



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

dBEL_traffic analyzer

Datengetriebene Verkehrsanalysen mit akustischen Signaturen

Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Wölfel Engineering GmbH + Co. KG (Wölfel)
Max-Planck-Straße 15
97204 Höchberg

Tigerbytes GmbH (Tigerbytes)
Friedrichstr. 171
10117 Berlin

Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2022 bis 28.02.2023

Autor: Andreas Nuber

Höchberg 2023

Projektpartner:

Wölfel Engineering GmbH + Co. KG (Höchberg, Koordinator)
Tigerbytes GmbH (Berlin)

Förderhinweis

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen FKZ 19F1093A bzw. 19F1093B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung zu	4
1. Aufgabenstellung	4
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	6
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	6
4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	6
4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	7
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
II. Eingehende Darstellung zu	7
1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	7
2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	14
3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	15
4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	15
5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	15
6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses	16
7. Literaturverzeichnis	16

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

1.1 Problemstellung, Innovationsbedarf

Das Überwachen von Verkehrsflüssen ist essentiell für die Gestaltung der Mobilität der Zukunft, insbesondere in dicht besiedelten Gebieten. Ausschlaggebende Kriterien sind die damit verbundenen Kosten und eine Gewährleistung des geltenden Datenschutzes. Existierende Systeme benötigen eine sachgerechte Installation, was stets einen Eingriff in den Verkehrsweg bedingt und mit hohem Aufwand für Planung und Durchführung einhergeht. Darüber hinaus ist die erforderliche Gerätetechnik kostenintensiv.

1.2 Zielsetzung

Übergeordnetes Projektziel war, auf Basis moderner Mobile Device Technologie und Sensorik eine verlässliche Verkehrszählung zu ermöglichen, die aufgrund einfacher Installation und geringer Kosten beliebig skalierbar ist. Dazu sollte ein Algorithmus entwickelt werden, der mittels KI-Methoden akustische Signale analysiert und eine Verkehrszählung inkl. Kategorisierung ermöglicht.

1.3 Aufgabenstellung

Übergeordnetes Ziel des Teilvorhabens von Wölfel, war es, basierend auf Standard-Mobilfunk-Gerätetechnik und Sensorik eine verlässliche Verkehrszählung zu ermöglichen, die aufgrund einfacher Installation und geringer Kosten beliebig skalierbar ist, und das Potential von Verkehrsflussanalysen für die Mobilität der Zukunft erhöht. Dies bedeutete auch, keine dedizierte und teure Geräteelektronik-Entwicklung anzustreben, sondern handelsübliche, etablierte und somit kostengünstige Mobiltelefon-Technologie einzusetzen. Die Massenfertigung solcher Geräte verspricht zudem eine hohe Verfügbarkeit und gleichbleibende Qualität und darüber hinaus bietet die immer weiter fortschreitende Technologie mehr als ausreichend Rechenleistung für die Datenanalysen. Im Projekt wurden Hardware-Demonstratoren aufgebaut, in realer Umgebung installiert, mehrere Test-Messkampagnen durchgeführt und die zugehörigen Daten analysiert.

Die Aufgabe von Tigerbytes bestand in der Konzeption und Entwicklung einer Anwendung (Applikation) für iOS zur Verarbeitung von Audiosignalen auf den Demonstratoren, sowie eines Cloud-Workspace, zum Upload der Berechnungsergebnisse. Konfiguration und Administration der digitalen Infrastruktur (Cloud-Workspace), so wie die Einbindung der KI-Algorithmen.

Darauf aufbauend war eine Aufgabe von Wölfel die Entwicklung von tiefergehenden Datenanalysealgorithmen, welche Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) zugrunde liegen. Minimales Ziel war es dabei aus den gemessenen Audiodaten eine Verkehrszählung inkl. Kategorisierung/Klassifizierung zu ermöglichen. Weiterführendes Ziel war die Analyse individueller Signaturen und deren Bewegungsprofil durch die Verrechnung mehrerer Standorte. Im Rahmen der Projektlaufzeit sollte die realisierbare Genauigkeit dieses Ansatzes ermittelt und ein prototypisches Hardware-/ Softwarekonzept entwickelt werden, welches den Anforderungen der Installation im öffentlichen Raum sowie der Datenverfügbarkeit in Echtzeit gerecht wird.

1.4 Ergebnis

Ergebnis des Projekts war die Messung der Lärmemission entlang von Verkehrs wegen, über die Demonstratoren und die digitale Infrastruktur, um daraus Rückschlüsse auf Anzahl und Verteilung der Verkehrsteilnehmer geben zu können. Kommunale Verkehrsbehörden kann so eine kostengünstige, datenschutzkonforme und einfach zu installierende Lösung an die Hand gegeben werden, um mindestens Verkehrszählungen vornehmen zu können. Die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit und Vermarktungsfähigkeit betrifft das Gesamtprodukt, jedoch auch einzelne Produktkomponenten (Applikation zur Datenverarbeitung, Cloud-Workspace).

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Zukunft der Mobilität ist ein viel diskutiertes Thema der heutigen Zeit: Elektromobilität, autonomes Fahren, Vernetzung oder neue Mobilitätsdienste sind wichtige Trends – aber wohin führt die Transformation und wie kann dieser Wandel in Einklang mit anderen großen Zukunftsthemen, wie der zunehmenden Urbanisierung, städtebauliche Nachverdichtung und steigendem Umweltbewusstsein gebracht werden?

Ein zentraler Schwerpunkt für eine zukunftsfähige Mobilitätsplanung und -steuerung ist das Überwachen von Verkehrszahlen und -flüssen, insbesondere in Ballungszentren und dicht besiedelten Gebieten. Aktuell stehen die individuelle Mobilität mit motorgetriebenen Fahrzeugen sowie der stark zunehmende Lasten- und Lieferverkehr in Konkurrenz zu menschlichen Bedürfnissen nach Ruhe, geringer Schadstoff-/Umweltbelastung und Sicherheit. Zwar verspricht die Elektromobilität eine Minderung direkter Emissionen von Luftschatdstoffen (z.B. Stickoxide, CO₂), andererseits wird mit weiterwachsender Bevölkerung und Wohlstand auch eine Zunahme an Fahrzeugen prognostiziert. Hinzu kommt, dass auch elektrisch betriebene Fahrzeuge aufgrund aerodynamischer Effekte und mechanischem Abrieb (z. B. Bremsen, Reifen) nicht unerheblich Lärm und Feinstaub emittieren [1]. Besonders leidtragend sind Anlieger stark befahrener Streckenabschnitte und bei enger und ungünstiger Bebauungslage. Aber nicht nur Anlieger verlangen nach Lösungen, auch die Verkehrsteilnehmer selbst haben großes Interesse an möglichst störungsfreiem und fließenden Verkehr. Denn deutsche Autofahrer stehen pro Jahr im Durchschnitt 120 Stunden im Stau, Zeit die man besser und sinnvoller verbringen könnte [2].

Kommunale Verwaltungen als Bindeglied zwischen Verkehrsbehörden und Bürgerinteressen stehen vor einer zusätzlichen Herausforderung, wenn es darum geht, innovative Lösungen zu erarbeiten und bereitzustellen. Aufgrund der knappen Ressourcen vieler Kommunen sind kostenintensive Gerätetechnik verbunden mit aufwändiger Installation und Betrieb kaum realisierbar [3]. Hier sind neue und innovative Methoden und System notwendig.

Im Rahmen des Verbundprojekts lag der Fokus auf der Entwicklung einer kostengünstigen und einfach zu installierenden Lösung zur verlässlichen Verkehrszählung. Das Projekt zielt darauf ab, Fahrzeuge auf Basis von mit Mobiltelefon und Mikrofon aufgezeichneten akustischen Signalen zu Detektieren und zu Kategorisieren. Die beiden beteiligten Partner Tigerbytes und Wölfel arbeiteten eng zusammen, um dieses übergeordnete Ziel zu erreichen.

Im Rahmen der Innovationsinitiative mFUND des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) wurde das Projekt „dBEL_traffic analyzer“ beantragt und erfolgreich umgesetzt.

Zur Durchführung des Projektes standen den Projektpartnern jederzeit genug finanzielle und personelle Ressourcen zur Verfügung. Um organisatorische Engpässe vorwegzunehmen und zu verhindern, dass das Projekt sich auf diese Weise hin hinauszögert und gleichzeitig passende Zeiträume für eine angemessene Entwicklung der geplanten Features festzusetzen wurde eine Kombination der Projekt- Produktmanagementverfahren KANBAN und SCRUM durchgeführt. In diesen Prozess waren auch regelmäßige Zwischenevaluationen sowie eine Endevaluation integriert.

Die notwendigen Arbeitsschritte wurden mit der erforderlichen inhaltlichen Tiefe und Präzision vorgenommen. Hierfür wurden alle notwendigen Informationen, sowie Hardwarekomponenten durch Wölfel bereitgestellt, während Tigerbytes die Softwarekomponenten bereitgestellt hat.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war für die Dauer von 12 Monaten angelegt und wurde planmäßig durchgeführt und wurde von den beteiligten Partnern geplant und in enger Zusammenarbeit, unter Berücksichtigung der jeweiligen Partnerkompetenzen, in den einzelnen Arbeitspaketen aufeinander abgestimmt durchgeführt. Weiter wurde ein Projektplan auf Aktivitätsebene bis zum nächsten anstehenden Meilenstein erstellt. Für Koordinations- und Organisationsfragen zum Projekt gab es einen festen Ansprechpartner bei beiden Partnern. Alle Aktivitäten wurden im Zeitrahmen erfolgreich beendet.

Für die anfallenden Projektberichte zu den einzelnen Arbeitsschritten, wurden im Vorfeld Teilberichte bzw. Präsentationen angefertigt, damit sie zu einem späteren Zeitpunkt mit dem jeweiligen Projektpartner abgeglichen werden konnten. Zu den Teilarbeitspaketen, die in der Vorhabenbeschreibung erläutert sind, wurden zusätzlich bilaterale Absprachen und Konferenzen über Microsoft Teams zwischen den Partnern organisiert.

Es wurden wöchentlich Treffen über Microsoft Teams mit den Projektleitungen der Kooperationspartner und Mitarbeitender abgehalten, an denen auch andere Mitarbeitende aus den Bereichen Entwicklung und Produkt beteiligt waren, um den Fortschritt in den einzelnen Teilschritten zu besprechen und abzustimmen. Dadurch waren die Kooperationspartner innerlich wie gegenseitig informiert. Der Austausch von Daten erfolgte maßgeblich über den Cloud-Workspace und über E-Mail, so dass alle Partner besser informiert werden konnten.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Es wurden keine bekannten Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte für die Durchführung des Vorhabens benutzt. Lediglich Signalverarbeitungsverfahren und Algorithmen, die in der Literatur beschrieben sind, wurden auf die vorhandene Problemstellung angewendet bzw. weiterentwickelt. Für den Bau der im Projekt entwickelten Demonstratoren wurden handelsübliche Standardkomponenten verwendet.

4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Im Wesentlichen wurde die Fachliteratur über Internetrecherche bezogen.

Agile Softwareentwicklung nutzt verschiedene Dokumentationsdienste um die konzeptionelle Ausarbeitung von Applikationen, deren Features und digitalen Infrastrukturen für die Entwickler nachvollziehbar darzustellen und den Wissenstransfer zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wurde die Wissensmanagementsoftware Confluence verwendet, auf dem die Konzeption der Anwendung für die Mobiltelefone und der IoT Service dokumentiert wurde. Ein zusätzliches Tool der Softwareentwicklung ist Git Commit log, das von den Entwicklern für die Dokumentation genutzt wurde. Zur Abstimmung der Aufgaben der verschiedenen Entwickler während der Projektphasen wurde die Projektmanagementsoftware Jira verwendet in der die zu erledigenden Aufgaben erst definiert und geplant und dann umgesetzt und falls notwendig abgeändert werden konnten. Um die Ideen für das finale Konzept mit den Kooperationspartnern zu entwickeln, kam das kooperative Canvasprogramm Miro zum Einsatz, dass es den Beteiligten ermöglicht Ideen auf einem gemeinsam geteilten Whiteboard Form zu verleihen und zu kommunizieren.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit beschränkte sich auf die oben genannten Verbundpartner.

Der Markt Höchberg hat das Projekt als assoziierter Partner begleitet.

II. Eingehende Darstellung zu

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Im Ergebnis konnte das Vorhaben, auf Basis moderner Mobile Device Technologie und Sensorik eine verlässliche Verkehrszählung zu ermöglichen, umgesetzt werden. Die Aufgabe der Wölfel Engineering GmbH + Co. KG war es die Demonstratoren aufzubauen, zu installieren und zu betreiben, den KI-Algorithmus zu entwickeln und für die Zwecke der Analyse anzulernen sowie ein Datenabgleich mit Referenzsensorik durchzuführen. Die Tigerbytes GmbH hat dabei die Entwicklung der Applikation für die Verarbeitung der Daten konzipiert und entwickelt und den Cloud-Workspace konfiguriert und bereitgestellt, in dem die Audiodaten den datenschutzrechtlichen Anforderungen entsprechend gespeichert wurden. Darüber hinaus ist die Technologie wegen ihrer Ubiquität in Hinblick auf Handhabung und Kosten beliebig skalierbar. Abbildung 1 zeigt die Prozessschritte des entwickelten Verfahrens für eine akustische Verkehrsüberwachung zusammen mit der Aufgabenteilung im Projekt.



Abbildung 1: Prozessschritte für eine akustische Verkehrsüberwachung. Die Projektpartner Tigerbytes und Wölfel bearbeiteten je zwei dieser Schritte.

AP1: Entwicklung Demonstrator

Für den Demonstrator wurden seitens Wölfel die notwendigen Komponenten identifiziert und beschafft. Der Demonstrator besteht im Wesentlichen aus einem Mobiltelefon, einem Mikrofon und einer Energieversorgung. Zum Schutz vor Umwelteinflüssen wird das technische Setup in einem Schutzgehäuse untergebracht. Dadurch können wesentliche Faktoren wie eine einfache Installation, geringe Kosten und eine beliebige Skalierbarkeit gewährleistet werden.

Die zu entwickelnde Applikation wurde von Tigerbytes spezifisch für iOS programmiert, da die zur Verfügung stehende Mobil Device Technologie am besten auf iPhones umzusetzen war, weil iPhones ein geeignetes Mikrofon zur Aufnahme bereitstellen. Es wurden dabei keine Audiosignale auf dem Mobiltelefon oder in der App gespeichert. Aus Datenschutzgründen wurden die Audiosignale unmittelbar in der App vorverarbeitet. Natürliche Klänge sind oft eine Überlagerung von vielen Frequenzen mit zugehörigen Phaseninformationen. Diese Art von Daten unterliegt der DSGVO (Datenschutzgrundverordnung) und ist außerdem in unkomprimierter Form sehr speicherintensiv. Aus diesem Grund haben wir die Applikation so konzipiert, dass die Audiosignale durch die App lediglich vorverarbeitet und weitergeleitet werden. Das angewandte Verfahren zur Aufbereitung ist die Fast Fourier Transformation. Das Verfahren wandelt Audiosignale in einzelne Spektralkomponenten um und liefert so Frequenzinformationen über die Signale selbst. Bei diesen Komponenten handelt es sich um einzelne Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen, die jeweils ihre eigene Amplitude und Phase haben. Sobald die Vorverarbeitung abgeschlossen ist, werden die behandelten Daten durch den KI-Algorithmus von Wölfel analysiert, bevor sie von der App in den Cloud-Workspace (AWS MQTT) überführt werden. Es war die Aufgabe der Tigerbytes GmbH die App so zu konzeptionieren und zu entwickeln, dass die

Vorverarbeitung sofort und ohne Speicherung stattfindet und die aufbereiteten Daten sicher in die Cloud transferiert werden können. *Abbildung 2* zeigt einen Screenshot der Traffic Analyzer App.

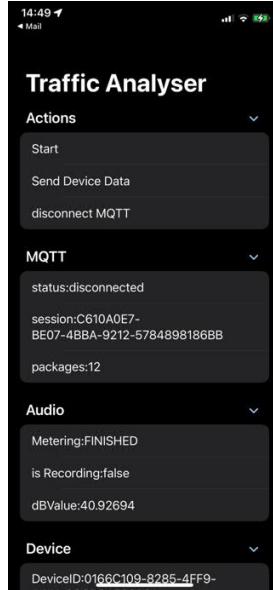


Abbildung 2: Screenshot der Traffic Analyzer App.

Der Upload von Berechnungsergebnissen durch die Applikation in den Cloud-Workspace war ebenfalls Aufgabe der Tigerbytes GmbH. Dabei wurde der Upload (publishing) in den Cloud-Workspace zum AWS IoT Service über ein MQTT-Protokoll verwirklicht. Die durch die App und den KI-Algorithmus aufbereiteten Daten werden als JSON-Strings hochgeladen.

Telemetry (traffic analyzer) nutzt zum Handling der eingehenden Daten AWS IoT Basic Ingest (Einspeisepfad) und Standard MQTT topics (Gruppen Identifikator). AWS IoT Basic Ingest hat den Vorteil, dass es große Datenmengen gut handhaben kann, da die publication/subscription Mechanik eines MQTT-Brokers vom Einspeisepfad der Daten getrennt wird. Dadurch ist der Transfer von Gerätedaten zu anderen Services von AWS wesentlich kosteneffektiver, während alle Vorteile die Datensicherheit betreffend beibehalten werden.

Innerhalb des Projekts sollten mehrere Mobiltelefone Audiodaten verarbeiten und weitergeben, weswegen ein fan-in Muster angewandt wurde, das viele Devices mit AWS IoT kommunizieren lässt. Das fan-in Muster (siehe Abbildung 4) kann wie ein umgekehrtes Broadcast-Muster verstanden werden in dem viele Devices auf einem gemeinsamen Topic (Gruppen-Identifikator) veröffentlichen (publishen) mit Abonnenten (Subscriber) für diesen Gruppen Identifikator, dem die Daten auf diese Weise zugewiesen werden. Üblicherweise wird das fan-in Muster für die Aggregation telemetrisch gewonnener Daten verwendet, wie es im Projekt der Fall war.

dBEL IoT Concept

Traffic Analyzer

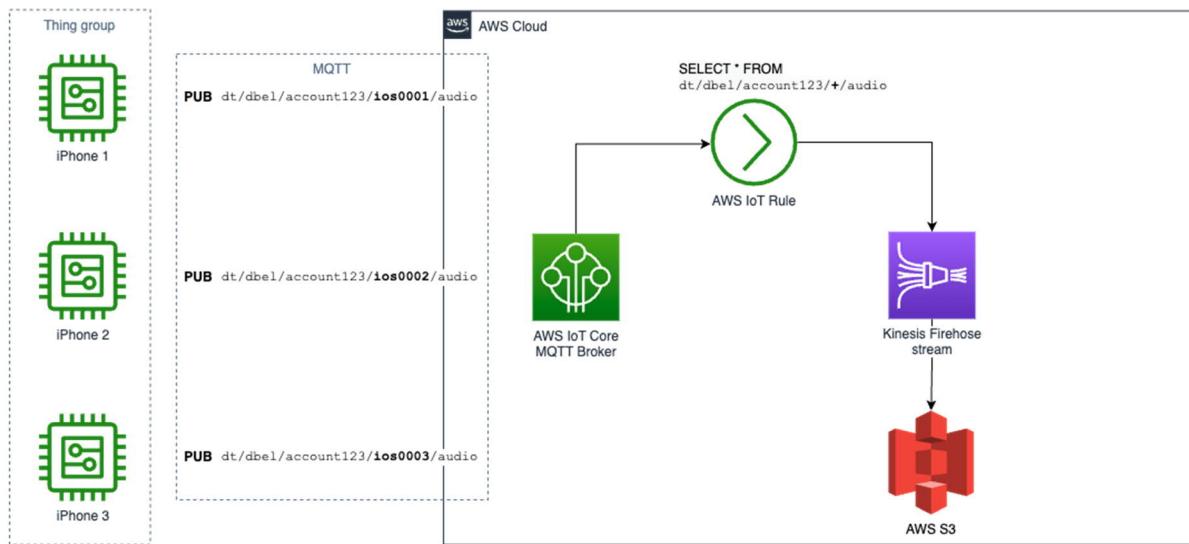


Abbildung 3: Allgemeiner Ablauf der Datenübertragung vom Mobiltelefon bis zur Ablage in S3

Über MQTT werden jede Sekunde 10 Audiomessdaten an einen Gruppen-Identifikator (Topic) geschickt und dann über AWS-IoT in S3, einem Cloudspeicherservice, abgelegt. Um zu gewährleisten, dass die Mobiltelefone mit der aufgespielten App die Daten auch korrekt aufbereiten und transferieren können, wurde zusätzlich alle 5 Minuten ein Statusupdate veröffentlicht, das Auskunft gibt über den noch zur Verfügung stehenden Zwischenspeicher, den physischen Ort des Devices und den Zustand der Batterie, damit drohenden Ausfällen entgegengewirkt werden konnte. Während des Projekts sind deshalb keinerlei Ausfälle vorgefallen.

Bei der Übertragung der Daten war es eine Voraussetzung, dass Datenschutzanforderungen gewährleistet werden. Aus diesem Grund wurde auf die Speicherung von Daten auf dem Mobiltelefon selbst verzichtet. Darüber hinaus musste Tigerbytes die Anforderungen auch für die Applikation und den Cloud-Workspace sicherstellen. Ein sicheres Nutzer- und Device Registrierungsverfahren über Autorisierung und Authentifizierung wurde deshalb eingeführt. Über einen mehrere Verifikationsschritte beinhaltenden Prozess wurden das Device und der zur Registration genutzte Account miteinander abgeglichen und deren Authentizität verifiziert. Die übertragenen Daten können so ausschließlich von autorisierten Nutzern im S3 Cloudspeicherservice eingesehen werden.

AP2: Testinstallation

Gemeinsam mit der Marktgemeinde Höchberg wurden seitens Wölfel geeignete Standorte mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen identifiziert, da diese die Charakteristika der Signale beeinflussen. Betrachtet wurden ein verkehrsberuhigter Bereich, Ortsdurchfahrten und Überlandstraßen sowie ein- und mehrspurige Straßen. Dabei kamen verschiedene Systeme zum Einsatz, auch um den Demonstrator gegen andere Lösungen vergleichen zu können. Als Referenz dient ein optisches System (Argos) sowie

als Vergleich mit spezifischer akustischer Messtechnik ein Duo SPL-Meter. Die Systeme und ihre Funktion im Projekt sind kurz in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Eingesetzte Messsysteme und ihre Funktion im Projekt

Argos-System	Mobiltelefon	Duo SPL-Meter
Optische Detektion von vorbeifahrenden Fahrzeugen	Kontinuierliche Aufzeichnung des Verkehrslärms	Kontinuierliche Aufzeichnung des Verkehrslärms
Referenz für die Algorithmen-Entwicklung	Extraktion der Vorbeifahrten und Identifikation der Fahrzeugklassen	Redundantes akustisches System

Der Messaufbau mit allen Systemen ist in Abbildung 4 dargestellt.

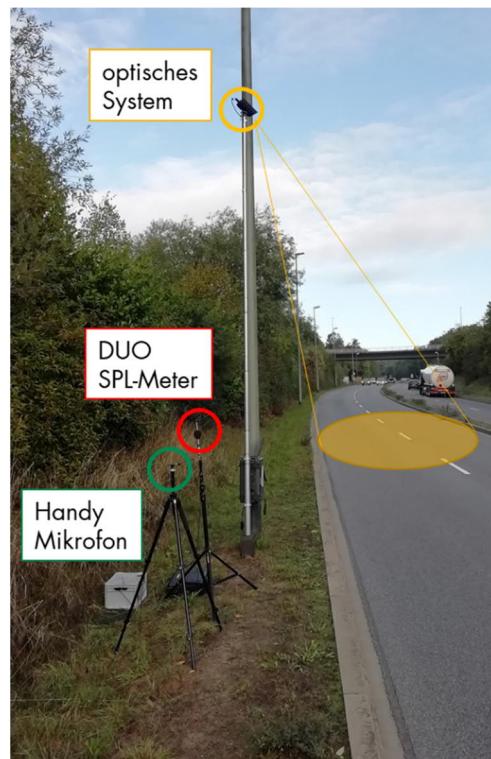


Abbildung 4 Messaufbau mit angestrebter Lösung des Handy Mikrofons, DUO SPL-Meter zum akustische Vergleich und einem optischen System zur Referenzmessung

Im Zeitraum August / September 2022 wurden an 4 Messtagen insgesamt 6000 Messdaten erhoben. Während bei Wölfel der Fokus auf der Bereitstellung der Systeme und Durchführung der Messungen in diesem Arbeitspaket lag wurden seitens Tigerbytes die Qualität der Verarbeitung der Daten und der sichere Ablauf der Datenübertagung getestet. Tigerbytes hat dabei Wölfel bei der Prüfung der Demons-

tratoren unterstützt indem die Prozesse der Vorverarbeitung und Übertragung in regelmäßigen Abständen überprüft wurden. Zur Prüfung der Funktionalität der App und der Devices auf denen sie aufgespielt ist wird alle fünf Minuten ein Statusupdate abgerufen, das Auskunft über den Zustand des Devices gibt. Bei Fehlfunktionen, wie z. B. dass die Stromzuvor ausfällt, wird Tigerbytes umgehend und automatisiert informiert. Fehlfunktionen kamen im Testzeitraum nicht vor. Die Struktur der JSON-Strings, die von der Applikation in den Cloud-Workspace übertragen wurden, entsprach den Anforderungen, damit gewährleistet ist, dass die Daten auf die konzeptionierte Art auf den Speicherservice S3 gelangen. Durch die dargestellte Funktionalität konnte der Proof of Concept nachgewiesen werden – vom Betrieb der Demonstratoren am realen Standort bis hin zur Übertragung und Ablage vorprozessierter Daten in einen Cloud-Speicher.

AP 3: Datenanalyse

Mit der aus AP2 realisierten Datenerfassung und den damit bestehenden Messdaten (inkl. Referenzierung) ist es möglich KI Algorithmen zu implementieren und anschließend anzulernen. Dabei wird zunächst zwischen verschiedenen Fahrzeugklassen unterschieden (PKW, LKW, Motorrad). Die Daten sollen dabei anhand verschiedener Merkmale der Signale, dem Spektrogramm oder der Terz-Pegel extrahiert werden. Die Herausforderung liegt zunächst in der Identifikation der Zeitpunkte der Fahrzeugvorbeifahrten in den akustischen Daten, die zusätzlich von den Störgeräuschen der Vorbeifahrten unterschieden werden müssen. Daraus leitet sich ein zweistufiger Analyseprozess ab, bei dem zunächst alle Events identifiziert werden müssen und anschließend nach den fahrzeugspezifischen Frequenzbereichen zur Unterscheidung der Fahrzeugklassen gefiltert werden muss. Die hierfür entwickelte Methodik ist in Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 5: Methodik zur Detektion von Vorbeifahrten und Filterung von Störgeräuschen. Im gefilterten Schalldruckpegelverlauf (unten) ist der Peak des Störgeräusches B (oben) nicht mehr enthalten.

Bei der Klassifikation von Fahrzeugen bestehen weitere Herausforderungen durch eine ungleiche Verteilung der Fahrzeugklassen. PKW machen hierbei 92 % der Messdaten aus, LKW 6 % und Motorräder

sogar nur 2 %. Die Vorbeifahrten am Messpunkt können dabei – abhängig von der Geschwindigkeit – unterschiedlich lang sein und können sich zudem überlappen. In Abbildung 6 ist die im Projekt erhobene Datengrundlage zusammen mit den daraus entstandenen Herausforderungen sowie der entwickelte KI-basierte Workflow zur Klassifikation von Fahrzeugen dargestellt.

Datengrundlage:

Label	# Beispiele	
CAR	5823	92%
HEAVYWEIGHT	406	6%
MOTORBIKE	138	2%

Herausforderungen:

- Ungleiche Verteilung der Labels in den Trainings-Daten
- Vorbeifahrten sind unterschiedlich lang
- Überlappende Vorbeifahrten
- Hintergrundgeräusche

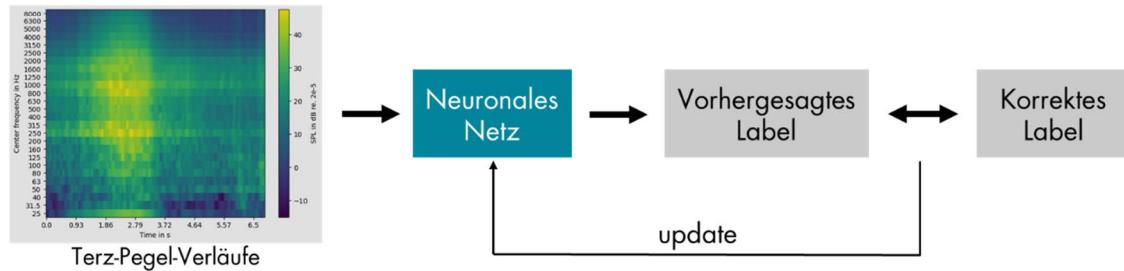


Abbildung 6: Datengrundlage, Herausforderungen sowie der KI-basierte Workflow zur Klassifikation von Fahrzeugen.

Aufgabe von Tigerbytes war es hauptsächlich Wölfel beim Anlernen des KI-Algorithmus und der fortlaufenden Analyse der Daten zu unterstützen. Die Funktionalität der Applikation wurden durch Statusupdates der Devices gewährleistet, während die Bereitstellung der Daten auf S3, dem Cloud Speicherservice, in wöchentlichen Treffen der technischen Leiter von Wölfel und Tigerbytes besprochen wurden. Die Leiter haben die nötigen Informationen dann in die jeweilige Organisation getragen. Dadurch waren alle beteiligten Akteure über die Entwicklung des Projekts informiert und die weiteren Prozesse konnten aufeinander abgestimmt werden.

Mit den entwickelten Algorithmen wurden Validierungsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse des Messsystems werden den real gezählten Fahrzeugen gegenübergestellt und sind in Tabelle 2 dargestellt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Auswertungen basierend auf dem Spektrogramm oder der Terz-Pegel konnte nicht identifiziert werden.

Tabelle 2 Validierungsmessung des Traffic-Analyzers mit nachgewiesener Funktionalität des Systems

	App	Referenz
PKW	732	834
LKW	32	63
Motorrad	21	8
Gesamt	785	905

AP 4: Optimierung

Zur Optimierung der entwickelten Lösung zur Verkehrszählung muss diese hinsichtlich ihrer Zielstellung bewertet werden. Grundsätzlich lässt sich hierbei feststellen, dass eine Messung der Anzahl von vorbeifahrenden Fahrzeugen möglich ist und diese auch in verschiedene Klassen kategorisiert werden können. Eine Bestimmung der Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge konnte aufgrund fehlender Referenzwerte nicht untersucht werden. Perspektivische Weiterentwicklungen wie eine individuelle Fahrzeugerkennung durch eindeutige Signaturen oder die Auswertung von Daten aus einem Sensorsnetzwerk zur Bestimmung von Verkehrsflüssen konnte im Projektzeitraum nicht realisiert werden. Zusätzliche Daten wie bspw. allgemeine Verkehrslagedaten oder Umweltdaten (Regen, Wind, ...) sind für die Funktion der App nicht notwendig bzw. bringen keinen wesentlichen Vorteil.

Auf Seiten der Software beinhaltet das von Tigerbytes angewandte agile Entwicklungsverfahren Reviewprozesse in Form von Bugreports und Verbesserung der Leistung des Gesamtsystems in regelmäßigen Abständen. Zusammen mit den Informationen über die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems aus dem Wissenstransfer zwischen den technischen Leitungen beider Unternehmen wurde bei Tigerbytes intern zwischen den Produktdesignern und den Entwicklern kontinuierlich daran gearbeitet die Performance der Applikation, des Datentransfers und der Gewährleistung der Datensicherheit zu optimieren. Dazu wurden in dieser Projektphase täglich Treffen zwischen Produkt und Entwicklung abgehalten, um die Fortschritte und erzielten Effekte auf die Leistungsfähigkeit abzustimmen und umzusetzen.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Weiteren soll auf die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises eingegangen werden:

Tigerbytes:

- Bei der Tigerbytes GmbH sind hauptsächlich Personalkosten angefallen, wie im Nachweis der Verwendung deutlich wird.

Wölfel:

- Materialkosten fielen entgegen der ursprünglichen Planung nicht an, da auf vorhandene Komponenten zurückgegriffen werden konnte.
- Die Personalkosten für die Projektmitarbeiter sind der mit Abstand größte Posten.
- Entgegen der Planung fielen im Projekt keine Reisekosten an, da alle Abstimmungen online stattfanden und die Messkampagnen in Höchberg, dem Sitz von Wölfel, stattfanden. Die freiwerdenden Mittel wurden in Personalmittel umgewidmet.
- Für die Nutzung des Referenzmesssystems fielen planmäßig Mietkosten als sonstige unmittelbare Vorhabenkosten an.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Bearbeitung der Arbeitspakete wurde von hochqualifizierten Mitarbeitern effektiv, ziel- und ergebnisorientiert durchgeführt. Die Vorhabenziele wären ohne Förderung nicht erreicht worden.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die für das Projekt entwickelte digitale Infrastruktur (Cloud-Workspace) und Datenverarbeitungskette für Standard-Mobilfunktelefone kann aufgrund der weiten Verbreitung solcher Devices in kurzer Zeit einen großen Anwenderkreis erschließen. Für die Tigerbytes GmbH stellt das Projekt die Möglichkeit dar neue innovative und datenbasierte Anwendungen zu entwerfen, umzusetzen und in Kombination mit angeschlossenen digitalen Infrastrukturen neue Formen der Datenverarbeitung zu entwickeln. DBEL-traffic analyzer soll als Produkt in die dBEL Plattform integriert werden und dort als digitale Dienstleistung mit anderen Leistungen angeboten werden. Darüber hinaus planen wir in den Bereichen eHealth und Smart-Cities unsere gewonnenen Erkenntnisse anzuwenden, um dort Produkte zu platzieren. Zusätzlich sollen Erfahrungen und Learnings aus dem Projekt, vor allem hinsichtlich der technischen Umsetzung sowie Produktinnovation, in Vorträgen und Case Studies veröffentlicht werden.

Der Einsatz kostengünstiger Gerätetechnik ist kein limitierender Faktor für den im Projekt gewählten Ansatz und kann in Verbindung mit dem entwickelten Algorithmus im Rahmen von Smart City Solutions einen guten Überblick zu vorliegenden Verkehrsflüssen geben. Der entwickelte Algorithmus lässt sich im Rahmen überschlägiger Verkehrslärmanalyse (Eventdetektion zur Bestimmung des Mittelpunktpegels) mit einer Genauigkeit von ca. 0,5 dB nutzen. Der gewählte Ansatz erlaubt jedoch nicht die Qualität die den Ansprüchen der „Prüfung im Bereich Verkehrserfassung“ gemäß BASt gerecht wird.

Entsprechend ist geplant das vorliegende Ergebnis zu einem Produkt weiterzuentwickeln, welches im Rahmen von überschlägigen Verkehrsfluss- und Verkehrslärmanalysen genutzt werden kann. Den primären Use Case sehen wir im Rahmen von Smart City Solutions.

Die einfache Gerätetechnik und Analyse von Terzbandpegel-Verläufen (Kernidee!) ist jedoch nicht für qualitativ hochwertige Prüfungen im Bereich der Verkehrserfassung geeignet, weshalb ein Folgeprojekt nicht angestrebt wird!

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind dem ZE keine wesentlichen Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens während der Durchführung des Vorhabens bekannt geworden.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Die Projektergebnisse werden in Form dieses Schlussberichts bei der TIB (Technische Informationsbibliothek (TIB) - Deutsche Forschungsberichte, Welfengarten 1B, 30167 Hannover) veröffentlicht.

Zusätzlich ist eine Vorstellung der Ergebnisse des Projekts bislang auf folgenden Veranstaltungen / Kongressen erfolgt oder geplant, aber von Auftragseingang und Auslastung der Firma im nächsten Jahr abhängig:

2022: Kick-Off Veranstaltung dBEL_trafficanalyzer (21.04.22)

2023: Abschlussveranstaltung

2023: Couchbase Connect im Frühling 2023

2024: DAGA (Deutsche Akustikertagung)

2024: AI & BIG DATA EXPO

Darüber hinaus bietet Wölfel Engineering GmbH + Co.KG regelmäßig Seminare, Webinare und sonstige Veranstaltungen an (www.woelfel.de)

Die gemessenen Daten sind auf der Mobilithek, der Mobilitätsdaten Plattform des BMDV, verlinkt:

<https://mobilithek.info/offers/572023705113108480>

7. Literaturverzeichnis

- [1] BMU, „Luftschadstoffe und Lärm: Mehr Elektroautos – mehr Lebensqualität?“, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, [Online]. Available: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/luft-und-laerm>. [Zugriff am 25 11 2021].
- [2] Welt Online, „So lange stehen Sie in deutschen Städten im Stau,“ [Online]. Available: <https://www.welt.de/vermisches/article188629459/Stau-So-viel-Zeit-und-Geld-verlieren-die-Deutschen-beim-Warten.html>. [Zugriff am 25 11 2021].
- [3] DStGB, „Finanzen der Kommunen für das laufende Jahr,“ Deutscher Städte- und Gemeindebund, [Online]. Available: <https://www.dstgb.de/aktuelles/archiv/archiv-2020/finanzen-der-kommunen-fuer-das-laufende-jahr-stabilisiert/>. [Zugriff am 25 11 2021].