

WiFi-Sensing für einen inklusiven Fahrzeuginnenraum –
WiSe4Car
Abschlussbericht (Aktenzeichen: 01F1177A)

Daniel Markert, Ana Perez Grassi und Alejandro Masrur
Professur Rechnerarchitekturen und -systeme
Technische Universität Chemnitz

30. Januar 2026

Kapitel 1

Sachbericht

1.1 Kurze Darstellung

Diese Sektion beschreibt Aufgabenstellung und Ablauf des Projekts WiSe4Car in einer verkürzten Darstellung. WiSe4Car befasst sich mit WiFi-Sensing als grundlegende Technologie, mit dem Anwendungsfeld der inklusiven Fahrzeugkabine im Fokus. Der öffentlich verfügbare Bestand an CSI-Daten, welche für WiFi-Sensing verwendet werden, ist aktuell noch sehr gering, insbesondere im automobilen Bereich. Hier soll WiSe4car mit einem öffentlichen CSI-Datensatz in Fahrzeugkabinen Abhilfe schaffen, welcher neben CSI-Daten auch anonymisierte Videodaten für weitere Annotierung beinhaltet.

Darüber hinaus soll der Nutzen der Daten anhand einer konkreten Anwendung in Form einer berührungslosen Vorhersage der Größe und des Gewichts der fahrenden Person demonstriert werden, um die Komfort- und Sicherheitsfunktionen des Fahrzeugs automatisch anzupassen. Diese Anwendung soll besonders in Umgebungen mit häufig wechselnden Fahrern wie z.B. Carsharing, Fahrzeugflotten, etc. für Effizienz und Sicherheit sorgen, ohne das komplexe und kostspielige Anpassungen im Fahrzeug notwendig sind.

Aufgabenstellung: Das Projekt verfolgt zwei übergeordnete Hauptziele, aus welchen sich zwei abgeleitete Ziele ergeben. Das **erste Hauptziel** ist die Erstellung eines multimodalen CSI-Datensatzes in Fahrzeugkabinen, welcher Forschungsaktivitäten zum Einsatz von WiFi-Sensing fördern soll, besonders im Fahrzeuginnenraum. Um die dafür notwendigen Daten zu erheben ist die Erstellung und Implementierung eines messfähigen Demonstrators notwendig, was das **erste abgeleitete Ziel** darstellt.

Anhand der gesammelten CSI-Daten soll nachfolgend eine Machbarkeitsstudie zur Schätzung von Körpergröße und -gewicht der Person im Fahrersitz durchgeführt werden. Hierbei ist eine ausreichend hohe Genauigkeit notwendig, damit die komfort- und sicherheitsrelevanten Features im Fahrzeug (Sitzposition, Kopfstütze, Spiegel, Airbags, etc.) automatisch angepasst werden können. Diese Machbarkeitsstudie stellt das **zweite Hauptziel** des Projekts dar. Um diese durchzuführen ist die Entwicklung eines geeigneten Regressionsmodells auf Maschinenlernbasis notwendig, was das **zweite abgeleitete Ziel** darstellt. Hierbei soll das TRL des Vorhabens von 2 auf 4 angehoben werden.

Durchführungsvoraussetzungen: Die Voraussetzungen und Anforderungen für das Projekt teilen sich in zwei Kategorien: organisatorische/legale Anforderungen und technische Anforderungen. Organisatorische und legale Anforderungen betreffen überwiegend die Studienorganisation zur Datenerhebung für die Erstellung des zu veröffentlichenden Datensatzes. Da hierzu die Anwerbung von Probanden unerlässlich ist, ergeben sich strikte Anforderungen an Datenschutz, Videoanonymisierung und Teilnahmebedingungen. Zur Ausarbeitung dieser Bedingungen haben wir mit der Ethikkommission der TU Chemnitz zusammengearbeitet und die Studienbedingung

früh im Projekt finalisiert, so dass diese von der Ethikkommission am 19.03.2024 ein positives Votum erhalten haben. Konkret sind hierbei die nachfolgenden Punkte einzuhalten:

- unwiderruffliche Anonymisierung der Videodaten,
- unwiderruffliches Trennen der erhobenen Daten (CSI-Daten, Gewicht, Größe) von personenbezogenen Daten und
- Berücksichtigung der abgewandelten Vergütung und Präsenznotwendigkeit einer erziehungsberechtigten Person im Fall minderjähriger Teilnehmer.

Weiterhin bestehen technische Anforderungen, wie z.B. lediglich handelsübliche COTS-Hardware (Commercial off the Shelf) zu verwenden, um die kostengünstige und einfache Umsetzung der Technologie zu belegen. Hierbei sollte auf bestehende Vorarbeit im Bereich WiFi-Sensing zurückgegriffen werden [1][2][3]. Weiterhin bestand die Anforderung an den zu erstellenden Demonstrator, dass dieser portabel gehalten werden soll um eine einfache Montage und Demontage in verschiedenen Fahrzeugen zu ermöglichen, ohne dass diese modifiziert oder beschädigt werden.

Planung und Ablauf des Vorhabens: Die originale Zeitplanung, wie in der Vorhabensbeschreibung beinhaltet, ist in Abbildung 1.1 zu sehen.

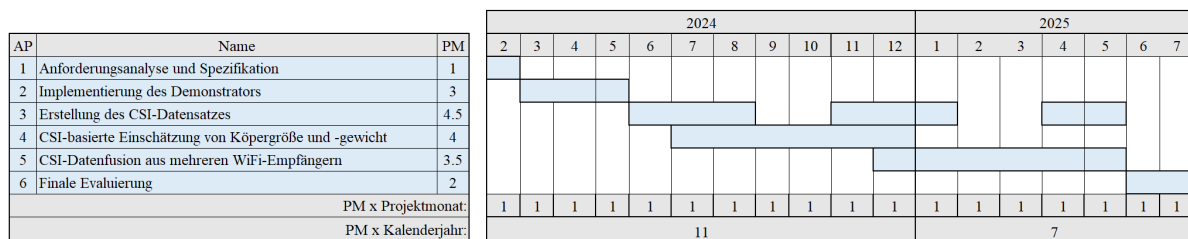


Abbildung 1.1: Arbeitspaketplan aus dem originalen Projektantrag

Die Erstellung und Implementierung des Demonstrators war hierbei der erste Arbeitspunkt, welcher zeitgemäß abgeschlossen wurde. Hierbei ergab sich lediglich eine kleine Abweichung in der Form, dass statt zwei Demonstratoren insgesamt drei Exemplare angeschafft wurden, um mehr Testmöglichkeiten, Parallelität in den Messungen und Redundanz bei technischen Problemen zu ermöglichen. Diese Anpassungen wurden mit dem damaligen Projektträger abgesprochen und von ihm abgesegnet.

Die Erstellung des Datensatzes mittels dieser Demonstratoren fand zu den geplanten Messterminen statt. Insgesamt wurden 110 Messungen mit 64 verschiedenen Personen in 6 verschiedenen Fahrzeugen durchgeführt. Der Datensatz wurde wie geplant auf der Mobiltheke veröffentlicht.

Die Umsetzung der CSI-basierten Einschätzungen hat minimale Abweichungen vom originalen Projektplan, da die Vorverarbeitung der CSI-Daten für die Machbarkeitsstudie eine größere Hürde darstellte, als original vermutet. Dadurch verschob sich Arbeitspaket 4 bis in das zweite Quartal des Jahres 2025. Da jedoch diese Vorarbeiten eine große Überlappung mit Arbeitspaket 5 hatten, war dessen Abschluss entsprechend schneller, so dass das Projekt in Summe rechtzeitig abgeschlossen werden konnte.

Stand der wissenschaftlichen/technischen Anknüpfung: WiSe4Car knüpft an bestehende Vorarbeiten im Bereich WiFi-Sensing an, wie z.B. [1],[2] und [3], um diese konkret im Fahrzeuginnenraum anzuwenden. Während es zwar bereits einige wenige Anwendungen von WiFi-Sensing im Fahrzeugkabinenkontext gibt (Belegungserkennung [4], Müdigkeitserkennung [5] oder Kopfpositionsdetektion [6]), veröffentlichen diese Publikationen die für das Training verwendeten CSI-Daten leider nicht. Hierbei soll der von WiSe4Car veröffentlichte Datensatz Abhilfe

schaffen und weitere Forschungsaktivitäten zu WiFi-Sensing im Automobilbereich zu fördern. Der WiSe4Car-Datensatz wurde seit seiner Entstehung (etwa im Juli 2025) in der Mobilthek veröffentlicht und steht dem allgemeinen Publikum zur Verfügung. Weiterhin wurde ein Paper mit dem Titel „WiSe4Car: A Dataset for WiFi Sensing in Automotive Vehicles“ bei IEEE COINS veröffentlicht [7]. Sowohl die in diesem Paper enthaltene Fallstudie, als auch die von uns durchgeführte Machbarkeitsstudie, belegen die Validität der aufgenommenen CSI-Daten zur Verwendung für WiFi-Sensing im Fahrzeuginnenraum.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen: WiSe4CAr hat die Unterstützung zweier Firmen über Absichtserklärungen bekommen, die Interesse an den Ergebnissen des Projekts gezeigt haben. Weitere Gespräche sind auch im Verlauf des Projekts mit einigen lokalen Partnern geführt worden, wobei es insbesondere um eine potentielle Weiterführung dieses Vorhabens ging. Das Projekt an sich wurde ausschließlich von der Professur Rechnerarchitekturen und -systeme (RAS) an der Fakultät für Informatik der TU Chemnitz durchgeführt. Es bestand keine konkrete Zusammenarbeit mit externen Stellen, abseits der oben genannten Kommunikation mit der Ethikkommission der TU Chemnitz.

1.2 Eingehende Darstellung

1.2.1 Zuwendungsverwendung, erzielte Ergebnisse und Abdeckung mit vorgegebenen Zielen:

Die bereitgestellten Mittel haben die Umsetzung aller Arbeitspakete ermöglicht. Als Kernpunkt hervorzuheben ist die Anschaffung der Demonstratoren, welche schließlich die Durchführung der Messungen und damit die Erstellung des Datensatzes ermöglicht haben. Nachfolgend sind alle Arbeitspakete und ihre Ergebnisse aufgeführt.

AP 1: Anforderungsanalyse und Spezifikation

Im ersten Arbeitspaket sollten die Anforderungen und Spezifikationen für den Demonstrator, den Datensatz und die Machbarkeitsstudie erarbeitet werden, so dass diese als Basis für die nachfolgenden Arbeitspakete dienen können. Konkret ergaben sich die nachfolgenden Anforderungen:

Demonstrator: Der Demonstrator soll portabel gestaltet sein, so dass er ohne strukturelle Veränderungen oder Beschädigung in einem Fahrzeug montiert und demontiert werden kann. Diese Montage und Demontage sollen nicht zeitaufwändig sein; insbesondere wurde soll diese jedes Mal zu zweit unter 30 Minuten bewerkstelligt werden.

Er soll diverse Sensoren an verschiedenen Stellen im Fahrzeug enthalten, so dass die aufgenommenen Daten Rückschlüsse auf die Räume zwischen Sensor und Sender erlauben — mit konkretem Fokus auf den Fahrersitz. Weiterhin soll er die Aufnahme eines Videos ermöglichen, welches den kompletten Fahrzeuginnenraum abbildet. Zusätzlich ist die Aufnahme von Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsdaten notwendig, um später mögliche Beziehung zu Wetterbedingungen erschließen zu können.

Die Verkabelung des Demonstrators soll einen möglichst unkomplizierten Probandenwechsel während der Messungen selbst ermöglichen, da am gleichen Messtermin unterschiedliche Personen im Fahrersitz sitzen. Abschließend müssen alle zuvor genannten Sensordaten (CSI-Daten, Videoaufzeichnung, Temperatur und Luftfeuchtigkeit) miteinander synchronisiert werden, so dass diese Daten korreliert für WiFi-Sensing-Anwendungen im Fahrzeuginnenraum verwendet werden können.

Datenaufnahmen: Um die Effekte von Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie die unterschiedliche Kleidung der Probanden analysieren zu können, müssen die Daten unter variierenden Wetterbedingungen erfasst werden. Jede Aufnahme sollte die Daten der fahrenden Person allein und mit anderen Passagieren enthalten. Um den Effekt der Fahrkabine analysieren und vergleichen zu können, sollten alle Aufnahmen in einem Referenzfahrzeug sowie in anderen Fahrzeugen wiederholt werden.

Der Umgang mit den Probanden wurde mit der Ethikkommission der TU Chemnitz abgestimmt, wie bereits erwähnt. Das hat dazu geführt, dass Vor jeder Messsitzung Datenschutzvereinbarungen besprochen und unterschrieben werden mussten. Zudem wurden alle Daten unwiderruflich anonymisiert. Jede Aufnahme durfte nicht länger als eine Stunde dauern und Kinder durften nur ab 8 Jahren mit Begleitung teilnehmen. Die Kameradaten sollten nach jeder Sitzung umgehend und unwiderruflich anonymisiert werden.

AP 2: Implementierung des Demonstrators

Um Messungen in verschiedenen Fahrzeugen zu ermöglichen, wurde ein tragbarer Demonstrator konzipiert, der innerhalb von etwa 30 Minuten zu zweit in unterschiedlichen Fahrzeugen auf- und abgebaut werden kann, ohne komplizierte Halterungen/Vorrichtungen und ohne Modifikationen in den Fahrzeugen (Siehe Abb. 1.2). Er bestand aus einem Sender in Form eines Standard-WiFi-Routers (AVM FRITZ!Box 7590 AX), der auf dem Armaturenbrett platziert wurde, sowie aus

sieben Empfängern. Letztere waren auf Raspberry-Pi-Boards realisiert und an verschiedenen Positionen im Fahrzeuginnenraum angebracht.

Eine LogiLink-Kamera im Rückspiegel zeichnete die Umgebung zur Ergänzung der CSI-Daten auf, während ein Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor (vom Typ Aosong DHT22) den Demonstrator vervollständigte. Alle Komponenten waren über einen Ethernet-Switch (Netgear GS108PP) mit einem Laptop verbunden, über den die Messungen gesteuert und überwacht wurden.

Abbildung 1.3 illustriert den entwickelten Demonstrator. Es wurden drei Demonstratoren entwickelt. Zwei davon wurden aktiv bei den Messungen benutzt, während der dritte als Backup diente. Mit der Implementierung und Inbetriebnahme des Demonstrators wurde eines der grundlegenden Ziele des Projekts erreicht.



Abbildung 1.2: Demonstrator: Raspberry-Pi-Boards an den Fahrzeugtüren

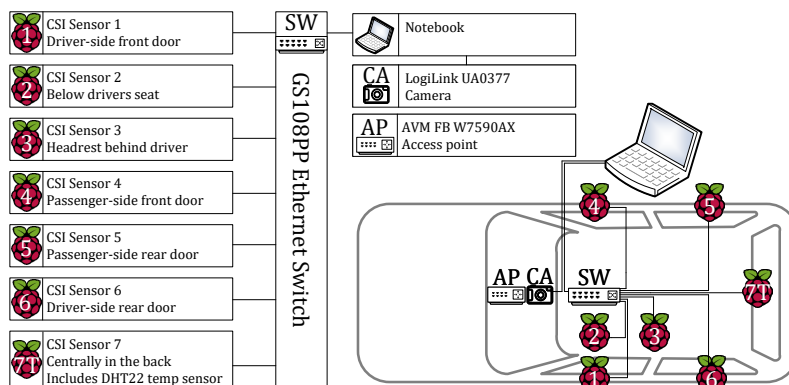


Abbildung 1.3: Demonstrator: Logische Verbindungen zwischen den Komponenten

AP 3: Erstellung des CSI-Datensatzes

Wie geplant wurde die Datenerfassung über das gesamte Projekt verteilt, um vor allem verschiedene Wetterbedingungen einzubeziehen. Die Daten wurden auf dem Parkplatz der TU Chemnitz (in der Straße der Nationen 62) in Sitzungen mit jeweils 8 verschiedenen Probanden erhoben. Die Daten wurden pro Termin immer in zwei Fahrzeugen erfasst, einem Referenzfahrzeug (immer dasselbe) und einem zufällig für die Sitzung gemieteten Fahrzeug. Es wurden 120-Sekunden-Messungen von jeder Person allein als Fahrer/Fahrerin in jedem Fahrzeug und anschließend verschiedene Konfigurationen von Fahrenden und Beifahrenden durchgeführt.

Der resultierende Datensatz enthält 110 individuelle Messungen vor jeweils 120 Sekunden Länge. Insgesamt waren 64 verschiedene Probanden in sechs verschiedenen Fahrzeugen an den Experimenten beteiligt. Jeder Messung liegen ein anonymisiertes Video, sieben CSV-Dateien (eine Datei pro Sensor bzw. Raspberry-Pi-Board) sowie eine Datei mit Temperatur- und Luftfechtigkeitsdaten bei. Der Datensatz enthält außerdem eine globale Annotationsdatei, in der die Daten aller Probanden (Größe, Gewicht) und Fahrzeuge erfasst sind. Der gesamte Datensatz hat eine Größe von 27,7 GB und wurde in der Mobiltheke veröffentlicht. Mit diesem Datensatz wurde eines der Hauptziele des Projekts erreicht.

AP 4-6: Machbarkeitsstudie

Zur Untersuchung des Potenzials von CSI-Daten zur Vorhersage von Körpergröße und -gewicht der fahrenden Person wurde ein neuronales Netzwerk vom Typ ResNet18 eingesetzt. Die Analyse basierte zunächst auf Szenarien, in denen sich nur eine Person am Steuer im Fahrzeug befand. Die CSI-Daten wurden vorverarbeitet (d.h. vom Rauschen mit Filtern befreit), und das Modell trainiert, wobei die Empfänger einzeln zur Bestimmung ihrer optimalen Position analysiert wurden.

Für die Gewichtsvorhersage wurde ein mittlerer absoluter Fehler (MAE) von 3,5770 kg bei 69,2 % der Messungen mit einem Empfänger hinter dem Fahrersitz erzielt, während die Größenvorhersage einen MAE von 2,0574 cm bei 74 % der Messungen mit einem Empfänger an der Fahrertür erreichte. Durch die Kombination von drei Empfängern (an der Fahrertür, hinter und unter dem Fahrersitz) sank der Fehler auf 3,0665 kg bzw. 1,8388 cm bei 78,2 % bzw. 75,6 % der Messungen; andere Kombinationen von Sensoren zeigten allerdings keine besseren Ergebnisse.

In Szenarien mit mehreren Passagieren konnten diese Resultate vermutlich aufgrund unzureichender Datenmenge nicht reproduziert werden. Insgesamt zeigt die Studie, dass WiFi-Sensing Größe und Gewicht des Fahrers/der Fahrerin zuverlässig vorhersagen kann, sofern die Person allein im Fahrzeug sitzt, während für komplexere Szenarien stärkere KI-Modelle und mehr Daten erforderlich sind. Diese Machbarkeitsstudie vervollständigt das letzte Hauptziel dieses Projekts.

1.2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises:

Die Gesamtkosten des Projekts beliefen sich letztlich auf 160.382,44 Euro, wobei die Personalkosten mit 95 % den größten Einzelposten darstellten. Berücksichtigt wurden dabei der wissenschaftliche Mitarbeiter, der das Projekt durchgeführt hat, sowie die beteiligten Studenten. In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass die Beteiligung von Studierenden mit einer Hiwi-Stelle aus akademischer Sicht und im Hinblick auf die Verbreitung der WiFi-Sensing-Technologie von besonderem Interesse war. Die Demonstratoren machten schließlich 3 % der Gesamtkosten aus und der Rest wurde für Datenerfassungsausgaben, wie beispielsweise die Entschädigung der Probanden sowie Reise- und Konferenzkosten, verwendet.

1.2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit:

Wie bereits erwähnt, wurde das Projekt WiSe4Car in drei große Aufgabenbereiche gegliedert, die die Untersuchung von WiFi-Sensing zwecks einer inklusiven Fahrzeugkabine als Ziel hatten:

1. Entwicklung eines Demonstrators,
2. Datenerhebung und Erstellung eines Datensatzes sowie
3. Machbarkeitsstudie.

Jede dieser Aufgaben war notwendig, um die nächste durchführen zu können. Angesichts der Dauer des Projekts wurde der Großteil des Budgets in Personal mit Vorerfahrung sowie in Studierende investiert. Letztere halfen bei der Datenerhebung, dem Aufbau des Demonstrators sowie der Verwaltung und Verarbeitung der Daten.

Die Meilensteine des Projekts wurden wie geplant erreicht, mit einigen Abweichungen bei der Machbarkeitsstudie: Die Datenvorverarbeitung war komplexer als zum Zeitpunkt der Antragstellung erwartet. Die Kostenunterschiede waren hauptsächlich auf Differenzen in der Personalkostenkalkulation sowie auf die Anschaffung eines dritten Demonstrators zurückzuführen. Die Notwendigkeit eines Backup-Systems wurde erst nach den ersten Messungen deutlich, bei denen die Probanden den verwendeten Demonstrator beim Ein- und Aussteigen aus dem Fahrzeug manchmal vorübergehend beschädigten. Ein weiterer Kostenunterschied ergab sich aus der Höhe der Entschädigung für die Probanden. Diese wurde von der Ethikkommission der TU Chemnitz auf 50% des geplanten Betrags reduziert. Die Kosten für die Reise zu einer internationalen Konferenz fielen auch weg, da eine Online-Teilnahme möglich war.

1.2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Aus diesem Projekt ist hauptsächlich ein Datensatz aus CSI-Daten im Fahrzeuginnenraum entstanden, der die Erforschung von WiFi-Sensing im Automobilbereich vereinfachen soll.

Wie bereits erwähnt, ist aus diesem Projekt bereits eine Publikation veröffentlicht worden, was den Nutzen des Datensatzes unter Beweis stellt. Konkret ging es dabei um die Einschätzung von Körpergröße und -gewicht des Fahrers/der Fahrerin. Darüber hinaus planen wir auf dieser Basis weitere Anwendung zu untersuchen. Ein Folgeprojekt wird derzeit mit (lokalen) Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft diskutiert.

1.2.5 Während der Durchführung bekanntgewordener Fortschritt auf dem Vorhabensgebiet:

Der Stand der Technik in Bezug auf WiFi-Sensing hat sich im Laufe unseres Projekts nicht signifikant geändert. Das hiesige Vorhaben blieb dabei — zu unserem besten Wissen und Gewissen — als Einziges im Bereich Automotive-Systeme, was das Potenzial eines Folgeprojekts wiederum verdeutlicht.

1.2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen:

Wie bereits oben erwähnt, ist der erstellte **CSI-Datensatz** bei WiSe4Car in seiner Gesamtheit in der Mobilithek hochgeladen unter <https://mobilithek.info/offers/872135089723445248>. Dieser Link ist nachfolgend in Abbildung 1.4 als QR-Code abgebildet.



Abbildung 1.4: Link zum CSI-Datensatz in der Mobilithek des BMDV

Der veröffentlichte Datensatz enthält 110 individuelle Messungen von je 120 s Länge von 64 verschiedenen Probanden in 6 verschiedenen Fahrzeugen. Jeder Messung liegen ein anonymisiertes Video, 7 CSV-Dateien (eine Datei pro Sensor/Raspberry-Pi) und eine Temperatur-

/Luftfeuchtigkeitsdatei bei. Weiterhin enthält der Datensatz eine globale Annotationsdatei, welche die Daten aller Probanden (Größe, Gewicht) und Fahrzeuge enthalten sind. Der gesamte Datensatz hat eine Größe von 27.7 GB.

Abbildung 1.5 zeigt eine Datenträgervisualisierung mittels WinDirStat¹, die die Dateigrößen im Verhältnis zueinander darstellt. Die blauen Felder repräsentieren Videodateien (.mp4), die roten Dateien sind die CSI-Daten (.csv) und die grünen Dateien sind die Annotationsdateien (.json).

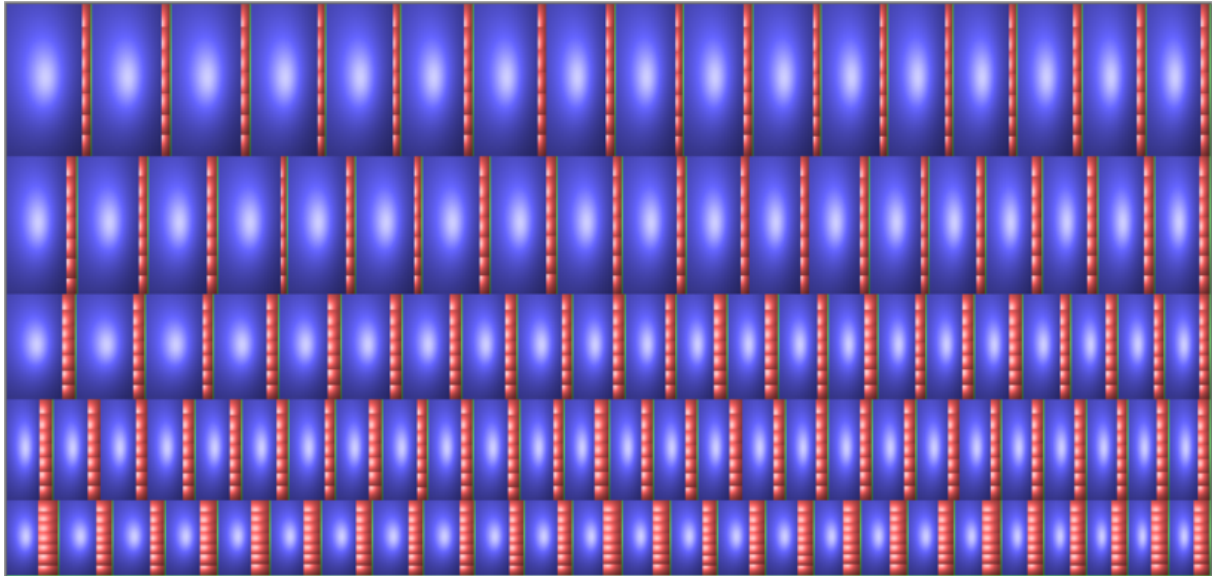


Abbildung 1.5: Datensatzvisualisierung mittels WinDirStat

Publikation bei IEEE Coins: Unser Paper mit dem Titel „WiSe4Car: A Dataset for Wi-Fi Sensing in Automotive Vehicles“ [7] wurde Ende April 2025 bei der IEEE International Conference on Omni-Layer Intelligent Systems im Track „Emerging Technologies on intelligent systems“ eingereicht und dort schließlich Anfang Juni 2025 zur Publikation angenommen. Das Paper präsentiert unseren CSI-Datensatzes für den Fahrzeuginneraum und eine Fallstudie, die darauf basierend sich mit einer ersten Einschätzung der Körpergröße und des Körpergewichts des Fahrers/der Fahrerin befasst. Unser Vortrag auf der Konferenz im August 2025 hat auf großes Interesse gestoßen, was uns zu weiteren Arbeiten in dem Bereich motiviert.

¹<https://windirstat.net/>

Literaturverzeichnis

- [1] C. Turetta, F. Demrozi, P. H. Kindt, A. Masrur, and G. Pravadelli, “Practical identity recognition using wifi’s channel state information,” in *2022 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, 2022, pp. 76–79.
- [2] C. Turetta, G. Skenderi, L. Capogrosso, F. Demrozi, P. H. Kindt, A. Masrur, F. Fummi, M. Cristani, and G. Pravadelli, “Towards Deep Learning-based Occupancy Detection Via WiFi Sensing in Unconstrained Environments,” in *2023 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, 2023, pp. 1–6.
- [3] P. H. Kindt, C. Turetta, F. Demrozi, A. Masrur, G. Pravadelli, and S. Chakraborty, “WirelessEye-Seeing over WiFi Made Accessible,” in *2024 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)*, 2024, pp. 562–567.
- [4] Z. Hao, G. Wang, and X. Dang, “Car-sense: vehicle occupant legacy hazard detection method based on DFWS,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 22, p. 11809, 2022.
- [5] W. Jia, H. Peng, N. Ruan, Z. Tang, and W. Zhao, “WiFind: Driver fatigue detection with fine-grained Wi-Fi signal features,” *IEEE Transactions on Big Data*, vol. 6, no. 2, pp. 269–282, 2018.
- [6] X. Xie, K. G. Shin, H. Yousefi, and S. He, “Wireless CSI-based head tracking in the driver seat,” in *Proceedings of the 14th International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies*, 2018, pp. 112–125.
- [7] Daniel Markert, Estelle Wünsche, Hussein Kerdi, Erik Leo Hass, Ian Robert Blake, Yannic Warias, Ana Perez Grassi and Alejandro Masrur, “WiSe4Car: A Dataset for WiFi Sensing in Automotive Vehicles,” in *IEEE International Conference on Omni-Layer Intelligent Systems (COINS)*, pp. 1–6, 2025.