

Die Smart City ins Auto: Messen, Vorhersagen, Beeinflussen

David Eckhoff*, Daniel Zehe*, Jordan Ivanchev*, Alois Knoll**

*TUMCREATE, Singapur, **Technische Universität München

{vorname.nachname}@tum-create.edu.sg, knoll@in.tum.de

I. EINLEITUNG

Die Entwicklung von Großstädten hin zu Smart Cities wird entscheidenden Einfluss auf die Mobilität der Zukunft haben. Smart Cities zeichnen sich durch eine hohe Durchdringung von Sensoren und Aktoren aus, die zum einen kontinuierlich diverse Aspekte einer Stadt, wie z.B. den Verkehr, beobachten und basierend darauf kontrollierend eingreifen können. Diese Systeme sind zusätzlich meist noch mit Kommunikationstechnologie ausgestattet, so dass eine große Menge an Informationen zentral gesammelt und verarbeitet werden kann. Die eigentliche „Smartness“ einer Stadt liegt im Einsatz dieser Informationen, anhand derer bestehende Prozesse verbessert oder neue Anwendungen ermöglicht werden können.

Im Straßenverkehr sind diese Mechanismen bereits heute im Einsatz. Das Auto selber wird zum Sensor und meldet seine Position und Geschwindigkeit an einen Server. Somit kann ein Bild über die momentane Auslastung verschiedener Straßen gewonnen werden. Je mehr Sensoren, also Fahrzeuge, integriert sind, desto vollständiger wird dieses Bild und desto stärker lässt es sich auch beeinflussen. Letztlich fällt und steigt der Nutzen vieler Anwendungen mit der Datenqualität und der damit verbundenen Vorhersagbarkeit. Ist man in der Lage anhand des momentan beobachteten Zustandes eine zuverlässige Voraussage zu treffen wie sich das System in z.B. einer Stunde verhält, kann auch früh genug reagiert werden. Ein Beispiel hierfür ist die vorausgesagte Auslastung einer bestimmten Straße, und die damit verbundene Optimierung der Ampelschaltung oder das Empfehlen alternativer Routen bevor die Auslastung ein kritisches Niveau erreicht. Genau genommen handelt es sich bei einer Smart City also um eine Art Regelkreis.

Die Herausforderungen an solche Systeme sind vielseitig. Bei solch einer große Menge an gesammelten Informationen stellt sich immer die Frage nach dem Datenschutz, d.h. wem die Daten eigentlich gehören, wie sie verarbeitet und gespeichert werden, und vor allem an wen und wie sie herausgegeben werden [1]. Bei einem flächendeckenden Ausbau von Sensorsystemen stellt sich weiterhin die Frage, was überhaupt gemessen werden darf. Das Design solcher Smart City-Systeme muss also immer die Frage nach dem Privatsphärenschutz berücksichtigen. Idealerweise haben die eingesetzten Mechanismen zum Privatsphärenschutz aber keinen spürbaren Einsatz auf die Brauchbarkeit der gesammelten und präsentierten Informationen [2]. Außerdem sollten auch Daten, die nicht für die Öffentlichkeit bestimmt sind ausreichend anonymisiert

werden, damit im Falle eines Datenlecks der Schaden möglichst gering gehalten werden kann.

Eine weitere Frage ist wie und welche Geräte des Endnutzers in die Smart City integriert werden können. Das Mobiltelefon bietet hier vielseitige Möglichkeiten, jedoch birgt die Kopplung des Telefons mit dem Auto wiederum Gefahren, denn Sicherheitslücken können hier zu Sach- oder gar Personenschäden führen. Etwas weiter in die Zukunft schauend scheint eine direktere Integration des Kraftfahrzeuges notwendig, um die Potentiale im Bereich der Verkehrsflusskontrolle, die sich durch autonome Fahrzeugflotten ergeben, voll zu nutzen. Bis dahin stellt die Aufbereitung der Daten und der daraus folgenden Empfehlungen an sich eine Herausforderung dar, denn selbst wenn aber der Fahrer gezielt informiert werden kann, ist es nicht garantiert, dass dieser auch den Anweisungen oder Empfehlungen folgt.

Ein Beispiel für eine Smart City-Anwendung, die das wesentliche Probleme der Parkplatzsuche in einer Megastadt zu lösen versucht kann in Singapur studiert werden. In diesem Artikel beschreiben wir deren Funktionsweise und speziell deren Fähigkeit vor dem Fahrtantritt die Verfügbarkeit von Parkplätzen am Zielort vorherzusagen [3]. Des Weiteren kann die Applikation, welche auch als Navigationsapplikation genutzt werden kann, während der Fahrt die Vorhersage für die Parkplatzverfügbarkeit aktualisieren und alternative Parkhäuser in der Umgebung des Zielortes vorschlagen.

II. PARKPLATZVORHERSAGE

In manchen Teilen Singapurs kann es schwierig sein einen Parkplatz in Gehweite zu finden. In der Nähe von populären Einkaufszentren, Ausflugszielen oder im Stadtzentrum ist es nicht unüblich, dass Autofahrer mehrere Parkhäuser anfahren müssen, bis sie einen freien Parkplatz finden. Das Hauptziel der App ist diesen Vorgang zu optimieren, um für die Einzelperson die benötigte Zeit zur Parkplatzsuche zu minimieren und gleichzeitig auch das Verkehrsaufkommen positiv zu beeinflussen, indem unnötige Fahrten reduziert werden.

Basierend auf Livedaten über die Auslastung von mehr als 1000 singapurischen Parkhäusern, der aktuellen Position des Fahrers, dem eingegeben Ziel und einer berechneten Fahrzeit in Abhängigkeit der aktuellen Verkehrslage gibt die App Auskunft, wie viele freie Parkplätze zum Ankunftszeitpunkt im ausgewählten Parkhaus verfügbar sind. Während der Fahrt wird die Vorhersage aktualisiert und Empfehlungen gegeben, welches Parkhaus in der Nähe des Zielorts eine gute Alternative darstellt,

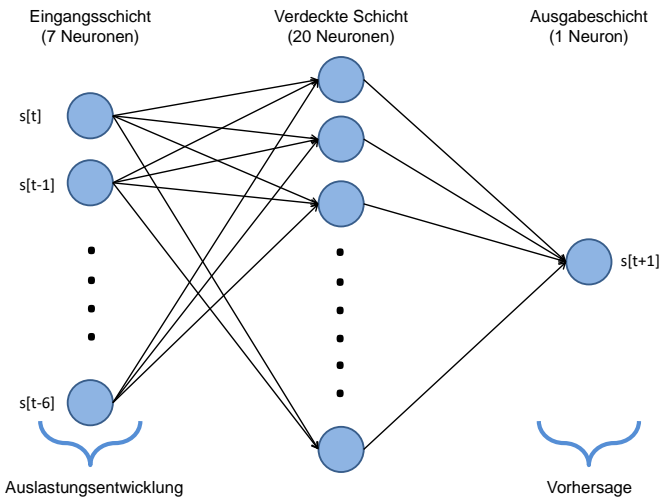


Abbildung 1. Aufbau des eingesetzten neuronalen Netzes. Sieben Eingangswerte über die Entwicklung der Parkhausauslastung in den letzten eineinhalb Stunden werden über 20 Neuronen in der verdeckten Schicht zur Vorhersage der Auslastung in der Zukunft benutzt.

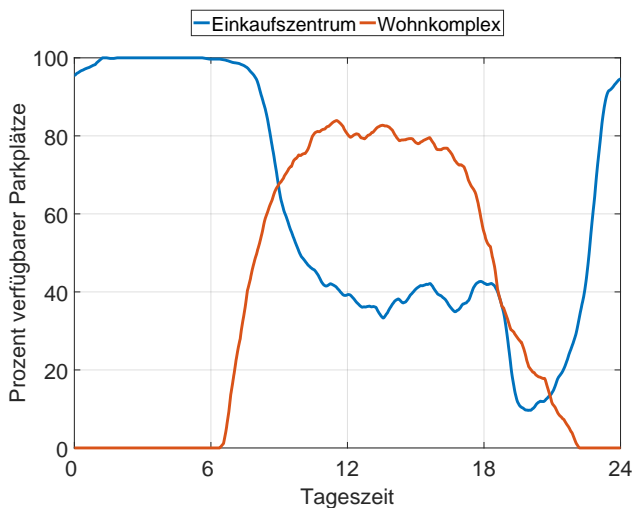


Abbildung 2. Das Nutzungsverhalten von Parkhäusern unterscheidet sich je nach Lage und Nutzungsklasse. Parkhäuser welche an Wohnhochhäuser angeschlossen sind (rot), weisen eine wesentlich niedrigere Auslastung in den Tagesstunden auf als Parkhäuser in der Innenstadt (blau). Letztere weisen eine hohe Nachfrage am Vormittag auf und einen zusätzlichen Anstieg am späten Nachmittag. Die dargestellten Kurven zeigen exemplarisch die Belegung an einem Wochentag.

sollte das ursprüngliche Parkhaus mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits vollständig belegt sein.

Um diese Vorhersage zu ermöglichen und eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen, wird im Backend ein künstliches neuronales Netz eingesetzt (siehe Abbildung 1). Die Fragestellung ist direkt genug, um hier auf aufwändige „deep learning“-Ansätze zu verzichten und ein konventionelles neurales Netz mit wenig Neuronen und einer verdeckten Schicht einzusetzen. Dieses wird mit historischen Daten für jedes Parkhaus trainiert. Da das Trainieren des neuronalen Netzes zeitlich unabhängig von der Anfrage stattfindet, können zehntausende Anfragen

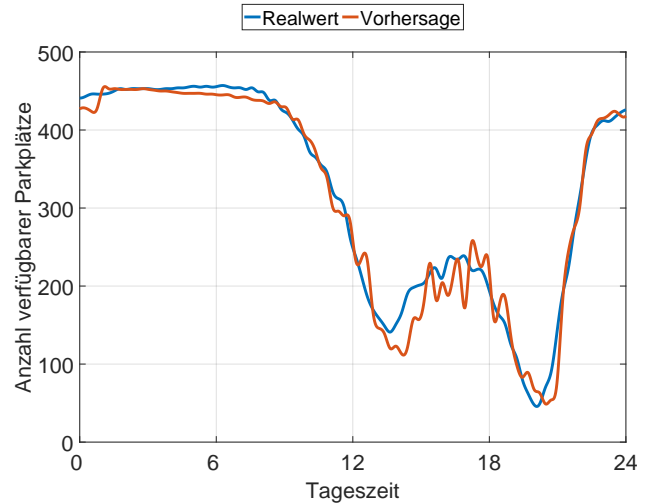


Abbildung 3. Güte der Voraussage für ein bestimmtes Parkhaus eines beliebigen Tages. Dabei ist zu erkennen, dass die durch das neuronale Netz vorhergesagte Kurve (rot) die generellen Trends sehr gut voraussagen kann. In Zeiten von größerer Fluktuation kann die Voraussage stärker von dem realen Wert (blau) abweichen.

gleichzeitig bearbeitet werden. Abbildung 2 zeigt, dass ein parkhauspezifisches Anlernen nötig ist, um präzise Vorhersagen treffen zu können, da die Auslastung verschiedener Parkhäuser neben der Tageszeit auch stark abhängig von seiner Umgebung ist. Ein Parkhaus in einem Wohnkomplex weist grundsätzlich andere Charakteristiken auf, als ein Parkhaus im Stadtzentrum. Es ist zwar möglich diverse Parkhäuser zu gruppieren, jedoch sinkt dadurch die Vorhersagegenauigkeit, da der Einfluss der Bevölkerungsdichte, des Verkehrsaufkommens, und ortsspezifischer Gegebenheiten sehr ausgeprägt ist. Abbildung 3 zeigt die Vorhersagequalität für einen Parkplatz im Stadtzentrum und einer Vorhersagezeit von 60 Minuten. Es zeigt sich, dass das eingesetzte neuronale Netz eine ausreichend hohe Genauigkeit erzielt. Reduziert man die Vorhersagezeit auf z.B. 30 Minuten, verbessert sich auch die Vorhersagequalität.

Bezüglich des Datenschutzes ist eine solche App an sich unkritisch. Anfragen an den Server können verschlüsselt durchgeführt werden und anhand der Antwort über die Auslastung eines Parkhauses kann kein Rückschluss über das Verhalten anderer Benutzer getroffen werden. Das Speichern historischer Daten über Parkhausfüllstände ist ebenfalls unkritisch, da es sich um öffentlich zugängliche Informationen handelt. Um das neuronale Netz im Betrieb weiter zu trainieren sind auch keine Nutzerdaten notwendig, da einzig die Auslastung und ein Zeitstempel benötigt werden.

Um die Benutzerfreundlichkeit der App zu erhöhen, wurde eine Routenplanung integriert. Die Oberfläche zeigt verfügbare Parkhäuser, die vorhergesagte Anzahl an freien Parkplätzen zur Ankunftszeit und weitere Informationen wie z.B. die Parkgebühr. Der Nutzer kann mit der App interagieren und bevorzugte Parkhäuser anwählen. Abbildung 4 zeigt die Oberfläche der Applikation.

Durch die Informationsaufbereitung in der App kann die

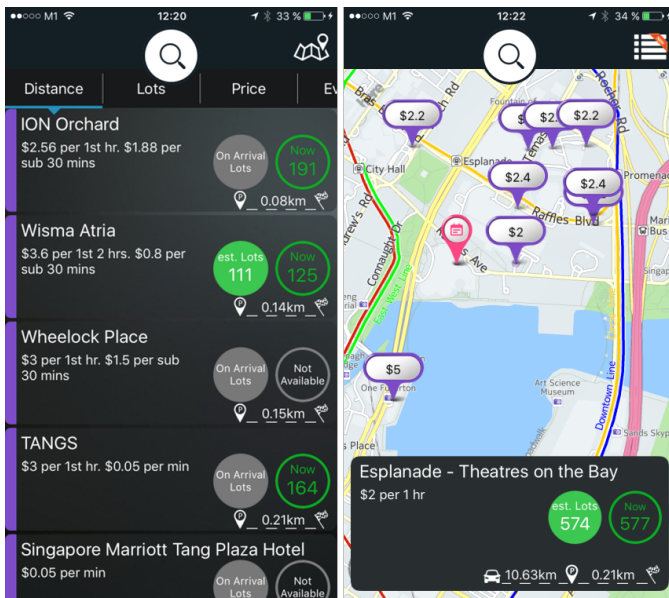


Abbildung 4. Benutzeroberfläche der Applikation. Links eine Liste mit Parkhäusern, momentanen Füllständen und Vorhersagen. Rechts Darstellung mit Karte und Parkgebühren.

Parkhausnutzung und auch der Verkehrsfluss bis zu einem gewissen Grad gesteuert werden. Anstatt dem Nutzer aber Informationen vorzuenthalten und damit sein Vertrauen in die App zu verringern, können gewisse Anreize geschaffen werden. Parkgebühren oder auch Zusatzdienste, wie z.B. eine Autowäsche, könnten vergünstigt angeboten werden, wenn der Fahrer eine etwas weitere Fußstrecke in Kauf nimmt. Um neue Einkaufsgebiete zu unterstützen, könnte die Auswahl bestimmter Parkplätze mit Verkaufsaktionen in anliegenden Einkaufszentren verknüpft werden. Die Integration von Ride- und Bike-Sharing-Diensten in die App bietet weitere Möglichkeiten die Mobilität der Nutzer zu beeinflussen.

III. AUSBLICK

Aktuell beschränkt sich die Applikation auf angeschlossene Parkhäuser, d.h. auf die Bereitstellung von Livedaten durch Parkhausbetreiber. Führt man den Gedanken im Sinne der Smart City weiter und integriert Fahrzeuge auch als Sensoren, so könnte man den Service erweitern und auch Informationen über Parkplätze am Straßenrand mit einbeziehen [4]. Fahrzeuge könnten durch Kameras (erkennen von Straßenschildern) und anderen Sensoren (wie z.B. Abstandsmessung) Parklücken im Vorbeifahren erkennen und diese Information dem Service zur Verfügung stellen. Somit würde der Service ohne zusätzliche Investitionskosten flächendeckend erweitert werden.

Parkplatzinformationen stellen hier nur den Anfang dar. Moderne Sensorik im und am Fahrzeug so wie in der Infrastruktur liefern zusätzliches Wissen, das für neuartige Services genutzt werden kann. Im (automatisierten) Fahrzeug angekommen, sind sie integraler Bestandteil des Fahr- und Routenfindungsprozesses. Diese allgegenwärtige Technik kann dazu benutzt werden, um zum einen den persönlichen Präferenzen des Fahrers (oder Passagiers) zu entsprechen, aber auch um vom Service vorgegebene Optimierungsziele zu verfolgen. Durch

umfassendes Wissen über den Zustand des Verkehrssystems könnten hier Strategien weg vom lokalen Optimum hin zu einer globalen Verbesserung angebracht werden, sprich das einzelne Fahrzeug wählt vorrangig eine Strategie, die der Gesamtheit der anderen Fahrzeuge dient.

Dies muss nicht unbedingt zu einem (vertretbaren) persönlichen Nachteil führen, da eine stadtweite Koordination des Verkehrs hin zu einem gewünschten Optimierungsziel auch zum Vorteil aller Fahrzeuge sein kann. Zum Beispiel könnte ein scheinbarer Umweg durch intelligente Ampelschaltungen und Koordination mit dem Verkehr auf anderen Straßen zu einer geringeren Fahrtzeit führen [5]. Vorteile müssen hier nicht direkt auf den Verkehr reduziert werden, sondern können auch CO₂-Emissionen, Lärm- oder Wärmeentwicklung [6] beinhalten, was wiederum die Lebensqualität in der Stadt erhöhen kann. Die Verbesserung der Lebensqualität sollte ohnehin das Ziel der Smart City sein und die Bestandteile, also Mensch und Technologie, müssen zusammenarbeiten, um dieses Ziel zu erreichen. Systemweite Optimierung kann nicht ohne die Hilfe von durchdringender Sensor-, Aktor-, Kommunikation- und Datenanalysetechnologien erreicht werden, denn selbst wenn Menschen ein gemeinsames Ziel verfolgen, verfügen sie weder über das notwendige systemweite Wissen noch über die nötige Koordination.

IV. DANKSAGUNG

Wir bedanken uns bei unserem Teammitgliedern Suraj Nair, Michael Popow und Marie Tritschel für ihre Unterstützung. Unser Dank gilt weiterhin dem Intelligent Transport Systems (ITS) Lab, in dem wir als TUMCREATE gemeinsam mit der Continental AG und A*STAR I²R in Singapur die Park&Go@SG-App entwickelt haben.

LITERATUR

- [1] A. Martinez-Balleste, P. A. Pérez-Martínez, and A. Solanas, "The pursuit of citizens' privacy: a privacy-aware smart city is possible," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 6, pp. 136–141, 2013.
- [2] D. Eckhoff and C. Sommer, "Driving for Big Data? Privacy Concerns in Vehicular Networking," *IEEE Security & Privacy*, vol. 12, no. 1, pp. 77–79, Feb. 2014.
- [3] A. I. Niculescu, M. Q. Lim, S. A. Wibowo, K. H. Yeo, B. P. Lim, M. Popow, D. Chia, and R. E. Banchs, "Designing IDA - An Intelligent Driver Assistant for Smart City Parking in Singapore," in *Human-Computer Interaction*. Springer, 2015, pp. 510–513.
- [4] V. Coric and M. Gruteser, "Crowdsensing maps of on-street parking spaces," in *Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 2013 IEEE International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 115–122.
- [5] J. Ivanchev, D. Zehe, V. Viswanathan, S. Nair, and A. Knoll, "BISOS: Backwards Incremental System Optimum Search algorithm for fast socially optimal traffic assignment," in *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2016 IEEE 19th International Conference on*. IEEE, 2016, pp. 2137–2142.
- [6] M. Wagner and V. Viswanathan, "Analyzing the Impact of Driving Behavior at Traffic Lights on Urban Heat," *Procedia Engineering*, vol. 169, pp. 303–307, 2016.