

Abschlussbericht zum Verbundprojekt „**ECOSense**“

Erfassung und Analyse von Radverkehrsdaten zur Unterstützung der Infrastrukturoptimierung

Laufzeit: 06/2019 - 08/2020

Verbundpartner	Ansprechpartner	Kontaktdaten
baron mobility service GmbH (Projektkoordination)	Ronald Bankowsky Kyra Pelzner (Projektleitung)	Wickenweg 52, 26125 Oldenburg Tel.: +49 441 559 779 – 12 Tel.: +49 441 559 779 – 35 ronald.bankowsky@baronmobil.com kyra.pelzner@baronmobil.com
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg – Abt. Wirtschaftsinformatik / VLBA	Prof. Dr.-Ing. habil. Jorge Marx Gómez	Ammerländer Heerstr. 114-118 26129 Oldenburg Tel.: +49 441 798 – 4470 jorge.marx.gomez@uni-oldenburg.de
CoSynth GmbH & Co. KG	Christian Stehno	Marie-Curie-Str. 1, 26129 Oldenburg Tel. +49 441 36116 – 756 stehno@cosynth.com

Inhaltsverzeichnis

1. Kurze Darstellung des Projekts	4
1.1 Aufgabenstellung.....	4
1.2 Voraussetzungen, Planung und Ablauf des Projektvorhabens.....	5
1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	5
1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
2. Eingehende Darstellung.....	9
2.1 Projektvorgehen, Herausforderungen und Ergebnisse im Detail.....	9
2.1.1 Die Sensorentwicklung.....	10
2.1.2 Öffentlichkeitsarbeit, Probandenakquise und Organisation der Datenerhebung ..	15
2.1.3 Die Datenanalyse.....	24
2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	35
2.3 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	35
2.4 Der voraussichtliche Nutzen und die Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	36
2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordene Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	37
2.6 Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses	38
Literaturverzeichnis.....	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Platine, von der Sensorseite gesehen	11
Abbildung 2: Erster Prototyp mit alternativer Batterieform	12
Abbildung 3: Sensor im Gehäuse fixiert, Deckel offen.....	13
Abbildung 4: Beispielhafte Anbringung eines Sensors	17
Abbildung 5: Anmeldungen nach Altersgruppen.....	19
Abbildung 6: Teilnehmende nach Postleitzahl im Vergleich zur Stadt Oldenburg	20
Abbildung 7: Struktur der Umfrageteilnehmenden.....	21
Abbildung 8: Gründe für die Projektteilnahme	21
Abbildung 9: Kommunikationsmittel zur Erreichung der angemeldeten Bürgerinnen und Bürger.....	22
Abbildung 10: Anwendungsmöglichkeiten des Sensors aus Sicht der angemeldeten Bürgerinnen und Bürger.....	23
Abbildung 11: Das CRISP-DM Modell.....	24
Abbildung 12: Visualisierung der befahrenen Strecken und der gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeit (Stadtgebiet Oldenburg).....	26
Abbildung 13: Startzeitpunkt der Radfahrten (summiert je Stunde)	27
Abbildung 14: Gegenüberstellung von Temperatur, Niederschlag, Wind, Sonneneinstrahlung und Geschwindigkeit.....	28
Abbildung 15: Messreihe von Beschleunigungsdaten einer Radfahrt (exemplarisch)	29
Abbildung 16: Identifizierte Erschütterungen (Stadtgebiet Oldenburg)	30
Abbildung 17: Identifizierte Erschütterungen (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)	30
Abbildung 18: Erschütterungshotspots (Stadtgebiet Oldenburg)	31
Abbildung 19: Erschütterungshotspots (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)	31
Abbildung 20: Identifizierte Bremsvorgänge (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)	32
Abbildung 21: Hotspots für Bremsvorgänge (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)	33
Abbildung 22: Bremsverhalten (nach Tageszeit)	34

1. Kurze Darstellung des Projekts

1.1 Aufgabenstellung

Sensoren im Verkehr breiten sich in immer spezifischeren Anwendungen aus. Erhebungsinstrumente wie Kameras, Radar, Lidar oder Ultraschall erheben zum einen immer mehr Daten und erhöhen zum anderen die Verkehrssicherheit durch bessere Vernetzung der Verkehrsträger. Obwohl der Radverkehr einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung von Umweltproblematiken in Innenstädten leisten kann, sind Ansätze im Bereich Sensortechnologie hier weitestgehend noch nicht etabliert. Für eine attraktivere Ausgestaltung der Fahrradinfrastruktur werden allerdings geeignete Daten benötigt. Verglichen mit anderen Verkehrsmitteln ist die Datenlage in Bezug auf das Fahrrad bislang sehr überschaubar. Erste datenzentrierte Ansätze stellen Informationen zur grundsätzlichen Auslastung der Fahrradinfrastruktur bereit. Dabei kommen vielerorts verstärkt App-basierte Anwendungen (u.a. Bike Citizens) zum Einsatz [1]. Die generierten Informationen geben in Form von Heatmaps einen ersten Überblick zur grundsätzlichen Nutzung der Fahrradinfrastruktur, haben jedoch nur geringe Aussagekraft, da sie lediglich einen sehr kleinen, wenig repräsentativen Teil der tatsächlichen Infrastrukturnutzung und nur einen sehr spezifischen Typ von Radfahrenden abbilden [2]. Damit sind die Daten bezüglich Faktoren wie gewählter Routen und Durchschnittsgeschwindigkeiten wenig repräsentativ.

Um diese Forschungslücke zu schließen, wurde im Rahmen des Projekts ECOSense eine Sensorplattform entwickelt und getestet, die verschiedene Parameter von Sensordaten (Position, Geschwindigkeit, Erschütterung, Umwelt) zur alltäglichen Fahrradnutzung erfasst. Die neu generierten und verfeinerten Datensätze führen hierbei zu einer verbesserten Informationsbasis zur Fahrradnutzung. Dies unterstützt Entscheidungsträger aus der Stadt- und Verkehrsplanung und kann zur Optimierung der Fahrradinfrastruktur beitragen. Darüber hinaus ermöglicht die Ausstattung der Fahrräder von Bürgerinnen und Bürgern mit Sensoren eine repräsentativere Erfassung des Zustands der Radinfrastruktur und der Fahrradnutzung im Alltag. Mit einem sensorbasierten Ansatz können zum einen auch bisher kaum betrachtete Gruppen von Radfahrenden (z.B. ältere Personen) angesprochen und zum anderen Kommunen kostengünstig aktuelle Radverkehrsdaten bereitgestellt werden.

Ursprünglich sollten insgesamt 400 Bürgerinnen und Bürger aus dem Raum Oldenburg als Teilnehmende in das Projekt eingebunden werden, um mit den Sensoren für ca. vier Monate Radverkehrsdaten zu erfassen. Auf Basis der so gewonnenen Daten war anschließend das Ziel verschiedene Analysen zu den Themenbereichen Routenwahl, Qualität der Radinfrastruktur und Umwelteinflüsse auf die Fahrradnutzung durchzuführen. Zudem sollten weitere Angaben, wie beispielsweise Wetterdaten, für die Analysen herangezogen werden. Aufgrund der Corona-Pandemie konnte ab Frühjahr 2020 die Bürgerbeteiligung nur noch in sehr eingeschränktem Maße stattfinden, sodass sich die tatsächliche Anzahl der beteiligten Radfahrenden entsprechend reduzierte.

Im Rahmen des Projekts waren die Aufgaben folgendermaßen unter den drei Projektpartnern aufgeteilt:

baron mobility service GmbH

Die baron mobility service GmbH war Konsortialführer des Projekts und verantwortete in diesem Zusammenhang das Projektmanagement. Zusätzlich übernahm baron die Öffentlichkeitsarbeit, die Erstellung des Datenschutzkonzeptes und die Probandenakquise. Darüber hinaus organisierte und begleitete baron die Datenerhebung und die Einbindung von Radfahrenden.

CoSynth GmbH & Co. KG

CoSynth verantwortete als Technologie-Partner die Konzeption und Entwicklung der Sensorplattform und die Datenaufnahme und Bereitstellung.

Universität Oldenburg, Abteilung Wirtschaftsinformatik (VLBA)

Die Universität Oldenburg (Abteilung Wirtschaftsinformatik - Very Large Business Applications VLBA) unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jorge Marx Gómez übernahm im Rahmen des Projekts die Analyse der durch die Sensoren erhobenen Daten.

1.2 Voraussetzungen, Planung und Ablauf des Projektvorhabens

Das Projekt ECOSense wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Förderprogramms mFUND gefördert. Die Machbarkeitsstudie mit einer Gesamtlaufzeit von insgesamt 15 Monaten war Teil der Förderlinie I und hatte ein Projektvolumen von 134.351 €, wovon der Förderanteil des BMVI 70 Prozent (94.045,70 €) betrug. Das BMVI trat auch als Projektträger auf.

Das Projekt begann am 01.06.2019 und sollte ursprünglich am 28.02.2020 enden. Unter anderem aufgrund von Lieferverzögerungen von Komponenten für die Sensoren, wurde jedoch eine dreimonatige Laufzeitverlängerung beantragt, wodurch das Projekt bis zum 31.05.2020 verlängert wurde. Aufgrund der Auswirkungen der Corona-Pandemie wurde das Projekt erneut um weitere drei Monate verlängert, sodass die Projektlaufzeit am 31.08.2020 endete.

1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Konzeption der Sensorplattform orientierte sich an den Eigenschaften und Komponenten üblicher Smartphones. Diese haben sich als nutzbare Plattform in anderen Projekten bereits als geeignet herausgestellt und dienten so als Vorlage. Bei der Optimierung der Sensoreigenschaften wurde dabei kein konkretes, sondern ein pragmatisches und möglichst wenig aufwändiges Vorgehen genutzt.

Für die Erstellung des Datenschutzkonzeptes und der Datenschutzerklärungen wurde neben der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) auch folgende Quelle genutzt:

Dr.-Ing. Erik Krempel, Prof. Dr. jur. Brunhilde Steckler (Hrsg.) (2019): GUIDE - Leitlinien für den Datenschutz in der wissenschaftlichen Forschung zu Aspekten der Mensch-Technik-Interaktion. Karlsruhe.

Die Umfrage unter den angemeldeten Bürgerinnen und Bürgern wurde auf Grundlage des folgenden Papers erstellt:

Jenny Rowley (2014): Designing and using research questionnaires. In: Management Research Review, 37, 308 - 330.

Die Auswahl der Teilnehmenden erfolgte auf Grundlage der Statistiken zur Bevölkerungsverteilung und Altersstruktur der Stadt Oldenburg.¹

Die Datenanalyse orientierte sich am etablierten Vorgehensmodell **CRISP-DM** (Cross Industry Standard Process for Data Mining) [3]. Die einzelnen Phasen des Prozesses wurden basierend auf Erfahrungen aus anderen Forschungsprojekten der Universität Oldenburg ausgestaltet. Während der ersten Phase, dem Business Understanding, wurden gemeinsam mit Partnern aus dem Projektkonsortium und Experten aus der Praxis Hypothesen und Analysefragestellungen entwickelt bzw. abgeleitet, die dann nach einer explorativen Datenanalyse (Data Understanding) in Data Products [4] überführt wurden. Diese Data Products wurden umgesetzt und schließlich erneut mit Ansprechpartnern aus dem Projektkonsortium und aus der Praxis evaluiert. Die dabei eingesetzten technischen Verfahren orientieren sich am aktuellen State of the Art im Bereich der Datenanalyse.

1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Über die Bürgerbeteiligung hinaus wurden zahlreiche externe Stakeholder mit unterschiedlichen Kompetenzen und Perspektiven in die Entwicklung und Umsetzung des Projekts einbezogen. Im Rahmen des Projektes wurde im Herbst 2019 mit etwa 40 Vertretern aus Kommunen, Verkehrsplanung, Unternehmen und Forschung ein gemeinsamer Workshop in Oldenburg durchgeführt, in dem der ECOSense-Ansatz diskutiert und weiterer Forschungsbedarf identifiziert wurde. Die Erfassung von Radverkehrsdaten mit einem am Fahrrad angebrachten Sensor stieß dabei auf großes Interesse. In zwei Workshop-Formaten wurde der ECOSense-Ansatz von externen Experten kritisch diskutiert und bewertet. Zudem wurden Ideen für weitere Fahrradsensor-Anwendungen gesammelt.

Darüber hinaus wurden zahlreiche Partner in die Öffentlichkeitsarbeit einbezogen. So haben unter anderem die Stadt Oldenburg, der ADFC Oldenburg und verschiedene Netzwerkpartner (u.a. OLEC) auf das Projekt aufmerksam gemacht und für eine Projektteilnahme geworben. In diesem Zusammenhang erfolgte eine mehrfache Berichterstattung in der Presse (Nordwest-Zeitung, Radio Bremen).

Die Stadt Oldenburg hat darüber hinaus auch aktiv die Organisation von Veranstaltungen unterstützt. Weiterhin erfolgte ein Austausch mit dem Fachdienst Verkehr der Stadt Oldenburg zu relevanten Fragestellungen, die durch den Einsatz der Fahrradsensorik im Bereich der

¹ <https://www.oldenburg.de/startseite/politik/verwaltung-finanzen/statistik/statistische-daten-online/inhaltsverzeichnis.html?L=0>

Radverkehrsplanung beantwortet werden könnten (Anforderungserhebung), sowie zu den erzielten Projektergebnissen. Bei datenschutzrechtlich relevanten Themen wurde das Projekt vom Zentrum für Recht der Informationsgesellschaft (ZRI) der Universität Oldenburg fachlich beraten. Die Innovative Hochschule Jade-Oldenburg IHJO hat im Rahmen des BürgerLabors, einer Citizen Science Initiative, eine Umfrage für das Projekt durchgeführt.² Das Planungsbüro VIA hat das Projekt bei der Beantragung und Durchführung fachlich mit seinen Kompetenzen in der Radverkehrsplanung unterstützt.

Im Rahmen von verschiedenen mFUND-Formaten fand zusätzlich ein Austausch mit weiteren Forschungsprojekten, die durch das BMVI gefördert werden, statt. Besonders zu nennen sind hierbei das Projekt Movebis³, mit dem ein Erfahrungsaustausch stattfand, sowie das Projekt SmartRadL⁴, das für die Datenerhebung im Rahmen des Projekts u.a. die in ECOSense entwickelte Sensorik verwendet.

Assoziierte Partner:

ECOSense wurde durch zahlreiche assoziierte Partner unterstützt. Im Projektverlauf konnte der Kreis der Partner noch erweitert werden. Besonders unter den Partnern hervorzuheben sind die Stadt Oldenburg, das Zentrum für Recht in der Informationsgesellschaft (ZRI) der Universität Oldenburg und das Planungsbüro VIA, die sich in besonderem Maße in das Projekt einbrachten. Zum Projektende (Stand: 11/2020) gibt es ca. 60 assoziierte Partner:

- davon u.a. aus dem Bereich Verkehrs- und Umweltplanung:
 - ARSU GmbH, Oldenburg
 - ISME GmbH, Stuttgart
 - Planersocietät, Dortmund
 - Planungsbüro VIA eG, Köln
 - plan-werkStadt, Bremen
 - RegioConsult, Marburg
 - TSC Beratende Ingenieure für Verkehrswesen GmbH & Co. KG, Neubrandenburg

- davon u.a. aus der Wirtschaft:
 - abat AG, Bremen
 - ecco ecology + communication Unternehmensberatung GmbH, Oldenburg
 - Eco-Counter GmbH, Köln
 - Oldenburgische Industrie- und Handelskammer IHK, Oldenburg
 - Technologie- und Gründerzentrum TGO, Oldenburg
 - tippingpoints GmbH, Bonn
 - Velovend.net, Hamburg
 - worldiety GmbH, Oldenburg

² <https://buengerlabor.ihjo.de/ecosense>

³ <https://www.movebis.org/>

⁴ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/smartradl.html>

- davon u.a. aus Wissenschaft und Forschung:
 - Human-Computer Interaction Group, Universität Hannover, Hannover
 - Human Factors Consult, Berlin
 - Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion, TU Braunschweig, Braunschweig
 - OFFIS Institut für Informatik e.V., Oldenburg
 - Zentrum für Recht in der Informationsgesellschaft (ZRI), Universität Oldenburg, Oldenburg

- davon u.a. aus Kommunen:
 - Landkreis Cloppenburg, Cloppenburg
 - Stadt Bad Vilbel, Bad Vilbel
 - Stadt Gifhorn, Gifhorn
 - Stadt Göttingen, Göttingen
 - Stadt Oldenburg, Oldenburg
 - Stadt Rotenburg/Wümme, Rotenburg/Wümme

- davon u.a. aus Netzwerken und Vereinen
 - ADFC Niedersachsen e.V., Hannover
 - ADFC Oldenburg e.V., Oldenburg
 - Innovative Hochschule Jade-Oldenburg (IHJO), Oldenburg
 - Metropolregion Nordwest e.V., Delmenhorst
 - MoWiN.net (Mobilitätswirtschaft Nordhessen Netzwerk), Kassel
 - Oldenburger Energiecluster OLEC e.V., Oldenburg

2. Eingehende Darstellung

2.1 Projektvorgehen, Herausforderungen und Ergebnisse im Detail

Im Rahmen des Projekts wurden von den jeweiligen Projektpartnern folgende Aufgaben durchgeführt:

baron mobility service GmbH:

- Einrichtung des Projektmanagements
- Durchführung eines internen Workshops für die Definition der Anforderungen an die zu entwickelnden Sensoren
- Erstellung von Nutzungsbedingungen und Datenschutzerklärungen
- Durchführung von Öffentlichkeitsarbeit wie die Erstellung einer Webseite, eines Flyers und Pressemitteilung
- Vorbereitung und Durchführung eines Workshops mit assoziierten Partnern
- Anwerbung von Probanden
- Probandenauswahl für die erste und zweite Erhebungsperiode
- Organisation und Durchführung der Sensorübergabe und Rückgabe an die erste Probandengruppe in Zusammenarbeit mit CoSynth
- Organisation der Sensorübergabe an Gruppe 2
- Absage der Sensorübergabe an Gruppe 2
- Erstellung einer Projektbroschüre für Probanden, assoziierte Partner und interessierte Öffentlichkeit
- Organisation einer Abschlussveranstaltung als Webkonferenz

CoSynth GmbH & Co.KG

- Auswahl von geeigneten Komponenten und Lieferanten für die Sensoren
- Spezifikation und Layout der Sensorplatine
- Entwicklung der Software zur Datenerfassung und Speicherung
- Herstellung von 200 Sensoren
- Durchführung der Sensorübergabe und Rückgabe an die erste Probandengruppe und für die zweite Erhebung im reduzierten Teilnehmerkreis
- Aufbereitung der Sensoren nach der ersten Erhebungsperiode
- Bereitstellung der Daten auf SD-Karte

Universität Oldenburg - Abteilung Wirtschaftsinformatik (VLBA)

- Methodenentwicklung zur Datenanalyse
- Konzeption und Installation einer Datenbank (inkl. Datenmodelle)
- Einlesen der Daten
- Sicherung der Rohdaten
- Entschlüsselung der Rohdaten
- Integration der Daten
- Konzeption von Data Products in den Analysebereichen
- Umsetzung der Data Products (Datenanalyse)
- Bereitstellung der Ergebnisse auf einer Webseite

- Einlesen der erfassten Datensätze
- Finalisieren der Datenanalyse
- Dokumentation von Schäden durch Fotos und GPS-Daten

Folgende Aufgaben konnten aufgrund der Corona-Pandemie nicht durchgeführt werden:

- Sensorübergabe und -rückgabe an Gruppe 2
- Durchführung einer Abschlussveranstaltung als physisches Treffen
- Durchführung einer Informationsveranstaltung für Bürgerinnen und Bürger in Zusammenarbeit mit dem Bürgerlabor der IHJO als physisches Treffen
- Präsentationen von wissenschaftlichen Beiträgen auf Konferenzen und Fachtagungen (z.T. als Online Format durchgeführt)

Im Folgenden werden das Vorgehen und die erreichten Ergebnisse im Detail erläutert.

2.1.1 Die Sensorentwicklung

Vorgehen

Für das Projekt war im Antrag ein mobiler Sensor zur Messung von Erschütterung, ausgewählten Umweltdaten, Geschwindigkeit und Position als Mindestanforderung definiert worden. Die abschließende Spezifikation sollte zu Beginn des Projekts erfolgen. Da der Zeitrahmen mit wenigen Monaten Projektlaufzeit recht knapp bemessen war, schließlich sollten Entwicklung, Produktion und mehrfache Messkampagnen in diesem Zeitraum erfolgen, musste möglichst früh mit den ersten Schritten begonnen werden. Die Entwicklung war dazu in mehrere Schritte aufgegliedert worden. Zu Beginn stand der Test der Komponenten auf Basis von verfügbaren Evaluationskits an, anschließend das Designen der eigenen Hardware und die Umsetzung der Softwarelösung von dem kommerziellen Boards auf die Eigenentwicklung. Schließlich erfolgte die Produktion von 200 Sensoren und die Vorbereitung für die Messungen.

Analyse der Evaluationskits und Spezifikation der eigenen Hardware

Mit der Evaluation der sicher erforderlichen Sensorkomponenten wurde bereits kurz nach Beginn des Projekts angefangen. Da zu diesem Zeitpunkt noch nicht feststand, wie die Daten vom Sensor in die zentrale Datenbank gelangen würden, mussten auch verschiedene Konzepte der Datenübertragung evaluiert werden. Daher stand als erstes die Wahl des zentralen Mikrocontrollers fest. Der ESP32 bietet Bluetooth und WLAN und ist in leicht integrierbaren Modulen erhältlich. Als Entwicklungsumgebung ist Arduino erhältlich, was für kompakte, nicht zu komplexe Projekte einen schnellen Zugang zur Plattform ermöglicht. Auch das ausgesuchte GPS-Modul von uBlox ist einfach zu integrieren. Nach Abwägung von Preis und Leistung wurde das SAM-8-Modul mit integrierter Antenne gewählt. Sehr kompakte, gleichzeitig aber auch funktionsreiche Sensoren für Erschütterung und Umweltdaten sind von Bosch erhältlich. Daher wurden beide weiteren Sensoren aus dieser Familie gewählt. Für alle Sensoren wurde ein Evaluationskit mit dem Testkit des ESP32 verbunden und mit einer

einfachen Software ausgestattet, um die wesentlichen Funktionen zu testen und für die weitere Nutzung im Zielsystem umzusetzen.

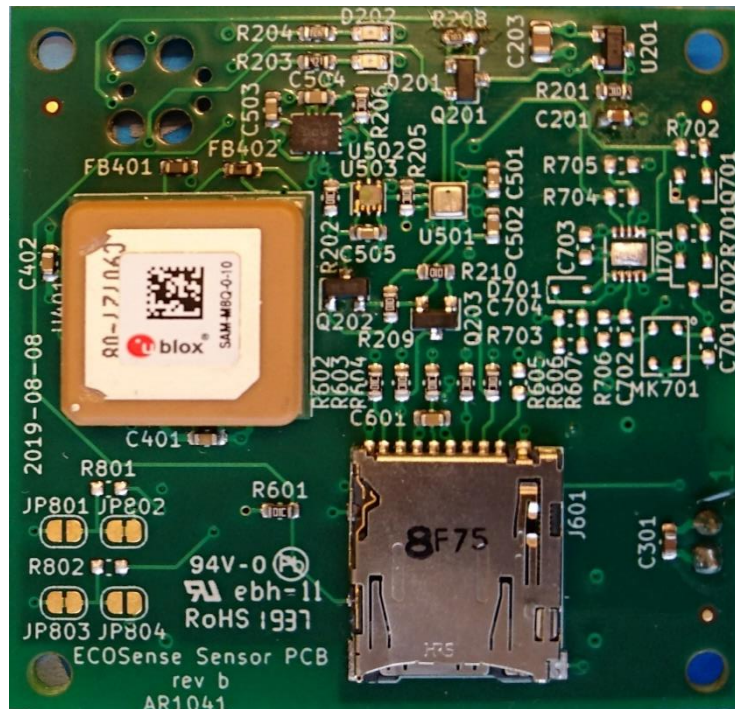


Abbildung 1: Platine, von der Sensorseite gesehen

Parallel dazu wurde in einigen Spezifikationsdiskussionen über den genaueren Umfang und weitere mögliche Sensoren gesprochen. Ziel war eine ausreichend lange Messdauer von 4-8 Wochen Gesamtdauer und 100-150 Stunden aktive Messung. Die Unterscheidung von aktiver Zeit und Standby ist sehr wichtig, da der Sensor während der Messung vergleichsweise viel Energie benötigt, während im Standby der Energieverbrauch möglichst weit Richtung Null getrieben werden sollte, um die entsprechende Standbyzeit zu erreichen. Mit einer prognostizierten Stromaufnahme von 50-100mA im aktiven und <1mA im Standby-Modus wurde die Akkukapazität auf mindestens 10Ah festgelegt, da eine Auflademöglichkeit aufgrund verschiedener Probleme verworfen wurde. Neben den zusätzlichen Kosten war insbesondere die geplante Befestigung der Sensoren ein Hindernis für eine geregelte Auflademöglichkeit. Die Sensoren sollten sehr fest und entsprechend verkehrssicher am Fahrrad angebracht werden. Zudem würden Positionsänderungen während der Messphase zu schwieriger auswertbaren Daten führen. Daher sollte, soweit möglich, die Akkuladung für eine vollständige Messkampagne reichen.

Weitere gewünschte Sensoren waren Feinstaub- und NOx-Sensoren, Lärmsensoren und Abstandssensoren. Die Feinstaub- und Gassensoren wurden wegen Baugröße, sehr aufwändiger Gehäuseanforderungen und/oder hohen Energiebedarfs nicht umgesetzt. Bei den Abstandssensoren war auch aufgrund der schwierigen Gehäuseanforderungen und einer noch nicht geklärten Anbringung an den unterschiedlichen Fahrradtypen eine Umsetzung nicht möglich. Lediglich die Lärmsensoren wurden in den ersten Hardwareprototypen mit aufgenommen. Zusätzlich wurde ein Helligkeitssensor integriert und als weiterer Test für die Datenübertragung ein LoRAWAN-Modul integriert.

Erster Prototyp und Gehäusedesign

Der erste Prototyp wurde in sehr kleiner Zahl produziert, nachdem alle Sensoren auf die eigene Platine designed wurden. Vor allem der Lärmsensor zeigte unerwartet hohe Anforderungen, da ein normales Mikrofon mit dauerhafter Aufzeichnung der Umgebungsgeräusche aus Datenschutzgründen ausgeschlossen war. Leider war die für diese Zwecke umgesetzte Schaltung nicht ausreichend sensitiv auf die Lärmpegel und der Sensor konnte nicht für den vorgesehenen Zweck genutzt werden. Aus Zeitmangel konnte auch keine alternative Schaltung umgesetzt werden, so dass der Lärmsensor im finalen Design fehlt. Alle anderen Komponenten konnten erfolgreich aktiviert und genutzt werden, wobei sich einige Schwierigkeiten bei der konkreten Umsetzung der weiteren Anforderungen ergaben. Die Speicherung der Daten auf der nun integrierten SD-Karte sollte verschlüsselt erfolgen, was durch die im ESP32 integrierte Hardware-Verschlüsselung möglich wurde. Allerdings ergaben sich daraus später noch Probleme. Ebenfalls problematisch war das Aufspielen der Firmware auf den ESP32, was glücklicherweise durch eine minimale Korrektur des Hardwaredesigns gelöst werden konnte. Schließlich erforderte die energiesparende Arbeitsweise einige Optimierungen, um in die erwarteten Verbrauchsregionen zu kommen.

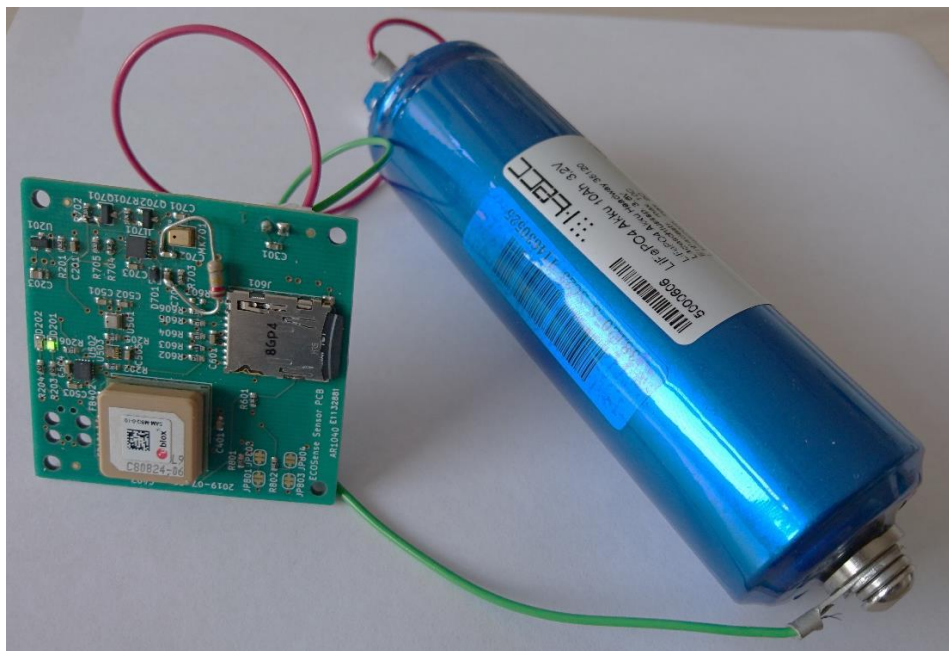


Abbildung 2: Erster Prototyp mit alternativer Batterieform

Da mit Fertigstellung der ersten Prototypen auch das finale Design der Platinen und damit auch die Dimensionen feststanden, konnte nun die Gehäusefrage geklärt werden. Ein eigenes Gehäuse war aus Kosten- und Zeitgründen nicht möglich, weshalb auf existierende Plastikgehäuse zurückgegriffen wurde. Der Akku war inzwischen auf einen 10Ah-Lithium-Eisen-Phosphat-Akku festgelegt worden. Dieser ist deutlich sicherer als andere Lithium-Akkus und kaum größer und schwerer. Zudem bietet er eine deutlich stabilere Spannung über den gesamten Verbrauchszeitraum und ist nicht so anfällig für Tiefentladung, die bei fortgesetztem Betrieb des Sensors entstehen kann. Batterie und Sensor benötigen einen Bauraum von mindestens $150 \times 50 \times 25 \text{ mm}^3$, das Gehäuse sollte auch nicht unnötig viel größer werden. Allerdings zeigte es sich, dass viele Gehäuse ungünstig positionierte Befestigungspunkte oder

zu breite Ränder oder Verschraubungen hatten, was zum Teil zu mehr als der doppelten Größe des Gehäuses führte. Schließlich konnte noch ein Gehäuse gefunden werden, das nur wenig mehr Platz erforderte, als ohnehin nötig. Das stabile ABS-Gehäuse konnte auch gut mit der vorgesehenen Klettband-Befestigung kombiniert werden. Lediglich der Helligkeitssensor war durch den undurchsichtigen Deckel nicht mehr nutzbar. Da die Akkus nicht in ausreichender Zahl in Europa verfügbar waren, musste eine Direktbestellung in China durchgeführt werden, die mit viel Glück auch noch rechtzeitig geliefert wurde – insbesondere da die Platinenproduktion sich unerwartet verzögert hatte.

Herausforderungen

Mit der mechanischen Bearbeitung der Gehäuse und Integration und Installation der produzierten Platinen wurden über einen längeren Zeitraum hinweg die 200 Sensoren fertig gestellt. Einen wesentlichen Aufwand erzeugte zudem das Laden der Akkus, die jeweils in 6er-Packs über mehrere Stunden geladen werden mussten. Um mögliche Selbstentladung und Aktivitätszeiten ohne Messungen zu vermeiden, wurden die letzte Verbindung zum Schließen des Stromkreises und das Schließen des Gehäuses erst wenige Stunden vor Anbringung der Sensoren durchgeführt.

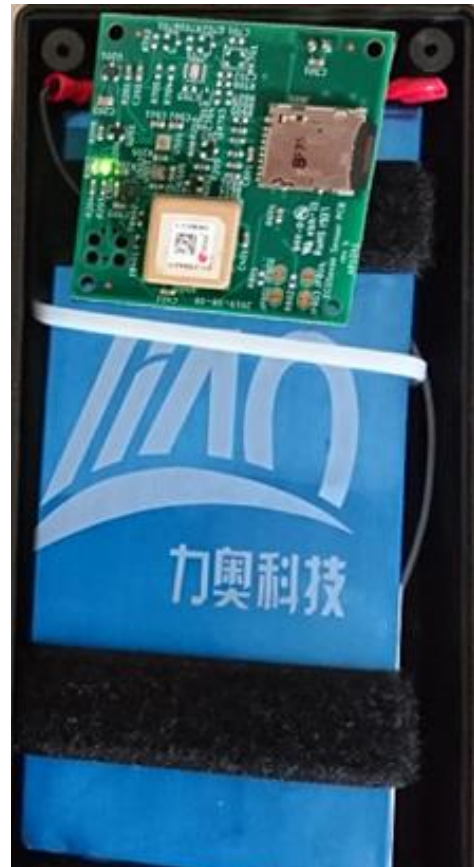


Abbildung 3: Sensor im Gehäuse fixiert, Deckel offen

Da noch keine bzw. nur sehr wenig Erfahrung mit der Anbringung der Sensoren an unterschiedlichen Fahrradtypen gesammelt worden war, wurde die gesamte Ausgabe und Anbringung der Sensoren an allen 200 Rädern der ersten Messphase begleitet und die Anbringung größtenteils durch CoSynth durchgeführt. Die Ergebnisse waren sehr gut, sowohl was die Stabilität der Befestigung als auch die Flexibilität bei unterschiedlichen Rahmentypen und Anbringungsorten angeht. Nur bei einigen wenigen Rahmen wurde auf das Moosgummi-Polster verzichtet, um besonders dicke Rohre als Befestigungsort nutzen zu können. Die Klettbänder waren ansonsten auf maximal 8 cm Rohrdurchmesser ausgelegt. Während der gesamten Messungen ist kein Sensor ungewollt abgefallen oder wesentlich verrutscht. Einige Sensoren waren noch einmal nachbefestigt worden, was aber dank der Klettbänder auch für die Teilnehmer selbst problemlos möglich war.

Da die Entwicklung der Sensor-Software auf dem eingebauten Controller und die Fertigstellung der Sensoren parallel verliefen, gab es eine sehr dynamische Entwicklung gerade um den Zeitpunkt der Fertigstellung und der ersten Auslieferung der Sensoren. Hierbei fielen einige Probleme erst im Betrieb oder sogar erst nach der Messkampagne auf. Für alle Probleme konnte aber, zumindest im Nachhinein, eine Lösung gefunden werden und somit eine sichere Nutzung des Sensors, zumindest für spätere Einsatzzwecke, sichergestellt werden, ohne auf ein neues Hardwaredesign angewiesen zu sein.

Die gefundenen Probleme betrafen alle wesentlichen Bereiche des Sensors, genauer die Datenaufnahme, die Datenspeicherung und die Laufzeit des Sensors. Das erste Problem, das bereits am Tag der ersten Sensorausgabe aufgefallen war und auch direkt korrigiert werden konnte, betraf die Speicherung der Daten auf der SD-Karte. Durch eine fehlende Anpassung der Software an die größere Anzahl Datenpunkte, die kurzfristig in den Datensatz ergänzt worden waren, wurden die verschlüsselten Daten unvollständig und somit nicht mehr entschlüsselbar abgespeichert. Dies führte zu einem zwingenden Austausch der Sensoren vom ersten Ausgabetag, was entsprechend an die Teilnehmer kommuniziert und in den folgenden Wochen durchgeführt wurde. Da weitere Tests keine Auffälligkeiten zeigten, wurden weitere Optimierungen zugunsten der arbeitsintensiven Verteilung der Sensoren auf die Zeit zwischen den beiden Messkampagnen vertagt.

Hier fiel dann relativ schnell auf, dass die gesammelten Daten vergleichsweise selten GPS-Daten enthielten und die Batterielaufzeit deutlich geringer ausgefallen war, als die früheren Tests und Hochrechnungen versprochen hatten. Auch die Analyse und Behebung dieser Probleme erforderte sehr viel mehr Zeit als geplant. Beim GPS musste zuerst getestet werden, ob Gehäuse oder Platine Auswirkungen auf die Datenerfassung haben. Schließlich konnte aber gezeigt werden, dass die Plastikgehäuse keinen Einfluss auf den GPS-Empfang haben und der Platinenentwurf sogar bessere Ergebnisse liefert, als das für Tests genutzte Entwicklungsboard für den GPS-Empfänger. Allerdings konnte durch die parallel durchgeführten Arbeiten am Standby-Mode des GPS-Systems eine einfachere, aber effektivere Abschaltung des GPS-Empfängers entwickelt werden. Da mit dieser Variante auch der GPS-Empfang deutlich besser war, steht zu vermuten, dass in der vorherigen Konfiguration nicht nur der GPS-Empfänger in kurzen Abständen regelmäßig aufwachte, sondern auch der GPS-Empfang zu schwach ausfiel und daher bei den meisten Messungen keine Chance bestand, auch nur einen ersten GPS-Fix zu bekommen. Letztlich behinderten sich unterschiedliche Stromspar-Einstellungen und verhinderten sowohl den GPS-Empfang als auch eine brauchbare Batterielaufzeit. Nach einigen weiteren kleinen Verbesserungen konnte eine Konfiguration gefunden werden, die in fast allen Situationen in der Lage ist, GPS-Daten aufzunehmen. Die Batterielaufzeit erreicht inzwischen deutlich über 100 Stunden aktive Aufnahmezeit und eine kaum messbare Stromaufnahme während der Ruhephasen, was mehrere Monate Standby ermöglichen sollte. Während der Testmessungen in der zweiten Messphase wurde dann noch ein weiterer Fehler bei Langzeitmessungen identifiziert, bei dem Messungen länger als ca. eine Stunde nicht auf der SD-Karte gesichert wurden. Nach der Korrektur auch dieses Fehlers liefen alle folgenden Messungen korrekt und fehlerfrei durch.

Ergebnisse

Im Projektverlauf wurden insgesamt 220 Sensoren hergestellt, die außer den zwei gestohlenen Sensoren einwandfrei funktionieren. Mit der aktuellen Hard- und Software erreicht der Sensor über 100 Stunden aktive Messzeit, sowohl am Stück oder in beliebig vielen Teilmessungen mit zwischenzeitlichem Standby. Bei nicht zu stark abgeschirmter Anbringung zeichnet der Sensor nahezu durchgängig GPS-Daten auf. Alle anderen Daten werden immer vollständig erfasst und auf die SD-Karte geschrieben. Er erfüllt damit alle zu Beginn gesetzten Anforderungen. Die Handhabung des Sensors (Aufladen, Gehäuse, Datenzugang) sind ausreichend gut für einen Sensor im Prototypenstadium.

2.1.2 Öffentlichkeitsarbeit, Probandenakquise und Organisation der Datenerhebung

Vorgehen

Im Verantwortungsbereich der baron mobility service GmbH lag die Organisation und Durchführung der Öffentlichkeitsarbeit, der Probandenakquise und der Datenerhebung. Um die Grundlage für die Öffentlichkeitsarbeit und die Probandenakquise zu legen, wurden als erstes ein Projektflyer sowie eine Projektwebseite erstellt. Damit sollte sichergestellt werden, dass sich interessierte Bürgerinnen und Bürger über das Projekt informieren können. Auch die Möglichkeit sich für die Teilnahme am Projekt zu registrieren, wurde über die Webseite bereitgestellt. Bevor die eigentliche Registrierung und Probandenanwerbung beginnen konnte, musste jedoch ein Datenschutzkonzept entwickelt werden. Dazu wurde im engen Kontakt mit dem Zentrum für Recht in der Informationsgesellschaft ein Konzept entwickelt. Anschließend wurden verschiedene Datenschutzerklärungen für die Sensordatenerfassung, die Verarbeitung und Speicherung der Vertragsdaten sowie für das Gewinnspiel erstellt. Für die Registrierung zur Projektteilnahme war es ebenfalls notwendig einen Teilnehmervertrag und die Teilnahmebedingungen für das Gewinnspiel zu verfassen. Im letzten Schritt wurden die Dokumente final mit dem Datenschutzmanagement (DSM) der Universität Oldenburg abgestimmt.

Anwerbung und Auswahl von Probandeninnen und Probanden

Als nächster Schritt wurden Kriterien für die Probandenauswahl im Falle von mehr als 400 Registrierungen definiert. Um eine möglichst repräsentative Probandengruppe zusammenzustellen, wurde dabei nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Geschlecht
- Altersgruppe
- Postleitzahl
- Häufigkeit der Radnutzung

Mit der Festlegung der Kriterien waren die Vorbereitungen für die Probandenakquise abgeschlossen und die Anmeldemöglichkeit konnte auf der Webseite freigeschaltet werden. Bürgerinnen und Bürger, die sich für die Teilnahme registrierten, mussten den Teilnehmervertrag sowie die Datenschutzerklärung für die Verarbeitung der Sensor- und der Vertragsdaten akzeptieren. Optional konnte durch Bestätigung der Teilnahmebedingungen und der entsprechenden Datenschutzerklärung auch an einem Gewinnspiel teilgenommen werden, bei dem Helme, Fahrradschlösser und Fahrradtaschen verlost wurden. Um einen Anreiz zur zeitnahen Anmeldung zu setzen, war die Gewinnspielteilnahme jedoch nur bei einer Registrierung bis zum 15. November 2019 möglich.

Zeitgleich mit der Einrichtung der Anmeldung wurde mit der aktiven Probandenanwerbung und der Öffentlichkeitsarbeit begonnen. Um dabei möglichst die breite Bevölkerung zu erreichen, wurde die Möglichkeit zur Projektteilnahme über verschiedene Kanäle kommuniziert. Besonders viel Aufmerksamkeit erzeugte in diesem Zusammenhang die

Berichterstattung der lokalen Tageszeitung Nordwest-Zeitung (NWZ)⁵, wodurch viele Bürgerinnen und Bürger zur Teilnahme motiviert wurden. Die Projektteilnahme wurde ebenfalls über verschiedene Social Media Kanäle, den ADFC Oldenburg, den Bürgerbrief der Stadt Oldenburg, die Bürgervereine und verschiedene Netzwerkpartner wie beispielsweise dem Oldenburger Energiecluster (OLEC)⁶ beworben. Die ECOSense Flyer wurden zudem bei der Critical Mass verteilt. Die Citizen Science Initiative "BürgerLabor" der Innovativen Hochschule Jade-Oldenburg (IHJO) richtete eine Informationsseite ein, auf der eine Umfrage zum Projekt eingebunden war.⁷

Nach einer Woche hatten sich bereits mehrere hundert Teilnehmende registriert. Zum Ende des Registrierungszeitraums lagen über 520 Anmeldungen vor, sodass eine Auswahl auf Grundlage der definierten Kriterien durchgeführt wurde. Die genaue Zusammensetzung der Probandengruppe wird unter *Ergebnisse* im Detail erläutert. Die ausgewählten Bürgerinnen und Bürger wurden anschließend über ihre Projektteilnahme informiert.

Innovationsworkshop

Im Herbst 2019 fand, etwa zeitgleich zum Beginn der Probandenakquise, der Innovationsworkshop mit den assoziierten Partnern des Projekts ECOSense statt, mit dem externe Stakeholder in die Entwicklung und Umsetzung des Projekts einbezogen wurden. Mit etwa 40 Vertretern aus Kommunen, Verkehrsplanung, Wirtschaft und Forschung wurde ein gemeinsamer Workshop durchgeführt, in dem der ECOSense-Ansatz diskutiert und weiterer Forschungsbedarf identifiziert wurde. Die Erfassung von Radverkehrsdaten mit einem am Fahrrad angebrachten Sensor stieß dabei auf großes Interesse. In zwei Workshop-Formaten wurde der ECOSense-Ansatz von externen Experten kritisch bewertet. Zudem wurden Ideen für weitere Fahrradsensor-Anwendungen gesammelt. Es stellte sich heraus, dass seitens der Experten verstärktes Interesse besteht, mehr über Parkorte und -zeiten sowie Zeitverluste beim Radfahren durch die Stadt zu erfahren, weil z.B. Ampeln häufig dem motorisierten Verkehr Vorrang einräumen. Es wurde außerdem angeregt, die Erhebung auf das Frühjahr auszuweiten, da die Daten dann möglicherweise repräsentativer sind, denn Messungen im Radverkehr finden normalerweise im Frühjahr und Sommer statt. Somit sei die Vergleichbarkeit der Daten schwierig. Da der Erhebungszeitraum durch den Zeitpunkt der Bewilligung des Projekts abhängig war, hatte das Projektteam jedoch keine Möglichkeit den Zeitraum durch eine weitere Verlängerung auf die Sommermonate zu verschieben.

Organisation und Durchführung der Sensorübergabe und -rücknahme

Die Buchung eines Übergabetermins für den Sensor erfolgte über ein webbasiertes Terminbuchungstool. Die Teilnehmenden mussten jedoch mit der Terminbuchung warten, bis die Sensorentwicklung weitgehend abgeschlossen war, da es vorher nicht möglich war abzusehen, wann die ersten Sensoren ausgegeben werden konnten. Für die Protokollierung der Sensorübergabe und -rückgabe wurde ein Übergabeprotokoll entworfen. Dieses war so designed, dass der obere Teil mit allgemeinen Daten zum Fahrrad, der Sensornummer sowie

⁵ https://www.nwzonline.de/oldenburg/wirtschaft/oldenburg-testfahrer-in-oldenburg-gesucht-sensoren-zeigen-schwachstellen-beim-radfahren_a_50,6,132907604.html

⁶ https://www.energiecluster.de/en/archiv/news/44_ecosense-516

⁷ <https://buergerlabor.ihjo.de/ecosense>

Angaben zur Position und Anbringung des Sensors ausgefüllt wurde. Dieser Teil des Übergabeprotokolls wurde nach Sensorrückgabe an CoSynth übergeben, die auf das Protokoll den dazugehörigen Sensor klebten. Das Protokoll wurde anschließend der VLBA der Universität Oldenburg bereitgestellt, die die Daten analysierte. Der untere Teil des Übergabeprotokolls enthielt den Namen des Teilnehmenden sowie die Unterschriften für die Übergabe und Rückgabe des Sensors. Dieser Teil des Übergabeprotokolls blieb bei der baron mobility service GmbH, sodass die Projektpartner CoSynth und VLBA keinen Zugriff auf die personengebundenen Daten hatten. Zusätzlich pflegte baron die Daten der Teilnehmenden und die Sensornummer in einer Tabelle ein, sodass es nur für baron möglich war eine Zuordnung der Sensoren zu den Teilnehmenden durchzuführen. Gleichzeitig hatte baron aber keinen Zugriff auf die Rohdaten der Fahrradsensorik, da die SD-Karten nach der Datenerhebung von der Universität ausgelesen wurden.



Abbildung 4: Beispielhafte Anbringung eines Sensors

Die Sensoren wurden zwischen Ende November und Mitte Dezember 2019 an die erste Probandengruppe ausgegeben und zwischen Ende Januar und Mitte Februar 2020 wieder eingesammelt. Die Anbringung der Sensoren erfolgte innerhalb weniger Minuten und konnte in den meisten Fällen problemlos durchgeführt werden. Während der gesamten Projektlaufzeit wurden zwei Fahrräder von teilnehmenden Bürgerinnen und Bürgern gestohlen, die mit der Sensorik ausgestattet waren.

Die zweite Erhebungsperiode

Aufgrund des Überarbeitungsbedarfs der Sensoren konnte nicht gleich im Anschluss mit der Organisation der Sensorübergabe an die zweite Probandengruppe begonnen werden. Die Behebung der aufgetretenen Probleme war jedoch im März weitgehend abgeschlossen, sodass mit der Organisation der zweiten Erhebungsrunde begonnen wurde. Zu dieser Zeit breitete sich allerdings das SARS-Cov-2 Virus in Deutschland aus, weswegen die Erhebung eine Woche vor Beginn der Sensorübergabe abgesagt werden musste. Das Projektteam konnte zu diesem Zeitpunkt keine sichere Übergabe der Sensoren an die 200 Bürgerinnen und Bürger garantieren, weshalb stattdessen eine Erhebung im kleinen Rahmen innerhalb des Projektteams und dem Projekt nahestehenden Personen durchgeführt wurde. Da das

Projekt aufgrund der Corona-Pandemie bis August 2020 verlängert wurde, wurden die Sensoren noch bis Ende Juli 2020 eingesetzt. Im Gegensatz zur ersten Erhebungsrunde wurden dabei mehrere Sensoren pro Fahrrad angebracht, um die Datenverfügbarkeit weiter zu erhöhen. Damit konnten doch noch Daten in den Sommermonaten erhoben werden.

Aufgrund der Corona-Pandemie konnte die geplante Abschlussveranstaltung nicht als physisches Treffen stattfinden. Stattdessen wurde in Absprache mit dem Projektträger eine Abschlussbroschüre erstellt, um die breite Öffentlichkeit über die Projektergebnisse informieren zu können. Für die abschließende Evaluation wurde eine Umfrage unter allen Angemeldeten für das Projekt durchgeführt. Die Ergebnisse wurden ebenfalls in der Projektbroschüre veröffentlicht und zusätzlich im Rahmen einer webbasierten Veranstaltung den interessierten Bürgerinnen und Bürgern sowie den assoziierten Partnern vorgestellt.

Herausforderungen

Die größte Herausforderung bestand in der Erstellung des Datenschutzkonzeptes sowie der Datenschutzerklärungen insbesondere in Anbetracht des sehr ambitionierten Zeitplans. Die praktische Umsetzung der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) im Forschungsbereich war im Jahr 2019 noch in Klärung, weshalb eine eigene Erarbeitung der Rechtslage in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Recht der Informationsgesellschaft der Universität Oldenburg erfolgte. Im Projektplan war keine Zeit für die Erarbeitung eines Datenschutzkonzeptes vorgesehen. Dieses hat jedoch insgesamt über einen Monat in Anspruch genommen, sodass es eine Verzögerung bei allen folgenden Aufgaben gab. Da aber auch die Sensorentwicklung länger als ursprünglich geplant dauerte, kam es zu keiner weiteren Verzögerung im Projektablauf.

Eine weitere Herausforderung betraf die Sensorübergabe an 200 Bürgerinnen und Bürger. Diese lief meist reibungslos ab, jedoch gab es immer wieder Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die zu spät oder teilweise gar nicht zu den gebuchten Terminen erschienen sind. Das führte zu einer Verzögerung bei der Durchführung der Sensorübergaben, hatte aber keinen weitreichenden Einfluss auf den Projektablauf.

Der Umgang mit der Corona-Pandemie war ebenfalls herausfordernd und führte zu zahlreichen Änderungen im Projekt. So musste die komplette zweite Erhebungsrunde kurzfristig abgesagt und ein alternatives Vorgehen entwickelt werden. Veranstaltungen konnten nur noch online durchgeführt werden.

Ergebnisse

Struktur der Teilnehmenden

Insgesamt waren zum Ende des Projekts 523 Bürgerinnen und Bürger zur Projektteilnahme registriert. Die meisten Anmeldungen gab es in den Altersgruppen 26 - 35 Jahre mit 131 Anmeldungen (25 Prozent) und 46 - 55 Jahre (24,5 Prozent). Etwa 18 Prozent der Angemeldeten waren 36 - 45 Jahre alt. Insgesamt 131 Angemeldete waren 56 Jahre oder älter, was einem Viertel der Anmeldungen entspricht. Mit 7,3 Prozent kamen die wenigsten Anmeldungen aus der Altersgruppe der jungen Erwachsenen (18 - 25 Jahre). Insgesamt war damit etwa die Hälfte der Angemeldeten 45 Jahre oder jünger bzw. 46 Jahre oder älter. Damit konnte das Ziel, möglichst alle Altersgruppen mit dem Projektansatz anzusprechen, erreicht werden. Im Vergleich zur Altersverteilung mit der Stadt Oldenburg sind die Angemeldeten aus den Altersgruppen bis 65 Jahre über-repräsentiert, während die Altersgruppe ab 65 Jahre unterrepräsentiert ist. Im Vergleich zur Datenerfassung per Smartphone Apps [2] konnten somit eher ältere Bürgerinnen und Bürger erreicht werden.

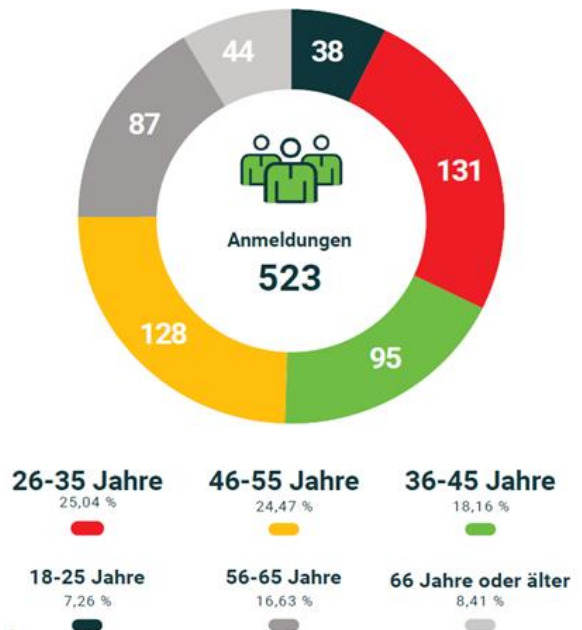


Abbildung 5: Anmeldungen nach Altersgruppen

Es wurde versucht die Bevölkerungsstruktur in den Stadtteilen Oldenburgs möglichst repräsentativ unter den Teilnehmenden widerzuspiegeln, um eine bestmögliche Abdeckung des Stadtgebiets zu erreichen. Als Indikator für den Wohnort der Teilnehmenden wurde die Postleitzahl verwendet. Bei vielen Postleitzahlen konnte eine Näherung bis auf wenige Prozentpunkte erreicht werden. Große Abweichungen gab es bei den Postleitzahlgebieten 26133 und 26135 sowie den Postleitzahlen 26129 und 26131, die im Projekt unter- bzw. überrepräsentiert waren. Eine genaue Darstellung der Teilnehmenden aus den einzelnen Postleitzahlgebiete ist in Abbildung 6 zu sehen.

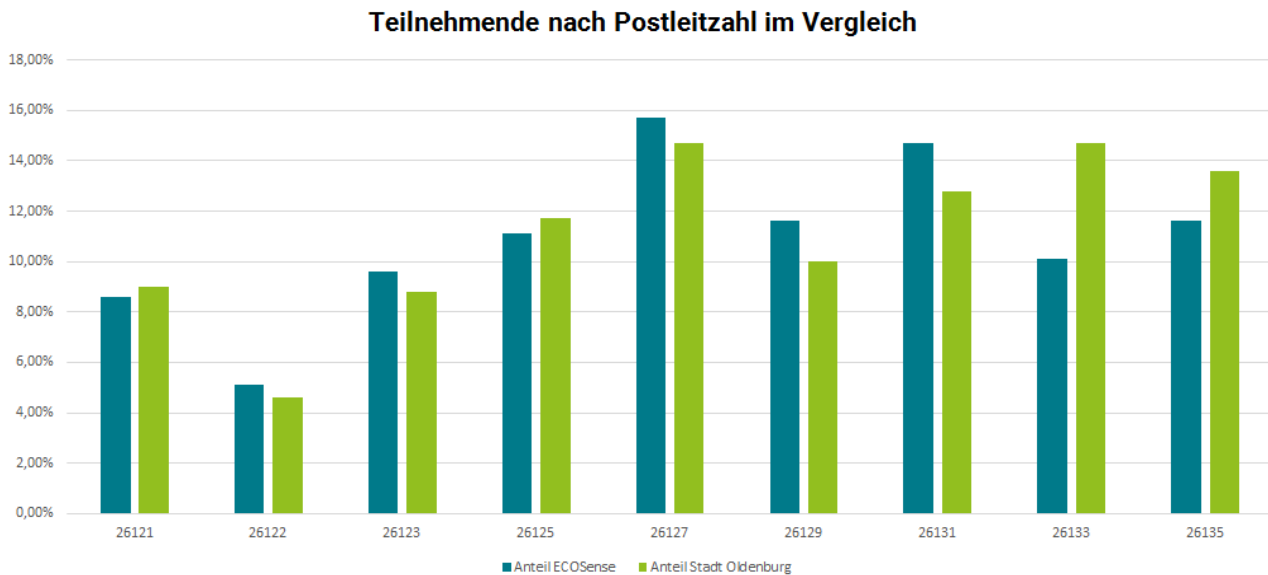


Abbildung 6: Teilnehmende nach Postleitzahl im Vergleich zur Stadt Oldenburg

Auswertung der Teilnehmerumfrage

Für die Evaluation des Projekts aus Sicht der angemeldeten Bürgerinnen und Bürger wurde gegen Ende der Projektlaufzeit eine Umfrage durchgeführt. Das Ziel der Umfrage bestand darin, Erkenntnisse insbesondere über die Beweggründe zur Anmeldung sowie über das Interesse an zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten zu gewinnen. Insgesamt haben 195 Bürgerinnen und Bürger die Umfrage beantwortet. Davon haben 63 Prozent tatsächlich am Projekt teilgenommen. 26 Prozent waren als Teilnehmende für die zweite Erhebung ausgewählt, welche abgesagt werden musste. 11 Prozent wurden entweder nicht als Teilnehmende ausgewählt oder hatten ihre Projektteilnahme abgesagt. Eine Übersicht über die Zusammensetzung der Umfrageteilnehmenden ist in Abb. 7 zu finden.

Die Beweggründe zur Teilnahme der Umfrageteilnehmenden waren insbesondere intrinsisch motiviert. So haben nahezu alle angegeben, dass ein wesentlicher Grund zur Teilnahme war, Kommunen bei der Planung von Radverkehrsmaßnahmen unterstützen zu können. Die Unterstützung eines regionalen Forschungsprojekts sowie sich als Bürgerin oder Bürger engagieren zu können, waren ebenfalls wichtige Beweggründe zur Teilnahme. Die Aussicht, Preise durch ein Gewinnspiel gewinnen zu können, motivierte hingegen die Wenigsten zur Anmeldung am Projekt. Die Antworten werden in Abbildung 8 dargestellt.

Für zukünftige Aktivitäten war es ebenfalls wichtig zu erfahren, über welche Kommunikationskanäle die Bürgerinnen und Bürger erreicht wurden. Dabei stellte sich heraus, dass insbesondere die Berichterstattung der regionalen Tageszeitung (Nordwest Zeitung) viel Aufmerksamkeit erzeugte und zahlreiche Bürgerinnen und Bürger zur Anmeldung motivierte. Weitere wichtige Kommunikationskanäle waren das soziale Umfeld (Familie und Freunde), Social Media, der ADFC Oldenburg, die Stadt Oldenburg sowie die Kommunikation der Universität Oldenburg und der Jade-Hochschule. Über die Webseite des Projekts und die Bürgervereine konnten nur wenige Teilnehmende angeworben werden. Eine detaillierte Darstellung der Umfrageergebnisse ist in Abb. 9 zu finden.

In welcher Form haben Sie am Projekt ECOSense teilgenommen?

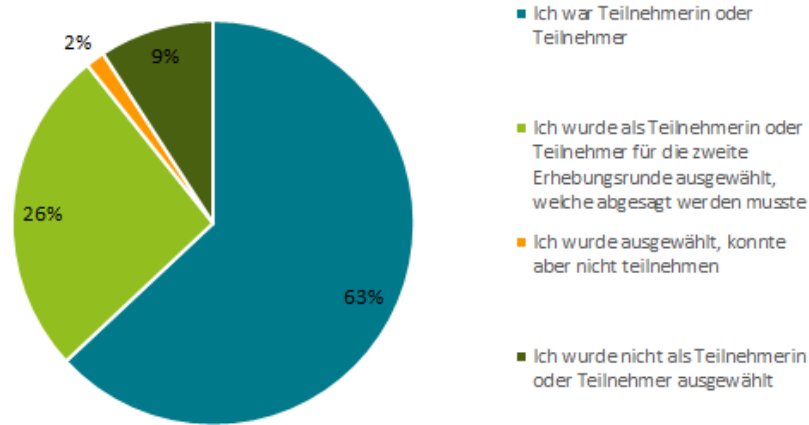


Abbildung 7: Struktur der Umfrageteilnehmenden

Aus welchem Grund haben Sie sich für eine Teilnahme am ECOSense-Projekt entschieden?

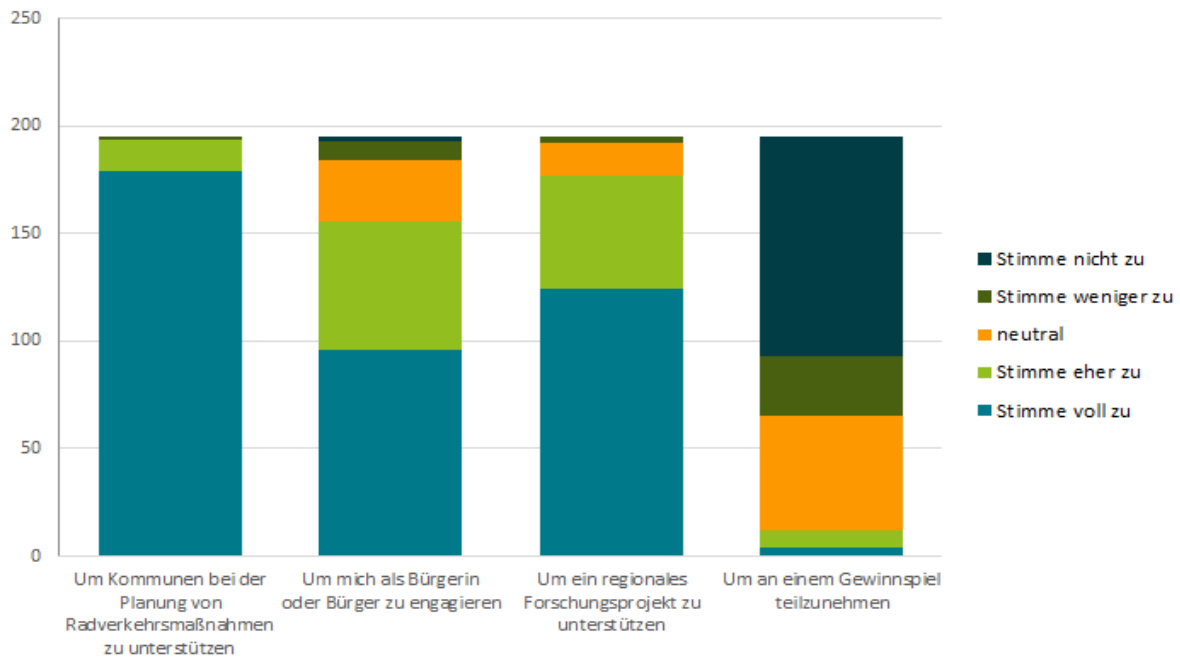


Abbildung 8: Gründe für die Projektteilnahme

Wie haben Sie von dem Projekt ECOSense erfahren?

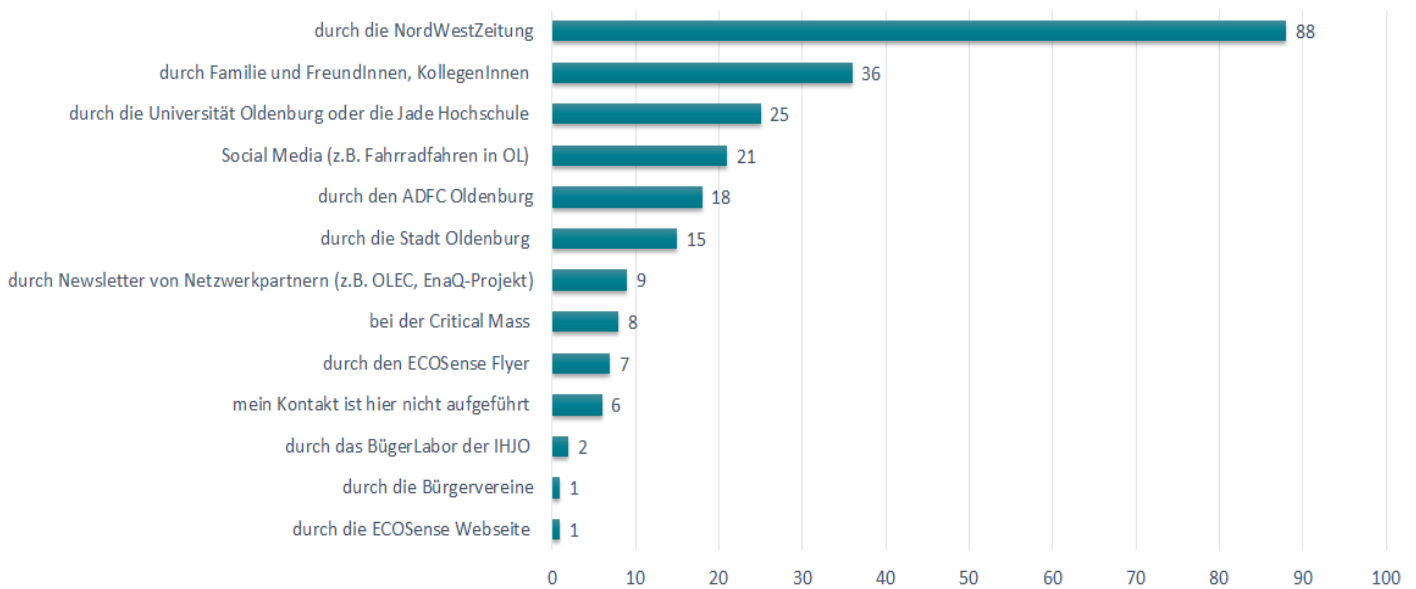


Abbildung 9: Kommunikationsmittel zur Erreichung der angemeldeten Bürgerinnen und Bürger

Zum Abschluss wurden die Umfrageteilnehmenden danach gefragt, aus welchen Gründen sie einen Sensor auch außerhalb eines Forschungsprojekts verwenden würden. Auch hier wurde die Möglichkeit, Kommunen bei der Planung von Radverkehrsmaßnahmen zu unterstützen, als wichtigster Grund genannt. Ebenfalls auf großes Interesse stieß die Möglichkeit, den Verkehrsfluss durch eine intelligente mit dem Sensor verbundene Ampelschaltung für Radfahrende zu verbessern. Gefahrenstellen über Knopfdruck melden zu können, die Möglichkeit das Fahrrad vor Diebstählen zu schützen sowie das Warnen von heranfahrenden Autofahrerinnen und Autofahrern waren mit jeweils über hundert Nennungen ebenfalls häufig genannte Gründe. Die eigenen Daten zu tracken bzw. auf einem Dashboard zu visualisieren waren mit 96 bzw. 69 Nennungen etwas weniger relevant für die Umfrageteilnehmenden. Als die am wenigsten motivierenden Gründe laut der Umfrage wurden Gamification-Ansätze und die Möglichkeit zur Gewinnspielteilnahme genannt, was mit den Ergebnissen zur Frage nach den Beweggründen zur Projektteilnahme übereinstimmt.

Die Gründe zur Nutzung eines Fahrradsensors außerhalb eines Forschungsprojekts geben wichtige Hinweise, wie eine langfristige Verankerung der Technologie erfolgen könnte. So spielt vor allem die Möglichkeit, Kommunen bei der Radverkehrsplanung zu unterstützen eine wichtige Rolle. Aber auch das schnellere Vorankommen mit dem Rad sowie die Möglichkeit, auf einfache Weise Gefahrenstellen zu melden, stoßen auf Interesse. Die Ergebnisse sind in Abb. 10 detailliert dargestellt.

Ich würde einen Fahrradsensor auch im Alltag nutzen, um (Mehrfachnennung möglich)

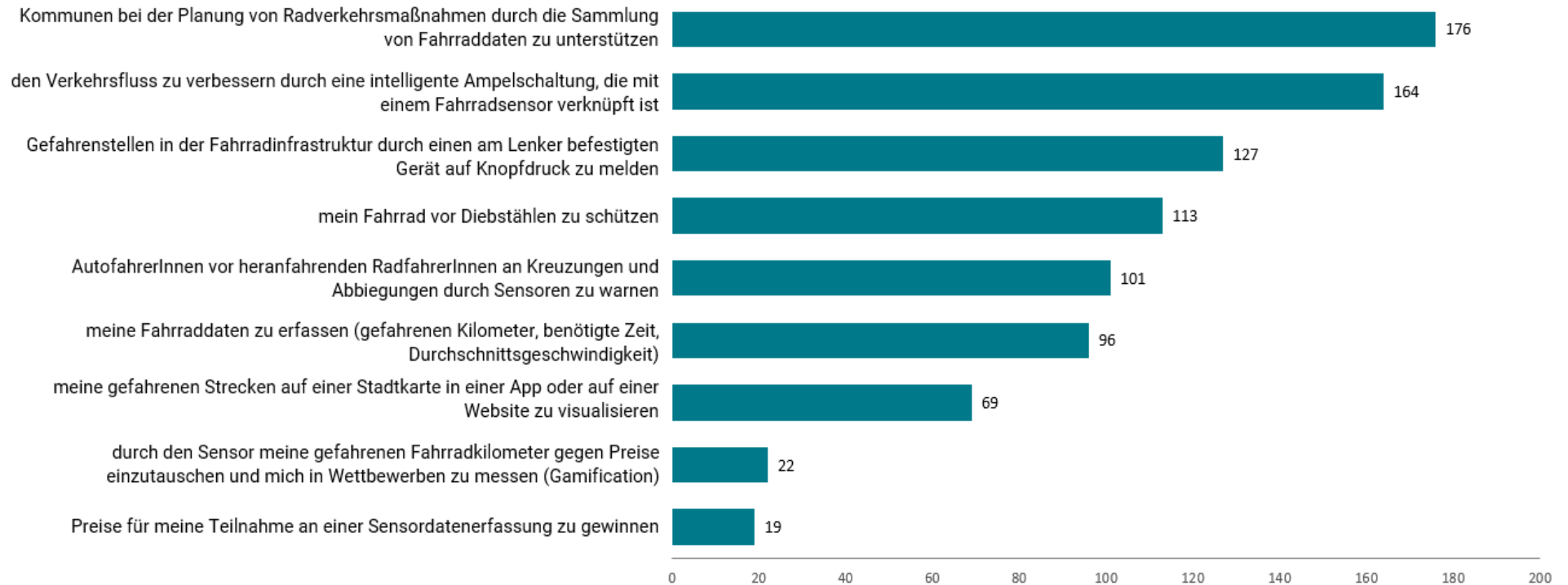


Abbildung 10: Anwendungsmöglichkeiten des Sensors aus Sicht der angemeldeten Bürgerinnen und Bürger

Aufgaben definiert werden, um den Prozess weiter zu optimieren. Nach erfolgreicher Evaluation wird das Deployment durchgeführt, ansonsten wird der Prozess von vorn durchlaufen.

Deployment: Sind alle fünf Phasen erfolgreich abgeschlossen folgt die letzte Phase des CRISP-DM. Hierbei wird eine Deployment-Strategie definiert und währenddessen überwacht. Danach wird ein Abschlussbericht verfasst und in einem Projektrückblick ein Erfahrungsbericht erstellt sowie Interviews durchgeführt.

Die Datenanalyse fokussierte sich im Wesentlichen auf die vier Analysedimensionen Umweltdaten, Verkehrssicherheit, Geo-/Streckendaten und Beschleunigungsdaten.

Vor der Datenauswertung mussten jedoch einige technische Aspekte beachtet werden. So wurde der Datenimport durchgeführt und ein geeignetes Datenmodell implementiert. Hierfür musste der Aufbau der Sensordaten beachtet werden. Das Datenbanksystem wurde in der Infrastruktur der Universität Oldenburg gehostet. Nachdem die Daten erfolgreich integriert wurden, konnte mit der explorativen Datenanalyse begonnen werden.

Deskriptive Statistik der erhobenen Daten:

Gesamtanzahl der Messwerte (davon mit GPS)	11.986.688 (1.555.556 bzw. ~12,9%)
Datenvolumen	Ca. 26 GB
Fahrten (gesamt)	13.838
Fahrten (mit GPS)	1.908
Routen mit Datendefekten	170
Auswertbare Routen	1738

Herausforderungen

- Datenschutz: Im Vorfeld der Datenanalyse musste ein Datenschutzkonzept erarbeitet werden. Dabei war die Herausforderung die eigentliche Rückverfolgung (z.B. zum Wohnort oder zur Arbeitsstätte) der Probanden zu anonymisieren. Diese wurde in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern abgestimmt.
- Daten: Unvollständige GPS Daten und Datendefekte
- Fahrrad-spezifische Eigenschaften (z.B. unterschiedliche Federung) mussten im Vorfeld der Analyse berücksichtigt werden

Ergebnisse

Welche Routen werden befahren und wie schnell wird durchschnittlich gefahren?

Die durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit konnte auf allen auswertbaren Routen (1738) berechnet werden. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

- Fahrten mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von < 5 km/h: 577
- Fahrten mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit zwischen 5 und 10 km/h: 559
- Fahrten mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von > 10 km/h: 602

Ferner wurde analysiert, welche Routen generell befahren werden und untersucht, ob es Routen gibt, auf denen eine besonders hohe Dichte an „schnellen“ oder „langsamen“ Fahrten festgestellt werden kann. Die Ergebnisse dazu sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Angemerkt werden muss dabei, dass bei der Visualisierung nur 1196 Routen angezeigt werden, da 542 Routen weniger als 400m lang waren und daher vollständig anonymisiert wurden. Bei den übrigen 1196 Routen wurden je 200m am Start und 200m am Ende der Fahrt entfernt. Die rot dargestellten Routen sind Routen mit einer langsamen Durchschnittsgeschwindigkeit (< 5 km/h), während blaue Routen eine Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen 5-10 km/h und grün besonders schnelle Routen (> 10 km/h) beschreiben.

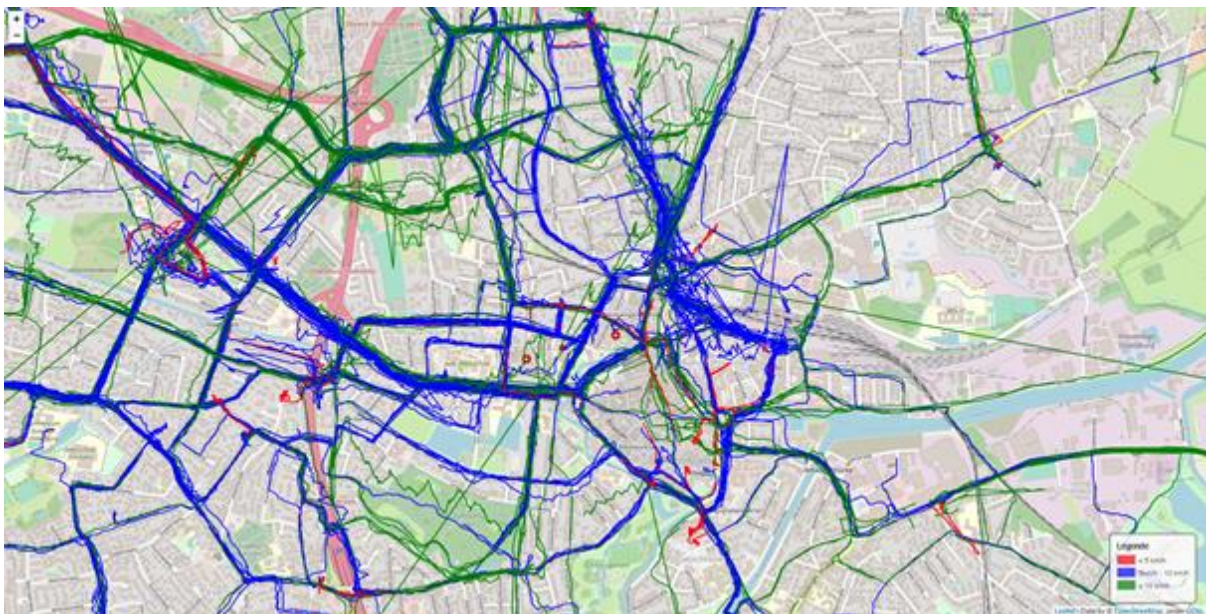


Abbildung 12: Visualisierung der befahrenen Strecken und der gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeit (Stadtgebiet Oldenburg)

Bei der Betrachtung der Visualisierung ist festzustellen, dass vor allem Hauptstraßen befahren werden. So ist beispielsweise auf viel befahrenen Straßen wie der Ofener Straße, der Ammerländer Heerstraße, der Alexanderstraße oder am Pferdemarkt ein erhöhtes Fahrtaufkommen zu erkennen. Darüber hinaus kann erkannt werden, dass diese Hauptverkehrsadern meistens langsamer befahren werden als andere Straßen. Hier kann davon ausgegangen werden, dass der Verkehr hier öfter stockt und daher häufiger gebremst werden muss als auf störungsfreien Straßen. Dies führt dann zu einer geringeren Durchschnittsgeschwindigkeit.

Wann wird in Oldenburg Fahrrad gefahren?

Neben der Routenwahl kann auch der Zeitpunkt des Fahrtbeginns wichtig sein, um das Fahrradaufkommen zu bestimmten Tageszeiten besser voraussagen zu können. Hierzu wurden alle Routen hinsichtlich der Uhrzeit (Stunde) des Fahrtbeginns (Timestamp) visualisiert. Klar zu erkennen ist, dass vor allem tagsüber viel Fahrrad gefahren wird. Darüber hinaus sind Höhepunkte früh morgens und am frühen Abend zu erkennen (Berufsverkehr).

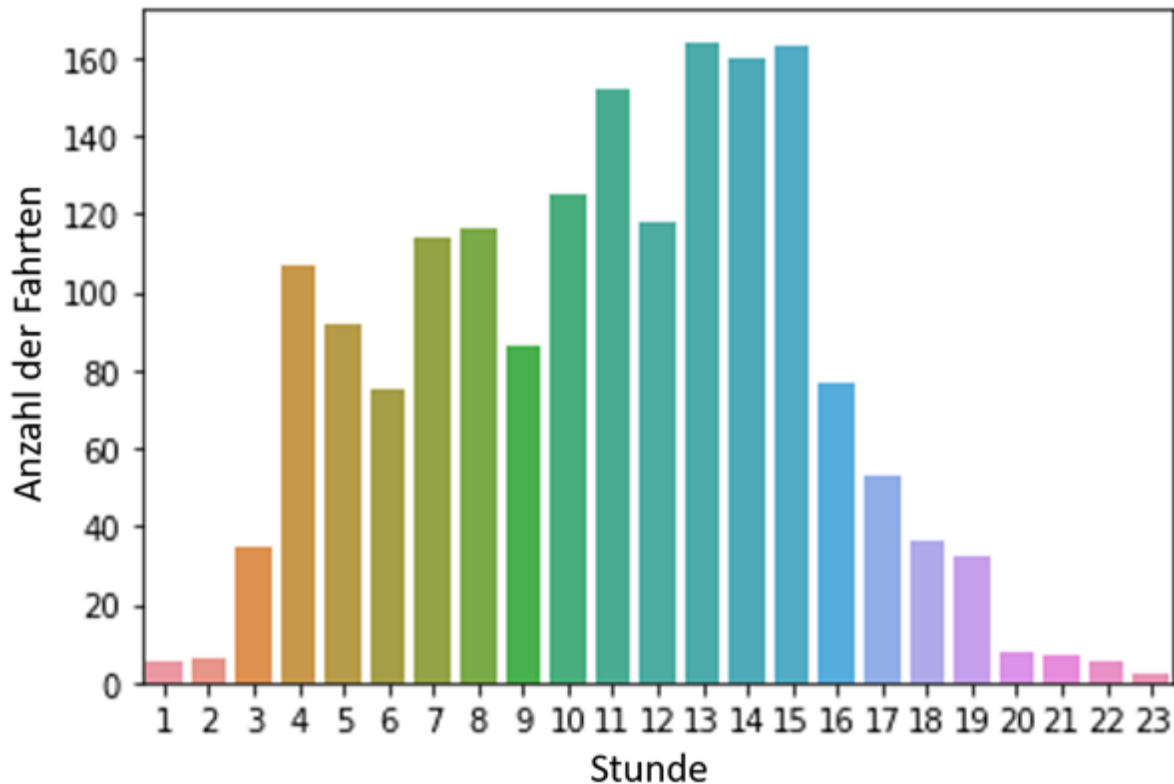


Abbildung 13: Startzeitpunkt der Radfahrten (summiert je Stunde)

Sind Fahrtgeschwindigkeiten abhängig von der aktuellen Wetterlage?

Zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen der Fahrtgeschwindigkeit und der aktuellen Wetterlage wurden externe Daten herangezogen, um die erhobenen Fahrraddaten damit zu verschneiden. Genutzt wurden dabei Wetterdaten des Anbieters meteostat⁸. Dieser Anbieter liefert historische Wetterdaten, wie z. B. Temperatur, Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Sonneneinstrahlung.

Zunächst wurden die Daten aus der Datenbank extrahiert und vorverarbeitet. Bei der Analyse der Fahrtgeschwindigkeiten werden zwar einzelne Routen verarbeitet, die erhobenen Standorte sind dabei allerdings nicht von Interesse, weshalb hier alle Routen herangezogen werden können, die über ein GPS-Signal verfügten. Daher wurden hierbei insgesamt 1738 Routen zur Analyse herangezogen. Bei der Vorverarbeitung wurden insgesamt 615 dieser Routen aus folgenden Gründen entfernt:

⁸ <https://meteostat.net/de>

- Zu langsame Geschwindigkeit (< 3,6 km/h): 474 Routen
- Zu kurze Fahrten (< 1min): 90
- Zu kurze Distanz (< 100m): 421

In vielen Fällen kam es zu Überschneidungen bei diesen Kriterien, insbesondere sind viele langsame auch sehr kurze Routen.

Zur Untersuchung, ob und wie groß der Einfluss des Wetters auf die gefahrene Geschwindigkeit ist, wurde die Fahrtgeschwindigkeit den Wetterereignissen gegenübergestellt.

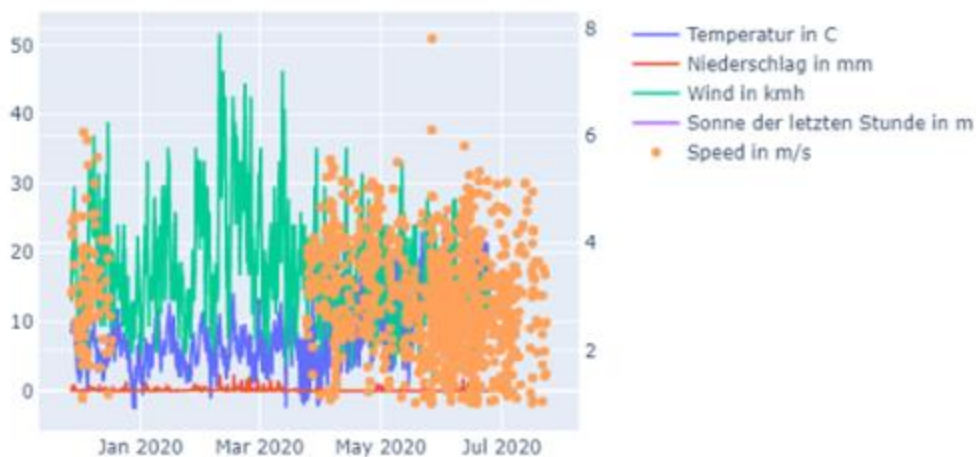


Abbildung 14: Gegenüberstellung von Temperatur, Niederschlag, Wind, Sonneneinstrahlung und Geschwindigkeit

Bei der Gegenüberstellung konnten keine Zusammenhänge oder Korrelationen mit der gefahrenen Geschwindigkeit festgestellt werden. Dies kann auch an Zahlen verdeutlicht werden: Hierzu haben wir untersucht, ob Regen und Wind einen Einfluss auf durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit haben. Bei leichtem bis keinem Regen und wenig Wind lag die gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit bei 11,89 km/h – bei stärkerem Regen und stärkerem Wind sogar leicht höher bei 12,12 km/h. Der Unterschied ist also nicht nur gegensätzlich zur Erwartung, sondern auch so gering, dass dies einen echten Zusammenhang ausschließt. So kann zumindest basierend auf der ECOSense-Datenerhebung nicht davon ausgegangen werden, dass die Wetterverhältnisse die durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit beeinflussen.

Werden bei Regen kürzere Strecken gefahren?

Neben der durchschnittlichen Geschwindigkeit bei unterschiedlichen Wetterverhältnissen wurden auch die zurückgelegten Distanzen und Fahrdauern bei Regen untersucht. Die Annahme war dabei, dass Personen bei Regen eher weniger lang Fahrrad fahren bzw. nur „die nötigsten“ Dinge mit dem Rad erledigen. Hierbei konnten alle 1738 Routen herangezogen werden. Grundsätzlich werden bei einer Fahrt bei gutem Wetter im Schnitt 3,36 km in 17:03 min zurückgelegt. Bei schlechtem Wetter verkürzt sich zwar die Distanz nicht, diese bleibt relativ stabil bei 3,31 km, allerdings verkürzt sich die durchschnittliche Dauer einer Fahrt

(16:18 min). Deutlicher werden die Unterschiede bei Betrachtung der Fahrdaten und der Auswirkungen von schlechtem Wetter vor dem Fahrtbeginn.

Wenn vor dem Fahrtbeginn gutes Wetter herrscht, dann legen die Oldenburger Radfahrer im Schnitt 3,59 km in 18:09 min zurück. Ist das Wetter vor Fahrtbeginn schlecht, verkürzt sich die Distanz um mehr als 500m auf 3,01 km und auch die Fahrdauer ist im Schnitt kürzer und erreicht nur noch einen Wert von 15:16 min. Es ist also tatsächlich davon auszugehen, dass schlechtes Wetter einen Einfluss auf die zurückgelegten Distanzen mit dem Fahrrad haben kann.

Können Straßenunebenheiten anhand der erhobenen Daten erkannt werden?

Ziel des Projektes war es, Beschleunigungsdaten zu nutzen, um Informationen über die Qualität der Infrastruktur zu gewinnen. Eine solche Information kann beispielsweise den Zustand der Straßen und Wege betreffen. So kann über die Beschleunigungsdaten beispielsweise ein Schlagloch identifiziert werden.

Der verbaute Beschleunigungssensor der Sensorbox misst die Beschleunigung in drei Richtungen (x,y,z). Fährt ein Fahrrad über ein Schlagloch, dann ist ein starker Ausschlag in der vertikalen Achse zu erkennen. Zu beachten ist dabei, dass der Sensor an jedem Fahrrad unterschiedlich angebracht sein kann. Es ist also nicht klar, welche der drei Achsen die vertikale Achse beschreibt. Ein beispielhafter Verlauf der Beschleunigungsdaten einer Fahrt ist in Abbildung 15 visualisiert.

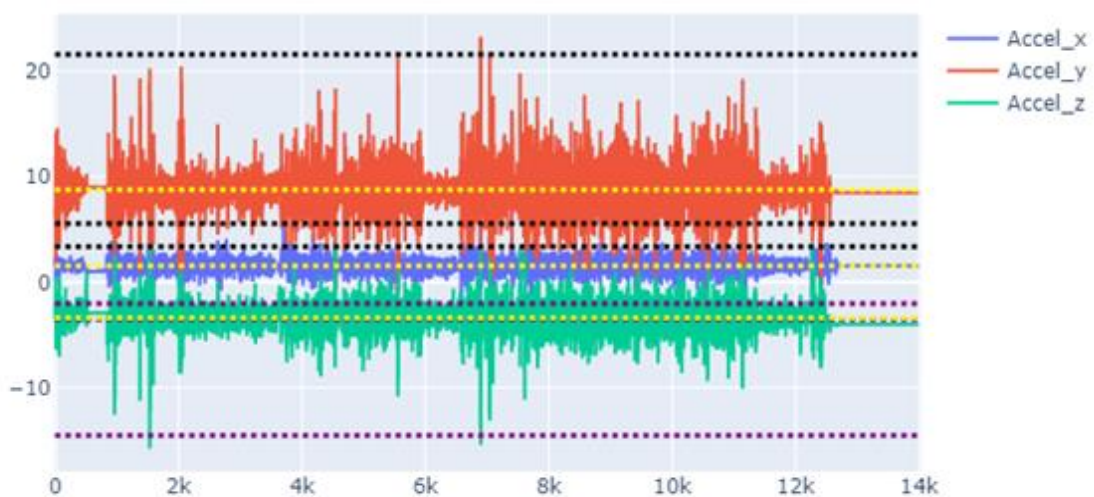


Abbildung 15: Messreihe von Beschleunigungsdaten einer Radfahrt (exemplarisch)

Um unabhängig von der Anbringung des Sensors am Fahrrad solche Ausschläge zu erkennen, musste zunächst eine umfangreiche Vorverarbeitung der Beschleunigungsdaten durchgeführt werden. Dazu wurde für jede einzelne Route eine durchschnittliche Beschleunigung der Achsen berechnet, also ein Maß, welches „normales“ Fahren beschreibt. Dies ist in diesem Fall besonders wichtig, da bei einer Fahrt dauerhaft Vibrationen entstehen und aufgenommen werden. Die Ausschläge müssen zudem pro Route analysiert werden, da Charakteristika eines Fahrrads (z. B. Federung) starken Einfluss auf die Ausprägungen der gemessenen Werte haben können. Ziel war es dann besonders hohe und kurzfristige Veränderungen (Ausreißer) in den Daten zu erkennen, also genau die Stellen, bei denen die

Werte stark von den vorherigen Werten abweichen. Ist dies der Fall, kann davon ausgegangen werden, dass ein Schlagloch oder eine sonstige Unebenheit überfahren wurde und es sich bei der ausschlagenden Achse um die vertikale Achse handelt, da seitliche Bewegungen (links/rechts) selten so ruckartig sind, wie das Durchfahren eines Schlaglochs.

Die identifizierten Ausreißer wurden dann auf einer Karte visualisiert und aggregiert. Dabei wurde eine interaktive Darstellungsform gewählt, die automatisch Ausreißer eines Bereichs aggregiert und bei einem Zoom in die Karte detailliert darstellt.

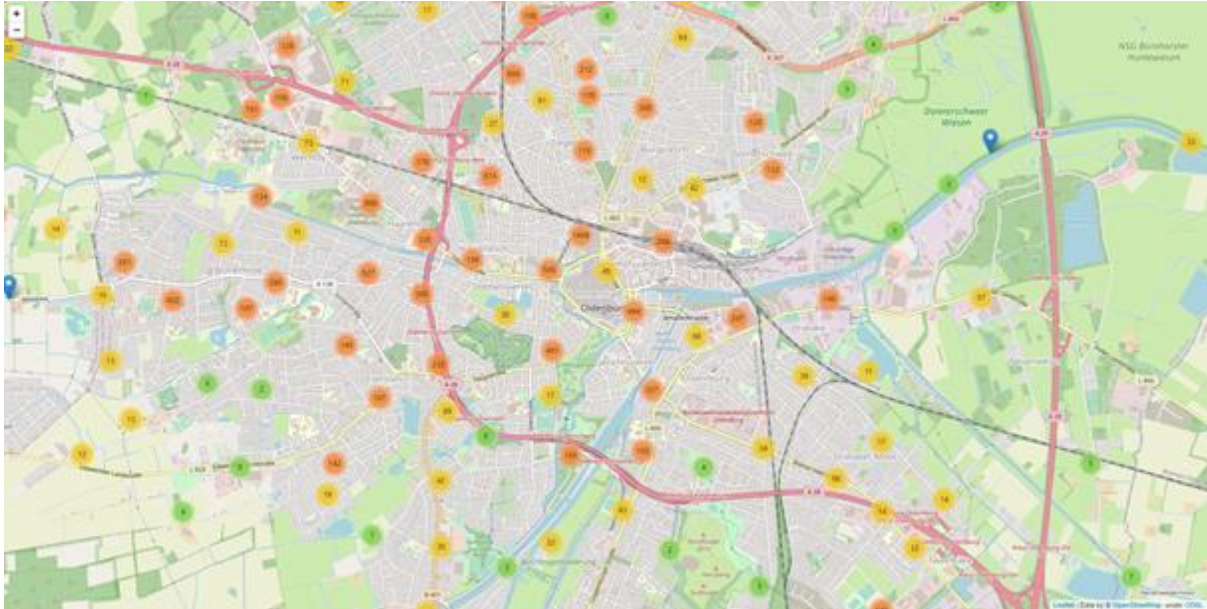


Abbildung 16: Identifizierte Erschütterungen (Stadtgebiet Oldenburg)



Abbildung 17: Identifizierte Erschütterungen (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)

Zusätzlich dazu wurde eine Heatmap für die Stadt Oldenburg erzeugt. In dieser Heatmap sind *Hotspots* zu erkennen, an denen besonders viele Ausreißer in den Daten identifiziert wurden.



Abbildung 18: Erschütterungshotspots (Stadtgebiet Oldenburg)

Bei der Betrachtung der gesamten Heatmap fällt auf, dass logischerweise viele Erschütterungen dort gemessen wurden, wo auch viel Fahrrad gefahren wird, also vor allem auf viel befahrenen Strecken. Interessanter ist dagegen die Betrachtung einzelner Bereiche.



Abbildung 19: Erschütterungshotspots (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)

Hierbei ist zu erkennen, dass vor allem an Ampeln oder bei Straßenbelag-Änderungen (z. B. Schotter zu Pflaster) häufig Erschütterungen gemessen werden. Dies kann durch die Überquerung von Bordsteinkanten und Straßen erklärt werden. Es ist daher durch die reine Sicht auf die Daten nicht zu unterscheiden, ob es sich bei einer Erschütterung um ein Schlagloch oder um einen „normalen“ und nicht vermeidbaren Vorgang im Straßenverkehr handelt (z. B. das Befahren eines abgesenkten Bordsteins). Hier bedarf es einer tiefergehenden Untersuchung und vor allem mehr Daten, um insbesondere die Bereiche

herauszufiltern, wo eine Anhäufung von Erschütterungen eben nicht durch das Überqueren von Bordsteinkanten oder ähnlichem erklärt werden kann.

An welchen Stellen in Oldenburg wird viel gebremst?

Um Informationen über den Verkehrsfluss aus den Daten zu extrahieren, wurden die Geschwindigkeitsdaten bzw. die Veränderung dieser Geschwindigkeiten über ein zeitliches Intervall untersucht. Immer dann, wenn die Geschwindigkeit plötzlich abnimmt, handelt es sich in den Daten um einen Bremsvorgang. Hierzu wurde ein Sliding-Window-Ansatz verwendet. Es wird also immer ein definiertes Zeitintervall einer Route untersucht – dieses Intervall wird iterativ über die ganze Route „verschoben“, um so alle Intervalle zu identifizieren, in denen die Geschwindigkeit abgenommen hat. Da die Geschwindigkeit einer Radfahrt ganz natürlich immer etwas schwankt, wurde daher auch ein Grenzwert der Schwankung definiert. In der aktuellen Analyse wurde dieser Grenzwert auf 0,7 gelegt. Wenn sich also die Geschwindigkeit um mehr als 30 % im Sliding Window verringert, dann ist von einem Bremsvorgang auszugehen.

Die identifizierten Bremsvorgänge wurden analog zu den Erschütterungsdaten einmal in einer Markermap und einmal in einer Heatmap dargestellt.



Abbildung 20: Identifizierte Bremsvorgänge (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)

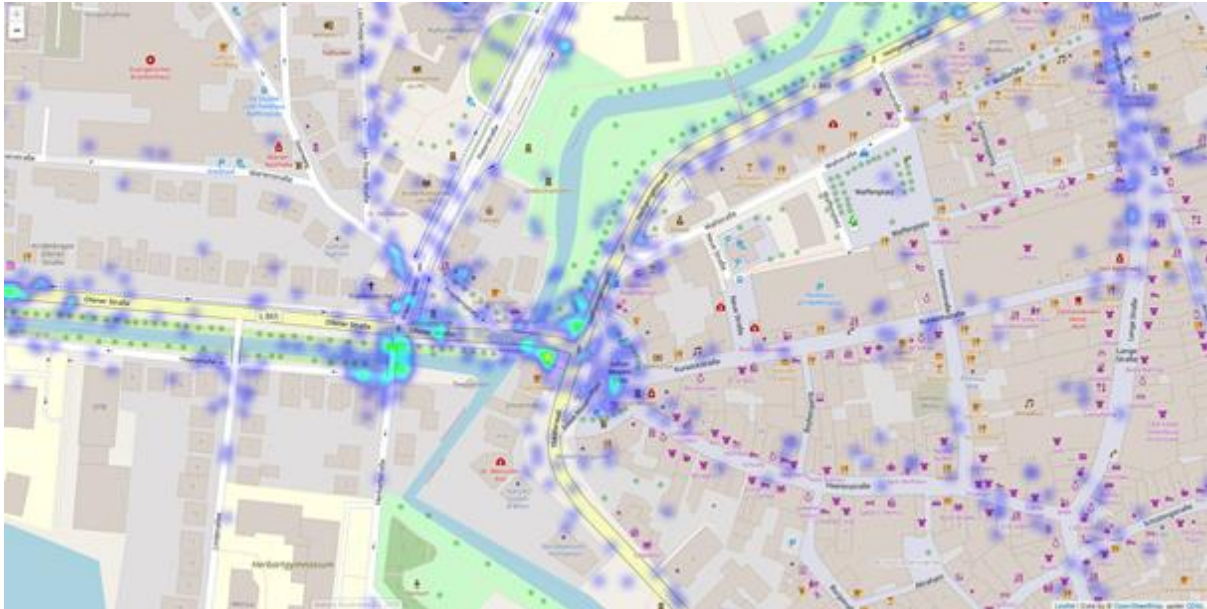


Abbildung 21: Hotspots für Bremsvorgänge (Julius-Mosen-Platz, Oldenburg)

Insgesamt zeigt sich dabei auch ein ähnliches Bild. So sind ständige Bremsvorgänge auf viel befahrenen Straßen zu erkennen und diese häufen sich vor allem an Stellen, an denen sich Ampeln oder sonstige Punkte, wie beispielsweise Fahrradständer oder Supermärkte, befinden.

Beeinflusst die Tageszeit das Bremsverhalten?

Grundsätzlich kann angenommen werden, dass bei einem flüssigen Verkehr weniger Bremsvorgänge in den Daten erkannt werden. Gleichmaßen ist gerade zu Stoßzeiten nicht mit einem flüssigen Verkehr zu rechnen. Es wurde daher untersucht, ob es eventuell Zeiträume gibt, bei denen der Verkehr als besonders flüssig wahrgenommen werden kann. Hierzu wurde die zurückgelegte Distanz mit der Anzahl der Bremsvorgänge und der Anzahl der Bremsvorgänge pro Kilometer gegenübergestellt. Dabei hat sich gezeigt, dass es keine auffälligen Bereiche gibt, wo eine hohe Distanz an km zurückgelegt wird, aber verhältnismäßig wenig Bremsvorgänge identifiziert werden. Die Anzahl der wahrgenommenen Bremsvorgänge hängt also direkt mit der insgesamt zurückgelegten Strecke zusammen. Wird viel gefahren, dann wird auch viel gebremst. Dieser Zusammenhang kann auch durch die gleichbleibende Anzahl der Bremsvorgänge pro Kilometer belegt werden. Es kann somit basierend auf den Daten nicht erkannt werden, ob der Verkehr zu bestimmten Zeiten flüssiger ist, als zu anderen Zeiten (z. B. Pendlerzeiten).

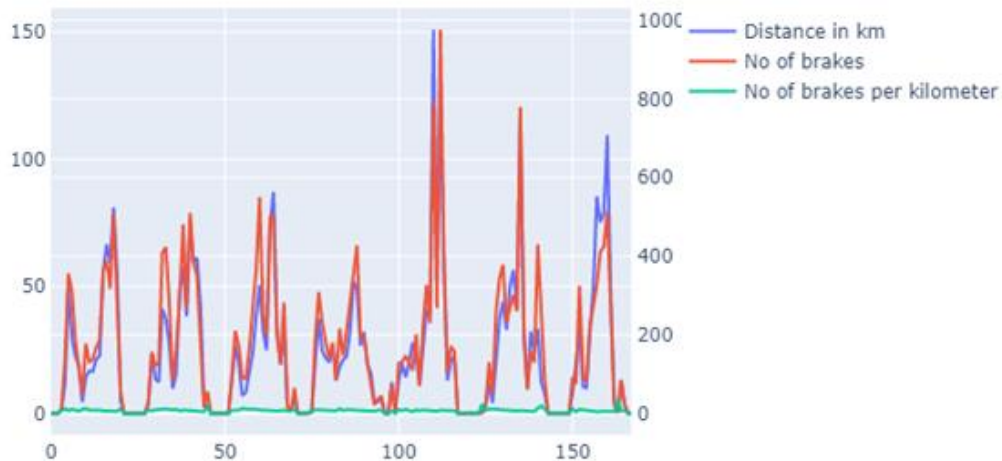


Abbildung 22: Bremsverhalten (nach Tageszeit)

Gesamtfazit:

Die Datenerhebung und anschließende Analyse dieser Daten konnten zahlreiche neue Informationen liefern. Im Rahmen des Projektes wurden 11.986.688 Messungen gemacht, von denen 12,9 % über ein korrektes GPS-Signal verfügten und ausgewertet werden konnten. Dies entspricht einem Datenvolumen von ca. 26 GB. Insgesamt nahmen an der Datenerhebung 272 Radfahrer teil. Zur Analyse der Daten wurden verschiedene Hypothesen gebildet, die dann mittels datenzentrierter Verfahren technisch geprüft werden konnten. Dabei stellte sich heraus, dass in Oldenburg vor allem Hauptverkehrsadern (z. B. die Ammerländer Heerstraße) von Radfahrern genutzt werden. Es hat sich gezeigt, dass das Wetter kaum einen Einfluss auf die zurückgelegten Distanzen und die durchschnittliche Geschwindigkeiten hat – ist das Wetter aber vor Fahrtbeginn schlecht (z. B. Regen), dann sinkt die durchschnittlich zurückgelegte Distanz um ca. 600m. Die erhobenen Beschleunigungsdaten wurden vorverarbeitet und im Hinblick auf Erschütterungen untersucht. Dabei konnten zahlreiche Erschütterungen identifiziert werden, diese können aber nicht ausschließlich auf Straßenschäden zurückgeführt werden. So sind beispielsweise vermehrt Erschütterungen an Ampeln oder Kreuzungen zu erkennen, was auf das Befahren einer Bordsteinkante hinweisen könnte. Auch das Bremsverhalten wurde untersucht, um festzustellen, ob es Zeitfenster im Oldenburger Radverkehr gibt, in denen der Verkehr flüssiger ist. Dabei hat sich gezeigt, dass die Anzahl der identifizierten Bremsvorgänge mit der Summe der zurückgelegten Distanzen zusammenhängt.

TOP 5: Erkenntnisse aus der Datenanalyse

1. In Oldenburg werden vor allem die Hauptverkehrsstraßen von Fahrradfahrern genutzt.
2. Das höchste Fahrradaufkommen ist im Berufsverkehr zu erwarten.
3. Das Wetter hat wenig Einfluss auf die Fahrtgeschwindigkeit. Ist aber das Wetter schlecht, werden eher kürzere Routen gefahren.
4. Es können zahlreiche Erschütterungen im Straßenverkehr festgestellt werden, diese sind aber nicht immer unbedingt auf Schlaglöcher o.ä. zurückzuführen.
5. Die Anzahl der Bremsvorgänge hängt stark mit der zurückgelegten Distanz zusammen.

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Bei baron gab es zwei wesentliche Positionen in der Kostenaufstellung. Die Personalkosten stellten dabei den Hauptposten dar. An zweiter Stelle kamen die sonstigen vorhabenbezogenen Kosten, da darunter die Veranstaltungskosten fallen. Im Rahmen des Projekts sollten zwei Veranstaltungen, der Innovationsworkshop und die Abschlussveranstaltung, durchgeführt werden. Aufgrund der Auswirkungen der Corona-Pandemie konnte die Abschlussveranstaltung jedoch nicht wie geplant als physisches Treffen durchgeführt werden. Stattdessen wurde eine Projektbroschüre erstellt. Dafür wurden die ursprünglich für die Abschlussveranstaltung beantragten Projektmittel in die Personalkosten verschoben.

Bei CoSynth gab es zwei wesentliche Positionen in der Kostenaufstellung. Neben dem Hauptposten Personalkosten standen an zweiter Stelle die Materialkosten für die Sensoren. Aufgrund der hohen Anzahl Sensoren lagen die Materialkosten bei rund einem Drittel der Personalkosten von CoSynth.

Die Universität Oldenburg hat die ihr zur Verfügung stehenden Mittel vorwiegend in die Arbeitsstunden investiert, die für die Aufbereitung und Analyse der Sensordaten anfielen (Personalaufwand).

2.3 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Eine Aufwertung der Fahrradinfrastruktur ist von essenzieller Bedeutung zur dringend benötigten Verkehrsentslastung der Innenstädte. Zur Hebung der Potentiale von Lastenrädern oder Diensten wie Fahrradleasing und Bike Sharing-Systemen werden attraktive Bedingungen zum Radfahren benötigt. Für einen weiteren nachfrageorientierten Ausbau der Infrastruktur besteht erhöhter Bedarf an geeigneten auf Sensortechnologien basierenden Daten. Für viele Kommunen und Stadtplanungsämter sind die Potentiale von verbesserten Radverkehrsdaten von größtem Interesse, wie die Partizipation der verschiedenen Stakeholder in diesem Projekt unter Beweis gestellt hat. Schwerpunkt der Machbarkeitsstudie ECOSense war die Entwicklung und Erprobung einer Sensorplattform mit speziellem Fokus auf Radverkehrsdaten. Da das Projekt eine überaus interdisziplinäre Fragestellung zum Radverkehr zum Gegenstand hatte, waren verschiedenste Kompetenzen erforderlich, die nicht durch einzelne Unternehmen oder Forschungseinrichtungen zufriedenstellend abgedeckt werden konnten. Auf der einen Seite bildete die technische Entwicklung von Projektpartner CoSynth mit der Fahrradsensorik das Fundament der folgenden Projektarbeiten. Die Einbindung der radfahrenden Bevölkerung, die neben der Sensorausgabe u.a. auch aus direkter Interaktion in Form von Befragungen und Austauschformaten mit den Bürgerinnen und Bürgern bestand, war auf der anderen Seite erforderlich, um neue Daten zur Fahrradnutzung verfügbar zu machen. Eine höchstmögliche Qualität dieser Datensätze, die durch entsprechende Aufbereitung und Auswertung neue Erkenntnisse für kommunale Planungsprozesse liefern können, wurde durch die Mitwirkung einer Forschungseinrichtung mit entsprechenden Kompetenzen im Bereich Data Science am Projekt ermöglicht. Für alle genannten Punkte wurden wesentliche Ergebnisse erarbeitet. Ohne die finanzielle Zuwendung seitens des mFUND wäre die Durchführung des Projektes

für die beteiligten Unternehmen mit zu hohen Risiken verbunden gewesen. Aus Sicht des Projektkonsortiums wurden im Ergebnis eine verbesserte Datengrundlage zur Fahrradnutzung im Alltag sowie neue Verfahren zur datenbasierten Zustandserfassung der Fahrradinfrastruktur erarbeitet.

2.4 Der voraussichtliche Nutzen und die Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Für CoSynth stand primär eine indirekte Verwertung der im Projekt konzipierten Techniken und Komponenten durch eine Integration dieser in neuartige Projekte und Systeme im Fokus. Dieses Ziel wird weiter aktiv angestrebt und in geeigneten Projekten in den nächsten Monaten und Jahren umgesetzt.

Eine direkte Vermarktung des Sensors ist für CoSynth durch fehlenden Marktzugang nur schwierig möglich. Aufgrund der in relativ kurzer Zeit erzielten sehr guten Projektergebnisse versucht CoSynth dennoch, eine Vermarktung mit Unterstützung der Projektpartner und weiterer im Laufe des Projekts gewonnener Kontakte zu realisieren. Dazu sind Weiterentwicklungen zur verbesserten Handhabung und Nutzung der Sensoren im Kontext weiterer Messkampagnen und Forschungsprojekte notwendig /erfolgt. Neben der Weiterentwicklung der Hardware und einer Optimierung der Datenerfassung ist hierbei der kritische Faktor eine weitgehend vollautomatisierte Datenanalyse, die eine Vermarktung des Gesamtsystems an die im Antrag formulierten Kundenkreise, also insbesondere Kommunen und Planungsbüros, ermöglicht. Für diese Zielgruppen stehen neben der Kosteneffizienz vor allem die vollumfängliche Nutzung und Auswertung der Daten im Vordergrund. Die entsprechende Weiterentwicklung der Algorithmen erfordert noch deutlichen Zeit- und Ressourcenaufwand und muss im Rahmen weiterer Messkampagnen oder Forschungsprojekte intensiv evaluiert werden. Der Gesamtzeithorizont liegt daher bei 3-5 Jahren.

Nach einer Weiterentwicklung der Sensoren und Analyse plant Baron insbesondere bei der Vermarktung des Gesamtsystems an Unternehmen, Kommunen und Radfahrende eine tragende Rolle zu spielen. Es ist das Ziel, das weiterentwickelte Gesamtsystem dauerhaft am Markt zu etablieren. Die Grundlage für die spätere Vermarktung wird bereits mit der intensiven Kommunikation der Projektergebnisse insbesondere an Kommunen gelegt.

Die Universität Oldenburg fokussiert die wissenschaftliche Verwertung der Projektergebnisse. Während der Projektlaufzeit wurde ein wissenschaftlicher Beitrag auf einer Konferenz eingereicht und veröffentlicht (EnviroInfo 2020). Weitere Buchbeiträge befinden sich in der Vorbereitung. Die Ergebnisse wurden im Rahmen von weiteren Vorträgen an den Kreis der Fachexperten kommuniziert. Neben den Publikationen werden die Erkenntnisse des Projektes genutzt und in weitere, neue Forschungsanträge überführt. Darüber hinaus werden die Ergebnisse des Projektes auch in der universitären Lehre der Abteilung VLBA aufgegriffen. So liegen mittlerweile zwei studentische Arbeiten (eine Seminararbeit und eine Bachelorarbeit) abgeschlossen vor, während sich eine studentische Projektgruppe (*Bicycle Data*) noch in der Bearbeitungsphase (Start: April 2020) befindet. Bei diesen Aktivitäten in der Lehre werden vor allem die aus dem Projekt gewonnenen Daten weiterverwendet.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordene Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Ein dem ECOSense Projekt sehr verwandtes Vorhaben wurde zeitgleich in den Niederlanden durchgeführt. Das auf Fahrradsensoren basierende Projekt Sniffer Bike setzt ebenfalls einen starken Fokus auf die aktive Einbindung von radfahrenden Bürgerinnen und Bürgern und Citizen Science Ansätze. Neben den GPS-Positionen, der Beschleunigung und der Geschwindigkeit erfasst der Sensor am Sniffer Bike eine Vielzahl an umweltrelevanten Daten (u.a. Feinstaub pm 2.5, Temperatur). Im Gegensatz zum Projekt ECOSense wird die Sensorik standardisiert am Fahrradlenker angebracht (zwischen Haltegriff und Mittelstange). Die Daten werden in Echtzeit über das Mobilfunknetz übertragen, sodass das Auslesen von SD-Karten entfällt. Die inzwischen mehr als 500 Sensoren kommen an verschiedenen Standorten in den Niederlanden (u.a. Utrecht, Zwolle, 's-Hertogenbosch) und sogar im europäischen Ausland (z.B. in Dänemark) zum Einsatz. Nach Aussage der Provinz Utrecht, welche im Mai 2019 mit der Datenerhebung vor Ort begonnen hat, wurden demografische Informationen über die Teilnehmer nicht im Detail erfasst. Aber, vergleichbar mit den Ergebnissen von ECOSense, hat sich auch hier gezeigt, dass tendenziell viele ältere Radfahrende am Projekt partizipiert haben. Viele Personen mittleren und höheren Alters haben sich bei Austauschformaten engagiert oder das Projekt per Mail kontaktiert. Viele weniger technikaffine Personen zeigten Interesse an der aktiven Teilnahme. Sniffer Bike bietet ein gutes Beispiel, wie die Strecken der Radfahrenden über einen längeren Zeitraum als offene Radverkehrsdaten frei verfügbar gemacht werden können. Zum einen werden die anonymisierten Rohdaten wöchentlich auf einem niederländischen Open Data Portal veröffentlicht.⁹ Die aktuellen Strecken werden zum anderen inklusive Angaben zur Luftqualität täglich auf einem öffentlich zugänglichen Dashboard dargestellt.¹⁰ Zusätzlich verfügen die Teilnehmenden über einen Zugriff auf ein Internetportal sowie eine App, welche die datenschutzkonforme Einsicht persönlich zurückgelegter Strecken ermöglichen. Im Rahmen des EU Projektes Bicycles and Intelligent Transport Systems BITS¹¹ hat die Abteilung für Wirtschaftsinformatik VLBA die Datensätze des Projektes aufbereitet und ausgewertet. Innerhalb der ersten 10 Monate des Projektes wurden mehr als 100.000 gefahrene Strecken erfasst. Die durchschnittlich zurückgelegte Entfernung betrug 4.76 km, während die durchschnittliche Fahrtdauer bei 20,5 Minuten lag. Die durchschnittlichen Distanzen und Fahrtauern pro Fahrt sind damit länger als beim Projekt ECOSense, was auf Unterschiede bei der eingesetzten Messtechnik hindeutet. Während des Corona-Lockdowns im Frühjahr 2020 wurden beim Projekt Sniffer Bike deutlich ansteigende Distanzen und Fahrtauern registriert. Dies kann als Hinweis auf einen zunehmenden Anteil an Freizeitverkehren interpretiert werden.

Neben einzelnen Projekten haben sich auch bereits digitale Geschäftsmodelle rund um das Thema Fahrradsensorik entwickelt. Während des Projektzeitraums wurde zudem mit Upride ein studentisches Start-up gegründet, das einen Sensor zur Erfassung von Radverkehrsdaten entwickelt hat. Der Sensor erfasst Erschütterungsdaten und Geodaten mit dem Ziel, Straßenschäden und Gefahrenpotentiale zu erkennen. Das KMU setzt mit der Einrichtung einer Webseite zur Teilnehmerregistrierung, Auswahl der Probandengruppe und anschließende Ausgabe der Sensoren auf einen ähnlichen Ansatz wie das ECOSense

⁹ <https://www.dataplatform.nl/#/data/8b04f4f3-666c-4448-91fc-234d5a75e6c4>

¹⁰ https://dashboard.dataplatform.nl/sodaq/v2/groene_fietsroutes.html

¹¹ <https://northsearegion.eu/bits/>

Projekt. Nach einem definierten Erhebungszeitraum werden die Sensoren wieder eingesammelt. Im Gegensatz zum ECOSense-Ansatz werden die Fahrraddaten bereits während der Erhebung über das Smartphone per Bluetooth-Anbindung an den Analyseserver gesendet. Machine-Learning-Verfahren werden bei der Auswertung zur Erkennung von Mustern eingesetzt. Die Ergebnisse werden für den jeweiligen Kunden (Kommune) visualisiert und im Rahmen eines Reports aufbereitet. Auf Wunsch führt Upride dazu individualisierte Workshops durch.¹²

2.6 Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Die Ergebnisse wurden in verschiedenen Formaten an relevante Zielgruppen kommuniziert. Da die für Mai 2020 geplante Abschlussveranstaltung aufgrund der Corona-Pandemie abgesagt werden musste, wurde eine Projektbroschüre erstellt. Diese stellt auf 84 Seiten u.a. detailliert das Vorgehen des Projekts sowie die Ergebnisse der Datenanalyse und der Teilnehmerumfrage dar. Die Broschüre wurde an alle 523 registrierte Bürgerinnen und Bürger sowie an alle assoziierten Partner (ca. 80 Personen) versendet. Zusätzlich steht die Broschüre auf der offiziellen Projektwebseite und dem Projektsteckbrief des BMVI¹³ zum Download bereit. Eine gedruckte Form der Broschüre wurde zudem an eine Vielzahl von Kommunen im gesamten Bundesgebiet versendet. Darüber hinaus veröffentlichte die Nordwest Zeitung (NWZ) einen Artikel über die Ergebnisse des Projekts.¹⁴ Die interaktiven Karten zu den Ergebnissen des Projekts in Bezug auf Durchschnittsgeschwindigkeit, Bremsungen und Oberflächenbeschaffenheit wurden auf der Projektwebseite veröffentlicht.

Die Forschungsergebnisse wurden ebenfalls vor der wissenschaftlichen Community im Rahmen der Enviroinfo 2020¹⁵, der 11. Pegasus Jahrestagung¹⁶ und der MobileHCI 2020 als Teilaspekt des "Workshop On Designing Technologies For Future Forms Of Sustainable Mobility"¹⁷ verbreitet. Die Enviroinfo richtet sich vor allem an Experten aus dem Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) mit Schwerpunkt Umwelt und Nachhaltigkeit. An der "Session Subjektive Sicherheit – Wahrnehmung und Wirkung von Radverkehrsinfrastruktur" der 11. Pegasus-Jahrestagung beteiligten sich Nachwuchsforscher verschiedenster Disziplinen und Forschungseinrichtungen aus dem gesamten Bundesgebiet mit Fokus auf Radverkehrsthemen. Die MobileHCI richtete sich insbesondere an Fachpersonen aus dem Bereich Human-Computer Interaction. Dabei brachte der Workshop verschiedenste Mobilitätsexperten aus dem In- und Ausland zusammen, wobei die Keynote zum Projekt ECOSense den Startpunkt für die interdisziplinäre Diskussion über mobile Mobilitätssensorik bildete.

Die Ergebnisse des Projekts wurden zusätzlich in verschiedenen online Formaten vorgestellt. Im August 2020 fand eine online basierte Abschlussveranstaltung statt, in der die Ergebnisse über 50 interessierten Teilnehmenden und assoziierten Partnern vorgestellt wurden. Die

¹² Vgl. <https://upride.io/>

¹³ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/ecosence.html>

¹⁴ https://www.nwzonline.de/plus-oldenburg-stadt/oldenburg-forschungsprojekt-in-oldenburg-wo-radfahrer-schnell-und-langsam-vorankommen_a_50,10,3372965507.html

¹⁵ <http://cyprusconferences.org/enviroinfo2020/>

¹⁶ http://pegasus-netzwerk.de/wp-content/uploads/2020/09/Pegasus_Programm_Final.pdf

¹⁷ <https://mobilehci.acm.org/2020/program/>

Veranstaltung war über einen Weblink, der unter anderem über die offizielle Projektwebseite geteilt wurde, öffentlich zugänglich. Darüber hinaus wurden im September 2020 im Rahmen eines WebSeminars, das im Rahmen der Fahrradakademie des Deutschen Instituts für Urbanistik (DIFU) stattfand, die Ergebnisse einem Fachpublikum (insb. Vertretern aus Kommunen und der Verkehrsplanung) vorgestellt. Auch an diesem Termin nahmen ca. 50 Fachexperten aus dem gesamten Bundesgebiet teil. Zusätzlich wurden die Ergebnisse im November 2020 der Stadt Oldenburg in einem online Termin präsentiert. Assoziierte Partner des Projektes wie z.B. MoWin.net haben die Ergebnisse von ECOSense weiter verbreitet.¹⁸ Im Folgenden ist eine detaillierte Auflistung aller Projektpräsentationen und Veröffentlichungen im Zusammenhang mit ECOSense zu finden.

Vorträge und Projektpräsentationen:

2020:

- Austausch zu den Projektergebnissen mit dem Fachdienst Verkehr der Stadt Oldenburg, Online, 19.11.2020
- Vorstellung der Projektergebnisse auf der 11. Pegasus-Jahrestagung, Online, 09.10.2020
- Keynote zum Projekt ECOSense auf der MobileHCI 2020 im Rahmen des "Workshop On Designing Technologies For Future Forms Of Sustainable Mobility", Online, 05.10.2020
- Kurzpräsentation der Ergebnisse des Papers "ECOSense and its preliminary findings: Collection and analysis of bicycle sensor data" auf der EnviroInfo 2020, Online, 24.09.2020
- Präsentation der finalen Ergebnisse für das BMVI, Online, 18.09.2020
- WebSeminar im Rahmen der Fahrradakademie des Deutschen Instituts für Urbanistik (DIFU) - Erfassung von Radverkehrsdaten zur Infrastrukturoptimierung: Vorstellung des mFUND-Projekts „ECOSense“, Online, 15.09.2020
- Öffentlich zugängliche Präsentation der Abschlussergebnisse, Online, 27.08.2020
- Kurzvorstellung mFUND-Fachaustausch: Radverkehr, Online, 08.07.2020
- Ausstellung auf dem Schülerinformationstag an der Universität Oldenburg, Oldenburg, 23.01.2020

2019:

- Vortrag beim Datacycle Meetup - Fahrraddaten für Berlin, Tagesspiegel, Berlin, 17.12.2019
- Ausstellung auf der Fahrradkommunalkonferenz, Wittenberg/Lutherstadt, 12.11.2019
- Projektvorstellung beim Aktiventreffen des ADFC Oldenburg, Oldenburg, 28.10.2019
- Projektpräsentation mFUND-Fachaustausch: Radverkehr, beim BMVI in Berlin, 28.10.2019

¹⁸ https://www.mowin.net/news/news-detail/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=2402&L=0&cHash=a9f5f75f061122dd820e8246045fe400

- Innovationsworkshop mit assoziierten Partnern von ECOSense, Schlaues Haus Oldenburg, 21.10.2019
- Vortrag im Rahmen einer Konferenz des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes „Sustainability and Mobility in the Context of Smart cities“ (SuMoCoS), 04.10.2019, Taschkent, Usbekistan
- Projektpräsentation auf der mFUND Konferenz in der Session „Zustandserfassung und Überwachung von Verkehrsinfrastruktur“, Berlin, 27.09.2019
- Projektpräsentation zum Projektstart vor dem BMVI, beim BMVI in Berlin, 30.08.2019

Publikationen und Veröffentlichungen:

- baron mobility service GmbH (2020): ECOSense Erfassung und Analyse von Radverkehrsdaten: Projektbroschüre 2019 - 2020. https://www.mein-dienstrad.de/x_vorlage/static/src/portal_documents/ECOSense_Brosch%C3%BCre.pdf?utm_campaign=ECOSense&utm_source=Mailing+Versandpartner&utm_medium=Website. In: *ecosense.mein-dienstrad.de*. Eingestellt am 02.09.2020. Artikel heruntergeladen am 27.11.2020.
- Schering, J.; Janßen, C.; Kessler, R.; Dmitryev, V.; Marx Gómez, J.; Stehno, C.; Pelzner, K.; Bankowsky, R.; Hentschel, R. (2020): ECOSense and its preliminary findings: Collection and analysis of bicycle sensor data. In: *EnvirolInfo 2020*. Düren: Shaker Verlag.
- Schering, J. (2020). mFUND Projekte im Porträt: 7 Fragen an ECOSense. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/mFUND/siegen-fragen-an-ecosense.pdf?__blob=publicationFile. In: Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur. Eingestellt 27.02.2020. Artikel heruntergeladen am 15.11.2020.
- Schrapel, M.; Koetsier, C.; Schering, J.; Rohs, M. (2020). Interacting with Future Forms of Sustainable Mobility. Oldenburg: Tagungsband der MobileHCI, October 5-8, Oldenburg, Germany.

Presseberichterstattung:

- Buck, P. (2020). Wo Radfahrer schnell und langsam vorankommen. https://www.nwzonline.de/plus-oldenburg-stadt/oldenburg-forschungsprojekt-in-oldenburg-wo-radfahrer-schnell-und-langsam-vorankommen_a_50,10,3372965507.html. Artikel veröffentlicht in der Nordwest-Zeitung am 10.11.2020. Artikel heruntergeladen am 27.11.2020.
- Buck, P. (2019). An Hauptstraßen werden Radfahrer durchgerüttelt. https://www.nwzonline.de/plus/oldenburg-nwz-test-in-oldenburg-an-hauptstrassen-werden-radfahrer-durchgeruettelt_a_50,6,2183776127.html. Artikel veröffentlicht in der Nordwest-Zeitung am 04.12.2019. Artikel heruntergeladen am 27.11.2020.

- Henke, F. (2019). ECOSense Radiointerview mit Bremen Vier (Sendeanstalt Radio Bremen). Live ausgestrahlt am 08.10.2019.
- Kiefer, C. (2019). Sensoren zeigen Schwachstellen beim Radfahren https://www.nwzonline.de/plus/oldenburg-testfahrer-in-oldenburg-gesucht-sensoren-zeigen-schwachstellen-beim-radfahren_a_50,6,132907604.html. Artikel veröffentlicht in der Nordwest-Zeitung am 07.10.2019. Artikel heruntergeladen am 27.11.2020.

Studentische Arbeiten:

- Eine Bachelor-Arbeit (Wirtschaftsinformatik): *Analyse von Erschütterungsdaten im Zusammenhang mit der Fahrradinfrastruktur in Oldenburg*
- Eine studentische Projektgruppe (Wirtschaftsinformatik): *Bicycle Data* (<https://bicycle-data.de>)
- Eine Seminararbeit (Umweltwissenschaften): *Fallstudie Fahrradfahren in Oldenburg*

Literaturverzeichnis

[1] NRVP. (6. September 2017). "Digitale Tools für die Radverkehrsplanung - Den Radverkehr realitätsnah abbilden". Nationaler Radverkehrsplan.

[2] Francke, A. (9. November 2016). "Auswertung der Befragung von Strava-NutzerInnen in Deutschland". TU Dresden.

[3] Shearer C. (2000). The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining, J Data Warehousing; 5:13—22.

[4] Kruse, F.; Dmitriyev, V. und Marx Gómez, J. (2018). Building a Connection Between Decision Maker and Data-Driven Decision Process, Archives of Data Science, Series A (Online First).