

Qualitative Bewertung von Automotive Services durch Simulation¹

Tobias Schlachtbauer, Holger Hoffmann, Maximilian Pühler,
Michael Schermann, Helmut Krcmar

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
Technische Universität München
Boltzmannstraße 3
85748 Garching bei München

{tobias.schlachtbauer|maximilian.puehler|michael.schermann|krcmar}@in.tum.de

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
Universität Kassel
Nora-Platiel-Str. 4
34127 Kassel
hoffmann@wi-kassel.de

Abstract: Automotive Services stellen ein wichtiges Differenzierungsmerkmal der Automobilhersteller dar und gewinnen zunehmend an Bedeutung. Um ihre Kunden nicht aufgrund mangelnder Dienstqualität zu verärgern, wird nach einer Möglichkeit gesucht, die zu erwartende Dienstgüte bereits im Voraus bestimmen zu können. In diesem Beitrag beschreiben wir einen Ansatz zur qualitativen Bewertung von Automotive Services durch Simulation. Wir entwickelten hierfür ein temporales und spatiales Simulationstool, das durch die Kombination von Modellen des Verkehrsaufkommens mit jenen mobiler Breitbandinfrastruktur die Vorhersage der zu erwartenden Dienstgüte ermöglicht. Bandbreitenbedarf, Latenzzeit und „always-on“ bestätigten sich als geeignete Parameter zur Quantifizierung der Anforderungen von Automotive Services sowie zur Beschreibung der erforderlichen Eigenschaften der Mobilfunknetze für die Simulation.

1 Einführung und Motivation

Mobile Dienste werden sowohl im privaten als auch im beruflichen Alltag immer bedeutsamer [We04]. Dieser Trend wird durch den rapiden technischen Fortschritt im Bereich der Mikroelektronik und Kommunikationstechnik begünstigt [Ro05; Wy03]. Außerdem tragen die Verfügbarkeit breitbandiger digitaler Übertragungswege wie UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) oder DAB (Digital Audio Broadcast) sowie der allgemeine Preisverfall im Mobilfunk zur erfolgreichen Verbreitung von mobilen Diensten bei [HLK07a].

¹ Die Autoren bedanken sich für die Förderung dieses Forschungsvorhabens durch die Ingolstädter Institute der TU München (INLTUM).

Auch Automobilhersteller haben das Potenzial mobiler softwarebasierter Mehrwertapplikationen, sogenannter Automotive Services erkannt [HLK07a; Za08]. Sie versprechen sich dadurch zum einen ein höheres Differenzierungspotential gegenüber dem Wettbewerb und zum anderen sollen mobile Dienste im Automobil dazu beitragen, eine höhere Kundenbindung zu erreichen [RKR07; Da04]. Die drahtlose Kommunikation bildet dabei die Grundlage, um mobile Dienste ins Fahrzeug zu bringen. Dabei erwarten die Benutzer ähnliche Eigenschaften wie bei der drahtgebundenen Kommunikation: hohe Datenraten, niedrige Fehlerraten und einen bequemen Zugang zum Internet [Ro05]. Daher ist der Ausbau der Infrastruktur drahtloser Netze entscheidend für die Realisierung mobiler Dienste [VV01]. Jedoch stehen derzeit im fahrenden Auto keine Internet-taugliche Konnektivität zur Verfügung [St08]. Die mobilen Netze sind heutzutage noch vorwiegend auf die stationäre mobile Nutzung ausgelegt.

In diesem Beitrag werden daher Grundlagen zur Beantwortung folgender Frage untersucht: Reicht die aktuelle Abdeckung drahtloser Kommunikationsnetze aus, um neue datenintensive Dienste in Serie anbieten zu können? Typischerweise werden für die Evaluierung von neuen Systemen und Anwendungen Prototypen erstellt [HLK07b]. Der Prototyp und dessen Testumgebung basieren dabei jedoch auf einem Idealzustand. Für die Pilotierung mobiler Dienste bedeutet dies, dass die Kommunikationsinfrastruktur zur Nutzung durch nur wenige Prototypen zur Verfügung steht. Dies entspricht allerdings nicht der gewünschten Realität. In der Funkkommunikation müssen sich wesentlich mehr Nutzer die, gegenüber der drahtgebundenen Kommunikation ohnehin geringere, Bandbreite für die Datenübertragung teilen [VV01]. Die Funkübertragung bildet somit einen Flaschenhals in der Mobilkommunikation und limitiert je nach Technologie und Dienst die maximale Anzahl an simultanen Dienstnutzern in einem aufgrund der Zellenstruktur lokal begrenztem Gebiet.

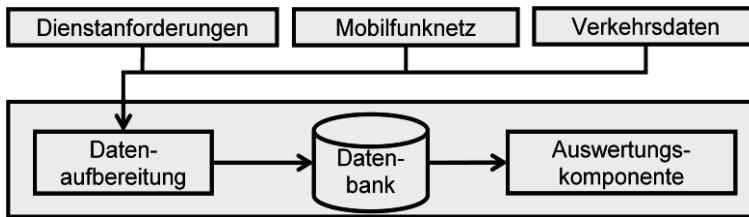


Abbildung 1: Architekturmodell des Simulators

Das Verhalten neuer Automotive Services sollte daher auch unter möglichst realistischen Rahmenbedingungen untersucht werden. In diesem explorativen Beitrag schlagen wir daher einen Ansatz vor, mit dem es prinzipiell möglich ist, eine Bewertung von Automotive Services durch Simulation durchzuführen. Es hat sich herausgestellt, dass hierzu zuerst die *möglichen Dienste und deren Anforderungen an die technische Infrastruktur* erfasst und beschrieben werden müssen. Weiterhin muss die *Netzinfrastruktur beschrieben* und die *Zusammenhänge zwischen den Anforderungen der Dienste und den Leistungen des Netzes* aufgezeigt werden. Diese beiden Informationsblöcke können anschließend mittels einem *temporalen und spatialen Simulationswerkzeug* zusammengebracht werden.

Mit Hilfe des Werkzeugs können Aussagen getroffen werden, ob in einem bestimmten Gebiet und zu einer bestimmten Zeit die Leistung des Netzes ausreicht, um die Anforderungen der genutzten Dienste zu erfüllen. Abbildung 1 zeigt das Architekturmodell des Simulationstools. Hierbei werden Daten über die Anforderungsprofile mobiler Dienste, der Mobilfunknetzabdeckung sowie der Verkehrsdichte zuerst für die Simulation aufbereitet und anschließend durch das Simulationsmodell ausgewertet und graphisch dargestellt.

Im Folgenden werden wir als erstes die Anforderungen von Automotive Services an die Infrastruktur darlegen und Kriterien für die Typisierung mobiler Dienste vorstellen. Anschließend stellen wir die technische Infrastruktur und deren Rahmenbedingungen dar. Daraufhin wird Simulationswerkzeug zur qualitativen Bewertung von Automotive Services vorgestellt und kritisch diskutiert. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick.

2 Mobile Dienste für die Nutzung im Automobil

Im Folgenden werden Funktionen im Automobil, die nicht unmittelbar zum Führen eines Fahrzeugs notwendig ist, als Automotive Service bezeichnet [He03; Za08]. Abbildung 2 zeigt ein von der Mercer Management Consulting erhobenes Spektrum mobiler Dienstleistungen rund um das Automobil mit einer besonderen Fokussierung auf denkbare personenbezogene Dienste [Da04].

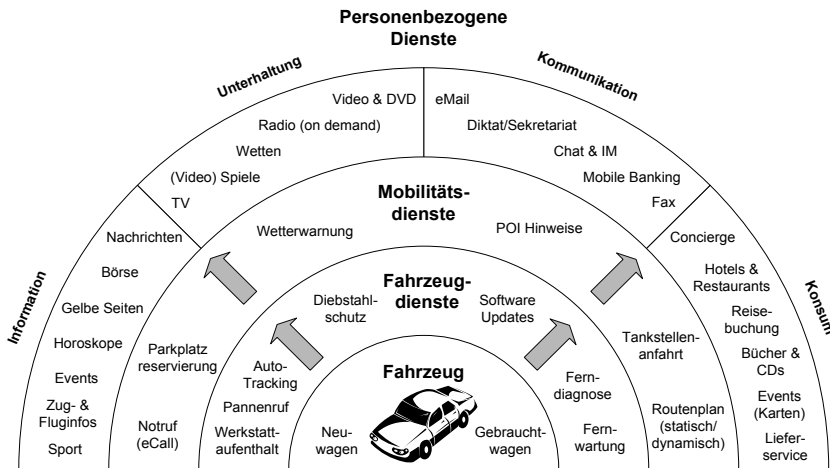


Abbildung 2: Spektrum von Automotive Services. Quelle: [Eh02]

In vielen Fällen gehen die Funktionen eines solchen Dienstes auf fahrzeugexterne Quellen zurück, werden also meist von außen an das Fahrzeug herangetragen. Exemplarisch ist dies an den drei klassischen Geräten, die das Dienstangebot im Fahrzeug begründet haben, zu sehen. Das Autoradio verarbeitet Rundfunksignale, mit dem Mobiltelefon wird auf zellulare Mobilfunknetze zugegriffen und das Navigationssystem empfängt und interpretiert GPS-Signale [He03].

Automotive Services resultieren oft aus einer Kombination, Erweiterung und Verallgemeinerung der Grundfunktionen aus Rundfunk, Telekommunikation und Datenverarbeitung [He03]. Hierdurch wird versucht die Wünsche der Anwender nach individuellen und personalisierten Diensten „anywhere, anytime, on any device“ [Wy03] zu erfüllen. Ähnliche Entwicklungen sind im Bereich der mobilen Endgeräte zu beobachten. Dies zeigt sich beispielsweise an der Kombination von Mobiltelefon und PDA (Personal Digital Assistant) zu einem sog. Smartphone, welches nun auch die mobile Nutzung von Diensten über das Internet gestattet [Ro05]. Sowohl Bordcomputer, zur Nutzung von Automotive Services, als auch mobile Endgeräte wie Smartphones, fallen dabei in die Kategorie der mobilen, drahtlosen Kommunikation. Dabei weisen alle Geräte dieser Kategorie ähnliche Einschränkungen hinsichtlich der Bauweise und der Bedienung auf. Außerdem müssen geeignete Interaktionsschnittstellen zur HCI (Human-Computer Interaction) gefunden werden [Ro05].

Weitere beschränkende Faktoren beziehen sich auf die Infrastruktur, über die Dienste erbracht werden. Im Allgemeinen werden der *Bandbreitenbedarf in Sende- und Empfangsrichtung* sowie die *Latenzzeit* als Hauptfaktoren zur Ermittlung und Typisierung von Anforderungen mobiler Dienste gesehen. Anhand der beiden Dienstgüteparameter² (Quality of Service, QoS) *Mindestübertragungsrate* und *maximale Latenzzeit* kann zudem die notwendige Kommunikationstechnologie schnell und effizient eingegrenzt werden, da alle Technologien mit einer inhärent geringeren maximalen Datenrate oder einer höheren Latenz sofort ausgeschlossen werden können. Außerdem wird die Information, ob ein Dienst eine *ständige Internetverbindung*, sog. „always-on“, benötigt oder nicht, zur Typisierung herangezogen. Dieses Merkmal spielt für die Mobilität eine entscheidende Rolle, da für die Nutzung eines Dienstes an jedem Ort das dort verfügbare Netz die entsprechenden Anforderungen des Dienstes erfüllen muss. Über diese fünf Kriterien (Bandbreitenbedarf, Latenz, Mindestübertragungsrate, maximale Latenzzeit und „always-on“) lassen sich mobile Dienste eindeutig einer Kommunikationstechnologie zuordnen.

3 Verfügbare technische Infrastruktur und Rahmenbedingungen

Damit die angebotenen Dienste und Information jederzeit aktuell und ergänzbar sind, bietet es sich an, den Dienst sowie die Daten für dessen Nutzung nicht im Fahrzeug selbst vorzuhalten, sondern diese bei Bedarf über die Luftschnittstelle zu beziehen. Dabei stellen die genutzten Infotainment- und Kommunikationsanwendungen unterschiedlich hohe Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur innerhalb und außerhalb des Fahrzeuges.

Auf die Leistungsfähigkeit des fahrzeuginternen Kommunikationssystems haben die Automobilhersteller einen direkten Einfluss. Hier kommt den Herstellern der anhaltende Fortschritt in der Mikroelektronik und Kommunikationstechnik zu Gute, welcher in

² Quality of Service beschreibt die Eigenschaften eines Kommunikationssystems bezüglich der für einen bestimmten Dienst erbrachten Leistung. Attribute hierfür sind neben der Leistung auch Leistungsschwankungen, Zuverlässigkeit und Sicherheit [St08].

immer kleineren und leistungsfähigeren Systemen resultiert. Gegenüber den Herstellern von Smartphones und anderen mobilen Endgeräten haben die Automobilhersteller zudem den Vorteil, dass im Auto genug Raum für die Kommunikationselektronik vorhanden ist. Außerdem besitzt ein Auto eine eigene Stromversorgung und ist somit nicht an die Limitationen von Batterien gebunden [He03].

Der Automobilhersteller hat zudem, wenn auch nur in begrenztem Umfang, Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Systeminfrastruktur außerhalb des Fahrzeuges. Stellt der Hersteller selbst Automotive Services bereit, so kann dieser durch ausreichend leistungsfähige Serversysteme im Backend seinen Teil für die Sicherstellung der QoS beitragen. Jedoch ist anzunehmen, dass ein Großteil der personenbezogenen Dienste aus den Bereichen Information, Unterhaltung, Kommunikation und Konsum [Eh02] von anderen Anbietern bezogen werden und somit keine Einflussmöglichkeit auf deren QoS besteht.

Neben den Endgeräten für die Dienstonutzung im Fahrzeug und den Backendsystemen zur Dienstbereitstellung muss noch eine dritte Komponente beachtet werden: die Kommunikationsinfrastruktur. Diese ist für die Übertragung der Daten vom Backend ins Fahrzeug notwendig. Die realisierbare und wahrgenommene Qualität der genutzten Dienste hängt hierbei in großem Maße von der Qualität und Verfügbarkeit der Kommunikationsinfrastruktur ab [VV01]. Im Gegensatz zu den fahrzeuginternen Kommunikationssystemen und teilweise auch den Backendsystemen können Fahrzeughersteller die Kommunikationsinfrastruktur nicht direkt beeinflussen. Hier sind sie auf die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Infrastruktur angewiesen.

3.1 Mobilfunkinfrastruktur

Zur Datenübertragung zwischen Fahrzeug und Infrastruktur (Vehicle to Infrastructure, V2I) kommt als einzige verwendbare Übertragungsart nur die drahtlose Kommunikation über die Luftschnittstelle in Frage [Er06]. Für diese drahtlose Datenübertragung können Techniken aus den Bereichen der Telekommunikationssysteme, Satellitensysteme, Rundfunksysteme oder der drahtlosen lokalen Netze eingesetzt werden [Sc00].

Unter den verfügbaren Kommunikationssystemen hat sich die Nutzung von Telekommunikationssystemen, genauer gesagt zellularen Mobilfunksystemen, zur drahtlosen Datenübertragung für V2I als die gegenwärtig beste Lösung herausgestellt. Diese sind derzeit die erste Wahl für individualisierte Kommunikation, bei der neben dem Downlink auch der Uplink eine wichtige Rolle spielt [He03]. Die anderen Kommunikationssysteme disqualifizieren sich aus verschiedenen Gründen. Satellitensysteme sind aus Kostengründen gegenüber den terrestrischen Netzen zur breitbandigen Datenübertragung zu mobilen Endgeräten nicht konkurrenzfähig. Sie eignen sich jedoch sehr gut zur genauen Positionsbestimmung und finden somit auch im Umfeld von Automotive Services zur Navigation Verwendung [Sc00]. Die Anreicherung der Positionsdaten mit zusätzlichen Informationen geschieht bereits heute über Mobilfunk [Lü09]. Rundfunksysteme wie DAB (Digital Audio Broadcast) sind unidirektionale Kommunikationssysteme und von ihrem Betrieb her auf eine reine Verteilungsfunktion ausgelegt. Mittels Kodierung können zwar für die Teilnehmer verschiedene Inhalte

ausgestrahlt werden, allerdings ist der Kanal zum Empfänger weder für viele Teilnehmer noch für große Datenvolumen zur Individualkommunikation gut geeignet [He03]. Mit drahtlosen lokalen Netzwerken wie Vehicular Ad Hoc Network (VANET) können Daten zwischen Fahrzeugen (Vehicle to Vehicle, V2V) über eine Funkverbindungen ausgetauscht werden [HM05]. Diese Techniken eignet sich zwar, um Warnungen vor Gefahrensituationen an Fahrzeuge in der näheren Umgebung weiterzuleiten, jedoch ist dieser Ansatz noch nicht praktikabel um hierüber einen Internetzugang in Fahrzeugen zu ermöglichen [Er06].

Somit stellt die Verwendung des Mobilfunknetzes zur Nutzung von Automotive Services die aktuell beste Lösung dar. Es gibt jedoch nicht ein einziges flächendeckendes Mobilfunksystem, sondern mehrere gewachsene und stetig weiterentwickelte Mobilfunknetze verschiedener Anbieter. Die verwendeten Netztechnologien basieren dabei jedoch auf gemeinsamen Standards und Spezifikationen um eine Kompatibilität zwischen den Telefonnetzen zu gewährleisten [Sc00]. Während analoge Mobilfunknetze der 1. Generation für die Datenübertragung keine Rolle mehr spielen, befinden sich mit GSM (Global System for Mobile Communications), einem System der 2. Generation, und UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), dem System der 3. Generation, sowie der einzelnen Ausbaustufen und Erweiterungen von GSM – High Speed Circuit Switched Data (HSCSD), General Packet Radio Service (GPRS) und Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) – und UMTS – High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) sowie High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) – mehrere Techniken mit unterschiedlichen technischen Eigenschaften, sowie einer unterschiedlichen hohen Netzabdeckung im Einsatz. In Tabelle 1 wird eine Übersicht über die technischen Eigenschaften der verschiedenen Technologien gegeben.

Technologie	Technische Eigenschaften			
	Uplink	Downlink	Latenz	Vermittlungsart
GSM	14,4 kbit/s	14,4 kbit/s	1000 ms	leitungsvermittelt
GSM (HSCSD)	115,2 kbit/s	115,2 kbit/s		
GPRS	171,2 kbit/s	171,2 kbit/s	600 ms	paketvermittelt
EDGE	220 kbit/s	260 kbit/s	500 ms	paketvermittelt
UMTS (Release 99)			300 ms	paketvermittelt
Mikrozelle:	128,0 kbit/s	384,0 kbit/s		
Makrozelle:	64,0 kbit/s	144,0 kbit/s		
HSDPA (Release 7)		7200,0 kbit/s	150 ms	paketvermittelt
HSUPA (Release 7)	3840,0 kbit/s		150 ms	paketvermittelt

Tabelle 1: Mobilfunktechnologie-Eigenschaften-Matrix. Quelle: [Kl01; Ro08; Sa09; Sc00]

Bei diesen Werten handelt es sich um theoretisch erreichbare Bestwerte. Diese können sich von den in den einzelnen Mobilfunknetzen in der Praxis tatsächlich erreichbaren Werten unterscheiden³. Für GPRS sind beispielsweise ca. 50 kbit/s ein in der Praxis üblicher Wert [Kl01; Sa08].

³ Generelle Aussagen über die real erreichbaren Werte können nicht getroffen werden, da die Signalausbreitung in drahtlosen Netzen von zahlreichen Faktoren beeinflusst und beeinträchtigt wird [Sc00]. Aus diesem Grund halten sich auch die Mobilfunkanbieter mit Angaben von Mindestwerten sehr bedeckt.

Insbesondere die leitungsvermittelte Ausbaustufen von GSM sind, für die bei mobilen Diensten und Internetanwendungen üblichen Datenübertragungen (häufig kleine Datenmengen, ab und zu mittlere), ungeeignet. Paketvermittelt Übertragungsschemen nutzen die Ressourcen des Netzes wesentlich besser aus [Sc00]. Die limitierenden Faktoren für die Nutzung mobiler Dienste in paketvermittelter Netzen stellen vor allem Upload und Download sowie die Latenz dar [St08]. Während sich mehrere Benutzer die verfügbare Bandbreite des Netzes aufteilen ist die Latenzzeit des Netzes für alle Benutzer gleich. In Abbildung 3 ist ein Ausschnitt des für die Simulation verwendeten prototypischen Modells der Mobilfunknetzabdeckung abgebildet. Die einzelnen Netztechnologien werden als verschiedenfarbige Kacheln gleicher Größe auf der Karte angezeigt.

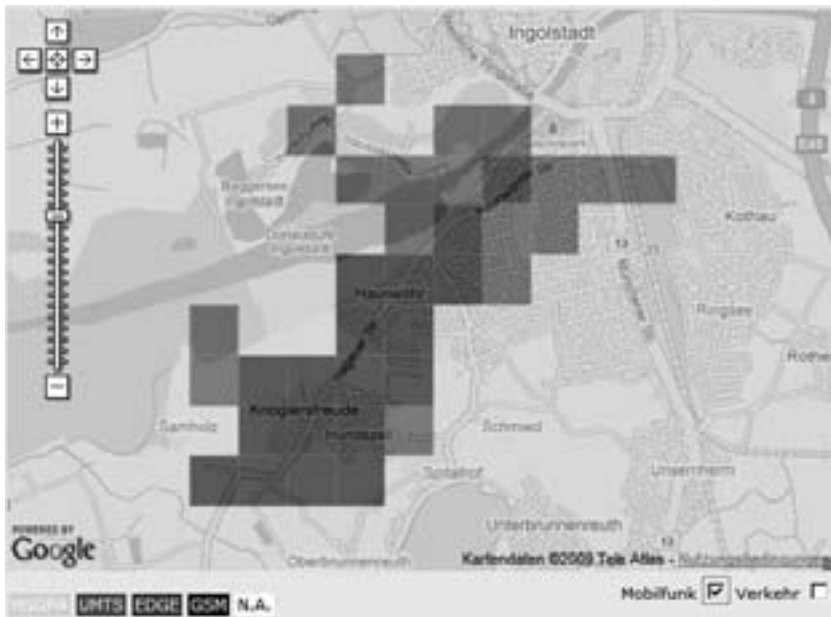


Abbildung 3: Mobilfunknetzabdeckungskarte (HSDPA (hell) bis GSM (dunkel))

3.2 Verkehrsdaten

Um Aussagen über die Nutzbarkeit von mobilen Diensten in Fahrzeugen treffen zu können, müssen aufgrund der Abhängigkeit der verfügbaren Bandbreite von der Nutzerzahl nicht nur die Anforderungen des Dienstes, sondern auch die Anzahl der aktiven Mobilfunkteilnehmer berücksichtigt werden. Hierzu wurden Verkehrsdaten in Form von Tagesganglinien verwendet. Eine Ganglinie stellt dabei den „Verlauf einer Variablen über die Zeit dar“ [Br05]. Wird als Variable die Verkehrsstärke (z.B. in Kfz/h) verwendet, so stellt die Ganglinie die Anzahl der Fahrzeuge je Stunde für einen definierten Zeitraum dar. Nach [Br05] weisen Ganglinien der Verkehrsstärke auf Straßen meist eine sich ständig wiederholende Regelmäßigkeit auf, weswegen es sich als sinnvoll erwiesen hat, typische Ganglinien der Verkehrsstärke zu ermitteln.

Bei den verwendeten Verkehrsdaten für die Simulation handelt es sich um *tagestypische Durchschnittsganglinien*. Diese wurden von der PTV Planung Transport Verkehr AG bereitgestellt; einem in Karlsruhe ansässigen Beratungs- und Softwareunternehmen für Verkehr und Logistik. Es handelt sich hierbei um fünf Tagesganglinien für die Tagesklassen Montag, Dienstag bis Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonntag. Bei den Daten handelt es sich um Prognosewerte, die auf Messwerten und darauf angewendete Simulationsverfahren der PTV AG beruhen. Für jede Tagesklasse sind die maximal mögliche Anzahl an Fahrzeugen, d.h. die Kapazität [Br05], und deren maximale Durchschnittsgeschwindigkeit je Straßenkante verfügbar. Außerdem ist die typische Anzahl der Fahrzeuge je Straßenkante mit Angabe der Geschwindigkeit, die man gemäß Widerstandsfunktion bei gegebener Belastung auf dieser Kante noch fahren kann, in Zeitscheiben von je einer Stunde über 24 Stunden hinweg enthalten. In Abbildung 4 ist ein Kartenausschnitt mit visualisierten Verkehrsdaten dargestellt. Die dunklen Linien zeigen hierbei die Verkehrsbelastung auf den einzelnen Straßenabschnitten.



Abbildung 4: Verkehrsaufkommen (viel Verkehr (dick) bis wenig Verkehr (dünn))

4 Temporales und spatiales Simulationstool für mobile Dienste

Für das Simulieren von Nutzungsszenarien mobiler Dienste im fahrenden Auto müssen in einem ersten Schritt die Anforderungen der im Szenario verwendeten mobilen Dienste ermittelt werden. Außerdem ist die Mobilfunknetzabdeckung für das betreffende Gebiet zu erfassen. Die Informationen über die Dienste liefern hierbei die Anforderungsparameter, während die Netzabdeckung angibt, welche Mobilfunktechnologien verfügbar sind. Die einzelnen Technologien besitzen dabei unterschiedlich ausgeprägte Leistungsparameter.

Als Anforderungs- und Leistungsparameter wurden Upload, Download sowie die Latenz als die geeignetsten Hauptfaktoren für die Simulation identifiziert. Als zusätzliche Indikatoren haben sich die QoS-Parameter Mindestübertragungsrate und maximale Latenzzeit sowie die Information, ob ein Dienst „always-on“ sein muss, als geeignete Kriterien erwiesen. Diese zusätzlichen Informationen über die Anforderungen eines Dienstes erlauben es bereits zu einem frühen Zeitpunkt, d.h. mit wenigen Informationen, erste Aussagen über die Verwendbarkeit eines Dienstes oder Dienstmix in einem bestimmten Gebiet treffen zu können. Ist beispielsweise die Mindestübertragungsrate, welche aus den QoS hervorgeht, größer als die maximale Datenübertragungsrate der verfügbaren Technologie, so kann dieser Dienst in diesem Gebiet nicht erbracht werden. Ein weiteres Beispiel ist ein Dienst, der eine ständige Internetverbindung benötigt. Dieser kann somit nur erbracht werden, wenn das benötigte Netz über die gesamte Fahrstrecke hinweg verfügbar ist.

Anhand dieser fünf Merkmale kann also entschieden werden, ob ein Dienst auf einer bestimmten Fahrstrecke erbracht werden kann oder nicht. Während manche dieser Parameter (Latenz, „always-on“, teilweise auch die Mindestübertragungsrate) ohne weitere Informationen zu einem Ergebnis führen, so muss für die Aussage, ob die verfügbare Bandbreite für die Diensterbringung ausreichend ist, noch die Nutzeranzahl mit berücksichtigt werden, da sich alle Mobilfunkteilnehmer in einer Zelle deren maximal verfügbare Bandbreite teilen. Hier wird vereinfachend davon ausgegangen, dass sich die Bandbreitenanforderungen der einzelnen Teilnehmer einfach aufsummieren. Als maximal verfügbare Bandbreite des Mobilfunknetzes wird die höchste in diesem Bereich verfügbare Ausbaustufe angenommen. Gleiches gilt auch für die anderen Parameter.

4.1 Architektur des Simulationswerkzeugs und Simulationsmodell

Das Simulationswerkzeug zeichnet sich dadurch aus, dass neben den verlässlichen Daten, wie Bandbreite und Latenzzeit, auch weiche Faktoren wie die angenommene Nutzerzahl und Grundlast des Netzes sowie der zu simulierende Dienstmix berücksichtigt werden. Dies ermöglicht eine gewisse Veränderbarkeit und lässt dadurch zu, dass verschiedene Szenarios kreiert und simuliert werden können.

In Abbildung 5 werden die wesentlichen Elemente der Oberfläche des Werkzeugs zusammen mit dem Ergebnis einer Simulation dargestellt. Als Architektur liegt das in Abbildung 1 gezeigte Modell, mit der Komponente zur Datenaufbereitung, der Datenbank (DB) sowie der Auswertungskomponente, zugrunde. Mittels der Datenaufbereitung werden die Anforderungsdaten der Dienste, die Leistungs- und Netzabdeckungsdaten des Mobilfunks sowie die Verkehrsdaten in geeigneter Weise für die Simulation aufbereitet und in die DB eingefügt. Die Auswertungskomponente erhält die benötigten Daten zum einen aus der DB und zum anderen aus der GUI des Simulators. Über die GUI können bspw. der Dienstmix und der Prozentsatz der Verkehrsteilnehmer, welche den Dienstmix nutzen, bestimmt werden. Aus der DB werden die Daten über Verkehr, Dienste und Mobilfunk entnommen. Die Daten für diese drei Bereiche entstammen dabei unterschiedlicher Quellen. Die Verkehrsdaten wurden

von der PTV AG bereitgestellt, die Anforderungsbeschreibungen der Dienste wurden in einer separaten Studie erarbeitet und für die Mobilfunkdaten wurde die Netzabdeckung eines deutschen Mobilfunknetzes für eine beispielhafte Betrachtung herangezogen. Die Leistungsdaten des Mobilfunks entstammen der Literatur [K101; Ro08; Sa09; Sc00].

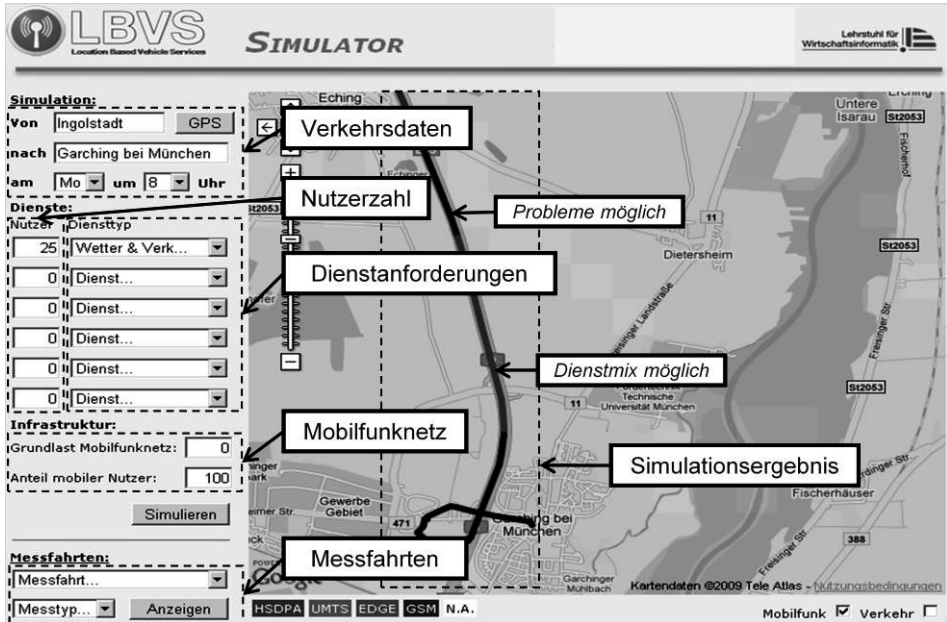


Abbildung 5: Architektur des Simulationstools

Das Simulationsmodell der Auswertungskomponente beruht auf Grund unseres explorativen Ansatzes bewusst auf vereinfachten Annahmen. Für die Simulation werden Nutzungsszenarios verwendet. Im obigen Beispiel wird die Simulation für eine Fahrt von Ingolstadt nach Garching b. München am Montag um 8 Uhr durchgeführt. In diesem Szenario wird angenommen, dass 25 Prozent der Verkehrsteilnehmer auf dieser Strecke den Dienst „Wetter & Verkehr“ nutzen. Die Gesamtzahl der Verkehrsteilnehmer auf diesem Streckenabschnitt ist in der Tagesganglinie „Montag“ hinterlegt. Die Anforderungen an die Mobilfunkinfrastruktur errechnen sich aus den technischen Anforderungen des Dienstes multipliziert mit der Anzahl an Dienstenutzern. Die Grundlast des Mobilfunknetzes, d.h. die Ressourcennutzung durch Mobilfunkteilnehmer wie Fußgänger, wird mit 0 Prozent angenommen, da es sich bei der Simulationsroute weitestgehend um Fernverkehrsstraßen handelt. Durch eine vorhandene Grundlast würde die für die Verkehrsteilnehmer zur Verfügung stehende Bandbreite des Mobilfunknetzes prozentual vermindert. In der Simulation wird für alle Streckenabschnitte der Route überprüft, ob die Anforderungen des Dienstes bzgl. Bandbreitenbedarf, Latenzzeit und „always-on“ durch das Mobilfunknetz in diesem Bereich erbracht werden können. Ergebnis der Simulation ist eine eingefärbte Route, welche angibt, ob der Dienstmix für die gegebenen Parameter auf einem Streckenabschnitt möglich, problematisch oder nicht möglich ist. Über die gesamte Route ist dadurch ersichtlich, an welchen Stellen die

Nutzer erfolgreich ihre mobilen Dienste nutzen können und an welchen es mangels ausreichender Ressourcen scheitern wird.

Zur Überprüfung der im Modell angenommenen Leistungsfähigkeit des Mobilfunknetzes wurde ein Messwerkzeug für die Erfassung von Upload, Download, Latenz und Jitter erstellt. Insbesondere für Sprach- und Videoübertragung sowie Multimediaanwendungen sind diese Werte sehr wichtig [Sa09]. Die Messung dieser Werte wurde im fahrenden Fahrzeug für verschiedene repräsentative Streckenprofile durchgeführt. Hierbei wurden kontinuierlich die Werte gemessen und zusammen mit der GPS-Koordinate in die Datenbank geschrieben. Insgesamt wurden 12 Messfahrten durchgeführt, von denen allerdings eine aufgrund einer defekten GPS-Komponente keine verwendbaren Ergebnisse lieferte. Durch diese Messfahrten konnten die von den Mobilfunkanbietern kommunizierten Übertragungsgeschwindigkeiten im Up- und Download grundsätzlich bestätigt werden. Bei den maximalen Downloadwerten konnten die Angaben der Mobilfunkanbieter allerdings nicht bestätigt werden. Überraschenderweise wiesen die gemessenen Latenzzeiten der unterschiedlichen Mobilfunktechnologien nur geringe Unterschiede auf, lagen jedoch durchwegs in einem höheren Wertebereich als in der Literatur [Kl01; Ro08; Sa09; Sc00] angegeben.

4.2 Kritische Betrachtung des Ansatzes

Nachdem der Nutzen und die Funktionsweise des Werkzeugs dargelegt wurden, sollen nun die Vor- und Nachteile dieses Ansatzes diskutiert werden. Wir sind uns hierbei bewusst, dass das derzeitige Simulationsmodell auf vereinfachten Annahmen beruht und somit die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen der Realität noch nicht vollständig widerspiegelt. Dieser Umstand ist maßgeblich der Qualität der zur Verfügung stehenden Daten geschuldet. Während die verwendeten Verkehrsdaten, dank der Unterstützung durch die PTV AG, bereits von guter Qualität sind, weisen die Daten bzgl. der Mobilfunkinfrastruktur noch Verbesserungspotential auf. So musste die Zellstruktur des Mobilfunknetzes und somit die Beachtung der Verbindungsübergabe (Handover) zwischen zwei Zellen im aktuellen Simulationsmodell aufgrund fehlender Daten unberücksichtigt bleiben. Wir versuchen durch die Integration von Praxispartnern aus dem Mobilfunksektor die Datenqualität weiter zu erhöhen, um mit dem Simulationsmodell der nächsten Iteration die Realität noch treffender abbilden zu können.

Die Daten über die Mobilfunkinfrastruktur basieren im aktuellen Simulationsmodell auf der online verfügbaren Modellrechnung der Netzabdeckung eines deutschen Mobilfunknetzbetreibers. Bereits die auf diesem prototypischen Modell basierende Simulation gestattet erste Voraussagen über die Verwendbarkeit von Automotive Services. Durch die Verwendung exakter Netzabdeckungsdaten verschiedener Mobilfunkanbieter könnten die Vorhersageergebnisse noch weiter verbessert werden. Ergänzt um Informationen über die Lage der Mobilfunkzellen könnten im Modell zudem die Einflüsse des Handover berücksichtigt werden. Des Weiteren sind im Simulationsmodell auch die technischen Eigenschaften der verfügbaren Mobilfunktechniken wirklichkeitsgetreu abzubilden. Hierzu sind Informationen über die

konkrete Umsetzung der Mobilfunktechniken durch die Mobilfunknetzbetreiber notwendig, da sich die praktischen Leistungsdaten erheblich von den theoretisch möglichen unterscheiden können.

Eine der Stärken der Simulation ist, dass das Simulationsmodell auf realen Daten (Straßennetz, Verkehr, Dienste, Mobilfunk) basiert. Die Mobilfunkdaten wurden zusätzlich mittels Messfahrten evaluiert. Aus diesen realen Daten werden die harten Fakten für die Auswertung entnommen. Zusätzlich wird das Modell um weiche Faktoren (Dienstmix, Prozentsatz der Teilnehmer, Grundlast des Mobilfunknetzes) ergänzt. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit verschiedene Nutzungsszenarien unter exakt gleichen Bedingungen durchzuspielen und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

Die für die Simulation verwendeten Daten können jederzeit aktualisiert werden. Zudem lassen sich zukünftige Ausbaustufen des Mobilfunknetzes oder auch weitere Übertragungswege durch die Bereitstellung der entsprechenden Daten in den Simulator integrieren. Außerdem bietet die Simulation die Möglichkeit, entsprechende Daten vorausgesetzt, das Betrachtungsgebiet beliebig zu vergrößern. Zudem können noch nicht realisierte Dienste auf ihre „Tauglichkeit“ für die aktuelle und zukünftige Ausbaustufe des Mobilfunknetzes hin überprüft werden. Die Simulation besitzt somit ein hohes Maß an Flexibilität bezüglich des Betrachtungsgegenstandes und erlaubt dadurch die Betrachtung und Analyse vielfältiger Szenarien und möglicher Entwicklungen.

5 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur Bewertung von Automotive Services mittels Simulation hinsichtlich der zu erwartenden Dienstgüte vorgestellt. Außerdem wird dargestellt, dass hierfür Daten bzgl. der Anforderungen mobiler Dienste, der Mobilfunkinfrastruktur sowie der Verkehrsdichte benötigt werden.

Zur Typisierung mobiler Dienste nach Ihren Anforderungen und QoS-Parameter haben sich die Bandbreitenbedarf in Sende- und Empfangsrichtung sowie die Latenzzeit als Hauptfaktoren herausgestellt. Die Dienstgüteparameter Mindestübertragungsrate und maximale Latenzzeit stellen wichtige Angaben bzgl. der QoS dar. Außerdem stellt die Anforderung „always-on“ eine wichtige Information für die Qualifizierung von Dienste für bestimmte Netztechnologien dar.

Am Mobilfunknetz, welches vorläufig die geeignetste Lösung für die Nutzung von mobilen Diensten im Automobil via V2I-Kommunikation darstellt, wurde exemplarisch die Infrastruktur beschrieben. Außerdem wurden die wichtigsten technischen Eigenschaften der verschiedenen aktuellen Mobilfunktechnologien erfasst. Die Netzabdeckung wurde zudem mittels Messfahrten validiert.

Um Aussagen über die Verwendbarkeit von Diensten auf bestimmten Fahrstrecken treffen zu können, wurden zudem Verkehrsdaten mit in das Modell aufgenommen. Dadurch ist es möglich, die für jeden einzelnen Nutzer zur Verfügung stehende Bandbreite abzuschätzen. Die Daten über die Kommunikationsinfrastruktur wurden in

Abdeckung mit den Verkehrsdaten gebracht. Durch die Routenplanung basierend auf Google Maps können nun mit Hilfe unseres Simulationsmodells Aussagen über die temporale und spatiale Verwendbarkeit von mobilen Diensten im Automobil, unter Berücksichtigung deren Anforderungsprofils sowie der Leistungsfähigkeit des Mobilfunknetzes, getroffen werden.

Der aktuelle Stand des Simulationswerkzeuges dient als systematischer „Proof of Concept“, um für die Entwicklung von Automotive Services zuverlässigere Daten zu erhalten. Nächste Schritte umfassen insbesondere die Integration qualitativ hochwertiger Informationen über die Mobilfunkinfrastruktur sowie zu den in der Praxis verfügbaren Leistungen der einzelnen Mobilfunktechnologien.

Neben dem derzeitigen Einsatzgebiet des Simulationswerkzeuges zur off-board Simulation von Nutzungsszenarien, ist ein weiterer möglicher Verwendungszweck die Optimierung der Dienstenutzung im Fahrzeug. Hierbei könnte das Werkzeug on-board durch Simulation der Verkehrs- und Mobilfunkverhältnisse auf der gefahrenen Route ein optimiertes Caching für den ausgewählten Dienst vornehmen. Ist durch die Simulation absehbar, dass Streckenabschnittsweise eine zu geringe Datenübertragungsrate für den ausgewählten Dienst vorhanden ist, so kann darauf im Vorfeld durch rechtzeitiges Füllen der Caches reagiert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Bandbreitenbedarf, Latenzzeit und „always-on“ geeignete Parameter sind, um die erforderlichen Eigenschaften der Mobilfunknetze für Automotive Services zu beschreiben. Kombiniert man Modelle des Verkehrsaufkommens mit jenen mobiler Breitbandinfrastruktur lässt sich durch Simulation die zu erwartende Dienstgüte vorhersagen.

Literaturverzeichnis

- [Br05] Brilon, W.: Grundlage der Bemessung von Verkehrsanlagen. In (Steierwald, G.; Künne, H. D.; Vogt, W. Hrsg.): Stadtverkehrsplanung: Grundlagen, Methoden, Ziele. Springer, Berlin et al., 2005
- [Da04] Dannenberg, J. et al. (Hrsg.): Future Automotive Industry Structure (FAST) 2015 - die neue Arbeitsteilung in der Automobilindustrie. Verband der Automobilindustrie, Frankfurt a. M., 2004.
- [Eh02] Ehmer, M.: Mobile Dienste im Auto - Die Perspektive der Automobilhersteller. In (Reichwald, R. Hrsg.): Mobile Kommunikation: Wertschöpfung, Technologies, neue Dienste. Gabler Verlag, Wiesbaden 2002; S. 459-472.
- [Er06] Ernst, T.: The information technology era of the vehicular industry. In: ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 36, Nr. 2, 2006; S. 49-52.
- [He03] Herrtwich, R. G.: Fahrzeuge am Netz. In (Mattern, F. Hrsg.): Total vernetzt: Szenarien einer informatisierten Welt. Springer-Verlag, Berlin et al., 2003; S. 63-84.
- [HLK07a] Hoffmann, H.; Leimeister, J. M.; Krcmar, H.: A Framework for Developing Personalizeable Mobile Services in Automobiles. In: Proceedings of the Fifteenth European Conference on Information Systems, St. Gallen, 2007. University of St. Gallen; S. 938-949.
- [HLK07b] Hoffmann, H.; Leimeister, J. M.; Krcmar, H.: Pilotierung mobiler Dienste im Automobilsektor. In (Reichwald, R.; Krcmar, H.; Reindl, S. Hrsg.): Mobile Dienste im

- Auto der Zukunft - Konzeption, Entwicklung, Pilotierung. EUL Verlag, Lohmar, 2007; S. 125-203.
- [HM05] Hui, F.; Mohapatra, P.: Experimental characterization of multi-hop communications in vehicular ad hoc network. In: Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, Cologne, Germany, 2005. ACM, New York, 2005; S. 85-86.
- [Kl01] Klußmann, N.: Lexikon der Kommunikations- und Informationstechnik. Hüthig, Heidelberg, 2001.
- [Lü09] Lüders, D.: Die Netz-Navis sind da: Navigationsgeräte mit Internetdiensten. c't Magazin für Computertechnik, 2009, 31.08.2009, S. 32-33.
- [RKR07] Reichwald, R.; Krcmar, H.; Reindl, S. (Hrsg.): Mobile Dienste im Auto der Zukunft. EUL Verlag, Lohmar - Köln, 2007.
- [Ro05] Roth, J.: Mobile Computing: Grundlagen, Technik, Konzepte. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2005.
- [Ro08] Roth, J.: Das mobile Internet. In: <http://www.wireless-earth.de/teaching/MobileInternet.pdf>, zugegriffen am: 04.09.2009.
- [Sa08] Sauter, M.: Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme: Von UMTS und HSDPA, GSM und GPRS zu Wireless LAN und Bluetooth Piconetzen. Vieweg-Verlag, Wiesbaden, 2008.
- [Sa09] Sauter, M.: Beyond 3G - Bringing Networks, Terminals and the Web Together. John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, 2009.
- [Sc00] Schiller, J.: Mobilkommunikation: Techniken für das allgegenwärtige Internet. Addison-Wesley, München et al., 2000.
- [St08] Stolte, P.: Das Auto im Connected Life. In (Eberspächer, J.; Arnold, H.; Herrtwich, R. Hrsg.): Das vernetzte Automobil: Mehr Sicherheit und Effizienz durch Informations- und Kommunikationstechnik, München, 2008. Hüthig, Heidelberg, 2008; S. 53-64.
- [St08] Stein, E.: Taschenbuch Rechnernetze und Internet. Hanser Verlag, Leipzig, 2008.
- [VV01] Varshney, U.; Vetter, R.: A Framework for the Emerging Mobile Commerce Applications. In: Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Island of Maui, 2001. IEEE Computer Society Washington, DC, 2001; S. 9014.
- [We04] Wehrmann, J.: Situationsabhängige mobile Dienste. Konzepte und Modelle zu ihrer effizienten Entwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Benutzerakzeptanz. WiKu-Verlag, Berlin, 2004.
- [Wy03] Wybraniec, D.: Die Zukunft der Telekommunikation - Convenience als Wachstums- und Innovationstreiber. In (Mattern, F. Hrsg.): Total vernetzt: Szenarien einer informatisierten Welt. Springer-Verlag, Berlin et al., 2003; S. 43-62.
- [Za08] Zauner, A. et al.: Automotive Software & Service Engineering Eine Exploration von Herausforderungen und Trends aus der Sicht von Branchenexperten. Technische Universität München, München, 2008.