



Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

---

# Konzeption, Projektierung und Inbetriebnahme eines mehrachsigen Positioniersystems

---

Bachelorarbeit

Name des Studiengangs

Elektrotechnik

Fachbereich 1

vorgelegt von

Aaron Zielstorf

Datum:

Berlin, 04.06.2021

Erstgutachter\_in: Herr Prof. Dr. Stephan Schäfer

Zweitgutachter\_in: Herr Dipl.-Ing. Dirk Schöttke

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| Aufgabenstellung   | IV        |
| Abbildungsverzeichnis  | V         |
| Tabellenverzeichnis  | VI        |
| Abkürzungsverzeichnis  | VII       |
| <b>1 Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 Theoretische Grundlagen</b>                             | <b>2</b>  |
| 2.1 Requirements Engineering . . . . .                       | 2         |
| 2.2 Anlagenprojektierung . . . . .                           | 3         |
| <b>3 Konzeption</b>  | <b>4</b>  |
| 3.1 Vorstellung der Laboranlage . . . . .                    | 4         |
| 3.1.1 Aufbau des Positioniersystems . . . . .                | 5         |
| 3.1.2 Betriebsumgebung . . . . .                             | 6         |
| 3.1.3 Betriebsmodi . . . . .                                 | 6         |
| 3.2 Anforderungsanalyse . . . . .                            | 11        |
| 3.2.1 Funktionale Anforderungen . . . . .                    | 12        |
| 3.2.2 Nicht-funktionale Anforderungen . . . . .              | 20        |
| 3.3 Identifikation der Stakeholder . . . . .                 | 36        |
| 3.4 Kontextanalyse . . . . .                                 | 38        |
| 3.5 Anwendungsfallspezifikation . . . . .                    | 42        |
| 3.5.1 Entwicklung der Systemprozesse . . . . .               | 42        |
| 3.5.2 Präzisierung der Systemprozesse . . . . .              | 43        |
| 3.6 Verhaltensspezifikation . . . . .                        | 51        |
| 3.7 Partitionierung . . . . .                                | 53        |
| 3.7.1 Erster Partitionierungsschritt . . . . .               | 53        |
| 3.7.2 Zweiter Partitionierungsschritt . . . . .              | 54        |
| 3.7.3 Dritter Partitionierungsschritt . . . . .              | 55        |
| 3.8 Testspezifikation . . . . .                              | 57        |
| <b>4 Projektierung</b>                                       | <b>58</b> |
| 4.1 Genereller Aufbau der Automatisierungssoftware . . . . . | 58        |
| 4.2 Implementierung der Modelle . . . . .                    | 59        |
| 4.3 Peripherie-Schnittstellen . . . . .                      | 60        |
| 4.4 Anwenderschnittstelle . . . . .                          | 61        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>5</b> | <b>Inbetriebnahme</b>                         | <b>62</b> |
| 5.1      | Programm-Implementation . . . . .             | 62        |
| 5.2      | Verifizierung der Testspezifikation . . . . . | 63        |
| 5.3      | Programmkorrektur und -verbesserung . . . . . | 64        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung und Fazit</b>              | <b>65</b> |
| <b>7</b> | <b>Ausblick</b>                               | <b>66</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                   | <b>67</b> |
|          | Bücher . . . . .                              | 67        |
|          | Artikel . . . . .                             | 67        |
|          | <b>Anhang</b>                                 | <b>68</b> |
|          | <b>Eidesstattliche Erklärung</b>              | <b>69</b> |

## Aufgabenstellung

# Abbildungsverzeichnis

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Logische Kontextabgrenzung . . . . .      | 39 |
| 2 | Physikalische Kontextabgrenzung . . . . . | 40 |
| 3 | Anwendungsfalldiagramm . . . . .          | 43 |
| 4 | Zustandsdiagramm . . . . .                | 52 |
| 5 | Erster Partitionierungsschritt . . . . .  | 54 |
| 6 | Zweiter Partitionierungsschritt . . . . . | 55 |
| 7 | Dritter Partitionierungsschritt . . . . . | 56 |

# Tabellenverzeichnis

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | FA - EIN-Schalter . . . . .                               | 13 |
| 2  | FA - Wahlschalter Betriebsmodus . . . . .                 | 14 |
| 3  | FA - Positionieren auf zwei Achsen . . . . .              | 15 |
| 4  | FA - Bremsen der Achsbewegungen . . . . .                 | 16 |
| 5  | FA - Regulierung der Fahrgeschwindigkeit . . . . .        | 17 |
| 6  | FA - Greifen von Transportobjekten . . . . .              | 18 |
| 7  | FA - Tastersteuerung im Handmodus . . . . .               | 19 |
| 8  | FA - Anpassung des Fahrverhaltens . . . . .               | 20 |
| 9  | NFA - Sicherheit für Leib und Leben . . . . .             | 22 |
| 10 | NFA - Freigabe nach Fehlersituation . . . . .             | 23 |
| 11 | NFA - Signalisierung Gefahrensituation . . . . .          | 23 |
| 12 | NFA - Indikatorleuchten Betriebsmodi . . . . .            | 24 |
| 13 | NFA - Abbremsen der Achsen . . . . .                      | 24 |
| 14 | NFA - Gehäuse . . . . .                                   | 25 |
| 15 | NFA - Ausfallhäufigkeit . . . . .                         | 26 |
| 16 | NFA - Verhinderung von Schäden an der Anlage . . . . .    | 27 |
| 17 | NFA - Kabelmitführung . . . . .                           | 28 |
| 18 | NFA - Endlagesensorik . . . . .                           | 29 |
| 19 | NFA - Geschwindigkeitsreduktion in Endlagennähe . . . . . | 30 |
| 20 | NFA - Programmierschnittstelle . . . . .                  | 31 |
| 21 | NFA - OPC UA Schnittstelle . . . . .                      | 32 |
| 22 | NFA - Betriebsstrommessung . . . . .                      | 33 |
| 23 | NFA - räumliche Vorgabe . . . . .                         | 34 |
| 24 | NFA - Hardwarevorgaben . . . . .                          | 35 |
| 25 | Stakeholder . . . . .                                     | 37 |
| 26 | Systemprozess - Objekttransport . . . . .                 | 46 |
| 27 | Systemprozess - Joggen der Achsen . . . . .               | 47 |
| 28 | Systemprozess - Programmänderungen vornehmen . . . . .    | 49 |
| 29 | Systemprozess - Prozessdaten bereitstellen . . . . .      | 50 |

# **Abkürzungsverzeichnis**

**FA** Funktionale Anforderung

**NFA** Nicht-Funktionale Anforderung

**AR** Augmented Reality

**VR** Virtual Reality

**HMI** Human Machine Interface

**MMS** Mensch-Maschine-Schnittstelle

**LMC** Logic Motion Controller

**LXM** Lexium

**OPC** Open Plattform Communications

**UA** Unified Architecture

**ID** Identifikationsnummer

**SPS** speicherprogrammierbare Steuerung

---

# 1 Einleitung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.



---

## 2 Theoretische Grundlagen

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

### 2.1 Requirements Engineering

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 2.2 Anlagenprojektierung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

---

## 3 Konzeption

Dieses Kapitel unterteilt sich in acht Abschnitte. Die Konzeptionierung der Laboranlage erfolgt nach dem Requirement Engineering, welches als theoretische Grundlage im ersten Kapitel behandelt wurde.

Im ersten Unterkapitel wird die Laboranlage vorgestellt. Daran anschließend steht im Mittelpunkt der Entwicklungsprozess zum Entwurf des mehrachsigen Positioniersystems. Schwerpunkt der Arbeit liegt dabei auf dem Software- und Systementwicklungsprozess, während der Hardware- und Hardwareentwicklungsprozess in verkürzter Form Erwähnung findet (jeweils am Ende des Unterkapitels).

Der Entwicklungsprozess unter dem Gesichtspunkt der Konzeption des Systems umfasst dabei sieben Kernabschnitte, welche sich in die Anforderungsphase des Entwicklungsprozesses eingliedern. Bei den Kernabschnitten handelt es sich um folgende Analyseschwerpunkte.

- **Anforderungsanalyse:** Es wird unterschieden zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an das System.
- **Identifikation der Stakeholder:** Ermittlung aller an der Systementwicklung und Systemnutzung beteiligten Personen zur Feststellung von Randbedingungen an die Anforderungen.
- **Kontextanalyse:** Finden der Systemgrenzen und Ermittlung von Nachbarsystemen.
- **Anwendungsfallspezifikation:** Identifizierung der Systemprozesse und anschließende Präzisierung.
- **Verhaltensspezifikation:** Modellierung des Systemverhaltens.
- **Partitionierung:** Untergliederung des Systems in logische Sinnesabschnitte zur Verringerung der Komplexität.
- **Testspezifikationen:** Festlegung von Prüfkriterien zur Bestätigung der Anforderungsumsetzung.

### 3.1 Vorstellung der Laboranlage

In diesem Unterkapitel wird zunächst die Laboranlage vorgestellt, die im Verlauf der Arbeit unter den Gesichtspunkten des Requirement Engineerings und der Anlagenprojektierung konzipiert, projektiert und in Betrieb genommen werden soll. Im ersten Abschnitt wird das bereits elektrisch fertiggestellte Positioniersystem dargestellt. Im Mittelpunkt steht hierbei die Erleuterung des Aufbaus und die Beschreibung der Funktionalität der Anlage. Der zweite Abschnitt behandelt die Eingliederung des Systems in seine Arbeitsumgebung.

Dabei soll ein erster Überblick zum Einsatz der Positioniereinheit gegeben werden. Zuletzt werden die Betriebsmodi der Laboranlage vorgestellt, wobei genauer auf den Workflow im jeweiligen Modus eingegangen werden soll.

### 3.1.1 Aufbau des Positioniersystems

Wie bereits aus dem Thema der Bachelorthesis erkenntlich ist, handelt es sich bei der behandelten Laboranlage um ein mehrachsiges Positioniersystem. Dieses besitzt zum Zeitpunkt der ersten Inbetriebnahme zwei Achsen (siehe Bild).

Die horizontale Achse des Systems ist fest an der Wand montiert und hat eine Länge von rund 1600mm (effektiver Fahrtweg). Vertikal montiert auf dieser befindet sich die beweglich gelagerte zweite Achse der Positioniereinheit. Diese besitzt die Möglichkeit lineare Bewegungen zwischen den Endlagesensoren der Horizontalachse durchzuführen. Bei der Befestigung an der waagerechten Achse handelt es sich um ein doppeltes Schlittensystem auf Rollen. Die Bewegung der Achse erfolgt über ein Gummiriemen, der fest an der Vertikalachse befestigt ist, und über Umlenkrollen und einen Servomotor an der Horizontalachse bewegt werden kann. Auf der senkrechten Achse befindet sich ein weiterer Schlitten, der ebenso beweglich gelagert ist und sich auf einem Fahrtweg von rund 2000mm zwischen zwei Endlagen bewegen kann. Auf diesem ist ein simples Greifsystem angebracht, welches horizontale 180 Grad Schwenkbewegungen durchführen kann, und in der Lage ist, grundlegende Greifoperationen durchzuführen.

Für die Zuleitungen zu den auf den bewegten Anlagenteilen montierten Aktoren und Sensoren wurden Energieketten verbaut, sodass Kabel Prozesssicher miteführt und eine dauerhafte Strom-, sowie Datenversorgung aller Systemkomponenten gewährleistet werden kann. An den beiden äußersten Profilen (sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite der Anlage) sind Ablagepositionen vorgesehen, von bzw. auf welche simple Transportgüter aufgenommen und abgelegt werden können.

Auf der rechten Seite direkt neben der Positioniereinheit sind der Schaltschrank sowie die Speicherprogrammierbare Steuerung (im Folgenden als SPS bezeichnet) an der Wand montiert. Die Kabel der Aktoren und Sensoren des Systems münden an der Unterseite des Schrankes, sowie die Stromzuleitung und sämtliche Aus- und Eingangsverbindungen zu bzw. von der SPS und dem sich neben dieser befindenden Servoantrieb. Auf der Vorderseite an der Tür des Schaltschranks sind Bedienelemente aufgeschraubt, die für die Grundlegende Steuerung der Anlage benutzt werden können.

Zur gewährleistung der Sicherheit von Mensch und Anlage sind am Eingang des Positioniersystems sowohl ein Lichtvorhang als auch Not-Halt Bedienelemente montiert. Stromfrei kann die Anlage über den Hauptschalter an der rechten Seite des Schaltschranks geschaltet werden.

### 3.1.2 Betriebsumgebung

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt bereits die Grundlegenden Funktionen und der Aufbau der Positioniereinheit dargestellt wurden, beschäftigt sich dieses Unterkapitel mit der Darstellung der Eingliederung des Systems in dessen Arbeitsumgebung.

Aufgebaut befindet sich das mehrachsige Positioniersystem im Laborraum G422 der HTW Berlin am Campus Wilhelminenhofstraße. Dort wurde die Anlage im Rahmen meines Praktikums errichtet. Nachfolgen ist es Ziel der Bachelorthesis, diese Anlage für den Lehrzweck in Betrieb zu nehmen. Konkret soll die Positioniereinheit für zwei Anwendungen eingesetzt werden.

Erstere gliedert sich direkt in die Unterrichtseinheiten des Laborbetriebs im späten Bachelor- und das gesamte Masterstudium im Themenfeld Automatisierungstechnik ein. Jeder studentische Laborplatz besitzt die Möglichkeit sich mit dem System zu verbinden, um es mit Automatisierungssoftware, die in den Lehreinheiten entwickelt wird zu bespielen und diese an der Anlage zu testen. Es soll die Möglichkeit bestehen, Trajektorien zu fahren, bei denen virtuelle Hindernisse umgangen werden, und Objekte von einem Ausgangspunkt zu einem Zielpunkt transportiert werden können. Die Nutzung der realen Anlage dient dabei als Prüfmöglichkeit der vorher von den Studierenden nur simulativ getesteten Automatisierungssoftware. Ziel ist es den Laboranten eine Laboranlage zur Verfügung zu stellen, die in der Industrie in ähnlicher Weise aufzufinden ist, um bereits im Studium spätere Arbeitsabläufe aufzuzeigen.

Die zweite Anwendung des mehrachsigen Positioniersystems ist Teil eines Laborübergreifenden Projektes, welches nicht in dieser Arbeit behandelt wird. Aus dessen Zielen ergeben sich weitere Anforderungen an die Laboranlage. Es sollen Daten aus dem Prozessablauf bereitgestellt werden, aus denen eine Wertschöpfung für das Projekt generiert werden kann. Die gewonnenen Daten sollen extern weiterverarbeitet werden. Dazu müssen weitere Schnittstellen im System bereitgestellt werden, um generierte Daten mit Peripheriegeräten austauschen zu können.

### 3.1.3 Betriebsmodi

Die Nutzung der Laboranlage erfolgt in zwei verschiedenen Betriebsmodi. Um den Produktivbetrieb des Positioniersystems einzuleiten, muss der Nutzer zwischen dem Automatikmodus und dem Handmodus auswählen, die Im Folgenden detailliert beschrieben werden.

**Automatikbetrieb:** Bei dem Automatikmodus handelt es sich um den standard betriebsmodus der Laboranlage. Dieser kann vollautomatisch im Dauerbetrieb eingesetzt werden und erfordert nicht die Anwesenheit vom Nutzer. Der Prozessablauf ist programmatisch vorgeschrieben und wird zyklisch durchgeführt. Zur erstmaligen Inbetriebnahme sollen einfache Transportaufgaben durchgeführt werden. So könnte beispielsweise von einer Ablageposition A ein Objekt gegriffen und um Hindernisse herum transportiert werden, so dass besagtes Objekt an einer Zielposition B wieder abgesetzt wird. Danach fährt die Anlage

wieder zu Position A um erneut ein Objekt für den Transport aufzunehmen.

Konkret muss das Positioniersystem im ersten Schritt unter Spannung gesetzt, in dem der Hauptschalter (400V Ebene) betätigt wird. Dieser befindet sich, wie bereits im vorherigen Unterkapitel erwähnt, auf der rechten Seite des Schaltschranks. Darauf folgend muss im zweiten Schritt die Steuerung (LMC Pro von Schneider Electric) eingeschalten, sowie alle Betriebsmittel auf der 24V Ebene mit Strom versorgt werden. Dies geschieht über den Ein-Taster, welcher sich auf der Front des Schaltschranks befindet. Der Eingeschaltete Zustand wird über eine Lampe auf der Schaltschrankfront signalisiert. Als Netzteil dient das LXM62P Powersupply von Schneider Electric, welches 3-phasig an der Drehstromsteckdose des Laborraumes angeschlossen ist. Dieses versorgt den LXM62D double Drive von Schneider Electric. Die 24V Steuerungsebene wird von einem separaten Netzteil im Schaltschrank versorgt. Mit einem Wahlschalter kann nun der Automatikmodus des Systems angewählt werden. Bestätigt wird dieser über einen weiteren Taster an der Schaltschranktür. Die erfolgreiche Auswahl des Automatikmodus wird über eine Signalleuchte, welche mit „Auto“ betitelt ist, indiziert. Die Anlage wechselt aus dem Leerlauf in den vollautomatischen Betrieb.

Nach der Wahl des Automatikmodus, bewegt das Positioniersystem die auf den beiden Achsen montierte Greifeinrichtung aus der Ausgangsposition des Leerlaufes (auch als Home bezeichnet) zur Ablageposition A. Dazu werden zunächst die Bremsen der beiden Motoren gelöst, welche für die Bewegung der jeweiligen Achse verantwortlich sind. Ist die Position vor der Ablagestelle A erreicht, wird im nächsten Schritt ein Schwenkarm mit Greifer so zur Ablageposition A rotiert, dass ein sich darauf befindliches Objekt gegriffen werden kann. Es folgt besagter Greifprozess, um das auf Ablageposition A befindliche Objekt aufzunehmen.

Das Positioniersystem muss nun einen Fahrtweg bewältigen, der mit virtuellen Hindernissen bestückt ist, um Trajektorien zum Transport von Gütern in mit Objekten blockierten Umgebungen zu erproben. Es ist nicht möglich eine geradlinige Bewegung von Startposition A zur Zielposition, dem Ablageort B, zu fahren. Weiterhin kann auch nicht erst der komplette Fahrtweg in vertikaler Richtung (Z-Richtung) bewältigt werden, und dann die Bewegung in horizontaler Richtung (X-Richtung), noch eine geradlinige Bewegung, so dass die Z- und X-Koordinate des Zieles gleichzeitig erreicht werden. Die Hindernisse werden programmatisch vorgegeben, und sind somit der Laboranlage bzw. der Automatisierungssoftware bekannt.

Im nächsten Schritt werden dem Positioniersystem Koordinaten übergeben, die wenn diese durchfahren werden, den Weg von Startposition A zu Zielposition B ergeben. Dabei soll berücksichtigt werden, dass nur an der Start- und Zielposition umfangreichere Beschleunigungen stattfinden sollen, welche die Achsen aus der Ruhe beschleunigen bzw. diese wieder abbremsen, die einzelnen Punkte auf dem Weg werden nur durchfahren. Zur Minimierung von starken Trägheitsmomenten ist es weiterhin notwendig, dass die beiden Achsen zusammen keine rein gradlinigen Fahrtwege zwischen den Wegpunkten

nutzen, sondern im Splineförmigen Bahnen die einzelnen Koordinatenpunkte abfahren. Die konkrete Parametrierung der Splines und der sich daraus ergebenden Trajektorien soll Teil der Testszenarien des mehrachsigen Positioniersystems sein.

An der Zielposition angekommen, schwenkt der sich auf der Z-Achse befindende Arm um, und das Objekt wird über der Ablageposition vom Greifer losgelassen, so dass es auf der Zielposition verweilt. Die Anlage fährt nun den Weg zur Startposition zurück, um ein weiteres Objekt aufzunehmen und dieses wie bereits beschrieben zu transportieren.

Mögliche spätere Erweiterungen könnten sein, dass der Rückweg anders gewählt wird, da kein Objekt transportiert wird und somit auftretende Trägheitsmomente und Schwingungen keine wichtige Rolle spielen. Alternativ könnte auch auf dem Rückweg ein anderes Objekt von Ablageposition B zu Ablageposition A transportiert werden, welches andere Eigenschaften aufweist, was den Fahrtweg beeinflussen könnte.

Für die vollständige Automatisierung des Prozesses ist eine spätere Erweiterung nötig, bei der auch die Ablageposition(en) automatisch mit neuen Transportobjekten bestückt werden. Es würde sich eine Aufrüstung mit Förderbänder von und zu den Ablagepositionen der Anlage lohnen, so dass stetig neue Objekte dem Positioniersystem bereitgestellt, und von diesem auch wieder entnommen werden können.

Im letzten Schritt kann die Anlage wieder deaktiviert werden, was über die Abwahl des aktuellen Betriebsmodus geschieht. es muss der gleiche Taster wie bei der Auswahl des Modus betätigt werden. Dies ist in jedem Moment während der Laufzeit des Automatikmodus möglich. Die letzte Transportaufgabe wird noch vollständig zu Ende durchgeführt. Danach findet das Homing statt, bei dem der sicherer Ausgangszustand der Anlage wieder angefahren und die Bremsen der Motoren wieder aktiviert werden. Die Bremsen dienen beim Erreichen des Leerlaufes nicht nur zum Abbremsen der Achsen, sondern sind nötig, damit der Schlitten auf der Vertikalachse nicht bis nach unten fällt. Nach erfolgreicher Abwahl des Betriebsmodus erlischt die Indikatorlampe für den Automatikbetrieb wieder. Nur wenn kein Modus ausgewählt ist, kann die 24V Ebene wieder spannungsfrei geschaltet, und die Laboranlage wieder deaktiviert werden. Dies geschieht über den Aus-Taster auf der Front des Schaltschranks. Nach Betätigung des Tasters erlischt die Lampe, welche die Betriebsbereitschaft des Positioniersystems signalisiert.

**Handbetrieb:** Bei dem Handmodus handelt es sich um die zweite Betriebsart der Positioniereinheit. Anders als im Automatikbetrieb dient der Handmodus nicht als Abarbeitungsmodus für Positionieraufgaben, sondern soll als manuelle Bedienmöglichkeit genutzt werden können. Das heißt konkret, dass erst durch das Betätigen von Tastern Bewegungen und Aktionen durchgeführt werden.

Wie auch schon im Automatikmodus wird die Anlage zunächst unter Spannung gesetzt durch Betätigung des Hauptschalters. Anschließend wird über den Ein-Taster die 24V Ebene aktiviert, wodurch auch alle verbundenen Anlagenkomponenten (SPS, Sensoren und Aktoren) eingeschaltet werden. Zur Auswahl des Handbetriebes muss nur der Be-

triebsmodusschalter auf „HAND“ eingestellt, und nachfolgend per Taster bestätigt werden. Die erfolgreiche Auswahl wird durch das Aufleuchten der zugehörigen Signalleuchte auf der Front des Schaltschranks symbolisiert.

Nach der Wahl des Handmodus verbleibt die Anlage zunächst im Ruhezustand. Die beiden Achsen befinden sich an der Ausgangsposition, die im Leerlauf hergestellt ist. Um die Positioniereinheit in Bewegung zu setzen ist nun eine Nutzereingabe nötig.

An der Frontseite des Schaltschranks befindet sich ein Vierfachtaster mit Pfeilen in X- und Z-Richtung. Mittels der Taster kann per Druck die jeweilige Achse bewegt (gejoggt) werden. Dies geschieht solange, bis der Taster wieder losgelassen wird oder eine der Endlagen erreicht ist. Bei Betätigung eines Tasters fahren die Achsen jedoch nicht mit voller Geschwindigkeit an, sondern beschleunigen erst langsam. Auch die Beschleunigung beim Loslassen bzw. Abbremsen einer Achse ist verringert gegenüber dem Automatikmodus. Über ein Potentiometer rechts neben den vier Bewegungstastern kann die Fahrtgeschwindigkeit reguliert werden.

Nach Manuellem Navigieren zu den Ablagepositionen besteht an diesen die Möglichkeit, den Greifer einzusetzen. Nun muss jedoch jeder einzelne Schritt, also Umschwenken zur Ablage, Greifen und wieder Loslassen einen Transportobjektes per Druckknopf getriggert werden.

Weiterhin ist als Randbedingung im Handbetrieb vorgesehen, dass in den äußeren Bereichen des Positioniersystems zum einen nur geringere Geschwindigkeiten gefahren werden können, als auch, dass die Beschleunigung der Achsen in diesen Bereichen gedämpft ist, um zu verhindern, dass die Schlitten auf den jeweiligen Achsen über die Endlagen hinaus Abbremsen und mit den harten Stoppelementen am äußersten Ende der Achsen kollidieren. Im Handmodus sind keine virtuellen Hindernisse vorgesehen auf dem Fahrtweg des Greifers, da kein Mehrwert aus dem manuellen Umfahren gewonnen wird und maximal die Koordination des Nutzers trainiert werden kann. Programmatisch wäre an dieser Stelle kein Mehrwert zu erreichen, falls der Nutzer per Tastendruck Hindernisskollisionen verhindern sollte.

Nach Wiederabwahl des Handmodus bewegt sich die Anlage zurück in ihre Ausgangsposition (es findet wie auch schon im Automatikmodus ein Homing statt).

**Sicherheitsbezogene Randbedingungen:** Als letzten Unterpunkt in diesem Teilkapitel soll noch ein Überblick zu den Sicherheitsmaßnahmen der Anlage gegeben werden. Für die detaillierte Darstellung und Projektierung des Sicherheitskonzeptes wird an dieser Stelle auf das Kapitel Safetykonzept im dritten Teil Bachelorthesis verwiesen.

Allgemein wird durch jegliche Sicherheitsmaßnahmen an und um die Laboranlage herum sichergestellt, dass weder Mensch noch Maschine Schaden nehmen kann. Grundlegend muss gewährleistet sein, dass das Positioniersystem nicht außerhalb seiner vorgesehenen Aufgaben und Abläufe agieren kann. Dazu sind kurz vor jedem Ende der zwei Achsen des Systems induktive Endlagesensoren verbaut. Diese lösen aus, wenn ein Schlitten auf einer Achse das Ende eines Fahrbereiches einer Achse erreicht hat. Ist dies der Fall, wird die



betreffende Achse umgehend abgebremst. Diese Sicherheitsmaßnahme ist zum einen im Handbetrieb aber auch im möglichen Fehlerfall von höchster Relevanz. Dem Anlagennutzer darf zum einen nicht eine Achse im manuellen Betrieb auf einen der Puffer am Ende des befahrbaren Weges auffahren lassen, zum anderen muss die Anlage in egal welcher Situation (was auch den Fehlerfall einschließt) unweigerlich an den Endlagesensoren zum Stillstand abbremsen.

Es können weiterhin aber auch im normalen Betriebsablauf Fehler oder Notfälle entstehen, die dem System nicht durch das Erreichen von einem oder mehreren Endlagepositionen bekannt werden. So muss verhindert werden, dass eine sich im Bereich der Positioniertheit befindliche Person nicht in den Prozess physisch eingreifen kann. Dazu ist, wie bereits zum Eingang des Unterkapitels erwähnt, ein Lichtvorhang vor dem Positionier- bzw. Fahrbereich der Laboranlage installiert. Wird der Vorhang durchbrochen, löst dies ein Signal aus, welches dazu führt, dass die Anlage schnellstmöglich abbremst und zum Stillstand kommt. Es handelt sich folglich um eine Not-Halt Funktionalität. Selbige kann auch von einer Person manuell ausgelöst werden, auch ohne dass der Lichtvorhang ein Eindringen in den Positionierprozess detektiert hat. Sowohl auf der Linken, als auch auf der rechten Seite des Systems ist ein einrastender Not-Halt Taster montiert. Falls Fehler oder Notfall vorliegt, kann dieser betätigt werden.

Damit das mehrachsige Positioniersystem nach einem Fehler wieder seinen Betrieb aufnehmen kann, muss der Fehler zunächst beseitigt werden und anschließend kann über zweifaches Drücken eines dafür deklarierten Tasters am Schaltschrank die Anlage wieder Freigegeben werden. Nach dieser Handlung setzt die Anlage entsprechend ihres aktuell ausgewählten Betriebsmodus ihren ursprünglichen Ablauf fort.

Auch durch visuelle Signale soll die Sicherheit von Menschen, die sich in der Nähe oder an der Maschine befinden verbessert werden. Dazu wird eine Signalampel genutzt, die bei Bewegung von Achsen blinkt und im Eingeschalteten Zustand des Positioniersystems immer mindestens in einer Farbe leuchtet. Konkrete Umsetzungen werden auch hierzu im Kapitel zum Sicherheitskonzept beschrieben.

## 3.2 Anforderungsanalyse

In der Analysephase der Systementwicklung werden die Kundenanforderungen zusammengetragen und untersucht. Dabei stellt die Anforderungsanalysephase den ersten Schritt zum Aufstellen der initialen Dokumente für den Prozess dar. In weiteren Iterationen liegen der Anforderungsanalyse zusätzlich zu der ursprünglichen Aufgabenstellung noch die Ergebnisse der Tests und die erkannten Analysefehler ebenfalls als Quelle vor.

Die Ermittelten Anforderungen werden untergliedert in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen (kurz **FAs** und **NFAs**). Diese Unterteilung findet in der Arbeit in separaten Unterabschnitten statt, die sich nachfolgend anschließen. Die Identifikation der Stakeholder ist grundsätzlich der Anforderungsanalyse zugehörig, wird jedoch in einem gesonderten, sich der Anforderungsanalyse anschließenden, Unterkapitel behandelt, da es sich im Kontext des Konzeptionsteils dieser Arbeit um einen Kernabschnitt handelt.

Zur übersichtlichen Einordnung des jeweiligen Analyseschrittes wird die Grafik Analysephase eingeführt, an der sich die folgenden Kapitel entlangbewegen. Die Anforderungsanalyse kann auf der linken Seite der Grafik identifiziert werden und untergliedert sich in die bereits erwähnten drei Unterpunkte.

Die folgenden Abschnitte betrachten die Erstellung einer konkreten Anforderungsspezifikation, die zum Startbeginn des Entwicklungsprozesses vorliegen muss. In den Unterabschnitten zu den Funktionale Anforderungen (FAs) und Nicht-Funktionale Anforderungen (NFAs) werden die notwendigen Anforderungen für die Entwicklung der Laboranlage vorgestellt. Dabei sind die Hardwareanforderungen nur Beispielfhaft aufgelistet, da die Systemhardware nur eine Untergeordnete Relevanz in dieser Arbeit hat. Alle nicht aufgeführten Anforderungen wurden ergänzend im Anhang beigelegt.

Aus der theoretischen Grundlagen bereits erkenntlich, bestehen Anforderungen aus Zielen, die im Rahmen der Entwicklung erreicht werden sollen. Dabei handelt es sich um einfachen Text, der nach Absprachen mit dem Kunden Dokumentiert wird. Konkret geht es im Fall dieser Arbeit um die definierten Aufgaben und Ziele, welche durch Professoren/innen und Laboringenieure/innen bzw. Mitarbeiter/innen des Fachbereiches aufgestellt wurden. Auch selbstauferlegte Aufgaben (Anforderungen des Systementwicklers) werden mit aufgeführt. Im ersten Schritt ist es notwendig die Menge aller Aufgaben zu konkretisieren, um überflüssige und irrelevante Lösungen diese betreffend zu vermeiden.

Ausgangspunkt für die Entwicklung des mehrachsigen Positioniersystems sind folgende Kernanforderungen bzw. Ziele. Es wird gefordert, eine Laboranlage zu entwickeln, die simple Transportgüter sicher von einer Aufnahme-Position zu einem Ablageort transportieren kann. Dies soll über zunächst zwei Achsen geschehen, die es ermöglichen Bewegungen in horizontale Richtung (X-Achse) und vertikale Richtung (Z-Achse) durchzuführen. Dabei ist es relevant, dass verschiedene Trajektorien von der Anlage gefahren werden können, welche durch den Nutzer programmatisch vorgegeben werden. Die Bewegung der Achsen erfolgt über zwei getrennt ansteuerbare Servomotoren, die über einen Servoregler mit einer Industriesteuerung verbunden sind. Die Steuerungskomponenten sind bereits vorhanden

und müssen verwendet werden. Konkret handelt es sich um den LMC101 (Logic Motion Controller) von Schneider Electric, das LXM 62 P Netzgerät (engl. Powersupply, ebenfalls von Schneider Electric) und den LXM 62 D Doppelantrieb (engl. Double Drive). Zusätzlich soll eine PFC200 Steuerung von Wago zum Einsatz kommen, mit der Betriebsströme gemessen und für die Weiterverarbeitung bereit gestellt werden können. Weiterhin sollen auch ausgewählte Prozessdaten aus dem Systemablauf für die externe Verarbeitung zur Verfügung gestellt werden. Es ist vorgegeben, dass diese Daten per Open Plattform Communications (OPC) Unified Architecture (UA) Schnittstelle ausgelesen werden können. Kernziel bei der Entwicklung des Laborsystems ist es die Möglichkeit bereitzustellen, dass die Positioniereinheit von jedem Laborplatz programmiert und als Testsystem für den Lehrzweck eingesetzt werden kann. Für den Betrieb der Anlage sind zwei Betriebsmodi vorgesehen. Ersterer, der Automatikbetrieb soll einen Vollautomatischen Prozessablauf ermöglichen, bei welchem eine konkrete Positionieraufgabe zyklisch durchgeführt wird. Zweiterer, der Handbetrieb, nimmt manuelle Steuerbefehle vom Nutzer entgegen, bei welchen über Tastereingaben an der Laboranlage, Fahrbewegungen entlang der beiden Achsen durchgeführt werden können. Die Auswahl bzw. ein Wechsel zwischen den Betriebsmodi, ist über einen Wahltaster zu implementieren. Außerdem ist ein Schutz für die Anlage und deren Nutzer, sowie sich um das Positioniersystem befindende Personen zu implementieren. Der Schutz ist manuell auslösbar über Not-Halt Taster an der Laboranlage und durch einen Lichtvorhang vor dem Fahrbereich der beiden Achsen. Abschließend wird gefordert, dass es zu einem späteren Zeitpunkt noch möglich ist, das System um weitere Achsen und Peripheriegeräte wie bspw. Förderbänder zu erweitern.

### 3.2.1 Funktionale Anforderungen

Der erste Unterabschnitt der Anforderungsanalyse behandelt die Modellierung der funktionalen Anforderungen des Prozesses. Im Requirements Engineering beschreiben Funktionale Anforderungen gewünschte Funktionalitäten des Systems. Konkret steht im Mittelpunkt der Analyse, welche Fähigkeiten das System besitzen soll bzw. was es umgangssprachlich formuliert tun kann. Die Auflistung der Anforderungen ist eine Sammlung von systemspezifischen Daten, sowie eine grundlegende Beschreibung des Systemverhaltens.

Die Dokumentation der funktionalen Anforderungen erfolgt typischerweise in Tabellenform. Bereits in den Anforderungen wird ein Abnahmekriterium für diese formuliert, um bei der Inbetriebnahme des Systems die Erfüllung der Anforderung bestätigen oder widerlegen zu können.

Die nachfolgenden Tabellen zu den funktionalen Anforderungen sind wie folgt strukturiert. Im ersten Eintrag, der **Beschreibung**, wird zunächst in kurzer Textform die Anforderung an das System formuliert. Im nächsten Punkt, dem **Abnahmekriterium** findet eine Erklärung zur Überprüfung der Umsetzung behandelter Anforderung statt. Die Tabellenzeile **Quelle** verweist auf einen oder mehrere Einträge in der Stakeholdertabelle, welche im Unterabschnitt 3.3 vorgestellt wird. Bei Nachfragen zu der jeweils behandelten funktionalen

Anforderung ist die Tabelle zur Klärung durch den Prozessentwickler heranzuziehen. Der Eintrag **Begründung** enthält Informationen zur Relevanz der Anforderung, die in der Tabelle beschrieben wird. Dem Punkt **Abhängigkeit** unterliegt eine besondere Wichtigkeit, da hier alle Anforderungen aufgelistet sind, die auf der in der Tabelle beschriebenen Anforderung basieren bzw. in direkter Abhängigkeit zu dieser stehen. Der letzte Eintrag, die **Identifikationsnummer** (kurz ID) dient zur späteren Referenzierung und leichterem Nachschlagen einer Anforderung. Sie ist hilfreich, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden und eine eindeutige Identifizierung sicherzustellen.

Die Nachfolgenden Tabellen folgen dem beschriebenen Muster und beinhalten alle funktionalen Anforderungen des mehrachsigen Positioniersystems. Die Anforderungen an die Hardware des Systems sind nur Beispielhaft am Ende des Unterabschnittes erwähnt. Alle nicht erwähnten Anforderungen können im Anhang nachgeschlagen werden.

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Das Positioniersystem soll über einen dedizierten Einschalter unter Spannung gesetzt werden können.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Test des gekennzeichneten Einschalters unter Prüfung der Systemspannung nach Betätigung des Schalters.  |
| <b>Quelle</b>                | Laborpersonal siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Es wird verlangt, bei Nichtnutzung des Systems dieses zu deaktivieren um das Gefahrenrisiko zu minimieren.  |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Positioniereinheit kann erst nach dem Einschalten genutzt werden (Auswahl des Betriebsmodus).</li> <li>• Es sind Schutzmaßnahmen für Anwender und Anlage umzusetzen, um das Gefahrenrisiko zu minimieren.</li> </ul> |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.1   |

Tabelle 1: Funktionale Anforderung - Ein-Schalter

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Über einen Wahlschalter soll der Betriebsmodus des mehrachsigen Positioniersystems vorgegeben werden können.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Auswahl des Betriebsmodus wird über die jeweilige Indikatorenleuchte bestätigt. Der ausgewählte Betriebsmodus kann genutzt werden.  |
| <b>Quelle</b>                | Prozessentwickler siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Es ist hilfreich die Auswahl zwischen dem Normalbetrieb (Automatikbetrieb) und dem Handbetrieb zu haben, um das System besser Testen und kalibrieren zu können.   |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Abarbeitung der Schritte des Automatikbetriebs</li><li>• Laboranlage befindet sich in Bereitschaft für Eingaben im Handmodus</li><li>• Indikatorleuchten Betriebsmodi</li></ul> |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.2   |

Tabelle 2: Funktionale Anforderung - Wahlschalter Betriebsmodus

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Das Positioniersystem soll zwei bewegbare Achsen besitzen, die sich getrennt Steuerbar horizontal und vertikal auf ihrem jeweiligen Profil bewegen können. |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Die beiden Achsen bewegen sich bei Tastereingaben im Handmodus und vollautomatisch im Automatikmodus.  |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Um Positionieraufgaben durchführen zu können, müssen Achsen zum einsatz kommen, auf denen bzw. durch welche Bewegungen durchgeführt werden können.         |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Fahren von Trajektorievorgaben</li><li>• Joggen der beiden Achsen durch Nutzereingaben</li></ul>                   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.3  |

Tabelle 3: Funktionale Anforderung - Positionieren auf zwei Achsen

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Bewegungen auf den zwei Achsen sollen gebremst werden können.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Sowohl ein Erreichen von Endlagepositionen, sowie Start- und Zielpositionen, die Nichtbetätigung von Bewegungstastern im Handmodus und das Auslösen des Not-Halts führen zu einem Bremsen und abschließendem Halten der Achsbewegungen. |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Bewegungen entlang der Achsen müssen auch wieder gestoppt werden können, um Beschädigungen der Anlage oder Verletzungen von Menschen zu verhindern.   |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhindern des Runterfallens des beweglichen Schlittens auf der vertikalen Achse (Z-Achse)</li> <li>• Einhalten der Sicherheit für Leib und Leben</li> </ul>                                   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.4   |

Tabelle 4: Funktionale Anforderung - Bremsen der Achsbewegungen

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Die Geschwindigkeit, mit der die Positioniereinheit Bewegungen durchführt, soll reguliert werden können.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Das Einstellen von Geschwindigkeiten über ein Potentiometer an der Schaltschrankfront führt zur Änderung der Fahrgeschwindigkeit der Achsen.   |
| <b>Quelle</b>                | Prozessentwickler siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Das Regulieren der Fahrgeschwindigkeit erleichtert auf der einen Seite die Identifikation von Fehlern (langsames Fahren), auf der anderen Seite kann die Dauer von Positionieraufgaben verringert werden (schnelleres Fahren). |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Positionieren auf Zwei Achsen</li> <li>• Verringerung der Beschleunigung und Fahrgeschwindigkeit in Endlagennähe</li> </ul>   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.5  |

Tabelle 5: Funktionale Anforderung - Regulierung der Fahrgeschwindigkeit



|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Durch einen schwenkbaren Greifarm soll es möglich sein zu transportierende Objekte aufzunehmen und wieder abzulegen.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Transportobjekt befindet sich in Obhut des Systems und kann bewegt werden.   |
| <b>Quelle</b>                | Prozessentwickler siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Das Ausführen von Positionieraufgaben wird erst dann ein praxisnahes Beispiel, wenn auch typische Anwendungen aus der Praxis durchgeführt werden (z. B. Transportaufgaben in Hochregallagern). |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Bestückung und Abtransport von Auf- und Ablagepositionen mit Transportobjekten (Erweiterung - z. B. Förderbänder)  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.6  |

Tabelle 6: Funktionale Anforderung - Greifen von Transportobjekten

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Über Tastereingaben soll es möglich sein die beiden Achsen im Handmodus zu bewegen (joggen) und die Greifaktionen manuell auszulösen (triggern).   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Tasteingaben auf dem Vierwegeschalter führen im Handbetrieb zu Achsbewegungen. Durch die Betätigung der vorgesehenen Taster schwenkt der Greifarm um 180° werden und der Greifer wird geöffnet bzw. geschlossen. |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Es sind Taster an unter anderem der Schaltschrankfront erforderlich, um das mehrachsige Positioniersystem im Handmodus nutzen zu können.   |
| <b>Abhängigkeit</b>          | ---  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.7  |

Tabelle 7: Funktionale Anforderung - Tastersteuerung im Handmodus

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Durch programmatisches Eingreifen soll das Fahrverhalten (z. B. Trajektorien) vorgegeben bzw. angepasst werden können.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Der Fahrweg zwischen zwei konstanten Punkten wurde erfolgreich angepasst und das System führt abweichende Bewegungsmuster aus.  |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Durch die Möglichkeit Fahrparameter und somit auch Trajektorien anpassen zu können, wird es möglich verschiedene Parameter zu Testen und diese miteinander zu vergleichen. Dadurch ergibt sich ein Optimierungspotential der Laboranlage. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Programmierschnittstelle zu den Laborcomputern  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 1.1.8   |

Tabelle 8: Funktionale Anforderung - Anpassung des Fahrverhaltens

### 3.2.2 Nicht-funktionale Anforderungen

Dieses Unterkapitel behandelt die Modellierung der nicht-funktionalen Anforderungen in der Anforderungsanalyse. Nicht-funktionale Anforderungen sind Forderungen an die Qualität in welcher Funktionalitäten zu erbringen sind. Auch Randbedingungen für das System bzw. den Prozess werden mit bei den nicht-funktionalen Anforderungen berücksichtigt. Die **Qualitätsanforderungen** gliedern sich in Zeitanforderungen, Sicherheit für Leib und Leben und Zuverlässigkeit, sowie Verfügbarkeit. Bei *Zeitanforderungen* handelt es sich meist um Reaktionszeiten eines Systems. Dabei wird unterschieden zwischen harten und weichen Zeitanforderungen. Der Verstoß gegen harte Zeitanforderungen kann mitunter sehr gravierend sein, wohingegen das Nichteinhalten von weichen Zeitanforderungen meist nur als Störfaktor gesehen werden kann. Zeitanforderungen finden sich im Entwicklungsprozess überwiegend in der Beschreibung von Systemprozessen oder in Aktivitäten des Zustandsdiagrammes wieder.

Anforderungen bezüglich *Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit* treten in der Modellierung in den Knoten des Verteilungsdiagrammes oder fließen in die Systembeschreibung ein.

In die Klasse der Anforderungen bezüglich *Sicherheit für Leib und Leben* fällt die Risikovermeidung von Schäden an Menschen, Produkten und die Umwelt.

Abschließend werden die **Randbedingungen** das System betreffend als Sonderklasse der

nicht-funktionalen Anforderungen betrachtet. Man unterteilt diese in zwei Kategorien. Es wird unterschieden zwischen Bedingungen, die sich auf das System und Bedingungen, die sich auf den Entwicklungsprozess auswirken.

Erstere sind Technologievorgaben, physikalische Anforderungen, Umweltanforderungen und Vorgaben für die Einbettung und Verteilung des Systems. Sowohl Technologievorgaben, als auch Vorgaben an die Einbettung und Verteilung fließen direkt in die Modellierung ein. So werden bspw. Nachbarsysteme im Kontextdiagramm und Forderungen nach bestimmter Hardware im Verteilungsdiagramm aufgeführt. Zu den physikalischen Anforderungen zählen z. B. Aussagen über das Gehäuse bzw. die Räumlichkeit, in die das Produkt am Ende der Entwicklung passen muss. Unter Umweltanforderungen versteht man bspw. klimatische Bedingungen, unter denen das System arbeiten muss.

Randbedingungen für den (Entwicklungs-) Prozess basieren auf Vorschriften und Traditionen. Dabei meinen Traditionen Vorschriften, die sich aus bereits früheren Entwicklungen einer Firma ergeben haben.

Zuletzt soll an dieser Stelle noch eine entscheidende Problematik, die durch die Modellierung nicht-funktionaler Anforderungen auftritt, erwähnt werden. Es besteht die Möglichkeit, dass nicht-funktionale Anforderungen entgegengesätzliche Dinge verlangen. Um diese Problematik zu beseitigen oder zumindest zu minimieren, hat sich in der Praxis die Vergabe von Prioritäten bewährt. So kann in Tabellenform eine Prioritätsreihenfolge erstellt werden. Diese hilft dem Entwickler zu entscheiden, wie er sich beim Auftreten eines Konfliktes verhält.

Da nun auch die theoretische Grundlage zu den nicht-funktionalen Anforderungen ausreichend beleuchtet ist, folgt die tabellarische Auflistung aller nicht-funktionalen Anforderungen des mehrachsigen Positioniersystems. Dazu wird die selbe Form wie auch schon bei den funktionalen Anforderungen genutzt. Wie auch schon im vorherigen Unterkapitel angewendet, werden die Anforderungen den Hardwareprozess betreffend nur beispielhaft erwähnt.

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Die Gefahr, dass ein Anwender oder eine sich in Anlagennähe befindene Person durch die Bewegung der Positioniereinheit verletzt wird, soll bestmöglich minimiert werden. Dazu sind Not-Halt Taster vorgesehen, die durch den Anwender betätigt werden können. Zusätzlich ist ein Lichtvorhang verbaut, der die Anlage stoppen soll, falls eine Person durch diesen in den Gefahrenbereich eindringt. |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Durch die Simulation einer Notsituation in Form des Auslösens eines Not-Halt Tasters oder eines Lichtvorhangs muss die Laboranlage unverzüglich Bremsen und in einen haltenden Zustand übergehen, bis die Gefahrensituation behoben ist.   |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Sicherheit für den Anwender und sich in der Nähe der Anlage befindende Personen.   |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Freigabe nach Fehlersituation</li> <li>• Signalisierung Gefahrensituation</li> </ul>  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.1  |

Tabelle 9: Qualitätsanforderung zu Sicherheit für Leib und Leben

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Durch einen Freigabetaster an der Schaltschrankfront kann nach einer Not-Halt-Situation die Anlage wieder in einen betriebsbereiten Zustand zurückgeführt werden. |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Das Positioniersystem führt seinen normalen Prozessablauf nach Freigabebestätigung im Not-Halt-Modus fort.  |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Das mehrachsige Positioniersystem sollte nach Beendigung der Fehlersituation seinen Betriebsablauf wieder fortsetzen können.                                      |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Sicherheit für Leib und Leben   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.2   |

Tabelle 10: Nicht funktionale Anforderung - Freigabe nach Fehlersituation

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Es soll eine Signalampel verbaut werden, die eine erhöhte Risikosituation signalisiert, wenn das Positioniersystem in Bewegung ist.                             |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Die Signalampel leuchtet entsprechend des aktuellen Systemzustandes.  |
| <b>Quelle</b>                | Prozessentwickler siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Eine den sich um die Laboranlage befindenden Personen ersichtliche Signalisierung einer Gefahrensituation minimiert das Risiko der Verletzung durch die Anlage. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Sicherheit für Leib und Leben   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.3   |

Tabelle 11: Nicht funktionale Anforderung - Signalisierung Gefahrensituation

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Der aktive Betriebsmodus soll per Indikatorenleuchte signalisiert werden.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Die Indikator-LED leuchtet entsprechend des aktuellen Betriebsmodus.   |
| <b>Quelle</b>                | Prozessentwickler siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Der Aanlgennutzer benötigt eine visuelle Rückmeldung zum ausgewählten Betriebsmodus, um die Laboranlage entsprechend bedienen zu können. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Wahl des Betriebsmodus   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.4  |

Tabelle 12: Nicht funktionale Anforderung - Indikatorleuchten Betriebsmodi

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Der Abbremsvorgang nach der Auslösung des Not-Halts soll so schnell wie möglich sein.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Nach Auslösen des Not-Halts bremsen beide Achsen direkt und das Positioniersystem befindet sich nach spätestens 0,5s im Stillstand. |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Um verletzungen zu verhindern muss die Laboranlage so schnell wie möglich abbremsen in einer Not-Halt-Situation.                    |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheit für Leib und Leben</li> <li>• Bremsen der Achsbewegungen</li> </ul>             |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.5   |

Tabelle 13: Zeitanforderung - Abbremsen der Achsen

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Die rechte und linke Seite der Laboranlage sollen mit Plexiglasscheiben bestückt werden. Die elektrische Verteilung ist in einem Schaltschrank unterzubringen.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Das Positioniersystem ist von den Seiten mit Plexiglas abgeschirmt und die elektrischen Betriebsmittel bzw. deren Anschlüsse sind in einem Schaltschrank untergebracht.  |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Weder der Anlagenbereich, in dem Achsbewegungen stattfinden, noch der Anlagenbereich, in dem das Risiko zur Verletzung durch einen elektrischen Schock bestehen dürfen frei zugänglich sein, um Verletzungen zu vermeiden. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Sicherheit für Leib und Leben  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.6  |

Tabelle 14: Physikalische Anforderung - Gehäuse



|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Das System sollte möglichst nicht während des Betriebs ausfallen.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Es findet maximal ein Systemausfall alle 10.000h Betriebsstunden statt.   |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Das mehrachsige Positioniersystem muss zuverlässig laufen, um sowohl für den Lehrzweck als auch für die Gewinnung von Systemdaten zur Weiterverarbeitung eingesetzt werden zu können. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | ---   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.7   |

Tabelle 15: Qualitätsanforderung - Ausfallhäufigkeit

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Die Beschädigung der Laboranlage durch die Bewegung der Achsen soll bestmöglich verhindert werden.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Es wurden alle üblichen Betriebsmittel zur Verhinderung von Schäden durch bewegliche Systemkomponenten verbaut. Weiterhin existiert eine Not-Halt Funktionalität. |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Die Beschädigung der Positioniereinheit würde sowohl zu Kosten als auch potentiellen Personenschäden führen, was dringlichst vermieden werden muss.               |
| <b>Abhängigkeit</b>          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Sicherheit für Leib und Leben</li><li>• Kabelmitführung</li></ul>   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.8   |

Tabelle 16: Qualitätsanforderung - Verhinderung von Schäden an der Anlage

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Kabel an den Beweglichen Bauteilen der Positioniereinheit müssen sicher mitgeführt werden.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Die Laboranlage besitzt für jede bewegliche Achse eine E-Kette in welchen sich die Kabel der Betriebsmittel der jeweiligen Achse befinden.   |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Sämtliche Kabel zu beweglichen Systemkomponenten müssen beweglich gelagert werden, da diese sonst mit umliegenden Betriebsmitteln interferieren könnten. Weiterhin wird dadurch verhindert, dass Kabel reißen. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Verhindern von Schäden an der Anlage   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.1.9  |

Tabelle 17: Qualitätsanforderung - Kabelmitführung

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Fahrbewegungen über den Fahrbereich hinaus müssen verhindert werden.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Es wurden sowohl Induktive Näherungsschalter als auch Bremspuffer an allen Enden der Achsen verbaut. Sämtliche Bewegungen stoppen schon an den induktiven Enlagesensoren. Tritt ein Fehler auf, fährt die jeweilige Achse auf den Bremspuffer auf und stoppt dort. |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Die beweglichen Schlitten auf den Achsen dürfen nicht über die Achsenden hinausfahren, da diese sonst runterfallen würden, was unhinderlich zu Schäden an der Anlage führt.  |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Verhindern von Schäden an der Anlage   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.2.0  |

Tabelle 18: Qualitätsanforderung - Endlagesensorik

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Sowohl Beschleunigung als auch Fahrgeschwindigkeit soll in Endlagennähe verringert sein.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Bewegungen in den Endbereichen der beiden Achsen finden merklich langsamer statt.   |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Zu hohe Beschleunigungen und Geschwindigkeiten nah der Enden der Achsen führen zu möglichen längeren Bremswegen. Dies bedeutet, dass beim Auslösen der Endlagesensoren nicht mehr rechtzeitig angehalten werden kann und die beweglichen Schlitten auf den Achsen mit den Bremspuffern kollidieren könnten. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | Verhindern von Schäden an der Anlage  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.2.1   |

Tabelle 19: Qualitätsanforderung - Geschwindigkeitsreduktion in Endlagennähe

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Es soll die Möglichkeit bereitgestellt werden von jedem Laborcomputer die Anlage mit Programmcode zu bespielen.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Die SPS kann in der MachineExpert Programmierumgebung gefunden und mit Programmen bespielt werden.   |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Für den Einsatz der Laboranlage im Lehrbetrieb muss die Anlage im Labornetzwerk gefunden werden können, um von den Studierenden als Anwendungsbeispiel genutzt werden zu können. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | ---  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.2.2  |

Tabelle 20: Randbedingung - Programmierschnittstelle

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Die SPS soll zusätzlich als OPC UA Server fungieren, über welchen Prozessdaten aus einer globalen Variablenliste ausgegeben werden. Dazu gehören Positionsdaten der beiden Achsen, sowie deren aktuelle Geschwindigkeit und Beschleunigung. Es kann der Status der Bremsen ausgelesen werden und der Betriebsstrom der gesamten Anlage.   |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Über einen OPC UA Client können alle Daten ausgelesen werden.   |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Die Laboranlage soll über einen AR Server betrachtet werden können, um schneller und anschaulicher Informationen über die Anlage zu erhalten. Außerdem wird das Positioniersystem als Anwendungsbeispiel im OpenBASYS Projekt der Hochschule eingesetzt, bei dem die Anlage über Verwaltungsschalen aufgesetzt wird. Dazu ist es nötig interne Variablen nach außen über OPC UA Schnittstelle zugänglich zu machen. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | ---   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.2.3   |

Tabelle 21: Randbedingung - OPC UA Schnittstelle

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Es soll eine zweite SPS verbaut werden, die über eine Energieklemme verfügt, über welche der Betriebsstrom des Systems gemessen werden kann.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Über einen OPC UA Client kann auch der Betriebsstrom ausgelesen werden.   |
| <b>Quelle</b>                | Mitarbeiter der Labore siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Über die Bereitstellung des aktuellen Stromverbrauches der Anlage können Rückschlüsse über die Effektivität der Anlage geschlossen werden. Da der Verbrauch des Positioniersystems somit bekannt ist, besteht die Möglichkeit Optimierungen an der Laboranlage durchzuführen. Es könnten beispielsweise Trajektorien verbessert werden, so dass weniger Strom benötigt wird für die Bewegungen. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | OPC UA Schnittstelle  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.2.4   |

Tabelle 22: Randbedingung - Betriebsstrommessung



|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Beschreibung</b>          | Das mehrachsige Positioniersystem soll im Laborraum G 422 der HTW Berlin an der Rückwand des Raumes aufgebaut und in Betrieb genommen werden.  |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | System ist sichtbar an der Rückwand des Raumes eingebaut.  |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste  |
| <b>Begründung</b>            | Da das System den Fachbereich 1 und dem Themengebiet Automatisierungstechnik sowie Industrielle Kommunikation zugeordnet werden kann, bietet es sich an dieses in einem der entsprechenden Laborräume aufzubauen. Aus platztechnischen Gründen und dem Vorhandensein von kompatibler Hardware (zur Simulation des Systems) ist es erforderlich dieses im Raum G 422 zu installieren. |
| <b>Abhängigkeit</b>          | ---  |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.2.5  |

Tabelle 23: Randbedingung - räumliche Vorgabe

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Beschreibung</b>          | Die Steuerungskomponenten der Laboranlage sind bereits vorhanden und müssen verbaut werden. Die Hauptsteuerung (SPS des Positioniersystems) ist der LMC101 von Schneider Electric. Zusammen mit dem LXM62 P und LXM62 D Modul gehört dieser zum PacDrive System und ist für Motion Systeme (Bewegte Systeme) entwickelt worden. Sowohl das erwähnte Netzteil (LXM62 P) als auch der Servoregler (LXM62 D) sind bereits vorhanden und sollen mit verbaut werden. Aus diesen Technologievorgaben ergibt sich auch die Wahl der Entwicklungsumgebung zur Programmierung des Systems. Um die Laboranlage in Betrieb zu nehmen ist es nötig diese mit einem Automatisierungsprogramm zu bespielen, welches im MachineExpert Logic Builder entwickelt wurde. Die beiden Motoren des mehrachsigen Positioniersystems stammen auch von Schneider Electric. Es handelt sich um die SH3 multiturn Servos mit Bremse. Auch die SPS für die Strommessung per Energieklemme ist vorgegeben. Es soll eine Wago SPS der PFC200 Serie verbaut werden, welche sich bereits im Inventar des Fachbereiches befindet. |
| <b>Abnahmekriterium</b>      | Vorgegebene Hardware wurde verbaut.   |
| <b>Quelle</b>                | Lehrpersonal siehe Stakeholderliste   |
| <b>Begründung</b>            | Die Hardware wurde von besagten Industrieunternehmen gestellt und musste nicht käuflich erworben werden. Da diese somit vorhanden ist und für vergleichbare Systemaufbauten entwickelt wurde, wird diese verwendet.   |
| <b>Abhängigkeit</b>          | ---   |
| <b>Identifikationsnummer</b> | 2.2.6   |

Tabelle 24: Randbedingung - Hardwarevorgaben

### 3.3 Identifikation der Stakeholder

Wie in Grafik 1 zu erkennen ist, gehört die Ermittlung der für das Projekt wichtigen Personen (nachfolgen als Stakeholder bezeichnet) zur Anforderungsanalyse. Als Stakeholder gelten Personen, die an der Systementwicklung beteiligt sind aber auch zukünftige Anwender bzw. Personen, die vom Einsatz des Systems betroffen sind. Die in den vorangehenden Unterkapiteln aufgenommenen Anforderungen und Randbedingungen haben ihre Grundlage auf den von den Stakeholdern bereitgestellten Informationen. Dabei vertreten die Stakeholder verschiedene Interessen das zu entwickelnde System betreffend.

Wie auch schon bei den nicht-funktionalen Anforderungen festgehalten wurde, können unterschiedliche und sogar konträre Bedürfnisse und Ansprüche von den Stakeholdern aufgestellt werden. Um den Entwicklungsprozess durch widersprüchliche Anforderungen von Stakeholdern nicht behindern zu lassen, wird eine tabellarische Auflistung aller für das System relevanten Personen erstellt. Es findet eine Klassifizierung der Stakeholder statt, aus der ersichtlich wird, welche Person bzw. welcher Personenkreis für eine bestimmte Thematik als Ansprechpartner gilt. Anforderungen aus einem bestimmten Themenfeld werden priorisiert, wenn diese von Personen des selbigen Themenfeldes gestellt wurden. Tabelle 3 zeigt die Auflistung aller Stakeholder des mehrachsigen Positioniersystems. Besonders wichtige Spalten der Tabelle sind zum einen die Rolle des oder der Stakeholder(S), der bzw. die Vertreter und deren Wissensgebiet.

| Rolle der Stakeholder                      | Beschreibung   | Konkrete Vertreter   | Wissensgebiet   | Begründung  |
|--|--|--|---|---|
| Lehrpersonal der Hochschule                | Auftraggeber für den eigentlichen Einsatz des Systems  | Herr Prof. Dr. Schäfer<br>Tel.: 5019-3466<br>E-Mail: Stephan.Schaefer@HTW-Berlin.de      | Lehre und Forschung im Gebiet der Automatisierungstechnik                               | Auftraggeber und Verantwortlicher                                 |
| Mitarbeiter der Labore für Automatisierung | Geben zusätzliche Anforderungen für die Verwendung vor | Herr Dipl. Ing. Dirk Schöttke<br>Tel.: 5019-3564<br>E-Mail: Dirk.Schoettke@HTW-Berlin.de | Ingenieur mit Fachkenntnissen in der Automatisierungstechnik sowie Anlagenprojektierung | Sorgt für die Eingliederung des Systems in Übergeordnete Projekte |

|                          |  |   |   |  |
|--------------------------|--|---|---|--|
| Studenten der Hochschule | Sind die eigentlichen benutzer des Systems                             | keine Vertreter   | Arbeiten mit den Laboranlagen des Fachbereiches | Müssen das System im Lehrbetrieb der Hochschule benutzen                         |
| Prozessentwickler        | Person(en) die für die Entwicklung des Systems verantwortlich ist/sind | Herr Aaron Zielstorff<br>tel.: +49177/2847470<br>E-Mail: Aaron.Zielstorff@HTW-Berlin.de | Entwickler des Positioniersystems               | Ist verantwortlich für die Realisierung des Systems nach gegebenen Anforderungen |

Tabelle 25: Stakeholder des mehrachsigen Positioniersystems

Die Auflistung der Stakeholder ergibt, dass grundsätzlich zwei Interessengebiete und somit auch zwei Interessensgemeinschaften existieren, was die Anforderungen und Interessen an das Positioniersystem betrifft. Auf der einen Seite soll die Positioniereinheit im Lehrbetrieb im Labor eingesetzt werden, um vorlesungsbegleitend Studierenden die Möglichkeit zu bieten, praxisnah Industriesteuerungen für Bewegungsaufgaben (Motion Controlling) zu programmieren. Dazu zählt auch die Anforderung von jedem Arbeitsplatz aus Automatisierungssoftware zu entwickeln, die nach Fertigstellung auf die Steuerung des mehrachsigen Positioniersystems übertragen werden kann, um Positionieraufgaben an einem realen System durchzuführen. Ziel soll es sein dadurch nicht nur rein simulativ die Abläufe bei der Inbetriebnahme eines solchen Systems zu erproben, sondern zusätzlich auch reale physikalische Einflüsse mit zu berücksichtigen, die eventuelle Abweichungen zu simulierten Automatisierungsprogrammen aufweisen. Außerdem müssen bei der Nutzung realer Hardware auch die Sicherheit von Mensch und Maschine mit berücksichtigt werden, da Gefahren durch den Betrieb des Systems auftreten können.

Auf der anderen Seite soll das Positioniersystem in Drittprojekten mit eingebettet werden. Dazu ist es von Relevanz, dass wichtige Systemdaten über einen OPC UA Server (diese Rolle wird von der Steuerung übernommen) bereitgestellt werden. Über diese Schnittstelle können Daten aus dem Prozess abgegriffen werden, die in einem externen System bzw. in einem Peripheriesystem weiterverarbeitet oder genutzt werden können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Positioniereinheit Wertschöpfung als Lehrmittel für Studierende und als Quelle für relevante Systemdaten zu diversen Zwecken generieren soll. Dazu ist es unabdinglich, dass sie über ethernetbasierte Schnittstellen (Netzwerkschnittstellen) mit externen Geräten kommunizieren kann.

### 3.4 Kontextanalyse

Ziel der Kontextanalyse ist die Abgrenzung des Kontexts bzw. das Finden von Systemgrenzen. Bei dem mehrachsigen Positioniersystem handelt es sich um ein sogenanntes eingebettetes System (engl. Embedded System). Diese kommunizieren meist stark mit ihrer Umwelt bzw. sind meist stark mit dieser verankert. So auch hat das Positioniersystem Schnittstellen, über die eine Kommunikation mit Nachbarsystemen stattfindet. In der Systemkonzeption muss folglich geklärt werden, wo genau die Systemgrenzen liegen. Weiterhin findet in der Kontextabgrenzung auch die Identifizierung von Nachbarsystemen statt.

Zuerst muss geklärt werden, ob die Systemumgebung dynamischer natur ist, das heißt, dass Nachbarsysteme wechseln bzw. das System nicht umgebungstreu ist. Handelt es sich im Gegensatz dazu um ein System mit stabiler Umgebung, ist die Darstellung von Nachbarsystemen simpel und kann nachfolgend im entsprechenden Diagramm dokumentiert werden. Da das mehrachsige Positioniersystem fest in den Laborraum integriert ist, und alle Nachbarsysteme bereits bekannt sind, wird in der Analyse von einer statischen Umgebung ausgegangen. Die sich anschließende Liste zeigt alle derzeitigen Nachbarsysteme, in die das mehrachsige Positioniersystem eingebettet ist.

- Laborcomputer
- Ablageschale/Aufnahmeschale (Ablagepositionen)
- Externe Industriesteuerungen
- Augmented Reality Server
- Verwaltungsschalen (Digitaler Zwilling)
- mögliche spätere Erweiterung: Förderbänder
- mögliche spätere Erweiterung: Vorratslager (statt Aufnahmeschale)
- mögliche spätere Erweiterung: Lagermagazin(e) (statt Ablageschale)

Ist die Identifizierung der Nachbarsysteme abgeschlossen, kann mit der Kontextanalyse begonnen werden. Der Kontext unterteilt sich in den logischen Kontext und den physikalischen Kontext. Der **logische Kontext** betrachtet die Kommunikation mit den Nachbarsystemen, wohingegen der **physikalische Kontext** auf die Kommunikationshardware fokussiert ist.

Für die Dokumentation der logischen Kontextabgrenzung bietet sich das Anwendungsfalldiagramm der UML (Unified Modeling Language) an. Dabei handelt es sich um die allgemein gängige Form für diese Aufgabe. Das Anwendungsfalldiagramm ist geeignet an

dieser Stelle für die Modellierung, da für die Darstellung noch keine detaillierten Entscheidungen über die Schnittstellen getroffen werden müssen. Es besitzt die Fähigkeit das zu modellierende System und seine Nachbarsysteme in Beziehung darzustellen und deren Kommunikation grundlegend anzudeuten. Abbildung 1 zeigt die logische Kontextabgrenzung des mehrachsigen Positioniersystems zu den bereits aufgezählten Nachbarsystemen mittels des Anwendungsfalldiagramms.

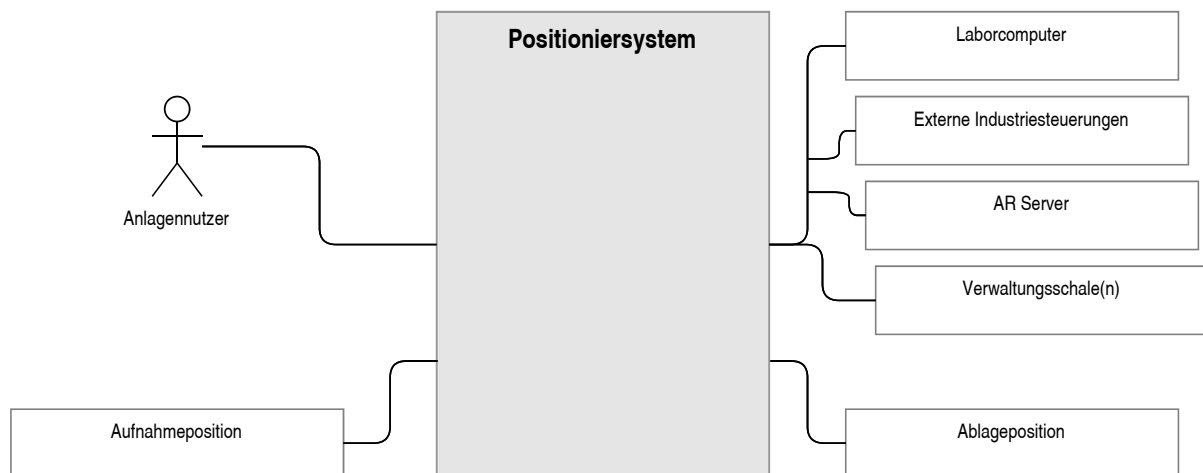


Abbildung 1: Logische Kontextabgrenzung des mehrachsigen Positioniersystems als Anwendungsfalldiagramm

Noch nicht erwähnt waren bisher die Akteure des Positioniersystems. Akteure eines eingebetteten Systems sind Sensoren, E/A-Geräte, Nachbarsysteme und die Zeit. Sie befinden sich grundsätzlich außerhalb des Systems.

Die zu modellierende Laboranlage besitzt folglich mehrere Nachbarsysteme, die als Akteure bezeichnet werden können. Weiterhin sind Menschen, die in Kontakt mit dem System stehen, relevant. Diese gelten auch als Akteure und werden als Strichfigur im Anwendungsfalldiagramm aufgenommen. Der Anlagennutzer des Positioniersystems ist als Akteur auf der linken Seite der Abbildung 1 aufgeführt. Die Nachbarsysteme auf der rechten oberen Seite besitzen wiederum Akteure, die an dieser Stelle jedoch nicht dargestellt sind, da diese mit dem mehrachsigen Positioniersystem nur indirekt über die Nachbarsysteme kommunizieren.

Es kann abschließend festgehalten werden, dass der logische Kontext beantwortet, welche Akteure für das System existieren. Es besteht die Notwendigkeit nach diesen zu suchen, und sie in Form des Anwendungsfalldiagrammes im Bezug zum Positioniersystem darzustellen. Nach der Aufstellung des logischen Kontexts der Laboranlage wird nun darauf aufbauend fortgesetzt mit der physikalischen Kontextabgrenzung. Im Unterschied zum logischen Kontext wird die Fragestellung erweitert um die konkreten Einflüsse der Akteure auf das System. Es gilt zu untersuchen, wie die Kommunikation zwischen den Akteuren und dem

mehrachsiges Positioniersystem aufgebaut ist. Dazu bietet es sich an das Verteilungsdiagramm der UML zu nutzen. Wie auch schon bei der logischen Kontextabgrenzung wird das System Positioniereinheit im Zentrum zwischen den Akteuren als zentraler Knoten dargestellt. Die Nachbarsysteme werden ringsherum als eigenständige Knoten aufgeführt. In der folgenden Abbildung der physikalischen Kontextabgrenzung wird auch der Anlagennutzer als Nachbarsystem betrachtet, um mehr Freiräume in der Darstellung der Schnittstelle zwischen diesem und dem Positioniersystem zu ermöglichen. Abbildung 2 zeigt das Verteilungsdiagramm der Positioniereinheit und seiner Nachbarsysteme zur Beantwortung der Frage nach dem physikalischen Kontext.

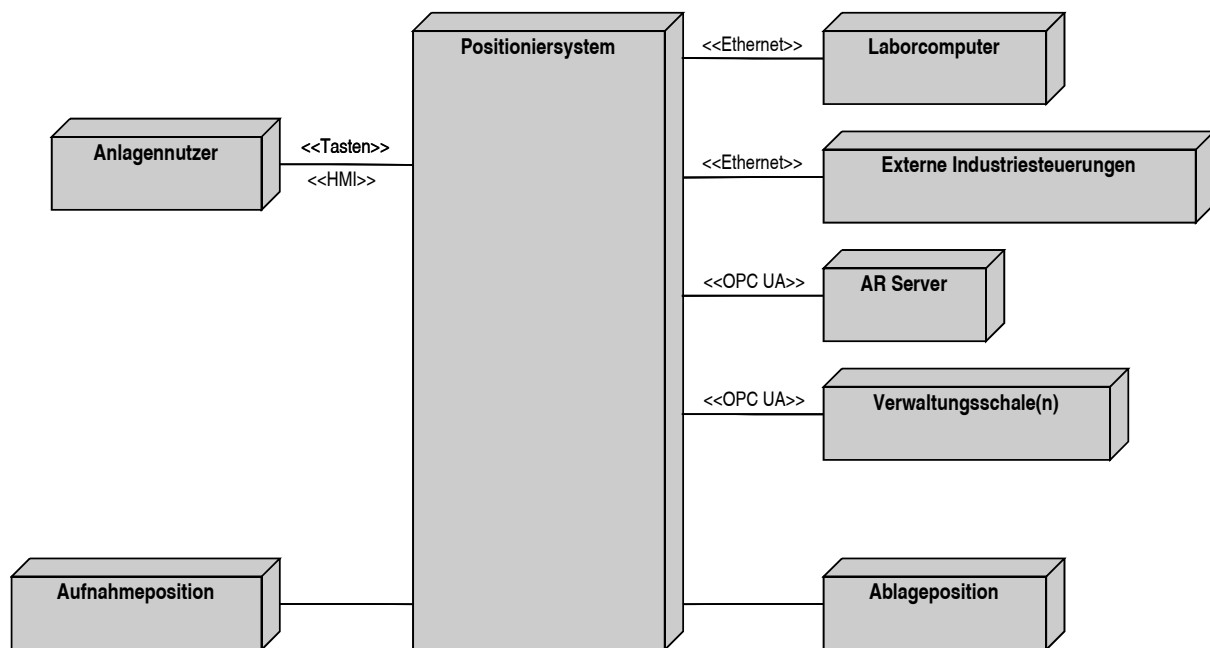


Abbildung 2: Physikalische Kontextabgrenzung des mehrachsigen Positioniersystems als Verteilungsdiagramm

Im Unterschied zu Abbildung 1 werden nun an den Verbindungen zwischen den Systemen Stereotypen mit aufgeführt, falls die Hardware und Kommunikation der untersuchten Systeme bereits bekannt ist. Mit Hilfe des Verteilungsdiagrammes wird die Frage beantwortet, wie die Akteure auf das Positioniersystem Einfluss nehmen. Es kann hier bereits aus den Anforderungen entnommen werden, wie der Anlagennutzer mit dem System interagiert und wie Datenaustausch zwischen der internen Steuerung und externen Industriesteuerungen stattfindet. Auch die Programmierschnittstelle ist bereits vorgegeben. Aus den Anforderungen der Labormitarbeiter geht weiterhin hervor, dass für Verwaltungsschalen aber auch den Augmented Reality (AR) Server Prozessdaten via OPC UA Schnittstelle

bereitgestellt werden sollen.

Die Stereotypen für z. B. den Anlagenutzer als Akteur sind somit „Tasten“ und „HMI“, da dieser auf diesem Weg mit der Laboranlage kommuniziert bzw. interagiert. Human Machine Interface (HMI) ist zu deutsch eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS). Für die Interaktion mit dem Positioniersystem ist zum Einen die grundlegende Steuerung über Taster an der Front des Schaltschranks geplant, weiterhin soll diese erweitert werden um eine Kommunikationsschnittstelle, die auf touch-basierten Displays beruht. Dabei handelt es sich zum einen um ein fest angebundenes Monitor. Aus den Anforderungen geht zusätzlich hervor, dass die Steuerung auch per Smartphone oder Tablet erfolgen sollte.

In diesem Unterkapitel ist die Kontextabgrenzung des mehrachsigen Positioniersystems analysiert worden. Dabei wurde unterschieden zwischen der logischen- und der physikalischen Kontextabgrenzung. Dazu mussten zunächst die Nachbarsysteme ermittelt werden, die auch als Akteure bezeichnet werden. Der wesentliche Unterschied zwischen dem logischen und dem physikalischen Kontext besteht im Detailgrad der Analyse, welcher sich auch in der Darstellung wiederfindet. Für die logische Kontextabgrenzung empfiehlt sich das Anwendungsfalldiagramm der UML. Die physikalische Kontextabgrenzung erfolgte über das Verteilungsdiagramm. Zweiteres betrachtet dabei als Erweiterung auch die Hardware und Art der Kommunikation über die eingezeichneten Schnittstellen. Dies wird als Stereotyp bezeichnet, welcher zwischen den Systemen, die auch als Knotenpunkte bezeichnet werden, dargestellt ist.



## 3.5 Anwendungsfallsspezifikation

Nach dem Abschließen der Festlegung des Kontextes des mehrachsigen Positioniersystems folgt nun die Identifizierung von Systemprozessen. Der Findungsprozess erfolgt über die Anwendungsfallanalyse. Dabei wird ein System als Black-Box betrachtet, um möglichst gute Systemprozesse zu finden, ohne sich von internen Gegebenheiten des Systems beeinflussen zu lassen.

Die Anwendungsfallsspezifikation wird in dieser Arbeit in zwei Unterkapitel eingeteilt. Ersteres beschäftigt sich mit dem Finden und Entwickeln von Systemprozessen. Das zweite Unterkapitel hat zum Ziel die Systemprozesse zu präzisieren und diese dann übersichtlich darzustellen.

### 3.5.1 Entwicklung der Systemprozesse

Die Anwendungsfallanalyse baut auf dem Anwendungsfalldiagramm aus Abbildung 1 auf. Dabei findet auch an dieser Stelle eine Unterteilung in zwei Abschnitte statt. Im ersten Schritt werden die Akteure aus den Diagrammen des Unterabschnitt 3.4 geprüft und um eventuelle Akteure ergänzt, die bis zu diesem Zeitpunkt nicht erkannt wurden. Diese werden zunächst in die Kontextabgrenzung mit aufgenommen, bevor im folgenden Abschnitt die Anwendungsfallanalyse beginnt.

Im zweiten Schritt werden die Erwartungen der Akteure an das System untersucht. Aus dieser Analyse erfolgt die Ableitung von möglichen Systemprozessen. Dieser Abschnitt hat es folglich als Ziel, die Frage nach den durch die Akteure geforderten Voraussetzungen zu beantworten.

Für die Entwicklung der Systemprozesse wird folglich auf den logischen Kontext zurückgegriffen, da dieser die Akteure des Systems bereits im Anwendungsfalldiagramm (siehe Abbildung 1) zeigt. Da es nur um die Frage nach den Akteuren und ihren Erwartungen geht und dabei die Hardware und die Ausprägung der Kommunikation des Positioniersystems nicht relevant ist, spielen der physikalische Kontext und dessen Ergebnisse keine Rolle.

Die Abbildung 3 zeigt die Systemprozesse, die aus der Anlagenbeschreibung modelliert werden. Es ist ersichtlich, dass gezeigtes Anwendungsfalldiagramm eine Erweiterung der Abbildung 1 aus dem vorhergegangenen Unterabschnitt ist.

Neu dazugekommen sind die Anwendungsfälle, die durch den Anlagennutzer ausgelöst werden können. Konkret handelt es sich also um die zwei auswählbaren Betriebsmodi und den Not-Halt. Weiterhin ist der Transport von Gegenständen im Anwendungsfalldiagramm aufgeführt. Es handelt sich dabei um den grundsätzlichen Nutzen des Positioniersystems. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass dieser Anwendungsfall von den vorher genannten drei Anwendungsfällen/Betriebszuständen abhängig ist. Zuletzt findet sich noch die Bereitstellung von Prozessdaten im Diagramm wieder.

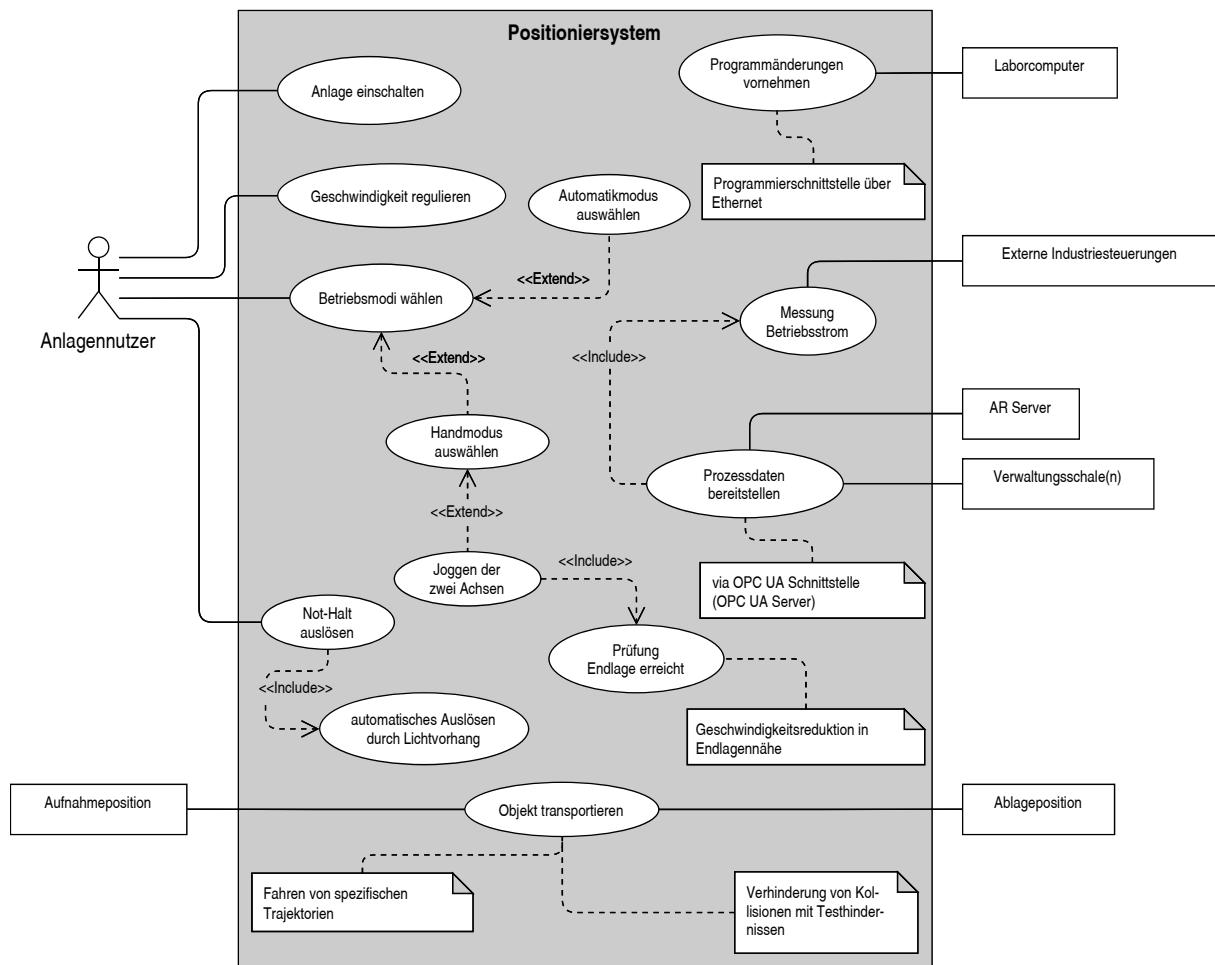


Abbildung 3: Anwendungsfalldiagramm des Positioniersystems

### 3.5.2 Präzisierung der Systemprozesse

Dieser Unterabschnitt greift die Systemprozesse aus der Anwendungsfallanalyse des vorhergegangenen Unterabschnittes noch einmal auf und verfeinert diese. Im Folgenden wird zunächst die genutzte Methodik zur Spezifizierung der Systemprozesse vorgestellt.

Für die Spezifikation von Systemprozessen empfiehlt es sich die Anwendungsfallbeschreibung als Mittel zur Dokumentation zu nutzen. Diese sollte in Form von Tabellen erfolgen. Dabei wird jeder einzelne Akteur in seiner eigenen Tabelle dargestellt. Bei den relevanten Tabelleneinträgen handelt es sich um die Zeilen Name, Akteur, auslösendes Ereignis, Kurzbeschreibung, Vorbedingungen, essenzielle Schritte, Ausnahmefälle, Nachbedingungen, Zeitverhalten, Verfügbarkeit und Kommentare/Fragen.

Sowohl der **Name** als auch der **Akteur** wird dabei aus dem Anwendungsfalldiagramm aus Abbildung 3 übernommen. Es sind am Ende alle Akteure aus dem Anwendungsfall-

diagramm tabellarisch aufgenommen. Das Feld **auslösendes Ereignis** beschreibt den Initiator des Anwendungsfalls. Der nächste Eintrag, die **Kurzbeschreibung** ist eine in zwei bis vier Sätzen dokumentierte wörtliche Beschreibung des Prozesses und dient zur Darstellung seines Kerns. Das Feld **Vorbedingungen** enthält zusammengefasst alle Voraussetzungen, die für die Ausführung des Anwendungsfalls nötig sind. Der nächste Eintrag stellt den wichtigsten Schritt in der Dokumentation des Anwendungsfalls dar. Dieser wird unterteilt in zwei weitere Felder, die im direkten Bezug zueinander stehen. Es werden auf der einen Seite Ereignisse aufgenommen, die während der Standardausführung des Prozesses auftreten bzw. auftreten können und auf der anderen Seite die Reaktionen des Systems auf diese Ereignisse. Das Feld **Ausnahmefälle** betrachtet alle Fehler und Ausnahmesituationen, die Abweichend von der Standardausführung auftreten können. Die **Nachbedingungen** sind analog zu den Vorbedingungen zu dokumentieren und beschreiben den Endzustand des Prozesses nach einer Standardausführung. In den Punkten **Zeitverhalten** und **Verfügbarkeit** können NFAs des Anwendungsfalls festgehalten werden. Zuletzt, im Feld **Kommentare/Fragen**, können Anmerkungen und Probleme aufgenommen werden, falls diese existieren. Es gilt diese bis zur Fertigstellung des Systems zu eliminieren, so dass dieses Feld leer bleiben kann. Es handelt sich folglich um ein temporäres Hilfsmittel.

Es bietet sich im Normalfall an zwei Abstraktionsebenen in der Darstellung der Systemprozesse zu nutzen. Dazu gehört eine detaillierte Dokumentation für die Prozessentwickler und ein abstrahierter Überblick für Manager und weniger stark involvierte Personen. Auf diesen Überblick wird jedoch an dieser Stelle verzichtet, da alle für das System relevanten Personen und Stakeholder ausreichend mit der Positioniereinheit und der Umsetzung eines solchen Systems vertraut sind. Im Anhang kann jedoch trotzdem zu jedem Akteur auch ein Überblick gefunden werden.

Es folgen nun die tabellarischen Darstellungen zu den Anwendungsfällen nach beschriebenen Muster.

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Name</b>                 | Objekt transportieren  |
| <b>Akteur</b>               | Aufnahmeposition   |
| <b>Auslösendes Ereignis</b> | Ein neues Transportobjekt liegt auf Aufnahmeposition bereit  |
| <b>Kurzbeschreibung</b>     | Das Objekt wird mit einem Greifer von der Aufnahmeposition hochgenommen. Anschließend fährt das Positioniersystem eine Hindernissausweichende Trajektorie zur Ablageposition. Dort wird das Objekt wieder losgelassen. |

|                             |  |   |
|-----------------------------|--|---|
| <b>Vorbedingungen</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• der Automatikmodus wurde ausgewählt</li> <li>• Aufnahmeschale ist mit Transportobjekt bestückt</li> </ul> |   |
| <b>Essenzielle Schritte</b> | <b>Intention der Systemumgebung</b>  | <b>Reaktion des Systems</b>   |
|                             | Anlagennutzer will das System einschalten  | Systemkomponenten werden mit Spannung versorgt und sind betriebsbereit  |
|                             | Anlagennutzer will, dass die Positioniereinheit vollautomatisch Transportgüter von der Aufnahme- zur Ablageposition befördert                      | Laboranlage beginnt Objekte von der Aufnahme- zur Ablageposition zu greifen und zu transportieren                                 |
|                             | Anlagennutzer will das System auf Grund einer Gefahrensituation anhalten   | Die Laboranlage bremst bis zum Stillstand ab und erwartet eine Bestätigung, dass die Gefahren- bzw. Fehlersituation beseitigt ist |
|                             | Anlagennutzer will die Fahrgeschwindigkeit regulieren  | Die Achsen des Systems bewegen sich entsprechend der analogen Nutzereingabe schneller bzw. langsamer                              |
|                             | Anlagennutzer will die Laboranlage stoppen   | Der Automatikbetrieb beendet seinen aktiven Zyklus und wird dann abgewählt, woraufhin die Anlage stoppt                           |
| <b>Ausnahmefälle</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Defektbedingte Abschaltung der Anlage</li> </ul>  |   |
| <b>Nachbedingungen</b>      | Der Automatikmodus ist beendet und die Anlage kann abgeschaltet werden.  |   |

|                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| <b>Zeitverhalten</b>     | schnell und effizient                |
| <b>Verfügbarkeit</b>     | maximal ein Systemausfall in 10.000h |
| <b>Kommentare/Fragen</b> | ---                                  |

Tabelle 26: Anwendungsfallbeschreibung - Systemprozess: Objekttransport

|                             |  |   |
|-----------------------------|--|---|
| <b>Name</b>                 | Joggen der zwei Achsen   |   |
| <b>Akteur</b>               | Anlagennutzer  |   |
| <b>Auslösendes Ereignis</b> | Der Vierwegetaster an der Schaltschrankfront wird betätigt   |   |
| <b>Kurzbeschreibung</b>     | Die dem betätigten Taster zugehörige Achse bewegt sich entsprechend der angezeigten Richtung auf diesem Taster.  |   |
| <b>Vorbedingungen</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• der Handmodus wurde ausgewählt</li> <li>• mindestens einer der vier Richtungstaster auf dem Vierwegetaster wird gedrückt</li> </ul> |   |
| <b>Essenzielle Schritte</b> | <b>Intention der Systemumgebung</b>  | <b>Reaktion des Systems</b>   |
|                             | Anlagennutzer will das System einschalten  | Systemkomponenten werden mit Spannung versorgt und sind betriebsbereit                          |
|                             | Anlagennutzer will händisch Prozessschritte triggern um Positionieraufgaben durchzuführen  | Das Positioniersystem erwartet Tastereingaben, die zu Achsbewegungen (Joggen von Achsen) führen |

|                          |   |   |
|--------------------------|---|---|
|                          | Anlagennutzer will das System auf Grund einer Gefahrensituation anhalten                | Die Laboranlage bremst bis zum Stillstand ab und erwartet eine Bestätigung, dass die Gefahren- bzw. Fehlersituation beseitigt ist |
|                          | Anlagennutzer will die Fahrgeschwindigkeit regulieren                                   | Die Achsen des Systems bewegen sich entsprechend der analogen Nutzereingabe schneller bzw. langsamer                              |
|                          | Anlagennutzer will die Laboranlage stoppen  | Die Anlage ist gestoppt und der Handmodus wird ausgewählt   |
| <b>Ausnahmefälle</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Defektbedingte Abschaltung der Anlage</li> </ul> |   |
| <b>Nachbedingungen</b>   | Anlage ist abgeschaltet   |   |
| <b>Zeitverhalten</b>     | Keine Ansprüche an das Zeitverhalten (Handmodus wird nur zu Testzwecken genutzt)        |   |
| <b>Verfügbarkeit</b>     | maximal ein Systemausfall in 10.000h  |   |
| <b>Kommentare/Fragen</b> | ---   |   |

Tabelle 27: Anwendungsfallbeschreibung - Systemprozess: Joggen der zwei Achsen

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Name</b>                 | Programmänderungen Vornehmen                |
| <b>Akteur</b>               | Laborcomputer                               |
| <b>Auslösendes Ereignis</b> | System wird mit neuem Programmcode bespielt |

|                             |  |  |
|-----------------------------|--|--|
| <b>Kurzbeschreibung</b>     | Über eine Ethernetschnittstelle ist das Positioniersystem mit dem Labornetzwerk verbunden. Von Geräten aus dem selben Netzwerk kann auf das System zugegriffen werden bzw. Änderungen an dessen Programmcode vorgenommen werden.         |  |
| <b>Vorbedingungen</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Steuerungskomponenten des Systems sind eingeschalten und im Labornetzwerk findbar</li> <li>Computer des Programmentwicklers befindet sich im selben Netzwerk wie das Positioniersystem</li> </ul> |  |
| <b>Essenzielle Schritte</b> | <b>Intention der Systemumgebung</b>  | <b>Reaktion des Systems</b>  |
|                             | Anlagennutzer will das System einschalten  | Systemkomponenten werden mit Spannung versorgt und sind betriebsbereit                                 |
|                             | Anlagennutzer will die Steuerung des Systems mit neuem Programmcode bespielen  | In Maschinencode übersetzter Programmcode wird über die Ethernetschnittstelle zur Steuerung übertragen |
|                             | Anlagennutzer das neue Programm aktivieren/ausführen   | System startet neu und ist betriebsbereit  |
| <b>Ausnahmefälle</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Labornetzwerk ist ausgefallen oder verhindert die Kommunikation</li> <li>Defektbedingte Abschaltung der Anlage</li> </ul>   |  |
| <b>Nachbedingungen</b>      | Anlage ist erneut betriebsbereit   |  |
| <b>Zeitverhalten</b>        | ---  |  |
| <b>Verfügbarkeit</b>        | Das System sollte jederzeit von jedem Computer im selben Netzwerk erreichbar sein  |  |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>Kommentare/Fragen</b> | --- |
|--------------------------|-----|

Tabelle 28: Anwendungsfallbeschreibung - Systemprozess: Programmänderungen vornehmen

|                             |  |  |
|-----------------------------|--|--|
| <b>Name</b>                 | Prozessdaten bereitstellen   |  |
| <b>Akteur</b>               | OPC UA Server  |  |
| <b>Auslösendes Ereignis</b> | System ist aktiv   |  |
| <b>Kurzbeschreibung</b>     | Die Steuerung des Positioniersystems übernimmt zusätzlich die Aufgabe als OPC UA Server, über welchen per OPC Schnittstelle (ethernetbasiert) Daten aus dem Systemprozess bereitgestellt werden. |  |
| <b>Vorbedingungen</b>       | Steuerungskomponenten des Systems sind eingeschalten   |  |
| <b>Essenzielle Schritte</b> | <b>Intention der Systemumgebung</b>  | <b>Reaktion des Systems</b>  |
|                             | Anlagennutzer will das System einschalten  | Systemkomponenten werden mit Spannung versorgt und sind betriebsbereit   |
|                             | Anlagennutzer will Prozessdaten der Laboranlage erhalten   | Die Steuerung stellt Daten via OPC UA Schnittstelle bereit (ein OPC Client kann diese entgegennehmen)                |
|                             | Anlagennutzer will Prozessdaten extern weiterverwenden   | System kommuniziert mit z. B. dem AR Server oder einer Verwaltungsschale, welche als OPC Client Daten entgegennehmen |



|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Ausnahmefälle</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>• Labornetzwerk ist ausgefallen oder verhindert die Kommunikation</li><li>• Defektbedingte Abschaltung der Anlage</li></ul> |
| <b>Nachbedingungen</b>   | System ist weiterhin aktiv  |
| <b>Zeitverhalten</b>     | Prozessdaten sollen in echtzeit abgefragt werden können   |
| <b>Verfügbarkeit</b>     | Prozessdaten sollten zu jeder Zeit abgefragt werden können  |
| <b>Kommentare/Fragen</b> | ---   |

Tabelle 29: Anwendungsfallbeschreibung - Systemprozess: Prozessdaten bereitstellen

## 3.6 Verhaltensspezifikation

Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit der Modellierung des Systemverhaltens. Anschließend an die Systemanalyse, ist die nun folgende Modellierung Teil der detaillierten Systemanalyse. Die Verhaltensspezifikation beinhaltet sämtliche Informationen zum Verhalten des gesamten Systems und dessen Systemprozesse. Als Basis dienen die in Unterunterabschnitt 3.5.2 dargestellten Anwendungsfallbeschreibungen. Ziel dieses Abschnittes ist es ein bzw. mehrere Zustandsdiagramme aus den Informationen der Anwendungsfallbeschreibungen zu entwickeln. Auf Grundlage der Tabellen aus dem vorhergegangenen Kapitel entsteht eine Verhaltensbeschreibung der zugrundeliegenden Systemprozesse. Zunächst erfolgt eine methodische Erläuterung zur Konstruktion eines solchen Zustandsdiagramms. Die Konstruktion des Zustandsdiagramms kann in folgende sieben Schritte untergliedert werden:

- Zunächst müssen sämtliche Ereignisse bzw. wesentliche Schritte des Prozesses auf Unterbrechbarkeit geprüft werden. Unterbrechbare Elemente werden anschließend als **Aktivitäten** des Zustandsdiagramms modelliert. Ununterbrechbare Elemente sind als **Aktionen** des Zustandsdiagramms zu definieren.
- **Aktivitäten** werden in den Zuständen des Diagrammes abgebildet. Dazu wird eine solche Aktivität hinter dem Schlüsselwort „do“ aufgeschrieben. Es ist hilfreich einen prägnanten Namen zu wählen. (Übergänge, die in den Zustand führen, sind aus dem Ereignis des jeweiligen Anwendungsfalldiagramms zu entnehmen.)
- **Aktionen** werden als Übergänge eingezeichnet und mit einem Ereignis beschriftet. (Am Ende eines Überganges wird die entsprechende Aktion eingezeichnet.)
- Verbleibende freie Enden bzw. Anfänge werden auf potentielle Start- oder Endzustände untersucht. Bei der Ermittlung eines solchen Zustands muss dieser entsprechend der Symbolik des Zustandsdiagramms mit dargestellt werden.
- Falls dennoch frei Übergangsenden verbleiben, müssen Zustände gefunden werden, auf welche diese verweisen. Zunächst sollten existierende Zustände geprüft werden. (Ein Ereignis kann auch an mehreren Zuständen hängen.) Wird kein Zustand gefunden, muss ein neuer Zustand erfunden werden.
- Es besteht die Möglichkeit Regionen oder auch zusammengesetzte Zustände zu definieren, um die Lesbarkeit zu erhöhen.
- Den letzten Schritt der Konstruktion stellt die Anreicherung der Übergänge mit NFAs dar. Dazu gehört unter anderem auch das Zeitverhalten aus den Anwendungsfallbeschreibungen.

Die nun Folgenden Grafiken zeigen die Zustandsdiagramme zu den ermittelten Systemprozessen. Die Modellierung dieser folgt der zuvor beschriebenen Methodik. Auf Grund der starken Abweichungen des Systemverhaltens im Automatikmodus und im Handmodus, werden beide Betriebsmodi in getrennten Diagrammen dargestellt, auch wenn der zugrundeliegende Prozess gleich ist.

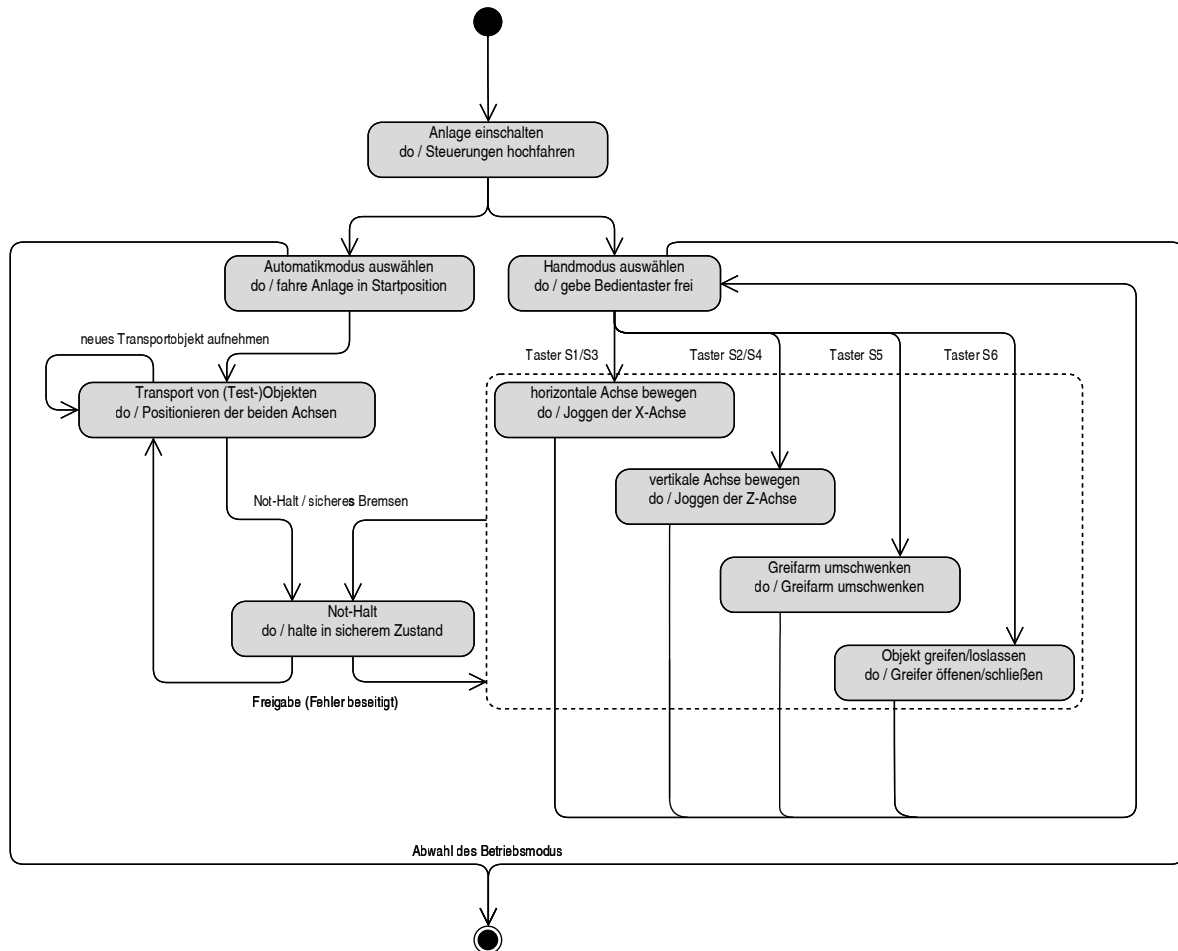


Abbildung 4: Zustandsdiagramm - Systemprozess: Objekttransport

## 3.7 Partitionierung

Die Partitionierung ist der letzte Schritt der detaillierten Systemanalyse und stellt somit auch das Ende der Analysephase dar. Es schließt sich dennoch ein weiteres letztes Kapitel nachfolgend an, welches die Testspezifikationen, die im Laufe der Analysephase entstanden sind, zusammenfassend dokumentiert.

Ziel der Partitionierung ist die Unterteilung des Systems in logische Sinnesabschnitte, um die Komplexität der Darstellung und Entwicklung zu verringern. Logische Sinnesabschnitte meint an dieser Stelle jedoch nicht die logische Kontextabgrenzung aus Unterabschnitt 3.4, sondern ganz im Gegenteil, die physikalische Kontextabgrenzung, wie sie in Abbildung 2 als Verteilungsdiagramm dargestellt ist. Das Verteilungsdiagramm dient als Ausgangspunkt für die Partitionierung. Nachfolgend wird die Partitionierung in drei Sinnesabschnitte unterteilt, welche in dieser Arbeit ihren eigenen Unterabschnitt erhalten.

### 3.7.1 Erster Partitionierungsschritt

In der bisherigen Betrachtung wurde das zu entwickelnde System als Black Box dargestellt. Zu erkennen sind bereits die Nachbarsysteme und die Kommunikationspfade zu diesen. Abbildung 2 zeigt bereits Stereotypen an den Kommunikationspfaden. Dabei handelt es sich um konkrete Umsetzungen bzw. Realisierungen der Kommunikation. Aus den Realisierungen der Kommunikationspfade werden in der Partitionierung nun Schnittstellenknoten des Systems definiert. Diese sind im Folgenden in Abbildung 5 zu erkennen. Im bisherigen Stand der Entwicklung sind nur die Stereotypen der Kommunikationspfade spezifiziert und beschreiben die Schnittstelle zu diesem.

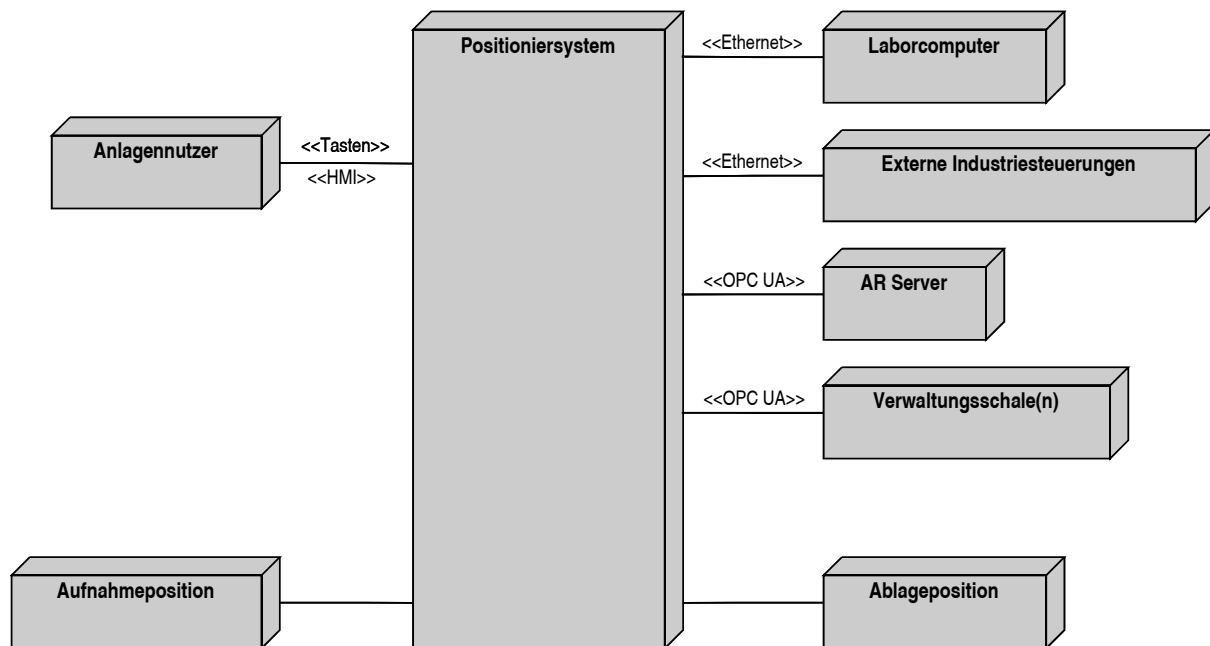


Abbildung 5: Erster Partitionierungsschritt

Abbildung 5 ergänzt zu den bereits bekannten Stereotypen, welche nun in ihren eigenen Knoten aufgeführt werden, die konkreten Knoten als Komponenten des Systems. Wichtig ist hierbei die jeweiligen Anforderungen aus Unterabschnitt 3.2 zu den Knoten zu beachten.

### 3.7.2 Zweiter Partitionierungsschritt

Im zweiten Schritt wird die genaue Realisierung der Knoten und der Aufbau des Systems geklärt. Dazu werden die Systemprozessbeschreibungen aus Unterabschnitt 3.5 benötigt. Ziel ist es das System unter funktionalen Gesichtspunkten in Komponenten bzw. Einheiten zu zerlegen. Dabei wird noch nicht festgelegt, wie die Realisierung der Einheiten mit konkreter Hardware und Software umgesetzt wird. Es findet lediglich eine Aufteilung in funktionale Komponenten statt, welche wiederum in Form von Knoten Symbolisiert werden.

Abbildung 6 zeigt das entstandene Diagramm nach Anwendung der Systemprozessbeschreibungen auf die im vorherigen Unterabschnitt entwickelte Grafik.

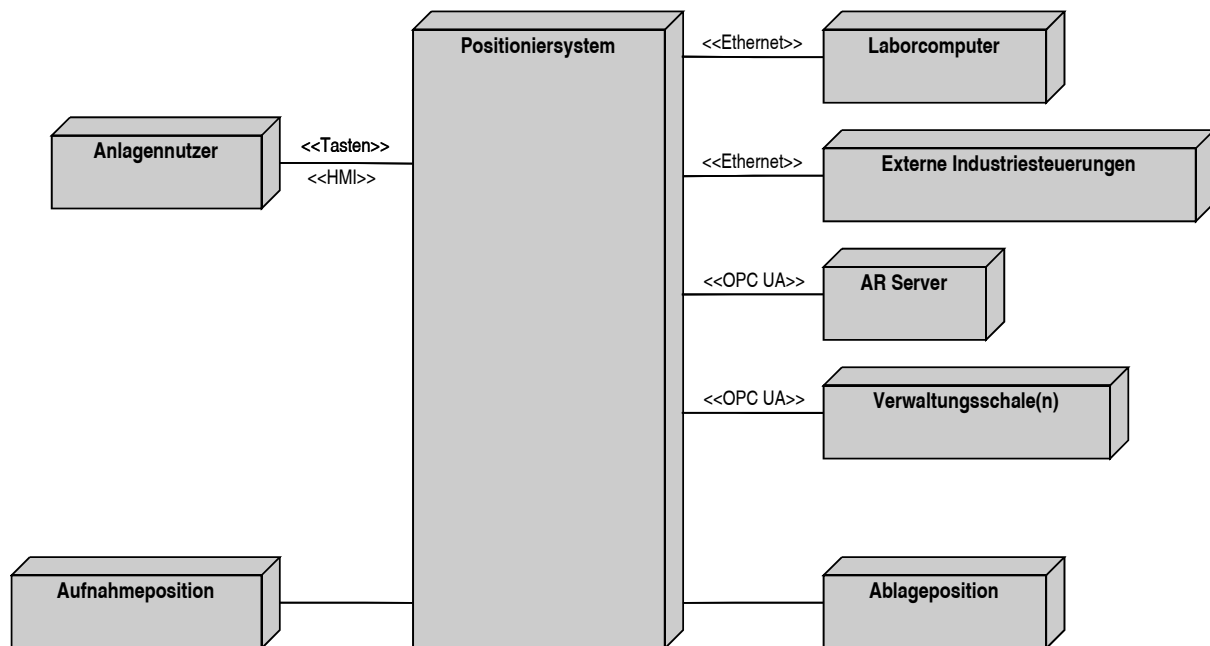


Abbildung 6: Zweiter Partitionierungsschritt

Für diesen Partitionierungsschritt sind die *essenziellen Schritte* und die *Kurzbeschreibung* aus unter anderem Tabelle 26 relevant. Für die Erstellung der kompletten Grafik müssen alle Anwendungsfallbeschreibungen berücksichtigt werden. Es fällt auf, dass im Vergleich zu Grundlegenden Anwendungsfallbeschreibung im Anwendungsfalldiagramm (Abbildung 3), die Betriebsmodi nicht mit aufgenommen wurden. Grund dafür ist, dass bei der Partitionierung nur die normale Arbeitsweise im Vordergrund steht. Erst bei der Realisierung der in diesem Unterabschnitt gefundenen funktionalen Knoten werden diese wieder betrachtet, da sie eigenschaften dieser Knoten beschreiben.

### 3.7.3 Dritter Partitionierungsschritt

Im dritten Schritt der Partitionierung findet eine Aufteilung der Komponenten/Einheiten in Software-, Hardware und Anlagenteil statt. Dabei ist die Aufteilung der Einheit unabhängig von der Aktuell betrachteten Einheit. Soweit es möglich ist wird die Unterteilung für jede Komponente bzw. Einheit vorgenommen. Existiert eine der drei Unterteilungen nicht für die betrachtete Einheit, entfällt diese.

Die Abbildung 7 zeigt die prinzipielle Aufteilung der einzelnen Einheiten des Systems.

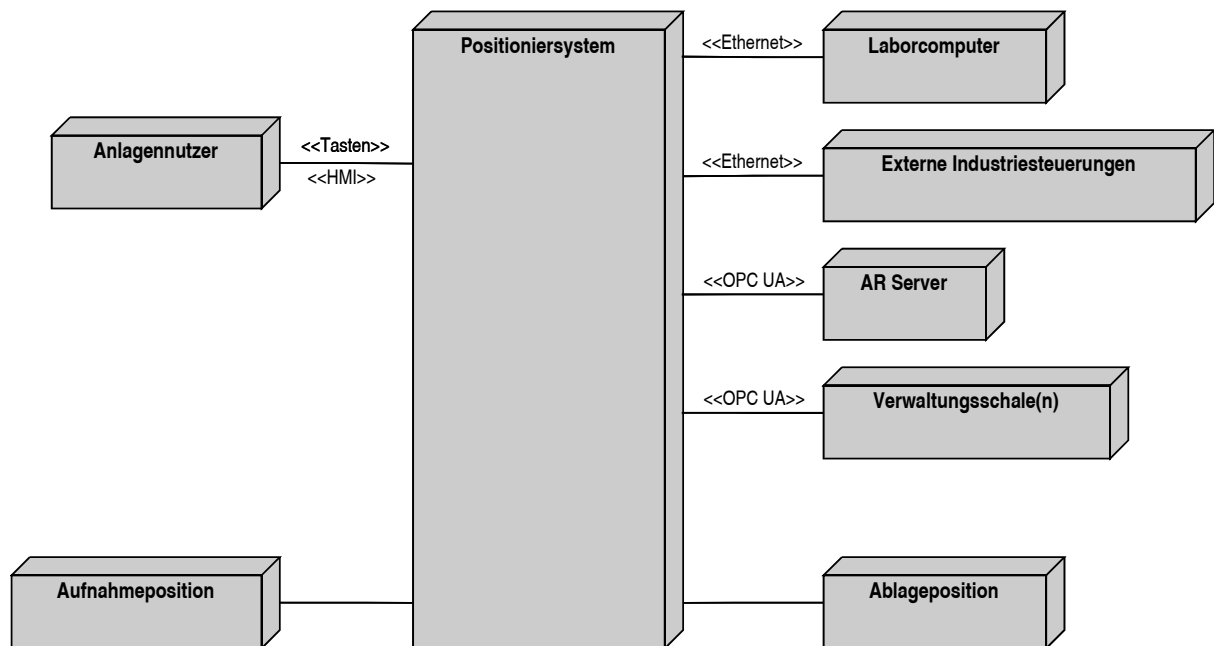


Abbildung 7: Dritter Partitionierungsschritt - Aufteilungsprinzip

Es ist zu erkennen, dass die Grafik aus drei Knoten besteht, die genau die drei Teile Anlage, Hardware und Software darstellen. Gemeinsam decken sie die Funktionalität einer Einheit ab. Ausgehend von dieser Darstellung werden nachfolgend die Schnittstellen und prinzipiellen Eigenschaften dieser Knoten entwickelt und in einer Knotenbeschreibung dokumentiert (siehe Tabelle)

## 3.8 Testspezifikation

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.



---

## 4 Projektierung

Dieses Kapitel unterteilt sich in vier Abschnitte.

### 4.1 Genereller Aufbau der Automatisierungssoftware

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 4.2 Implementierung der Modelle

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 4.3 Peripherie-Schnittstellen

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 4.4 Anwenderschnittstelle

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

---

## 5 Inbetriebnahme

Dieses Kapitel unterteilt sich in drei Abschnitte.

### 5.1 Programm-Implementation

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 5.2 Verifizierung der Testspezifikation

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

### 5.3 Programmkorrektur und -verbesserung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

---

## 6 Zusammenfassung und Fazit

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.



---

## 7 Ausblick

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

---

# Literaturverzeichnis

## Bücher

- [Bau14] Thomas Bauernhansl. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik : Anwendung, Technologien und Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN: 9783658046828.
- [Gei12] Eva Geisberger. *agendaCPS*. Springer-Verlag GmbH, 10. Okt. 2012. 297 Seiten. ISBN: 9783642290992. URL: <https://www.ebook.de/de/product/19950597/agendacps.html>.
- [Pis20] Johannes Pistorius. *Industrie 4.0 - Schlüsseltechnologien für die Produktion*. Springer-Verlag GmbH, 29. Juni 2020. 89 Seiten. ISBN: 978-3-662-61580-5. URL: [https://www.ebook.de/de/product/39317953/johannes\\_pistorius\\_industrie\\_4\\_0\\_schluesseltechnologien\\_fuer\\_die\\_produktion.html](https://www.ebook.de/de/product/39317953/johannes_pistorius_industrie_4_0_schluesseltechnologien_fuer_die_produktion.html).
- [Win21] Uwe Winkelhake. *Die digitale Transformation der Automobilindustrie*. Springer-Verlag GmbH, 21. Jan. 2021. 410 Seiten. ISBN: 978-3-662-62102-8. URL: [https://www.ebook.de/de/product/40218318/uwe\\_winkelhake\\_die\\_digitale\\_transformation\\_der\\_automobilindustrie.html](https://www.ebook.de/de/product/40218318/uwe_winkelhake_die_digitale_transformation_der_automobilindustrie.html).

## Artikel

- [Wis13] Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft. „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“. In: *Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0* (Apr. 2013).

---

## Anhang

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

---

## Eidesstattliche Erklärung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.