



**Erfassung des Fahrersituationsbewusstseins für adaptive
kooperative Übergabestrategien beim hochautomatisierten Fahren**

**Abschlussbericht SituWare
Partner: AVL Software & Functions GmbH**

Autor
Felix Elrod

Version: 1.0
Datum: 02.05.2023
FKZ: 19A19011A

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung.....	3
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	6
1.4.1	Verwendete Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte	9
1.4.2	Literatur und Informationsdienste	9
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	9
2	Eingehende Darstellung	10
2.1	Erzielte Ergebnisse	10
2.1.1	Einzelergebnisse nach Arbeitspaketen	10
2.1.2	Meilensteine.....	16
2.1.3	Ergebnisse bezogen auf Forschungsziele.....	16
2.1.4	Aufgetretene Probleme.....	17
2.2	Zahlenmäßiger Nachweis	18
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit.....	19
2.4	Verwertungsaussichten	19
2.5	Update Wissenschaftlicher und technischer Stand	20
2.6	Veröffentlichungen.....	20

1 Kurzfassung

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Projektes SituWare war es ein Soft- und Hardwaresystem (SituSYS) zur zuverlässigen Erkennung, Interpretation und Berücksichtigung des Situationsbewusstseins des Fahrers zu entwickeln und zu evaluieren. Hierzu wurden anwendungsnahe technologische Innovationen im Bereich der Erfassung des Fahrersituationsbewusstseins, der Fahrermodellierung und der Fahrer-Fahrzeug Interaktion realisiert. Die durch SituSYS erzielte Adaptivität des Fahrzeugs an das Situationsbewusstsein des Fahrers, insbesondere in Übergabeszenarien, soll zentrale Hemmnisse bei der Fahrautomatisierung beseitigen. Hierzu zählt insbesondere die Optimierung von Übergabezeiten von automatisiertem zu manuellem Fahren, Reduzierung von unnötigen Warnungen und damit einhergehend der Erhöhung der Akzeptanz und des Vertrauens. Da nicht-adaptive Interaktionsstrategien die Übergabe selbst negativ beeinflussen können, wenn sie mit den vom Fahrer gewählten Aktionen interferieren und ihn ablenken, trägt SituSYS erheblich zur Sicherheit in Übergabeszenarien bei.

Der Schwerpunkt der Arbeiten von AVL im Projekt SituWare lag bei folgenden Tätigkeiten:

- Auswahl von Sensoren für die Erfassung relevanter Parameter des Fahrers
- Implementierung von Algorithmen zur Ermittlung des Fahrerzustands
- Aufbau eines HIL- und VR-Systems für Probandenstudien und deren Durchführung
- Aufbau und Tests eines Fahrzeugdemonstrators
- Integration der eigenen Komponenten sowie der Komponenten der Partner in den Fahrzeugdemonstrator

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt SituWare wurde im Rahmen eines nationalen Gemeinschaftsprojekts mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz durchgeführt. Das Projekt wurde von drei industriellen Partnern (davon zwei KMU) und zwei akademischen Projektpartnern gemeinschaftlich durchgeführt. Verbundpartner waren

- AVL Software & Functions GmbH - AVL
- Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum e.V. - DLR

- Human Factors Consult GmbH - HFC
- Humatects GmbH - HMT
- Universität Ulm - ULM

Die administrative Konsortialleitung lag bei AVL und die technische Leitung beim DLR.

Die Erarbeitung der SituWare-Ergebnisse erfolgte über die gesamte Projektlaufzeit hinweg in einem engen Kooperationsverhältnis zwischen den akademischen und den Industriepartnern.

Das Förderprojekt war zunächst für eine Laufzeit von drei Jahren ausgelegt, und wurde am Ende um zwei Monate kostenneutral verlängert (siehe letzter Absatz nächster Abschnitt, sowie Abschnitt 2.1.4).

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten in SituWare waren in sechs Arbeitspakete (AP) aufgeteilt, wie in Abbildung 1 dargestellt. In AP1 wurden unter Leitung von HFC die Szenarien, Use-Cases und Anforderungen definiert. Diese gingen dann an die Entwicklungs-Arbeitspakete AP2 (Sensoren und Fahrerzustandserkennung, Leiter AVL), AP3 (Modellierung und Interpretation des Situationsbewusstseins, Leiter DLR), und AP4 (Adaptive Interaktionsstrategien, Leiter ULM). Die Entwickelten Komponenten wurden dann in AP5 (Leiter AVL) in das Gesamtsystem integriert und in Simulatoren und einem Realfahrzeug evaluiert.

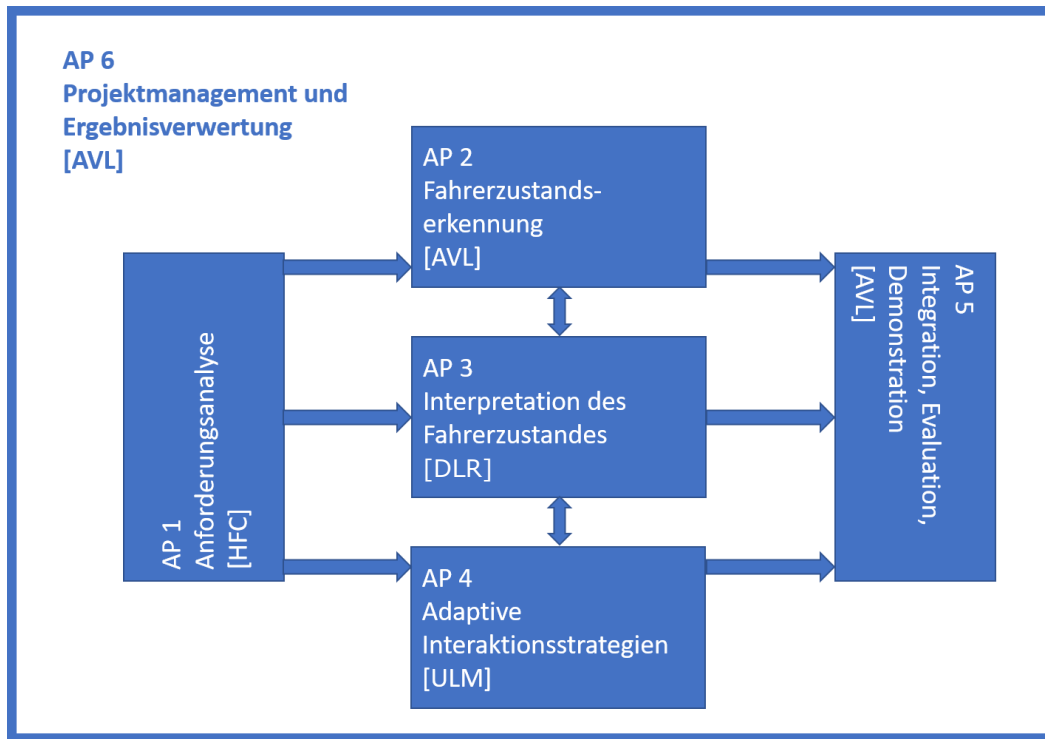


Abbildung 1: Arbeitspaketstruktur

Eine genaue Beschreibung der Tasks ist in der Gesamtvorhabensbeschreibung aufgeführt.

Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau von SituSYS. Der Schwerpunkt der Arbeiten von AVL betraf die Blöcke SituSensors und den Physiology-Block sowie durch die Bereitstellung des Fahrzeugdemonstrators in den Blöcken ‚Vehicle Sensors‘ und dem Environment Model. Sowohl in den AVL Simulator als auch in das Demonstratorfahrzeug wurden außerdem das SituHMI mechanisch und elektrisch eingebaut.

Die folgenden Meilensteine waren in SituWare geplant:

Nummer	Meilenstein	Datum
M1	Szenarien, Use Cases und Systemarchitektur definiert	Monat 9
M2	SituSENSORS konzipiert und integriert	Monat 17
M3	SituMODELL und SituHMI evaluiert	Monat 33
M4	SituSYS evaluiert	Monat 38

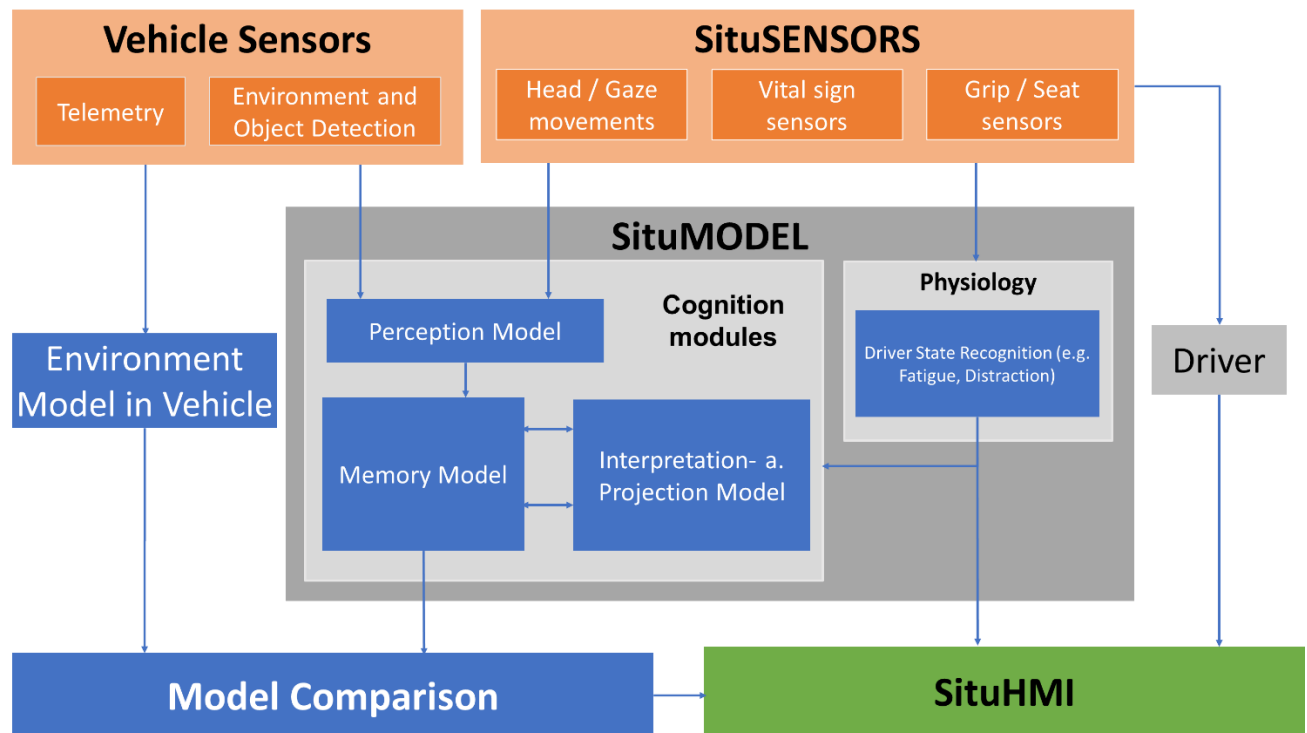


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Systemarchitektur von SituSYS

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Eine zentrale Voraussetzung für die sichere Umsetzung des automatisierten Fahrens ist die Untersuchung der Übernahmebereitschaft des Fahrers¹. Hierzu wurden Ansätze zur Fahrerzustandserkennung in Kombination mit Fahrermodellen verfolgt. Diese fokussieren vorwiegend auf Verstehen, Bewertung und Prädiktion des Fahrerverhaltens (zum Beispiel Manöver- und Intentionserkennung) sowie auf Risikoabschätzung². Da die Messungenauigkeiten der verfügbaren Fahrzeugsensorik den Umgang mit Unsicherheit bedingen, haben sich dabei weitestgehend probabilistische Ansätze durchgesetzt³. Für die Anwendung von Fahrermodellen ist eine möglichst genaue Repräsentation der aktuellen und die Vorhersage der künftigen Fahrsituation notwendig. Hierbei konnten Fahrermodelle von der

¹ Gasser, T. M., Schidt, E. A. et al. (2016). Bericht zum Forschungsbedarf Runder Tisch Automatisiertes Fahren - AG Forschung.

² Doshi, A. & Trivedi, M. M. (2011). Tactical Driver Behavior Prediction and Intent Inference: A Review. Proc. of the 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 1892-1897.

³ Lefèvre, S., Vanquez, D., & Laugier, C. (2014). A survey on motion prediction and risk assessment for intelligent vehicles. Robomech Journal, 1-14.

Entwicklung einer immer leistungstärkeren Fahrzeugsensorik und Algorithmen zur Datenfusion profitieren. Die im Projekt angestrebte explizite Repräsentation und Modellierung des menschlichen Situationsbewusstseins im Fahrzeugkontext steht dagegen noch in den Anfängen. Neben vielversprechenden Ansätzen für die Konzeptualisierung von Situationsbewusstsein zur Echtzeiterfassung⁴, beschränkt sich der derzeitige Stand der Technik hauptsächlich auf die Verbesserung des Situationsbewusstseins durch die kontinuierliche Kommunikation der aktuellen Fahrsituation an den Fahrer⁵. SituWare geht über den aktuellen Stand hinaus, indem das Situationsbewusstsein von Fahrern während der Fahrt nachgebildet und für das automatisierte Fahren nutzbar gemacht wird.

Dafür werden die kausalen Zusammenhänge zwischen Fahrerzustand und Fahrerverhalten, sowie zwischen der objektiven Situation und dem Situationsverständnis des Fahrers, zu einem detaillierten Modell des Fahrerzustands und des Fahrersituationsbewusstseins integriert. Dabei wird zunächst der Fahrerzustand durch ausgewählte physiologische Sensoren, in Kombination mit dem beobachtbaren Fahrerverhalten, erfasst. Über den Abgleich mit der objektiven Fahrsituation (wurden etwa relevante Objekte und deren Trajektorien richtig erfasst?) kann die Angemessenheit des Situationsbewusstseins bestimmt werden. Das Modell erlaubt so die Abschätzung des nicht direkt erfassbaren Situationsbewusstseins und stellt dies im Fahrzeug zur Verfügung. Dies ermöglicht einerseits die Adaptation der Interaktion mit dem Fahrer, insbesondere in Übergabesituationen, und andererseits die Adaptation des Automationsverhaltens an die Situation und den Fahrerzustand.

Eine adaptive Fahrer-Fahrzeug-Interaktion erfordert die Entwicklung neuer, innovativer Interaktionsstrategien, mit deren Hilfe über multimodale Fahrer-Fahrzeug-Schnittstellen die Aufmerksamkeit des Fahrers entsprechend seinem augenblicklichen Situationsbewusstsein gelenkt und Handlungsentscheidungen optimal vorbereitet werden. Hierfür müssen psychologische Erkenntnisse der Aufmerksamkeitssteuerung, der Handlungsrepräsentation und Handlungsauswahl mit aktuellen Konzepten der Mensch-Maschine Kooperation integriert und prototypisch umgesetzt werden.

⁴ Rauch, N. (2009). Ein verhaltensbasiertes Messmodell zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext. Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

⁵ Salfinger, A., Retschitzegger, W. & Schwinger, W. (2013). Maintaining Situation Awareness Over Time - A Survey on the Evolution Support of Situation Awareness Systems. Proc. of the Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, 275-281.

Die explizite Modellierung des Fahrersituationsbewusstseins innerhalb des Projektes geht auf mehreren Ebenen über den aktuellen Stand der Technik hinaus. Die in der Literatur häufige Bestimmung diverser Parameter des Fahrerzustands (z.B. Müdigkeit, Ablenkung, Beanspruchung) erfasst nur generelle Einschränkungen der Leistungsfähigkeit des Fahrers. Basierend auf dieser Information werden allgemeingültige Maßnahmen aktiviert um die Leistungsfähigkeit des Fahrers wieder zu verbessern (z.B. Vorschlag einer Pause oder aufmerksamkeitsadaptive Warnung). Die explizite Repräsentation des Fahrersituationsbewusstseins ermöglicht es dagegen die Leistungsfähigkeit des Fahrers deutlich besser zu beurteilen und individuelle und situationsselektive Warnungen, Eingriffe und Transitionen zu verwenden. Das Modell des Fahrersituationsbewusstseins nutzt hierbei Parameter der bereits untersuchten Fahrerzustände aber auch Informationen der Verhaltensbeobachtung des Fahrers.

Um die Modellierung zu ermöglichen ist es erforderlich die verfügbare Sensorik zur Fahrerhaltensbeobachtung deutlich zu erweitern. Kamerabasierte Blickerkennungssysteme müssen eine höhere Genauigkeit erreichen, um nicht nur visuelle Ablenkung, sondern auch die Fixation einzelner Objekte oder kleinteiliger Bereiche (z.B. die Nachbarspur) zu erkennen. Darüber hinaus sind nicht-invasive fahrzeuggebundene Sensoren für physiologische Parameter erforderlich, um den Fahrerzustand während der manuellen und der automatisierten Fahrt zu erfassen. Die explizite Modellierung des Fahrersituationsbewusstseins ermöglicht es somit die Angemessenheit einzelner Handlungen des Fahrers individuell zu bewerten und ist somit eine Voraussetzung zur sicheren Umsetzung einer adaptiven Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bei automatisierten Fahrzeugen. SituWare baut hierbei auf vorhandenen Erkenntnissen anderer Projekte (z.B. ADAS&Me, AutoMate, HaVEit oder HoliDes) auf. Dies erfolgt durch eine Analyse der Veröffentlichungen zur verwendeten Sensorik, deren Verwendung in Fahrerzustandsklassifikatoren sowie den Ergebnissen einzelner Partner in den jeweiligen Projekten.

1.4.1 Verwendete Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte

AVL hat im Wesentlichen Standardkomponenten und open Source Lösungen verwendet und für die Verwendung angepasst.

Nach unserem Kenntnisstand haben wir keine Technologien eingesetzt, die durch Schutzrechte geschützt oder durch entsprechende Lizenzen abgedeckt sind.

1.4.2 Literatur und Informationsdienste

AVL hat keine spezielle Literatur oder Informationsdienste für das Projekt verwendet.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Projektpartner wurden so ausgewählt, dass die notwendigen technischen, wissenschaftlichen und marktrelevanten Kompetenzen zur Realisierung und Verwertung der Projektziele einschlägig und komplementär vorhanden sind. Entsprechend setzen die Partner komplementäre Arbeitsschwerpunkte. Abbildung 1 zeigt das Zusammenspiel der einzelnen Arbeitspakete und deren leitende Projektpartner.

HFC leitet in AP1 die Definition und Analyse der Anforderungen, arbeitete in AP3 zusammen mit den Projektpartnern an der Erforschung der Modellierung von Situationsbewusstsein und in AP4 an der Erforschung adaptiver Fahrer-Fahrzeug-Interaktionsstrategien. AVL übernahm als Konsortialführer das Projektmanagement und leitet die Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit in AP6. Weiter leitete AVL in AP5 die Integration, Evaluation und Demonstration. Inhaltlich fokussierte AVL auf die Fahrerzustandserfassung auf Basis der Fahrerbeobachtungskamera und zusätzlicher Sensorik in AP2. Ebenso wurden von AVL in AP4 Lösungen zur Umsetzung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (z.B. Integration von Leuchtelementen) eingebracht. AVL stellte einen Fahrsimulator mit dreikanaliger Projektion und ein Versuchsfahrzeug mit Ausnahmegenehmigung zum Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr für das Projekt zur Verfügung. HMT brachte sich in die Erforschung der Fahrermodellierung in AP3 sowie der Interaktionsstrategien und der Entwicklung entsprechender HMIs in AP4 ein. Das DLR war hauptverantwortlich für das SituMODELL in AP3 und hat diese Modelle im eigenen Fahrsimulator gemeinsam mit HMT und HFC getestet. ULM hat insbesondere in AP4 die Gestaltung und Evaluation der

Interaktionsmechanismen geleitet und hierfür Studien durchgeführt. Des Weiteren war ULM an der Erforschung der Fahrerzustandserfassung und der Modellierung des Situationsbewusstseins beteiligt.

Die Zusammenarbeit im Projekt funktionierte unter den gegebenen Bedingungen sehr gut, allerdings machte sich hier auch die Corona-Situation bemerkbar, da persönliche Treffen über längere Zeiträume nur eingeschränkt möglich waren.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

Im Folgenden werden die erzielten Ergebnisse dargestellt. Die Ergebnisse werden zunächst Arbeitspaketweise dargestellt. Anschließend werden kurz die Meilensteine diskutiert, und anschließend erfolgt eine Darstellung der Ergebnisse im Hinblick zur Erreichung der Forschungsziele.

2.1.1 Einzelergebnisse nach Arbeitspaketen

2.1.1.1 AP1 – Anforderungsanalyse

Task	Ergebnis
Task 1.1	Bezüglich der Definition von Szenarien und Use Cases hat AVL Szenarien vorgeschlagen und insbesondere im Hinblick auf Sensorverfügbarkeit und -störungen Know-How eingebracht. Die Szenarien wurden im Projektteam ausgearbeitet und hinsichtlich verschiedener Kriterien, wie zum Beispiel Relevanz oder Realisierbarkeit bewertet und anhand dieser Bewertung eine Priorisierung der erarbeiteten Szenarien erarbeitet. Die höchste Priorität hatte das Szenario ‚Autobahn mit Baustelle‘, weshalb sich die Entwicklung des Gesamtsystems auf dieses Szenario konzentrierte.
Task 1.2	AVL hat die Anforderungen an SituSensors mit Input der Partner definiert und die Partner bei der Definition von deren Komponenten unterstützt. Zur Dokumentation der Anforderungen, wurde ein gemeinsames Anforderungs-Dokument erstellt, das von AVL gepflegt wurde. Regelmäßig wurden hier Updates, die sich im Laufe der Entwicklung ergeben haben, eingepflegt. Bei AVL wurden aus diesem Dokument die Anforderungen an das System in der Ebene 2 und 3 des automotiven V-Cycles abgeleitet.

	<p>Der Fokus von AVL lag auf der Sensorik sowie physiologischen Komponenten wie die Erkennung der Müdigkeit und Aufmerksamkeit. Es wurde entschieden, für die Müdigkeits- und Aufmerksamkeitsschätzung als ersten Schritt kamerabasierte Algorithmen zu verwenden und in einem nächsten Schritt zu versuchen, mit Hilfe von weiteren Sensoren die Genauigkeit und Robustheit durch Sensor-Fusion zu steigern.</p> <p>Als Referenzen zur Beurteilung der ermittelten Parameter sollte die HFC-Müdigkeitsskala dienen. Außerdem sollte durch Beobachtung des Fahrers durch eine zweite Person (bzw. nachträglich durch Analyse der Kameraaufzeichnungen) und ggf. gezielte Fragen an die Probanden im Anschluss an die Validierungstests die Qualität der ermittelten Parameter überprüft werden und die Ergebnisse in die weitere Entwicklung einfließen.</p> <p>Die im Projektantrag vorgeschlagene Verwendung eines EEG als Referenzsensor zur Erkennung des Fahrerzustandes hat sich im Laufe der weiteren Untersuchungen als nicht Zielführend erwiesen, da keines der EEG Systeme, die AVL auf dem Markt finden konnte, eine Unterstützung für die Erkennung des Fahrerzustandes mitbringen. Eine Implementierung dieser Funktion wäre zeitaufwändig und fehlerbehaftet und hätte viele weitere Forschungen und Studien bedurft, weshalb die Anschaffung dieses Sensortyps nicht erfolgte.</p>
Task 1.3	<p>AVL hat in Kooperation mit den Partnern die Systemarchitektur entwickelt. AVL hat eine Middleware (ROS) für die einfache Austauschbarkeit der Software-Komponenten unter den Partnern vorgeschlagen und eine Einführung für die Partner in das Thema online durchgeführt. Gemeinsam mit den Partnern wurde dieses System für das Projekt ausgewählt. Es hat die Zusammenführung der Komponenten der Partner in ein System erleichtert.</p>
Task 1.4	<p>Die Stakeholder-Workshops wurden aufgrund der Corona-Pandemie als Befragung durchgeführt. AVL hat entsprechende Stakeholder ausgewählt und vorgeschlagen.</p>
Task 1.5	<p>Das Virtual-Reality-System für einen Teil der Validierungsaufgaben wurde aufgebaut. Neben dem ausgewählten Szenario ‚Autobahn mit Baustelle‘ wurde eine Aufmerksamkeitsdetektion anhand der Blickrichtung des Fahrers sowie die HMI Elemente zur Anzeige von Aufmerksamkeit und Müdigkeit integriert. Das Ego-Fahrzeug ist vollständig selbstfahrend und die anderen Fahrzeuge mit künstlicher Intelligenz ausgestattet, so dass die Verkehrssituation der Realität gut nachempfunden werden kann. Auch ist die Darstellung verschiedener Wetterbedingungen möglich, so dass das SituWare System im VR-System mit vielen verschiedenen Parametern getestet werden konnte.</p>

2.1.1.2 AP2 – Fahrerzustandserkennung / SituSENSORS

Task	Ergebnis
Task 2.1	<p>Das im Task 1.2 bereits erwähnte Partnerübergreifende Anforderungsdokument sowie viele Gespräche mit den Partnern wurde als Input verwendet, um die Anforderungen an die Sensorik zu definieren. Es wurden gemäß des automotiven V-Cycles Anforderungsdokumente der Ebenen 2 und 3 erstellt. Verschiedene Lösungsoptionen wurden diskutiert und anschließend die Auswahl der Sensoren getroffen.</p> <p>Als Primärer Sensor – auch, weil es ein nicht-invasiver Sensor ist und daher nicht mit zusätzlichem Aufwand für den Fahrer verbunden ist – wurden Kameras verwendet. Die Primäre Kamera detektiert die Kopf- und Blickpositionen, sowie den Öffnungsgrad der Augenlider. Eine zweite Kamera schaut von der Seite her auf den Fahrer und erkennt, ob der Fahrer mit anderen Tätigkeiten beschäftigt ist, wie zum Beispiel der Bedienung des Radios oder Telefon.</p> <p>Die Zusätzlichen Sensoren werden verwendet, um die Robustheit der Erkennung durch Sensor-Fusion zu verbessern. Der Sitz-Sensor liefert zum Beispiel eine Aussage darüber, ob der Fahrer sich gerade umdreht, um den Kindern auf der Rücksitzbank etwas zu reichen. Sollten die Lenkradsensoren keine Berührung erkennen, ist der Fahrer mit Sicherheit zu dem Zeitpunkt nicht in der Lage, die Laterale Steuerung des Fahrzeuges zu übernehmen. Herz- und Atemfrequenzsensor können Informationen zur Müdigkeit und Ablenkungslevel liefern.</p> <p>Der Herzraten und Atemfrequenzsensor wurden aus dem Bereich der Fitness-tracker ausgewählt. Für die Detektion der Hände am Lenkrad wurden zwei verschiedene Verfahren gewählt: Im Versuchsfahrzeug erfolgt die Erkennung anhand eines kapazitiven Sensors. Im Simulator bei AVL wird die Hands-on-Detektion durch die Erkennung einer Drehbewegung realisiert.</p> <p>Ein Sitzpositions-Sensor wurde bei unserem Partner OFFIS in einem früheren Projekt bereits entwickelt. Dieser wurde uns freundlicher Weise zum Testen zur Verfügung gestellt, so dass auch hier eine günstige Lösung gefunden wurde. Die Analyse des Marktes für Sitzpositionssensoren hat zwar auch hier großartige Möglichkeiten aufgezeigt, diese liefern aber deutlich mehr Informationen, als benötigt werden, weshalb wir die Investition als nicht gerechtfertigt ansahen.</p>
Task 2.2	<p>Für das SituWare Projekt wurden passende Vitalwertsensoren ausgewählt, die einerseits die gewünschten Parameter in der erforderlichen Genauigkeit ermitteln als auch vom Interface zum Gesamtsystem passen. Ein Konzept für die Kombination der verschiedenen Sensorinformationen wurde erstellt.</p>

Task 2.3	Für die Erfassung der Blick- und Kopfbewegungen wurde ein passender Kamerasensor ausgewählt und sowohl softwaremäßig in Betrieb genommen als auch hardwareseitig in unseren Simulator und das Realfahrzeug integriert. Es wurde SW integriert, die die Ermittlung der Kopfposition sowie der Blickrichtung übernimmt.
Task 2.4	<p>AVL hat mit diversen potenziellen Zulieferern für Griff- und Sitzpositionssensoren Gespräche geführt. Es hat sich gezeigt, dass die angebotenen Produkte deutlich über unsere Anforderungen hinausgehen und dementsprechend sehr kostspielig sind. Aus diesem Grund wurde sich im Projektkonsortium für folgende Lösungen entschieden:</p> <p>Als Sitz-Sensor soll eine Entwicklung des Partners OFFIS verwendet werden, die vom OFFIS freundlicher Weise zur Verfügung gestellt wird. Hier handelt es sich um eine handelsübliche Sitzauflage, in die Silikonschläuche eingearbeitet wurden. Bewegt der Fahrer sich, so wird die Luft in diesen Schläuchen unterschiedlich komprimiert, was über Sensoren an den Enden der Schläuche messbar ist. Eine kleine elektronische Schaltung und etwas Software ermöglichen es, die Daten auswertbar aufzuzeichnen.</p> <p>Für die Detektion der Hände am Lenkrad wurden verschiedene Lösungen realisiert: Im Versuchsfahrzeug wurde ein kapazitiver Sensor in den Griff-Ring des Lenkrades integriert. Im Simulator bei AVL ist die Detektion einer Lenkbewegung durch den Fahrer möglich.</p> <p>Es wurde evaluiert, dass die verwendeten Messprinzipien sich nicht gegenseitig beeinflussen. Auch sind alle implementierten Lösungen im Fahrzeug gut integrierbar.</p>
Task 2.5	Für die Validierung der Sensorik wurden die notwendigen Testfälle definiert und ein Validierungskonzept erstellt. Anhand dessen wurde der Validierungsplan aufgesetzt und die Probandenstudie vorbereitet. Es wurde festgelegt, welches Szenario die Probanden automatisiert fahren, wie lange die Fahrt dauert und ob Nebenaufgaben gestellt werden. Außerdem wurde eine Vorlage für einen Fragebogen für die Probanden erstellt.
Task 2.6	Die Systemarchitektur aus der Projektantragsskizze wurde im Laufe des Projektes immer weiter verfeinert und dem jeweils aktuellen Entwicklungsstand angepasst und mit den Partnern abgestimmt. Aufgrund der immer weiter fortschreitenden Entwicklung waren hier etliche Iterationen notwendig. Im Projektkonsortium wurde sich auf ein Ethernet-Kommunikationsnetz zwischen den Recheneinheiten der verschiedenen Projektpartner sowie auf die Middleware ROS geeinigt. AVL hat das System sowohl im Simulatorprüfstand als auch im Fahrzeugdemonstrator integriert und in Betrieb genommen.

Task 2.7	<p>AVL hat eine Studie zur Bewertung von Müdigkeit und Aufmerksamkeit im Simulator durchgeführt. Hierzu haben die Probanden eine einstündige Fahrt in einem virtuellen autonomen Fahrzeug durchgeführt. Da die Mitfahrt in einem autonomen simulierten Fahrzeug schnell langweilig wird, sind bei den meisten Probanden recht schnell Anzeichen für Müdigkeit sichtbar geworden. Gleichzeitig ließ die Aufmerksamkeit auf die Fahrzeugumgebung nach. Leider konnte die Studie aufgrund von zeitlichen Verzögerungen und aus Sicherheitsgründen nicht im Realfahrzeug wiederholt werden, so dass wir nicht mit Sicherheit sagen können, dass in einem realen Fahrzeug die Müdigkeit und Aufmerksamkeit des gefahrenen Fahrers sich ebenso reduziert.</p>
----------	---

2.1.1.3 AP3 – Interpretation des Fahrerzustands / Situationsbewusstseins / SituMODELL

Task	Ergebnis
Task 3.1	<p>AVL hat verschiedene Algorithmen aus der Literatur für die kamerabasierte Müdigkeits- Beanspruchungs- und Aufmerksamkeitsschätzung evaluiert und einzelne davon für SituWare implementiert.</p> <p>Dazu gehören folgende Algorithmen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eye-Tracking zur Erkennung, wo der Fahrer gerade hinschaut und zur Schätzung, was er/sie wahrgenommen hat. Diese Informationen dienen als Input für die Komponente des Partners HMT. • Eye-Lid-Opening-Ratio: Prozentsatz der Augenlidöffnung zur Ermittlung der Blinzelfrequenz und zur Schätzung der Müdigkeit • Activity-Estimation: Klassifikation der Tätigkeit des Fahrers (Fahren, Bedienen des Radios, Telefonieren, Reden, ...) zur Ermittlung der Beanspruchung und Aufmerksamkeit. <p>Außerdem hat AVL die notwendige SW zum Einlesen und Interpretieren der Sensorsignale des Sitzsensors, des Lenkradsensors, der Herzrate und Athemfrequenzsensoren für das SituWare System erstellt oder angepasst. Es wurden Komponenten erstellt, die die erfassten Informationen den anderen SituWare Systemkomponenten zur Verfügung stellen.</p>
Task 3.2	Keine Beteiligung von AVL in diesem Task
Task 3.3	<p>Die Aktivitäts-Schätzung basiert auf Verfahren der künstlichen Intelligenz und benötigt daher annotierte Trainingsdaten. Die erste Version der Aktivitäts-Schätzung wurde mit frei verfügbaren Trainingsdaten aus dem Internet trainiert. Anschließend wurden in diesem Task eigene Aufnahmen annotiert und damit das Training optimiert.</p>

Task 3.4	In diesem Task wurden die Komponenten zur Müdigkeit-, Aufmerksamkeits- und Beanspruchungsschätzung im Simulator und Fahrzeug ausgiebig getestet. Zuvor wurden Untersuchungen mit den in Task 3.3 erstellten Test- und Trainingsdaten die Performance der Modelle überprüft.
----------	---

2.1.1.4 AP4 – Adaptive Interaktionsstrategien

Task	Ergebnis
Task 4.1	AVL hat an der Definition der Interaktionsstrategie intensiv mitgewirkt durch Einbringen des Know-Hows aus der Entwicklung von Fahrzeugkomponenten und teilautonomen Fahrfunktionen sowie dem Review und Kommentieren der Vorschläge der Partner.
Task 4.2	AVL hat die gemeinsam mit den Partnern definierten HMI Komponenten sowohl in den Simulator als auch in das Realfahrzeug integriert und getestet.
Task 4.3	Die Interaktionsstrategie für SituWare wurde in mehreren Iteration gemeinsam mit den Partnern definiert. AVL hat entsprechend des jeweiligen Diskussionsstands die notwendigen Hardwarekomponenten für die Interaktionsstrategie in den Simulator und teilweise auch das Realfahrzeug integriert und getestet.
Task 4.4	Keine Beteiligung von AVL in diesem Task

2.1.1.5 AP5 – Integration, Evaluation und Demonstration

Task	Ergebnis
Task 5.1	Die Sensoren sowie die dazugehörige Software wurden in den Simulator integriert und erfolgreich getestet. Hierbei waren vor allem Inkompabilitäten von Software-Versionen die größten Herausforderungen. Außerdem hatte sich herausgestellt, dass die notwendige USB-Kabellänge für den Anschluss der Kameras das Signal zu sehr verfälscht, so dass keine sichere Kommunikation mit den Kameras möglich war. Spezielle aktive USB Leitungen konnten das Problem lösen
Task 5.2	Die Sensoren sowie die dazugehörige Software wurden in das Realfahrzeug von AVL integriert und erfolgreich getestet. Die Sensoren mussten so montiert werden, dass sie stabil mit der Karosserie verbunden sind, um möglichst wenig Signalverfälschung durch Bewegungen des Sensors zu haben. Außerdem mussten die notwendigen Kommunikations- und Versorgungsleitungen in das Fahrzeug integriert werden. Für die Energieversorgung der SituWare

	Komponenten wurde das elektrische Boardnetz des Serienfahrzeuges erweitert um einen zuverlässigen Betrieb gewährleisten zu können.
Task 5.3	AVL hat die Partner bei ihren Evaluationsstudien unterstützt.
Task 5.4	Aufgrund der Corona-Pandemie wurden die Stakeholder-Workshops als Befragung durchgeführt.

2.1.1.6 AP6 – Projektmanagement und Ergebnisverwertung

Task	Ergebnis
Task 6.1	AVL hat zwei Projekttreffen ausgerichtet (Kick-Off und Juni 2022) sowie die Vorbereitungen der weiteren Projekttreffen unterstützt. Ebenso hat AVL die Projektfortschrittsberichte mit dem Fokus auf AP2, 5 und 6 zusammengetragen.
Task 6.2	AVL hat den Projektfortschritt bei den 14-tägigen Telefonkonferenzen mit den Partnern diskutiert und gemonitort.
Task 6.3	AVL hat die Projektergebnisse mehreren Interessierten Firmen in Kundengesprächen vorgestellt sowie – gemeinsam mit anderen AVL Technologien – bei mehreren Events gezeigt.

2.1.2 Meilensteine

Die folgenden Meilensteine waren im Projekt geplant:

Nummer	Meilenstein	Datum	Status
M1	Szenarien, Use Cases und Systemarchitektur definiert	Monat 09	Erreicht
M2	SituSENSORS konzipiert und integriert	Monat 17	Erreicht
M3	SituMODELL und SituHMI evaluiert	Monat 33	Erreicht
M4	SituSYS evaluiert	Monat 38	Erreicht

Alle Meilensteine wurden erreicht. M2 war leicht verspätet, M3 und M4 mussten aufgrund der Verzögerungen im Projekt durch Corona (Beschaffung beim Aufbau Simulator, Probandenfindung, ...) neu geplant, bzw. um zwei Monate verschoben werden.

2.1.3 Ergebnisse bezogen auf Forschungsziele

Nr	Forschungsziel	Erreichtes Ergebnis
FZ1	Erfassung des Fahrerzustands	Die Erfassung der Fahrer-Blickrichtung wurde realisiert und gemeinsam mit dem Partner mit dem Verkehrsgeschehen verknüpft.
09.05.2023		Seite 16 von 20

FZ2	Interpretation des Fahrersituationsbewusstseins	Keine direkte AVL Beteiligung
FZ3	SituHMI: Intuitive, adaptive Fahrer-Fahrzeug-Interaktionsstrategien	Die Konzepte zu diesem Forschungsziel wurden von den Partnern entwickelt. AVL hat diese Konzepte teilweise für die Tests in den Simulator und das Realfahrzeug von AVL integriert.
FZ4	Integration zu SituSYS	AVL hat das SituSys in den Simulator und das Realfahrzeug integriert.

2.1.4 Aufgetretene Probleme

An dieser Stelle seien noch mal die wichtigsten Probleme aufgeführt, die während des Projektes aufgetreten sind:

- Corona Pandemie:

Aufgrund der Corona-Pandemie und der erforderlichen Maßnahmen kam es zu diversen Verzögerungen im Projekt, die einzeln betrachtet nicht viel ausmachen, sich inzwischen aber doch addieren:

- Verzögerungen bei der Personalakquise und Einarbeitung der Mitarbeiter in das Projekt
- Weniger effiziente Teamarbeit (intern) durch Homeoffice und Lockdown, insbesondere bei „kreativen Tätigkeiten“ wie der Erstellung von Konzepten. Hier war viel Diskussion notwendig, und die ist online nur bedingt und eingeschränkt effizient.
- Weniger effiziente Abstimmung im Konsortium, da die Möglichkeit physikalischer Treffen über lange Zeiträume fehlte. Gerade in großen Gruppen ist die Diskussion über komplexe Sachverhalte deutlich effizienter, wenn diese real stattfinden, und nicht online. Fehlende non-verbale Kommunikation, fehlende soziale Bindungen, immer wieder auftretende technische Schwierigkeiten (Verbindungsabbrüche, Tonprobleme, Einwahlprobleme, Zeitverzögerungen bei einigen, ...) sind nur einige Beispiele für Dinge, die online-meetings weniger effizient machen. Sicherlich ist auch vor Corona ein Großteil der Abstimmung bereits online erfolgt, aber die wichtigen Fortschritte und Abstimmungen sind erfahrungsgemäß doch immer in den regelmäßigen physikalischen Meetings mit allen Partnern erfolgt.
- Verzögerung bei der Durchführung von Studien bei allen Partnern aufgrund der vorgeschriebenen Corona-Maßnahmen

(Hygienemaßnahmen während der Versuchsdurchführung verlängern die Prozedur, wodurch weniger Termine für Probanden zur Verfügung stehen). Krankheitsbedingte Ausfälle bereits abgesprochener Termine verzögerten die Studien weiter.

- Instabile USB Kommunikation: Die Kommunikation mit den Kameras war instabil, was an den großen Leitungslängen lag, die in Simulator und Fahrzeug notwendig waren. Entsprechende Leitungen, die einen aktiven Signalverstärker enthalten, konnten das Problem lösen.

2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Im Laufe des Projektes wurden einzelne Kostenpositionen aufgrund von neuen Erkenntnissen umgewidmet. Dieses sei hier noch einmal aufgeführt:

Die veranschlagten Materialkosten wurden bei Weitem nicht ausgeschöpft da:

- Es haben sich deutlich günstigere Kameramodelle gefunden, die ebenfalls ihren Zweck erfüllen
- Anstelle von separaten Hautleit-Sensoren, EKG Sensor, und Temperatursensor wurden Sensoren aus dem Bereich Fitness-Tracker beschafft, die deutlich günstiger waren
- Software-Lizenzkosten sind nicht angefallen und auch der Einbau der Sensoren kann mit dem bereits umgewidmeten Budget vollständig abgeschlossen werden.

Eine Umwidmung der Material- in Personalkosten war angedacht, da auf der anderen Seite auch Aufwände beim Personal als zu gering eingeschätzt wurden:

- Der Aufwand zur Vorbereitung der Probandenstudie zur Müdigkeits- und Ablenkungserkennung wurde deutlich zu niedrig eingeschätzt. Probandenstudien wurden bis dahin noch nie in der ADAS-Abteilung von AVL SFR durchgeführt, weshalb die korrekte Aufwandsabschätzung schwierig war. Feedback der erfahrenen Projektpartner haben unseren Horizont in dem Bereich des Studiendesigns deutlich erweitert und gezeigt, dass deutlich mehr Aufwände notwendig sind.
- Die teilweise großen Schwierigkeiten bei der Auswahl und Beschaffung der Sensoren hat mehr Zeit gekostet, als gedacht.
- Die Implementierung des Interfaces zur Echtzeit-Beobachtung der Messung sowie der nachträglichen Analyse war aufwändiger, als

gedacht. Das Windows-Betriebssystem, das eigentlich als Basis für das Interface vorgesehen war, hat leider den direkten Zugriff auf das Linux-Basierte HIL-System blockiert, weshalb nach der Hälfte der Implementierung die Implementierung für ein reines Linux-System angepasst werden musste.

- Die Anpassung der Schnittstelle des bestehenden automatisierten Fahrzeuges an die Anforderungen des SituWare Systems wird ebenfalls noch etwas höhere Aufwände erfordern, als ursprünglich gedacht.

Diese Umwidmung wurde dann aber doch nicht beantragt, da für die zu bearbeitenden Themen kein Personal zur Verfügung stand und auch nicht gewonnen werden konnte. Daher war es schlussendlich leider nicht möglich, alle Projektumfänge bis zum Projektende abzuschließen. Dieses Betraf vor allem die Arbeitspakete 2.7, 3.4 und 5.3.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit

Für viele der bearbeiteten Themen war bei AVL kaum Expertise vorhanden. Zur Erreichung der Projektziele war es daher notwendig, intensiv Expertise aufzubauen. Die aufgebaute Expertise ist für AVL in der Aquis von Kundenprojekten sehr hilfreich und eröffnet weitere Geschäftsfelder. Die Investition in den Aufbau der Expertise hätte ohne die Förderung nicht geleistet werden können.

2.4 Verwertungsaussichten

Die entwickelten Technologien und das gewonnene Know-How wird von AVL Software and Functions in der Kundenakquise eingesetzt. Es hat bereits mehrere Anfragen von potenziellen Kunden gegeben, denen die Entwicklungen des SituWare Projektes vorgestellt wurden. Einige Kunden interessieren sich für einzelne Aspekte der Entwicklung, manche aber auch für das gesamte SituSystem.

2.5 Update Wissenschaftlicher und technischer Stand

Das SituWare Projekt leistet einen Beitrag, den wissenschaftlichen und technischen Stand zu verschiedenen Themenbereichen voranzubringen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aufmerksamkeitslenkung anhand des Situationsbewusstseins für die Übernahme-situation bei Level 3 automatisierten Fahrzeugen einen Vorteil bringen kann aber auch viele Herausforderungen beinhaltet.

2.6 Veröffentlichungen

Durch AVL Software and Functions GmbH sind keine Veröffentlichungen der Ergebnisse erfolgt.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Abschlussbericht SituWare Partner: AVL Software & Functions GmbH	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Elrod, Felix	5. Abschlussdatum des Vorhabens März 2023
	6. Veröffentlichungsdatum Mai 2023
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) AVL Software and Function GmbH, Im Gewerbepark B29, 93059 Regensburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19A19011A (AVL)
	11. Seitenzahl 20
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 2
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Stand der Wissenschaft und Technik Zur Abschätzung des Fahrersituationsbewusstseins werden bislang Methoden verwendet, die aus dem aktuellen Fahrverhalten des Fahrers abgeleitet werden. Schätzt das System, dass das Situationsbewusstsein nicht ausreichend groß ist, wird der Fahrer allgemein gewarnt. Zielsetzung des Vorhabens Verbesserung der Abschätzung des Fahrersituationsbewusstseins durch detektion von Müdigkeit, Aufmerksamkeit und Vitalparametern des Fahrers. Methode Implementierung eines Systems zur Erfassung des Fahrerzustand (Müdigkeit, Ablenkung, Vitalparameter) und Evaluation der Teilsysteme sowie des Gesamtsystems durch Probandenstudien. Ergebnis Prototyp eines Systems zur Erfassung des Fahrerzustand. Anwendungsmöglichkeiten Die Ergebnisse können für die Entwicklung eines Systems verwendet werden, mit dem die erforderliche Übergabezeit für das autonome Fahren mit Level 3 besser abgeschätzt werden kann. Dadurch wird die Anzahl der Übergabesituationen reduziert.	
19. Schlagwörter Situationsbewusstsein, Fahrerassistenz, Autonomes Fahren, Übergabeszenarien	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report		
3. title Abschlussbericht SituWare Partner: AVL Software & Functions GmbH			
4. author(s) (family name, first name(s)) Elrod, Felix		5. end of project March 2023	
		6. publication date May 2023	
		7. form of publication	
8. performing organization(s) (name, address) AVL Software and Function GmbH, Im Gewerbepark B29, 93059 Regensburg		9. originator's report no.	
		10. reference no. 19A19011A (AVL)	
		11. no. of pages 20	
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		13. no. of references	
		14. no. of tables	
		15. no. of figures 2	
16. supplementary notes			
17. presented at (title, place, date)			
18. abstract State of the art For the estimation of the situation awareness of the driver, methods based on the current driving-behaviour of the driver are used. The driver will be warned in a general, if the system estimates a not sufficient situation awareness of the driver. Target of the project Improve the estimation of the situation awareness by detection of drowsiness, attentiveness and vital parameter. Method Implementation of a system to recognize driver state (drowsiness, distraction, vital parameter) and evaluation of the components as well as the whole system by proband studies. Results Prototype of a system to recognize driver state. Application possibility The results can further be used for developing a system to better estimate the needed hand-over time for autonomous driving with level 3. This will reduce the number of hand-over situations.			
19. keywords Autonomous driving, handover scenarios, situation awareness, advanced driver assistant systems (ADAS)			
20. publisher		21. price	