

Modellierung und Realisation eines Moduls einer
Leitsteuerung zur Übergabe von Fahrzeugen auf einem
autonomen Betriebshof

Diplomarbeit
zur Erlangung des Grades eines Diplom-Informatikers im Studiengang
Informatik

vorgelegt von
Andreas Kern

Betreuer: Prof. Dr. Dieter Zöbel und Dipl.-Inform. Philipp Wojke, Institut für
Softwaretechnik, Fachbereich Informatik

Koblenz, im September 2007

Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Mit der Einstellung dieser Arbeit in die Bibliothek bin ich einverstanden. Der Veröffentlichung dieser Arbeit im Internet stimme ich zu.

Koblenz, im September 2007

Andreas Kern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Aufbau der Arbeit	3
2	Grundlagen	5
2.1	Begrifflichkeiten	5
2.2	Der Leitstand	7
2.2.1	Aufgaben des Leitstands	7
2.2.2	Aufbau des Leitstands	9
2.3	Übergabe	13
2.3.1	Anforderungen an den Übergabebereich	13
2.3.2	Anforderungen an die Übergabe	16
2.3.3	Ablauf der Übergabe	19
3	Die Übergabemöglichkeiten	23
3.1	Anmeldung und Kontrolle	23
3.1.1	Anmeldung	23
3.1.2	Kontrolle	25
3.2	Einzellösung	28
3.3	Gruppenlösung	32
3.4	Parkplatzlösung	36
4	Modellierung des Moduls	41
4.1	Aufbau und Funktionsweise des Moduls	41
4.1.1	Begriffserklärungen	42
4.2	Beispielhafter Ablauf einer Annahme	43
4.3	Aufgabenverteilung	47
4.4	Ablaufmöglichkeiten von Übergaben	50
4.4.1	Ablaufmöglichkeiten beim Anfordern und Reservieren	51
4.4.2	Ablaufmöglichkeiten bei der Ankunft am Übergabebereich	55
4.4.3	Unterschiede bei der Übergabe eines Anhängers und eines Gespanns	56
4.4.4	Zusammenhänge der Ablaufmöglichkeiten	58

4.5	Detaillierte Modellierung des Moduls	61
4.5.1	Bereichsverwaltung	61
4.5.2	Aufgabenverwaltung	69
4.5.3	Infrastruktur	77
5	Implementierung	79
5.1	Implementation der Bereichsverwaltung	79
5.2	Implementation der Aufgabenverwaltung	84
5.3	Implementation der Infrastruktur	87
6	Fazit	89
	Literaturverzeichnis	91

Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufbau des Leitstands	10
2.2	Grober Ablauf einer Annahme	20
2.3	Grober Ablauf einer Abgabe	21
3.1	Einzellösung	29
3.2	Ablauf einer Annahme bei der Einzellösung	30
3.3	Ablauf einer Abgabe bei der Einzellösung	32
3.4	Gruppenlösung	33
3.5	Ablauf von Annahmen bei der Gruppenlösung (manuelle Phase)	35
3.6	Parkplatzlösung	37
3.7	Ablaufschema von Übergaben bei der Parkplatzlösung	39
4.1	Aufbau des Übergabemoduls	42
4.2	Sequenzdiagramm einer beispielhaften Annahme	45
4.3	Ablauf des Anfordern und Reservieren bei Annahmen	52
4.4	Ablauf des Anfordern und Reservieren bei Abgaben	54
4.5	Ablauf bei der Ankunft eines Fahrers am Übergabebereich	55
4.6	Ablauf bei der Annahme eines Anhängers oder Gespanns	57
4.7	Ablauf bei der Abgabe eine Anhängers oder Gespanns	58
4.8	Ablauf einer Übergabe	59
4.9	Klassendiagramm der Bereichsverwaltung	64
4.10	Klassendiagramm der Aufgabenverwaltung	72
4.11	Klassendiagramm der Infrastruktur	78

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Die Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme am Fachbereich Informatik der Universität Koblenz-Landau beschäftigt sich unter anderem mit dem autonomen Fahren von Gliederfahrzeugen. Bei einem Gliederfahrzeug handelt es sich um ein Kraftfahrzeug mit Anhänger oder einen Sattelzug. Beim autonomen Fahren von Gliederfahrzeugen werden diese ohne das Eingreifen eines menschlichen Fahrers gesteuert. Es ist technisch möglich, selbst komplizierte Fahrmanöver präzise durchführen zu lassen.

Für den Einsatz autonomer Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr sind die Anforderungen zur Zeit noch zu hoch. Es ist noch nicht möglich die Fahr- und Ausfallsicherheit hinreichend zu gewährleisten, um autonome Fahrten im öffentlichen Verkehr durchzuführen. Man benötigt eine äußerst zuverlässige Sensorik, um dynamische Hindernisse, z.B. Personen, zu erkennen. Im nichtöffentlichen Verkehr auf einem abgesperrten Gelände kann man auf diese Sensoren verzichten, wenn man dafür sorgt, dass keine Personen den Bereich, in dem autonom gefahren wird, betreten.

In Forschungsprojekten am Fachbereich Informatik der Universität Koblenz-Landau werden Modell-LKWs mit Anhänger und Sattelzüge in komplizierten Fahrmanövern eingesetzt (siehe z.B. [6]). Die Erfahrungen die mit diesen Modellen gemacht wurden, sollten sich ohne Probleme auf echte LKWs übertragen lassen. Dem Einsatz autonomer Fahrzeuge im nichtöffentlichen Verkehr steht daher nichts mehr im Wege. Es ist möglich, Fahrzeuge mit hoher Präzision Fahrmanöver durchführen zu lassen.

Beispiele für die Einsatzmöglichkeiten autonomer Fahrzeuge sind Speditionshöfe, Hafenanlagen oder Umschlagbahnhöfe der Rollenden Landstraße. Die autonomen Fahrzeuge fahren in abgegrenzten Bereichen, in denen sich ausschließlich autonome Fahrzeuge aufhalten. Mit anderen Worten ausgedrückt bedeutet dies, dass es einen Bereich gibt, in dem sich nur autonome Fahrzeuge aufhalten und

bewegen. Außerhalb dieses Bereichs fahren die Fahrzeuge ausschließlich manuell, d.h. sie werden von einem menschlichen Fahrer gesteuert. Der Bereich, in dem nur autonome Fahrzeuge fahren, wird im folgenden autonomen Betriebshof genannt.

Die Kontrolle der autonomen Fahrzeuge auf dem autonomen Betriebshof übernimmt der so genannte Leitstand. Der Leitstand ist ein technisches System, welches den Fahrzeugen Fahraufträge erteilt, die es zuvor geplant hat, und die Einhaltung der Aufträge überwacht. Der Leitstand kann unter Umständen von einem Menschen überwacht werden. Ein Leitstand stellt alle notwendigen Funktionen zum autonomen Fahren auf einem Betriebshof bereit. Dazu gehören unter anderem Funktionen zum Planen von Routen, des Fahrzeugmanagements und der Fahrzeugkontrolle.

In der Diplomarbeit von René M. Lotz und Vanessa Thewalt [3] wurde ein allgemeiner Leitstand entworfen und am Beispiel eines Leitstands für einen innovativen Speditionshof implementiert. Der Allgemeine Leitstand bildet die Basis aller Leitstände. Er stellt alle Funktionen bereit, welche unabhängig von der Anwendung zum autonomen Fahren benötigt werden. Das Hinzufügen anwendungsspezifischer Funktionen macht aus dem Allgemeinen Leitstand einen spezialisierten Leitstand. In der Arbeit von Lotz und Thewalt wurde ein spezialisierter Leitstand für einen Speditionshof entwickelt. In der Diplomarbeit von Daniel Schüller und Ralf Töppner [4] wurde ein Leitstand für einen Bahnhof der Rollenden Landstraße entworfen und implementiert.

Zwischen dem Verkehr auf einem autonomen Betriebshof und dem öffentlichen, manuellen Verkehr außerhalb des Bahnhofs benötigt man einen Übergabebereich, in dem Transporteinheiten von einem menschlichen Fahrer an einen Leitstand und umgekehrt übergeben werden können. Bei der Übergabe an den Leitstand übernimmt dieser die Kontrolle über das Fahrzeug, d.h. der Leitstand plant ab diesem Zeitpunkt die Fahraufträge und übermittelt diese an das Fahrzeug. Im Übergabebereich liegt die Kontrolle über das Fahrzeug zeitweise beim Fahrer und zeitweise beim Leitstand.

Die bisher entwickelten Leitstände, sowohl der Allgemeine Leitstand als auch dessen Spezialisierungen, sind zur Zeit nur in der Lage, Fahrzeuge auf einem autonomen Betriebshof zu steuern. Sie sind noch nicht in der Lage eine Übergabe durchzuführen und die Fahrzeuge in einem Bereich (dem Übergabebereich) zu kontrollieren, in dem sie nur zeitweise die Kontrolle über das Fahrzeug haben.

Ein Leitstand ist in verschiedene Module unterteilt, die jeweils eine bestimmte Aufgabe erfüllen. Dieser modulare Aufbau soll die Wartbarkeit und Wiederverwendbarkeit des Leitstands erleichtern. Dadurch ist es auch möglich dem Leitstand neue Funktionen hinzuzufügen, indem man ein neues Modul entwickelt und zum Leitstand hinzufügt. Im Idealfall muss man keine oder nur sehr wenige Änderungen am bestehenden Leitstand vornehmen, um die neuen Funktionen nutzen zu können.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Modellierung und Realisation eines Leitstandmoduls, mit dem die Übergabe von Fahrzeugen auf einem automatisierten

Betriebshof durchgeführt werden kann. Das Modul soll unabhängig von der Anwendung sein, d.h. es soll ein Modul für den Allgemeinen Leitstand, und nicht für einen spezialisierten Leitstand, entwickelt werden.

Die Aufgabe der Diplomarbeit ist es zunächst einen Übergabebereich zu entwerfen, d.h. es soll der Aufbau eines Übergabebereichs und der Ablauf einer Übergabe geplant werden. Hierzu sollen verschiedene Layouts des Übergabebereichs und die passende Vorgehensweise der Übergabe entwickelt werden. Danach soll ein Modul modelliert werden, welches in der Lage ist eine Übergabe anhand der zuvor entwickelten Vorgehensweise durchzuführen. Abschließend soll das Modul noch implementiert werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Diplomarbeit gliedert sich wie folgt. In Kapitel 2 werden zuerst einige begriffliche Dinge geklärt, um zu einer einheitlichen Terminologie zu kommen. Der nächste Abschnitt befasst sich mit dem Leitstand. Zuerst werden die Anforderungen an einen Leitstand und die Aufgaben, die er erfüllen muss, festgehalten und erläutert. Im letzten Abschnitt dieses Kapitels werden die Anforderungen, welche die Übergabebereiche erfüllen sollen, festgehalten und die Randbedingungen, die eingehalten werden müssen, erläutert.

Im darauf folgenden Kapitel werden die Lösungsmöglichkeiten für den Übergabebereich und die Übergabe vorgestellt. Dazu werden im ersten Abschnitt des Kapitels die Gemeinsamkeiten der Lösungen erklärt, d.h. es werden diejenigen Aspekte festgehalten, die unabhängig sind von der Art des Übergabebereichs, und somit bei allen Lösungsmöglichkeiten gleich sind. Die drei Lösungsmöglichkeiten werden dann in den darauf folgenden drei Abschnitten des Kapitels beschrieben.

Das vierte Kapitel der Arbeit befasst sich mit der Modellierung des Moduls. Zuerst wird anhand eines Beispiels der Ablauf einer Übergabe detailliert beschrieben. Aus dem Beispiel werden dann die Aufgaben, die das Modul erfüllen muss, hergeleitet. Im nächsten Schritt werden aus dem Beispiel alle weiteren Fälle von möglichen Abläufen von Übergaben hergeleitet und die daraus resultierenden Aufgaben festgehalten.

Das Kapitel wird abgeschlossen durch die softwaretechnische Modellierung des Moduls. Das entwickelte Modell wird detailliert beschrieben. Die Funktionen, die zur Erfüllung der zuvor beschriebenen Aufgaben notwendig sind, werden festgehalten und erläutert. Es werden nur die Funktionen beschrieben, die für das Verständnis der Funktionsweise des Moduls relevant sind.

Im nächsten Kapitel wird die Implementation des Moduls beschrieben. Die Funktionen, die für das Verständnis der Funktionsweise nicht relevant sind, aber zur Erfüllung der Aufgaben des Moduls wichtig sind, werden in diesem Kapitel festgehalten.

Im letzten Kapitel der Diplomarbeit wird ein Fazit gezogen und die während

der Arbeit gesammelten Erfahrungen zusammengefasst. Außerdem soll noch ein Ausblick auf mögliche weitere Entwicklungen, die sich an die Arbeit anschließen können, gegeben werden.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Begrifflichkeiten

Einige Begriffe, die in dieser Arbeit verwendet werden, können mehrdeutig sein, bzw. unterschiedlich interpretiert werden. Um Missverständnisse auszuschließen wird nun erklärt, wie diese Begriffe zu verstehen sind. Dabei werden Vorgehensweisen und Anwendungen beschrieben ohne auf die Hintergründe einzugehen. Auf diese wird dann in den nachfolgenden Abschnitten und Kapiteln an geeigneter Stelle eingegangen.

Ein in dieser Diplomarbeit häufig verwendeter Begriff ist Übergabe. Bei einer Übergabe wechselt die Kontrolle über eine Transporteinheit. Es gibt zwei Arten von Übergaben, nämlich die Annahme und die Abgabe. Wenn die Kontrolle über eine Transporteinheit von einem Fahrer an den Leitstand wechselt, die Verantwortung für die Einheit also vom Fahrer an den Betreiber der Rollenden Landstraße bzw. des Betriebshofs übergeht, dann ist dies aus Sicht des Fahrers eine Abgabe, aus Sicht des Betreibers aber eine Annahme. Wechselt die Verantwortung und die Kontrolle über eine Transporteinheit in die andere Richtung, also hin zum Fahrer, dann handelt es sich aus dessen Sicht um eine Annahme und aus Sicht des Betreibers um eine Abgabe. Da der Fokus dieser Arbeit auf den Betreiber eines Betriebshofs gerichtet ist, wird im folgenden dessen Sicht benutzt. Daher bedeutet der Begriff *Annahme*, dass die der Kontrolle über das Fahrzeug hin zum Leitstand wechselt. Der Begriff *Abgabe* beschreibt den Wechsel der Kontrolle weg vom Leitstand hin zum Fahrer. Der Begriff *Übergabe* steht im folgenden als Zusammenfassung für Annahme und Abgabe, d.h. statt immer zu schreiben „bei der Annahme und/oder Abgabe...“ schreibt man „bei der Übergabe...“.

Eine Übergabe lässt sich in zwei Schritte aufteilen. Zuerst wird eine *Anmeldung* durchgeführt. Hierbei teilt ein LKW-Fahrer mit, welche Art der Übergabe, also Annahme oder Abgabe, er durchführen möchte. Danach können dann die Arbeitsschritte ausgeführt werden, die nötig sind, damit die Kontrolle vom Fahrer an den Leitstand oder umgekehrt übergeht. Die Arbeitsschritte zum Wechsel

der Kontrolle werden im folgenden als die *eigentliche Übergabe* oder *Übergabe im engeren Sinn* bezeichnet. Eine Übergabe besteht also aus einer Anmeldung und der eigentlichen Übergabe.

Übergaben werden in speziellen, dafür vorgesehenen und abgegrenzten Bereichen durchgeführt. Ein solcher Bereich wird *Übergabebereich* genannt. Damit kann man den Betriebshof in drei Teile gliedern, und zwar den autonomen Bereich, den manuellen Bereich und den Übergabebereich. Im autonomen Bereich werden Fahrzeuge nur autonom gefahren. In diesem Teil des Betriebshofs findet die Be- und Entladung von Zügen statt. Die Fahrzeuge fahren dazu autonom auf die Waggonen oder von diesen hinunter. In diesem Teil des Betriebshofs werden keine Fahrzeuge manuell bewegt und es sollten sich auch keine Personen dort aufhalten, weil man dann bei den autonomen Fahrzeugen auf technische Systeme zum Erkennen von manuellen Fahrzeugen und Personen verzichten kann. Autonome Fahrzeuge lassen sich so mit wesentlich weniger Aufwand und kostengünstiger herstellen und betreiben.

Im manuellen Bereich kann man nur manuell fahren. In diesem Bereich wird die Anmeldung durchgeführt. Die für die Anmeldung notwendigen Terminals stehen also im manuellen Bereich. Der manuelle Bereich ist auch der einzige Bereich, der mit dem öffentlichen Straßenverkehr verbunden ist. Die Einfahrt von der Straße auf das Betriebshofgelände mündet also in den manuellen Bereich.

Der *Übergabebereich* verbindet den manuellen mit dem autonomen Bereich. Im Übergabebereich kann sowohl manuell als auch autonom gefahren werden, allerdings nicht gleichzeitig. Der grobe Ablauf einer Übergabe sei an dieser Stelle kurz vorweggenommen. Bei der Annahme wird eine Transporteinheit vom manuellen Bereich in den Übergabebereich gefahren. Dies geschieht logischerweise manuell, d.h. ein Mensch fährt das Fahrzeug in den Übergabebereich. Danach verlässt der Fahrer den Übergabebereich und begibt sich wieder zum manuellen Bereich. Sobald sicher ist, dass der Fahrer den Übergabebereich verlassen hat, kann die Transporteinheit autonom den Übergabebereich verlassen und in den autonomen Bereich fahren. Die Annahme ist damit beendet. Bei der Abgabe wird eine Transporteinheit autonom in den Übergabebereich gefahren, dann darf ein LKW-Fahrer den Bereich betreten und das Fahrzeug manuell aus dem Übergabebereich hinausfahren. Bei der Annahme wird zuerst manuell und dann autonom gefahren, bei der Abgabe umgekehrt.

Wenn ein LKW-Fahrer am Betriebshof ankommt, muss er sich als erstes anmelden. Bei dieser Anmeldung teilt er mit, ob er eine Transporteinheit abgeben oder abholen will. Es muss dem Leitstand also mitgeteilt werden, ob eine Annahme oder eine Abgabe durchgeführt werden soll. Diese Anmeldung erfolgt durch geeignete Eingaben an einem Computerterminal. Dieser Computer wird entweder von einem Mitarbeiter des Betriebshofs bedient oder, um Personalkosten zu sparen, so eingerichtet, dass der LKW-Fahrer ihn selbstständig bedienen kann. Dieser Computer wird im folgenden Anmeldeterminale oder kurz *Terminal* genannt. In dieser Arbeit wird das Wort Terminal immer als Kurzform für ein

solches Anmeldeterminale benutzt.

Ein *Traktor* ist ein Fahrzeug, das autonom fahren und einen Anhänger oder Sattelaufzieger ankoppeln kann. Er dient dazu die Transporteinheiten auf dem Betriebshof zu bewegen und sie auf Züge zu verladen oder von diesen zu entladen. Falls ein Gespann transportiert werden soll, muss die Zugmaschine mit der entsprechenden Hard- und Software für autonome Fahrten ausgestattet sein, ein Traktor wird nicht benötigt.

2.2 Der Leitstand

Ein Leitstand ist ein System, das alle für autonomes Fahren benötigten Funktionen bereitstellt. Im folgenden Abschnitt werden die Anforderungen an den Leitstand und die Aufgaben, die er erfüllen muss, um die benötigten Funktionen bereitzustellen, festgehalten und erläutert. Im darauf folgenden Abschnitt wird der Aufbau eines Leitstands beschrieben.

2.2.1 Aufgaben des Leitstands

Der Leitstand hat die Aufgabe autonome Fahrzeuge auf einem Betriebshof zu steuern und zu überwachen. Das bedeutet, dass der Leitstand Fahraufträge erstellt, diese an die entsprechenden Fahrzeuge sendet und die Einhaltung der Aufträge überwacht.

Damit der Leitstand geeignete Aufträge erstellen kann muss er zunächst wissen, welche Fahrzeuge sich auf dem Betriebshof befinden, und welche Aufgaben diese zu erfüllen haben. Außerdem muss der Leitstand das Gelände des Betriebshofs kennen, d.h. er muss wissen, wo die Grenzen des Hofes sind, welche Teile er als Fahrwege benutzen kann, wo sich Hindernisse befinden und welche Teile des Hofes er für das Parken von Fahrzeugen verwenden kann.

Dem Leitstand muss bekannt sein, welche Aufgaben die Fahrzeuge auf dem Gelände zu erledigen haben. Der Leitstand muss einerseits alle möglichen Aufgaben, die die Fahrzeuge zu erledigen haben, kennen. Auf einem Speditionshof zum Beispiel können das Heranfahren an eine bestimmte Laderampe zum Be- und Entladen oder eine Zapfsäule zum Tanken Aufgaben sein. Andererseits muss dem Leitstand bekannt sein, welche der möglichen Aufgaben ein konkretes Fahrzeug zu einem bestimmten Zeitpunkt erledigen soll. Beispielsweise könnte die Aufgabe für ein bestimmtes Fahrzeug sein, zur Laderampe Nr.2 zu fahren, um dort beladen zu werden.

Welche Aufgaben nun ein Fahrzeug zu erledigen hat, muss dem Leitstand zur Laufzeit mitgeteilt werden. Der Leitstand braucht also eine Kommunikationsschnittstelle, über die ihm die benötigten Daten übermittelt werden.

Sobald der Leitstand die Daten für eine Aufgabe erhalten hat, zerlegt er sie soweit es geht in Teilaufgaben. In welche Teilaufgaben die Aufgabe zu zerlegen

ist, nimmt der Leitstand anhand der Informationen über alle möglichen zu erledigenden Aufgaben vor. Die Aufgabe wird soweit zerlegt, bis man elementare Fahraufgaben erhält. Diese elementaren Fahraufgaben muss der Leitstand dann verplanen.

Das Planen einer elementaren Fahraufgabe wird in mehreren Schritten vorgenommen. Zunächst wird eine Terminplanung durchgeführt. Dabei bestimmt der Leitstand, wann welche Aufgabe zu erledigen ist. Dann wird eine Route geplant. Dazu wird anhand der möglichen Fahrwege auf dem Gelände eine Strecke vom Start- zum Zielpunkt berechnet. Danach wird der so genannte Raum-Zeit-Plan erstellt. Bei der Erstellung dieses Plans berechnet der Leitstand den Aufenthaltsort aller Fahrzeuge zu jedem Zeitpunkt. Ziel ist es, alle Routen kollisionsfrei einzuplanen.

Nach dem Erstellen der Pläne können die Fahraufträge an die Fahrzeuge gesendet werden. Der Leitstand benötigt daher eine Kommunikationsschnittstelle, um die Aufträge an die Fahrzeuge zu senden.

Über diese Schnittstelle senden die Fahrzeuge ständig Daten an den Leitstand, unter anderem ihre aktuelle Position. Der Leitstand macht dann einen Soll/Ist-Vergleich. Weicht die Ist-Position eines Fahrzeugs von der Soll-Position im Plan ab, muss der Leitstand reagieren und den Raum-Zeit-Plan anpassen. Der geänderte Plan wird dann an die Fahrzeuge gesendet und ist von nun an der maßgebliche Plan.

Außerdem hat der Leitstand noch Sicherheitsaufgaben zu übernehmen. Im Falle einer drohenden Kollision beispielsweise, muss der Leitstand die betroffenen Fahrzeug per Notstopp zum sofortigen Anhalten zwingen. Auch auf sonstige Ausnahmen und Fehler muss der Leitstand auf geeignete Weise reagieren.

Kurz zusammengefasst ergeben sich für den Leitstand die folgenden Anforderungen und Aufgaben:

- Der Leitstand benötigt Informationen über alle möglichen Aufgaben auf dem Betriebshof.
- Der Leitstand benötigt Informationen über den Aufbau des Geländes des Hofes.
- Man benötigt eine Kommunikationsschnittstelle, um Daten über zu erledigende Aufgaben an den Leitstand zu senden.
- Man benötigt eine Kommunikationsschnittstelle, um Daten mit den Fahrzeugen auszutauschen.
- Der Leitstand muss die Aufgaben in elementare Fahraufgaben zerlegen.
- Die Fahraufgaben müssen eingeplant werden. Es muss ein Raum-Zeit-Plan erstellt werden.

- Die Einhaltung des Raum-Zeit-Plans muss überwacht werden.
- Es müssen Kollisionen verhindert werden.

2.2.2 Aufbau des Leitstands

Die Aufgaben des Leitstands lassen sich in zwei Kategorien zusammenfassen. Die erste Kategorie umfasst die Planungsaufgaben. In diese Kategorie fallen das Zerlegen von Aufgaben in elementare Teilaufgaben und das Erstellen eines Raum-Zeit-Plans. Die zweite Kategorie beinhaltet die Überwachungsaufgaben. Dazu gehören das Überwachen der Einhaltung der Pläne und das Verhindern von Kollisionen.

Die Abbildung 2.1 zeigt den Aufbau des Leitstands. Der Leitstand ist in zwei Teile geteilt, und zwar die Planungskomponente und die Überwachungskomponente. Beide Komponenten werden jeweils in einem eigenen Prozess parallel ausgeführt. Die Komponenten selber sind noch einmal in verschiedene Module unterteilt. Jedes Modul bildet eine funktionale Einheit, die einen bestimmten Zweck zu erfüllen hat. Die Module kommunizieren untereinander mittels eines internen Ereignisverteilers. Über diesen Verteiler können die Module Ereignisse an andere Module senden und von diesen empfangen.

Neben dem internen Ereignisverteiler, mit dem die Komponenten des Leitstand untereinander kommunizieren können, gibt es noch einen externen Ereignisverteiler. Der externe Ereignisverteiler ermöglicht die Kommunikation mit externen Modulen. Externe Module übernehmen für den Leitstand weitere Aufgaben und versorgen ihn mit notwendigen Informationen.

Ein Beispiel für ein externes Modul ist die Aufgabenannahme. Dieses Modul versorgt den Leitstand mit den Aufgaben, die auf dem Betriebshof abgearbeitet werden sollen. Das in dieser Diplomarbeit zu entwickelnde Modul zur Übergabe von Fahrzeugen ist ein weiteres externes Modul, welches über den externen Ereignisverteiler mit dem Leitstand kommunizieren kann.

Die Planungskomponente

Die Planungskomponente übernimmt die Planungsaufgaben des Leitstands. Die Komponente ist in die Module Auftragsverwaltung, Terminplanung, Routenplanung und Detailplanung unterteilt.

Die *Auftragsverwaltung* hat die Aufgabe die Aufträge zu verwalten. Ein Auftrag umfasst sämtliche Aufgaben, die ein Fahrzeug auf dem Betriebshof zu erledigen hat.

Die Auftragsverwaltung kommuniziert zunächst mit der Auftragsannahme und bekommt von dieser alle notwendigen Informationen für einen Auftrag. Danach wird dieser von der Auftragsverwaltung in Teilaufgaben zerlegt. Die Auftragsverwaltung nimmt die Zerlegung anhand der anwendungsspezifischen Informationen über mögliche Aufgaben auf dem Betriebshof vor. Der Auftrag wird

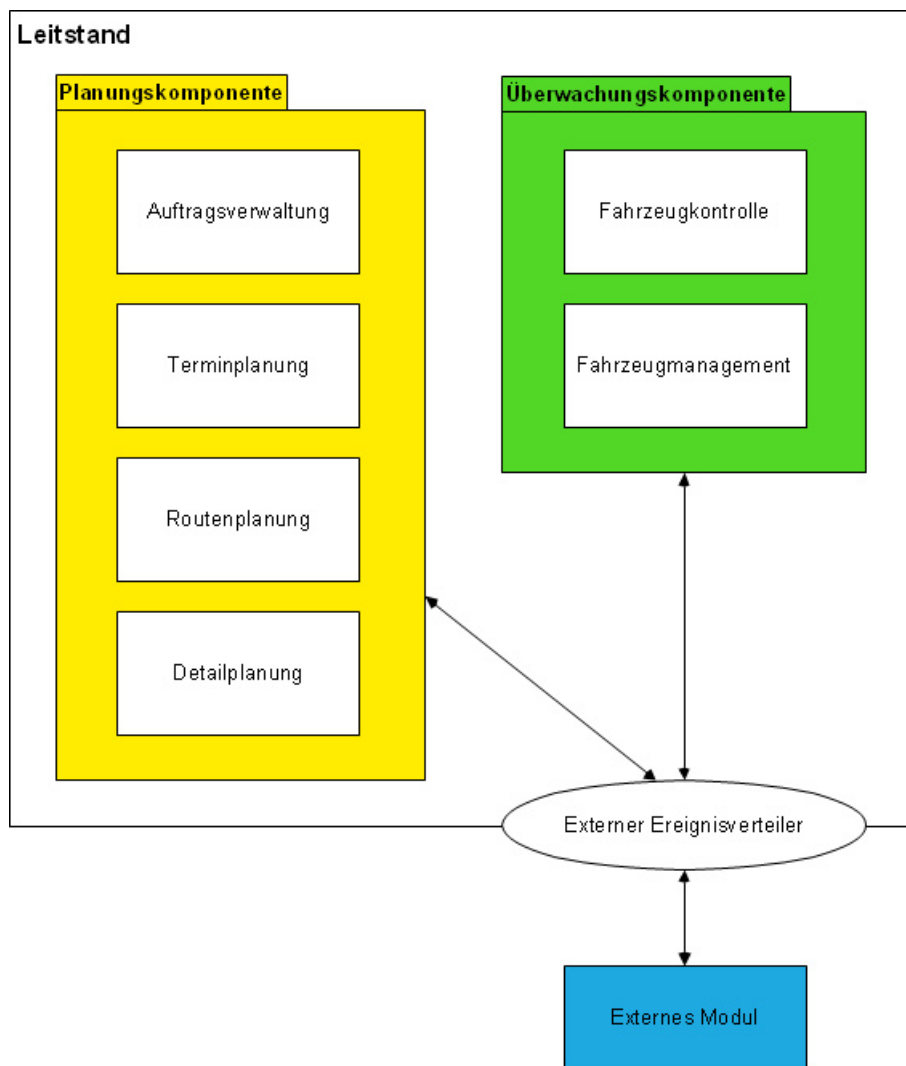


Abbildung 2.1: Aufbau des Leitstands

soweit zerlegt, bis man elementare Fahraufgaben erhält. Die Fahraufgaben werden dann an die Terminplanung weitergereicht.

Die *Terminplanung* hat die Aufgabe die Ausführung der Fahraufgaben terminlich einzuplanen, sie zu starten und zu beenden. Bevor eine Aufgabe ausgeführt werden kann muss zunächst eine Route berechnet werden und diese in den Raum-Zeit-Plan eingetragen werden. Diese Schritte lässt die Terminplanung zunächst von der Routenplanung bzw. Detailplanung durchführen.

Nachdem eine Route berechnet und in den Raum-Zeit-Plan eingetragen wurde, kann die Terminplanung die Ausführungszeiten für die Aufgaben festlegen. Dazu überprüft die Terminplanung die möglichen Ausführungszeiten, die ihr von der Detailplanung mitgeteilt wurden, und übernimmt diese dann in den Plan für die entsprechende Aufgabe. Die Aufgaben können nun zu den festgelegten Zeiten gestartet und beendet werden.

Die *Routenplanung* hat die Aufgabe eine Route von einem gegebenen Startpunkt zu einem gegebenen Zielpunkt zu berechnen. Sie verwendet dazu die ihr zur Verfügung stehenden Informationen über den Aufbau des Geländes. Sie kennt alle verfügbaren Fahrwege und weiß, wo sich feste Hindernisse befinden. Die von der Routenplanung berechnete Route besteht aus einer Abfolge von Punkten, die der Reihe nach abgefahren werden sollen. Im nächsten Schritt wird von der Detailplanung aus der Abfolge von Punkten eine für ein Fahrzeug fahrbare Trajektorie berechnet.

Die *Detailplanung* hat die Aufgabe einen Raum-Zeit-Plan zu erstellen. Im Raum-Zeit-Plan wird festgehalten, welches Fahrzeug sich zu welchem Zeitpunkt an welchem Punkt des Geländes aufhält. Zu jedem Zeitpunkt darf sich an jedem Punkt maximal ein Fahrzeug aufhalten.

Zur Erstellung eines Raum-Zeit-Plans geht die Detailplanung wie folgt vor: nachdem sie von der Routenplanung eine Route für eine Fahraufgabe übergeben bekommen hat, berechnet die Detailplanung eine Trajektorie, die von dem Fahrzeug gefahren werden kann. Die Abmessungen des Fahrzeugs und dessen Manövrierbarkeit müssen dazu der Detailplanung bekannt sein.

Als nächstes wird ein Korridor für die Fahraufgabe berechnet. Ein Korridor ist der Bereich, den das Fahrzeug während der Fahrt benutzt und niemals verlassen darf. Die Abmessungen des Fahrzeugs und die berechnete Trajektorie spielen bei der Berechnung des Korridors eine Rolle.

Im nächsten Schritt berechnet die Detailplanung die Fahrzeiten. Man kann dann für jedes Fahrzeug berechnen, wo es sich innerhalb seines Korridors zu welchem Zeitpunkt befindet und welche Fläche es dabei belegt. Die Flächen von zwei oder mehr Fahrzeugen dürfen sich zu keinem Zeitpunkt überschneiden.

Falls es keine Überschneidung gibt, können die Fahraufgaben freigegeben werden, d.h. sie können zu den berechneten Startzeitpunkten gestartet werden. Falls es Überschneidungen gibt, muss der Plan geändert werden, in dem beispielsweise die Startzeit einer Fahraufgabe geändert oder die Geschwindigkeit verändert wird.

Die Überwachungskomponente

Die Überwachungskomponente des Leitstands hat die Aufgabe die Fahrzeuge und die Einhaltung der Pläne zu überwachen. Die Komponente besteht aus den Modulen Fahrzeugkontrolle und Fahrzeugverwaltung.

Die *Fahrzeugkontrolle* hat die Aufgabe die Fahrzeuge, die sich auf dem Gelände befinden, zu überwachen. Dazu muss sie unter anderem die Einhaltung des Raum-Zeit-Plans kontrollieren. Außerdem muss sie mögliche Kollisionen erkennen und verhindern, sowie darauf achten, dass die Fahrzeuge innerhalb ihres Korridors bleiben.

Die Fahrzeugkontrolle berechnet fortlaufend für jedes Fahrzeug so genannte Belegungs- und Sicherheitspolygone. Ein Belegungspolygon ist die Fläche die ein Fahrzeug im Moment belegt. Flächen, die von Hindernissen auf dem Gelände belegt sind, werden ebenfalls durch Belegungspolygone repräsentiert. Ein Sicherheitspolygon ist die Fläche, die ein Fahrzeug in naher Zukunft belegen wird. Die Berechnung eines Sicherheitspolygons ist abhängig von den Abmessungen des Fahrzeugs, der abzufahrenden Trajektorie und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

Die Sicherheitspolygone werden benutzt, um mögliche Kollisionen zu erkennen. Sollte ein Sicherheitspolygon eines Fahrzeugs ein anderes Polygon berühren, bedeutet dies, dass es in naher Zukunft zu eine Kollision kommen kann. Daraufhin wird das Fahrzeug abgebremst, um eine Kollision zu vermeiden. Falls notwendig kann das Fahrzeug bis zum Stillstand abgebremst werden, um eine Kollision zu verhindern.

Eine weitere Aufgabe der Fahrzeugkontrolle ist es dafür zu sorgen, dass die Fahrzeuge innerhalb ihres Korridors bleiben. Dazu vergleicht die Fahrzeugkontrolle fortwährend die tatsächliche aktuelle Position des Fahrzeugs mit der berechneten Position. Bei Abweichungen muss entsprechend reagiert werden, beispielsweise durch passende Lenkmanöver oder Anpassung der Geschwindigkeit.

Die Einhaltung des Raum-Zeit-Plans wird von der Fahrzeugkontrolle überwacht. Durch einen fortlaufenden Vergleich zwischen den aktuellen Positionen, welche die Fahrzeuge gerade einnehmen, und den Positionen, die sie laut Plan einnehmen sollten, kann man Abweichungen vom Plan erkennen. Die Aufgabe der Fahrzeugkontrolle ist es dann, durch entsprechende Maßnahmen, z.B. dem Anpassen der Fahrzeuggeschwindigkeit, die Abweichungen zu beseitigen.

Die *Fahrzeugverwaltung* hat die Aufgabe, die Daten über alle Fahrzeuge zu verwalten und den anderen Modulen zur Verfügung zu stellen. Zunächst einmal wird jedem Fahrzeug eine eindeutige Kennung zugewiesen. Daneben werden die Abmessungen eines Fahrzeugs, sowie Daten über seine Kinematik festgehalten. Außerdem senden die Fahrzeuge regelmäßig Daten über ihre aktuelle Position, ihre aktuelle Geschwindigkeit usw. an die Fahrzeugverwaltung. Diese werden dann von der Fahrzeugverwaltung aufbereitet und den Modulen zur Verfügung gestellt.

Die Fahrzeugverwaltung übernimmt auch die Kommunikation mit den Fahr-

zeugen. Wenn eine Fahraufgabe gestartet wird, müssen dem Fahrzeug die passenden Anweisungen übermittelt werden. Dafür besitzt die Fahrzeugverwaltung eine geeignete Kommunikationsschnittstelle. Über diese Schnittstelle sendet die Fahrzeugverwaltung nicht nur Anweisungen an die Fahrzeuge, sondern kann auch Daten empfangen, z.B. die aktuelle Position des Fahrzeugs.

Integration des Übergabemoduls in den Leitstand

Das in dieser Diplomarbeit zu entwickelnde Modul zur Übergabe von Fahrzeugen wird als ein externes Modul realisiert.

Der Leitstand ist so konzipiert, dass er Aufgaben, die er von einem externen Modul erhält, in elementare Fahraufträge zerlegt, diese verplant, ausführt und überwacht. Das Zerlegen, Planen, Ausführen und Überwachen von Aufträgen ist Aufgabe der internen Module des Leitstands. Welche Aufgaben auf dem Betriebshof erledigt werden sollen, wird dem Leitstand von externen Modulen mitgeteilt.

Eine Übergabe, soviel sei an dieser Stelle schon einmal erwähnt, besteht nicht nur aus einem elementaren Fahrauftrag, sondern ist eine komplexe Aufgabe. Es ist daher logisch, das Übergabemodul als ein externes Modul zu entwerfen, das dem Leitstand mitteilt, welche Aufgabe erledigt werden soll. Der Leitstand kann diese Aufgabe, wie jede andere Aufgabe auch, in elementare Fahraufträge zerlegen, diese anschließend verplanen, ausführen und überwachen.

Die Kommunikation zwischen dem Übergabemodul und dem Leitstand erfolgt, wie bei jedem externen Modul, über den externen Ereignisverteiler des Leitstands. Hierüber kann das Modul dem Leitstand die notwendigen Aufgaben für eine Übergabe übermitteln.

2.3 Übergabe

2.3.1 Anforderungen an den Übergabebereich

An den Übergabebereich eines Betriebshofs und die Übergabe werden eine Reihe von Anforderungen gestellt. Der Übergabebereich eines Betriebshofs dient als Schnittstelle zwischen dem Betriebshof, auf dem sich nur autonome Fahrzeuge bewegen, und dem Bereich außerhalb des Betriebshofs, wo sich die Fahrzeuge nicht autonom bewegen. Autonom bedeutet fahrerlos, nicht-autonom bedeutet von einem menschlichen Fahrer gesteuert. Im Übergabebereich können Fahrzeuge sowohl autonom als auch nicht-autonom bewegt werden. Die Fahrzeuge besitzen Sensoren, mit denen sie Hindernisse erkennen können. Diese reichen in der Regel aber nur, um statische Hindernisse zu erkennen. Zum Erkennen dynamischer Hindernisse, wie Personen oder manuelle Fahrzeuge, reicht die Sensorik nicht aus. Daher muss darauf verzichtet werden, im Übergabebereich gleichzeitig manuell

und autonom zu fahren. Man kann also in bestimmten Zeiträumen im Übergabebereich nur autonom fahren, in anderen Zeiträumen nur manuell. In dem Bereich des Betriebshofs, in dem sich ausschließlich autonom fahrende Fahrzeuge bewegen, sollen sich aus Sicherheitsgründen möglichst keine Menschen aufhalten und es soll keine Möglichkeit geben, dass ein Fahrzeug manuell in diesen Bereich gefahren wird. Er ist daher von der Umgebung abzutrennen, z.B. durch einen Zaun, eine Mauer oder durch natürliche Hindernisse. Ebenso muss der Übergabebereich zur Sicherheit vom Rest der Umgebung abgetrennt werden. Die Übergabeprozedur und der Übergabebereich sollen so gestaltet werden, dass die größtmögliche Sicherheit gewährleistet werden kann, ohne die anderen Anforderungen zu vernachlässigen.

Ein Faktor, der im Transportgewerbe eine wichtige Rolle spielt, ist Zeit. Daher sollte die Übergabe nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Vor allem ein Fahrer, der einen LKW am Betriebshof abgibt oder annimmt, sollte durch die Übergabe nicht zu lange gebunden werden. Eine kurze Übergabeprozedur ermöglicht es, dass ein Fahrer schon nach kurzer Zeit wieder für weitere Aufgaben zur Verfügung steht. Die Zeit ist eine Anforderung, die mit der Sicherheit in Konflikt stehen kann. Maßnahmen, die der Sicherheit dienen können, kosten Zeit und verlängern somit die Übergabe. Legt man viel Wert auf die Sicherheit, dann muss man in Kauf nehmen, dass die Übergabe sehr lange dauert und man in einer bestimmten Zeiteinheit nur wenige Übergaben durchführen kann. Legt man hingegen Wert auf eine möglichst schnelle Übergabe, dann kann das negative Auswirkungen auf die Sicherheit haben. Es gilt also den bestmöglichen Kompromiss aus Zeit und Sicherheit zu finden. Man sollte nicht um jeden Preis versuchen die Übergabe so schnell wie möglich zu gestalten. Genauso wenig ist es sinnvoll die Übergabe noch sicherer machen zu wollen. Das Restrisiko sollte überschaubar und vertretbar sein.

Eine weitere Anforderung an den Übergabebereich betrifft seine Größe. Er muss mindestens so groß sein, dass ein LKW-Gespann hinein passt. Ein Gespann darf laut Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (siehe [1], §32, §34) maximal 18,75m lang, 2,60m breit und 40 t schwer sein. Auf einem Niederflurwagen der Rollenden Landstraße kann man Fahrzeuge bis 18,80m Länge, 2,50m Breite in Höhe der Räder und 45t Gewicht verladen (siehe[5], S.258). Bezüglich Gewicht und Länge kann jedes der StVZO entsprechende Gespann somit transportiert werden. Einzig Fahrzeuge, die in Höhe der Räder zwischen 2,50m und 2,60m breit sind, können nicht transportiert werden, obwohl sie der StVZO entsprechen. Die Anzahl solcher Fahrzeuge sollte allerdings sehr gering sein, weil die StVZO die Gesamtbreite mit maximal 2,60m vorschreibt und die meisten Fahrzeuge, die so breit sind, die Breite durch abstehende Teile, wie zum Beispiel die Außenspiegel, erreichen und im Bereich der Räder schmaler sind.

Ein Übergabebereich sollte so groß sein, dass ein Gespann mit 18,75m Länge und 2,60m Breite hineinpasst. Außerdem muss dann noch genug Platz vorhanden sein, damit der Anhänger oder Sattelaufleger abgekoppelt werden und die Zugmaschine den Übergabebereich verlassen kann. Der Übergabebereich soll aber

auch nicht zu groß sein, weil sonst für die übrigen Teile des Betriebshofs (Anmeldeterminale, Stellfläche für wartende LKWs, usw.) eventuell nicht mehr genug Platz vorhanden ist. Falls der Übergabebereich recht klein ist, kann dies das Manövrieren innerhalb des Bereichs erschweren. Die Übergabe kann dadurch mehr Zeit in Anspruch nehmen. Ein größerer Bereich kann die Übergabe beschleunigen. Wenn eine Vergrößerung des Übergabebereichs keinen weiteren Zeitgewinn mehr bringt, ist diese Vergrößerung nur dann sinnvoll, wenn damit die Sicherheit bei der Übergabe erhöht werden kann.

Eine Resource, mit der man nicht zu verschwenderisch umgehen darf, ist das Personal. Zu viel Personal verursacht hohe Personalkosten. Diese Kosten können nur durch hohe Preise wieder erwirtschaftet werden. Hohe Preise können den automatisierten Betriebshof unrentabel machen und die Speditionen verzichten auf deren Gebrauch. Außerdem erhöht eine größere Zahl an Personal die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens einer einen Fehler macht und es zu einem Unfall kommt. Man darf mit dem Personal aber auch nicht zu sparsam umgehen. Wird weniger Personal eingesetzt, muss der einzelne Angestellte mehr arbeiten. Dies kann soweit gehen, dass er zu viele Aufgaben zu erledigen hat und dadurch überlastet ist. Dies kann sich negativ auf die Sicherheit und die Unfallzahlen auswirken. Die Lösungen sollten daher möglichst wenig Personal benötigen, ohne gleichzeitig den einzelnen Arbeiter dabei zu überfordern.

Die bisher genannten Anforderungen haben alle Auswirkungen auf die Kosten. Es ist mit allem sparsam umzugehen, damit die Kosten nicht zu hoch werden. Menschliche Arbeit ist eine teure Resource, besonders in einem Hochlohnland wie Deutschland. Man muss daher sparsam mit Personal umgehen, d.h. nur da, wo es nötig ist, Personal einsetzen. Wo Personal nicht unbedingt nötig ist, sollte man darauf verzichten. Die Größe eines Betriebshofs und des Übergabebereichs hat auch Auswirkungen auf die Kosten. Je größer der Übergabebereich desto teurer wird es, ihn von der Umgebung abzutrennen, weil man mehr Material für beispielsweise einen Zaun oder eine Mauer braucht. Eine hohe Mauer mag sicherer sein als ein relativ niedriger Zaun, die Baukosten dürften aber auch deutlich höher sein. Es gilt daher den bestmöglichen Kompromiss aus Sicherheit und Kosten zu finden.

Der Übergabebereich sollte so gestaltet sein, dass es keine Rolle spielt, ob der Kunde ein Gespann oder nur einen Anhänger bzw. Sattelaufleger abgibt oder abholt. Andernfalls brauchte man für jede Transporteinheit einen eigenen Übergabebereich und die verschiedenen Übergabebereiche zusammen sind dann viel größer als ein universeller Bereich, in dem alle Arten von Transporteinheiten übergeben werden können. Der Kunde sollte sich außerdem keine Gedanken darüber machen müssen, an welchen Betriebshof die Übergabe stattzufinden hat. Er sollte die Möglichkeit haben, alle Übergaben am Betriebshof seiner Wahl machen zu können. Ist es einmal nicht möglich, dass der Kunde seine Transporteinheit an allen Bahnhöfen abgeben kann, so sollte es dennoch an möglichst vielen Bahnhöfen möglich sein die Übergabe durchzuführen. Mit anderen Worten, der Kunde

sollte möglichst wenig bei seiner Wahl des Betriebshofs eingeschränkt werden. Der Übergabebereich sollte auch so flexibel gestaltet sein, dass die Art der Ladung keine Rolle spielt. Zum Beispiel sollten Gefahrguttransporter genauso übergeben werden können wie normale Transporter. Um nicht für jede Ladungsart einen eigenen Übergabebereich zu benötigen, die zusammen zu groß sind, soll es möglich sein, in einem normalen Übergabebereich beispielsweise auch Gefahrguttransporter übergeben zu können.

2.3.2 Anforderungen an die Übergabe

Für die Durchführung der Übergabe müssen eine Reihe von Daten vorliegen. Ohne bestimmte Daten kann die Übergabe nicht stattfinden, weil sonst der Leitstand die zu übergebende Transporteinheit (Anhänger, Auflieger oder Gespann) nicht steuern oder verplanen kann. Bevor also die eigentliche Übergabe im Übergabebereich stattfindet, ist zu überprüfen, ob alle benötigten Daten vorhanden sind. Eventuell fehlende Daten müssen erst noch ergänzt werden, bevor die Übergabe stattfindet.

Für die Planung des Transports muss man unter anderem den Typ der Transporteinheit kennen, d.h. man muss wissen, ob es sich um einen Anhänger, einen Sattelauflieger oder ein komplettes Gespann handelt. Soll nur ein Anhänger oder ein Sattelauflieger transportiert werden, muss ein passender Traktor zur Verfügung stehen.

Des weiteren muss man die Abmessungen und das Gewicht der Transporteinheit kennen, um die passenden Routen auszuwählen. Bei hohen Transporteinheiten stehen eventuell nicht alle Routen zur Verfügung, weil dort niedrige Tunnel oder Brücken über die Bahnstrecke die maximale Durchfahrtshöhe beschränken. Dies muss bei der Planung des Transports berücksichtigt werden. Die Länge, Breite und Höhe einer Transporteinheit ist in der Regel statisch und könnte dem Fahrzeugschein entnommen werden. Um zu sehen, ob die dort angegebenen Daten korrekt sind, muss man die Fahrzeuge mit einer geeigneten Messanlage vermessen. Da man dadurch aber sowieso jede Transporteinheit vermisst, kann man auf das Nachschlagen der Daten in den Fahrzeugpapieren verzichten und nimmt die gemessenen Daten der Messanlage.

Damit man einen Niederflurwagen nicht überlädt, muss das Gewicht der Transporteinheiten bekannt sein. Das Gewicht ist von der Ladung abhängig, daher muss jede Einheit vor der Übergabe gewogen werden. Eine passende Waage muss am Betriebshof vorhanden sein. Sollte eine Transporteinheit das in ihrem Fahrzeugschein angegebene zulässige Gesamtgewicht überschreiten, also überladen sein, so ist die Annahme zu verweigern.

Informationen über die Art der Ladung einer Einheit sind unter Umständen wichtig. Beispielsweise können manche Routen nicht nutzbar sein, wenn Gefahrgut transportiert werden soll. Die Ladungsart entscheidet daher, ob und wenn ja, welche besonderen Regeln berücksichtigt werden müssen.

Für die Planung der Route wichtig ist auch der Start- und der Zielbahnhof. Ohne diese Informationen ist keine Routenplanung möglich. Außerdem muss der Termin des Transports bekannt sein. Gibt der Kunde einen gewünschten Start- und Endtermin für den Transport an, mit anderen Worten, er gibt seinen Wunschtermin für die Annahme und die Abgabe der Transporteinheit an, dann muss geprüft werden, ob der Transport in der zur Verfügung stehenden Zeit durchgeführt werden kann. Ist dies nicht der Fall, muss die Annahme des Transportauftrags abgelehnt werden. Wenn der Kunde nur einen Termin für die Annahme angibt, dann wird vom System bestimmt, wann die Transporteinheit frühestens am Zielbahnhof abgeholt werden kann. Dieser Termin wird dem Kunden mitgeteilt. Falls der Kunde einen Termin angibt, zu dem er die Transporteinheit am Ziel abholen möchte, ist der spätestmögliche Termin zu bestimmen, an dem die Annahme durchgeführt werden kann und dieser dem Kunden mitzuteilen.

Da die LKW-Fahrer ihre Fahrzeuge nicht mehr begleiten, werden Abgabe und Annahme von unterschiedlichen Personen durchgeführt. Damit nur berechnigte Personen die Transporteinheit am Ziel in Empfang nehmen, muss vorher klar sein, wer die Einheit abholt. Diese Person muss sich dann bei der Abholung identifizieren. Kann sich die Person nicht als abholberechnigte Person ausweisen, so darf ihr die Transporteinheit nicht übergeben werden. Die Person, welche die Transporteinheit am Zielbahnhof abholt, muss nicht unbedingt vorher namentlich bekannt sein, sie muss nur eindeutig nachweisen können, dass sie abholberechnigt ist. Legt die Person beispielsweise die Buchungsquittung oder ein Dokument vor, das nur der Kunde besitzen kann, dann kann man davon ausgehen, dass die Person berechnigt ist, die Transporteinheit abzuholen. Wobei der Kunde die Verantwortung hat, das Dokument nur an eine berechnigte Person zu übergeben. Eine andere Möglichkeit wäre es, Wissen abzufragen, welches nur der Kunde haben kann. Der Kunde ist dann wieder in der Verantwortung, dieses Wissen über einen sicheren Kanal nur der Person mitzuteilen, die die Transporteinheit abholen soll. Der Kunde sollte bei jeder Buchung nochmal explizit auf diese Verantwortung hingewiesen werden.

Außerdem muss ein Ansprechpartner beim Kunden bekannt sein. Dieser wird informiert, wenn es einen unvorhersehbaren Zwischenfall während des Transports gibt, zum Beispiel, wenn der Zug wegen einer Betriebsstörung Verspätung hat. Der Ansprechpartner kann auch kontaktiert werden, wenn eine Person eine Transporteinheit am Zielbahnhof abholen will, sie aber nicht zweifelsfrei als berechnigte Person identifiziert werden kann.

Der Kunde muss selbstverständlich auch für den Transport bezahlen. Die Bezahlung sollte möglichst flexibel sein, damit der Kunde die ihm bevorzugte Zahlungsart wählen kann. Mögliche Zahlungsarten sind die Überweisung, das Erteilen einer Einzugsermächtigung, Barzahlung, Zahlung mit ec- oder Kreditkarte.

Die Datenerfassung sollte flexibel gestaltet sein. Die Buchung soll sowohl im Voraus, als auch erst, wenn die Transporteinheit am Betriebshof eintrifft, möglich sein. Eine Buchung im Voraus kann am besten online durchgeführt werden, aber

auch andere Möglichkeiten, z.B. per Telefon oder Fax, sollten möglich sein. Wird der Transport erst gebucht, wenn der Fahrer mit der Einheit zur Übergabe am Betriebshof erscheint, sind alle Daten zu erfassen. Bei einer Buchung im Voraus ist es am sinnvollsten, auch direkt alle Daten zu erfassen. Je früher alle Daten vorhanden sind, desto früher kann mit der Planung begonnen werden und dem Kunden abgesagt werden, falls der Auftrag nicht ausgeführt werden kann (sollte möglichst selten sein). Wenn bei einer Vorabbuchung nicht alle Daten eingegeben werden, weil z.B. noch nicht feststeht, wer die Transporteinheit abholt, müssen diese Daten spätestens dann nachgereicht werden, wenn der Fahrer zur Übergabe am Betriebshof erscheint. Sind bei einer Vorabbuchung schon alle notwendigen Daten eingegeben worden, dann muss der Fahrer bei der Anmeldung keine weiteren Daten angeben.

Wenn ein Gespann übergeben werden soll, ist der Tankinhalt der Zugmaschine zu prüfen. Es muss genug Treibstoff vorhanden sein, um alle Umschlagmanöver durchführen zu können. Die Zugmaschine muss gegebenenfalls betankt werden. Werden ein Anhänger oder ein Sattelaufzieger übergeben, muss der Tankinhalt des Traktors überprüft werden und dieser gegebenenfalls tanken. Das Tanken muss aber nicht im Übergabebereich während der Übergabe durchgeführt werden. Die Tankanlage kann auch im autonomen Bereich sein, und das Tanken kann dort entweder direkt nach der Übergabe durchgeführt werden oder auch zu einem späteren Zeitpunkt, wann immer es notwendig ist. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird nicht weiter auf das Tanken eingegangen, da es unabhängig von der Übergabe ist und auch nicht im Übergabebereich durchgeführt wird.

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Anforderungen an den Übergabebereich und die Übergabe:

Sicherheit: Personen und manuelle Fahrzeuge sollen sich nicht gleichzeitig mit autonomen Fahrzeugen in einem Bereich aufhalten.

Zeit: die Übergabe sollte möglichst wenig Zeit in Anspruch nehmen.

Größe: ein Übergabebereich sollte nicht zu viel Platz benötigen.

Personal: es sollte möglichst wenig Personal für die Übergabe benötigt werden.

Flexibilität: sowohl Annahme als auch Abgabe können in einem Übergabebereich durchgeführt werden. Es sollte keine Rolle spielen, welche Art von Transporteinheit übergeben werden soll.

Zum Betreiben eines Betriebshofs müssen neben dem Übergabebereich folgende Bestandteile vorhanden sein:

Terminals, an denen sich die Fahrer anmelden können.

Messanlagen, um die Transporteinheiten zu wiegen und zu vermessen.

Ein Wartebereich, in dem die Fahrer mit ihren Fahrzeugen warten können, falls zur Zeit kein Übergabebereich frei ist und die Übergabe noch nicht durchgeführt werden kann.

Traktoren, um Sattelaufzieger und Anhänger autonom bewegen zu können.

Eine Tankanlage, um die Traktoren und autonomen Gespanne mit Treibstoff versorgen zu können. Diese Anlage kann sich im autonomen Bereich des Betriebs Hofes befinden.

Um einen Transport planen zu können, müssen folgende Informationen bekannt sein:

Die Art der Transporteinheit. Für einen Anhänger oder Sattelaufzieger muss ein passender Traktor zur Verfügung stehen. Ein Gespann muss die notwendige Ausrüstung zum autonomen Fahren haben, ein Traktor wird nicht benötigt.

Das Gewicht und die Abmessung der Transporteinheit.

Die Art der Ladung, damit, falls nötig, besondere Regeln, z.B. bei Gefahrgut, berücksichtigt werden.

Der Start- und der Zielbahnhof, um die Route zu planen.

Der Termin des Transports, damit dieser zeitlich geplant werden kann.

Ein Ansprechpartner, der bei Zwischenfällen unterrichtet werden kann.

Zahlungsinformationen zur Durchführung des Bezahlvorgangs.

2.3.3 Ablauf der Übergabe

Ohne an dieser Stelle die Lösungen vorwegzunehmen, kann man sagen, dass es bestimmte Arbeitsschritte gibt, die man auf jeden Fall ausführen muss, um die Übergabe durchzuführen. Die Lösungen unterscheiden sich darin, wie man diese Schritte im Detail ausführt. Gleich ist jedoch, dass man nicht umhinkommt, dass man diese Arbeitsschritte auszuführen hat.

In Abbildung 2.2 ist der Ablauf einer Annahme dargestellt. Als erstes muss die Anmeldung durchgeführt werden. Bei der Anmeldung werden alle Daten erhoben, die für den Transport nötig sind. Ist der Auftrag nicht vorab gebucht worden, dann wird die Buchung jetzt durchgeführt. Ist schon im voraus gebucht worden, muss man angeben, auf welche Buchung man sich bezieht, d.h. der LKW-Fahrer gibt an, er möchte die Annahme für einen bestimmten Auftrag durchführen und nennt die dazu passende Buchung. Des Weiteren muss die Transporteinheit vermessen und gewogen werden. Bei Terminals, die der Fahrer von seinem Fahrzeug

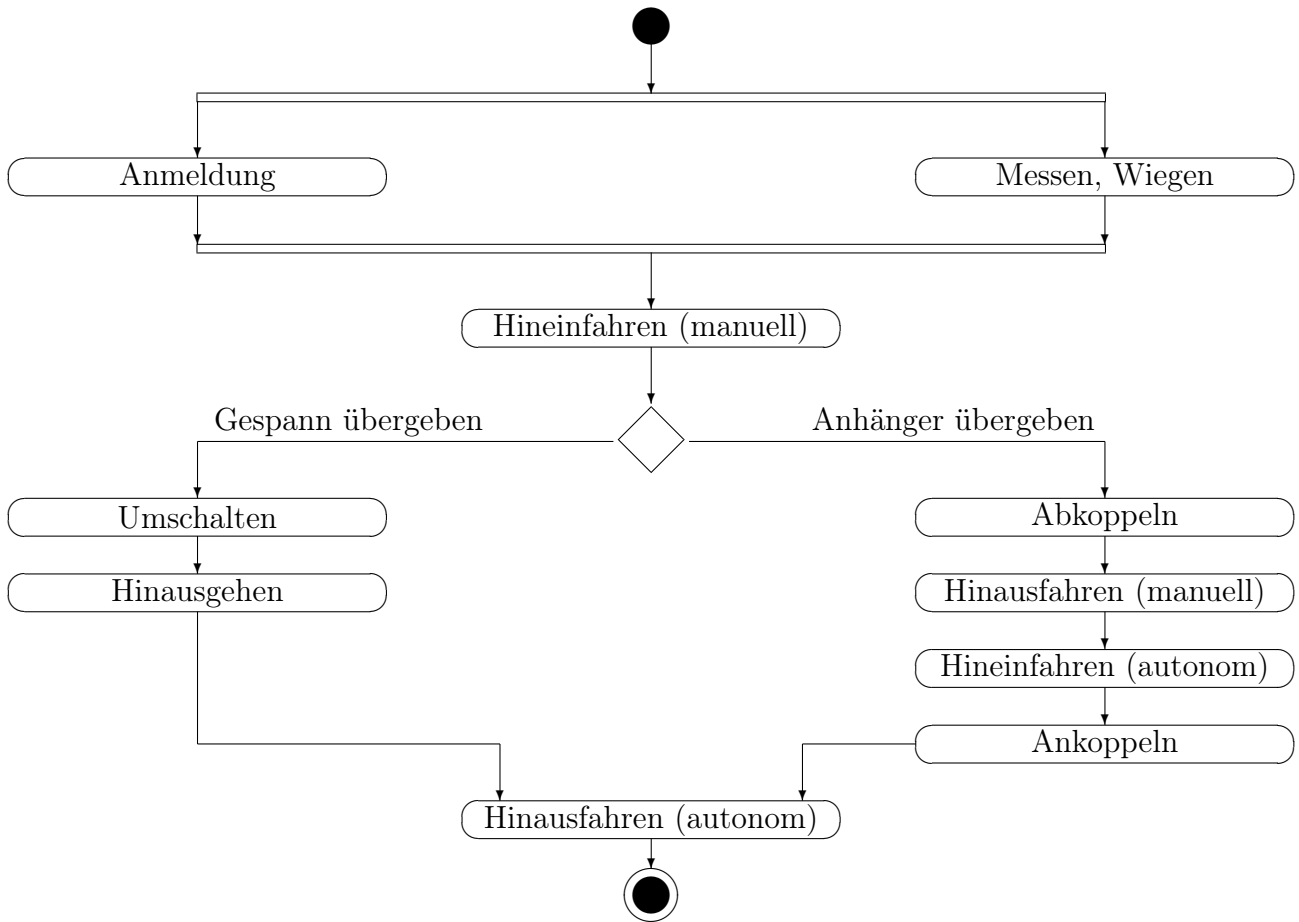


Abbildung 2.2: Grober Ablauf einer Annahme

aus bedienen kann, ist es sinnvoll, die Messanlage so einzurichten, dass die Anmeldung und das Messen gleichzeitig stattfinden können. Dazu müssen das Terminal und die Messanlage so angeordnet werden, dass man mit dem Fahrzeug automatisch auf eine Waage fährt und von einer Messeinrichtung zum Vermessen eines Fahrzeugs erfasst wird, wenn man an das Terminal heranfährt. Die Anmeldung sowie das Messen und Wiegen kann dann gleichzeitig stattfinden. Nachdem die Anmeldung durchgeführt wurde und das Fahrzeug vermessen und gewogen wurde, kann die eigentliche Übergabe ausgeführt werden.

Hat man keine Terminals, an die man heranfahren kann, sondern solche, zu denen die Fahrer hingehen müssen, nachdem sie ihren LKW geparkt haben, dann braucht man eine separate Messanlage. Das Messen und Wiegen wird dann nach der Anmeldung und vor der eigentlichen Übergabe durchgeführt. Der Fahrer wird nach der Anmeldung aufgefordert mit seinem LKW zur Messanlage zu fahren. Dort wird das Fahrzeug dann gewogen und vermessen. Danach kann die eigentliche Übergabe durchgeführt werden.

Zur eigentlichen Annahme wird als erstes das Fahrzeug manuell in den Über-

gabebereich gefahren. Danach unterscheidet sich der weitere Verlauf, je nachdem, ob ein komplettes Gespann oder nur ein Anhänger bzw. Auflieger übergeben werden soll. Im ersten Fall wird das Gespann, nachdem es in den Übergabebereich gefahren wurde, vom manuellen in den autonomen Modus umgeschaltet, d.h. das Gespann ist nun in der Lage autonom zu fahren. Als nächstes verlässt der Fahrer den Übergabebereich. Sobald er den Bereich verlassen hat, kann das Gespann autonom aus dem Übergabebereich herausgefahren werden. Die Annahme ist dann beendet.

Im zweiten Fall muss, nachdem das Gespann in den Übergabebereich gefahren wurde, zunächst der Anhänger bzw. der Sattelauflieger abgekoppelt werden. Dann kann die Zugmaschine manuell aus dem Übergabebereich herausgefahren werden. Danach wird ein Traktor autonom in den Übergabebereich gefahren. Dieser koppelt den Anhänger oder Auflieger an und fährt damit dann autonom aus dem Übergabebereich heraus. Die Annahme ist damit abgeschlossen.

Abbildung 2.3 zeigt den Ablauf einer Abgabe. Als erstes wird die Anmeldung durchgeführt. Die Person, die eine Transporteinheit abholen möchte, gibt dazu an, welche Einheit sie abholen will und muss nachweisen, dass sie berechtigt ist, diese Transporteinheit abzuholen. Ist alles in Ordnung, d.h. die Person ist abholberechtigt, kann die eigentliche Übergabe erfolgen.

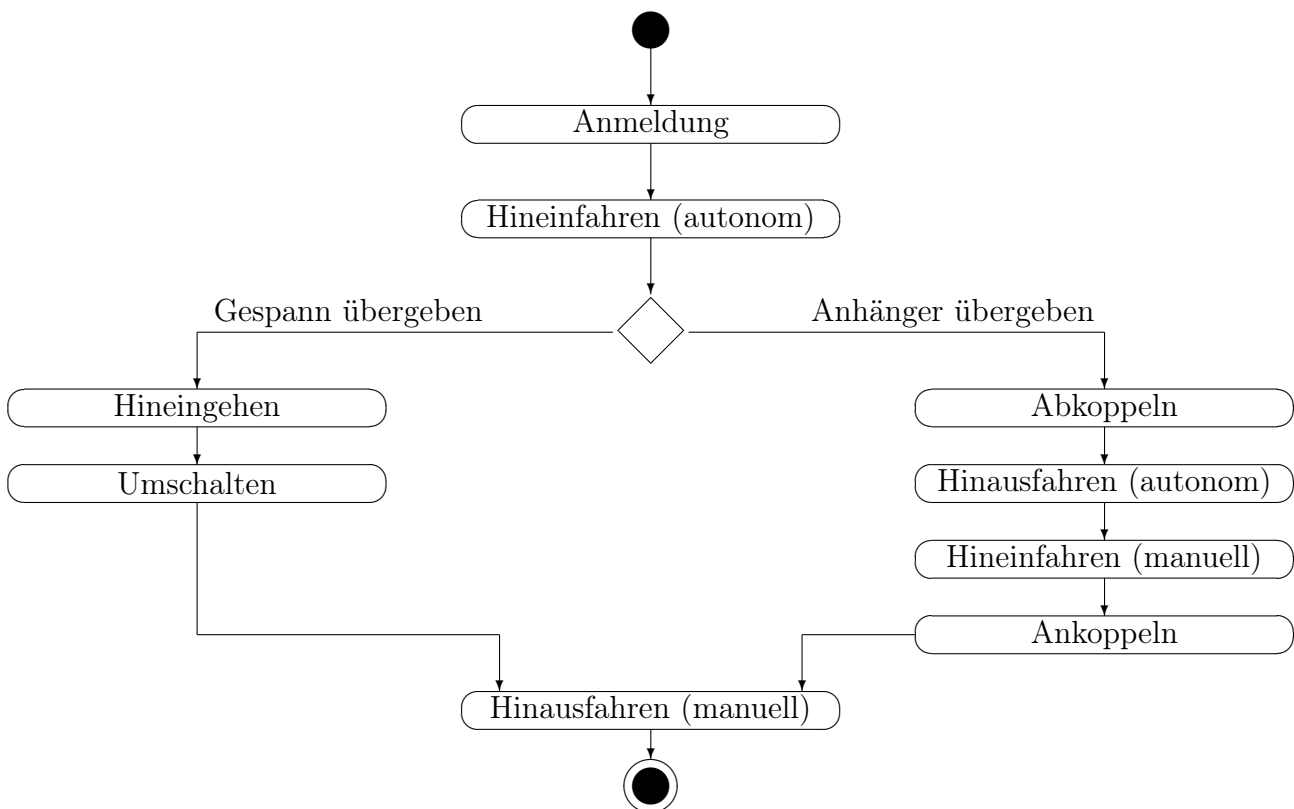


Abbildung 2.3: Grober Ablauf einer Abgabe

Zunächst wird die Transporteinheit autonom in den Übergabebereich gefahren. Dann unterscheidet sich der weitere Verlauf wieder, je nachdem, ob ein Gespann oder ein Anhänger übergeben werden soll. Im ersten Fall kann der LKW-Fahrer als nächstes in den Übergabebereich gehen, das Gespann auf manuelle Fahrt umstellen und als letztes dieses aus dem Übergabebereich hinausfahren. Die Abgabe ist dann beendet.

Im zweiten Fall koppelt der Traktor den Anhänger ab. Der Traktor verlässt dann autonom den Übergabebereich. Danach kann der Fahrer mit seiner Zugmaschine in den Übergabebereich fahren, den Anhänger ankoppeln und dann manuell mit dem Gespann aus dem Übergabebereich hinausfahren. Die Abgabe ist damit beendet.

Kapitel 3

Die Übergabemöglichkeiten

Da die Anmeldung unabhängig vom Aufbau der Übergabebereiche und dem Ablauf der Übergabe ist, wird diese separat behandelt. Der erste Abschnitt dieses Kapitels behandelt die Anmeldung, die nächsten drei Abschnitte jeweils eine mögliche Lösung für den Aufbau des Übergabebereichs und den Ablauf der Übergabe. Des Weiteren muss der Leitstand den Überblick behalten, wo sich ein Fahrer gerade aufhält und was er tut. Auf die Möglichkeiten, wie die Fahrer kontrolliert werden können wird ebenfalls im ersten Abschnitt eingegangen. Wie diese Möglichkeiten angewendet werden können ist abhängig von der Gestaltung der Übergabe und wird in den entsprechenden Abschnitten beschrieben.

Bei den drei Lösungsmöglichkeiten handelt es sich nur um prinzipielle Lösungen. Das bedeutet, dass es eigentlich eine große Anzahl von Lösungen gibt. Diese Lösungen unterscheiden sich aber nur in einigen Details, z.B. der Anzahl der Übergaben, die gleichzeitig im Übergabebereich durchgeführt werden können. Es macht daher keinen Sinn jede einzelne nur erdenkliche Lösung hier vorzustellen. Es macht viel mehr Sinn, das Prinzip vorzustellen, nach dem die Lösungen funktionieren. In den einzelnen Abschnitten dieses Kapitels werden daher die prinzipiellen Lösungsmöglichkeiten vorgestellt.

Zwischen den drei Lösungsmöglichkeiten gibt es auch Gemeinsamkeiten. Daraus ergibt sich, dass man beispielsweise die Einzellösung als einen Spezialfall der Gruppenlösung betrachten kann, oder umgekehrt die Gruppenlösung als Verallgemeinerung der Einzellösung.

3.1 Anmeldung und Kontrolle

3.1.1 Anmeldung

Wenn ein LKW-Fahrer am Bahnhof ankommt, um eine Übergabe durchzuführen, muss er sich erst anmelden. Das bedeutet, er teilt dem Leitstand mit, ob er eine Transporteinheit abgeben oder abholen möchte. Dazu gibt es ein Computerter-

minal, an dem er entsprechende Eingaben machen kann.

Falls die gleichen Terminals für die Anmeldung zur Annahme und Abgabe benutzt werden, muss zuerst eingegeben werden, ob eine Annahme oder eine Abgabe durchgeführt werden soll. Hat man dagegen Terminals nur für die Anmeldung zur Annahme und andere Terminals nur für die Anmeldung zur Abgabe, dann entfällt diese Eingabe. Bei der Annahme muss der Fahrer als nächstes eingeben, ob schon eine Buchung durchgeführt wurde, oder ob er jetzt buchen will. Wenn am Terminal gebucht werden soll, wird diese jetzt durchgeführt. Das bedeutet, der Computer fragt den Fahrer nach den notwendigen Daten und dieser gibt sie in den Computer ein. Der Fahrer erhält dann einen Buchungsbeleg, auf dem die Buchungsnummer und alle Daten aufgeführt sind. Danach kann dann die eigentliche Annahme erfolgen. Falls der Auftrag schon gebucht war, muss der Fahrer die Buchungsnummer eingeben.

Sind bei der Vorausbuchung noch nicht alle notwendigen Daten eingegeben worden, muss der Fahrer diese nun nachtragen. Kann der Fahrer nicht alle Daten eingeben, z.B. weil er sie nicht kennt, kann die Buchung jederzeit abgebrochen werden. Es kann dann aber keine Übergabe durchgeführt werden. Falls der Auftrag noch nicht bezahlt wurde, wird jetzt die Bezahlung durchgeführt. Danach kann die eigentliche Annahme stattfinden. Wenn bei der Online-Buchung alle Daten eingegeben wurden und auch schon bezahlt wurde, kann die Annahme direkt durchgeführt werden.

Wenn der Fahrer am Terminal eingegeben hat, dass er eine Transporteinheit abholen möchte, muss er die Buchungsnummer des entsprechenden Auftrags eingeben. Handelt es sich bei der abzuholenden Transporteinheit um einen Sattelaufzieger oder Anhänger, wird nachgefragt, ob der Fahrer mit einer passenden Zugmaschine gekommen ist. Nur wenn er die passende Maschine hat, wird die Übergabe durchgeführt, ansonsten wird der Fahrer aufgefordert, eine passende Zugmaschine zu besorgen. Ist die Transporteinheit ein Gespann, braucht der Fahrer keine Zugmaschine mitzubringen.

Es gibt zwei Möglichkeiten, wie die Terminals zur Anmeldung aufgebaut sein können. Die erste Lösung besteht aus Drive-Through-Terminals. Hierbei müssen die Fahrer ihr Fahrzeug nicht verlassen. Sie können an das Terminal heranzufahren, öffnen die Seitenscheibe und können bequem vom Fahrersitz aus die Anmeldung durchführen. Bei der zweiten Lösung müssen die Fahrer ihre LKWs auf einem Parkplatz abstellen und zu Fuß zu einem Terminal gehen. Diese Terminals stehen entweder in einem Gebäude oder im Freien. Freistehende Terminals müssen wetterfest sein, bei Terminals in einem Gebäude ist dies nicht nötig. Diese Art von Anmeldeterminale wird im folgenden, um es vom Drive-Through-Terminal unterscheiden zu können, Walk-Through-Terminal genannt.

Im Endeffekt unterscheiden sich die beiden Lösungen nur darin, wie die Terminals aufgestellt sind. Entweder man muss zu Fuß hingehen oder man kann bequem heranzufahren und sich vom Fahrersitz aus anmelden. Ansonsten sind die Terminals gleich aufgebaut. Es gibt einen Monitor zur Ausgabe und entweder eine Tastatur

zur Eingabe, oder der Monitor ist ein Touch-Screen und kann auch zur Eingabe benutzt werden. Bei den Lösungsmöglichkeiten für den Übergabebereich sind diese in der Regel so aufgebaut, dass man beide Arten von Terminals benutzen kann. Es ist sogar so, dass man mindestens ein Walk-Through-Terminal braucht, weil Fahrer, die ein Gespann am Bahnhof abholen wollen, ohne ein Fahrzeug dort ankommen und daher nicht ein Drive-Through-Terminal benutzen können. Für Fahrer, die mit einem Fahrzeug zum Bahnhof kommen, kann man sowohl Drive-Through- als auch Walk-Through-Terminals einrichten. Es müssen also auf jeden Fall Walk-Through-Terminals vorhanden sein. Drive-Through-Terminals hingegen müssen nicht unbedingt vorhanden sein.

3.1.2 Kontrolle

Nachdem die Anmeldung durchgeführt wurde und die eigentliche Übergabe erfolgen kann, braucht der Leitstand ein Instrument, um die Kontrolle über die Übergabe zu behalten. Der Leitstand muss beispielsweise wissen ob der LKW-Fahrer auch zum richtigen Übergabebereich gefahren ist. Außerdem muss der Leitstand wissen, wann die Übergabe fertig ist, damit er den Übergabebereich für die nächste Übergabe freigeben kann. Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit ist ein identifizierbares Token, also ein Gegenstand, der eindeutig einem Fahrer bzw. Auftrag zugeordnet werden kann. Token können zum Beispiel Karten mit einem Magnetstreifen, einem RFID-Chip oder einem Barcode sein. Im folgenden werden Magnetkarten stellvertretend für ein solches Token benutzt. Die zweite Möglichkeit ist ein System, welches zwei Eigenschaften besitzen muss. Erstens muss man in der Lage sein, die Position des Gerätes feststellen zu können, und zweitens muss eine Kommunikation mit dem Leitstand, z.B. mittels WLAN oder GSM, möglich sein. Stellvertretend wird hierfür im folgenden der DispoPilot verwendet. Der DispoPilot kann seine Position mit GPS bestimmen und die Kommunikation zwischen dem Gerät und dem Leitstand erfolgt über GSM.

Magnetkarten:

Nach der Anmeldung muss dem LKW-Fahrer mitgeteilt werden, in welchem Übergabebereich die Übergabe stattfindet. Die Übergabebereiche werden dazu am einfachsten durchnummeriert und entsprechend beschildert. Wenn die Anmeldeprozedur zu Ende ist, wird dem Fahrer durch eine Meldung auf dem Bildschirm des Terminals mitgeteilt, zu welchem Übergabebereich er sich zu begeben hat. Es muss sichergestellt werden, dass die Anweisung korrekt befolgt wird und der Fahrer nur in den ihm zugewiesenen Übergabebereich fährt, und dass nur er in den passenden Übergabebereich fährt und niemand anderes. Eine Kontrolle durch Mitarbeiter ist zu teuer und zu aufwendig.

Die einfachste Lösung, die ohne Personal auskommt, ist mit Hilfe von Magnetkarten die Fahrer zu kontrollieren. Die Magnetkarten, wie man sie von den meisten Parkhäusern kennt, werden an den Fahrer ausgehändigt, wenn er die Anmeldung am Computerterminal durchführt. Der Leitstandrechner kann sich merken, welche Magnetkarte zu welchem Auftrag gehört. Nachdem ein Fahrer die Magnetkarte entgegengenommen hat, geht er wieder zu seinem LKW und fährt mit diesem zum ihm zugewiesenen Übergabebereich. Dort gibt es eine Schranke und eine Möglichkeit, aus dem Führerhaus des LKWs heraus die Karte in einen Automaten zu stecken. Falls der Fahrer nicht beim richtigen Übergabebereich ist, bleibt die Schranke zum Übergabebereich geschlossen und auf einem Monitor erscheint die Aufforderung, sich zum richtigen Übergabebereich zu begeben. Befindet sich der Fahrer beim richtigen Übergabebereich, wird die Schranke sobald wie möglich geöffnet und der Fahrer kann in den Übergabebereich fahren.

Bei der Annahme einer Transporteinheit kann in der Regel sofort in den Übergabebereich gefahren werden. Bei einer Abgabe muss eventuell gewartet werden, weil die abzugebende Transporteinheit erst noch autonom in den Übergabebereich gefahren werden muss. In dieser Situation muss dem Fahrer mitgeteilt werden, dass er am richtigen Übergabebereich ist, aber noch warten muss und sich nicht wundern darf, dass die Schranke noch nicht aufgeht. Sobald der Übergabebereich für den manuellen Verkehr frei ist, wird die Schranke geöffnet und der Fahrer kann die gewünschte Transporteinheit abholen.

Bei der Einfahrt in den Übergabebereich wird die Magnetkarte nicht einbehalten, sondern dem Fahrer wieder ausgehändigt. Der LKW-Fahrer steckt die Karte in den Automaten, dann wird die Karte vom Automaten eingelesen und die notwendigen Daten verarbeitet. Danach wird die Karte wieder ausgeworfen und die Schranke erst geöffnet, wenn der Fahrer die Karte wieder angenommen hat. Wenn der Fahrer in den Übergabebereich hineingefahren ist, schließt die Schranke hinter dem LKW wieder und der Rechner im Leitstand weiß jetzt, dass der LKW im Übergabebereich ist. Um den Übergabebereich wieder verlassen zu können, muss die Karte wieder in einen Automaten gesteckt werden. Daraufhin öffnet sich die Schranke und der Fahrer kann den Übergabebereich verlassen. Hierbei wird die Karte einbehalten und nicht wieder ausgegeben, weil nach Verlassen des Übergabebereichs der LKW-Fahrer seinen Teil der Übergabe durchgeführt hat und den Bahnhof verlassen kann. Eine weitere Kontrolle, wo er sich zur Zeit mit seinem Fahrzeug aufhält, ist nicht mehr nötig. Die Karte kann daher einbehalten werden. Statt der Karte bekommt der Fahrer an dieser Stelle eine Quittung in Form eines gedruckten Dokuments ausgehändigt. Diese Quittung bestätigt, dass die Übergabe durchgeführt wurde. Sie enthält Angaben zum Ort und Zeitpunkt der Übergabe, sowie darüber, welche Transporteinheit übergeben wurde.

DispoPilot:

Statt mit Magnetkarten kann man auch den sogenannten DispoPilot von Fleetboard (www.Fleetboard.de) benutzen. Bei Fleetboard handelt es sich um ein System zum Flottenmanagement. Es soll Speditionen ermöglichen, ihre Fahrzeugflotte zu managen. Man kann damit Zustandsinformationen über den LKW abfragen, dem Fahrer Nachrichten zukommen lassen und neue Fahraufträge erteilen. Der DispoPilot ist ein tragbares Gerät, welches ermöglicht, dem Fahrer Aufträge zu erteilen und ihn zum Ziel zu navigieren. Die Datenkommunikation mit dem DispoPilot läuft über GSM.

Mit dem DispoPilot kann man die LKW-Fahrer genauer steuern und kontrollieren als mit Magnetkarten. Bei der Lösung mit Karten muss man dem Fahrer unter Umständen mehrere Anweisungen auf einmal geben und auch, in welcher Reihenfolge er diese auszuführen hat. Man erhält erst dann Rückmeldung, wenn der Fahrer die Karte wieder in einen Automaten einsteckt. Erst dann weiß man, wo er sich befindet und dass er die Anweisungen ausgeführt hat. Mit dem DispoPilot kann man dem Fahrer immer nur die Anweisung geben, die er als nächstes ausführen soll. Erst wenn er die Ausführung dieser Anweisung mit dem DispoPilot bestätigt hat, erhält er die nächste Anweisung. Man hat mit dem DispoPilot also eine genauere Kenntnis darüber, wo sich der Fahrer befindet und welche Arbeitsschritte der Übergabe er schon durchgeführt hat.

Auch kann man bei Verwendung des DispoPiloten schneller reagieren, falls Probleme auftreten. In einer unvorhergesehenen Situation kann man einfach eine neue Nachricht an den DispoPilot senden. Bei der Verwendung von Magnetkarten muss man warten, bis sich der Fahrer wieder meldet, d.h. die Magnetkarte in einen Automaten wirft. Erst dann kann man auf dem Display des Automaten dem Fahrer neue Anweisungen mitteilen. Der Einsatz des DispoPiloten bietet also einige Vorteile gegenüber dem Einsatz von Magnetkarten.

Bei der Verwendung des DispoPiloten gibt es zwei Fälle zu unterscheiden. Als erstes kann es Speditionen geben, die das Gerät selber besitzen und einsetzen, und zweites gibt es diejenigen, die ihn nicht einsetzen. Der erste Fall ist problemlos zu handhaben. Der Fahrer muss bei der Anmeldung die Nummer seines DispoPiloten eingeben, damit der Leitstand Nachrichten an ihn schicken kann. Als erstes kann dann der Leitstand eine Nachricht mit seiner eigenen Nummer an diesen Fahrer schicken. Dadurch ist dann die Kommunikation zwischen Leitstand und Fahrer in beide Richtungen möglich. Besitzt der Fahrer keinen DispoPilot muss ihm für die Dauer der Übergabe einer zur Verfügung gestellt werden. Der Leitstandrechner kennt die Nummer des herausgegebenen Geräts, sie muss also nicht mehr eingegeben werden. Die Nummer des Leitstandes ist in diesem Fall im Speicher des herausgegebenen DispoPiloten vorhanden, es muss daher keine Nachricht mit der Nummer des Leitstandes an das Gerät gesendet werden.

Nachdem man einen DispoPilot an einen Fahrer übergeben hat, muss er diesen nach der Übergabe wieder zurückgeben. Nachdem der Fahrer seinen Teil der

Übergabe durchgeführt hat, bekommt er auf dem DispoPilot die Anweisung, diesen an einem bestimmten Ort wieder abzugeben. Dort wird dem Fahrer dann eine gedruckte Quittung für die Übergabe ausgehändigt. Danach kann er den Bahnhof verlassen. Fahrer, die ihren eigenen DispoPilot benutzen, müssen diesen nicht zurückgeben und können nach der Übergabe direkt den Bahnhof verlassen und bekommen eine elektronische Quittung, d.h. sie bekommen eine Nachricht mit den notwendigen Angaben auf ihren DispoPilot geschickt. Die Fahrer können diese Nachricht dann speichern und/oder an ihre Spedition weiterleiten.

3.2 Einzellösung

Der Übergabebereich ist ein umzäuntes Gelände, welches zwei Schranken besitzt und auf dem die Übergaben durchgeführt werden. Die Abbildung 3.1 zeigt eine schematische Ansicht des Übergabebereiches. Eine der beiden Schranken verbindet den Übergabebereich mit dem autonomen Fahrbereich, d.h. wenn diese Schranke offen ist, kann man vom Übergabebereich in den Bereich fahren, in dem nur autonom gefahren wird. Die andere Schranke verbindet den Übergabebereich mit dem manuellen Fahrbereich, das ist das Gelände des Bahnhofs, in dem ausschließlich manuell gefahren wird. Zur Sicherheit dürfen nie beide Schranken gleichzeitig offen sein. Der Übergabebereich wird links und rechts an den Längsseiten von einem Zaun begrenzt. An den Stirnseiten befinden sich die Schranken zum hinein- und hinausfahren.

Die Breite des Übergabebereichs muss mehr als zwei Fahrzeugbreiten betragen. Wenn nämlich ein Anhänger übergeben werden soll, muss ein LKW den Anhänger in den Übergabebereich ziehen, dort abkoppeln und dann am Anhänger vorbei wieder durch dieselbe Schranke den Bereich verlassen, durch den auch in den Bereich hineingefahren wurde. Die erste Idee war es, den Übergabebereich möglichst schmal zu halten, um möglichst wenig Platz zu verbrauchen. Wenn aber der Übergabebereich nur wenig breiter ist als zwei Fahrzeugbreiten, kann man im Übergabebereich nicht wenden. Dadurch muss die Zugmaschine nach dem Abkoppeln rückwärts am Anhänger vorbei den Übergabebereich verlassen. Da dies aber umständlich ist und eventuell nur mit Hilfe eines Mitarbeiters, der den Fahrer einweist, machbar ist, ist es sinnvoll den Übergabebereich so breit zu gestalten, dass man innerhalb wenden und somit vorwärts hinausfahren kann. Damit man im Übergabebereich wenden kann, muss dieser mindestens so breit sein wie ein LKW maximal lang sein kann. Der Vorteil, dass man wenden und vorwärts hinausfahren kann, wiegt den Nachteil, dass man mehr Platz für den Übergabebereich braucht, deutlich auf.

Laut §32d der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung [1] darf der Radius des Wendekreises eines Fahrzeugs maximal $12,50m$ betragen. Dies entspricht etwa dem 5-fachen der maximal zulässigen Breite eines Gespanns und $2/3$ der maximalen Länge eines Gespanns. Angenommen, der Übergabebereich wäre nur so

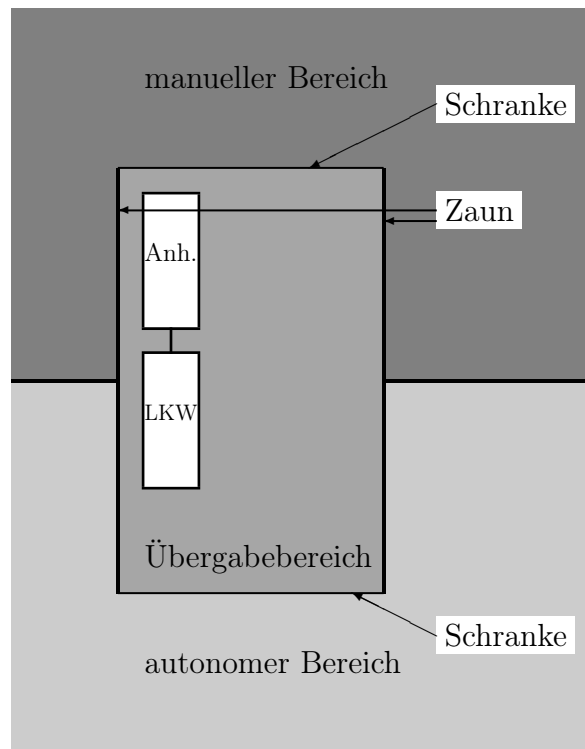


Abbildung 3.1: Einzellösung

lang wie das Gespann, dann müsste der Fahrer mit dem Gespann bis ganz ans Ende des Bereiches durchfahren, damit es vollständig im Übergabebereich wäre. Wenn er dann abkoppelt, muss er danach wenden, um wieder hinausfahren zu können. Hierzu braucht er Platz in der Breite und der Längsrichtung des Übergabebereiches. Ein Übergabebereich, der nur so lang ist wie ein Gespann bietet keinen Platz zum Wenden. Der Übergabebereich muss also länger sein. Bei einem Übergabebereich der $1\frac{2}{3}$ -mal so lang und 5-mal so breit wie ein Gespann ist, stehen einem in der Länge und der Breite des Übergabebereichs jeweils noch $12,50m$ zur Verfügung. Dies sollte dann zum Wenden reichen.

Sei im folgenden b_{max} die maximal zulässige Breite eines Gespanns und l_{max} die maximal erlaubte Länge eines Gespanns. Außerdem sei $A_{max} = l_{max} * b_{max}$ die Fläche, die ein Gespann maximal beansprucht. Die Fläche des Übergabebereiches A_{Einzel} ist dann $5 * b_{max} * 1\frac{2}{3} * l_{max} = 8\frac{1}{3} * A_{max}$.

Es gibt zwei Arten der Übergabe, nämlich die Annahme und die Abgabe. Bei der Annahme wird eine Transporteinheit an einem Bahnhof von einem LKW-Fahrer abgegeben und von der Bahn angenommen. Danach wird die Transporteinheit von diesem Bahnhof zum bei der Buchung festgelegten Zielbahnhof transportiert. Dort erfolgt dann die Abgabe an einen weiteren LKW-Fahrer. Vor der eigentlichen Übergabe muss sich der LKW-Fahrer beim System anmelden. Die

Anmeldung erfolgt an einem Terminal, entweder einem Drive-Through-Terminal oder ein Walk-Through-Terminal. Beide Terminalarten sind hier realisierbar. Nach der Anmeldung kann dann die eigentliche Übergabe stattfinden.

Der Ablauf der Annahme ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Sie läuft folgendermaßen ab: Nach der Anmeldung erhält der Fahrer die Anweisung, zu welchem Übergabebereich er fahren soll. Falls zur Kontrolle Magnetkarten eingesetzt werden, erhält der Fahrer die Anweisung auf dem Monitor des Terminals. Falls der DispoPilot eingesetzt wird, erhält der Fahrer die Anweisung auf das Gerät. Wenn der Fahrer am Übergabebereich angekommen ist, kann er die Schranke öffnen. Entweder wirft er die Karte in einen Automaten an der Schranke oder er bestätigt mit dem DispoPilot, dass er vor der Schranke steht. Nachdem dann die Schranke vom Leitstand geöffnet wurde, kann er in den Übergabebereich fahren. Die Arbeitsschritte bis zu diesem Punkt entsprechen der Aktivität „Hineinfahren (manuell)“ in der Abbildung 3.2.

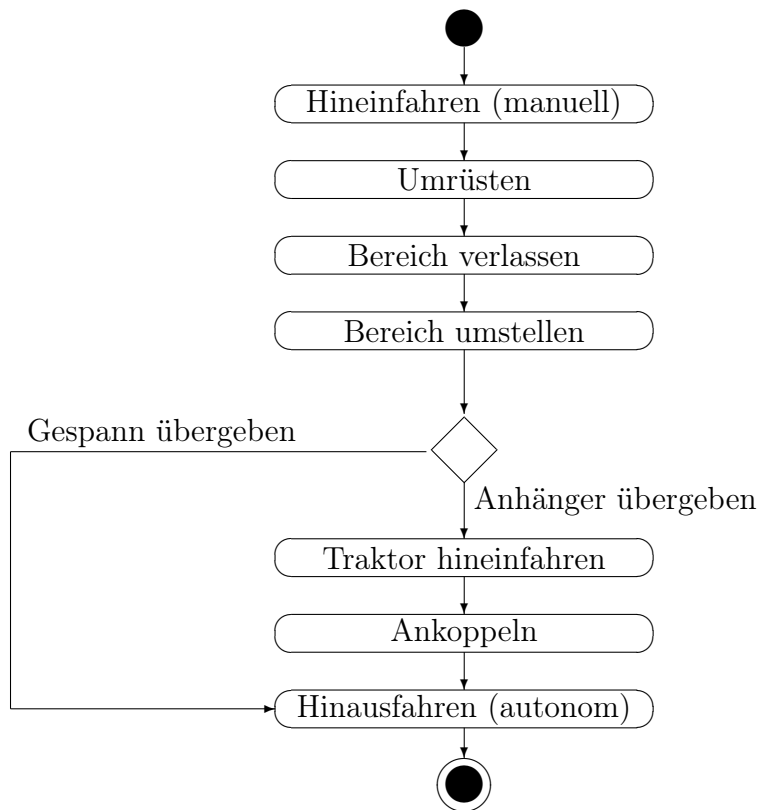


Abbildung 3.2: Ablauf einer Annahme bei der Einzellösung

Danach folgt das Umrüsten. Bei der Annahme eines Gespanns besteht das Umrüsten darin, dass der Fahrer das Fahrzeug von manueller auf autonome Fahrt umschaltet. Bei der Annahme eines Anhängers oder Sattelauffiegers rüstet der Fahrer das Fahrzeug um, indem er den Anhänger bzw. Auflieger von der Zugmaschine abkoppelt. Dann muss der Fahrer den Übergabebereich verlassen. Bei

der Annahme eines Gespanns muss er zu Fuß gehen. Bei der Annahme eines Anhängers muss er mit dem Zugfahrzeug hinausfahren. Beim Verlassen des Bereichs muss der Fahrer entweder die Magnetkarten in einen Automaten werfen oder er bestätigt auf dem DispoPilot, dass er den Bereich verlassen hat.

Als nächstes erfolgt die Umstellung des Übergabebereiches von manuell auf autonom, d.h. der Bereich wird für manuelle Fahrzeuge gesperrt und für autonome Fahrzeuge freigegeben. Hierzu muss sichergestellt sein, dass sich keine Person mehr im Übergabebereich befinden. Dann wird die Schranke zum manuellen Bereich geschlossen und zum autonomen Bereich geöffnet. Damit ist der Übergabebereich dann für autonome Fahrzeuge freigegeben.

Bei der Annahme eines Anhängers oder Aufliegers muss nun ein passender Traktor in den Übergabebereich gefahren werden. Der Traktor bekommt vom Leitstand einen passenden Fahrauftrag und fährt dann selbständig in den Übergabebereich. Dann wird der Anhänger bzw. Auflieger an den Traktor angekoppelt. Danach fährt dieses Gespann aus dem Übergabebereich hinaus und in den autonomen Bereich des Bahnhofs hinein. Die Annahme ist dann beendet.

Bei der Annahme eines Gespanns entfällt das Hineinfahren eines Traktors und das Ankoppeln. Nachdem der Übergabebereich für den autonomen Verkehr freigegeben worden ist, kann das Gespann sofort autonom den Bereich verlassen. Sobald das Gespann aus dem Übergabebereich hinausgefahren ist, ist die Annahme beendet.

Die Abgabe läuft folgendermaßen ab (siehe Abb. 3.3): Als erstes wird die abzugebende Transporteinheit vom Leitstand autonom in einen der freien Übergabebereiche gefahren. Handelt es sich bei der Transporteinheit um einen Anhänger oder Sattelaufliieger, wird dieser abgekoppelt und der Traktor verlässt dann den Übergabebereich. Bei einem Gespann ist zunächst nichts weiter zu tun. Danach wird dann in beiden Fällen der Übergabebereich umgeschaltet. Dazu wird der Bereich für den autonomen Verkehr gesperrt und die Schranken zum autonomen Bereich werden geschlossen. Dann können die Schranken zum manuellen Bereich geöffnet und der Übergabebereich für den manuellen Verkehr freigegeben werden. Währenddessen hat der abholende LKW-Fahrer schon die Anweisung erhalten, sich zum passenden Übergabebereich zu begeben und dort zu warten, bis sich die Schranke öffnet. Diese öffnet sich erst, wenn sich keine autonomen Fahrzeuge mehr im Übergabebereich befinden und die Schranke zum autonomen Bereich geschlossen ist.

Nun kann der Fahrer entweder zu Fuß in den Übergabebereich gehen oder mit seinem Fahrzeug hineinfahren, je nachdem, ob er ein Gespann abholt oder einen Anhänger bzw. Auflieger. Danach schaltet er das Gespann vom autonomen in den manuellen Modus um, bzw. koppelt den Anhänger an sein Fahrzeug an. Zuletzt fährt der Fahrer dann mit dem Gespann aus dem Übergabebereich hinaus und kann den Bahnhof verlassen.

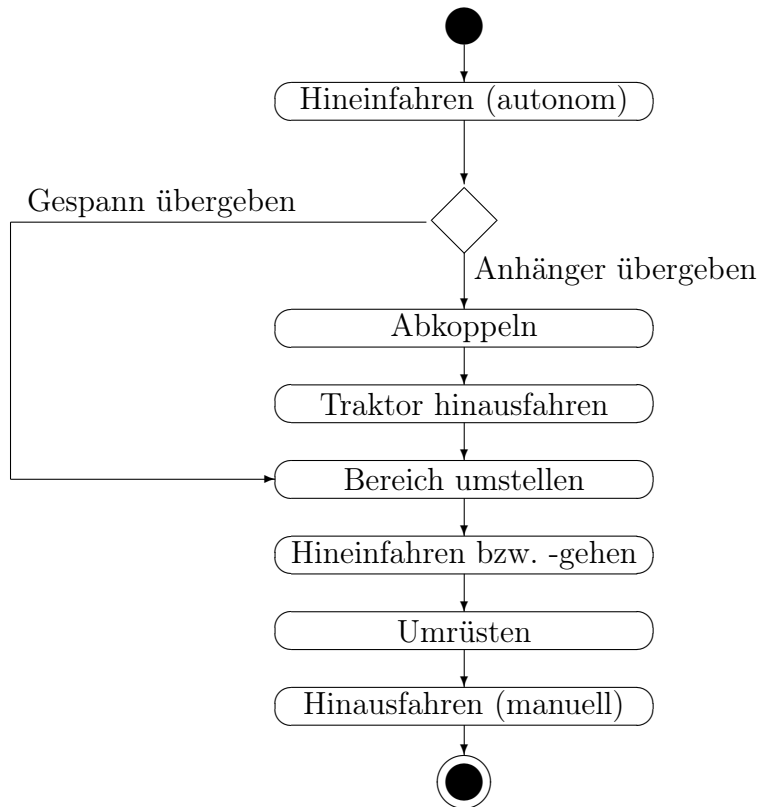


Abbildung 3.3: Ablauf einer Abgabe bei der Einzellösung

3.3 Gruppenlösung

Die erste Lösung für den Übergabebereich sieht vor, dass in einem Übergabebereich zu einem Zeitpunkt immer nur eine Transporteinheit übergeben werden kann. Die zweite Lösung sieht vor, dass in einem Übergabebereich zu einem Zeitpunkt mehrere Übergaben gleichzeitig stattfinden können. Zur Anmeldung und Kontrolle der Übergaben kann man hier genauso wie bei der ersten Lösung Magnetkarte/DispoPilot und Drive/Walk-Through miteinander verwenden.

Die Abbildung 3.4 zeigt den Aufbau eines Übergabebereichs der Gruppenlösung. In der Mitte des Übergabebereichs befinden sich Stellplätze für mehrere Gespanne (z.B. 4 oder 5 Stück). Fahrwege umgeben die Stellplätze auf allen vier Seiten. Dieser ganze Bereich ist eingezäunt und enthält 4 Schranken. Eine Schranke, um vom manuellen Fahrbereich in den Übergabebereich zu fahren, eine Schranke zum Wechseln vom Übergabebereich in den manuellen Bereich. Dann gibt es eine weitere Schranke, um vom autonomen Bereich in den Übergabebereich zu fahren, und die letzte Schranke, um vom Übergabebereich in den autonomen Bereich gelangen zu können.

Bei dieser Lösung können Gespanne vorwärts in den Übergabebereich fahren und ihn auch wieder vorwärts verlassen. Ein Rückwärtsfahren ist nicht notwendig

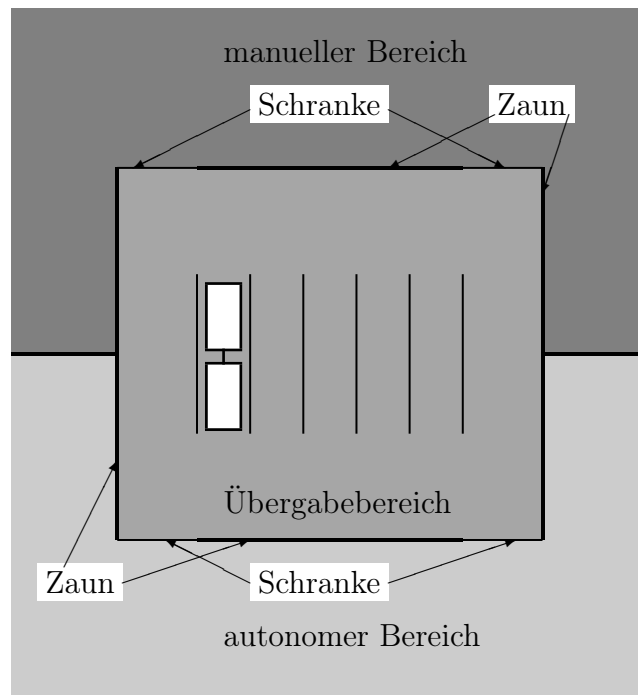


Abbildung 3.4: Gruppenlösung

und auch Flächen zum Wenden außerhalb des umzäunten Übergabebereichs sind nicht nötig. Die Breite des Übergabebereichs entspricht der Breite der Stellplätze plus der Breite der Fahrwege an den Seiten. Die Länge des Bereichs entspricht der Länge eines Gespanns plus der Breite der Fahrwege. Die Breite der Fahrwege sollte großzügig bemessen sein, damit noch Spielraum zum Manövrieren vorhanden ist und die Gespanne in den Ecken um die Kurve fahren können. Der maximale Kurvenradius eines Fahrzeugs beträgt 12,50m (siehe [1],§32d). Damit die Fahrzeuge in den Ecken des Übergabebereiches um die Kurven fahren können, sollten die Fahrwege daher 12,50m breit sein.

Angenommen, in einem Übergabebereich können i Übergaben durchgeführt werden, gibt es also i Stellplätze im Übergabebereich. Laut den Empfehlungen für die Anlagen des ruhenden Verkehrs [2] der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen sollte die Breite eines LKW-Stellplatzes 3,50m betragen. Diese Breite entspricht in etwa dem $\frac{1}{3}$ -fachen der Breite eines Gespanns. Die Breite des Übergabebereichs beträgt also $1\frac{1}{3}i$ -mal der Breite eines Gespanns zuzüglich der Breite der Fahrwege links und rechts neben den Stellplätzen. Die Fahrwege sind 5-mal so breit wie ein Gespann. Die Breite des Übergabebereiches beträgt dann $5*b_{max} + 1\frac{1}{3}i*b_{max} + 5*b_{max} = (10 + 1\frac{1}{3}i)*b_{max}$. Die Länge des Übergabebereiches entspricht der Länge eines Gespanns zuzüglich der Breite der Fahrwege ober- und unterhalb der Stellplätze. Die Breite eines dieser Fahrweg beträgt das $\frac{2}{3}$ -

fache der Länge eines Gespanns. Somit beträgt die Länge des Übergabebereichs $\frac{2}{3} * l_{max} + l_{max} + \frac{2}{3} * l_{max} = 2\frac{1}{3} * l_{max}$. Die Fläche des Übergabebereichs beträgt somit $A_{Gruppe} = 2\frac{1}{3} * l_{max} * (10 + 1\frac{1}{3}i) * b_{max} = (23\frac{1}{3} + 3\frac{1}{9}i) * A_{max}$.

Um ein Gespann, einen Anhänger oder einen Sattelaufleger anzunehmen oder abzugeben, muss sich der LKW-Fahrer zuerst anmelden. Dies geschieht genauso wie bei der vorherigen Lösung, z.B. an einem Drive-Through-Terminal.

Falls der Fahrer nach der Anmeldung direkt in den Übergabebereich fahren kann, erhält er die passende Anweisung. Anderenfalls, wenn z.B. im Übergabebereich zur Zeit autonom gefahren wird, wird er aufgefordert sich in einen Wartebereich zu begeben. Beim Wartebereich handelt es sich um einen Parkplatz, auf dem der Fahrer sein Fahrzeug abstellen kann und darauf wartet, die Übergabe durchführen zu können. Der Fahrer fährt also vom Terminal zum Parkplatz und macht das Terminal frei für den nächsten Fahrer, der sich anmelden möchte. Sobald man in den Übergabebereich fahren kann, erhalten die Fahrer eine entsprechende Nachricht. Am einfachsten lässt sich dies mit den DispoPiloten realisieren. Der Leitstand schickt die Nachricht auf das Gerät des betroffenen Fahrers. Außerdem ist es möglich die Nachricht zeitversetzt an die Fahrer zu senden. Dadurch kann man verhindern, dass alle sich gleichzeitig zum Übergabebereich begeben und sich eine Schlange an der Einfahrt bildet. Beim Einsatz von Magnetkarten ist es nicht möglich, den Fahrern zeitversetzt eine Nachricht zukommen zu lassen. Man kann beispielsweise im Wartebereich eine Ampelanlage anbringen, die von jedem Punkt des Bereichs aus gesehen werden kann. Ist die Ampel rot, bedeutet es, dass man noch warten muss. Bei Grün kann man zum Übergabebereich fahren. Hierbei würden dann alle Fahrer gleichzeitig in Richtung Übergabebereich fahren und es könnte sich eine Schlange vor der Einfahrt bilden. Alternativ kann man statt einer Ampel eine Anzeigentafel verwenden. Durch geeignete Anzeigen auf der Tafel kann man die Fahrer einzeln auffordern zum Übergabebereich zu fahren. Beispielsweise könnte auf der Anzeigentafel das Kennzeichen des LKWs angegeben werden, der als nächster losfahren soll.

Bei der Annahme fahren die Fahrer ihre LKWs in den Übergabebereich und stellen sie auf einem der Stellplätze ab. Sie können dann den Anhänger abkoppeln und mit der Zugmaschine den Bereich wieder verlassen. Falls das komplette Gespann abgegeben werden soll, schalten sie es in den Automatikmodus und verlassen den Übergabebereich zu Fuß. Damit der Leitstand weiß, auf welchem Stellplatz des Übergabebereichs welche Transporteinheit steht, kann der Leitstand den Fahrern vorher einen Stellplatz zuweisen, oder die Fahrer suchen sich einen freien Stellplatz aus und teilen dem Leitstand mit, welchen Platz sie ausgewählt haben. In beiden Fällen müssen die Stellplätze eindeutig zu identifizieren sein, damit der Fahrer entweder den zugewiesenen Stellplatz finden oder den gewählten korrekt an den Leitstand melden kann.

Wenn beispielsweise im Übergabebereich drei Übergaben durchgeführt werden können, dann ergibt sich der in Abbildung 3.5 gezeigte Ablauf. Als erstes fährt ein Fahrer sein Gespann in den Übergabebereich und die anderen beiden

warten. Während dann der erste Fahrer mit dem Umrüsten seines Gespanns beginnt, kann der zweite Fahrer in den Übergabebereich fahren. Der dritte Fahrer muss noch immer warten. Nachdem dieser lange genug gewartet hat, kann auch er in den Übergabebereich fahren. Sobald ein Fahrer sein Gespann umgerüstet hat, d.h. er hat entweder den Anhänger abgekoppelt oder das Gespann in den Automatikmodus geschaltet, kann er den Übergabebereich verlassen. Sobald alle Fahrer den Übergabebereich verlassen haben, ist der manuelle Teil der Annahme beendet und der Bereich wird für die manuelle Fahrt gesperrt.

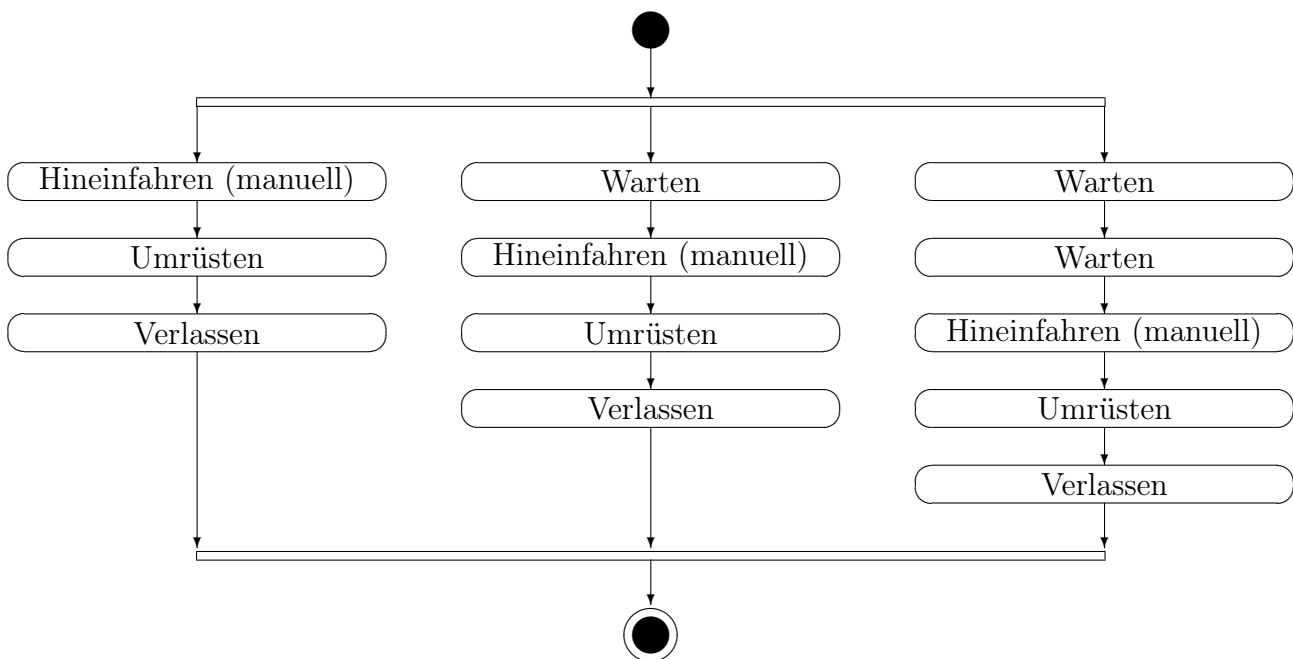


Abbildung 3.5: Ablauf von Annahmen bei der Gruppenlösung (manuelle Phase)

Danach wird der Übergabebereich für den autonomen Verkehr freigegeben. Der autonome Teil der Annahme ist dann weitestgehend analog zum manuellen Teil. Angenommen, es werden nur Anhänger oder Auflieger angenommen, dann fährt als erstes ein Traktor in den Übergabebereich, während zwei weitere Traktoren noch warten. Der erste Traktor beginnt damit, einen der Anhänger anzukoppeln, ein zweiter Traktor fährt währenddessen in den Übergabebereich und der dritte wartet immer noch. Dann kann auch der dritte in den Übergabebereich fahren und mit dem Ankoppeln beginnen. Sobald ein Traktor seinen Anhänger angekoppelt hat, fährt er aus dem Übergabebereich. Die Annahme ist fertig, wenn alle Traktoren den Bereich verlassen haben. Wenn auch Gespanne übergeben werden entfällt das Hineinfahren eines Traktors und das Ankoppeln. Das Gespann kann direkt den Übergabebereich verlassen.

Bei der Abgabe findet zuerst der autonome Teil und dann der manuelle Teil der Übergabe statt, also genau anders herum wie bei der Annahme. Ansonsten

sind die Phasen größtenteils analog. Bei der Abgabe werden die Transporteinheiten zuerst autonom in den Übergabebereich gefahren. Die Terminaltraktoren koppeln ihren Anhänger oder Auflieger ab und verlassen den Bereich. Der Leitstand merkt sich, auf welchem Stellplatz er welche Transporteinheit abgestellt hat. Sobald man im Bereich manuell fahren kann, können die Fahrer mit Hilfe des DispoPiloten zum richtigen Stellplatz im Übergabebereich gelotst werden. Hier können sie dann den Anhänger ankoppeln und mit dem Gespann den Übergabebereich verlassen. Bei der Abgabe eines Gespanns muss der Fahrer zu Fuß in den Übergabebereich gehen, die Zugmaschine vom Automatikmodus in den manuellen Modus umschalten und dann mit dem Gespann hinausfahren. Werden Magnetkarten statt DispoPiloten verwendet, dann muss man den Fahrern auf andere Art mitteilen, auf welchem Stellplatz ihre Transporteinheit steht. Zum Beispiel kann auf der Anzeigentafel nicht nur angezeigt werden, wer als nächstes in den Übergabebereich fahren kann, sondern auch, zu welchem Stellplatz innerhalb des Bereichs man fahren soll.

Im Übergabebereich werden mehrere Übergaben gleichzeitig ausgeführt. Wenn nun die Übergabe an dem Zeitpunkt angelangt ist, wann in dem Bereich nur autonom gefahren werden kann, dann ist die Einfahrt für den manuellen Verkehr gesperrt und die Fahrer müssen warten. Wendet man bei dieser Lösung Drive-Through-Terminals an, braucht man einen Wartebereich, in den die Fahrer fahren können, nachdem sie die Anmeldung erledigt haben, aber noch nicht in den Übergabebereich fahren können. Bei der anderen Lösung, wenn man nicht an die Terminals fahren kann, braucht man einen Parkplatz, auf dem die LKWs abgestellt werden, während die Fahrer sich an den Terminals anmelden. Diesen Parkplatz kann man auch als Wartebereich verwenden, wenn die Fahrer nach der Anmeldung nicht direkt in den Übergabebereich fahren können. Sobald der Übergabebereich für den manuellen Verkehr freigegeben ist, erhalten die Fahrer entweder eine Mitteilung auf ihren DispoPilot, oder, falls man Magnetkarten verwendet, wird ihnen mittels einer Signalanlage (Ampeln und/oder Anzeigentafel) mitgeteilt, wann sie losfahren können.

3.4 Parkplatzlösung

Bei der dritten Lösung sind die Parkplätze Teil der Übergabebereiche. Der gesamte Parkplatz besteht aus drei Teilplätzen, und zwar Parkplatz 1, Parkplatz 2 und Parkplatz A. Auf Parkplatz A wird nur manuell gefahren, auf den Parkplätzen 1 und 2 kann manuell oder autonom gefahren werden, allerdings nicht zur gleichen Zeit. Zu einem Zeitpunkt kann also entweder nur manuell oder nur autonom gefahren werden. Wenn zu einem Zeitpunkt auf Parkplatz 1 nur manuell gefahren werden kann, dann kann auf Parkplatz 2 zur gleichen Zeit nur autonom gefahren werden. Umgekehrt gilt, wenn auf Parkplatz 1 nur autonom gefahren wird, dann wird auf Parkplatz 2 nur manuell gefahren, so wie in Abbildung 3.6

dargestellt. Die Schranke zwischen Parkplatz A und Parkplatz 1 ist in dieser Situation geschlossen, die zwischen Parkplatz A und Parkplatz 2 geöffnet. Die Schranken von Parkplatz 1 zum autonomen Bereich sind offen, die von Parkplatz 2 zum autonomen Bereich geschlossen.

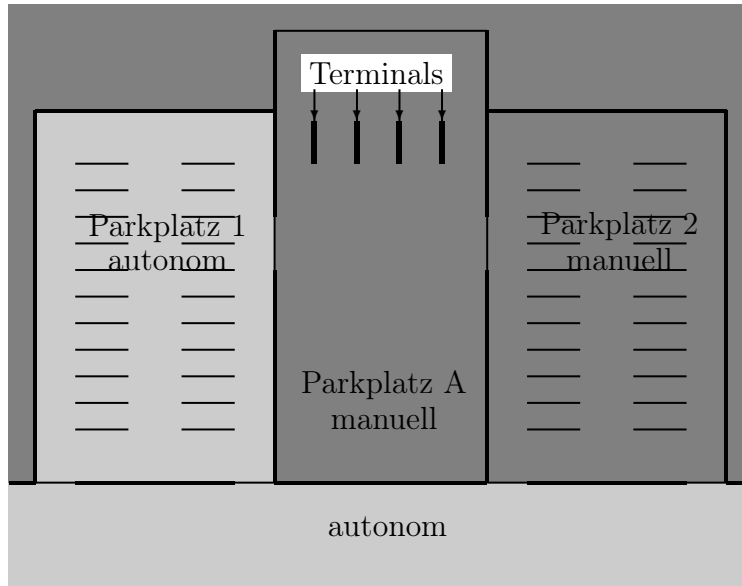


Abbildung 3.6: Parkplatzzusammenfassung

Die Größe eines Parkplatzes ergibt sich wie folgt: Sei n die Anzahl der Parkreihen auf dem Parkplatz und i die Anzahl der Stellplätze in einer Parkreihe. Die Breite des Übergabebereiches ist analog zur Breite bei der Gruppenlösung, $(10 + 1\frac{1}{3}i) * b_{max}$. Jede der Parkreihen ist l_{max} lang und es gibt n Stück. Die Länge der Parkreihen ist also $n * l_{max}$. Bei n Reihen hat man $n - 1$ Fahrwege zwischen jeweils zwei Reihen. Sind diese jeweils l_{max} lang, ergibt sich für die Fahrwege eine Länge von $(n - 1) * l_{max}$. Die Fahrwege oberhalb der ersten und unterhalb der letzten Parkreihen seien analog zur Gruppenlösung jeweils $2/3$ -mal so lang wie ein Gespann. Die Länge des Parkplatzes ist die Summe aus der Länge der Reihen und der Länge der Fahrwege, als $n * l_{max} + (n - 1) * l_{max} + 1\frac{1}{3} * l_{max} = (2n + \frac{1}{3}) * l_{max}$. Daraus ergibt sich dann die Fläche eines Parkplatzes $A_{Parkplatz} = (10 + 1\frac{1}{3}i) * b_{max} * (2n + \frac{1}{3}) * l_{max} = ((10 + 1\frac{1}{3}i) * 2n + 3\frac{1}{3} + \frac{4}{9}i) * A_{max}$.

Die Übergabe läuft wie folgt ab: Als erstes begibt sich der Fahrer zu einem Terminal und meldet sich dort an. Angenommen, auf Parkplatz 1 kann zur Zeit manuell und auf Parkplatz 2 autonom gefahren werden. Zur Annahme einer Transporteinheit erhält der Fahrer die Anweisung, mit seinem Gespann auf Parkplatz 1 zu fahren. Anweisungen an den Fahrer werden mittels DispoPilot übermittelt. Wenn der Fahrer auf dem Parkplatz angekommen ist, sucht er einen freien Platz und parkt dort. Falls er das komplette Gespann abgeben möchte, schaltet er es

von manueller auf autonome Fahrt um. Dann kann er den Parkplatz verlassen. Bei der Übergabe eines Anhängers oder Sattelaufhängers koppelt der Fahrer diesen von der Zugmaschine ab und fährt mit dieser vom Parkplatz.

Um eine Transporteinheit abzuholen, fährt man nach der Anmeldung zuerst auf den Parkplatz A und wartet dort. Daraufhin wird die Einheit autonom auf den Parkplatz 2 gefahren, auf dem gerade autonom gefahren werden kann. Wenn es sich nicht um ein Gespann handelt, welches abgeholt wird, dann wird der Traktor abgekoppelt und dieser verlässt den Parkplatz wieder. Die Abholung kann danach erst weiter gehen, wenn auf dem Parkplatz 2 wieder manuell gefahren werden darf. Der Fahrer fährt dann von Parkplatz A auf Parkplatz 2 und kann dort seine Transporteinheit ankoppeln und mit ihr das Gelände verlassen. Wenn ein Gespann abgegeben wird, entfällt das Ankoppeln und das Fahrzeug muss nur vom autonomen in den manuellen Fahrmodus umgeschaltet werden.

Auf einem der beiden Parkplätze 1 und 2 kann man zu einem Zeitpunkt manuell fahren, auf dem anderen zum gleichen Zeitpunkt autonom. In bestimmten Zeitabständen muss ein Moduswechsel durchgeführt werden, das bedeutet, dass beispielsweise Parkplatz 1 von manuell zu autonom wechselt und Parkplatz 2 gleichzeitig von autonom zu manuell. Bei einem solchen Moduswechsel werden zuerst alle Einfahrten geschlossen, es kann also niemand mehr auf einen der beiden Parkplätze einfahren. Alle Fahrzeuge, die sich noch auf einem der Parkplätze befinden, müssen diesen so schnell es geht verlassen. Sobald alle Fahrzeuge die Parkplätze verlassen haben, kann der Wechsel erfolgen. Auf dem Parkplatz, auf dem vorher manuell gefahren wurde, kann jetzt autonom gefahren werden und umgekehrt. Die entsprechenden Einfahrten werden hierzu geöffnet. Der Moduswechsel ist beendet. Während des Wechsels kann niemand auf einen der beiden Parkplätze hineinfahren. Fahrer, die eine Transporteinheit abgeben wollen, müssen in diesem Fall nach der Anmeldung auch erst einmal auf Parkplatz A fahren und dort warten.

Das Ablaufschema der Übergabe aus Sicht des Leitstandes ist in Abbildung 3.7 zusammengefasst. Als erstes werden die Ein- und Ausfahrten der Parkplätze geöffnet. Auf dem einen Parkplatz die Ein- und Ausfahrten zum manuellen Bereich, auf dem anderen die zum autonomen Bereich. Auf dem ersten Parkplatz sind die Ein- und Ausfahrten zum autonomen Bereich geschlossen, auf dem anderen Parkplatz die zum manuellen Bereich. Nun kann man auf die Parkplätze hinein- und hinausfahren. Wenn nach einer festgelegten Zeit ein Moduswechsel erfolgen soll, werden zunächst die Einfahrten beider Parkplätze geschlossen, niemand kann mehr auf die Parkplätze fahren. Alle, die sich noch auf einem der Parkplätze befinden, werden nun aufgefordert diesen zu verlassen. Sobald alle die Parkplätze verlassen haben, werden auch die Ausfahrten geschlossen. Niemand kann mehr hinein- oder hinausfahren. Dann erfolgt der Wechsel. Auf dem Parkplatz, auf dem bisher manuell gefahren wurde, kann jetzt autonom gefahren werden und umgekehrt. Die entsprechenden Ein- und Ausfahrten werden nun geöffnet und der Ablauf beginnt mit vertauschten Rollen von vorne.

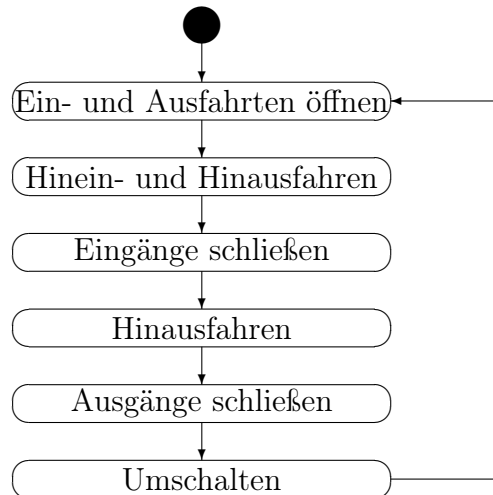


Abbildung 3.7: Ablaufschema von Übergaben bei der Parkplatzlösung

Damit die Wartezeiten nicht zu groß werden, sollte der Zeitabstand zwischen den Wechseln möglichst klein sein. Andererseits kann während des Wechsels gar keine Übergabe stattfinden, alle müssen warten. Deshalb sollte nicht zu häufig gewechselt werden und der Abstand zwischen zwei Moduswechseln möglichst groß sein. Welche Zeit die optimale ist, muss noch untersucht werden.

Bei der Parkplatzlösung für den Übergabebereich gibt es zwei Parkplätze, auf denen abwechselnd autonom und manuell gefahren wird. Um einem Fahrer mitzuteilen, auf welchem Parkplatz er fahren soll, ob er warten muss oder was er sonst tun soll, wird der DispoPilot verwendet. Der Fahrer erhält eine Anweisung, führt diese aus und bestätigt deren Durchführung. Nach der Anmeldung am Terminal kann mit Hilfe des DispoPiloten der Fahrer zu dem Parkplatz gelotst werden, auf dem man gerade manuell fahren kann, damit er dort seine Transporteinheit abgeben kann. Wenn er sich dann auf dem Parkplatz befindet erhält er die Anweisung, was er als nächstes tun soll (z.B. Anhänger abkoppeln). Oder falls er eine Transporteinheit abholen will und diese sich noch im autonomen Bereich befindet, kann er zu Parkplatz A geleitet werden und dort warten. Nach einem Moduswechsel ist es möglich, den wartenden Fahrern nacheinander eine Nachricht auf ihren DispoPiloten zu schicken, damit nicht alle gleichzeitig von ihrer Warteposition zum nun manuellen Parkplatz fahren.

Mit dem DispoPilot kann man jederzeit feststellen, wo sich ein Fahrer mit seinem LKW befindet. Verwendet man hingegen Magnetkarten, kann man nur feststellen, wann und an welchem Magnetkartenleser der Fahrer zuletzt war. Die Lesegeräte stehen an den Ein- und Ausfahrten zu den einzelnen Parkplätzen. Dadurch weiß der Leitstand, auf welchem der Parkplätze sich der Fahrer gerade befindet. Der Nachteil gegenüber dem DispoPiloten besteht darin, dass man beispielsweise nach einem Moduswechsel den Fahrern nicht individuell eine Nachricht

schicken kann. Man kann nur über eine Ampelanlage oder elektronische Wechselverkehrszeichen allen mitteilen, dass sie nun auf den entsprechenden Parkplatz fahren können. Hierbei kann es zu einem Stau an der Einfahrt kommen. Wenn man das Zeitintervall zwischen zwei Moduswechseln geschickt wählt, so dass nicht viele Fahrer warten, dann wird der Stau relativ kurz sein und sich daraus kein Nachteil ergeben.

Kapitel 4

Modellierung des Moduls

4.1 Aufbau und Funktionsweise des Moduls

Das Leitsteuerungsmodul zur Übergabe von Fahrzeugen auf einem automatisierten Betriebshof, im folgenden Übergabemodul genannt, besteht aus den folgenden Teilen: der Aufgabenverwaltung, der Bereichsverwaltung und einer Infrastrukturkomponente. Der Graph in Abbildung 4.1 zeigt das Übergabemodul und seine Umgebung (Fahrer und Leitstand).

Die Aufgabenverwaltung ist der einzige Teil des Übergabemoduls, welches mit dem Fahrer interagiert, d.h. Nachrichten an den Fahrer sendet und von diesem empfängt. Die Kommunikation mit dem Fahrer ist nur ein Teil der Aufgaben der Aufgabenverwaltung. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, sämtliche Abläufe zu koordinieren und kontrollieren. Die Aufgabenverwaltung bestimmt den jeweils nächsten Arbeitsschritt und stößt dessen Ausführung an.

Die Bereichsverwaltung hat die Aufgabe die Übergabebereiche zu verwalten. Dazu führt sie Buch, welcher Bereich sich gerade in welchem Zustand (manuell oder autonom) befindet und welche Stellplätze in den Bereichen frei bzw. reserviert sind. Das Umschalten zwischen den Zuständen eines Bereichs wird ebenfalls von der Bereichsverwaltung durchgeführt. Hierbei benutzt die Bereichsverwaltung auch den Leitstand, indem sie Nachrichten an diesen sendet, mit denen bestimmte Bereich für den autonomen Verkehr gesperrt oder freigegeben werden.

Die Aufgabenverwaltung und die Bereichsverwaltung können untereinander Nachrichten austauschen. Dadurch ist es der Aufgabenverwaltung zum Beispiel möglich, den Zustand eines Bereiches abzufragen, oder den Zustandswechsel eines Bereiches anzustoßen. Die Aufgabenverwaltung benutzt die Bereichsverwaltung, um ihre Aufgaben erledigen zu können.

Die Aufgabenverwaltung sendet auch Aufträge an den Leitstand. Hierbei handelt es sich in der Regel um Aufträge, ein Fahrzeug aus einem Übergabebereich hinauszufahren oder eines hineinzufahren.

Sowohl die Aufgaben- als auch die Bereichsverwaltung benutzen für ihre Auf-

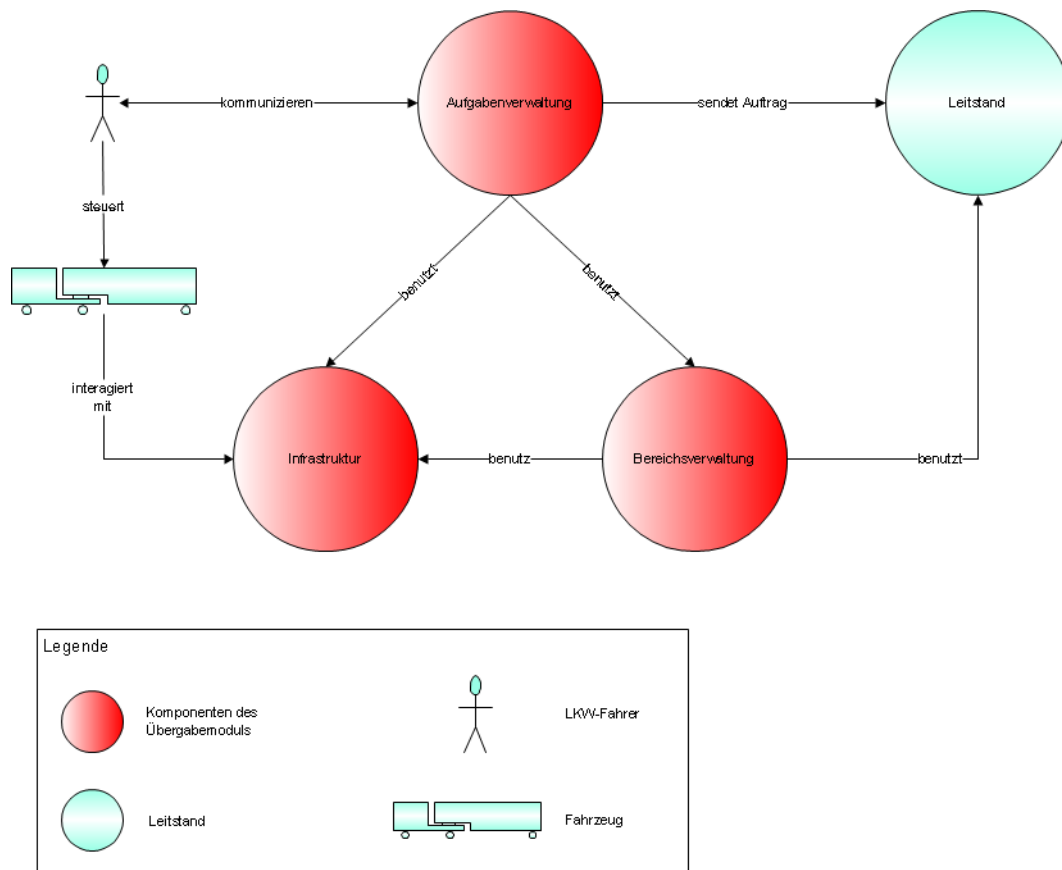


Abbildung 4.1: Aufbau des Übergabemoduls

gaben die Infrastrukturkomponente des Übergabemoduls. Diese Komponente (in der Abb. 4.1 kurz „Infrastruktur“ genannt) hat die Aufgabe die Schranken der Übergabebereiche zu öffnen und zu schließen, wenn sie von einem der beiden anderen Teilen dazu aufgefordert wurde.

Das Fahrzeug, welches vom Fahrer gesteuert wird, interagiert mit der Infrastruktur. Wenn das Fahrzeug z.B. durch eine Lichtschranke fährt, wird dies von der Infrastruktur registriert. Es ist Aufgabe der Infrastruktur, die Lichtschranken zu überwachen. Eine genauere Beschreibung der Komponenten des Übergabemoduls und ihrer Aufgaben folgt später (siehe Abschnitt Aufgabenverteilung auf Seite 47).

4.1.1 Begriffserklärungen

Bevor auf den Aufbau und die Funktionsweise des Übergabemoduls eingegangen wird, folgen hier zunächst einige Begriffserklärungen.

Der Ausdruck ein Bereich ist *teilweise frei* bedeutet, dass in dem Übergabebe-

reich mindestens ein Stellplatz frei ist. Das wiederum bedeutet, dass der Stellplatz zur Zeit nicht für eine Übergabe reserviert ist. Ein Stellplatz ist reserviert, wenn er zur Zeit für eine Übergabe benötigt wird. Das bedeutet, dass entweder ein Fahrzeug auf diesem Stellplatz steht und eine Übergabe durchgeführt wird, oder dass der Stellplatz für ein Fahrzeug freigehalten wird, dass dort übergeben werden soll. Sind alle Stellplätze in einem Übergabebereich frei, also keiner reserviert, dann ist der Bereich *vollständig frei*. Sind alle Stellplätze reserviert, so ist der Bereich *vollständig reserviert*. Sind einige Stellplätze im Übergabebereich reserviert und einige andere frei, so ist der Übergabebereich *teilweise reserviert*. Bei der Einzellösung gibt es in einem Übergabebereich nur einen einzigen Stellplatz, daher ist ein solcher Bereich entweder vollständig frei oder vollständig belegt. Ein Übergabebereich, der teilweise reserviert ist, hat auch noch einige freie Stellplätze. Er ist also auch teilweise, aber nicht vollständig frei. Die Begriffe teilweise reserviert und teilweise frei können daher synonym verwendet werden.

Ein Bereich ist *auf manuell geschaltet*, wenn sich in dem Bereich kein autonomes Fahrzeug befindet. Außerdem muss auch sichergestellt sein, dass kein autonomes Fahrzeug in den Bereich hineinfahren kann. Man sagt auch, der Bereich ist *für den manuellen Verkehr freigegeben*. Analog ist ein Bereich *auf autonom geschaltet* bzw. *für den autonomen Verkehr freigegeben*, wenn kein manuelles Fahrzeug sich in dem Bereich aufhält und auch keines in diesen hineinfahren kann.

Bei einer *Annahme* wird ein Fahrzeug vom Fahrer an den Leitstand übergeben. Der Fahrer gibt das Fahrzeug aus seiner Sicht ab, aus der Sicht des Leitstandes wird aber ein Fahrzeug angenommen. Bei einer *Abgabe* wird ein Fahrzeug vom Leitstand an einen Fahrer übergeben. Aus seiner Sicht holt der Fahrer das Fahrzeug ab und aus der Sicht des Leitstandes wird ein Fahrzeug abgegeben.

4.2 Beispielhafter Ablauf einer Annahme

An einer Übergabe sind neben dem Übergabemodul noch ein LKW-Fahrer und der Leitstand des automatisierten Betriebshofs beteiligt. Um die Funktionsweise des Moduls zu verstehen, ist es am besten, zuerst einmal anhand eines Beispiels eine Übergabe Schritt für Schritt durchzugehen. Im folgenden Beispiel wird davon ausgegangen, dass eine Annahme durchgeführt werden soll und dass diese reibungslos vonstatten geht. Der Übergabebereich ist ein sogenannter Einzelbereich, d.h. es ist genau ein Stellplatz im Übergabebereich vorhanden. Bei der beschriebenen Übergabe wird nur der Anhänger eines Gespanns übergeben. Die Zugmaschine wird nicht übergeben und der Fahrer kann mit dieser nach der Übergabe wegfahren. Die Anmeldung erfolgt an einem Drive-Through-Terminal. Der Fahrer muss für die Anmeldung sein Fahrzeug nicht verlassen. Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass dem Fahrer bei der Anmeldung eine Magnetkarte ausgehändigt wird. An den Ein- und Ausfahrten der Übergabebereiche sind Kartenleser installiert. Zum Öffnen der Ein- oder Ausfahrtsschranke muss man eine

Magnetkarte in den passenden Kartenleser einführen.

Die Abbildung 4.2 zeigt anhand eines Sequenzdiagramms den beispielhaften Ablauf einer Annahme.

Der erste Schritt der Übergabe besteht darin, dass der Fahrer an ein Anmelde-terminal heranfährt, um sich dort anzumelden („Ankunft/Anmeldung“ in Abb. 4.2). Hier muss der Fahrer dann eingeben, ob eine Annahme oder eine Abgabe durchgeführt werden soll. Der Fahrer gibt am Terminal also beispielsweise ein, dass er seinen Anhänger abgeben möchte. Es soll also eine Annahme durchgeführt werden. Dann muss der Fahrer eingeben, ob schon ein Auftrag im Voraus gebucht worden ist oder nicht. Falls ein Auftrag im Voraus gebucht wurde muss der Fahrer dann die entsprechende Buchungsnummer am Anmelde-terminal eingeben. Falls der Auftrag noch nicht gebucht ist, so wird die Buchung jetzt vom Fahrer am Terminal durchgeführt.

Nach der Anmeldung schickt die Aufgabenverwaltung eine Nachricht an die Bereichsverwaltung mit der Bitte, einen freien Übergabebereich zu suchen und diesen für die Annahme zu reservieren (Nachricht „freien Übergabebereich anfordern“ in Abb. 4.2). Ist im Moment kein Übergabebereich frei (weder vollständig noch teilweise), sendet die Bereichsverwaltung eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung, so dass diese den Fahrer zu einem Wartebereich schickt. Die Bereichsverwaltung merkt sich, dass ein Übergabebereich benötigt wird.

Sobald ein Übergabebereich frei wird, bekommt die Bereichsverwaltung eine entsprechende Nachricht. Am Ende einer Übergabe sendet die Aufgabenverwaltung nämlich eine Nachricht an die Bereichsverwaltung, den Bereich, der für die Übergabe benutzt wurde, freizugeben. An dieser Stelle sind nun zwei Übergaben im Spiel. Die erste Übergabe ist quasi in einem Wartezustand, weil kein Übergabebereich frei war. Die zweite Übergabe ist gerade fertig geworden. Aufgrund der Nachricht, den Übergabebereich, der von der zweiten Übergabe benutzt wurde, freizugeben, kann die erste Übergabe fortgesetzt werden. Sobald also die Bereichsverwaltung eine Nachricht bekommt, dass ein Bereich frei geworden ist wird dieser von der Bereichsverwaltung vorgemerkt. Dann sendet sie eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung, dass ein Bereich freigeworden ist („Übergabebereich wird frei“ in Abb. 4.2).

Die Aufgabenverwaltung sendet dann eine Antwort und bestätigt damit, dass der Bereich tatsächlich für die Übergabe gebraucht wird und verwendet werden soll („Bereich reservieren“ in Abb. 4.2). Die Bereichsverwaltung muss dann den Bereich auf manuell schalten. Obwohl der Bereich frei ist, können sich autonome Fahrzeuge dort aufhalten. Ein Bereich ist, wie schon erwähnt, nämlich dann frei, wenn kein Stellplatz für eine Übergabe reserviert ist. Es ist beispielsweise möglich, dass der Leitstand den Bereich als Fahrweg für autonome Fahrzeug benutzt. In solch einem Fall ist es möglich, dass sich autonome Fahrzeug im Übergabebereich befinden, obwohl er frei ist. Die Bereichsverwaltung sendet daher eine Nachricht an den Leitstand, damit dieser den Bereich räumt und für den autonomen Verkehr sperrt. Das bedeutet, dass der Leitstand sämtliche autonomen Fahrzeuge,

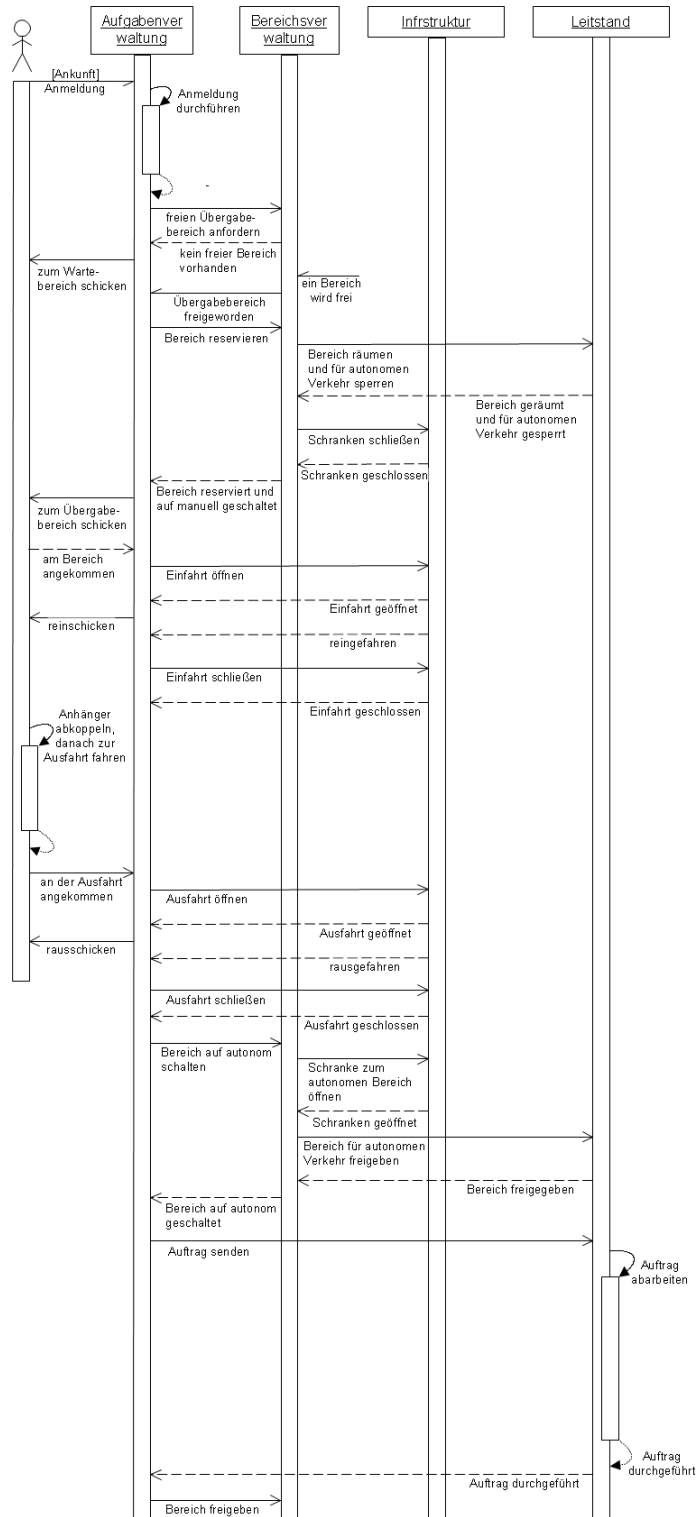


Abbildung 4.2: Sequenzdiagramm einer beispielhaften Annahme

die sich in dem Bereich befinden, aus diesem hinausfährt und gleichzeitig schon so weit sperrt, dass kein autonomes Fahrzeug mehr in den Bereich hineinfährt. Sobald die Fahrzeuge den Bereich verlassen haben, ist der Bereich komplett für den autonomen Verkehr gesperrt. Der Leitstand teilt der Bereichsverwaltung mit, dass der Bereich geräumt und für den autonomen Verkehr gesperrt wurde („Bereich geräumt und für autonomen Verkehr gesperrt“ in Abb. 4.2). Danach wird eine Nachricht an die Infrastruktur gesendet, alle offenen Schranken zu schließen. Sobald dies erledigt ist, sendet die Bereichsverwaltung eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung, dass der Bereich reserviert ist und die Übergabe durchgeführt werden kann (Nachricht „Bereich reserviert und auf manuell geschaltet“ in Abb. 4.2).

Die Aufgabenverwaltung fordert den LKW-Fahrer nun auf, zum Übergabebereich zu fahren. Sobald der Fahrer an der Einfahrt angekommen ist, muss er dies dem Übergabemodul mitteilen, sodass die Schranke geöffnet wird und er hineinfahren kann. Die Mitteilung erfolgt durch das Einführen einer Magnetkarte in einen Kartenleser. Die Aufgabenverwaltung überprüft dann, ob der Fahrer sich am richtigen Übergabebereich befindet. Sobald der Fahrer am richtigen Bereich angekommen ist, sendet die Aufgabenverwaltung eine Nachricht an die Infrastruktur, die passende Schranke zu öffnen („Einfahrt öffnen“ in Abb. 4.2). Wenn die Schranke auf ist, wird der Fahrer in der Regel selbstständig in den Übergabebereich fahren. Dies wird in der Abbildung 4.2 durch die Nachricht „reinschicken“ angedeutet; diese Nachricht wird nicht explizit gesendet, sondern ist als implizite Nachricht zu verstehen. Die Infrastruktur besitzt einen Mechanismus (z.B. Lichtschranke oder Induktionsschleife), mit der sie erkennen kann, wann der Fahrer mit seinem Fahrzeug die Schranke passiert hat. Die Infrastruktur sendet eine entsprechende Nachricht an die Aufgabenverwaltung („reingefahren“ in Abb. 4.2). Die Aufgabenverwaltung weiß nun, dass sich der Fahrer innerhalb des Übergabebereichs befindet. Die Schranke kann nun wieder geschlossen werden.

Der Fahrer koppelt dann den Anhänger seines Gespanns ab („Anhänger abkoppeln“ in Abb. 4.2) und fährt danach mit der Zugmaschine zur Ausfahrt („zur Ausfahrt fahren“ in Abb. 4.2). Indem er die Magnetkarte in den Kartenleser an der Ausfahrt einführt, teilt der Fahrer der Aufgabenverwaltung mit, dass er an der Schranke ist und hinausfahren möchte. Die Aufgabenverwaltung veranlasst die Infrastruktur, die Schranke zu öffnen. Der Fahrer kann jetzt den Übergabebereich verlassen. Die Nachricht „rausschicken“ in Abbildung 4.2 ist analog zur Situation beim Reinfahren als implizite Nachricht zu betrachten, da der Fahrer selbstständig aus dem Bereich hinausfährt, sobald die Schranke offen ist. Die Infrastruktur erkennt, wann das Fahrzeug die Schranke passiert hat, sendet eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung („rausgefahren“ in Abb. 4.2) und schließt die Schranke, sobald sie die entsprechende Aufforderung der Aufgabenverwaltung erhalten hat. Die Aufgabenverwaltung weiß nun, dass der manuelle Teil der Übergabe beendet ist und der autonome Teil beginnen kann.

Die Aufgabenverwaltung sendet nun eine Nachricht, den Übergabebereich auf

autonom umzustellen, an die Bereichsverwaltung. Die Bereichsverwaltung muss nun zwei Nachrichten senden. Eine Nachricht geht an die Infrastruktur, damit die Schranken vom Übergabebereich zum autonomen Bereich geöffnet werden. Die zweite Nachricht geht an den Leitstand. Mit dieser Nachricht wird der Bereich für autonome Fahrt freigegeben, d.h. der Bereich gilt nicht mehr als Hindernis und die Routenplanung des Leitstands kann ihn als Fahrstrecke benutzen. Sobald der Bereich auf autonom geschaltet ist und die Schranken geöffnet wurden, kann die Bereichsverwaltung eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung senden („Bereich auf autonom geschaltet“ in Abb. 4.2). Mit dieser Nachricht weiß die Aufgabenverwaltung dann, dass die Umschaltung des Übergabebereich durchgeführt worden ist.

Die Aufgabenverwaltung des Moduls sendet nun einen Auftrag an die Auftragsverwaltung des Leitstands („Auftrag senden“ in Abb. 4.2). Dieser Auftrag besteht aus zwei Teilaufträgen. Der erste Teilauftrag besteht darin, den Anhänger mit Hilfe eines Traktors aus dem Übergabebereich zu fahren. Der zweite Teilauftrag besteht aus den Aufgaben, die mit dem Fahrzeug auf dem automatisierten Hof erledigt werden sollen und ist somit abhängig von der Anwendung. Es ist nun Aufgabe des Leitstands, diesen Auftrag zu verplanen und durchzuführen. Sobald der erste Teilauftrag, also das Hinausfahren des Anhängers aus dem Übergabebereich, abgearbeitet ist, muss die Auftragsverwaltung des Leitstandes eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung des Moduls senden („Auftrag durchgeführt“ in Abb. 4.2). Die Aufgabenverwaltung des Moduls meldet dann der Bereichsverwaltung, dass die Übergabe beendet ist („Bereich freigeben“ in Abb. 4.2). Die Bereichsverwaltung kann den Bereich nun wieder freigeben. Damit kann der Übergabebereich für weitere Übergaben benutzt werden. Die Übergabe ist beendet.

4.3 Aufgabenverteilung

Anhand des Beispiels einer Annahme kann man nun einige Aufgaben feststellen, welche die einzelnen Teile des Moduls erfüllen müssen.

Aufgabenverwaltung: Die Aufgabenverwaltung steuert und überwacht die Übergaben. Dazu kennt sie alle Arbeitsschritte, die bei einer Übergabe durchgeführt werden müssen. Für jede Übergabe, die im Moment durchgeführt wird, führt die Aufgabenverwaltung eine Liste mit Arbeitsschritten, die bereits erledigt wurden. Diese Liste ist immer zu aktualisieren, wenn ein Arbeitsschritt beendet wurde. Es ist dann Aufgabe der Aufgabenverwaltung zu entscheiden, welches der nächste Schritt ist, der durchgeführt werden muss. Wenn die Entscheidung gefallen ist, wird die Ausführung dieses Schritts von der Aufgabenverwaltung angestoßen.

Einige Schritte lässt die Aufgabenverwaltung von anderen Teilen durchfüh-

ren. Unter anderem das Öffnen und Schließen von Schranken lässt sie von der Infrastruktur durchführen. Einen freien Übergabebereich suchen und diesen reservieren, lässt die Aufgabenverwaltung von der Bereichsverwaltung durchführen. Eine Reihe von Arbeitsschritten muss die Aufgabenverwaltung hingegen selbst durchführen. Dazu gehört unter anderem die Kommunikation mit dem Fahrer. Alle Nachrichten vom und zum Fahrer werden von der Aufgabenverwaltung verarbeitet bzw. erzeugt.

Außerdem fällt es in den Aufgabenbereich der Aufgabenverwaltung, Aufträge an den Leitstand zu senden. Ein Auftrag kann in diesem Zusammenhang sein, dass eine Transporteinheit autonom in den Übergabebereich hineingefahren werden (Abgabe) oder eine Transporteinheit autonom aus dem Bereich hinausgefahren werden soll (Annahme).

Bereichsverwaltung: Die Bereichsverwaltung führt darüber Buch, welcher Übergabebereich im Moment wofür benutzt wird. Ein Bereich kann zu einem Zeitpunkt entweder für eine Annahme oder eine Abgabe oder keins von beidem benutzt werden. Die Bereichsverwaltung muss ebenfalls darüber Buch führen, welche Stellplätze in den Übergabebereichen gerade frei sind und welche reserviert sind. Außerdem merkt sich die Bereichsverwaltung, in welchem Bereich gerade manuell und in welchem autonom gefahren werden kann.

Die Aufgabe der Bereichsverwaltung besteht darin, der Aufgabenverwaltung einen Bereich für eine Übergabe zuzuordnen, sobald diese einen Bereich anfordert. Außerdem muss die Bereichsverwaltung die Übergabebereiche, je nach Aufforderung der Aufgabenverwaltung, auf manuell oder autonom schalten. Die Bereichsverwaltung muss sich auch merken, wenn ein Bereich angefordert wurde, aber keiner frei ist. Sobald dann ein Bereich frei wird, muss die Bereichsverwaltung die Aufgabenverwaltung darüber informieren.

Infrastruktur: Die Infrastrukturkomponente des Leitsteuerungsmoduls hat die Aufgabe, Schranken zu öffnen und zu schließen, wenn sie von den anderen Komponenten dazu aufgefordert wird. Außerdem kann die Infrastruktur feststellen, wenn ein Fahrzeug eine offene Schranke passiert hat, und dann eine passende Nachricht an die Auftrags- und/oder Bereichsverwaltung senden. Die Infrastrukturkomponente ist quasi ein Treiber, der den anderen Teilen des Übergabemoduls ermöglicht, auf einfache Weise die Schranken bedienen zu können.

Die Aufgabenverwaltung kümmert sich um die Schranken zum manuellen Bereich. Die Bereichsverwaltung kümmert sich um die Schranken zum autonomen Bereich.

Die Aufgaben- und die Bereichsverwaltung müssen zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben verschiedene Tätigkeiten ausführen. Jede dieser Tätigkeiten hat eine oder mehrere betroffene Einheiten. Einheiten, die betroffen sein können, sind beispielsweise der gesamte Hof, ein einzelner Übergabebereich, mehrere Stellplätze in einem Übergabebereich oder ein Fahrzeug. Im folgenden soll nun kurz erläutert werden, welche Einheiten von welcher Tätigkeit betroffen sind.

Eine Aufgabe der Bereichsverwaltung ist es, einen freien Übergabebereich zu suchen, wenn die Aufgabenverwaltung einen anfordert. Beim Suchen nach einem freien Bereich sind alle Übergabebereiche betroffen. Genauer gesagt sind alle Stellplätze in sämtlichen Übergabebereichen betroffen. Die Bereichsverwaltung sucht in allen Stellplätzen nach einem freien Platz, der für eine Übergabe reserviert werden kann.

Wenn nun ein freier Stellplatz vorhanden ist und dieser reserviert wird, betrifft das den Stellplatz und den Übergabebereich, in dem sich dieser befindet. Es betrifft den Stellplatz, weil sich dessen Zustand von frei zu reserviert ändert. Der Zustand des Übergabebereichs kann sich ändern, muss es aber nicht. Ist der Übergabebereich vor dem Reservieren des Stellplatzes vollständig frei, dann ist er nachher teilweise belegt (bei der Einzellösung vollständig belegt). Ein Bereich, der vorher teilweise belegt war, kann nachher vollständig belegt sein, falls der letzte freie Stellplatz gerade reserviert wurde. Wurde nicht der letzte freie Stellplatz reserviert, dann ist der Übergabebereich vorher und nachher teilweise reserviert.

Wenn ein Übergabebereich umgeschaltet wird, egal ob von manuell zu autonom oder umgekehrt, dann ist nur dieser Bereich betroffen. Die anderen Übergabebereiche können unabhängig davon betrieben werden. Es findet dabei keine gegenseitige Beeinflussung statt. Allerdings hat das Umschalten Einfluss auf den autonomen Teil des Betriebshofs, da durch das Sperren bzw. Freigeben des Übergabebereichs für den autonomen Verkehr der autonome Bereich verkleinert bzw. vergrößert wird.

Wenn eine Übergabe beendet ist, ist zunächst der Stellplatz betroffen, der freigegeben wird. Dann ist auch der Übergabebereich betroffen, in dem sich der betroffene Stellplatz befindet. Der Übergabebereich ändert seinen Zustand entweder von vollständig belegt zu teilweise belegt oder von teilweise belegt zu vollständig frei oder er bleibt teilweise belegt.

Ähnlich wie bei der Bereichsverwaltung, sind bei den Tätigkeiten der Aufgabenverwaltung unterschiedliche Einheiten betroffen. Meistens ist eine Übergabe und ein Fahrer zusammen mit seinem Fahrzeug betroffen.

Eine der Aufgaben der Aufgabenverwaltung ist es, eine Liste mit allen Übergaben, die gerade durchgeführt werden, zu führen und für jede dieser Übergaben eine Liste mit bereits erledigten Arbeitsschritten zu führen. Sobald ein Schritt durchgeführt wurde, muss diese Liste aktualisiert werden. Hierbei ist die Liste der erledigten Arbeitsschritte einer Übergabe betroffen. Die Liste aller Übergaben ist betroffen, wenn eine Übergabe beendet ist, oder eine neue hinzukommt (wenn sich ein Fahrer anmeldet).

Wenn für eine Übergabe kein Bereich reserviert werden kann, dann muss diese Übergabe warten, bis ein Bereich frei wird. Natürlich kann es vorkommen, dass mehrere Übergaben warten, weil im Moment nichts frei ist. Alle diese Übergaben sind betroffen, sobald ein Stellplatz in einem Bereich frei wird. Die Aufgabenverwaltung muss dann nämlich eine Übergabe auswählen, die fortgesetzt wird und die anderen Übergaben müssen weiterhin warten. Für den Algorithmus, der die Übergabe auswählt, die fortgesetzt wird, gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum Beispiel kann man einen FIFO-Algorithmus verwenden, d.h. die Übergabe, die am längsten wartet wird als nächstes fortgesetzt. Eine andere Möglichkeit ist beispielsweise eine Prioritätenschlange, wobei die Prioritäten auf vielfältige Weise vergeben werden können.

Bei der Kommunikation mit den Fahrern ist in der Regel immer nur einer betroffen. Wenn es darum geht, einen Fahrer zum Warte- oder Übergabebereich zu schicken, wird einem bestimmten Fahrer eine Nachricht gesendet und nur dieser ist somit von der Kommunikation betroffen. Eine Ausnahme, bei der alle Fahrer eine Nachricht erhalten, gibt es bei der Parkplatzlösung. Wenn ein Moduswechsel durchgeführt wurde, wird allen Fahrer mitgeteilt, auf welchem Parkplatz nun manuell gefahren werden kann.

Aufträge, welche die Aufgabenverwaltung an den Leitstand sendet, betreffen immer eine Übergabe und ein dazugehöriges Fahrzeug. Der Auftrag besteht darin, ein Fahrzeug entweder aus dem Übergabebereich hinauszufahren (Annahme) oder es in einen Bereich hineinzufahren (Abgabe). Wird nicht ein Gespann, sondern nur ein Anhänger übergeben, so ist auch immer ein Traktor betroffen, der entweder ab jetzt benötigt wird (Annahme) oder nicht länger benötigt wird (Abgabe).

4.4 Ablaufmöglichkeiten von Übergaben

Das oben aufgeführte Beispiel ist nur eine Möglichkeit, wie eine Übergabe ablaufen kann. Im folgenden soll nun kurz erläutert werden, an welchen Stellen welche Möglichkeiten existieren können. Zunächst einmal gibt es die beiden Fälle Annahme und Abgabe. In beiden Fällen ist als erstes eine Anmeldung nötig. Danach wird bei der Annahme zunächst manuell und dann autonom gefahren. Bei der Abgabe wird im Übergabebereich zunächst autonom und dann manuell gefahren. Während der autonomen Phase der Abgabe kann der Fahrer manuell von der Anmeldung zu einem Wartebereich fahren.

Die Anmeldung ist unabhängig von der gewählten Lösung. Es gibt also keine Unterschiede bei der Anmeldung, egal ob man Einzel-, Gruppen- oder Parkplatzlösung benutzt. Dadurch ist es auch möglich, dass man an einem automatisierten Betriebshof mehrere Lösungen gleichzeitig verwenden kann. Beispielsweise könnte man einen Übergabebereich nach der Einzellösung haben und einen nach der Gruppenlösung.

Soll eine Annahme durchgeführt werden, so muss man bei der Anmeldung

zwei Fälle unterscheiden. Erster Fall: Es wurde vorab schon ein Auftrag gebucht. Der Fahrer muss dann bei der Anmeldung die Buchungsnummer angeben, die bei der Buchung zugeteilt wurde. Zweiter Fall: Es ist keine Vorabbuchung durchgeführt worden. In diesem Fall ist diese jetzt durchzuführen. Dabei wird auch eine Buchungsnummer generiert und dem Fahrer mitgeteilt.

Soll eine Abgabe durchgeführt werden, gibt es bei der Anmeldung keine Fallunterscheidung. Es muss immer die Buchungsnummer des entsprechenden Auftrags angegeben werden.

4.4.1 Ablaufmöglichkeiten beim Anfordern und Reservieren

Nach der Anmeldung muss ein freier Übergabebereich gesucht werden. Bei der Annahme und der Abgabe gibt es jeweils mehrere Fälle, die zu berücksichtigen sind. Das Aktivitätsdiagramm in Abbildung 4.3¹ zeigt die Fälle, welche bei einer Annahme eintreten können.

In jedem der drei möglichen Fälle muss zuerst ein Übergabebereich angefordert werden. In Fall 1 und 2 ist ein Übergabebereich frei und man kann diesen sofort reservieren. In Fall 3 ist zur Zeit kein Übergabebereich frei. Man muss dann den Fahrer zum Wartebereich schicken und warten, bis ein Bereich frei wird. Sobald ein Übergabebereich frei wird, kann man wie in Fall 1 und 2 mit der Reservierung des Übergabebereichs fortfahren.

In Fall 1 ist der reservierte Übergabebereich aktuell auf manuell geschaltet. Der Fahrer kann dann direkt zum Übergabebereich geschickt werden. In Fall 2 ist der reservierte Übergabebereich nicht auf manuell geschaltet, d.h. er ist zur Zeit für den autonomen Verkehr freigegeben. Man muss zunächst den Übergabebereich auf manuell schalten, bevor man den Fahrer zum Übergabebereich schicken kann. Die Aktivität „Übergabebereich auf manuell schalten“ in Fall 2 entspricht den Aktionen „Bereich räumen“ bis „Schranken geschlossen“ in Abbildung 4.2 auf Seite 45.

Bei der Suche nach einem freien Übergabebereich gibt es, je nachdem, ob die Einzel-, die Gruppen- oder die Parkplatzlösung verwendet wird, kleine Unterschiede. Bei der Einzellösung ist ein Bereich entweder frei oder reserviert. Falls er reserviert ist, wird er im Moment für eine Übergabe benötigt und kann nicht für eine weitere Übergabe benutzt werden. Falls der Bereich frei ist, kann man ihn für eine Übergabe benutzen. Bei der Gruppen- und der Parkplatzlösung gibt es in einem Übergabebereich mehr als einen Stellplatz. Ein Bereich kann daher vollständig frei, teilweise reserviert oder vollständig reserviert sein. Ist der Übergabebereich vollständig frei, bedeutet dies, dass alle Plätze im Bereich frei

¹Die Swimlanes haben in diesem und den folgenden Diagrammen eine von der üblichen Semantik abweichende Bedeutung. Jede Swimlane steht für einen Fall. Aktivitäten über mehrere Swimlanes sind in jedem der zugehörigen Fälle durchzuführen.

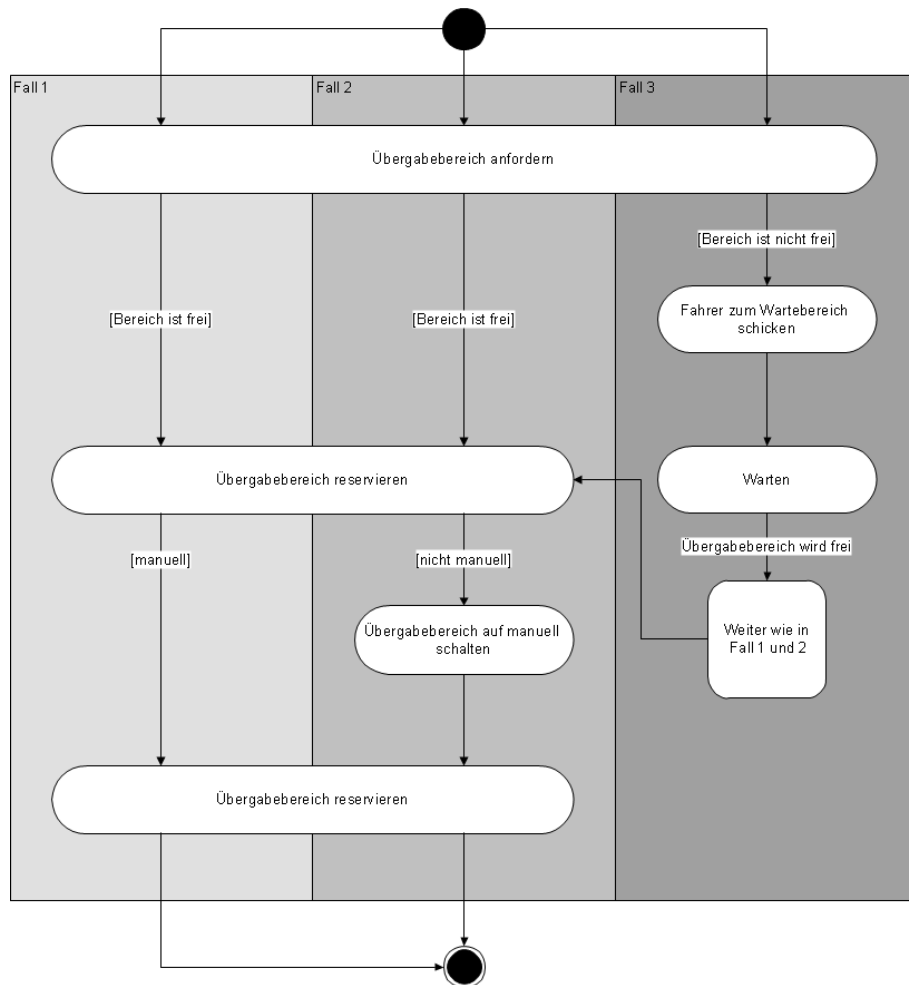


Abbildung 4.3: Fälle 1-3

sind und für ein Übergabe reserviert werden können. Wenn ein Übergabebereich vollständig reserviert ist, dann sind alle Stellplätze in diesem Bereich schon reserviert und man kann keinen Platz für eine weitere Übergabe reservieren. Falls der Übergabebereich teilweise reserviert ist, dann sind einige der Plätze schon für eine Übergabe reserviert, mindestens ein Platz ist aber noch frei. Der freie Platz kann dann unter Umständen für eine weitere Übergabe reserviert werden.

Falls ein Übergabebereich nämlich teilweise reserviert ist und die Aufgabenverwaltung für eine weitere Übergabe einen Bereich anfordert, dann kann man den teilweise reservierten Übergabebereich nur verwenden, wenn dieser in dem Zustand ist, der für die neue Übergabe als erstes benötigt wird. Mit anderen Worten: Bei einer Annahme muss im Übergabebereich zuerst manuell gefahren werden. Ist ein Übergabebereich teilweise reserviert und wird dort im Moment manuell gefahren, kann man einen der noch freien Stellplätze reservieren und den

LKW-Fahrer sofort zu diesem Übergabebereich schicken. Ist der Übergabebereich hingegen augenblicklich für den autonomen Verkehr freigegeben, dann kann er zur Zeit nicht für eine Annahme reserviert werden, auch wenn der Bereich nicht vollständig reserviert ist. Man muss dann warten, bis ein teilweise reservierter manueller oder ein freier Übergabebereich vorhanden ist. Der Fahrer kann zum Wartebereich geschickt werden und wartet dort solange. Bei einer Abgabe muss man im Übergabebereich zuerst autonom fahren. Analog zur Annahme kann man nur einen Bereich reservieren, wenn dieser entweder teilweise reserviert und auf autonom geschaltet oder frei ist.

Wird eine Abgabe durchgeführt, gibt es vier Fälle (im folgenden Fall 4 bis 7 genannt). Schon vor Beginn der Abgabe hat der Leitstand die Transporteinheit, die jetzt an den Fahrer abgegeben werden soll, eventuell in einem Übergabebereich geparkt. Wenn nun die Aufgabenverwaltung einen Übergabebereich anfordert, muss sie auch mitteilen, welche Transporteinheit zu übergeben ist. Ist nun die abzugebende Transporteinheit schon in einem Übergabebereich geparkt (Fall 7 in Abb. 4.4), muss dieser Bereich reserviert werden. Falls die Transporteinheit noch nicht in einem Übergabebereich steht, wird der Fahrer zuerst zu einem Wartebereich geschickt. Dann reserviert man einen Übergabebereich. In Fall 4 und 5 ist ein Übergabebereich frei, in Fall 6 nicht. Sobald in Fall 6 ein Bereich frei wird, kann man wie in Fall 4 und 5 mit dem Reservieren des Übergabebereichs fortfahren.

In Fall 4 ist der reservierte Übergabebereich auf autonom geschaltet. Man kann dann direkt einen Auftrag an den Leitstand senden. Der Auftrag besteht darin, dass der Leitstand das Fahrzeug, welches an den Fahrer abgegeben werden soll, in den Übergabebereich fährt und dort abstellt. In Fall 5 ist der Übergabebereich im Moment auf manuell geschaltet und muss auf autonom geschaltet werden. Nach dem Umschalten kann man, wie in Fall 4, einen passenden Auftrag an den Leitstand senden. In beiden Fällen wird der Auftrag dann vom Leitstand abgearbeitet.

Das Umschalten eines Übergabebereichs von manuell zu autonom oder umgekehrt, verläuft bei den verschiedenen Lösungen unterschiedlich. Angenommen, es wird eine Annahme durchgeführt, dann muss der Bereich von manuell auf autonom umgeschaltet werden. Die Aufgabenverwaltung sendet eine Nachricht an die Bereichsverwaltung, wenn der manuelle Teil einer Übergabe fertig ist und umgeschaltet werden soll.

Bei der Einzellösung kann die Bereichsverwaltung den Bereich direkt umschalten, wenn sie die Nachricht erhält. Bei den anderen Lösungen ist dies nicht so. Hier kann das Umschalten erst erfolgen, wenn von allen Übergaben eine entsprechende Nachricht empfangen wurde. Beispiel: In einem Übergabebereich sind drei Stellplätze für jeweils eine Annahme reserviert. Wenn der erste Fahrer aus dem Bereich hinausgefahren ist, sendet die Aufgabenverwaltung eine Nachricht an die Bereichsverwaltung mit der Aufforderung zum Umschalten. Die Bereichsverwaltung unternimmt aber zunächst nichts, sondern merkt sich nur, dass sie eine

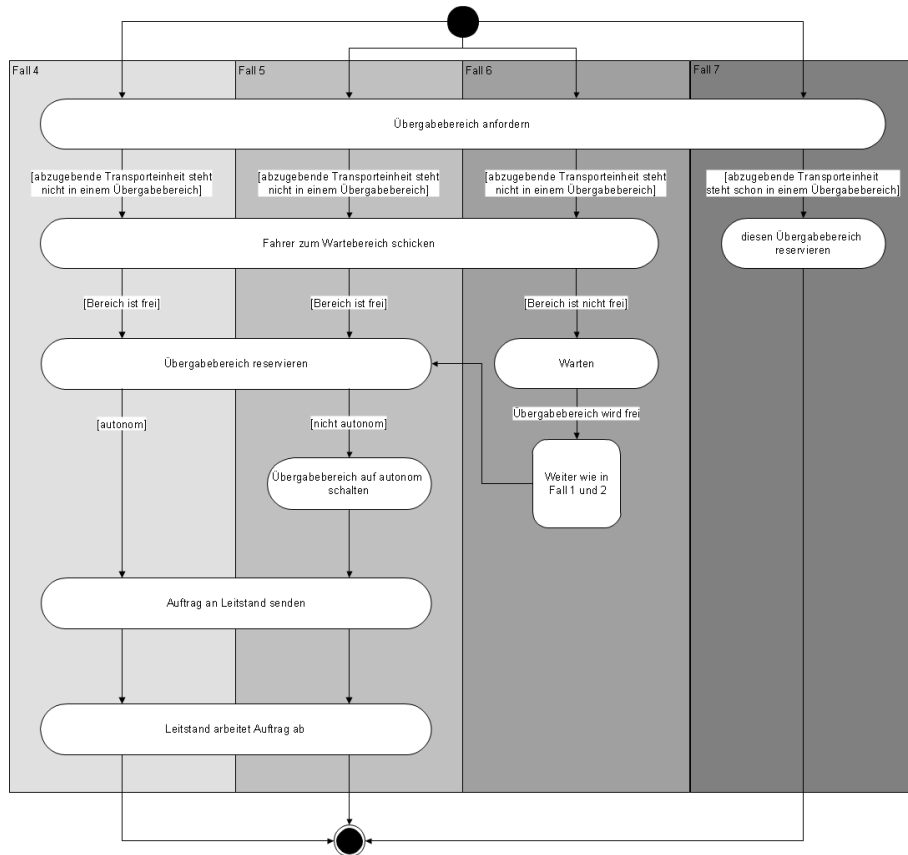


Abbildung 4.4: Fälle 4-7

Aufforderung zum Umschalten erhalten hat. Wenn der zweite Fahrer den Bereich verlassen hat, bekommt die Bereichsverwaltung eine zweite Aufforderung, unternimmt aber immer noch nichts. Erst wenn sie die dritte Aufforderung erhalten hat, weiß die Bereichsverwaltung, dass alle drei Fahrer den Bereich verlassen haben. Nun kann die Bereichsverwaltung den Bereich von manuell auf autonom umschalten. Dann sendet sie eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung, dass die Umschaltung durchgeführt wurde. Erst dann kann die Aufgabenverwaltung den jeweils nächsten Schritt der drei Übergaben anstoßen.

Die Parkplatzlösung sieht vor, dass in bestimmten Zeitabständen ein Moduswechsel durchgeführt wird. Die Bereichsverwaltung braucht daher einen Timer, der ihr mitteilt, wann ein Wechsel durchgeführt werden soll. Sobald der (Countdown-)Timer auf null steht, wird ein Wechsel vorbereitet, d.h. ab diesem Zeitpunkt gilt der Parkplatz als vollständig reserviert, auch wenn noch einige Plätze frei sind. Dadurch wird erreicht, dass ab diesem Zeitpunkt kein weiteres Fahrzeug mehr auf den Parkplatz (und damit in den Übergabebereich hinein) fährt. Bevor dann der eigentliche Moduswechsel durchgeführt wird, müssen alle

manuell fahrenden Fahrzeuge den manuellen Parkplatz und alle autonom fahrenden Fahrzeuge den autonomen Parkplatz verlassen. Sobald also alle Fahrzeuge die entsprechenden Parkplätze verlassen haben, wird der Wechsel durchgeführt und der Timer neu gestartet.

4.4.2 Ablaufmöglichkeiten bei der Ankunft am Übergabebereich

Wenn der Fahrer aufgefordert wird zu einem bestimmten Übergabebereich zu fahren, können die folgenden Fälle vorkommen (Fälle 8 bis 11 in Abb. 4.5):

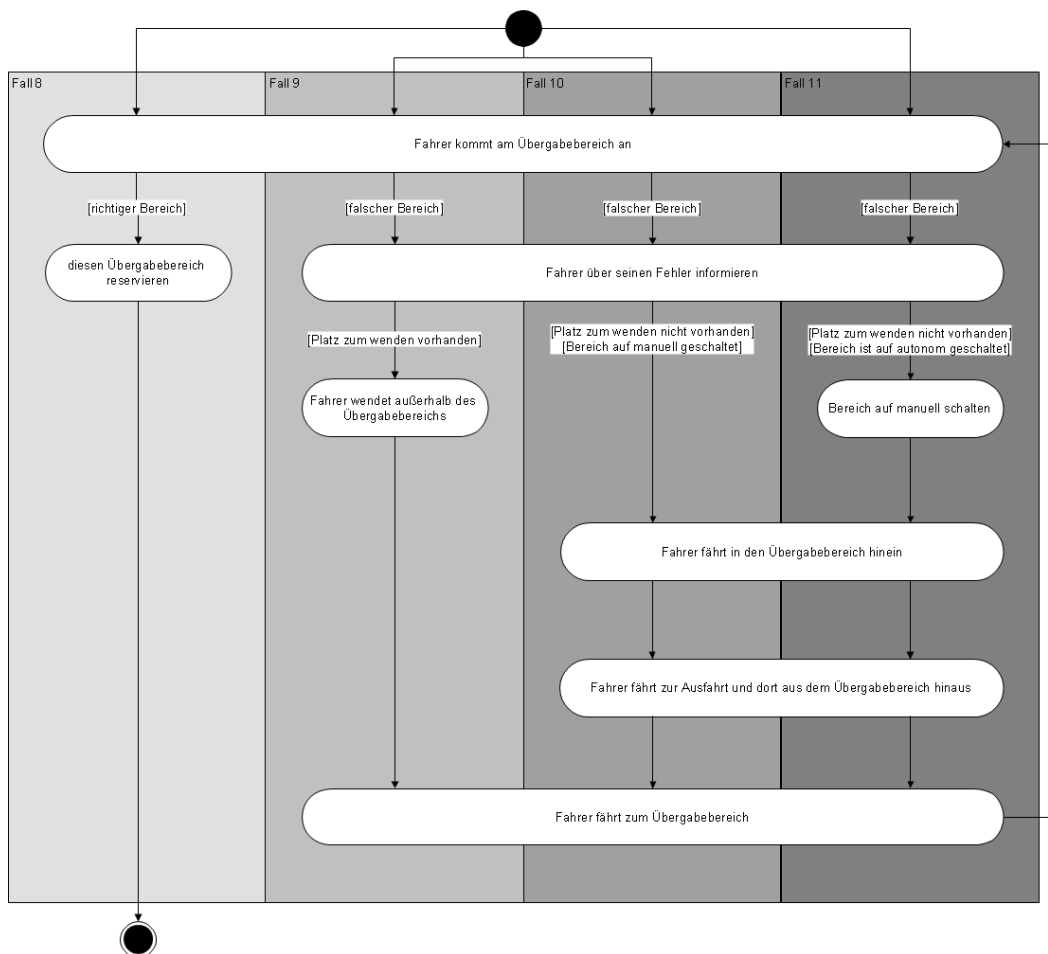


Abbildung 4.5: Fälle 8-11

Fall 8: Der Fahrer fährt zum richtigen Übergabebereich. Der Fahrer kann dann in den Übergabebereich hineinfahren. (Die Aktivität „Fahrer fährt in den

Übergabebereich hinein“ in der Abb. 4.5 fasst die Arbeitsschritte des Schranke öffnen, dem eigentlichen Reinfahren in den Übergabebereich und das anschließende Schließen der Schranke zusammen.)

Fall 9: Der Fahrer fährt zum falschen Übergabebereich. Der Fahrer wird dann vom Übergabemodul über seinen Fehler informiert. Der Fahrer steht vor der Einfahrtsschranke zum falschen Übergabebereich und es ist dort genug Platz vorhanden, dass er dort wenden kann. Er wendet dann außerhalb des Übergabebereichs und fährt dann zum (hoffentlich) richtigen Übergabebereich.

Fall 10: Der Fahrer fährt zum falschen Übergabebereich. Er wird über seinen Fehler informiert. Im Gegensatz zu Fall 9 reicht der Platz vor der Einfahrtsschranke nicht, um dort zu wenden. Der Fahrer muss also durch den Übergabebereich hindurch fahren, um zu wenden. Der Übergabebereich, vor dem der Fahrer steht, ist gerade auf manuell geschaltet. Somit kann der Fahrer direkt in den Übergabebereich hineinfahren, dann direkt zur Ausfahrt weiterfahren und hinausfahren. Anschließend muss er dann zum richtigen Übergabebereich fahren.

Fall 11: Der Fahrer fährt zum falschen Übergabebereich. Er wird über seinen Fehler informiert. Wie in Fall 10 reicht auch hier nicht der Platz, um zu wenden. Der Übergabebereich, an dessen Einfahrt der Fahrer steht, ist gerade auf autonom geschaltet. Der Bereich muss also erst auf manuell umgeschaltet werden. Die autonomen Fahrzeuge müssen den Bereich erst verlassen, dann kann die eigentliche Umschaltung erfolgen. In dieser Zeit muss der Fahrer an der Einfahrt warten. Ist der Übergabebereich dann erfolgreich auf manuell umgeschaltet, kann der Fahrer analog zu Fall 10 in den Bereich hineinfahren, zur Ausfahrt und wieder hinausfahren. Dann kann der Fahrer zum richtigen Übergabebereich fahren.

4.4.3 Unterschiede bei der Übergabe eines Anhängers und eines Gespanns

Nachdem sich der Fahrer im Übergabebereich befindet, unterscheidet sich das weitere Vorgehen, je nachdem, ob ein komplettes Gespann oder ein Anhänger bzw. Sattelaufzieger übergeben werden soll. Das Diagramm in der Abbildung 4.6 zeigt die beiden Fälle, wie sie bei einer Annahme auftreten können. In beiden Fällen muss der Fahrer zunächst das Gespann auf einem der Stellplätze im Übergabebereich abstellen. Soll nur der Anhänger oder Sattelaufzieger übergeben werden (Fall 12 in Abb. 4.6), dann muss als nächster Schritt der Anhänger von der Zugmaschine abgekoppelt werden. Danach kann der Fahrer mit der Zugmaschine zur Ausfahrt fahren und aus dem Übergabebereich hinausfahren.

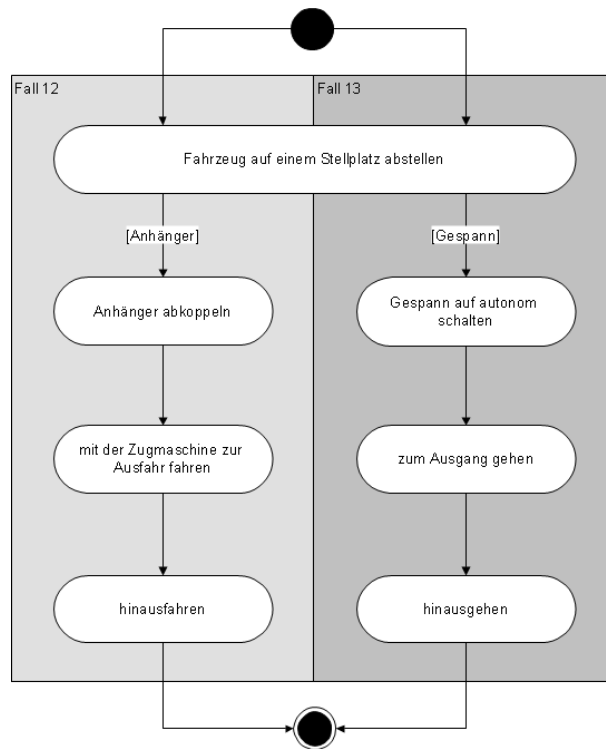


Abbildung 4.6: Fälle 12-13

Bei der Annahme eines Gespanns (Fall 13 in Abb. 4.6) muss der Fahrer auch zunächst das Gespann auf einem Stellplatz abstellen. Als nächstes muss er das Gespann auf autonom umstellen, d.h. er bereitet das Fahrzeug für autonome Fahrt vor (was auch immer dazu notwendig ist) und schaltet es in den autonomen Modus. Danach muss der Fahrer zu Fuß zum Ausgang gehen und dort den Übergabebereich verlassen.

Bei der Abgabe muss man analog zwischen einem Gespann und einem Anhänger unterscheiden. Der Fall 14 in Abbildung 4.7 zeigt die notwendigen Aktivitäten bei der Abgabe eines Anhängers. Der Fahrer fährt mit seiner Zugmaschine als erstes zum Anhänger, den er abholen soll. Dann koppelt er den Anhänger an seine Zugmaschine an. Anschließend kann er mit dem Gespann zur Ausfahrt und aus dem Übergabebereich hinaus fahren.

Die Aktivitäten bei der Abgabe eines Gespanns werden in Fall 15 in Abbildung 4.7 gezeigt. Der Fahrer hat den Übergabebereich betreten und geht zu Fuß zum Gespann. Am Gespann angekommen muss er dieses auf manuell stellen. Dazu führt er die Arbeitsschritte durch, die notwendig sind, um das Fahrzeug vom autonomen in den manuellen Modus umzuschalten. Abschließend kann der Fahrer mit dem Gespann zur Ausfahrt und dort aus dem Bereich hinausfahren.

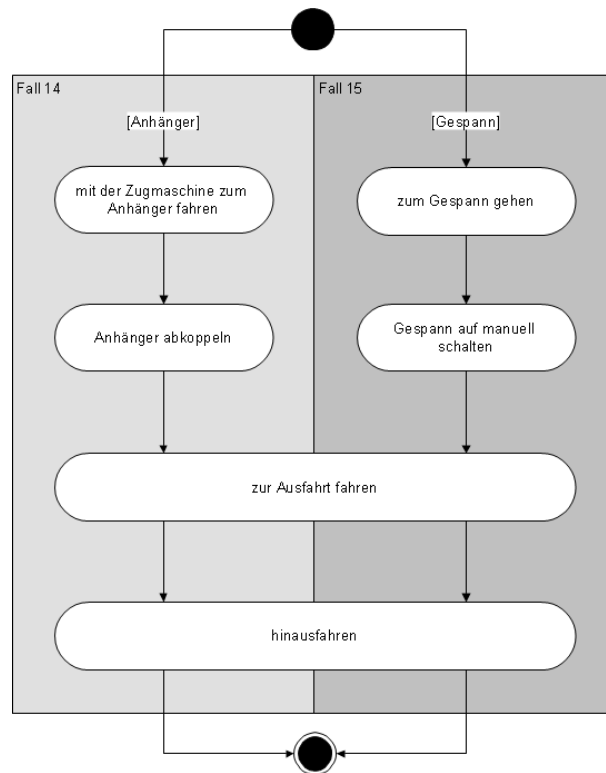


Abbildung 4.7: Fälle 14-15

4.4.4 Zusammenhänge der Ablaufmöglichkeiten

Das Diagramm in Abbildung 4.8 zeigt Aktivitäten, die bei einer Übergabe durchgeführt werden müssen. Ein Rechteck mit Beschriftung „Fall 1-3“ bedeutet, dass das Diagramm mit den Fällen 1 bis 3 (Abb. 4.3) an dieser Stelle einzufügen ist. Für die Rechtecke mit „Fall 4-7“ und „Fall 8-11“ sind analog die Diagramme aus Abb. 4.4 bzw. Abb. 4.5 einzufügen. Die Diagramme aus Abb. 4.6 bzw. Abb. 4.7 sind für die Rechtecke mit der Beschriftung „Fall 12-13“ bzw. „Fall 14-15“ einzufügen. Eine Transition hin zu einem der Rechtecke bedeutet, dass in den Startzustand des entsprechenden Diagramms übergegangen wird. Eine Transition, die von einem Rechteck weg führt, kann nur durchgeführt werden, wenn man im finalen Zustand des entsprechenden Diagramms ist.

Im Startzustand ist die Anmeldung beendet und es beginnt die eigentliche Übergabe. Eine Annahme beginnt damit, dass entsprechend den Fällen 1 bis 3 ein Übergabebereich reserviert wird, dieser auf manuell geschaltet ist bzw. wird und man anschließend den Fahrer zum Übergabebereich schickt.

Nachdem der Fahrer zum Übergabebereich geschickt wurde, fährt man mit den Fällen 8 bis 11 fort, d.h. wenn der Fahrer am Bereich ankommt, wird geprüft, ob dies der richtige ist. Ist es der falsche Bereich, muss wie oben beschrieben (Fälle

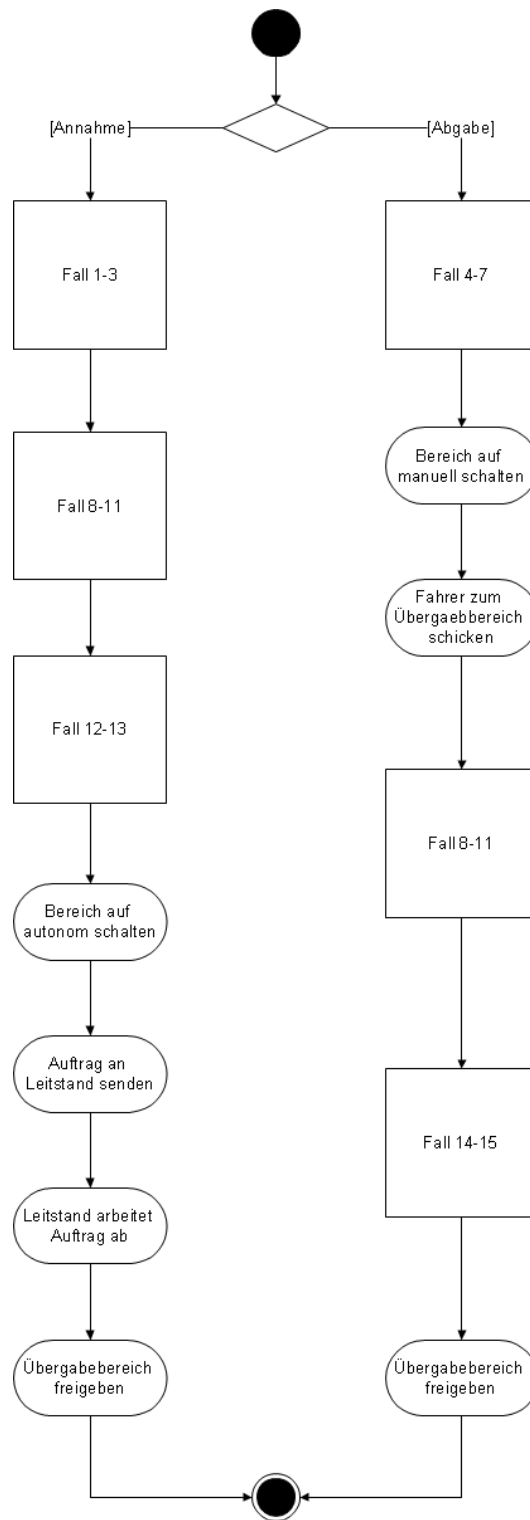


Abbildung 4.8: Ablauf einer Übergabe

9 bis 11) der Fahrer zum richtigen Bereich geschickt werden. Ist der Fahrer am richtigen Übergabebereich (Fall 8), kann er in den Übergabebereich hineinfahren.

Dann wird mit Fall 12 oder 13 fortgefahren. Im Fall 12 wird nur der Anhänger übergeben. Der Fahrer stellt also sein Gespann auf einem Stellplatz ab, koppelt den Anhänger ab und fährt dann aus dem Übergabebereich. Im Fall 13 wird ein Gespann übergeben. Dazu muss der Fahrer das Gespann abstellen, es auf autonom schalten und den Übergabebereich zu Fuß verlassen.

Danach wird als nächstes der Bereich auf autonom geschaltet und dann ein Auftrag an den Leitstand geschickt. Der Auftrag besteht darin, dass der Anhänger von einem autonomen Traktor, oder das Gespann selbstständig, aus dem Übergabebereich hinausgefahren werden soll. Der Leitstand arbeitet diesen Auftrag nun ab. Nachdem der Auftrag abgearbeitet wurde, kann das Übergabemodul den Übergabebereich freigeben und die Übergabe ist beendet.

Bei einer Abgabe wird, entsprechend den Fällen 4 bis 7, ein Übergabebereich angefordert, reserviert und falls notwendig auf autonom geschaltet. Dann kann der Auftrag an den Leitstand gesendet werden und dieser vom Leitstand abgearbeitet werden (letzte Aktivität von Fall 4-6). Ist die abzugebende Transporteinheit schon in einem Übergabebereich, muss nur dieser reserviert werden (Fall 7).

Danach wird der Übergabebereich auf manuell geschaltet und der Fahrer zum Übergabebereich geschickt. Dann wird mit den Fällen 8-11 fortgefahren (siehe oben).

Wenn der Fahrer am richtigen Bereich angekommen und hineingefahren bzw. -gegangen ist (Fall 8), kann mit Fall 14 oder 15 fortgefahren werden. In Fall 14 ist der Fahrer mit seinem Fahrzeug in den Bereich hineingefahren. Er fährt dann zum abzuholenden Anhänger. Der Fahrer kann diesen dann ankoppeln und anschließend mit dem Gespann hinausfahren. In Fall 15 soll ein Gespann abgeholt werden. Nachdem er den Übergabebereich betreten hat, geht der Fahrer zum Gespann und schaltet es in den manuellen Modus. Dann kann er das Gespann aus dem Übergabebereich hinausfahren. Als letztes wird danach der Übergabebereich freigegeben und die Übergabe ist beendet.

Die Bereichsverwaltung kann einen Übergabebereich erst dann vollständig freigeben, wenn sie die Nachricht zum Freigeben genau so oft bekommen hat, wie auch Plätze reserviert waren. Angenommen, in einem Bereich sind vier Plätze reserviert, dann ist der Übergabebereich erst wieder vollständig frei, wenn die Bereichsverwaltung viermal die Nachricht „Bereich freigeben“ erhalten hat. Vorher ist der Bereich immer noch teilweise belegt, nur die Anzahl der freien Stellplätze in dem Bereich nimmt zu.

4.5 Detaillierte Modellierung des Moduls

4.5.1 Bereichsverwaltung

Überblick

Wie schon im Abschnitt Aufgabenverteilung auf Seite 47 erwähnt hat die Bereichsverwaltung die folgenden Aufgaben zu erledigen: Sie führt darüber Buch, welcher Bereich im Moment wofür benutzt wird. Außerdem muss die Bereichsverwaltung sich merken, welche Stellplätze frei und welche reserviert sind. Des weiteren muss sich die Bereichsverwaltung für jeden Bereich merken, ob dieser gerade auf manuell oder autonom geschaltet ist.

Weitere Aufgaben der Bereichsverwaltung sind: Sie muss der Aufgabenverwaltung einen Bereich für eine Übergabe zuordnen, wenn diese einen Bereich anfordert. Die Bereichsverwaltung muss sich merken, wenn ein Bereich angefordert, aber keiner frei ist, und die Auftragsverwaltung informieren, sobald ein Bereich freigeworden ist. Des weiteren ist es Aufgabe der Bereichsverwaltung die Übergabebereiche von manuell auf autonom und umgekehrt umzuschalten.

Zustand

Für die Erfüllung ihrer Aufgaben muss sich die Bereichsverwaltung einige Dinge merken. Mit anderen Worten: Sie muss Informationen über den aktuellen Zustand der betroffenen Einheiten speichern. Die kleinsten betroffenen Einheiten sind die Stellplätze. Die Bereichsverwaltung muss sich für jeden Stellplatz merken, ob er reserviert oder vorgemerkt ist. Ist er weder reserviert noch vorgemerkt, dann ist der Stellplatz frei. Zur Erinnerung: Ein Stellplatz wird vorgemerkt, wenn die Aufgabenverwaltung einen freien Platz anfordert. Erst in einem weiteren Schritt wird der Stellplatz reserviert.

Für jeden Bereich muss die Bereichsverwaltung die nachfolgenden Informationen zum Zustand speichern. Zunächst muss festgehalten werden, ob ein Bereich für den autonomen oder manuellen Verkehr freigegeben ist. Als nächstes muss sich die Bereichsverwaltung auch merken, ob der Bereich gerade für Annahmen oder Abgaben oder weder noch benutzt wird. Wenn ein Bereich weder für Annahmen noch für Abgaben benutzt wird, dann sind alle Stellplätze in diesen Bereich frei. Außerdem muss sich die Bereichsverwaltung merken, wenn im Moment eine Umschaltung durchgeführt wird. Solange das Umschalten dauert, kann kein freier Stellplatz im Bereich reserviert oder vorgemerkt werden.

Sobald ein Stellplatz vorgemerkt oder reserviert wird, muss sich die Bereichsverwaltung merken, für welche Aufgabe der Platz vorgemerkt bzw. reserviert wurde. Die Aufgabenverwaltung muss also, wenn sie einen Bereich anfordert oder reserviert eine eindeutige Aufgabenkennung (im folgenden: AufgabenID) mit übermitteln.

Falls ein Übergabebereich angefordert wird, aber keiner frei ist, muss die Bereichsverwaltung festhalten, für welche Aufgabe noch ein Bereich benötigt wird. Dazu muss sie sich die AufgabenID und den Aufgabentyp (Annahme oder Abgabe) merken.

Aufgaben

Wenn man den Ablauf einer Übergabe schrittweise durchgeht, sieht man, auf welche Nachrichten die Bereichsverwaltung reagiert und welche Aufgaben sie dabei erledigen muss. Die Bereichsverwaltung muss in der Lage sein, Nachrichten empfangen und senden zu können.

Die Bereichsverwaltung bekommt als erstes eine Nachricht, mit der die Aufgabenverwaltung einen Bereich anfordert. Die Bereichsverwaltung braucht also eine Funktion, die diese Anforderung bearbeitet. Diese Funktion muss wissen, für welchen Aufgabentyp, also Annahme oder Abgabe, der Bereich benötigt wird. Außerdem muss sie die AufgabenID kennen, für die ein Bereich angefordert wird, weil sich die Bereichsverwaltung für jeden Bereich, genauer jeden Stellplatz, merkt, für welche Aufgabe dieser angefordert oder reserviert wurde. Die Funktion liefert einen Status zurück, der angibt, ob ein Bereich erfolgreich angefordert wurde oder nicht. Im zweiten Fall ist kein Bereich frei und die entsprechende Übergabe muss warten.

Sobald ein Übergabebereich frei wird, muss eine Funktion ausgeführt werden, die prüft, ob eine der wartenden Übergaben den freigewordenen Bereich benutzen kann. Kann der freigewordene Bereich für eine wartende Übergabe benutzt werden, wird der Bereich vorgemerkt und eine passende Nachricht an die Aufgabenverwaltung gesendet. Die Nachricht enthält die Angaben für welche Aufgabe welcher Bereich und welcher Stellplatz vorgemerkt wurde.

Die nächste Nachricht, auf welche die Bereichsverwaltung reagiert, ist eine Reservierung, d.h. die Aufgabenverwaltung sendet eine Nachricht, mit der sie einen Stellplatz reserviert. Die Bereichsverwaltung braucht also eine Funktion, um einen Stellplatz zu reservieren. Dabei muss bekannt sein, welcher Stellplatz in welchem Bereich reserviert wird und für welche Aufgabe die Reservierung erfolgt.

Des weiteren braucht die Bereichsverwaltung eine Funktion, um einen Bereich umschalten zu können. Hierbei benutzt sie eine Funktion, um Nachrichten an den Leitstand senden zu können. Die Kommunikation mit dem Leitstand erfolgt über dessen externen Ereignisverteiler. Dem Leitstand wird dabei mitgeteilt, welcher Bereich betroffen ist und welche Art von Umschaltung durchgeführt werden soll. Bei der Umschaltung von autonom auf manuell muss der Bereich für autonomen Verkehr gesperrt werden. Vorher muss der Leitstand noch die Möglichkeit haben, eventuell im Bereich befindliche autonome Fahrzeuge aus diesem zu entfernen. Die Nachricht, welche das Modul an den Leitstand sendet, enthält Informationen, welcher Bereich für den autonomen Verkehr gesperrt werden soll.

Dabei gibt es mehrere Möglichkeiten, wie die Informationen aussehen können. Die erste Möglichkeit ist, dass das Modul eine eindeutige Bereichskennung (im folgenden: BereichID) an den Leitstand übermittelt. In diesem Fall muss der Leitstand die Übergabebereiche kennen, d.h. er muss der BereichID einen bestimmten Teil des Geländes zuordnen können.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass das Modul dem Leitstand die Koordinaten der Eckpunkte des zu sperrenden Bereichs mitteilt. Dem Modul muss in diesem Fall bekannt sein, wo sich ein Bereich befindet. Der Leitstand muss keine Informationen darüber haben, welcher Teil des Geländes welcher BereichID zuzuordnen ist.

Im ersten Fall ist dem Leitstand bekannt, wo sich die Übergabebereich befinden und im zweiten Fall ist dem Übergabemodul dies bekannt. Einer von beiden muss also in jedem Fall wissen, wo sich die Bereiche befinden. Auch sind in jedem Fall Anpassungen am Leitstand notwendig. Bisher war es nicht vorgesehen, dass bestimmte Bereiche des Betriebshofs nur zeitweise genutzt werden können. Dies ist von Bedeutung für die Routenplanung und die Detailplanung. Da man aber in der Regel nicht im voraus weiß, wann ein Bereich umgeschaltet wird, kann man beim Erstellen des Raum-Zeit-Plans nur vom aktuellen Zustand des Bereichs ausgehen. Man muss dann ständig überprüfen, ob sich der Zustand geändert hat. Wenn sich der Zustand geändert hat und der Bereich nicht mehr genutzt werden kann, dann muss, falls ein Fahrauftrag den Bereich in Zukunft nutzen sollte, ein neuer Raum-Zeit-Plan erstellt werden.

Egal ob dem Leitstand die Informationen zum zu sperrenden Bereich in Form von einer BereichID oder von Koordinaten übermittelt werden, er muss dann prüfen, welche autonomen Fahrzeuge sich in diesem Bereich befinden und diesen entsprechende Fahraufträge erteilen, damit sie den Bereich verlassen. Gleichzeitig muss der Leitstand dafür sorgen, dass kein Fahrzeug in diesen Bereich hineinfährt. Sobald alle autonomen Fahrzeuge den Bereich verlassen haben und keine mehr hineinfahren können, ist der Bereich für den autonomen Verkehr gesperrt.

Der Leitstand muss dann eine Nachricht an das Modul senden, dass der Bereich erfolgreich gesperrt und geräumt wurde. Die Nachricht enthält entweder die BereichID des gesperrten Bereichs oder dessen Koordinaten, je nachdem, wie dem Leitstand mitgeteilt wurde, welcher Bereich zu sperren ist. Hat der Leitstand eine BereichID empfangen, so sendet er eine. Hat der Leitstand hingegen die Koordinaten des zu sperrenden Bereichs empfangen, dann sendet er eine Nachricht mit Koordinaten an das Modul.

Das Umschalten von manuell auf autonom ist weniger aufwendig, weil der Bereich vom Leitstand nicht geräumt werden muss. Der Bereich wird einfach freigegeben, d.h. der Leitstand kann ihn ab diesem Zeitpunkt für autonome Fahrten benutzen. Analog zum Umschalten von autonom auf manuell werden dem Leitstand entweder eine BereichID oder die Koordinaten der Eckpunkte des Bereichs gesendet.

Außerdem müssen beim Umschalten Schranken geschlossen oder geöffnet wer-

den. Es werden also auch Funktionen zum Öffnen und Schließen von Schranken benötigt.

Am Ende einer Übergabe muss der benutzte Stellplatz wieder freigegeben werden. Die Bereichsverwaltung hat auch hierfür eine Funktion, die diese Aufgabe übernimmt. Dabei muss auch überprüft werden, ob wartende Übergaben den freiwerdenden Platz benutzen können. Ist dem so, dann kann der Stellplatz direkt wieder vorgemerkt werden. Andernfalls muss die Übergabe weiter warten.

Klassendiagramm

Die Abbildung 4.9 zeigt das Klassendiagramm der Bereichsverwaltung. Falls nichts anderes angegeben ist, dann ist der Ergebnistyp einer Methode bool, d.h. eine Methode, zum Beispiel reservieren, liefert als Ergebnis, ob die Methode erfolgreich durchgeführt werden konnte oder nicht.

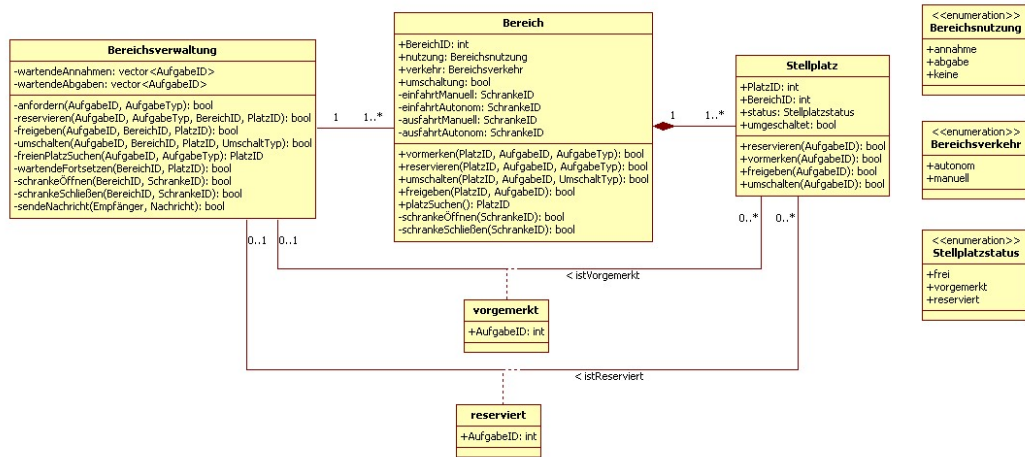


Abbildung 4.9: Klassendiagramm der Bereichsverwaltung

Klasse Bereichsverwaltung

Die Klasse Bereichsverwaltung ist der Hauptteil eben dieser. Diese Klasse interagiert mit den anderen Komponenten und dem Leitstand, indem sie Nachrichten von diesen empfängt und an diese sendet. Sie ist der aktive Teil der Komponente, d.h. nachdem eine Nachricht empfangen wurde, wird diese verarbeitet und die entsprechenden Aktionen ausgeführt. Die Ausführung jeder Aufgabe, welche die Bereichsverwaltung erledigen muss, wird von der Klasse Bereichsverwaltung gestartet.

Die Attribute wartendeAnnahmen und wartendeAbgaben speichern Listen mit den AufgabeIDs, der Aufgaben, die warten müssen, weil kein passender Bereich frei ist. Die Listen können auch leer sein.

Die Methode **anfordern** wird ausgeführt, wenn eine entsprechende Nachricht von der Aufgabenverwaltung empfangen wurde. Die Methode erwartet als Eingabeparameter die AufgabeID der Übergabe, für die ein Platz angefordert wird, und den Typ der Übergabe, also Annahme oder Abgabe.

Als erstes wird die Methode `freienPlatzSuchen` aufgerufen. Diese Methode sucht nach einem Platz, der für die Übergabe sofort genutzt werden kann und mindestens einen freien Stellplatz enthält. Die Methode liefert als Ergebnis die PlatzID eines freien Stellplatzes. Falls kein freier Platz vorhanden ist, muss die Methode eine spezielle PlatzID zurück liefern, die von der aufrufenden Methode, in diesem Fall `anfordern`, entsprechend interpretiert wird.

Falls die Methode `anfordern` einen nutzbaren Bereich mit einem freien Platz findet, wird der Platz vorgemerkt und in eine Liste der vorgemerkten Plätze aufgenommen. In dieser Liste wird auch eingetragen, für welche Aufgabe der Platz vorgemerkt wurde. Danach kann dann eine Nachricht an die Aufgabenverwaltung gesendet werden, welche diese darüber informiert, welcher Stellplatz vorgemerkt wurde.

Falls kein freier Stellplatz oder kein nutzbarer Bereich gefunden wurde, nimmt die Bereichsverwaltung die Aufgabe in eine Warteliste auf und informiert die Aufgabenverwaltung hierüber.

Die Methode **freienPlatzSuchen** wird verwendet, um einen freien Stellplatz zu suchen. Sie erwartet als Eingabeparameter, für welche Aufgabe ein Platz gesucht werden soll und von welchem Typ (Annahme oder Abgabe) diese Aufgabe ist.

Zunächst sucht die Methode nach einem Bereich, dessen aktuelle Nutzung zum Typ der Aufgabe passt, oder der ungenutzt ist. Wenn ein nutzbarer Bereich gefunden wurde, kann man in diesem nach einem freien Platz suchen. Hierfür wird die Methode `platzSuchen` des entsprechenden Bereichs benutzt. Ist die Suche nach einem freien Platz erfolgreich, wird dessen ID zurückgegeben. Andernfalls wird eine speziell ID zurückgegeben, die bedeutet, dass kein Platz frei ist.

Die Methode **reservieren** wird benutzt, um einen Stellplatz zu reservieren. Die Eingabeparameter `AufgabeID` und `AufgabeTyp` geben an, für welche Übergabe die Reservierung durchgeführt werden soll. Die Parameter `BereichID` und `PlatzID` geben an, in welchem Bereich welcher Stellplatz reserviert werden soll.

Zunächst prüft die Methode, ob die Nutzung des Bereichs zum Typ der Aufgabe passt und ob der Platz frei oder für diese Aufgabe vorgemerkt wurde. Tritt dabei ein Fehler auf, z.B. weil der Platz für eine andere Aufgabe vorgemerkt wurde, dann wird die Aufgabenverwaltung über den Fehler informiert und das Reservieren abgebrochen.

Tritt bei der Prüfung kein Fehler auf, dann wird, falls nötig, der Bereich umgeschaltet. Hierzu wird die Methode `umschalten` verwendet. Danach wird mit dem Aufruf der Methode `reservieren` der Klasse `Bereich` der Stellplatz reserviert. Dabei wird der Platz in eine Liste mit reservierten Plätzen aufgenommen und aus der Liste mit vorgemerkten Plätzen entfernt. Abschließend wird die Aufga-

benverwaltung über die erfolgreiche Reservierung informiert.

Die Methode **freigeben** wird ausgeführt, wenn eine Übergabe beendet wurde und der entsprechende Stellplatz nicht mehr benötigt wird. Der Methode muss mitgeteilt werden, welcher Platz in welchem Bereich freigegeben werden soll und für welche Aufgabe der Platz verwendet wurde.

Die Methode prüft zunächst, ob der Platz tatsächlich von der angegebenen Aufgabe reserviert ist. Stammt die Aufforderung von der richtigen Aufgabe, dann kann der Platz freigegeben werden. Dazu wird die Methode freigeben von Bereich ausgeführt. Der Stellplatz wird dabei aus der Liste der reservierten Plätze entfernt und sein Status auf frei gesetzt. Als letztes wird dann die Methode wartendeFortsetzen aufgerufen.

Die Methode **wartendeFortsetzen** erwartet als Eingabe die ID des Platzes, der gerade frei geworden ist und die ID des Bereichs, in dem sich dieser befindet.

Als erstes prüft die Methode, ob der Bereich sofort für eine wartende Aufgabe nutzbar ist. Falls die Prüfung ergibt, dass der Bereich für keine wartende Aufgabe genutzt werden kann, wird nichts weiter unternommen. Andernfalls kann der Platz vorgemerkt werden (mit der Methode Bereich.vormerken). Dann wird die Aufgabenverwaltung benachrichtigt, für welche Aufgabe ein Platz vorgemerkt wurde. Abschließend muss die Aufgabe noch aus der Liste der wartenden Aufgaben entfernt werden.

Die Methode **umschalten** wird benutzt, um einen Bereich von manuell auf autonom oder umgekehrt umzuschalten. Als Parameter sind der Methode zu übergeben, welcher Bereich umgeschaltet werden soll, welche Aufgabe die Umschaltung verlangt, welchen Stellplatz diese Aufgabe verwendet, und der UmschaltTyp (d.h. ob auf manuell oder autonom umgeschaltet werden soll).

Als erstes prüft die Methode, ob die Angaben zueinander passen, d.h. es wird überprüft, ob die angegebene Aufgabe den angegebenen Platz reserviert hat. Falls die Angaben nicht passen, wird die Aufgabenverwaltung darüber informiert und das Umschalten abgebrochen. Falls die Angaben stimmen, kann umgeschaltet werden. Hierzu wird die Methode umschalten von dem Bereich aufgerufen. Diese Methode führt dann, wenn möglich, die eigentliche Umschaltung durch. Abschließend wird die Aufgabenverwaltung informiert, ob das Umschalten erfolgreich durchgeführt wurde oder nicht.

Die Methode **schrankeÖffnen** wird ausgeführt, wenn von der Aufgabenverwaltung eine Aufforderung zum Öffnen einer Schranke empfangen wurde. Als Parameter wird übergeben, welche Schranke zu öffnen ist und in welchem Bereich sich diese Schranke befindet. Die Methode prüft zunächst, ob die angegebene Schranke zum angegebenen Bereich gehört. Falls dem so ist, wird die Schranke geöffnet. Dazu wird die Methode schrankeÖffnen von Bereich aufgerufen. Andernfalls wird eine Nachricht mit einer passenden Fehlermeldung an die Aufgabenverwaltung gesendet.

Die Methode **schrankeSchließen** wird ausgeführt, wenn eine Schranke geschlossen werden soll. Sie arbeitet analog zu schrankeÖffnen.

Klasse Bereich

Die Klasse Bereich dient dazu, Informationen über die Übergabebereiche zu verwalten. Jede Instanz der Klasse repräsentiert einen Übergabebereich. Das Attribut BereichID gibt die eindeutige Kennung des Bereichs wieder. Mit dem Attribut nutzung wird festgehalten, ob der Bereich im Moment für Abgaben, Annahmen oder keines von beidem benutzt wird. Das Attribut verkehr gibt an, ob im Bereich gerade manuell oder autonom gefahren werden kann. Mit dem Attribut umschalten wird festgehalten, ob der Bereich gerade umgeschaltet wird. Das Umschalten eines Bereichs kann einige Zeit in Anspruch nehmen. Während dieser Zeit ist umschalten true und man kann keine Reservierung, Vormerkung oder Freigabe durchführen. Das Attribut umschalten ist false, wenn der Bereich im Moment nicht umgeschaltet wird.

Ein Bereich enthält noch vier Attribute vom Typ Schranke. Eine Einfahrt vom manuellen Bereich zum Übergabebereich, eine Einfahrt vom autonomen Bereich zum Übergabebereich und analog zwei Ausfahrten. Die Schranken können mit den Methoden schrankeÖffnen und schrankeSchließen geöffnet bzw geschlossen werden. Dabei ist jeweils zu übergeben, welche Schranke geöffnet oder geschlossen werden soll. Diese Methoden werden beim Umschalten von der Methode umschalten aufgerufen.

Die Methode **vormerken** wird ausgeführt, wenn ein Stellplatz vorgemerkt werden soll. Als Eingabeparameter wird der Methode die ID des vorzumerkenden Platzes übergeben. Außerdem wird noch die ID der Aufgabe übergeben, für die der Platz vorgemerkt werden soll und ob er für eine Annahme oder Abgabe vorgemerkt werden soll.

Die Methode prüft zunächst, ob der Aufgabentyp zur aktuellen Nutzung des Bereichs passt. Wenn ja, wird der Platz vorgemerkt, indem die Methode vormerken des Stellplatzes aufgerufen wird. Dann wird, falls notwendig, die Nutzung des Bereichs aktualisiert, d.h. der Wert des Parameters nutzung wird von keine auf den entsprechenden Typ (annahme oder abgabe) geändert. Falls der Wert von nutzung schon annahme oder abgabe ist, dann muss keine Aktualisierung vorgenommen werden. Die Ausführung der Methode ist dann zu Ende und ein entsprechendes Ergebnis zurückgegeben. Das Ergebnis ist true, wenn das vormerken erfolgreich durchgeführt wurde und ansonsten false.

Die Methode **reservieren** wird benutzt, um einen Stellplatz zu reservieren. Die Parameter sind dieselben wie bei der Methode vormerken (PlatzID, AufgabeID und AufgabeTyp).

Als erstes prüft die Methode, ob die Nutzung des Bereichs zum Aufgabentyp passt. Dann wird geprüft, ob der angegebene Platz frei oder für die angegebene Aufgabe vorgemerkt ist. Wenn alles in Ordnung ist, kann der Platz reserviert werden, indem die Methode reservieren des Stellplatzes aufgerufen wird. Damit ist die Reservierung dann fertig und es wird entweder true oder false als Ergebnis zurückgegeben, je nachdem ob das Reservieren erfolgreich war oder nicht.

Die Methode **freigeben** erwartet als Eingabe, welcher Platz freigegeben wer-

den soll und welche Aufgabe davon betroffen ist. Als erstes überprüft die Methode, ob der Platz zur Zeit für die angegebene Aufgabe vorgemerkt oder reserviert ist. Wenn nein, wird der Platz nicht freigegeben und false zurückgegeben. Wenn ja, kann der Platz freigegeben werden, indem die Methode freigegeben des Stellplatzes aufgerufen wird. Falls durch das Freigeben des Stellplatzes nun alle Plätze in diesem Bereich frei sind, also keiner mehr reserviert oder vorgemerkt ist, dann wird die Nutzung des Bereichs auf keine gesetzt.

Die Methode **umschalten** erledigt das Umschalten eines Bereichs. Mit dem Parameter UmschaltTyp wird angegeben, ob auf manuell oder autonom umgeschaltet werden soll. Die Parameter PlatzID und AufgabeID geben an, welcher Stellplatz und welche Aufgabe betroffen sind. Bei jeder Übergabe gibt es eine Phase, in der manuell gefahren und eine Phase, in der autonom gefahren wird. Dazwischen muss bei jeder Übergabe eine Umschaltung gemacht werden. Wenn eine Übergabe soweit ist, dass umgeschaltet werden kann, wird die Methode umschalten ausgeführt und dabei die ID des Stellplatzes übergeben, die von dieser Übergabe benutzt wird.

Als erstes ruft umschalten die Methode umschalten des betroffenen Platzes auf. Danach prüft sie, ob bei allen reservierten Plätzen das Attribut umgeschaltet true ist. Wenn nicht alle Plätze umgeschaltet sind, kann man den Bereich nicht umschalten. Die Methode umschalten macht in diesem Fall nichts weiter.

Wenn für alle reservierten Stellplätze das Attribut umgeschaltet true ist, kann die eigentliche Umschaltung erfolgen. Das Umschalten von manuell auf autonom läuft folgendermaßen ab: Zuerst wird das Attribut umschaltung auf true gesetzt. Dann werden alle Schranken geschlossen (mit Hilfe der Methode schrankeSchließen). Als nächstes wird eine Nachricht an den Leitstand geschickt, mit der der Bereich für den autonomen Verkehr freigegeben wird. Außerdem werden die Schranken zum autonomen Bereich geöffnet. Dann wird das Attribut umgeschaltet jedes reservierten Stellplatzes auf false gesetzt. Abschließend wird umschaltung auf false gesetzt und das Umschalten ist fertig.

Wenn von autonom auf manuell umgeschaltet werden soll, wird zuerst auch das Attribut umschaltung auf true gesetzt. Dann wird eine Nachricht an den Leitstand geschickt, dass dieser alle autonomen Fahrzeuge aus dem Bereich hinausfährt und keine neuen Fahrzeuge mehr in diesen hineinfahren. Sobald alle autonomen Fahrzeuge den Bereich verlassen haben, können die Schranken zum autonomen Bereich geschlossen werden. Abschließend wird das Umschalten beendet, indem der Wert von umschaltung auf false gesetzt wird.

Die Methode **platzSuchen** wird ausgeführt, wenn ein freier Stellplatz gesucht wird. Die Methode liefert als Ergebnis die PlatzID eines freien Stellplatzes. Die Methode prüft für alle Plätze des Bereichs, ob diese frei sind. Wenn es mehrere freie Plätze gibt, wird einer ausgewählt und dessen ID wird zurückgegeben. Ist nur ein Platz frei, wird die PlatzID von diesem zurückgegeben. Falls kein Platz frei ist, wird eine spezielle ID zurückgegeben, die von der aufrufenden Methode entsprechend behandelt werden muss.

Klasse **Stellplatz**

Die Klasse **Stellplatz** ist ein Datencontainer für den Zustand eines Stellplatzes. Das Attribut **PlatzID** dient zur eindeutigen Identifikation eines Stellplatzes. Mit dem Attribut **BereichID** wird festgehalten, in welchem Bereich sich der Stellplatz befindet. Das Attribut **status** gibt den aktuellen Zustand eines Stellplatzes an. Ein Stellplatz ist entweder frei, vorgemerkt oder reserviert. Mit dem Attribut **umgeschaltet** wird festgehalten, ob für diesen Stellplatz eine Aufforderung zum Umschalten eingegangen ist. Erst wenn für alle reservierten Stellplätze eines Bereichs diese Aufforderung erhalten wurde, wird die eigentliche Umschaltung vorgenommen.

Die Bereichsverwaltung muss sich auch merken, welcher Stellplatz für welche Aufgabe reserviert oder vorgemerkt wurde. Dies wird in dem Klassendiagramm durch die Assoziationen **istReserviert** bzw. **istVorgemerkt** dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass ein Stellplatz nicht gleichzeitig vorgemerkt und reserviert sein kann. Es darf also immer nur eine der beiden Assoziationen gelten.

Die Methode **vormerken** erwartet als Eingabeparameter, für welche Aufgabe der Bereich vorgemerkt werden soll. Die Methode ändert den Status des Stellplatzes auf vorgemerkt und trägt sich zusammen mit der AufgabeID in die Liste der vorgemerkten Plätze ein.

Die Methode **reservieren** hat denselben Parameter wie **vormerken**. Als erstes prüft die Methode, ob der Bereich frei oder für die angegebene Aufgabe vorgemerkt ist. Wenn der Platz für eine andere Aufgabe reserviert oder vorgemerkt ist, kann er nicht reserviert werden. Falls alles in Ordnung ist, wird der Status des Platzes auf reserviert geändert und in die Liste der reservierten Plätze eingetragen. Falls der Bereich vorgemerkt war, wird er aus der Liste der vorgemerkten Plätze entfernt.

Die Methode **freigeben** gibt einen Stellplatz frei. Zuerst wird überprüft, ob der Platz für die angegebene Aufgabe vorgemerkt oder reserviert ist. Falls nicht, dann wird nichts weiter unternommen. Wenn der Platz von der Aufgabe reserviert oder vorgemerkt ist, dann wird der Status des Platzes auf frei gesetzt und aus der entsprechenden Liste entfernt.

Die Methode **umschalten** hat als Eingabeparameter eine AufgabeID. Sie überprüft zunächst, ob der Platz für diese Aufgabe reserviert ist. Wenn dem so ist, wird das Attribut **umgeschaltet** auf **true** gesetzt. Ansonsten wird nichts gemacht.

4.5.2 Aufgabenverwaltung

Überblick

Die Aufgabenverwaltung steuert und regelt die Übergaben. Sie kennt die einzelnen Arbeitsschritte, die bei einer Übergabe durchgeführt werden müssen. Die Aufgabenverwaltung führt eine Liste mit allen Übergaben, die im Moment durch-

geführt werden. Außerdem muss sich die Aufgabenverwaltung für jede Übergabe merken, welche Arbeitsschritte schon durchgeführt wurden. Sobald ein Schritt beendet wurde, bestimmt die Aufgabenverwaltung den nächsten Arbeitsschritt. Dann wird die Ausführung dieses Schritts von der Aufgabenverwaltung angestoßen.

Das Suchen eines freien Übergabebereich lässt die Aufgabenverwaltung von der Bereichsverwaltung durchführen. Ebenso das Reservieren, Umschalten und Freigeben eines Bereichs bzw. Stellplatzes. Die Kommunikation mit dem Fahrer hingegen wird ausschließlich von der Aufgabenverwaltung durchgeführt.

Außerdem fällt es in die Zuständigkeit der Aufgabenverwaltung, Aufträge an den Leitstand zu senden. Ein Auftrag ist, entweder ein Fahrzeug in den Übergabebereich hineinzufahren, oder ein Fahrzeug aus einem Bereich hinauszufahren.

Zustand

Der Zustand einer Übergabe ist gekennzeichnet durch mehrere Faktoren. Als erstes ist entscheidend, ob eine Annahme oder eine Abgabe durchgeführt wird. Des Weiteren muss man unterscheiden, ob ein Gespann oder ein Anhänger übergeben wird. Weiterhin für den Zustand einer Übergabe bedeutend ist, welche Arbeitsschritte schon durchgeführt worden sind und welcher Schritt gerade durchgeführt wird. Alle diese Faktoren muss sich die Aufgabenverwaltung für jede Übergabe merken.

Außerdem kann eine Übergabe aktiv oder wartend sein. Eine Übergabe ist wartend, wenn im Moment nichts unternommen werden kann, weil beispielsweise kein Übergabebereich frei ist. Wird aber ein Arbeitsschritt durchgeführt, so ist die Übergabe aktiv.

Die Aufgabenverwaltung muss sich auch merken, welcher Übergabebereich und welcher Stellplatz ihr für eine Übergabe zugewiesen wurde.

Aufgaben

Für jede Übergabe besitzt die Aufgabenverwaltung eine Liste mit bereits erledigten Arbeitsschritten. Die Aufgabe der Aufgabenverwaltung ist es, einfach ausgedrückt, zu bestimmen, welcher Arbeitsschritt als nächstes auszuführen ist, diesen dann auszuführen und, sobald er beendet, ist zur Liste der erledigten Schritte hinzuzufügen.

Geht man den Ablauf einer Übergabe Schritt für Schritt durch, kann man feststellen, welche Arbeitsschritte die Aufgabenverwaltung dabei zu erledigen hat und welche sie von anderen Teilen erledigen lässt. Jede Übergabe beginnt damit, dass der Fahrer sich an einem Terminal anmeldet. Die Durchführung der Anmeldung wird von der Aufgabenverwaltung vorgenommen. Der erste Schritt dabei ist, dass die Aufgabenverwaltung eine neue Aufgabe anlegt und zur Liste der Aufgaben hinzufügt. Dann wird die eigentliche Anmeldung durchgeführt.

Nach der Anmeldung braucht man als nächstes einen freien Übergabebereich, genauer gesagt einen freien Stellplatz. Die Aufgabenverwaltung fordert dazu bei der Bereichsverwaltung einen freien Platz an. Wenn zunächst kein Platz frei ist, muss die Aufgabenverwaltung den Fahrer zu einem Wartebereich schicken. Ansonsten kann der Fahrer zum Übergabebereich geschickt werden.

Sobald ein Bereich reserviert ist, muss die Aufgabenverwaltung den Fahrer zum Übergabebereich schicken und darauf achten, dass er zum richtigen Bereich fährt. Wenn ein Fahrer an einer Schranke ankommt, muss er eine Magnetkarte in einen Kartenleser einführen. Jeder Kartenleser ist einer Schranke zugeordnet, daher weiß man dann, an welcher Schranke der Fahrer steht. Damit kann man auch prüfen, ob er zum richtigen Bereich gefahren ist. Wenn der Fahrer am richtigen Bereich ist, lässt die Aufgabenverwaltung die passende Schranke öffnen, indem sie eine entsprechende Nachricht an die Bereichsverwaltung sendet. Der Fahrer kann dann in den Bereich hineinfahren. Die Aufgabenverwaltung teilt dem Fahrer dann mit, welche Arbeitsschritte er im Übergabebereich erledigen soll.

Danach fährt der Fahrer zur Ausfahrt, die Aufgabenverwaltung lässt die Ausfahrtsschranke von der Bereichsverwaltung öffnen und der Fahrer verlässt den Bereich. Die Aufgabenverwaltung muss dann dafür sorgen, dass die Bereichsverwaltung den Bereich auf autonom umschaltet. Sobald der Bereich umgeschaltet ist, sendet die Aufgabenverwaltung einen Auftrag an den Leitstand. Der Auftrag besteht darin, dass der Leitstand das im Übergabebereich abgestellte Fahrzeug autonom aus diesem hinausfährt.

Es gibt zwei Möglichkeiten, wie Aufträge an den Leitstand gesendet werden können. Zum einen kann die Aufgabenverwaltung die Aufträge an die Aufgabenannahme, ein externes Modul des Leitstandes, senden und diese leitet die Aufträge an den Leitstand weiter. Zum anderen kann man die Aufträge direkt an den Leitstand senden, indem die Aufgabenverwaltung beim externen Ereignisverteiler des Leitstands registriert wird. Im ersten Fall braucht man eine Schnittstelle zur Aufgabenannahme, um die Daten an diese senden zu können. Falls noch nicht vorhanden muss man diese Schnittstelle noch zur Aufgabenannahme hinzufügen. Im zweiten Fall muss das Übergabemodul die Auftragsdaten selber an den Leitstand senden. Es übernimmt dabei Aufgaben der Aufgabenannahme. Man hat dann zwei Module, deren Funktionalität teilweise redundant ist.

Wenn der Leitstand den Auftrag, das Fahrzeug autonom aus dem Übergabebereich hinauszufahren, abgearbeitet hat, kann der benutzte Stellplatz freigegeben werden. Die Aufgabenverwaltung sendet dazu eine Nachricht an die Bereichsverwaltung, die den Platz dann freigibt.

Wenn eine Aufgabe beendet wurde, muss die Aufgabenverwaltung diese aus der Liste der Aufgaben entfernen.

Klassendiagramm

Die Abbildung 4.10 zeigt das Klassendiagramm der Aufgabenverwaltung. Falls nichts anderes angegeben ist, dann ist der Ergebnistyp einer Methode bool, d.h. eine Methode liefert als Ergebnis, ob die Methode erfolgreich durchgeführt werden konnte oder nicht.

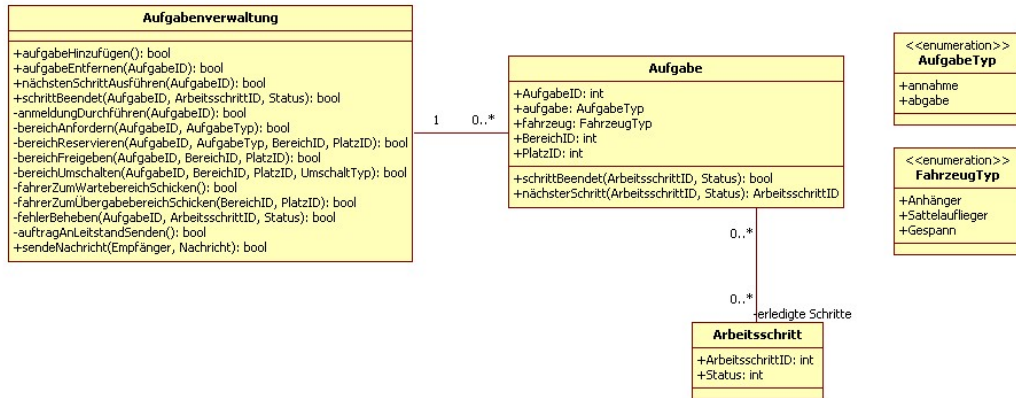


Abbildung 4.10: Klassendiagramm der Aufgabenverwaltung

Klasse Aufgabenverwaltung

Die Klasse **Aufgabenverwaltung** interagiert mit den anderen Komponenten des Moduls. Sie sendet Nachrichten an die anderen Komponenten und empfängt Nachrichten von ihnen. Außerdem ist die Klasse in der Lage mit dem Fahrer zu kommunizieren, d.h. Nachrichten mit diesem auszutauschen. Des weiteren verwaltet die Klasse eine Liste mit Aufgaben, die im Moment durchgeführt werden.

Die Methode **aufgabeHinzufügen** wird ausgeführt, wenn ein Fahrer an einem Terminal ankommt und sich anmelden will. Sobald der Fahrer eingegeben hat, ob er eine Annahme oder eine Abgabe durchführen möchte, erzeugt die Methode ein entsprechendes Objekt vom Typ **Aufgabe** und fügt dieses zur Liste der Aufgaben hinzu. Das Attribut **AufgabeID** bekommt hier einen eindeutigen Wert zugewiesen. Der Wert des Attributs **aufgabe** wird auf **annahme** gesetzt, wenn eine Annahme durchgeführt werden soll und auf **abgabe**, wenn eine Abgabe durchgeführt werden soll. Die anderen Attribute werden mit speziellen Werten initialisiert, die bedeuten, dass eigentlich noch kein Wert für dieses Attribut existiert. Beispielsweise könnte der spezielle Wert von **BereichID** 0 sein und dieser Wert bedeuten, dass der Aufgabe noch kein Bereich zugewiesen wurde.

Die Methode **aufgabeEntfernen** entfernt eine Aufgabe aus der Liste. Als Parameter ist die ID der Aufgabe zu übergeben, die entfernt werden soll. In der Regel wird eine Aufgabe entfernt, wenn sie erfolgreich beendet wurde. Sie kann

aber auch entfernt werden, wenn die Durchführung der Aufgabe aus irgendeinem Grund abgebrochen wird.

Mit der Methode **nächstenSchrittAusführen** wird der nächste Arbeitsschritt einer Aufgabe ausgeführt. Mit dem Parameter AufgabeID gibt man an, für welche Aufgabe der nächste Schritt ausgeführt werden soll. Die Methode verwendet zunächst die Methode nächsterSchritt von Aufgabe, um zu bestimmen, was der nächste Arbeitsschritt ist, der ausgeführt werden muss. Als Ergebnis der Methode nächsterSchritt bekommt sie eine ArbeitsschrittID zurückgegeben. Diese ID legt fest, welcher Schritt als nächstes auszuführen ist. Die Methode weiß, welcher Arbeitsschritt bei welcher ID ausgeführt werden soll. Jedes Mal, wenn die gleiche ID zurückgegeben wurde, wird der gleiche Arbeitsschritt ausgeführt. Beispiel: Angenommen die ArbeitsschrittID 5 bedeutet, dass der Fahrer zum Wartebereich geschickt werden soll, dann wird jedes Mal, wenn die Methode nächsterSchritt das Ergebnis 5 liefert, der Fahrer zum Wartebereich geschickt.

Zum Ausführen eines Arbeitsschritts wird, je nachdem um was für einen Schritt es sich handelt, eine der Methoden anmeldungDurchführen, bereichAnfordern, bereichReservieren, bereichUmschalten, bereichFreigeben, fahrerZumWartebereichSchicken, fahrerZumÜbergabebereichSchicken und fehlerBeheben verwendet. Diese Methoden tun das, was ihre Namen sagen. Die Methode bereichReservieren beispielsweise reserviert bei der Bereichsverwaltung einen Bereich.

Die Methode **anmeldungDurchführen** wird ausgeführt, wenn die Anmeldung durchgeführt werden soll. Der Methode ist zu übergeben, für welche Aufgabe die Anmeldung durchzuführen ist. Bei der Anmeldung werden alle benötigten Informationen beim Fahrer erfragt, der sie am Terminal eingibt. Hierbei wird auch abgefragt, welcher Fahrzeugtyp übergeben werden soll und das Attribut fahrerZurAufgabeObjekt wird auf den entsprechenden Wert gesetzt (also auf anhängen, auflieger oder gespannt).

Außerdem werden bei der Anmeldung Daten zu den Aufgaben eingegeben, die mit dem Fahrzeug auf dem Betriebshof erledigt werden sollen. Da die Aufgaben auf dem Hof davon abhängen, um was für eine Art von Betriebshof es sich handelt, sind diese Daten stark vom jeweiligen Anwendungsfall geprägt. Die Methode anmeldungDurchführen muss in der Lage sein diese Daten entgegennehmen und speichern zu können. Diese Daten werden dann, sobald es nötig ist, an den Leitstand gesendet.

Die Methode **bereichAnfordern** wird von nächstenSchrittAusführen aufgerufen, wenn ein Bereich für eine Übergabe angefordert werden soll. Dabei ist die AufgabeID der Übergabe und deren Typ zu übergeben. Als erstes sendet die Methode eine Nachricht an die Bereichsverwaltung, mit der sie einen Bereich anfordert. Die Bereichsverwaltung antwortet mit der BereichID und der StellplatzID, die für diese Übergabe vorgemerkt wurden, oder mit der Nachricht, dass kein Platz frei war. Wurde ein Stellplatz vorgemerkt, werden die Attribute BereichID und StellplatzID des entsprechenden Aufgabe-Objekts auf die entsprechenden Werte gesetzt.

Die Methode **bereichReservieren** wird aufgerufen, wenn ein Bereich reserviert werden soll. Die Eingabeparameter sind die ID der Aufgabe, deren Typ und die ID des Bereichs und Stellplatzes, die für diese Aufgabe vorgemerkt wurden. Die Methode sendet eine Nachricht an die Bereichsverwaltung, den angegebenen Stellplatz zu reservieren. Die Bereichsverwaltung antwortet, ob die Reservierung erfolgreich war oder nicht. Die Antwort entspricht dem Status des Arbeitsschritts und entscheidet mit darüber, welcher Schritt als nächstes auszuführen ist.

Die Methode **bereichUmschalten** wird aufgerufen, wenn ein Bereich umgeschaltet werden soll (von manuell zu autonom oder umgekehrt). Die Parameter sind die ID der Aufgabe, für die der Bereich umgeschaltet werden soll und die ID des Bereichs und des Stellplatzes, die von der Aufgabe verwendet werden. Außerdem gibt es noch den Parameter **UmschaltTyp**, mit dem angegeben wird, ob auf manuell oder auf autonom umgeschaltet werden soll. Die Umschaltung eines Bereichs wird von der Bereichsverwaltung vorgenommen. Die Methode **bereichUmschalten** sendet daher eine passende Nachricht an die Bereichsverwaltung, die dann das Umschalten ausführt. Die Bereichsverwaltung antwortet mit einer Nachricht, ob die Umschaltung durchgeführt wurde oder nicht, davon ist dann der nächste Arbeitsschritt abhängig.

Die Methode **bereichFreigeben** hat die Aufgabe einen Bereich freizugeben. Als Eingabeparameter werden der Methode übergeben, welcher Stellplatz in welchem Bereich freigegeben werden soll und welche Aufgabe diesen Stellplatz zur Zeit reserviert hat. Die Methode sendet eine Nachricht an die Bereichsverwaltung, die dann das eigentliche Freigeben des Bereichs vornimmt. Die Bereichsverwaltung sendet eine Antwort, ob das Freigeben funktioniert hat oder nicht.

Die Methode **fahrerZumWartebereichSchicken** sendet eine Nachricht an den Fahrer, mit der er aufgefordert wird, zu einem Wartebereich zu fahren. Die Methode wird ausgeführt, wenn ein Bereich angefordert wurde, aber kein passender Stellplatz frei war und vorgemerkt werden konnte. Die Methode wird auch ausgeführt, wenn bei der Übergabe im Übergabebereich zuerst autonom gefahren werden muss.

Die Methode **fahrerZumÜbergabebereichSchicken** sendet eine Nachricht an den Fahrer mit der Mitteilung, zu einem bestimmten Übergabebereich zu fahren. Zu welchem Bereich der Fahrer sich begeben soll, wird der Methode als Parameter übergeben. Die Parameter sind die **BereichID** und die **StellplatzID** zu der der Fahrer fahren soll. Diese Informationen werden in die Nachricht an den Fahrer eingefügt.

Die Methode **fehlerBeheben** wird immer dann ausgeführt, wenn bei der Ausführung eines Arbeitsschritts ein Fehler aufgetreten ist. Die Eingabeparameter der Methode sind die ID der betroffenen Aufgabe, die **ArbeitsschrittID** des zuletzt ausgeführten Schritts und der Fehler (Status) der bei der Ausführung dieses Schritts auftrat. Die Methode muss alle möglichen Fehler kennen und wissen, wie diese zu beheben sind. Mögliche Fehler können sein:

- Der Fahrer fährt zum falschen Übergabebereich. Der Fahrer muss über seinen Fehler informiert werden und zum richtigen Bereich geschickt werden.
- Es wird versucht, einen Stellplatz vorzumerken oder zu reservieren, der schon für eine andere Aufgabe reserviert oder vorgemerkt ist. Um den Fehler zu beheben, muss ein anderer Stellplatz vorgemerkt oder reserviert werden.
- Es wird versucht, einen anderen als den vorgemerkten Stellplatz zu reservieren. Man muss `bereichReservieren` erneut ausführen, diesmal mit der richtigen `PlatzID`.
- Es wird versucht einen anderen als den für eine Aufgabe reservierten Stellplatz umzuschalten oder freizugeben. Man muss die Methoden erneut ausführen, dann aber mit der richtigen `PlatzID`.
- Es wird versucht, eine Schranke zum manuellen Bereich zu öffnen, obwohl im Übergabebereich im Moment autonom gefahren wird, oder umgekehrt. Das Öffnen der Schranke muss solange verhindert werden, bis der Bereich das nächste Mal umgeschaltet wurde. Dann kann man, falls noch notwendig, die Schranke geöffnet werden.

Die Methode **`schrittBeendet`** wird ausgeführt, sobald die Ausführung eines Arbeitsschritts beendet wurde. Die Eingabeparameter geben an, welcher Arbeitsschritt von welcher Aufgabe beendet wurde. Der Parameter `Status` gibt an, wie der Arbeitsschritt beendet wurde, d.h. er enthält Informationen, ob der Schritt erfolgreich ausgeführt wurde, oder ob und welche Fehler auftraten. Es wird die Methode `schrittBeendet` von Aufgabe aufgerufen, welche den Schritt in die Liste der erledigten Schritte einträgt.

Klasse `Aufgabe`

Die Klasse `Aufgabe` verwaltet Informationen über die Aufgaben. Jede Instanz verwaltet die Informationen einer Aufgabe. Das Attribut `AufgabeID` dient zur eindeutigen Identifizierung der Aufgabe. Das Attribut `aufgabe` gibt den Typ der Aufgabe, also Annahme oder Abgabe, an. Mit dem Attribut `fahrzeug` wird festgehalten, was für eine Art Fahrzeug übergeben werden soll. Es kann entweder ein Gespann, ein Anhänger oder ein Sattelaufzieger übergeben werden. Weitere Attribute sind `BereichID` und `PlatzID`. Diese geben an, welcher Bereich und welcher Stellplatz für die Aufgabe verwendet werden. Erst wenn ein Stellplatz erfolgreich vorgemerkt oder reserviert werden konnte, kann man diese beiden Attribute auf die entsprechenden Werte setzen. Vorher haben sie einen speziellen Wert, der bedeutet, dass dieser Aufgabe noch kein Bereich und kein Stellplatz zugeordnet worden ist. Außerdem besitzt die Klasse noch eine Liste mit Arbeitsschritten, die bereits erledigt wurden.

Die Methode **`schrittBeendet`** wird aufgerufen, wenn ein Arbeitsschritt beendet wurde. Es ist zu übergeben, welcher Schritt gerade beendet wurde und

mit welchem Ergebnis der Schritt beendet wurde (im Klassendiagramm Status genannt). Das bedeutet, es werden Informationen übergeben, ob der Schritt erfolgreich ausgeführt wurde, oder ob ein Fehler auftrat und wenn ja, welcher Fehler. Dieser Schritt wird dann in die Liste der erledigten Schritte eingetragen.

Die Methode **nächsterSchritt** bestimmt, welcher Schritt als nächstes auszuführen ist und liefert dessen ID zurück. Als Eingabe wird die ArbeitsschrittID des letzten ausgeführten Schritts übergeben. Außerdem wird noch übergeben, mit welchem Ergebnis dieser Schritt durchgeführt wurde. Die Methode **nächsterSchritt** überprüft, ob der angegebene Schritt mit dem entsprechenden Status in der Liste der erledigten Schritte an letzter Stelle enthalten ist. Wenn dem so ist, bestimmt die Methode dann, welcher Schritt als nächstes ausgeführt werden muss. Andernfalls wird ein Fehler zurückgegeben.

In die Entscheidung, welcher Schritt der nächste ist, fließt ein, welche Schritte bereits erledigt wurden, mit welchem Status der letzte Schritt beendet wurde, ob es sich um eine Annahme oder Abgabe handelt und welche Art von Fahrzeug (Anhänger, Auflieger oder Gespann) übergeben wird.

Die Methode **nächsterSchritt** kennt alle möglichen Abfolgen von Arbeitsschritten, die bei einer Übergabe auftreten können. Aufgrund dieses Wissens über alle möglichen Abfolgen und dem Wissen darüber, welche Arbeitsschritte bereits ausgeführt wurden, dem Status des letzten Schritts und der Kenntnis über die Art der Übergabe, kann die Methode den nächsten Arbeitsschritt eindeutig bestimmen. Sobald die Methode den nächsten Schritt bestimmt hat, gibt sie dessen ID als Ergebnis zurück.

Klasse Arbeitsschritt

Mit der Klasse **Arbeitsschritt** werden Informationen zu den Arbeitsschritten der Übergaben festgehalten. Mit dem Attribut **ArbeitsschrittID** wird jedem Schritt eine eindeutige Kennung zugeordnet. Die Kennung legt fest, um welche Art von Arbeitsschritt es sich handelt. Jedes Mal, wenn die Methode **nächsterSchritt** der Klasse **Aufgabe** festlegt, dass zum Beispiel als nächstes ein Bereich reserviert werden soll, gibt sie die gleiche ID zurück.

Das Attribut **Status** hält fest, ob der Arbeitsschritt schon ausgeführt wurde oder gerade ausgeführt wird. Für den Fall, dass er schon ausgeführt wurde, enthält der Status Informationen, ob der Schritt erfolgreich ausgeführt wurde, oder welcher Fehler bei der Ausführung eingetreten ist.

Die Klasse **Arbeitsschritt** dient nur dazu, festzuhalten, welche Schritte ausgeführt wurden, und mit welchem Status diese Schritte beendet wurden. Die Klasse enthält keine Logik. Die Logik, welcher Schritt als nächstes auszuführen ist, ist wie schon erwähnt in der Methode **nächsterSchritt** der Klasse **Aufgabe** enthalten. Diese Methode bestimmt, welcher Schritt als nächstes auszuführen ist und gibt dessen **ArbeitsschrittID** zurück.

4.5.3 Infrastruktur

Überblick

Die Infrastruktur dient als eine Art Treiber für die Infrastrukturteile der Übergabebereiche (in der Regel Schranken). Die Infrastruktur öffnet und schließt die Schranken, wenn sie von den anderen Komponenten des Moduls dazu aufgefordert wird. Außerdem kann sie feststellen, wenn ein Fahrzeug eine geöffnete Schranke passiert hat. Die Infrastruktur kennt alle Schranken und zu welchem Bereich sie gehören.

Zustand

Eine Schranke hat zwei Zustände. Entweder ist sie offen oder geschlossen. Der Zustand der Infrastruktur lässt sich beschreiben, indem man sich merkt, welche Schranken gerade geöffnet und welche geschlossen sind.

Aufgaben

Es gibt einige elementare Aufgaben, die die Infrastruktur erfüllen muss. Erstens muss sie eine Schranke öffnen können und zweitens muss sie eine Schranke schließen können. Außerdem muss die Infrastruktur in der Lage sein zu erkennen, wenn ein Fahrzeug eine geöffnete Schranke passiert hat.

Diese elementare Aufgaben kann man zu weiteren Aufgaben kombinieren. Als erstes kann man eine Schranke öffnen und eine Nachricht abschicken, sobald ein Fahrzeug die Schranke passiert hat. Nachdem das Fahrzeug die Schranke passiert hat, bleibt diese offen.

Eine weitere Aufgabe ist eine Schranke zu öffnen und sie wieder zu schließen, nachdem ein Fahrzeug hindurchgefahren ist. Außerdem wird eine Nachricht versendet, nachdem die Schranke wieder geschlossen wurde.

Klassendiagramm

Die Abbildung 4.11 zeigt das Klassendiagramm der Infrastruktur.

Klasse Infrastruktur

Die Klasse Infrastruktur kann Nachrichten von den anderen Komponenten empfangen und an diese senden. Die empfangenen Nachrichten enthalten Aufforderungen, bestimmte Schranken zu öffnen oder zu schließen. Die gesendeten Nachrichten enthalten Informationen, ob die Schranken erfolgreich geöffnet bzw. geschlossen wurden oder nicht. Außerdem können Nachrichten versendet werden, wenn ein Fahrzeug eine Schranke passiert hat. Der Empfänger einer Nachricht ist immer die Komponente, die die Aufforderung geschickt hatte.

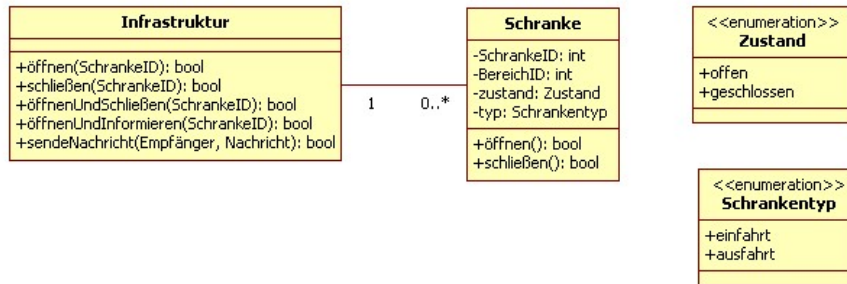


Abbildung 4.11: Klassendiagramm der Infrastruktur

Die Methode **öffnen** öffnet eine Schranke. Die ID der Schranke, die geöffnet werden soll, wird der Methode als Eingabeparameter übergeben. Die Methode **schließen** funktioniert analog.

Die Methode **öffnenUndSchließen** öffnet zunächst eine Schranke. Sobald ein Fahrzeug die Schranke passiert hat, schließt die Methode die Schranke wieder. Als letztes wird eine Nachricht versendet, dass ein Fahrzeug durchgefahren ist und die Schranke wieder geschlossen wurde.

Die Methode **öffnenUndInformieren** öffnet eine Schranke und sendet eine Nachricht, wenn ein Fahrzeug die Schranke passiert hat. Im Gegensatz zur Methode **öffnenUndSchließen** wird hier die Schranke nicht automatisch geschlossen, wenn das Fahrzeug durchgefahren ist.

Klasse Schranke

Die Klasse **Schranke** enthält ein Attribut `SchrankeID`, mit der die Schranke eindeutig identifiziert wird. Das Attribut `BereichID` gibt an, zu welchem Übergabebereich die Schranke gehört. Mit `typ` wird angegeben, ob es sich bei der Schranke um eine Einfahrt oder eine Ausfahrt handelt. Das Attribut `zustand` gibt an, ob die Schranke gerade offen oder geschlossen ist.

Die Methode **öffnen** öffnet die Schranke. Sie setzt dabei den `zustand` auf `offen`. Analog schließt die Methode **schließen** die Schranke und setzt den Wert von `zustand` auf `geschlossen`.

Kapitel 5

Implementierung

Die Implementation der Klassen weicht von dem Modell aus dem vorherigen Kapitel an einigen Stellen ab. So sind beispielsweise in den Klassendiagrammen nur die Methoden aufgeführt, die für das Verständnis der Arbeitsweise des Moduls notwendig sind. Hilfsmethoden, die zwar die Arbeit erleichtern, aber nicht wichtig sind für das Verständnis des Moduls, sind in den Diagrammen nicht aufgeführt. Die Unterschiede zwischen dem Modell und der Implementation wird in den folgenden Abschnitten kurz erklärt.

Aus Zeitgründen war es nicht möglich, alle Methoden vollständig zu implementieren. Einige Methoden sind daher nur in Pseudocode implementiert worden. Die vollständigen Methoden wurden kurzen Tests unterzogen, um festzustellen, ob sie bei korrekten Eingaben richtig funktionieren. Auch wurde getestet, ob sie bei zu erwartenden falschen Eingaben diese richtig handhaben, d.h. ob sie den Fehler erkennen und korrekt darauf reagieren. Aufgrund der Tatsache, dass einige Methoden nur in Pseudocode vorliegen, war es nicht möglich, einen vollständigen Test, in dem die Zusammenarbeit von Leitstand und Modul überprüft wird, durchzuführen.

5.1 Implementation der Bereichsverwaltung

In diesem Abschnitt werden zunächst einige Unterschiede zwischen dem Modell und der Implementierung erläutert. Danach erfolgt eine Beschreibung der Klassenmethoden `getBereich` und `getPlatz`. Anschließend werden noch die Konstrukturen erläutert.

Unterschiede zwischen dem Modell und der Implementierung

Laut Klassendiagramm in Abb. 4.9 auf Seite 64 erwarten die meisten Methoden der Klasse Bereichsverwaltung als Eingabeparameter die ID eines Übergabebereichs (`BereichID`) und/oder die ID eines Stellplatzes (`PlatzID`). Beispielsweise

erwartet die Methode reservieren eine BereichID und eine PlatzID. In der Implementation gibt es die Methode reservieren zweimal. Einmal mit den im Klassendiagramm dargestellten Parametern und beim zweiten Mal erwartet die Methode, dass ihr nicht die IDs des Bereichs und des Platzes übergeben werden, sondern Zeiger auf ein Objekt vom Typ Bereich bzw. Stellplatz. Die Methoden erfüllen beide die selbe Aufgabe. Die erste reserviert den Stellplatz, dessen ID übergeben wurde, und die zweite reserviert den Stellplatz, auf den der übergebene Zeiger zeigt.

Die Methoden, die eine ID als Parameter haben, benutzen als erstes die Methode `getBereich` bzw. `getPlatz`, um einen Zeiger auf das Objekt mit der passenden ID zu erhalten. Dann rufen sie die Methoden auf, die einen Zeiger als Eingabeparameter erwarten. Wenn einem also schon die Zeiger zur Verfügung stehen, kann man direkt die Methoden mit dem Zeiger als Parameter aufrufen. Der Aufruf einer Methode mit der ID als Parameter macht nur Sinn, wenn man nur die ID, nicht aber einen Zeiger auf das entsprechende Objekt zur Verfügung hat.

Die folgenden Methoden der Klasse `Bereichsverwaltung` existieren, wie zuvor beschrieben, zweimal: `reservieren`, `freigeben`, `umschalten`, `wartendeFortsetzen`, `schrankeÖffnen` und `schrankeSchließen`.

Nach dem zuvor bereits erwähnten Prinzip gibt es folgende Methode der Klasse `Bereich` zweimal: `vormerken`, `reservieren`, `umschalten` und `freigeben`. Einmal wird den Methoden die ID eines Stellplatzes übergeben und einmal einen Zeiger auf ein `Stellplatz`-Objekt.

Die Assoziation `istVorgemerkt` von der Klasse `Stellplatz` zur Klasse `Bereichsverwaltung` wird implementiert durch die Variable `istVorgemerktFür` der Klasse `Stellplatz`. Die Assoziation in dem Modell soll nur darstellen, dass man sich merken muss, für welche Aufgabe ein `Stellplatz` reserviert ist. Realisiert wird dies in der Klasse `Stellplatz` durch die Integer-Variable `istVorgemerktFür`. Der Wert der Variable ist 0, wenn der `Stellplatz` für keine Aufgabe reserviert ist. Ansonsten hat die Variable den Wert der `AufgabeID` von der Aufgabe, für die der Platz vorgemerkt ist.

Analog dazu wird die Assoziation `istReserviert` durch die Variable `istReserviertFür` realisiert. Die Variable hat den Wert 0, wenn der Platz nicht reserviert ist und ansonsten den Wert der `AufgabeID` der Aufgabe, für die der Platz reserviert ist.

Implementierung der wesentlichen Methoden

Die Hauptaufgabe der `Bereichsverwaltung` besteht darin Bereiche vorzumerken, zu reservieren, umzuschalten und freizugeben. Die Klasse `Bereichsverwaltung` hat für jede dieser Aufgaben eine passende Methode.

Die Methode `anfordern` wird ausgeführt, wenn ein freier `Stellplatz` gesucht wird. Wenn man einen freien Platz gefunden hat, wird dieser vorgemerkt. Die Methode erwartet als Eingabe, für welche Aufgabe ein `Stellplatz` angefordert wird

und um was für einen Aufgabentyp es sich dabei handelt.

Der erste Schritt, den die Methode ausführt, ist die Methode `freienPlatzSuchen` aufzurufen. Dieser Methode werden die `AufgabeID` und der Aufgabentyp übergeben. Die Methode liefert als Ergebnis die ID eines freien Stellplatzes bzw. den Wert 0, wenn kein Platz frei ist.

Falls kein Platz frei ist, wird die `AufgabeID` einer Liste mit wartenden Übergeben hinzugefügt. Es gibt zwei Listen, eine für Annahmen und eine für Abgaben. Die ID muss entsprechend dem Aufgabentyp in eine der Liste eingetragen werden. Danach wird der Aufgabenverwaltung eine Nachricht gesendet, dass kein Platz frei ist.

Falls ein Stellplatz frei ist, wird dieser vorgemerkt. Dazu wird die Methode `vormerken` des Bereich-Objekts, in dem sich der freie Stellplatz befindet, aufgerufen. Der Methode sind der vorzumerkende Platz, die `AufgabeID` und der Aufgabentyp zu übergeben. Das vormerken wird dann von dieser Methode ausgeführt. Wenn das vormerken erfolgreich war, wird der Aufgabenverwaltung mitgeteilt, welcher Stellplatz vorgemerkt wurde. Das Anfordern ist damit beendet.

Die Methoden `reservieren`, `freigeben` und `umschalten` der Klasse `Bereichsverwaltung` arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip. Zuerst werden einige Angaben überprüft und dann werden die entsprechenden Methoden vom Bereich aufgerufen. Die Methode `freigeben` wird im folgenden stellvertretend für die genannten Methoden genauer betrachtet.

```

1 bool Bereichsverwaltung::freigeben(int AufgabeID, Bereich*
    bereich, Stellplatz* platz) {
2     if (platz->istReserviertFuer()==AufgabeID || platz->
    istVorgemerktFuer()==AufgabeID) {
3         if (bereich->freigeben(platz->PlatzID, AufgabeID)) {
4             sendeNachricht(Averwaltung, "Stellplatz "+PlatzID+"
                freigegeben");
5             wartendeFortsetzen(bereich->BereichID, platz->PlatzID);
6             return true;
7         }
8     }
9     sendeNachricht(Averwaltung, "Stellplatz nicht freigegeben");
10    return false;
11 }

```

Listing 5.1: Die Methode `freigeben`

Das Listing 5.1 zeigt die Methode `freigeben`. In der `if`-Anweisung in Zeile 2 überprüft die Methode zunächst, ob der übergebene Stellplatz für die Aufgabe mit der übergebenen `AufgabeID` reserviert oder vorgemerkt ist. Wenn der Platz für die Aufgabe reserviert oder vorgemerkt ist, wird die Methode `freigeben` des Bereich-Objekts aufgerufen. Der Aufruf steht in der Bedingung einer `if`-Anweisung und es werden danach entweder die Zeilen 4-6 des Listings ausgeführt, wenn die Methode `true` zurückgegeben hat, also das freigeben erfolgreich durchgeführt werden

konnte. Wenn das freigeben nicht erfolgreich ausgeführt werden konnte oder der Stellplatz nicht für die Aufgabe reserviert oder vorgemerkt war, werden anschließend die Zeilen 9-10 ausgeführt.

Falls das freigeben erfolgreich durchgeführt wurde, wird zunächst eine Nachricht, dass der Platz freigegeben wurde, an die Aufgabenverwaltung gesendet (Zeile 4). Als nächstes wird dann die Methode `wartendeFortsetzen` aufgerufen. Diese Methode hat die Aufgabe, eine auf einen freien Platz wartende Übergabe fortzusetzen. Nachdem diese Methode ausgeführt wurde, kann mit `return true`; das freigeben erfolgreich beendet werden.

Falls die Methode `freigeben` des Bereich-Objekts `false` zurückgibt, oder der Platz nicht für die Aufgabe vorgemerkt oder reserviert ist, dann werden die Zeile 9 und 10 ausgeführt. Zunächst wird der Aufgabenverwaltung eine Nachricht gesendet, dass der Stellplatz nicht freigegeben wurde. Danach wird die Methode mit der Rückgabe von `false` beendet.

Wie bereits erwähnt arbeiten die Methoden `reservieren` und `umschalten` ähnlich. Mit dem Unterschied, dass `reservieren` zunächst prüft, ob die aktuelle Bereichsnutzung zum Aufgabentyp passt und der Platz für die Aufgabe vorgemerkt ist. Wenn alles in Ordnung ist, wird die Methode `reservieren` des Bereichs aufgerufen. Andernfalls war das `reservieren` nun einmal nicht erfolgreich.

Die Methode `umschalten` prüft zuerst, ob der Stellplatz für die Aufgabe reserviert ist. Wenn der Platz für die Aufgabe reserviert ist, wird die Methode `umschalten` des Bereichs aufgerufen. Andernfalls war das `umschalten` nicht erfolgreich.

Die Klassenmethoden

Bei den Methoden `getBereich` und `getPlatz` handelt es sich um Klassenmethoden. Die Methode `getBereich` ist eine Klassenmethode der Klasse `Bereich`, `getPlatz` ist eine Klassenmethode der Klasse `Stellplatz`. Beide Methoden arbeiten auf ähnliche Weise, daher wird nun nur die Funktionsweise der Methode `getBereich` erläutert, die Methode `getPlatz` funktioniert analog.

Die Methode `getBereich` erwartet als Eingabeparameter eine `BereichID`. Der Ergebnistyp der Methode ist ein Zeiger auf ein `Bereich`-Objekt. Die Methode liefert als Ergebnis ein Zeiger auf das `Bereich`-Objekt, dessen `BereichID` mit der `BereichID`, die der Methode als Eingabe übergeben wurde, übereinstimmt. Falls die Methode keinen `Bereich` findet, dessen `BereichID` gleich der übergebenen `BereichID` ist, dann wird `NULL` zurückgegeben.

Das Listing 5.2 zeigt die Methode `getBereich`. In Zeile 2 des Listings wird der Iterator `bereichIterator` deklariert. Dieser wird dann benutzt, um über die Elemente des Vectors mit dem Bezeichner `Bereiche` zu iterieren. Dieser Vector `Bereiche` ist eine Klassenvariable der Klasse `Bereich`. In diesen Vector werden alle `Bereich`-Objekte eingefügt, sobald sie erzeugt werden. Dazu wird im Konstruktor von `Bereich` die Anweisung `Bereiche.push_back(this)`; ausgeführt.

```
1 static Bereich* Bereich::getBereich(int BereichID) {  
2     std::vector<Bereich*>::iterator bereichIterator;  
3     for (bereichIterator = Bereich::Bereiche.begin();  
         bereichIterator != Bereich::Bereiche.end();  
         bereichIterator++) {  
4         Bereich* bereich = *bereichIterator;  
5         if (bereich->BereichID == BereichID) return bereich;  
6     }  
7     return NULL;  
8 }
```

Listing 5.2: Die Methode `getBereich`

Innerhalb der for-Schleife¹ wird zunächst das Objekt, auf das der Iterator zeigt dereferenziert und der Variablen *bereich* zugewiesen. Als nächstes wird dann die BereichID von *bereich* mit der BereichID, die der Methode übergeben wurde, verglichen. Falls die BereichIDs gleich sind, wird *bereich* zurückgegeben. Falls die BereichIDs nicht gleich sind, wird nichts unternommen. Sollte es keinen Bereich geben, der die passende BereichID hat, so wird man die for-Schleife verlassen, nachdem man über alle Elemente des Vectors *Bereiche* iteriert hat. In diesem Fall wird dann das NULL-Objekt zurückgegeben.

Die Konstruktoren

Die Konstruktoren dienen dazu die entsprechenden Objekte zu erzeugen und die Attribute zu initialisieren. Der Konstruktor der Bereichsverwaltung erzeugt für jeden Bereich ein entsprechendes Objekt und fügt es zur Liste der Bereiche hinzu. Diese Liste enthält alle Bereiche, die von dieser Bereichsverwaltung verwaltet werden.

Beim Erzeugen eines Bereich-Objekts muss man dem Konstruktor übergeben, welche BereichID der Bereich haben soll. Das Erzeugen einer eindeutigen ID wird also nicht vom Konstruktor der Klasse *Bereich* durchgeführt, sondern extern, in diesem Fall von der Bereichsverwaltung. Die ID wird dem Konstruktor als Parameter übergeben.

Der Konstruktor initialisiert die Bereichsnutzung mit dem Wert **keine**, da in dem Moment, in dem das Objekt erzeugt wird, noch keine Nutzung des Bereichs stattfindet. Der Bereichsverkehr wird mit **manuell** initialisiert. Der Bereich ist also zunächst für den autonomen Verkehr gesperrt. Autonome Fahrzeuge können also nicht sofort in den Bereich fahren, nachdem dieser erzeugt wurde.

Als nächstes erzeugt der Konstruktor für jeden Stellplatz in dem Bereich ein Stellplatz-Objekt. Die Objekte werden dann zur Liste der Stellplätze des Bereichs hinzugefügt. Als letzter Schritt wird der Bereich selber zur Liste aller Bereiche

¹Zeile 4 und 5 im Listing 5.2

hinzugefügt. Diese Liste ist eine Klassenvariable vom Typ `std::vector<Bereich*>`, also ein Vector, der Zeiger auf Objekte vom Typ `Bereich`.

Dem Konstruktor der Klasse `Stellplatz` muss man eine `BereichID` und eine `PlatzID` übergeben. Die `BereichID` ist die ID des Bereichs, in dem sich der Stellplatz befindet. Die `PlatzID` ist die ID des zu erzeugenden Stellplatzes. Wie beim Erzeugen eines `Bereich`-Objekts wird eine eindeutige ID also extern erzeugt.

Der Konstruktor von `Stellplatz` setzt den Wert von `status` auf `frei`, d.h. der Stellplatz ist zur Zeit weder vorgemerkt noch reserviert. Die Attribute `vorgemerktFür` und `reserviertFür` werden mit 0 initialisiert. Der Wert 0 bedeutet, dass der Platz nicht vorgemerkt bzw. reserviert ist. Als letztes fügt der Konstruktor den Platz zur Liste aller Stellplätze hinzu.

5.2 Implementation der Aufgabenverwaltung

Unterschiede zwischen dem Modell und der Implementierung

Ähnlich wie bei der Bereichsverwaltung gibt es auch bei der Auftragsverwaltung Methoden zweimal, mit jeweils unterschiedlichen Parametern. Beispielsweise erwartet die Methode `schrittBeendet` der Klasse `Aufgabenverwaltung` als Eingabeparameter einmal die ID einer Aufgabe und einmal einen Zeiger auf diese Aufgabe. Die folgenden Methoden gibt es analog zweimal: `anmeldungDurchführen`, `bereichAnfordern`, `bereichReservieren`, `bereichFreigeben`, `bereichUmschalten` und `fehlerBeheben`.

Bei der Klasse `Aufgabe` existiert die Methode `nächsterSchritt` zweimal. In der ersten Variante wird ihr übergeben, welcher Arbeitsschritt als letztes ausgeführt wurde und mit welchem Status. Die zweite Variante hat keine Eingabeparameter. Diese Methode muss in der Liste der erledigten Schritte nachschlagen, welcher Schritt als letztes ausgeführt wurde und was der Status dieser Ausführung ist.

Die Methode `nächstenSchrittAusführen` der Klasse `Aufgabenverwaltung` gibt es in vier Varianten. Bei der ersten Variante wird der Methode nur die ID der Aufgabe übergeben, für die der nächste Schritt ausgeführt werden soll. Bei der zweiten Variante wird ein Zeiger auf die entsprechende Aufgabe übergeben.

Bei der dritten Variante wird nicht nur die `AufgabeID` übergeben, sondern auch die ID des letzten ausgeführten Arbeitsschritts und der Status dieses Schritts. Bei der letzten Variante wird ein Zeiger auf eine Aufgabe, eine `ArbeitsschrittID` und ein Status übergeben. Alle vier Varianten haben den selben Zweck. Sie bestimmen, welcher Arbeitsschritt als nächstes ausgeführt werden muss und stoßen die Ausführung an.

Je nachdem welche Informationen man hat, kann man eine der vier Varianten ausführen. Hat man beispielsweise einen Zeiger auf ein Aufgabe-Objekt und die ID des letzten Schritt zusammen mit dessen Status, kann man die vierte Variante benutzen. Hat man hingegen nur die `AufgabeID` zur Verfügung, so muss man die

erste Variante benutzen.

Die eigentliche Aufgabe, den nächsten auszuführenden Arbeitsschritt zu bestimmen und diesen dann auszuführen, erledigt nur die vierte Variante der Methode. Die erste Variante, welche eine AufgabeID übergeben bekommt, benutzt die Methode `getAufgabe`, um das zur ID passende Aufgabe-Objekt zu bekommen. Mit diesem Objekt ruft sie dann die zweite Variante auf.

Die zweite Variante benutzt zunächst die Methode `getLetztenSchritt`, um einen Zeiger auf das Arbeitsschritt-Objekt des letzten ausgeführten Schritts zu erhalten. Damit hat man Zugriff auf die ArbeitsschrittID und den Status des letzten ausgeführten Schritts. Man ist somit in der Lage, die vierte Variante der Methode aufzurufen.

Die dritte Variante, welche eine AufgabeID, eine ArbeitsschrittID und einen Status übergeben bekommt, benutzt als erstes die Methode `getAufgabe`, um das passende Aufgabe-Objekt zu erhalten. Dann hat man alle Informationen, die man benötigt, um die vierte Variante auszuführen.

Implementierung der wesentlichen Methoden

Die Methode `nächstenSchrittAusführen` arbeitet wie folgt: Zuerst wird die Methode `nächsterSchritt` der Klasse `Aufgabe` aufgerufen. Der Methode wird die ArbeitsschrittID des letzten erledigten Schritts und dessen Status übergeben. Das Ergebnis ist die ArbeitsschrittID des nächsten auszuführenden Schritts.

Das Listing 5.3 zeigt einen Ausschnitt aus der Methode `nächstenSchrittAusführen`. Zuerst wird die Methode `nächsterSchritt` von der Aufgabe ausgeführt und das Ergebnis der Variablen `schrittID` zugewiesen. Danach wird mit einer `switch`-Anweisung die Methode aufgerufen, die den zu erledigenden Schritt ausführt. Wenn beispielsweise `schrittID` den Wert `anfordernAnnahme` hat, dann bedeutet dies, dass als nächster Schritt ein Stellplatz für eine Annahme durchgeführt werden soll. Dieser Arbeitsschritt wird von der Methode `bereichAnfordern` erledigt, welche daraufhin aufgerufen wird.

```

1 schrittID = aufgabe->nächsterSchritt(ArbeitsschrittID, status);
2 switch(schrittID){
3   case anfordernAnnahme:
4     return bereichAnfordern(aufgabe, aufgabe_annahme);
5   case anfordernAbgabe:
6     return bereichAnfordern(aufgabe, aufgabe_abgabe);
7   case bereichFreigeben:
8     return bereichFreigeben(aufgabe, BereichID, PlatzID);
9   [...]

```

Listing 5.3: Die Methode `nächstenSchrittAusführen`

Für jede ArbeitsschrittID muss eine `case`-Marke und eine Methode, die den entsprechenden Schritt ausführt, existieren. Die Methoden geben alle entweder `true`

oder false zurück, je nachdem, ob der Schritt erfolgreich ausgeführt wurde oder nicht. Dieses Ergebnis wird von der Methode `nächstenSchrittAusführen` zurückgegeben. Der Rückgabewert von `nächstenSchrittAusführen` ist also true, wenn der Schritt erfolgreich ausgeführt wurde, egal um welchen Schritt es sich dabei handelte. Analog wird false zurückgegeben, wenn der Schritt nicht erfolgreich ausgeführt wurde, unabhängig davon, welcher Schritt ausgeführt wurde.

Die Methode `nächsterSchritt` verwendet auch eine switch-Anweisung. Die case-Marken dieser switch-Anweisung sind ebenfalls ArbeitsschrittIDs, allerdings die ID des letzten erledigten Schritts und nicht des nächsten auszuführenden Schritts. In den case-Blöcken wird anhand des Status des letzten Schritts festgestellt, welcher Schritt als nächstes auszuführen ist und die ArbeitsschrittID dieses Schritts zurückgegeben. Für jeden Arbeitsschritt muss ein case-Block existieren und in jedem dieser Blöcke existiert für jeden möglichen Status eine Anweisung, welche die ArbeitsschrittID des nächsten auszuführenden Schritts zurückgibt. Das gesamte Wissen darüber, welcher Schritt, abhängig vom letzten Schritt und dessen Status, als nächstes ausgeführt werden muss, befindet sich in dieser Methode.

Die Methoden `bereichAnfordern`, `bereichReservieren`, `bereichUmschalten` und `bereichFreigeben` laufen nach demselben Grundprinzip ab. Zunächst wird eine Nachricht, dass ein Bereich angefordert, reserviert, umgeschaltet oder freigegeben werden soll, an die Bereichsverwaltung gesendet. Sobald man eine Antwort erhalten hat, wird die Durchführung des Arbeitsschritts mit dem Aufruf der Methode `schrittBeendet` beendet. Je nach der Antwort der Bereichsverwaltung wird der Schritt mit einem bestimmten Status beendet. Hat die Bereichsverwaltung die Aufgabe erfolgreich beendet, wird der Schritt mit dem Status `ok` beendet. Enthielt die Antwort der Bereichsverwaltung eine Fehlermeldung, wird der Schritt mit einem geeigneten Fehlerstatus beendet.

Die Methode `anmeldungDurchführen` hat einen hohen Anwendungsbezug. Bei der Anmeldung für eine Annahme müssen die Aufgaben, die auf dem Betriebshof erledigt werden sollen, eingegeben werden. Diese Aufgaben sind stark von der Anwendung geprägt. Beispielsweise sind die Aufgaben auf einem Speditionshof anders wie die Aufgaben auf einem RoLa-Bahnhof. Die Methode muss in der Lage sein, die anwendungsspezifischen Informationen zu den Aufgaben erst einmal zwischenzuspeichern und, sobald es notwendig ist, an den Leitstand weiterzureichen.

Mit der Methode `auftragAnLeitstandSenden` werden Fahraufträge an den Leitstand gesendet. Zum einen werden an den Leitstand Aufträge gesendet, die mit der Übergabe zu tun haben, z.B. das Hinausfahren eines Fahrzeugs aus einem Übergabebereich. Zum anderen werden die Aufgaben, die auf dem Betriebshof abgearbeitet werden sollen, an den Leitstand übertragen.

Das Senden von Aufträgen kann auf zwei Arten realisiert werden. Zum einen können die Aufträge an eine Aufgabenannahme, welche ein externes Modul des Leitstands ist, gesendet werden und diese sendet sie dann weiter an den Leitstand. Hierzu benötigt man eine geeignete Schnittstelle zur Aufgabenannahme, um die

Aufträge an diese zu senden.

Zum anderen können die Aufträge direkt an den Leitstand gesendet werden. Das Übergabemodul übernimmt in diesem Fall die Aufgaben der Aufgabenannahme und ersetzt somit dieses Modul. Die Funktionalität der Aufgabenannahme muss in diesem Fall vollständig vom Übergabemodul erfüllt werden.

Die Klassenmethoden

Die Klassenmethode `getAufgabe` der Klasse `Aufgabe` erwartet als Eingabeparameter die ID einer Aufgabe und liefert als Rückgabewert einen Zeiger auf die entsprechende Aufgabe.

Die Methode funktioniert analog zur Methode `getBereich`. Es wird über die Elemente eines Vectors, der alle Aufgaben enthält, iteriert. Falls man ein Aufgabe-Objekt findet, dessen `AufgabeID` identisch ist mit der `AufgabeID`, die als Eingabeparameter übergeben wurde, dann wird ein Zeiger auf das Aufgabe-Objekt zurückgegeben. Existiert keine Aufgabe mit der übergebenen `AufgabeID`, so wird das `NULL`-Objekt zurückgegeben.

Die Konstruktoren

Der Konstruktor der Klasse `Aufgabe` erwartet als Eingabeparameter eine `AufgabeID` und einen `AufgabeTyp`. Das Erzeugen einer eindeutigen ID wird von der Aufgabenverwaltung vorgenommen. Die ID wird dann dem Konstruktor übergeben. Außerdem wird dem Konstruktor noch übergeben, ob es sich bei der Übergabe um eine Annahme oder eine Abgabe handelt. Der Konstruktor setzt die Variablen `aufgabeTyp` und `AufgabeID` des erzeugten Objekts auf die übergebenen Werte. Abschließend wird das Objekt zu einem Vector, der alle Aufgaben enthält, hinzugefügt.

Der Konstruktor der Klasse `Arbeitsschritt` erwartet als Eingabeparameter eine `ArbeitsschrittID` und einen Status. Die entsprechenden Variablen des Objekts werden auf die übergebenen Werte gesetzt².

5.3 Implementation der Infrastruktur

Bei der Infrastruktur gibt es keine nennenswerten Unterschiede zwischen dem Modell und der Implementierung.

Die Klasse `Schranke` besitzt eine Klassenmethode `getSchranke`, die analog zur Methode `getBereich` der Klasse `Bereich`, funktioniert. Das bedeutet, dass die Methode eine `SchrankeID` als Eingabe erwartet und einen Zeiger auf das dazu passende `Schranke`-Objekt zurück gibt.

²mit den Anweisungen `this->ArbeitsschrittID = ArbeitsschrittID;` und `this->status = status;`

Die Methode `öffnen` der Klasse `Schranke` hat die Aufgabe eine Schranke zu öffnen. Die Methode muss dazu die Hardware der Schranke ansteuern, um diese zu öffnen. Das Ansteuern einer Schranke, und somit diese Methode, ist abhängig von der konkret verwendeten Hardware. Die Methode ist noch nicht implementiert, da noch nicht bekannt ist, was für eine Schranke verwendet wird, und somit die Schnittstelle zum Hardwaretreiber der Schranke unbekannt ist. Aus den selben Gründen ist auch die Methode `schließen` noch nicht implementiert.

Der Konstruktor der Klasse `Schranke` bekommt eine `SchrankeID` und eine `BereichID` übergeben. Die passenden Attribute werden dann auf die übergebenen Werte gesetzt. Der Zustand einer Schranke wird mit `geschlossen` initialisiert, d.h. die Schranke ist zunächst geschlossen. Im letzten Schritt fügt der Konstruktor das Schranke-Objekt dann noch zum `Vector`, der alle Schranke enthält, hinzu.

Die Klasse `Infrastruktur` besitzt die Methoden zum öffnen und schließen von Schranken in zwei Varianten. Bei der ersten wird ihr die `SchrankeID` der zu öffnenden bzw. schließenden Schranke übergeben. Bei der zweiten Variante erhalten die Methoden einen Zeiger auf ein Schranke-Objekt. Die erste Variante benutzt die Klassenmethode `getSchranke` der Klasse `Schranke`, um einen Zeiger auf das zur `SchrankeID` passende Objekt zu bekommen. Damit wird dann die zweite Variante aufgerufen. Es gibt die folgenden Methoden in zwei Varianten: `öffnen`, `schließen`, `öffnenUndSchließen` und `öffnenUndInformieren`.

Die Methoden `öffnenUndSchließen` sowie `öffnenUndInformieren` müssen in der Lage sein Informationen von einem Sensor zu empfangen. Der Sensor meldet der Methode, wenn ein Fahrzeug die offene Schranke passiert hat. Die Methode `öffnenUndSchließen` wartet bis sie einmal eine Meldung vom Sensor empfangen hat und schließt dann die Schranke wieder. Abschließen wird noch eine Nachricht versendet, dass die Schranke geschlossen wurde. Die Methode `öffnenUndInformieren` muss, solange die Schranke offen ist, bei jeder Meldung des Sensors, dass ein Fahrzeug die Schranke passiert hat, eine entsprechende Nachricht senden.

Kapitel 6

Fazit

In dieser Diplomarbeit wurden zunächst drei Lösungsmöglichkeiten für die Gestaltung von Übergabebereichen entworfen. Beim Entwurf wurde darauf geachtet, dass sie unabhängig von den Anwendungen sind. Das heißt, dass die Übergabebereiche für Übergaben auf beliebigen Betriebshöfen, sei es nun ein Speditionshof, ein Bahnhof der Rollenden Landstraße oder sonst ein Hof, verwendet werden können.

Bei den Lösungsmöglichkeiten handelt es sich um konzeptionelle Lösungen. Das bedeutet, dass durch die Variation von Parametern, z.B. die Anzahl der Stellplätze in einem Bereich, zahlreich verschiedene Übergabebereiche entworfen werden können, die aber alle nach demselben Prinzip funktionieren. Es sollte daher möglich sein, für jeden Betriebshof einen oder mehrere passende Übergabebereiche zu entwerfen.

Beim Entwurf der Lösungsmöglichkeiten wurde keine Rücksicht auf den Leitstand oder das zu entwickelnde Modul genommen. Damit wurde verhindert, dass man die Lösungsmöglichkeiten nur mit dem entwickelten Modul und dem Allgemeinen Leitstand verwenden kann. Die Übergabebereiche lassen sich somit auch mit anderen Übergabemodulen verwenden und sind nicht an eines gebunden.

Das entwickelte Modul wurde so konzipiert, dass es mit dem Allgemeinen Leitstand zusammenarbeiten kann. Es ist von der Anwendung unabhängig und sollte daher mit jeder Spezialisierung des Allgemeinen Leitstands funktionieren. Bisher wurde das Modul noch nicht zusammen mit einem Leitstand getestet. Dies zu tun ist eine mögliche Aufgabe für eine zukünftige Studien- oder Diplomarbeit.

Bei der Modellierung wurde darauf geachtet, dass das Modul mit möglichst allen Lösungsmöglichkeiten für die Übergabebereiche funktioniert. Der Fokus bei der Modellierung lag bei der Einzel- und der Gruppenlösung. Mit diesen Lösungen funktioniert das Modell. Für die Parkplatzlösung muss man noch einige Änderungen vornehmen.

Bei der Parkplatzlösung erfolgt das Umschalten von manuell auf autonom und umgekehrt in festen Zeitintervallen und nicht bei Bedarf wie bei den anderen Lösungen. Man braucht also noch eine Funktion, die in festgesetzten Zeitabständen

immer wieder die Ausführung einer Umschaltung anstößt.

Außerdem werden bei der Parkplatzlösung immer zwei Parkplätze parallel umgeschaltet. Das Modul handhabt die Übergabebereiche aber unabhängig voneinander. Für die Parkplatzlösung muss dem Modul eine Funktion hinzugefügt werden, welche zwei eigentlich unabhängige Bereiche koordiniert, damit diese gleichzeitig umgeschaltet werden können.

Es wurde erfolgreich ein Modul entwickelt, das bei Verwendung von Übergabebereichen der Einzel- oder Gruppenlösung alle anwendungsunabhängigen Funktionen bereitstellt, die notwendig sind, um Übergaben durchzuführen. Zudem wurde aufgezeigt, welche Funktionen anwendungsabhängig sind. Zum Beispiel muss die Funktion, mit der Anmeldungen durchgeführt werden, anwendungsspezifische Aufträge, die auf dem Betriebshof ausgeführt werden sollen, entgegennehmen.

Das in dieser Diplomarbeit entwickelte Modul schließt eine Lücke in der Funktionalität des Leitstandes. Bisher konnte der Leitstand nur Fahrzeuge steuern, die sich schon auf dem Hof befinden oder einfach aus dem Nichts dort auftauchten (so wurde bisher die Übergabe simuliert). Jetzt ist es möglich Fahrzeuge zu übergeben. Sie können in den Betriebshof hineinfahren und auch wieder hinausfahren.

Die Entwicklung von automatisierten Betriebshöfen ist sicherlich noch nicht beendet und es wird noch einige Zeit vergehen, bis diese serienreif sind und in großem Umfang eingesetzt werden. Diese Arbeit stellt damit nicht das Ende der Entwicklung dar, sondern ist nur ein Schritt eines stetig fortlaufenden Entwicklungsprozesses.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Justiz. *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)*. Bundesministerium für Justiz, 2004. Erhältlich unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stvzo/index.html>.
- [2] FGSV Forschungsgesellschaft für Straßen-und Verkehrswesen. *EAR 05 - Empfehlungen für die Anlagen des ruhenden Verkehrs*. FGSV Verlag, Köln, 2005.
- [3] René M. Lotz and Vanessa Thewalt. *Entwicklung eines Konzeptes für Fahrerlose Transportsysteme am Beispiel des Innovativen Logistikhofes*. Universität Koblenz-Landau, Daimler-Chrysler AG Stuttgart-Untertürkheim, 2006. Diplomarbeit.
- [4] Daniel Schüller and Ralf Töppner. *Anpassung eines Leitstands für autonome Fahrzeuge an die Rollende Landstraße*. Universität Koblenz-Landau, 2007. Diplomarbeit.
- [5] Hans Wenger. *UIRR 30 Jahre: Geschichte der Internationalen Vereinigung der Gesellschaften für den Kombinierten Verkehr Schiene-Straße (UIRR) und des Kombinierten Güterverkehrs Schiene-Straße in Europa 1970-2000*. Brüssel, 2001. Erhältlich unter: <http://www.uirr.com/document/pub/Buch-D-final.pdf>.
- [6] Dieter Zöbel. Trajectory Segmentation for the Autonomous Control of Backward Motion for Truck and Trailer. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 4(2):59–66, 6 2003.