

## Aufgabenstellung Logistics Lab

Die Aufgabenstellung des Logistics Lab besteht aus den folgenden drei Teilaufgaben. Die Bearbeitung erfolgt in der Regel als Gruppe. Die Vorgehensweise zur Lösung der Teilaufgaben und die erzielten Ergebnisse sind in Form eines Berichts zu dokumentieren. Dieser ist Grundlage der Beurteilung der Logistics Lab-Veranstaltung.

### **Hintergrund, Motivation**

In einer flexiblen Werkstattfertigung soll eine Reihe von Gütern möglichst effizient, d. h. in kurzer Zeit gemessen am Fertigstellungszeitpunkt des letzten Auftrags zwischen sechs unterschiedlichen Maschinen durch ein Fahrerloses Transportsystem transportiert werden. Die Planungsaufgabe besteht in der Realisierung einer Auftragszuordnung für das Transportsystem. Dafür sind in einem Einsatzplan

- die Aufträge den Fahrzeugen zuzuordnen und
- eine Abarbeitungsreihenfolge festzulegen.

Die Berechnung einer optimalen Abarbeitungsreihenfolge ist aus mathematischer Sicht sehr anspruchsvoll und wird in der Literatur u. a. als *Pickup and Delivery Problem* diskutiert. Ziel der Aufgabenstellung ist eine Auseinandersetzung mit der Problemstellung und die Realisierung eines Ansatzes zur Berechnung einer geeigneten Lösung.

Darüber hinaus sollen im Rahmen von Experimenten einzelne Transport- bzw. Fahraufträge mit *Lego Mindstorms* (oder bei Bedarf mit TurtleBots) simuliert werden. Hierbei sollen Fähigkeiten zur Programmierung bzw. Steuerung von Aktorik und Sensorik vermittelt und angewendet werden. Die Auswertung der Experimente spannt außerdem den Bogen zurück zur Realisierung des Materialflusses in einer flexiblen Werkstattfertigung und bildet die Basis zur Diskussion, inwieweit die berechneten, mitunter optimalen Einsatz- bzw. Transportpläne realistisch durchgeführt werden können.

### **Bewertung**

Die Bewertung der Veranstaltung erfolgt auf Grundlage des abzugebenden Berichts. Darin wird vor allem auch die Herangehensweise zur Problemlösung und letztlich die Lösungsgüte der berechneten Einsatzpläne gewürdigt (Aufgabe 1). Weiter bilden das Protokoll über die Experimente (Aufgabe 2) und die inhaltlich korrekte Diskussion der Aufgabe 3 Schwerpunkte der Leistungsbeurteilung.

## Aufgabe 1

Erstellen Sie ein Konzept zur Berechnung eines gültigen sowie möglichst optimalen Einsatzplanes der Fahrzeuge, d. h. einer Auftragszuordnung (Zuweisung Fahrzeuge und Reihenfolge) für das nachfolgend dargelegte Beispielproblem und geben Sie eine Lösung an. Berücksichtigen Sie dabei die folgenden Annahmen und Vereinfachungen.

### Layout

Die Koordinaten bzw. Anordnung der einzelnen Maschinen (nummerierte Kreuze) in einem Hallenlayout (graue Fläche) kann Abbildung 1 entnommen werden. Die gesamte Fläche ist befahrbar und es befinden sich keine statischen oder dynamischen Hindernisse im Layout.

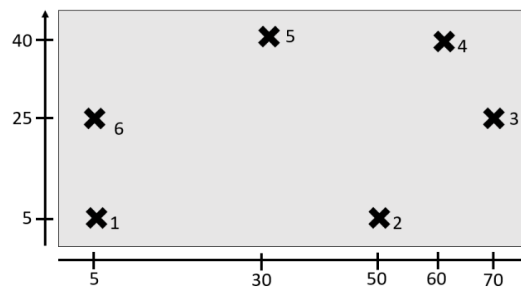


Abbildung 1: Layout mit Koordinaten (Längeneinheiten) der Halle (graue Fläche) und Maschinen (nummerierte Kreuze)

### Transportaufträge

Der Auftragspool (siehe Tabelle 1) ist im Vorfeld komplett bekannt und statisch. Ferner soll gelten:

- Ein einzelner Auftrag hat keinen bestimmten Liefer- oder Abholzeitpunkt. Stattdessen muss der Auftragspool als Ganzes abgearbeitet werden.
- Die Aufträge sind homogen, d. h. es liegen keine geforderte Reihenfolge oder Priorisierung vor.

Es sollen folgende Transporte zwischen den Maschinen durchgeführt werden (die Aufträge/Übersicht wird ebenfalls in der Datei transport\_demand.txt bereitgestellt):

Start	Ziel	Anzahl		Start	Ziel	Anzahl
1	2	5		4	1	2
1	3	0		4	2	7
1	4	9		4	3	10
1	5	10		4	5	5
1	6	3		4	6	1
2	1	3		5	1	5
2	3	7		5	2	0
2	4	3		5	3	1
2	5	8		5	4	2
2	6	10		5	6	2
3	1	2		6	1	10
3	2	3		6	2	10
3	4	7		6	3	9
3	5	6		6	4	4
3	6	0		6	5	5

Tabelle 1: Transporte zwischen den einzelnen Maschinen (vgl. Abbildung 1); Beispiel aus Zeile eins links: Von Maschine 1 nach Maschine 2 müssen insgesamt 5 Güter transportiert werden.

### Transportfahrzeuge

Die Fahrzeugflotte ist homogen. Die einzelnen Fahrzeuge haben eine Kapazität von 1, d. h. es kann maximal eine Transporteinheit (Transportauftrag) transportiert werden. Jedes Fahrzeug kann und darf jeden Auftrag ausführen. Grundsätzlich sind „Doppelspiele“ möglich, d. h. ein Fahrzeug kann an einer Station eine Transporteinheit abgeben und anschließend eine weitere Transporteinheit an derselben

Station aufnehmen. Initial befindet sich Fahrzeug  $i$  bei Maschine  $i$ , d. h. Fahrzeug 1 bei Maschine 1, Fahrzeug 2 bei Maschine 2 usw.

Für das Einsatzplanungsproblem gelten in Hinblick auf die Fahrzeuge folgende Annahmen und Vereinfachungen:

- Fahrzeuge sind zu 100% einsatzbereit und fallen nie aus.
- Es fallen keine Tot-, Neben- und Handhabungszeiten an.
- Alle Fahrzeuge fahren auf direktem Weg zwischen den Maschinen (euklidische Distanz).
- Die Fahrzeuge sind dimensionslos. Es finden also keine Konflikte zwischen den Fahrzeugen statt womit keine Ausweichmanöver von Nöten sind.
- Die Maschinen sind dimensionslos, d. h. die Fahrzeuge fahren exakt zu den angegebenen Koordinaten der Maschinen (siehe Abbildung 1), um ein Transportgut aufzunehmen oder abzugeben.
- Fahrzeuge haben eine unendliche Reichweite, können also unendlich weit/lange fahren.
- Fahrzeuge fahren durchgängig mit der maximalen Geschwindigkeit von 1 Streckeneinheit/Zeiteinheit.

### **Szenarien**

Ziel ist eine effiziente, also schnellstmögliche Abarbeitung des gesamten Auftragspools. Hierzu soll jeweils ein Einsatzplan für folgende drei Szenarien erstellt werden:

- Szenario 1: Die Fahrzeugflotte besteht aus 1 Fahrzeug.
- Szenario 2: Die Fahrzeugflotte besteht aus 3 Fahrzeugen.
- Szenario 3: Die Fahrzeugflotte besteht aus 5 Fahrzeugen.

### **Vorgehensweise**

Empfohlen wird eine skriptbasierte Berechnung/Erstellung des Einsatzplanes (des Fahrplanes) für die drei Szenarien mittels einer selbstgewählten Programmiersprache (vorzugsweise python). Andere Herangehensweisen und Programmieransätze sind jedoch ebenfalls möglich.

### **Ergebnis**

Die Ergebnisse/Einsatzpläne werden im Nachgang bewertet (Validierung und Simulation). Dazu müssen sie in einer Textdatei nach folgendem Muster gespeichert werden und folgende Informationen enthalten:

<b>Fahrzeug-ID</b>	<b>Maschine</b>	<b>Entladen</b>	<b>Beladen</b>
1	1	0	1
1	2	1	1
1	6	1	0
...	...	...	...
2	2	0	1
2	1	1	0
2	4	0	1
...	...	...	...
3	3	0	1
3	4	1	1

Die Separierung erfolgt spaltenweise mittels Semikolon („;“) und zeilenweise mittels Zeilenumbruch. Eine Beispieldatei zur Orientierung wird Ihnen bereitgestellt („schedule.txt“).

Das Format im Detail: Eine Zeile entspricht genau einer Maschine, an der ein Fahrzeug (Fahrzeug-ID) eine Aktion ausführt (Entladen, Beladen). Zeile 1 bedeutet also, dass Fahrzeug 1 an Maschine 1 ein Transportgut aufnimmt. Zeile 2 bedeutet, dass anschließend Fahrzeug 1 an Maschine 2 das Transportgut entlädt und ein weiteres belädt. Zeile 3 bedeutet, dass Fahrzeug 1 an Maschine 6 das Transportgut wieder entlädt. Die Tabelle muss nach Fahrzeugen sortiert werden. Also erst alle Stationen und Aktionen von Fahrzeug 1, dann alle Stationen und Aktionen von Fahrzeug 2 usw. Grundsätzlich betrachtet gibt diese Tabelle also exakt eine Route (Reihenfolge von Maschinen) für jedes Fahrzeug vor.

### ***Validierung***

Die Validierung von Lösungen, konkreter Einsatzpläne kann selbstständig erfolgen. Das zur Verfügung gestellte python-Skript *validation.py* erlaubt die Überprüfung und Bewertung. Um es zu nutzen, muss der Einsatzplan mit oben beschriebenen Inhalt erstellt und als Datei mit dem Namen „schedule.txt“ in einem gemeinsamen Ordner mit den Dateien „validation.py“ sowie „transport\_demand.txt“ (siehe Abschnitt „Transportaufträge“) gespeichert werden. Weiter muss eine geeignete python-Installation auf den verwendeten PC vorhanden sein. Anschließend kann das python-Skript validation.py ausgeführt werden (bei korrekt gesetzten Umgebungsvariablen bspw. mittels Konsolenbefehl „python – evaluation.py“) und liefert Hinweise auf Syntaxfehler, Logikfehler (z. B. Einhaltung der Kapazität) und die Einhaltung der Erfüllung aller Transporte. Bei gültiger Lösung wird außerdem die Gesamtbearbeitungszeit ausgegeben.

### ***Dynamische Simulation***

Die Simulation von Einsatzplänen wird durch die Mitarbeiter der Professur mit einem speziellen Simulator durchgeführt. Dazu wird auf Grundlage der Datei „schedule.txt“ ein geeignetes Szenario simuliert und in einer Konsultation stellvertretend für weitere Einsatzpläne präsentiert. Die Erkenntnisse der Simulation sollen Grundlage für die Diskussionen in Aufgabe 3 sein.

## Aufgabe 2

Für diese Teilaufgabe wird Ihnen ein Lego Mindstorms-Bausatz oder, auf ausdrücklichen Wunsch, ein TurtleBot für ein Transportfahrzeugmodell eines FTS zur Verfügung gestellt.

*Für den Lego Mindstorms-Bausatz:* Bauen Sie das Fahrzeug entsprechend der bereitgestellten Bauanleitung auf und programmieren Sie es. Die Programmierung kann u. a. durch die Entwicklungsumgebung Lego-EV3 erfolgen – diese kann unter folgendem Link heruntergeladen werden:

<https://www.lego.com/de-de/themes/mindstorms/downloads>

Ziel der Aufgabe ist es, das Fahrzeug hinsichtlich der Fahrzeiten zum Abfahren einer definierten Strecke zu charakterisieren. Es sollen drei verschiedene Experimente durchgeführt und jeweils die Fahrzeiten dokumentiert werden:

### Experiment 1 (freie Fahrt)

- Das Fahrzeug soll ohne weitere Sensorik eine Strecke von 2 m geradeaus zurücklegen.

### Experiment 2 (Folgen einer Spur)

- Das Fahrzeug soll mit Hilfe seiner Sensorik einer definierten 2 m langen Geradeausspur folgen. Markieren Sie hierzu die Strecke auf dem Boden (bspw. mittels Isolierband).

### Experiment 3 (Umfahren eines Hindernisses)

- Das Fahrzeug soll mit Hilfe seiner Sensorik eine definierte Strecke abfahren und dabei ein fiktives Hindernis umfahren. Markieren Sie hierzu die Strecke auf dem Boden (bspw. mittels Isolierband). Folgende Spur soll abgefahren werden (siehe Abbildung 2).

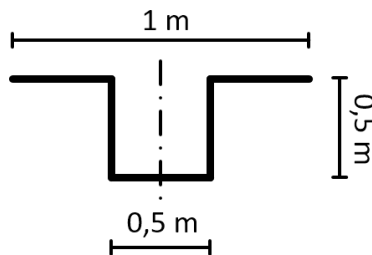


Abbildung 2: Fahrspur zum Umfahren eines Hindernisses

Achten Sie auf eine hinreichende Anzahl an Wiederholungen der Experimente, sodass eine Auswertung, insbesondere auch die Analyse der Streuung der Fahrzeiten, möglich wird.

Die Vorbereitung, Durchführung der Experimente sowie deren Ergebnisse sollen in Form eines Protokolls

- in nachvollziehbarer Form dokumentiert,
- in geeigneter Weise dargestellt und
- ausgewertet/analysiert

werden.

*Für den TurtleBot:* Sie können die Aufgabestellung auch mittels eines TurtleBots bearbeiten. In diesem Fall kann aber nur eingeschränkt Unterstützung seitens des Lehrstuhls geleistet werden. Die Fragestellungen, Anforderungen und Inhalte der Experimente sind identisch zu den oben beschriebenen.

### **Aufgabe 3**

Zur Erstellung des Einsatzplans in Aufgabe 1 wurden Annahmen getroffen. Setzen Sie sich insbesondere vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Feldexperimente aus Aufgabe 2 kritisch mit den getroffenen Annahmen auseinander, zum Beispiel: Was bedeutet das für die Umsetzung des in Aufgabe 1 berechneten Einsatzplanes in der Realität? Geben Sie eine Abschätzung für die Gesamtbearbeitungszeit in der Realität an und begründen Sie Ihre Einschätzung.