

Abschlussbericht

Kamäleon Konstruktiv adaptive Mobilität bei Leichtfahrzeugen durch dynamische Fahrzeuganpassung mit KI-basierter multisensorischer Umfelderkennung
Teilvorhaben: Modifikation Freelineer

Förderkennzeichen 16SV8207

Schlussbericht – Teil 1: Kurzbericht

Datum

30.06.2024

Autoren/innen

Steffen Kloiber

Inhalt

| | | |
|-----|--|---|
| 1 | KURZE DARSTELLUNG | 3 |
| 1.1 | Zielsetzung und Aufgabenstellung..... | 3 |
| 1.2 | Voraussetzungen | 5 |
| 1.3 | Planung und Ablauf des Vorhabens..... | 5 |
| 1.4 | Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Start des Vorhabens | 7 |

1 Kurze Darstellung

1.1 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Die Elektrifizierung des Straßenverkehrs zeigt sich nicht nur an den starken Bestrebungen zur Entwicklung von Elektroautos, sondern ist auch aus den hohen Zuwachsraten bei anderen E-Fahrzeugen, wie Mikromobilen, Personal Light Electric Vehicles (PLEV), E-Scootern, Elektrorollern, E-Bikes und insbesondere Pedelecs ersichtlich. Diese elektrisch angetriebenen Kleinfahrzeuge ermöglichen nicht nur eine differenziert angepasste Mobilität im urbanen Umfeld, sie können auch einen bedeutenden Beitrag zur Erhöhung der Luftqualität im Innenstadtbereich leisten. Im Vergleich zu E-Autos sind sie wegen der kleineren bewegten Massen zusätzlich auch noch wesentlich ökologischer. Für Ältere oder auch bestimmte Gruppen körperlich Eingeschränkter werden mit diesen E-Fahrzeugen die Anreize und auch Möglichkeiten zur „Freiluftmobilität“ erst geschaffen.

Voraussetzung für eine breite Akzeptanz und Marktdurchdringung dieser Fahrzeugtypen und eine damit einhergehende ökologische und gesellschaftliche Wirkung ist, dass technische Ausstattung und technische Fähigkeiten sowie die Einsatzmöglichkeiten an die Bedürfnisse der potentiellen Nutzergruppen angepasst sind und diesen zu der angestrebten adaptiven und variablen Mobilität verhelfen. Als Beispiel dafür sei die Möglichkeit genannt, bei Regen mit dem Fahrzeug auf S- oder U-Bahn oder Zug auszuweichen. Weitere Beispiele sind die Möglichkeit, für das Abholen eines Pakets bei der Post und den Einkauf einer Kiste Wasser vom Auto auf dieses E-Leichtfahrzeug überzugehen oder zum Shopping auch einmal in der Fußgängerzone vor dem Geschäft parken zu können (Abb. 1).



Abb. 1: kick-Trike im städtischen Einsatz

Das kickTrike besitzt drei Räder und kippt deshalb im Stand nicht um. Das erlaubt den einfachen Transport verhältnismäßig hoher Lasten und macht den Gebrauch für unsichere Nutzergruppen wie Ältere oder geheingeschränkte Personen leichter. Unabhängig davon können aber auch hohe Geschwindigkeiten bis zu 40km/h gefahren werden. Wegen dieser bauartbedingten Voraussetzungen darf das kickTrike bisher nur auf Straßen und nicht auf Bürgersteigen im Mischverkehr mit Fußgängern oder auf Fahrradwegen gefahren werden. Es darf auch nicht mit in die S-Bahn genommen werden – obwohl es weniger Platz als ein Fahrrad einnimmt.

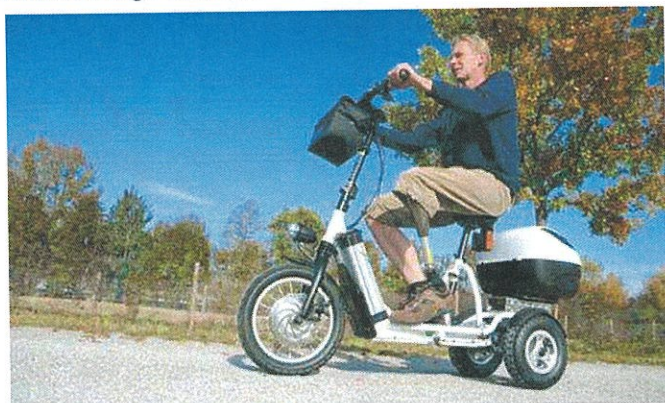
Die Nutzungsmöglichkeiten von E-Dreirädern, wie das KickTrike, entlang einer individuellen Reiskette im urbanen Umfeld würden entscheidend aufgewertet werden, wenn eine Nutzung auch auf Bürgersteigen, auf Fahrradwegen, auf Plätzen oder in Fußgängerzonen möglich wäre. Damit würden völlig neue E-Fahrzeuge geschaffen, die sowohl für den Mischverkehr mit Kraftfahrzeugen auf der Straße als auch für den Mischverkehr mit Fußgängern oder Fahrrädern geeignet sind. Die Fahrzeuge könnten damit sowohl für den Einkauf in der Fußgängerzone genutzt werden als auch für den Heimtransport in die Außenbezirke. Solcherart Fahrzeuge wären zudem ideal zur Bewältigung der großen Strecken auf Messen – trotz des zeitweise dichten Fußgängerverkehrs – bis hin zu einem (verlangsamten und kontrollierten) Personentransport in Messehallen. Auch in Stausituationen könnte man mit solchen Fahrzeugen alternative Routen nehmen, die ansonsten nur Fußgängern oder Fahrradfahrern vorbehalten sind – und zur Not mit der S-Bahn nach Hause fahren. Dieser akzeptanzförderlichen Adaptivität steht aber bisher die bestehende Gesetzgebung entgegen.

Einer ähnlichen Problematik steht eine spezielle Nutzergruppe des Freeliners (Abbildung 2) des Projektpartners OrangeBikeConcept gegenüber. Der Freelineer ist wie das KickTrike ebenfalls ein Dreirad und wird (neben anderen Nutzern) auch gerne von Multiple-Sklerose-Patienten oder anderen Patienten mit Geheinschränkungen gekauft, da sie sich damit einerseits sicher, aber auch schneller als in einem Rollstuhl bewegen können. Diese Patienten können oft noch lenken, aber nicht mehr treten. Diese Zielgruppe sucht häufig eine individuelle Mobilität, die über die eines 6 km/h-Rollstuhls hinausgeht. Gerade im MS-Bereich sind viele Kunden noch sehr jung und wollen am Leben ihrer Familie teilnehmen, ausgedehnte Radtouren mitbegleiten, selbständig einkaufen, zur Dialyse fahren, usw. Die Benutzung des Freeliners erhöht im entscheidenden Maße die Lebensqualität. Immerhin gibt es in Deutschland ca. 240.000 MS-Patienten.

Die Benutzung wird aber dadurch eingeschränkt, dass auch hier das Dreirad als Kraftfahrzeug gilt. Das gewünschte sichere Fahren auf Fahrradwegen in Begleitung der fahrradfahrenden Betreuer ist eigentlich gesetzlich verboten. Die Patienten dürfen auch nicht wie Fahrräder in Parks oder auf Waldwegen fahren, da auch dies für Kraftfahrzeuge verboten ist..



Abb. 2: Freelineer



Ideal für geheingeschränkte Personen

Grundidee des Projektes

Die Grundidee des Projektes Kamäleon war es, E-Leichtfahrzeuge (exemplifiziert an E-Dreirädern) technisch so zu modifizieren, dass sie sich – wie ein Chamäleon – an die Bedingungen der

befahrenen Verkehrsfläche, an Variablen des Verkehrs (z. B. Fußgängerdichte), an das übergeordnete Verkehrsmittel (z. B. S-Bahn) oder weitere Bedingungen der Umgebung anpassen. Dies geschieht in erster Linie durch Anpassungen der Höchstgeschwindigkeit.

Technisch wurde die Adaptivität dadurch realisiert, dass über Sensoren (Bildsensoren, Time-of-Flight-Kameras) die Fahrumgebung mit ihren statischen und dynamischen Hindernissen gescannt und mit Hilfe von Methoden der Künstlichen Intelligenz, wie sie auch bei autonomen Systemen eingesetzt werden, die befahrene Verkehrsfläche, sowie die anderen Verkehrsteilnehmer in der Nähe automatisch erkannt und die Fahrzeugeigenschaften über Software modifiziert wurden.

Über Software-Sicherungsmaßnahmen und sichere Steuergeräte wurde sichergestellt, dass ein Missbrauch ausgeschlossen ist. Der aktuelle Fahrzustand wurde – ebenfalls wie bei einem Chamäleon – über eine äußere Darstellung deutlich gemacht. Das erhöht entscheidend die Akzeptanz der anderen Verkehrsteilnehmer und trägt zu einem gegenseitigen Vertrauen und zur friedlichen Koexistenz bei.

1.2 Voraussetzungen

Das Forschungsvorhaben wurde mit einer Laufzeit von 57 Monaten (inkl. kostenneutraler Verlängerung) mit den Konsortialpartnern Constin GmbH, HFC Human-Factors-Consult GmbH, TÜNKERS AG, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fachhochschule Aachen, CISP A Helmholtzzentrum und TU Braunschweig durchgeführt. Die Konsortialführung hatte die HFC Human-Factors-Consult GmbH inne.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens entsprach im Wesentlichen den Inhalten, wie sie in der Projektskizze, der GVB und TVB zu Beginn des Vorhabens festgehalten wurden musste aber wegen technologischer Hürden im Projekt mehrmals korrigiert werden. Bedingt durch die COVID-19-Pandemie zur Laufzeit des Vorhabens kam es zu Verzögerungen – insbesondere bei den hardwarelastigen Arbeitspaketen des Partners Constin. Das hatte einerseits eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes zur Folge, andererseits konnten die Feldtests zur Erprobung des Systems nicht in der geplanten Weise durchgeführt werden. Die technologischen Arbeitsziele des Teilvorhabens konnten dennoch im vollen Umfang umgesetzt werden, wobei es allerdings erhebliche Reduzierungen in der Zahl der mit der neuen Technologie ausgestatteten Fahrzeuge von OrangeBike gab. Insgesamt wurden 15 Fahrzeuge des Typs Freelineer umgerüstet

Die technologischen Entwicklungen der Hardwareplattform des Partners Constin konnte erst so spät fertiggestellt werden, dass eine erhebliche Umplanung der Feldtests notwendig war. Immerhin konnten mit den Freelineern Langzeittest durchgeführt werden. Einzelne Probanden fuhren bis zu 20 Wochen mit den modifizierten Fahrzeugen. Die Evaluierung wurde vom Partner HFC durchgeführt. Abbildung 3 zeigt einen der modifizierten Freelineer.



Abb. 3: Modifizierter Freelineer

Tabelle 1: Übersicht über die bearbeiteten Arbeitspakete von OrangeBike

| AP1 Gesamtsystem, Requirements, politische Aktivitäten | | |
|--|--|--|
| 1.1 | Gemeinsame Erarbeitung der finalen funktionalen Spezifikation aller Komponenten im Projekt | Präzisierung und Ergänzung/Vervollständigung der in der Skizze formulierten Ziele (Lastenheft) unter Beachtung der prinzipiellen technischen und organisatorischen Machbarkeit. |
| 1.2 | Erarbeitung der Lösungskonzepte | Entwicklung von Lösungen einschließlich der Architektur und angestrebten Funktionsweise des technischen Gesamtsystems. Festlegung der Systemkomponenten und deren Zusammenwirken, ihrer Funktionen und deren zugehörigen Realisierungskonzepte so- |

wie der Kommunikationswege und -Protokolle zwischen den Systemkomponenten.

| AP6 Modifikationen der Dreiradplattformen | | |
|--|--|--|
| 6.1 | Mechanischer/elektrischer Umbau von Freelineer | Anpassung der Dreiradplattform konstruktiv und elektrisch auf die Anforderungen der dynamischen Zulassung |
| 6.2 | Modifikation des Freelineers | Ergebnisse von Funktionstests und die Weiterentwicklungen von MRT und CISPA fließen in erneuten Modifikationen ein |
| 6.3 | Aufbau Freelineer für Hauptfeldtest | Aufbau von insgesamt 15 modifizierten Versuchsträgern für Hauptfeldtest |
| 6.4 | Modifikationen, Korrekturen von Freelineer während Hauptfeldtest | Reparaturen, Korrekturen etc. während Hauptfeldtest |
| AP7 Außendarstellung für informelle soziale Kontrolle | | |
| 7.3 | Umbau von Freelineer für Außendarstellung Fahrstatus | Anbindung der Anzeigen zur informellen sozialen Kontrolle an die Freelineer-Fahrzeuge |
| AP8 Vortests | | |
| 8.2 | Integration aller Komponenten für Funktionstest | Integration aller Komponenten als Voraussetzung zu den Funktionstests |
| 8.3 | Funktionstests | Funktionstest zusammen mit HFC in Karlsruhe - Ableitung von Redesign-Empfehlungen |
| AP9 Hauptfeldtests | | |
| 9.1 | Akquise Probanden | Akquise von Probanden zusammen mit HFC in Karlsruhe Der Schwerpunkt lag auf MS-Patienten oder anderweitig beeinträchtigten Personen. Wegen technischer Probleme bei Partner Constin konnten nur wenige Probanden für eigentliche Fahrttests gewonnen werden. |
| 9.4 | Durchführung Probandenbefragungen | Zusammen mit HFC wurden Probandenbefragungen durchgeführt. |
| 9.5 | Betreuung Probanden im Haupttest | Die Probanden wurden während der Tests zusammen mit HFC betreut |

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Start des Vorhabens

E-Leichtfahrzeuge, die mit Sensorik ausgestattet sind und sich über eine Erkennung des befahrenen Umfeldes an das befahrene Umfeld automatisch anpassen und den aktuellen Anpassungsstatus visuell nach außen sichtbar machen, sind den Antragstellern nicht bekannt. Das Projekt ist sowohl von der Zielsetzung als auch von den Teilarbeiten her besonders innovativ. Für die Darstellung des Standes der Technik sind insbesondere die Teilbereiche Umgebungs- und Objekterkennung, Sensorik mit Time-of-Flight-Sensoren, Software- und Hardwaresicherheit, informelle soziale Kontrolle über Darstellung des Fahrzustandes und rechtliche Belange von Bedeutung.

1.4.1 Wahrnehmung des Verkehrsraums und der Verkehrsteilnehmer mit KI-Methoden

In den vergangenen Jahren hat es einen großen Schub bei der kamerabasierten, automatischen Beobachtung des Verkehrsraums gegeben. Mit Hilfe von Deep-Learning-Techniken ist es möglich, ganze Bilder pixelgenau zu segmentieren, wobei verschiedene Bereiche unterschieden werden können, z.B. Fahrbahn, Gehweg, Vegetation, Bebauung, Himmel, Schilder, Markierungen, Autos, Fahrradfahrer, Fußgänger, usw. [1]. Die Objektklassen können an die jeweilige Aufgabe angepasst werden (siehe Abb. 4). Mit dieser Vorgehensweise kann der befahrbare bzw. begehbare Bereich um den Beobachter herum sehr genau erkannt werden. Ferner ist es möglich, Hindernisse und andere Verkehrsteilnehmer sehr zuverlässig zu erkennen.

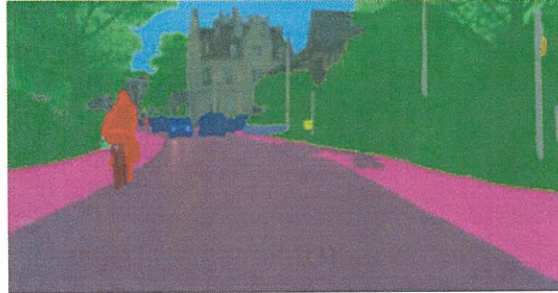


Abb. 4: Automatisch generierte semantische Segmentierung eines Kamerabildes.

Der Rechenaufwand für die deep-learning-basierte Segmentierung für eine ganze Videosequenz ist verhältnismäßig hoch. Er lässt sich jedoch deutlich verringern, wenn man nur Einzelbilder in geringerer Auflösung auswertet (z. B. nur ein Bild pro Sekunde) so dass sich diese Technik auch auf schwächerer Rechnerhardware wie im Projekt anwenden lässt.

Eine zweite Möglichkeit zur Wahrnehmung der Umgebung besteht in der Nutzung abstandsgebender Sensorik, z. B. eines Laserscanners oder einer Time-of-Flight-Kamera. Zwar liefern diese Sensoren bei weitem nicht die räumliche Auflösung wie eine Kamera, allerdings sind die Abstandsmesswerte deutlich genauer als kamerabasierte Abstandsmessungen. Aus den Abstandsmessungen lassen sich mit verhältnismäßig einfachen Segmentierungsverfahren bereits die befahrbaren Freiräume und die sie begrenzenden Objektkanten detektieren und geometrisch beschreiben [2]. Durch Abgleich mehrerer Scans können zudem die Eigenbewegung [3] und die Bewegung anderer Objekte im Umfeld des Beobachters [4] geschätzt werden. Im Gegensatz zur Auswertung von Kamerabildern haben die Auswerteverfahren für Abstandsmessung einen vergleichsweise geringen Rechenaufwand, so dass sie auch auf einer leistungsarmen Rechnerhardware umgesetzt werden können. In dem Projekt Kamäleon wird mit einer Sensorfusion von Kamera und TOF (siehe Kap. 1.4.2) gearbeitet.

[1] A. Garcia-Garcia et al., *A Review on Deep Learning Techniques Applied to Semantic Segmentation*. arXiv: 1704.06857

[2] J. Moras et al., *Drivable space characterization using automotive lidar and georeferenced map information*, IV, 2012

[3] T. Miyasaka et al., *Ego-motion estimation and moving object tracking using multi-layer lidar*, IV, 2009

[4] F. Moosmann, C. Stiller, *Joint Self-Localization and Tracking of Generic Objects in 3D Range Data*, ICRA, 2013

1.4.2 Time-of-Flight-Sensoren

Zur optischen (3D)-Detektion der Umgebung eines Fahrzeugs gibt es zahlreiche Verfahren, die sich in zwei Messmethoden unterteilen lassen: Stereoverfahren und Laufzeitverfahren (Time-of-

Flight = ToF). Zu den Stereoverfahren können sowohl aktive Streifenlichtscanner als auch die passiven Stereokameras, gezählt werden. Hierzu existiert eine Vielzahl von Einzelkomponenten und Verfahren, von denen [1, 2, 3] exemplarisch genannt sind. In Phase 1 des Projektes wurde mit den Partnern erarbeitet, welche Sensorik für die dargestellten Ziele in Abwägung der notwendigen geringen Kosten für dieses Fahrzeugsegment am besten geeignet ist. Dabei hat sich die Kombination aus preisgünstigen Monokameras mit TOF-Sensoren (TOF-Kamera) als am vielversprechendsten herausgestellt.

Das Prinzip der 3D-Time-of-Flight-Kamera wurde 1997 als Patent angemeldet [4]. Die erste 3D-ToF-Kamera, die Bewegungen in Echtzeit erfassen konnte, war die von Microsoft als Add-on zur Spielekonsole X-Box entwickelte Kinect, die 2010 auf der CES in Las Vegas vorgestellt wurde. Mittlerweile gibt es aber etliche Anbieter von 3D-Kameras wie Texas Instruments, Melexis oder Infineon. Mit Phab 2 Pro von Lenovo oder dem Zenfone AR von Asus sind bereits ToF-Sensoren im Smartphone-Bereich und damit im Consumer Elektronik Markt etabliert. Allerdings sind alle Sensoren für den Innenbereich konzipiert und bei Sonnenlicht in der Regel unbrauchbar. Für die geplante Anwendung und unter Berücksichtigung des möglichen preislichen Rahmens muss deshalb eine neue Sensorik entwickelt werden.

- [1] Christoph, J., Schwanecke, U.: „Ein System zur berührungslosen, volumetrischen Vermessung von Gesichtsschwellungen“. In: Bildverarbeitung für die Medizin, 2010.
- [2] Haase, K., Bauer, C.: „Elastische Registrierung eines 3D-Oberflächenmodells anhand von aktiv gemessenen Stützdaten“. 2004.
- [3] Niazmand, K.: “Medizinische Bewegungserkennung durch Beschleunigungsmessung“. Dissertation, Universität München, 2012.
- [4] Schwarte R.: “Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Phasen und/oder Amplitudeninformation einer elektromagnetischen Welle“. In: German Patent DE 19704496, 1997.

1.4.3 Manipulationsschutz, sichere Hardware

Wenn Veränderungen an einem Bauteil eines Fahrzeugs vorgenommen werden, das eine Bauartgenehmigung benötigt, so erlischt diese. Ebenso müssen Veränderungen, die Kriterien der Zulassung des Fahrzeugs betreffen, gemeldet werden und sind eintragungspflichtig, d.h. der Fahrzeugschein muss angepasst werden. In naher Zukunft werden Autohersteller Funktionen anbieten, die nachträglich über Software-Updates nachgerüstet werden können. Die technische Grundlage für solch ein veränderliches System muss ein manipulationssicheres Grundgerüst sein, das Überprüfungsorganisationen wie dem TÜV erlaubt, den genauen Zustand eines Fahrzeugs und dessen zulassungsrelevante Parameter jederzeit über standardisierte Schnittstellen nachzuvollziehen. Damit ist in einem gewissen Maß schon das Prinzip der Adaptivität angedacht – wenn auch nicht als dynamische Anpassung während der Fahrt.

Die immer häufiger durch Software definierten Funktionen eines Fahrzeugs müssen dabei besonders gegen Angriffe geschützt sein, da das Eindringen in Fahrzeugelektronik und -computer ein besonders hohes Risiko darstellt [1, 2]. Um Angriffen auf Fahrzeugnetzwerke nicht schutzlos ausgeliefert zu sein, existieren in der Literatur generell zwei orthogonale Ansätze: Die Erkennung von Angriffen (Intrusion Detection) und die Vermeidung von gefälschten Nachrichten durch kryptographische Authentifizierung. Intrusion Detection Systeme (IDS) wurden sowohl in der Literatur

vorgeschlagen [3] als auch als Produkt auf den Markt gebracht [4]. Zur Autorisierung des Datenverkehrs zwischen Steuergeräten unterstützt das in der Automobilindustrie weit verbreitete Autosar die Authentifizierung von einzelnen Datenpaketen inklusive Schutz gegen Replay-Angriffe [5]. Ebenso existieren akademische Lösungen wie LiBrA-CAN [6] oder VatiCAN [7] des Projektpartners CISPA.

Die Nutzung eines separaten Hochsicherheits-Hardware-Moduls für vertrauenswürdige und nachvollziehbare Operationen ist durch die Verwendung von sog. *Trusted Platform Modules* (TPM [8]) möglich. TPMs erlauben die sichere Verwendung von Kryptographie ohne Gefahr zu laufen, dass geheimes Schlüsselmaterial abhandenkommen kann. TPMs haben dank der Entwicklung von Trusted Execution Environments [9] ebenfalls die Möglichkeit, die Ausführung eines bestimmten Stücks Code zu beweisen. Dies bildet die Grundlage für die Absicherung von Software, die Zulassungsparameter verändern kann und dient gleichzeitig als Beweis für Überwachungsorganisationen, dass eine bestimmte Software mit bekannten Zulassungseigenschaften ausgeführt wird. Die Methoden des *Secure Bootings* [10] kommen zur Anwendung, um die Manipulation von Daten und Software zu erkennen und somit zu verhindern, dass Flash-Speicher oder Mikroprozessor-Speicher im Fahrzeug verändert werden.

- [1] M. Wolf, A. Weimerskirch, and C. Paar. Security in automotive bus systems. In Proceedings of the Workshop on Embedded Security in Cars (ESCAR), 2004.
- [2] C. Miller, C. Valasek. Remote Exploitation of an Unaltered Passenger Vehicle, Technical Report, <http://ill-matics.com/Remote%20Car%20Hacking.pdf>
- [3] T. Matsumoto, M. Hata, M. Tanabe, K. Yoshioka, and K. Oishi. A method of preventing unauthorized data transmission in controller area network. In Vehicular Technology Conference (VTC), pages 1–5. IEEE, 2012.
- [4] ECUSHIELD - Keeping the connected and autonomous car protected. TowerSec (Harman), <http://tower-sec.com/wp-content/uploads/2017/03/HARMAN-ECUSHIELD-Brochure-EN.pdf>
- [5] Specification of Secure Onboard Communication, Autosar 4.3.1, https://www.autosar.org/fileadmin/user_upload/standards/classic4-3/AUTOSAR_SWS_SecureOnboardCommunication.pdf
- [6] B. Groza, S. Murvay, A. Herrewewege, I. Verbauwhede, "Libra-can: Lightweight broadcast authentication for controller area networks." ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), 2017
- [7] „VatiCAN Vetted, Authenticated CAN Bus“, Stefan Nürnberger, Christian Rossow. Conference on Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES), 2016
- [8] "TPM Library Specification 2.0". Trusted Computing Group. October 1, 2014.
- [9] McCune, Jonathan M., et al. "Flicker: An execution infrastructure for TCB minimization." ACM SIGOPS Operating Systems Review. Vol. 42. No. 4. ACM, 2008.
- [10] "Secure Booting and Driver Signing", Unified Extensible Firmware Interface (UEFI) Specification, Version 2.7, page 1967, May 2017

1.4.4 Informelle soziale Kontrolle

Unter sozialer Kontrolle versteht man alle Maßnahmen und Mechanismen, die dazu dienen sollten, konformes Verhalten zu erzielen oder zu erhöhen und abweichendes Verhalten zu verhindern oder zu reduzieren [1, S. 362]. Während in der formellen sozialen Kontrolle über rechtliche Maßnahmen versucht wird, dieses konforme Verhalten durchzusetzen [2], sind es in der informellen sozialen Kontrolle Mechanismen wie Spott, Scham oder ein schlechtes Gewissen, die verhaltenswirksam werden. Ein Beispiel ist die situative Kriminalprävention durch *präventive Stadtgestaltung* [4]. Die Stadt wird so geplant, dass beispielsweise große Plätze von Häusern mit großen Fensterfronten umrahmt sind, um den Eindruck des Beobachtetwerdens zu vermitteln.

Tatsächlich führte das Gefühl beobachtet zu werden zu einer positiven Verhaltensänderung und Minderung der Kriminalität (ebd.). So brachte beispielsweise auch das Anbringen eines Bildes von menschlichen Augen über einer Spendenbox in einem Studentencafé einen Anstieg freiwilliger Spenden für kostenlosen Kaffee [3].



Abb. 5: Haftnotiz: „Scheisse geparkt“.

Ein Beispiel für informelle soziale Kontrolle im Verkehrsreich liefert Venter [5]: Die Ölkrise 1980 brachte Verkehrsteilnehmer in Südafrika dazu, auf die Straße zu gehen, mit den Armen zu wedeln und Fahrer, die schneller als die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit fuhren, zu beschimpfen, um den Benzinverbrauch zu verringern. Ein anderes Beispiel ist der Kampf gegen Falschparker in Russland. *StopHam* und *Stop a Douchebag* sind Bewegungen, bei denen Aktivisten große Aufkleber auf die Windschutzscheiben von Falschparkern und Gehwegfahrern anbringen. Dies wird gefilmt und dann in sozialen Netzwerken wie *YouTube* veröffentlicht [5,6]. Ähnliche Aktionen gibt es auch in Deutschland, und man kann sogar spezielle Aufkleber dafür kaufen (Abb. 5).



Abb. 6: Ein Beispiel der Sichtbarmachung des Fahrstatus nach außen, entwickelt in Phase I von Kamäleon. Dargestellt ist die aktuelle Geschwindigkeit (11km/h).

Im Projekt Kamäleon soll der Fahrer bei Situationen, die durch die automatische Erkennung des Fahrtraums nicht eindeutig gelöst werden können, durch deutlich sichtbare Anzeichen informell sozial beeinflusst werden. In Phase I des Projektes wurde diese Möglichkeit der Verhaltensbeeinflussung in Gesprächsrunden (Fokusgruppen) mit potenziellen Nutzern des KickTrike diskutiert, und es wurden erste Möglichkeiten der Realisierung erarbeitet (Abb. 6).

Wegen der großen Bedeutung der Geschwindigkeit für die Verkehrssicherheit war einer der erarbeiteten Wünsche, die aktuelle Geschwindigkeit nach außen sichtbar zu machen. Erste Evaluierungen zeigen allerdings, dass die jetzige Implementierung noch nicht deutlich genug ist. Im Projekt sollen deshalb noch andere Möglichkeiten, beispielsweise mit einer in Geschwindigkeitsklassen variierenden farbliche Darstellung über LED, o.ä., erarbeitet werden.

- [1] Reinhold, G. (1997). Soziologie Lexikon. Wien: Verlag Oldenbourg.
- [2] Kriminologie-Lexikon Online. http://www.krimlex.de/artikel.php?BUCHSTABE=&KL_ID=170.
- [3] Space, D. (1972). Crime Prevention Through Environmental Design. Mac: New York, NY, USA.
- [4] Bateson, M., Nettle, D., & Roberts, G. (2006). Cues of being watched enhance cooperation in a real-world setting. *Biology letters*, 2(3), 412-414.
- [5] Venter, K. (2009). Speed management: making use of informal methods of social control to curb speeding behaviour on sa roads. SATC 2009 .
- [6] Chulkovskaya, Yekaterina. "StopHam: The End of the Road for Russia's Parking Vigilantes?" *Russia Beyond, Russia Beyond*, 4 Apr. 2016, www.rbth.com/politics_and_society/2016/04/04/stopham-the-end-of-the-road-for-russias-parking-vigilantes_581711
- [7] Maass, S. (2018, February 06). Aktivistengruppe "Stop a Douchebag" riskiert in Russland ihr Leben. Retrieved August 22, 2018, from <https://manve.com/2015/09/stop-a-douchebag-strassen-verkehrsordnung-russland/>

Abschlussbericht

Kamäleon Konstruktiv adaptive Mobilität bei Leichtfahrzeugen durch dynamische Fahrzeuganpassung mit KI-basierter multisensorischer Umfelderkennung
Teilvorhaben: Modifikation Freelineer

Förderkennzeichen 16SV8207

Schlussbericht Teil2: ausführlicher Bericht

Datum

30.06.2024

Autoren/innen

Steffen Kloiber

Inhalt

- 1 EINGEHENDE DARSTELLUNG..... 3
 - 1.1 Ergebnisse des Vorhabens3
 - 1.2 Nutzen und Verwertbarkeit 21
 - 1.3 Fortschritt Dritter22
 - 1.4 Veröffentlichungen.....22

1 Eingehende Darstellung

1.1 Ergebnisse des Vorhabens

AP1 Gesamtsystem, Requirements, politische Aktivitäten

Arbeitspaket 1 widmete sich den Themen Gesamtsystem, Requirements

AP 1.1 und AP 1.2: Gemeinsame Erarbeitung der finalen funktionalen Spezifikation aller Komponenten im Projekt

In mehreren gemeinsamen Workshops wurden gemeinsam die finalen funktionalen Spezifikationen erarbeitet. Im Einzelnen ergaben sich folgende Spezifikationen:

Klassifizierung der Umgebung

Die Klassifizierung erfolgt durch Auswertung der vorhandenen Sensorik. Eine Unsicherheit kann gegebenenfalls mitgeschätzt werden. Da Fehlklassifizierungen und Klassifizierungen mit großer Unsicherheit vorkommen werden, müssen Fahrer immer über die aktuelle Klassifizierung informiert werden.

Umgang mit Fehlklassifikation

- Möglichkeit zum manuellen Override wird notwendig sein
- Override wird in Form eines Knopfes umgesetzt
- Mißbrauch wird vorgebeugt durch:
 - Logging der Software-Einschätzung und Override-Aktion
 - Anzeigen des aktuellen Zustands nach Außen (soziale Kontrolle)
- Manuelles Überschreiben des aktuellen Verkehrsbereichs sollte ebenfalls möglich sein (nur für dezidierte Zeit)
 - gewünschtes Verhalten des Fahrzeugs beim Override der Klassifizierung sollte im Feldtest geprüft werden
 - eventuell sollte manueller Wechsel zu langsameren Verkehrsbereichen immer und dauerhaft möglich sein

Verhalten nach Erkennung einer Umgebungsänderung

- Zuerst wird der Benutzer über die Änderung der Klassifizierung in Kenntnis gesetzt
- Kurz darauf wird die Geschwindigkeit der neuen Maximalgeschwindigkeit angepasst
 - Override ist möglich (z.B. um Überholvorgänge abschließen zu können)
- Drosselung erlaubt auch bei 20% Gefälle keine Überschreitung der identifizierten Maximalgeschwindigkeit
- Fahrer kann zusätzlich über redundante Scheibenbremse bremsen
- Entschleunigung wird durch sicheres Geschwindigkeitsprofil umgesetzt (keine Gefahr durch zu starkes Bremsen)

Wahrnehmung des Wechsels Straße nach Fahrradweg

- _mit gegebener Rechenleistung dauert die Klassifizierung bis zu ein paar Sekunden
 - Übergangs-Strategie ist notwendig
 - Beim Übergang zwischen Verkehrsbereichen liegt die Verantwortung beim Fahrer!
- Fahrradweg-Erkennung stellt große Herausforderung dar, wegen unterschiedlichen Formen von Fahrradwegen
- Fahrradstraßen sind auf Einzelbildern quasi unmöglich von Straßen zu unterscheiden
- _Bei hoher Unsicherheit sollte diese dem Fahrer mitgeteilt und eventuell nach außen sichtbar gemacht werden?

- Der Fahrer sollte in diesem Fall über die Klassifikation entscheiden können

generelle Wahrnehmungsvorgaben

- Verkehrsschildklassifizierung wird nicht angewandt werden (zu wenig Ressourcen, Zuordnung nicht zuverlässig möglich)
- Erkannt werden sollen: Straße, Fahrradweg, Fußweg, Waldweg, Feldwege, Parks, Indoor-Umgebungen
- Zugehörige Geschwindigkeiten müssen konfigurierbar sein (z.B. für unterschiedliche Gesetze im Ausland, unterschiedliche Lagerhallenregeln)
- öffentliche Verkehrsmittel/Haltestellen müssen nicht erkannt werden
- Es sollen sehr nahe Hindernisse direkt vor dem Fahrzeug erkannt werden können

Manipulationsprävention

- sicheres Steuergerät von CISPA + signierte Kommunikation mit Wahrnehmung kann Manipulation weitgehend verhindern.
- Wahrnehmungsmodul soll in größeren Zeitabständen Geschwindigkeitsschätzung errechnen und mit Geschwindigkeit von Steuergerät abgleichen (durch public-key signierte Kommunikation)
- Bei starken Abweichungen soll nach außen mitgeteilt werden, dass das Gerät manipuliert wurde

Hardware und Sicherheit

- Um Drosselung und Projektspezifikationen umsetzen zu können, werden programmierbare Motorsteuergeräte benötigt.
- Wahrnehmungsmodul wird auf Imax8 mini Prozessor in Kamera verbaut ausgeführt werden.
- Wahrnehmung + Steuergerät sollen weniger als 20 Watt verbrauchen
- Wegen geringem Stromverbrauch: Außendarstellung möglicherweise über e-ink Paperdisplays

Ergebnisse aus psychologischer Sicht:

In der Summe zeichnete sich ein starker Wille zum Benutzen dieser neuen adaptiven Fahrzeuge ab. Insbesondere die dadurch resultierenden neuen Freiheiten wurden als nützlich und die Kaufentscheidung positiv beeinflussend bewertet

Verbesserte Akzeptanz durch Kommunikation mit den Teilnehmern: Ansätze zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern werden auch bei autonomen Fahrzeugen zur Sichtbarmachung der Fahrzeugintentionen diskutiert.

Bei ersten Tests ohne Anzeigemodul wurde teilweise aggressiv agiert: Felduntersuchungen in Phase I des Projektes haben ergeben, dass andere Verkehrsteilnehmer einer vermeintlichen „Fremdnutzung“ des Verkehrsraums mit Ablehnung begegnen. So wurde beispielsweise bei Tests in einem Parkgelände eine Probandin von Fahrradfahrern aggressiv angegangen.

Das Kenntlichmachen des aktuellen Zulassungsstatus ist nicht nur als Mittel zur Herstellung der Akzeptanz anderer Verkehrsteilnehmer, sondern auch zur Beeinflussung des Fahrers selbst geeignet. In der Komplexität des städtischen Umfeldes, kann die automatisierte Erkennung der aktuellen Situation zeitweise an ihre Grenzen stoßen. Der Fahrer ist dann in der Verantwortung,

den Modus des Fahrzeugs, insbesondere die gefahrene Geschwindigkeit, selbst an die Gegebenheiten anzupassen, wie es bei jedem Verkehrsteilnehmer (z. B. beim Durchfahren eine Spielstraße) Pflicht ist. Dies kann dadurch geschehen, dass der Fahrer manuell den richtigen Status einstellt oder in diesen Situationen frei ordnungsgemäß fährt. Um der damit verbundenen Verantwortung Nachdruck zu verleiten, wird der Fahrer der modifizierten Dreiräder über das Mittel der „informellen sozialen Kontrolle“ mittels einer außen sichtbaren Anzeige motiviert

AP 6: Modifikationen der Dreiradplattformen

6.1 Mechanischer/elektrischer Umbau von Freelineer

Anpassung der Dreiradplattform konstruktiv und elektrisch auf die Anforderungen der dynamischen Zulassung

Umbau von 4 Musterfahrzeugen.

Für den Musterbau haben wir Ende 2024 4 Freelineer mit Frontantrieb als Basis in das Projekt genommen.

Da zu Beginn des Projekts noch keine Wahrnehmungsmodule und Anzeigemodule zur Verfügung stehen, haben wir mit Hilfe neuer Bedienelemente und Softwareänderungen an den Motorcontrollern alle für das Projekt rechtlich relevanten Geschwindigkeitsklassen abgebildet.

| | |
|----------|--|
| 6 km/h | zulassungsfrei, führerscheinfrei, keine Helmpflicht – überall fahrbar |
| 12 km/h | klassischer Krankenfahrstuhl, zulassungspflichtig, führerscheinfrei, keine Helmpflicht – überall fahrbar |
| 15 km/h | klassischer Krankenfahrstuhl, zulassungspflichtig, führerscheinfrei, keine Helmpflicht – überall fahrbar |
| 20 km/h | Leichtmofa, zulassungspflichtig, führerscheinfrei, keine Helmpflicht – nur auf Straße fahrbar |
| 25 km/h | Leichtmofa, zulassungspflichtig, führerscheinfrei/Mofa-Prüfbescheinigung, Helmpflicht – nur auf Straße fahrbar |
| 45 km/h | Moped, zulassungspflichtig, führerscheinpflchtig, Helmpflicht – nur auf Straße fahrbar |
| >45 km/h | L3 E – 125 er Klasse, zulassungspflichtig, führerscheinpflchtig, Helmpflicht – nur auf Straße fahrbar |

Die Vorauswahl der jeweiligen Geschwindigkeitsklasse wird über das neue Bedienfeld vom Fahrer manuell aktiviert (wird natürlich später vom Wahrnehmungsmodul übernommen).

Die visuelle Anzeige nach Aussen haben wir hier vorerst weggelassen - nur auf dem Display selbst haben wir eine Statusanzeige einprogrammiert, damit der Fahrer ein visuelles Feedback hat.



Nach ausgiebigen Testfahrten dieser 4 Fahrzeuge im täglichen Betrieb (durch interne Mitarbeiter für den täglichen Arbeitsweg), stellten sich folgende Herausforderungen dar:

| Herausforderung | Lösung |
|--|---|
| Bei Bergabfahrten beschleunigen die Fahrzeuge über die gesetzl. maximal erlaubte Geschwindigkeit | Fahrzeug muss die Geschwindigkeit automatisiert halten – hier müssen die Motoren „Bremsen“ -> Austausch der Testfahrzeuge von Front auf Allradantrieb + Prüfen der Rekuperationsfähigkeit. |
| Änderungen an einem homologierten Kraftfahrzeug sind laut STVZO unzulässig. | Änderungen an Controllern führen rechtlich zum Erlöschen der Zulassung und stellt eine Straftat dar. Unsere Testfahrten haben wir dann mit einem roten Zulassungskennzeichen weitergeführt - aber für den Hauptfeldtest müssen die Controller vom Fahrzeug Hersteller für die Fahrzeuge zertifiziert und frei gegeben werden. Sonst sind keine Probanden- |

| | |
|--|---|
| | Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr möglich. |
|--|---|

Aufgrund der gesetzlichen Richtlinien, dass ein Fahrzeug auch bei Bergabfahrten nicht schneller fahren darf, als gesetzlich vorgeschrieben mussten wir uns um das Thema automatisiertes Bremsen durch Rekuperation kümmern. Das stellt sich bei Front-Antriebs-Fahrzeugen als situativ gefährlich dar - hier ist eine Entschleunigung durch alle 3 Räder deutlich sicherer. Aus diesem Grunde mussten wir die Fahrzeugbasis für alle 4 Fahrzeuge von Front auf Allradantrieb wechseln.

Hier werden dann pro Motor je ein Controller benötigt - also 3 Controller pro Fahrzeug.

Da eine Rekuperation nur technisch realisierbar ist, wenn die Energie an einen Verbraucher abgegeben werden kann, ist eine Rückspeisung der Bremsenergie in die Akkusysteme erforderlich.

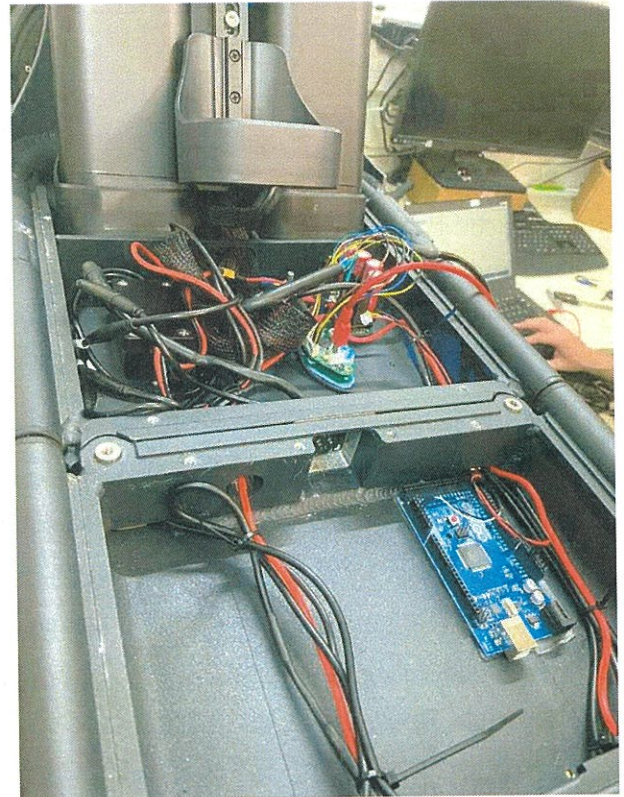
Hier stellte sich heraus, dass unsere Freeliner Akkus eine Rückspeisung nicht zulassen, bzw. einen technischen Defekt durch Überspannung bei Rückspeisung in noch volle Akkus erlitten.

Aus diesem Grunde mussten wir beim Akkuhersteller Akkus mit Rekuperationsfähigkeit einkaufen für weitere Tests.

Abschnitt Softwareprogrammierung:

Es wurden mehrere Softwareversionen – mit Block - und mit Sinus-Kommutation zur Ansteuerung der Fahrzeugmotoren der Freeliner Fahrzeuge programmiert um deren Funktionen zur Erfüllung der gegebenen Aufgaben im Rahmen des Kamaeleon Projekt zu evaluieren. Dabei wurden alle möglichen Antriebsversionen berücksichtigt: Frontantrieb + Hinterradantrieb + Allradantrieb in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen.

1. Frontantrieb – Mastercontroller
 - a. Blockkommutation
 - b. Sinuskommutation
2. Hinterradantrieb – Master = Slavecontroller
 - a. Blockkommutation
 - b. Sinuskommutation
3. Allradantrieb – Master + Slave Controller
 - a. Blockkommutation
 - b. Sinuskommutation



| Version | Wave | Works for |
|---------|------|--|
| M-V15 | SQ | 45km/h Front or 3WD (Leili and Maixim) |
| S-V15 | SQ | Rear Motors when 3WD |
| M-V11 | SQ | 20km/h Front or 3WD, Temp. Controlled |
| S-V11 | SQ | Rear Motors when 3WD |
| M-V18 | SQ | 45km/h RWD |
| S-V18 | SQ | Rear Motor when RWD |
| M-V16 | SQ | 20km/h RWD |
| S-V16 | SQ | Rear Motor when RWD |

- Abbildung: Flashmodule zur Controllerprogrammierung

Ergebnis zum Thema Motorcontroller:

Alleine die Verarbeitung der von uns erwünschten Antriebsregelung bringt die existenten Controller an die technische Leistungsgrenze – im Besonderen die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Bei niedrigen Geschwindigkeiten lassen sich nicht die erforderlichen Leistungen an die Motoren übertragen um auch z.B. 180 kg Fahrer mit 6 km/h eine 30% Steigung zu bewältigen. Closed Loop ist nicht ruckelfrei zu realisieren, die Rechengeschwindigkeit ist zu niedrig.

Die Software ist von uns nur bedingt änderbar, da der Quellcode nicht vollends zugänglich ist (seitens des Herstellers), damit ist die Software nur bedingt anpassbar.

Nun kommen seitens der Projektpartner noch die komplexen Steuerungsbefehle der Umfelderkennung sowie Schnittstellenänderungen hinzu – damit ist die Hardware/ sind die Prozessoren überlastet.

6.2 Modifikation des Freeliners

Vorbereitung + Aufbau der Testfahrzeuge

Die Adaption der bestehenden Controller hat sich im zeitlichen und finanziellen Rahmen des Projekts als zu komplex dargestellt, weswegen dann alle Fahrzeuge für die Feldtests wieder umgebaut und mit Controllern von der Firma Scuddy ausgestattet wurden – Scuddy wurde diesbezüglich während des Projekts als neuer Projektpartner integriert.

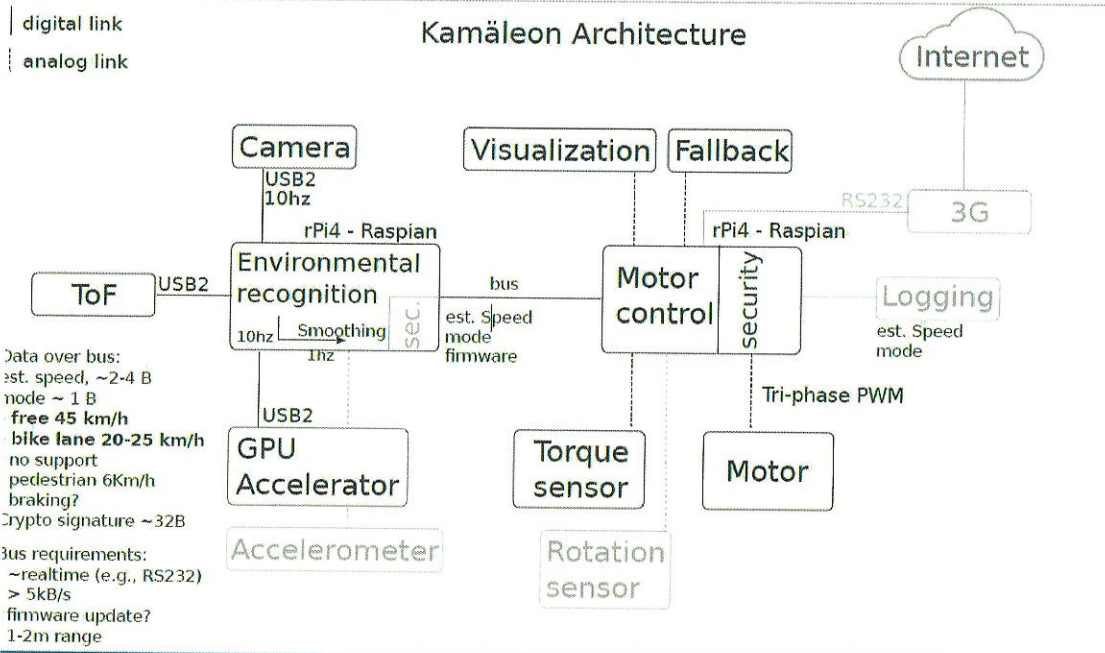
Änderung im Projekt: Arbeitstreffen: 30.06.2021:

Umstieg auf andere Controllertechnik erforderlich

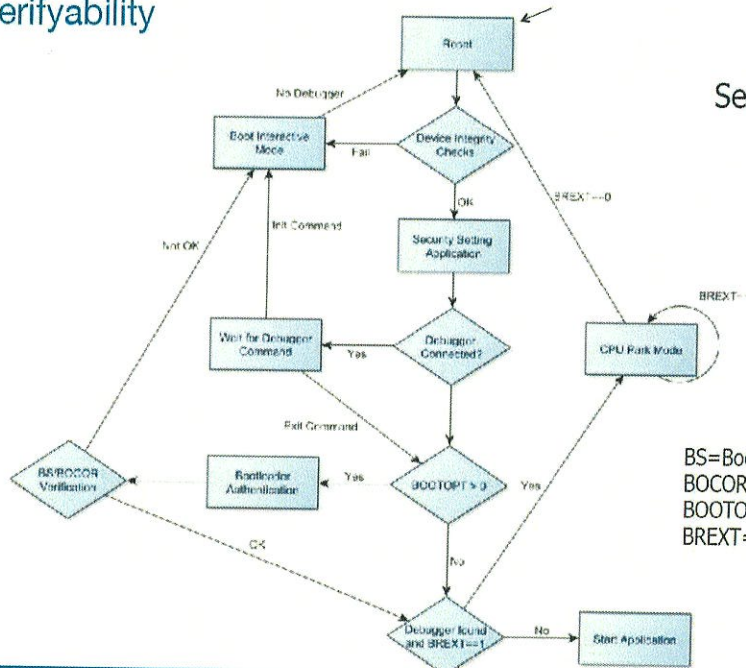
Die Nomenklatur wurde wie folgt geschärft. Es gibt ein Steuergerät, das als Hauptkomponente die Umfelderkennung enthält. Das Steuergerät kommuniziert mit dem Motorcontroller über CAN-Bus. Als dritte Komponente gibt es die Außendarstellung der informellen Kontrolle, die bisher mit einem eigenen Raspberry umgesetzt ist.

| | |
|-----------------------------------|--|
| Verifyability | Antimanipulationssicherheit – hier muss die Motorsteuerung mit Security Zusätzen durchzogen werden. Ein freier Zugang zur Herstellersoftware ist damit erforderlich |
| Open Source | freier Zugang zum Quellcode – das ist bei Standardcontrollern von Drittanbietern nicht gegeben Closed Loop – das Fahrzeug bremst kontrolliert und sanft auf die derzeitige Geschwindigkeits/Zulassungsklasse |
| Schnittstelle zur Umfelderkennung | Hier ist Can Bus ideal, aber nicht unbedingt erforderlich |
| Verarbeitung der Umfelderkennung | Die Datenströme sind nach aktuellem Projektfortschritt sehr hoch |
| Abmessungen Controller | Abmaße sollten so gering wie möglich sein, damit sie für diese und ähnliche Fahrzeuge passen |
| Leistungsanpassung | für das Abdecken aller Zulassungsklassen benötigen wir einen skalierbaren Leistungsoutput von 250 bis etwa 6000 Watt - ohne Strom unnötig zu verbrauchen oder zu Überhitzen. Auch bei kleinen Geschwindigkeiten soll genug Leistung abrufbar sein, damit auch bei 6 km/h die volle Steigfähigkeit gegeben ist. |

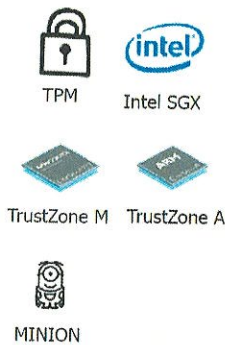
| | |
|----------------------------|---|
| Spannungsanpassung | Fahrzeuge in den Zulassungsklassen können zwischen 24 – 72 Volt Systeme haben – der Controller muss flexibel anpassbar sein |
| Motoransteuerung | Ein sanftes Fahrverhalten ist wesentlich für die Sicherheit – ideal Sinus Ansteuerung |
| Closed Loop | Kontrolliertes Halten der gewünschten/erforderlichen Geschwindigkeit auch bei Bergabfahrten. Bzw. sauberes Hoch- und Runterregeln bei Geschwindigkeitsänderungen. Gerade im Seniorenbereich sehr wichtig. GGBfs durch Lageerkennung Drosselung der Geschwindigkeit bei Kurvenfahrten. |
| Rekuperation / Motorbremse | Die Motorbremse über die Controllersteuerung ist für den Closed Loop relevant – die Rekuperation für ein zukunftsicheres design unerlässlich. |
| Fahrzeugsteuerung | Moderne Controller können nicht nur den Antrieb regeln, sondern gleich wesentliche Funktionssteuerungen des Fahrzeugs übernehmen, wie DCDC Wandler, Ständerabschalter, Blinker, Bremslicht, Licht, Hupensteuerung, Blinkrelais, Lageerkennung usw. |
| EMV Sicherheit | Alle Elektro Fahrzeuge müssen auf die elektromagnetische Verträglichkeit geprüft werden, der Controller und die Verkabelung dürfen keine Störsignale erzeugen und entsprechend aufgebaut und abgeschirmt sein. Eine Endabnahme ist erforderlich. |



Verifyability

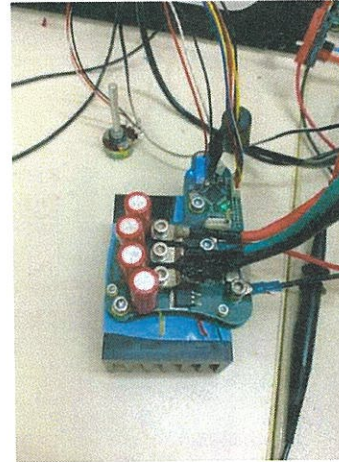


Technology Analysis



| Requirement | TPM | Intel SGX | TrustZone Cortex M | TrustZone Cortex A | MINION |
|--------------------|-----|-----------|--------------------|--------------------|--------|
| Software Updates | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Software Isolation | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Secure Boot | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Secure Storage | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Physical Presence | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Secure Timer | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Low Resource | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |

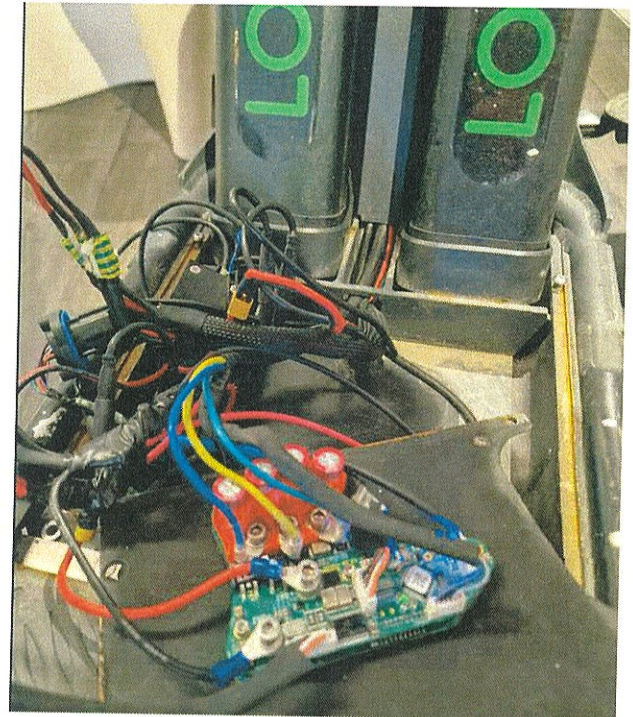
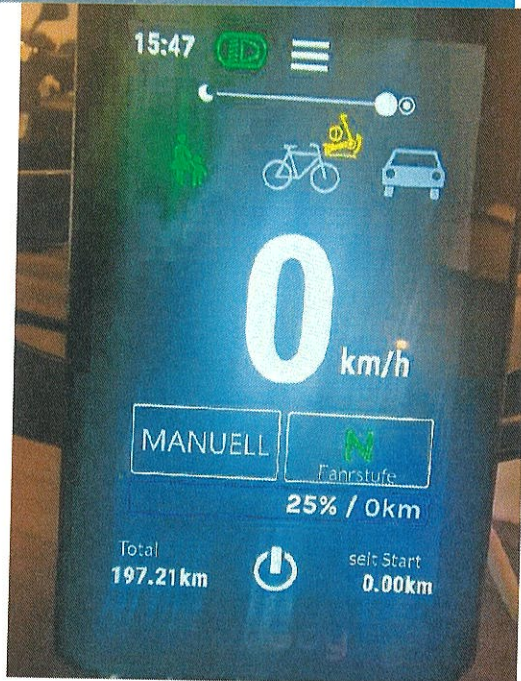
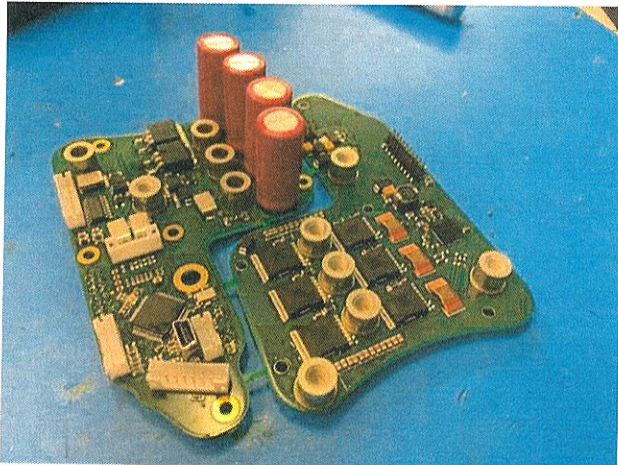
Herr Jacobi von Scuddy hat aus dem OpenSource VESC Projekt (<https://vesc-project.com/>) einen neuen Controller inkl. kapazitivem Touch-Display gebaut, der die Close Loop Control mit einer extrem feinen Drehmomentkontrolle beherrscht. Weiter ist er in allen Voltbereichen einsetzbar, hat sehr schnelle Prozessoren, hat einen offenliegenden Quellcode, hat CAN Bus und kann sicherer und besser kommunizieren.



Besondere Eigenschaften des VESCO Controllers in Bezug auf die Anforderungs-Kriterien:

- Dieser Controller kann das hochmoderne FOC – dies übertrifft die SINUS Ansteuerung bei Weitem: "Eine FOC überwindet die Nachteile der trapez- und sinusförmigen Regelungen. Sie senkt den Energieverbrauch sowie die Geräusentwicklung, reduziert den Verschleiß und liefert ein konstantes Drehmoment über den gesamten Drehzahlbereich sowie eine gute Geschwindigkeitsregelung unter schwankender Last." Also kann man das Moment viel besser Regeln bei Closed loop. Anstiegs- und Abfallzeit der Phasenspannung über Software modifizierbar (für EMV Test)
- Blinker li & re, Bremslicht, Licht 13,8V 0,35A über CAN (Mehr Strom auf Anfrage)
- IMU (9-DOF TDK MEMS Lagesensor)
- BLE in Vorbereitung
- Einschalten über ein Eingangspin (mind. 2 Sek auf Masse ziehen) oder automatisch bei Spannungsversorgung - je nach Bedarf
- Autom. Softstart der Kapazitäten
- Ausschalten über CAN oder durch trennen der Stromversorgung
- FOC mit Feldschwäche (Iq und Id einstellbar)
- Höchstdrehzahl über CAN einstellbar
- Sensormöglichkeiten: 3xHall, sin/cosin, ABI-encoder, AS5047 SPI-encoder, Sensorlos (dann aber etwas schlechteres Anfahrverhalten)
- Hardware und Software Motorstrombegrenzung, Software Batteriestrombegrenzung (+- 10%)
- +-275A peak Motorstrom for ca. 10 Sekunden
- +-180A Motor Motorstrom dauerhaft bei passender Kühlung (Muss auf ein Alukörper geschraubt werden)
- 15V – 63V Peaks dürfen auch drüber liegen
- „Huckepack“ Design, Gehäuse ggf. möglich
- CAN
- Gas und Reku über Analog-eingänge oder über CAN
- Hupe über 48V gesichert bis 0,5A über CAN
- Schaltfrequenz 15kHz empfohlen, einstellbar

Bilder des VESCO Prototypen:



Aus diesem Grunde wurden alle bisherigen Umbauten, Programmierungen und Materialien verworfen, sowie unsere 4 Vortestfahrzeuge komplett entkernt und mit dieser neuen Scuddy Fahrzeugsteuerung ausgestattet.

Nach mehreren Wochen Testfahrten + Adaption wurde die Software iterativ angepasst.

6.3 *Aufbau Freelineer für Hauptfeldtest*

Zu Projektstart wurden 50 Freelineer Fahrzeuge für den Haupt-Feldtest geplant. Diese wurden auch von OrangeBike für den geplanten Zeitraum des Hauptfeldtest von 10/2021 bis 3/2023 reserviert. Des Weiteren wurden für alle Fahrzeuge modifizierte und zertifizierte Controller beim Hersteller bestellt.

Aufgrund Corona und technischer nicht absehbarer Herausforderungen wurde 10/2022 der Hauptfeldtest um exakt ein Jahr verschoben (kostenneutrale Verlängerung).

Neue Planung: Aufbau von 30 Fahrzeugen – Reservierung der Fahrzeuge für den Zeitraum 10/2022 bis 12/2023.

Nach Fertigentwicklung der Systemmodule Umfelderkennung und Aussendarstellung musste wegen Vervielfachung der ursprünglich geplanten Kosten die Anzahl der Fahrzeuge auf 15 beschränkt werden.

6.4 *Modifikationen, Korrekturen von Freelineer während Hauptfeldtest*

Während des Hauptfeldtest wurden weitere Softwareupdates vorgenommen, die wir auf die Probanden Fahrzeuge aufgespielt haben. Hardwareseitig wurden keine größeren Änderungen mehr vorgenommen.

Wesentliche Änderungen für die Sicherheit unserer Probanden für den Hauptfeldtest:

1. Es wurde ein „MANUELLER MODUS“ nachträglich eingebaut. Der Fahrer sieht über das Display, was das System an Modusänderung vorschlägt und kann/muss dieses bestätigen, um den Wechselprozess aktiv zu starten.
2. Die Geschwindigkeit darf erst dann vom System selbstständig erhöht werden, wenn der Fahrer aktiv den Gasgriff einmal auf Null zurückdreht, erst bei der nächsten Beschleunigung kann die neue Geschwindigkeitsklasse erreicht werden.
3. Die aktive Verzögerung wurde sanfter reguliert um ein abruptes Abbremsen zu vermeiden.

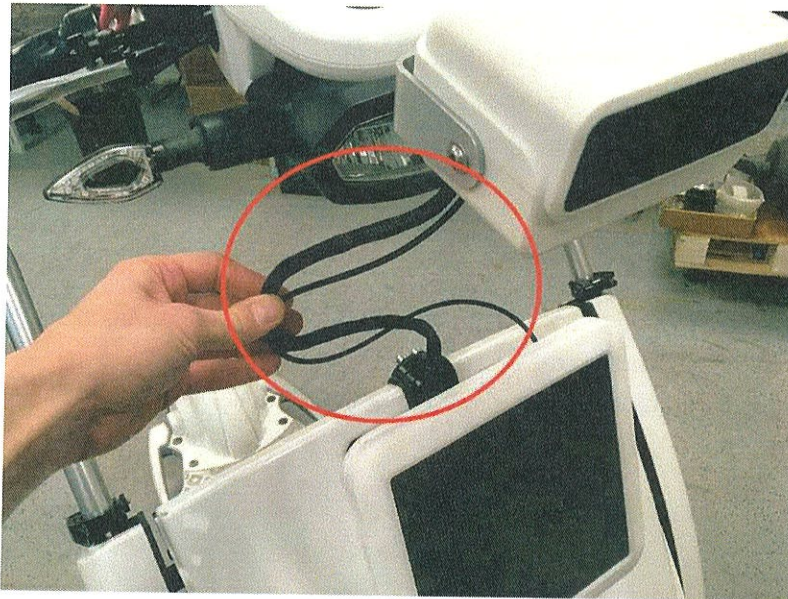
AP7 Außendarstellung für informelle soziale Kontrolle

7.3 *Umbau von Freelineer für Außendarstellung Fahrstatus*

Die iterativ entwickelten Projektmodule „Anzeigen zur informellen sozialen Kontrolle“ ließen sich in der finalen Version mit angepassten Haltern ohne weitere Herausforderungen an die bestehenden Fahrzeuge bauen.

Die Adaption an die Controller hatten wir entsprechend vorbereitet und die Integration in den Regelkreis war schnell realisiert.

Anzeigemodul Vorne



Anzeigemodul Hinten



- Steuergerät zu Heckanzeige (Rundumleuchte)

AP8 Vortests

8.2 Integration aller Komponenten für Funktionstest

Integration der Controller in die Freelineer Allradfahrzeuge

Alle Fahrzeuge wurden elektrisch komplett entkernt und mit neuen Systemkomponenten passend zu den Scuddy Controllern ausgestattet: Display, Kabelbäume, Hupe, Licht, Controller, DC Wandler, Bedienelemente usw..

Alle Komponenten mussten neu beschafft/gekauft werden. Aufgrund der Allradversionen auch jeweils 3 komplette Controllersysteme je Fahrzeug.

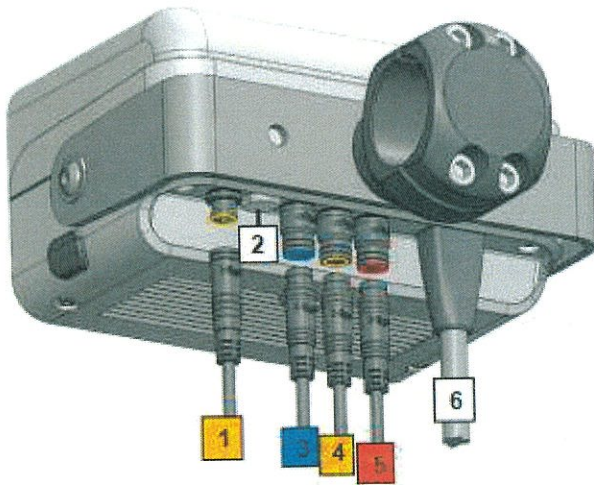
Der Umbau pro Fahrzeug nimmt etwa 16 h in Anspruch.

Die Feineinstellungen der Software wie die Abstimmung der Motorsteuerung auf alle 3 Motoren wurde per Fernzugang mit Scuddy für jedes einzelne Fahrzeug vorgenommen. Auch wurden hier durch weitere Erkenntnisse noch verschiedene Softwareupdates auf alle Fahrzeuge gespielt.

Technische Integration der Umfelderkennung in die Testfahrzeuge

Die nun mit den Scuddy Controllern und Rekuperation ausgestatteten Freelineer Allradfahrzeuge konnten aufgrund der erfolgreichen iterativen Vorarbeiten problemlos am Lenker-Faltvorbau montiert werden. Die Kabel waren bereits für die Konnektivität zum Fahrzeugsystem vorbereitet.

- Erkennungsmodul



Technische Integration der Umfelderkennung in die Testfahrzeuge

8.3 Funktionstests

Die Umfelderkennung wurde iterativ nach und nach verbessert – siehe dazu auch die Ablaufpläne der Projektpartner.

Es waren ausgiebige und vielfältige Testfahrten notwendig, um alle Fahrprofile in unterschiedlichen Situationen auszutesten.

Beispiele zu berücksichtigender Variablen:

- Verkehrsflächen aller Geschwindigkeitsklassen
- Langsamer und Schneller Wechsel der Verkehrsflächen

- Unterschiedliche Fahrbahnbeläge
- Sonne / Dämmerung / Schatten / Alleeen
- Zebrastreifen / Haarnadelkurven / Brücken / usw.

Hier ein Auszug eines Fahrprotokolls:

Positives:

1. Rein technisch: Umfelderkennung arbeitet und Anzeige funktioniert
2. Der Regelkreis mit der Fahrzeugsteuerung funktioniert
3. Drosselung in Verbindung mit Rekuperationsbremse ist angenehm einstellbar
4. Reaktion auf Wechsel der Geschwindigkeitsklassen ohne Verzögerung
5. Einzelne Fahrmodi klar erkennbar auf dem Display, auch in der entsprechenden Farbe
6. Höher Schalten nur mit kurzer „Bestätigung“ durch Gaswegnahme
7. Akzeptanz durch Fußgänger und Radfahrer deutlich spürbar, ausschließlich Verwunderung und Interesse spürbar

Zu verbessern:

2. Auf engem Fußgängerweg ständiges Hin- und Herschalten zwischen den verschiedenen Modi
3. Auf Straße im laufenden Verkehr urplötzlich Fußgängermodus und einhergehendes Abbremsen bzw. Ausrollen - gefährlich
4. Wenn die Kamera an der Ampel ein davor wartendes Auto erkennt, schaltet sofort der Fußgängermodus ein
5. Steht man ganz vorne an der Ampel schaltet es aufgrund des Fußgängerüberweges „runter“ und man kann nur im 6 km/h Modus losfahren.
6. Schlechter Fahrbahnbelag wird wohl als „Schotterfußweg“ erkannt.
7. Beim Auffahren auf großen Parkplatz schaltet es vernünftigerweise auf Schrittgeschwindigkeit, wenn allerdings keine Markierungen da sind, sofort wieder in KFZ-Modus.
8. Bei engen Kurven oder Spitzkehren schaltet das System auf Fußgänger um, da die Kamera richtigerweise den Bordstein erkennt, führt aber dazu, dass man um die Kurve schleichen muss und man den Verkehr behindert.
9. Unterscheidung Fahrbahn/Fahrradweg funktioniert fast nicht und wenn, schaltet es schnell wieder zurück.
10. Sonne und die einhergehenden Schatten bereiten sehr große Problem. In Straßen mit Bäumen schaltet das System ständig (im 3-5 Sekundentakt) zwischen den Modi hin und her.
11. Manueller Modus wird nach kurzer Zeit von der Automatik überstimmt und sozusagen abgeschaltet...
12. Geschwindigkeit Fahrradmodus auf 15 Km/h begrenzt – 20 - 25 Km/h sollten möglich sein damit man auf dem Radweg keine Behinderung darstellt
13. Durch plötzliches Drosseln fühlt man sich sehr unsicher im Straßenverkehr und der ein oder andere Autofahrer hat sichtlich genervt auf das „Langsam werden“ reagiert
14. Je nach Wetter und Umgebung (Häuserschluchten innerstädtisch) dauert es sehr lange, bis das System „Online“ ist.

Dass die Umfelderkennung eine Herausforderung ist, war allen Projektteilnehmern klar. Und für den Rahmen des Projekts ist der Regelkreis sehr gut gelungen und als Funktionskonzept ein gewaltiger Schritt.

Allerdings haben wir die Herausforderung der Realität: Eine nicht 100%-ige Erkennung kann im STVZO Bereich zu extremen Gefahrensituationen führen, zumal der Betrieb derart umgebauter Fahrzeuge rein rechtlich nicht zulässig ist. Sollte ein Unfall passieren, wird keine Versicherung

den Schaden decken, da die Zulassung der Testfahrzeuge durch die im Projekt vorgenommenen Modifikationen erlischt.

Die ersten Analyse-Fahrten haben wir weitestgehend auf unbelebten Flächen vorgenommen. Dank iterativer Prozesse und weiterführender Probefahrten konnte die Umfelderkennung peu a peu optimiert werden. Dennoch kam es immer wieder zu überraschenden und gefährlichen Situationen, in denen das Fahrzeug ohne realen Umfeldgrund falsch gebremst oder beschleunigt hat.

AP9 Hauptfeldtests

Die Hauptfeldtestphase belief sich auf insgesamt 9 Monate, während der die Probanden die modifizierten Fahrzeuge unbeeinflusst bezüglich Nutzungsdauer und Nutzungshäufigkeit, aber messtechnisch und durch mehrere Befragungen begleitet, benutzt haben. Es wurden bewusst keine Vorgaben für die Nutzung gemacht. Insbesondere wird die Nutzung nicht forciert. Die notwendigen Fahrzeuge wurden vor dem Test entsprechend umgerüstet. Ursprünglich war es geplant, die eigenen Fahrzeuge unserer Freeliner Fahrer im Rahmen des Projekts umzubauen -aber aus Zulassungs-rechtlichen Themen (STVZO und Garantiebestimmungen LongCo) war dies nicht möglich und es wurden über die Firma eMotion 42 GmbH Neufahrzeuge gemietet und diese entsprechend für die Tests temporär umgebaut.

Für die Durchführung des Feldtests hatten wir teilweise Sondergenehmigungen eingeholt bzw. die Probanden ausdrücklich darüber informiert, dass diese umgebauten Fahrzeuge rein rechtlich nicht der STVZO entsprechen und auch die Umbauen mit Erkennungs- und Anzeigemodulen temporäre Sonderumbauten sind, die ebenfalls rein rechtlich nicht am Straßenverkehr teilnehmen dürften. Bezüglich dieser Themen wurde ja die Rechtswissenschaften Braunschweig in das Projekt eingebunden, aber auch hier gab es keine Chance den Stand der aktuellen Rechtslage für unsere Feldtests zu beugen. Das Vorgehen sollte im Vorfeld mit der Bundesanstalt für Straßenwesen abgesprochen sein.

Infolgedessen liefen alle vorgenommenen Testfahrten in einem illegalen Bereich ab. Dies konnten wir teilweise mit als Test- und Sonderfahrten deklarierte Fahrzeuge mit roten Kennzeichen kompensieren. Es sind zum Glück keine Unfälle passiert und es ist auch kein Material oder Personen zu Schaden gekommen. Aber auf diese rechtlichen Themen muss bei etwaigen nächsten Feldtests deutlich mehr Rücksicht genommen werden.

9.1 Akquise Probanden

Die Akquise der Probanden haben wir gleich nach Projektstart 2019 initiiert. Durch unsere Kontakte zu AMSEL: Aktion Multiple Sklerose Erkrankter, Landesverband der DMSG in Baden-Württemberg e.V. konnten wir das Projekt vorstellen und trafen mit dem Thema natürlich ins Schwarze.

Neben Vereinen haben wir natürlich unsere Bestandskunden (in Deutschland etwa 3500 Kunden insgesamt) auf dieses interessante Projekt aufmerksam gemacht. Weitere Plattformen waren die Webseite www.freeliner.de sowie Facebook.

Plan bei Beantragung des Projekts war es, bestehende Kundenfahrzeuge mit technischen Modifikationen als Testfahrzeuge heranzuziehen. Aus oben genannten Gründen (steigende Komplexität der technischen Anforderungen und damit des Austauschs bestehender Komponenten: Rekuperation / CAN Bus Schnittstellen / zu langsame Prozessoren) sowie aus Gründen der Rechtssicherheit / STVZO / Garantie, mussten wir auf den Umbau eigener Fahrzeuge ausweichen. Diese wurden dann den Testfahrern unentgeltlich zur Verfügung gestellt.

Wir haben die Probanden bewusst aus dem näheren Umfeld um Karlsruhe ausgewählt, um einen schnellen Service bei technischen Problemen gewährleisten zu können.

9.4 Durchführung Probandenbefragungen

Alle Testfahrer wurden während der Evaluierungsphase durch mehrere Befragungen begleitet. Dazu haben wir in Kooperation mit dem Projektpartner Partner HFC spezielle Fragebögen entwickelt.

Weiterhin wurde das Mobilitätsverhalten mit den Dreirädern nach Zustimmung der Probanden fortlaufend durch Aufzeichnung der GPS-Koordinaten getrackt und auf einem Server des Partners Constin gespeichert. Der Partner HFC hat bereits Erfahrungen mit automatisierter Erfassung des Mobilitätsverhalten in einem Projekt für die Bundesanstalt für Straßenwesen gesammelt. Hier wurden die Änderung des Mobilitätsverhaltens von Fahranfängern direkt nach dem Erlangen des Führerscheins erfasst. Dafür wurde eine spezielle Software entwickelt. Nach Ende der Evaluierungsphase wurden aus den messtechnischen Daten und den Befragungsdaten Rückschlüsse auf das Mobilitätsverhalten und mögliche Änderungen in den 9 Monaten abgeleitet.

Allen Probanden wurde ein im Projekt entwickelter End-Fragebogen ausgehändigt, der nach der jeweiligen Testphase mit dem Fahrzeug zurückgegeben wurde. Teilweise wurde der Fragebogen von uns zur besseren Verständlichkeit erläutert.

Probanden, die vor Ort bei uns Probefahrten mit unseren Musterfahrzeugen durchgeführt haben wurden jeweils direkt im Anschluss der jeweiligen Fahrt befragt.

Wesentlich für den Projektfortlauf war, dass die Erfahrungen des Feldtests durch Zwischenbefragungen/ Rückmeldungen über die Whats-App Gruppe laufend zur Optimierung der Software genutzt werden konnten. Dies Updates wurden wieder auf die Testfahrzeuge in regelmäßigen Abständen von uns als Softwareaktualisierungen aufgespielt.

9.5 Betreuung Probanden im Haupttest

Für die Probanden wurde eine Whats-App Hotline von uns aufgebaut, um etwaige technischen, rechtlichen und Bedienungs-Fragen schnellstmöglich zu klären und wiederkehrende Fragen wurde in einer Art FAQ hinterlegt.

Die Übergabe der Testfahrzeuge war aufgrund der vielfältigen Erweiterungen in den Testfahrzeugen im Vergleich zu den eigenen Kundenfahrzeugen sehr zeitaufwändig.

Während des Feldversuchs wurde von uns ein technischer Unterstützungsservice für die Behebung möglicher technischer Ausfälle eingerichtet. Dazu gab es einen geschulten Servicetechniker, der mit dem Firmentransporter in Bedarfsfällen schnell vor Ort helfen konnte.

Da die Fahrzeuge Einzelkonstruktionen darstellen und keine Serienfertigung, gab es durchaus mehrere technische Herausforderungen, die wir aber zügig mit unserem mobilen Service vor Ort zur Zufriedenheit lösen konnten.



Eine größere Herausforderung hat die Fehleranfälligkeit der Umfelderkennung dargestellt – hier mussten wir nahezu alle Probanden ausgiebig begleiten und bei nachträglicher Einführung des manuellen Modus die Probanden neu einweisen.

Da die Erfahrungen des Feldtests laufend zur Optimierung der Software genutzt wurden, mussten wir mehrfach entsprechende Softwareupdates auf den Testfahrzeugen initiieren.

Testfahrten von Probanden mit Einschränkungen:

Aufgrund der nicht genauen Erkennung und dem aktiven Eingriff in die Fahrzeugsteuerung im Realumfeld war es eine Herausforderung, Probanden mit starken Einschränkungen damit fahren zu lassen, ohne Unfälle zu riskieren. Probanden konnten dann aus Sicherheitsgründen nach unserer technischen Änderung in den manuellen Modus (das Fahrzeug ändert ab sofort nur nach aktiver Bestätigung des Fahrers automatisch

den Geschwindigkeitsbereich) wechseln und dieser muss vom System beibehalten werden – siehe technisches Kapitel.

1.2 Nutzen und Verwertbarkeit

Die im Projekt entwickelte Sensorik und Hardware in Verbindung mit Algorithmen zur Identifikation des Straßenraums, von Hindernissen und dynamisch agierenden Verkehrsteilnehmern stellt eine bedeutende Vorstufe für autonome oder halbautonome Fahrzeuge dar.

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt bieten für Elektro-Leichtfahrzeuge (Last Mile Konzept) entscheidende Wettbewerbsvorteile sowohl im Umfeld privater Nutzer, als auch für gewerbliche Nutzer wie Transport/Lieferdienstleister, Handwerker und in der Industrie.

Zum einen kann die verbaute Sensorik in Verbindung mit der Umfelderkennung nicht nur zur automatischen Umschaltung bei Wechsel der Verkehrsfläche, sondern mit vergleichsweise geringen Modifikationen als Instrument des Kollisionsschutzes oder der automatischen Anpassung an Verkehrsströme genutzt werden.

Gerade bei unserer Zielgruppe des Freeliners - Menschen mit körperlichen oder bis zu einem gewissen Grade geistigen Einschränkungen – konnten die Feldtests eindeutig beweisen, was für eine extreme Hilfe diese Sensorik im Straßenverkehr sein kann.

Die gesetzliche Regelung im öffentlichen Straßenverkehr lässt aktuell keine derartige Autonomie zu – aus diesem Grunde hatten wir als Projektpartner die TU Braunschweig/Rechtswissenschaften an Bord. Aber auch hier konnten keine Vereinfachungen erzeugt werden. Dadurch gab es bei unseren Probanden/Feldtest die permanente Herausforderung der rechtlichen Grundlage mit diesen Umbauten im realen Verkehr überhaupt fahren zu können.

Der Einsatz im industriellen Umfeld kann gegebenenfalls unabhängig von STVZO gesetzgeberischen Regelungen, sein, wobei auch hier Norm-Regelungen akribisch beachtet werden müssen und auch hier die Systeme im Prinzip 100% fehlerfrei arbeiten müssen.

Grundlage 1 der breiten Markteinführung sind die bei Projektstart angestrebten Gesetzesänderungen, damit diese enormen Nutzervorteile auch rechtlich gesichert sind.

Grundlage 2 ist, dass die Sensorik fehlerfrei arbeitet und eine nahezu 100-prozentige Erkennung durchführt– das konnten wir in diesem Projektrahmen nicht final realisieren.

In Kombination mit der explodierenden KI-Leistung können mittlerweile selbstlernende Systeme bereits durch reines „Zuschauen“ exponentielle Verbesserungen in der Umfelderkennung und den darauffolgenden situationsbedingten Verhaltensweisen verzeichnen. Es ist also eine Frage der Zeit, bis Fahrzeuge adaptiv im Straßenverkehr sicher unterwegs sein können und diese auch rechtssicher unterwegs sein dürfen.

Fazit zur technischen Verwertbarkeit in unserem Betrieb:

Aktuell können wir aus den Projektergebnissen keinen direkt planbaren Mehrumsatz sehen – ohne gesetzliche Änderung und der konsequenten Weiterentwicklung der Sensorik + Fahrzeugsteuerung in Verbindung mit KI.

Auf der anderen Seite haben wir dennoch einen deutlichen Mehrwert durch ursprünglich nicht direkt geplante Zwischenergebnisse:

Controller/Motorsteuerung: da wir schon sehr zeitnah nach Projektbeginn erkennen konnten, dass die vorhandenen Motorcontroller der Freelineer Fahrzeuge die Anforderungen zur Integration der Sensorik als geschlossenen Regelkreis nicht zur Genüge erfüllen konnten, mussten wir diese im Rahmen des Projekts neu entwickeln. Wir haben Hardwareänderungen auf den Platinen vorgenommen, um die Schnittstellen der Sensorik voll zu integrieren, sowie Softwareentwicklungen vorgenommen, um die Fahrzeuge kontrolliert auf die geforderten Geschwindigkeitsbereiche zu regeln. Hier erwies sich eine Sinus-Kommutation als zielführend zu sanftem Abbremsen und Beschleunigen und dem Halten von Geschwindigkeiten z.B. bei Bergabfahrten. Die Bremsleistung haben wir noch als Rekuperations-Energie wieder in die Akkusysteme zurückgeführt, auch die Akkusysteme mussten wir dafür anpassen.

Allerdings hat sich auch diese Controller-Neuentwicklung + Programmierung im zeitlichen und finanziellen Rahmen des Projekts als zu komplex dargestellt, weswegen dann alle Fahrzeuge für die Feldtests wieder umgebaut und mit den Scuddy Controllern ausgestattet wurden – Scuddy wurde während des Projekts als neuer Projektpartner integriert.

Als direktes verwertbares Ergebnis entwickeln wir die neuen Motorsteuerungen für die Freelineer Produktion 2025 mit den Erkenntnissen des Kamäleon Projekts. Zum einen werden die Platinen erweitert für die erforderlichen Schnittstellen, zum anderen wird die beim Projekt entwickelte Software als Basis zum Einsatz kommen und entsprechend weiterentwickelt. Unsere Akkusysteme werden in Zukunft zur Energierückspeisung ausgelegt sein. Wenn in naher Zukunft die Sensorik sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen kein Hindernis mehr darstellen, sind wir mit unseren modernen und angepassten Fahrzeugen bereit für diesen nächsten Schritt der Automatisierung.

Ein exponentieller Multiplikator ergibt sich dann durch die adressierbaren Zielgruppen – bestehende und neue (siehe hierzu auch die Projektanträge) – national und international. Für nahezu alle unsere Probanden war das Projekt aus Sicht des Nutzens und der Akzeptanz ein voller Erfolg!

1.3 Fortschritt Dritter

Den Zuwendungsempfängern wurden keine besonderen Fortschritte Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt.

Aber grundsätzlich sei hier erwähnt, dass dieses Projekt durch die Komplexität der Umfelderkennung sehr stark in Richtung autonomes Fahren geht. Das Thema autonomes Fahren – im Speziellen Taxis und Zulieferungen - ist mittlerweile in allen Schlagzeilen. Siehe Tesla, Xiaomi, BYD usw. Und immer ist das Thema der Rechtssicherheit ausschlaggebend. Was in Deutschland aktuell noch unüberwindbar scheint, wird z.B. in China schon in Großstädten rechtlich freigegeben.

1.4 Veröffentlichungen

Es wurden keine weiteren Veröffentlichungen im Rahmen von Kamäleon getätigt, jedoch sind aufgrund der erfolgreichen Durchführung des Projekts Beiträge zur Entwicklung weiterer Forschungsprojekte entstanden. Dazu gehört z.B. eine Förderung im Rahmen einer Ausschreibung zusammen mit Partner HFC.