

## 1. Aufgabe: Einführung

- a) Nennen Sie die fünf Automatisierungsgrade entsprechend der SAE Definition in geordneter Reihenfolge (*linke Spalte*). Benennen Sie dabei in kurzen Stichpunkten jeweils den entscheidenden Unterschied zur vorherigen Stufe (*rechte Spalte*). (9 P)

| Automatisierungsgrad   |  |
|------------------------|--|
| No Automation          |  |
| Driver Assistance      | System übernimmt Quer- <u>oder</u> Längsführung        |
| Partial Automation     | System übernimmt Quer- <u>und</u> Längsführung         |
| Conditional Automation | Fahrer muss nicht mehr überwachen                      |
| High Automation        | System als Rückfallebene für speziellen Anwendungsfall |
| Full Automation        | Jeder Anwendungsfall                                   |

Lösungsvorschlag:

- 0,5 P je korrekter Nennung eines Automatisierungsgrades
- 1 P bei korrekter Reihenfolge
- 1 P je korrektem Unterschied (Punkt wird nur gegeben, wenn auch Start/Ziel zum genannten Unterschied passen)

- b) Was wird im Kontext von Automatisierten Fahrfunktionen unter ODD verstanden? Wofür steht die Abkürzung? Nennen Sie eine Beispiel-ODD für ein Level 3 Fahrzeug. (4 P)

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>ODD ausgeschrieben:</b> | Operational Design Domain (1P)  |
| <b>Beschreibung:</b>       | Betriebsbedingungen für die ein ADS entwickelt wurde. Dies kann Umgebungsbedingungen, Geographische Lage, Tageszeiten, Wetter, etc beinhalten. (2P) |
| <b>Beispiel Level 3:</b>   | Nur auf Autobahnen bis 60 km/h (S-Klasse) (1P)  |

## 2. Aufgabe: Sensorik / Wahrnehmung I

In Ihrer Firma soll für einen Kunden ein neues ACC-System entwickelt werden, dass wirtschaftlich hergestellt werden kann und möglichst unabhängig von den Umgebungsbedingungen arbeitet. Sie werden beauftragt einen passenden Sensortypen auszuwählen. Zur Wahl stehen Kamera, LiDAR, Radar und Ultraschall.

a) Nennen Sie Ihre Wahl und begründen Sie kurz Ihre Entscheidung. (2 P)

| Sensortyp | Begründung   |
|-----------|--|
| Radar     | Verhältnismäßig geringe Kosten & geringe Beeinflussung durch Regen, Nebel, ... |

b) Nennen Sie drei weitere Sensortypen und geben Sie den entscheidenden Faktor an, warum der jeweilige Sensor nicht für den vorliegenden Einsatzzweck geeignet ist. Geben Sie zudem an, ob es sich bei dem jeweiligen Sensortyp um einen aktiven oder passiven Sensor handelt. (3 P)

| Sensortyp   | Entscheidender Faktor                               | Aktiv / Passiv  |
|-------------|---|-----------------|
| LiDAR       | Hohe Kosten (0,5 P.)                                | Aktiv (0,5 P.)  |
| Ultraschall | Zu geringe Reichweite (0,5 P.)                      | Aktiv (0,5 P.)  |
| Kamera      | Hohe Beeinflussung durch Umweltbedingungen (0,5 P.) | Passiv (0,5 P.) |

(Keine Punkte für Sensortypen, da oben gegeben. Keine Punkte für Radar)

c) Nennen Sie die zwei in der Vorlesung vorgestellten Techniken, die zur Bestimmung der (Relativ-) Geschwindigkeit des detektierten Objekts angewandt werden. Geben Sie deren mathematische Formeln an und benennen Sie die benötigten mathematischen Größen. (6 P)

|                      | Technik 1  | Technik 2   |
|----------------------|--|---|
| Name                 | Ableitung der Abstandsmessung                      | Dopplereffekt   |
| Formel               | $v_{rel, derivative} = \Delta r / T_M$             | $v_{rel, doppler} = c \Delta f / 2 f_0$               |
| Mathematische Größen | Distanz- & Zeitunterschied zwischen zwei Messungen | Lichtgeschwindigkeit, Dopplerfrequenz, Trägerfrequenz |

- d) Die Schnittstelle zwischen einem LiDAR Sensor mit einer Abtastrate von 20 Hz und einem Öffnungswinkel von 180 Grad zur Recheneinheit im Fahrzeug hat einen maximalen Datendurchsatz von 20 MegaByte pro Sekunde. Für einen LiDAR Punkt werden 32 Byte übertragen und die Scans haben eine horizontale Winkelauflösung von 0,5 Grad. Wie viele Ebenen darf die LiDAR Punktwolke maximal haben, um bei gegebener Schnittstelle verlustlos übertragen werden zu können? (3 P)

Anzahl Ebenen x Punkte / Ebene x Byte / Punkt x Abtastrate  $\leq$  Max. Durchs.

$$n * (180 * 2 + 1) * 32 \text{ Byte} * 20 \frac{1}{s} \leq 20 \frac{\text{MegaByte}}{s}$$

$$n * 361 * 32 * 20 \frac{\text{Byte}}{s} \leq 20 \frac{\text{MegaByte}}{s}$$

$$n * 231.040 \frac{\text{Byte}}{s} \leq 20 \frac{\text{MegaByte}}{s}$$

$$n \leq \frac{20 * 1000 * 1000}{231.040}$$

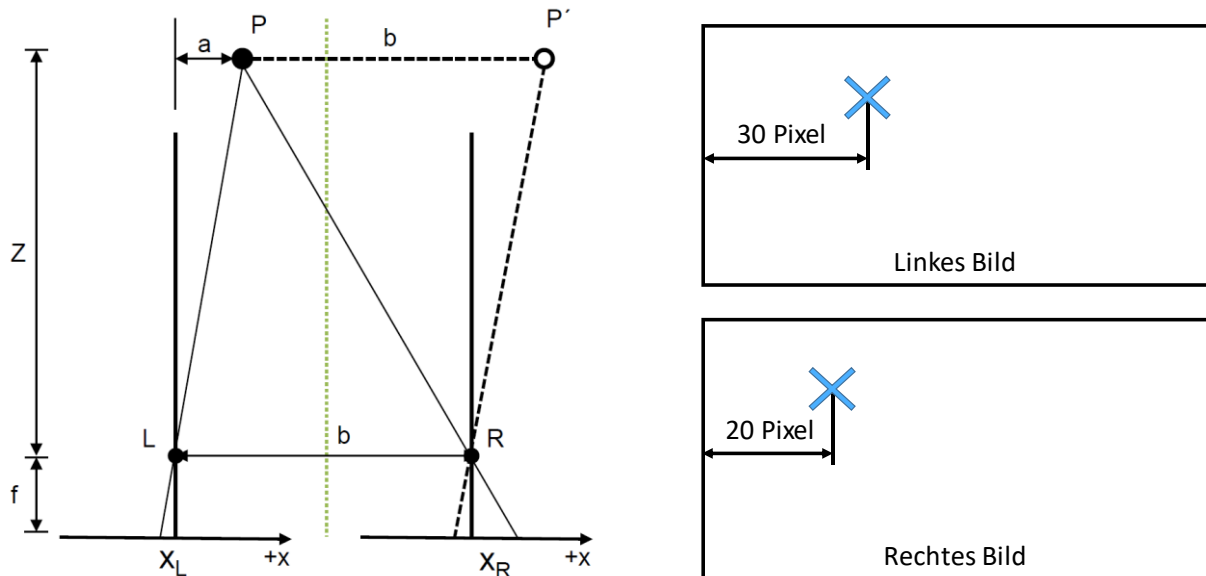
$$n \leq 86,6$$

→ maximal 86 Ebenen

(je ein Punkt für richtige Formel, richtige Werte, richtige Anzahl Ebenen)

### 3. Aufgabe: Sensorik / Wahrnehmung II

- a) Bei der Stereoskopie wird anhand der Disparität die Entfernung eines Objekts bestimmt. Leiten Sie anhand der unten linksstehenden Skizze den formelmäßigen Zusammenhang zwischen Entfernung und Disparität her. Unten rechts sind die Bilder einer Stereokamera mit einer Basisweite von 120 mm, einer Brennweite von 550 Pixel und einer Auflösung von 640x480 Pixel. In den beiden Bildern ist mit einem Kreuz das identische Objekt markiert. Berechnen Sie die Entfernung des Objekts. (5 P)



#### Herleitung

$$\begin{aligned} \frac{a}{Z} &= \frac{-x_L}{f} \rightarrow a = \frac{-x_L}{f} Z \\ \frac{b-a}{Z} &= \frac{x_R}{f} \rightarrow a = b - \frac{x_R}{f} Z \\ \frac{-x_L}{f} Z &= b - \frac{x_R}{f} Z \rightarrow \frac{Z}{f} (-x_L + x_R) = b \\ Z &= \frac{bf}{(-x_L + x_R)} = -\frac{bf}{D} \\ &\quad (3 \text{ P.}) \end{aligned}$$

#### Entfernungsberechnung

$$Z = -\frac{bf}{D} = \frac{120 \text{ mm} * 550 \text{ Pixel}}{10 \text{ Pixel}} = 6,6 \text{ m} \\ (2 \text{ P.})$$

- b) Zur Detektion von Kanten in Bildern kann der Sobel-Operator verwendet werden. Füllen Sie die untenstehende Filtermaske für den Sobel-Operator zur Detektion von horizontalen Kanten aus und berechnen Sie den Wert der markierten Zelle. Markieren Sie zudem in der Bildmatrix, welche Einträge zur Berechnung verwendet werden. (3 P)

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 9 | 1 | 0 | 3 | 7 | 4 | 0 | 5 | 9 |
| 8 | 4 | 5 | 3 | 4 | 7 | 1 | 7 | 6 | 1 |
| 3 | 7 | 9 | 5 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 |
| 7 | 2 | 0 | 6 | 9 | 7 | 4 | 9 | 8 | 7 |
| 2 | 9 | 6 | 8 | 3 | 8 | 0 | 4 | 3 | 4 |
| 9 | 6 | 4 | 2 | 7 | 9 | 2 | 2 | 5 | 9 |
| 8 | 2 | 6 | 4 | 3 | 8 | 9 | 7 | 1 | 2 |
| 6 | 0 | 5 | 3 | 8 | 5 | 7 | 1 | 9 | 0 |
| 5 | 3 | 7 | 3 | 0 | 8 | 3 | 8 | 6 | 2 |
| 2 | 6 | 2 | 4 | 7 | 0 | 9 | 1 | 4 | 5 |

\*

|    |    |    |
|----|----|----|
| 1  | 2  | 1  |
| 0  | 0  | 0  |
| -1 | -2 | -1 |

=

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

- c) Erläutern Sie den Unterschied zwischen Clustering und Klassifikation. (2 P)

Klassifikation gehört zur Gruppe des überwachten Lernens, bei dem die Klassen vorab bekannt sind. Beim (unüberwachten) Clustering werden die Klassen hingegen erst gesucht.

- d) Beschreiben Sie kurz die Begriffe Precision und Recall im Zusammenhang mit Klassifikatoren. Geben Sie deren Formeln an. (4 P)

|           | Beschreibung  | Formel           |
|-----------|---|------------------|
| Precision | Erkennungsrate.<br>Welcher Anteil an positiven Vorhersagen war korrekt?         | $TP / (TP + FP)$ |
| Recall    | Trefferquote.<br>Welcher Anteil an positiven Vorhersagen ist detektiert worden? | $TP / (TP + FN)$ |

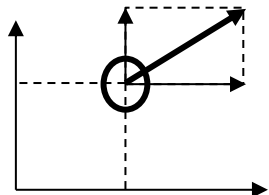
#### 4. Aufgabe: Sensorik / Wahrnehmung III

a) Nennen Sie zwei Vorteile, die durch Sensor-Fusion erreicht werden. (2 P)

Zwei von bspw. den folgenden drei Vorteilen:

- Steigerung der Genauigkeit
- Zusätzliche Informationen wie die Geschwindigkeit (Tracking)
- Ausfallsicherheit/Robustheit (Nebel, Accelerometer Drift)

b) Zustandsraummodelle sind die Grundlage für viele Trackingansätze. Ergänzen Sie das folgende Zustandsraummodell durch Ausfüllen der Übergangsmatrix für das skizzierte Freie Masse Modell. Das Modell hat die Positionen und Geschwindigkeiten in x und y Richtung als Zustände. Die Bewegungen in den beiden Raumrichtungen sollen voneinander unabhängig sein und die Geschwindigkeiten als konstant angenommen werden. Der diskrete Zeitschritt wird mit  $\Delta T$  bezeichnet. Nennen und erklären Sie abschließend einen allgemeinen Vorteil des Freie Masse Modells. (4 P)



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ v_x \\ v_y \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} \quad \\ \quad \\ \quad \\ \quad \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ v_x \\ v_y \end{bmatrix}_{k-1}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ v_x \\ v_y \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ v_x \\ v_y \end{bmatrix}_{k-1}$$

2x 1 P. für korrekte Zeilen für x und y

2x 0,5 P. für korrekte Zeilen für vx und vy

**Allgemeiner Vorteil des Freie Masse Modells:**

bspw. linear bzw. geringe Komplexität (1 P.)

- c) Das kinematische Fahrzeug-Bewegungsmodell stellt eine Alternative zum Freie Masse Modell dar. Nennen und erklären Sie einen Vorteil des kinematischen Modells für das Tracking von Fahrzeugbewegungen gegenüber dem Freie Masse Modell. (2 P)

bspw. bessere Modellierung von Fahrzeugbewegung durch Berücksichtigung der Ausrichtung, keine seitliche Bewegung möglich

- d) Welche drei Schritte werden beim Kalman Filter rekursiv durchlaufen. In welchem Schritt wird der Kalmanfaktor (K) bestimmt und was wird durch den Kalmanfaktor beeinflusst? (3 P)

Prädiktion, Assoziation und Innovation (Auch andere Wortwahl möglich bspw. Prediction & Update) (1,5 P)

Kalmanfaktor wird im Innovationsschritt bestimmt. (0,5 P)

Der Kalmanfaktor stellt das „Vertrauen“ in die Messung bzw. das „Nicht-Vertrauen“ in Prädiktion dar und beeinflusst wie stark der prädizierte Wert durch die Messung angepasst wird. (1 P)

- e) Erläutern Sie einen Vor- und einen Nachteil von hochgenauen Karten für das automatisierte Fahren. Nennen Sie zudem zwei Beispiele für Informationen, die in hochgenauen Karten abgelegt werden können. (3 P)

**Vorteil:**

bspw. ermöglicht Fahren in komplexen Umgebungen oder frühzeitige Übergabe an Fahrer vor kritischen Situationen möglich (1 P.)

**Nachteil:**

bspw. Strecke muss kartiert sein oder laufende Überprüfung und Aktualisierung der Karte notwendig (1 P.)

**Zwei Beispielinformationen:**

bspw. Fahrstreifenverläufen, Kreuzungsgeometrien und Ampelpositionen, kritische Elemente wie Ländergrenzen, Autobahnenenden, ... (2x 0,5 P.)

## 5. Aufgabe: Funktionslogik und Regelung

Sie sollen eine neue ACC-Funktion entwickeln. Zur Detektion vorausfahrender Verkehrsteilnehmer kann das Steuergerät auf die benötigten Informationen der Radar-Sensorik zugreifen. (15 P)

- a) Zunächst müssen Sie sich überlegen, wie Sie mit den unterschiedlichen Situationen im Straßenverkehr umgehen können. In der Vorlesung haben Sie zwischen statischer Optimierung (regelbasiert) und dynamischer Optimierung (Optimalsteuerung) unterschieden. Vergleichen Sie die beiden Ansätze. Nennen Sie je einen Vorteil und einen Nachteil. Wann würden Sie den jeweiligen Ansatz anwenden. (6 P)

| Statische Optimierung                                      | Dynamische Optimierung   |
|--|--|
| <b>Anwendung:</b><br>Beschränkte Anzahl klarer Situationen | <b>Anwendung:</b><br>Komplexe Szenarien                                      |
| <b>Vorteil:</b><br>Geringer Rechenaufwand                  | <b>Vorteil:</b><br>Eine Applikation, ähnliches Verhalten bei allen Szenarien |
| <b>Nachteil:</b><br>Applikation jeder Situation notwendig  | <b>Nachteil:</b><br>Höherer Entwicklungsaufwand                              |

Je 1P

Im nächsten Schritt müssen Sie die Zielobjektauswahl implementieren. Hierfür muss zunächst der eigene Kurs prädiziert werden. Ihr Steuergerät hat Zugriff auf Beschleunigungssensoren und die Gierrate. Wie können Sie daraus die aktuelle Krümmung ihres Kurses bestimmen? Vervollständigen Sie folgende Formeln. (2 P)

|  |   |
|--|---|
| Querbeschleunigung:<br><br>$\kappa_{ay} \cong \frac{a_y}{v_x^2}$ | Gierrate:<br><br>$\kappa_\psi \cong \dot{\psi} / v_x$ |
|--|---|

- b) Sie entscheiden sich dazu die Gierrate zu nutzen. Nennen Sie 2 Aspekte in denen das Vorgehen mit Gierrate der Querbeschleunigung überlegen ist. (2 P)

Vorteile bei vorhandener Straßenquerneigung und kleinen Geschwindigkeiten

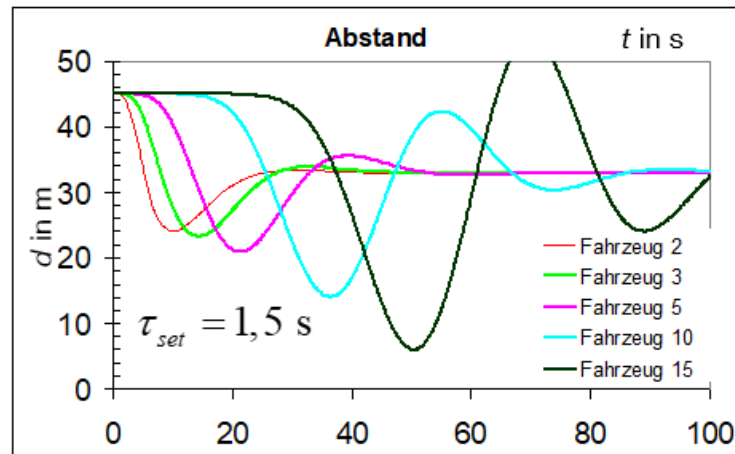


- c) Sie sind bisher die einzige Person, welche die Gierrate in ihrem Versuchsträger nutzt. Sie wollen deshalb den Sensor kurz validieren. Bei einer Kurvenfahrt mit 100 km/h messen Sie eine Querbeschleunigung von  $3\text{m/s}^2$ . Welche Gierrate würden Sie vom Sensor erwarten? (2 P)

$$\kappa_{ay} \cong \frac{a_y}{v_x^2} = 0.0039 \frac{1}{\text{m}}$$

$$\dot{\psi} = 0.0039 \frac{1}{\text{m}} * 27,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.108 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- d) Sie haben ihren Regler nun entwickelt und ausgiebig auf Stabilität und Robustheit getestet. Kurz vor den ersten Versuchen im realen Fahrzeug, simulieren Sie mehrere ACC-Fahrzeuge die hintereinander fahren. In folgender Abbildung ist der Abstand  $d$  jedes Fahrzeugs zu seinem Vorderfahrzeug dargestellt. (3 P)



Welches Phänomen aus der Vorlesung können Sie hier beobachten? (1 P)

Die Fahrzeugkolonne ist instabil

Beurteilen Sie die Stabilität von Fahrzeug 10? (1 P)

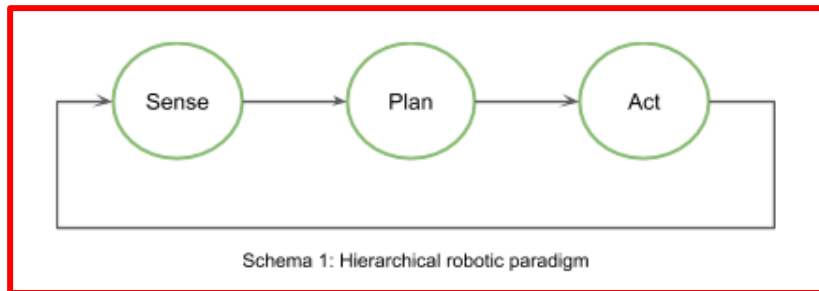
Ja, die Amplitude jedes Fahrzeugs klingt ab. Lediglich die Kolonne schwingt sich auf.

Nennen Sie eine Bedingung für die Verstärkungsfunktion  $|V(\omega)|$ , sodass das gezeigte Phänomen nicht mehr auftritt. (1 P)

$$|V(\omega)| = \left| \frac{A_{i+1}(\omega)}{A_i(\omega)} \right| \leq 1$$

## 6. Aufgabe: Funktionale Systemarchitektur und Aktorik

- a) Zeichnen Sie das allgemeine Sense-Plan-Act-Funktionsparadigma und beschreiben Sie die Funktion der einzelnen Module. (4 P)



**SENSE:** The system needs the ability to sense important things about its environment, like the presence of obstacles or navigation aids. What information does your system need about its surroundings, and how will it gather that information?

**PLAN:** The system needs to take the sensed data and figure out how to respond appropriately to it, based on a pre-existing strategy. Do you have a strategy? Does your program determine the appropriate response, based on that strategy and the sensed data?

**ACT:** Finally, the system must act to carry out the actions that the plan calls for. Have you built your system so that it can do what it needs to, physically? Does it actually do it when told?

- b) Nennen Sie drei existierende Hauptansätze für die Verhaltensplanung und beschreiben Sie kurz die jeweiligen Vor- und Nachteile. (6 P):

| Ansatz                 | Vorteile   | Nachteile  |
|------------------------|--|--|
| Numerische Optimierung | <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Diskretisierung</li> <li>Geringe Rechenzeit</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Findet lokale Optima</li> <li>Solver von Kosten abhängig</li> </ul> |
| Graphensuche           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Findet globales Optimum</li> <li>Flexible Kostenfunktion</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Diskrete Lösung</li> <li>Fluch der Dimensionen</li> </ul>           |
| Sampling basiert       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Stochastisch vollständig</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lösung in endlicher Zeit nicht garantiert</li> </ul>                |

6P, 1P je Ansatz, 0.5P je Vor- / Nachteile

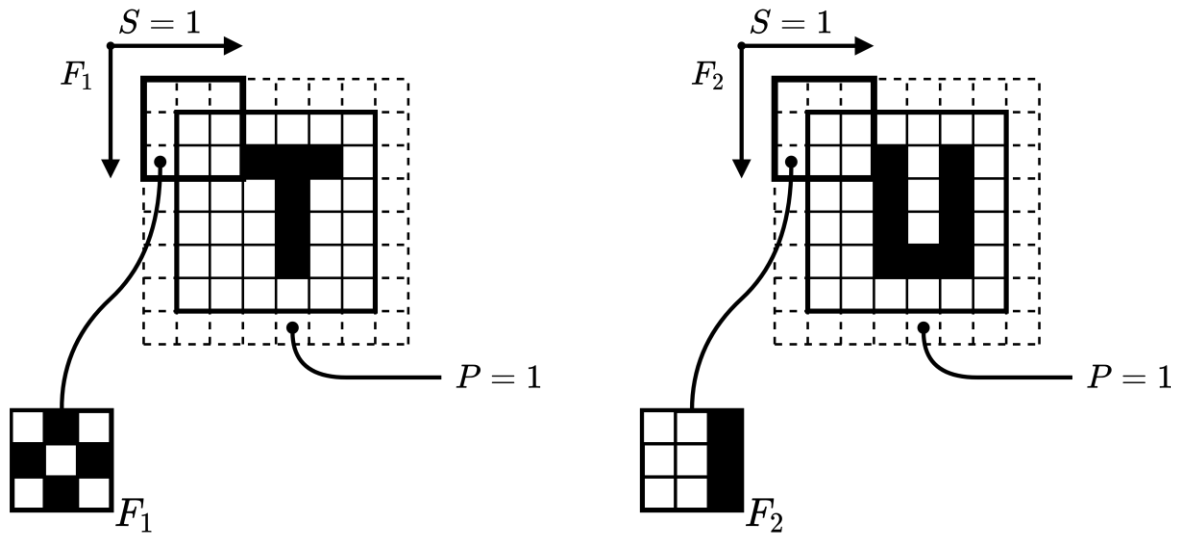
c) Nennen Sie und kurz beschreiben drei Möglichkeiten zur Risikominimierung von (Hardware-) Systemausfällen, die uns zur Verfügung stehen: (3 P)

- Redundanz
- Diversität
- Mehrheitsentscheid

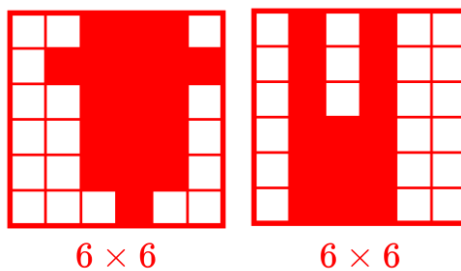
3P, jeweils 1P

## 7. Aufgabe: Deep Learning

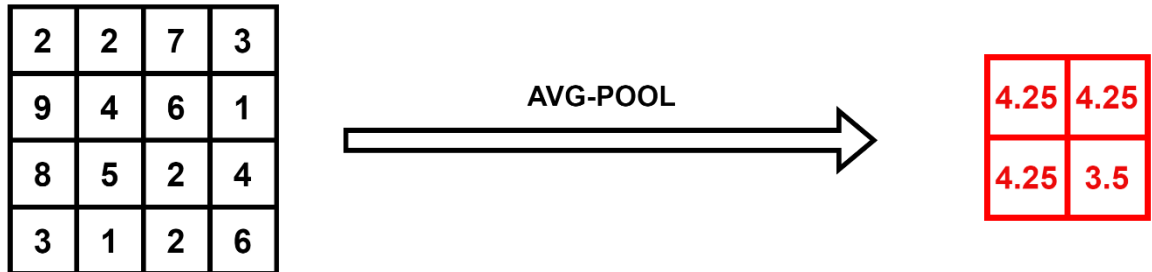
- a) Nehmen wir an, dass die folgenden vereinfachten Bilder als Eingang des CNN-Netzwerks mit zwei vordefinierten Filtern,  $F_1$  und  $F_2$  ( $S=1$ ,  $P=1$ ) gegeben sind. Zeichnen Sie für beide Fälle eine qualitative Skizze der resultierenden Activation Map(s). (9 P)



Per task: 0.5 if the dimensions are correct (6x6). 4P if the convolution is fully correct.  
For falsely marked squares, 0.5P/Error can be deduced.  
Max. 9P possible if both tasks are fully correct.



- b) Um die Anzahl der Parameter und die Trainings-Rechenzeit zu verringern, haben Sie beschlossen, die AVG-Pooling-Schicht einzuführen. Berechnen Sie die Ausgabe des Pooling mit einem Pool-Filter (Größe 2x2 und Stride=2). (2 P)



Pooling: richtige Dimension (1P) + Richtige Werte (1P))

- c) Was ist ein Dropout-Verfahren? Beschreiben Sie kurz, wie es funktioniert. (2 P)

Dropout ist eine Regularisierungsmethode, die in künstlichen neuronalen Netzen Anwendung findet und die Gefahr von Overfitting verringert. Dabei wird beim Training des Netzwerks eine vorher spezifizierte Anzahl (etwa 30 %) von Neuronen in jedem Layer des Netzwerks ausgeschaltet ("dropout") und für den kommenden Berechnungsschritt nicht berücksichtigt.

(2P Beschreibung und Anwendung)

- d) Durch die Ausführung von Machine-Learning Anwendungen auf GPU statt CPU-Basis, lässt sich die Performance von Machine-Learning Modellen signifikant verbessern. Warum ist das so und welche Vorteile haben GPUs gegenüber CPUs? Nennen Sie drei davon. (3 P)

- Hohe Berechnungsdichte
- Viele Berechnungen pro Speicheraufruf
- Optimiert für Parallele Rechnungen
- Hohe Latenztoleranz
- Heutzutage günstig

## 8. Aufgabe: Fahraufgabe und Mensch-Maschine-Schnittstelle

a) Nennen Sie die drei Hauptziele von Fahrerassistenzsystemen. (1,5 P)

- Sicherheit
- Effizienz
- Komfort

b) Erklären Sie den Unterschied zwischen Belastung und Beanspruchung anhand des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts. (2 P)

- **Belastung:** alle Einflüssen, die den **Arbeitsprozess des Menschen beeinflussen** können und die **für jeden Menschen**, der sich in dieser Situation befindet, **gleich** sind (1P)
- **Beanspruchung:** **individuelle** Reaktion auf die Belastung (1P)

c) Erklären Sie den Unterschied zwischen primärer, sekundärer und tertiärer Aufgabe des Autofahrens und geben Sie jeweils 1 Beispiel. (3 P)

**Primäre Aufgabe:** Halten des Fahrzeugs auf Kurs

- Navigation
- Führung
- Stabilisierung

**Sekundäre Aufgabe:** Tätigkeiten in Abhängigkeit von Fahranforderungen

- Aktion (Blinken, Hupen)
- Reaktion (Auf- und Abblenden, Wischen)

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

- Komfortverbesserung (Klimaanlage, Sitzeinstellung, Radio ...)
- Kommunikation (Radio, Telefon, Internet ...) auch hier Aktion ↔ Reaktion

d) Nennen Sie drei ergonomische Empfehlungen für die Gestaltung von Rückmeldungen im Fahrzeug. (1,5 P)

- Kontinuierliche Statusanzeige
- Verzögerungsfrei
- Überschwellig
- Multimodal (simultan)
- Gezielte Vorwarnung (mono- oder multimodal)
- Räumliche und funktionale Zuordnung und Kompatibilität
- Zeitverzug:  $100\text{ms} < t < 2\text{s}$
- Intuitiv
- Eindeutig
- Präzise

e) Von Lisanne Bainbridge wurden sogenannte „Ironies of Automation“ formuliert. Erläutern Sie zwei in der Vorlesung besprochene Ironien. (4 P)

- Weil der Mensch die zur Benutzung des Systems erforderlichen **Fähigkeiten nicht mehr oft anwendet**, verlernt er sie und hat das notwendige Wissen in einer möglichen **Notsituation** nicht mehr parat (1P). Je besser ein automatisiertes System funktioniert, desto besser müssen die **Bediener für Übernahmesituationen ausgebildet** und trainiert sein (1P).
- Der Mensch ist **als Überwacher ungeeignet** (monotone Tätigkeit). In der plötzlich auftretenden Notsituation (Übernahme), fehlt ihm die **Kenntnis über den aktuellen Zustand des Systems** (Mode Awareness) (1P). Die Überwachung ist letztlich eine **unmögliche Aufgabe**: der Computer übernimmt die Entscheidungen, die der Mensch nicht mehr treffen kann, aber der Mensch soll überwachen, ob der Computer korrekt entscheidet (1P).

## 9. Kompatibilität

a) Erklären Sie die Begriffe primäre und sekundäre Kompatibilität. (2 P)

- **Primäre Kompatibilität**

Die primäre Kompatibilität bezieht sich auf die Sinnfälligkeit von Informationen bezogen auf Wirklichkeit, Anzeigen, Stellteile und innere Modelle

- Innere: Bewegungsrichtung stimmen mit unseren inneren Modellen (Erwartungen) überein
- Äußere: Bewegungsrichtung von Stellteilen und Anzeigen stimmen mit der Umwelt, anderen Stellteilen und Anzeigen überein

- **Sekundäre Kompatibilität**

Drehsinn und Bewegungsrichtung dürfen nicht im Widerspruch zueinanderstehen.

b) Entwerfen Sie unter Berücksichtigung der Kompatibilitätskonzepte für die Funktion „Zeitlücke verstellen“ eines Abstandsregeltempomaten (ACC) ein Anzeige-Bedienkonzept. Nutzen Sie den unten dargestellten Bedienhebel mit den eingezeichneten Bedienmöglichkeiten. (4 P)

Bedienkonzept:

7:

- Abstand zum Vorfahrenden Fahrzeug erhöhen

8:

- Abstand zum Vorfahrenden Fahrzeug verringern





Anzeigekonzept im Kombi-Instrument:



## 10. ASIL Modell und Controllability

Führen Sie im Folgenden die Vorbereitungen für eine ASIL-Bewertung analog dem ADAS-Code of Practice anhand der untenstehenden Fehlerbilder für den beschriebenen Autobahnassistenten durch. Beachten Sie dabei die Angaben und bewerten Sie schrittweise zunächst die Unfallschwere und anschließend die Beherrschbarkeit der Fehlerbilder.

### Funktionsbeschreibung:

Der zu analysierende Autobahnassistent ist ein sensorgestütztes 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  $5 \text{ m/s}^2$  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. Eine aktive Querführungsassistenten wird in dieser Aufgabe zu den ASIL-Sicherheitsanforderungen nicht angenommen.

### Fehlerbilder:

1. **Unerwartete Verzögerung:** Das Ego-Fahrzeug fährt geregelt in einer Kolonne und verzögert für den Fahrer unerwartet mit  $1 \text{ m/s}^2$ . Ohne Eingriff des Fahrers droht innerhalb von 5 Sekunden eine Kollision.
2. **Unerwartete Airbagauslösung:** Das Ego-Fahrzeug nähert sich mit aktiviertem Autobahnassistent mit  $105 \text{ km/h}$  einem anderen, mit  $100 \text{ km/h}$  vorausfahrenden Fahrzeug. Unerwartet lösen während der Fahrt die Frontairbags aus.

## Unfallsschwere (Severity)

|              | Injury Description   | Class     |
|--------------|--|-----------|
| <b>AIS 0</b> | <b>no injuries</b>   | <b>S0</b> |
| <b>AIS 1</b> | <b>light injuries</b> such as skin-deep wounds, muscle pains, whiplash, etc.   | <b>S1</b> |
| <b>AIS 2</b> | <b>moderate injuries</b> such as deep flesh wounds, concussion with up to 15 minutes of unconsciousness, uncomplicated long bone fractures, uncomplicated rib fractures, etc.  | <b>S1</b> |
| <b>AIS 3</b> | <b>severe but not life-threatening injuries</b> 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.            | <b>S2</b> |
| <b>AIS 4</b> | <b>severe injuries (life-threatening, survival probable)</b> such as concussion with or without skull fractures with up to 12 hours of unconsciousness, paradoxical breathing  | <b>S2</b> |
| <b>AIS 5</b> | <b>critical injuries (life-threatening, survival uncertain)</b> 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 | <b>S3</b> |
| <b>AIS 6</b> | <b>extremely critical or fatal injuries</b> 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.                  | <b>S3</b> |

a.) Tragen Sie die Severity (S) für die einzelnen Fehlerbilder in der folgenden Tabelle ein: (1 P)

| Fehlerbilder       | Severity - S<br>(0,5 P pro Feld) |
|--------------------|----------------------------------|
| 1. Verzögerung     | <b>S0</b>                        |
| 2. Airbagauslösung | <b>S3</b>                        |

### Beherrschbarkeit bei Fehler (Controllability)

| Class                            | C0                      | C1   | C2   | C3   |
|----------------------------------|-------------------------|--|--|--|
| <b>Description (informative)</b> | Controllable in general | Simply controllable  | Normally controllable  | Difficult to control or uncontrollable   |
| <b>Definition</b>                | 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. |

b.) Tragen Sie die Controllability (C) und eine kurze Begründung in maximal zwei Stichworten für die einzelnen Fehlerbilder in der folgenden Tabelle ein: (2 P)

| Fehlerbilder        | Controllability - C<br>(0,5 P pro Feld) | Begründung<br>(0,5 P pro Feld)  |
|---------------------|---|---|
| 1. Verzögerung      | C1                                      | Beispiele:<br>- Aufmerksamer Fahrer<br>- Reaktionszeit ausreichend (5 s)  |
| 2. Blockierbremsung | C3                                      | Beispiele:<br>- -> schwer kontrollierbar<br>(Sichtverdeckung durch Airbag)<br>- für Normalfahrer unkontrollierbar |

### Weitere Fragen zum ASIL-Modell und zur Controllability:

- c.) Wie lässt sich ein ASIL C durch Dekomposition über ASIL A<sub>(D)</sub> redundant aufteilen? (2 P)

$$\text{ASIL C} = \text{ASIL A}_{(D)} + \text{ASIL A}_{(D)} + \text{ASIL A}_{(D)}$$

- d.) Geben Sie die Formel für das Risiko aus der Gefahren- und Risikoanalyse an: (1,5 P für abhängige Variablen und für korrekte Formel)

$$R = F(f, C, S)$$

- e.) Welche Methoden schlägt der ADAS-Code of Practice neben der ISO 26262 für die Sicherheitsanalyse vor? (2 P für Abkürzungen, 2 P für vollständig ausgeschriebene Namen)

HAZOP Hazard and Operability study, FMEA Failure Modes and Effects Analysis, FTA Fault Tree Analysis, HIL Hardware in the Loop

- f.) Welche Norm verweist auf den ADAS-Code of Practice mit dem Hinweis, dass eine Anzahl von 20 gültigen Datensätzen pro Szenario einen grundlegenden Hinweis für Validität liefern kann? (1 P)

ISO 26262-3:2011  
(Teil 3 Konzeptphase, Seite 26, Tabelle B.4)

- g.) Wie werden bei der ASIL-Einstufung die Verletzungsschweren AIS 0 sowie AIS 6 einer Severity (S) zugeordnet? Nennen Sie jeweils auch die Beschreibung der Verletzungsschwere.  
(2 P)

AIS 0 = S0, no injuries / keine Verletzungen

AIS 6 = S3, extremely critical or fatal injuries / extrem schwere oder tödliche Verletzungen

jeweils 1 P. für Nennung der S Einstufung sowie für die korrekte Beschreibung der Verletzungsschwere

- h.) Nennen Sie drei Teilphasen aus der Serienentwicklung im allgemeinen Entwicklungsprozess? (3 P)

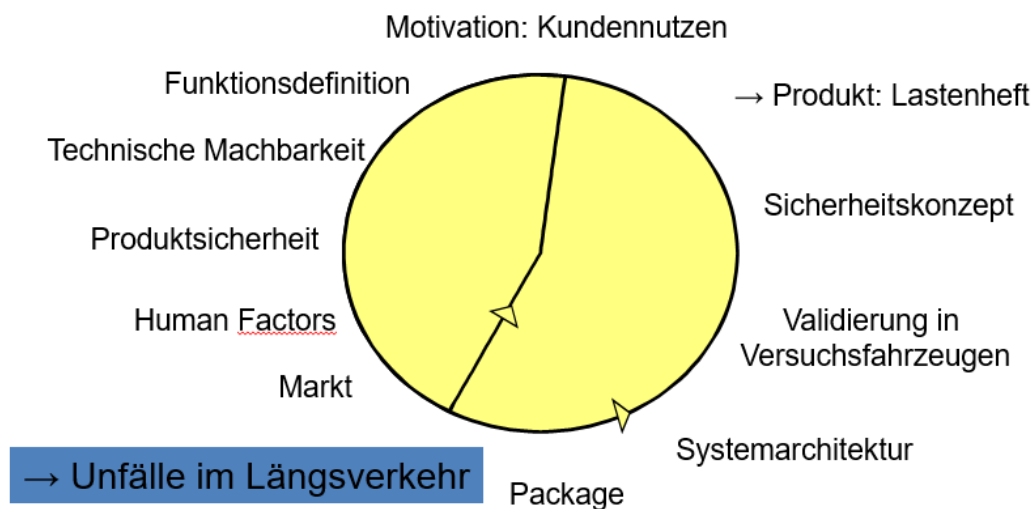
Konstruktion, Erprobung, Absicherung & Sign off

- i.) Nennen Sie drei Bewertungsmethoden zum Nachweis der Controllability?  
(3 P)

Expertengremium (Expert Panel)

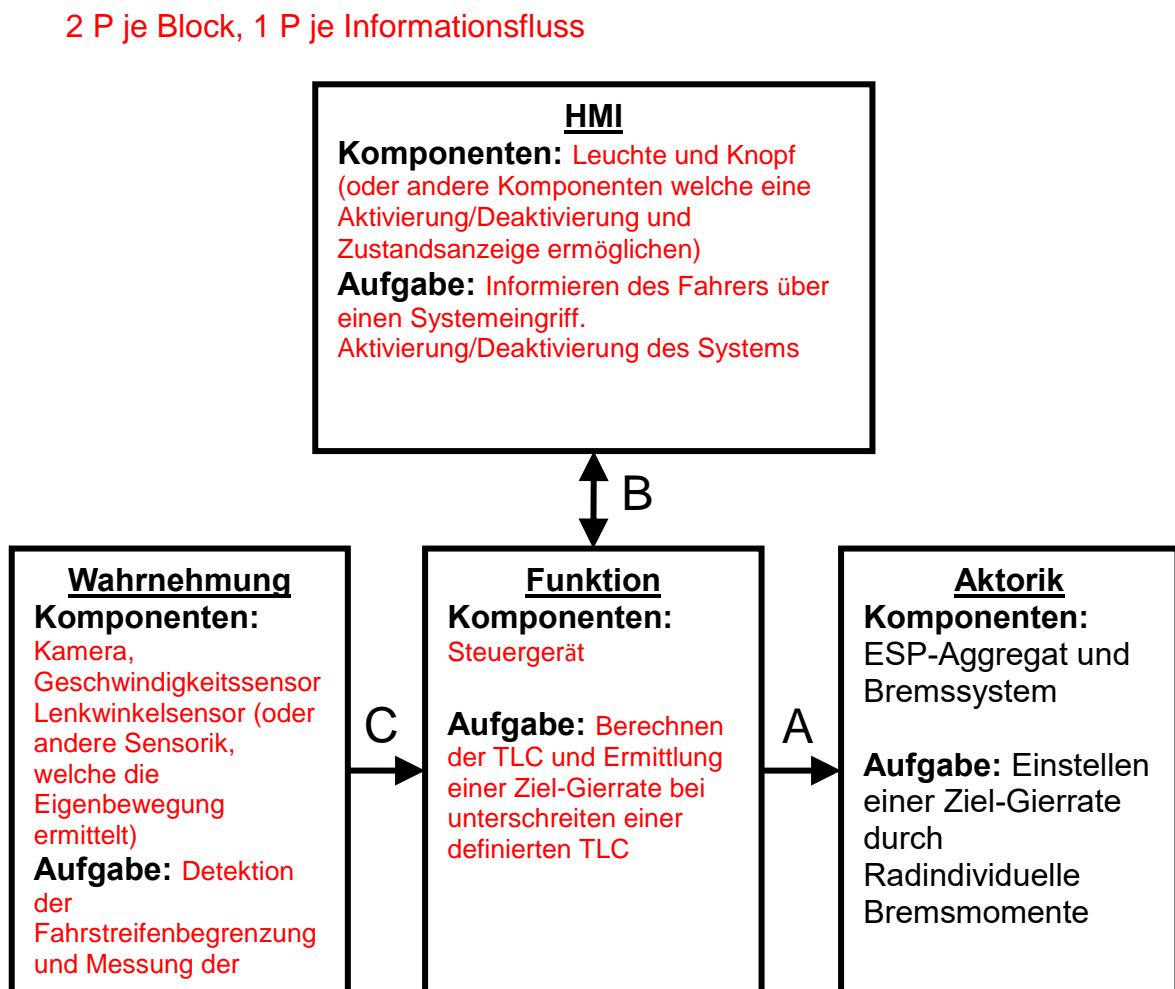
Fahrsimulatortest

Fahrttests



- b.) Beim Durchlaufen des Entwicklungsprozesses stellen Sie fest, dass der Kunde nicht bereit ist Geld für die Funktion auszugeben. Um dennoch die Sicherheit zu erhöhen, entscheiden Sie sich eine kostengünstige Alternative umzusetzen, welche keine zusätzliche Aktorik benötigt. Sie nutzen das vorhandene ESP-Steuergerät um durch radindividuelles Bremsen ein Giermoment zu erzeugen und ein drohendes verlassen der Fahrspur zu vermeiden. Weil die Funktion sehr spürbar eingreift, soll der Fahrer die Möglichkeit haben diese zu deaktivieren und über Eingriffe zusätzlich optisch informiert werden. Die Eingriffsentscheidung soll über einen Schwellwert der „Time to Line Crossing“ (TLC) erfolgen.

Skizzieren Sie eine funktionale Systemarchitektur, in der die relevanten funktionalen Bestandteile aus den Bereichen Wahrnehmung, Funktion, HMI und Aktorik dargestellt sind. Bezeichnen Sie sowohl die funktionalen Bestandteile (inkl. Komponenten und Aufgaben) als auch die logischen Informationsflüsse. Ergänzen Sie dafür folgende Skizze. (8 P.)



|   |  |
|---|--|
| A | Gierrate   |
| B | Benutzereingaben und Statusinformation                       |
| C | Eigenbewegung & Relative Position der Fahrstreifenbegrenzung |



## 12.Aufgabe: Analyse und Bewertung

a) Wie wird im Rahmen der prospektiven Bewertungsmethodik das Wirkungsfeld und der Wirkungsgrad eines Fahrerassistenzsystems beschrieben (2 P)

- **Wirkungsfeld =**

- **Wirkungsgrad =**

Lösung:

### Analyse mit Wirkungsfeld und Wirkungsgrad

Prospektive Bewertungsmethodik

- „Das Wirkungsfeld eines Sicherheitssystems beschreibt dabei alle Situationen, in denen das System gemäß seiner Systemidee wirken kann.“

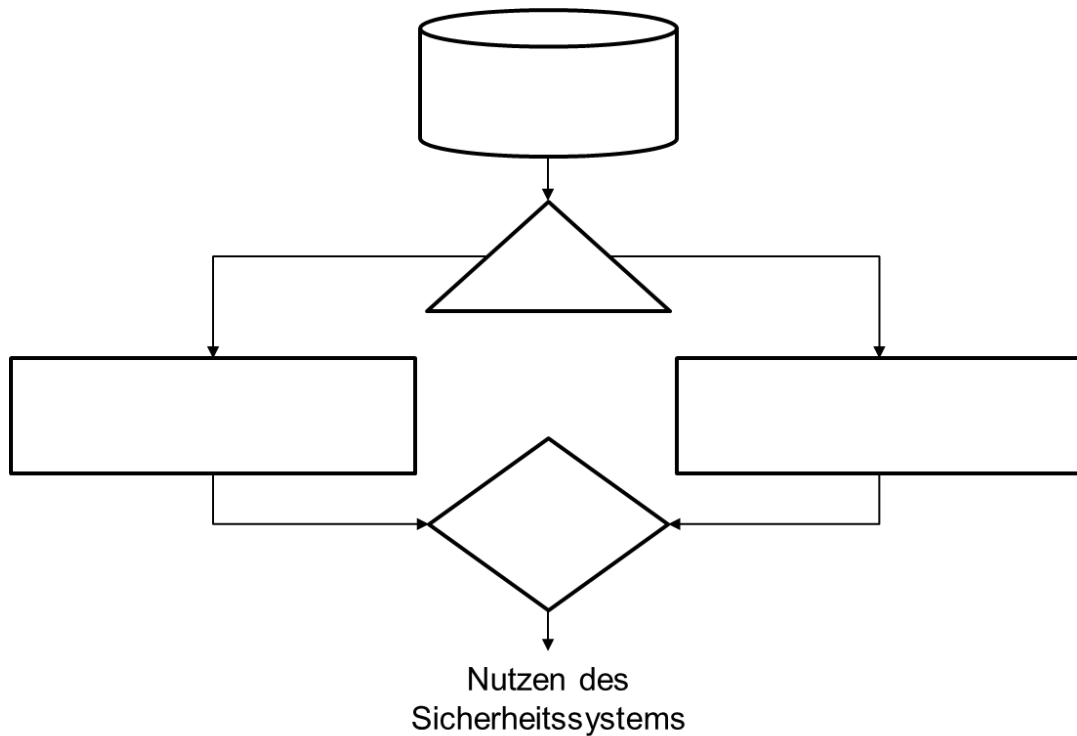
Generische Betrachtung eines FAS:

$$\text{Wirkungsfeld} = \frac{\text{Unfälle mit möglicher Systemwirkung}}{\text{alle Unfälle}}$$

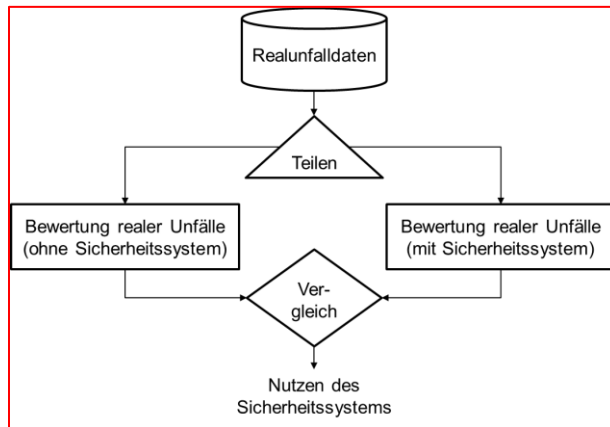
- Real kann ein FAS nicht jeden Unfall vermeiden:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{vermiedene Unfälle}}{\text{Unfälle mit möglicher Systemwirkung}}$$

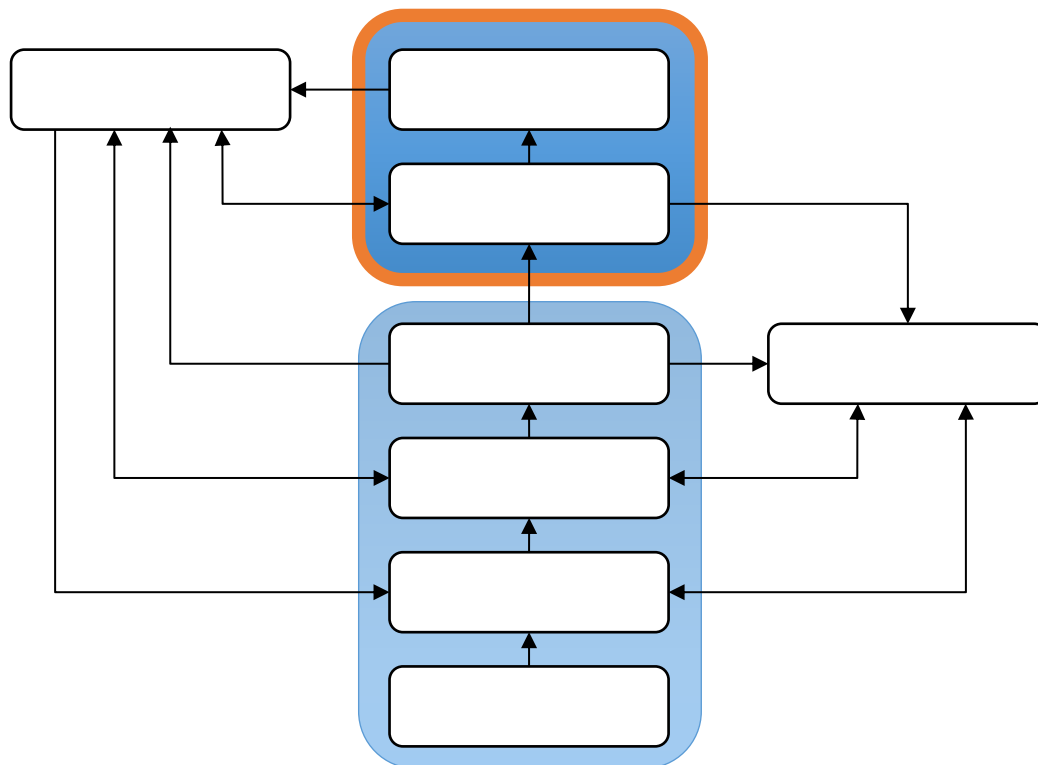
b) Folgende Abbildung soll die retrospektive Feldbewertung beschreiben. Vervollständigen Sie diese. (5 P)

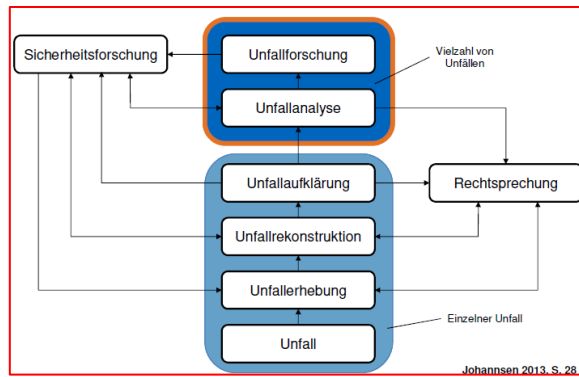


Lösung:



c) Ergänzen Sie das untenstehende Diagramm zur Bearbeitungskette der Unfallerrhebung - Unfallforschung (4 P)





d) Nennen Sie die in der Vorlesung genannte Skala, anhand welcher der Verletzungsschweregrad definiert wird. (3 P)

Name der Skala (ausgeschrieben) (2 P)

### Abbreviated Injury Scale (AIS)

Endpunkte der Skala (1 P)

0 9  
\_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_

### 13. Aufgabe: Aktuelle Systeme

- a) Sie sind für die Entwicklung eines FAS Systems zuständig, welches dem Fahrer beim Erreichen von Systemgrenzen 8 Sekunden Übernahmezeit einräumt. Wie viel Meter vor dem Erreichen der Systemgrenze muss das System den Fahrer zur Übernahme auffordern, um eine Kollision zu vermeiden? Nehmen Sie eine Fahrzeuggeschwindigkeit von 135 km/h, eine Reaktionszeit von 1 Sekunde und einen Notbremsweg von 80m an. (6 P)

$$135 \text{ km/h} = 37.5 \text{ m/s}$$

$$(8\text{s} \times 37.5 \text{ m/s}) + (1\text{s} \times 37.5 \text{ m/s}) + 80\text{m} = 417,5\text{m}$$

- b) Forward-Vehicle-Collision-Systeme (FVC-Systeme) sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Beschreiben Sie kurz den Funktionsumfang der Systeme, die in der untenstehenden Tabelle angegebenen sind. (4 P)

| System           | Beschreibung   |
|------------------|--|
| FVC-Conditioning | Bei drohendem Unfall werden Systeme so konditioniert, dass sie ihre Wirkung schneller entfachen: z.B. Dämpferverstellung |
| FVC-Warning      | System, dass den Fahrer akustisch, haptisch oder optisch vor einer drohenden Frontkollision warnt                        |
| FVC-Mitigation   | System, dass die Kollision vermindert: z.B. Teilbremsung oder Gurtstraffer   |
| FVC-Avoidance    | System, dass bis zur Notbremsung versucht, den Auffahrunfall zu vermeiden  |

- c) Besonders für Auffahrsituationen wird ein Kennwert sehr häufig verwendet, um die Kritikalität der Fahrsituation zu charakterisieren. Dieser enthält unter anderem den Abstand  $d$  zum Objekt. Geben Sie den Namen des Kennwerts, die Formel und die Einheit an. (2 P)

Time To Collision (0,5 P.):

$$TTC = \frac{d}{v_{rel}} = \frac{d}{v_{ego} - v_{vorderfzg}} \quad (1 \text{ P.}) \quad \text{Einheit: Sekunde (0,5 P.)}$$