

Abgabe Meilenstein 1

11. Oktober 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	2
1.1	Hintergrund	2
1.2	Aufgabenstellung	2
2	Funktionszerlegung	3
3	Organigramm	4
4	Anforderungsliste Version 2	5
4.1	Allgemeine Anforderungen	5
4.2	Gerät	6
4.3	Parcours	8
4.4	Simulation	9
4.5	Herstellungsressourcen	10
4.6	Abbildungen	11
5	Technologierecherche	12
5.1	Quellen	12
6	Projektplan	16

1 Aufgabenstellung

1.1 Hintergrund

Studierende der Hochschule Luzern werden im Rahmen der Projektmodule Produktentwicklung 1 und 2 mit der Aufgabe betraut, gemeinsam in einem interdisziplinären Team eine Lösung für ein spezifisches Problem zu erarbeiten. Im ersten Teilmodul, PREN 1, dreht sich alles um das Thema Konzeptionierung. Jedes Team soll verschiedene Lösungsvarianten für die Aufgabenstellung ausarbeiten und bewerten. Im zweiten Semester, im Folgemodul, wird dieses Konzept finalisiert und umgesetzt. Am Ende der beiden Semester steht ein Wettbewerb an, bei dem die verschiedenen Teams mit ihren Lösungen gegeneinander antreten.

1.2 Aufgabenstellung

Es soll ein Fahrzeug entwickelt und gebaut werden, das auf einem mit Weglinien markierten Wegenetz den optimalen Weg zu einem Ziel finden soll. Dabei können drei Arten von Ereignissen auftreten, auf die das Fahrzeug reagieren muss. Ziel ist es, dass das Fahrzeug den Weg autonom und ohne externe Eingriffe findet. Das Wegenetz ist in Abbildung 1 dargestellt:

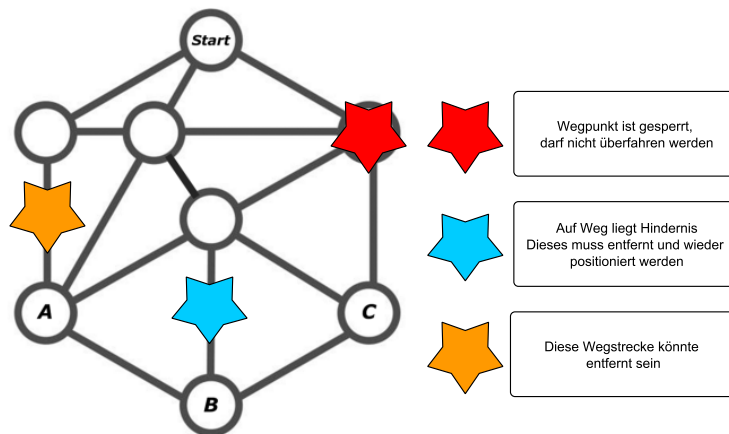


Abbildung 1: Schematische, nicht proportionale Darstellung des Wegenetz-Diagramms

Mögliche Ereignisse:

- **Gesperrter Wegpunkt** (Rot): Punkt darf nicht befahren werden.
- **Hindernis auf der Strecke** (Blau): Das Hindernis muss entfernt werden.
- **Nicht vorhandene Strecke** (Orange): Wird von Schiedsrichtern entfernt.

Die entsprechenden Ereignisse, welche auf Abbildung 1 gezeigt sind, werden vor jedem Start neu festgelegt und sind im Voraus nicht bekannt. Die Anzahl der Ereignisse ist dabei nicht beschränkt. So können auch mehrere Wegpunkte gesperrt, mehrere Linien entfernt und mehrere Hindernisse auf den Wegen positioniert sein.

Das gewünschte Ziel wird über einen physischen Wahlschalter vorgegeben, woraufhin das Fahrzeug automatisch zum Ziel manövriert. Nach dem Startkommando beginnt die Zeitmessung.

Während der Entwicklung des Fahrzeugs soll besonderes Augenmerk auf die verwendeten Materialien und deren Lieferwege gelegt werden, um auch der Nachhaltigkeit Rechnung zu tragen.

2 Funktionszerlegung

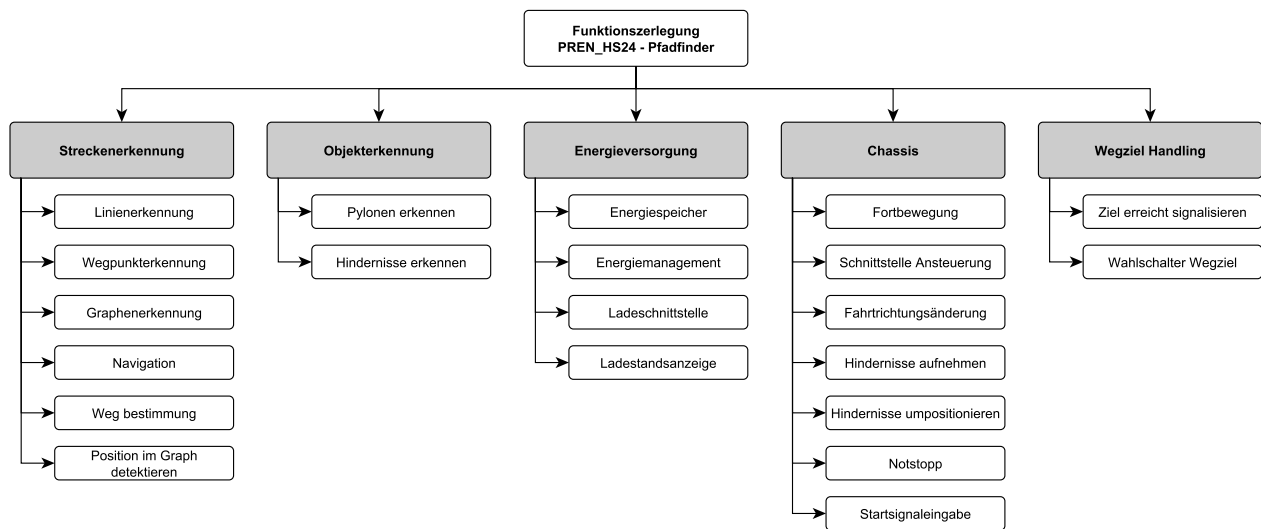


Abbildung 2: Funktionszerlegung

Abbildung 2 zeigt die Funktionszerlegung der Hauptaufgabe des Pfadfinders, einen Weg durch das Wegenetz zu finden. Dabei ist die Funktion auf einzelne notwendige Überkategorien aufgeteilt, zu welche einzelne Unterfunktionen zugeordnet sind.

Kritische umzusetzende Funktionen stellen die Streckenerkennung und Navigation dar. Von diesen Funktionen hängt die fehlerfreie Erfüllung der Aufgabe stark ab.

3 Organigramm

Die Abbildung 3 zeigt die Organisation der Projektgruppe 10. Das Team ist agil organisiert und nach Disziplinen strukturiert. Die Verantwortung für Organisation, Werkstatt und Budget ist zusätzlich auf einzelne Positionen verteilt.

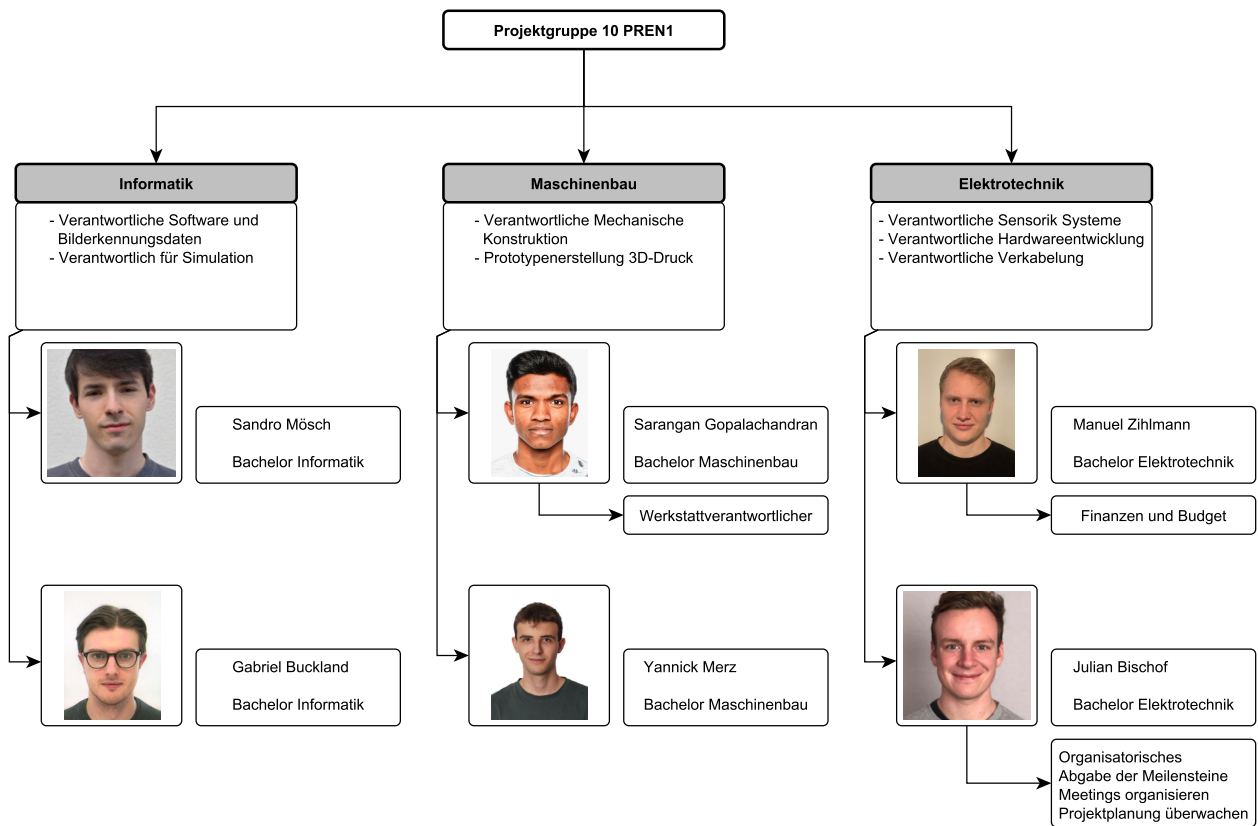


Abbildung 3: Organigramm

4 Anforderungsliste Version 2

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anforderungsliste des Pfadfinder-Fahrzeugs.

Legende

F = Festanforderung

M = Mindestanforderung

W = Wunschanforderung

4.1 Allgemeine Anforderungen

Nr.	F M W	Bezeichnung	Daten Werte Erläuterungen
1.1	W	Wettbewerb	Team 10 wird im Wettbewerb einen Podestplatz erreichen.
1.2	F	Wettbewerbsort	Voraussichtlich wird der Wettbewerb im Foyer der Mensa HSLU Technik und Architektur in Horw durchgeführt.
1.3	F	Projektabgabe	Der PREN 1 Schlussbericht ist bis zum 10. Januar 2025 abzugeben.
1.4	F	Eigenkonstruktion	Einzelne Systemkomponenten wie z.B. Räder, Servos, Motoren, Mikrocontroller, Kamera, etc. dürfen zugekauft und eingesetzt werden. Das zu realisierende Fahrzeug als Ganzes muss jedoch zwingend eine Eigenkonstruktion sein.
1.5	F	Software	Es dürfen Software-Komponenten und Software-Services von Fremd-Herstellern verwendet werden.
1.6	F	Eingriffe	Ein Eingreifen auf das Fahrzeug ist nach dem Start nicht mehr erlaubt.
1.7	F	Sicherheit	Das Team ist während sämtlichen Betriebs- und Test-Phasen verantwortlich für die Sicherheit des Fahrzeuges und den Schutz der Personen.
1.8	W	Nachhaltigkeit	Erfüllt Anforderungen nach SDG 12. Insbesondere die Unterziele 12.4 und 12.5.
1.9	W	Materialien Mechanik	Mechanikkonstruktionen vorzüglich Materialien.
1.10	W	Lieferwege	Wenn möglich Materialien und Kaufteile aus Europäischen Lagern beziehen.

4.2 Gerät

Nr.	F M W	Bezeichnung	Daten Werte Erläuterungen
2.1	F	Autonomität	Das Fahrzeug muss den vorgegebenen Parcours von Start bis Ziel ohne Zugriff von außen absolvieren können.
2.2	F	Hardwarekomponenten	Alle zum Betrieb benötigten Hardware-Komponenten wie z.B. Sensoren, Aktoren, Steuergeräte, Kamera, etc. müssen sich im oder auf dem Fahrzeug befinden.
2.3	F Soft- wa- re- kom- po- nen- ten	Alle Berechnungen und Software muss auf dem Roboter betrieben werden.	
2.4	M	Betriebsbereitschaft	Das Fahrzeug muss innerhalb von maximal einer Minute im Startbereich manuell platziert und aufgebaut werden, sowie betriebsbereit sein.
2.5	W	Gesperrte Wegpunkte	Die gesperrten Wegpunkte sollten vom Fahrzeug erkannt werden.
2.6	W	Hindernis auf Strecke	Mögliche Hindernisse sollten vom Fahrzeug erkannt werden.
2.7	F	Hindernisbewältigung	Befährt das Fahrzeug eine Strecke mit einem Hindernis, so muss dieses erkannt und aktiv von der Strecke aufgenommen werden. Sobald das Fahrzeug die besagte Stelle passiert hat, muss das Hindernis wieder an die Ursprungsposition zurückgestellt werden. Die Toleranzzone beim Zurückstellen des Hindernisses beträgt 20 mm (umlaufend).
2.8	F	Auswahl Zielposition	Die Zielposition (1, 2 oder 3) muss am Fahrzeug mittels einem Wahlschalter ausgewählt werden können.
2.9	F	Startbefehl	Der Startbefehl wird mittels einem Schalter oder Taster am Fahrzeug erteilt. Gleichzeitig wird die Sicht auf die Strecke freigegeben und die Zeitmessung gestartet.
2.10	F	Leitlinien	Das Fahrzeug muss sich während des gesamten Parcours auf den vorgegebenen Leitlinien bewegen.
2.11	F	Not-Aus	Das Fahrzeug muss über einen leicht zugänglichen Not-Aus-Knopf oder -Schalter verfügen, der alle mechanisch-dynamischen Prozesse sofort unterbricht.
2.12	F	Gewicht	Das Fahrzeug darf das Maximalgewicht von 2 kg nicht überschreiten.
2.13	W	Schutzklasse	Mindestens IP-10 sollte gewährleistet sein.
Die letzte Zeile dieser Tabelle soll über die volle Seitenbreite gehen und flexibel gefüllt werden.			

Nr.	F M W	Bezeichnung	Daten Werte Erläuterungen
2.14	F	Dimensionen	Das Fahrzeug darf die Dimensionen 30×30 cm zu jeder Zeit, ausser beim Bewegen von Hindernissen, nicht überschreiten. Zudem ist die Höhe des Fahrzeugs (oder allfälliger Anbauteile) auf maximal 80 cm beschränkt.
2.15	F	Zielposition	Das Erreichen der Zielposition muss vom Fahrzeug in einer passenden Form visuell oder akustisch angezeigt werden. Zudem muss das Fahrzeug innerhalb eines Kreises von 30 cm Durchmesser um den Zielpunkt zum Stehen kommen.
2.16	W	Energieversorgung	Die Energieversorgung soll mit einem Akku realisiert werden, der über eine physische, steckbare Schnittstelle innerhalb von 6h wieder aufgeladen werden kann.
2.17	W	Akkulaufzeit	Im aktiven Betrieb des Fahrzeugs soll eine Akkulaufzeit von mindestens 25 Minuten gewährleistet sein.
2.18	W	Debug-Schnittstelle	Die Elektronik des Fahrzeugs soll über eine Debug-Schnittstelle verfügen, die es ermöglicht, aktuelle Zustände und Signale auszulesen.
2.19	W	Controlling-Schnittstelle	Die Elektronik des Fahrzeugs soll über Schnittstelle verfügen, über welche die Aktoren aktiv angesteuert werden können.
2.20	W	Zeitmessung	Das Gerät bietet die Möglichkeit die verstrichene Zeit seit Start anzugeben. Diese Zeitmessung wird optisch oder über eine Programmschnittstelle an das Team weitergegeben.

4.3 Parcours

Nr.	F M W	Bezeichnung	Daten Werte Erläuterungen
3.1	F	Wege-Netzwerk	Das Graph-Topologie und der Startknoten sind bekannt. (Abbildung 4)
3.2	F	Zielpunkte	Die möglichen Zielpunkte sind bekannt, doch der definitive Zielpunkt wird erst unmittelbar vor dem Start des Parcours von der Juri bekannt gegeben und ist vorher nicht bekannt. (Abbildung 4)
3.3	F	Wegpunkte	Insgesamt gibt es acht Wegpunkte. Die Wegpunkte sind aufgeklebte Vollkreise (weiss) mit einem Durchmesser von 7 bis 12 cm. (Abbildung 5)
3.4	F	Untergrund	Der Untergrund entspricht dem Bodenbelag des Foyers der Mensa auf dem Campus der Hochschule Luzern für Technik und Architektur in Horw. (Abbildung 6)
3.5	F	Leitlinien	Die Wegpunkte sind mit hellen Leitlinien (aufgeklebtes Klebeband) verbunden. Die Breite der Leitlinien beträgt ca. 20 mm.
3.6	F	Abmessungen	Der Abstand der Wegpunkte ist variabel zwischen 0.5 bis 2.0 m. Die Gesamtfläche des Wege-Netzwerkes beträgt ca. 4.5 x 4.5 m.
3.7	F	Gesperrte Wegpunkte	Die gesperrten Wegpunkte dürfen nicht befahren werden. Sie sind bis zum Start unbekannt und mittels einem Leitkegel gekennzeichnet.
3.8	F	Hindernis auf Strecke	Die Strecke darf befahren werden, doch das Hindernis muss aktiv von der Strecke aufgenommen und am gleichen Ort wieder zurückgestellt werden.
3.9	F	Nicht vorhandene Teilstrecken	Leitlinien können aus dem Wege-Netzwerk entfernt werden. Die entsprechenden Verbindungen können nicht befahren werden.
3.10	F	Streckenbedingungen	Die Streckenbedingungen (Sperrung, Hindernisse, nicht vorhandene Teilstrecke) sind bis zum Start unbekannt.
3.11	F	Startbereich	Die Grösse des Startbereichs beträgt 30 x 30 cm. Das Fahrzeug darf diese Dimensionen nicht überschreiten.
3.12	F	Start	Sobald die Sicht auf die Strecke freigegeben wird, beginnt ebenfalls die Zeitmessung.
3.13	M	Parcours-Laufzeit	Die Laufzeit von Start bis Ziel darf maximal vier Minuten betragen. Wird das Ziel innert vier Minuten nicht erreicht, ist der Lauf ungültig.

4.4 Simulation

Nr.	F M W	Bezeichnung	Daten Werte Erläuterungen
4.1	F	Betriebssystem	Die Simulation muss auf Windows ausführbar sein.
4.2	W	Betriebssystem	Die Simulation soll auf Linux und auch Windows ausführbar sein.
4.3	W	Benutzeroberfläche	Den Wegstrecken und Netzwerkknoten können beliebige Streckenereignisse zugewiesen werden.
4.4	M	Darstellung	Die Simulation muss 2-dimensional dargestellt werden.
4.5	W	Darstellung	Die Simulation kann 3-dimensional dargestellt werden.
4.6	W	Pfadfindungsalgorithmen	In der Simulation sollen verschiedene Pfadfindungsalgorithmen (z.B. Dijkstra, A*-Algorithmus, etc.) implementiert werden für eine direkte Gegenüberstellung in Zuverlässigkeit und Schnelligkeit.
4.7	W	Zeitauswertung	In der Simulation soll eine approximierte Zeitauswertung, basierend auf heuristischen Abschätzungen, möglich sein.
4.8	W	Visualisierung des Pfades	Der vorgeplante Pfad soll während der Simulation angezeigt werden, um das Verhalten des Fahrzeugs besser nachvollziehen zu können.
4.9	W	Hindernistypen	Verschiedene Arten von Hindernissen (beweglich und stationär) sollen simuliert werden können.
4.10	W	Fahrzeugparameter	Fahrzeugparameter (Geschwindigkeit, Wendekreis, Sensorreichweite, etc.) sollen editierbar sein.
4.11	W	Datenexport	Die Daten, welche während der Simulation generiert werden, sollen exportierbar sein.
4.12	W	Error-Handling	Der Simulator muss robust auf Fehler reagieren und darf keinesfalls abstürzen. Zudem sollen Fehlerzustände abgefangen und klar dokumentiert werden.

4.5 Herstellungsressourcen

Nr.	F M W	Bezeichnung	Daten Werte Erläuterungen
5.1	W	Materialbeschaffung	Materialien und Komponenten sollen vorzugsweise von folgenden Lieferanten bestellt werden: <ul style="list-style-type: none"> - Conrad Electronic - Distrelec - Mädlar - Farnell
5.2	F	Budget	Für die Realisierung des Projekts stehen dem Team insgesamt 500 CHF zur Verfügung. Davon dürfen maximal 200 CHF in PREN 1 ausgegeben werden.
5.3	F	Normteile ab HSLU Lagerbestand	Normteile (Schrauben, Lager, Rohmaterial, Widerstände, Kondensatoren, etc.) aus dem HSLU Lagerbestand dürfen kostenlos verwendet werden.
5.4	F	Persönlicher 3D-Drucker	Wird für das Projekt ein persönlicher 3D-Drucker verwendet, so muss die verarbeitete Menge ausgewiesen werden.
5.5	F	Herstellungs-ressourcen der HSLU	Dem Team stehen für die Umsetzung des Projekts (PREN 1 und PREN 2) die folgenden Ressourcen der HSLU zur Verfügung: <ul style="list-style-type: none"> - maximal 25 h Maschinenlaufzeit der 3D-Drucker - maximal 1 h Maschinenlaufzeit des Lasergeräts - maximal 10 Arbeitsstunden des Werkstattpersonals Elektrotechnik - maximal 10 Arbeitsstunden des Werkstattpersonals Maschinenteknik

4.6 Abbildungen

Folgend sind sämtliche Abbildungen aufgeführt, auf die in der Anforderungsliste referenziert wurde.

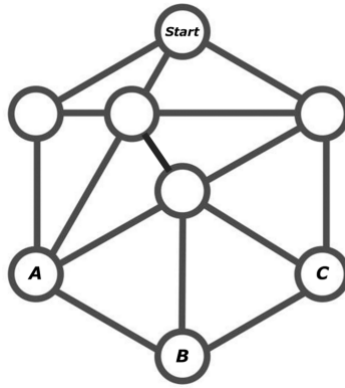


Abbildung 4: Vorgegebenes Wege-Netzwerk mit Start- und Zielpositionen A-B-C

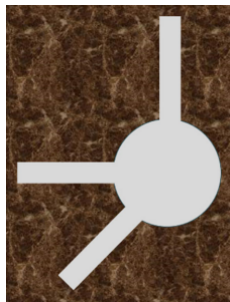


Abbildung 5: Typischer aufgeklebter Wegpunkt



Abbildung 6: Fliesenboden im Foyer der Mensa

5 Technologierecherche

Die nachfolgende Quellensammlung in Tabelle 1 dient als Übersicht zur Technologierecherche und wird im Laufe des Projekts weitergeführt, um die verwendeten Quellen im Ausblick auf die Schlussdokumentation zu sammeln. Die unter Grade aufgeführten Werte dienen zur Bewertung der Relevanz der Quellen für das Projekt und deren weiterführende Benutzung.

5.1 Quellen

Thema	Stichwort	Grade	Quelle	Beschreibung
Simulator	Pfadfindung	2	Link	Visualisierung verschiedener Pfadfindungsalgorithmen.
Simulator	Pfadfindung	5	Link	Performance Evaluation von Pfadfindungsalgorithmen.
Simulator	Graph	3	Link	Erstellung von 2D Graphen.
Simulator	2D-Simulation für autonome Fahrzeuge	4	Link	Simulationstool für Visualisierung.
Simulator	Sensoren und KI	4	Link	Programmierung von Sensoren und neuronalen Netzen in Javascript.
Simulator	Physik Auto	4	Link	Simulation eines realistischen Fahrverhaltens.
Simulator	Editierbare Benutzeroberflächen	5	Link	Benutzerfreundliche Oberfläche.
Simulator	Pfadfindung, Berechenbarkeit	8	Link	Übersicht und Visualisierung verschiedener fortgeschrittener Pfadfindungsalgorithmen.
Simulator	Pfadfindung	6	Link	State Space Exploration: Grundlagen der Graphenexploration.
Simulator	Pfadfindung	5	Link	Übersicht über Model Predictive Path Integral (MPPI).
Simulator	Pfadfindung, Optimierungen	7	Link 1, Link 2	Markov Decision Processes (MDP): Modellierungen von Entscheidungen bei ungewissem Ausgang, welcher Weg ist wahrscheinlich der schnellste im Graph.
Simulator	Pfadfindung	7	Link	Detaillierte Beschreibung des D* Lite Algorithmus.

contd

Tabelle 1: Quellensammlung

Tabelle 1 – Fortsetzung

Thema	Stichwort	Grade	Quelle	Beschreibung
Simulator	Pfadfindung	4	Link	Euclidean Distance Transform für heuristische Entscheidungen bei Graphenproblemen.
Sensorik	Raumwahrnehmung, Image Processing	5	Link	Depth Perception: Grundlagen für Raumwahrnehmung bei der Bildverarbeitung.
Sensorik	Homographie, Image Processing	5	Link	Informationen, um verzerrte Bilder in verschiedene Perspektiven zu transformieren.
Sensorik	Kantenerkennung, Image Processing	9	Link 1, Link 2	Erkennung von Kanten in Bildern, ermöglicht rudimentäre Kollisionserkennung.
Sensorik	Image Processing	8	Link	Analyse von mehreren SLAM Algorithmen.
Elektrotechnik - Antriebe	BLDC Grundlagen	10	Link	Application Note: Grundlagen BLDC Motoren.
Elektrotechnik - Antriebe	BLDC Grundlagen	6	Link	Application Note: Grundlagen BLDC Motoren.
Elektrotechnik - Antriebe	Brushless DC Motor Fundamentals	7	Link	Application Note: Grundlagen BLDC Motoren.
Elektrotechnik - Antriebe	Stepping Motors Fundamentals	10	Link	Application Note: Grundlagen Schrittmotoren.
Elektrotechnik - Antriebe	Stepping Motors Fundamentals	7	Link	Application Note: Grundlagen Schrittmotoren.
Elektrotechnik - Antriebe	Stepper Motor Reference	7	Link	Application Note: Grundsaltungen Schrittmotoren.
Elektrotechnik - Energiemanagement	Li-Ion Batterie	5	Link	Buch: Lithium-Ionen Batterien.
Elektrotechnik - Energiemanagement	Li-Ion Basics	8	Link	Buch: Batterietypen.
Elektrotechnik - Energiemanagement	Recycling Li-Ion; Li-Ion	/	Link	Buch: Recycling.
Elektrotechnik - Energiemanagement	Li-Ion Battery	10	Link	Buch: Verschiedene Batterietypen.

contd

Tabelle 1: Quellensammlung

Tabelle 1 – Fortsetzung

Thema	Stichwort	Grade	Quelle	Beschreibung
Elektrotechnik - Energiema- nagement	NiCad Battery Charge	5	Link	Beschreibung: NiCad vs. NiMH Batterien.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	NiCad Battery Basics	10	Link	Buch: Grundlagen Nickel-Batterien, Ladevorgänge.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	Lead Acid Batteries; Batteries; Ni-Cd Batteries	10	Link	Buch: Verschiedene Batterietypen sowie Ladeverfahren.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	Lead Acid Battery	6	Link	Research Paper über Blei-Akkumulatoren.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	Lead Acid Battery Charge	4	Link	Application Note über Ladeverfahren zu Blei-Akkumulatoren.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	Lead Acid Battery	2	Link	Research Paper zu Blei-Akkumulatoren.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	Battery Management; Li-Ion Battery	8	Link	Buch über Batteriemanagementsysteme für Li-Ion Akkus.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	Battery Management; Li-Ion Battery	7	Link	Buch über Batteriemanagement und Li-Ion Akkus.
Elektrotechnik - Energiema- nagement	Battery Management; Li-Ion Battery	6	Link	Buch über Batteriemanagement und Li-Ion Akkus.
Elektrotechnik - Sensoren	LiDAR und Ultraschall	3	Link	Unterschied von LiDAR und Radar für Abstandsmessung.
Elektrotechnik - Sensoren	Abstandsmessung	4	Link	Möglicher LiDAR Sensor mit Time-of-Flight.
Elektrotechnik - Sensoren	Abstandsmessung	4	Link	Möglicher Ultraschallsensor.
Elektrotechnik - Sensoren	Pfadfindung	5	Link	Verschiedene Sensoren für die Pfadfindung.
Elektrotechnik - Sensoren	Pfadfindung	4	Link	Möglicher Infrarotsensor für die Pfadfindung.

contd

Tabelle 1: Quellensammlung

Tabelle 1 – Fortsetzung

Thema	Stichwort	Grade	Quelle	Beschreibung
Elektrotechnik - Sensoren	Pfadfindung	3	Link	Geschwindigkeit und Strecke berechnen mit Hallsensor.
Elektrotechnik - Sensoren	Streckenerkennung	8		
Maschinenbau	Mecanum Wheels Overview	5	Link	Überblick über Mecanumräder und deren Verwendungszweck in der Industrie.
Maschinenbau	Räder	7	Link	Überblick und Auswahl verschiedener Rädertypen für einen Roboter.
Maschinenbau	Greifer	7	Link	Funktionsweise von verschiedenen Greifermechanismen.
Maschinenbau	Greifer	4	Link	Auswahl an Greifern und Linearführungen.
Maschinenbau	Greifer	6	Link	Funktionsweise von verschiedenen Greifermechanismen.
Maschinenbau	Linearführung	5	Link	Überblick an Linearführungen.
Maschinenbau	Material	2	Link	Materialauswahl für Chassis.
Maschinenbau	Roboterkinematik	7	Link	Roboterkinematik für fahrende Systeme inklusive Linienverfolgung.
Maschinenbau	Bewegungsarten	5	Link	Verschiedene Bewegungsarten für Roboter.
Maschinenbau	Robotik	6	Link	Grundlagen der Robotik.

Tabelle 1: Quellensammlung

6 Projektplan

