

Kurierdienstes im Hinblick auf ökologische Effizienz und soziale Verträglichkeit

Ruth Meyer¹, Christian H. Reick¹, Björn Gehlsen¹,
Lorenz M. Hilty², Helmut Deecke³ und Bernd Page¹

Abstract

Courier and express services form a market sector of urban freight traffic which is growing rapidly. It is typical in cities such as Hamburg to have several thousand bicycle and car couriers in operation, covering more than 100 000 kilometers every day. We are presenting an individual-based and object-oriented model which simulates a courier service in detail. This includes accepting the orders, passing them on to the couriers by radio, as well as the movement of each courier in the road network. It was worked out in co-operation with a large courier service in Hamburg as an application of a modeling and simulation system for environmentally compatible traffic planning and logistics. The purpose of the simulation study is to assess the effects of possible changes to the courier service system and to evaluate them using various criteria. Potential changes range from varying the size of the fleet to introducing new logistical concepts. The criteria are quality of service (speed, punctuality, taking account of clients' special requests), ecological efficiency (reducing the distance travelled to a minimum, increasing the proportion of bicycle couriers) and social acceptability (earnings of the couriers, fairness of the distribution of orders among the courier fleet).

1 Einleitung

Stadtkurierdienste haben in den vergangenen Jahren eine Phase stürmischer Expansion durchlebt. Sie sind in vielen Großstädten wichtiger Bestandteil des Güter- und Wirtschaftsverkehrs. Beispielsweise arbeiten derzeit in Hamburg mehr als 100 Kurier-, Express- und Paketdienste mit insgesamt ca. 3500 Kurieren. Die tägliche

¹ Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Vogt-Kölln-Straße 30, 22527 Hamburg, Kontakt: rmeyer@informatik.uni-hamburg.de

² Hochschule für Wirtschaft, Postfach, CH-4601 Olten

³ TU Hamburg-Harburg, AB Stadt- u. Regionalökonomie, Woellmerstr. 1, 21073 Hamburg

Kilometerleistung hat allein im Hamburger Stadtgebiet eine sechsstellige Größenordnung.

Kurierdienste unterscheiden sich von Expressdiensten in der durchgehenden Begleitung der Sendung durch eine einzelne Person, den Kurier. Die Folge ist ein hoher Verkehrsaufwand pro Sendung, der organisatorisch prinzipiell durch Sendungsbündelung reduziert werden könnte. Mit der Einführung entsprechender Logistikkonzepte würde sich die organisatorische Struktur der Kurierdienste derjenigen der Expressdienste annähern. Eine solche Optimierung der Tourenplanung wäre unter Umweltgesichtspunkten grundsätzlich zu befürworten, weil dadurch Verkehr reduziert würde. Jedoch sind bei der Reorganisation von Stadtkurierdiensten einige Besonderheiten zu beachten:

- Neben motorisierten Kurieren gibt es Fahrradkuriere, die keine Schadstoffemissionen und praktisch keinen Energieverbrauch verursachen. Sie beanspruchen außerdem weniger Straßenfläche zum Fahren und Parken und kommen näher an die Abhol- und Lieferpunkte heran. Aus ökologischer Sicht sollte der Anteil von Fahrradkurieren ausgeweitet werden. Logistikkonzepte, die auf Sendungsbündelung beruhen, könnten jedoch den PKW-Anteil tendenziell erhöhen, da beim Fahrrad das Bündelungspotential aufgrund von Gewicht und Volumen der Sendungen begrenzt ist.
- Kuriere sind in der Regel selbständige Unternehmer, die eine Monatspauschale an ihre Zentrale für die Vermittlung von Aufträgen entrichten. Die Vermittlung und Vergabe von Aufträgen ist daher ein sensibler Vorgang, der jahrelang bewährten Regeln folgt, an die sich die Zentrale und alle Kuriere halten. Die Regeln sorgen dafür, daß kein Kurier bevorzugt oder benachteiligt wird, und stellen gleichzeitig die Servicequalität für den Kunden sicher.
- Eine Besonderheit der Kurierdienstleistung ist die Tatsache, daß die Sendung auf dem schnellsten Wege befördert wird. Das bedeutet in der Praxis, daß der Kurier, der den Auftrag übernommen hat, z.B. innerhalb von 30 Minuten beim Versender eintrifft und von dort ohne wesentliche Umwege zum Empfänger fährt. (In der Praxis können dennoch mehrere Aufträge parallel bearbeitet werden, wie unten erläutert wird.)
- Die Servicequalität besteht für den Kunden nicht immer in der Schnelligkeit oder Pünktlichkeit, sondern in einigen Fällen auch im eigentlichen „Kurierprinzip,, also der persönlichen Begleitung der Sendung vom Abhol- zum Lieferpunkt. Hier spielen Zuverlässigkeitsfragen eine Rolle. Es kommt sogar vor, daß Kunden einen bestimmten Kurier wünschen, etwa weil sich der Kurier auf dem Gelände des Absenders oder Empfängers schon auskennt oder weil sie eine besonders wichtige Sendung nur einer bewährten Person anvertrauen wollen.

Gegenwärtig deuten sich Sättigungstendenzen der Stadtkuriermärkte an, die einen Druck in Richtung Rationalisierung und Erschließung weiterer Marktsegmente ausüben. Ziel der hier vorgestellten Studie ist es, bereits im Vorfeld dieser Entwicklung mögliche neue Organisationsformen auf ihre ökologische Effizienz bei gleichzeitiger Wettbewerbsfähigkeit und sozialer Verträglichkeit hin zu evaluieren.

Der Gedanke liegt nahe, Kurierdienste nach dem Vorbild der Expressdienste (Deecke 1995) zu organisieren, also das Kurierprinzip zugunsten einer auf Umschlagpunkten basierenden Logistik aufzugeben und eine zentrale Routenplanung vorzusehen. Aufgrund der oben beschriebenen Besonderheiten der Kurierdienste ist jedoch zu vermuten, daß eine Reorganisation, die die spezielle Qualität der Dienstleistung und auch der Funktionsweise eines Kurierdienstes nicht beachtet, entscheidende Vorteile der heutigen Organisationsform aufheben würde.

Wie unsere Systemanalyse eines großen Hamburger Kurierdienstes ergeben hat (Deecke 1997), ist die bestehende Organisationsform erstaunlich gut in der Lage, den latenten Zielkonflikt zwischen den Zielen

- Minimierung des Verkehrsaufwandes für eine gegebene Auftragsmenge,
- gerechte Auftragsverteilung innerhalb der Kurierflotte und
- Sicherstellung der Servicequalität

auszutariieren. Die Kuriere optimieren ihre individuellen Routen recht gut, indem sie mehrere (im Normalfall bis zu fünf) Aufträge überlappend oder verschachtelt abarbeiten und bevorzugt Aufträge annehmen, die sich räumlich und zeitlich gut in ihren aktuellen Plan einfügen. Das Verfahren zur Auftragsvergabe (siehe Abschnitt 2) hält die Auslastung der Kuriere, die Effizienz in der Routenplanung und die erreichte Servicequalität in einem von allen Beteiligten akzeptierten Gleichgewicht.⁴ Dennoch gibt es vermutlich ungenutzte Optimierungspotentiale, deren vorsichtige Erschließung zur Wettbewerbsfähigkeit der Kurierdienste beitragen und Verkehr reduzieren könnte.

Das System „Kurierdienst,, sollte nur mit äußerster Vorsicht verändert werden, wenn die Vorteile des bestehenden Verfahrens erhalten bleiben sollen. Um die betriebswirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Auswirkungen möglicher Eingriffe in das System im voraus abschätzen zu können, bietet sich die Simulation auf Basis eines *individuenbasierten Modells* an. Das von uns in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband der Kurier- Express-, und Paketdienste e.V. (BdKEP) und dem Hamburger Kurierdienst „Die Funkpiloten,, entwickelte Modell dient dazu, ein breites Spektrum möglicher Veränderungen der bestehenden Orga-

⁴ Möglicherweise trägt das bestehende Verfahren auch zur Arbeitsmotivation der Kuriere bei. Die individuelle Tourenplanung in Verbindung mit der Transparenz der Auftragslage für alle Beteiligten (Verlesen der Aufträge über Funk) verschafft vermutlich mehr Befriedigung als das „Abfahren,, einer von der Zentrale geplanten und zugewiesenen Tour, insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, daß sich eine geschickte Planung aufgrund der Selbständigkeit der Kuriere unmittelbar auf ihr Einkommen auswirkt.

nisationsform in Szenarien durchzuspielen und ihre Auswirkungen auf die verschiedenen Zielgrößen abzuschätzen.

Das hier vorgestellte Modell kann angesichts der Vielzahl der in der Praxis anzutreffenden Organisationsformen nicht als *das* Standardmodell eines Stadtkurierdienstes gelten. Es beruht aber auf einer Organisationsform (dem sog. „Hamburger Modell“), in der typische rechtliche Probleme von Kurierdiensten, etwa in Zusammenhang mit Scheinselbständigkeit und unzulässiger Kartellbildung, vermieden werden konnten, und die deswegen als Ausgangspunkt für alternative Organisationsformen besonders geeignet ist.

Diese Studie ist eine Anwendung der im Rahmen des MOBILE-Projekts⁵ entwickelten Instrumente. Dazu gehören innovative Verfahren der objektorientierten Simulation, insbesondere individuenbasierte Modelle, für das Anwendungsgebiet Verkehr/Logistik/Umwelt (Hilty et al. 1996, Hilty/Meyer 1996, Hilty 1997).

2 Das konzeptuelle Modell

Das nachfolgend beschriebene konzeptuelle Modell wurde nach einer detaillierten Systemanalyse der Beispielorganisation entwickelt. Nach unserer Kenntnis handelt es sich um das erste individuenbasierte Simulationsmodell für Kurierdienste.

Ein Stadtkurierdienst besteht aus der ortsfesten Zentrale und der sich im Stadt- raum bewegenden Kurierflotte. Aufgabe der Zentrale ist die telefonische Annahme der Aufträge (oft mehrere pro Minute) und deren Vermittlung an die in ständigem Funkkontakt mit der Zentrale stehenden Kuriere. Ein Kurier, der einen Auftrag übernommen hat, holt die Sendung beim Versender ab, nimmt dort die Transportgebühr ein und überbringt die Sendung zügig dem Empfänger. Diese Struktur wurde mit den Mitteln der objektorientierten Analyse formalisiert (Larman 1998). Die wichtigsten Klassen und ihre Assoziationen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Der Gesamtablauf wird – wie in der Realität – von der Vermittlungszentrale gesteuert. Im Standardfall werden Aufträge in der Reihenfolge ihres Eingangs an die Kuriere vermittelt, wobei jeder Auftrag allen Kurieren gleichzeitig angeboten wird. Jeder Kurier entscheidet dann aufgrund seiner aktuellen Position und Auftragslage sowie einiger Verhaltensparameter, ob er den Auftrag übernehmen möchte. Abweichungen von diesem Standardfall gibt es durch Fahrzeugwünsche der Kunden, durch die bevorzugte Berücksichtigung der gerade freigemeldeten Kuriere und durch eine gesonderte Behandlung von Eilaufträgen.

⁵ „Model Base for an Integrative View of Logistics and Environment,.. Dieses von der Volkswagen-Stiftung geförderte Forschungsprojekt wird vom Fachbereich Informatik der Universität Hamburg in Kooperation mit dem FAW Ulm, Bereich Umweltinformationssysteme, durchgeführt.

Die Kuriere besitzen ein festes Verkehrsmittel (Auto oder Fahrrad), mit dem sie sich selbständig auf dem zugehörigen Verkehrsnetz bewegen. Zu Arbeitsbeginn melden sie sich bei der Vermittlungszentrale an und werden dort zunächst in die Liste der freigemeldeten Kuriere aufgenommen. Sobald sie einen Auftrag übernommen haben, werden sie in die Liste der beschäftigten Kuriere eingeordnet.

Abbildung 1: Grundstruktur des konzeptuellen Modells des Stadtkurierdienstes
in UML-Notation

Ein Kurier kann mehrere Aufträge parallel bearbeiten. Er versucht seine Route zwischen den Abhol- bzw. Lieferpunkten aller angenommenen Aufträge optimal zu planen, d.h. er sucht mit einer Heuristik den schnellsten Weg durch das Verkehrsnetz, der alle anzufahrenden Punkte verbindet und auf dem der Lieferpunkt eines jeden Auftrags nach dessen Abholpunkt auftritt. Ob ein Kurier einen Auftrag annehmen will, hängt von einer Bewertungsfunktion ab, die sich aus einem Auftragsbedarf und einer Auftragsgüte zusammensetzt. Wartende Kuriere (keine Aufträge in Bearbeitung) haben den höchsten Auftragsbedarf. In die Auftragsgüte geht ein, welchen zusätzlichen finanziellen Gewinn der Kurier durch die Einplanung des Auftrags in seine aktuelle Route erwarten kann, und dieser nimmt durch Verkürzung der Wege und Bündelung von Aufträgen zu. Überschreitet die Gesamtbewertung eine gegebene Schwelle, so signalisiert der Kurier der Zentrale, die den Auftrag gerade über Funk verlesen hat, sein Interesse. Meldet sich kein Kurier für einen Auftrag, wird dieser zurückgestellt und später erneut verlesen. Melden sich mehrere Kuriere, so wird der Auftrag an denjenigen vergeben, der ihn am höchsten bewertet (in der Realität an den, der zuerst reagiert)⁶. Aufträge, die zu lange zurückgestellt wurden, kann die Annahme erzwungen werden.

Hat ein Kurier alle aktuellen Aufträge abgearbeitet, so meldet er sich bei der Vermittlungszentrale frei. Diese behandelt freigemeldete Kuriere mit höherer Priorität, d.h. ihnen werden die Aufträge zuerst angeboten.

Jeder Kurier besitzt als Attribut den Zeitpunkt des beabsichtigten Arbeitsendes. Wird dieser Zeitpunkt im Laufe der Simulation erreicht, so plant der Kurier seine Wohnadresse als letzten Punkt in die Route ein und arbeitet in der Regel nur noch die bereits geplante Route ab. Neue Aufträge übernimmt er nur dann, wenn sie ohne wesentliche Umwege erledigt werden können, d.h. „auf dem Weg liegen,“. Sobald er zu Hause angekommen ist, meldet er sich bei der Vermittlungszentrale ab. Von diesem Zeitpunkt an gehört er nicht mehr zur aktuellen Kurierflotte, d.h. ist er vom Auftragsvermittlungsprozeß ausgeschlossen.

Das Modell besitzt Eingabevariablen für die Sequenz der eingehenden Aufträge und für die Sequenz der Kuriere, die ihre Arbeit aufnehmen. Entsprechend gibt es Ausgabevariablen für die Sequenz der erledigten Aufträge bzw. der Kuriere, die ihre Arbeit beendet haben. Auf diese Weise werden die noch nicht aggregierten Ergebnisse des Simulationslaufes an die Simulationsumgebung zurückgegeben. Die Verwendung von zeitlich geordneten Objektsequenzen zum Datenaustausch zwischen dem Modell und seiner Umgebung entspricht dem Modellparadigma des MOBILE-Systems (Hilty et al. 1996, Hilty 1997, Mügge et al. 1998).

Im objektorientierten MOBILE-System werden Modellparameter dem Modell zum Zeitpunkt seiner Instantiierung übergeben, wobei die Datenstrukturen keinen Be-

⁶ Wir setzen voraus, daß die Schnelligkeit der Reaktion in der Realität wesentlich davon abhängt, wie wichtig es dem Kurier ist, den Auftrag zu bekommen. Ein Kurier, für den der Auftrag nicht so interessant ist, wird erst einmal abwarten, ob sich nicht ein Kollege meldet.

schränkungen (z.B. auf skalare Typen) unterworfen sind. Zu den Modellparametern gehören hier die Verkehrsnetze für Fahrrad- und Autofahrer, einige Zeitkonstanten (Diskretisierungsintervall für die Simulation, Zeitintervall zwischen zwei Vermittlungsversuchen eines Auftrags) sowie alle für die Initialisierung von Kurieren, Aufträgen, Fahrzeugen und Vermittlungszentrale benötigten Daten.

3 Szenarien und Zielgrößen

Das Modell dient zur Simulation von Szenarien, also Abläufen, die in der Realität nicht ausprobiert werden, weil dies zu hohe Kosten oder andere inakzeptable Nachteile mit sich bringen würde. In Erweiterung des Szenariobegriffs bezeichnet man auch die simulative Rekonstruktion des Status quo als Szenario („Basisszenario,,). Dieses dient zur Validierung des Modells und als Bezugspunkt für den Vergleich mit anderen Szenarien.

Jedes simulierte Szenario wird an Zielgrößen gemessen, die durch Auswertungsvorschriften für die Simulationsergebnisse operationalisiert werden. Anhand der Zielgrößen läßt sich feststellen, ob und in welcher Hinsicht ein alternatives Szenario gegenüber dem Status quo Vorteile hat oder ob es die Situation verschlechtert. Im Rahmen der Modellvalidität kann aus diesen Ergebnissen auf das Realsystem zurückgeschlossen werden.

Wir unterscheiden die folgenden Typen von Szenarien:

- Input-Szenarien
- Parameter-Szenarien
- strukturelle Szenarien

Ein *Input-Szenario* unterscheidet sich nur in den Eingabedaten des Modells vom Basisszenario. In unserem Fall könnten folglich die Kuriere oder die Aufträge variieren. Die Auftragslast kann gesteigert oder verringert, ihre räumliche und zeitliche Verteilung verändert werden. Ebenso können die Anzahl der arbeitenden Fahrrad- und PKW-Kuriere und die Verteilung ihrer Arbeitszeiten variiert werden.

Bei einem *Parameter-Szenario* werden die Parameter gegenüber ihren ursprünglichen Werten verändert. So kann z.B. das Straßennetz durch ein feineres ersetzt werden, das auch von den Radfahrern benutzte Fußwege enthält, oder die maximale Zeitspanne zwischen Annahme des Auftrags und Abholung der Sendung kann verlängert werden.

Ein *strukturelles Szenario* setzt dagegen eine Modifikation des Modells voraus. Der Algorithmus zur Vermittlung der Aufträge an die Kuriere, die Tourenplanung der Kuriere selbst, ihre Heuristik zur Bewertung der Attraktivität eines Auftrages usw. könnten verändert werden. Insbesondere ergeben sich aber aus Veränderungen der logistischen Organisation strukturelle Szenarien.

Ein Beispiel hierfür ist das Konzept *Hub and Shuttle*, das sich in Gesprächen mit beteiligten Fahrern und Disponenten als Möglichkeit herauskristallisiert hat. Dabei werden Gebiete mit hohem Sendungsaufkommen abgesteckt und als Schwerpunktgebiete deklariert. Innerhalb jedes Schwerpunktgebietes wird ein Sammelzentrum errichtet, an dem alle Sendungen aus bzw. in dieses Gebiet umgeschlagen werden. Zwischen den Sammelzentren werden die Sendungen gebündelt transportiert, ggf. auch mit größeren Fahrzeugen. Da Fahrradkuriere eine Affinität zu kürzeren Strecken haben, sind sie innerhalb der Gebiete bei diesem Konzept im Vorteil.

Die Zielgrößen, an denen die Szenarien gemessen werden, sind:

- *Ökologische Qualität*: Hier steht der Verkehrsaufwand im Vordergrund, der Umweltbelastungen durch Energieverbrauch, Emissionen oder dynamischen Flächenbedarf verursacht. In erster Näherung wird diese Größe durch die motorisierte zurückgelegte Gesamtstrecke (motorisierte Fahrleistung) operationalisiert.
- *Servicequalität*: Der Kunde bewertet die Leistung eines Kuriers danach, wie zuverlässig seine Aufträge ausgeführt werden. Wichtig ist hierbei insbesondere, daß zugesagte Termine eingehalten werden. Es sind also neben der Zeit von der Annahme des Auftrags bis zur Übergabe der Sendung an den Empfänger auch Anzahl und Summe der Verspätungen zu minimieren. Andere Aspekte der Servicequalität werden z.Zt. nicht betrachtet.
- *Soziale Qualität*: Dieses Kriterium bezieht sich auf die Organisation (das soziale System) der selbständigen Kurierfahrer. Wichtig ist hier das Einkommen der Kurierfahrer, aber auch die Einkommensverteilung. Wenn hohe Einkommensunterschiede auftreten, ist der Konsens über das Verteilungsverfahren gefährdet. Wir haben in mehreren Simulationsexperimenten festgestellt, daß schon geringe Modifikationen des jetzigen Verfahrens Situationen provozieren können, bei denen einige Kurierfahrer viele Aufträge an sich ziehen und relativ effizient abwickeln, während andere „verhungern“.

4 Ergebnisse

In diesem Beitrag berichten wir ausschließlich über vorläufige Ergebnisse aus Input-Szenarien.

Ein erstes Simulationsexperiment mit dem Kurierdienst-Modell bestand in der Variation der Anzahl gleichzeitig arbeitender Kurierfahrer. Für die Praxis könnte es interessant sein, ob es eine hinsichtlich aller Zielkriterien optimale Flottengröße gibt (als Funktion des erwarteten Sendungsaufkommens), und ob diese ungefähr bei der in der Praxis eingespielten Anzahl liegt.

Es ist offensichtlich, daß eine Variation der Flottengröße Auswirkungen auf die Zielgrößen hat. Beispielsweise ist zu erwarten, daß bei einer Ausdünnung der Kurierflotte der Umsatz pro Kopf steigt, weil sich das gleiche Auftragsvolumen auf weniger Ausführende verteilt. Aus dem gleichen Grund wird vermutlich die Servicequalität sinken.

Die Auswirkungen einer Verkleinerung der Flottengröße auf den Verkehrsaufwand sind dagegen schwierig einzuschätzen. Denn einerseits hat ein Kurier, der mehr Aufträge bearbeitet, mehr Chancen zur Kombination von Aufträgen, er kann also häufiger Aufträge überlappend oder verschachtelt bearbeiten. Andererseits nimmt mit einer geringeren räumlichen Dichte der Kuriere auch die Wahrscheinlichkeit ab, daß ein neuer Auftrag ohne große Umwege in die geplante Route integrierbar ist.

Abbildung 2: Das vereinfachte Hamburger Straßennetz mit 6655 Streckenabschnitten, das im vorgestellten Simulationsexperiment verwendet wurde. Zur Orientierung sind Wasserflächen und Flughafen ebenfalls dargestellt. Das vollständige Netz um-

faßt 41512 Streckenabschnitte und wird aus Aufwandsgründen erst dann eingesetzt, wenn das Modell durch Experimente mit dem einfacheren Netz ausreichend validiert und auf seine Robustheit geprüft wurde. Erst das vollständige Netz erlaubt eine Simulation der unterschiedlichen Routenplanung von Fahrrad- und PKW-Kurieren und somit die Behandlung von Szenarien, die Auswirkungen von Maßnahmen auf den Fahrradanteil untersuchen. Die Straßennetze wurden aus dem Geographischen Informationssystem (GIS) MapInfo in das MOBILE-System importiert. Dort wird ein Verkehrsnetz als Instanz der hierfür vorgesehenen Klasse TrafficNetwork repräsentiert, die auch die Funktionalität für das Finden schnellster Wege zur Verfügung stellt. Das System ist in Java implementiert und benötigt für die Simulation eines Arbeitstages (ca. 1000 Aufträge) mit dem vereinfachten Netz auf einer Workstation (Sun Ultra Enterprise 450 mit zwei 250 MHz-Prozessoren) ca. 20 Minuten Rechenzeit.

Für die Simulationsexperimente stehen die elektronisch erfaßten Auftragsdaten des beteiligten Hamburger Stadtkurierdienstes über einen Zeitraum von 14 Tagen zur Verfügung. Um den Rechenaufwand gering zu halten, haben wir die folgenden Ergebnisse zunächst durch Simulation eines einzelnen typischen Werktages (Dienstag) mit insgesamt 941 Aufträgen erzeugt. Auch haben wir vorerst ein vereinfachtes Hamburger Straßennetz (s. Abb. 2) mit 6655 Streckenabschnitten verwendet. Das vollständige Netz umfaßt 41 512 Streckenabschnitte. Die Ergebnisse sind daher als vorläufig zu betrachten. Sie dienen nur zur Demonstration des Modells und der Vorgehensweise.

Abbildung 3 zeigt zunächst, wie sich die Variation der Flottengröße auf die Servicequalität auswirkt, hier als Anzahl der verspäteten Aufträge bzw. als kumulierte Verspätungszeit operationalisiert. Die Flottengröße von 94 Kurieren entspricht dem Status quo am gewählten Tag. Jeder Punkt auf der Abszisse ist ein weiteres Szenario, wobei die Zahl der Kuriere in beiden Richtungen mehrfach in Schritten von 10% verändert wurde. Dabei wurden die Verteilungseigenschaften der Kurierflotte (Verhältnis Fahrrad-/PKW-Kuriere, Verteilung der Arbeitszeiten) beibehalten.

Wie zu erwarten war, nehmen bei einer Verkleinerung der Flotte die Verspätungen immer mehr zu. Eine drastische Zunahme gibt es jedoch erst unterhalb der Zahl von 77 Kurieren. Vergrößert man die Flotte dagegen, ist schon mit 10% Steigerung eine deutliche Verbesserung der Servicequalität zu erreichen.

Abbildung 4 zeigt erneut die Verspätungszeit und zusätzlich die weiteren Zielgrößen motorisierte Fahrleistung (insgesamt von PKW zurückgelegte Strecke) sowie den durchschnittlichen Brutto-Stundenlohn eines Kuriers.

Die motorisierte Fahrleistung verhält sich nicht monoton.⁷ Dies ist aus den oben schon beschriebenen gegenläufigen Auswirkungen der Flottengröße auf die Routenoptimierung zu erklären. Überraschend ist, daß gerade bei der realen Flottengröße von 94 Kurieren der Verkehrsaufwand ein (lokales) Maximum besitzt. Der Brutto-Stundenlohn sinkt wie erwartet mit steigender Flottengröße. Aufgrund des gegebenen Auftragsvolumens sind die Kuriere im Mittel um so schlechter ausgelastet (und haben ein um so geringeres Einkommen), je zahlreicher sie sind. Unter Gerechtigkeitsaspekten ist in diesem Zusammenhang auch interessant, wie stark die Auslastung bei verschiedenen Flottengrößen streut. Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Auslastungen für jede Flottengröße. Die Auslastung ist der Anteil der Fahrzeit an der Arbeitszeit des Kuriers. Eine Auslastung von 1,0 liegt dann vor, wenn der Kurier während seiner gesamten Arbeitszeit ohne Wartezeiten in Bewegung ist.

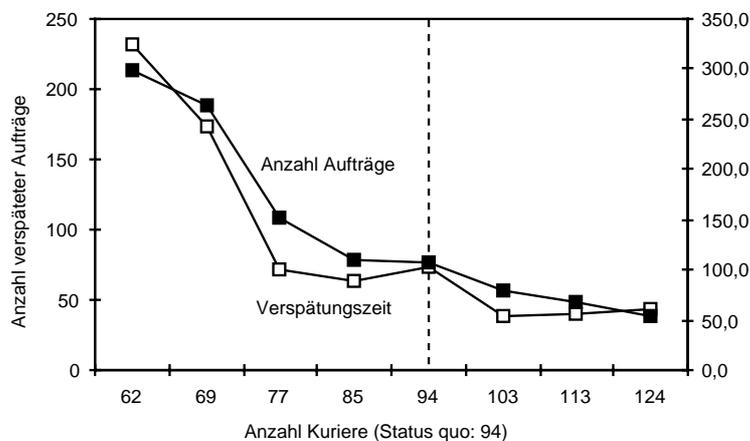


Abbildung 3: Abhängigkeit der Verspätungen von der Anzahl der Kuriere (Flottengröße). Für jede Flottengröße wurde das Szenario eines normalen Werktages mit rund 1000 Aufträgen durchgerechnet.

⁷ Der Verlauf der Gesamtfahrleistung (im Bild nicht gezeigt) ist sehr ähnlich, d.h. die Flottengröße hat im Rahmen dieses vereinfachten Simulationsexperiments keinen signifikanten Einfluß auf die Aufteilung der Fahrleistung zwischen Fahrrad und PKW. Es ist denkbar, daß bei einer weiteren Differenzierung des Verkehrsnetzes, die auch die Unterschiede der beiden Verkehrsmittel deutlicher hervortreten läßt, in diesem Punkt andere Ergebnisse erzielt werden.

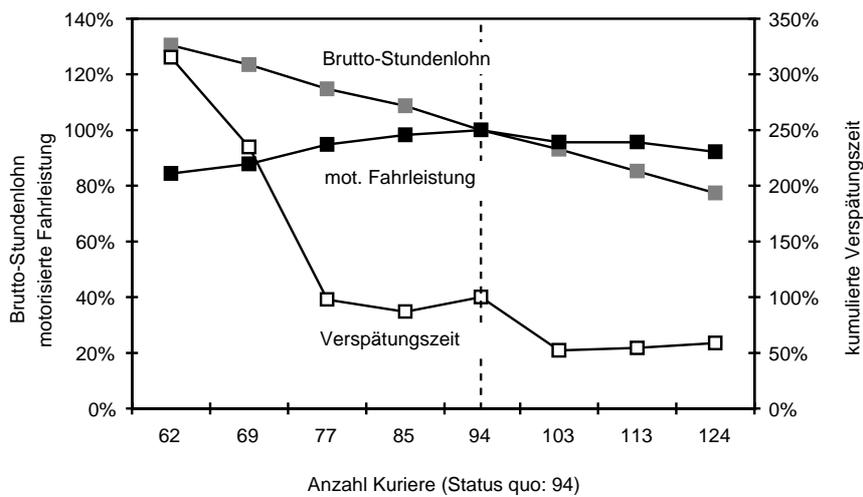


Abbildung 4: Abhängigkeit des mittleren Bruttostundenlohns, der motorisierten Fahrleistung und der kumulierten Verspätungszeit von der Flottengröße.

Dabei ist zunächst festzustellen, daß auch bei einer sehr geringen Flottengröße wie 62 (bei der schon fast jeder vierte Auftrag verspätet ist, vgl. Abb. 3) die Auslastung keines Kuriers über 0,8 (80 %) liegt. Theoretisch ließe sich die Auslastung durch Inkaufnahme einer noch schlechteren Servicequalität weiter steigern, doch dieser Fall ist ohne praktische Relevanz. Interessant ist der in Abbildung 5 zu sehende Effekt, daß das Absinken der Auslastung bei wachsender Flottengröße vor allem den unteren Rand betrifft, d.h. es gibt mehr Kurier, die unter 50% ausgelastet sind, während einige immer noch bei über 70% liegen.

Die in Abbildung 4 und 5 gezeigten Ergebnisse legen die Interpretation nahe, daß für das im Simulationsexperiment verwendete Auftragsvolumen die Flottengröße von 94 eher zu hoch liegt. Eine Verringerung um 10-20 % (Werte 85 und 77 in Abb. 4 und 5) würde den mittleren Brutto-Stundenlohn aufbessern und die motorisierte Fahrleistung verringern, ohne die Servicequalität nennenswert zu verschlechtern. Zwar wären bei 77 Kurieren schon deutlich mehr Aufträge verspätet, aber immerhin läge die kumulierte Verspätungszeit nicht höher (vgl. Abb. 3). Auch hätte eine verkleinerte Kurierflotte den Vorteil, daß die Auslastungsunterschiede geringer ausfallen (vgl. Abb. 5).

Diese Ergebnisse bedürfen einer weiteren Analyse und werden hier nur als „Werkstattbericht“, veröffentlicht, um die grundlegende Herangehensweise zu verdeutlichen.

Abbildung 5: Verteilung der individuellen Auslastung der Kuriere (Anteil der Fahrzeit an der Arbeitszeit) bei verschiedenen Flottengrößen.

5 Ausblick

Das hier vorgestellte individuenbasierte Modell eines Stadtkurierdienstes wurde als Anwendung der im MOBILE-Projekt entwickelten Instrumente zur umweltorientierten Verkehrsplanung und Logistik erarbeitet. Die damit durchgeführte Simulationsstudie ist noch nicht abgeschlossen; die vorliegenden Ergebnisse dienen nur zur Demonstration des Modells und der prinzipiellen Vorgehensweise.

Als nächste Schritte sind weitere Maßnahmen zur Modellvalidierung geplant. Darauf aufbauend werden weitere Szenarien simuliert, insbesondere strukturelle Szenarien zur Untersuchung neuer Logistikkonzepte. Die Studie dient nicht nur dem Erkenntnisgewinn im Anwendungsgebiet (Kurierdienstlogistik), sondern auch der Erprobung und Weiterentwicklung des Modellparadigmas und der Simulationsverfahren, die aus dem MOBILE-Projekt hervorgegangen sind.

Parallel zu dieser Simulationsstudie verfolgen wir weitere Anwendungen des MOBILE-Systems im Überschneidungsbereich von Verkehr, Logistik und Umwelt, so z.B. eine Studie zu den Rückwirkungen von Verkehrserfahrungen auf das private Mobilitätsverhalten, in Zusammenarbeit mit dem Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie.

Literaturverzeichnis

- Deecke, H. (1995): Expreßdienste als Vorreiter der Industrialisierung des Gütertransports, in: Läßle, D. (Hrsg.): Güterverkehr, Logistik und Umwelt. Analysen und Konzepte zum interregionalen und städtischen Verkehr, 2. Aufl., Berlin, S. 61-85
- Deecke, H. (1997): Stadtkurierdienste. Basisdaten für die Modellbildung in MOBILE, Internes Arbeitspapier, Universität Hamburg
- Hilty, L.; Page, B.; Meyer, R.; Mügge, H.; Deecke, H.; Poll, M. (1996): Konzeption eines Systems zur Abschätzung der Auswirkungen verkehrsbezogener Maßnahmen auf die Umwelt. MOBILE-Report Nr. 1, Universität Hamburg (Berichte des Fachbereichs Informatik; FBI-HH-B-184/96)
- Hilty, L. M.; Meyer, R. (1996): A Flexible Modelling and Simulation System for Environmental Impact Analysis in Traffic Planning, in: Proceedings of the 2nd International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century (UT 1996), 2.-4.10.1996 in Barcelona, Southampton, S. 221-230
- Hilty, L. (1997): Umweltorientierte Verkehrsmodellierung und ihre Unterstützung durch ein objektorientiertes Modellbanksystem, in: Grützner, R. (Hrsg.): Modellbildung und Simulation im Umweltbereich, Vieweg, S. 121-145
- Läßle, D. (1995): Transport, Logistik und logistische Raum-Zeit-Konfigurationen, in: Läßle, D. (Hrsg.): Güterverkehr, Logistik und Umwelt. Analysen und Konzepte zum interregionalen und städtischen Verkehr, 2. Aufl., Berlin, S. 23-60
- Larman, C. (1998): Applying UML and Patterns. An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design, Upper Saddle River
- Mügge, H., Meyer, R., Hilty, L. M., Page, B. (1997): Object-Oriented Specification of Models and Experiments in Traffic Simulation, in: Denzer, R. et al. (eds.): Environmental Software Systems, Proceedings of the International Symposium on Environmental Software Systems (ISESS '97), 28.4.-2.5.97 in Whistler (Canada), Volume 2, London, S. 335-342