



BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Medieninformatik

Ampelphasen-Informationssystem für FahrradfahrerInnen
auf Grundlage persistenter geo- und zeitbasierter Daten

Berlin, den 6. Januar 2015

Autorin:

Jacoba BRANDNER

Matrikelnummer:

786635

Betreuerin:

Frau Prof. Dr. Gudrun GÖRLITZ

Gutachterin:

Frau Prof. Dr. Petra SAUER

INHALT

| | |
|---|-----------|
| 1 Einführung | 5 |
| 1.1 Motivation | 5 |
| 1.2 Zielstellung | 5 |
| 1.3 Aufbau der Arbeit | 6 |
| 2 Bestehende Konzepte und deren Beurteilung | 7 |
| 2.1 Ampelinformationssysteme | 7 |
| 2.1.1 Grüne Welle auf Radwegen | 7 |
| 2.1.2 Individuelle Ampelinformationssysteme im Auto | 8 |
| 2.2 Ampelinformationssysteme als mobile Applikation | 10 |
| 2.3 Fahrraderweiterungen | 11 |
| 2.3.1 Displaylose Fahrradnavigation | 12 |
| 2.3.2 Intelligente Fahrradlenker | 12 |
| 2.3.3 Das Samsung Smart Bike | 13 |
| 2.3.4 Der COBI Fahrradcomputer | 13 |
| 2.4 Analyseergebnis | 14 |
| 3 Lösungsansätze | 15 |
| 4 Grundlagen | 17 |
| 4.1 Mathematische Grundlagen | 17 |
| 4.2 Technische Grundlagen | 18 |
| 4.2.1 Hybride App mit AngularJS + Phonegap? | 18 |
| 4.2.2 JavaScript | 18 |
| 4.2.3 Node.js | 18 |
| 4.2.4 NoSQL Datenbank MongoDB | 19 |
| 4.2.5 Open-Street-Map | 20 |
| 5 Die Anforderungsanalyse | 21 |
| 5.1 Personas | 21 |
| 5.2 Funktionalität | 21 |
| 5.3 Diagramme | 21 |
| 5.4 Die graphische Oberfläche | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 6 Konzeption | 23 |
| 6.1 Architektur | 23 |
| 6.1.1 Technologien | 23 |
| 6.1.2 Navigation (bei App) | 23 |
| 6.2 Das Design | 23 |
| 6.2.1 Anzeigeelemente | 23 |
| 6.3 Ampeldatenanfrage und Auswertung | 23 |
| 6.3.1 Sensoren | 23 |
| 6.4 Theorie | 23 |
| 6.4.1 Die Berechnung der Entfernung | 24 |
| 6.4.2 Die Berechnung der Ankunft in Abhängigkeit der Geschwindigkeit | 24 |
| 6.4.3 Die Berechnung der Dauer der Ampelphase? | 24 |
| 6.5 Funktionalitäten -> Anforderungsanalyse? | 24 |
| 7 Der Prototyp | 25 |
| 7.0.1 APIs | 25 |
| 7.0.2 Komponenten | 25 |
| 8 Evaluierung | 26 |
| 8.1 Systemtest | 26 |
| 9 Ergebnis und Ausblick | 27 |
| 9.1 Ampelhinweissystem | 27 |
| 9.2 Ausblick | 27 |
| Akronyme | 28 |
| Glossar | 29 |
| Abbildungsverzeichnis | 30 |
| Literaturverzeichnis | 31 |

Zusammenfassung

Im Berliner Verkehrswesen ist ein deutlicher Trend zu bemerken. Das Fahrrad wird zum ökologischen und gesundheitlichen, aktiven Lebensstil und wird dem hohen Verkehrsaufkommen der Automobile, insbesondere in der Stadtregion, entgegenwirken. “Fahrradfahren boomt in Berlin stärker als bislang bekannt” (J.Anker, Berliner Morgenpost, am 6.06.2014)

Neue Fahrradwege und Vergrößerung des Fahrradstraßennetzes sind regionale Baumaßnahmen, die dabei aktuell diesen Fahrradtrend unterstützen. Grund der neuen Fahrradeuphorie ist nicht zuletzt die erfolgreiche Etablierung der E-Bikes. E-Bikes erfreuen sich großer Beliebtheit und ermöglichen auch längere Touren ohne große Anstrengung.

Abstract

Im Berliner Verkehrswesen ist ein deutlicher Trend zu bemerken. Das Fahrrad wird zum ökologischen und gesundheitlichen, aktiven Lebensstil und wird dem hohen Verkehrsaufkommen der Automobile, insbesondere in der Stadtregion, entgegenwirken. “Fahrradfahren boomt in Berlin stärker als bislang bekannt” (J.Anker, Berliner Morgenpost, am 6.06.2014)

Neue Fahrradwege und Vergrößerung des Fahrradstraßennetzes sind regionale Baumaßnahmen, die dabei aktuell diesen Fahrradtrend unterstützen.

Grund der neuen Fahrradeuphorie ist nicht zuletzt die erfolgreiche Etablierung der E-Bikes. E-Bikes erfreuen sich großer Beliebtheit und ermöglichen auch längere Touren ohne große Anstrengung.

1 EINFÜHRUNG

1.1 MOTIVATION

Im Berliner Verkehrswesen ist ein deutlicher Trend zu bemerken. Das Fahrrad wird zum ökologischen und gesundheitlichen, aktiven Lebensstil und wird dem hohen Verkehrsaufkommen der Automobile, insbesondere in der Stadtregion, entgegenwirken. „Fahrradfahren boomt in Berlin stärker als bislang bekannt“ [J.A14]

Neue Fahrradwege und Vergrößerung des Fahrradstraßennetzes sind regionale Baumaßnahmen, die dabei aktuell diesen Fahrradtrend unterstützen. Grund der neuen Fahrradeuphorie ist nicht zuletzt die erfolgreiche Etablierung der E-Bikes¹. E-Bikes erfreuen sich großer Beliebtheit und ermöglichen auch längere Touren ohne große Anstrengung.

Die Digitalisierung der Autoinnenräume mit Navigation und Bordelektronik sowie die Verbindungen zu Smartphones stellen aktuell keine Besonderheit mehr dar. Wird das Fahrrad nun als „vollwertiges“ Mitglied im Straßenverkehr angesehen, kann zusätzliche Elektronik wie Navigation und Blickmechanismen die FahrradfahrerInnen unterstützen.

Sicherheit und eine rechtzeitige Ankunft am Ziel sind die Hauptaspekte der VerkehrsteilnehmerInnen. Das Halten an der Ampel kann dabei schnell zu Verzögerungen führen. Doch wer die Restzeit im Voraus kennt, kann sich darauf einstellen und so die verlorenen Zeitabschnitte reduzieren.

1.2 ZIELSTELLUNG

Der Fahrtfluss der RadfahrerInnen soll nicht unnötig unterbrochen werden. Rote Ampeln zwingen einen zum Anhalten – das Anfahren kostet Kraft und ist deshalb unbeliebt. So kommt es, dass viele RadfahrerInnen die Straße bei rot überqueren und die Verkehrssicherheit aller gefährden, wo das das Radfahren an sich zur Gesundheit beiträgt und auch gut für die Umwelt ist. Angesichts des Nutzenpotentials eines Ampelinformationssystems lässt sich die Zielstellung klar und deutlich formulieren. Durch das reibungslosen Passieren der Ampeln wird der Verkehr sicherer und das Radfahren attraktiver.

Um die Ampeldaten zu erfassen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eine 100prozentige Deckung erreicht man nicht einmal durch manuelle Ablesung jeder Ampel, da circa 20 Prozent der Lichtsignalanlagen in Berlin manuell gesteuert werden. Die Berliner Verkehrslenkungszentrale stellt für diese Arbeit verkehrstechnische Unterlagen wie einen Lageplan, Signalzeitenpläne und Daten der verkehrsabhängigen Steuerung von Lichtsignalanlagen von circa zehn Anlagen zur Verfügung. Für die Auswertung der Daten werden die potentiellen Wartezeiten an der nächsten Ampel vorzeitig errechnet und den FahrerIn-

¹ Elektrofahrrad. Ein Fahrrad mit elektrischem Hilfsmotor

nen mitgeteilt. Resultierend kann der Nutzer die Geschwindigkeit anpassen und die verbleibende Wegstrecke zur Ampel nutzen, um bei Grün ohne anzuhalten die Kreuzung zu überqueren. Für die Datenerhebung werden zugleich die mobilen Systeme der RadfahrerInnen genutzt. Wenn man das mit Ampeln auf gegebener Teststrecke umsetzt, kann zunächst der Prototyp des Ampelhinweissystem entwickelt werden.

Das Ziel der Arbeit ist ein Konzept und dessen prototypische Anwendung eines Ampelhinweissystem, welches einem auf Basis der zu erstellenden Ampeldatenbank Informationen über die Ampelschaltung zukommen lässt und ihn so interaktiv durch das Verkehrsnetz führt.

1.3 AUFBAU DER ARBEIT

Zunächst wird analysiert welche Studien, Projekte oder Anwendungen es zu diesem Thema bereits gibt. Auf Grundlage dessen wird entschieden, in welcher Art das Thema dieser Arbeit umgesetzt wird. Es wird erläutert, ob sich eine mobile Anwendung oder eher eine Arduinoinstallation anbietet. Basierend darauf werden im vierten Kapitel die technischen Grundlagen erklärt. Hier werden also Definitionen und Entwicklungswerkzeuge beschrieben und ein Überblick über mögliche Einsatzgebiete gegeben. Für das Verständnis der Umsetzung ist die Klärung der theoretischen Berechnungsgrundlagen erforderlich.

Im Anforderungsanalysekapitel werden die Anforderungen an Funktionalität und Usability Kriterien für die Anwendung ermittelt und strukturiert.

Es werden Personas, fiktive Benutzer, eingeführt und schließlich eine Zusammenfassung der herausgearbeiteten Anforderungen gestellt.

Das sechste Kapitel bildet mit der Konzipierung den Kern dieser Arbeit. *Architektur, Design, (Theorie — funktioniert nicht wie in Konzeption beschrieben, weil...) es wird auf.. einngegangen.... mobile Anwendung. Applikation (App). die NutzerInnen auf Ampeln hinweist und die Dauer der Phase. Zusammenfassend wird das Konzept am Ende von allen Personas nocheinmal kritisch betrachtet und evaluiert.* Kapitel sieben beschreibt die Umsetzung des exemplarischen Prototyps. Dieser wird dann in Architektur, Funktionalität und Design erläutert und schließlich in mehreren Testreihen evaluiert. Anhand einiger Systemtests wird eine Optimierung der Anwendung herausgearbeitet und gegebenenfalls umgesetzt.

Den Abschluss dieser Arbeit bildet eine Zusammenfassung der Ereignisse dieser Arbeit und einen Ausblick auf zukünftige Entwicklung hinsichtlich des Themas.

2 BESTEHENDE KONZEPTE UND DEREN BEURTEILUNG

Die Verkehrsstrategie des Senats sieht vor, dass das Radfahren bis zum Jahr 2025 20 Prozent des Gesamtverkehrs ausmachen soll. (Vgl. [J.A14]) "Wir brauchen eine intelligente Konstruktion, die alle Verkehrsarten verbindet", sagte Berlins derzeitiger Bürgermeister Michael Müller (SPD).

Sowohl statisch an Radwegen, als auch für den Einsatz in Kraftfahrzeugen gibt es bereits Projekte zu Ampelassistenten in Bordcomputern, Navigationssystemen, oder aber auch als App die rote Ampeln erkennen und die optimale Fahrtgeschwindigkeit für die Grüne Welle ermitteln. Auch Erweiterungen für's Rad direkt werden vielfältiger — vom einfachen Navigationssystem bis hin zu intelligenten Aufsätzen, die an das Smartphone gekoppelt sind.

2.1 AMPEL INFORMATIONSSYSTEME

Unter dem Prinzip "Grüne Welle" wird die Abstimmung der Ampelschaltzustände, sodass ein Fahrzeug in einer bestimmten Geschwindigkeit mehrere Ampeln passieren kann ohne anzuhalten, verstanden. Der folgende Abschnitt soll die existierenden Lösungen und Ansätze für Ampelinformationssysteme darstellen.

2.1.1 Grüne Welle auf Radwegen

In Kopenhagen unterstützen grüne Licht-emittierende Diodes (LEDs) auf Radwegen die RadfahrerInnen indem sie wenn diese mit einem Tempo von 20 km/h fahren, sie begleiten und so signalisieren, dass sie sich auf der Grünen Welle befinden.

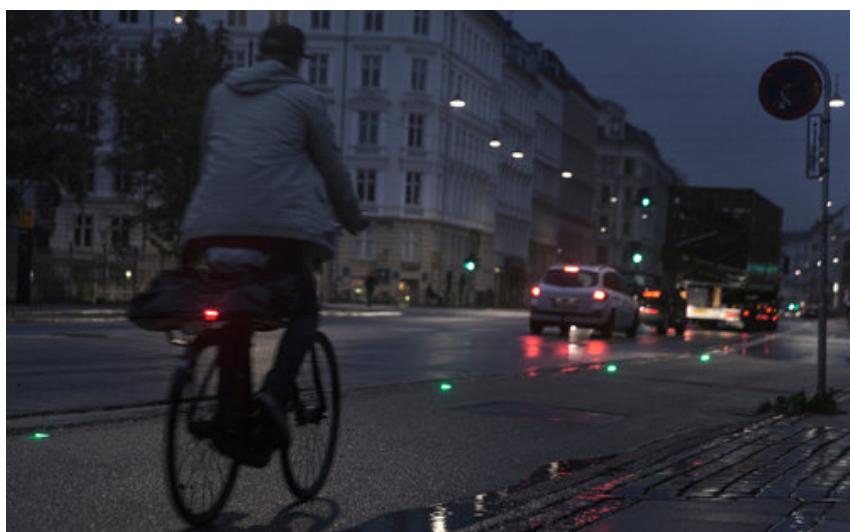


Abbildung 2.1: Kopenhagen: LEDs signalisieren die Grüne Welle bei 20 km/h Quelle: [Car14]

Zusätzlich erkennen Sensoren im Radweg Fahrradgruppen und veranlassen dann die Ampel zu einer längeren Grünphase. In einem anderen Stadtteil sind Leuchttafeln, die die verbleibende Zeit der Ampelphase anzeigen, am Radwegrand installiert [Sch14].

Kopenhagen als Vorbild hat Berlin mit vier Ampeln in Schöneberg eine Grüne Welle für RadfahrerInnen umgesetzt und plant bereits die zweite [Neu14]. Auch hier möchte man die Benutzung des Rades attraktiver machen und den Fahrradverkehr beschleunigen.

2.1.2 Individuelle Ampelinformationssysteme im Auto

In den letzten Jahrzehnten gab es immer wieder Intentionen, eine Anzeige von Geschwindigkeitsempfehlungen im Fahrzeug umzusetzen. Der folgende Abschnitt stellt existierende Lösungen und Ansätze für Ampelinformationssysteme im Auto vor.

Projekt Wolfsburger Welle

Die Volkswagen (VW)-Forschung initiierte in den 80er Jahren mit dem Projekt "Wolfsburger Welle" die ersten Untersuchungen zur "Grünen Welle" Informationen im Fahrzeug; mit der Idee, beim Annähern an eine Ampel die optimale Geschwindigkeit im Fahrzeug zu geben. [Zim84] "Dazu sendet die Ampelanlage ihren aktuellen Phasenzustand und eine Prognose für den nächsten Zustandwechsel an alle Fahrzeuge, die sich annähern. Der Fahrzeugcomputer setzt dann die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit mit dem Abstand zur Ampel und der aktuellen Ampelphase in Bezug. Daraus wird errechnet, ob das Fahrzeug im Moment mit der grünen Welle 'mitschwimmt' oder ob die Geschwindigkeit außerhalb des optimalen Bereichs liegt" ([Tho09]).

Projekt Travolution

Im Sommer 2008 wurde das Projekt TRAVOLUTION (TRAffic & eVOLUTION), von den Projektpartnern¹ abgeschlossen. Es besteht aus den Teilprojekten VERKEHRSADAPTIVE NETZSTEUERUNG MIT GENETISCHEN ALGORITHMEN und DER INFORMIERTE FAHRER. Im Netzsteuerungsprojekt wurden 46 Lichtsignalanlagen in Ingolstadt mit der Netzsteuerungssoftware BALANCE ausgestattet, wodurch sie intelligent auf den Verkehr reagieren und die Schaltung an den Verkehr anpassen. Ziel des zweiten Teilprojektes ist es, die Autofahrer über die Ampelphasen zu informieren. Die Car-to-Infrastructure (C2I) auf Basis von Wireless Local Area Network (WLAN) umsetzend, senden mit Kommunikationsmodulen ausgestattete Ampeln die Grünphasen an den Bordcomputer der Autos, welcher dann die Geschwindigkeit für ein reibungloses Passieren errechnet [BBK⁺09] und wie in Abbildung 2.2 zu sehen ist, anzeigt. Im Rahmen des Projektes wurden zwei Anwendungsfälle umgesetzt. Die Restrotanzeige – die die Dauer der verbleibenden Rotphase angibt, und die "Dynamische Grüne Welle" – die Anzeige der Progressionsgeschwindigkeit. Die Vorhersage der Schaltbilder ist aufgrund der verkehrsabhängigen Logik bei nicht festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen (LSA) nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit möglich. So werden sekündlich die Grünwahrscheinlichkeiten vom LSA-Kommunikationsmodul aktualisiert und an das Fahrzeugmodul gesendet, welches diese in Relation zu eigener Position, Geschwindigkeit und Richtung setzt und die entsprechende Empfehlung ausgibt.

¹ [tra]



Abbildung 2.2: Der Bordcomputer zeigt die optimale Geschwindigkeit an. Quelle: [tra]

Fundierend auf TRAVOLUTION sind Folgeprojekte wie zum Beispiel das ebenfalls von Audi ins Leben gerufene “Ampelinfo online“ entstanden. Über Mobilfunk ist in der Car-to-X (C2X)-Anwendung das Auto mit dem zentralen Verkehrsrechner, welcher die Ampelanlagen steuert, vernetzt und visualisiert die entsprechenden Informationen im Bordcomputer. [Amp14]

Projekt Kolibri

In Bayern wurde im April 2011 das Pilot-Projekt KOLIBRI² mit den Teststrecken der B13 bei München mit sieben und der St2145 in der Nähe von Regensburg mit acht ampelgeregelten Kreuzungen gestartet. Gemeinsam untersuchten die Projektpartner³ die Funktionen und Auswirkungen eines Ampelassistenten außerhalb von Ortschaften ([kol]). “Per Mobilfunk übertragen die Ampeln ihre Daten an die Zentrale der TRANSVER GmbH. Dort wertet sie ein Computer aus und sendet die Ergebnisse an die Fahrzeuge. Ein Anzeigefeld im Bordcomputer oder eine Applikation auf dem Smartphone zeigt an, ob sich das Fahrzeug in der Grünen Welle bewegt.“ ([Bat13])



Abbildung 2.3: Anzeige der Geschwindigkeitsempfehlung. Quelle: [kol]

Die FahrerInnen wurden sowohl fahrzeugintegriert⁴ als auch via Smartphone, wie Abbildung 2.3 zeigt,

² Kooperative Lichtsignaloptimierung – Bayrisches Pilotprojekt

³ <http://www.kolibri-projekt.de/Sites/kolibri3.html>

⁴ On-Board-Computer

über die Schaltung der nächsten Ampel informiert und erhielten Empfehlungen über die aktuelle Progressionsgeschwindigkeit. Nach zwei Jahren war das Pilotprojekt abgeschlossen

Projekt Testfeld Telematik

Ende des Jahres 2013 wurde in Wien das Projekt TESTFELD TELEMATIK – Feldversuch zur Stärkung österreichischen Know-Hows im Bereich umweltverträglicher Mobilität erfolgreich abgeschlossen. Per C2X-Kommunikation bringt das Projekt Kooperative Dienste wie Ampelinformationen direkt ins Auto.



Abbildung 2.4: Mobile Anwendung des Projekts Testfeld-Telematik Quelle: [Jan14]

Über Navigationssysteme, integrierte Systeme, Nachrüst-Plattformen oder mobile Endgeräte erreicht die FahrerInnen die Information der optimalen Geschwindigkeit sowie die Dauer der jeweiligen Ampelphase [Jan14]. Um an die Informationen zu kommen wurden unter anderem Kameras und Sensoren, beispielsweise als Induktionsschleife in die Fahrbahn eingelassen. Andere Autohersteller wie Bayerische Motoren Werke (BMW), Volvo und Volkswagen kooperieren als Forschungsprojekt "Car 2 Car Communication Consortium" mit TESTFELD TELEMATIK, ebenfalls mit dem Ziel die Sicherheit an Kreuzungen zu verbessern. Im Auto installierte Sensoren kommunizieren mit Kameras und Scanner in der Ampel. Allerdings funktioniert das System nur mit dem ambitionierten Ziel, wenn alle Autohersteller zusammenarbeiten und sich auf den gleichen Standard einigen. [Elf13]

Toyota

Auch Toyota hat ein System entwickelt, welches eine spezielle Infrastruktur an Kreuzungen, die Installation von Infrarot-Sendern, die mit dem Toyota-Navigationssystem kommunizieren erfordert. An roter Ampel werden die Fahrer über die verbleibende Wartezeit informiert. Die ausgestatteten Navigationssysteme wurden bis jetzt jedoch ausschließlich in Japan getestet. [Toy11]

2.2 AMPELINFORMATIONSSYSTEME ALS MOBILE APPLIKATION

Ampelassistenten als mobile Anwendung sind recht einfach umzusetzen. Smartphones sind bereits mit einem Global Positioning System (GPS)-Empfänger ausgestattet und haben fast durchgängig Internetzugang. Die hier vorgestellten mobilen Anwendungen existieren bereits oder befinden sich in der Testphase.

Mobile Applikation EnLighten

ENLIGHTEN erkennt rote Ampeln und visualisiert die Dauer dieser Phase. Die mobile Anwendung nutzt GPS zur Lokalisierung des Autos und verwendet die Dedicated Short Range Communication (DSRC)-Kommunikation zu Ampelphasenprognose. An Autos und Verkehrsinfrastruktur wie Ampeln wird entsprechende Hardware installiert, die gesammelten Daten an die Verkehrszentrale gesendet, sodass dort die Ampelphasen prognostiziert werden können. Dafür werden Komponenten wie Höchstgeschwindigkeit, Ampelschaltpläne, Tageszeit und Fahrtrichtung beachtet. Mit der Verkehrszentrale verbunden, visualisiert ENLIGHTEN die Restrotdauer.

Aufgrund von hohen Installationskosten und -Aufwand ist ENLIGHTEN erst in einigen amerikanischen Städten funktionstüchtig und verfügbar.

Mobile Applikation Signal Guru

Signal Guru wurde von den Wissenschaftlern des Massachusetts Institute of Technology (MIT) und der Universität von Princeton entwickelt. Die App errechnet über die Smartphones vieler Nutzer - welche miteinander kommunizieren - die Wahrscheinlichkeit, wann eine Ampel grün wird und wie das eigene Fahrverhalten entsprechend anzupassen ist. Wie in Abbildung 2.5 ist zu sehen ist, muss die eingebaute Kamera durch die Windschutzscheibe die Ampel registrieren. Bei Testläufen im Straßenverkehr vielen die Ergebnisse bei statisch geschalteten Ampeln deutlich besser aus als bei angepassten Ampelschaltungen [KPM11]



Abbildung 2.5: Signal Guru muss in der Lage sein die Ampel zu 'sehen'. Quelle: [KPM11]

Dieser Ansatz ist für Fahrräder jedoch nicht umsetzbar, da das Smartphone in der Halterung am Lenker die LSA nicht erfassen kann.

2.3 FAHRRADERWEITERUNGEN

Als Schnittstelle das Smartphone nutzend gibt es ausgeklügelte Systeme mit reichlich Funktionen. Das einfache Navigationssystem für Fahrräder ist kaum noch notwendig, wo doch zum Beispiel die hier

aufgeführten um einiges umfangreicher sind.

2.3.1 Displaylose Fahrradnavigation

Das HAMMERHEAD ist ein “Hammer“, oder einfach ein “T“, an den Lenker angebracht. Gespickt mit verschiedenfarbigen LEDs zeigt es den Weg zeigen, warnt vor Hindernissen und ersetzt die vorderen Scheinwerfer.



Abbildung 2.6: Hammerhead – LEDs zeigen den Weg. Quelle: [ham]

Via Bluetooth ist HAMMERHEAD an das Smartphone gekoppelt, auf dem die zugehörige Navigationsanwendung läuft mit der man Routen eingeben, teilen und speichern kann [ham].

Ein sehr ähnliches Prinzip verfolgt das CYCLENAV von der Firma Schwinn. Unterschiede findet man hier im Design und einem integrierten Lautsprecher, der Abbiegehinweise ausgibt und auf Wunsch wiederholt [cyc14].

2.3.2 Intelligente Fahrradlenker

Mehr High-Tech, aber auch umfangreichere Funktionen bietet der vom amerikanischen Startup HELIOS-BIKES entwickelte HELIOS-Lenker. Neben dem Frontlicht hat der Lenker wie in Abbildung 2.7 zu sehen, an den Enden LEDs die einen zum gewünschten Standort leiten.

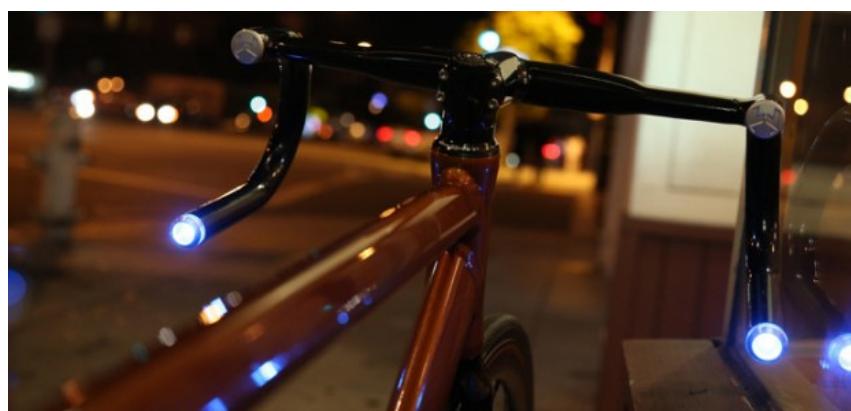


Abbildung 2.7: Helios-Lenker Quelle: [hel14]

Sie passen ihre Farbe der Geschwindigkeit an und haben auf Wunsch auch eine Blinkfunktion. Verbindet man den Lenker mit einem Smartphone, lässt sich die Farbe der LEDs individualisieren. Die Verbindung zum Handy hat weitere Vorteile: dank des eingebauten GPS-Trackers und eingesteckter SIM-Karte lässt

sich das Fahrrad per SMS über den derzeitigen Standort abfragen [hel14], was im Falle eines Diebstahl sehr hilfreich sein kann.

VANHAWKS VALOUR heißt das Rad, das ab April 2015 lieferbar ist. Wie im HELIOS-Lenker steckt auch hier ein über das Smartphone steuerbares Navigationssystem, das die Abbiegehinweise per LED signalisiert, im Lenker. Auf den gefahrenen Routen merkt sich das Rad durch einen Erschütterungssensor erfasste Hindernisse wie Unebenheiten in der Fahrbahn und ermittelt beim nächsten Mal darauf rücksicht nehmend eine andere Route. Es ist darüber hinaus in der Lage mit anderen VANHAWKS VALOUR-Rädern zu kommunizieren und dessen Routenbegebenheiten ebenfalls zu berücksichtigen. Mittels Radarsensoren registriert das Fahrrad Autos im toten Winkel und benachrichtigt die FahrerInnen durch ein vibrierenden Lenker [van].

2.3.3 Das Samsung Smart Bike

Auf der Mailänder Designwoche hat Samsung ein Smartbike vorgestellt, das mit verschiedenen intelligenten Komponenten wie Bluetooth, einer Kamera und Laserprojektoren ausgestattet. Der Rahmen ist aus Aluminium und leicht geschwungen, was Vibrationen abfangen soll. Wie Abbildung 2.8 zeigt, zeichnen vier Laserprojektoren den eigenen, begleitenden Fahrradweg auf die Straße und sollen so die Sicherheit erhöhen, indem sie den Sicherheitsabstand markieren und aus dem toten Winkel sichtbar sind.

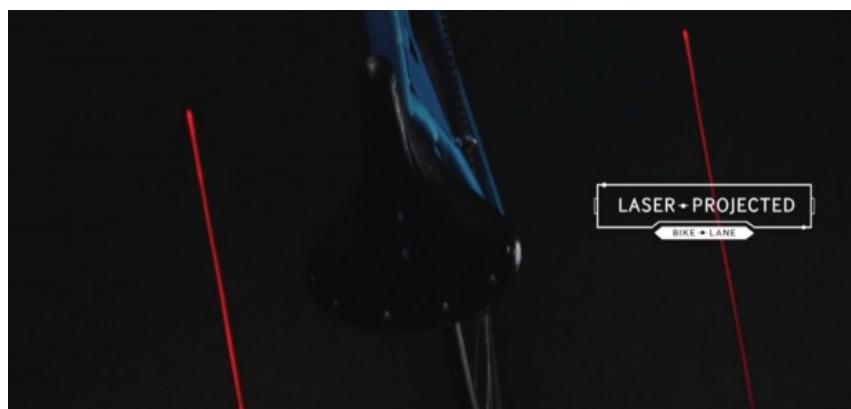


Abbildung 2.8: Samsung Smart Bike Quelle: [sma14]

Natürlich ist auch dieses Fahrrad mit dem Smartphone verbunden, das sich dank eines Magneten einfach am Lenker anbringen lässt. Darüber kann man die Laserprojektoren ein- und ausschalten, dafür einen Timer bestimmen und über die eingebaute Kamera unter dem Sattel den Verkehr hinter sich im Auge behalten. Das Smartphone fungiert außerdem als Navigationsgerät und durch den eingebauten GPS-Empfänger lassen eigene und Routen von anderen Nutzern speichern und intelligent verarbeiten [sma14]. Wenn also viele Menschen mit einem Samsung Smartbike unterwegs sind, erkennt das Rad die Route als angenehm und navigiert dort entlang.

2.3.4 Der COBI Fahrradcomputer

Ein Kickstarterprojekt aus Frankfurt am Main entwickelt das System COBI (Connected Biking), das alle standardisierten Fahrradsysteme wie Lampen, Navigation, Tachometer etc. vereinen soll. COBI ist ein



(a) Frontlicht und Smartphonehalterung

(b) Bremslicht und Blinker

Abbildung 2.9: COBI – Das smarte Fahrradsystem. Quelle: [cob14b]

Modul mit integrierter Frontleuchte in das man das Smartphone, welches dann mit der installierten COBI-App als Fahrradcomputer dient, legt. Durch eine wasser- und stoßfeste Hülle ist es vor Umwelteinflüssen geschützt. Zu dem Lenkersystem gibt es auch Rückstrahler die beim Bremsen intensiver leuchten und eine Blinkfunktion haben. Möchte man das Smartphone trotzdem nicht am Lenker haben, bleibt die Verbindung zum Modul über Funk bestehen. Steuern lässt sich das System dann über einen Controller, den man am Lenker angebracht, mit dem Daumen bedienen kann. Ist es jedoch in der Halterung, wird das Smartphone über den E-Bike-Akku oder einen zusätzlich integrierten Akku aufgeladen. Wie bei den anderen genannten Systemen ist in der COBI-App eine Navigationsanwendung, wie auch die tracking&share Funktion inklusive. Darüber hinaus verfügt es über einen Diebstahlschutz, Fitnessstracker sowie die Möglichkeit einer Anbindung an Spotify⁵.

Das Projekt ist bereits voll finanziert und der Versand der vorbestellten Systeme beginnt vorrausichtlich im Frühjahr 2015 [cob14a].

2.4 ANALYSEERGEBNIS

Diese Beispiele zeigen deutlich, dass sowohl die Nachfrage nach Ampelassistenten – mobil oder statisch – als auch an Fahrraderweiterungen steigt und auf dem Markt Anklang findet. Auch die EntwicklerInnen solcher Systeme werden kreativer, wodurch immer mehr Produkte mit erweiterten Funktionen entstehen. Das begeistert wiederum mehr Menschen für das Radfahren und so ist der Verkehr flüssiger, die Teilnehmer entspannter, die Luft sauberer. AutofahrerInnen sind schon lange nicht mehr allein auf der Straße und so gilt es, dieses erfolgreiche Konzept für alle VerkehrsteilnehmerInnen zu erweitern.

⁵ Digitaler Musikstreaming Dienst

3 LÖSUNGSANSÄTZE

Zur Umsetzung der beschriebenen Ampelinformationsanwendung kommen zwei Möglichkeiten in die engere Wahl. In diesem Kapitel werden die Realisierung durch eine Smartphone App und die einer Arduino-Anwendung gegenübergestellt. Zu beachten sind die Komponenten GPS, Internetverbindung, Sicherheit, Stromversorgung und Darstellung der Informationen.

GPS

Als Grundlage aller modernen Navigations- und Ortungssysteme im Bereich der Navigation ist GPS für die Fahrradpositionsbestimmung obligatorisch. In einem Smartphone ist ein GPS Sensor inklusive, für eine Arduino-Anwendung ein entsprechendes Modul vonnöten¹.

Internetverbindung

Durch mobile Breitbandverbindung oder auch wahlweise per WLAN ist beim Smartphone eine schnelle Internet-Anbindung vorhanden. Das Arduino-Board benötigt für die Internetverbindung eine Erweiterung um das Ethernet-Shield².

Stromversorgung

Die Stromversorgung ist im Smartphone durch den integrierten Akku gegeben. Die Laufzeit ist vom Typ abhängig, genügt jedoch für die alltägliche Radstrecke. Für die mobile Stromversorgung des Arduino-Boards wird eine 9-Volt Batterie benötigt, die zusätzlichen Platz beansprucht und wassergeschützt und gut erreichbar angebracht werden muss. Sicher gibt es weiterhin die Möglichkeit den Strom aus dem Nabendynamo zu gewinnen – dies bedarf jedoch zusätzlicher Arbeit. Außerdem sollte dann der Arduino in der Lage sein Strom zu speichern, sodass die Anwendung beim Halt an der Ampel nicht ausschaltet.

Darstellung

Ein Darstellungskonzept muss bei beiden Möglichkeiten erstellt werden. Auf dem Smartphone ist besonders auf Erkennbarkeit bei schlechten Witterungsbedingungen, das spiegelnde Display berücksichtigend zu achten. Dafür sind aufgrund des vorhandenen Displays in gewisser Größe mehr Informationen darstellbar. Als Arduino-Anwendung sind lediglich ein paar helle LEDs am bzw. im Lenker erforderlich. Diese müssen doch eindeutig und intuitiv lesbar sein, um den vollen Informationsumfang zu gewährleisten.

¹ Vgl. [Som10] S. 227

² Vgl. [Som10] S. 36

Verkehrssicherheit

Ein Smartphone am Lenker angebracht, könnte für Ablenkung sorgen wenn Anrufe oder Nachrichten eingehen. Das eventuell spiegelnde Display lässt Informationen gegebenenfalls nicht erkennen, so bleibt der Blick länger auf dem Display was wiederum zur Vernachlässigung des Straßenverkehrs führt. Sind die LEDs der Arduino-Anwendung hell genug, sodass sie auch bei hellem Tageslicht erkennbar sind, genügt ein kurzer Blick, alle Informationen zu erfassen. Das Arduino-Board in den Lenker eingebaut ist wasserdicht und somit bei jedem Wetter ohne Weiteres nutzbar.

Ergebnis

Auch wenn das Ampelinformationssystem als Arduino-Anwendung minimalistischer und vielleicht auch sicherer im Verkehr ist, sprechen die anderen Punkte dagegen. Beginnend bei der einfachen Stromversorgung bis hin zur vorhandenen Sensorik steht das Smartphone weiter vorn und überzeugt durch seine Einfachheit in der Anwendung. Auch die vielen Erweiterungen die es bereits für das Fahrrad in Form einer mobilen Anwendung gibt, zeigen dass Lösungen für oben genannte Probleme wie die Nutzung bei Regenwetter existieren.

4 GRUNDLAGEN

Dieses Kapitel befasst sich mit sowohl den mathematischen als auch den technischen Grundlagen der zu behandelnden Thematik, welche für das weitere Verständnis der Arbeit beitragen. *Auf mobile Anwendungen geht dieses Grundlagenkapitel nicht in besonderer Tiefe ein, da ein allgemeines Verständnis und Vertrautheit mit Konzepten und Technologien mobiler Anwendungen vorausgesetzt wird.*

4.1 MATHEMATISCHE GRUNDLAGEN

Berechnung der Geschwindigkeitsempfehlung

Präsentiert das System während der Anwendung eine Geschwindigkeitsempfehlung, ist diese abhängig von der Fahrtgeschwindigkeit und vom Abstand zur Ampel. Angenommen die Progressionsgeschwindigkeit V wird zum Zeitpunkt t_1 ausgesprochen, die LSA schaltet zum Zeitpunkt t_2 auf Rot und Abstand zur Ampel beträgt S , dann gilt:

$$V = \frac{S}{t_2 - t_1}$$

Um die entsprechende LSA während der Grünphase zu passieren, muss letztendlich die empfohlene Geschwindigkeit V eingehalten werden. Folgende Fälle werden beachtet:

Anhalten ist unvermeidbar: Die Ampelschaltung erlaubt momentan kein reibungsloses Passieren.

Umgesetzte Anzeigeviariante: rot

Konstante Weiterfahrt möglich: Ist die empfohlene Geschwindigkeit gleich der aktuellen, ist ein reibungsloses Passieren bei beibehaltenem Tempo möglich. Es besteht kein Handlungsbedarf. *Umgesetzte Anzeigeviariante: grün*

Reibungsloses Passieren durch Beschleunigung möglich: Zeigt die Ampel im Moment Grün und ist die empfohlene Geschwindigkeit höher als die aktuelle, ist ein reibungsloses Passieren durch Beschleunigung zu erreichen. Bei der Anzeige der Progressionsgeschwindigkeit ist selbstverständlich die geltende Höchstgeschwindigkeitsbegrenzung zu beachten. *Umgesetzte Anzeigeviariante: grün*

Reibungsloses Passieren durch Verlangsamung möglich: Zeigt die Ampel im Moment Rot und ist die empfohlene Geschwindigkeit niedriger als die aktuelle, ist ein reibungsloses Passieren durch Verlangsamung zu erreichen. *Umgesetzte Anzeigeviariante: grün*

4.2 TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Im folgenden Abschnitt werden Funktionsweise und Besonderheiten der verwendeten Technologien beschrieben.

4.2.1 Hybride App mit AngularJS + Phonegap?

4.2.2 JavaScript

4.2.3 Node.js

Node.js ist ein Framework zur Entwicklung serverseitiger Netzwerkanwendungen und basiert auf dem JavaScript Interpreter V8 des Chrome Browsers – verfügt daher über eine überaus hohe Performance. Darüber hinaus können durch die fundamentalen Konzepte Streaming und Websockets¹ echtzeitfähige Webanwendungen entwickelt werden².

Eine Besonderheit stellt die Handhabung von Threads in Node.js dar: Anders als bei klassischen Webservers, deren Threads die meiste Zeit mit Warten auf die Beendigung einer I/O-Operation beschäftigt sind, verwendet Node.js hierfür eine interne Threadimplementierung, die sogenannte Event-Loop.

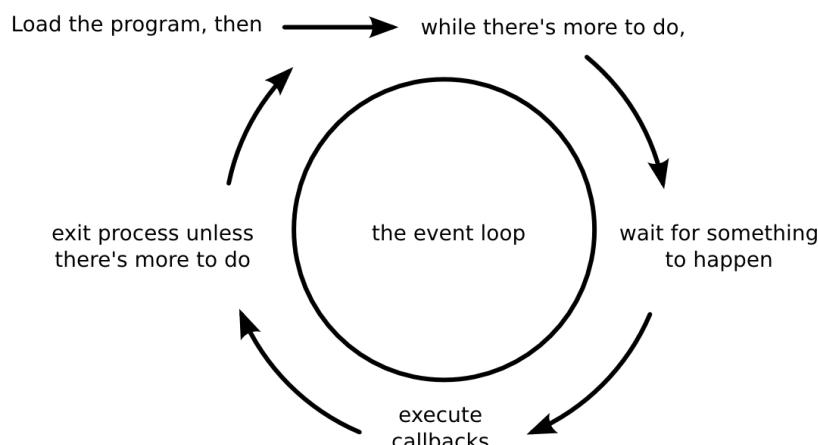


Abbildung 4.1: Node.js Event-Loop Quelle: [Wil13] S. 3

Der Begriff “Event-Loop“ in Node.js impliziert die asynchrone Ausführung von unter anderem I/O-Operationen, die Verwaltung der Callback-Funktionen, welche beim Aufruf dieser Operationen übergeben werden und den Aufruf einer Callback-Funktion, sobald das Ergebnis der Operation vorliegt³.

“ Node simply enters the event loop after executing the input script. Node exits the event loop when there are no more callbacks to perform.“ ([nod])

Neben den Modulen die dazu dienen Algorithmen und Funktionalitäten zu bündeln, gibt es auch Frameworks die genutzt werden können, um Webanwendungen zu entwickeln.

¹hiuhdsiuqw

²[Rod12] S. 7

³[Rod12] S. 11f

Mit dem minimal gehaltenen Framework, lassen sich Funktionalitäten schnell ergänzen oder gar ersetzen. Eine Charaktereigenschaft ist vor allem der Einsatz sogenannter *Middlewares*. Diese dienen den Entwicklern Funktionalitäten, die sich auf den HTTP Request-Response Zyklus beziehen, zu kapseln. Dies bedeutet, dass man über Middlewares, Zugriff auf das Request und Response Objekt hat. Des Weiteren kann im Anschluss die unmittelbar folgende Middleware aufgerufen werden. Unter dem Einsatz von Middlewares und anderer Bestandteile des Express-Frameworks lassen sich so mit wenig Aufwand -Application Programming Interfaces (APIs) entwerfen.

4.2.4 NoSQL Datenbank MongoDB

Eine inzwischen weit verbreitete Alternative zu Structured Query Language (SQL) Datenbanken sind die Not only SQL (NoSQL) Datenbanken. MongoDB⁴ ist eine dokumentenorientierte Open Sourche Datenbanktechnologie und eigener Aussage zufolge derzeit “the leading NoSQL Database...“ ([mon]). Eine dokumentenorientierte NoSQL-Datenbank übernimmt beispielsweise die Daten, die gespeichert werden sollen und aggregiert sie in Dokumente im JavaScript Object Notation (JSON)-Format, welches wiederum als Objekt betrachtet werden kann. Dieser Ansatz ermöglicht es in einem einzigen Datensatz komplexe hierarchische Beziehungen darzustellen. Dadurch können die Dokumente effizienter und einfacher verteilt werden und der Lese- und Schreibzugriff wird performanter. Während also relationale Datenbanksysteme auf Tabellen aufbauen, basiert MongoDB auf sogenannten Collections, einer Menge von Dokumenten⁵. Das Datenformat für Dokumente in MongoDB ist BSON (Binaray JSON), eine Erweiterung von JSON um einige binäre Typen. Zu den unterstützten Datentypen gehören also neben *Strings*, *Numbers*, *Objects*, *Arrays*, *Null*, *Boolean* auch *Date* Objekte, *Reguläre Ausdrücke*, *ObjectIDs* und *eingebettete Dokumente*⁶. Ein Dokument könnte demnach so aussehen:

```
1 {
2   "_id": ObjectId("529dd741b822cc631f000002"),
3   "name": "Jean-Luc Picard"
4   "crew": {
5     "First officer Commander": "William Riker",
6     "Operations manager": "Data",
7     "Junior officer Lieutenant": "Worf"
8   }
9 }
```

Listing 4.1: Ein MongoDB Dokument

In relationalen Datenbanken haben Entitäten ein striktes Schema, was bedeutet dass alle Reihen einer Tabelle die selben Spalten besitzen muss. In MongoDB gibt es keine vordefinierten Schemata: Schlüssel und Werte eines Dokuments sind nicht von festen Typen oder Größen. Ohne festes Schema ist das Hinzufügen oder Entfernen von Feldern jederzeit möglich ohne die Anwendung zu beeinträchtigen.

TODO: mongoose auch? stellt einen objektrelationalen Mapper einschließlich einer anpass und erweiterbaren middleware zur Verfügung

⁴ Namensherkunft: **humongous**, dt.: 'riesig', 'enorm', 'gigantisch'

⁵ [Cho13] S. 7

⁶ [Cho13] S. 17ff

MOBILE SENSING

Der Beschleunigungssensor ist ein Hardwaresensor, der dazu benutzt wird, Position, Bewegung, Neigung, Erschütterung, Vibration und natürlich Beschleunigung des Gerätes zu messen. Es gibt bis zu 3-Achsen Beschleunigungssensoren, die meistens zum Erkennen der Ausrichtung des Smartphones genutzt werden und somit das Display beim Anschauen von Bildern, Webbrowsern oder Musikplayern in die passende Richtung vom Portrait-Modus (senkrecht) zum Landscape-Modus (waagrecht) zu drehen. In Kombination mit GPS kann das Smartphone dank ihm sogar erkennen, welche Art Transportmittel (Fahrrad, Bus, U-Bahn) der Nutzer gerade benutzt und bestimmte Muster wie z.B. Rennen, Gehen oder Stehen unterscheiden.

GPS erlaubt dem Smartphone sich selber zu lokalisieren und den exakten Standpunkt auf der Erde zu bestimmen. Es hilft locationbased⁷ Apps wie z.B Navigation, lokale Suche nach Shops, Restaurants etc. oder soziale Netzwerke wie Facebook oder Foursquare nötige Informationen zu ermitteln. Der Kompass erweitert die Möglichkeiten der Lokalisationsermittlung eines Smartphones. Er bestimmt den Winkel des Geräts relativ zum Nordpol der Erde. Der Kompass besitzt einen Magnet, der mit dem magnetischen Feld der Erde interagiert und sich entsprechend zu einem der Pole ausrichtet. Zusammen mit dem Gyroskop Sensor verbessern GPS und Kompass die Präzision von locationbased Applikationen. Der Gyroskop Sensor bestimmt die Rotations- und Drehgeschwindigkeit des Smartphones auf seinen drei Achsen gegenüber dem Weltkoordinatensystem.

4.2.5 Open-Street-Map

⁷ ortsgebunden

5 DIE ANFORDERUNGSANALYSE

Dieses Kapitel soll durch Untersuchung helfen, Vorstellung für die Anforderungen an Ampelhinweissystem -App zu bekommen. Begriff Persona wird eingeführt, erklärt, entwickelt. Mit Hilfe dieser Personas ... werden Analysen gemacht + kritisch beurteilt. Den Abschluss bildet das Ergebnis dieser Untersuchung in Zusammenfassung der wichtigsten Anforderungen an eine App.

5.1 PERSONAS

Einleitung

Im heutigen High-Technologie Zeitalter ist gerade die Benutzbarkeit bei der Entwicklung eines Produktes ein wichtiger Faktor, der von Software-Entwicklern beachtet werden muss. Die Anforderungen der Nutzer stehen dabei im Mittelpunkt. Es geht in erster Linie darum, jene zufrieden zu stellen und nicht nur Interesse, sondern auch Begeisterung beim potentiellen Kunden zu wecken. Verschiedene Methoden, diese Anforderungen besser zu identifizieren und erfüllen zu können, haben sich bereits verbreitet und basieren meistens auf einer präzisen Darstellung der Nutzer. Eine erprobte Methode hat der Software-Entwickler Alan Cooper eingeführt: Personas oder Archetypen von Nutzern.

Definition

Fokus auf Gruppe spezifischer Nutzer bekommen blabla

Grund für Personas

Effizienz mit Personas

Prototyp: Personas

Um eine mögliche Anforderungsanalyse erarbeiten zu können, ist die Wahl auf Personas, als Kriterium der Anforderung von Zielnutzern, gefallen. Auf den nachfolgenden Seiten sind vier verschiedene Personas in einem übersichtlichen Tabellenprofil aufgeführt.

5.2 FUNKTIONALITÄT

5.3 DIAGRAMME

Sequenzdiagramm

Ablaufdiagramm

UML – Diagramm

5.4 DIE GRAPHISCHE OBERFLÄCHE

6 KONZEPTION

6.1 ARCHITEKTUR

Klassenstruktur..

6.1.1 Technologien

Für die Entwicklung des Prototyps fiel die Wahl der zu verwendeten Technologien zunächst auf das AngularJS Framework, da bereits Vertrautheit mit Web Technologien vorlag.

6.1.2 Navigation (bei App)

6.2 DAS DESIGN

6.2.1 Anzeigeelemente

GESCHWINDIGKEIT

AMPELN

INFORMATIONEN

6.3 AMPELDATENANFRAGE UND AUSWERTUNG

6.3.1 Sensoren

GPS

wird gebraucht für...

6.4 THEORIE

Um die korrekte Umsetzung des Prototyps zu ermöglichen, müssen zunächst einmal prinzipielle Theorien und Hintergründe diesen betreffend betrachtet werden. grundlegendes Wissen über geographische Koordinaten sowie mathematische Voraussetzungen im Umgang mit diesen, müssen zur Ideenverwirklichung berücksichtigt werden.

6.4.1 Die Berechnung der Entfernung

6.4.2 Die Berechnung der Ankunft in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

6.4.3 Die Berechnung der Dauer der Ampelphase?

6.5 FUNKTIONALITÄTEN → ANFORDERUNGSANALYSE?

Sensorik (GPS)

Open Street Map

7 DER PROTOTYP

Prototyp zeigt, wie mittels GPS ... realisiert werden kann. Design und Funktionalitäten werden ebenfalls vorgestellt

7.0.1 APIs

7.0.2 Komponenten

.CSS

.HTML

.JS

8 EVALUIERUNG

8.1 SYSTEMTEST

ist das GPS schnell/genau genug fürs radfahren? Optimierung ggf. umsetzen

9 ERGEBNIS UND AUSBLICK

9.1 AMPELHINWEISSYSTEM

9.2 AUSBLICK

ABKÜRZUNGEN

| | |
|------|---|
| App | Applikation. |
| BMW | Bayerische Motoren Werke. |
| C2X | Car-to-Infrastructure oder Vehicle-to-Infrastructure. |
| C2X | Car-to-X oder Vehicle-to-X. |
| DSRC | Dedicated Short Range Communication. |
| GPS | Global Positioning System. |
| LED | Licht-emittierende Diode. |
| LSA | Lichtsignalanlage. |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology. |
| REST | Representational State Transfer. |
| VW | Volkswagen. |
| WLAN | Wireless Local Area Network. |

GLOSSAR

Arduino

Die Arduino-Plattform ist eine quellöffnere, aus Soft- und Hardware bestehende Physical-Computing-Plattform. Die Hardware besteht aus einem einfachen I/O-Board mit einem Mikrocontroller und analogen und digitalen Ein- und Ausgängen. Die Entwicklungsumgebung basiert auf Processing, die auch technisch weniger Versierten den Zugang zur Programmierung und zu Mikrocontrollern erleichtern soll.

C2I

direkter, drahtloser Datenaustausch zwischen Fahrzeugen jeglicher Art und infrastrukturellen Einrichtungen wie Funkbaken und Lichtsignalanlagen auf Basis von WLAN, Bluetooth oder DSRC.

C2X

direkter Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen jeglicher Art, Verkehrsleittechnik wie z.B. Lichtsignalanlagen und Verkehrsleitzentralen.

DSRC

funkgestützte sicherheitsrelevante und private Dienste, die in der Automotive-Technik von mobilen Stationen ausgeführt werden können.

Smartphone

Mobiltelefon, das sich von einem klassischen Mobiltelefon durch einen größeren berührungsempfindlichen Bildschirm (Touchscreen) und diverse Sensoren, wie dem GPS unterscheidet. So ist eine Interaktion mit der Umgebung und den AnwenderInnen möglich.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Grüne Welle durch LEDs | 7 |
| 2.2 | Projekt Travolution | 9 |
| 2.3 | Projekt Kolibri | 9 |
| 2.4 | Projekt Testfeld-Telematik Ampelinformation | 10 |
| 2.5 | Signal Guru | 11 |
| 2.6 | Hammerhead | 12 |
| 2.7 | Helios-Lenker | 12 |
| 2.8 | Samsung Smart Bike | 13 |
| 2.9 | COBI | 14 |
| 4.1 | Node.js Event-Loop | 18 |

QUELLCODEVERZEICHNIS

| | |
|------------------------------------|----|
| 4.1 Ein MongoDB Dokument | 19 |
|------------------------------------|----|

LITERATURVERZEICHNIS

- [Amp14] Audi connect – Intelligent durch den Stadtverkehr mit Ampelinfo online. http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung_durch_technik/content/2014/06/ampelinfo-online.html, Juni 2014
- [Bat13] BATTENBERG, Dr. A.: Pilotprojekt zur Verbesserung des Verkehrsflusses präsentiert Ergebnisse: Grüne Welle auf der Landstraße spart Zeit und Sprit. (2013), Juni. – Pressemitteilung
- [BBK⁺09] BRAUN, Robert ; BUSCH, Fritz ; KEMPER, Carsten ; HILDEBRANDT, Robert ; WEICHENMEIER, Florian ; MENIG, Cornelius ; PAULUS, Ingrid ; PRESSLEIN-LEHLE, Renate: TRAVOLUTION – Netzweite Optimierung der Lichtsignalsteuerung und LSA-Fahrzeug-Kommunikation. In: *Straßenverkehrstechnik* 10 (2009), S. 365–374
- [Car14] CARDWELL, Diane: Copenhagen Lighting the Way to Greener, More Efficient Cities. In: *The New York Times* (2014), Dezember
- [Cho13] CHODOROW, Kristina: *MongoDB: The Definitive Guide*. 2. O'Reilly Media, Inc., 2013. – ISBN 978-1-449-34468-9
- [cob14a] COBI. World's Smartest Connected Biking System. <https://www.kickstarter.com/projects/cobi/cobi-worlds-smallest-connected-biking-system>, 2014. – Zugriff: 28.12.2014
- [cob14b] COBI. <http://www.cobi.bike/press.html>, 2014. – Zugriff: 28.12.2014
- [cyc14] CycleNav Smart Bike Navigator. <http://www.schwinnbikes.com/usa/news/cyclenav-smart-bike-navigator/>, März 2014. – Zugriff: 28.12.2014
- [Elf13] ELFLEIN, Nicole: Der perfekte Beifahrer. In: *Pictures of the Future* (2013), Frühjahr, S. 104–106
- [ham] Hammerhead. <http://hammerhead.io/>, . – Zugriff: 28.12.2014
- [hel14] Helios. <http://www.ridehelios.com/>, 2014. – Zugriff: 28.12.2014
- [J.A14] J.ANKER: Fahrradfahren boomt in Berlin stärker als bislang bekannt. In: *Berliner Morgenpost* (2014), Juni
- [Jan14] JANDRISITS, Dipl.-Ing.(FH) M.: Testfeld Telematik – Publizierbarer Endbericht. 2014. – Forschungsbericht

- [kol] *Kooperative Lichtsignaloptimierung.* <http://www.kolibri-projekt.de/>, . – Zugriff: 28.12.2014
- [KPM11] KOUKOUMIDIS, Emmanouil ; PEH, Li-Shiuan ; MARTONOSI, Margaret: SignalGuru: Leveraging Mobile Phones for Collaborative Traffic Signal Schedule Advisory / MIT and Princeton University. 2011. – Forschungsbericht
- [mon] *mongoDB.* <http://www.mongodb.org/>, . – Zugriff: 05.01.2015
- [Neu14] NEUMANN, Peter: Berlin bekommt zweite grüne Welle für Radler. In: *Berliner Zeitung* (2014), September
- [nod] *node.js.* <http://nodejs.org/>, . – Zugriff: 06.01.2015
- [Rod12] RODEN, Golo: *Node.js und Co. Skalierbare, hochperformante und echtzeitfähige Webanwendungen professionell in JavaScript entwickeln.* iX. Heidelberg : dpunkt.verlag GmbH, 2012. – ISBN 978-3-89864-829-5
- [Sch14] SCHOENEBECK, Gudrun von: *Kopenhagen verwöhnt Radfahrer mit Grünen Wellen.* <http://www.ingenieur.de/Themen/Fahrrad/Kopenhagen-verwoehnt-Radfahrer-Gruenen-Wellen>, August 2014. – Zugriff: 28.12.2014
- [sma14] *Samsung Smart Bike.* <http://www.maestrosacademy.it/progetto-sbike>, 2014. – Zugriff: 28.12.2014
- [Som10] SOMMER, Ulli: *Arduino – Mikrocontroller-Programmierung mit Arduino/Freeduino.* 85586 Poing : Franzis Verlag GmbH, 2010
- [Tho09] THOMA, Stephan: *Mensch-Maschine-Interaktion*, Technische Universität München, Diss., Oktober 2009
- [Toy11] TOYOTA: *TMC Develops Navigation System Compatible with Vehicle-Infrastructure Cooperative Safety System.* <http://www2.toyota.co.jp/en/news/11/06/0629.html>, 2011. – Zugriff: 08.12.2014
- [tra] *Verkehrsoptimierung mit Genetischen Algorithmen – Projektpartner.* <http://www.travolution-ingolstadt.de/index.php?id=73>, . – Zugriff: 30.12.2014
- [van] *Vanhawks.* <https://www.vanhawks.com/>, . – Zugriff: 28.12.2014
- [Wil13] WILSON, Jim R.: *Node.js the Right Way Practical, Server-Side JavaScript That Scales.* Dallas and Raleigh : The Pragmatic Bookshelf, 2013. – ISBN 978-1-937785-73-4
- [Zim84] ZIMDAHL, Walter: Guidelines and some developments for a new modular driver information system / Volkswagenwerk AG. 1984. – Forschungsbericht. – 178 – 182 S.