



# Fallstudie Smart Traffic

**Kim De Souza (287821), Sebastian Thümmel (288945)**

**MSI Data Analytics - Sommersemester 2018**

---

## Vorwort

Die vorliegende Ausarbeitung behandelt eine Fallstudie über Complex Event Processing im Kontext von Smart Traffic im Rahmen der MSI-Veranstaltung *Data Analytics*.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Motivation</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Real World Smart Traffic</b>	<b>3</b>
3.1	Hintergrund - Klima, Gesellschaft und Wirtschaft . . . . .	3
3.2	Smart Traffic Lösung . . . . .	5
3.3	Smart Traffic Kritik . . . . .	6
3.4	Smart Traffic Projekte in Deutschland . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Fallstudie</b>	<b>10</b>
4.1	Verwendete Technologien . . . . .	10
4.2	Beschreibung der Ausgangslage . . . . .	10
4.3	Steuerung der Ereignisse . . . . .	11
4.4	Unfall an Kreuzung . . . . .	12
4.5	Geschlossene Bahnschranke . . . . .	13
4.6	Erhöhte Stickstoffbelastung . . . . .	14
4.7	Erhöhtes Verkehrsaufkommen . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>21</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>22</b>

# 1 Einleitung

Diese Ausarbeitung befasst sich mit dem Thema Smart Traffic. Im Modul Data Analytics des Masterstudiengangs Informatik an der HTWG sollen Möglichkeiten und Einsatzgebiete für das Complex Event Processing (CEP) erarbeitet werden. Der Begriff *Smart Traffic* bezeichnet dabei eine ereignisbasierte Mustererkennung im Straßenverkehr. Anhand einer Fallstudie werden in dieser Arbeit Szenarien für eine intelligente Steuerung des Verkehrs aufgezeigt. Abb. 1 zeigt die Visualisierung eines Straßenausschnitts, welcher für die Veranschaulichung der Smart Traffic Fallstudie verwendet wird. In diesem Verkehrskontext können nun fiktive Datenströme erzeugt werden, um bestimmte Verkehrssituationen zu simulieren. Eine Implementierung der CEP Engine ESPER ermöglicht die Erkennung und Verarbeitung von Verkehrsszenarien. Es werden Datenströme generiert, welche beispielsweise einen lokalen Unfall repräsentieren. Die Mustererkennung von ESPER wird verwendet, um eine kluge (englisch smart) Umleitung des Verkehrs anzustoßen. Mit Hilfe einer WebUI kann der Verkehrsfluss gesteuert und verschiedene Verkehrereignisse erzeugt und kombiniert werden. Im Folgenden wird der real existierende Smart Traffic Kontext betrachtet. Daraufhin wird ein fiktives, aber realitätsnahes Fallbeispiel für eine ereignisbasierte Verkehrssteuerung umgesetzt.

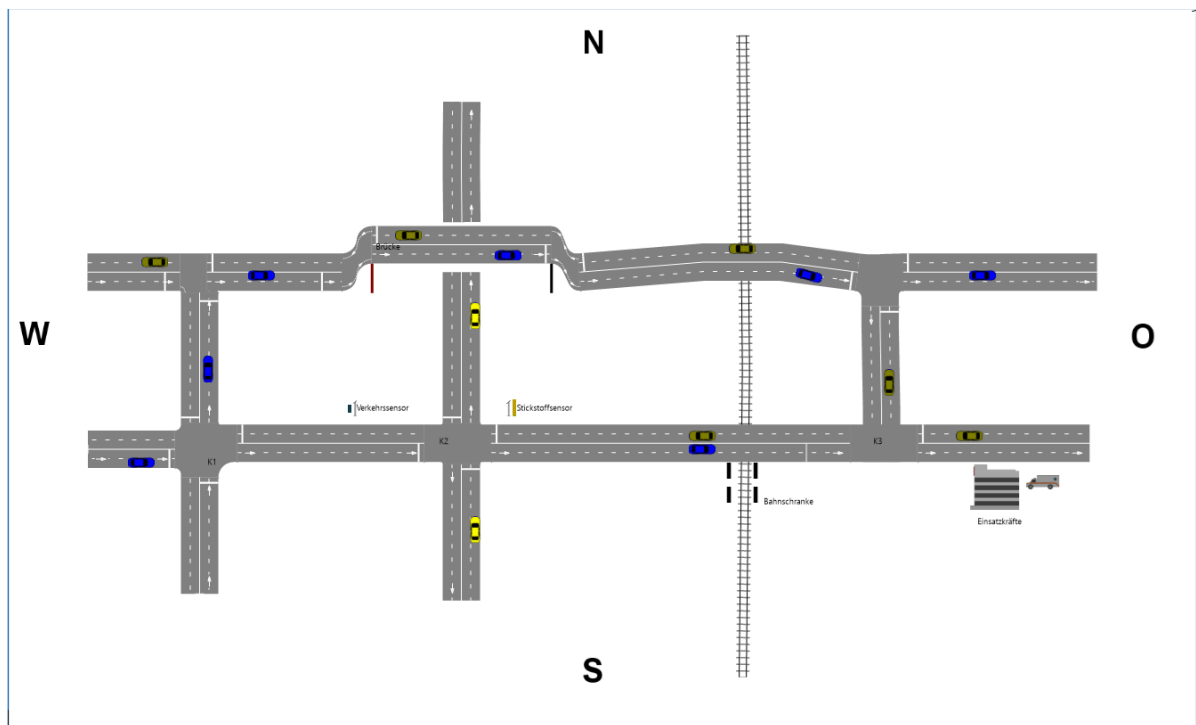


Abbildung 1: Straßenausschnitt der Fallstudie

## 2 Motivation

Im heutigen Zeitalter lassen sich in allen Bereichen des Lebens situationsbezogene Daten gewinnen. Hinter dem Schlagwort Big Data verbirgt sich die Idee, aus gesammelten Daten Schlüsse zu ziehen. Im Allgemeinen entsteht daraus ein Potential verschiedene Situationen besser einzuordnen. Es lassen sich komplexe Zusammenhänge analysieren und effiziente Herangehensweisen entwickeln. Ansätze des maschinellen Lernens, des autonomen Fahrens oder auch Vorhersagen von Aktienkursen und des Wetters basieren auf Erkenntnissen historisch erhobener Datenmengen. Es dreht sich alles um die Frage, welche Zusammenhänge und Muster zu welchen Aktionen und Interaktionen führen. Ein Paradebeispiel aus dem Alltag kann im Straßenverkehr gefunden werden. Unter dem Begriff *Smart Traffic* wird eine intelligente Vernetzung von Verkehrsteilnehmern und Verkehrskomponenten wie beispielsweise Ampelschaltungen an Kreuzungen verstanden. Mithilfe von Echtzeit-Datenerhebungen zur Verkehrsdichte, Umweltfaktoren oder speziellen Ereignissen, wie einem Unfall, sollen Verkehrsflüsse gesteuert und umgeleitet werden. Der Dateninput entsteht durch Sensoren an Straßenrändern oder durch interagierende Systeme in den Autos, welche zum Beispiel die Information über die Position und das Ziel der Verkehrsteilnehmer kommunizieren. Die verschiedenen Informationen werden zentral an einer Stelle zusammengeführt und analysiert. Aus historisch gewonnen Erkenntnissen zum Verkehrsverhalten bei Staus, Umweltbelastungen oder Unfällen lassen sich nun effiziente Reaktionen auf solche Szenarien anstoßen. Mit der Ereignisverarbeitung ist es dann möglich, Verkehrsströme umzuleiten, in dem Ampeln verkehrsgerecht umgeschaltet werden und die Zielführung der Teilnehmer angepasst wird. Ziel ist ein intelligentes Netz zur optimalen Steuerung des Verkehrsaufkommens in bestimmten Zonen. Eine Echtzeit-Ereignisverarbeitung für einen flüssigen Verkehrsstrom bietet dabei nicht nur den Verkehrsteilnehmern einen großen Vorteil. Im Falle eines Unfalls kann durch die Umleitung des Verkehrs eine verbesserte Versorgung durch die Einsatzkräfte sichergestellt werden. Ein aktuelles Thema in der Politik Deutschlands ist die Umweltverschmutzung durch ein zu hohes Verkehrsaufkommen. Besonders in Stuttgart kommt es regelmäßig zu sogenannten Feinstaubalarmen. Mit Sensoren am Fahrbahnrand in den beeinträchtigten Regionen lässt sich die Umweltbelastung messen. So ist bei einem erhöhten Schadstoffgehalt in der Luft ist eine Umleitung des Verkehrs eine geeignete Maßnahme. Von einer solchen Steuerung profitiert die gesamte (einheimische) Gesellschaft. Smart Traffic umreißt also einen spannenden Ansatz mit vielen Facetten zur Verbesserung der Gesamtsituation im Straßenverkehr und der Umwelt. Die Idee beruht im Grunde darauf, mit Hilfe einer Mustererkennung verschiedene Szenarien im Straßenverkehr zu identifizieren und eine automatisierte, sowie optimale Reaktion anzustoßen.

Im nächsten Kapitel wird zunächst die Bedeutung von Smart Traffic in der realen Welt beschrieben.

## 3 Real World Smart Traffic

In diesem Kapitel werden die Hintergründe für die Einführung von Smart Traffic erläutert und welche Probleme dadurch bereits gelöst werden. Darüber hinaus werden Kritikpunkte sowie existierende Lösungen aufgezeigt.

### 3.1 Hintergrund - Klima, Gesellschaft und Wirtschaft

Die Umweltbelastungen durch Treibhausgase sind im vergangenen Jahrhundert auf ein für unser Klima bedrohliches Maß angewachsen. In der Weltgesellschaft wird darüber besonders im Kontext der *Erderwärmung* gesprochen. 1896 gelang dem schwedischen Nobelpreisträger Svante Arrhenius der mathematische Nachweis, dass eine Erhöhung der Treibhausgase zu einer Erhöhung der mittleren Erdtemperatur führt [vgl. Sva96]. Bei der internationalen geophysikalischen Konferenz 1957 wurden schließlich unwiderlegbare Beweise für die Erhöhung der Treibhausgase in der Atmosphäre geliefert [vgl. RS07]. Die Auswirkungen der Erderwärmung sind seitdem vielseitig untersucht worden. Eine ausführliche Beschreibung anhand verschiedener Studien bietet das Forschungsinstitut *Germanwatch*, welches vom Bundesamt für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung gefördert wird. Zusammengefasst lassen sich große und unkontrollierbare Gefahren für den Mensch, die Umwelt und das Ökosystem ableiten [Rot11; Eis+10]. Im Jahre 2002 hat die Europäische Union das Kyoto-Protokoll ratifiziert. Bis zum Jahr 2030 sollen sich die Treibhausgas-Emissionen um 40% gegenüber dem Jahr 1990 verringern. Auf der Pariser Klimakonferenz 2015 haben sich 195 Staaten zum selben Ziel bekannt. Die globale Erwärmung soll auf ein Niveau von unter 2 Grad Celsius sinken, was dem vorindustriellen Niveau unserer Zeit entspricht. In Deutschland wurden die Ziele des Pariser Abkommens zum Leitbild für eine neue Klimaschutzpolitik. Daraus wurde der *Klimaschutzplan 2050* erarbeitet, welcher eine Zieldefinition für bestimmte Handlungsfelder beinhaltet. In Abb. 3 ist der Klimaschutzplan tabellarisch für die Etappe bis zum Jahr 2030 erfasst. Im Bereich Verkehr hat die Bundesregierung ein Einsparpotential zwischen 40-42% kalkuliert. Im Frühjahr 2016 veröffentlichte das Kraftfahrtbundesamt eine Statistik zu den Treibhausgas-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2016 nach Kategorien der UNFCCC-Berichterstattung (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen nach Pariser Abkommen). Insgesamt ist im Diagramm der Abbildung 2 eine deutlich sichtbare Verringerung der Treibhaus-Emissionen zu beobachten. Vor allem in den Kategorien Energiewirtschaft und Industrieprozesse haben die Emissionen stark nachgelassen. Allerdings hat sich in der Kategorie Verkehr kaum etwas verändert. Hier sind die Emissionen auf einem konstanten Niveau geblieben.

Die Verbesserungen in den Bereichen Energiewirtschaft und Industrieprozesse lassen sich vor allem auf technologische Fortschritte zurückführen. Mit moderner Filter- und Anlagentechnik wurden effektive Maßnahmen durchgesetzt, um umweltfreundlicher beziehungsweise emissionsärmer zu produzieren. Eine im Mai 2018 erschienene Statistik des

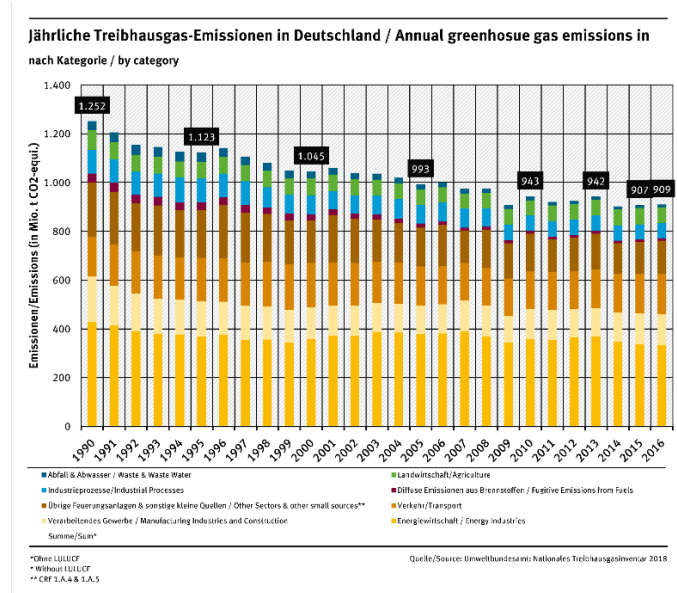


Abbildung 2: Entwicklung der jährlichen Treibhausemissionen in Deutschland

Kraftfahrtbundesamt lässt auf einen technologischen Fortschritt hinsichtlich Emissionen in der Automobilbranche schließen. So veränderte sich der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch eines Automobils von 1995 bis 2016 von 8.8 Liter auf 7.2 Liter pro 100km [vgl. Umw18]. Abb.2 zeigt zudem die deutliche Verringerung der Emissionen von PKWs zwischen 1995 und 2014. Aufgrund des Anstiegs von 4,5 Millionen (1960) auf heute 46 Millionen gemeldeter Kraftfahrzeuge [vgl. Sta18], hat sich der kumulierte Emissionsausstoß des Verkehrsektors nicht reduziert, wie Abb. 2 verdeutlicht. Die Jahresbilanz des Kraftfahrtbundesamt weist sogar 63,7 Millionen zugelassene Fahrzeuge aus [vgl. KBA18]. Die Umweltbelastung dieses Verkehrsaufkommen zeigt sich beispielsweise in der Region Stuttgart. Die Anzahl der sogenannten *Feinstaubalarme* ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen. Von Oktober 2017 bis 2018 wurde der Alarmstatus an 56 Tagen ausgerufen. Hauptgrund ist, nach der Bilanz des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg, der Straßenverkehr [vgl. Min18].

Neben der Umweltbelastung führt die Verkehrslast zu weiteren signifikanten Problemen. Deutschlandweit gab es nach der ADAC Staubilanz im Jahr 2017 insgesamt 723000 Staus mit einer Gesamtlänge von knapp 1,5 Millionen Kilometer. Etwa 80% der Staus fallen auf die Werkstage von Montag bis Freitag und werden durch den Berufsverkehr beziehungsweise den ökonomischen Verkehr bedingt [vgl. ADA18]. Somit wird aus dem Verkehrsaufkommen ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor. Das Statistikinstitut *INRIX* hat in Kooperation mit dem *Centre of Economics and Business Research* die Kosten durch Verkehrsstaus prognostiziert. Kumuliert für das Zeitintervall zwischen 2013 bis 2030 ergibt sich in Deutschland ein ökonomisch wirksamer Schaden von 520 Milliarden Euro. Im Mittel entspricht das einem wirtschaftlichen Gesamtverlust von 33 Milliarden Euro pro Jahr und einer Belastung von über 2200 Euro pro individuellem Haushalt in Deutschland

Klimaschutzplan 2050: Emissionen der in die Zieldefinition einbezogenen Handlungsfelder				
	1990	2014	2030	
	in Mio t CO <sub>2</sub> -Äquivalent	in Mio t CO <sub>2</sub> -Äquivalent	in Mio t CO <sub>2</sub> -Äquivalent	Minderung in Prozent gegenüber 1990
<b>Handlungsfelder</b>				
Energiewirtschaft	466	358	175 bis 183	62 bis 61
Gebäude	209	119	70 bis 72	67 bis 66
Verkehr	163	160	95 bis 98	42 bis 40
Industrie	283	181	140 bis 143	51 bis 49
Landwirtschaft	88	72	58 bis 61	34 bis 31
<b>Teilsomme</b>	<b>1209</b>	<b>890</b>	<b>538 bis 557</b>	<b>56 bis 54</b>
Sonstige	39	12	5	87
<b>Gesamtsumme</b>	<b>1248</b>	<b>902</b>	<b>543 bis 562</b>	<b>56 bis 55</b>

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015) - Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung

Abbildung 3: Deutsche Ziele des Klimaschutzplans bis 2030

[vgl. INR14]. Bei der Betrachtung einzelner Individuen im Straßenverkehr kann die Auswirkung von Staus auf die menschliche Psyche analysiert werden. Laut der INRIX Studie stehen Verkehrsteilnehmer in den Ballungszentren im Schnitt 45 Stunden pro Jahr im Stau. Den Einfluss auf die menschliche Psyche wurde in einer vom Navigationssystemherstellers *TomTom* in Auftrag gegebenen Studie ermittelt. Dafür wurden Probanden, welche länger im Stau standen, Speichelproben entnommen. In den Proben ließen sich sogenannte psychologische Stress-Marker feststellen, wodurch eine Aussage zum Stressniveau des Probanden möglich ist. Während bei weiblichen Probanden im Schnitt nur eine Erhöhung des Stressniveaus von 8,7% festgestellt wurde, stieg das Stressniveau bei männlichen Probanden um 60% [vgl. Tom11].

## 3.2 Smart Traffic Lösung

Wie kann nun die in Abb.3 dargestellte Zieldefinition der Klimakonvention erreicht werden? Wie kann der negative ökonomische Einfluss des Verkehrs verringert werden? Mit Hilfe von Smart Traffic wird versucht den Problemen entgegen zu wirken. Abb.5 veranschaulicht, wie im Kontext von *Big Data* der Smart Traffic Gesamtprozess alle Ansätze verbindet. Durch empirische Datenerhebungen zu Verkehrsszenarien lassen sich Muster herleiten, die beispielsweise auf einen Stau hindeuten oder eine erhöhte Umweltbelastung darstellen. Durch innovative Sensoren-Systeme können diese Muster in Echtzeit erkannt und Gegenmaßnahmen, wie zum Beispiel Umleitungen, angestoßen werden. Ein flüssiger, effizienter Verkehrsstrom fördert eine Verminderung von unnötigem Kraftstoffverbrauch, was langfristig zur Reduzierung der Umweltbelastung beiträgt. Intelligente Straßenführung hat ein enormes Potential hinsichtlich Stauprävention, wodurch



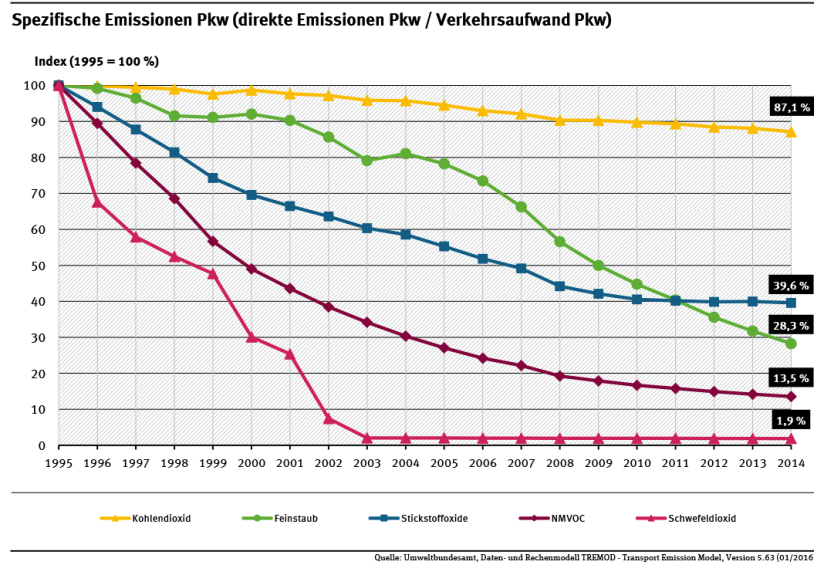


Abbildung 4: Entwicklung der PKW-Emissionen

der negativ korrelierte Wirtschaftsfaktor minimiert werden kann. Zudem verringert sich die Zeit, welche Verkehrsteilnehmer in Staus verbringen. Vor allem in den Ballungszentren kann dies zu einer wesentlichen Verbesserung der allgemeinen Lebensqualität führen. Chancen und Perspektiven der Smart City und speziell die der innovativen Mobilitätsformen (Smart Traffic), wurden im Jahr 2017 von der renommierten Wirtschaftsprüfung KPMG untersucht. In dem Report wird das Sparpotential durch ein effizienteres Management des Verkehrsaufkommens mit 60% bewertet [vgl. KPM17]. Smart Traffic Lösungen bieten also eine Vielzahl von Vorteilen, weshalb auf der ganzen Welt immer mehr Projekte und Realisierungen gestartet werden. Im Absatz 3.4 werden einige Beispiele genannt.

Allerdings entstehen durch einfache Überlegungen auch einige Kritikpunkte am Smart Traffic Ansatz beziehungsweise in Bezug auf die Automatisierung des Verkehrsflusses und Lösungen durch detektierende Sensoren.

### 3.3 Smart Traffic Kritik

Für den Ausbau der nötigen Infrastruktur eines Smart Traffic Systems muss ein großes Investitionsvolumen gestemmt werden. Zudem muss über den Datenschutz und rechtliche Themen diskutiert werden, denn Smart Traffic bietet dem Träger der Systeme diverse Überwachungs- und Kontrolloptionen. Außerdem muss die Frage der Verbindlichkeit beziehungsweise der Haftung für Unfälle in Folge der Fremdbestimmung durch Automatisierung geklärt werden. Kritisch muss auch die Gefahr der Digitalisierung betrachtet werden. Im Straßenverkehr sind überabzählbar unendlich viele Kombinationen von Verkehrereignissen möglich, weshalb komplexe Realisierungen für die Mustererkennung und

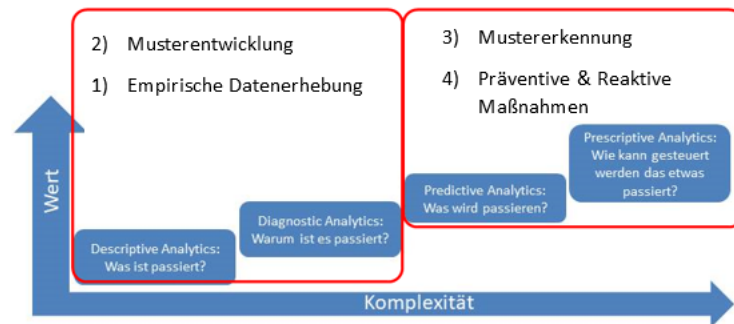


Abbildung 5: Smart Traffic Einordnung in Big Data Themengebiete [in Anlehnung an Ryo16]

Maßnahmensteuerung digital mit Computern unterstützt werden müssen. Smart Traffic beschäftigt sich sozusagen mit der *Steuerung* von Individuen, weshalb ein großes Sicherheitsniveau gegen Manipulation und Angreifbarkeit sichergestellt werden muss. Die Frage ist, ob die Absicherung der Systeme in einem geeigneten Maß überhaupt umgesetzt werden kann.

Unabhängig der offenen Fragen und Kritikpunkte werden weltweit Smart Traffic Projekte verfolgt. Einige Beispiele für Smart Traffic Ansätze in Deutschland werden im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt.

### 3.4 Smart Traffic Projekte in Deutschland

Die hier vorgestellten Projekte sollen einen Überblick verschaffen, wie weit die Vernetzung des Straßenverkehrs in Deutschland bereits fortgeschritten ist.

#### 3.4.1 Sensorsystem Siemens Traffic Universal

Siemens hat schon früh in die Entwicklung von Technologien investiert, die für die Anwendung in Smart Traffic Lösungen gedacht sind. Mit dem in Abb.6 dargestellten *Siemens Traffic Eye* System lassen sich Daten wie die Anzahl der Fahrzeuge, Geschwindigkeit, Verkehrsdichte und sogar die Klassifizierung der Fahrzeuge detektieren. Der größte Vorteil der Sensoren besteht darin, dass sie keine eigenständige Verkabelung benötigen. Die über Funk vernetzten Sensoren beziehen ihre Energie über Solarpaneele. Das System ist vor allem in Berlin und im gesamten Ruhrgebiet verbreitet. Mit mehr als 3500 Installationen deutschlandweit ist Siemens derzeit einer der größten Vertreter auf dem Markt.



Abbildung 6: Siemens Traffic Eye Sensor (Quelle: <https://sie.ag/2MV07d9>)

### 3.4.2 Parkleitsystem ParkHere

ParkHere ist eine sehr interessante Umsetzung für den Bereich Smart Traffic. Die Idee beruht im Grunde darauf Parkplätze mit Sensoren auszustatten, welche die Belegung an ein Zentralsystem kommunizieren. Nutzer der Mobilen App ParkHere können dann einsehen, welche Parkplätze derzeit zur Verfügung stehen. Da die Sensoren technologisch simpel sind und per Solarenergie betrieben werden, ist diese Lösung im Vergleich zu den umfangreicheren Smart Traffic Infrastrukturprojekten wirtschaftlich sehr rentabel. In München wird das System bereits eingesetzt. Zudem arbeitet das StartUp hinter der Idee inzwischen mit BMW an der Weiterentwicklung dieses Ansatzes.

### 3.4.3 Smart Port Traffic

*Im Hafen Hamburg gewährleistet modernste digitale Intelligenz einen reibungslosen und effizienten Betrieb.* (Slogan der Hamburg Port Authority)

Für dieses Ziel werden in dem Gebiet verschiedene Sensoren genutzt, welche Auskunft über die Auslastung der Straßenverbindungen in Echtzeit analysieren. Zudem sind LKWs mit RFID Chips ausgestattet um effiziente Transportwege zu gewährleisten. Unter dem Begriff Vehicle-to-X Kommunikation bezeichnet man die Verbindung zwischen RDIF Chips und Ampeln in der Zone, sodass für Fahrzeuge und LKW-Kolonnen autonom Grünphasen geschaltet werden können.

### 3.4.4 Smart City Köln

Die Stadt Köln ist Teil der europäischen Initiative *GrowSmarter*, welche sich zum Ziel gesetzt hat, den Herausforderungen der stetigen Urbanisierung entgegenzuwirken. Neben Köln gehören auch Stockholm und Barcelona zu den geförderten Teilnehmern der Initiative. Ziel ist vor allem die Luftqualität in den Städten zu verbessern sowie die Feinstaubbelastung und den Energieverbrauch zu senken. In diesem Zusammenhang sieht man auch Smart Traffic Lösungen als einen geeigneten Ansatz, um die Ziele zu erreichen. Das Projekt wurde 2015 gestartet und befindet sich aktuell in der Umsetzungsphase. Für den Projektbereich Smart Traffic Management sollen beispielsweise Sensoren das Verkehrsgeschehen in Echtzeit überwachen und den Verkehrsteilnehmern Informationen zu Fahrzeiten und Alternativen zur Verfügung stellen. Zusätzlich erarbeitet man in Kooperation mit Partnern aus der Industrie und der Wissenschaft weitere intelligente Lösungen für die gesamte Infrastruktur.

In Bezug auf Smart City gilt die spanische Küstenstadt Santander als Vorzeigestadt in Europa. Seit Jahren wird dort an der Verbesserungen in allen Bereichen der städtischen Infrastruktur gearbeitet und geforscht. Heute ist die Stadt regelmäßig Gastgeber für Vertreter aus allen Teilen der Welt, welche sich mit den Möglichkeiten zum Thema Smart Traffic beschäftigen.

Nachdem in diesem Kapitel die Hintergründe der Einführung von Smart Traffic mitsamt der möglichen Probleme aufgezeigt und existierende Projekte vorgestellt wurden, erfolgt im kommenden Abschnitt die Umsetzung einer Fallstudie anhand eines fiktiven Verkehrsszenarios.

## 4 Fallstudie

In diesem Kapitel wird die technische Realisierung einer Fallstudie beschrieben. Dabei werden sowohl die verwendeten Technologien als auch die eintretenden beziehungsweise zu verarbeitenden Szenarien sowie deren Implementierung erläutert.

### 4.1 Verwendete Technologien

Damit die Fallstudie in einer angemessenen Art präsentiert werden kann, erfolgt die Realisierung des Projekts als Web-Applikation. Dafür wird mit *Spring-Boot* ein quell-offenes Java-Framework verwendet. Darin enthaltene Komponenten wie *SpringMVC* und der Applikation-Server *Tomcat* ermöglichen eine konfigurationsarme Erstellung der Webanwendung. Die Webanwendung besteht im Wesentlichen aus einer serverseitigen (Backend) und einer clientseitigen (Frontend) Komponente.

Das Backend folgt dem Architekturmuster *Model-View-Controller*. Die Controller-Klassen stellen REST-Schnittstellen bereit, durch die es möglich ist, einzelne Events zu senden und diese durch eine *Complex Event Processing* - Engine (CEP) zu verarbeiten.

Das Frontend wird durch Verwendung der *Java Server Pages* - Technologie (JSP) in Kombination mit der *Java Standard Tag Library* (JSTL) umgesetzt. Diese ermöglicht die Visualisierung des aktuellen Zustands des Straßenausschnitts, die Steuerung von Eventströmen und die Steuerung der Events. Die Kommunikation zwischen Front- und Backend erfolgt durch den Einsatz von AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*).

Als CEP - Engine wird *Esper* verwendet. Esper ermöglicht die schnelle Verarbeitung großer Mengen eingehender Nachrichten und ist somit sehr gut für die Verwendung in Smart Traffic Szenarien geeignet.

### 4.2 Beschreibung der Ausgangslage

Das Szenario dieser Fallstudie beschreibt den fiktiven Kartenausschnitt aus Abb.7. Dieser Ausschnitt besteht aus den drei Kreuzungen K1, K2 und K3, einer Nord-Süd-Achse S3 und einer West-Ost-Achse S1 als Hauptverkehrsstraßen sowie einen Bahnübergang welcher die West-Ost-Achse kreuzt. Die Verkehrsteilnehmer sind autonom fahrende (Einsatz-)Fahrzeuge, deren Fahrtrichtung durch Pfeile in den Tabellen auf Abb.7 dargestellt werden. Die für die Fahrzeuge relevante Tabelle befindet sich jeweils an der rechten Seite in Fahrtrichtung. Die grün umrandete Tabelle gibt als Beispiel die Fahrtrichtung für die aus westlicher Richtung auf der Straße S1 fahrenden Fahrzeuge vor. Die Ereignisse in dieser Fallstudie beschränken sich auf die Kreuzung K2. Aus diesem Grund erfolgt die Verkehrslenkung an den Kreuzungen K1 und K3, weshalb für K2 keine Tabellen dargestellt werden. Als Ausweichrouten können die parallel verlaufende nördliche Straße S2 sowie die westlich von der S3 verlaufende S4 befahren werden. Diese werden verwendet, wenn

es die Verkehrslage durch eines oder mehrere der möglichen nachfolgend aufgelisteten Szenarien erfordert.

- Unfall an Kreuzung K2
- Geschlossene Bahnschranke
- Erhöhte Stickstoffbelastung an Kreuzung K2
- Überhöhtes Verkehrsaufkommen an Straße S1

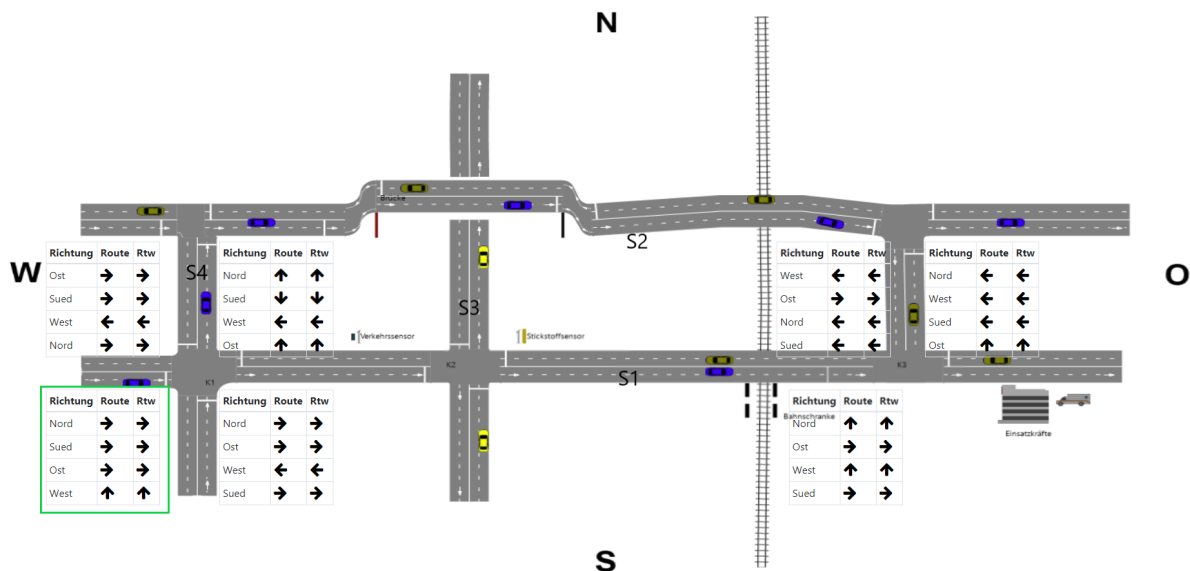


Abbildung 7: Straßenausschnitt mit Anzeige der Fahrtrichtung

Nachdem die Ausgangslage der Fallstudie beschrieben wurde, werden die oben genannten Events in den nachfolgenden Abschnitten genauer beschrieben. Dabei werden sowohl die eingesetzten Statements als auch die Auswirkung der eintretenden Ereignisse auf das vorgestellte Szenario erläutert. Jedes Event enthält ein Attribut welches den Ort des Ereignisses beinhaltet. Durch diesen können mehrere gleichartige Ereignisse an unterschiedlichen Orten überwacht werden. Die Fahrtrichtungspfeile, die sich durch ein eingetretenes Ereignis ändern, werden grün hervorgehoben.

### 4.3 Steuerung der Ereignisse

Die Steuerung der Ereignisse erfolgt wie bereits erwähnt über die WebUI. Dabei wird zwischen dem Verkehrsstrom als kontinuierlich auftretende Ereignisse und Einzelereignissen *Bahnschranke*, *Verkehrslage K2* und *Stickoxid-Werte K2* unterschieden. Die Felder in Abb. 8 dienen der Auslösung der Einzelereignisse.

Die Regelung des Verkehrsstroms erfolgt über die in Abb. 9 beispielhaft dargestellten Eingabefelder. Über separate Threads werden im Backend die Anzahl der Autos in

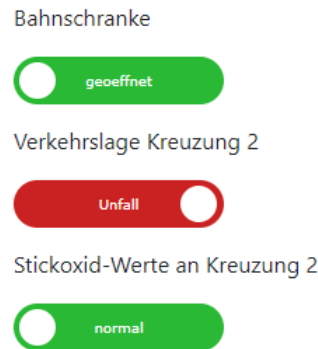


Abbildung 8: Auslöser für Events

*TrafficStartEvents* übersetzt und kontinuierlich in den Ereignisstrom übergeben. Diese Events beinhalten ein Attribut zur Angabe der gewünschten Fahrtrichtung, um sie für Esper unterscheidbar zu machen.

Verkehr von O <--> W	
Fahrzeuge pro Minute	10
Verkehr von N <--> S	
Fahrzeuge pro Minute	10

Abbildung 9: Fahrzeuge pro Minute je Fahrtrichtung

Die Verarbeitung der Ereignismuster durch Esper wird in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

## 4.4 Unfall an Kreuzung

Sobald das Feld *Verkehrslage Kreuzung 2* ausgelöst wird, wird ein *AccidentStartEvent* in den Ereignisstrom gesendet. Durch das Statement

```
select crossing from AccidentStartEvent
```

erkennt Esper das Event und löst einen *AccidentStartListener* aus. Abb. 10 zeigt die Änderungen der Fahrtrichtungen, die im *AccidentStartListener* ausgelöst werden. Dieser ändert die Fahrtrichtungen dahingehend, dass Einsatzfahrzeuge weiterhin die Straße S1 befahren dürfen und der restliche Verkehr über die Nordumgehung S2 umgeleitet wird.

Damit im Anschluss an den Unfall die Verkehrsführung angepasst werden kann, werden zwei weitere Statements verwendet. Dabei muss die aktuelle Situation am Bahnübergang

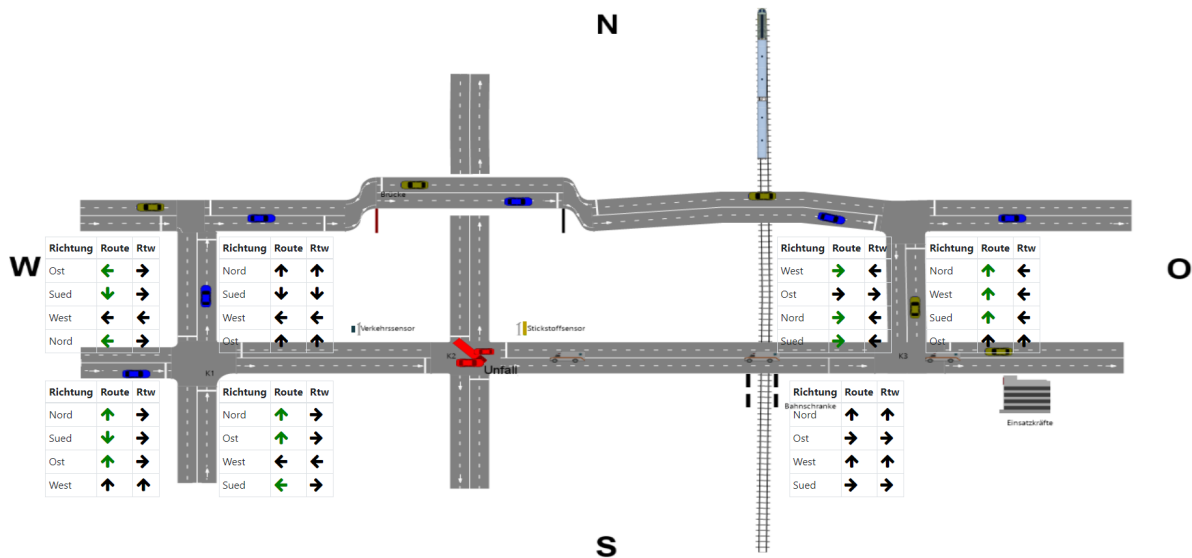


Abbildung 10: Unfall an K2 und Umleitung der Fahrzeuge außer Einsatzfahrzeuge

beachtet werden. Das nachfolgende Statement prüft, ob zusätzlich zum *AccidentEndEvent* die *RailroadCrossingBarrierClose*- und *RailroadCrossingBarrierOpenEvents* in der gleichen Häufigkeit ausgelöst wurden. Somit kann unterschieden werden, ob die Schranke zu dem Zeitpunkt geöffnet (gleiche Häufigkeit) oder geschlossen ist.

```
select crossing from AccidentEndEvent where ( (select count(*)
  from RailroadCrossingBarrierCloseEvent) = (select count(*)
  from RailroadCrossingBarrierOpenEvent))
```

Ist dies der Fall, reagiert der *AccidentEndBarrierOpenListener*. Dieser setzt die Verkehrsführung auf die Ausgangslage wie in Abb. 8 zurück. Zur Abdeckung der Möglichkeit, dass nach Unfallende die Bahnschranke geschlossen ist, kommt das Statement

```
select crossing from AccidentEndEvent where ( (select count(*)
  from RailroadCrossingBarrierCloseEvent) != (select count(*)
  from RailroadCrossingBarrierOpenEvent))
```

zum Einsatz. Dieses wird ausgelöst wenn die Anzahl an *RailroadCrossingBarrierCloseEvent* und *RailroadCrossingBarrierOpenEvents* nicht den gleichen Wert ausweisen. Dann wird der *AccidentEndBarrierClosedListener* ausgeführt und die Verkehrslage entspricht der im nachfolgenden Abschnitt erläuterten Situation.

## 4.5 Geschlossene Bahnschranke

Diese Situation wird nach der Aktivierung der Schaltfläche *Bahnschranke* durch den Eingang eines *RailroadCrossingBarrierCloseEvent* im Ereignisstrom erkannt. Das dafür verwendete Statement



```
select railwayCrossing from RailroadCrossingBarrierCloseEvent
```

löst den *BarrierCloseListener* aus, welcher die in Abb. 11 dargestellte Reaktion umsetzt.

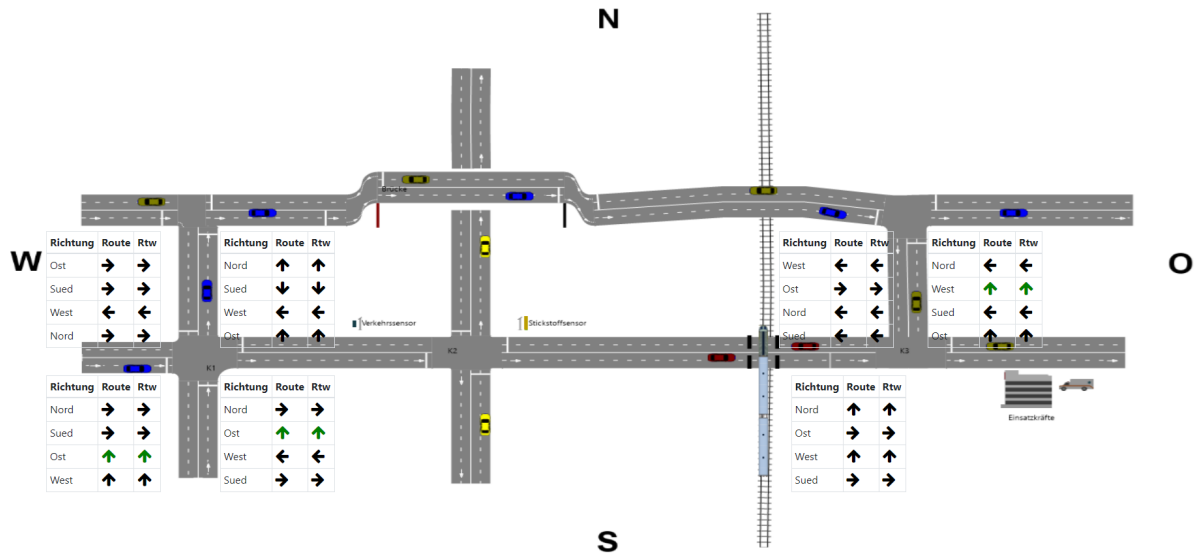


Abbildung 11: Geschlossene Bahnschranke und Umleitung der Fahrzeuge aus Ost, West und Südwest

Ähnlich wie beim Unfallereignis muss nach Beendigung durch ein *RailroadCrossingBarrierCloseEvent* überprüft werden, ob an der Kreuzung K2 ein Unfallereignis aktiv ist. Dies geschieht durch die zwei Statements

```
select railwayCrossing from RailroadCrossingBarrierOpenEvent
  where ( (select count(*) from AccidentStartEvent) = (select
    count(*) from AccidentEndEvent))
```

```
select railwayCrossing from RailroadCrossingBarrierOpenEvent
  where ( (select count(*) from AccidentStartEvent) != (select
    count(*) from AccidentEndEvent))
```

die nach dem gleichen Prinzip wie in Absatz 4.4 prüfen, ob die Anzahl an *AccidentStart*- und *AccidentEndEvents* gleich ist.

Ist ein Unfallereignis aktiv, werden die Fahrzeuge gemäß dem Unfallereignis umgeleitet. Andernfalls werden die Fahrzeuge wieder über die optimalen Routen geführt.

## 4.6 Erhöhte Stickstoffbelastung

Ein Stickstoffalarm wird durch die Aktivierung der Schaltfläche *Stickoxid-Werte an Kreuzung 2* und dem aktionsverbunden Versand eines *NitrogenOxideStartEvent* an den Ereignisstrom ausgelöst. Das Statement

```
select crossing from NitrogenOxideStartEvent
```

erfasst das Ereignis und löst den *NitroOxigenHighListener* aus. In Abb. 12 ist ersichtlich wie daraufhin in einer ersten Eskalationsstufe zur Reduzierung der Schadstoffbelastung, der Ost-West-Verkehr über die Umgehungsstraße geleitet wird.

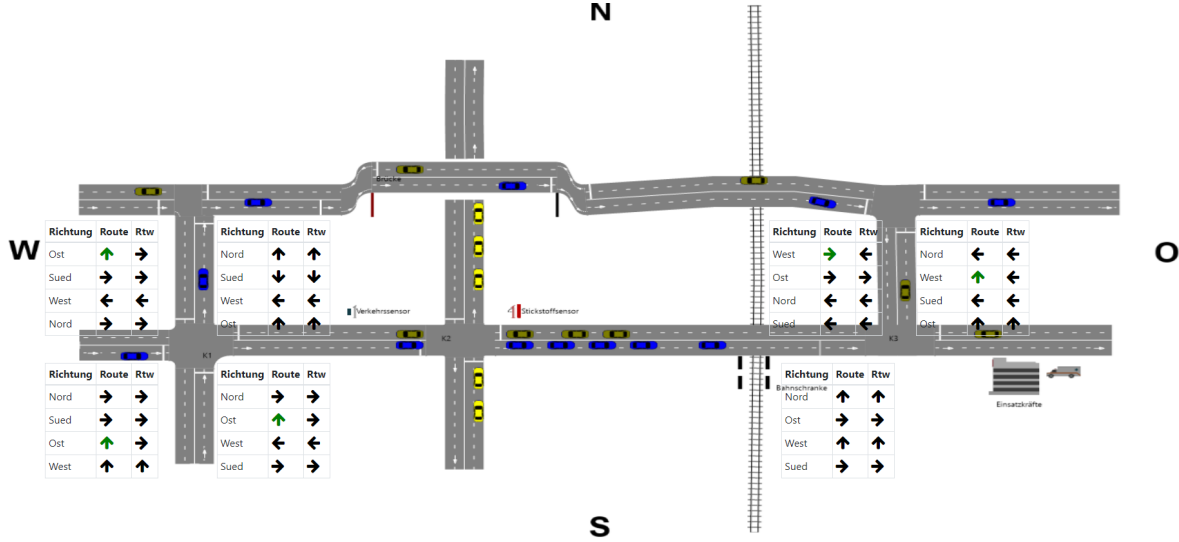


Abbildung 12: Stickstoff-Warnung und Sperrung für Ost-West-Verkehr

Parallel dazu wird durch das Statement

```
select a,b from pattern [every a = NitrogenOxideStartEvent(
    crossing = 'k2') -> (timer:interval(10 seconds) and b =
    NitrogenOxideEndEvent(crossing = a.crossing))]
```

geprüft, ob nach Auftreten des *NitrogenOxideStartEvent* an Kreuzung K2 innerhalb eines definierten Zeitintervalls ein *NitroOxideEndEvent* an der gleichen Kreuzung erfasst wurde. Ist das der Fall, wird die Straße S1 für den Ost-West-Verkehr wieder freigegeben. Im Gegenzug prüft das Statement

```
select a,b from pattern [every a = NitrogenOxideStartEvent(
    crossing = 'k2') -> (timer:interval(10 seconds) and not b =
    NitrogenOxideEndEvent(crossing = a.crossing))]
```

ob in dem definierten Zeitraum an der Kreuzung kein *NitrogenEndEvent* erfasst wurde. Dann wird der *NitroOxigenTimeIntervalListener* ausgelöst und stößt die nächste Eskalationsstufe an. Diese ist in Abb. 13 dargestellt und zeigt die zusätzliche Sperrung für Zufahrten auf die Nord-Süd-Verbindung.

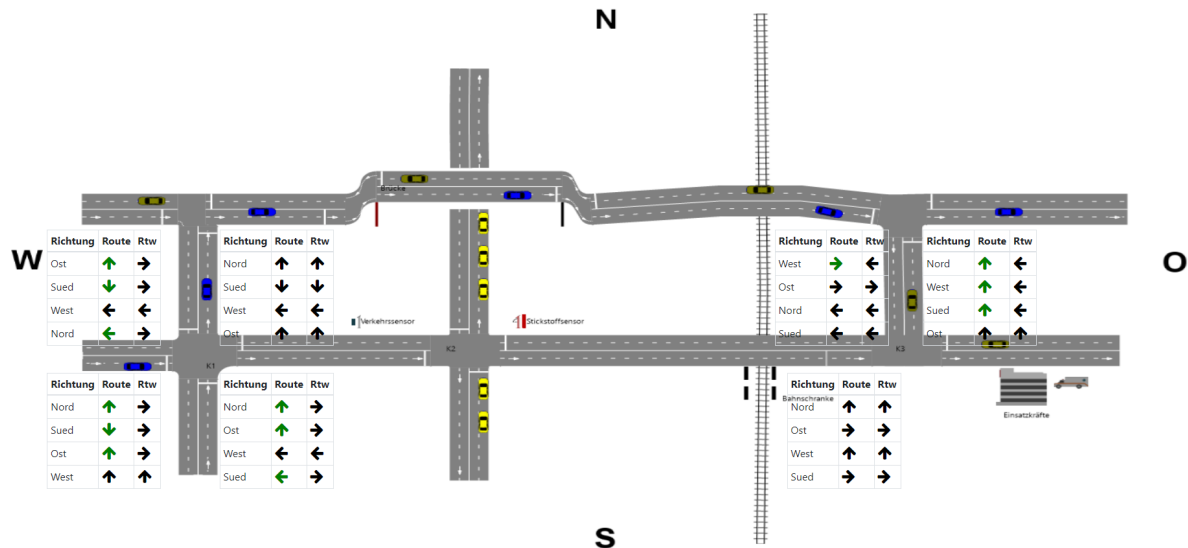


Abbildung 13: Stickstoff-Alarm und Sperrung für den kompletten Verkehr außer Nord-Süd

## 4.7 Erhöhtes Verkehrsaufkommen

Der Verkehrsstrom in der Fallstudie wird mit kontinuierlich erzeugten *TrafficStartEvents* simuliert. Um festzustellen, ob Vorkehrungen zur Entlastung der Straßen getroffen werden müssen, zählt das Statement

```
select count(*) from TrafficStartEvent(direction = 'OtoW')#time
(15 seconds) having (count(*) >5 and count(*) <= 6)
```

die Anzahl der Fahrzeuge, die von Ost nach West oder vice versa fahren. Liegt die Anzahl der gemessenen Fahrzeuge in einem 15-Sekunden-Intervall zwischen fünf und sechs, wird der *TrafficStartListener* ausgelöst. Die aktuelle Situation ist in Abb. 14 veranschaulicht.

Ob mehr als sechs Fahrzeuge innerhalb von 15 Sekunden die Ost-West-Verbindung nutzen, wird durch das Statement

```
select count(*) from TrafficStartEvent(direction = 'OtoW')#time
(15 seconds) having count(*) >10
```

ermittelt. Daraufhin reagiert der *TrafficTimeIntervalListener* und erzeugt eine Aufteilung des Verkehrs auf zwei Straßen. Wie in Abb. 15 ersichtlich, nutzt der West-Ost-Verkehr nun die zweispurig befahrbare Straße S1. Der Ost-West-Verkehr wird auf die nun ebenfalls zweispurige Straße S2 umgeleitet.

Das Statement

```
select count(*) from TrafficStartEvent(direction = 'OtoW')#time
(15 seconds) having count(*) <= 3
```

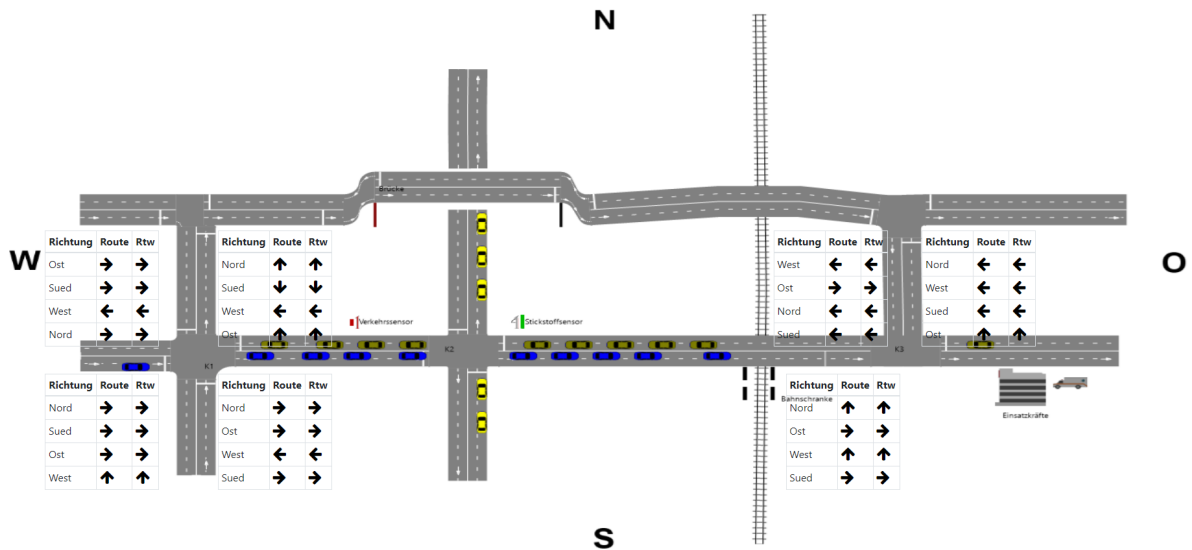


Abbildung 14: Hohe Verkehrsbelastung auf S1

erkennt das Ende der Verkehrsbelastung und startet den *TrafficEndListener*, sobald sich die Anzahl der Fahrzeuge in beiden Richtungen auf drei oder weniger im 15 Sekunden-Intervall reduziert hat. Im Anschluss daran wird die Verkehrsführung in den Normalzustand zurück versetzt.

In diesem Kapitel wurde anhand eines fiktiven Verkehrsszenarios und real möglicher Ereignisse dargestellt, wie Event-Processing durch Esper realisiert werden kann. Dabei wurde deutlich, dass bei eintretenden Ereignissen immer auf eine Wechselwirkung mit anderen zeitnah eingetretenen Ereignissen geachtet werden muss. In diesem Zusammenhang wurden für das Fallbeispiel komplexe Ereignismuster definiert, erkannt und verarbeitet.

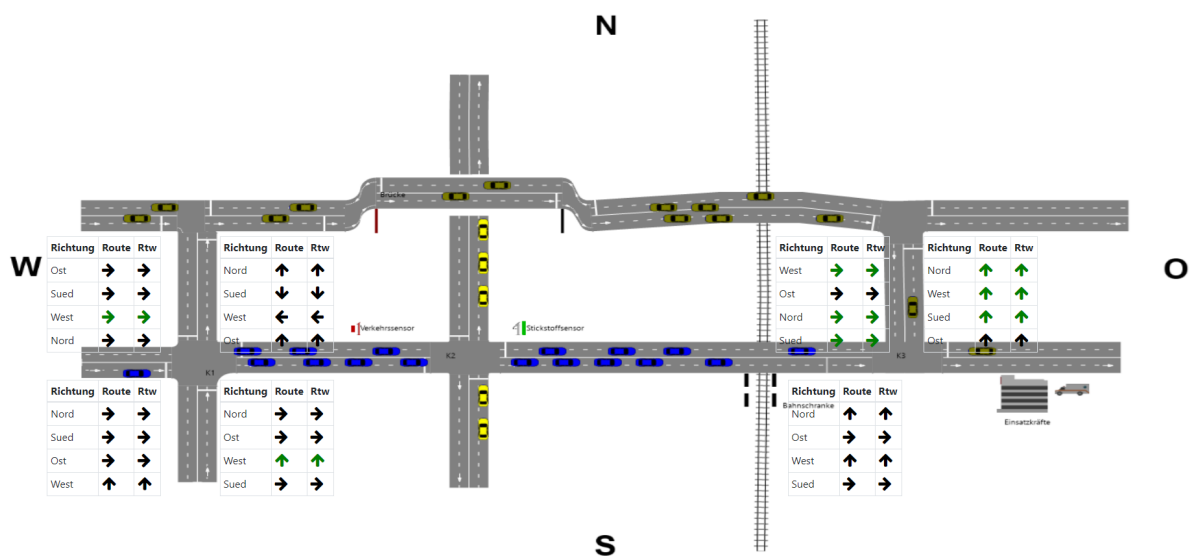


Abbildung 15: Sehr hohe Verkehrsbelastung und Einrichtung einspuriger Fahrbahnen

## 5 Fazit

Diese Arbeit entstand im Kontext des Studienfachs Data Analytics. Im Fokus steht die Technologie des Complex Event Processing (CEP). In allen Lebensbereichen, in denen bestimmte Muster erkannt und entsprechende Aktionen angetriggert werden müssen, sind CEP Ansätze eine sehr gute Lösungsmöglichkeit. Wie vielseitig die Möglichkeiten sind, wurde im Laufe der Veranstaltung durch die Vorstellung verschiedenster CEP Einsatzbereiche deutlich. Kenntnisse über die Einsatzgebiete, Umsetzungen und Alternativen können im Berufsleben eines Informatikers eine wertvolle Kompetenz sein. In diesem Zusammenhang wurde in dieser Arbeit der Einsatz von CEP Engines im Kontext von Smart Traffic bearbeitet. Im Kapitel Real World Smart Traffic wurden Probleme unserer Zeit aufgeführt, welche durch das kontinuierlich wachsende Verkehrsaufkommen der letzten Jahre bedingt sind. Neben der Umweltbelastung durch die Schadstoffemissionen, wurden der negative Wirtschaftsfaktor und die Auswirkungen von Stauwartezeiten auf das menschliche Stressniveau beschrieben. Eine Smart Traffic Lösung ist ganz sicher ein innovativer Schritt um eine allgemeine Verbesserung der gesellschaftlichen Lebensqualität zu erreichen. Vorhandene technologische Entwicklungen des Computerzeitalters werden gewinnbringend eingesetzt. Auf den ersten Blick haben Smart Traffic Systeme ausschließlich positive Effekte auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Es wurden aber auch berechtigte Kritikpunkte aufgezeigt. Man muss sich den Herausforderungen zum digitalen Sicherheitsniveau sowie der Frage nach rechtlichen Verbindlichkeiten stellen. Zudem ist eine Smart Traffic Umsetzung beziehungsweise der benötigte Infrastrukturumfang mit hohen Kosten verbunden. Straßenverkehrsszenarien sind sehr komplex, da es überabzählbar viele Ereignisse und Ereigniskombinationen gibt. Im Fallbeispiel dieser Arbeit wurde ein fiktiver Straßenausschnitt (siehe Abbildung 1) betrachtet, auf dem die vier Ereignisse Unfall, Stickstoffsensoralarm, Bahnschranke und Verkehrsdichte auftreten können. Wenn man nun davon ausgeht, dass jedes Ereignis (englisch Event) entweder eintreten oder nicht eintreten kann, ergibt das mathematisch 16 ( $2^4$ ) Ereigniskombinationen, für welche man eine Reaktion oder Gegenmaßnahme definieren muss. Das Szenario ist vielleicht noch überschaubar, doch es wird auch nur ein vergleichsweise kleiner Straßenausschnitt betrachtet. Überträgt man die Logik der Ereigniskombinationen in die reale Welt, so wird schnell klar, wie unüberschaubar komplex die Strukturen und Abhängigkeiten werden können. Bei realen Projekten wird die Idee einer Smart Traffic Lösung auf kleinere Einsatzgebiete oder Bereiche heruntergebrochen. Wie in den Beispielen aufgezeigt werden mit Sensorsystemen Hauptverkehrsstraßen, Knotenpunkte oder Parkplätze detektiert. Nach und nach werden in den Städten weitere Komponenten in die Automatisierung der Verkehrsführung integriert. Insgesamt bietet der Straßenverkehr zwar ein unheimlich komplexes, aber dennoch wohldefiniertes und geordnetes System. Es lassen sich einzelne Komponenten der Verkehrsführung oder Straßenausschnitte separat betrachten und zeitlich unabhängig zusammensetzen. Daraus lässt sich ein großes Potential für die Automatisierung im Sinne von Smart Traffic ableiten. Smart Traffic nutzt dabei alle Bereiche, die man zum Thema Big Data gruppiert. Von der empirischen Datenerhebung, über die Musterentwicklung, wird schließlich die Mustererkennung im realen

Betrieb eingesetzt und präventive, sowie reaktive Maßnahmen auf Verkehrsszenarien angestoßen (siehe Abbildung 5). In dieser Arbeit wurde ein realitätsnahes Fallbeispiel nach der Idee von Smart Traffic erarbeitet und umgesetzt. Als CEP Engine wurde das flexibel konfigurierbare ESPER Framework verwendet. Dieses wurde in eine MVC Softwarearchitektur, bestehend aus einem SpringBoot Backend und einer JSP Frontendsteuerung, implementiert. Resümiert betrachtet lässt sich zweifelsohne feststellen, dass sich das Fallbeispiel hervorragend für den Einsatz einer CEP Engine eignet und ein wertvoller Lernerfolg erzielt wurde.

## 6 Literatur

- [ADA18] ADAC, Hrsg. *Täglich 4000 Kilometer Stau*. 2018. URL: <https://www.adac.de/der-adac/verein/aktuelles/staubilanz-2017/> (besucht am 09.07.2018).
- [Eis+10] Dieter Eis u. a., Hrsg. *Klimawandel und Gesundheit: Ein Sachstandsbericht*. Berlin: Robert-Koch-Institut, 2010.
- [INR14] INRIX, Hrsg. *Verkehr kostet deutsche Wirtschaft 33 Milliarden Euro im Jahr 2030*. 2014. URL: <http://inrix.com/press-releases/verkehr-kostet-deutsche-wirtschaft-33-milliarden-euro-im-jahr-2030/> (besucht am 09.07.2018).
- [KBA18] KBA, Hrsg. *Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2018*. 2018. URL: [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b\\_jahresbilanz.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html) (besucht am 09.07.2018).
- [KPM17] KPMG, Hrsg. *Unterwegs in der Smart City*. 2017. URL: [http://hub.kpmg.de/public-sector-insights-02-2017-unterwegs-in-der-smart-city?utm\\_campaign=Public%20Sector%20Insights%2002%2F2017%20%E2%80%9393%20Unterwegs%20in%20der%20Smart%20City](http://hub.kpmg.de/public-sector-insights-02-2017-unterwegs-in-der-smart-city?utm_campaign=Public%20Sector%20Insights%2002%2F2017%20%E2%80%9393%20Unterwegs%20in%20der%20Smart%20City) (besucht am 09.07.2018).
- [Min18] Ministerium für Verkehr Baden Württemberg, Hrsg. *Feinstaubalarm*. 2018. URL: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mensch-umwelt/luftreinhaltung/feinstaubalarm/> (besucht am 09.07.2018).
- [Rot11] Tobias Rothenbücher, Hrsg. *Globaler Klimawandel: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten*. 3., überarb. Aufl., Neuaufl. Bonn und Berlin: Germanwatch, 2011. ISBN: 978-3-939846-78-9.
- [RS07] Stefan Rahmstorf und Hans-Joachim Schellnhuber. *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*. 6. Aufl., Orig.-Ausg. Bd. 2366. Beck'sche Reihe C.-H.-Beck-Wissen. München: Beck, 2007. ISBN: 3406508669.
- [Ryo16] Ryohei Fujimaki. *What is Prescriptive Analytics?* 2016. URL: [https://www.nec.com/en/global/solutions/bigdata/special/gartner-bi-na-2016/sps\\_script1.html](https://www.nec.com/en/global/solutions/bigdata/special/gartner-bi-na-2016/sps_script1.html) (besucht am 09.07.2018).
- [Sta18] Statista - Das Statistik-Portal, Hrsg. *Anzahl der gemeldeten Pkw in Deutschland in den Jahren 1960 bis 2018 (Bestand in 1.000)*. 2018. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12131/umfrage/pkw-bestand-in-deutschland/> (besucht am 09.07.2018).
- [Sva96] Svante Arrhenius. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*. 1896. URL: [http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896\\_tcm18-173546.pdf](http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf) (besucht am 09.07.2018).
- [Tom11] TomTom, Hrsg. *Stress im Stau*. 2011. URL: <https://www.meintomtom.de/content/507/stress-im-stau.html> (besucht am 09.07.2018).
- [Umw18] Umweltbundesamt, Hrsg. *Kraftstoffe*. 2018. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/kraftstoffe> (besucht am 09.07.2018).



## Abbildungsverzeichnis

1	Straßenausschnitt der Fallstudie . . . . .	1
2	Entwicklung der jährlichen Treibhausemissionen in Deutschland . . . . .	4
3	Deutsche Ziele des Klimaschutzplans bis 2030 . . . . .	5
4	Entwicklung der PKW-Emissionen . . . . .	6
5	Smart Traffic Einordnung in Big Data Themengebiete [in Anlehnung an Ryo16] . . . . .	7
6	Siemens Traffic Eye Sensor (Quelle: <a href="https://sie.ag/2MV07d9">https://sie.ag/2MV07d9</a> ) . . . . .	8
7	Straßenausschnitt mit Anzeige der Fahrtrichtung . . . . .	11
8	Auslöser für Events . . . . .	12
9	Fahrzeuge pro Minute je Fahrtrichtung . . . . .	12
10	Unfall an K2 und Umleitung der Fahrzeuge außer Einsatzfahrzeuge . . .	13
11	Geschlossene Bahnschranke und Umleitung der Fahrzeuge aus Ost, West und Südwest . . . . .	14
12	Stickstoff-Warnung und Sperrung für Ost-West-Verkehr . . . . .	15
13	Stickstoff-Alarm und Sperrung für den kompletten Verkehr außer Nord-Süd	16
14	Hohe Verkehrsbelastung auf S1 . . . . .	17
15	Sehr hohe Verkehrsbelastung und Einrichtung einspuriger Fahrbahnen . .	18