

1) Aufgabe: Einführung in Autonomes Fahren / Introduction to Autonomous Driving (10 P)

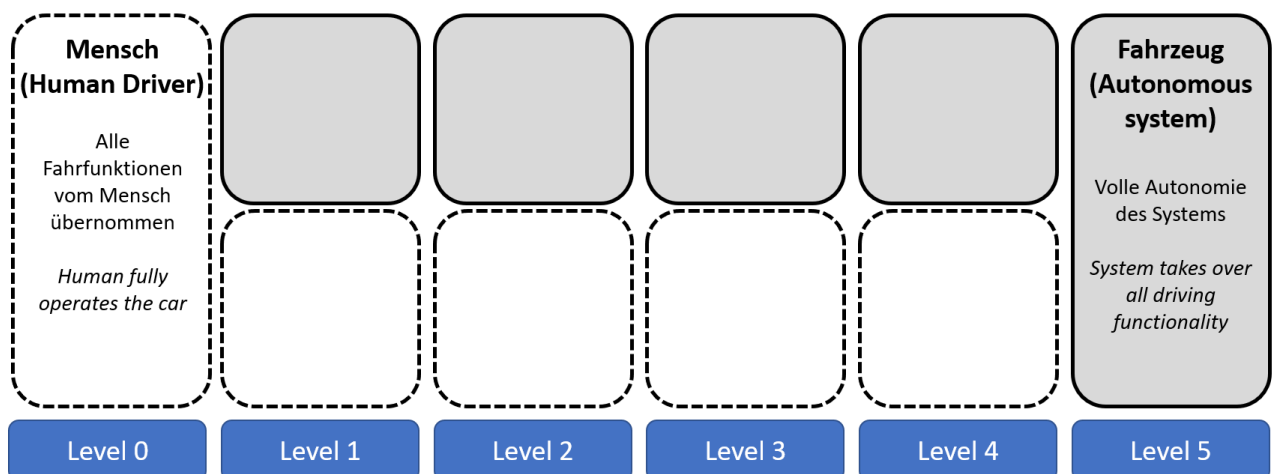
- a. Autonome Fahrzeuge können mit einer Vielzahl an Sensoren ausgestattet werden, welche es Ihnen erlauben, sowohl andere Verkehrsteilnehmer als auch Ihre Umgebung wahrzunehmen. Nennen Sie 3 dieser Sensoren, beschreiben Sie kurz deren Funktionsprinzip und welche Rohdaten von diesen generiert werden. (6 P)

Autonomous vehicles are equipped with various sensors that allow them to perceive other road users as well as the surrounding environment. Name 3 of these sensors, describe their working principle shortly and the raw data that they produce. (6 P)

Sensor	Funktionsprinzip (Working principle)	Rohdaten (Raw data)

- b. Autonome Fahrzeugsysteme können in 5 verschiedene Level eingeteilt werden, welche die Fahraufgaben des jeweiligen Fahrers und des Systems selbst kategorisieren. Füllen Sie die unten abgebildete Übersicht entsprechend der jeweiligen Fahraufgaben aus, wobei von einem Straßenverkehrsszenario ausgegangen wird. (4 P)

Autonomous systems can be categorized into 5 different levels where each level is characterizing the task that is done by the driver and the task performed by the autonomous system itself. Assuming a road traffic scenario, fill out the overview below with the corresponding driving tasks. (4 P)



2) Aufgabe: Zustandsschätzung / State Estimation (15 P)

Zunächst werden die Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung betrachtet.

First, the basics of probability theory are considered.

- a. Erklären Sie den Unterschied zwischen abhängigen und unabhängigen Ereignissen. (2 P)

Explain the difference between independent and dependent events. (2 P)

- b. Beschreiben Sie das Bayes'sche Theorem und geben Sie ein Beispiel für seine Anwendung. (3 P)

Describe Bayes' theorem and give an example of its use. (3 P)

- c. Wie unterscheidet sich ein Extended Kalman Filter (EKF) von einem normalen Kalman Filter? Nennen Sie Vor- und Nachteile. (3 P)

How does an Extended Kalman Filter (EKF) differ from a normal Kalman Filter? State advantages and disadvantages. (3 P)

Nachfolgend soll es um die Anwendung der Grundlagen zur Zustandsschätzung autonomer Fahrzeuge gehen.

In the following, we focus on the application of the fundamentals for state estimation of autonomous vehicles.

- d. Welche Annahme für den Zustand eines autonomen Fahrzeugs wird häufig getroffen, die beispielsweise bei Drohnen nicht getroffen werden kann? Welche Vor- und Nachteile könnten sich ergeben, wenn diese Annahme nicht zutrifft? (3 P)

What assumption is often made for the state of an autonomous vehicle that cannot be made for drones, for example? What might be the advantages and disadvantages of not making this assumption? (3 P)

- e. Sie wollen zur Lokalisierung eines kleinen Roboters einen Partikelfilter auf der embedded Compute-Platform nutzen. Worauf müssen Sie achten? (2 P)

You want to use a particle filter on the embedded compute platform to localize a small robot. What do you have to pay attention to? (2 P)

- f. Wie können Datenblätter verbauter Sensoren (z.B. GPS, IMU) zur Parametrierung eines Extended Kalman Filters (EKF) verwendet werden? (2 P)

How can data sheets of installed sensors (e.g. GPS, IMU) be used to parameterize an Extended Kalman Filter (EKF)? (2 P)

3) Aufgabe: Lokalisierung und Kartenerstellung / Localization and Mapping (15 P)

Grundlagen

Fundamentals

- a. Wie unterscheiden sich Grid-basierte und Feature-basierte Maps? Nennen Sie je einen Vorteil (3 P)

How do grid-based and feature-based maps differ? Name one advantage each. (3 P)

- b. Nennen Sie die zwei Arten des kamerabasierten, monokularen Visual SLAM. Welcher davon eignet sich besser bei geringem Wissen über die verwendete Kamera? (2 P)

Name the two types of camera-based, monocular Visual SLAM. Which of them is more suitable when there is little knowledge about the camera used? (2 P)

- c. Welches Problem kann auftreten, wenn versucht wird, aus Kameradaten eine Loop-Closure zu erkennen? Warum ist dieses Problem bei Nutzung von LiDAR Sensoren geringer? (2 P)

What problem can occur when trying to detect a loop closure from camera data? Why is this problem less when using LiDAR sensors? (2 P)

Im Folgenden soll von einem Fahrzeug ausgegangen werden, das vier LiDAR-Sensoren und sechs Kameras am Dach befestigt hat. Außerdem ist im Fahrzeugschwerpunkt ein RTK-GNSS Receiver mit integrierter IMU verbaut. Die beiden Antennen befinden sich rechts und links auf dem Dach.

In the following, we will assume a vehicle that has four LiDAR sensors and six cameras mounted on the roof. In addition, an RTK-GNSS receiver with integrated IMU is installed in the vehicle's center of gravity. The two antennas are located on the right and left side of the roof.

- d. Die LiDAR-Sensoren sollen gemeinsam genutzt werden, um eine 3D Karte zu erstellen, die später zur Lokalisierung verwendet werden kann. Nennen Sie drei Probleme, die hierbei auftreten können und geben Sie jeweils einen Lösungsvorschlag. (3 P)
The LiDAR sensors shall be jointly used to create a 3D map that can later be used for localization. List three problems that may arise in this process and give a suggested solution for each. (3 P)

- e. Zwischen LiDAR-Lokalisierung und GNSS-Position wird ein konstanter Offset von etwa 1,5m festgestellt. Woran könnte das liegen? Wie lässt sich das Problem beheben? (2 P)
A constant offset of about 1.5m is detected between LiDAR localization and GNSS position. What could be the reason for this? How can the problem be solved? (2 P)

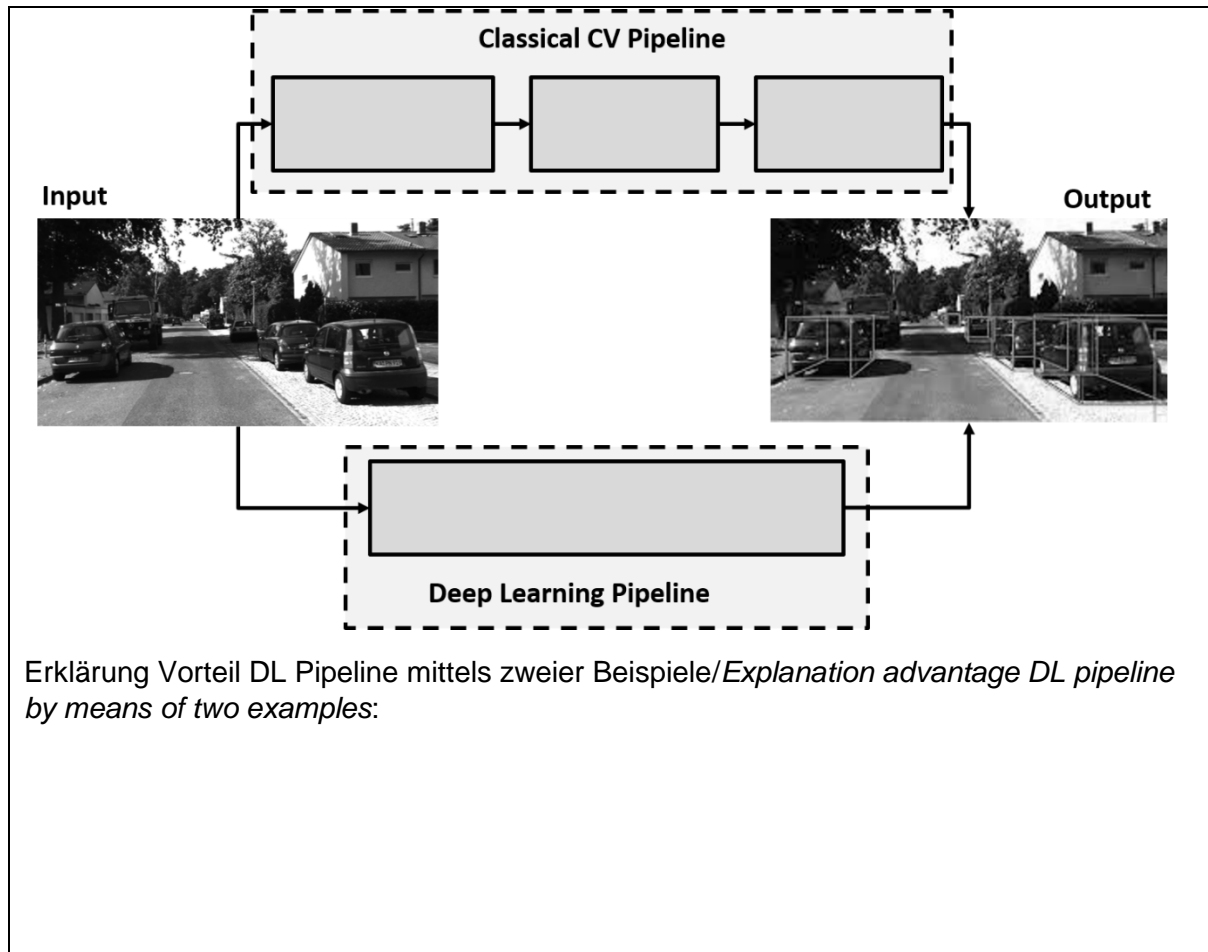
- f. Mit dem Fahrzeug soll München bei manueller Fahrt kartiert und anschließend mit den generierten Karten autonom gefahren werden. Welche Probleme können hierbei auftreten? Nennen sie drei. (3 P)

The vehicle is to be used to map Munich while driving manually and then to drive autonomously using the generated maps. What problems can occur here? Name three. (3 P)

4) Aufgabe: Detektion / Detection (15 P)

- a. Beschriften Sie die vier leeren Felder in untenstehender Abbildung mit den entsprechenden Verarbeitungsschritten der klassischen Computer Vision und Deep Learning Pipeline. Erläutern Sie zusätzlich anhand **zweier Beispiele**, weshalb die Deep Learning Pipeline vorteilhaft für die Detektion ist. (4 P)

*Fill the four blank boxes in the figure below with the corresponding processing steps of the classical computer vision and deep learning pipeline. Additionally, by using **two examples**, explain why the deep learning pipeline is advantageous for detection. (4 P)*



- b. Die Quantifizierung der Detektionsgüte erfolgt mittels Precision und Recall, für deren Berechnung zunächst True Positives (TP), False Positives (FP) und False Negatives (FN) bestimmt werden. Nennen Sie die Metrik, die basierend auf der Ground Truth und Prediction zur Bestimmung der TP/FP/FN verwendet wird und geben Sie die Gleichung zur Berechnung dieser Metrik. (2 P)

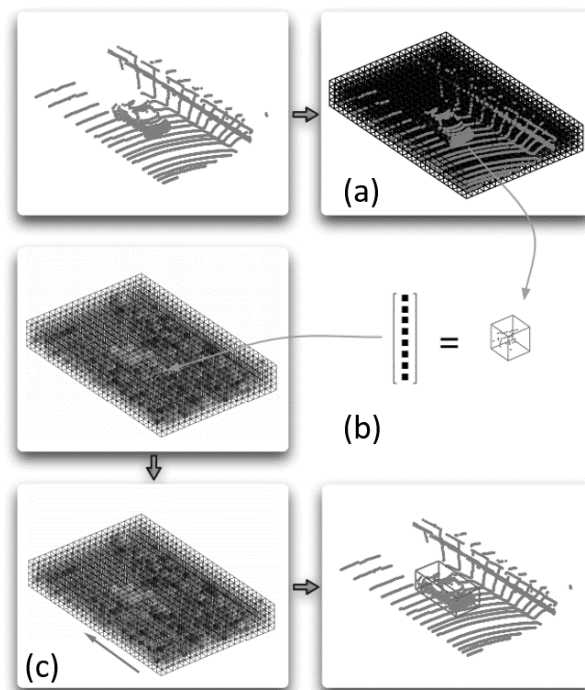
The detection quality is quantified using precision and recall, for which true positives (TP), false positives (FP) and false negatives (FN) are first determined. Name the metric used to determine the TP/FP/FN based on ground truth and prediction and state the equation to calculate this metric. (2 P)

Metrik/ Metric:

Gleichung/ Equation:

- c. Dargestellt ist der Prozess eines neuronalen Netzes (Vote3D) zur 3D Objektdetektion basierend auf dem structured grid-based learning von der Input-Punktwolke (oben links) zur Output-Punktwolke inklusive Detektion (unten rechts). Beschriften Sie die drei Schritte (a), (b) und (c). Nennen Sie außerdem eine Alternative zum structured grid-based learning für die 3D Objektdetektion mit LiDAR Punktwolken. (4 P)

Shown is the process of a neural network (Vote3D) for 3D object detection based on structured grid-based learning from input point cloud (top left) to output point cloud including detection (bottom right). Label the three steps (a), (b), and (c). Also, name an alternative to structured grid-based learning for 3D object detection with LiDAR point clouds. (4 P)



(a):

(b):

(c):

Alternative to structured grid-based learning:

- d. Radar-Sensoren werden hauptsächlich nur zur Detektion dynamischer Objekte verwendet. Erläutern Sie anhand eines Beispiels, weshalb statische Objekte vom Radar-Sensor herausgefiltert werden. (2 P)

Radar sensors are mainly used to detect dynamic objects only. Explain why static objects are filtered out by the radar sensor using an example. (2 P)

- e. Nennen Sie zwei Gründe, die für eine Sensorfusion bei Autonomen Fahrzeugen sprechen. Die Late Fusion zeichnet sich dadurch aus, dass die Sensordaten unabhängig voneinander verarbeitet werden und erst die detektierten Objekte fusioniert werden. Nenne Sie einen Nachteil dieser Methode gegenüber der Early Fusion und beschreiben Sie eine Möglichkeit, wie dieser Nachteil algorithmisch gelöst werden kann. (3 P)

Name two reasons that speak for sensor fusion in autonomous vehicles. Late Fusion is characterized by the fact that sensor data is processed independently and only the detected objects are fused. Name one disadvantage of this method compared to early fusion and describe one way in which this disadvantage can be solved algorithmically. (3 P)

Gründe Sensorfusion/ *Reasons sensor fusion:*

Nennung Nachteil Late Fusion/ *Naming disadvantage Late Fusion:*

Lösungsbeschreibung Nachteil Late Fusion/ *Solution description disadvantage Late Fusion:*

5) Aufgabe: Prädiktion / Prediction (15 P)

- a. Im Bereich der Fahrzeugprädiktion können Methoden in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Nennen Sie die drei in der Vorlesung thematisierten Klassen und jeweils eine Methode, welche sich diesem Bereich zuordnen lässt. (3 P)

Within the domain of vehicle prediction, methods can be divided into different classes. Name the three classes that were outlined in the lecture together with one method that can be assigned to each of them. (3 P)

Klasse (Class)	Methode (Method)

- b. Bei der Entwicklung von komplexeren Prädiktionsalgorithmen werden diese stets mit analytischen Ansätzen verglichen, um deren Performance zu evaluieren. Einer dieser analytischen Ansätze ist das sogenannte CTRA-Modell. Dieses lässt sich wie folgt beschreiben:

During the development of more complex prediction algorithms, analytical approaches are used as a reference to evaluate their performance. One of those analytical approaches is the so-called CTRA-model. It can be described as follows:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ \Psi \\ v \end{pmatrix}_{t+\Delta t} = \begin{pmatrix} x + \frac{v}{\dot{\Psi}} (\cos(\dot{\Psi} \Delta t + \Psi) - \cos(\Psi)) \\ y + \frac{v}{\dot{\Psi}} (\sin(\dot{\Psi} \Delta t + \Psi) - \sin(\Psi)) \\ \Psi + \dot{\Psi} \Delta t \\ v + a \Delta t \end{pmatrix}_t$$

Mit Hilfe dieses Modells möchten Sie nun basierend auf folgendem initialen Fahrzeugzustand ($t=0$) dessen nächste zwei Positionen analytisch prädizieren:

Based on this representation, the following initial vehicle state ($t=0$) is used to predict the subsequent two positions analytically:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ \Psi \\ v \\ \dot{\Psi} \\ a \end{pmatrix}_t = \begin{pmatrix} 2.0 \text{ m} \\ 15.0 \text{ m} \\ -1.58 \text{ rad} \\ 12.0 \text{ m/s} \\ -1.0 \text{ rad/s} \\ 0.5 \text{ m/s}^2 \end{pmatrix}$$

Nennen Sie die vollständige Bezeichnung des CTRA-Modells. Nutzen Sie dieses anschließend, um mit Hilfe des gegebenen initialen Fahrzeugzustandes dessen nächste zwei Position (x,y) für die Zeitpunkte 0.5 s und 1.0 s zu präzisieren. Gehen Sie hierfür iterativ vor ($\Delta t = 0.5$ s) und stellen Sie Ihren Lösungsweg übersichtlich dar (6 P).

State the full name of the CTRA-model. Following that, use this model to predict the vehicle positions (x,y) for 0.5 s and 1.0 s based on the initial state given. Proceed iteratively ($\Delta t = 0.5$ s) and present your solution in a clear way. (6 P)

CTRA =

- c. Ein komplexerer Ansatz zur Prädiktion von Trajektorien ist die sogenannte Encoder-Decoder Architektur, welche in der Vorlesung vorgestellt wurde. Skizzieren Sie die Encoder-Decoder Architektur und beschriften Sie die wichtigsten Elemente. Achten Sie darauf, dass für die Eingabe sowohl die beobachtete Fahrzeugtrajektorie als auch semantische Informationen genutzt werden. (4 P)

A more complex approach for predicting trajectories is the Encoder-Decoder model which was introduced in the lecture. Draft the general model architecture and name the most important elements in it. Make sure to include the observed vehicle trajectory as well as semantic information as an input within your overview. (4 P)

- d. Vergleichen Sie das CTRA-Modell mit dem Encoder-Decoder-Modell, indem Sie jeweils einen Vor- und Nachteil beider Ansätze nennen. (2 P)

Compare the CTRA-model with the Encoder-Decoder-model by stating one advantage and disadvantage each. (2 P)

CTRA-Model

Vorteil/ *Advantage*:

Nachteil/ *Disadvantage*:

Encoder-Decoder-Model

Vorteil/ *Advantage*:

Nachteil/ *Disadvantage*:

6) Aufgabe: Globale Planung / Global Planning (15 P)

Die Planungsfunktion für das autonome Fahren kann in mehrere Unterkategorien unterteilt werden:

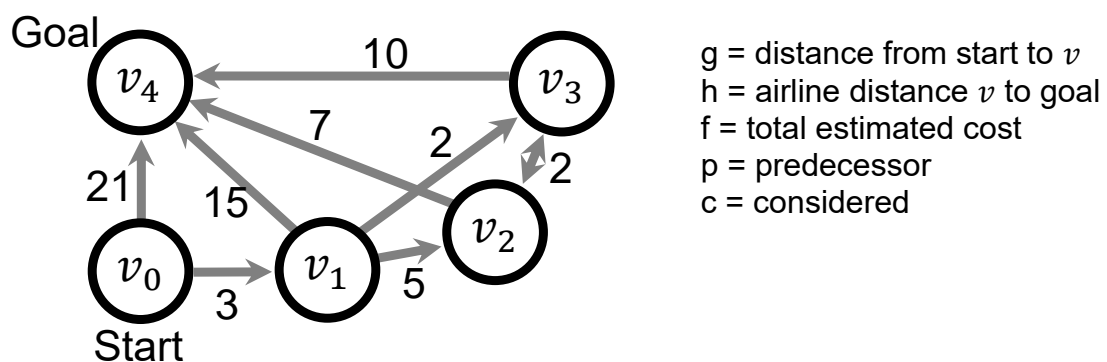
The planning function for autonomous driving can be divided into several subcategories:

- a. Erklären Sie den Unterschied zwischen Path Planning und Trajectory Planning und nennen Sie ein Beispiel in welchen Situationen das wichtig sein könnte (2 P).

Explain the difference between path planning and trajectory planning and give an example in which situations this could be important (2 P).

- b. Lösen Sie das Routensuchproblem mit Hilfe des A*-Algorithmus aus der Vorlesung. Füllen Sie hierzu die Tabelle aus, bis der Zielknoten mit den optimalen Kosten erreicht ist. Bei Knoten mit gleicher Entfernung wird der Knoten mit geringerer Namenszahl priorisiert (6 P).

Solve the route search problem using the A algorithm from the lecture. To do this, fill in the table until the destination node with optimal costs is reached. For nodes with the same distance, the node with lower number in the name is prioritized (6 P).*



Step No:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$g[v]$	0	∞	∞	∞	∞
$h[v]$	1	3	4	5	0
$f[v]$	1	-	-	-	-
$p[v]$	-	-	-	-	-
$c[v]$					

Priority Queue:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$f[v]$	1	∞	∞	∞	∞

Step No:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$g[v]$	0	3	∞	∞	21
$h[v]$	1	3	4	5	0
$f[v]$	1	6	-	-	21
$p[v]$	-	v_0	-	-	v_0
$c[v]$	✓				

Priority Queue:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$f[v]$	-	6	∞	∞	21

Step No:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$g[v]$	0	3	8	5	18
$h[v]$	1	3	4	5	0
$f[v]$	1	6	12	10	18
$p[v]$	-	v_0	v_1	v_1	v_1
$c[v]$	✓	✓			

Priority Queue:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$f[v]$	-	-	12	10	18

Step No:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$g[v]$	0	3	7	5	14
$h[v]$	1	3	4	5	0
$f[v]$	1	6	11	10	14
$p[v]$	-	v_0	v_3	v_1	v_2
$c[v]$	✓	✓	✓	✓	

Priority Queue:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$f[v]$	-	-	-	-	14

Step No:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$g[v]$	0	3	7	5	15
$h[v]$	1	3	4	5	0
$f[v]$	1	6	11	10	15
$p[v]$	-	v_0	v_3	v_1	v_3
$c[v]$	✓	✓		✓	

Priority Queue:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$f[v]$	-	-	11	-	15

Step No:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$g[v]$	0	3	7	5	14
$h[v]$	1	3	4	5	0
$f[v]$	1	6	11	10	14
$p[v]$	-	v_0	v_3	v_1	v_2
$c[v]$	✓	✓	✓	✓	✓

Priority Queue:

v	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
$f[v]$	-	-	-	-	-

- c. Ist Teilaufgabe b.) ein gutes Beispiel für A*? Begründen Sie! (2 P).
Is subtask b.) a good example of A? Give reasons! (2 P).*

Im autonomen Rennsport ist die Bestimmung der global optimalen Rennlinie essentiell für schnelle Rundenzeiten. Die zugehörige Algorithmik wird nun betrachtet.

In autonomous racing, the determination of the globally optimal racing line is essential for fast lap times. The associated algorithm is now examined.

- d. Die Verwendung von Splines ist eine Möglichkeit, um eine kontinuierliche Kurve der Renntrajektorie zu berechnen. Nennen Sie vier Randbedingungen, die zur Berechnung der Spline Parameter eingehalten werden müssen (2 P).

Using splines is one way to calculate a continuous curve of the race trajectory. Name four constraints that must be met to calculate the spline parameters (2 P).

- e. Berechnen Sie für einen vorliegenden Diskretisierungspunkt die folgenden Größen (3 P):

- Geschwindigkeit: v_i
- Longitudinale Beschleunigung: $a_{x,i}$
- Diskretisierungslänge: l_i mit potentieller longitudinaler Beschleunigung $a_{x,i}$

Gegebene Größen: $a_{y,i} = 9 \frac{m}{s^2}$, $k_i = 0.0023 \frac{1}{m}$, $a_{y,max} = 17 \frac{m}{s^2}$, $a_{x,max} = 23 \frac{m}{s^2}$, $v_{i+1} = 74 \frac{m}{s}$

Calculate the following quantities for a given discretization point (3 P):

- Velocity: v_i
- Longitudinal acceleration: $a_{x,i}$
- Discretization length: l_i with potential longitudinal acceleration $a_{x,i}$

Given quantities: $a_{y,i} = 9 \frac{m}{s^2}$, $k_i = 0.0023 \frac{1}{m}$, $a_{y,max} = 17 \frac{m}{s^2}$, $a_{x,max} = 23 \frac{m}{s^2}$, $v_{i+1} = 74 \frac{m}{s}$

$$a_{x,i} = a_{x,max} \sqrt{1 - \left(\frac{a_{y,i}}{a_{y,max}} \right)^2}$$

$$= 23 \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{9}{17} \right)^2}$$

$$= 14.51 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{y,i} = v_i^2 \cdot k_i$$

$$v_i = \sqrt{\frac{a_{y,i}}{k_i}} = 62.55$$

$$v_{i+1} = \sqrt{v_i^2 + 2 a_{x,i} \cdot l_i}$$

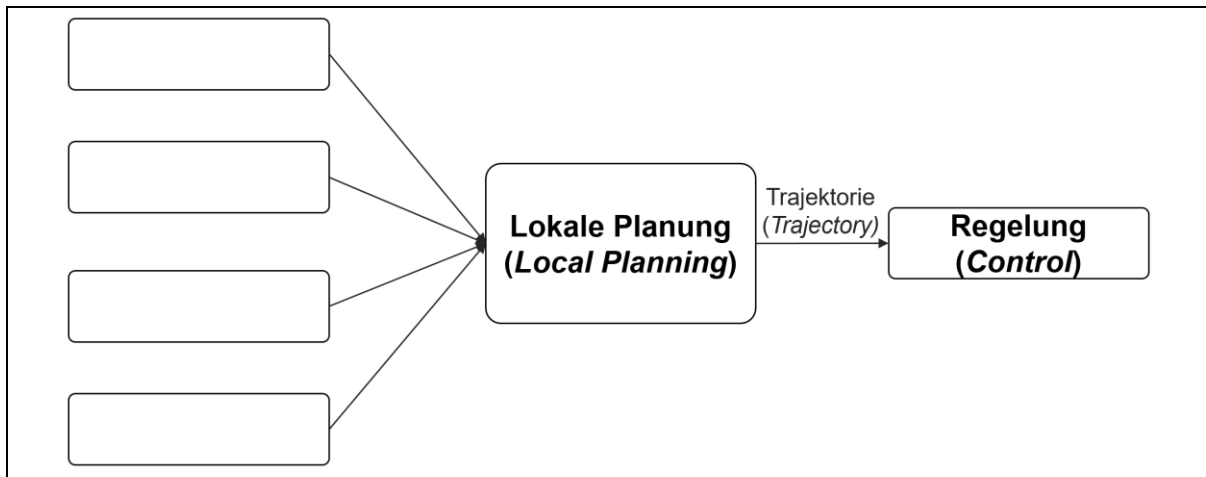
$$5476 = 3913.04$$

$$\varphi L_i = 40.06$$

7) Aufgabe: Lokale Planung / Local Planning (15 P)

- a. Füllen Sie die untenstehende Abbildung bezüglich der Schnittstellen des lokalen Planers aus. Tragen Sie dafür in die vier leeren Felder die entsprechenden vier Module ein und auf die Kanten die dazugehörigen Inputs, die der lokale Planer benötigt, um eine Trajektorie im Straßenverkehr zu planen. (4 P)

Fill out the figure below regarding the interfaces of the local planner. For this purpose, enter in the four empty fields the corresponding four modules and on the edges the associated inputs that the local planner needs to plan a trajectory in road traffic. (4 P)



- b. Nennen und erläutern Sie das Problem, welches durch die naive Erweiterung eines räumlichen Graphen um die Geschwindigkeits- und Zeitdimensionen entsteht. (2 P)

Name and explain the problem that arises from naively extending a spatial graph by velocity and time dimensions. (2 P)

- c. Ist ein Referenzpfad gegeben, ist eine Trajektorienplanung in Frénet-Koordinaten möglich. Was versteht man konkret unter Frénet-Koordinaten? Nennen Sie einen Grund, wieso Trajektorien, die in diesen Koordinaten geplant wurden, klassischerweise anschließend in kartesische Koordinaten umgerechnet werden (3 P).

If a reference path is given, trajectory planning in Frénet coordinates is possible. What specifically is meant by Frénet coordinates? Give a reason why trajectories planned in these coordinates are classically converted to Cartesian coordinates afterwards (3 P).

- d. Bei den Variationsmethoden für die lokale Trajektorienplanung wird ein Kostenfunktional $J(x(t))$ unter Berücksichtigung von Gleichungs- und Ungleichungsbedingungen minimiert, wobei $x(t)$ der auf die 2D-Ebene projizierten Position des Fahrzeug-Schwerpunktes entspricht. Es soll nun ein Kostenfunktional designt werden, durch dessen Minimierung eine Trajektorie resultiert, die einem Referenzpfad x_{ref} mit einem gewünschten Geschwindigkeitsprofil \dot{x}_{ref} folgt. Gegeben sei dafür das Kostenfunktional

$$J(x(t)) = \int_{t_0}^{t_0+T} L(x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t)) dt.$$

Formulieren und erklären Sie die notwendigen Terme von $L(x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t))$ mit den jeweiligen Gewichtungsfaktoren w_i . (4 P)

In the variational methods for local trajectory planning, a cost functional $J(x(t))$ is minimized with respect to equality and inequality constraints, where $x(t)$ corresponds to the position of the vehicle center of gravity projected onto the 2D plane. A cost functional is now to be designed whose minimization results in a trajectory that follows a reference path x_{ref} with a desired velocity profile \dot{x}_{ref} . Let the cost functional be given as

$$J(x(t)) = \int_{t_0}^{t_0+T} L(x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t)) dt.$$

Formulate and explain the necessary terms of $L(x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t))$ with the respective weighting factors w_i . (4 P)

- e. Bei der Kollisionsprüfung zweier Fahrzeuge können die Fahrzeuggeometrien mit Kreisen angenähert werden. Nennen Sie jeweils einen Vorteil und Nachteil für die Verwendung von Kreisen. Beantworten Sie weiterhin begründend, ob über- oder unterapproximierende Kreise im Straßenverkehr in Bezug auf die Sicherheit besser geeignet sind. (2 P)

In collision checking of two vehicles, circles can be used to approximate the vehicle geometries. State one advantage and disadvantage each for using circles. Further answer with reason whether overapproximating or underapproximating circles are better for safety in the traffic scenario. (2 P)

8) Aufgabe: Regelung / Control (15 P)

Eine zentrale Teilaufgabe eines autonomen Fahrzeugs ist die Einregelung einer vorgegebenen Sollgeschwindigkeit. Ein weit verbreitetes Regelungskonzept für diese Aufgabe ist der PID-Regler.

A central subtask of an autonomous vehicle is maintaining a specified setpoint velocity. A widely used control concept for this task is the PID controller.

- a. Nennen Sie die 3 Reglerverstärkungen im Regelgesetz des PID-Reglers. (3 P)
Name the 3 controller gains in the control law of the PID controller. (3 P)

Um höhere Regelgüten zu erreichen, können statt PID-Reglern sogenannte modellbasierte Regelungsverfahren eingesetzt werden. Diese werden oft in einer 2-Freiheitsgrade-Struktur eingesetzt. Dies ermöglicht es, die Sollwertfolge und die Kompensation von Störungen separat abzustimmen.

In order to achieve better control performance, so-called model-based control methods can be used instead of PID controllers. These are often used in a 2-degrees-of-freedom structure. This makes it possible to separately tune the setpoint tracking and the compensation of disturbances.

- b. Skizzieren Sie einen geschlossenen Regelkreis in einer 2-Freiheitsgrade-Struktur. Beschriften Sie die relevanten Signale eindeutig. (6 P)

Sketch a closed control-loop in a 2-degrees-of-freedom structure. Label the relevant signals clearly. (6 P)

Gegeben ist die Zustandsraumdarstellung des folgenden Systems:

Given is the state space representation of the following system:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \begin{bmatrix} -2 & a+3 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} u \\ y &= [1 \quad 0] x\end{aligned}$$

- c. Ermitteln Sie die Bedingung an den Parameter a , damit das System asymptotisch stabil ist. Hinweis: Das charakteristische Polynom der Matrix A kann mit $\det(\lambda I - A)$ berechnet werden, wobei I der Einheitsmatrix entspricht. (6 P).

Determine the constraint on the parameter a so that the system is asymptotically stable. Note: The characteristic equation of the matrix A can be calculated by $\det(\lambda I - A)$ where I corresponds to the identity matrix. (6 P).

9) Aufgabe: Teleoperation (14 P)

- a. Nennen Sie die drei wesentlichen negativen Auswirkungen, wenn Fahrzeuge unter Latenz gesteuert werden. (3 P).

List the three main negative effects when vehicles are controlled under latency. (3 P).

1.:

2.:

3.:

- b. Markieren Sie in nachstehender Tabelle, über welche Sinne der Fahrer im realen Fahrzeug im Wesentlichen die jeweiligen Informationen wahrnimmt. (5 P)

In the table below, mark the senses through which the driver in the real vehicle essentially perceives the respective information. (5 P)

Information	Visual	Vestibular	Haptic	Acoustic
Lateral Velocity				
Longitudinal Velocity				
Longitudinal and Lateral Acceleration				
Yaw Speed				
Yaw Acceleration				

- c. Erklären Sie anhand obiger Tabelle, warum das Situationsbewusstsein während der Teleoperation verringert ist (3P)

Using the table above, explain why situational awareness is reduced during teleoperation (3P).

- d. Nennen Sie die drei wesentlichen Komponenten aus denen sich die Situation Awareness nach Endsley zusammensetzt. (3 P)

List the three major components that make up situation awareness according to Endsley. (3 P)

1.:

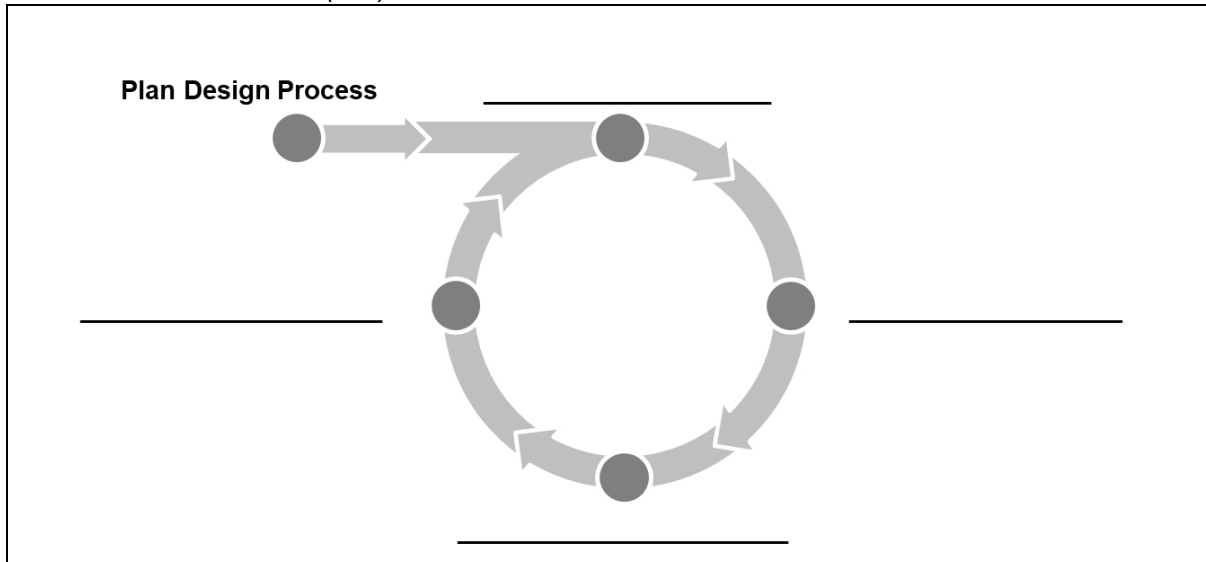
2.:

3.:

10) Aufgabe: Vom Fahrer zum Passagier / From Driver to Passenger (12 P)

- a. Benennen Sie die Schritte für ein benutzerorientiertes Vorgehen in Entwicklungsprojekten nach der Norm ISO 9241-210:2010 (4 P)

Name the steps for a user centered design in development projects according to ISO 9241-210:2010 (4 P).



- b. Nennen Sie die vier Kernbereiche der Mobility Experience und ordnen Sie folgende Begriffe jeweils einem Bereich zu: TAM, UEQ, Van der Laan, LETRAS-G (8 P).

Name the four constructs of mobility experience and match the following terms to one of these areas: TAM, UEQ, Van der Laan, LETRAS-G (8 P).

1.:

2.:

3.:

4.: