



# Das Logistics Lab: Vom Block- zum asynchronen Hybridpraktikum

P. Boden, S. Rank, K.-B. Reith, T. Schmidt

*Professur für Technische Logistik, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität Dresden*

## Abstract

Der Beitrag zeigt, wie das Praktikum „Logistics Lab“ vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie von einer konventionellen Präsenzveranstaltung erst in ein Online- und anschließend in ein Hybridformat überführt wurde bzw. wird. Die Pandemie übernahm dabei die Funktion eines Entwicklungsbeschleunigers, da bestehende Konzepte binnen kurzer Frist hinterfragt und neu ausgerichtet werden mussten. Dabei besteht der Anspruch des Lehrstuhls, eine vorteilhafte Kombination zwischen einer Weiterentwicklung einerseits und der Beibehaltung etablierter Inhalte und Lehrkonzepte andererseits zu erreichen.

The article describes, driven by the Corona pandemic, how the „Logistics Lab“ laboratory course was / is being transformed from a conventional face-to-face course into an online and now a hybrid format. The pandemic acted as a catalyst for change, as concepts had to be recapped and realigned within a short period of time. The chair's aim is to find an advantageous balance of further development on the one hand and the retention of established content and teaching concepts on the other hand.

\*Corresponding author: [patrick.boden@tu-dresden.de](mailto:patrick.boden@tu-dresden.de)

## 1. Einleitung

Praktika sind ein Kernelement der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Sie ermöglichen den Studierenden, theoretisches Wissen selbstständig in einem praxisorientierten Kontext anzuwenden, es kritisch einzuordnen und somit berufsbezogene, praktische Kompetenzen zu erwerben (vgl. [1]).

Die Konzipierung von Praktika ist aufwendig und anspruchsvoll. Dies führt dazu, dass ein bestehendes Konzept in der Regel über mehrere Semester beibehalten wird. Vor dem Hintergrund sich regelmäßig wandelnder Anforderungen durch die Corona-Pandemie, war und ist nunmehr eine hohe Flexibilität und Anpassungsgeschwindigkeit notwendig. Dabei ist es Ziel des Lehrstuhls, ein geeignetes Maß zwischen einer Weiterentwicklung des Praktikums einerseits und der Beibehaltung von Bewährtem andererseits zu erzielen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt, wie die Lehrveranstaltung „Logistics Lab“ in diesem Kontext von einer konventionellen Präsenzveranstaltung in ein Online- und nachfolgend ein Hybridformat überführt wurde bzw. wird.

Hierzu wird das Praktikum zunächst hinsichtlich seiner Ausrichtung eingeordnet und seines Inhaltes beschrieben (siehe Abschnitt 2 und 3). Anschließend werden die einzelnen Entwicklungsstufen aufgezeigt (siehe Abschnitt 4). Dabei wird zwei Aspekten ein besonderer Fokus eingeräumt: Der Analyse der in den eingereichten Berichten dokumentierten Ergebnisse der Studierenden aus dem onlinebasierten Praktikumsformat (siehe Abschnitt 5) und der inhaltlichen Erweiterung des Praktikums um eine neuartige Datenübertragungstechnologie (siehe Abschnitt 6). Abschnitt 7 fasst den Beitrag und speziell die Erkenntnisse des Transformationsprozesses zusammen.

## 2. Einordnung des Praktikums

Das „Logistics Lab“ ist ein Praktikum, welches von der Professur für Technische Logistik jedes Semester angeboten wird. Die Ziele der Veranstaltung bestehen darin, Studierenden sämtlicher Semester, verschiedener Fachrichtungen ohne domänenspezifisches Vorwissen den Umgang mit Aktorik und Sensorik sowie deren Programmierung anhand einfacher Modelle näherzubringen.

Übergeordnet ist das Praktikum daran ausgerichtet, den Studierenden beim Kompetenzerwerb in den für Ingenieurstudiengänge typischen Anforderungsbereichen zu unterstützen (vgl. [2]). Dabei sollen Fähigkeiten vermittelt werden, um

- notwendige Grundlagen anhand der Recherche von Literatur zu erfassen,
- Simulationen durchzuführen sowie deren Ergebnisse zu interpretieren,
- Experimente zu planen, durchzuführen und auszuwerten, um daraus geeignete Schlüsse zu ziehen,
- mittels Fehleranalyse und Unsicherheiten die Aussagekraft von Experimenten korrekt einzuordnen und
- die Gestaltung von Anlagen und Prozessen zu bewerten.

Im Zentrum stehen, der Ausrichtung des Lehrstuhls entsprechend, Aufgaben zur Steuerung und Dimensionierung von Transportsystemen der innerbetrieblichen Logistik. Die Inhalte des „Logistics Lab“ orientieren sich an aktuellen Forschungsschwerpunkten der Professur – speziell an der Steuerung Fahrerloser Transportsysteme (FTS, siehe Abbildung 1) mit Aspekten der Auftrag-zu-Fahrzeug-Zuordnung, der Fahrkurswahl und der Positionserfassung.



Abbildung 1: Beispiel eines FTS in der Intralogistik [3].

Für das Praktikum stehen aus dem eigenen Bestand insgesamt 15 Lego Mindstorms Roboter sowie 15 Turtlebot-Plattformen zur Verfügung (siehe Abbildung 2). Beide Systeme wurden speziell für die Lehre an Schulen und Universitäten entwickelt und erlauben den Aufbau praxisnaher Fahrroboter in Miniatur. Sie ermöglichen sowohl einen niederschweligen Arbeitseinstieg als auch die Bearbeitung komplexer Aufgaben.

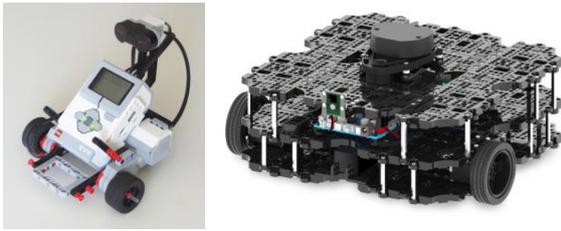


Abbildung 2: FTS-Transportfahrzeugmodelle – Lego Mindstorms (links) und Turtlebot (rechts) [4], [5].

### 3. Inhalte des Praktikums

Bedingt durch die gewollt niedrigschwelligen Teilnahmevoraussetzungen des Praktikums, besteht eine wesentliche Herausforderung in der Konzipierung von Aufgaben, welche Studierenden mit unterschiedlichsten Vor- und Fachkenntnissen gerecht werden. Daher werden zum Zweck der Motivation und zur Unterstützung der Erreichung gesetzter Lernziele, Ansätze aus dem Bereich „Gamification“ verfolgt (vgl. [6], [7]). Im Vordergrund steht dabei der bewusste und dennoch spielerische Umgang mit Technik, der weder durch das Risiko von Verletzungen noch Beschädigungen geprägt ist und dennoch praxisnahe Elemente enthält.

Grundsätzlich sind im Rahmen des Praktikums drei Teilaufgaben zu bearbeiten. Diese sind an die Planung, Inbetriebnahme und Steuerung eines Transportsystems angelehnt (vgl. Abbildung 3).

So besteht die Teilaufgabe (1) in der Erstellung eines theoretischen Einsatzplans für die einzelnen Fahrzeuge, sodass vorgegebene Transportaufträge, in möglichst kurzer Zeit ausgeführt werden. Im Kern handelt es sich dabei um eine in der Intralogistik typische Problemstellung, die oft mittels mathematischer Modelle abgebildet wird, für deren Lösung aber kein allgemeingültiges Vorgehen bzw. keine

allgemeingültige Berechnungsvorschrift existieren (vgl. [8]). Sowohl im Bereich der Forschung als auch in der Lehrveranstaltung besteht stets die Herausforderung, der Ambivalenz zwischen Lösungsgüte und -aufwand gerecht zu werden.

In der Teilaufgabe (2) ist ein Turtlebot- oder Mindstorms-Modellfahrzeug so zu programmieren, dass eine Reihe vorgegebener Experimente zur Charakterisierung des Fahrverhaltens ausgeführt werden können. Hierfür sind von den Studierenden eigenständig Experimentierpläne zu entwerfen und die Versuche durchzuführen sowie auszuwerten.

In Teilaufgabe (3) sollen die Ergebnisse aus der Einsatzplanung aus theoretischer Sicht und den Experimenten mit den Fahrzeugen abschließend zusammengeführt werden, um die Übertragbarkeit des Planungs- und Steuerungsansatzes in die Praxis kritisch zu reflektieren.

Durch die hohen Freiheitsgrade bei der Bearbeitung der Aufgaben erlaubt und erfordert das Praktikum vorhandenes Vorwissen eigenständig und praxisnah anzuwenden. Zur Steigerung der Motivation werden im Rahmen des „Logistics Lab“ ein gegenseitiger Austausch sowie der Wettbewerb um die „beste“ Lösung (bspw. Einsatzpläne mit kurzer Ausführungszeit) forciert.

Die Aufgabenstellung ist dabei so konzipiert, dass sie kollaborativ in Gruppenarbeit gelöst werden soll. Dabei werden den Studierenden lediglich zu erreichende Ziele, aber keine konkreten Lösungswege bzw. Methoden vorgegeben. Jede Gruppe soll gemeinsam mittels Fachwissen, Kreativität und „ingenieurmäßigen Sachverstand“ zu einer eigenen Lösung gelangen. In einer Auftaktveranstaltung werden

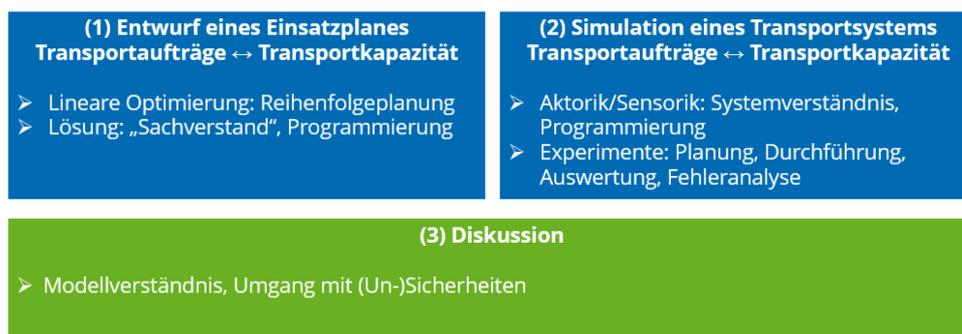


Abbildung 3: Übersicht zu den Teilaufgaben (1) bis (3) und deren Inhalten.

zentrale Aspekte zur Einordnung des Praktikums beschrieben. Dabei wird schwerpunktmäßig auf den Wissenschaftsbereich, die industrielle Anwendung von FTS und die zur Bearbeitung notwendigen Methoden eingegangen. Ergänzende Literaturhinweise geben Anhaltspunkte zur selbstständigen Recherche. Während der Bearbeitung des Praktikums verbleiben die Lehrenden passiv. Fragen werden nach Bedarf in Konsultationen und/oder OPAL-Foren beantwortet.

Zur Einschätzung der Güte der erarbeiteten Lösungen werden transparente, praxisnahe Bewertungskriterien als Benchmarks vorgegeben. Diese dienen vorrangig der Reflexion der eigenen Leistung, aber auch des Wettbewerbs zwischen den Gruppen und damit zur Motivation der Verbesserung des eigenen Ansatzes. Seitens der Studierenden wurde im Gespräch signalisiert, dass der gegenseitige Vergleich im zwanglosen Wettbewerb um die beste Lösung als eine Bereicherung gesehen wird.

Die Bewertungsgrundlage des Praktikums bildet ein zu erstellender Abschlussbericht, der Vorgehen und Ergebnisse in einer nachvollziehbaren Form dokumentieren soll. Aufgrund der hohen Freiheitsgrade bei der Bearbeitung der Aufgaben sollen die eigenen Ansätze selbstkritisch diskutiert werden. Während der Bearbeitung erkannte Verbesserungspotenziale sollen einen Fokus der Beschreibung einnehmen und so zum eigenen Erkenntnisprozess beitragen.

In einer gemeinsamen Abschlussveranstaltung werden die gewählten Lösungswege und erreichten Ergebnisse diskutiert. Seitens des Lehrstuhls wird ein Einblick in aktuelle Entwicklungen industrieller Anwendungen und der Forschung gegeben, um die Übertragbarkeit der durch die Studierenden entwickelten Ansätze aufzuzeigen und Entwicklungsmöglichkeiten zu skizzieren.

#### 4. Entwicklungen in der Corona-Pandemie

In seiner Historie war das „Logistics Lab“ durch zwei wesentliche Entwicklungen geprägt. Zum einen entwickelte sich die Veranstaltung von einem Wahlfach (Aqua bzw. Studium Generale) zu einer regulären Modulveranstaltung, was eine Vervielfachung der Teilnehmerzahl von ca. 10 auf 60 mit sich brachte. Parallel erzwang

die Corona-Pandemie und dabei insbesondere die Forderung nach Vermeidung von Präsenzlehre, etablierte Konzepte infrage zu stellen. Im Folgenden wird die Entwicklung des „Logistics Lab“ in drei Stufen aufgezeigt.

#### Initial: Die Blockveranstaltung

Ursprünglich wurde das Praktikum als Blockveranstaltung mit festen Laborarbeitszeiten abgehalten. Gegenstand waren der Aufbau eines Logistiksystems mit Roboterfahrzeugen aus zahlreichen Lego-Einzelteilen (vgl. Abbildung 4) und dessen Inbetriebnahme zur Erfüllung von Transport- und Lageraufgaben (z. B. Einlagerung in ein Regalfach). Im Vordergrund stand also die Realisierung grundlegender Funktionen, mit vergleichsweise geringen Anforderungen hinsichtlich der Systemsteuerung.

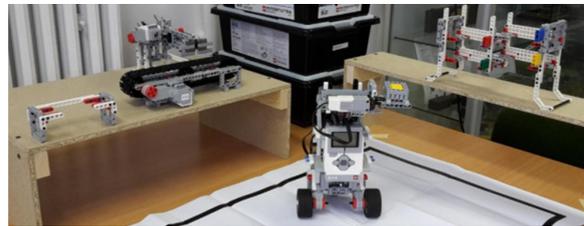


Abbildung 4: Experiment-/Modellaufbau der Blockveranstaltung bestehend aus Roboterfahrzeugen und intralogistischer Komponenten.

Das Format war geprägt durch einen intensiven Austausch aller Beteiligten, was von den Studierenden sehr geschätzt wurde. Gleichzeitig war der Betreuungsaufwand für eine geringe Teilnehmerzahl von bis zu zwölf Studierenden vergleichsweise hoch.

Es zeigte sich, dass die Studierenden allgemein einen zu großen Zeitanteil für den Aufbau des Systems und die Behebung von Störungen aufwendeten. Daraus wurde der Schluss gezogen, dass der Einsatz weniger komplexer Systeme mit Fokussierung auf einzelne intralogistische Komponenten vor dem Hintergrund der gesteckten Lehrziele geeigneter scheint.

#### Revision 1: online und asynchron

Sowohl durch den erwarteten Anstieg der Teilnehmerzahl als auch durch die Schutzmaßnahmen in Corona-Pandemiezeiten war eine Neuausrichtung des Praktikums notwendig, wobei die angestrebten Lernziele beibehalten werden sollten.

Grundsätzlich wurde das Praktikum so angepasst, dass es ortsungebunden und arbeitsteilig ausgeführt werden konnte. Physische Experimente sollten nun anhand eines einzelnen Roboterfahrzeugs durchgeführt werden. Die notwendige Technik wurde zu Semesterbeginn ausgegeben (siehe Abbildung 5). Anstatt komplexer Lego-Aufbauten im lehrstuhleigenen Labor, rückte die Einsatzplanung der Fahrzeuge in den Fokus, womit auch eine inhaltliche Aufwertung des Praktikums einherging: Die Einsatzplanung ist nicht trivial, erfordert Systemverständnis und damit einhergehend ein hohes Maß an Kreativität sowie die Fähigkeit zur programmiertechnischen Umsetzung der eigenen Ideen.



Abbildung 5: Ausgabe der zur Durchführung von Experimenten notwendigen Komponenten (links) und entsprechend aufgebautes Roboterfahrzeug (rechts).

Um den Studierenden größtmögliche Flexibilität zu bieten, wurde nach einer Einführungsveranstaltung auf initial festgelegte Konsultationstermine im Semester verzichtet – die Durchführung und Dokumentation der geleisteten Arbeiten sollte nach individuellen Zeitplänen bis Ende des Semesters erfolgen. Die Gruppen konnten so eigenständig und zeitlich asynchron arbeiten. Die Lernplattform OPAL und speziell das zugehörige Forum zum Kurs nahmen für die Betreuung der Studierenden, für die Beantwortung und Dokumentation von Fragen sowie für den Austausch der Zwischenergebnisse eine zentrale Rolle ein. Das Angebot des Lehrstuhls, nach Bedarf Räume der Universität zur Bearbeitung zu nutzen, wurde wider Erwarten bisher ausgeschlagen.

Mit Einführung des überarbeiteten Konzepts ging eine erhebliche Effizienzsteigerung in der Betreuung einher, vor allem, weil Arbeiten zu festvorgesehenen Zeiten vor Ort, im Labor wegfallen und entsprechend nicht betreut werden mussten. Im beidseitigen Vorteil war es Studierenden nun möglich, selbstständig

mit der notwendigen Technik zu arbeiten. Ferner konnten so bspw. auch Fernstudierende regulär am Praktikum teilnehmen. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen, also einen Überblick und eine Einordnung der erzielten Ergebnisse des Praktikums werden in Abschnitt 5 gegeben.

## Revision 2: hybrid mit Abschluss im Labor

Trotz der genannten Vorteile offenbarte das in den Absätzen zuvor aufgezeigte Online-Konzept zwei entscheidende Nachteile: Zum einen wurde nicht deutlich, dass die Unterteilung in Teilaufgaben (siehe Abbildung 3) lediglich der Strukturierung diene, eigentlich aber die Betrachtung eines intralogistischen Gesamtsystems und seiner verschiedenen, kooperierenden Entitäten angestrebt wurde. Das Lernergebnis und die vermittelbaren Inhalte waren auf die einzelnen Teilaspekte begrenzt. Zum anderen bietet das allgemeine Konzept der Lehrveranstaltung eigentlich eine Plattform, um gemeinsam zu arbeiten und vor allem sich interdisziplinär auszutauschen. Die räumliche und zeitliche Trennung verhinderte hier jedoch die Generierung möglichen Mehrwerts.

Zur Abschwächung der genannten Nachteile wurde das Online-Konzept gezielt wieder mit Elementen der Präsenzlehre kombiniert. Der hybride Auftakt in Präsenz und parallel online dient dem Vermitteln von Grundlagen und Organisatorischem, dem gegenseitigen Kennenlernen, der Gruppenfindung und der Materialausgabe. Diese Punkte waren vorher durch nicht unerheblichen Aufwand geprägt, vorrangig aufgrund der Anonymität der genutzten Kommunikationskanäle (z. B. Webkonferenz). Mit dem ebenfalls hybriden Abschluss im Labor werden einerseits ein neues Lernerlebnis geschaffen und andererseits die erzielten Leistungen gewürdigt. Die entwickelten Lösungen der einzelnen Gruppen sollen hier zusammenspielen und gemeinsam hinsichtlich ihrer Funktionalität analysiert und diskutiert werden. Im Zentrum stehen die live aufgenommenen Daten. Das Experiment wird im Video-Stream verfolgbar sein.

Es werden ein Transportsystem mit mehreren Fahrzeugen aufgebaut und in einem Versuchsumfeld Transportaufträge ausgeführt. Dafür

sollen die Studierenden ihre Fahrzeuge samt den entwickelten Softwarekomponenten in das System einbringen. Mit dem Gesamtsystem sollen gemeinsame Versuche, wie bspw. die Abarbeitung eines Einsatzplans, absolviert werden. Ziel ist es, die im Laufe des Semesters entwickelten Steuerungsansätze zu testen und die Systemleistung transparent zu bewerten. Für die Erfassung und Verarbeitung der dafür notwendigen Daten wird eigens ein drahtloses Netzwerk aufgebaut. Damit soll die exakte Protokollierung der Abarbeitung der Transportaufträge auch beim Einsatz mehrerer Fahrzeuge ermöglicht werden. Zu diesem Zweck wird das Labor nicht mit „herkömmlicher“ Funktechnologie, sondern mit einer Lösung basierend auf Lichtwellen sog., Visual Light Communication (VLC, siehe Abschnitt 6) ausgebaut. Neben der reinen Funktionalität werden somit auch Technologien/Technik nach neuestem Stand eingesetzt und ein hohes Maß an Aktualität vermittelt.

## Vergleich; Kritische Würdigung des weiterentwickelten Lehrkonzepts

Im Folgenden werden zusammenfassend die drei Entwicklungsstufen des Logistics Lab Initial (I), Revision 1 (R1) und Revision 2 (R2) verglichen.

### *Format:*

- I) Blockpraktikum im Labor
- R1) Online und Asynchron
- R2) Hybrid

### *Teilnehmerzahl:*

- I) Bis zu zwölf Studierende
- R1) Bis zu sechzig Studierende
- R2) Bis zu sechzig Studierende

### *Rolle der Lehrenden:*

- I) Aktive Begleitung des gesamten Praktikums.
- R1) Vorrangig passive Begleitung, bspw. durch Konsultationen.
- R2) Vorrangig passive Begleitung bspw. durch Konsultationen und aktive Begleitung der Durchführung des gemeinsamen Experiments.

### *verwendete Technik:*

- I) Logistiksystem mit verschiedenen Komponenten
- R1) Einzelnes Fahrzeug

- R2) Einzelne Fahrzeuge werden gruppenübergreifend anhand eines Kommunikationsnetzwerks zu einem Gesamtsystem zusammengeführt.

### *Ort der Experimentdurchführung/Bearbeitung:*

- I) Im Labor
- R1) Außerhalb der Universität
- R2) Nach Absprache im Labor, vorzugsweise außerhalb der Universität, mit gemeinsamem Abschluss im Labor

### *Prüfungsleistung:*

- I) Bericht
- R1) Bericht
- R2) Bericht

Allen Formaten ist gemein, dass den Studierenden zu erreichende Ziele, aber keine konkreten Lösungswege vorgegeben werden. Ziel ist es, die Aufgabenstellung selbstständig in der Gruppe zu lösen. Im Vordergrund steht die Generierung von Lösungen, welche die vorgegebenen Anforderungen hinsichtlich der Funktionalität erfüllen. Die erzielte Lösungsgüte (z. B. Dauer der Abarbeitung aller Transportaufträge) ist dabei von untergeordneter Bedeutung.

## 5. Analyse Revision 1

Das asynchrone Onlineformat des Praktikums in Revision 1 verlangte den Studierenden ein hohes Maß an Selbstständigkeit ab. Neben der Organisation der Arbeit in der Gruppe betraf dies die Wahl der Methoden zur Bearbeitung der Aufgaben und deren Umsetzung. Im Folgenden werden ausgewählte Analysen der eingereichten Belege präsentiert, um die Qualität der Ergebnisse und methodische Defizite darzulegen.

Im hier betrachteten Zeitraum von 3 Semestern haben sich 35 Gruppen jeweils mit ca. 3 Studierenden für die Lehrveranstaltung eingeschrieben. Davon haben 29 Gruppen am Ende des Semesters einen Bericht eingereicht.

Teilaufgabe 1 des „Logistics Lab“ stellt hohe Ansprüche: Es ist für das Optimierungsproblem der Auftrag-zu-Fahrzeug-Zuordnung (Einsatzplanung) eigenständig ein Lösungsverfahren zu entwickeln, zu implementieren und zu testen. Bis auf 2 Gruppen konnten alle gültige (im Sinne der Beachtung aller Bedingungen) Ergebnisse darlegen.

Die Studierenden sind aufgefordert, selbstständig, mit „ingenieurmäßigem Sachverstand“ ggf. mehrere Methoden zu entwerfen und zu diskutieren. Abbildung 6 zeigt anhand eines Boxplots, wie viele unterschiedliche Ansätze in den Gruppen jeweils untersucht wurden.

Die meisten Gruppen beschreiben ein bis zwei Lösungsansätze. In der Regel einen grundlegenden Ansatz und eine optimierte Version. Jenen Arbeiten, die lediglich ein Lösungsverfahren vorstellen, geht zumeist eine intensive Analyse voraus. Teilweise werden auch drei und mehr Ansätze vorgestellt, um die Lösungsqualität zu steigern.

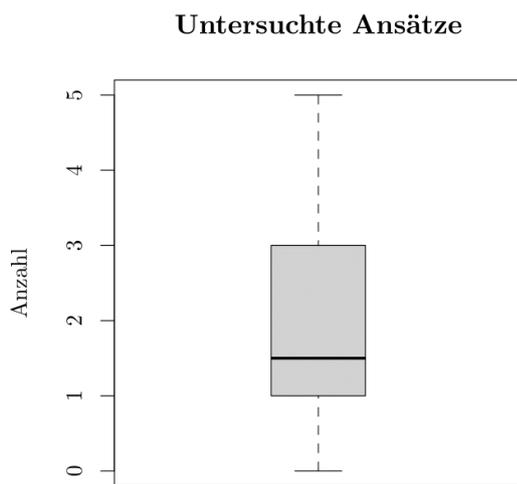


Abbildung 6: Anzahl beschriebener Ansätze zur Lösungsgenerierung.

Einen guten Einsatzplan zeichnet aus, dass Fahrzeuge einen möglichst geringen Anteil im unbeladenen Zustand („Leerfahrt“) zurücklegen. Dieses grundlegende Prinzip wurde von der Mehrzahl der Gruppen erkannt, womit die Studierenden intuitiv zu heuristischen Lösungsstrategien, wie sie typischerweise auch in der Praxis Anwendung finden, gelangen.

Parallel nutzt ein Teil der Gruppen Metastrategien (z. B. Simulated Annealing), welche ein gängiges Mittel zur Lösung von Optimierungsproblemen darstellen. Tendenziell wird hier mit einem höheren Berechnungsaufwand eine bessere Lösungsqualität im Sinne effizienter Einsatzpläne erzielt.

Selten werden exakte Lösungsstrategien, welche nachweislich eine optimale Lösung erzielen können, untersucht. Die Studierenden haben offensichtlich erkannt, dass diese Ansätze aufgrund der vorgegebenen Problemgröße

und der sich ergebenden Rechenzeit ungeeignet sind.

Die Analyse der in den Berichten dargelegten Diskussionen um die verwendeten Ansätze legt nahe, dass im Vergleich zu einer konkreten Vorgabe eines Lösungsweges, eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Gegenstandsbe- reich verbunden ist. Dies spiegelt sich in der Lösungsqualität wider: Abbildung 7 führt die erreichten Zielfunktionswerte der Gruppen in Relation zu bereitgestellten Referenzlösungen auf. Ausgewertet wurde die sog. Makespan, also die Zeitspanne in der alle Transportaufgaben erfüllt und die Fahrzeuge auf ihre vorgegebene Parkposition zurückgekehrt sind. Dargestellt sind die Ergebnisse für die betrachteten Szenarien von einem, drei und fünf Transportfahrzeugen.

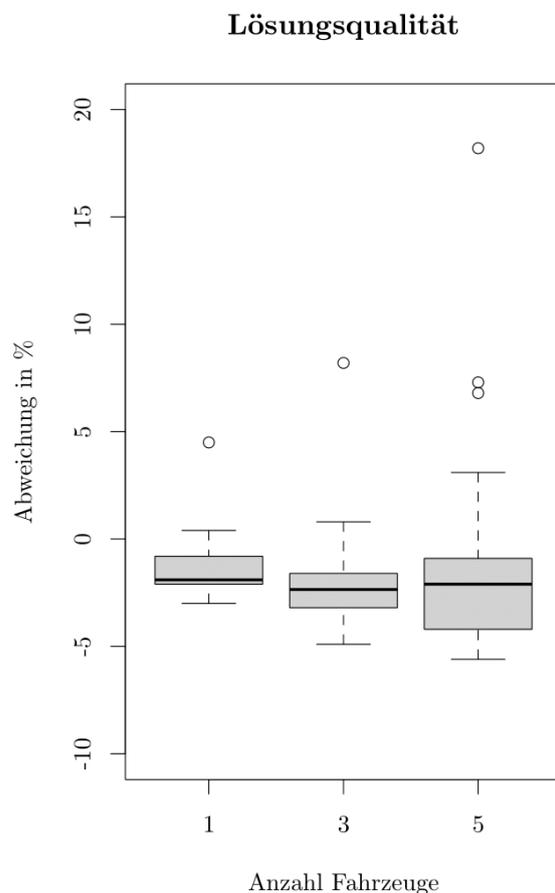


Abbildung 7: Erreichte Lösungsgüte gemessen in der prozentualen Abweichung zur (bereitgestellten) Referenzlösung nach Anzahl zu berücksichtigender Fahrzeuge. Negative Werte unterbieten den Referenzwert.

Der Mehrzahl der Gruppen gelingt es, die Referenzwerte zu unterbieten, d. h. Einsatzpläne zu generieren, deren Abarbeitung schneller

gelingt. Einzelne Arbeiten weisen eine besonders gute Lösungsqualität auf. Im Mittel wird eine Verbesserung um 1,5 %, teils sogar um bis zu 6 % im Vergleich zum Referenzwert erreicht. Die Spannweite der Differenzen zum vorgegebenen Referenzwert nimmt dabei mit zunehmender Problemgröße (zunehmender Fahrzeuganzahl) zu.

In der Auswertung wird zudem deutlich, dass Lösungsverfahren, die für ein bestimmtes Szenario (bspw. mit einem Fahrzeug) sehr gute Ergebnisse erzielen, nicht zwingend für andere Szenarien vorteilhaft sind. Einem Gros der Praktikumssteilnehmer wird damit deutlich, dass es sich bei der Einsatzplanung um eine anspruchsvolle Aufgabe handelt, für die es bisher, sowohl in Theorie als auch in Praxis, keinen durchwegs überlegenen Lösungsweg gibt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Lösungsansätze der Studierenden hinsichtlich der Vielfalt und der erzielten Lösungsgüte die bisherigen Forschungsaktivitäten zur Steuerung Fahrerloser Transportsysteme widerspiegeln (vgl. [8], [9]).

Für die Generierung der Einsatzpläne werden keine Vorgaben bzgl. der Methodik, d. h. ob und ggf. welche Programmierumgebungen zum Einsatz kommen, gemacht. Ziel ist es, bereits erlernte Fähigkeiten im Praktikum einzusetzen und zu festigen. Zu beobachten ist, dass erste Lösungen zumeist durch "scharfes Hinsehen" bzw. händisch erarbeitet werden. Zur weiteren Bearbeitung wird dann auf die Unterstützung von Software zurückgegriffen. Während im Grundstudium Maschinenwesen vorrangig Java und C# vermittelt werden, ist im Praktikum Python mit einer Häufigkeit von 67 % die klar dominierende Programmiersprache (siehe Abbildung 8). Auch Softwarewerkzeuge wie Matlab und Excel werden eingesetzt. Insgesamt gelingt es den Gruppen, die Aufgabe der Einsatzplangenerierung nutzbringend anhand eines selbsterstellten Programms zu automatisieren und mittels eines bereitgestellten Skriptes auf Validität zu testen.

Die in Teilaufgabe 1 erzeugten Lösungen bzw. Einsatzpläne sind in den verbleibenden Teilaufgaben unter Berücksichtigung von Experimenten mit einem Roboterfahrzeug hinsichtlich ihrer Anwend- und Übertragbarkeit zur

Steuerung eines realen Systems kritisch zu hinterfragen.

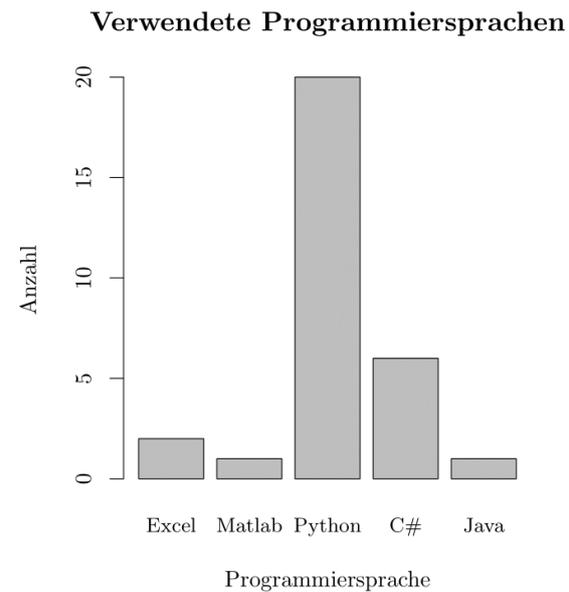


Abbildung 8: Übersicht zur Häufigkeit der für die Generierung von Einsatzplänen eingesetzten Programmiersprachen ( $n = 30$ ).

Die Programmierung der Fahrzeuge gelang bisher allen teilnehmenden Gruppen. Unterschiede zeigten sich im Wesentlichen in der Versuchsplanung und der statistischen Auswertung der durchzuführenden Experimente. Insbesondere die selbst zu bestimmende Anzahl von Wiederholungen der Experimente erfolgt in den meisten Fällen unsystematisch, d. h. weniger nach Gesichtspunkten statistisch valider Versuchsplanung, als nach pragmatischen Aspekten (vgl. Tabelle 1). Die meisten Gruppen wählen 10 Versuche bzw. „vorsichtshalber“ eine besonders hohe Zahl ( $> 20$ ). Hier besteht ein methodisches Defizit.

Allen Gruppen gelang es in Teilaufgabe 3, die Übertragbarkeit der Lösungen bzw. der zugrundeliegenden Verfahren in die praktische Anwendung realistisch einzuschätzen. Hierfür wurden die vorgegebenen Annahmen kritisch diskutiert. Dass insbesondere stochastische Fahrzeiten für die Ablaufplanung, welche von statischen Werten ausgeht, problematisch ist, blieb teilweise und leider zu oft unerkannt. Rückblickend und das Konzept des „Logistics Lab“ kritisch hinterfragend, ist dies auf die starke Separierung der Aufgaben und daraus resultierend, auf eine mangelnde Wahrnehmung eines Fahrerlosen Transportsystems als dynamisches System zurückzuführen.

Tabelle 1: Versuchsplanung der Protokolle – beobachtete Häufigkeit zur Anzahl durchgeführter Experimentwiederholungen.

Experimentwiederholungen	Beobachtete Häufigkeit in den Protokollen
1	2
3	2
4	1
5	4
7	1
8	1
10	12
20	4
23	1
30	1

Als Grundlage für die Bewertung ist ein Protokoll bzw. Bericht über die durchgeführten Arbeiten und implementierten Algorithmen zu erstellen. Auch hier werden den Studierenden größtmögliche Freiräume eingeräumt, mit dem Ziel, Kompetenzen zur Festlegung einer angemessenen Form und eines erforderlichen Umfangs zum Nachvollziehen der Arbeit zu erlangen.

29 Gruppen haben sich für einen textbasierten Bericht entschieden, der häufig mehr als 30 Seiten zählt. Zwei Gruppen haben Präsentationsfolien eingereicht.

Für die Beschreibung der Algorithmen werden regelmäßig geeignete Darstellungsformen wie Pseudocodes und/oder UML-Diagramme genutzt. Insgesamt ist die Beschreibung jedoch häufig zu detailliert. Es ist für die Mehrheit der Gruppen eine Herausforderung, die eigenen Ideen zu strukturieren und in einer nachvollziehbaren Form darzustellen. Diesem Defizit soll künftig durch ergänzende Materialien, bspw. anhand eines „Best Practice“ zu einer ähnlichen Aufgabenstellung, zum Selbststudium entgegengewirkt werden.

Hinsichtlich der Arbeitsweise ist das Praktikum durch eine hohe Selbstständigkeit der Gruppen geprägt. Fragen zu Inhalt und Organisation werden vorrangig und regelmäßig über das OPAL-Forum beantwortet. Am Austausch über Zwischenergebnisse zur Einschätzung der eigenen Arbeit beteiligt sich die Mehrheit der teilnehmenden Gruppen. Darüberhinaus-

gehende Angebote seitens des Lehrstuhls Konsultationen (online) durchzuführen, werden weitestgehend ausgeschlagen.

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Aufgabestellung dazu beiträgt, die gesetzten Lernziele zu erreichen. Bemerkenswerterweise liegen die Defizite der Arbeiten vorrangig im Bereich der fächerübergreifenden Kompetenzen, wie der Versuchsplanung und der Dokumentation. Um hier entgegenzuwirken, werden ergänzende Materialien zur Verfügung gestellt und Unzulänglichkeiten vergangener Semester besprochen. Darüber hinaus werden die Studierenden aufgefordert, Mitte des Semesters einen Zwischenstand in einer gemeinsamen Konsultation darzulegen, um den Lehrenden gezielte Hinweise zu ermöglichen.

## 6. VLC

Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits erwähnt, wird im Rahmen des „Logistics Lab“ zur Realisierung eines Datennetzwerkes auf VLC-Technik (VLC: Visual Light Communication) zurückgegriffen. VLC ist eine Technologie, bei der moduliertes sichtbares Licht die Rolle des Übertragungsmediums zur Kommunikation einnimmt. Dabei geht das Signal von einer Lichtquelle (z. B. LED) aus und wird von einem Fotodetektor empfangen (vgl. [10] und Abbildung 9).

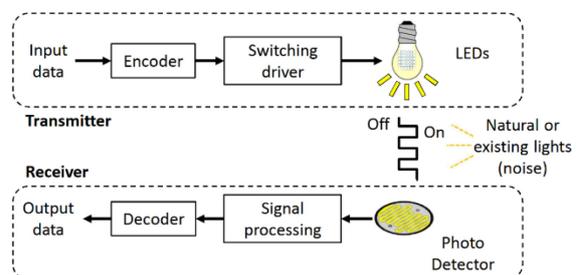


Abbildung 9: VLC Funktionsprinzip [8].

VLC verspricht zahlreiche Vorteile (vgl. [11], [12]), u. a. die latenz- und störungsminimale Übertragung hoher Datenraten bei geringem Energieverbrauch, insbesondere auch dann, wenn bestehende funkbasierte Netzwerke bereits hoch ausgelastet sind oder ihr Betrieb untersagt ist. Da Licht im Gegensatz zu Funk Wände nicht durchdringen kann, verspricht die Technik eine hohe Datensicherheit. Neben der Funktion als Kommunikationsnetzwerk kann

VLC ebenfalls zur Lokalisierung von Objekten eingesetzt werden.

Mit diesen Eigenschaften eröffnen sich vielversprechende Anwendungsgebiete in Produktion und Logistik, was den Studierenden entsprechend auch vermittelt wird.

Insbesondere werden aktuell Anwendungsmöglichkeiten zur Kommunikation in Fahrerlosen Transportsystemen untersucht (vgl. [13]–[15] und Abbildung 10). Potenziell kann die Technologie aber auch zur Lokalisierung Fahrerloser Transportfahrzeuge eingesetzt werden (vgl. [16]).

Technologieimmanent birgt der Einsatz in der Praxis einige Herausforderungen. So muss bspw. eine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger bestehen. Auch können künstliche Lichtquellen oder Sonneneinstrahlung Störungen hervorrufen. Damit existieren für den Einsatz durchaus Unwägbarkeiten, die es im Labor zu untersuchen gilt.

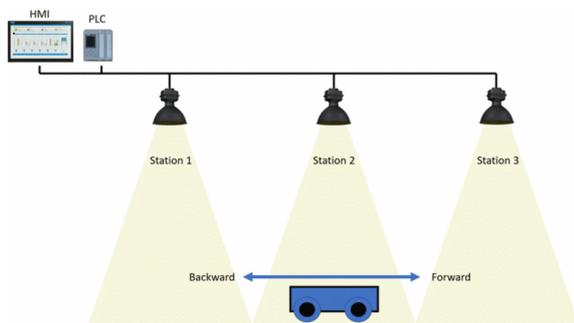


Abbildung 10: Anwendung der VLC-Technik zur Kommunikation mit einem Fahrerlosen Transportfahrzeug (aus [15]).

Die VLC-Technik wird gezielt im Rahmen des „Logistics Lab“ kommuniziert und kritisch diskutiert. Die Veranstaltung weist an dieser Stelle ein hohes Maß an Praxisnähe auf, vor allem, weil implizit vermittelt wird, dass Logistiksysteme und deren Materialflüsse nur effizient gesteuert und realisiert werden können, wenn parallel zugehörige Daten- und Informationsflüsse zur Verfügung stehen und angemessen gehandhabt werden.

## 7. Zusammenfassung

Die Lehrveranstaltung „Logistics Lab“ erfährt eine stete Weiterentwicklung. Im Fokus stand und steht die Digitalisierung, um einerseits der stark gestiegenen Teilnehmerzahl und dem

damit verbundenen Betreuungs- und Organisationsaufwand gerecht zu werden und andererseits Lehrinhalt und -konzept aufzuwerten. Das Praktikum wird absehbar als Hybridlehrveranstaltung angeboten, die es erlaubt, in Gruppen eigenständig Lösungen zu entwickeln und diese abschließend in großer Runde und gemeinsamer Experimente zu testen. In diesem Rahmen wird ein Datennetzwerk mit VLC-Technologie aufgebaut. Damit können Fahrzeuge verfolgt, darauf aufbauend die Systemleistung analysiert und schließlich optimiert werden – bspw. durch Anpassung der Transportpläne.

Zur Motivation der Studierenden, wird auf den Gamification-Ansatz und der Grundidee spielerischer Konkurrenz durch Offenlegung und Diskussion von Leistungskennzahlen zurückgegriffen. Dies hat sich, gemessen an der positiven Resonanz und einer gesteigerten Lösungsqualität, bewährt.

## Danksagung

Die für das Praktikum genutzte Technik wurde teilweise aus Mitteln der Fakultät Maschinenwesen zur Realisierung von Lehr-/Lernprojekten finanziert.

## Literatur

- [1] A. E. Tekkaya u. a., Hrsg., Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung: zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab: acatech Studie. München: Herbert Utz Verlag GmbH, 2016.
- [2] ASSIN, „Fachspezifisch ergänzende Hinweise zur Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen des Maschinenbaus, der Verfahrenstechnik und des Chemieingenieurwesens“. 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.asiin.de/files/content/kriterien/ASIIN\\_FEH\\_01\\_Maschinenbau\\_Verfahrenstechnik\\_%202021-03-16.pdf](https://www.asiin.de/files/content/kriterien/ASIIN_FEH_01_Maschinenbau_Verfahrenstechnik_%202021-03-16.pdf)
- [3] SSI SCHÄFER, Fahrerloses Transportsystem WEASEL; Hermes Fulfilment GmbH Haldensleben, (27. Mai 2022). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=Qhp9BwxZT80>
- [4] Robotsquare, EXPLOR3R Building Instructions, (27. Mai 2022). [Online]. Verfügbar unter: <http://robotsquare.com/2015/10/06/explor3r-building-instructions/>
- [5] ROBOTIS, TURTLEBOT 3 WAFFLE PI, (27. Mai 2022). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.robotis.at/Turtlebot3/>
- [6] I. Isenhardt, M. Petermann, M. Schmohr, A. E. Tekkaya, und U. Wilkesmann, Hrsg., Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften: innovativ - digital - international. Bielefeld: wbv, 2020.

- [7] M. Milosz und E. Milosz, „Gamification in Engineering Education – a Preliminary Literature Review“, in 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Porto, Portugal, 2020, S. 1975–1979.
- [8] T. Le-Anh, „Intelligent Control of Vehicle-Based Internal Transport Systems“, PhD Thesis, Erasmus University, Rotterdam, 2005.
- [9] M. De Ryck, M. Versteijhe, und F. Debrouwere, „Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques“, Journal of Manufacturing Systems, Bd. 54, S. 152–173, 2020, doi: 10.1016/j.jmsy.2019.12.002.
- [10] S. Rehman, S. Ullah, P. Chong, S. Yongchareon, und D. Komosny, „Visible Light Communication: A System Perspective—Overview and Challenges“, Sensors, Bd. 19, Nr. 5, 2019.
- [11] T. Kruse Brandão und G. Wolfram, Digital Connection: die bessere Customer Journey mit smarten Technologien - Strategie und Praxisbeispiele. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Gabler, 2018.
- [12] M. Saadi und L. Wuttisittikulij, „Visible Light Communication – The Journey So Far“, Journal of Optical Communications, Bd. 40, Nr. 4, S. 447–453, 2019, doi: 10.1515/joc-2017-0107.
- [13] P. Louro, M. Vieira, und M. A. Vieira, „Geolocalization and navigation by visible light communication to address automated logistics control“, Opt. Eng., Bd. 61, Nr. 01, 2022, doi: 10.1117/1.OE.61.1.016104.
- [14] E. Lyczkowski und C. Sauer, „Lichtblicke in der Logistik - Drahtlose Kommunikation von FTS mit sichtbarem Licht“, in Hebezeuge Fördermittel, HUSS-MEDIEN GmbH, 2021.
- [15] V. Georlette, J. S. Melgarejo, S. Bette, N. Point, und V. Moeyaert, „Work-in-Progress: Using Li-Fi to control Automated Guided Vehicles. Steps towards an industrial market product“, in 2022 IEEE 18th International Conference on Factory Communication Systems (WFCS), Pavia, Italy, 2022, S. 1–4. doi: 10.1109/WFCS53837.2022.9779166.
- [16] S. Heissmeyer, L. Overmeyer, und A. Müller, „Indoor positioning of vehicles using an active optical infrastructure“, in 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Sydney, Australia, 2012, S. 1–8. doi: 10.1109/IPIN.2012.6418914.