



MOBILE SENSING ZUR U-BAHN-NAVIGATION

UIS 2016 HTWK LEIPZIG

Frank Fuchs-Kittowski & Daniel Faust, 2. Juni 2016



AGENDA

1. Einführung
2. Anwendungsszenario U-Bahn-Navigation (Verwandte Arbeiten)
3. Einsatzmöglichkeiten für Sensoren (Literatur-Studie)
4. Smartphone-Sensoren im Einsatz (Empirische Studie)
5. mUvi-App
6. mUvi-Optimierung
7. Fazit

EINFÜHRUNG

Mobile U-Bahn-Navigation

- Motivation
 - Navigation ist mobile Killer-App
 - Z.B. Auto, Fußgänger, ÖPNV, Fahrrad
- Problem
 - GPS ist “indoor” nicht benutzbar
 - „funktioniert nicht in U-Bahn“
- Idee
 - Andere Sensoren der mobilen Geräte nutzen
- Konzept
 - U-Bahn-Navigations-App “mUvi”
 - Mikrofon für Positionsbestimmung/Navigation
 - Verbesserung durch Kombination von Sensoren

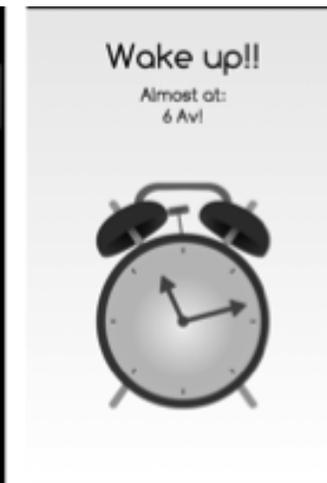
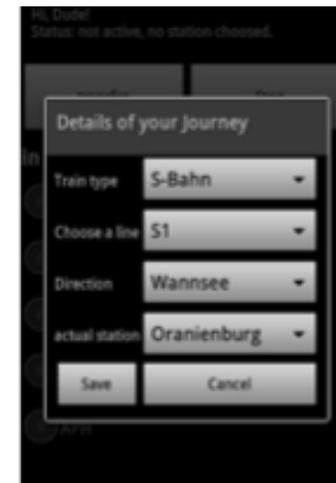


© Matthias Heyde / Fraunhofer FOKUS

ANWENDUNGSFALL

Mobile U-Bahn-Navigation

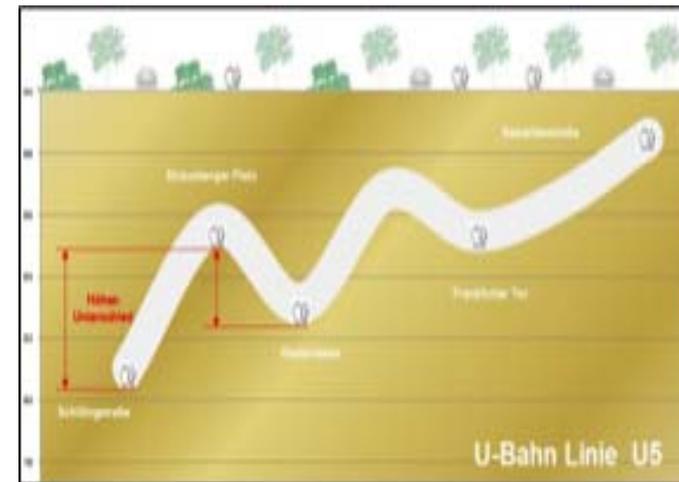
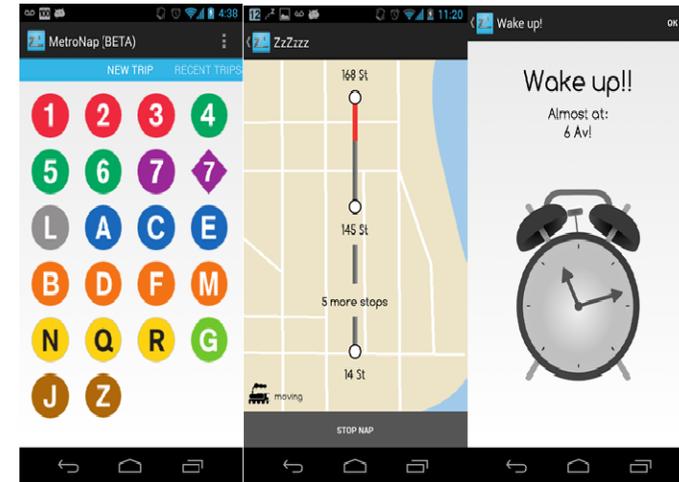
- U-Bahn(en) werden täglich von Millionen Menschen genutzt
 - Touristen und benötigen ständige Orientierungs- und Navigations-Unterstützung
 - Häufige Nutzer könnten Interesse an einer Wecker-Funktion haben
- Kernfunktionen einer U-Bahn-Navi-App
 - Nutzer geben (Start- und) Zielbahnhof ein
 - App erkennt die U-Bahn-Stationen
 - App alarmiert den Nutzer bei
 - Aussteigen (Zielbahnhof)
 - Umsteigen
 - Falsche Richtung
 - Falsche Linie



ANWENDUNGSFALL

Verwandte Arbeiten

- App „MetroNap“
 - für New York verfügbar
 - Nutzt Beschleunigungssensor
 - Erkennt Stopps (zählt Stationen)
 - Problem
 - Keine Erkennung von Zwischen-Stopps
- Bachelor-Arbeit an Beuth-Hochschule
 - Untersuchung für Berliner U-Bahn
 - Nutzt Barometer (Druckunterschiede)
 - Höhenunterschiede zwischen Stationen
 - Drucksensor nur in wenigen Smartphones verfügbar



SMARTPHONE-SENSOREN (LITERATUR-STUDIE)

Vorüberlegungen zur Eignung der integrierten Sensoren

- Ziel
 - Identifizieren von (theoretischen) Einsatzmöglichkeiten
- Vorgehen
 - Literatur-basierte Auswertung der Eigenschaften standardmäßig integrierte Sensoren
 - Beschleunigungssensor
 - Lagesensor (Gyroskop)
 - Luftdrucksensor (Barometer)
 - Magnetsensor (Kompass)
 - Lichtsensor
 - Mikrofon
 - Kamera
 - Uhr
- Ergebnisse



SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

Experimentelle Analyse und Bewertung der Sensoren

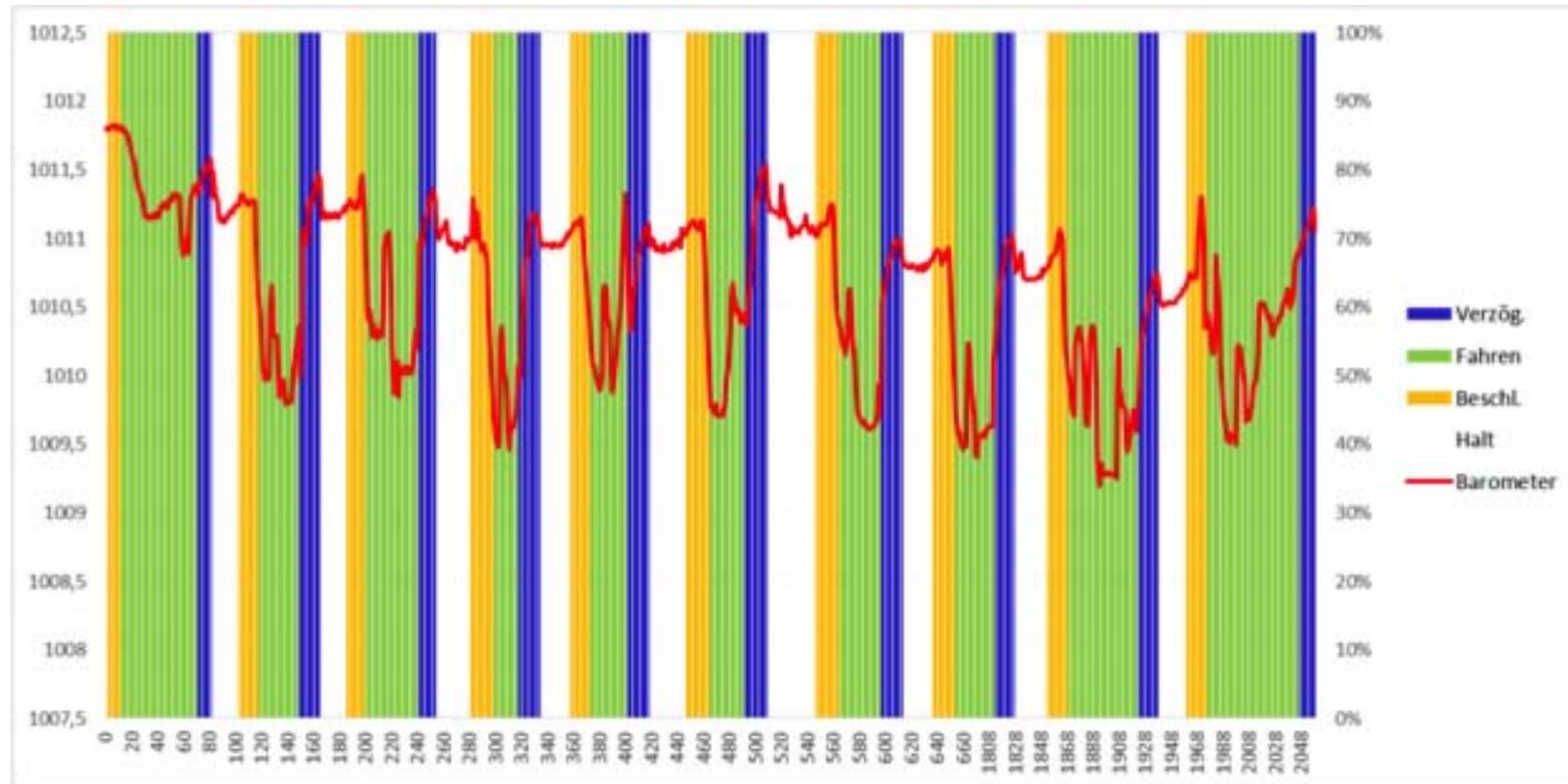
- Ziel
 - Bewertung der praktischen Einsatzmöglichkeiten der Sensoren
- Vorgehen
 - Sammlung von Sensordaten (Messreihen)
 - mit App „SensorLog“ (Hfalan)
 - von Testpersonen
 - auf verschiedenen Endgeräten
 - Manuelle Klassifikation der Daten in vier Phasen einer Fahrt zwischen zwei Stationen
 - Beschleunigen
 - Fahren
 - Bremsen
 - Stehen



The screenshot shows a mobile application interface titled "Edit Label". At the top, there is a status bar with icons for signal, Wi-Fi, and battery, and the time 2:43. Below the title bar, there is a "LABEL NAME" field containing the text "Walk". Underneath, there is a "SENSORS" section with a list of sensors, each with a checkbox and a label: GPS, WiFi, ALPS 3-axis Magnetic field sensor, MPU-6050 Accelerometer, MPU-6050 Gyroscope, GP2A - Proximity Sensor, Rotation Vector Sensor, and Gravity Sensor. At the bottom right, there is a "Save" button.

SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

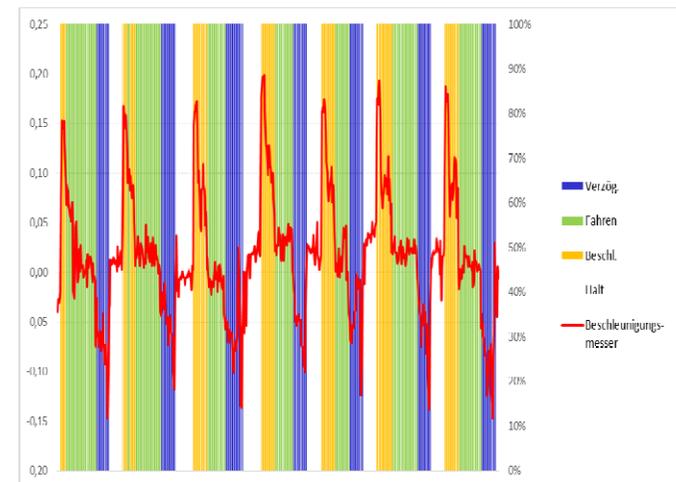
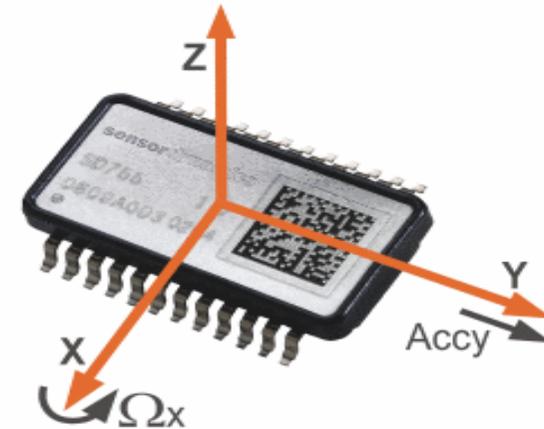
Ergebnisse - Luftdrucksensor



SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

Ergebnisse - Beschleunigungssensor

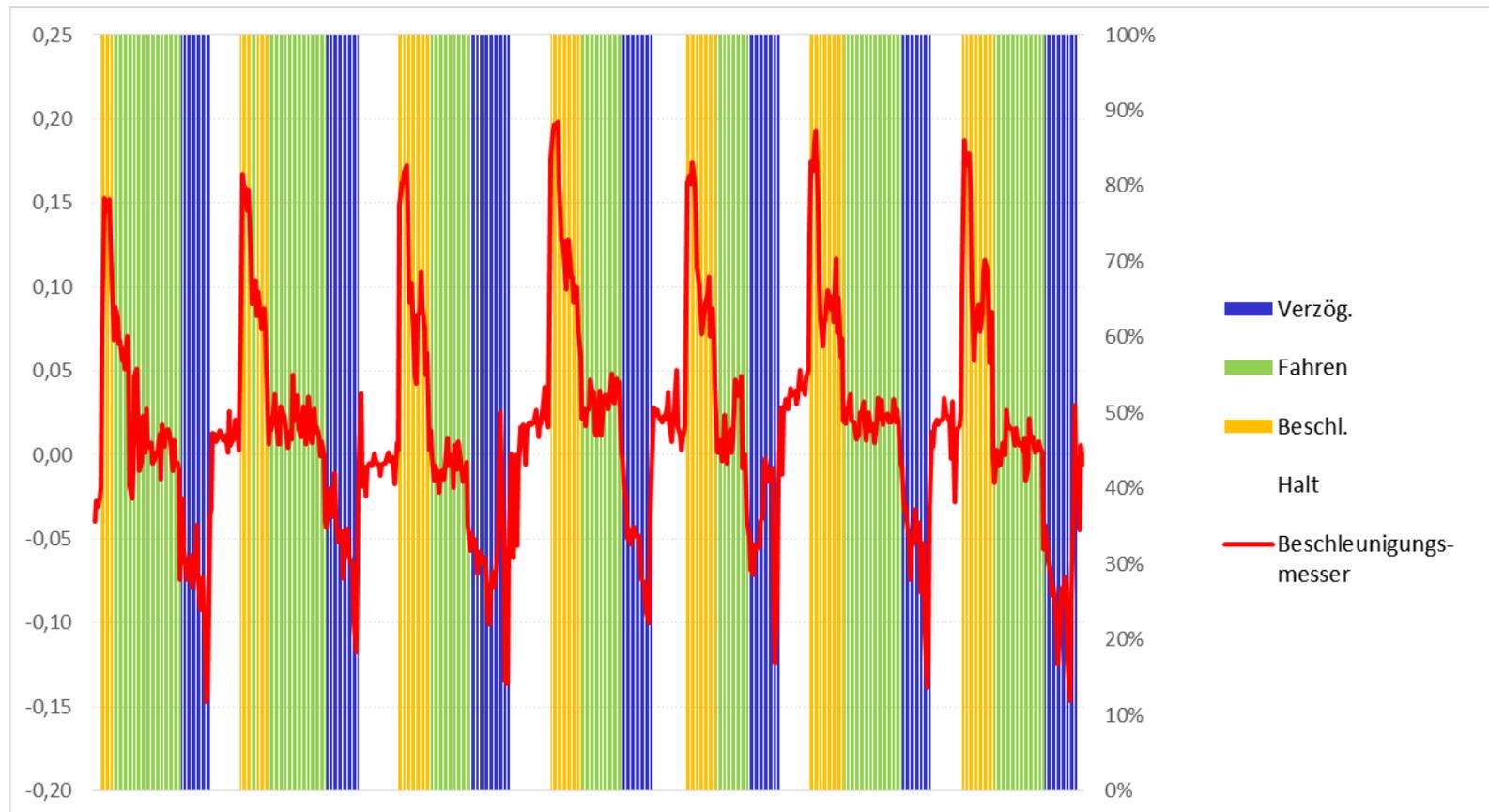
- Theorie
 - Messung
 - Beschleunigung (für 3 Achsen)
 - Anwendung
 - Bewegung in bestimmte Richtung
 - Bestimmung der Haltestellen (Stopp)
- Praxis
 - Messung
 - Beschleunigen und Bremsen (bei gleichbleibender Position des Geräts)
 - Anwendung
 - Ungenau, da Lage des Geräts unbekannt
 - Ggf. Kombination mit Lagesensor / Gyroskop z. Erkennung der Lageänderung



© Matthias Heyde / Fraunhofer FOKUS

SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

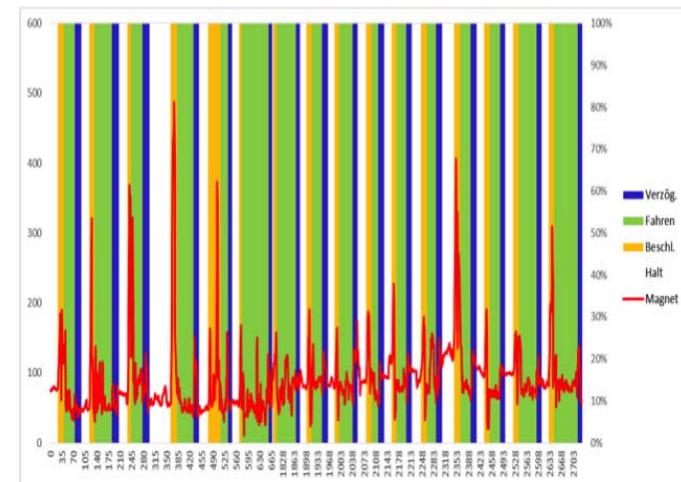
Ergebnisse - Beschleunigungssensor



SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

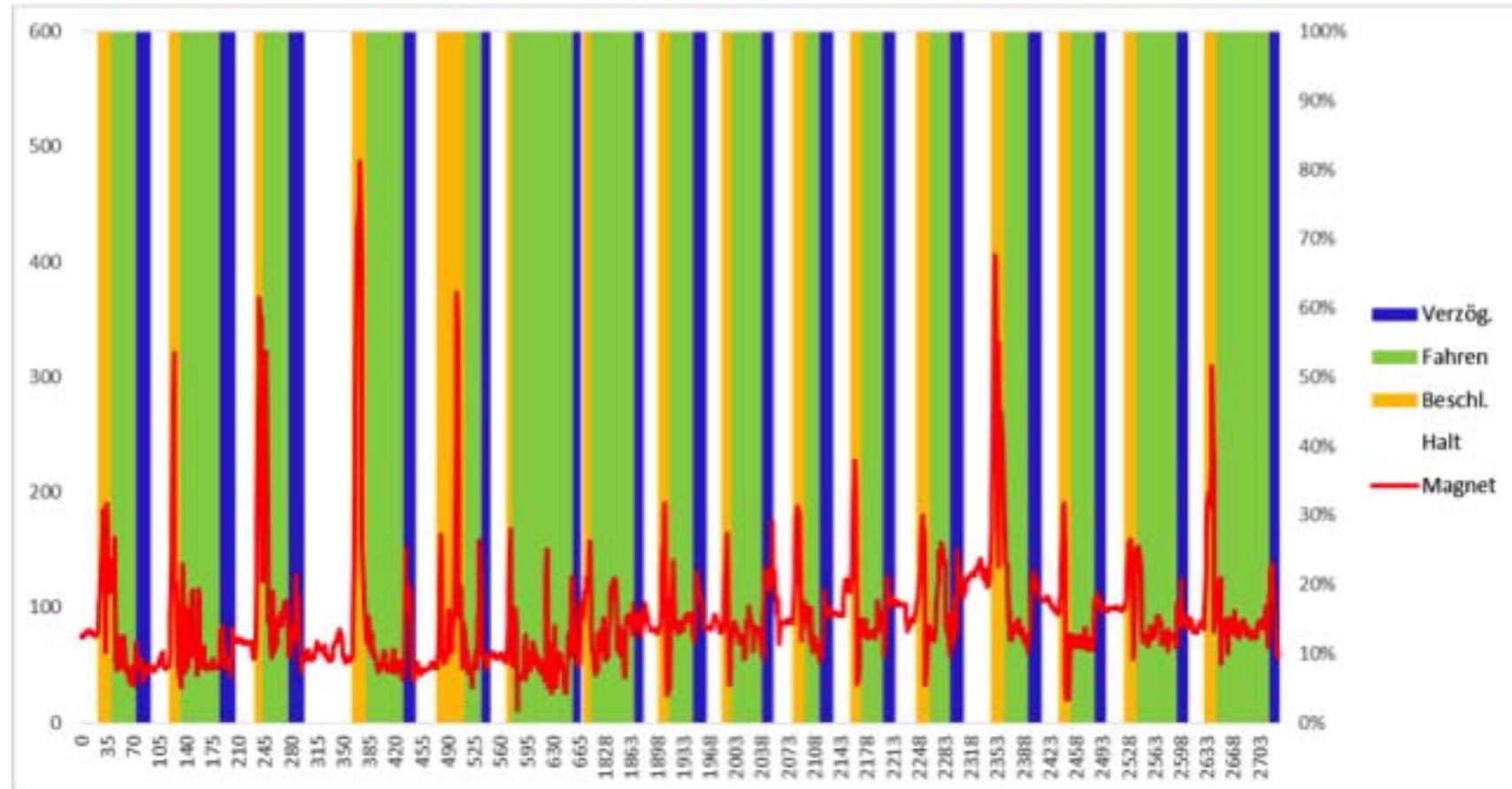
Ergebnisse - Magnetsensor

- Theorie
 - Messung
 - Magnetfeld der Erde / Himmelsrichtung (magnetischer Nordpol)
 - Anwendung
 - Bestimmung der Fahrtrichtung (Kompass) und Stationen (Streckenprofil)
- Praxis
 - Messung
 - Magnetfeld kaum wahrnehmbar (Störungen durch E-Motoren & Metall)
 - Aber starkes Magnetfeld (beim Anfahren)
 - Anwendung
 - Erkennen des Anfahrens aus Bahnhof



SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

Ergebnisse - Magnetsensor



SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

Ergebnisse - Mikrofon

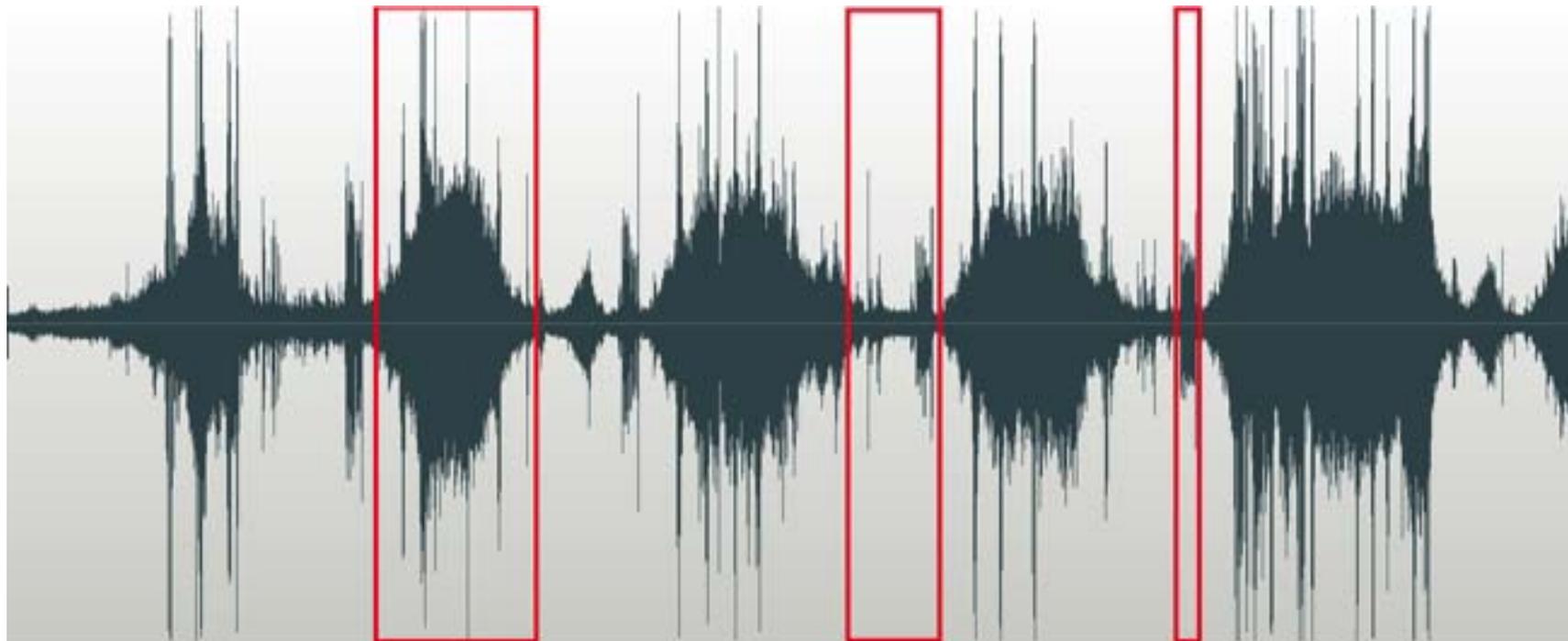
- Theorie
 - Messung
 - Schallwellen
 - Anwendung
 - Erkennen von Stationen über typische Geräusche (Sprach-Ansagen etc.)
- Praxis
 - Messung
 - kaum Spracherkennung (Störungen)
 - Erkennung spezieller Geräusche
 - Unterschiede zwischen „Fahren“ und „Halt“
 - Anwendung
 - Umgebungslautstärke zum Erkennen von „Fahrt“ und „Halt“



© Matthias Heyde / Fraunhofer FOKUS

SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

Ergebnisse - Mikrofon

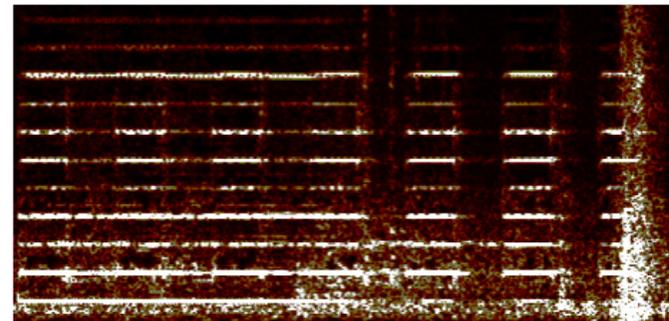
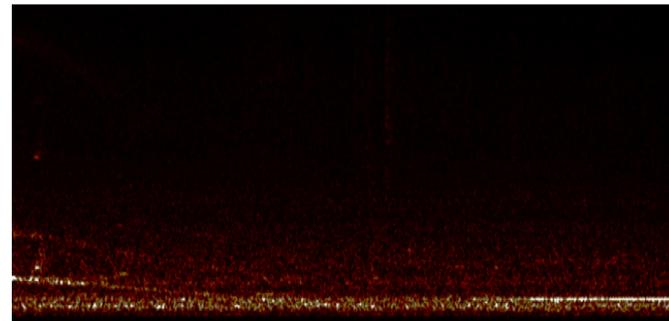
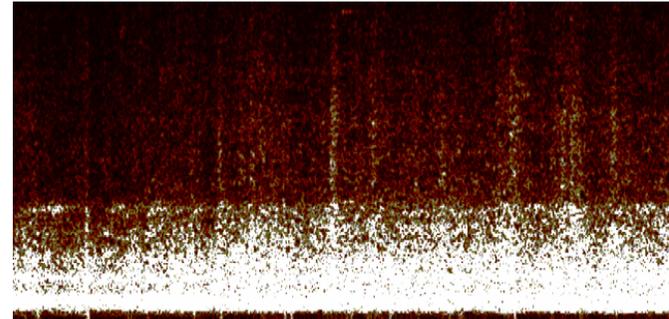


© Matthias Heyde / Fraunhofer FOKUS

SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

Ergebnisse - Mikrophon

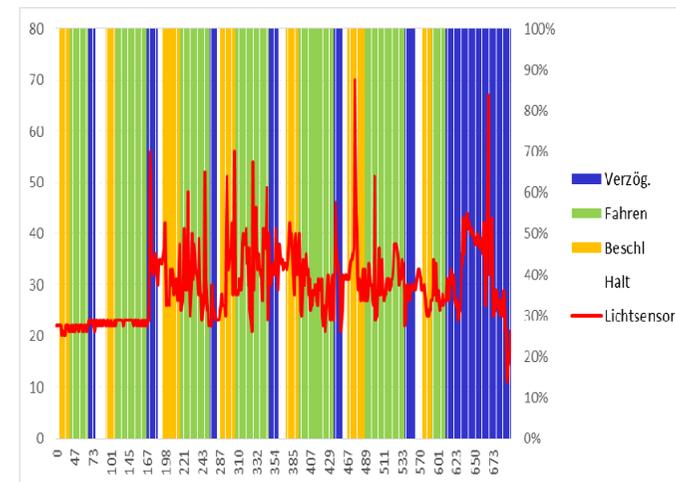
- Praxis
 - Messung (Frequenzspektrum)
 - Erkennen von speziellen Geräuschen
 1. während einer Zugfahrt (tiefe Frequenzen)
 2. bei Halt im Bahnhof (tiefe Frequenzen)
 3. Rhythmischer Warnton bei Türschließvorgang (mehreren übereinander gelegten Frequenzen)
 - Anwendung
 - Erkennen von „Fahrt“ und „Halt“ (im tiefen Frequenzbereich zwischen 60 Hz und 250 Hz)



SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

Ergebnisse - Lichtsensor

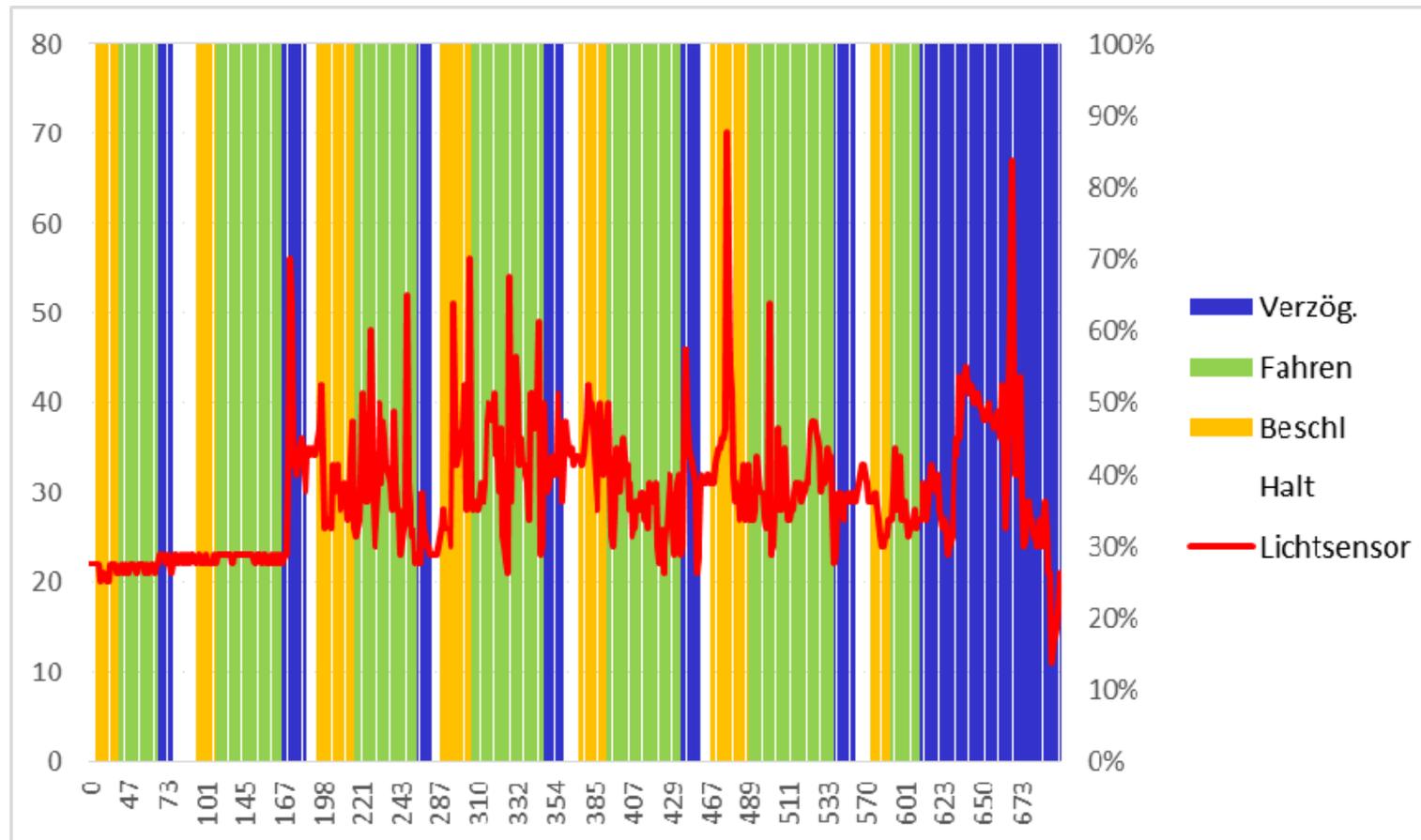
- Theorie
 - Messung
 - Lichtstärke (Helligkeit)
 - Anwendung
 - Erkennen von Einfahrt in Bahnhof (heller)
- Praxis
 - Messung
 - Schwankende, ungenaue Werte (kein Muster erkennbar)
 - Unkomfortabel (Gerät ans Fenster halten)
 - Anwendung
 - (keine)



© Matthias Heyde / Fraunhofer FOKUS

SMARTPHONE-SENSOREN IM EINSATZ (EMPIRISCHE STUDIE)

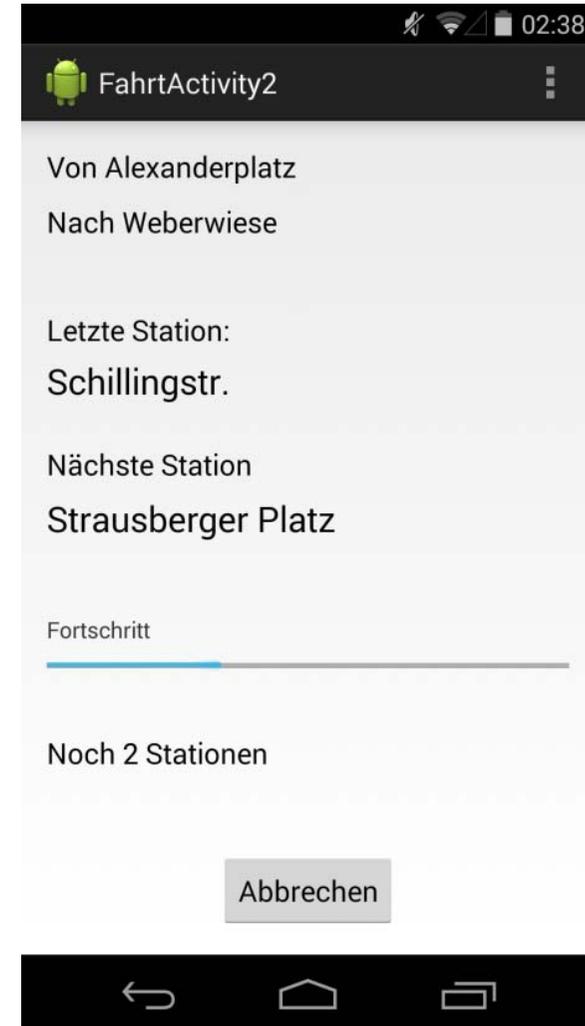
Ergebnisse - Lichtsensor



DIE MUVI-APP

Prototyp App für Android

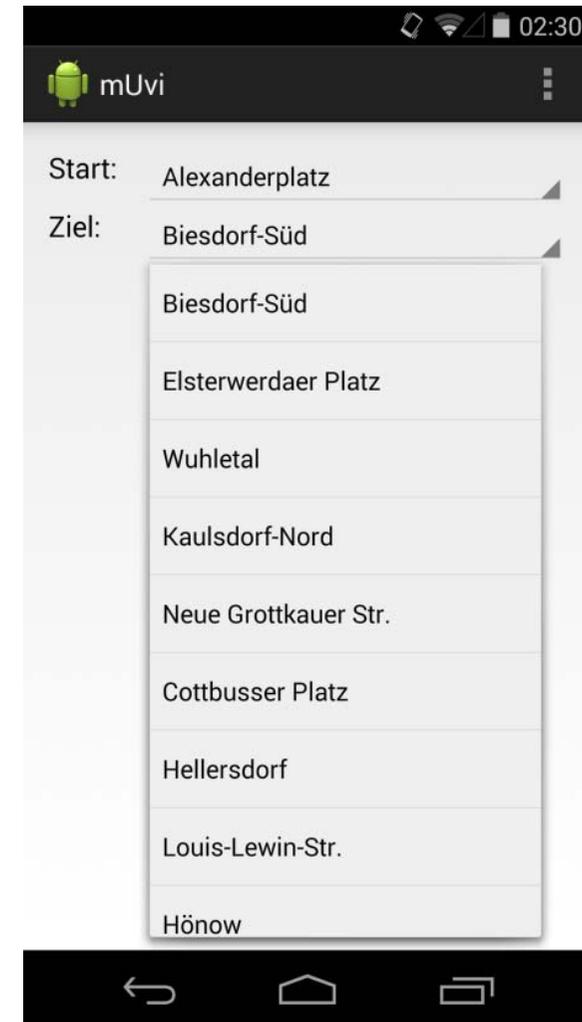
- Soll Praxistauglichkeit der Idee verdeutlichen
- Da die besten Ergebnisse für das Mikrofon vorlagen, wurde dies der erste genutzte Sensor
- In zweitem Schritt kam Magnetsensor und Fahrzeitauswertung dazu
- Da Prototyp, Android-Plattform denn:
 - relativ offenes Betriebssystem, um direkt Sensordaten auszulesen
 - Einige frei Programme, die verschiedene Sensordaten des Gerätes aufzeichnen
 - Da Programmiersprache JAVA Know-How für Realisierung vorhanden



DIE MUVI-APP

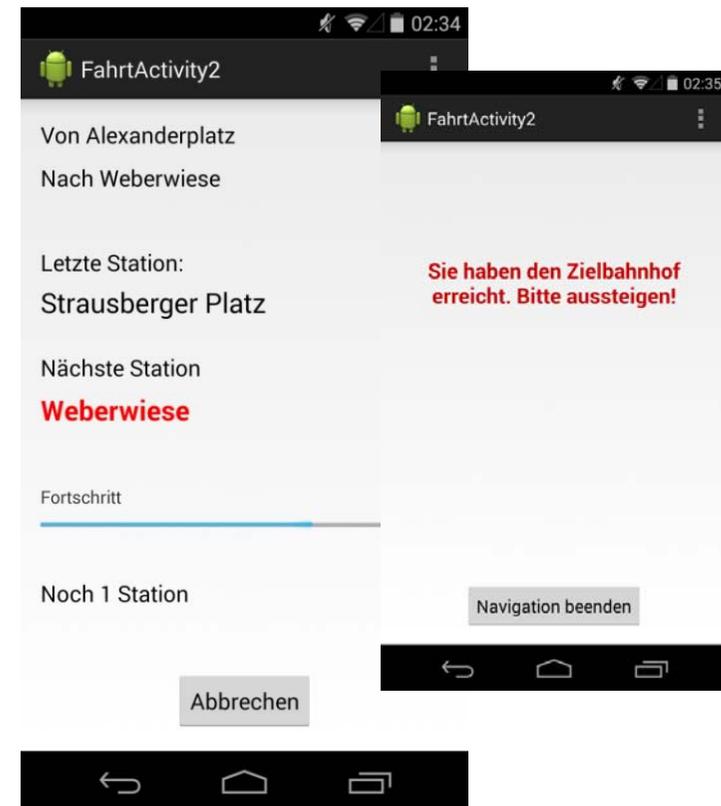
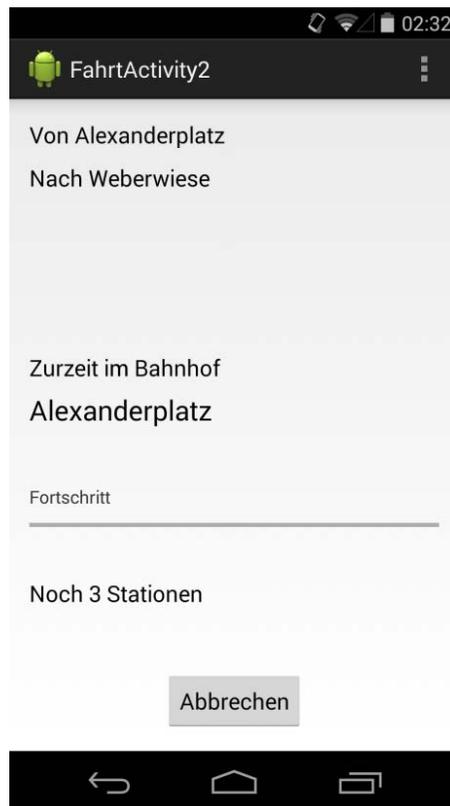
Prototyp App – geforderte Funktionen

- Eingabe Start und Zielort
- Möglichkeit den Start zu triggern
- Anzeige des Fahrtfortschritts in der App
- Signalisierung des Zielpunktes
- Besonderheit in zweitem Schritt: ‚Debug‘-View zur Beobachtung der Sensorinterpretation



DIE MUVI-APP - OBERFLÄCHE

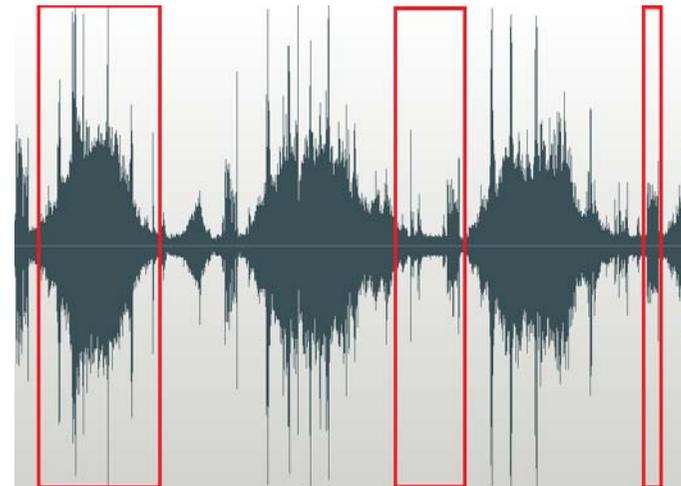
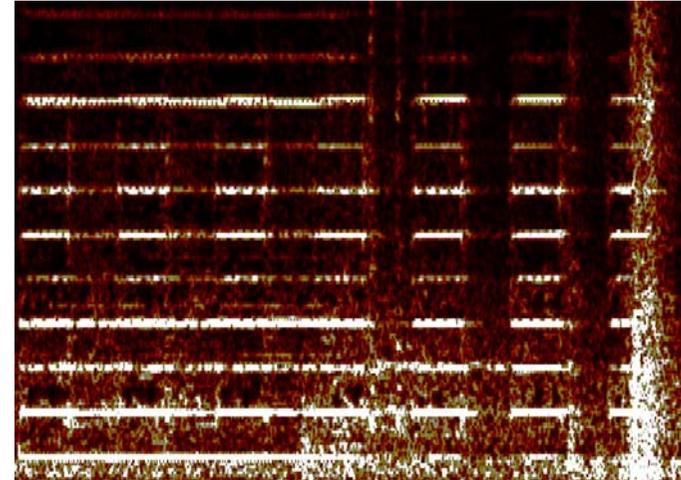
Anzeige von Zwischenstation, während der Fahrt und Ziel



DIE MUVI-APP - VERFAHREN

Erkennungsalgorithmus Mikrofon

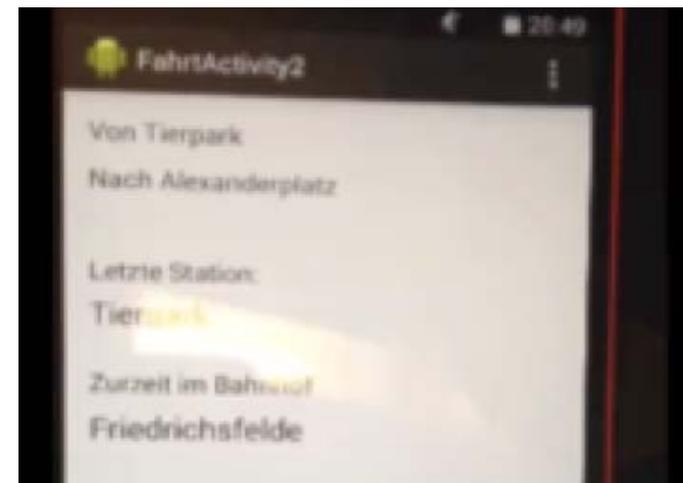
- Nutzung des Mikrofons in erstem Prototypen für die Fahrererkennung über Frequenzanalyse:
- Aufnahme der Mikrofondaten
- Zerlegung der PCM-Daten in ein Frequenzband mittels Fourier-Transformation
- Diese Level-Daten werden dann überwacht und anhand Ihrer Ton- und Stärkepaarmetern den Zuständen:
 Beschleunigen, Fahrt, Bremsen, Halt zugeordnet.
- Auswertung von Fahrtgeräuschen und von prägnanten Geräuschen (Türwarnsignal)



DIE MUVI-APP – ERSTE EVALUIERUNG

Testfahrten

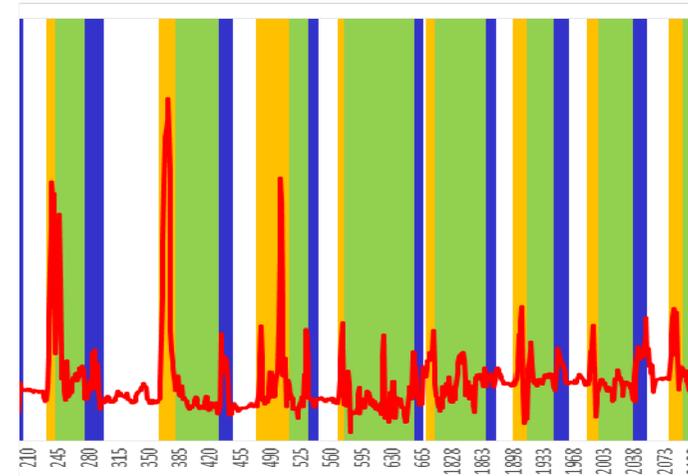
- Ergebnis: Brauchbare Erkennung und richtige Signalisierung der Stationen
- Problematisch:
 - Nur auf genau eine Strecke festgelegt (U5)
 - Lautstärkemessung oberirdisch oder bei langsamer Fahrt nicht genau genug
 - Einmessen des Mikrofons bei Fahrbeginn notwendig
- Optimierungsansatz weitere Sensoren und Verknüpfungs-Algorithmus



DIE MUVI-APP - OPTIMIERUNG

Erkennungsalgorithmus Magnetsensor

- Nutzung des Magnetsensors im Prototypen für die Fahrterkennung über Feldstärkenanalyse
- Über Differenzen zu Vorwerten und Vor-Vorwerten nur Beschleunigung erkennbar
- Keine Feldstärke zur Erde nutzbar, weil von Motormagnetfeld ‚überschrieben‘
- Nicht für Richtungsermittlung nutzbar, da das Erd-Magnetfeld durch Motor übersteuert

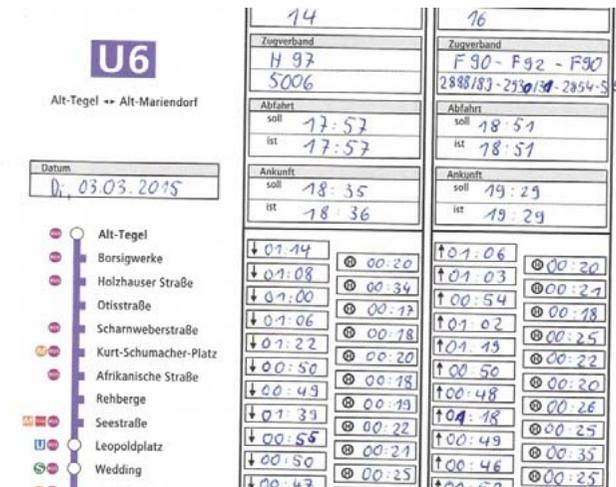


J	K	L	M	N	O	
3,413692	2153,02			-1,50	-1,78	
8,173174	2154,01			-5,24	-6,75	
3,430115	2155,01			-4,74	-9,98	
3,580376	2156,00			0,15	-4,59	
5,461077	2157,01			1,88	2,03	
4,396686	2158,00			8,94	10,82	
4,478221	2159,01			20,08	29,02	
5,307698	2160,01			20,83	40,91	
9,393284	2161,01			34,09	54,92	
9,858294	2162,01			20,47	54,55	
7,240004	2163,00			7,38	27,85	
0,583993	2164,01			-26,66	-19,27	
,1944844	2165,02			-146,39	-173,05	
,8434746	2166,01			-20,35	-166,74	
,4926877	2167,01			3,65	-16,70	
,4523611	2168,00			12,96	16,61	

DIE MUVI-APP - OPTIMIERUNG

Erkennungsalgorithmus Fahrzeit

- Nutzung der statistisch im Vorfeld bestimmter Fahr- und Stopzeiten zwischen den Stationen
- Timer erfasst Zeiten
- Nur in Verbindung mit Triggern durch andere Sensoren sinnvoll
- Notwendig dazu war:
 - Streckenvermessung
 - Baureihenkorrelation beachten
- Ausreichend große Menge an Messprotokollen musste erfasst werden



A	B	C	D	E	F	G	H
U5	Dauer Fahrt 1	Dauer Fahrt 2	Dauer Fahrt 3	Dauer Fahrt 4	Dauer Fahrt 5	Dauer Mittelwert	Distanz (km)
Alexanderplatz							
Schillingstraße	00:01:21	00:01:20	00:01:16	00:01:21	00:01:21	00:01:20	0,582
Strausberger Platz	00:01:06	00:01:04	00:01:04	00:01:05	00:01:06	00:01:05	0,796
Weberwiese	00:01:12	00:01:09	00:01:00	00:01:14	00:01:09	00:01:09	0,901
Frankfurter Tor	00:00:51	00:00:55	00:00:57	00:00:55	00:00:55	00:00:55	0,635
Samariterstraße	00:01:00	00:01:04	00:01:03	00:00:59	00:01:04	00:01:02	0,732
Frankfurter Allee	00:01:01	00:00:59	00:01:01	00:00:57	00:00:59	00:00:59	0,736
Magdalenenstrasse	00:01:05	00:01:07	00:01:04	00:01:07	00:01:07	00:01:06	0,813
Lichtenberg	00:01:07	00:01:03	00:01:00	00:01:12	00:01:00	00:01:04	0,746
Friedrichsfelde	00:01:30	00:01:28	00:01:22	00:01:29	00:01:22	00:01:26	1,176
Tierpark	00:01:38	00:01:37	00:01:50	00:01:33	00:01:50	00:01:42	1,196
Biesdorf-Süd	00:02:17	00:02:12	00:02:13	00:02:23	00:02:13	00:02:16	1,866
Elsterwerdaer Platz	00:01:25	00:01:26	00:01:25	00:01:26	00:01:30	00:01:26	1,126
Wuhletal	00:01:40	00:01:43	00:01:45	00:01:50	00:01:43	00:01:44	1,373
Kaulsdorf Nord	00:01:50	00:01:47	00:01:48	00:01:47	00:01:47	00:01:48	1,463
Neue Grottkauer Straße	00:01:11	00:01:09	00:01:09	00:01:02	00:01:09	00:01:08	0,865
Cottbusser Platz	00:01:03	00:01:02	00:01:03	00:01:03	00:01:02	00:01:03	0,755
Hellersdorf	00:01:01	00:01:01	00:00:55	00:01:04	00:01:01	00:01:00	0,755
Louis-Lewin-Straße	00:01:06	00:01:06	00:01:05	00:01:03	00:01:02	00:01:04	0,837
Hönow	00:01:42	00:02:58	00:01:50	00:01:58	00:01:50	00:02:04	1,025

DIE MUVI-APP - OPTIMIERUNG

Kopplung von Mikrofon, Magnetsensor und Fahrzeiterfassung

Idee:

- Abstraktion auf Zustände: Start – Fahrt – Halt
- Erst wenn alle Sensoren melden, dass der nächste Zustand erreicht worden ist, wird der Benutzer informiert

Prinzip der Gewichteten Summen:

- Wichtigere oder zuverlässigere Sensoren haben größeren Einfluss auf das Ergebnis

$$\frac{\left(\sum_{k=1}^3 \text{Wert Sensor } k * \text{Gewichtung Sensor } k \right)}{3}$$

DIE MUVI-APP - OPTIMIERUNG

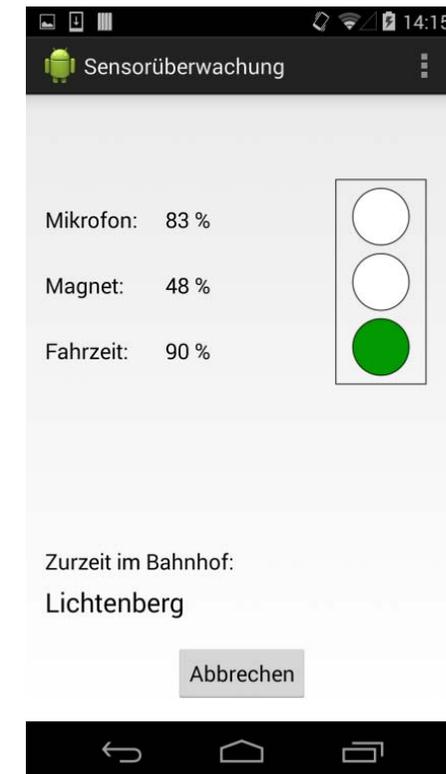
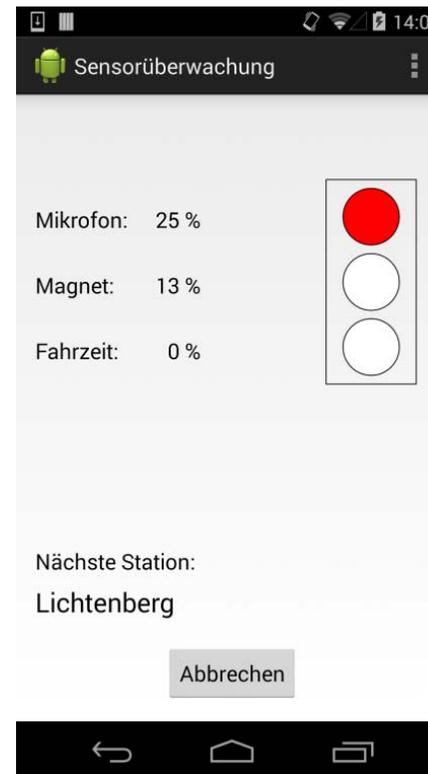
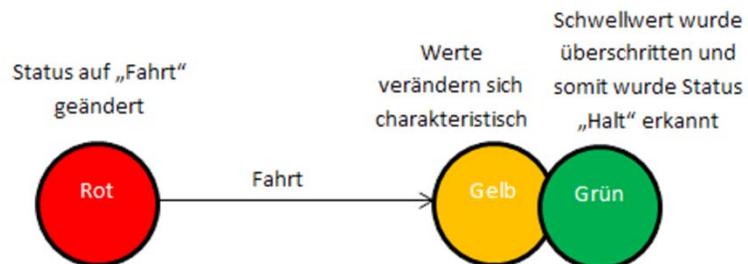
Gewichtung der Sensoren

Erkannter Status	Mikro	Fahrzeit	Magnetsensor
Start	hohe Gewichtung um den Wechsel zu „Fahrt“ zu erkennen	-	Beschleunigungsphase gut erkennbar
Fahrt	hohe Gewichtung	Ab erkannter Beschleunigung ist Zug i.n.R. bereits 5 Sekunden in Bewegung -> Dauer einer Station individuell. Hohe Gewichtung solange $T_{IST} < T_{SOLL}$	Hohe Gewichtung um Übergang von Halt zu Fahrt zu erkennen Niedrige Gewichtung während der Fahrt
Halt	hohe Gewichtung	-	Niedrige Gewichtung um Halt zu erkennen

DIE MUVI-APP - OPTIMIERUNG

Für die Evaluierung des Erkennungsverfahrens spezieller DEBUG View

- wenn Gesamtergebnis unter 60% -> Rot
- Ab 60% -> Gelb
- Ab einem Wert >74% ->Grün



FAZIT

- Mobile U-Bahn-Navigation
 - Anwendungsfall sinnvoll
 - Bedarf an Unterstützung durch mobile App existiert
- Mobile Sensing
 - geräteinterne Sensoren für Navigations-App nutzbar
 - andere Sensoren als geplant geeignet
 - Messergebnisse nicht für direkte Umgebungsbestimmung brauchbar
 - App mit nur einem Sensor (Mikrofon) realisierbar
 - Verbesserung der Genauigkeit und Robustheit durch Kombination von Sensoren

KONTAKT

Prof. Dr.-Ing. Frank Fuchs-Kittowski

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin
Tel. +49 (30) 5019-3372
Frank.Fuchs-Kittowski@htw-berlin.de



Dipl.-Inform. Daniel Faust

Fraunhofer FOKUS
Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin
Tel. +49 (30) 3463-702
Daniel.Faust@fokus.fraunhofer.de

