Informatikforschung für digitale Mobilitätsplattformen

Am Beispiel des TUM Living Lab Connected Mobility

Sasan Amini · Kristian Beckers
Markus Böhm · Fritz Busch
Nihan Celikkaya · Vittorio Cozzolino
Anne Faber · Michael Haus
Dominik Huth · Alfons Kemper
Andreas Kipf · Helmut Krcmar
Florian Matthes · Jörg Ott · Christian
Prehofer · Alexander Pretschner
Ömer Uludağ · Wolfgang Wörndl

Einleitung

Zur Unterstützung der digitalen Transformation im Bereich Smart Mobility und Smart City wurde das TUM Living Lab Connected Mobility (TUM LLCM) (www.tum-llcm.de) initiiert. Das dreijährige Projekt bündelt einschlägige Forschungs-, Entwicklungs-, und Innovations-Kompetenzen der TU München in der Informatik (sieben Lehrstühle) und in der Verkehrsforschung (ein Lehrstuhl), um die Konzeption und skalierbare Implementierung offener und somit anbieterübergreifend nutzbarer digitaler Mobilitätsplattformen voranzutreiben. Das Projekt erforscht neue digitale Geschäftsmodelle im Bereich Mobilität unter dem Aspekt der Verbesserung der Mobilität im Sinne der Bürgerinnen und Bürger und die Förderung innovativer Ansätze zum städtischen Verkehrsmanagement und somit einen Nutzen für Wirtschaft, Bürger und Städte. Daher werden die eigentlichen Forschungsarbeiten durch Maßnahmen zur Vernetzung von Mobilitätsanbietern, Serviceanbietern, Entwicklern und Nutzern auf persönlicher, organisatorischer und technischer Ebene ergänzt, wie zum Beispiel durch Praktika, Lehrveranstaltungen, Hackathons, Messen und Konferenzen.

Dieser Artikel zeigt am Beispiel des TUM-LLCM-Verbundprojekts, wie die Fakultät für Informatik der TU München die Kompetenzen ihrer Forschungseinheiten in innovativen Anwendungsszenarien bündelt, um zeitnah gesellschaftlich relevante Ergebnisse im engen Austausch mit den betroffenen Akteuren außerhalb der Forschung zu erzielen (vgl. Abb. 1). Für sechs Forschungsfelder der Informatik wird jeweils aufgezeigt, welche

neuen Forschungsfragen offene Plattformen und Ökosysteme für digitale Mobilitätsdienste aufwerfen und wie die jeweiligen Lehrstühle der Fakultät ihre Forschungsergebnisse und Fachexpertise in die Realisierung innovativer Use Cases einbringen. Dem Gedanken eines „living lab“ folgend, werden die Ergebnisse nicht nur von den Projektteilnehmern unmittelbar selbst verwendet, sondern auch früh den relevanten Akteuren außerhalb des Projekts zur Verfügung gestellt. Hierzu gehören neben kommerziellen Anbietern von Mobilitätsdaten, -anwendungen und -plattformen auch Nutzer, Verbände und Vertreter der Politik. Andere Forschungsprojekte, Start-ups und Technologieanbieter dienen als Multiplikatoren (Abb. 1).

Forschungsfeld Wirtschaftsinformatik

Seit seiner Gründung 1987 verfolgt der Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik (Prof. Krcmar) das Ziel,

DOI 10.1007/s00287-017-1029-2
© Die Autoren 2017. Dieser Artikel wurde mit Open Access auf Springerlink.com veröffentlicht.

Sasan Amini · Fritz Busch · Nihan Celikkaya
Technische Universität München,
80333 München
E-Mail: {sasan.amini, fritz.busch, nihan.celikkaya}@tum.de

Kristian Beckers · Markus Böhm · Vittorio Cozzolino
Anne Faber · Michael Haus · Dominik Huth · Alfons Kemper
Andreas Kipf · Helmut Krcmar · Florian Matthes · Jörg Ott
Christian Prehofer · Alexander Pretschner · Ömer Uludağ
Wolfgang Wörndl
Technische Universität München,
85748 Garching bei München
E-Mail: {kristian.beckers, anne.faber, michael.haus,
dominik.huth, matthes, christian.prehofer,
oemer.uludag}@tum.de
{markus.boehm, vittorio.cozzolino, alfons.kemper, kipf,
krcmar, ott, pretschner, woerndl}@in.tum.de

Zusammenfassung

Zur Unterstützung der digitalen Transformation im Bereich Smart Mobility und Smart City wurde das TUM Living Lab Connected Mobility (TUM LLCM) initiiert. Das Forschungsprojekt bündelt die einschlägigen Forschungs-, Entwicklungs-, und Innovationskompetenzen der Technischen Universität München (TUM) in der Informatik und in der Verkehrsforschung. Im Projekt wird die Konzeption und prototypische Implementierung offener und somit anbieterübergreifend nutzbarer digitaler Mobilitätsplattformen vorangetrieben. Die eigentliche Implementierung dieser Plattformen erfolgt durch kommerzielle Anbieter unter Berücksichtigung der Anforderungen des sich im Umbruch befindlichen kundenorientierten Mobilitätsmarkts. Dieser Artikel zeigt am Beispiel des TUM-LLCM-Projekts, wie die Fakultät für Informatik der TU München die Kompetenzen ihrer Forschungseinheiten in innovativen Anwendungsszenarien bündelt, um zeitnah gesellschaftlich relevante Ergebnisse im engen Austausch mit den betroffenen Akteuren außerhalb der Forschung zu erzielen.

sozio-technische Innovationen in interdisziplinären Forschungsprojekten voranzutreiben. Neben der Analyse und Evaluation von Informationssystemen und deren Nutzung nimmt auch die gestaltungsorientierte Forschung einen hohen Stellenwert ein, um wertvolle und nachhaltige Innovationen zu schaffen.

Damit Innovationen einen anhaltenden Nutzen stiften, sind adäquate Geschäftsmodelle erforderlich. Nur wenn mit dem von einer Innovation vermuteten Wertversprechen auch Gewinn erzielt werden kann, finden sich Unternehmen, die diese Innovationen auf den Markt bringen. Daher nimmt die Geschäftsmodellforschung einen immer wichtigeren Stellenwert in der Wirtschaftsinformatik ein [19], um die tatsächliche Verbreitung von IT-gestützten Innovationen zu fördern.

Der aktuelle Trend der Digitalen Transformation macht die wirtschaftliche Betrachtung von Digitalisierungsinitiativen besonders deutlich. Unternehmen aller Branchen versuchen, durch eine Digitalisierung von Geschäftsprozessen, digitale Zusatzprodukte und -dienste oder einer Digitalisierung der Nutzerschnittstelle Innovationen zu schaffen. Nicht immer wird hierdurch Wert geschaffen. Wie verschiedene Beispiele, etwa die der durch eine App gesteuerten Kaffeemaschinen, zeigen, wird der Mehrwert für den Kunden häufig außer Acht gelassen. Nicht alles, was digitalisiert werden kann, muss auch digitalisiert werden. Entscheidend sind neben dem Wertversprechen für den Kunden [12] auch die

Abb. 1 Beiträge des TUM Living Lab Connected Mobility zur Entwicklung digitaler Mobilitätsdienstleistungen für den urbanen Raum

Abstract

The TUM Living Lab Connected Mobility (TUM LLCM) research project was initiated to support the digital transformation in the area of Smart Mobility and Smart City. The project bundles the relevant research, implementation, and innovation capabilities of the Technical University of Munich in informatics and transport research. The research project contributes to the design and implementation of open, provider-independent digital mobility platforms. The actual implementation of these platforms is carried out by commercial providers taking into account the market requirements of customer-oriented mobility solutions. This paper uses the example of the TUM LLCM project to illustrate, how the Technical University of Munich combines competences of several research fields in informatics by means of innovative use cases to achieve timely results relevant for society in close collaboration with stakeholders outside of research.

Art und Weise, wie mit Digitalisierung Gewinne erzielt werden können.

Im Projekt TUM LLCM widmet sich der Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik der Entwicklung eines konfigurierbaren Referenzgeschäftsmodells für Plattformanbieter. Hierzu bringt der Lehrstuhl seine Expertise in der Beschreibung und Analyse von Geschäftsmodellen ein. Eine besondere Bedeutung kommt bei derartigen Plattformgeschäftsmodellen auch der Analyse des Ökosystems mithilfe von Wert-

flussnetzwerken zu, um sicherzustellen, dass das Geschäftsmodell nicht aufgrund fehlender Erlöströme für einzelne Akteure in sich zusammenbricht (Abb. 2) [7].

Im Rahmen des Projekts wurde zunächst eine Literaturstudie durchgeführt, welche wesentliche Geschäftsmodellkomponenten für Plattformen zusammenfasst. Darüber hinaus verdeutlicht sie, dass der Lebenszyklus von Geschäftsmodellen bislang kaum Berücksichtigung in der Literatur findet [17]. Ferner konnten die Definition von Rollen, Preismodelle, die vom Plattformbetreiber zu Verfügung gestellte Ressourcenbasis („boundary resources“) sowie Offenheit als wesentliche Konzepte für das Design von Plattformökosystemen identifiziert werden [16].

Aktuell wird eine Fallstudien Datenbank aufgebaut, in der Informationen zu realen Plattformgeschäftsmodellen (zum Beispiel aktuelle P2P-CarSharing-Anbieter) gesammelt werden. Aus der Analyse dieser Fallstudien sollen induktiv Bestandteile für das Referenzgeschäftsmodell abgeleitet werden. Hieraus soll letztendlich ein modular aufgebautes Referenzgeschäftsmodell für Plattformanbieter entwickelt werden, welches an veränderliche Anforderungen (zum Beispiel Kundenpräferenzen) angepasst werden kann und somit den Lebenszyklus von Geschäftsmodellen berücksichtigt.

Parallel zu den Kernaktivitäten wird in Kooperation mit dem Schwesterprojekt Connected Mobility Lab (CML) – BMW und Siemens – ein Fahrsimulatorexperiment vorbereitet, um die Kundenpräferenzen für verschiedene Mobilitätsbündel zu identifizieren. Hierzu sollen die Probanden ein Stauszenario fahren und sich für alternative Kombinationen von Mobilitätsangeboten (U-Bahn,

Abb. 2 Beispiel eines Wertflussnetzwerks einer Fahrradverleihplattform

Bike-Sharing, etc.) entscheiden. Das Experiment lässt Rückschlüsse zur Akzeptanz von intermodalen Mobilitätskonzepten erwarten und dient dazu, das Wertversprechen im zu entwickelnden Referenzgeschäftsmodell zu schärfen.

Forschungsfeld Software Engineering

Management von Dienstnetzwerken und ganzheitliches Management offener Dienstplattformen

Seit 2002 erforscht und entwickelt der Lehrstuhl für Software Engineering für betriebliche Informationssysteme (Prof. Matthes) Konzepte, Methoden und Werkzeuge zur Zusammenarbeit in Organisationen und über Unternehmensgrenzen hinweg [10]. Dabei bilden das Unternehmensarchitekturmanagement und modellbasierte Kollaborationsumgebungen die Kernkompetenzen des Lehrstuhls, die für die Durchführung des TUM-LLCM-Projekts von wesentlicher Bedeutung sind.

Das Unternehmensarchitekturmanagement stellt Modelle und Governance-Prozesse bereit, um strategische Geschäftsziele systematisch im Rahmen von Transformationsprojekten, z. B. um neue Geschäftsmodelle umzusetzen [14]. Zentraler Gegenstand des Unternehmensarchitekturmanagements ist die ganzheitliche Modellierung der zentralen Strukturen und Beziehungen einer Organisation [15].

Modellbasierte Kollaborationsumgebungen bieten Informationsträgern und Modellierern in einer Organisation die Möglichkeit, die für Ihre Arbeit benötigten Aspekte von Unternehmensmodellen kollaborativ und inkrementell in einem Bottom-up-Ansatz zu entwickeln, zu warten und zu erweitern. Hierbei wird ein leichtgewichtiger Hybrid-Wiki-Ansatz verwendet [11].

Um die digitale Transformation von Unternehmen im Bereich Smart Mobility und Smart City zu unterstützen, müssen die Kompetenzen des Unternehmensarchitekturmanagements und der kollaborativen Modellierungsaktivitäten im TUM-LLCM-Projekt erweitert werden. Daher erforscht der Lehrstuhl das Management und die Modellierung von dynamischen digitalen Wertschöpfungsnetzen. Diese erweitern die eher nach innen gerichtete ganzheitliche Sicht des Unternehmens um Modelle des Ökosystems, in dem das Unternehmen agiert (Kunden, Wettbewerber, Partner, Staat, Bürger, ...). Eine

besondere Herausforderung ist die Identifikation und Evaluation einer geeigneten Modellierungssprache um dynamische Netzwerkökosysteme geeignet abzubilden. Im Rahmen des TUM-LLCM-Projekts muss der bisherige Fokus der Forschung von modellbasierten Kollaborationsumgebungen für einzelne Unternehmen um Unternehmensverbünde erweitert werden. Zum einen ist hier die Konzeption und Umsetzung strukturierter On- und Offboarding-Prozesse für neue Partner und Services ein Bestandteil der aktuellen Forschung im Rahmen des TUM-LLCM-Projekts, welches für den Aufbau und den Erhalt des Ökosystems ein wesentliches Erfolgskriterium ist. Herausforderungen sind in diesem Forschungsthema die Identifikation von Automatisierungs- und Qualitätssicherungsmöglichkeiten von On- und Offboarding-Prozessen und die Umsetzung des Datenschutzes beim Offboarding von Partnern. Zum anderen erforscht der Lehrstuhl die Entwicklung, Implementierung, Dokumentation und kritische Reflektion von Governance-Prozessen für das TUM-LLCM-Mobilitätsplattform. Hierbei besteht die Herausforderung geeignete Governance-Prozesse und Methoden für den späteren Betrieb der Mobilitätsplattform und die gesteuerte Evolution des Ökosystems zu identifizieren und zu implementieren.

Softwarearchitektur und Entwicklerunterstützung

Offene und integrierte Mobilitätsplattform müssen sowohl föderierte Dienste als auch heterogene Daten integrieren und aufbereiten, insbesondere von verschiedenen Transportanbietern, Fahrzeugen sowie Kartendiensten.

Da sich die Plattform und die Dienste im Umfeld von Mobilitätsplattformen kontinuierlich weiterentwickeln, ist es wichtig, Methoden und Werkzeuge für adaptive Systeme und Dienstekomposition zu entwickeln. Dabei muss ein optimales Zusammenspiel der Systemkomponenten unter verschiedenen Konfigurationen mit alten und neuen Diensten sichergestellt werden. Zu diesen Fragen der Systemarchitektur und -modellierung werden die langjährigen Forschungsarbeiten in der Forschungsgruppe Software und System Engineering der TU München eingebracht.

Die Adaptivität von Systemen ermöglicht die Anpassung von Systemkonfigurationen und Diensten zur Laufzeit. Da im Kontext von Mobilitätsplattformen enorme Datenmengen über

Systemabläufe, Nutzerdaten als auch Kontextdaten gewonnen werden, ist ein wesentliches Forschungsziel, diese Daten für die kontinuierliche Optimierung des Systems zu verwenden. Typische Herausforderungen liegen in der Verteilung der Systemfunktionalitäten zwischen Automobilen, Cloud-Diensten und eventuell mobilen Endgeräten als auch die Sicherstellung von Datenqualität und Performanz.

Hierfür werden Techniken der Datenanalyse (Big Data) verwendet, um diese Datenmengen effizient zur Laufzeit auswerten und nutzbar zu machen. Eine besondere Herausforderung in solchen föderierten Plattformen ist es, die entsprechenden Daten, die verschiedenen Beteiligten gehören, unter Berücksichtigung von Privatsphäre (Privacy) und Vertraulichkeit zu verwalten.

Weiterhin werden Methoden für die Modellierung und Optimierung der kontinuierlichen Software-Build-Prozesse, das sogenannte „continuous delivery“, erforscht. Hier werden die Prozesse und Werkzeuge zum Erstellen und automatisierten Test von Software modelliert und erfasst. Ein weiteres Forschungsziel ist es, die obigen Techniken für Adaption zur Laufzeit auch frühzeitig in die Entwicklungsprozesse einfließen zu lassen. Geplant ist die Auswahl von Testfällen anhand der beobachteten, realen Szenarien.

Für die Entwicklung von neuen Diensten mit grafischen, interaktiven Werkzeugen werden sogenannte Mashup-Tools eingesetzt. Mashup-Tools erlauben die interaktive Modellierung von Daten- und Kontrollfluss zwischen Komponenten auf Basis von vorgegebenen Bausteinen, Regeln und Vorlagen. Mashup-Tools verwenden offene Schnittstellen von Diensten, typischerweise auf Basis von REST-basierten Protokollen. Damit ist es möglich, mehrere Internetdienste zu kombinieren und somit neue Dienste erheblich einfacher zu entwickeln.

Während bestehende Werkzeuge im Umfeld des Internets der Dinge vor allem den Datenfluss zwischen Sensoren und Internetdiensten modellieren, ist es hier wichtig, auch die Datenanalyse effizient in diese Werkzeuge zu integrieren. Daher werden wir Mashups nutzen, um eine Vielzahl von Werkzeugen zur Big-Data-Analyse nahtlos zu integrieren [9].

Forschungsfeld Datenbanksysteme

Der Lehrstuhl für Datenbanksysteme beschäftigt sich mit der Optimierung von Hauptspeicherdaten-

banksystemen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Verarbeitung neuartiger Workloads (zum Beispiel Data Mining, Geospatial, Graph, Streaming) innerhalb des Datenbanksystems. Ziel ist es, die Daten direkt im Datenbanksystem zu verarbeiten, ohne sie in externen Systemen zu transferieren, um so eine erhöhte Performanz sowie eine möglichst effiziente Ressourcennutzung zu sichern.

Die Zukunft urbaner Mobilität basiert auf der Sammlung und Auswertung von Daten mit zunehmend geografischen als auch temporalen Eigenschaften. Im TUM-LLCM-Projekt nehmen Datenbanksysteme daher eine zentrale Rolle ein und stellen eine Integrationsplattform für verschiedene Mobilitätsdienste (zum Beispiel Carsharing) dar. Da für diese Dienste die Aktualität der Daten zunehmend von Bedeutung ist (Stichwort „real time awareness“) und innerhalb kürzester Zeit enorme Datenmengen anfallen können, ist eine effiziente und somit zeitnahe Auswertung der Daten von großer wirtschaftlicher Bedeutung.

Das am Lehrstuhl entwickelte Hauptspeicherdatenbanksystem HyPer (www.hyper-db.de) wird im Rahmen des TUM-LLCM-Projekts um eine optimierte Verarbeitung von geografischen Daten mit zeitlichem Bezug erweitert. Als erstes Ergebnis dieses Projekts ist das System HyPerSpace zu nennen, das auf der ACM SIGMOD 2016 in San Francisco vorgestellt wurde [13]. HyPerSpace erlaubt es, Taxifahrten in New York City (theoretisch jeden beliebigen Geo-annotierten Datensatz) zu analysieren. Zusätzlich zur Datenbankkomponente wurde eine webbasierte Benutzeroberfläche entwickelt, die eine interaktive Auswertung von Geodaten ermöglicht (siehe Abb. 3). Durch die technische Innovation, dass keine Indexstrukturen vorberechnet werden, können die Daten unmittelbar nach ihrem Eintreffen in der Datenbank analysiert werden. Der Nutzer kann neben vorgefertigten Anfragen (zum Beispiel Statistiken pro NYC Neighborhood) beliebige SQL-Anfragen auf den Daten ausführen. Die HyPerSpace-Demo wurde mit einem SIGMOD 2016 Best Demonstration Award ausgezeichnet. In zukünftiger Arbeit gilt es nun, die Performanz des Systems weiter zu optimieren, um noch größere Datenmengen in nahezu Echtzeit auswerten zu können.

Als weiteres Ergebnis dieses Projekts ist eine Arbeit zu nennen, die sich mit dem Vergleich von Hauptspeicherdatenbanksystemen mit dedizierten

Abb. 3 HyPerMaps: Die Weboberfläche zu HyPerSpace

Streamverarbeitungssystemen beschäftigt [6]. Diese Arbeit analysiert die Benutzbarkeit- und Performanzunterschiede der beiden Systemklassen, um Ansatzpunkte für zukünftige Forschung zu identifizieren. Als vielversprechend erscheint die Lockerung der ACID-Garantien für Streamingworkloads.

Eine aktuelle Herausforderung stellt insbesondere die effiziente Nutzung moderner Hardware (zum Beispiel GPU und Koprozessoren) zur Beschleunigung von Analysen auf geografischen Daten mit Zeitbezug dar. Weitere Informationen zur Forschung am Lehrstuhl für Datenbanksysteme finden Sie in [5].

Forschungsfeld Verteilte Systeme

Im Rahmen des TUM-LLCM-Projekts beschäftigt sich der Lehrstuhl für Connected Mobility mit der Bereitstellung von Diensten für mobile Endbenutzer basierend auf IoT-Geräten und deren durch Sensoren gesammelten Informationen. Es wird eine Plattform entwickelt, die es gestattet, von einzelnen Sensoren und ihren Funktionen zu abstrahieren und Anfragen („Aufträge“) an Sensoren entsprechend ihrer funktionalen, räumlichen oder zeitlichen Anforderungen auf die Gesamtheit der IoT-Geräte zu verteilen. Die Plattform führt IoT-Geräte und

Dienstanbieter unter Wahrung ihrer jeweiligen Interessen zusammen und gestattet Nutzern den anbieterübergreifenden – kontrollierten und koordinierten – Zugriff auf IoT-Geräte. Die Nutzer können der Plattform über das Dienstangebot auf die in ihrer Nähe befindlichen IoT-Geräte sicher und flexibel zugreifen, wobei die Dienste dann gezielt Aufträge an IoT-Geräte stellen. Verschiedene Aufträge werden durch Virtualisierung voneinander isoliert, sodass keine unbeabsichtigten Informationsflüsse zwischen verschiedenen Diensten stattfinden und somit die Privatsphäre und Sicherheit der Benutzer hinsichtlich der verarbeiteten Sensordaten gewährleistet werden kann.

Dazu wird eine Testumgebung am Lehrstuhl aus IoT-Geräten Intel Edisons; aufgebaut (Abb. 4), die mit Temperatur-, Feuchtigkeits-, Lichtintensitäts-, Lautstärke- und Bewegungssensoren ausgestattet sind. Alle Sensorwerte werden gesammelt und lokal (auf jedem IoT-Gerät) sowie zentralisiert in einer speziellen Zeitreihendatenbank (InfluxDB) gespeichert. Die Nutzung von Unikernels zur Virtualisierung erhöht nicht nur die Sicherheit, sondern auch Portabilität. Ein erstes Einsatzgebiet ist das Projekt „Smarte Lichtmasten“ der Stadt München zur Erkennung von Glatteis.

Abb. 4 Aufbau der IoT-Testumgebung

Außerdem arbeitet der Lehrstuhl an der Realisierung einer Proximity-Plattform, die unterschiedliche Mechanismen zur Erkennung von räumlicher Nähe bereitstellt. Dazu wird die bestehende Testumgebung um batteriebetriebene Bluetooth-Low-Energy-Beacons erweitert. Diese übertragen konfigurierbare Standortdaten mit einstellbarer Sendestärke und -häufigkeit und unterstützen beispielsweise die Nutzerlokalisierung. Dazu sammelt das Smartphone eines Nutzers die Informationen von in der Nähe befindlichen Bluetooth-Beacons und vergleicht diese entweder mit lokal gespeicherten Datensätzen oder greift auf eine Serverdatenbank zu – unter Einsatz homomorpher Verschlüsselung, sodass der Nutzer zwar eine Position ermitteln kann, der Server davon aber keine Kenntnis erlangt.

In der Testumgebung werden zusätzliche Umgebungsdaten von den Intel-Edison-Geräten gespeichert: (1) WLAN-Signale mit SSID, MAC-Adresse vom Access-Point und die Signalstärke, (2) Bluetoothsignale mit MAC-Adresse vom Bluetoothcontroller, Bluetoothgerätenamen und die Signalstärke und (3) Beacon-Informationen mit Beacon-ID, Standort, Temperatur, Signalstärke und Sendeleistung. Jeder Ort zeichnet sich durch andere Umgebungseigenschaften aus, sodass sich Nutzer durch den Abgleich der Sensordaten vom Smartphone mit denen der Testumgebung lokalisieren können. Um die Privatsphäre der Nutzer zu schützen, entscheidet jeder selbst, welche Informationen an welche Dienste übermittelt werden sowie wo und wie der Aufenthaltsort berechnet wird.

Da diese Umgebungsdaten unter Umständen die Identifizierung von Smartphone-Nutzern erlau-

ben, wird ein Ansatz namens *Privacy Preserving Hub* (P²Hub) [3] verfolgt, um die Privatsphäre der Nutzer zu schützen. Drittanbieter-Apps erhalten keinen direkten Zugriff auf die Sensordaten des Smartphones. Das mobile Betriebssystem nutzt eine zusätzliche Schicht, die mittels Virtualisierung die Sensordaten direkt von der Hardware-Schicht abfragt und in einem verschlüsselten externen Datencontainer speichert. Eine Steuerinstanz erhält die Anfragen der Drittanbieter-Apps und entscheidet anhand der Benutzereinstellungen, welche Daten an die Drittanbieter-App übermittelt werden.

Forschungsfeld Security Engineering

Connected Mobility erfordert das Zusammenspiel von verschiedenen Teilsystemen und Stakeholdern. Jedes System unterliegt bestimmten gesetzlichen, regulatorischen und selbstauferlegten Pflichten. Im Rahmen des Projekts wird ein konzeptionelles und technisches Accountability-Rahmenwerk entwickelt, das Verletzungen dieser Pflichten feststellen und deren Ursachen eingrenzen kann. Zudem kann es Verantwortlichkeiten feststellen helfen.

Accountability [20] ist im TUM-LLCM-Kontext eine generelle Eigenschaft eines soziotechnischen Systems, die Fragen nach dem „Warum“ aufgetretener Ereignisse oder Ereignisketten semiautomatisiert beantworten soll, zum Beispiel: Warum hat mein selbstfahrendes Auto zu spät gebremst? Wann sind meine Daten an eine externe Partei gesendet worden? Accountability ist insbesondere aufgrund der wachsenden Komplexität und der dynamischen Rekonfiguration heutiger und zukünftiger Systeme eine erstrebenswerte Eigenschaft, weil zur Entwick-

lungszeit Funktions- und Informationssicherheit aufgrund sich dynamisch verschiebender Systemgrenzen nicht immer angemessen adressiert werden kann. Aus diesem Grund muss post mortem zumindest die Analyse der Fehlerursachen ermöglicht werden, um diese in Zukunft zu verhindern.

Grundlage für Accountability ist ein Verständnis von Kausalität, das auch im heutigen Stand der Technik nicht definiert genannt werden kann [1, 2]. Am Lehrstuhl für Software Engineering werden auf Grundlage diverser Arbeiten zum Thema Security Engineering, insbesondere der verteilten Datennutzungskontrolle, verschiedene dieser theoretisch formulierten Algorithmen als Teil des Frameworks implementiert, um Accountability zu gewährleisten. Diese Algorithmen verarbeiten die Logfiles von verschiedenen Teilsystemen, die zur Laufzeit erstellt werden. Anschließend werden diese Logfiles aggregiert zu einem Logfile für das gesamte soziotechnische System. Die Kausalitätsanalyse erfolgt auf Basis dieses Gesamtlogfiles und bildet sogenannte Counterfactuals. Diese beantworten die Frage nach dem „Warum“ über die Analyse von alternativen Abläufen des Systems, zum Beispiel: Hätte das selbstfahrende Auto gebremst, wenn Komponente A ordnungsgemäß funktioniert hätte?

Des Weiteren soll eine Feedbackschleife aufgebaut werden, die Einfluss auf das Logging nimmt. Werden zum Beispiel verschiedene Komponenten immer gemeinsam analysiert, weil die Logfiles diese nicht einzeln erfassen, kann eine Rückkopplung aus der Kausalitätsanalyse sein, die Granularität der Logfiles zu verfeinern. Ebenfalls kann der Fall eintreten, dass verschiedene Systemereignisse, die für die Analyse wichtig sind, noch nicht erfasst werden (was üblicherweise erst nach einem Fehlverhalten erkannt wird). Diese müssen dann zukünftig ebenfalls durch ein angepasstes Logging erfasst werden.

Innovative Use Cases

Für den Erfolg der TUM-LLCM-Serviceplattform ist es essentiell, dass die Plattform von Beginn an für die intendierten Nutzer attraktive und vom Wettbewerb differenzierende Use Cases zur Verfügung stellt. Für eine Mobilitätsplattform können einerseits Use Cases über Partnerverträge oder OEM-Verträge risikoarm realisiert werden, andererseits ist es für den Plattformentwickler erstrebenswert, innovative neue Use Cases zunächst exklusiv anbieten zu können. Hier eröffnen sich besondere Chancen

durch die Zusammenarbeit mit Forschungsabteilungen, Universitäten und Start-ups. Im Folgenden werden die im Rahmen des TUM-LLCM-Projekts entwickelten innovativen Use Cases beschrieben.

Verkehrsmanagement bei Großereignissen

Großereignisse sowie vorhersehbare und nicht vorhersehbare Notfall- oder Extremsituationen gefährden die Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems. Um die negativen Wirkungen solcher Ereignisse zu minimieren, müssen die Behörden innerhalb kürzester Zeit Entscheidungen treffen und Maßnahmen umsetzen. Hierbei besteht die Fragestellung: Wie sollte bzw. kann das Verkehrssystem auf kurzfristige Anforderungen optimal reagieren?

Bei Großereignissen implementieren die Behörden üblicherweise Maßnahmen, die in Handbüchern und Checklisten hinterlegt sind, welche nicht unbedingt der vorliegenden Situation entsprechen. Im Projekt wird ein Algorithmus entwickelt, der aus Vorschlägen bestehender Entscheidungsunterstützungssysteme in Echtzeit geeignete Maßnahmen ableitet. Ein neuartiger wissenschaftlicher Zugang zu dieser Thematik liegt in der Nutzung des Konzepts der Belastbarkeit (Resilienz), mit dem definiert wird, wie weit die Leistungsfähigkeit des (Verkehrs-)Systems in sehr kurzer Zeit sinken kann, ohne seine Funktionsfähigkeit zu gefährden. Durch das Hinzufügen von Raum als dritte Dimension zu diesem Konzept werden Großereignisse unter Berücksichtigung ihrer Auswirkungen auf die Netzleistungsfähigkeit, bzw. -verfügbarkeit in Raum und Zeit definiert. Mathematisch wird hierzu ein sogenanntes makroskopisches Fundamentaldiagramm (MFD) genutzt. Das MFD bildet für die Verkehrsströme des Netzes die Zusammenhänge zwischen Verkehrsdichten, Geschwindigkeiten und maximalen Kapazitäten ab. Damit ist es möglich, den Einfluss von Netzeigenschaften und des Verkehrsmanagements auf das Gesamtsystem Verkehr zu verstehen. Mithilfe von Verkehrssimulationen werden die Auswirkungen von Verkehrsmanagementstrategien prognostiziert und bei Bedarf so angepasst, dass jedes Subnetzwerk idealerweise seinen optimalen Arbeitsbereich erreicht.

Umweltsensitives Verkehrsmanagement

Zu den negativen Wirkungen des Straßenverkehrs auf die Umwelt zählen lokale verkehrsbezogene Emissionen wie Schadstoffe und Lärm, wodurch

Abb. 5 Beispiel eines Verkehrssimulationsmodells VISSIM [18]

viele gesundheitliche Schäden entstehen. Besonders der urbane Raum wird durch die hohen Immissionen belastet, die in vielen zentralen Orten sogar über den gesetzlichen Grenzwerten liegen. Der Use Case beschäftigt sich mit dem Umgang mit kritischen Emissionssituationen bzw. dem proaktiven Schutz vor Immissionsbelastungen durch kurzfristige Verkehrsmanagementmaßnahmen.

Die Integration von aktuellen Umwelt- und Verkehrsdaten in die städtische Verkehrssteuerung kann einen erheblichen Beitrag zu einer umweltverträglicheren urbanen Mobilität und damit Erhöhung von Lebensqualität liefern. Im Rahmen des Projekts wird ein Gesamtkonzept entwickelt, das durch dynamische Verkehrssteuerung unter Nutzung von neuen Datenquellen, Integration von neuen Fahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie entsprechend erweiterten Verkehrs- und Umweltmodellen (Abb. 5) lokale Emissionen reduziert. Der Use Case generiert damit einen deutlichen praxisrelevanten Mehrwert gegenüber der derzeitigen Praxis, die primär auf die Optimierung des Verkehrsablaufs im öffentlichen und privaten Verkehr hin ausgerichtet sind.

Im Projekt werden neben der eigentlichen methodischen Verfahrensentwicklung auch Anforderungen an Inhalt und Qualität der Daten

sowie gegebenenfalls Datenschnittstellen der TUM-LLCM-Plattform aufgestellt. Das System zum umweltsensitiven Verkehrsmanagement wird generisch definiert und implementiert, sodass Übertragungen auf verschiedene Einsatzszenarien möglich sind. Im Rahmen des Projektes wird anhand von Daten der Landeshauptstadt München ein konkretes Szenario getestet, um die Wirkungen im Hinblick auf die Ziele des städtischen Verkehrsmanagements und der städtischen Luftreinhaltung sowie Lärminderung exemplarisch aufzeigen zu können.

Kollaborative und soziale Mobilitätsdienste

Ein Schwerpunkt des Lehrstuhls für Connected Mobility (Prof. Ott) und des ehemaligen Lehrstuhls für Angewandte Informatik/Kooperative Systeme (Prof. Schlichter) lag und liegt auch an Konzepten zur interaktiven Unterstützung von Benutzern und Benutzergruppen. Eine kontextsensitive und kollaborative Bereitstellung von Information und Kooperation erscheint besonders nützlich in mobilen Szenarien. Das Teilprojekt analysiert bestehende Mobilitätsdienste und neue Ideen für soziale und kollaborative Dienste. Darauf aufbauend wird eine Anwendung zur personalisierten Unterstützung mobiler Benutzer prototypisch entwickelt und evaluiert. Beispiele für existierende Mobilitätsdienste sind Anwendungen zur kollaborativen Verkehrsinformation und intermodalen Routenplanung, Mitfahr- und Carsharing-Dienste oder zur Empfehlung einzelner Points of Interest (POI) wie Sehenswürdigkeiten oder Restaurants [4].

Der Lehrstuhl arbeitet dabei unter anderem an interaktiven Empfehlungssystemen („recommender system“) und hat als ersten Prototyp eine mobile Anwendung zur Planung von Städtereisen erstellt [8]. Die Lösung empfiehlt interessante POI zwischen zwei Punkten in einer Stadt und kombiniert diese zu einer sinnvollen Route, die auf einer Karte visualisiert wird (Abb. 6). Die Auswahl der POI erfolgt durch Abfrage von Social-Media-Quellen auf Basis von angegebenen Interessen des Benutzers. Der aktuelle Fokus beinhaltet eine genauere Untersuchung der Empfehlung von Sequenzen von POI sowie eine Berücksichtigung von Kontextfaktoren wie dem Wetter. Darüber hinaus arbeitet der Lehrstuhl an einem Gruppenszenario und der Integration öffentlicher Bildschirme.

Abb. 6 Mobiler Prototyp [8]

Crowdsourcing von Indoor-Karten

Für viele Dienste im Rahmen von Mobilitätsplattformen ist es essenziell, Lokationen in Gebäude wie zum Beispiel Gleise, Fahrstühle, Parkplätze zu beschreiben und dem Nutzer adäquat darzustellen. Aktuelle Kartendienstanbieter bieten bereits in Teilen auch Indoor-Karten an. Indoor-Karten sind jedoch aufwendig zu erstellen und bieten nicht die ausreichende semantische Geoinformation für Dienste. Ziel dieses Use Case ist die Gewinnung und Integration von Indoor-Karten, Koordinaten, Routing und Positionierung für Mobilitätsplattformen. Dies umfasst Werkzeuge zur Integration und Erstellung von Karten, das Geo-Coding als auch die plattformübergreifenden Schnittstellen.

Aktuelle mobile Geräte umfassen immer mehr hochwertige Sensoren für Bewegungs- und Umfelderkennung und ermöglichen somit detaillierte Bewegungs- und Kontextmodelle auch in Gebäuden ohne GPS zu erfassen. Damit kann über Crowdsourcing-Ansätze eine semantisch annotierte, nutzbare Karte von Gebäuden erstellt werden. Hierzu werden verschiedene Sensoren, Satellitenbilder für die Gebäudeumrisse als auch semantische Kontextdaten wie zum Beispiel Kalendereinträge

von Nutzern verwendet. Dabei spielt die Entwicklung integrierter Datenmodelle und die Plattform API für die Gebäudestrukturen und Lokationen auf Basis existierender Standards wie CityGML und IndoorGML eine besondere Rolle.

Vernetzung mit relevanten Akteuren

Wie bereits eingangs beschrieben ist eine weitere wesentliche Leistung des Projekts die Vernetzung von Mobilitätsanbietern, Serviceanbietern, Entwicklern und Nutzern auf persönlicher, organisatorischer und technischer Ebene (Abb. 7). Ziel der Vernetzung ist es, einen aktiven Beitrag zur Etablierung eines Mobilitätsmarktplatzes und Ökosystems zu leisten. Dazu arbeitet das Projektteam mit zahlreichen Akteuren aus der Wirtschaft, Industrie und Politik zusammen. Neben dem engen Austausch mit BMW und Siemens, die im Schwesterprojekt Connected Mobility Lab (CML) verwandte Themen bearbeiten, finden gemeinsame Arbeiten mit der UnternehmertUM, Start-ups und Softwarefirmen aus dem Umfeld Connected Mobility statt, beispielsweise Moovel, Iteratec und msg systems. Um innovative Ansätze zum städtischen Verkehrsmanagement liefern zu können, findet darüber hinaus auch ein Austausch mit öffentlichen Einrichtungen statt, wie der Landeshauptstadt München, der Münchener Verkehrsgesellschaft (MVG) und der Deutschen Bahn.

Durch Lehrveranstaltungen, Hackathons, Praktika und Abschlussarbeiten ist eine weitere Vernetzungsgrundlage im Projekt vorhanden. Beim diesjährigen HackaTUM, dem ersten Hackathon der Informatikfakultät initiiert von Projektbearbeitern, wurde ein Wochenende lang neben den Themen IoT und Mobile Applications auch das Thema Mobility Services von teilnehmenden Studenten bearbeitet. Den anwesenden Firmen wurde die Möglichkeit gegeben, aktuelle Problemstellungen zu präsentieren und von Teilnehmern bearbeiten zu lassen. In ganzjährig stattfindenden Lehrveranstaltungen bearbeiten Studentengruppen ebenfalls Mobilitätsthemen in Zusammenarbeit mit Unternehmen. Darüber hinaus liefern Abschlussarbeiten erste Ergebnisse zu praxisnahen Fragestellungen, die in Kooperation mit Unternehmen evaluiert werden. Diese führen zu Ergebnissen, die teilweise unmittelbar in der Wirtschaft und Industrie Anwendung finden.

Der Austausch und Dialog mit Akteuren des Ökosystems nimmt einen wesentlichen Anteil am

Abb. 7 Vernetzung mit relevanten Akteuren

Entwicklungsprozess des Living Lab Connected Mobility ein. Zur Identifikation weiterer Diskussions- und Kooperationspartner stellt das Projektteam auf zahlreichen Veranstaltungen die Lösungs- und Unterstützungsangebote des TUM LLCM vor. Mit diesen Aktivitäten entsteht ein lebendiges Ökosystem in Form eines Marktplatzes mit zahlreichen Diensteanbietern, Mehrwertdienstleistern und Dienstkonsumenten.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Markt der Mobilitätsdienstleister zeigt sich, dass fast ausschließlich das Modell des zweiseitigen Marktes zum Einsatz kommt: Mobilitätsdienstleister interagieren über ihre Plattform direkt mit den Mobilitätskunden und streben nach der größtmöglichen Marktmacht. Zu diesem Zweck werden Bewegungsdaten aufseiten der Plattformbetreiber zentralisiert gesammelt und können nur dort verwertet werden.

Die Interessen des Nutzers werden durch diese Praxis nur zweitrangig berücksichtigt. Durch die enorme Marktmacht der Plattformbetreiber ist der Nutzer gemeinhin gezwungen, der Erfassung und Verarbeitung seiner persönlichen Daten zuzustimmen. Das Problem in der Zentralisierung sämtlicher Mobilitätsdaten auf wenige kommerzielle Anwender besteht darin, dass innovative neue Ideen unter Umständen nicht realisiert werden. Einerseits sind kleine, neue Märkte für etablierte Plattformanbieter nicht ausreichend attraktiv – das sogenannte „Innovator’s dilemma“, anderer-

seits können kleine Anbieter keine umfangreichen Mobilitätsdaten nutzen, um den „long tail“ des Marktes zu erschließen. Zudem stellt die Erfassung und Verwaltung sensibler Daten oft ein juristisches Risiko dar.

Vor diesem Hintergrund erscheinen neue Betreibermodelle für Datenplattformen attraktiv, die als vertrauenswürdiger Intermediär zwischen dem Nutzer und dem Dienstanbieter agieren. Ein solches Modell könnte durch eine Genossenschaft verkörpert werden, die in den Händen ihrer Nutzer rein nutzerorientiert handelt und eine sinnvolle Balance aus Privatsphäre und der Ermöglichung von zeitgemäßen Mobilitätsdienstleistungen garantiert.

In Folgeprojekten zum TUM LLCM werden alternative Betreibermodelle in interdisziplinären Projektverbünden erforscht. Die Informatik bildet dabei das Bindeglied zu den Sozial- und Politikwissenschaften, zu den Wirtschaftswissenschaften sowie zur Rechtswissenschaft.

Danksagung

Das TUM LLCM Projekt wird finanziert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (StMWi) durch das Zentrum Digitalisierung.Bayern (ZD.B), einer Initiative der Bayerischen Staatsregierung.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>)

veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

- Gössler G, Le Métayer D (2013) A General Trace-Based Framework of Logical Causality. RR-8378
- Halpern J, Pearl J (2005) Causes and Explanations: A Structural-Model Approach – Part I: Causes. In: Proceedings of the Seventeenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, San Francisco
- Haus M, Cozzolino V, Ding AY, Ott J (2016) P2Hub: Private Personal Data Hub for Mobile Devices. In: Proceedings of the 17th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)
- Herzog D, Wörndl W (2016) Collaborative and Social Mobility Services. In: Faber A, Matthes F, Michel F (Ed.) Digital Mobility Platforms and Ecosystems, TU München
- Kemper A, Leis V, Neumann T (2017) Die Evolution des Hauptspeicher-Datenbanksystems HyPer – von Transaktionen und Analytik zu Big Data. Informatik-Spektrum, doi:10.1007/s00287-017-1026-5
- Kipf A, Pandey V, Böttcher J, Braun L, Neumann T, Kemper A (2017) Analytics on Fast Data: Main-Memory Database Systems versus Modern Streaming Systems. In: 20th International Conference on Extending Database Technology, Venice, Italy
- Krcmar H, Böhm M, Friesike S, Schildhauer T (2011) Innovation, Society and Business: Internet-based Business Models and their Implications. In: 1st Berlin Symposium on Internet and Society, pp 1–33
- Laß C, Wörndl W, Herzog D (2016) A Multi-Tier Web Service and Mobile Client for City Trip Recommendations. In: International Conference on Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE), Cambridge, Great Britain
- Mahapatra T, Gerostathopoulos I, Prehofer C (2016) Towards Integration of Big Data Analytics in Internet of Things Mashup. In: 7th International Workshop on the Web of Things, Stuttgart
- Matthes F (2016) Supporting Organizational Efficiency and Agility through Model-Based Collaboration Environments. In: Supporting Organizational Efficiency and Agility: Models, Languages and Software Systems, Dagstuhl
- Matthes F, Neubert C, Schneider A (2013) Fostering Collaborative and Integrated Enterprise Architecture Modeling. J Enterp Model Inf Syst Architect 8(1):26–39
- Osterwalder A, Pigneur Y, Bernarda G, Smith A (2014) Value Proposition Design: How to Create Products and Services Customers Want. John Wiley & Sons, Hoboken
- Pandey V, Kipf A, Vorona D, Mühlbauer T, Neumann T, Kemper A (2016) High-Performance Geospatial Analytics in HyPerSpace. In: Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data. ACM, 2145–2148
- Ross J, Weill P, Robertson D (2006) Enterprise Architecture as Strategy: Creating a Foundation for Business Execution. Harvard Business Press, Brighton
- Roth S, Hauder M, Matthes F (2013) Collaborative evolution of enterprise architecture models. In: 8th International Workshop on Models at Runtime (Models@run.time 2013), Miami
- Schrieck M, Wiesche M, Krcmar H (2016) Design and Governance of Platform Ecosystems – Key Concepts and Issues for Future Research. In: European Conference on Information Systems (ECIS), Istanbul
- Schweiger A, Nagel J, Böhm M, Krcmar H (2016) Platform Business Models. In: Faber A, Matthes F, Michel F (Hrsg) Digital Mobility Platforms and Ecosystems. TU München, S 66–77
- Celikkaya N, Busch F. TUM – Lehrstuhl für Verkehrstechnik
- Veit D, Clemons E, Benlian A, Buxmann P, Hess T, Kundisch D, Leimeister JM, Loos P, Spann M (2014) Geschäftsmodelle: Eine Forschungsagenda für die Wirtschaftsinformatik. Wirtschaftsinformatik 56(1):55–64
- Weitzner D, Abelson H, Berners-Lee T, Feigenbaum J, Hendler J, Sussman G (2008) Information accountability. In: Communications of the ACM, S 82–87