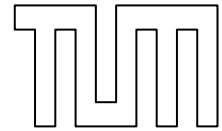


Lösungsvorschlag



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Prüfung - "Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug" 07.02.2017

Bearbeitungszeit: 90 Minuten

Die Prüfung besteht aus 12 Aufgaben auf 27 Blättern

Hilfsmittel: keine Unterlagen,
nur einfacher, nichtprogrammierbarer Taschenrechner,
nichtelektronisches Wörterbuch (wird während der Prüfung überprüft)

**Bitte verwenden Sie ausschließlich DOKUMENTENSICHERE Schreibgeräte und
NICHT die Farbe ROT.
Der Rechenweg ist anzugeben und wird mitbewertet.**

Name	Vorname	Matrikelnummer

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Punkte												
Punkte (maximal)	12	25	26	16	18	6	11	7	18	13	11	17
										Summe		
										180		

Hiermit bestätige ich, dass ich vor Prüfungsbeginn darüber in Kenntnis gesetzt wurde, dass ich im Falle einer plötzlich während der Prüfung auftretenden Erkrankung das Aufsichtspersonal umgehend informieren muss. Dies wird im Prüfungsprotokoll vermerkt. Danach muss unverzüglich ein Rücktritt von der Prüfung beim zuständigen Prüfungsausschuss beantragt werden. Ein vertrauensärztliches Attest - ausgestellt am Prüfungstag - kann gegebenenfalls innerhalb der nächsten Tage nachgereicht werden. Wird die Prüfung hingegen in Kenntnis der gesundheitlichen Beeinträchtigung dennoch regulär beendet, kann im Nachhinein kein Prüfungsrücktritt aufgrund von Krankheit beantragt werden.

Studiengang: _____

Garching, den

(Unterschrift)

1. Funktionsdefinition

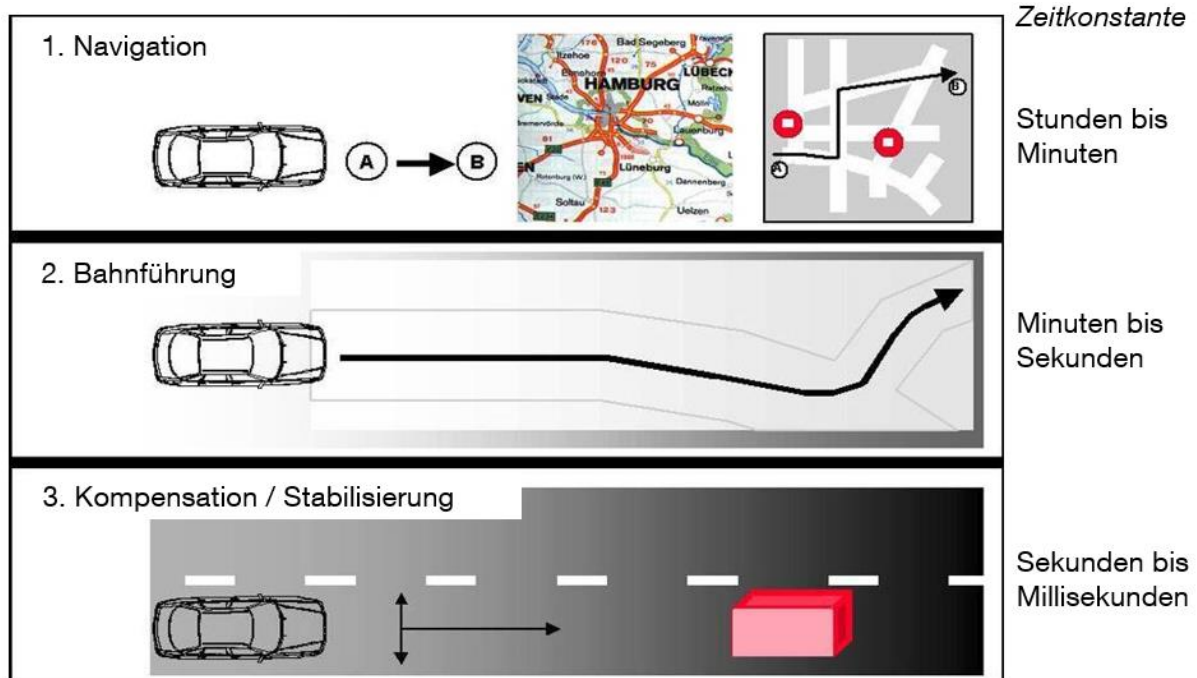
a: / 6

b: / 6

/ 12

Sie sind FAS-Entwickler bei einem deutschen OEM und werden beauftragt einen Autobahnassistenten zu konzipieren. Zuerst machen Sie sich Gedanken zur Funktionsdefinition des Autobahnassistenten.

a.) Nennen Sie die drei Fahraufgaben des Menschen aus dem Drei-Ebenen-Modell und geben Sie jeweils deren Zeitkonstanten (Größenordnung) an. (6 P.)



Der Autobahnassistent soll folgende Funktionsausprägung besitzen:

- Keine Auf- und Abfahrt von der Autobahn
- Fahrstreifenwechsel sollen nur vom Fahrer getriggert stattfinden
- Beschränkung der maximalen Verzögerung auf $a_x = -4\text{m/s}^2$

b.) Beschreiben Sie *anhand dieser Punkte* inwieweit die obigen drei Fahraufgaben vom System beziehungsweise vom Fahrer übernommen werden. Nennen Sie dabei jeweils ein mögliches Problem hinsichtlich der „Fahr-Aufgabenteilung“ zwischen Mensch und System (6 P.)

- **Navigation**
 - Fahrer gibt Ziel (vor Systemaktivierung) vor.
 - Mögliche Probleme:
 - System muss zum selbstständigen „Abschmeißen“ an Abfahrt die Route kennen
 - Route System != gewünschte Route Mensch
- **Bahnführung**
 - Fahrstreifenwechsel durch Fahrer getriggert, aber durchgeführt vom System
 - Mögliche Probleme:

- Übergang vor/nach Fahrstreifenwechsel
- Verantwortungsbereiche können unklar sein
Klärung folgender Frage nötig:
gibt Fahrer nur Fahrstreifenwechselwunsch oder
„Fahrstreifenwechsel-ok“ an das System?
- Einflussnahme des Fahrers auf Wunschgeschwindigkeit zu klären
Mögliche Probleme:
 - Gewünschte Geschwindigkeit zu hoch / riskant
 - System muss niedriger regeln dürfen
- Kompensation / Stabilisierung
 - System hält selbstständig den Fahrstreifen und bremst auf Hindernisse
solange a_x nicht 4m/s^2 überschreitet
 - Mögliche Probleme:
 - Fahrer muss Notbremsungen selber durchführen (Muss vorher
vom System klar kommuniziert werden, um kein überhöhtes
Vertrauen zu erwecken)
 - Ausweichmanöver-Beschleunigungs-Beschränkung nötig?
Fahrer müsste ggf. dann selbst kritischen Hindernissen
ausweichen

Je Beschreibungsstichpunkt 1 P.

Je dazupassenden Problemstichpunkt 1 P.

Maximal 2 P. pro Fahraufgabe.

2. Sensorik	a: / 4	b: / 4	c: / 2	d: / 4	e: / 4	f: / 2	g: / 5	/ 25
--------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------------

Im oben genannten System kann ein Radarsensor zur Detektion von anderen Fahrzeugen eingesetzt werden.

- a. Nennen Sie zwei wesentliche Nachteile des „nicht-kohärenten Demodulationsverfahrens“, das zur Pulsmodulation von Radarsignalen eingesetzt werden kann. (4P.)

a.)

Nachteilig an dieser Demodulationstechnik ist, dass

- diese leicht durch Fremdpulse zu stören ist (2P.)
- mit diesem Verfahren nur Laufzeitmessungen möglich sind (bzw. der Dopplereffekt kann nicht genutzt werden.) (2P.)

- b. Nennen Sie vier Verfahren, die zur Frequenzmodulation von Radarsignalen eingesetzt werden kann. (4P.)

b.) jeweils (1P.)

- Frequenzumtastung (FSK)
- Frequency Modulation Shift Keying (FMSK)
- Dauerstrich-Frequenzmodulation (FMCW)
- Pulskompression (Chirp Sequence Modulation)

- c. Zusätzlich zum Radarsensor kann ein LiDAR-Sensor zur Detektion anderer Fahrzeuge eingesetzt werden. Beschreiben Sie das Prinzip von „Time-of-Flight-Messungsverfahren“, das bei diesem Sensor zur Abstandsmessung verwendet wird. (2P.)

Time-of-Flight-Messung: Dabei werden ein oder mehrere Lichtpulse ausgesendet und an einem evtl. vorhandenen Objekt reflektiert (1P.). Die Zeit bis zum Empfang des reflektierten Signals ist dann proportional der Entfernung. (1P.)

- d. Nennen Sie jeweils einen wesentlichen Vorteil und einen wesentlichen Nachteil zur Auswahl des relevanten Zielobjektes mit „Multibeam starr LiDAR“ und „Multibeam SWEEP LiDAR“. (4P.)

Multibeam starr LiDAR

- Vorteil: Erfassung aller Objekte (1P.)
- Nachteil: Rechen-und Speicheraufwand auch für nicht relevante Objekte (1P.)

Multibeam SWEEP

- Vorteil: Geringe Rechenleistung (1P.)
- Nachteil: Erfassung abhängig von Blickwinkelermittlung (1P.)

- e. Zusätzlich zu Radar- und LiDAR-Sensoren kann ein Monokamerasensor zur Detektion anderer Fahrzeuge eingesetzt werden. Beschreiben Sie vier wesentlichen Schritten, die bei der regionenorientierten Bildsegmentierung anhand von Region-Growing-Prinzip durchgeführt werden (4 P.)

jeweils (1P.)

- Festlegung von Keimpunkten als Startregion
- Benachbarte Punkte werden zur Region hinzugefügt, wenn der Wert der Distanzfunktion zwischen dem Grauwert des betrachteten Punktes und dem Mittelwert der Grauwerte der benachbarten Region unter einem Schwellwert liegt
- Punkte werden auch hinzugefügt, wenn sie schon zu einer anderen Region gehören (mögliche Vereinigung von Regionen)
- Wiederholung des Wachstums, bis keines mehr möglich ist.

- f. Nennen Sie drei Verfahren, die zur Klassifikation von extrahierten Merkmalen in Bildern verwendet werden können (2 P.)

jeweils (1P.)

- Nichtlineare Klassifikation mit Neuronalen Netzen
- Stochastische Klassifikation mit Bayes-Filter
- Support Vector Machine (SVM)

- g. Nennen und beschreiben Sie kurz 5 wesentliche Schritte zur Erkennung von runden Verkehrszeichen. (5 P.)

jeweils Nennung (0,5 P.) und kurze Beschreibung (0,5P.)

Schritt 1: Gauß-Filterung (zur Reduktion von Bildrauschen)

Schritt 2: Sobel-Filterung (Berechnung von Kanten und Gradienten)

Schritt 3: Kreismittelpunktschätzung und Akkumulation (Schätzung der Kreismittelpunkte)

Schritt 4: Gauß-Filterung (Glättung für maximale Erkennungsrate)

Schritt 5: Maxima- Erkennung (1P. - keine weitere Beschreibung notwendig)

3. Sensordatenfusion

a: / 9

b: / 3

c: / 5

d: / 9

/ 26

Der Autobahnassistent soll die vom Fahrer getriggerten Fahrstreifenwechsel nur durchführen, wenn die Verkehrssituation das zulässt (auch auf deutschen Autobahnen). In dieser Teilaufgabe soll ein Wahrnehmungskonzept speziell für diese funktionale Anforderung entworfen werden. Dieses muss die benötigten Informationen über die (für die Fahrstreifenwechsel-Freigabe) *relevanten Verkehrsteilnehmer* wahrnehmen können.

Als benötigte Informationen werden im Folgenden vereinfacht angenommen:

- Objektexistenz (Erkennen, dass ein Verkehrsteilnehmer im Bereich ist)
- Abstand (in Längsrichtung)
- Relativgeschwindigkeit
- Fahrstreifenzuordnung
- Objektlänge

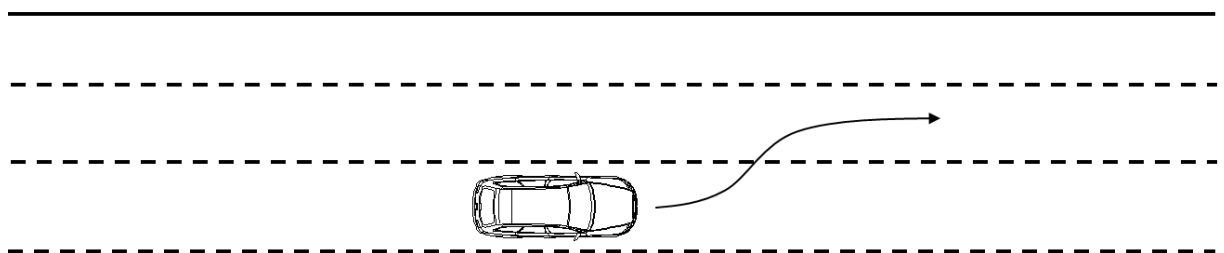
- a.) Nennen Sie die drei Fusionsarten. Erläutern Sie kurz die jeweilige Grundidee der Fusionsart.
(9 P.)

Jeweils 1P für richtigen Begriff (1. Wort), 2P für richtige Begründung (hier nur Beispiel von Kommentarfolie 4-59)

- Konkurrierende Fusion: Die Daten von gleichen (homogen) oder unterschiedlichen (heterogen) Sensoren geben Aufschluss über denselben Informationsinhalt (eventuell nach Vorverarbeitung) im selben Beobachtungsbereich.
- Kooperative Fusion: Die Daten der Sensoren werden so verarbeitet, dass die erfassbaren Informationen zusammengeführt und möglicherweise erweitert werden.
- Komplementäre Fusion: Die unterschiedlichen Erfassungsbereiche und/oder die unterschiedliche gewonnenen Informationen der Sensoren werden zusammengeführt.

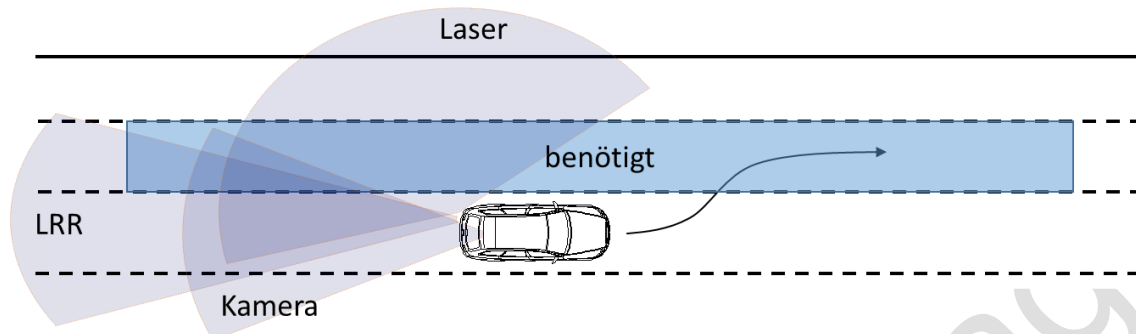
Im Folgenden sollen Sie ein effizientes Sensorfusionskonzept entwerfen, das alle relevanten Objekt-Informationen für die *Freigabe eines Fahrstreifenwechsels nach links* detektieren kann. Gehen Sie wie folgt vor:

- b.) Skizzieren Sie qualitativ den mindestens benötigten Erfassungsbereich in untenstehender Skizze und begründen Sie kurz ihre Wahl. (3 P.)



1P Skizze, 2P Begründung

Linker Fahrstreifen muss frei sein um wechseln zu können, auch vor und hinter dem Fahrzeug (sehr schnelle Überholer).
 Zusätzlich denkbar Benötigter Bereich 1P auf links, Abzüge falls Bereich zu groß (rechts, etc.) oder Bereiche neben Fzg bzw. hinten links fehlen)



- c.) Schätzen sie die notwendigen Abmessungen des benötigten Erfassungsbereichs nach hinten (Sensorreichweiten) mit Hilfe einer Überschlagsrechnung ab. (Annahme v_{\max} Deutsche Autobahnen 250 km/h, Betriebsbereich Autobahnassistent 60-180 km/h, Reaktionszeit Durchschnittsfahrer 1,5 s, maximale Verzögerung 8 m/s²). (5 P)

$V_{\text{rel}} = (250 - 60) / 3,6 = 52,7 \text{ m/s}$; (1P) $x_{\text{reak}} = v_{\text{rel}} * 1,5 = 80 \text{ (1P)}$; $x_{\text{brems}} = ((250/3,6)^2 - (60/3,6)^2) / 2/a = 284\text{m (1P)} \rightarrow 364 \text{ m notwendig! (2P)}$ (einer davon auch bei reiner Schätzung 300-400m)

- d.) Ihnen stehen als Sensoren Long-Range-Radare, Short-Range-Radare, Kameras, Ultraschallsensoren und Laserscanner (keine 360° Scanner) zur Verfügung. Entwerfen Sie ein Sensorkonzept, mit dem durch Sensordatenfusion die aufgelisteten Informationen im Bereich hinter und neben dem Fahrzeug erfasst werden können. Tragen Sie dazu die Sensoren in die Tabelle ein, kreuzen Sie an, welche Informationen der Sensor jeweils liefert und zeichnen Sie die Einbaupositionen und Erfassungsbereiche der von Ihnen verwendeten Sensoren in die Skizze ein (qualitativ). (9 P.)

Sensor	Objektexistenz	Abstand	Relativ-geschwindigkeit	FS-Zuordnung: y-Position	FS-Zuordnung: FS-Verlauf	Objektlänge
1) LRR Heck	x	x	x	x		
2) Laser Hinten Links	x	x		x	(x)	x
3) Kamera Heck	x			x	x	

Pro Sensor: 1P auf Einbauposition, 1P auf richtigen Bereich, 1P auf richtige Kreuze
 Abzüge für: entscheidende Bereiche nicht abgedeckt, Skizze nicht lesbar/verständlich, für jede nicht wahrnehmbare Information -1P,

4. Tracking

a: / 12

b: / 4

/ 16

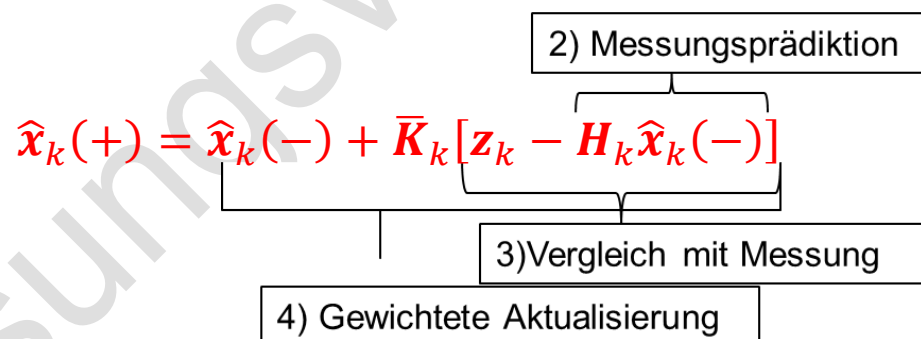
Für die Entscheidung, ob ein Fahrstreifenwechsel durchgeführt werden kann, muss der Bewegungszustand von umliegenden Fahrzeugen geschätzt werden. In dem vorliegenden System soll dies durch einen Entfernungssensor und ein Tracking mittels Kalmanfilter erfolgen.

- a.) Benennen Sie die wichtigsten Schritte des Kalmanfilters, Erklären Sie kurz, was dabei jeweils in dem hier vorliegenden Beispiel passiert und ordnen Sie die Schritte den einzelnen Bestandteilen der dargestellten Gleichung zu (12P)

$$\hat{\mathbf{x}}_k(+) = \hat{\mathbf{x}}_k(-) + \bar{\mathbf{K}}_k[\mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k\hat{\mathbf{x}}_k(-)]$$

Jeweils 1P auf sinnvolle Bezeichnung, 2 P auf Erklärung, 1 P auf Gleichungszuordnung

- a. Prädiktion: Bewegungszustand des Objekts (Position) prädiziert für den Messzeitpunkt
- b. Mögl. Lösungen
 - i. Assoziation: Zuordnung Messwert zu Objekthypothese und Vergleich
 - ii. Vergleich mit Messung: Abgleich Prädiktion zu Messung
- c. Innovation/Gewichtete Aktualisierung: gewichtete Anpassung je nach Vertrauen in Messung/Modell



- b.) Im Folgenden soll für das Tracking ein Constant-Velocity Modell (Annahme konstanter Relativgeschwindigkeit) zugrunde gelegt werden. Erstellen Sie ein Zustandsraummodell mit den beiden Zustandsgrößen Abstand und Relativgeschwindigkeit. (4P)

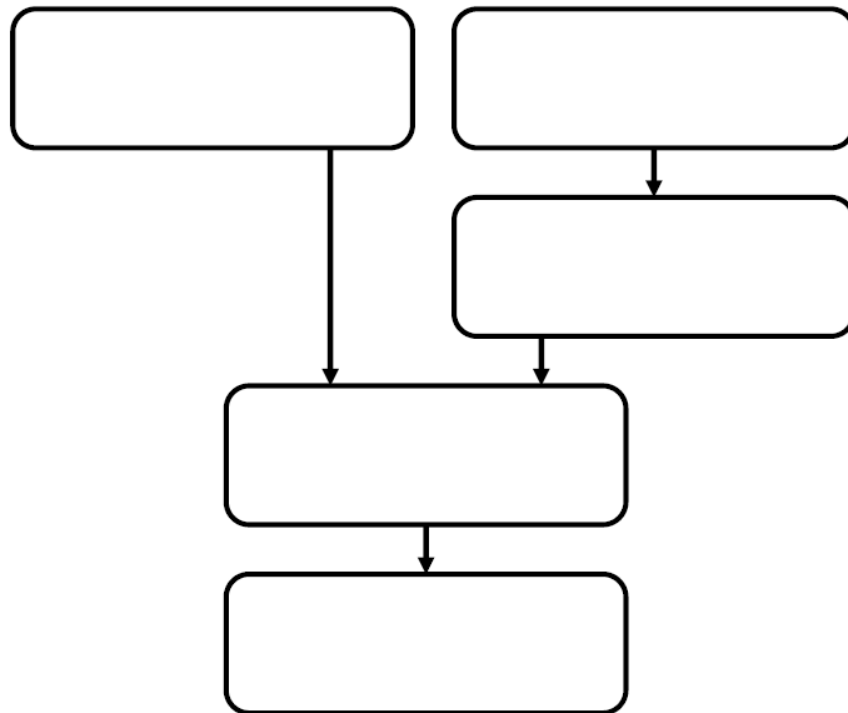
Reine Reproduktion aus Übung

- $d_1 = d_0 + v_0\Delta T,$
- Mit d Abstand zum Vorderfahrzeug, v Relativgeschwindigkeit
- $\begin{bmatrix} d \\ v \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ v \end{bmatrix}_{k-1}$

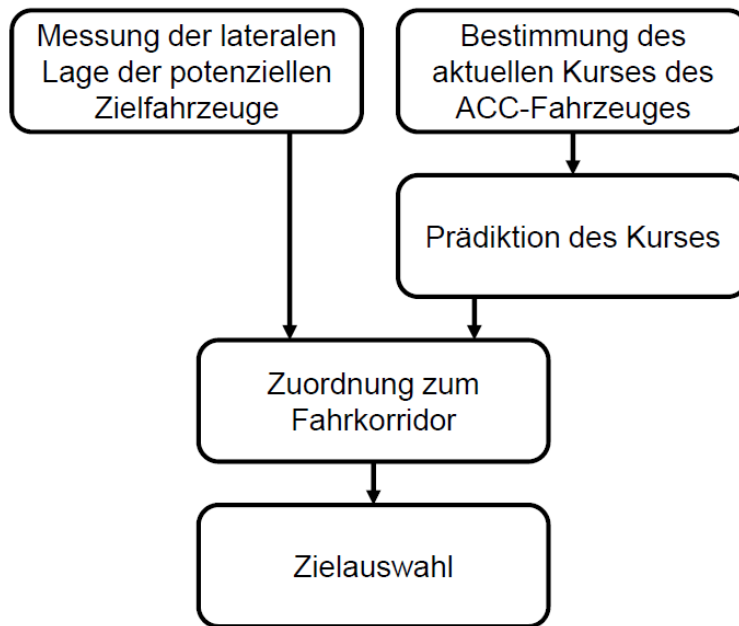
5. Funktionslogik	a: / 5	b: / 7	c: / 4	d: / 2	/ 18
--------------------------	--------	--------	--------	--------	-------------

In der Vorlesung wurde ein Verfahren vorgestellt, mittels dessen potentielle Zielfahrzeuge dem eigenen Fahrkorridor zugeordnet werden können.

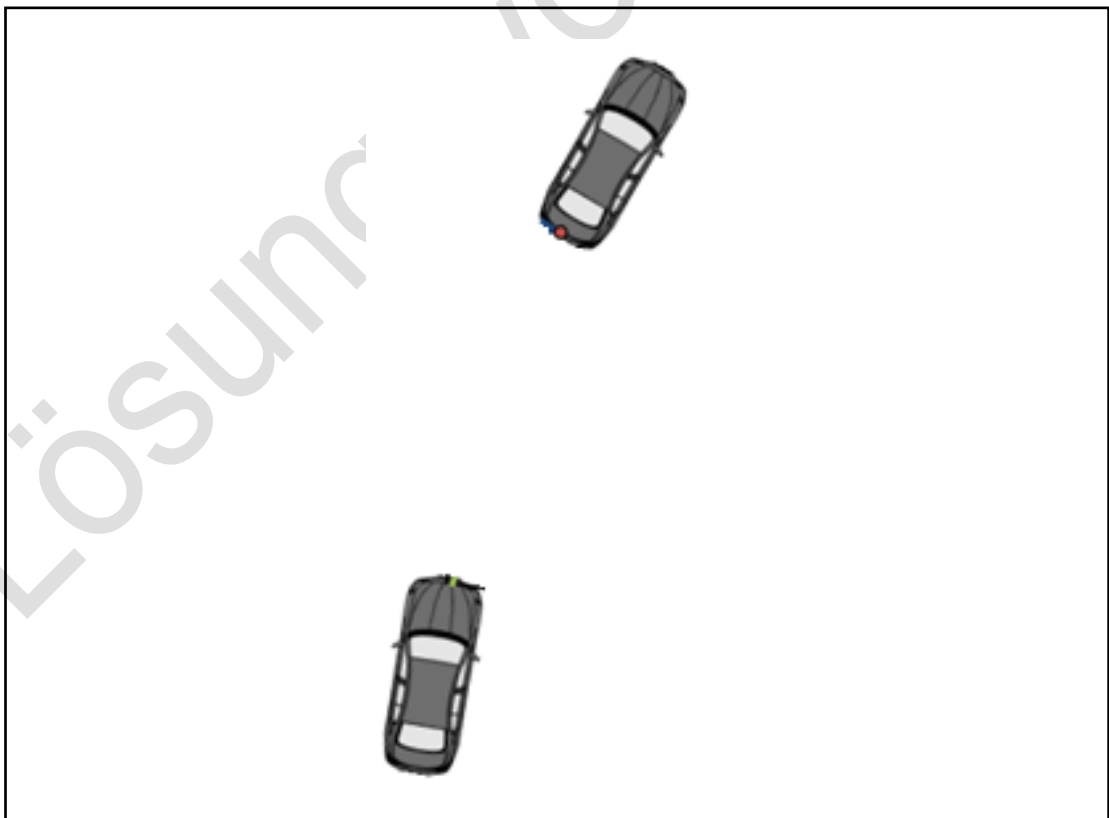
- a.) Bitte erläutern Sie die Schritte zur Zielobjektauswahl anhand des vorgegebenen Schemas. (5P)



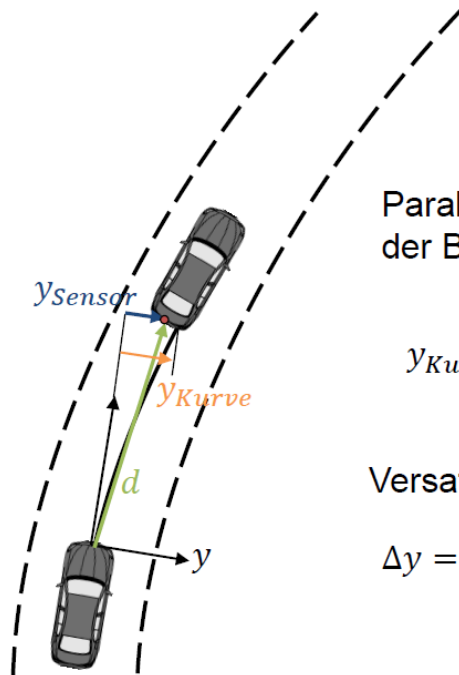
Lösung:
1 P je Schritt



- b.) Wie lässt sich ermitteln, ob sich ein potentielles Zielobjekt im Fahrkorridor befindet? Bitte nennen Sie die dafür in der Vorlesung vorgestellten mathematischen Zusammenhänge und erläutern Sie diese anhand einer Skizze. (7P)



Lösungsvorschlag:



Parabolische Näherung
der Bahnkurve:

$$y_{Kurve} = \frac{\kappa_{präd}}{2} d^2 \quad 1P$$

Versatz des Objekts:

$$\Delta y = y_{Kurve} - y_{Sensor} \quad 1P$$

Skizze:

- Fahrkorridor eingezeichnet 1P
- $\kappa_{präd}$ eingezeichnet 1P
- d eingezeichnet 1P
- y_{Sensor} eingezeichnet 1P
- y_{Kurve} eingezeichnet 1P

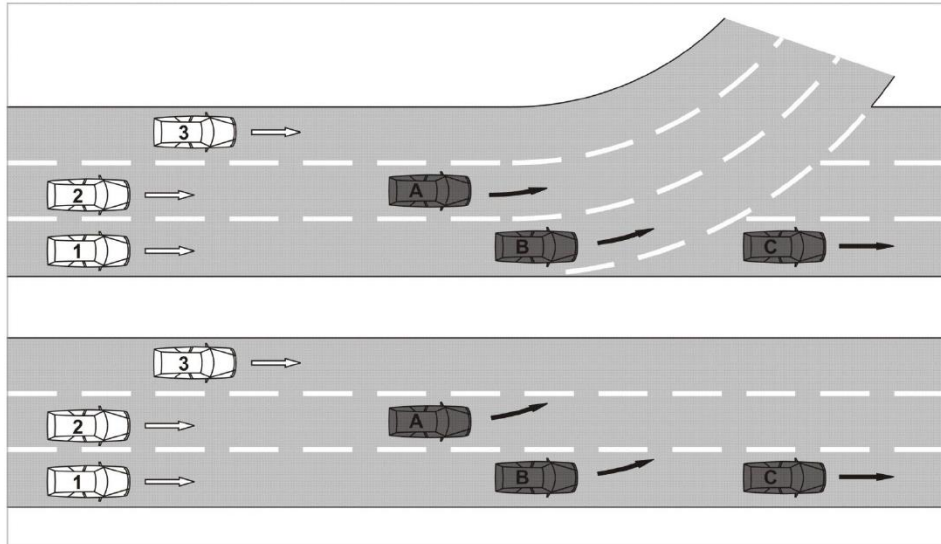
c.) Welche Möglichkeiten gibt es die Krümmung der aktuell durchfahrenen Trajektorie anhand von Fahrdynamiksensoren zu bestimmen? Bitte nennen Sie vier Möglichkeiten. (4P)

Lösungsvorschlag:

- Lenkradwinkel
- Gierrate
- Querbefleunigung
- Differenz Radgeschwindigkeiten

d.) Nennen und erläutern Sie eine Fahrsituation, bei der das in der Vorlesung vorgestellte Verfahren zur Erkennung von Zielfahrzeugen im Fahrkorridor zu Fehlern führen kann. (2P)

Lösungsvorschlag:



6. Produktsicherheit

/ 6

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses sollen Sie die Risiken des Autobahnassistenten identifizieren. In welche drei Unterkategorien der Sicherheit lassen sich mögliche Risiken einteilen?

Nennen Sie die drei Kategorien der Sicherheit und erklären Sie kurz die Begriffe. (6P)
je 1 P für den richtigen Begriff, 1P pro richtiger Erklärung; falls nur safety genannt wird und erklärt wird statt der beiden unterkategorien, auch 1+1P, safety + unterkategorie macht dann allerdings keinen Sinn, da gibt es dann nur max 1+1 auf beide.

Gebrauchssicherheit/safety of use:

Beispielerklärungen:

- Gefahren durch die Nutzung des Fehlerfreien Systems
- Eingeschränkte Leistungsfähigkeit
-

Funktionale Sicherheit/functional safety:

- Gefahren durch Systemfehler

Angriffssicherheit/Security:

- Gefahren für das System
- Gefahren durch Angriffe auf das System
- „Hacker angriffe“

7. Fahraufgabe und Automation	a: / 3	b: / 5	b: / 3	/ 11
--------------------------------------	--------	--------	--------	-------------

- a.) Benennen Sie die Teilaufgaben der Gesamtaufgabe „Auto-Fahren“ und beschreiben Sie die jeweilige Teilaufgabe kurz. Nennen Sie für jede Teilaufgabe ein Beispiel. (3 P.)

Primäre Aufgabe: Halten des Fahrzeugs auf Kurs

- Führung
- Stabilisierung

Sekundäre Aufgabe: Tätigkeiten in Abhängigkeit von Fahranforderungen

- Blinken
- Licht anschalten

Tertiäre Aufgabe: Tätigkeiten, die nicht mit dem Fahren zu tun haben

- Sitzeinstellung
- Telefonieren

- b.) Einerseits könnte ein Autobahnassistent so gestaltet sein, dass die Längs- und Querführung komplett von der Automation übernommen wird und der Fahrer das System dauerhaft überwacht. Andererseits könnte das Fahrzeug ebenso die Längsführung vollständig übernehmen und die Querführung als Kooperation zwischen Fahrer und Automation ausgeführt werden. Welche Teilaufgaben aus Aufgabe 1.a. übernimmt der Fahrer bei aktiver Autobahnassistentz in der jeweiligen Ausprägung? Begründen Sie jede Teilaufgabe anhand eines Beispiels. (5 P.)

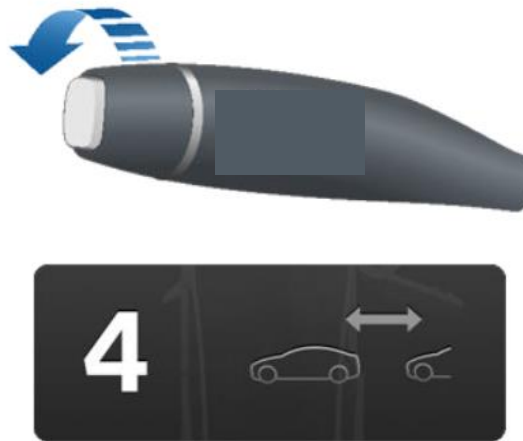
<p>Ausprägung 1: Längs- und Querführung wird komplett von der Automation übernommen.</p> <p>Automation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Primäre Aufgabe • Teile der sekundären Aufgabe <p>Fahrer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teile der sekundären Aufgabe • Tertiäre Aufgabe <p>Erklärung anhand von Beispielen!</p>	<p>Ausprägung 2: Längsführung wird vollständig von der Automation übernommen und Querführung findet als Kooperation zwischen Fahrer und Automation statt.</p> <p>Automation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teile der primären Aufgabe • Teile der sekundären Aufgabe <p>Fahrer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teile der primären Aufgabe • Teile der sekundären Aufgabe • Tertiäre Aufgabe <p>Erklärung anhand von Beispielen!</p>
---	---

c.) Nennen Sie drei Probleme im Hinblick auf den Fahrer, die durch dessen Abkopplung von der Fahrzeugführungsaufgabe aufgrund von Fahrer-assistenzsystemen bzw. Automation entstehen können. (3 P.)

- Fehlendes Situationsbewusstsein/Out-of-the-loop Effekte
 - Vigilanz
 - Systemverständnis
 - Cognitive Capture
 - Mode Awareness / Confusion
- Kompetenz-/Fertigkeitsverlust
 - Verlust von Regelfertigkeiten
 - Verlust von wissenbasierten Fertigkeiten
- Übermäßiges Vertrauen (Trust)
 - Zu hohes Vertrauen
 - Risikokompensation
 - Missbrauch

- a.) Die Längsführung kann bei einem Autobahnassistenten entweder durch eine Trajektorienplanung oder mit Hilfe eines Abstandregeltempomaten (ACC) realisiert werden. Bewerten Sie die Teilfunktion „Zeitlücke verstellen“ des dargestellten ACC-Bedienhebels und die zugehörige Anzeige nach den primären Kompatibilitäten. Es gibt 7 mögliche Werte, die für die Zeitlücke eingestellt werden können, wobei 1 die kleinste Zeitlücke wiedergibt und die Zeitlücke in Pfeilrichtung verkleinert wird.

(5 P.)



- Primäre innere Kompatibilität: Pfeil: zu, mehr
 - Zeitlücke wird jedoch verkürzt, Zahl im Kombiinstrument nimmt ab -> Verletzung der Kompatibilität
- Primäre äußere Kompatibilität:
 - Fahrzeuge von der Seite dargestellt -> Verletzung der Kompatibilität

b.) Bewerten Sie die dargestellte Anzeige hinsichtlich der Verletzung der verschiedenen Kompatibilitäten. (2 P.)



- Sekundäre Kompatibilität:
 - Verletzt, da die Zunahme gegen den Uhrzeigersinn (Drehsinn) und nicht im optimalen Anzeigenbereich ist

9. Das ASIL Modell – Automotive Safety Integrity Level	a: / 4,5	b: / 4,5	c: / 4,5	d: / 4,5	/ 18
---	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Führen Sie im Folgenden eine ASIL-Bewertung der untenstehenden Fehlerbilder für den beschriebenen Abstandsregeltempomat durch. Beachten Sie dabei die Angaben und bewerten Sie schrittweise zunächst die Unfallschwere, die Auftretenswahrscheinlichkeit und anschließend die Beherrschbarkeit der Fehlerbilder. Bestimmen Sie abschließend die ASIL-Einstufung.

Funktionsbeschreibung:

Der zu analysierende Abstandsregeltempomat ist ein radargestütztes System, das durch automatische Aktivierung von Gas- und Bremse die Geschwindigkeit des Fahrzeugs auf eine eingestellte Sollgeschwindigkeit innerhalb der Systemgrenzen regelt.

Bei Erkennung eines Vorderfahrzeugs regelt das System einen einstellbaren Abstand zu dem Vorderfahrzeug ein. Das System kann maximal mit $1,2 \text{ m/s}^2$ beschleunigen und Verzögerungen bis zu 5 m/s^2 automatisiert durchführen.

Wenn diese Verzögerung nicht reicht, um den gewünschten Abstand zum Vorderfahrzeug einzustellen, erklingt eine deutlich wahrnehmbare akustische Warnung, um den Fahrer zur Übernahme aufzufordern.

Fehlerbilder:

- 1. Unerwartete Übernahmeaufforderung:** Während des Betriebs des Abstandsregeltempomaten kommt es zu einer unerwarteten Initiierung der akustischen Übernahmeaufforderung ohne sichtbaren Grund. Ein aufmerksamer Fahrer weiß, welche Handlung er aufgrund des akustischen Signals durchführen muss. Lediglich ein unaufmerksamer Fahrer könnte sich hierdurch temporär vom Verkehr ablenken lassen. Der sonstige Betrieb des Abstandsregeltempomaten ist nicht eingeschränkt.
- 2. Unerwartete Beschleunigung:** Das Ego-Fahrzeug folgt einem vorausfahrenden Fahrzeug mit einer Zeitlücke von weniger als 1 Sekunde. Das Vorderfahrzeug wird plötzlich vom Radar nicht mehr erkannt und das Ego-Fahrzeug beschleunigt für den Fahrer unerwartet mit $1,2 \text{ m/s}^2$. Ohne Eingriff des Fahrers durch Betätigen der Bremse droht innerhalb von 5 Sekunden eine Kollision.
- 3. Unerwartete Blockierbremsung:** Das Ego-Fahrzeug nähert sich mit aktiviertem Abstandsregeltempomaten in einer leichten Kurve mit 120 km/h einem anderen, mit 70 km/h vorausfahrenden Fahrzeug. Anstatt einer geregelten automatischen Verzögerung mit maximal 5 m/s^2 blockieren unerwartet beide Hinterräder. Durch die Blockierbremsung der Hinterräder wird das Ego-Fahrzeug aus dem eigenen Fahrstreifen abgelenkt.

Werte zur Auftretenswahrscheinlichkeit:

Zur Bearbeitung der Aufgabe nehmen Sie folgende Auftretenswahrscheinlichkeiten an:

- Im Durchschnitt wird der Abstandsregeltempomat in 20% der Betriebszeit des Fahrzeugs aktiviert.
- 80% dieser Aktivierungszeit befindet sich das Fahrzeug in Folgefahrt.
- Davon wiederum folgt die Hälfte der Fahrer dem Vorderfahrzeug mit einer Zeitlücke von weniger als einer Sekunde.

Unfallsschwere (Severity)

	Injury Description	Class
AIS 0	no injuries	S0
AIS 1	light injuries such as skin-deep wounds, muscle pains, whiplash, etc.	S1
AIS 2	moderate injuries such as deep flesh wounds, concussion with up to 15 minutes of unconsciousness, uncomplicated long bone fractures, uncomplicated rib fractures, etc.	S1
AIS 3	severe but not life-threatening injuries such as skull fractures without brain injury, spinal dislocations below the fourth cervical vertebra without damage to the spinal cord, more than one fractured rib without paradoxical breathing, etc.	S2
AIS 4	severe injuries (life-threatening, survival probable) such as concussion with or without skull fractures with up to 12 hours of unconsciousness, paradoxical breathing	S2
AIS 5	critical injuries (life-threatening, survival uncertain) such as spinal fractures below the fourth cervical vertebra with damage to the spinal cord, intestinal tears, cardiac tears, more than 12 hours of unconsciousness including intracranial bleeding	S3
AIS 6	extremely critical or fatal injuries such as fractures of the cervical vertebrae above the third cervical vertebra with damage to the spinal cord, extremely critical open wounds of body cavities (thoracic and abdominal cavities), etc.	S3

a.) Tragen Sie die Severity (S) und eine kurze Begründung in maximal vier Stichworten für die einzelnen Fehlerbilder in der folgenden Tabelle ein: (4,5 P.)

Fehlerbilder	Severity - S (je 1 P.)	Begründung (je 0,5 P.)
1. Übernahme-Aufforderung	Möglich: S0 auch S1 (AIS 0, AIS 1)	Beispiel: - Keine Kollision
2. Beschleunigung	Möglich: S0 auch S1 (AIS 0 - AIS 2)	Beispiele: - Keine Kollision - Auffahrunfall - Passive Sicherheit schützt
3. Blockierbremsung	S3 (AIS 5 - AIS 6)	Beispiele: - Abkommen: Schwere Verletzungen - Kollision mit Gegenverkehr - Kollision mit stehendem Objekt

Auftretenswahrscheinlichkeit (Exposure)

Class	E1	E2	E3	E4
Description	Very low probability	Low probability	Medium probability	High probability
Frequency of situation	Occurs less often than once a year for the great majority of drivers	Occurs a few times a year for the great majority of drivers	Occurs once a month or more often for an average driver	Occurs during almost every drive on average
Definition of duration/ probability of Exposure (informative)	Not specified	< 1% of average operating time	1% - 10% of average operating time	> 10% of average operating time

- b.) Tragen Sie die Exposure (E) und eine kurze Begründung in maximal vier Stichworten bzw. einer Annahme für die einzelnen Fehlerbilder in der folgenden Tabelle ein: (4,5 P.)

Fehlerbilder	Exposure - E (je 1 P.)	Begründung (je 0,5 P.)
1. Übernahmeaufforderung	Möglich: E3 auch E4	Beispiele: - 20% Betriebszeit x 80% Aktivierungszeit - Fehlwarnung möglich
2. Beschleunigung	Möglich: E2 auch E3	Beispiele: - 20% (Betriebszeit) x 80% (Aktivierungszeit) x 0,5 (Zeitlücke < 1s) - Unerwartete Beschleunigung möglich
3. Blockierbremsung	Möglich: E2 bis E4	Beispiele: - geringer Reibwert - Sicherheitskonzept - Warnung bei defekter Bremse

Beherrschbarkeit bei Fehler (Controllability)

Class	C0	C1	C2	C3
Description (informative)	Controllable in general	Simply controllable	Normally controllable	Difficult to control or uncontrollable
Definition	Distracting	More than 99% of average drivers or other traffic participants are usually able to control the damage.	More than 85% of average drivers or other traffic participants are usually able to control the damage.	The average driver or other traffic participant is usually unable, or barely able to control the damage.

c.) Tragen Sie die Controllability (C) und eine kurze Begründung in maximal vier Stichworten für die einzelnen Fehlerbilder in der folgenden Tabelle ein: (4,5 P.)

Fehlerbilder	Controllability - C (je 1 P.)	Begründung (je 0,5 P.)
1. Übernahmeaufforderung	Möglich: C0 auch C1	Beispiele: - Aufmerksamer Fahrer vorausgesetzt - Nur Ablenkung
2. Beschleunigung	Möglich: C1 auch C2	Beispiele: - Aufmerksamer Fahrer vorausgesetzt - 5 s Reaktionszeit ausreichend
3. Blockierbremsung	C3	Beispiele: - 120 km/h -> sehr schwer kontrollierbar - Für Normalfahrer nicht kontrollierbar

ASIL-Einstufung

- d.) Ermitteln Sie aus der Severity, Exposure und Controllability in untenstehender Matrix, welche Sicherheitsstufe für das jeweilige Fehlerbild anzusetzen ist und tragen Sie ihr Ergebnis in die Tabelle ein. Überprüfen Sie auf Plausibilität der Ergebnisse. Zum Ausschließen von Folgefehlern besteht die Möglichkeit neue Werte zu verwenden (4,5 P.)

		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	A
	E4	QM	A	B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	A
	E3	QM	A	B
	E4	A	B	C
S3	E1	QM	QM	A
	E2	QM	A	B
	E3	A	B	C
	E4	B	C	D

Zur Erläuterung:

Quality Management (QM): Keine Anforderungen zur Erfüllung der ISO 26262.

ASIL-A niedrige Sicherheitsanforderungen.

ASIL-D sehr hohe Sicherheitsanforderungen.

Fehlerbilder	ASIL (je 1,5 P.)
1. Übernahmeaufforderung	QM auch bis ASIL A
2. Beschleunigung	QM auch bis ASIL A
3. Blockierbremsung	ASIL B auch bis ASIL D

Für den Autobahnassistenten soll im nächsten Schritt ein Zustandsautomat entworfen werden. Bei der Auslegung des Assistenten wird unter anderem zwischen Systemzuständen der Längsführung und Systemzuständen der Querführung unterschieden.

Der Autobahnassistent soll des Weiteren mittels einer Hands-On-Funktion bewerten, ob der Fahrer seine Hände am Lenkrad hat und nur dann in die Querführung eingreifen.

a.) Erläutern Sie unter welchen Voraussetzungen Eingriffe von

- nur der Längsführung
- nur der Querführung
- Längs- und Querführung

durch den Autobahnassistenten erforderlich sind. (3P)

Lösungsvorschlag:

Nur Längs:

- Folgefahrt / Stillstand halten (Zielobjekt vorhanden),
- Keine Querführung nötig, z.B. gerade Fahrstrecke, daher keine Benötigung von Hands On Funktion

Nur Quer:

- Hands On
- Freifahrt (kein Zielobjekt vorhanden)

Längs + Quer:

- Folgefahrt (Zielobjekt vorhanden),
- Hands On

b.) Bitte nennen Sie vier relevante Systemzustände und ordnen Sie diese der Längs- oder Querführung des Autobahnassistenten zu. Bitte geben Sie außerdem die entsprechenden Eintrittsbedingungen an. (8P)

Systemzustand Längsführung	Eintrittsbedingung(en)

Systemzustand Querführung	Eintrittsbedingung(en)

Lösungsvorschlag:

Systemzustand Längsführung	Eintrittsbedingung(en)
Stillstand halten	Zielobjekt vorhanden ($v=0$)
Folgefahrt	Zielobjekt vorhanden ($v>0$)
Freifahrt	Kein Zielobjekt vorhanden

Systemzustand Querführung	Eintrittsbedingung(en)
Spurmittenführung	Hands on
Spurwechsel	Spurwechselwunsch durch Fahrer + Hands on

c.) In welchen übergeordneten Systemzuständen kann sich der Autobahnassistent zusätzlich befinden? Bitte nennen Sie zwei Zustände mit den jeweiligen Eintrittsbedingungen. (2P)

Lösungsvorschlag:

Systemzustand	Eintrittsbedingung(en)
System passiv	Funktion ausgeschaltet
Stand-by	Funktion eingeschaltet, Aktivierungsbedingung nicht erfüllt
Fehler	Fehler erkannt

11. Sicherheitskonzept

a: / 6

b: / 5

/ 11

Mehrere, teils fatale Unfälle im Jahr 2016 haben die Gefahren eines ähnlichen Assistenzsystems dramatisch verdeutlicht. Bei den Unfällen sind die Grenzen der Systemfähigkeiten, gerade im Bereich der Wahrnehmung, deutlich geworden. Das Hauptproblem war dabei, dass den Kunden nicht ausreichen bewusstgemacht wurde, dass Sie das System dauerhaft überwachen müssen. Um ein möglichst sicheres System auf den Markt zu bringen, wird folgendes Sicherheitsziel definiert:

Das System ist nur dauerhaft aktiv, wenn der erkannte Fahrerzustand auf eine Überwachung des Systems hindeutet.

Im Rahmen einer Experteneinschätzung sind folgende, kritische Fahreraktionen identifiziert worden:

- Auf den Beifahrersitz/Rücksitz klettern
- Schlafen, mit/ohne Sitz nach hinten lehnen
- Dauerhaft das Smartphone nutzen

Beschreiben und begründen Sie kurz ein Konzept, wie Sie dieses Sicherheitsziel für die drei beschriebenen Situationen umsetzen würden. Beantworten Sie dabei kurz folgende Fragen mit jeweils kurzer Begründung: (11 P.)

- a) Wie (mit welchem Sensor/Technik/Logik) würden Sie das Verhalten des Fahrers jeweils erkennen? (6P)

Auf den Beifahrersitz/Rücksitz klettern	
Schlafen, mit/ohne Sitz nach hinten lehnen	
Dauerhaft das Smartphone nutzen	

Handmoment, Kapazitives Lenkrad, Innenraumkamera, Gestenerkennung, Pedalansteuerung, Triggeranforderungen? 1P auf sinnvollen Sensor/Technik, 1P auf schlüssige Begründung, falls Sensor/Technikbezeichnung bereits die Begründung enthält 2P.

- b) Wie sollte auf die Fahreraktivitäten reagiert werden, um eine möglichst sichere Funktion mit akzeptablem Aufwand zu realisieren? Begründen Sie ihre Antwort. (5P)

Mögliche Bewertung:

Sind folgende Bestandteile im Konzept berücksichtigt:

- Fahrer informieren/warnen, dass er in der Verantwortung ist: Gong, Bremsruck,
- Fahrer zwingen die Fahraufgabe zu übernehmen, wenn er auf Warnung nicht reagiert: Triggeraufforderung, Abbremsen nach kurzer Zeitspanne
- Fahraufgabe ohne Fahrereingriff nicht direkt beenden, sondern durch sicheres langsames Abbremsen (evtl. Wechsel auf Standstreifen) möglichst sicheren Zustand erreichen (damit auch Berücksichtigung von Fahrerausfall)

Als Entwickler möchten Sie den Nutzen des um einen Notbremsassistenten erweiterten Autobahnassistenten bewerten. Als ein kritisches Szenario haben Sie einen Auffahrunfall in einer Kurve identifiziert.

- a.) Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit für eine mindestens leichte, mindestens schwere und tödliche Verletzung der Insassen des Fahrzeugs mit der Autobahnassistentenfunktion (Fahrzeug „Autobahnassistent“), die eine maximale Verzögerung von $a_x = -4,0 \text{ m/s}^2$ ermöglicht, für einen Auffahrunfall auf ein stehendes Fahrzeug am Stauende.

Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs „Autobahnassistent“ beträgt 130 km/h und die des Fahrzeugs „Stau“ am Stauende 0 km/h. Die Gesamtmasse des Fahrzeugs „Autobahnassistent“ ist 1800 kg und des Fahrzeugs „Stau“ 1400 kg. Bei allen Kollisionen handelt es sich um gerade zentrische Stöße zweier Scheiben und Sekundärkollisionen werden nicht betrachtet. Der k-Faktor ist konstant 0,1. Die eindimensionale Verletzungsrisikofunktion abhängig von der Geschwindigkeitsänderung Δv in km/h wird durch eine logistische Regression angenähert (Werte siehe Tabelle unten). Zur Näherung nehmen Sie bitte Folgendes an: Sobald das Fahrzeug durch den verbauten Sensor ein stehendes Fahrzeug detektieren kann, verzögert dieses mit der maximalen applizierten Verzögerung – für den Autobahnassistentenmodus $a_x = -4,0 \text{ m/s}^2$ – insgesamt wird 1,5 Sekunden verzögert. (9 P.)

Angabe	
Geschwindigkeit Fahrzeug Stau	0 km/h
Gesamtmasse Fahrzeug Stau	1400 kg
Geschwindigkeit Fahrzeug Autobahnassistent	130 km/h
Gesamtmasse Fahrzeug Autobahnassistent	1800 kg
Verzögerung in Sekunden	1,5 s
k-Faktor	0,1
Verletzungsrisikofunktionen	
Mindestens leichtverletzt	$\beta_0 = -1,5$ und $\beta_1 = 0,08$
Mindestens schwerverletzt	$\beta_0 = -4,5$ und $\beta_1 = 0,0725$
Tödliche Verletzung	$\beta_0 = -8$ und $\beta_1 = 0,075$
Formeln für gerade zentrischen Stoß zweier Scheiben	$\Delta v_1 = -\frac{m_2 \cdot (1 + k)}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)$ $\Delta v_2 = \frac{m_1 \cdot (1 + k)}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)$

Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit

$$v = v_0 + a_{\text{autopilot}} \cdot t = 36,11 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,5\text{s} = 30,11 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 108,396 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

2 BE

Bestimmung der Geschwindigkeitsänderung für das Fahrzeug „Autobahnassistent“

$$\Delta v_{\text{autopilot}} = - \frac{1400 \text{ kg} \cdot 1,1}{1400 \text{ kg} + 1800 \text{ kg}} \cdot (108,396 - 0) \frac{\text{km}}{\text{h}} = -52,17 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

2 BE

Bestimmung des Verletzungsrisikos:

$$p(\Delta v) = \frac{e^z}{1 + e^z} \text{ mit der Linearkombination } z(x) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x$$

2 BE

$$\begin{aligned} p_{\text{mind leichtverletzt}} &= 93,55 \% \\ p_{\text{mind schwerverletzt}} &= 32,79 \% \\ p_{\text{tödlich}} &= 1,65 \% \end{aligned}$$

3 BE

- b.) Nun betrachten Sie die Funktionserweiterung des Autobahnassistenten um einen Notbremsassistenten, der mit einer Beschleunigung von maximal $a_x = -10,0 \text{ m/s}^2$ verzögern kann. Berechnen Sie bitte die Wahrscheinlichkeiten für den Fall, dass sich ein Insasse im Fahrzeug „Autobahnassistent“ nur leichtverletzt und nur schwerverletzt. (8 P.)

Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit

$$v = v_0 + a_{\text{autopilot}} \cdot t = 36,11 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,5 \text{ s} = 21,11 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 75,996 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

1 BE

Bestimmung der Geschwindigkeitsänderung für das Fahrzeug „Autobahnassistent“

$$\Delta v_{\text{Notbremsassistent}} = - \frac{1400 \text{ kg} \cdot 1,1}{1400 \text{ kg} + 1800 \text{ kg}} \cdot (75,996 - 0) \frac{\text{km}}{\text{h}} = -36,57 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

1 BE

$$p_{\text{mind. leichtverletzt}} = 0,8062 \text{ und } p_{\text{mind. schwerverletzt}} = 0,136$$

$$p_{\text{tödlich}} = 0,00518$$

3 BE

$$p_{\text{leichtverletzt}} = p_{\text{mind. leichtverletzt}} - p_{\text{mind. schwerverletzt}} = 67,02 \%$$

2 BE

$$p_{\text{schwerverletzt}} = p_{\text{mind. schwerverletzt}} - p_{\text{tödlich}} = 13,08\%$$

1 BE