Klasse' (z.B. den Datentyp oder die Klasse 'Netz'). Die Werte oder konkrete Ausprägungen dieser Bausteine sind die Objekte (z.B. das konkrete IV-Netz von Freiburg oder Schwerin).

Mit dem abstrakten Datentyp werden lediglich die 'Schnittstellen' zur Datenstruktur definiert, unabhängig von den Prozeduren oder Operationen, mit denen die Datenstruktur bearbeitet werden kann. Ein abstrakter Datentyp kann auch zur Kennzeichnung von Variablen verwendet werden, etwa zur Kennzeichnung einer Variablen vom Typ 'Netz'. Die deklarierten Variablen haben alle den gleichen Aufbau und erlauben es, die gleichen Operationen auf sie anzuwenden (z.B. die Operation 'zeichne das Netz').

Ein weiteres wesentliches Merkmal objektorientierter Sprachen besteht darin, daß aus den Basistypen oder Klassen durch Erweiterung erweiterte Typen oder Klassen generiert werden können. Diese Eigenschaft wird 'Vererbung' genannt. Die erweiterten Typen erben vom Basistyp. So entsteht eine Hierarchie aus Oberklasse (Basistyp) und Unterklassen (erweiterter Typ). Basistypen und erweiterte Typen sind kompatibel, dh. Programme, die mit Objekten des Basistyps arbeiten können, können auch mit Objekten des erweiterten Typs arbeiten. Ein Programmteil von **MOBIDYN**, der mit dem Basistyp 'Netz' arbeitet, kann auch daraus abgeleitete, mit zusätzlichen Daten und Operationen angereicherte Datentypen wie etwa IV-, ÖV- oder Radnetzen handhaben, ohne daß dafür das Basisprogramm geändert werden müßte. Ausgehend von einem einzelnen abstrakten Basistyp (z.B. 'Netz') können also je nach Bedarf eine Vielzahl von Klassen und ihnen zugehöriger Programmobjekte (z.B. lokal unterschiedliche IV-, ÖV- und Radnetze) generiert und behandelt werden.

Darüberhinaus kann jeder Auftrag (z.B. 'führe eine Netzumlegung durch') an eine von mehreren Prozeduren, die den Auftrag ausführen können, dynamisch gebunden werden. Aufgrund der Kompatibilität von Basistyp und Erweiterung kann eine Variable vom Typ 'Netz' zur Laufzeit ein Objekt einer beliebigen Erweiterung enthalten (also z.B. ein IV-Netz oder ein ÖV-Netz einer der beiden Städte). Je nachdem, welches Objekt gerade zur Laufzeit gespeichert ist, wird mit demselben Auftrag entweder auf ein ÖV-Netz oder auf ein IV-Netz umgelegt. Es wird der Auftrag oder die Meldung 'Netz umlegen' gesandt und das Objekt reagiert durch Aufruf der entsprechenden Prozedur (in diesem Fall die jeweilige Prozedur bzw. der Algorithmus, nach denen entweder eine ÖV- oder eine IV-Umlegung durchgeführt wird).

Die in **MOBIDYN** verwendeten abstrakten Datentypen sind etwa die Zellenstruktur, die Netzvariable, der Widgettyp **sumap**, aber auch die in der grafischen Benutzeroberfläche verwendeten buttons, scroll bars etc. Jeder abstrakte Datentyp wird aus einer Datenstruktur (z.B. einer Liste von Parametern, die ein Verkehrsnetz beschreibt, einer Liste von Zahlen und Werten, die räumliche Eigenschaftsmerkmale definieren, oder einer Wahrscheinlichkeitstabelle) und mehreren unterschiedlichen Operationen oder Prozeduren gebildet. Ein Beispiel für das Zusammenwirken von Auftrag und Prozedur ist etwa der auf den Datentyp 'scroll bar' anwendbare Auftrag 'exit', der eine Prozedur startet, die das Programm beendet.

5.4. gemischtsprachige Programmierung

Entsprechend dem stufenförmigen Aufbau des Modells erfolgte die Programmierung auf Basis von 2 Programmiersprachen (vgl. Abb. 2):

- C

Die Programmiersprache C dient zur Implementierung der vorgegebenen Verfahren oder Funktionen. Die Basisverfahren bzw. Basisfunktionen (z.B. die Potentialfunktion für die Allokationen) wurden in Form kompilierter C-Programme implementiert.

In den mit Ausnahme von **sumap** nicht-grafischen C-Erweiterungen werden die Zellenstrukturen, Netze, Matrizen, Wahrscheinlichkeitsfunktionen und andere Grundelemente des Simulationsprogramms angelegt. Diese in C programmierten Programmteile bilden eine Programmerweiterung, die Routinen zur Verfügung stellt (z.B. die Routinen 'Netz ändern', 'Netz umlegen' oder 'ein Potential generieren'), die von den Tcl-Statements aufgerufen werden. C ermöglicht die optimale Ausnutzung der Rechnerleistung, was zu schnellen Programmabläufen führt.

- Tcl/Tk

Tcl ('Tool Control Language') ist eine flexible und mächtige Programmiersprache auf Textbasis, die von einem Interpreter verarbeitet wird. Die Tcl-Scripts bzw. einzelne Tcl-Statements in den Scripts können mit Hilfe eines Texteditors angelegt und verändert werden. Die C-Teile stellen zusätzliche Befehle in Tcl zur Verfügung.

Tk ('Tool Kit') ist eine grafikbasierte Spracherweiterung von Tcl, die eine Verbindung zwischen den textbasierten Tcl-Statements und der grafischen Benutzeroberfläche (GUI='Grafical User Interface', im vorliegenden Fall eine X-Windows-Oberfläche) herstellt. Die grafische Benutzeroberfläche, die mittels Tk erzeugt und gesteuert wird, kann sowohl von Tcl als auch von C aus angesprochen werden. So kann etwa auf das in **Sum** erzeugte **sumap**-Widget, das selbst eine Tk-Erweiterung darstellt, von Programmteilen zugegriffen werden, die in Tcl oder C programmiert sind. Mit Hilfe des Tk-basierten **sumap**-Widgets werden die Zellenstrukturen, Netze, Verkehrsbelastungsgraphen, Tabellen, Funktionen usw. grafisch dargestellt.

Mittels Tcl/Tk können auf direktem Weg ansprechende grafische Oberflächen programmiert und in der Folge auch leicht adaptiert werden. Die gewünschten grafischen Elemente (Dialogboxen, Listen zur Eingabe numerischer Werte, Schieber u.ä.) werden über Tcl-Anweisungen, die die grafischen Objekte der Benutzeroberfläche beschreiben, generiert und in die Benutzeroberfläche eingebaut.

6. PRAKTISCHE ANWENDUNG

Das Programm stellt dem/r AnwenderIn folgende Möglichkeiten der Variation von Eingangsgrößen und Verfahren zur Verfügung:¹

6.1. Attributänderungen der Zellen: alle vorgegebenen Eigenschaften, insbesondere:

Personenmerkmale:

- Anzahl der Haushalte nach Haushaltsmitgliedern (1 bis >4)
- Anzahl der Bewohner, nach 3 Altersklassen und Geschlecht differenziert
- Anzahl der Beschäftigten nach 10 Wirtschaftsabteilungen
- Flächenmerkmale:
- Baulandreserven für Wohnen und Industrie/Gewerbe
- zusätzlich realisierbare Verkaufsflächen im Handelssektor
- Ausstattungsmerkmale:
- Zentrumsrang
- überregionale Attraktivität
- Grünausstattung
- Wohnwert
- Freizeitqualität

6.2. Netzänderungen: alle IV- und Radstrecken und ÖV-Linien und deren Eigenschaften, insbesondere:

IV: Straßenkategorie

- Fahrspuren
- Ausbaugeschwindigkeit
- Reisezeit bei leerem Netz (berechneter Wert)
- Kapazität
- nichtberechnete Annahmen über den DTV

ÖV: Verkehrssystem (Bahn, Straßenbahn, Bus)

¹ Die im folgenden genannten Eingangsgrößen kamen in vollem Umfang nur im Stadtmodell für Freiburg zur Anwendung. Aufgrund fehlender Daten wurde im Schweriner Modell mit einem vereinfachten Basisdatensatz für die Zelleneigenschaften gearbeitet. Auch die Allokationsverfahren wurden diesem vereinfachten Datensatz angepaßt. Ebenso wurde in der vorliegenden Version des Stadtmodells in beiden Kommunen auf eine Umlegung des Radverkehrs auf das Radwege- und Radroutennetz verzichtet, nachdem den Streckenbelastungen im Radverkehr nur eine untergeordnete Rolle zukommt. Wenngleich keine streckenbezogene Umlegung durchgeführt wurde, ist der Radverkehr natürlich in der Verhaltenssimulation enthalten, ebenso werden die Verkehrsverflechtung und das Verkehrsaufkommen simuliert. Eine Umlegung auf das im Modell enthaltene Netz kann zu einem späteren Zeitpunkt nach Bedarf durchgeführt werden.

- Haltestellen
- Fahrtzeit zwischen Haltestellen (Geschwindigkeit)
- Intervall
- Rad: Ausbaukategorie (Radweg, Mischstreifen, Fahrbahn)
- Reisezeit bei leerem Netz (berechneter Wert)
- Kapazität

6.3. Szenarieneinstellungen:

Ausgewählte Einstellungen (Netzvarianten, Parkdruck, Verkehrslenkungsmaßnahmen, Verkehrsbeschleunigungsmaßnahmen, Maßnahmen der Raumordnung, Flächennutzungs- und Bebauungsplanung, bauliche Nachverdichtung)

Alle Eigenschaftsmerkmale der Zellen und Netze können mit Hilfe eines eigenen, in das Programm implementierten Editors auf einfache Weise eingegeben und nachträglich verändert werden. Die Einstellung der Szenarien erfolgt durch Einspielen von in eigenen Scripts vorformulierten Netz- und Linienvarianten, durch Ein-/Ausschalten von Optionen und mittels Schiebereinstellung.

Durch Kombination von Variationen dieser Eingangsgrößen und Verfahren können praktisch beliebig viele Szenarien über eine Periode von bis zu 16 Jahren simuliert werden. Die Ergebnisse können in 2-Jahres-Schritten abgerufen werden. Die Veränderungen von Zelleneigenschaften können zahlenmäßig abgerufen und plangrafisch dargestellt werden, die Verkehrsbelastung in den Netzen wird darüberhinaus grafisch dargestellt. Des weiteren können Fahrtenanzahl, Tagesgang und Fahrtweiten nach Fahrtzwecken, die summierten Fahrleistungen für die einzelnen Verkehrsmittel und der Modal Split (gesamt, Binnen, Ziel-Quell, nach Fahrtzwecken) in Diagrammform dargestellt werden.

Während ein kompletter Szenariendurchlauf in vorgegebenen Schritten in einem Zug durchgerechnet wird, können die Simulation der Verkehrserzeugung, die Umlegung auf die Netze und die Allokation auch in einzelnen, separaten Schritten für einzelne Simulationszeitpunkte (Zustände des Systems) durchgeführt werden. Die Verkehrssimulation kann dabei sowohl in vollem Umfang (Simulation einzelner VerkehrsteilnehmerInnen mittels Zufallsfunktion auf Basis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen) als auch in einem vereinfachten und beschleunigten Verfahren mit Rückgriff auf Wahrscheinlichkeitstabellen durchgeführt werden.

Zur Simulation zusätzlicher Problemstellungen können, grundlegende Programmierkenntnisse und besondere Kenntnisse der Script-Sprache **Tcl** vorausgesetzt, auch in Zukunft Veränderungen vorgenommen und Erweiterungen angebracht werden. Änderungen und Erweiterungen könnten etwa vorgenommen werden

- in den Zellen: Schwellwerte für Allokationen (absolute Ober- und Untergrenzen, zulässige Veränderungsrate je Allokationsschritt)
- in den Netzen: Kreuzungsrelationen, Kreuzungswiderstände für unterschiedliche Relationen incl. Ampelphasen, Einfüllpunkte der Zellen in die Netze
- an den Allokationsregeln (Potentialfunktionen) und an den Verkehrsverhaltensdeskriptoren (soziodemografisch differenzierte Mobilitätsstil-Gruppen und deren Mobilitätsverhalten)
- durch Programmierung zusätzlicher Einstelloptionen ('Aktionselemente' des Forschungsverbundes) zur Erweiterung der Szenarienbildungsmöglichkeiten

Neben den aktuellen Möglichkeiten zur individuellen Simulierung und zukünftigen inhaltlichen Erweiterungsmöglichkeiten des Modells stehen dem/r AnwenderIn selbstverständlich eine Reihe von Bildschirmdarstellungs-Optionen zur Verfügung:

- Zoom und räumliche Ausschnitte
- wählbarer Darstellungsumfang der Netze in ihren Bestandteilen, wie Strecken und Kreuzungen, Linien und Haltestellen, Einfüllpunkte, jeweils mit Namen und Bezeichnungen
- grafische Darstellung der aktuellen Netzbelastungen
- wählbare plangrafisch-farbliche Darstellung vergleichender Zelleneigenschaftsmerkmale (Bevölkerung, Beschäftigte, Freizeitqualität, Baulandreserven)

- wählbare plangrafisch-farbliche Darstellung der Allokationsergebnisse im Zellenvergleich (Veränderungen der Bevölkerung und der Beschäftigten je Wirtschaftsabteilungen, absolut pro Fläche oder relativ)
- Darstellung des Allokationsverlaufs über die jeweilige Simulationsperiode für jede einzelne Zelle in Diagrammform

Darüberhinaus stehen eine Reihe üblicher Programmfunktionen, wie Laden und Speichern von Szenarioeinstellungen und bereits durchgeführter Szenarioläufe sowie Druck- und Plotfunktionen zur Verfügung.