

Diplomarbeit

Automatisierung einer PKW-Crashtestanlage

Werner Dannmayr



durchgeführt am

Institut für Elektrische Antriebstechnik und Maschinen

Vorstand: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Annette Mütze

Betreuung: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roland Seebacher

Graz, im Februar 2013

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, im Februar 2013

A handwritten signature in black ink, appearing to read "David We". The signature is written in a cursive, flowing style.

Kurzfassung

Die Durchführung realer Crashtests ist elementarer Bestandteil bei der heutigen Fahrzeugentwicklung. Durch sie müssen die in der Entwicklung der Fahrzeugstruktur verwendeten numerischen Simulationen verifiziert werden. Ein weiteres Betätigungsfeld sind Untersuchungen über das Crashverhalten von verschiedenen Materialien und Strukturen um daraus Neuentwicklungen abzuleiten.

Das Institut für Fahrzeugsicherheit an der Technischen Universität Graz baut aus diesen Gründen eine eigene Crashtestanlage auf.

Diese Arbeit dient der Automatisierung der gesamten Crashtestanlage, deren Hauptkomponenten bereits vorhanden sind. Nach der Bestimmung von notwendigen Änderungen und Erweiterungen bei den Hardwarekomponenten folgte die Analyse der Abläufe bei einem Crashtest um daraus eine Anwendersoftware zu erstellen. Eine besondere Rolle spielten dabei die Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Anwenderfreundlichkeit, Übersichtlichkeit) sowie Sicherheitsaspekte.

Eine weitere Aufgabe war das Erstellen eines mathematischen Modells zur Bestimmung des Beschleunigungsvermögens in Abhängigkeit von der Last (Fahrzeug).

Abstract

The implementation of real crash tests is a fundamental component in today's vehicle development. Through them the numerical simulations used for the development of the vehicle structure have to be verified. Another field of research is the crash behavior of various materials and structures. Therefrom new developments can be derived.

For these reasons the Vehicle Safety Institute at the Technical University of Graz builds its own crash test facility.

This work is the automation of the entire crash test facility, whose main components are already available. After determining the necessary changes and additions to the hardware components, the analysis of the processes in a crash test followed, in order to create a client application. Important was the development of the man-machine-interface (user-friendliness, simplicity), as well as security aspects.

Another task was to create a mathematical model for determining the acceleration capacity as a function of the load (vehicle).

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, ohne deren Hilfe und Geduld mein Studium und diese Diplomarbeit nicht möglich gewesen wären.

Danke auch an Martin Amann und Reinhard Pöhn für ihre langjährige Freundschaft, das gemeinsame Lernen und ihre Unterstützung.

Im Speziellen bedanken muss ich mich noch einmal bei Reinhard Pöhn, der durch unermüdliche Motivationsarbeit dafür gesorgt hat, dass dieses Studium nach längerer Unterbrechung doch noch abgeschlossen wurde.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Ass.Prof. Dipl.-Ing Dr.techn. Roland Seebacher und Univ.-Prof. Dipl.-Ing Dr.techn. Lothar Fickert mit deren Unterstützung die Abgabe der Diplomarbeit noch innerhalb des Zeitraums für meinen alten Studienplan erfolgen konnte.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	9
1.1 Motivation.....	9
1.2 Einführung in die Crashanlage des VSI.....	10
1.3 Zielsetzung	14
1.4 Aufbau der Arbeit.....	15
Beschreibung der Anlage.....	16
2.1. Einsatzmöglichkeiten.....	16
2.2. Anlagenkomponenten	17
2.2.1 Antriebseinheit	17
2.2.2 Frequenzumrichter	19
2.2.3 Bremse 1	21
2.2.4 Bremse 2	21
2.2.5 Hydraulik	22
2.2.6 Not-Aus	22
2.2.7 FieldPoint.....	23
2.3. Bisheriger Versuchsablauf	25
2.4. Versuchsablauf „Soll“.....	26
Modellbildung.....	28
3.1 Aufgabenstellung.....	28
3.2 Crashanlage ohne Fahrzeug	29
3.2.1 Bestimmung des Summenträgheitsmomentes J_{RB}	29
3.2.2 Bestimmung der Reibkraft F_R	30
3.2.3 Bewegungsgleichung für die Crashanlage.....	32
3.3 Fahrzeug.....	33
3.3.1 Bewegungsgleichung für das Fahrzeug.....	34
3.4 Crashanlage mit Fahrzeug.....	36
3.4.1 Gesamtanordnung.....	36
3.4.2 Bestimmung der Rollwiderstandskraft F_{Ro}	36
3.4.3 Bestimmung der Restbremskraft F_{Br}	37

3.4.4 Bestimmung der Luftwiderstandskraft F_{Lx}	37
Implementierung	38
4.1 Allgemein	38
4.1.1 Die Ausgangslage	38
4.1.2 Verwendung von NI LabView	39
4.1.3 Erweiterungen und Verbesserungen	39
4.1.4 Sicherheitsrelevante Überlegungen	42
4.1.5 Beschaffung zusätzlicher Hard- und Software	43
4.1.6 Controller Area Network (CAN)	45
4.1.7 CANopen	47
4.2 Einbindung der neuen Hardware	50
4.2.1 Bus-Kommunikation	50
4.2.2 Sicherheitselemente	50
4.3 Softwareentwicklung	52
4.4 Handsteuerung	53
4.4.1 Gestaltung der Anwenderoberfläche	53
4.4.2 Programmgestaltung	56
4.4.3 Zustandsmaschine der Handsteuerung	57
4.5 Ablaufsteuerung	62
4.5.1 Gestaltung der Anwenderoberfläche	62
4.5.2 Berechnung der Hochlauframpe	66
4.5.3 Programmgestaltung	72
4.5.4. Zustandsmaschine der Ablaufsteuerung	75
Ergebnisse	84
5.1 Automatisierung	84
5.2 Vorgabe des Beschleunigungsvorgangs	84
5.3 Beschleunigungsvermögen	86
5.3.1 Eigenbedarf	86
5.3.2 Beschleunigungsvermögen mit Fahrzeug	88
Zusammenfassung und Ausblick	92
6.1 Zusammenfassung	92
6.2 Ausblick	93

Abbildungsverzeichnis.....	94
Tabellenverzeichnis	95
Literaturverzeichnis	96
Anhang.....	96

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Das Vehicle Safety Institute - VSI (Institut für Fahrzeugsicherheit) der Technischen Universität Graz beschäftigt sich mit den Bereichen Unfallforschung und Fahrzeugsicherheit. Neben der Erstellung von theoretischen Arbeiten und numerischen Simulationen gehört auch die praktische Durchführung von Versuchen zu den Institutsaufgaben. Dazu besitzt das VSI unter anderem auch ein Dummylabor sowie eine Crashtestanlage.

Die Crashtestanlage dient dabei der

- Durchführung gesetzlich vorgeschriebener Crashtests (Gesamtcrashversuche)
- Prüfung von Insassenschutzsystemen
- Validierung von numerischen Simulationen
- Entwicklung neuer Testmethoden

Die Crashtestanlage wurde und wird hauptsächlich durch das Institut selbst aufgebaut, wobei die Hauptkomponenten (Antrieb, Steuerung, Kommunikation) bereits vorhanden sind, ein funktionsfähiger Zustand, der einen komfortablen und zuverlässigen Crashbetrieb ermöglicht, jedoch noch nicht gegeben ist.

Es wird mit dieser Arbeit die Automatisierung der gesamten Crashtestanlage angestrebt, sodass oben angeführte Aufgaben wahrgenommen werden können.

Dabei sind theoretische Betrachtungen, Änderungen und Erweiterungen im Hardwarebereich und das Programmieren der Steuerungssoftware nötig.

1.2 Einführung in die Crashanlage des VSI

Zur Veranschaulichung der prinzipiellen Funktionsweise ist in Abbildung 1.1 die Anlage mit ihren unterschiedlichen Bereichen/Komponenten dargestellt.

Die Beschleunigungsstrecke der Crashanlage hat eine Länge von 52m und besteht aus einem Seilwagen, der in einer Schiene geführt wird. Der Seilwagen wird durch ein Endlosseil gezogen, das durch einen leistungsstarken Asynchronmotor im Antriebsraum angetrieben wird. Die Steuerung erfolgt mit einem PC im Steuerstand.

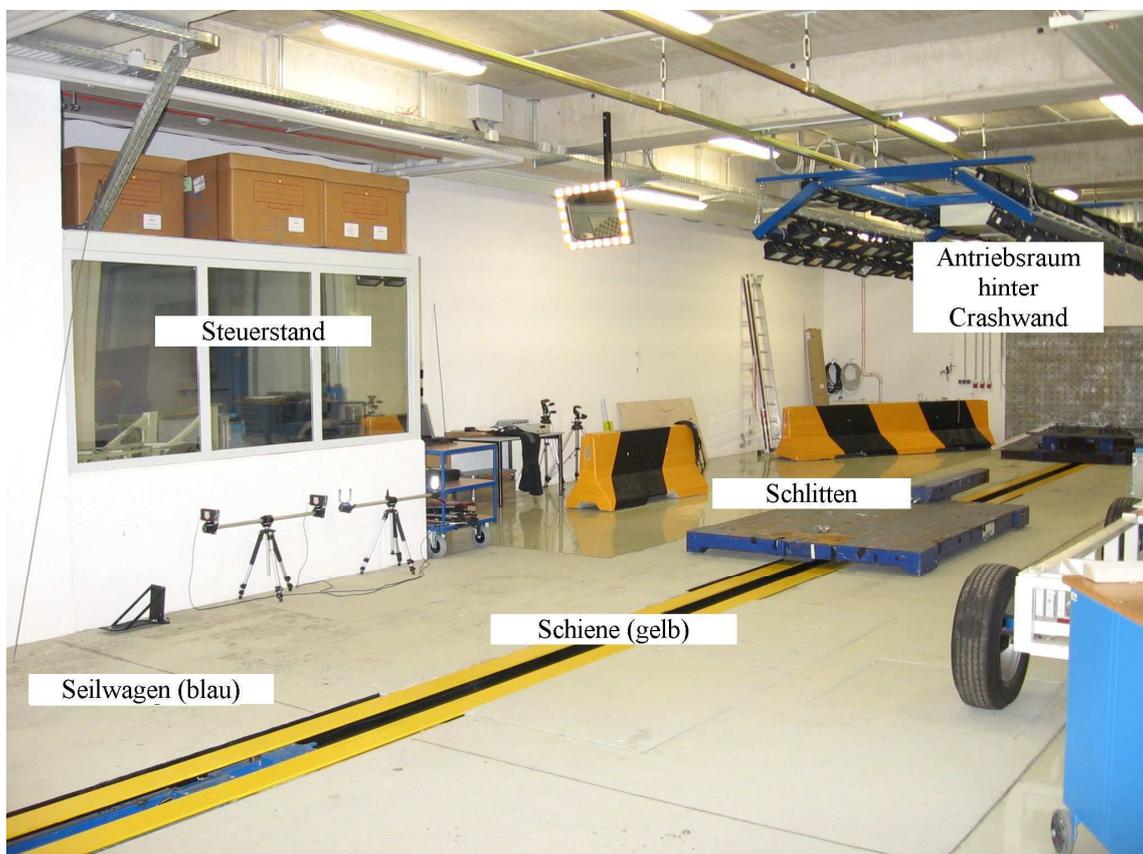


Abbildung 1.1: Crashanlage

Die Möglichkeiten der Versuchsdurchführung sind:

- **Fahrzeugversuch:** Hier wird ein Fahrzeug mit einem kurzen Stück Kette oder Seil in den Seilwagen eingehängt und auf die gewünschte Geschwindigkeit beschleunigt. Bei Überfahren einer sogenannten Ausklinknocke, welche sich unmittelbar vor dem Aufprallpunkt befindet, wird der Seilwagen vom Seil entkoppelt um unmittelbar danach in eine in die Schiene integrierte Bremse zu laufen. Dabei wird das gezogene Auto automatisch freigegeben.
Durch das Entkoppeln des Seilwagen muss nur dieser mit seiner vergleichsweise geringen Masse abgebremst werden und nicht der gesamte Antrieb (Asynchronmotor, Seil, Umlenkrollen,...).
- **Schlittenversuch:** Es wird ein Schlitten (=Plattform zur Montage von Fahrzeugkomponenten) fest mit dem Seilwagen verschraubt und auf die gewünschte Geschwindigkeit beschleunigt. Der sehr schwere Schlitten samt der zu prüfenden Aufbauten wird hierbei nach dem automatischen Entkoppeln vom Seil (Ausklinknocke) durch eine vor die Crashwand montierte leistungsfähige Bremseinheit mit einem definierten Beschleunigungsverlauf abgebremst.

Die bisherige Funktionsweise der Steuerung besteht aus zwei Teilen:

- **Antrieb:** Der Asynchronmotor wird durch einen Frequenzumrichter gespeist. Dieser stellt für die Kommunikation eine RS232-Schnittstelle zur Verfügung, die wegen der großen Leitungslänge (43m) und den elektromagnetischen Störungen nicht direkt verwendet sondern eine Übertragung mit Lichtwellenleiter gemäß Abbildung 1.2 realisiert wurde. Als Anwendersoftware wird das dem Umrichter beiliegende Programm *Matrix* verwendet, mit welchem die Drehrichtung, die Art des Hochlaufs, die Sollwertvorgaben und diverse Parametrierungen vorgenommen werden können.

Da der Frequenzumrichter bzw. das Programm *Matrix* einen Hauptsollwert in Form einer Sollfrequenz in Hz verlangen, muss die für einen Crashtest gewünschte Endgeschwindigkeit, unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses, vom Anwender vorab manuell berechnet werden.

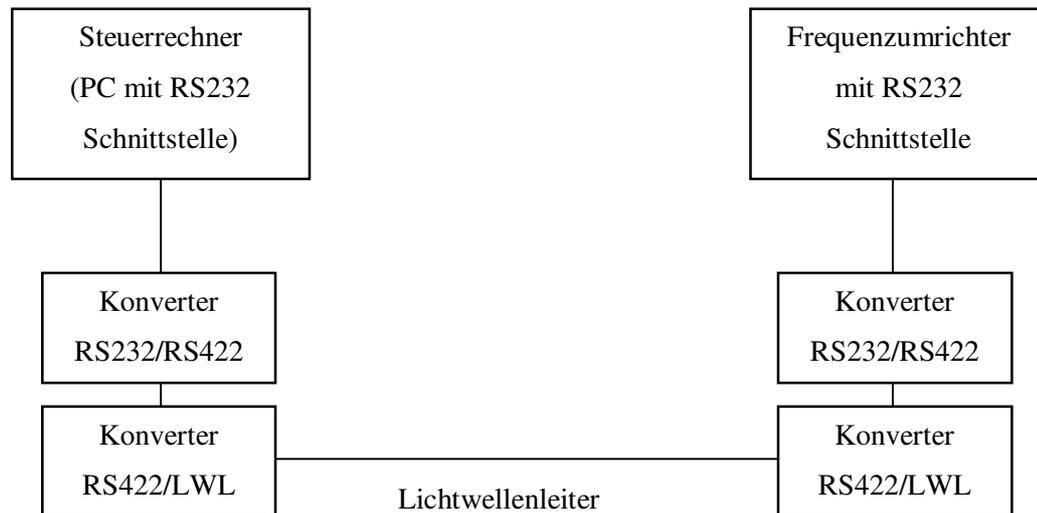


Abbildung 1.2: Kommunikation von Steuerrechner mit Frequenzumrichter

- **Mechanik/Hydraulik:** Um die Kraftübertragung vom Asynchronmotor auf das Endlosseil zu ermöglichen, ist dieses um die Antriebswelle des Motors gewickelt. Es ist dabei nicht permanent gespannt, sondern wird lediglich für den Zeitraum eines Versuchs durch einen hydraulischen Zylinder auf Spannung gehalten. Zu diesem Zweck besitzt die Anlage ein Hydraulikaggregat welches auch noch für die beiden Bremsen zum Abbremsen des Seilwagens sowie eine Scheibenbremse zum Abbremsen des Antriebsmotors verwendet wird. Die Steuerung und Überwachung der Hydraulikanlage erfolgt über eine in *LabView* programmierte Software, die über ein LAN-Netzwerk auf mehrere *FieldPoint-Module* der Firma *National Instruments* zugreift, an welche die analogen/digitalen Sensoren und Aktoren der Hydraulikanlage sowie ein paar Zusatzfunktionen (Blinklicht, Signalhorn,...) angeschlossen sind.

Nachfolgende Abbildung 1.3 veranschaulicht diesen Teil der Anlage.

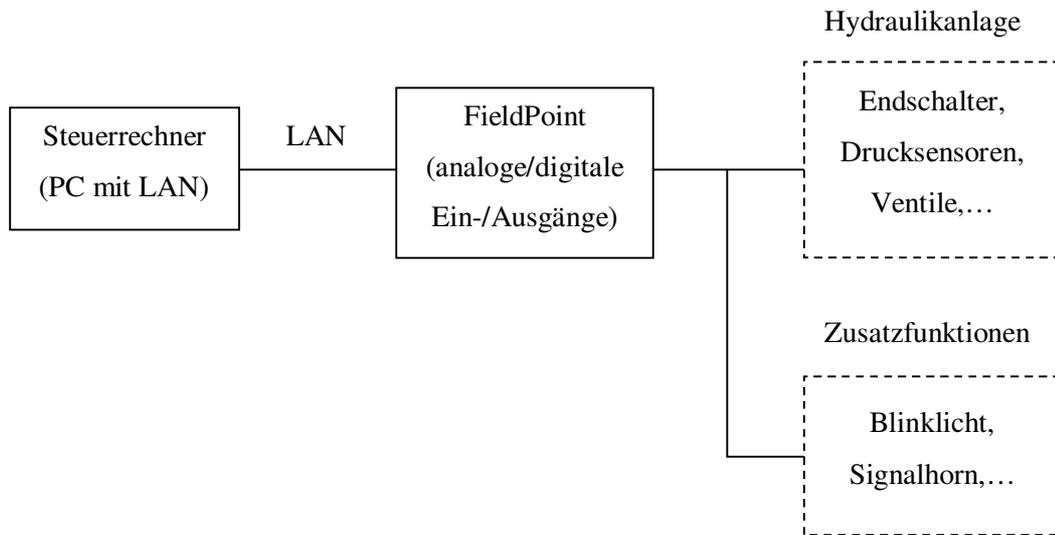


Abbildung 1.3: Kommunikation von Steuerrechner mit Hydraulik/Zusatzfunktionen

Zusammenfassung des bisherigen Zustandes der Crashanlage aus Sicht des Benutzers:

- Permanente Kommunikationsprobleme mit Frequenzumrichter und FieldPoint.
- Manuelle Berechnungen vor Versuchsdurchführung und ständiges Wechseln zwischen den beiden Programmen nötig - Fehlergefahr!
- Die Software *Matrix* und das LabView-Programm, die beide gleichzeitig auf dem Steuerrechner ausgeführt werden, sind nicht gekoppelt, d.h. sie arbeiten völlig unabhängig voneinander, weshalb beliebig fehlerhafte Betriebszustände entstehen können. Dabei sind auch schwere Beschädigungen der Anlage oder Unfälle mit Personenschäden möglich.
- Kein automatischer Programm-/Versuchsablauf gegeben - Fehlergefahr!
- Sicherheitsabfragen und Benutzerabfragen für eine ordentliche Versuchsdurchführung kaum implementiert - Fehlergefahr!
- Der Benutzer erhält keine Information darüber, welcher theoretische Beschleunigungsvorgang sich aus den von ihm eingegebenen Daten ergibt.

- Der Benutzer kann eine beliebig kleine Hochlaufzeit zum Erreichen der Sollfrequenz vorgeben, völlig unabhängig davon welches Fahrzeug gezogen wird. Er hat derzeit keine Anhaltspunkte darüber, ob der von ihm gewünschte Beschleunigungsvorgang durch den Frequenzumrichter bzw. das vom Asynchronmotor zur Verfügung gestellte Drehmoment auch tatsächlich realisiert werden kann.

1.3 Zielsetzung

Es ist eine möglichst umfassende Automatisierung der Craschanlage, inklusive Berücksichtigung der Vorgänge rund um einen Crashtest, zu realisieren.

Dem Benutzer soll **eine** Software zur Bedienung der gesamten Anlage zur Verfügung gestellt werden, mit der er eine komfortable, sichere und zuverlässige Versuchsdurchführung vornehmen kann.

Folgende Aufgaben sind zu erledigen:

- Die Hardware muss analysiert und gegebenenfalls geändert oder erweitert werden.
- Das bestehende LabView-Programm ist wie folgt zu erweitern:
 - Kommunikation mit Frequenzumrichter (Start, Stop, Rechts-, Linkslauf, Hochlaufampe,...) über RS232 implementieren.
 - Anpassung der Benutzeroberfläche und Funktionen, um eine Bedienung der gesamten Craschanlage zu ermöglichen.
 - Datenspeicherung (Position, Geschwindigkeit, Drucksensoren, Endschalter, Versuchsdaten,...)
- Erstellung eines mathematischen Modells der Anlage samt einem zu beschleunigenden Fahrzeug unter Berücksichtigung von z.B. Massen, Trägheitsmomente, Luftwiderstand, um daraus eine Abschätzung für die realisierbaren Beschleunigungsverläufe zu erhalten.
- Dokumentation (Programmcode, Bedienungsanleitung, Anschlusspläne)

1.4 Aufbau der Arbeit

In **Kapitel 2 – Beschreibung der Anlage** wird in den ersten drei Abschnitten eine Beschreibung des Ist-Standes vorgenommen. Es werden die allgemeinen Einsatzmöglichkeiten sowie ein detailliertes Schema der Crashanlage angeführt. Die verschiedenen Komponenten (Mechanik, Hydraulik, Asynchronmotor, Frequenzumrichter, FieldPoint, Sensoren, Aktoren) werden in ihrer Funktion und ihrem Zusammenwirken erklärt. Eine Beschreibung wie sich für den Benutzer ein kompletter Versuchsablauf bisher darstellte wird ebenfalls gegeben.

Im vierten Abschnitt erfolgt die Beschreibung des Ablaufs bei einem Versuch wie er von einem fachkundigen Bediener gewünscht wird und von den wenigen professionellen Herstellern solcher Anlagen auch in ähnlicher Form implementiert ist.

In **Kapitel 3 – Modellbildung** erfolgt die Erstellung des mathematischen Modells der gesamten Anlage (inkl. eingehängtem Fahrzeug, das es zu beschleunigen gilt). Daraus lässt sich eine Abschätzung „*Was ist machbar?*“ bzgl. Massen, Beschleunigungen treffen.

Kapitel 4 – Implementierung erklärt in einem allgemeinen Abschnitt die Ergebnisse der Analyse der vorhandenen Crashanlage, den gewünschten Zustand, der erreicht werden soll, und die daraus abgeleiteten Entscheidungen in Bezug auf die Hardware und Software.

Im Abschnitt *Programmierung* werden dann die genauen Anforderungen an die Software, deren Entwicklung und Aufbau wiedergegeben.

Wie gut die unterschiedlichen Anforderungen bzw. Aufgaben nach Abschluss der Arbeit am Institut erfüllt sind wird in **Kapitel 5 – Ergebnisse** beschrieben.

Eine Zusammenfassung über den Ablauf der gesamten Arbeit sowie einen Ausblick für zukünftige Verbesserungen bildet das **Kapitel 6 – Zusammenfassung und Ausblick**.

Kapitel 2

Beschreibung der Anlage

2.1. Einsatzmöglichkeiten

Entlang der Beschleunigungsstrecke sind zwei Bereiche für einen Crashtest vorgesehenen. Diese sind als Crashbereich 1 bzw. 2 in Abbildung 2.1 eingezeichnet.

Crashbereich 1 befindet sich unmittelbar vor der Crashwand. Er wird bei einem Fahrzeugversuch für die Nachahmung eines Frontalaufpralls genutzt indem ein genormtes, deformierbares Element an die Wand geschraubt wird und das zu testende Fahrzeug in dieses hinein fährt. Die andere Möglichkeit ist der Schlittenversuch, bei dem die zu prüfenden Aufbauten auf einem Schlitten befestigt werden und durch eine an der Crashwand montierte Bremseinheit definiert abgebremst werden.

Crashbereich 2 ist für den Seitenaufprall gedacht. Dazu wird das Testfahrzeug direkt nach Bremse 2 quer zur Beschleunigungsstrecke positioniert und ein anderes Fahrzeug oder eine sogenannte fahrende Barriere fahren in dieses hinein (eine fahrende Barriere ist ein stabiler Rahmen auf vier Rädern, an dessen Front ein deformierbares Element angebracht ist; es stellt somit einen genormten Unfallgegner dar).

Ebenso kann durch die entsprechende Positionierung eines Dummys in diesem Bereich z. B. ein Anfahren eines Fußgängers oder Radfahrers nachgestellt werden.

Da sowohl die Länge als auch die Breite dieser Anlage geringer als gewöhnlich sind, steht für die Bewegung der Fahrzeuge und der fahrenden Barriere bei einem Crash (wegrutschen, ausrollen, verdrehen) nur wenig Platz zur Verfügung. Dies hat zur Folge, dass üblicherweise nur PKW-Crashtests mit keinen großen Geschwindigkeiten stattfinden werden. Ein Frontalaufprall mit einer Geschwindigkeit von 64km/h sowie ein Seitenaufprall mit 50km/h (derzeitige Euro NCAP Testkriterien) stellen sicher die Grenze der Einsatzmöglichkeiten dar. Zusätzlich wirkt die Streckenlänge in einer

zweiten Hinsicht beschränkend. Denn obwohl eine gewisse minimale Beschleunigung notwendig ist um das gezogene Fahrzeug in der Spur zu halten, darf diese eben auch nicht zu groß sein, da sonst die Gefahr zunimmt, dass die im Wagen sitzenden Dummies während des Beschleunigungsvorganges ihre vorgeschriebene Position verändern.

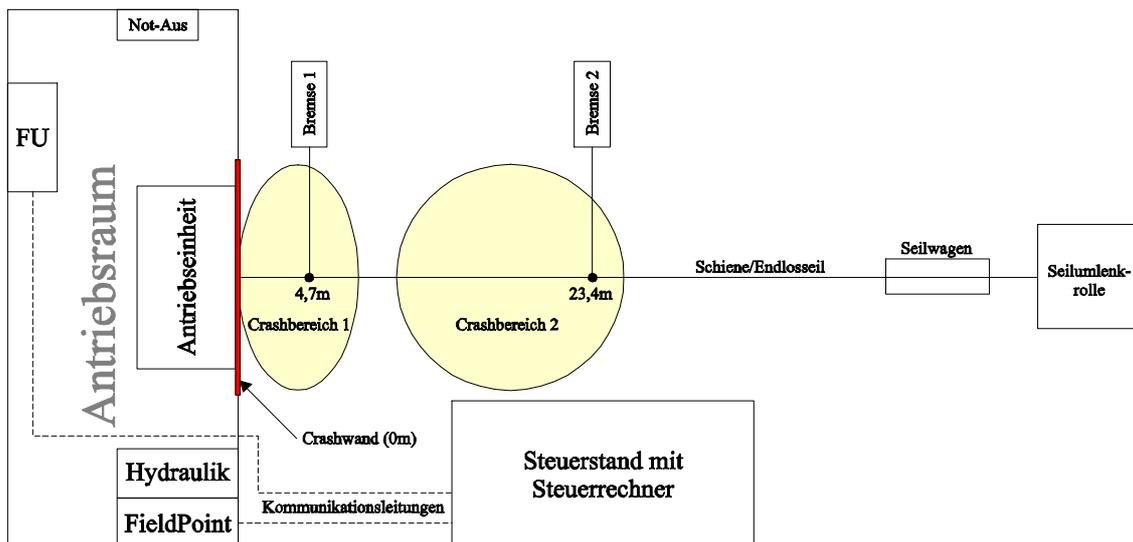


Abbildung 2.1: Schema der Anlage

2.2. Anlagenkomponenten

2.2.1 Antriebseinheit

Der Asynchronmotor sowie mehrere Seilumlenkrollen und der Spannzylinder für das Spannen des Seiles bilden die Antriebseinheit (siehe Abbildungen 2.2/2.3). An der Motorwelle sind die Seilantriebsrolle und eine große Bremscheibe (gebremst mit zwei Bremsätteln) befestigt. Die Bremscheibe und eine Seilumlenkrolle besitzen über ihren Umfang gleichmäßig verteilte Bohrungen, mit deren Hilfe über Impulsgeber eine Bestimmung der Seilgeschwindigkeit bzw. Motorgeschwindigkeit vorgenommen werden kann. Der Hydraulikdruck für die beiden Bremsättel und den Spannzylinder wird von zwei Drucksensoren abgenommen.



Abbildung 2.2: Motor/Seilantriebsrolle



Abbildung 2.3: Motor/Spannzylinder

Beim Asynchronmotor handelt es sich um einen vierpoligen Käfigläufer, welcher von *ELIN Motoren* stammt und die in Tabelle 2.1 angeführten Nenndaten besitzt.

Für zusätzliche Informationen zum Motor wird auf das vollständige Datenblatt im Anhang verwiesen.

Motor Typ	EC2-35L 04B
Nennleistung	315 kW
Betriebsart	S1
Nenndrehzahl	1490 min ⁻¹
Nennspannung Δ/Y	400/690 V
Nennfrequenz	50 Hz
Nennmoment	2019 Nm
Nennstrom Δ/Y	524/303 A
Leistungsfaktor	0,91

Tabelle 2.1: Technische Daten - Motor

2.2.2 Frequenzumrichter

Zur Ansteuerung des Antriebes wird ein von *VA TECH ELIN EBG Elektronik* stammender Frequenzumrichter verwendet.

Frequenzumrichter Typ	>pDRIVE< MX plus 250/315
Daten für Antriebe mit hoher Dauerlast	
Motorleistung typ.	315 kW
Dauerausgangsleistung	395 kVA
Dauerausgangsstrom @ 400V	570 A
Maximalstrom @ 400V	713 A
Maximalmoment	120...140 % M_N (>60s/10min)
Daten für Antriebe mit hoher Überlast	
Motorleistung	250 kW
Nennausgangsleistung	329 kVA
Nennausgangsstrom @ 400V	475 A
Maximalstrom @ 400V	713 A
Maximalmoment	150...170 % M_N (>60s/10min)

Tabelle 2.2: Technische Daten - Frequenzumrichter

Der Umrichter stellt eine Reihe von analogen und digitalen Ein- und Ausgängen, eine Referenzspannung und ein Wechsler-Relais zur Verfügung, welche bisher nicht genutzt werden. Eine Übersicht dazu ist in Tabelle 2.3 dargestellt.

Ebenso verfügt er über mehrere Komparator- und Logikblöcke, die vielfältig mit den Ein-/Ausgängen aber auch mit den internen Zuständen des FU verwendet werden können (z. B. freie Bits im Steuerwort, Störungen, Soll- und Istwerte).

Für die Kommunikation sind ein Bedienfeld mit Display und eine serielle Schnittstelle (RS232) vorgesehen.

Weitere Technischen Daten sowie Informationen zu den verschiedenen Anschlüssen inklusive externer Verdrahtung sind dem ausführlichen Datenblatt im Anhang zu entnehmen.

Funktion	Wert/Bereich
Referenzspannung (Ausgang)	+ 10 V
Analogeingang AIV	0...10 V
Analogeingang AIC	0 (4)...20 mA
Masse	Elektronikmasse 1.)
Analogausgang AO1	0 (4)...20 mA
Masse	Elektronikmasse 1.)
Thermistoreingang + Thermistoreingang -	für max. 6 Kaltleiter in Serie
Masse	Elektronikmasse 1.)
Summen-Rückleiter	gemeinsam für alle Digitaleingänge
Digitaleingang DI1	Optokopplereingang für 24 V
Digitaleingang DI2	wie DI1
Digitaleingang DI3	wie DI1
Digitaleingang DI4	wie DI1
Abfragespannung oder Digitalausgang	24 V, max. 150 mA
Einspeisung Pufferspannung 24 V	für Betrieb der Elektronik, wenn kein
Einspeisung Pufferspannung 0 V	Netz vorhanden
Relais 1 (Wurzel)	
Relais 1 (Öffner)	max. 250 V AC, 30 V DC, 3 A
Relais 1 (Schließer)	
RJ 45 - Anschluss	Serielle Schnittstelle (RS 232)

Tabelle 2.3: Anschlüsse des Frequenzumrichters

1.) Darf max. 35 V gegenüber PE floaten.

2.2.3 Bremse 1

Die erste Bremseinheit befindet sich 4,7m vor der Crashwand und besteht aus zwei Bremsbacken und der Ausklinknocke für den Seilwagen (Abbildung 2.4). Um die Bremse zu aktivieren wird die bewegliche der beiden Bremsbacken hydraulisch bis auf etwa 1 cm Abstand gegen die andere herangeführt. Für die korrekte Aktivierung und Überwachung sind ein induktiver Endschalter und ein Drucksensor angebracht.



Abbildung 2.4: Bremse 1

2.2.4 Bremse 2

Die zweite Bremseinheit ist 23,4m vor der Crashwand angebracht. Ausstattung und Funktionsweise sind wie bei Bremse 1. Für Versuchsdurchführungen bei denen diese Bremse nicht benötigt wird, ist sie mit einem Versenkmechanismus ausgestattet. Dieser kann die gesamte Einheit je nach Bedarf absenken/anheben und ist ebenfalls mit einem induktiven Endschalter und einem Drucksensor ausgestattet.

2.2.5 Hydraulik

Ein Hydraulikaggregat liefert über ein Ausgleichsgefäß den notwendigen Druck für Spannzyylinder, Scheibenbremse, Bremse 1, Bremse 2 und Versenkmechanismus.

Die für die hydraulische Ansteuerung der einzelnen Zylinder und der beiden Bremssättel benötigten elektromagnetischen Ventile sind über zwischengeschaltete Relais an die digitalen Ausgänge der FieldPoint-Module angeschlossen. Die Pumpe des Aggregats ist abhängig vom Signal eines Drucksensors intervallmäßig ein und aus zu schalten.



Abbildung 2.5: Hydraulik

2.2.6 Not-Aus

Wird als Hauptschalter für die Spannungsversorgung der gesamten Anlage verwendet.

2.2.7 FieldPoint

Die FieldPoint-Module sind für die Steuerung und Überwachung der gesamten Mechanik, Hydraulik und der Zusatzfunktionen zuständig.

Folgende Module werden verwendet:

- **1 Modul FP – 1601**
Stellt das Netzwerkinterface für die LAN-Verbindung zum Steuerrechner zur Verfügung. Alle anderen Module sind an dieses angeschlossen.
- **1 Modul FP – AI – 100**
Besitz 8 analoge Eingänge mit denen ein Messen von Spannung (0...30 V) oder Strom (0...20 mA) möglich ist.
- **2 Module FP – DIO – 550**
Jedes Modul hat 8 digitale Eingänge und 8 digitale Ausgänge, die mit bis zu 30 V DC betrieben werden können.
- **1 Modul FP – CTR – 500**
Bietet acht kaskadierbare 16-Bit, 50 kHz Zähler und je vier speziell konfigurierbare digitale Ein- und Ausgänge.

Die Spezifikationen zu den verschiedenen Modulen sind in deren Datenblättern im Anhang nachzuschlagen.

Anhand des Schemas in Abbildung 2.6 sind die wesentlichen Zusammenhänge zwischen FieldPoint und Mechanik, Hydraulik, Sonderfunktionen erkennbar. Für die Funktionsweise im Detail inklusive Verdrahtung der Anlage wird auf den Hydraulikplan und die Schaltpläne im Anhang sowie die am Institut für Fahrzeugsicherheit hinterlegte Gesamtdokumentation verwiesen.

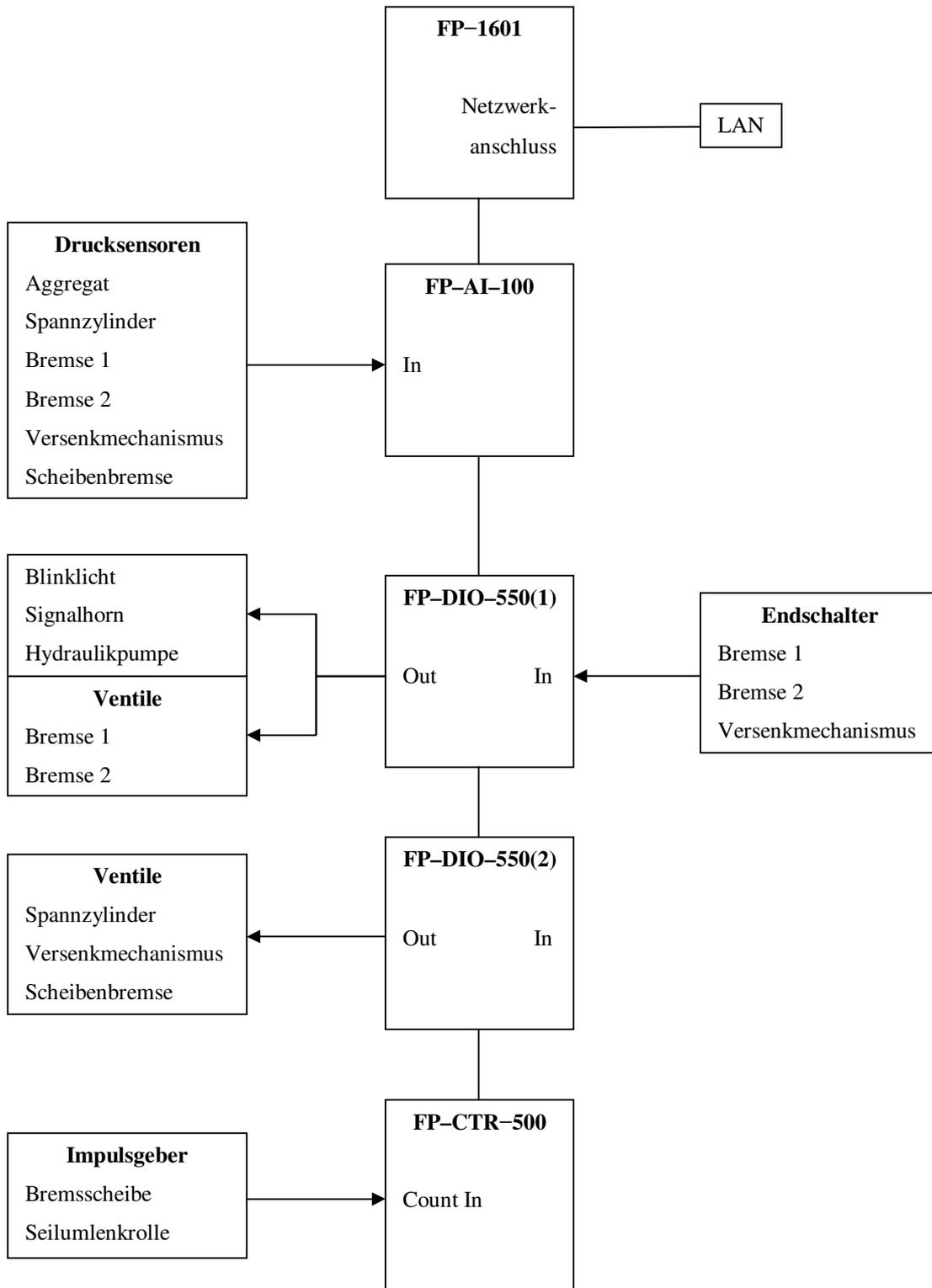


Abbildung 2.6: Schema der Ansteuerung mit Fieldpoint-Modulen

2.3. Bisheriger Versuchsablauf

Nachfolgend werden die einzelnen Schritte zur Durchführung eines Versuchs in ihrer zeitlichen Abfolge wiedergegeben. Gelbe Bereiche betreffen das LabView-Programm, graue das Programm *Matrix* und grüne Bereiche stellen manuelle Tätigkeiten dar.

- LabView-Programm starten
- Verbindung aufbauen (Kommunikation mit FieldPoint herstellen)
- Steuerung des Hydraulikaggregats aktivieren
- Blinklicht und Spannzylinder aktivieren
- Scheibenbremse, Bremse 1, Bremse 2 und Versenkmechanismus deaktivieren
- Programm Matrix starten
- Verbindung zu Frequenzumrichter aufbauen
- Bedienhoheit auf Steuerrechner holen
- Drehrichtung und kleine Frequenz für Seilwagenpositionierung eingeben
- Kontrollieren ob Anlage in einem zulässigen Betriebszustand ist (Endschalter, Drücke, Kommunikation mit FieldPoint aufrecht?)
- Hochlaufbefehl geben (Seilwagen setzt vor oder zurück)
- Motor stoppen, wenn Seilwagen an gewünschter Position (keine Positionsbestimmung des Seilwagen implementiert)
- Fahrzeug einhängen, Messtechnik (Dummys, Hochgeschwindigkeitskameras) aktivieren und Beleuchtung einschalten
- Manuelle Berechnung von Sollfrequenz und Hochlaufzeit aus der gewünschten Endgeschwindigkeit und der gewählten Startposition
- Berechnete Werte und Rampenparameter an den Frequenzumrichter senden
- Falls für Versuchsdurchführung benötigt, die passende Bremse aktivieren
- Ausgedruckte Checklisten abarbeiten (Messtechnik aktiv? Licht? Etc.)
- Kontrollieren ob Anlage in einem zulässigen Betriebszustand ist (Endschalter, Drücke, Kommunikation mit FieldPoint aufrecht?)
- Mit Befehl zum Hochlauf des Motors erfolgt die Versuchsdurchführung
- Nach Versuch: Motor stoppen, Verbindung zu FU beenden
- Anlage in Ruhezustand versetzen (alles deaktivieren, Verbindung beenden)

Es ist sofort ersichtlich, dass der ständige Wechsel zwischen den beiden Programmen zusammen mit den manuellen Tätigkeiten und Berechnungen großes Fehlerpotential in sich trägt und außerdem alles andere als anwenderfreundlich ist. Daher werden in Abschnitt 2.4 Vorgaben für eine neue Art der Durchführung definiert.

2.4. Versuchsablauf „Soll“

Gewünscht wird eine Automatisierung gemäß den Abbildungen 2.7 und 2.8. Dem Anlagenbenutzer soll eine übersichtliche Bedienoberfläche in die Hand gegeben werden, die ein Eingreifen nur noch an den unbedingt notwendigen Stellen erfordert.

Dabei sind die Überwachung des Betriebszustandes der Anlage und die Durchführung des gesamten Versuchs so weit als möglich zu automatisieren. In Folge werden die Gefahr eines fehlerhaft ausgeführten Crashtests und die damit verbundenen Probleme vermieden (z. B. Zerstörung eines teuren Prototypen-Fahrzeugs ohne dabei brauchbare Daten zu erlangen).

Zusätzlich zum automatischen Ablauf soll dem Anwender auch die Möglichkeit einer weitgehend manuellen Bedienung der Anlage zwecks Wartung, Funktionsüberprüfung und Seilwagen oder Schlitten wegfahren gegeben werden.

Anwender-Vorgänge	Automatisierte Vorgänge
<ul style="list-style-type: none">• Hydraulische Funktionen EIN/AUS• Zusatzfunktionen EIN/AUS• Vor- und Zurückfahren (langsam)• Werte der Anlage kontrollieren (Drücke, Schalter,...)	<ul style="list-style-type: none">• Sicherheitsüberprüfungen (minimal notwendige)• Benutzerabfragen (nur unbedingt notwendige)

Abbildung 2.7: Manuelle Bedienung

Anwender-Vorgänge

Eine fixe Reihenfolge ist einzuhalten, um den Versuch durchführen zu können. Abfragen (Checklisten) integriert!

- Eingabe von allgemeinen Informationen zum Versuch
- Versuchsart auswählen, Geschwindigkeit, Start- und Stoppunkt sowie Konstantfahrt eingeben
- Befehl „Startpunkt anfahren“
- Fahrzeug einhängen, Messtechnik und Beleuchtung aktivieren
- Befehl „Versuch vorbereiten“
- Befehl „Versuch durchführen“
- Befehl „Daten speichern“

Automatisierte Vorgänge

Automatische Überprüfung des Anlagenzustandes passend zum jeweiligen Vorgang.

- Anlage bei Programmstart in einen definierten Anfangszustand versetzen
- Randbedingungen berücksichtigen (Auswahl/Werte beschränken), fehlerhafte Eingaben unterbinden
- Seilwagen wird an die Startposition gefahren
- Senden der automatisch berechneten Rampenparameter an FU, aktivieren der verschiedenen Elemente
- Sicherheitsabfragen, Motor hochlaufen lassen und nach Versuch wieder stoppen
- Allgemeine Informationen und Daten wie z.B. Geschwindigkeitsverlauf speichern

Abbildung 2.8: Automatischer Ablauf

Kapitel 3

Modellbildung

3.1 Aufgabenstellung

Unter Berücksichtigung des "Eigenverbrauchs" der Anlage (Massen, Trägheitsmomente, Reibung) soll ein Modell für die Berechnung der maximal möglichen Beschleunigung bei gegebenen Fahrzeugdaten und Antriebsmoment erstellt werden. In Abbildung 3.1 sind die Zusammenhänge mit teilweise zusammengefassten Trägheitsmomenten und Massen wiedergegeben.

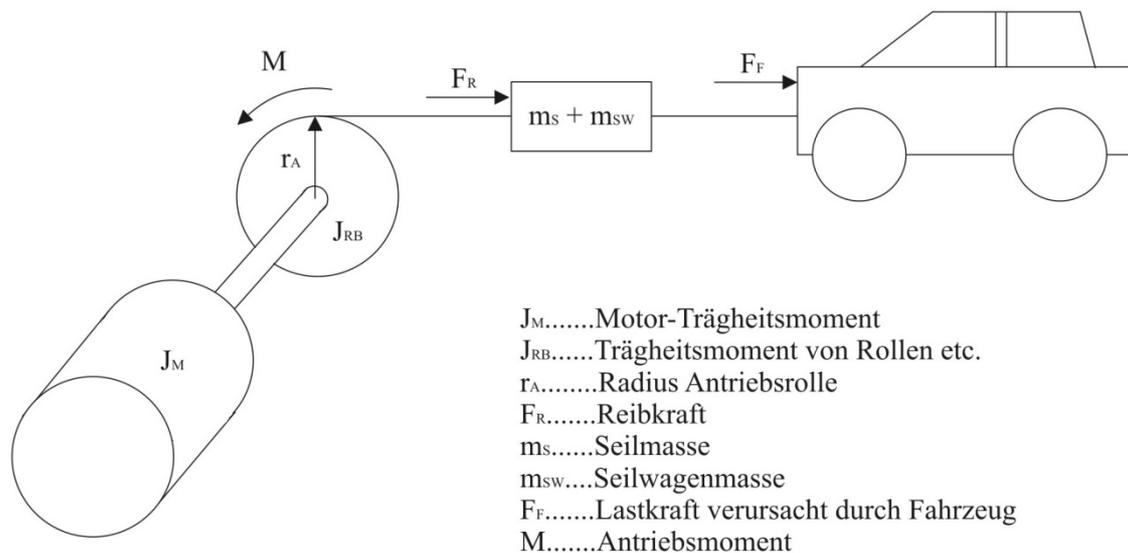


Abbildung 3.1: Kräfte und Momente bei Crashanlage mit Fahrzeug

3.2 Crashanlage ohne Fahrzeug

Für die Bewegungsgleichung der Crashanlage wird das

- Trägheitsmoment des Asynchronmotors J_M ,
- der Antriebsrollenradius r_A ,
- die Seilmasse m_S ,
- die Seilwagenmasse m_{SW} ,
- das Summenträgheitsmoment J_{RB} von Rollen und Bremsscheibe sowie
- die Reibkraft F_R benötigt.

Die letzten beiden Positionen sind nicht bekannt und müssen bestimmt werden.

3.2.1 Bestimmung des Summenträgheitsmomentes J_{RB}

Die Anlage besitzt für den Seilantrieb eine Antriebsrolle, eine Führungsrolle, mehrere Umlenkrollen und eine Bremsscheibe. Diese verursachen Trägheitsmomente, die rechnerisch ermittelt und auf die Antriebsseite umgerechnet werden können.

Die einzelnen Rollen werden als homogene Scheiben der Dicke d mit dem Radius R approximiert, deren Trägheitsmoment mit (3.1) berechnet werden kann:

$$J = \int_V r^2 dm \quad (3.1)$$

Mit $dm = \rho * 2\pi * r * d * dr$ und Integration von 0 bis R erhält man:

$$J = \rho * \pi * d * \frac{R^4}{2} \quad (3.2)$$

Setzt man in (3.2) die Dichte $\rho = 7,85 \text{ kg/dm}^3$ für das Fertigungsmaterial Stahl¹ ein, ergeben sich die Einzel-Trägheitsmomente J_i in Tabelle 3.1. Bis auf J_4 und J_6 (Bremscheibe und Antriebsrolle sitzen auf der Motorwelle) müssen die anderen Trägheitsmomente noch mit ihrem quadratischen Übersetzungsverhältnis auf die Antriebsseite (J_{Ai}) umgerechnet werden (3.3).

$$J_{Ai} = J_i * \frac{R_6^2}{R_i^2} \quad (i = 1,2,3,5,7) \quad (3.3)$$

Lfd. Nr.i	Bezeichnung	R_i (dm)	d_i (dm)	J_i (kgm ²)	J_{Ai} (kgm ²)
1	Umlenkrolle 1	1	0,4	0,049	0,051
2	2x Umlenkrolle 2	0,8	0,4	0,040	0,066
3	Umlenkrolle 3	1,05	0,4	0,060	0,057
4	Bremscheibe	3,25	0,15	2,064	2,064
5	Führungsrolle	0,8	0,7	0,035	0,057
6	Antriebsrolle	1,025	1,1	0,150	0,150
7	Umlenkrolle 4	1,65	0,5	0,457	0,176

Tabelle 3.1: Sonstige Trägheitsmomente der Crashanlage

Das Summenträgheitsmoment von Rollen und Bremscheibe lautet somit:

$$J_{RB} = \sum J_{Ai} = 2,621 \text{ kgm}^2 \quad (3.4)$$

3.2.2 Bestimmung der Reibkraft F_R

Es wurde die Wellenleistung für Fahrten mit dem Seilwagen bei konstanter Geschwindigkeit vom Frequenzumrichter gemessen. Trägheitsmomente und Massen haben hier keine Auswirkung und es kann aus der Wellenleistung eine Reibkraft bestimmt werden. Die Leistungen bei den verschiedenen konstanten Geschwindigkeiten sind in Tabelle 3.2 und Abbildung 3.2 dargestellt.

¹Quelle: http://www.thyssenkrupp-schulte.de/tl_files/ThyssenKrupp/pdf/Berlin/Gewi.pdf

v (km/h)	10	20	30	40	50	64
P _R (kW)	4,5	10,2	19,2	29,8	38,7	55,3

Tabelle 3.2: Wellenleistungen bei konstanter Geschwindigkeit

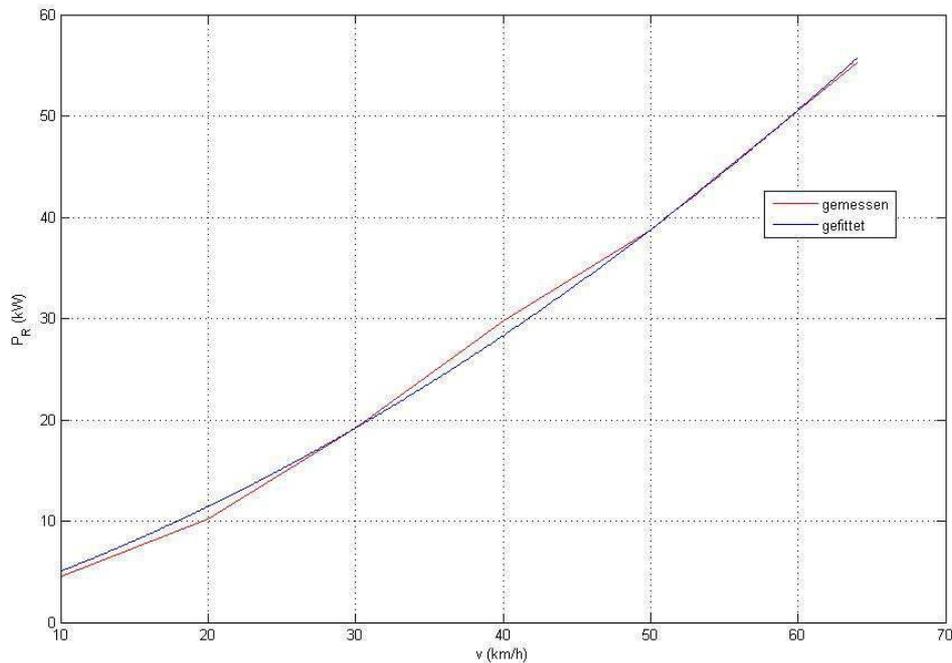


Abbildung 3.2: Gemessene und gefittete Wellenleistung

Aufgrund des dargestellten Leistungsverlaufs aber auch wegen der Annahme, dass zumindest eine linear mit der Geschwindigkeit ansteigende Reibkraft vorliegt, ergibt sich über die Beziehung von Drehmoment zu Leistung mit

$$P_R = M_R * \omega_{Rot} = F_R * r_A * \omega_{Rot} \quad (3.5)$$

und

$$F_R = f(v), \omega_{Rot} = 2 * \pi * \frac{v}{2 * \pi * r_A} \quad (3.6)$$

ein quadratischer Verlauf als realistisch. Daher wurde in *Matlab* mit dem *curve fitting tool* ein Fitting für eine quadratische Funktion angewendet mit der vereinfachenden Annahme, dass die Reibkraft bei Drehzahl null verschwindet. Die somit gewonnene Funktion für die Reibleistung lautet nach Umrechnung auf SI-Einheiten:

$$P_R = 87,86 * v^2 + 1571 * v \quad [P] = W, [v] = m/s \quad (3.7)$$

Löst man (3.5) nach F_R auf und setzt für P_R die Formel (3.7) ein erhält man die Reibkraft

$$F_R = \frac{P_R}{v} = 87,86 * v + 1571 \quad [F_R] = N, [v] = m/s \quad (3.8)$$

3.2.3 Bewegungsgleichung für die Crashanlage

Allgemein gilt für eine rotatorische Bewegung mit dem Trägheitsmoment J :

$$J * \dot{\omega} = M_{\text{Antrieb}} - M_{\text{Last}} \quad (3.9)$$

Führt man das Gesamtträgheitsmoment

$$J_{\text{ges}} = J_M + J_{RB} \quad (3.10)$$

und die Summenmasse von Seil und Seilwagen

$$m_{SSW} = m_S + m_{SW} \quad (3.11)$$

ein und ersetzt die Winkelgeschwindigkeit mit ω_{Rot} aus (3.6) womit

$$\dot{\omega} = \frac{\dot{v}}{r_A} \quad (3.12)$$

wird und setzt für F_R das Ergebnis (3.8) ein, so erhalten wir die Bewegungsgleichung der Crashanlage mit:

$$J_{\text{ges}} * \frac{\dot{v}}{r_A} = M - m_{SSW} * \dot{v} * r_A - (87,86 * v + 1571) * r_A \quad (3.13)$$

3.3 Fahrzeug

Die Abbildung 3.3 und die Bewegungsgleichungen für den Fahrzeugaufbau und die Achsen wurden aus [7] entnommen und auf die Verhältnisse bei einem Crashtest adaptiert.

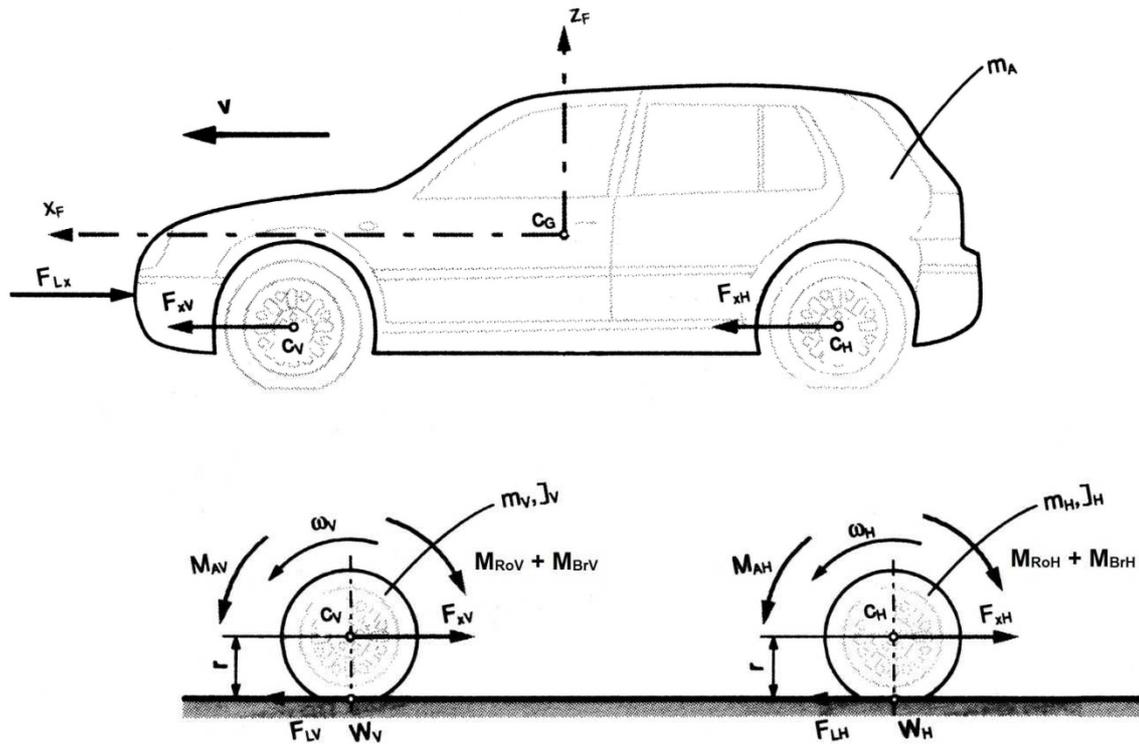


Abbildung 3.3: Kräfte und Momente am Fahrzeugaufbau und den Achsen

Bedeutung der Bezeichnungen:

m_A	Masse des Aufbaus
F_{xV}, F_{xH}	Zugkraft (Antrieb) an Vorder-/Hinterachse
F_{Lx}	Luftwiderstandskraft
m_V, m_H	Masse der Vorder-/Hinterachse
F_{LV}, F_{LH}	Kraft im Latsch der vorderen/hinteren Reifen
J_V, J_H	Trägheitsmoment der Vorder-/Hinterachse
M_{AV}, M_{AH}	Antriebsmoment an Vorder-/Hinterachse
M_{RoV}, M_{RoH}	Rollwiderstandsmoment an Vorder-/Hinterachse
M_{BrV}, M_{BrH}	Restbremsmoment an Vorder-/Hinterachse

3.3.1 Bewegungsgleichung für das Fahrzeug

Für den Fahrzeugaufbau gilt:

$$m_A * \dot{v} = F_{xV} + F_{xH} - F_{Lx} \quad (3.14)$$

Bei der Fahrzeugvorderachse ergibt sich:

$$m_V * \dot{v} = F_{LV} - F_{xV} \quad (3.15)$$

$$J_V * \dot{\omega}_V = M_{AV} - r * F_{LV} - M_{RoV} - M_{BrV} \quad (3.16)$$

Die Fahrzeughinterachse wird beschrieben durch:

$$m_H * \dot{v} = F_{LH} - F_{xH} \quad (3.17)$$

$$J_H * \dot{\omega}_H = M_{AH} - r * F_{LH} - M_{RoH} - M_{BrH} \quad (3.18)$$

Da das Fahrzeug beim Crashtest gezogen wird kann ein frei rollendes Rad ohne Antriebs- oder Bremsschlupf angenommen werden, weshalb für die Winkelgeschwindigkeiten eingesetzt werden kann

$$\omega = \omega_V = \omega_H = \frac{v}{r} \quad (3.19)$$

Durch Ableitung/Einsetzen von (3.19) in die beiden Momentengleichungen (3.16) und (3.18) sowie Division mit dem Radius r, erhält man

$$\frac{J_V}{r^2} * \dot{v} = \frac{M_{AV}}{r} - F_{LV} - \frac{M_{RoV}}{r} - \frac{M_{BrV}}{r} \quad (3.20)$$

$$\frac{J_H}{r^2} * \dot{v} = \frac{M_{AH}}{r} - F_{LH} - \frac{M_{RoH}}{r} - \frac{M_{BrH}}{r} \quad (3.21)$$

Durch Addition der Gleichung (3.20) mit (3.15) beziehungsweise (3.21) mit (3.17) erhält man eine Gleichung für die Beschreibung der Vorderachse

$$\left(m_V + \frac{J_V}{r^2} \right) * \dot{v} = -F_{xV} + \frac{M_{AV}}{r} - \frac{M_{RoV}}{r} - \frac{M_{BrV}}{r}$$

und eine Gleichung für die Hinterachse

$$\left(m_H + \frac{J_H}{r^2} \right) * \dot{v} = -F_{xH} + \frac{M_{AH}}{r} - \frac{M_{RoH}}{r} - \frac{M_{BrH}}{r}$$

Da die Struktur der Achsgleichungen nun die gleiche ist wie beim Fahrzeugaufbau (3.14), lässt sich durch addieren der drei und

berücksichtigen von $F = \frac{M}{r}$

und zusammenfassen von $m = m_A + m_V + m_H$

folgende Gleichung für das Gesamtfahrzeug aufstellen:

$$\left(m + \frac{J_V + J_H}{r^2} \right) * \dot{v} = F_{AV} + F_{AH} - F_{RoV} - F_{RoH} - F_{BrV} - F_{BrH} - F_{Lx}$$

Fasst man die Trägheitsmomente, die Antriebs-, Rollwiderstands- und Restbremskräfte jeweils zusammen, so erhält man die sehr übersichtliche Darstellung

$$\left(m + \frac{J}{r^2} \right) * \dot{v} = F_A - F_{Ro} - F_{Br} - F_{Lx} \quad (3.22)$$

3.4 Crashanlage mit Fahrzeug

3.4.1 Gesamtanordnung

Die Antriebskraft F_A in (3.22) ist die Kraft, die für die Überwindung der translatorischen und rotatorischen Trägheit und der Bewegungsrichtung entgegenwirkender Kräfte (Rollwiderstand, Restbremskraft, Luftwiderstand) benötigt wird. Sie wird üblicherweise durch das Fahrzeug selbst aufgebracht, in unserem Fall stellt sie aber die Lastkraft F_F aus Abbildung 3.1 dar, die vom Antrieb der Crashanlage auf das Fahrzeug ausgeübt werden muss.

$$F_F = F_A = \left(m + \frac{J}{r^2} \right) * \dot{v} + F_{Ro} + F_{Br} + F_{Lx} \quad (3.23)$$

Fügt man F_F als Lastkraft in Gleichung (3.13) hinzu und dividiert durch r_A , so ergibt sich nach Umformung die Bewegungsgleichung für die Gesamtanordnung zu:

$$\left(\frac{J_{ges}}{r_A^2} + m_{SSW} + m + \frac{J}{r^2} \right) * \dot{v} = \frac{M}{r_A} - 87,86 * v - 1571 - F_{Ro} - F_{Br} - F_{Lx} \quad (3.24)$$

3.4.2 Bestimmung der Rollwiderstandskraft F_{Ro}

Der Rollwiderstand ist annähernd linear von der Radlast F_z abhängig. Seine Berechnung erfolgt mit²:

$$F_{Ro} = f_R * F_z \quad (3.25)$$

Der Proportionalitätsfaktor f_R heißt Rollwiderstandsbeiwert und ist dimensionslos. Er liegt für PKW in der Größenordnung 0,01.

² vgl. [8]

3.4.3 Bestimmung der Restbremskraft F_{Br}

Durch an der Bremsscheibe anliegende Bremsklötze nach dem Loslassen des Bremspedals (tritt vor allem bei älteren Fahrzeugen auf) entsteht eine Restbremskraft, die während der Fahrt durch z.B. Vibrationen, Bremsscheibenquerbewegungen etc. abnimmt. Da das Fahrzeug bei einem Crashtest keine längere Strecke zurücklegt und auch keine hohen Geschwindigkeiten gefahren werden, ist diese Kraft nicht zu vernachlässigen. Laut [8] kann F_{Br} bei niedrigen Geschwindigkeiten (am VSI werden Crashtests mit maximal 64km/h gefahren) durchaus die Hälfte des Rollwiderstandes betragen, daher wird die Restbremskraft mit³:

$$F_{Br} = 0,5 * F_{Ro} \quad (3.26)$$

angenommen.

3.4.4 Bestimmung der Luftwiderstandskraft F_{Lx}

Für ein Fahrzeug, das nur in Längsrichtung angeströmt wird ist die Luftwiderstandskraft⁴

$$F_{Lx} = c_w * A * \frac{\rho}{2} * v_r^2 \quad (3.27)$$

ρ	Luftdichte
c_w	dimensionsloser Luftwiderstandsbeiwert
A	Querspanfläche
v_r	Anströmgeschwindigkeit

Die Anströmgeschwindigkeit setzt sich aus der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit zusammen und ist somit in der windlosen Crashhalle:

$$v_r = v + v_w = v$$

^{3,4} vgl. [8]

Kapitel 4

Implementierung

4.1 Allgemein

4.1.1 Die Ausgangslage

Der Zustand der Crashanlage kann als nicht einsetzbar angesehen werden. Es gibt Kommunikationsprobleme, viele Möglichkeiten für eine fehlerhafte Versuchsdurchführung und die Bedienung ist absolut anwenderunfreundlich.

Zusammen mit Institutsangehörigen, die am Aufbau und der versuchten Inbetriebnahme beteiligt waren, wurde folgende Liste von Unzulänglichkeiten erarbeitet:

- Verwendung von verschiedenen Programmen notwendig
- Derzeit verwendete Benutzeroberfläche(n) sehr unübersichtlich
- Kein automatisierter Versuchsablauf
- Unzulässige Betriebszustände möglich
- Zu viele manuelle Tätigkeiten
- Es ist dem Benutzer nicht möglich einen bestimmten Beschleunigungsvorgang vorzugeben, der dann vom System auch real eingehalten wird
- Der durch die Eingaben und Parametrierungen resultierende reale Beschleunigungsverlauf ist für den Benutzer nicht erkennbar
- Fehlende Sicherheitsabfragen (Anlagensicherheit, Personensicherheit)
- Kein Abspeichern von allgemeinen Informationen zum Versuch und zugehöriger Versuchsdaten
- Keine Visualisierung von Versuchsinformationen/-daten
- Fehlende Benutzerabfragen (stattdessen arbeiten mit Checklisten notwendig)
- Vernünftige Abbruchmöglichkeit (Software/Hardware) nicht vorhanden

Aus den oben festgestellten Unzulänglichkeiten sowie weiterführenden Überlegungen lassen sich unmittelbar die Anforderungen an die zukünftige Crashanlage ableiten. Die einzelnen Anforderungen und wie diese erfüllt werden sollen, wird in den folgenden Abschnitten erklärt.

4.1.2 Verwendung von NI LabView

Da eine möglichst schnelle Realisierung gefordert war, sollte ursprünglich das bestehende LabView-Programm, welches den mechanischen und hydraulischen Teil der Anlage steuert, derart adaptiert werden, dass es die gesamte Anlage steuert und alle neuen Anforderungen erfüllt werden. Nach eingehendem Studium der Software wurde aber schnell klar, dass die Änderungen im Programmcode und der Benutzeroberfläche so umfangreich sein würden, dass diese Vorgehensweise zumindest als sehr langwierig mitunter auch als nicht durchführbar einzustufen ist. Daher wurde beschlossen die Software von Grund auf neu und wiederum in LabView zu schreiben. Der Vorteil der Programmiersprache liegt im einfachen Erstellen von Benutzeroberflächen und ihrem intuitiv leicht zugänglichen grafischen Code. Außerdem ist die Einbindung von jenem Teil der Hardware, welcher von National Instruments stammt (FieldPoint), besonders einfach möglich und es können einige Ideen aus dem alten Programm leichter übernommen werden.

4.1.3 Erweiterungen und Verbesserungen

Stabile Kommunikation

Die Kommunikationsprobleme mit dem Frequenzumrichter konnten auf eine den Gegebenheiten nicht angepasste Signalübertragung zurückgeführt werden. Die Konverter und der Lichtwellenleiter (siehe Abb. 1.2) entstammen dem Zubehörhandel aus dem PC-Bereich und die beiden drahtgebundenen RS232-Leitungen sind viel zu lang ausgeführt und nicht vor elektromagnetischer Einstrahlung geschützt verlegt. Eine Anschaffung ordentlicher Kommunikationshardware, die Industriestandards erfüllt, erscheint sinnvoll. Ebenso ist eine hochwertige drahtgebundene Leitung oder ein

entsprechender Lichtwellenleiter zu verwenden, wobei eine fachgerechte Verlegung unabdingbar ist.

Als Ursache für die FieldPoint-Kommunikationsprobleme sowie übermäßig lange Reaktionszeiten bei der Anlagenbedienung wurde der Steuerrechner identifiziert. Aufgrund sporadisch auftretender hoher Systemlast durch im Hintergrund laufende Prozesse, verursacht durch unnötig viel installierte Programme und einer permanenten Verbindung mit dem Universitätsnetzwerk sowie dem Internet, ist das System nicht stabil. Zur Lösung der Probleme ist der Steuerrechner lediglich mit den unbedingt notwendigen Programmen und Treibern zu installieren. Eine möglichst vollständige Trennung vom Netzwerk/Internet ist vorzunehmen. Sämtliche Programme und deren diverse Einstellungen (auch jene des Betriebssystems) sind auf minimale Systemauslastung hin zu betrachten d. h. Ausschalten bzw. Deinstallieren von Bildschirmschoner, automatischen Updates...

Anwenderfreundliche Benutzeroberfläche

Es ist eine neue Benutzeroberfläche zu erstellen, welche die neu hinzukommenden Funktionalitäten berücksichtigt und gleichzeitig alle bisher benötigten Bedien- und Anzeigeelemente der verschiedenen Programme enthält. Bei ihrer Gestaltung ist große Aufmerksamkeit auf eine einfache Bedienung und auf die übersichtliche Darstellung des Anlagenzustandes zu legen.

Automatisierte Versuchsdurchführung

Die Durchführung eines Crashtests ist in ihrer Gesamtheit zu erfassen und im neuen Programm möglichst weitgehend durch automatisch ablaufende Vorgänge zu realisieren. Dabei sind gegebenenfalls auch Vorgänge zu berücksichtigen, die lediglich indirekt im Zusammenhang mit der Crashanlage stehen.

Einfache Vorgabe eines Beschleunigungsvorgangs

In Abbildung 4.1 ist exemplarisch die Geschwindigkeit des Seilwagens (bzw. Fahrzeuges) über seiner Position entlang der Beschleunigungsstrecke angegeben. Die Positionsangaben sind auf die Crashwand bezogen.

Der zukünftige Anwender erwartet sich, dass er nur die gewünschte Endgeschwindigkeit, die beiden Positionen Startpunkt/Stopppunkt und eine Konstantfahrt einzugeben hat. Dabei stellt die Konstantfahrt eine kurze Strecke direkt vor dem Stopppunkt dar, innerhalb derer bereits die Endgeschwindigkeit konstant anliegen sollte. Der abgebildete Geschwindigkeitsverlauf soll also das Ergebnis folgender Benutzereingaben sein:

- Endgeschwindigkeit 50km/h
- Startpunkt 45m
- Stopppunkt 6m
- Konstantfahrt 2m

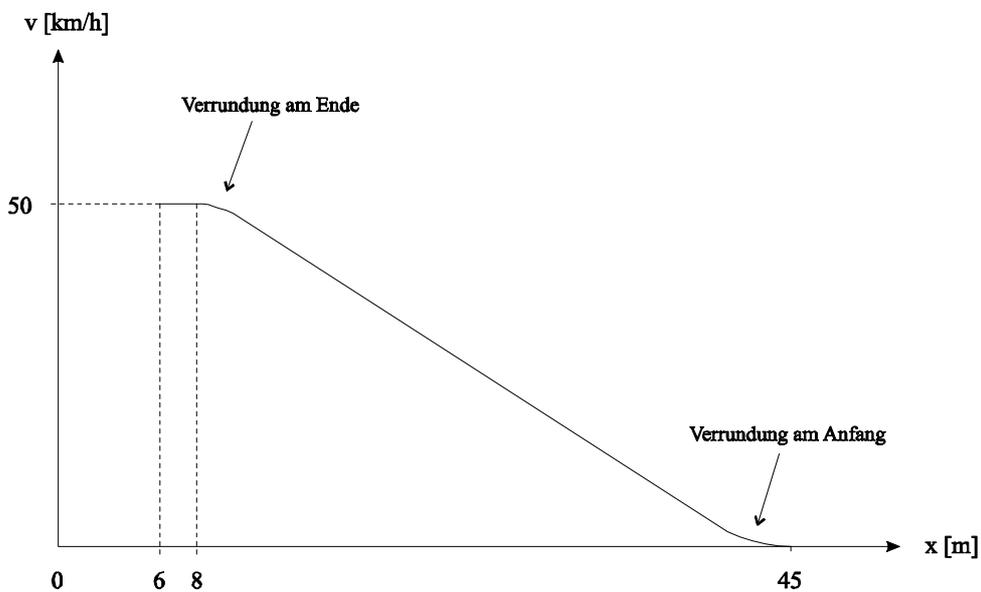


Abbildung 4.1: Beispielhafter Verlauf eines Beschleunigungsvorgangs

Daten speichern und visualisieren

Die allgemeinen Informationen zu einem Versuch (z. B. Titel, Kundenname, Versuchsart,...) sollen zusammen mit den Versuchsdaten (Messwerte während Versuchsdurchführung) in einem PDF-Dokument übersichtlich dargestellt werden. Die Versuchsdaten sollen für eine einfache Weiterverwendung zusätzlich noch in Textdateien abgespeichert werden.

4.1.4 Sicherheitsrelevante Überlegungen

Stromversorgung

Das Ein- und Ausschalten der Stromversorgung für die Anlage geschieht bisher im Antriebsraum. In Zukunft hat dies vom Steuerstand aus zu erfolgen.

Abbruchmöglichkeit durch Software

Ein während dem Beschleunigungsvorgang im Programm gegebener Befehl zum Abbrechen muss möglichst schnell zum Anhalten und in einen sicheren Anlagenzustand führen.

Abbruchmöglichkeit durch Hardware

Durch einen im Steuerstand anzubringenden Not-Aus-Schalter muss jederzeit ein Versuchsabbruch durchführbar sein. Es ist darauf zu achten, dass dies möglichst hardwarebasiert und direkt mit dem Frequenzumrichter erreicht wird. Damit ist ein sofortiger Motorhalt auch dann möglich, wenn Probleme mit dem Steuerrechner, Programm, Kommunikation oder FieldPoint auftreten.

Unzulässige Betriebszustände

Durch die Verwendung eines einzigen Programmes mit einer gut gestalteten Benutzeroberfläche, dem automatischen Versuchsablauf, einer einfachen Vorgabe eines Beschleunigungsvorganges und der starken Reduktion von manuellen Tätigkeiten wird bereits eine gute Basis für die Vermeidung von unzulässigen Betriebszuständen erreicht. Zusätzlich ist eine Einbindung von automatisierten Sicherheitsabfragen notwendig. Diese sind den jeweiligen Vorgängen anzupassen und betreffen die Bestimmung des Anlagenzustandes mit Hilfe von Sensorinformationen sowie dem Abfragen von Informationen, die nicht automationsgestützt zugänglich sind.

Benutzerabfragen/Checklisten

Wichtige manuelle Tätigkeiten, die eine ordnungsgemäße Durchführung des Crashtests gefährden können und bisher nur mit ausgedruckten Checklisten Berücksichtigung fanden, sind in Form von Benutzerabfragen in den Programmablauf zu integrieren.

4.1.5 Beschaffung zusätzlicher Hard- und Software

Interface für Steuerrechner

Um in Zukunft eine stabile Kommunikation gewährleisten zu können, wird, unter Berücksichtigung einer Erweiterung mit einem Laser-Entfernungs-Messgerät, die bisherige Kombination aus RS232/422 durch ein industrietaugliches Bussystem ersetzt. Ein besonders wichtiges Entscheidungskriterium war die einfache Einbindung des Interface für den Steuerrechner in die Programmierumgebung *LabVIEW*. Zusätzlicher Entwicklungsaufwand sollte genauso vermieden werden wie das Risiko von Inkompatibilitäten. Nicht zuletzt wegen der Aktualität und natürlich der Verfügbarkeit entsprechender Schnittstellen für die verschiedenen Busteilnehmer wurde zugunsten eines CANopen Bussystems entschieden, welches auf der Hardware-Ebene ein Controller Area Network (CAN) darstellt. Ein passendes CAN-Interface für den Einsatz im Steuerrechner wird von National Instruments angeboten und hat die in Tabelle 4.1 angegebenen Eckdaten.

Interface-Modell	PCI
Kanalanzahl	1
Kanalart	High-Speed
Übertragungsrate	max. 1MBit/s
Anschluss	DB9 male

Tabelle 4.1: Technische Daten – NI CAN-Interface

CANopen LabVIEW Library

Um aus einer CAN-Hardware wie dem *PCI CAN-Interface* einen Teilnehmer für ein CANopen Bussystem zu machen, ist die Implementierung des CANopen Kommunikationsprotokolls gemäß Europäische Norm EN 50325-4 notwendig. Besagte Implementierung ist bei National Instruments in Form einer Bibliothek erhältlich - sie enthält alle benötigten VIs für das Erstellen einer CANopen-Anwendung.

Eine Einführung zu CAN-Bus/CANopen wird in den Abschnitten 4.1.6/4.1.7 gegeben.

CANopen-Option für Frequenzumrichter

Als Zubehör für den Frequenzumrichters ist die Option GW-CBO1 erhältlich. Diese fungiert, angeschlossen an die RS232-Schnittstelle, als Gateway zu einem CANopen-Netzwerk, womit der Umrichter zu einem CANopen-Teilnehmer wird.

Positionsgeber

Da es zurzeit keine Möglichkeit der Positionsbestimmung des Seilwagens gibt, ist es nicht möglich diesen automatisch an eine bestimmte Position fahren zu lassen. Außerdem sind keine Sicherheitsabfragen bezüglich der Position möglich. Ein Weiteres Problem stellt die Geschwindigkeit dar, die durch die vorhandenen Inkrementgeber nur sehr ungenau bestimmt werden kann, da diese eine zu geringe Auflösung haben. Daher wurde die Anschaffung eines leistungsfähigen Gerätes zur Positionsbestimmung beschlossen. Die Wahl fiel auf das in Tabelle 4.2 beschriebene Laser-Entfernungsmessgerät LE-200 CANopen von TR-Electronic.

Schnittstelle	CANopen
Übertragungsrate	max. 1MBit/s
Reichweite	0,2 – 125m
Physikalische Auflösung	0,7mm
Messwertausgabe	1000 Werte/s
Max. Geschwindigkeit	20m/s

Tabelle 4.2: Technische Daten – LE-200

Busleitung

Übertragungsmedium ist eine doppelt geschirmte, verdrehte Zwei-Draht-Leitung, die für CANopen geeignet ist.

Endschalter

Eine Beschädigung der Anlage bei zu weitem Zurückfahren, ist durch die entsprechende Verwendung eines induktiven Schalters am Streckenende zu verhindern.

4.1.6 Controller Area Network (CAN)⁵

Der CAN-Bus ist eine 1983 von Bosch gestartete und 3 Jahre später der Öffentlichkeit vorgestellte Entwicklung zur seriellen Vernetzung von Komponenten in Fahrzeugen. Vorrangiges Ziel war die Verringerung des damals immer größer werdenden Verkabelungsaufwands.

Bereits 1993 war CAN unter den Automobilherstellern so weit anerkannt, dass der zugehörige ISO-Standard 11898 geschaffen wurde. Dieser orientiert sich an dem in Tabelle 4.3 dargestellten OSI 7-Schicht Modell, von dem aber nur die ersten beiden Schichten verwendet werden.

Schicht	Bezeichnung	Aufgaben
7	Application Layer (Anwendung)	Schnittstelle zw. Anwendung und System
6	Presentation Layer (Darstellung)	Standardcodierung, Komprimierung, Verschlüsselung
5	Session Layer (Sitzung)	Organisation des Datenaustausch
4	Transport Layer (Transport)	Entkopplung vom eigentlichen Kommunikationsnetz
3	Network Layer (Vermittlung)	Adressierung, Wegesuche
2	Data Link Layer (Sicherung)	Frames, Flusskontrolle, Übertragungssicherheit
1	Physical Layer (Bitübertragung)	Physikalische Übertragung eines Datenbits

Tabelle 4.3: OSI 7-Schicht Modell

⁵Die Informationen zu CAN/CANopen sind im Wesentlichen aus [1] bis [6].

Busarten

Die ISO 11898 definiert zwei unterschiedliche Varianten bezüglich der Übertragungsgeschwindigkeit. Es sind dies der Highspeed-Bus, der Bitraten bis zu 1 MBit/s zulässt, und der Lowspeed-Bus, der fehlertolerante Hardware durch Verwendung spezieller Transceiver ermöglicht und mit bis zu 125 kBit/s betrieben werden kann. Dabei ist zu beachten, dass die maximal zulässige Bitrate von der Leitungslänge abhängt. Da diese mit zunehmender Länge eine größere Signallaufzeit zur Folge hat, verringert sich dadurch die mögliche Bitrate. Umgekehrt gestattet eine kürzere Leitung höhere Raten.

Übertragungsmedium

Zur Unterdrückung von Gleichtaktstörungen ist in beiden Fällen die Übertragung eines Differenzsignalpegels über eine verdrehte Zwei-Draht-Leitung vorgesehen.

Bit-Codierung

Die Darstellung eines einzelnen Bits erfolgt durch eine NRZ-Codierung (Non Return to Zero). Bei dieser bleibt der Differenzsignalpegel die gesamte Bitdauer konstant.

Buszugriff und Identifier

Beim CAN-Bus sind alle Teilnehmer grundsätzlich gleichberechtigt, jeder kann also Nachrichten versenden. Die einzelnen Nachrichten besitzen jedoch keine Zieladresse, womit jeder Teilnehmer selbst entscheiden muss, ob eine Nachricht für ihn relevant ist oder nicht. Eine Entscheidung wird anhand des sogenannten Identifiers vorgenommen. Dieser ist je nach Ausführung 11 Bit (standard) oder 29 Bit (extended) lang und kennzeichnet den Inhalt der Nachricht und dessen Sender eindeutig.

Um Kollisionen zu vermeiden muss jeder Teilnehmer vor der Einleitung eines Sendevorganges an der Busleitung mithören ob diese frei ist. Bei einem nicht belegten Bus kann aber der Fall eintreten, dass mehrere Teilnehmer gleichzeitig mit dem Senden beginnen. Diesem Problem wird mit der Einführung eines dominanten („0“) und eines rezessiven („1“) Signalpegels begegnet. Bei gleichzeitigem Anlegen eines dominanten und eines rezessiven Pegels durch zwei oder mehr Busteilnehmer bleibt somit der

dominante erhalten. Durch permanentes Abhören der Busleitung können unterlegene Teilnehmer eine Mehrfachbelegung erkennen und den Sendevorgang abbrechen. In Zusammenhang mit dem eindeutigen Identifier, der am Anfang der Nachricht steht, lässt sich somit eine Priorisierung von Nachrichten und ihren Sendern vornehmen. Da die „0“ der dominante Pegel auf dem Bus ist, muss man für Nachrichten mit höherer Priorität einen kleineren Identifier wählen.

Datenfeld

Mit einer einzigen Nachricht (CAN-Frame) lassen sich sowohl im Standard-Format als auch im Extended Format zwischen null und acht Datenbytes übertragen.

4.1.7 CANopen

Ursprung

Nahezu gleichzeitig mit der Einführung des CAN-Bus in der Automobilindustrie entdeckten vor allem europäische, in der Automatisierungstechnik tätige Unternehmen dieses neue Bussystem für sich.

Die hardwarenahe Programmierung mit dem CAN-Bus erlaubt zwar eine äußerst effiziente und damit besonders leistungsfähige Nutzung der Systemkomponenten, der Entwicklungsaufwand für eine Anwendung ist jedoch so hoch, dass dieser nur bei einer größeren Stückzahl, wie er z.B. in der Automobilindustrie gegeben ist, gerechtfertigt ist. Einen weiteren Nachteil, der gegen die direkte Verwendung des CAN-Bus spricht, stellt die in der Automatisierungstechnik notwendige Kompatibilität von Komponenten unterschiedlicher Hersteller dar. Somit wurde die Notwendigkeit einer abstrakteren Programmiermöglichkeit erkannt.

Entwicklung

CAN in Automation (CiA), die 1992 gegründete und als Verein geführte Interessenvertretung von Anwendern und Herstellern, hat die Etablierung und Standardisierung des CAN-Bus und dessen gemeinsame Weiterentwicklung zum Ziel.

Sie hat ein 1993, unter der Leitung von Bosch, durchgeführtes europäisches IT-Entwicklungsprojekt aufgegriffen und daraus den 1995 veröffentlichten CANopen-Standard entwickelt.

Eigenschaften

Das CANopen-Protokoll ist direkt auf die beiden ersten Schichten des Highspeed CAN-Bus aufgesetzt und entspricht der siebten Schicht im OSI 7-Schicht Modell. CANopen stellt einen hohen Abstraktionslevel dar, durch den der Entwickler von hardwarebezogenen Aufgaben (Bit-Timing, Synchronisation usw.) befreit wird. Durch die Verwendung von standardisierten Kommunikations-, Geräte- und Anwendungsprofilen wird eine größtmögliche Kompatibilität zwischen Busteilnehmern verschiedener Hersteller gewährleistet. Außerdem ist der einfache Austausch eines bestimmten Gerätes durch das eines anderen Herstellers möglich.

Kommunikationsprofil

Es beschreibt, wie die Kommunikation durchgeführt werden muss. Dazu führt es definierte Kommunikationsobjekte ein:

- SDO (ServiceDatenObjekt): niedrig priorisiertes Objekt zur Übertragung von Parametrierungsdaten. Eine Nachricht kann sich über mehrere CAN-Frames erstrecken, besteht jedoch aus mindestens zwei Frames, da es sich um eine zu bestätigende Kommunikationsform handelt.
- PDO (ProzessDatenObjekt): hoch priorisiertes Objekt zur Übertragung von Prozessdaten in Echtzeit
- Sonstige Objekte: Für Fehlerbehandlung, Synchronisation, Netzwerkmanagement,...

Zur Unterscheidung der Objekte auf dem CAN-Bus existieren eindeutige Identifier (z.B. Senden eines SDO = $1408_{\text{dez}} + \text{Sender-Knotennummer}$).

Der Inhalt eines Objektes wird im 8 Byte Nutzdatenbereich des CAN-Frame übertragen.

Geräteprofile

In CANopen ist eine Vielzahl von Geräteprofilen definiert. Jedes Geräteprofil stellt die Beschreibung für die Funktionalität einer bestimmten Gruppe von Geräten (Geräteklasse) dar. Wenn ein Hersteller ein Gerät als konform mit einem Profil bezeichnen möchte, dann muss er die darin enthaltenen Funktionen implementieren.

Beispiele für Geräteklassen:

- Ein- und Ausgabegeräte
- Medizinische Geräte
- Elektrische Antriebe und Frequenzumrichter
- Ladegeräte

Anwendungsprofile

Diese sind für unterschiedliche Anwendungen verfügbar und behandeln im Wesentlichen häufig auftretende Kommunikationsvorgänge zwischen verschiedenen Netzwerkteilnehmern. Sie sind gewissermaßen eine Spezifikation für die Kommunikationsgestaltung auf Anwenderebene bezogen auf einen speziellen Anwendungsbereich.

Beispiele für Anwendungsbereiche:

- Antriebe von Schienenfahrzeugen
- Kommunale Fahrzeuge
- Aufzugssteuerungen
- Photovoltaiksysteme

Objektverzeichnis

Alle Objekte, die sich letztlich aus der Verwendung der drei Profilarten ergeben, sind im Objektverzeichnis zusammengefasst. Damit ist dieses eine eindeutige Schnittstelle zwischen der Anwendung und dem Netzwerkteilnehmer.

Das Objektverzeichnis ist aber nicht die Summe aller Objekte der verwendeten Profile, denn es sind je nach Gerät bzw. Anwendung nur ein Teil der Objekte zwingend vorgeschrieben. Der übrige Teil ist entweder spezifiziert aber in seiner Verwendung optional oder überhaupt als herstellerspezifisch gekennzeichnet. Im herstellerspezifischen Bereich können Objekte völlig frei definiert werden.

4.2 Einbindung der neuen Hardware

4.2.1 Bus-Kommunikation

Für die Herstellung des CANopen-Netzwerkes nach Abbildung 4.2 musste im Steuerrechner das PCI-CAN-Interface, beim Frequenzumrichter der Gateway und in LabVIEW die CANopen Library installiert werden. Frequenzumrichter, Gateway und Laser wurden entsprechend ihrer Bedienungsanleitungen parametrieren (Adressen, Baudrate, usw.), die Busleitung wurde in einem eigenen Kabelkanal EMV-günstig verlegt.

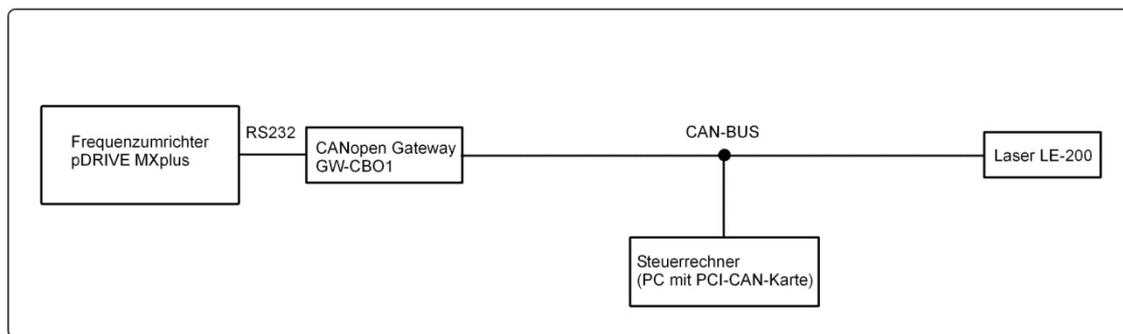


Abbildung 4.2: Kommunikation - Steuerrechner, Frequenzumrichter, Laser

4.2.2 Sicherheitselemente

Der interne *Komparator 3 mit Logikblock* des Frequenzumrichters wird zusammen mit seinen digitalen Eingängen DI3 und DI4 verwendet, um im Fehlerfall einen Nothalt unabhängig vom Steuerrechner bzw. dessen Software oder weiterer Hardware zu garantieren.

Um den Antrieb/Seilwagen schnellstmöglich zum Stehen zu bringen, soll sowohl bei einem Nothalt als auch bei einem Halt durch die Steuerungssoftware die Scheibenbremse zum Einsatz kommen. Hierfür wird das *Logikmodul 5* verwendet.

Die Funktionsweise der gesamten Schaltung, dargestellt in Abbildung 4.3, ist folgende:

Fährt der Seilwagen zurück (Ausgangsfrequenz > 0) und hält nicht rechtzeitig vor dem Ende an (z.B. durch Störung der CAN-Bus-Kommunikation), dann spricht der neu hinzugekommene induktive Endschalter, der an DI3 angeschlossen ist, an und es kommt zu einer „Externen Störung“. Außerdem wurde für den Benutzer im Steuerstand ein Not-Aus-Schalter angebracht, der angeschlossen an DI4 zur gleichen Störung führt.

Der Frequenzumrichter ist so parametrieren, dass er im Störfall, zu dem auch eine „Externe Störung“ zählt, sofort einen Nothalt ausführt.

Das *Logikmodul 5* des Frequenzumrichters wird zusammen mit dem frei verwendbaren *Bit 15* des Bus-Steuerwortes und dem *Relais 1* verwendet um im Falle einer Störung oder eines gewollten Stopps (Software muss *Bit 15 = True* setzen) die Scheibenbremse zu aktivieren (diese ist aktiv, wenn das zugehörige Hydraulikventil stromlos geschaltet ist). Das *Relais 1* wurde auf den Ausgang des *Logikmodul 5* referenziert und fungiert als Öffner bei der Stromversorgung für das Hydraulikventil.

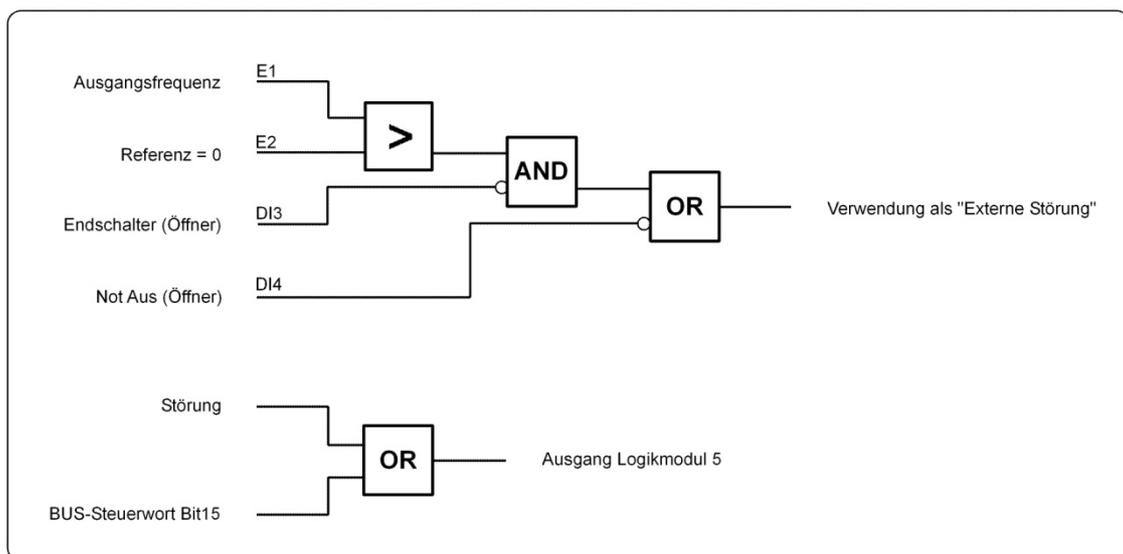


Abbildung 4.3: Frequenzumrichter-Logik für Anlagensicherheit

4.3 Softwareentwicklung

In Abschnitt 2.4 wird für die Automatisierung zusätzlich zum automatischen Ablauf die Möglichkeit einer weitgehend manuellen Bedienung gefordert. Nach reiflicher Überlegung einer geeigneten Vorgangsweise sowohl diese Forderung betreffend als auch zur allgemeinen Umsetzung, wurde die Aufteilung auf zwei eigenständige Programme gewählt.

Es wird zuerst die manuelle Bedienung in Form des Programms „Handsteuerung“ implementiert. Im Anschluss wird das Programm „Ablaufsteuerung“ für den automatischen Ablauf erstellt.

Gründe für eine eigenständige Handsteuerung

- Kein übergeordneter Ablauf
- Funktionsumfang geringer
- Wenige Sicherheitsüberprüfungen
- Wenige Benutzerabfragen
- Realisierung eines frei wählbaren Beschleunigungsverlaufs nicht notwendig, da Programm nicht für Versuchsdurchführungen vorgesehen
- Protokollierung nicht notwendig

Die geringere Komplexität der Handsteuerung, betreffend Funktionen, Abfragen und Protokollierung, ergibt einen geringeren Programmieraufwand und eine leichtere Realisierbarkeit. Die gewonnenen Erkenntnisse sowie einzelne Programmteile können dann gut für die Ablaufsteuerung eingesetzt werden.

Außerdem wird die Handsteuerung nur sehr selten und nicht in Zusammenhang mit der Ablaufsteuerung benötigt.

4.4 Handsteuerung

4.4.1 Gestaltung der Anwenderoberfläche

Allgemeine Anforderungen

Die Oberfläche hat eine klar strukturierte, übersichtliche Darstellung aller Bedien- und Anzeigeelemente zu sein.

Bezüglich der Anordnung und des Platzbedarfs sowie der Gruppierung der Elemente, ist bereits auf die später zu entwickelnde Ablaufsteuerung zu achten. Eine entsprechende Adaptierung für diese soll relativ leicht möglich sein.

Das Erscheinungsbild von Hand- und Ablaufsteuerung soll weitgehend identisch sein.

Spezielle Anforderungen

Zusammen mit dem zukünftigen Anwender der Anlage wurden folgende wesentliche Elemente für die Oberfläche der Handsteuerung vereinbart:

- Grafische Darstellung der aktuellen Seilwagenposition
- Bedienelemente zum Aktivieren/Deaktivieren der hydraulischen und zusätzlichen Funktionen
- Anzeigeelemente für den Anlagenzustand
- Darstellung eines kompletten Fahrvorgangs (Geschwindigkeit und Position) in einem Graph
- Eingabemöglichkeit für kleine Sollgeschwindigkeitsvorgabe (-2...+15km/h)
- Start/Stop-Bedienelement zum Losfahren/Anhalten des Asynchronmotors

Ergebnis des Entwurfsprozesses

Die Abbildungen 4.4 und 4.5 stellen die fertige Anwenderoberfläche dar. Dabei nehmen den anteilmäßig größten Bereich des Bildschirms die beiden Registerkarten “Geschwindigkeit/Position” und “Zustände/Schalter/Hydraulikdruck” ein.

Oberhalb der Registerkarten ist die Beschleunigungsstrecke mit den beiden Bremsen und der Position des Seilwagens (schwarzer Balken) dargestellt. Die Position wird zusätzlich noch als Zahlenwert ausgegeben.

Die Bedienelemente für Bremse 1 und Bremse 2 sind in der Grafik der Beschleunigungsstrecke an der Stelle ihrer tatsächlichen Position angebracht.

In der linken Spalte sind die Bedienelemente für Spannzylinder, Scheibenbremse, Blinklicht, Signalhorn und die Geschwindigkeitsvorgabe zu finden. Die Sollgeschwindigkeit kann über einen Schieberegler oder direkt durch Zahleneingabe vorgegeben werden.

Mit dem Start/Stop-Schalter unter “Versuch starten?” kann der Motor angefahren und auch wieder gestoppt werden.

Oberhalb von “Programm beenden” befindet sich ein Fenster zur Ausgabe von evtl. auftretenden Fehlern.



Abbildung 4.5: Anwenderoberfläche der Handsteuerung (Registerkarte 2)

4.4.2 Programmgestaltung

Es gibt prinzipiell verschiedene Entwurfsverfahren um ein Programm für die Erledigung bestimmter Aufgaben zu entwickeln. Je nach Verfahren hat dies Auswirkungen auf z. B. Fehlerbehebung, Erweiterbarkeit, Programmieraufwand usw.

Für die Realisierung der Handsteuerung wurde der Entwurf in Form einer Zustandsmaschine nach Abbildung 4.6 gewählt.

Wesentliche Gründe für diese Wahl sind:

- Einfache Veränderung/Fehlerbehebung bei Programmabschnitten
- Schnelle Erweiterbarkeit durch Hinzufügen eines weiteren Zustandes
- Beliebiges Wechseln zwischen den Zuständen
- Mehrfache Ausführung des gleichen Zustandes
- Nicht-Ausführung von Zuständen

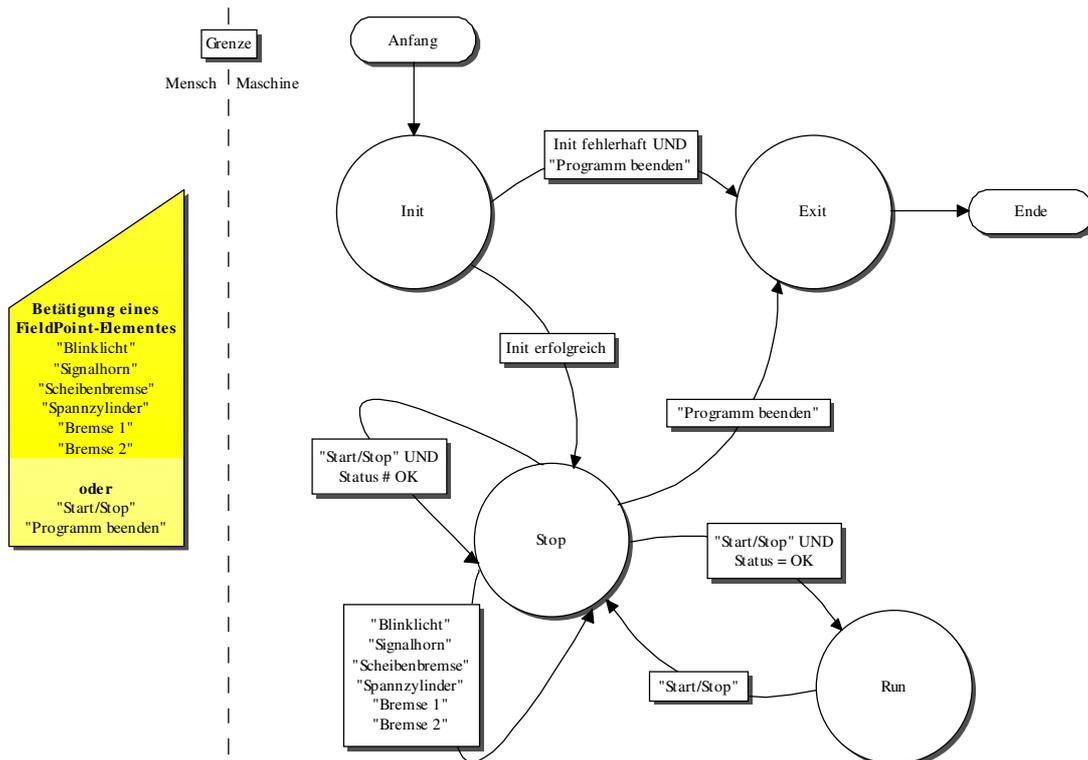


Abbildung 4.6: Zustandsmaschine der Handsteuerung

4.4.3 Zustandsmaschine der Handsteuerung

Für die Handsteuerung wurde die Unterscheidung von vier Zuständen – Init, Stop, Run, Exit – eingeführt.

Init-Zustand (Abbildung 4.7)

Es werden die Anwenderoberfläche bezüglich Bedien- und Anzeigeelemente sowie das Laser-Entfernungs-Messgerät und die FieldPoint-Elemente (Blinklicht, Signalhorn, Scheibenbremse, Spannzyylinder, Bremse 1 und Bremse 2) initialisiert.

Im Frequenzumrichter wird eine fixe Hoch- und Tieflauframpe für das Fahren mit geringer Geschwindigkeit parametrieret.

CANopen-Kommunikationsobjekte werden generiert und die Busteilnehmer in den Zustand “operational” (betriebsbereit) geschaltet.

Ist die Initialisierung erfolgreich, erfolgt ein automatischer Wechsel in den Stop-Zustand. Bei einer fehlerhaften Ausführung kann der Anwender nur noch “Programm beenden“ wählen und es erfolgt der Wechsel zum Exit-Zustand.

Stop-Zustand (Abbildung 4.8)

Im Stop-Zustand steht der Antrieb. Hier kann der Anwender die FieldPoint-Elemente Blinklicht, Signalhorn, Scheibenbremse, Spannzyylinder, Bremse 1 und Bremse 2 unabhängig voneinander ein- und ausschalten. Dabei kann er über die Registerkarte 2 Einblick in die vorherrschenden Drücke und Schalterzustände nehmen.

Durch Betätigung des Schiebereglers, oder direkt mittels Zahleneingabe im dafür vorgesehenen Feld, kann eine Soll-Geschwindigkeit für den Run-Zustand vorgegeben werden. Über den Start/Stop-Schalter erfolgt ein Wechsel in den Run-Zustand, sofern eine Überprüfung des Anlagenstatus positiv ausfällt.

Ein Beenden des Programmes ist in diesem Zustand ebenfalls möglich.

Run-Zustand (Abbildung 4.9)

Aus der Soll-Geschwindigkeit wird die Soll-Frequenz für den Frequenzumrichter berechnet und diese zusammen mit dem Hochlaufbefehl an ihn gesendet.

Während des Fahrvorganges erfolgt die Anzeige von Seilwagenposition, Seilwagengeschwindigkeit, Seilgeschwindigkeit, Schalterzustände und Drücke.

Wenn der Start/Stop-Schalter gedrückt wird erfolgt ein Anhalten mit Unterstützung der Scheibenbremse und ein Wechsel zum Stop-Zustand.

Exit-Zustand (Abbildung 4.10)

Alle Busteilnehmer werden in den Zustand “pre-operational“ (Standby) geschaltet.

Die Hydraulikelemente werden in einen entspannten Zustand gebracht (Spannzylinder, Scheibenbremse, etc.) und das Blinklicht wird deaktiviert.

Das Programm wird beendet.

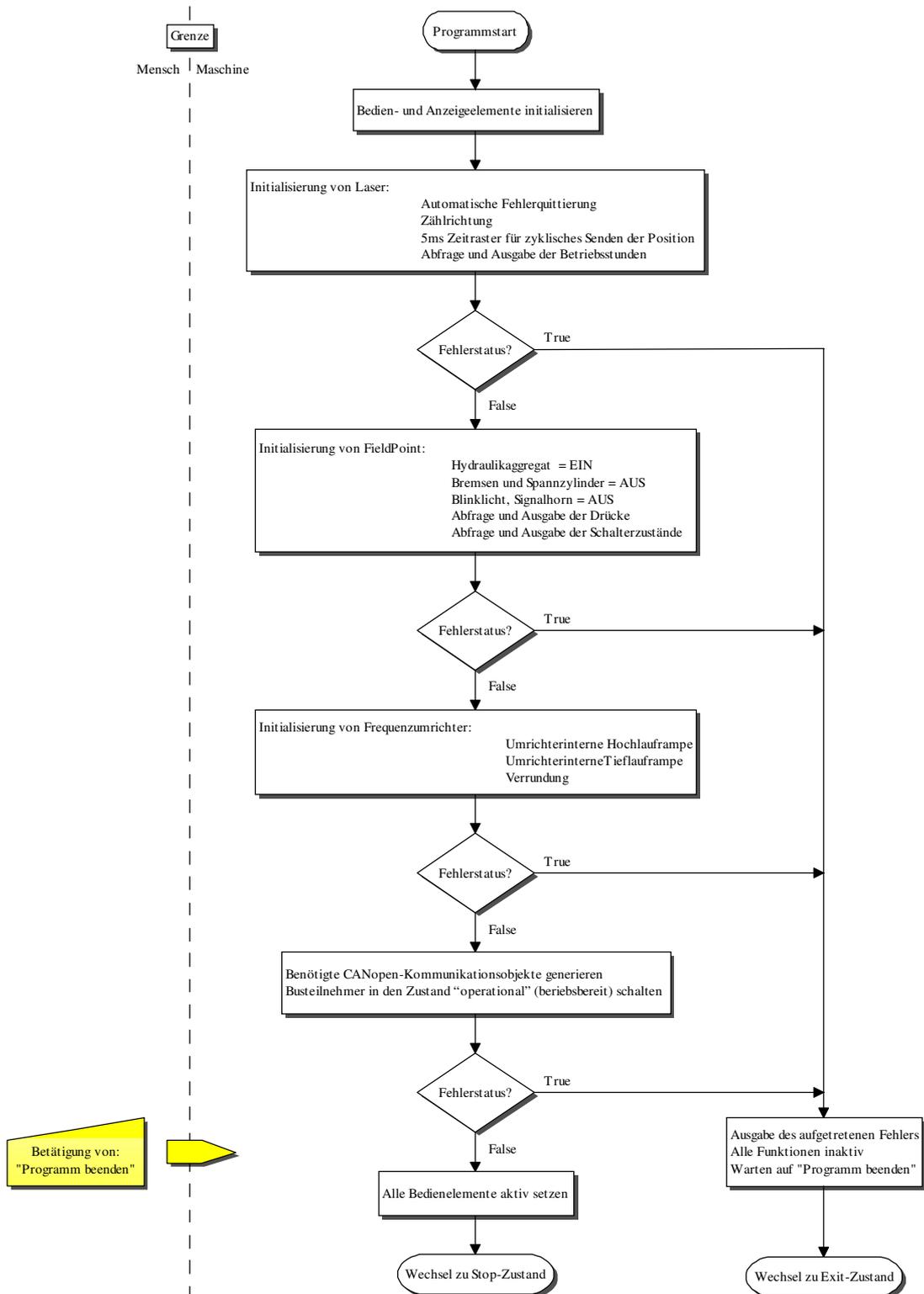


Abbildung 4.7: Flussdiagramm von Init-Zustand der Handsteuerung

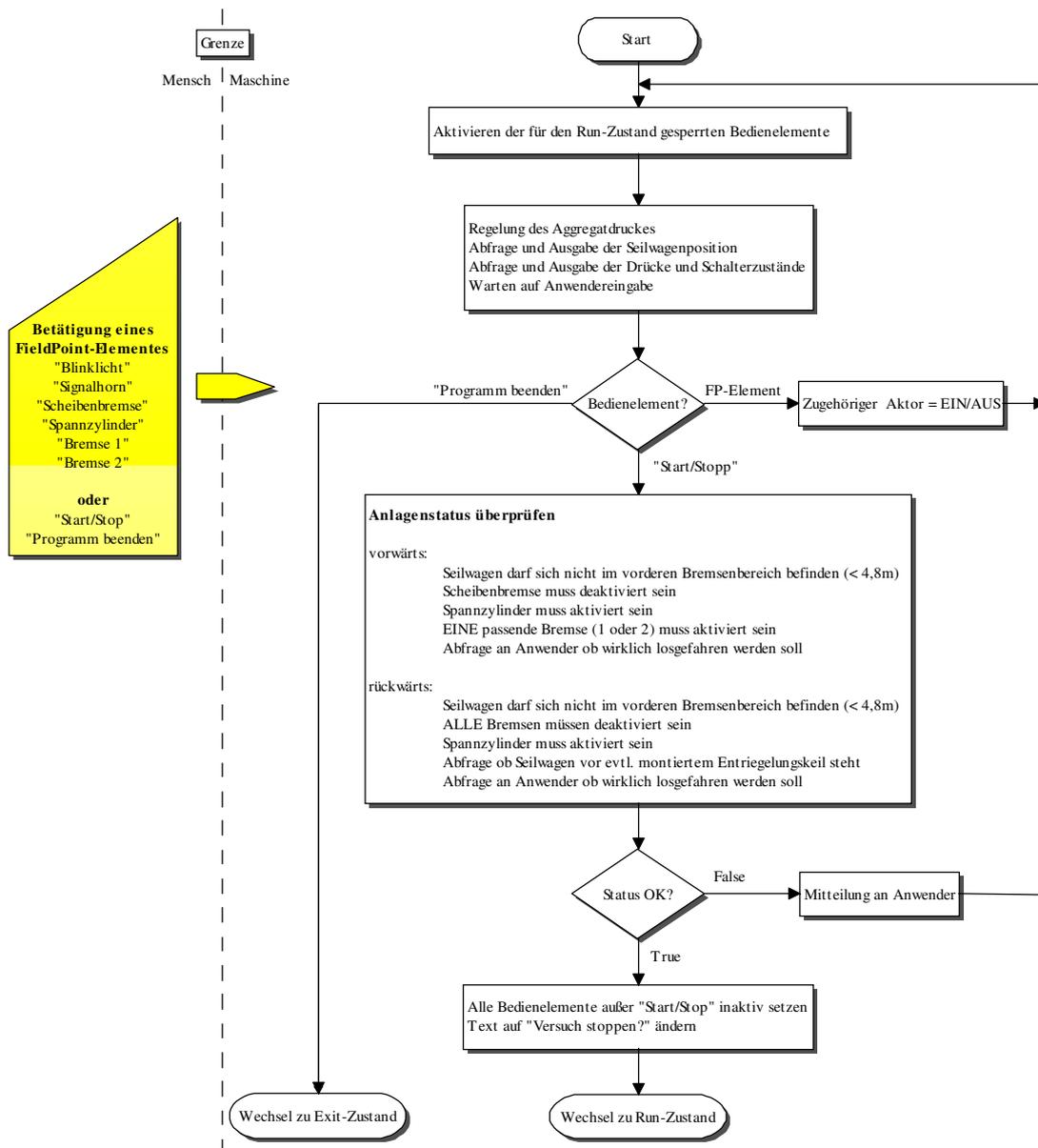


Abbildung 4.8: Flussdiagramm von Stop-Zustand der Handsteuerung

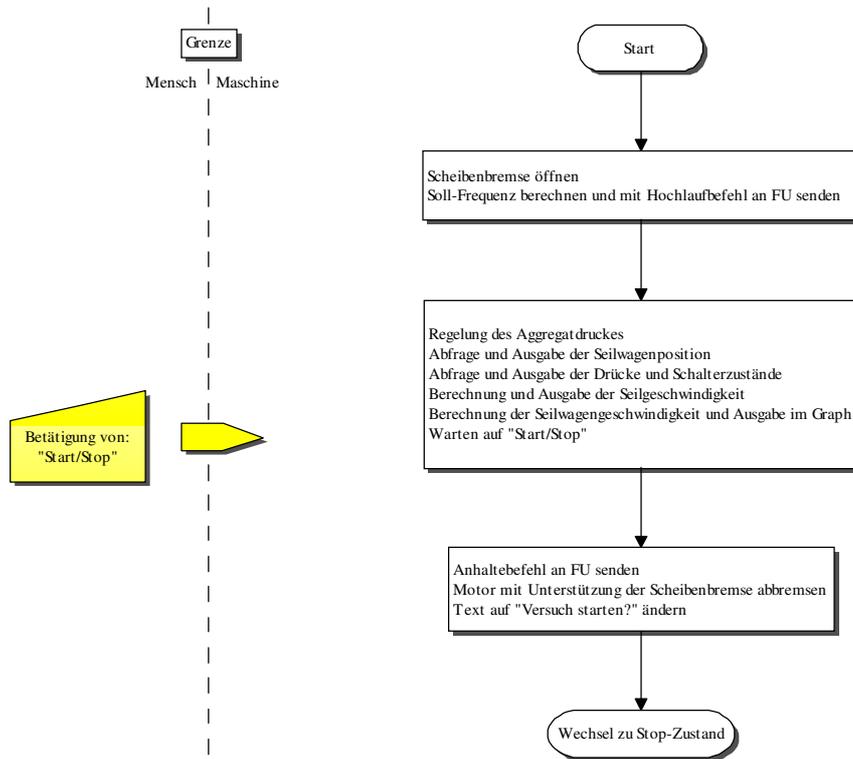


Abbildung 4.9: Flussdiagramm von Run-Zustand der Handsteuerung

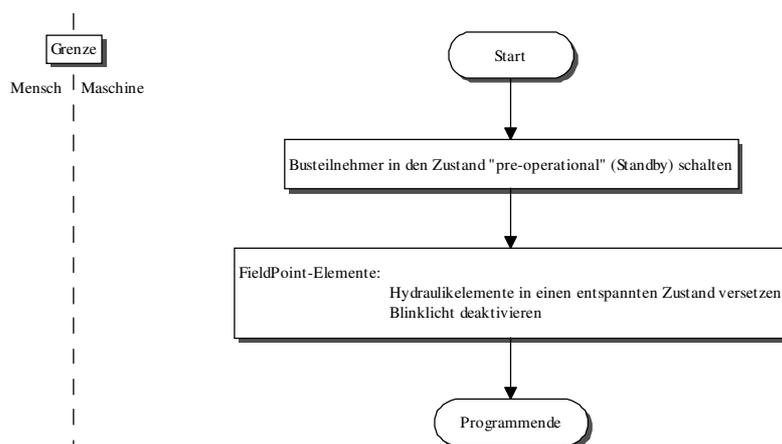


Abbildung 4.10: Flussdiagramm von Exit-Zustand der Handsteuerung

4.5 Ablaufsteuerung

4.5.1 Gestaltung der Anwenderoberfläche

Allgemeine Anforderungen

Die Oberfläche hat eine klar strukturierte, übersichtliche Darstellung aller Bedien- und Anzeigeelemente zu sein.

Spezielle Anforderungen

Zusammen mit dem zukünftigen Anwender der Anlage wurden folgende wesentliche Elemente für die Oberfläche der Ablaufsteuerung vereinbart:

- Grafische Darstellung der aktuellen Seilwagenposition
- Bedienelement zum Aktivieren/Deaktivieren des Signalhorns
- Anzeigeelemente für den Anlagenzustand
- Darstellung eines kompletten Fahrvorgangs (Geschwindigkeit und Position) in einem Graph
- Eingabemöglichkeit von allgemeinen Informationen zum Versuch
- Auswahl für Versuchsart
- Eingabemöglichkeit eines definierten Beschleunigungsvorgangs
- Anzeige der maximalen Beschleunigung

Ableitung aus der Handsteuerung

Da bei der Gestaltung der Handsteuerungsoberfläche vorausschauend auf die Ablaufsteuerung gearbeitet wurde, ist eine einfache Ableitung daraus möglich.

Ergebnis des Entwurfsprozesses

Die Abbildungen 4.11 und 4.12 stellen die fertige Anwenderoberfläche dar. Es ist zu erkennen, dass der Bereich der Registerkarten und die Darstellung der Beschleunigungsstrecke unverändert von der Handsteuerung übernommen werden konnte. Daher wird diesbezüglich auf die Beschreibung verzichtet und auf Abschnitt 4.4.1 verwiesen.

Um konsistent mit der Handsteuerung zu sein, wurden im oberen Bereich wieder die Bedienelemente für

Spannzylinder	Scheibenbremse
Blinklicht	Signalhorn
Bremse 1	Bremse 2

angeordnet. Mit Ausnahme des Signalhorns werden alle sechs Elemente nicht manuell betätigt werden können. Sie werden automatisch durch die Ablaufsteuerung aktiviert/deaktiviert und signalisieren dem Anwender mittels Leuchtelement und Klartext deren Zustand.

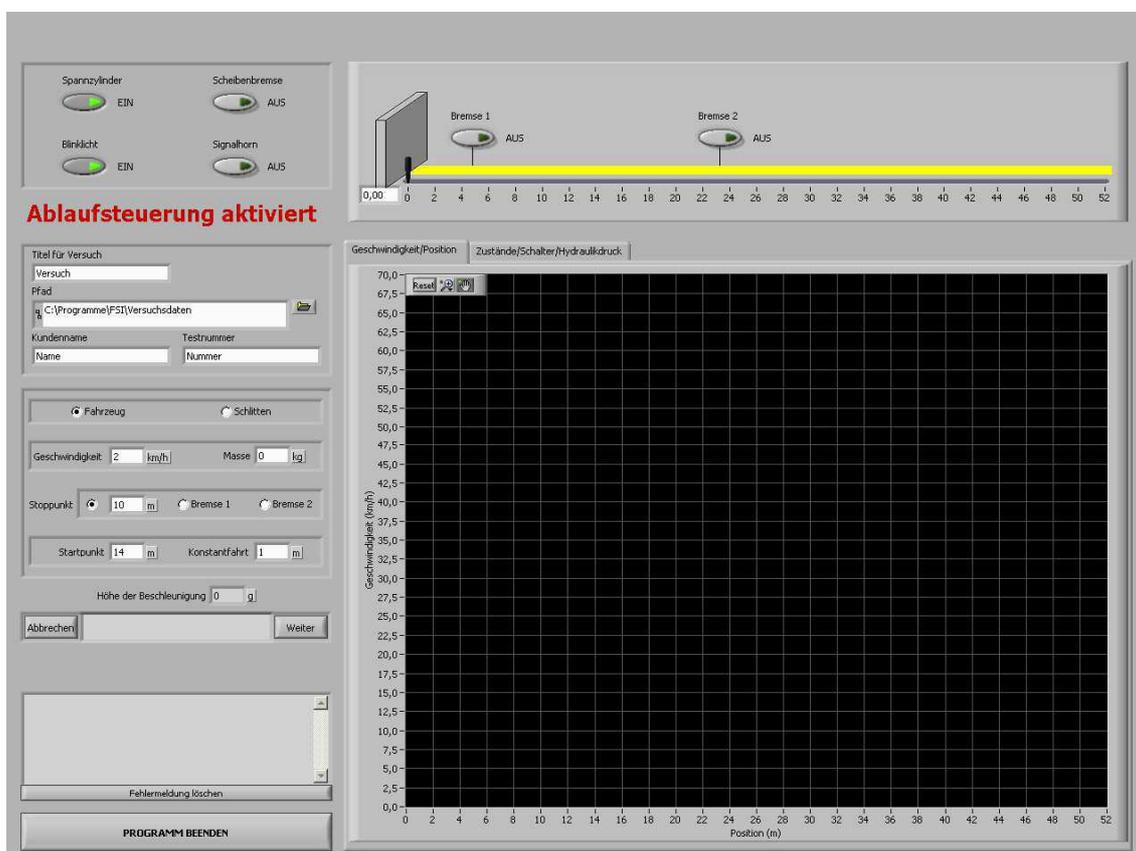


Abbildung 4.11: Anwenderoberfläche der Ablaufsteuerung (Registerkarte 1)



Abbildung 4.12: Anwenderoberfläche der Ablaufsteuerung (Registerkarte 2)

Unterhalb des roten Schriftzugs “Ablaufsteuerung aktiviert” sind die zwei Bereiche für die Eingabe der Versuchsdaten durch den Anwender.

Der erste Bereich ist für die Eingabe von allgemeinen Informationen zum Versuch:

- Titel für Versuch
- Pfad in dem die Textdateien und das PDF-Dokument gespeichert werden
- Kundenname und Testnummer

Im zweiten Bereich werden Versuchsart und Beschleunigungsvorgang vorgegeben:

- Versuchsart (Fahrzeug oder Schlitten)
- Soll-Geschwindigkeit und Fahrzeug-/Schlittenmasse
- Stoppunkt (Frei/Bremse 1/Bremse 2; nur bei Fahrzeugversuch aktiv)
- Startpunkt und Konstantfahrt
- Anzeige der resultierenden maximalen Beschleunigung

Die beiden Tasten “Abbrechen” und “Weiter” sowie das dazwischenliegende Kommunikationsfenster sind für die Führung des Anwenders durch den Programmablauf vorgesehen.

Oberhalb von “Programm beenden” wird ein Fenster zur alleinigen Ausgabe von auftretenden Fehlern des Lasers verwendet, da mit der Handsteuerung festgestellt wurde, dass z.B. relativ leicht Warnungen/Fehler wegen Intensitätsunterschreitungen durch einen verschmutzten Reflektor auftreten. Der Anwender hat, durch Betätigen der Taste “Fehlermeldung löschen”, die Möglichkeit im Programmablauf fortzufahren, sofern der Fehler beseitigt wurde (z.B. durch Reinigen des Reflektors).

4.5.2 Berechnung der Hochlauframpe

Aus der Differenz zwischen Startpunkt und Stoppunkt abzüglich der Konstantfahrt ergibt sich die tatsächlich zur Verfügung stehende Strecke innerhalb derer in geeigneter Art und Weise die Realisierung des realen Beschleunigungsverlaufs zu erfolgen hat.

Ursprünglich wurde darüber nachgedacht, einen Sollwertverlauf bzw. eine Drehzahlregelung über den CANopen-Bus zu realisieren. Vor allem in Bezug auf Probleme/die Echtzeitfähigkeit des Steuerrechners (Windows XP-basierter PC, keine gesicherte Reaktionszeit etc.) sowie des relativ langsamen Datenaustausches zwischen Frequenzumrichter und Gateway (Zykluszeit: 40ms), wurde darauf zu Gunsten der Zuverlässigkeit verzichtet.

Stattdessen wird die Möglichkeit der Parametrierung einer internen Hochlauframpe des Umrichters verwendet. Diese kann vor der eigentlichen Versuchsdurchführung, also in einem zeitunkritischen Zustand, parametrieren werden. Für die Durchführung ist dann nur noch der Hochlaufbefehl zu geben.

Für ein ruckfreies Losfahren aus dem Stillstand und ein ebenso sanftes Anfahren der Sollfrequenz kann mittels Parameter eine Verrundung gemäß Abbildung 4.13 in drei Größenordnungen eingestellt werden. Mit der Handsteuerung wurden mehrere Versuche mit unterschiedlichen Verrundungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt. Dabei konnte durch die Darstellung der Geschwindigkeit im Graph und reale Beobachtung festgestellt werden, dass lediglich die Verrundungsstufe 3 eine akzeptable, ruckfreie Beschleunigung ergibt und daher für die Ablaufsteuerung zu verwenden ist.

Die Hochlauframpe hängt damit nur noch von der Sollfrequenz und der Hochlaufzeit ab. Die Hochlaufzeit ist als die Zeit zu verstehen, die vom Stillstand bis zum Erreichen der Nennfrequenz vergeht, ohne die Anwendung einer Verrundung (=konstante Beschleunigung).

Die Bedienungsanleitung gibt leider keine Auskunft über die angewendete Funktion bei Verwendung einer Verrundung und auch der Hersteller hat intern keine Unterlagen zu selbiger. Aus diesem Grund wurde beschlossen eine Funktion, über die von der zur Verfügung stehenden Strecke und der Sollgeschwindigkeit auf die Hochlaufzeit geschlossen werden kann, empirisch mittels Durchführung einer größeren Anzahl von Versuchen zu ermitteln. Hierzu wurden verschiedene Geschwindigkeiten mit unterschiedlichen Hochlaufzeiten angefahren und die dafür benötigten Strecken ermittelt. In Tabelle 4.4 ist diese Versuchsreihe aufgelistet.

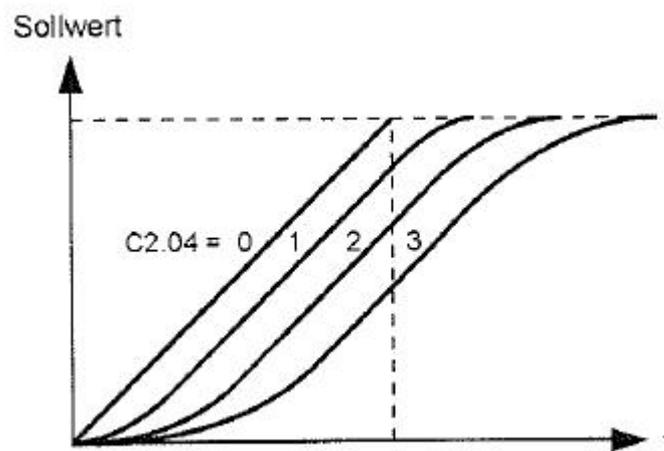


Abbildung 4.13: Verrundung bei Hochlauframpe

Sollgeschwindigkeit	Hochlaufzeit (s)	Benötigte Strecke (m)
10 km/h	3	2,7
	5	4,4
	7	6,1
	9	7,9
	11	9,6
20 km/h	3	6,75
	5	11
	7	15,2
	9	20
	11	24,1
30 km/h	3	12
	5	19,8
	7	27,5
	9	35,6
	11	43
40 km/h	2	12,3
	3	18,5
	5	31
	7	43,2
50 km/h	2	17,9
	3	27,2
	4	35,7
	5	44,4
60 km/h	2	24,1
	3	36,3
	3,5	41,7

Tabelle 4.4: Versuchsreihe für Hochlauframpe

Um ein Gefühl für die Zusammenhänge zu bekommen wurden die Tabellenwerte in einem Diagramm (Abbildung 4.14) so dargestellt, dass die benötigte Beschleunigungsstrecke in Abhängigkeit von der Hochlaufzeit zu sehen ist.

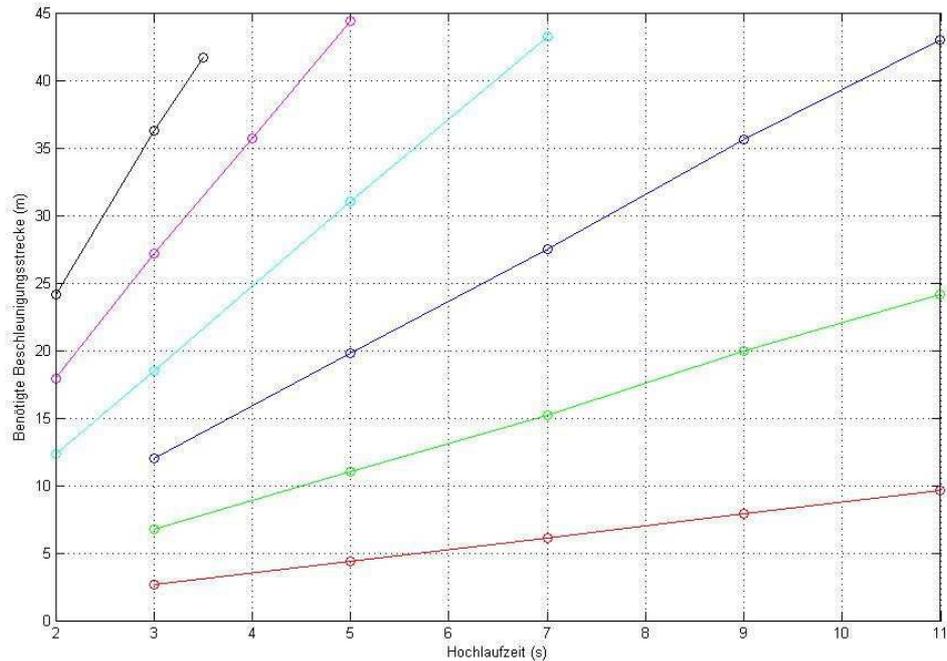


Abbildung 4.14: Zusammenhang Hochlaufzeit – Beschleunigungsstrecke

Es ist zu erkennen, dass sich für jede Geschwindigkeit näherungsweise ein linearer Zusammenhang zwischen Hochlaufzeit und Beschleunigungsstrecke ergibt, dessen Steigung k offensichtlich von der Sollgeschwindigkeit abhängt. Weiter ist leicht einzusehen, dass sich die einzelnen Geraden im Ursprung des Koordinatensystems treffen müssen, da bei einer Hochlaufzeit t_{HL} von null auch keine Strecke s_b zur Beschleunigung benötigt wird. Somit stellt jede Gerade eine Gleichung der Form

$$s_b \text{ (m)} = k * t_{HL} \text{ (s)} \quad (4.1)$$

dar.

Mit diesem Wissen wurden in *Matlab* unter Zuhilfenahme des *curve fitting tool* die Steigungen für die sechs verschiedenen Geschwindigkeiten gefittet.

In Tabelle 4.5 ist das Ergebnis angegeben, welches wiederum in einem Diagramm dargestellt wurde (Abbildung 4.15).

Sollgeschwindigkeit (km/h)	10	20	30	40	50	60
Steigung	0,875	2,2	3,93	6,18	8,93	12

Tabelle 4.5: Steigung in Abhängigkeit von Sollgeschwindigkeit

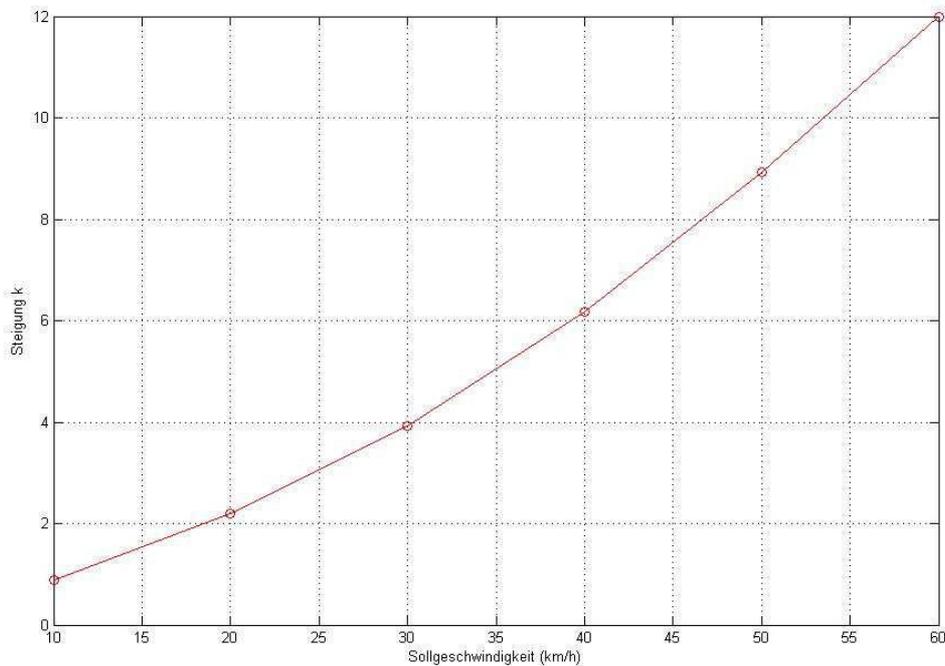


Abbildung 4.15: Zusammenhang Sollgeschwindigkeit – Steigung

Aufgrund der Vermutung eines quadratischen Verlaufs wurde in *Matlab* wieder ein Fitting vorgenommen. Die Funktion für die Steigung konnte als

$$k = 0,0022866 * v^2 + 0,06298 * v + 0,0135 \quad (4.2)$$

$$[v] = \text{km/h}$$

ermittelt werden.

Setzt man die Formel für die Steigung in (4.1) ein, ergibt sich nach Umformung die Hochlaufzeit:

$$t_{HL} = \frac{s_b}{0,0022866 * v^2 + 0,06298 * v + 0,0135} \quad (4.3)$$

$[t_{HL}] = s, [s_b] = m, [v] = km/h$

Berechnung der maximal auftretenden Beschleunigung

Der Anwender ist über die Auswirkung seiner Eingaben in Form von Start-/Stoppunkt, Konstantfahrt und Sollgeschwindigkeit, die dadurch auftretende maximale Beschleunigung, zu informieren.

Da die Hochlaufzeit für den Frequenzumrichter immer als jene Zeit zu interpretieren ist in der ein Anfahren der Nennfrequenz aus dem Stillstand heraus mit konstanter Beschleunigung erfolgt und gleichzeitig die größte Steigung bei Verwendung einer Verrundung jener beim Anfahren ohne Verrundung entspricht, kann aus der Nennfrequenz, der Hochlaufzeit und des Übersetzungsfaktors für die Seilantriebsrolle direkt die maximal auftretende Beschleunigung errechnet werden.

Die Beziehung zwischen Seilgeschwindigkeit und Motorfrequenz lautet:

$$v = \frac{f}{0,868} \quad [v] = km/h, [f] = Hz \quad (4.4)$$

Wenn man die Formel 4.4 auf die Nennfrequenz anwendet, sie in die Formel für konstante Beschleunigung ($v = a * t$) einsetzt und diese zusammen mit der berechneten Hochlaufzeit t_{HL} nach a umformt, dann erhält man die maximale Beschleunigung.

$$a = \frac{f_N}{3,6 * 0,868 * t_{HL}} \quad (4.5)$$

$[a] = m/s^2, [f_N] = Hz, [t_{HL}] = s$

4.5.3 Programmgestaltung

Aufgrund der bereits in Abschnitt 4.4.2 erklärten Gründe wurde für die Realisierung der Ablaufsteuerung ebenfalls der Entwurf in Form einer Zustandsmaschine angedacht. Da es aber einige Aufgaben gibt, die in allen Zuständen identisch auszuführen gewesen wären, wurden diese in einen Parallelprozess zur Zustandsmaschine ausgelagert. Beide werden durch den ihnen vorausgehenden Prozess “Pre-Init“ gestartet. Dieser übergeordnete Zusammenhang wird in Abbildung 4.16 gezeigt.

Pre-Init (Abbildung 4.17)

Es werden das Laser-Entfernungs-Messgerät und die FieldPoint-Elemente initialisiert.

CANopen-Kommunikationsobjekte werden generiert und die Busteilnehmer in den Zustand “operational” (betriebsbereit) geschaltet.

Ist dieser Prozess erfolgreich, erfolgt der Start des Parallelprozesses und der Zustandsmaschine. Bei einer fehlerhaften Ausführung kann der Anwender nur noch “Programm beenden“ wählen und es erfolgt der Wechsel zum Exit-Zustand.

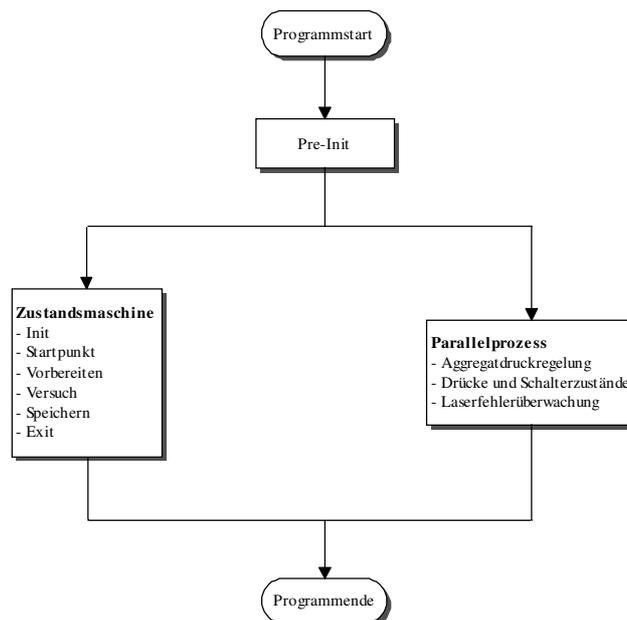


Abbildung 4.16: Programmstruktur der Ablaufsteuerung

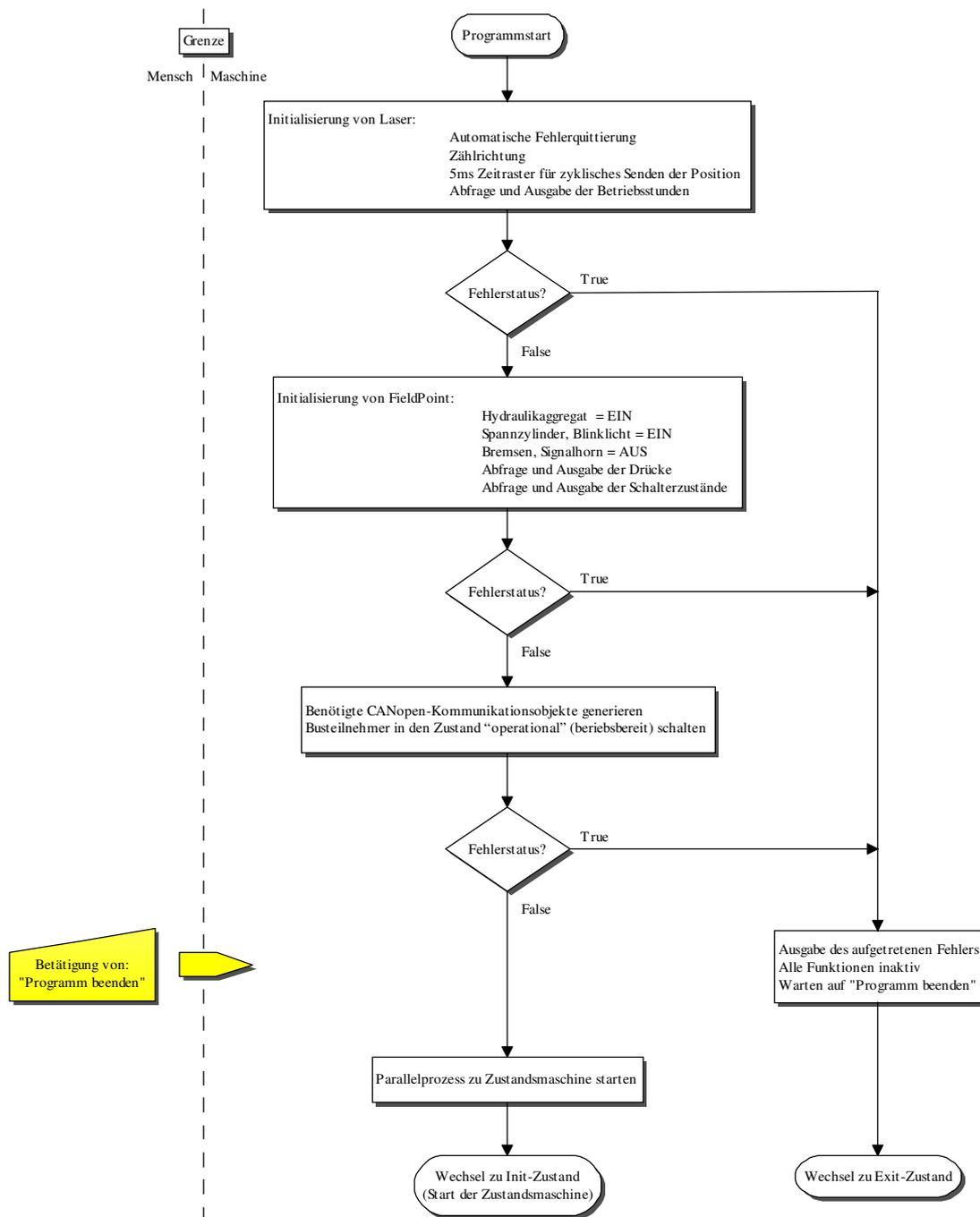


Abbildung 4.17: Flussdiagramm von Pre-Init-Prozess der Ablaufsteuerung

Parallelprozess (Abbildung 4.18)

Es handelt sich hier um einen Prozess der während des gesamten Programmablaufs selbständig stattfindet. Anwendereingaben sind nur zum Beenden des Programmes und zum Löschen einer evtl. aufgetretenen Fehlermeldung des Lasers vorgesehen.

Automatische Abläufe:

- Aufrechthaltung des Druckes vom Hydraulikaggregat
- Drücke und Schalterzustände anzeigen
- Laserfehlerüberwachung

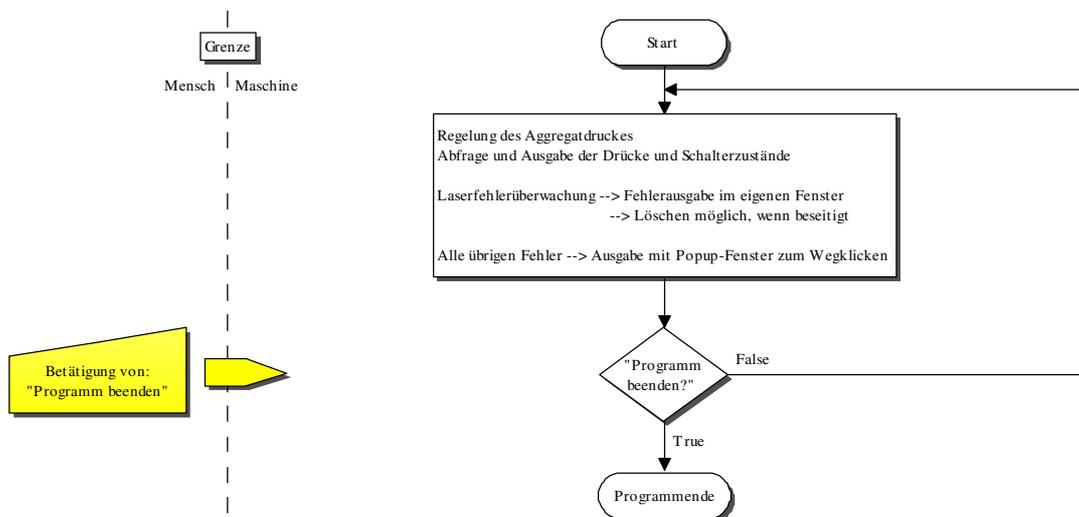


Abbildung 4.18: Parallelprozess der Ablaufsteuerung

4.5.4. Zustandsmaschine der Ablaufsteuerung

Für die Ablaufsteuerung wurde die Unterscheidung von sechs Zuständen – Init, Startpunkt, Vorbereiten, Versuch, Speichern, Exit – eingeführt. Das zugehörige Zustandsdiagramm stellt Abbildung 4.19 dar.

Die gesamte Steuerung durch den Anwender erfolgt nur mit den Bedienelementen “Weiter“, “Abbrechen“ und “Programm beenden“.

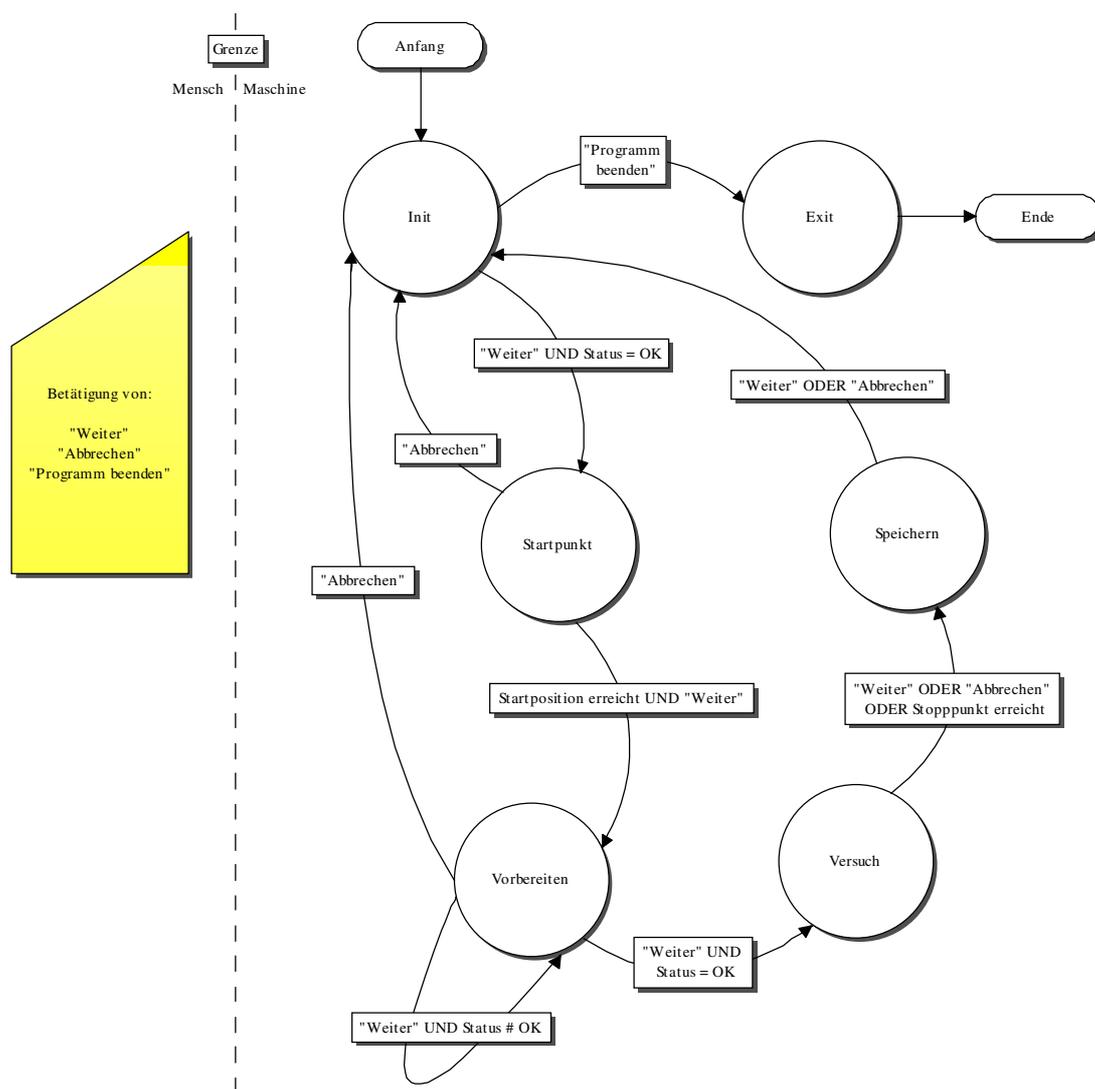


Abbildung 4.19: Zustandsmaschine der Ablaufsteuerung

Init-Zustand (Abbildung 4.20)

Die Bedien- und Anzeigeelemente der Anwenderoberfläche werden initialisiert sowie die Bremsen 1 und 2 gelöst. Der Seilwagen wird mit seiner aktuellen Position angezeigt.

In diesem Zustand können die allgemeinen Versuchsdaten eingeben und der Beschleunigungsvorgang vorgeben werden. Daraus wird die Hochlauftrampe für den Frequenzumrichter und die max. Beschleunigung berechnet.

Mit der Betätigung von “Weiter” kann der Anwender ein Anfahren der Startposition fordern. Hierzu erfolgt ein Wechsel in den Startpunktzustand, wenn eine Überprüfung des Anlagenstatus positiv ausfällt. Ansonsten erfolgt der Verbleib im Zustand.

Falls das Programm beendet werden soll ist dies ausschließlich hier möglich. Es wird dazu in den Exit-Zustand gewechselt.

Startpunkt-Zustand (Abbildung 4.21)

Der Umrichter wird mit einer fixen Hoch-/Tieflauftrampe parametrierung und nach Abgabe einer akustischen Warnung für die anwesenden Personen (mehrmaliges Betätigen des Signalhorns) in Richtung des Startpunktes angefahren.

Erreicht der Seilwagen die gewünschte Position wird automatisch angehalten und der Anwender über das Kommunikationsfenster gefragt, ob er den Versuch vorbereiten will. Bei Anklicken von “Weiter“ wird in den Vorbereiten-Zustand gewechselt, bei “Abbrechen” in den Init-Zustand.

Wird “Abbrechen” während dem Anfahren der Startposition gedrückt, wird der Seilwagen angehalten und es folgt ebenfalls ein Wechsel zurück in den Init-Zustand.

Vorbereiten-Zustand (Abbildung 4.22)

Am Frequenzumrichter werden die notwendigen Parametrierungen für die im Init-Zustand berechnete Hochlauframpe vorgenommen.

Bei Versuchen mit einem Fahrzeug wird entsprechend der eingegebenen Versuchsdaten entweder die Bremse 1 oder Bremse 2 (mit Berücksichtigung der Versenkmechanik) aktiviert, bei einem Schlittenversuch keine von beiden.

Personen werden an den Eingangstüren der Halle durch das Einschalten einer Warn-/Leuchtschrift vor der unmittelbaren Versuchsdurchführung gewarnt.

Im Kommunikationsfenster wird “Versuch durchführen?” ausgegeben. Mit dem Drücken von “Weiter” wird die Durchführung angefordert. Dabei wird zuerst eine automatische Überprüfung des Anlagenzustandes durchgeführt und der Anwender muss die Erledigung von wichtigen manuellen Tätigkeiten bestätigen um in den Versuch-Zustand zu kommen. Fällt die Überprüfung negativ aus oder sind Tätigkeiten nicht positiv bestätigt worden, kann der Versuch nicht gestartet werden, es wird weiterhin der Vorbereiten-Zustand ausgeführt.

Wird die Versuchsdurchführung nicht mehr (in der eingegebenen Form) gewünscht, so kann mit “Abbrechen” zum Init-Zustand zurückgekehrt werden.

Versuch-Zustand (Abbildung 4.23)

Der Crashtest wird nun durchgeführt. Dazu wird vor dem Senden des Hochlaufbefehls mit der benötigten Soll-Frequenz noch die Beleuchtung mit dem Licht-Boost auf höchste Helligkeit geschaltet und die Personen werden mit dem Signalhorn gewarnt.

Während der Durchführung werden die Drücke und Schalterzustände sowie Seilgeschwindigkeit, Seilwagenposition und Seilwagengeschwindigkeit angezeigt aber auch zwischengespeichert für die spätere Erstellung der Textdokumente und des PDF-Dokumentes.

Mit einem Fahrzeugversuch unter Verwendung eines freien Stoppunktes wird automatisch am Stoppunkt der Tieflaufbefehl gesendet und ein beschleunigtes Anhalten mit der Scheibenbremse unterstützt. Bei allen anderen Versuchsarten geschieht dies erst nach Betätigung von “Weiter” oder “Abbrechen”.

Nach dem Anhalten wird automatisch in den Speichern-Zustand gewechselt.

Speichern-Zustand (Abbildung 4.24)

Die während des Versuchs zwischengespeicherten Daten (Drücke, Schalterzustände, Geschwindigkeit/Position) werden zusammen mit den allgemeinen Informationen übersichtlich in einem PDF-Dokument aufbereitet.

Da die Rohdaten aus dem PDF-Dokument nicht mehr zurückgewonnen werden können um sie bei Bedarf anderweitig zu Verarbeiten, werden diese zusätzlich noch in drei Textdateien gespeichert.

Am Ende dieses Zustandes wird der Anwender wieder zum “Programmmanfang” (Init-Zustand) zurückgeführt.

Exit-Zustand (Abbildung 4.25)

Alle Busteilnehmer werden in den Zustand “pre-operational” (Standby) geschaltet.

Die Hydraulikelemente werden in einen entspannten Zustand gebracht (Spannzylinder, Scheibenbremse, etc.) und das Blinklicht wird deaktiviert.

Das Programm wird beendet.

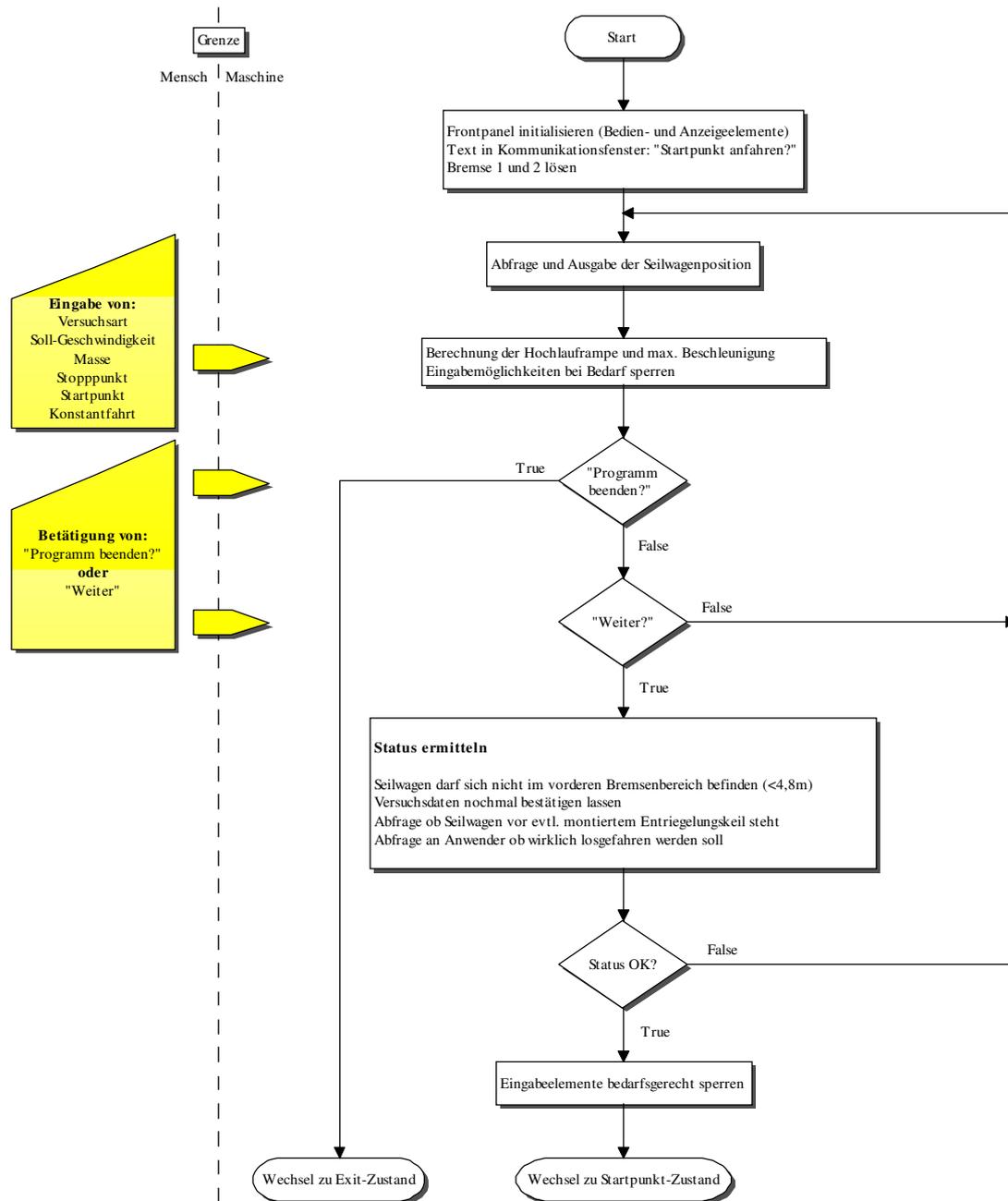


Abbildung 4.20: Flussdiagramm von Init-Zustand der Ablaufsteuerung

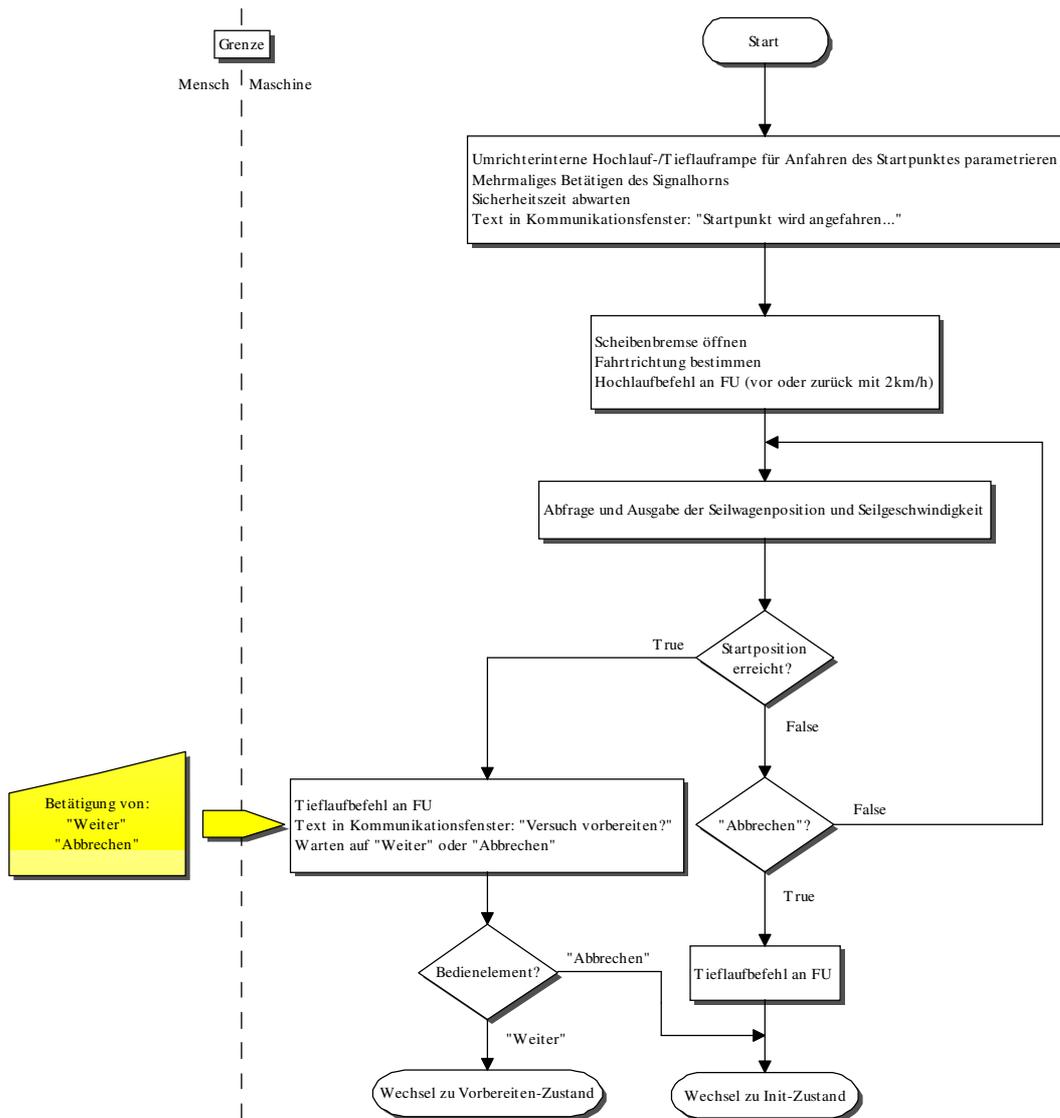


Abbildung 4.21: Flussdiagramm von Startpunkt-Zustand der Ablaufsteuerung

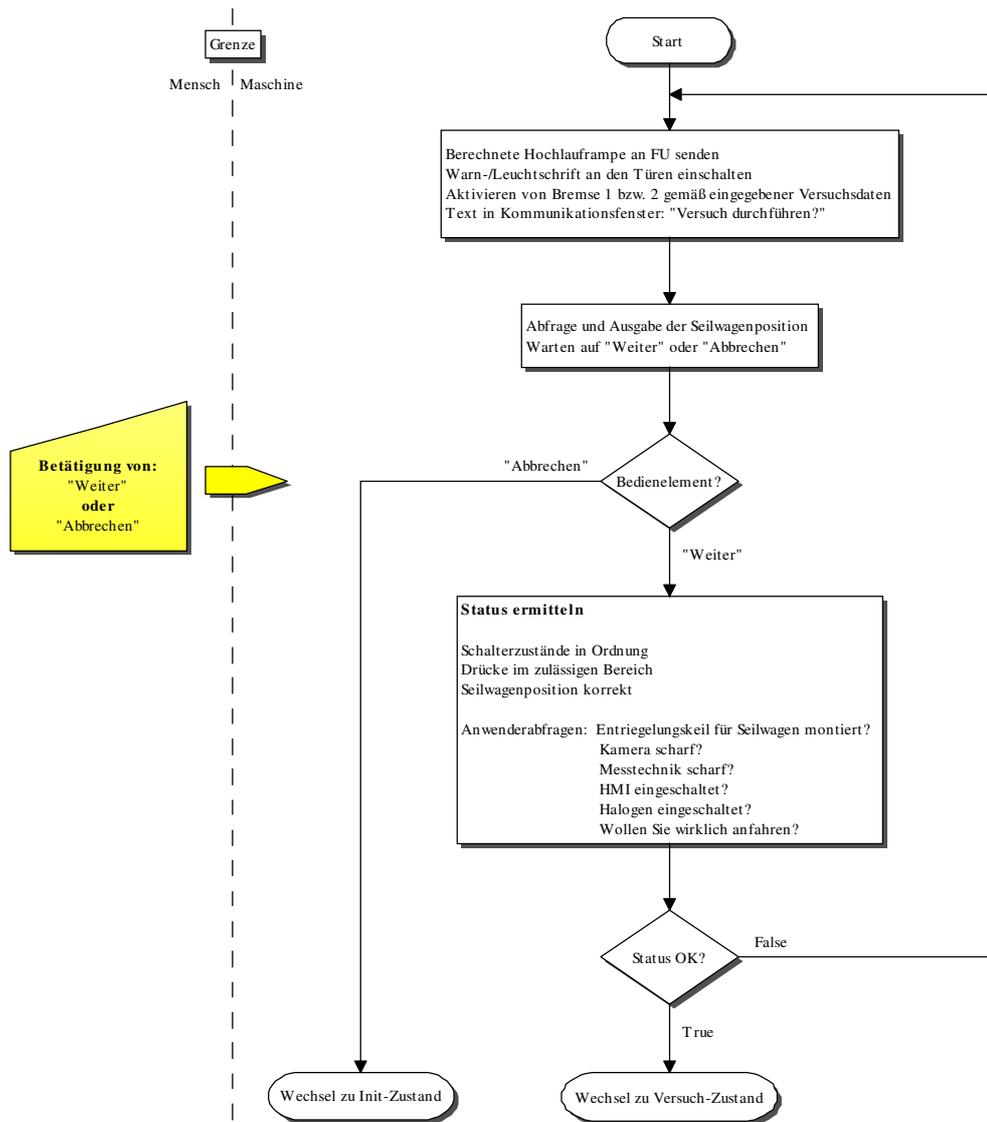


Abbildung 4.22: Flussdiagramm von Vorbereiten-Zustand der Ablaufsteuerung

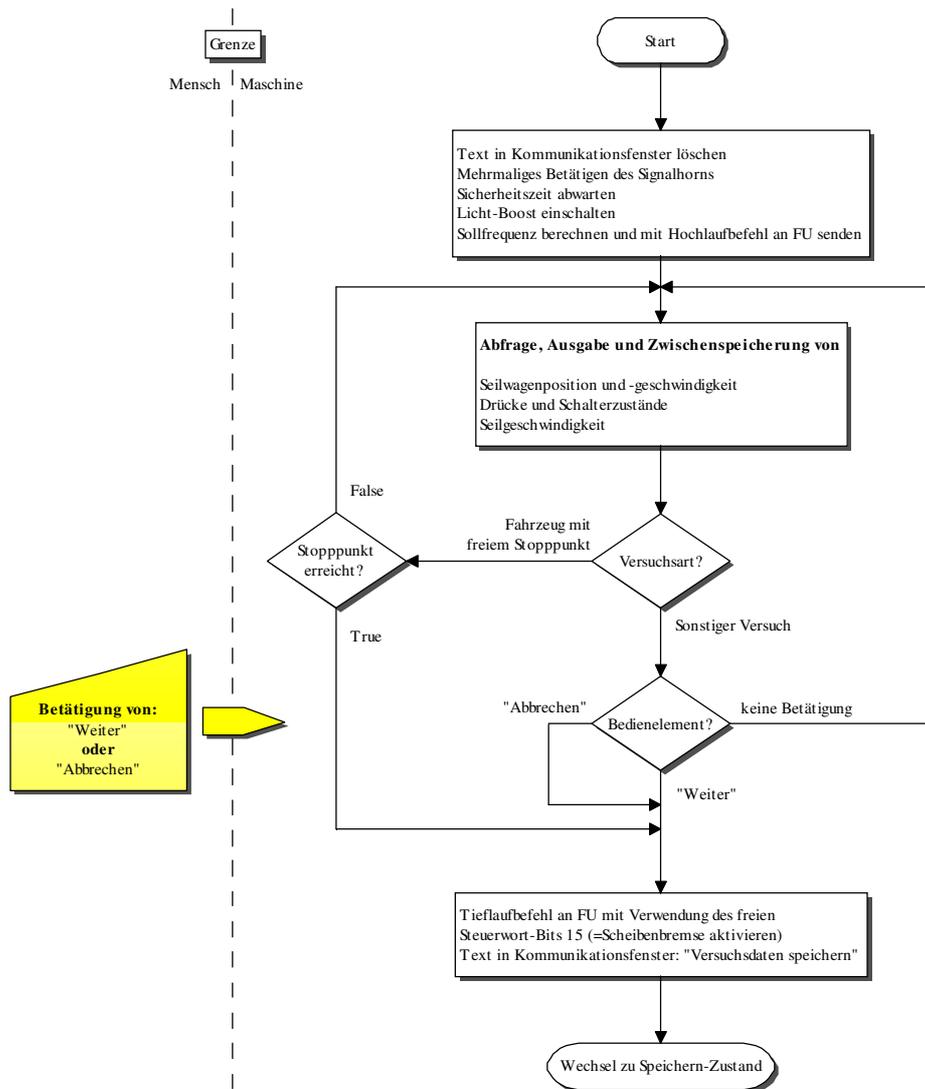


Abbildung 4.23: Flussdiagramm von Versuch-Zustand der Ablaufsteuerung

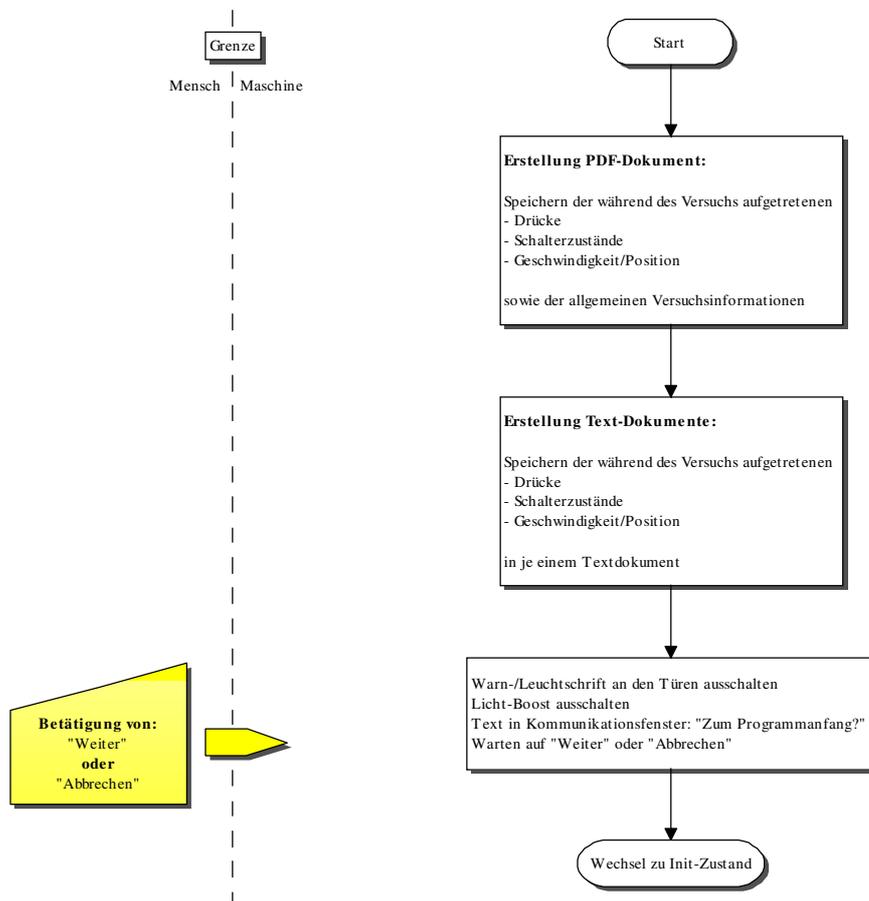


Abbildung 4.24: Flussdiagramm von Speichern-Zustand der Ablaufsteuerung

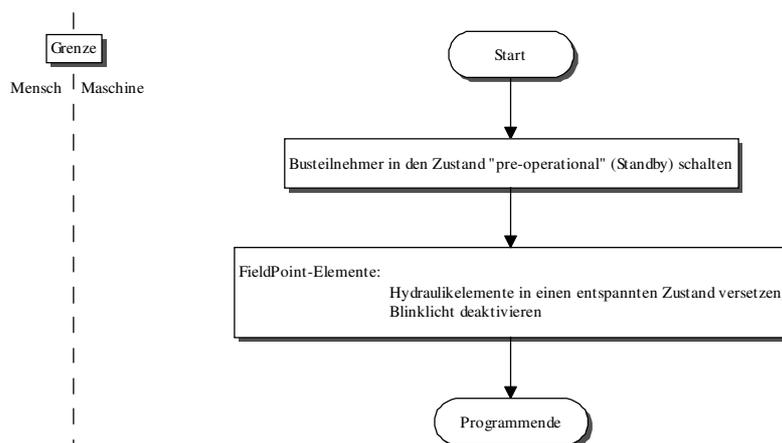


Abbildung 4.25: Flussdiagramm von Exit-Zustand der Ablaufsteuerung

Kapitel 5

Ergebnisse

5.1 Automatisierung

Die Änderungen und Erweiterungen bezüglich der Hardware, vor allem die Einführung des neuen Bussystems, aber auch die Einstellungsänderungen bei Betriebssystem und Dienstprogrammen des Steuerrechners haben zu einer stabilen Kommunikation zwischen den Teilnehmern geführt.

Mit der Ablaufsteuerung hat der Anwender ein zuverlässig funktionierendes Programm, das ihm eine übersichtliche und bedienfreundliche Oberfläche zur Verfügung stellt. Der Ablauf einer Versuchsdurchführung ist weitestgehend automatisiert und unzulässige Anlagenzustände, die mitunter eine Gefährdung der erfolgreichen Versuchsdurchführung bedeuten oder gar eine Beschädigung der Crashanlage zur Folge hätten, sind ausgeschlossen.

5.2 Vorgabe des Beschleunigungsvorgangs

Die Ablaufsteuerung beinhaltet die Eingabe eines Beschleunigungsvorgangs in Form von Startpunkt, Stoppunkt, Konstantfahrt und Sollgeschwindigkeit, welcher letztlich wie in Abschnitt 4.5.2 erklärt auf eine Sollfrequenz und eine Hochlaufzeit für den Frequenzumrichter umgerechnet wird. Zwecks Überprüfung der Korrektheit der ermittelten Formeln wurden Leerfahrten unternommen, bei denen die Einhaltung der vorgegebenen Beschleunigungsstrecke und der Endgeschwindigkeit kontrolliert wurde. Dies geschah mit der Aufzeichnungsfunktion in der Ablaufsteuerung und mit einer Lichtschranke zur Geschwindigkeitsmessung direkt am Konstantfahrtpunkt. Die Lichtschranke stammt von Tag Heuer und liefert gewöhnlich den offiziell gültigen Messwert der Aufprallgeschwindigkeit. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.1 eingetragen.

Sollwerte		Gemessene Werte	
Geschwindigkeit (km/h)	Beschleunigungs- Strecke (m)	Geschwindigkeit (km/h)	Beschleunigungs- Strecke (m)
13	6,8	13,00	6,5
25	16,3	25,03	15,9
37	30,3	36,86	30,0
49	38,3	48,96	38,1
56	38,3	56,09	38,2
64,5	38,3	64,47	38,3

Tabelle 5.1: Messwerte Beschleunigungsvorgang

Als zusätzliche Überprüfung wurden noch drei weitere Fahrten mit der Messung der Geschwindigkeit direkt am Stoppunkt durchgeführt (siehe Tabelle 5.2).

Sollgeschwindigkeit (km/h)	13	37	56
Gemessene Geschwindigkeit (km/h)	13,03	37,04	56,04

Tabelle 5.2: Messwerte Stoppunktgeschwindigkeit

Die Messwerte in den Tabellen 5.1 und 5.2 bestätigen die ordnungsgemäße Durchführung des vorgegebenen Beschleunigungsvorgangs. Bezüglich der benötigten Strecke gibt es im unteren Geschwindigkeitsbereich eine kleine Abweichung, die aber auf die sichere Seite ausfällt und in Anbetracht der gewöhnlich bei ein bis drei Metern liegenden Konstantfahrt kein Problem darstellt.

5.3 Beschleunigungsvermögen

5.3.1 Eigenbedarf

Wenn man die Bewegungsgleichung (3.13) für die Anlage ohne Fahrzeug auf das Antriebsmoment M umformt kann man bei gegebenen Daten der Crashanlage den “Eigenverbrauch” an Drehmoment in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei einer bestimmten Beschleunigung berechnen:

$$M_E = J_{\text{ges}} * \frac{\dot{v}}{r_A} + m_{\text{SSW}} * \dot{v} * r_A + (87,86 * v + 1571) * r_A$$

Zieht man dieses Eigenverbrauchsmoment vom maximal zur Verfügung gestellten Antriebsmoment ab, so erhält man das Restmoment, welches für die Beschleunigung eines Fahrzeuges zur Verfügung steht. Sowohl das Eigenverbrauchsmoment als auch das Restmoment sind in den Abbildungen 5.1 und 5.2 für mehrere Beschleunigungswerte dargestellt.

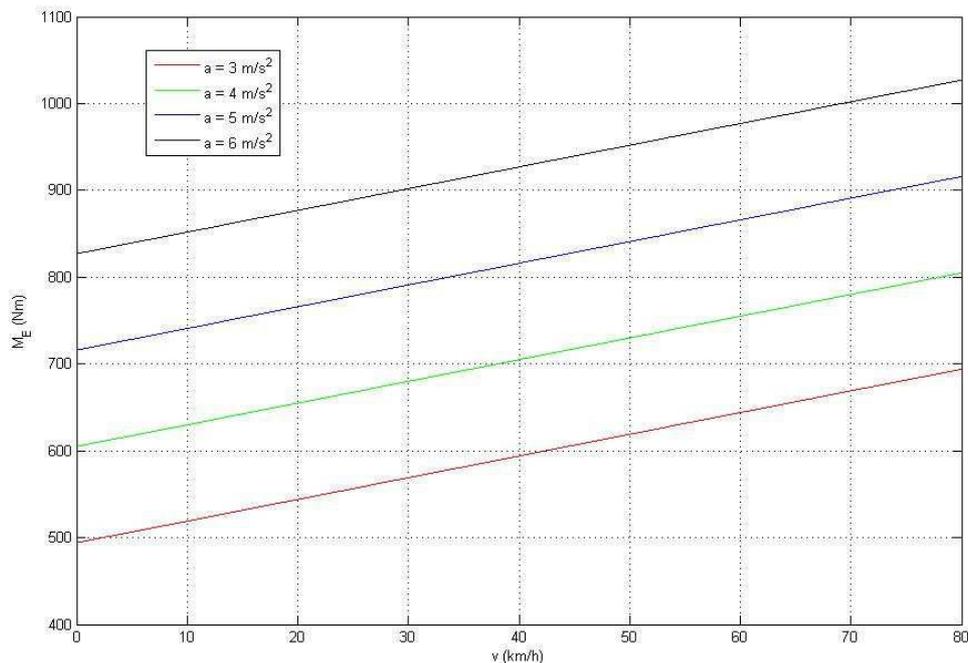


Abbildung 5.1: Eigenverbrauchsmomente

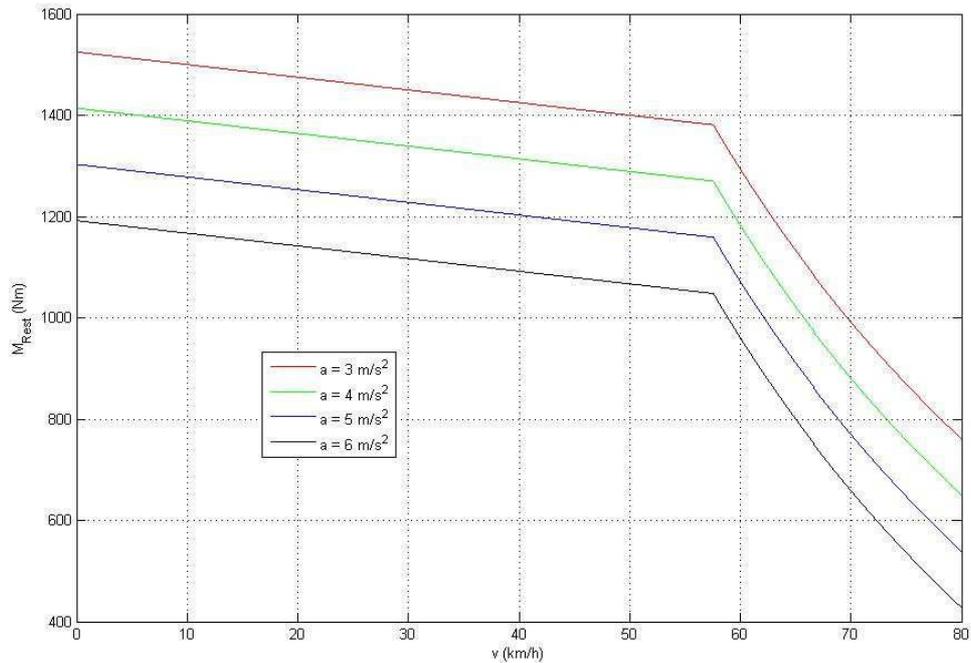


Abbildung 5.2: Restmomente

Der starke Rückgang des Restmomentes ab 57,6 km/h stellt den Beginn des Feldschwähebereichs dar, der Motor muss ab hier aufgrund des niedrigen Übersetzungsverhältnisses über seiner Nennfrequenz von 50 Hz betrieben werden.

Verwendete Daten der Crashanlage

Trägheitsmoment Motor/Rollen/Bremsscheibe	$J_{\text{ges}} = 9,281 \text{ kgm}^2$
Antriebsrollenradius	$r_A = 0.1025 \text{ m}$
Masse Seil/Seilwagen	$m_{\text{SSW}} = 199,4 \text{ kg}$
Max. Antriebsmoment	$M = 2019 \text{ Nm}$
(bis $f_N = 50 \text{ Hz}$, danach $1/f$ -Abnahme)	

5.3.2 Beschleunigungsvermögen mit Fahrzeug

Formt man die Gleichung für die Craschanlage samt Fahrzeug (3.24) auf die Beschleunigung

$$\dot{v} = \frac{\frac{M}{r_A} - 87,86 * v - 1571 - F_{Ro} - F_{Br} - F_{Lx}}{\left(\frac{J_{ges}}{r_A^2} + m_{SSW} + m + \frac{J}{r^2} \right)}$$

um und setzt für die Fahrzeugkräfte F_{Ro} , F_{Br} und F_{Lx} (3.25) bis (3.27) ein, so ergibt sich folgende Formel, aus der bei gegebenem Antriebsmoment und gegebenen Fahrzeugdaten das Beschleunigungsvermögen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ausgerechnet werden kann:

$$\dot{v} = \frac{\frac{M}{r_A} - 87,86 * v - 1571 - 1,5 * f_R * F_Z - c_W * A * \frac{\rho}{2} * v^2}{\left(\frac{J_{ges}}{r_A^2} + m_{SSW} + m + \frac{J}{r^2} \right)}$$

Beispielhafte Daten für ein Fahrzeug

Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten beim Crashbereich des VSI können Großraumlimousinen (Chrysler Voyager oder ähnliche) als die größte Fahrzeugklasse angesehen werden mit denen ein Crashtest durchgeführt wird. Daher wird im Folgenden ein Datensatz zusammengestellt, der jene Klasse repräsentiert.

Rollwiderstandsbeiwert

In [8] sind Rollwiderstandsbeiwerte von PKW-Reifen dargestellt. Bis auf die Ausnahme bei höheren Geschwindigkeiten liegen diese in einem relativ schmalen Band, daher wird der höhere Wert bei einer Geschwindigkeit von 64 km/h gewählt.

Rollwiderstandsbeiwert

$$f_R = 0,0112$$

Fahrzeugmasse/Radlast

Durch eine Internetrecherche konnte festgestellt werden, dass das Gewicht in dieser Klasse in der Größenordnung von 2000kg liegt, womit sich ebenfalls die Radlast bestimmen lässt:

Fahrzeugmasse	$m = 2000 \text{ kg}$
Radlast	$F_Z = m \cdot g = 19620 \text{ N}$

Achsenträgheitsmoment

Dieses liegt für PKW üblicherweise in der Nähe von 1 kgm^2 je nichtangetriebener Achse⁵. Im ausgekuppelten Zustand kann dieser Wert auch für die angetriebene Achse verwendet werden

Achsenträgheitsmoment	$J = 2 \text{ kgm}^2$
-----------------------	-----------------------

Reifenradius

Dieser wurde bestimmt für eine gängige Bereifung von 215/65 R16.

Reifenradius	$r = 0,343 \text{ m}$
--------------	-----------------------

Luftwiderstandsbeiwert

Beträgt für Großraumlimousinen 0,35 bis 0,40⁶.

Luftwiderstandsbeiwert	$c_w = 0,4$
------------------------	-------------

Querspanntfläche

Kann näherungsweise mit dem Produkt von Höhe und Breite des Fahrzeugs bestimmt werden. Bei Fahrzeugen, die eine weniger zum Rechteck ausgeprägte Stirnfläche haben ist sie um etwa 20% kleiner.

Querspanntfläche ⁷	$A = h \cdot b = 3,5 \text{ m}^2$
-------------------------------	-----------------------------------

^{5,6}Quelle: DI Lex, Institut für Fahrzeugtechnik, TU Graz

⁷aus [9] (aktuelles Modell Chrysler Voyager)

Luftdichte

$$\rho = 1,226 \text{ kg/m}^3 @ 1013\text{mbar}/15^\circ\text{C}^8$$

Beschleunigungsverläufe

In Abbildung 5.3 ist der resultierende Beschleunigungsverlauf unter Verwendung der beispielhaften Fahrzeugdaten zu sehen. Um die Auswirkung der unterschiedlichen Lastanteile zu veranschaulichen, wurden fünf weitere Kurven berechnet bei denen jeweils unterschiedliche Kräfte/Trägheitsmomente als nicht vorhanden angenommen wurden. Es ist deutlich zu erkennen, dass weder der Luftwiderstand noch Luftwiderstand, Rollwiderstand und Restbremsmoment zusammen eine große Belastung darstellen. Aber das Trägheitsmoment der Rollen und Bremsscheibe sowie die Reibkraft schmälern das Beschleunigungsvermögen ganz erheblich. Einen deutlichen Einfluss hat auch die Masse von Seil- und Seilwagen.

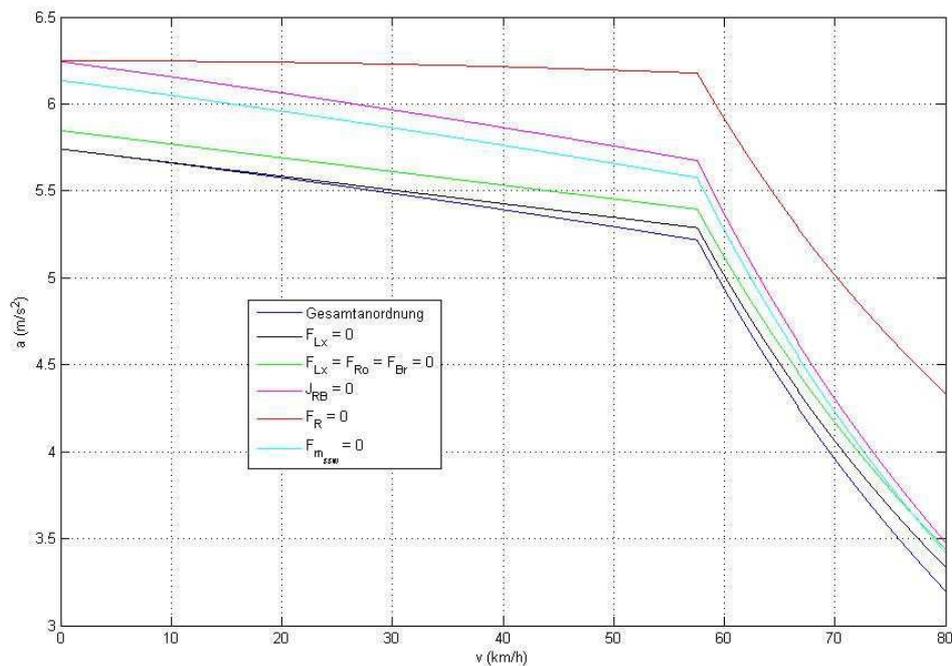


Abbildung 5.3: Beschleunigungsvermögen mit exemplarischem Fahrzeug

⁸vgl. [8]

Erklärungsversuch für die große Reibkraft

Die Größe der Reibkraft fiel schon bei ihrer Messung in Form der unglaublich hohen Wellenleistung bei konstanter Geschwindigkeit auf. Weshalb sie so groß ist kann zu diesem Zeitpunkt aus Zeitmangel nicht gänzlich geklärt werden.

Es soll an dieser Stelle aber darauf hingewiesen werden, dass die Verwendung von viel zu kleinen Biegeradien an den reichlich vorhandenen Umlenk- und Antriebsrollen festgestellt wurde (insgesamt 10 Umlenkungen). Jede einzelne Umlenkung stellt einen Verlust in doppelter Hinsicht bezüglich des Wirkungsgrades dar. Es muss Biegearbeit am Seil selbst geleistet werden und die Lagerreibung an den Rollen muss überwunden werden. Je nach eingesetztem Wirkungsgrad für eine Umlenkung kann sich damit ein höherer zweistelliger Verlust im Gesamtwirkungsgrad ergeben⁹.

Trotzdem erscheint der Seilantrieb als alleiniger Verursacher nicht sehr wahrscheinlich und es sollte auch der große Seilwagen mitsamt seiner Führung in der Schiene näher untersucht werden.

Eine Abklärung des Sachverhaltes mit adäquaten Messungen sollte durchgeführt werden.

⁹Quelle: Entwicklungsabteilung des Seilherstellers, Teufelberger, Wels

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Am Beginn dieser Arbeit stand eine Crashtestanlage für PKW, die sich im Aufbau befand und insgesamt betrachtet mit ihrer Hardware- und Softwarebeschaffenheit nicht einsatzbereit war.

In einem ersten Schritt gab es eine Einarbeitungsphase, in der die Funktion aller Anlagenkomponenten inklusive Software und letztlich der IST-Zustand erfasst wurde.

Die nächste Phase diente der Bestimmung des SOLL-Zustandes also jenen Zustandes der Anlage, der nach Abschluss der Arbeit vorzuliegen hat. Hier war im Besonderen die Gestaltung der Automatisierung aus Sicht des zukünftigen Anwenders zu berücksichtigen (Mensch-Maschine-Interface). Der zukünftige Aufgabenbereich wurde definiert und Sicherheitsfunktionen wurden erörtert.

Danach wurden zuerst die notwendigen Adaptierungen im Bereich der Hardware vorgenommen und im Anschluss daran die Programmierung von zwei Programmen, zuerst die nur gelegentlich benötigten Handsteuerung für z.B. Diagnosezwecke und darauf folgend die Ablaufsteuerung für die automatisierte Versuchsdurchführung.

In einem weiteren Punkt wurde ein Gesamtmodell für die Crashanlage samt Fahrzeug erstellt, das eine Abschätzung der möglichen Beschleunigungsvorgänge ermöglicht.

Mit dem Ergebnis dieser Arbeit wurde das Ziel erreicht, dass eine komfortable, sichere und zuverlässige Versuchsdurchführung erfolgen kann.

6.2 Ausblick

Da der Frequenzumrichter mit einer Spannung von 500V gespeist wird besteht die Möglichkeit, dass der Asynchronmotor mit seiner Nennspannung von 400V auf diese Spannung hochgerechnet wird. Dies hätte den Vorteil, dass man bei höheren Geschwindigkeiten nicht mehr in den Feldschwächebereich kommt. Außerdem könnte in den Frequenzumrichter-Parametern beim Motorschutz in Bezug auf das maximale Drehmoment und den höchstzulässigen Strom sowie beim Umrichterschutz in Bezug auf den Maximalstrom wegen der Betriebsdauer von höchstens ein paar Sekunden ein Überlastbetrieb zugelassen werden. Hierfür sollte vorher eine Überprüfung erfolgen, ob das resultierende Maximalmoment für die beteiligten mechanischen Komponenten zulässig ist.

Nach der Abklärung des Sachverhaltes bezüglich der großen Reibkraft (siehe Abschnitt 5.3.2) und Durchführung eventuell notwendiger Änderungen diesbezüglich aber auch nach Aktivierung eines Überlastbetriebes sollte das Modell über das Beschleunigungsvermögen in geeigneter Art und Weise in die Software mit eingebunden werden, sodass der Anwender automatisch erfährt, ob ein gewünschter Beschleunigungsverlauf sicher möglich ist oder nicht.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Crashanlage.....	10
Abbildung 1.2: Kommunikation von Steuerrechner mit Frequenzumrichter	12
Abbildung 1.3: Kommunikation von Steuerrechner mit Hydraulik/Zusatzfunktionen..	13
Abbildung 2.1: Schema der Anlage.....	17
Abbildung 2.2: Motor/Seilantriebsrolle.....	18
Abbildung 2.3: Motor/Spannzylinder	18
Abbildung 2.4: Bremse 1	21
Abbildung 2.6: Hydraulik	22
Abbildung 2.7: Schema der Ansteuerung mit Fieldpoint-Modulen	24
Abbildung 2.8: Manuelle Bedienung.....	26
Abbildung 2.9: Automatischer Ablauf.....	27
Abbildung 3.1: Kräfte und Momente bei Crashanlage mit Fahrzeug.....	28
Abbildung 3.2: Gemessene und gefittete Wellenleistung.....	31
Abbildung 3.3: Kräfte und Momente am Fahrzeugaufbau und den Achsen	33
Abbildung 4.1: Beispielhafter Verlauf eines Beschleunigungsvorgangs	41
Abbildung 4.2: Kommunikation - Steuerrechner, Frequenzumrichter, Laser	50
Abbildung 4.3: Frequenzumrichter-Logik für Anlagensicherheit.....	51
Abbildung 4.4: Anwenderoberfläche der Handsteuerung (Registerkarte 1).....	54
Abbildung 4.5: Anwenderoberfläche der Handsteuerung (Registerkarte 2).....	55
Abbildung 4.6: Zustandsmaschine der Handsteuerung	56
Abbildung 4.7: Flussdiagramm von Init-Zustand der Handsteuerung	59
Abbildung 4.8: Flussdiagramm von Stop-Zustand der Handsteuerung.....	60
Abbildung 4.9: Flussdiagramm von Run-Zustand der Handsteuerung	61
Abbildung 4.10: Flussdiagramm von Exit-Zustand der Handsteuerung	61
Abbildung 4.11: Anwenderoberfläche der Ablaufsteuerung (Registerkarte 1)	63
Abbildung 4.12: Anwenderoberfläche der Ablaufsteuerung (Registerkarte 2)	64
Abbildung 4.13: Verrundung bei Hochlauframpe.....	67
Abbildung 4.14: Zusammenhang Hochlaufzeit – Beschleunigungsstrecke	69
Abbildung 4.15: Zusammenhang Sollgeschwindigkeit – Steigung	70
Abbildung 4.16: Programmstruktur der Ablaufsteuerung	72

Abbildung 4.17: Flussdiagramm von Pre-Init-Prozess der Ablaufsteuerung	73
Abbildung 4.18: Parallelprozess der Ablaufsteuerung	74
Abbildung 4.19: Zustandsmaschine der Ablaufsteuerung	75
Abbildung 4.20: Flussdiagramm von Init-Zustand der Ablaufsteuerung	79
Abbildung 4.21: Flussdiagramm von Startpunkt-Zustand der Ablaufsteuerung	80
Abbildung 4.22: Flussdiagramm von Vorbereiten-Zustand der Ablaufsteuerung	81
Abbildung 4.23: Flussdiagramm von Versuch-Zustand der Ablaufsteuerung.....	82
Abbildung 4.24: Flussdiagramm von Speichern-Zustand der Ablaufsteuerung	83
Abbildung 4.25: Flussdiagramm von Exit-Zustand der Ablaufsteuerung	83
Abbildung 5.1: Eigenverbrauchsmomente.....	86
Abbildung 5.2: Restmomente.....	87
Abbildung 5.3: Beschleunigungsvermögen mit exemplarischem Fahrzeug.....	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Technische Daten - Motor	18
Tabelle 2.2: Technische Daten - Frequenzumrichter.....	19
Tabelle 2.3: Anschlüsse des Frequenzumrichters	20
Tabelle 3.1: Sonstige Trägheitsmomente der Craschanlage	30
Tabelle 3.2: Wellenleistungen bei konstanter Geschwindigkeit	31
Tabelle 4.1: Technische Daten – NI CAN-Interface	43
Tabelle 4.2: Technische Daten – LE-200.....	44
Tabelle 4.3: OSI 7-Schicht Modell.....	45
Tabelle 4.4: Versuchsreihe für Hochlauftrampe	68
Tabelle 4.5: Steigung in Abhängigkeit von Sollgeschwindigkeit	70
Tabelle 5.1: Messwerte Beschleunigungsvorgang	85
Tabelle 5.2: Messwerte Stoppunktgeschwindigkeit	85

Literaturverzeichnis

[1] Wikipedia: OSI-Modell:

<http://de.wikipedia.org/wiki/ISO/OSI-Referenzmodell> (Jan. 2013)

[2] Selflinux: Das OSI-Referenzmodell:

<http://www.selflinux.de/selflinux/html/osi02.html> (Jan. 2013)

[3] National Instruments: Controller Area Network (CAN) – eine Übersicht:

<http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/icommlang/de/pg/1/sn/n17:i> (Jan. 2013)

[4] Wikipedia: Controller Area Network, CANopen:

http://de.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network (Jan. 2013)

<http://de.wikipedia.org/wiki/CANopen> (Jan. 2013)

[5] frenzel + berg electronic: CANopen guideline, Revision 1 (2006)

[6] CAN in Automation (CiA): <http://www.can-cia.org/> (Jan. 2013)

[7] Hirschberg, W., Waser, H.: Vorlesungsskriptum Kraftfahrzeugtechnik, Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz, 2005

[8] Mitschke, M., Wallentowitz, H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge, 4. Auflage. Berlin: Springer, 2004

[9] http://de.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Voyager (Feb. 2013)

Anhang

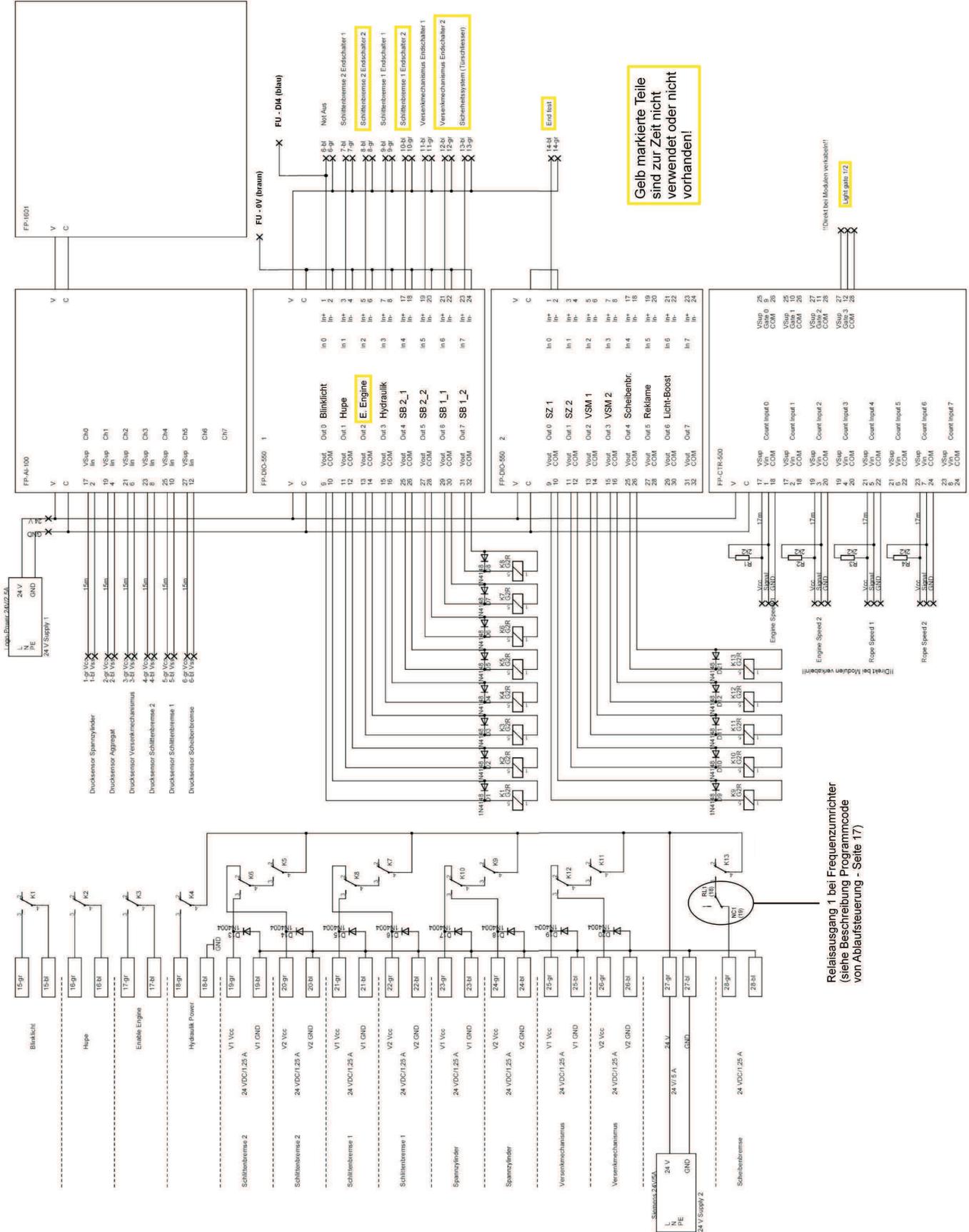
Anhang 1: Schaltpläne und Hydraulikplan

Anhang 2: Bedienungsanleitungen von Handsteuerung und Ablaufsteuerung

Anhang 3: Datenblätter

Anhang 1

Schaltpläne und Hydraulikplan

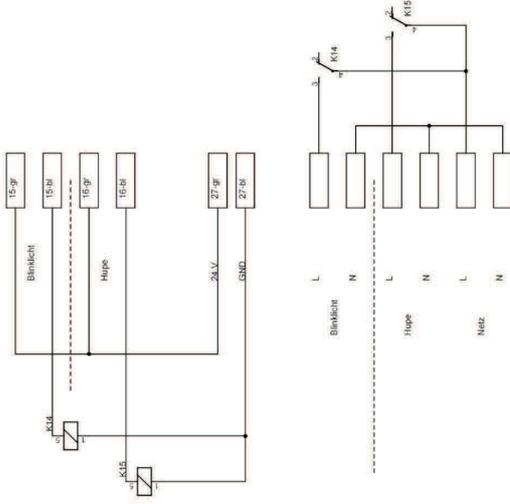


Gelb markierte Teile sind zur Zeit nicht verwendet oder nicht vorhanden!

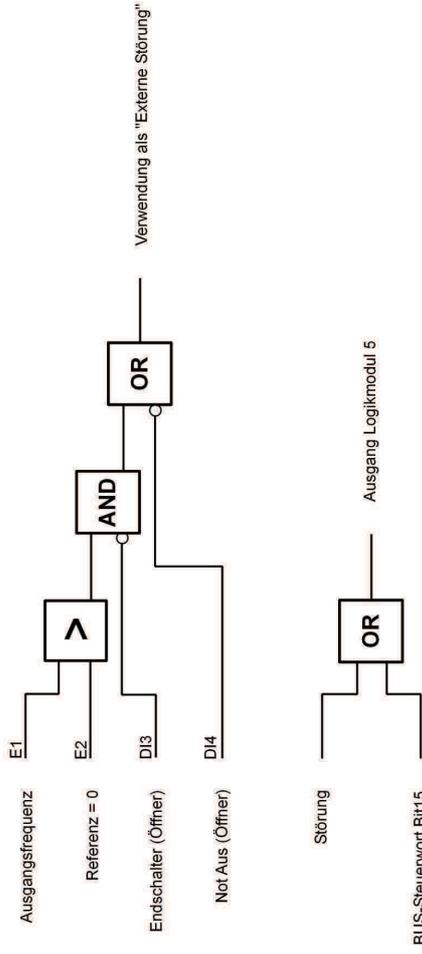
Light gate 1/2
(Dient bei Modulen verkehrt!)

Relaisausgang 1 bei Frequenzrichter
(siehe Beschreibung Programmcode von Ablaufsteuerung - Seite 17)

Stromversorgung Hupe & Blinklicht



Verwendung der internen Logik des Frequenzumrichters für die Anlagensicherheit



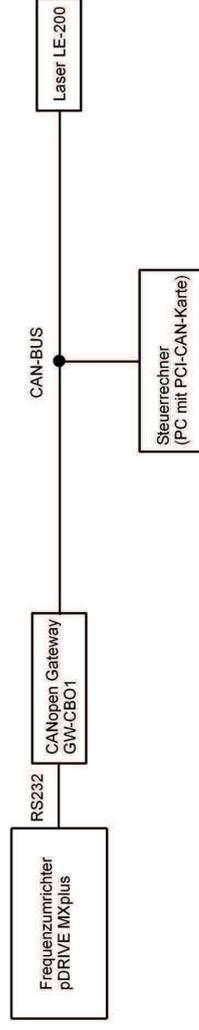
Die interne Logik des Frequenzumrichters "Komparator 3 mit Logikblock" wird zusammen mit seinen digitalen Eingängen D13 und D14 verwendet um einen Nothalt im Fehlerfall unabhängig von jeglicher Software oder weiterer Hardware zu garantieren.

Funktionsweise:

Fährt der Seilwagen zurück (Ausgangsfrequenz > 0) und hält nicht rechtzeitig vor dem Ende an (z.B. durch Störung der CAN-Bus-Kommunikation) so spricht ein induktiver Endschalter, der an D13 angeschlossen ist an, was somit zu einer "Externen Störung" führt. Außerdem befindet sich im Steuerstand ein Not-Aus-Schalter mit dessen Betätigung der Benutzer ebenfalls eine "Externe Störung" erzeugen kann. Der Frequenzumrichter ist so parametrierbar, dass er im Störfall (dazu zählt auch eine "Externe Störung") sofort einen Nothalt ausführt.

Die interne Logik des Frequenzumrichters "Logikmodul 5" wird zusammen mit dem "BUS-Steuerswort Bit 15", und dem Relais 1 verwendet um im Falle einer Störung oder eines gewünschten Stopps mit "Bit 15 = True" die Scheibenbremse zu aktivieren. Das Relais 1 wurde mit Parameter D4.01 auf den Ausgang des Logikmoduls 5 referenziert, d. h. es schaltet um (als Öffner verwendet) wenn der Ausgang des Logikmoduls 5 auf True ist, d. h. es wird die Scheibenbremse eingeschaltet, wenn eine Störung auftritt oder ein Stopp-Befehl mit Bit 15 = True gesendet wird (siehe auch Beschreibung des Programmmodos der Ablaufsteuerung - Seite 17)

CANopen-Kommunikation von PC mit Laser und Frequenzumrichter über CAN-Bus



Anhang 2

Bedienungsanleitungen von Handsteuerung und Ablaufsteuerung

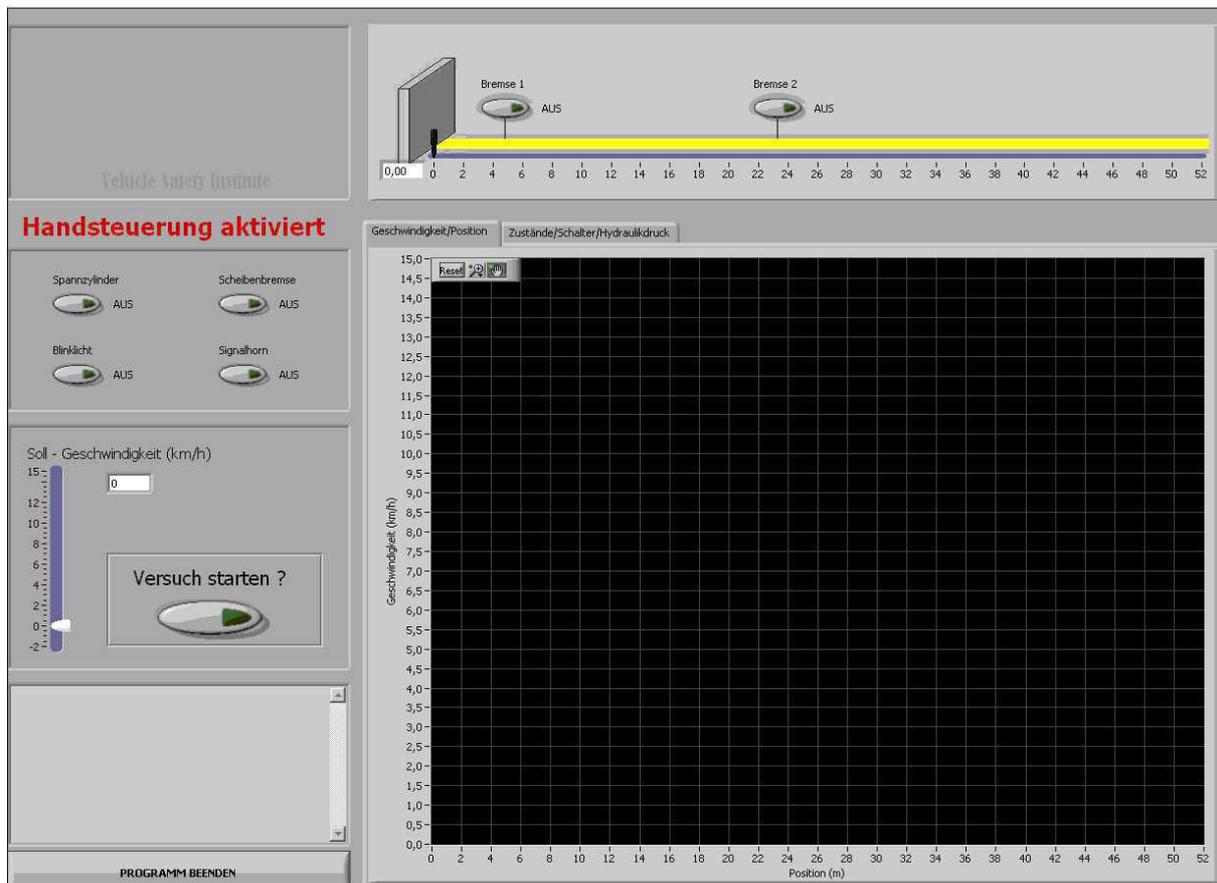
Bedienungsanleitung

Handsteuerung

Inhaltsverzeichnis

Anwenderoberfläche	3
Zweck der Handsteuerung.....	3
Beschreibung der Anwenderoberfläche	4
Fahren mit der Anlage	5
Anmerkung zu Laser	6

Anwenderoberfläche



Zweck der Handsteuerung

Die Handsteuerung ist für das langsame Vor- oder Zurückfahren sowohl mit als auch ohne eingeklinktem Seilwagen gedacht. Sie ist nicht für die Durchführung eines Versuches mit Fahrzeug oder Schlitten konzipiert. Vielmehr soll sie den Zweck haben, dass z. B. in der Phase vor oder nach einem Versuch der Seilwagen nicht von Hand verschoben werden muss (es werden auch keine Daten über Drücke, Schalter, etc. gespeichert!).

Eine weitere Aufgabe ist das Überprüfen der ordnungsgemäßen Funktion von Bremsen, Versenkmechanik, Endschalter, Drucksensoren, etc. indem z. B. die Bremse 2 aktiviert wird, die Mechanik (Bremse, Versenkmechanismus) optisch überprüft wird und auf korrekte Drücke, Schalterzustände geachtet wird.

Beschreibung der Anwenderoberfläche

Es können unabhängig voneinander EIN/AUSGESCHALTET werden:

- Spannzyylinder
- Scheibenbremse
- Blinklicht
- Signalhorn
- Bremse1
- Bremse2

Im oberen Bereich der Anwenderoberfläche ist die **Beschleunigungsstrecke** mit den beiden Bremsen und der **Position des Seilwagens** (schwarzer Balken) dargestellt. Die Position wird zusätzlich noch als Zahlenwert ausgegeben – die Angaben sind in Meter zu verstehen.

Die Schalter für Bremse 1 und Bremse 2 sind in der Grafik der Beschleunigungsstrecke an der Stelle ihrer tatsächlichen Position angebracht.

Die **Geschwindigkeitsvorwahl** geschieht über Schieberegler oder per Zahleneingabe (Bereich: -2...+15km/h). Mit dem Schalter unter „Versuch starten?“ kann der Motor angefahren und auch wieder gestoppt werden.

Im Fenster oberhalb von „**Programm beenden**“ werden evtl. auftretende Fehlermeldungen ausgegeben.

Den größten Teil der Oberfläche nehmen die beiden **Registerkarten** ein.

Die **erste Registerkarte** dient der Anzeige von Geschwindigkeit des Seilwagens aufgetragen über der Position (links oben im Graph sind die Funktionen für „**Reset-Skalierung**“, „**Zoom**“ und „**Verschieben mit Hand**“ angeordnet).

Die **zweite Registerkarte** enthält Info über:

- **Zustände/Schalter:**
 - Betriebsstunden
 - Bremse 1 Endschalter
 - Bremse 2 Endschalter
 - Seilgeschwindigkeit
 - Not Aus
 - Versenkmechanik Endschalter
- **Hydraulikdruck:**
 - Aggregat
 - Bremse 1
 - Bremse 2
 - Spannzyylinder
 - Scheibenbremse
 - Versenkmechanik

Fahren mit der Anlage

Um die Anlage anzufahren muss der Schalter unter „Versuch starten?“ betätigt werden. Der Text ändert sich danach auf „Versuch stoppen?“ – ein weiteres Klicken auf den Schalter führt somit zu einem Anhalten der Anlage.

Bevor aber wirklich losgefahren wird, erfolgen noch einige **Überprüfungen und Abfragen an den Anwender** der Handsteuerung.

Es sind dies:

- **vorwärts:**
 - Seilwagen darf sich nicht im vorderen Bremsenbereich befinden (< 4,8m)
 - Scheibenbremse muss deaktiviert sein
 - Spannzylinder muss aktiviert sein
 - EINE passende Bremse (1 oder 2) muss aktiviert sein
 - Abfrage an Benutzer ob wirklich losgefahren werden soll

- **rückwärts:**
 - Seilwagen darf sich nicht im vorderen Bremsenbereich befinden (< 4,8m)
 - ALLE Bremsen müssen deaktiviert sein
 - Spannzylinder muss aktiviert sein
 - Abfrage ob Seilwagen hinter evtl. montiertem Entriegelungskeil steht
 - Abfrage an Benutzer ob wirklich losgefahren werden soll

Anmerkung:

Während eines Fahrvorganges ist es nicht möglich, dass die Geschwindigkeit verändert wird oder andere Schalter außer dem Stopp-Schalter betätigt werden. Dazu muss sich die Anlage im Stillstand befinden!

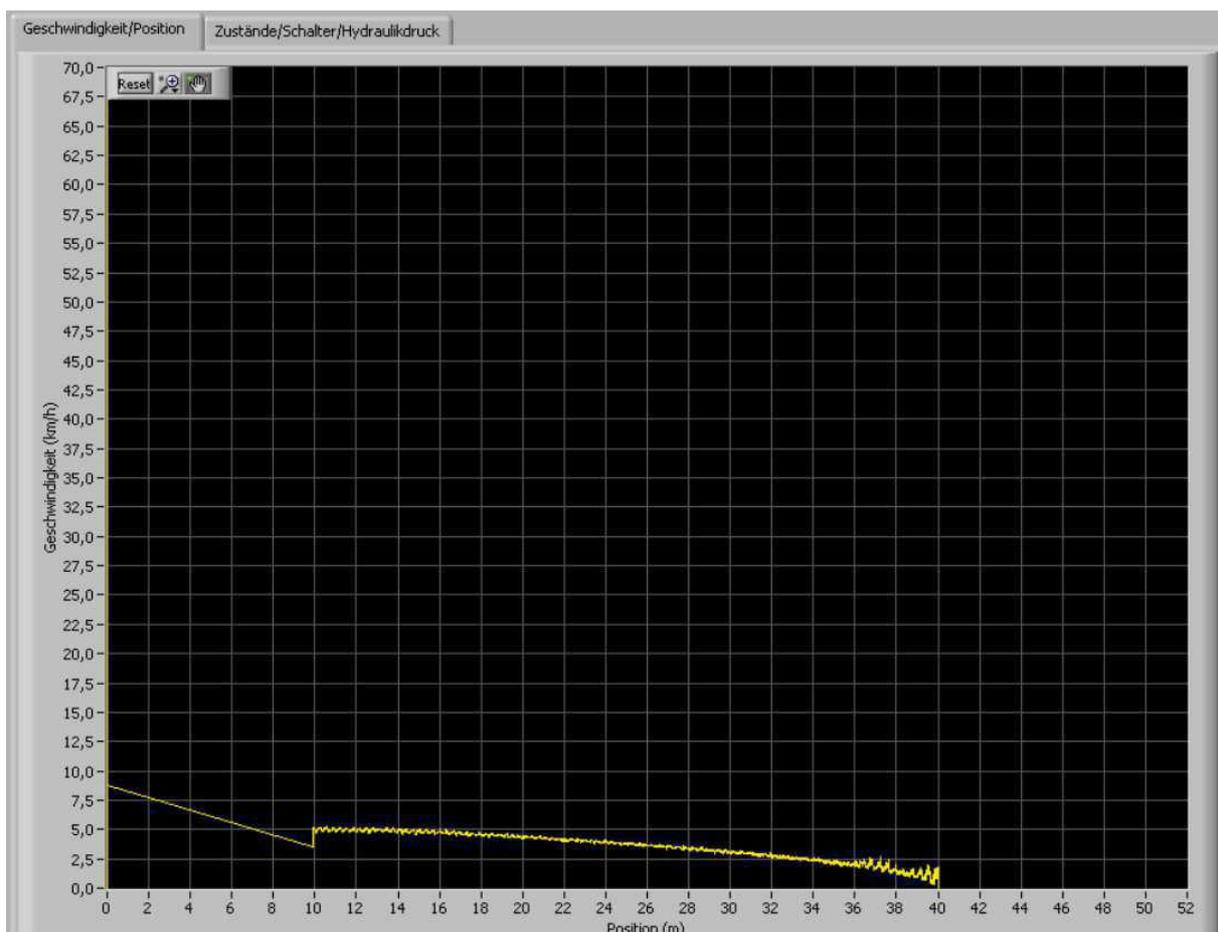
Anmerkung zu Laser

Falls der Laser einen Fehler erkennt (üblich ist eine Intensitätsunterschreitung wegen verschmutztem Reflektor oder Linse), so sendet dieser einen Positionswert von 0 Meter.

Dies hat zur Folge, dass sich die Position von der tatsächlichen Seilwagenposition (vor Fehler) auf 0 Meter (nach bzw. während Fehler anliegt) sprunghaft ändert.

Da die Geschwindigkeit aus der Positionsänderung und der verstrichenen Zeit berechnet wird ergibt sich bei Auftreten eines Fehlers somit ein Sprung auf Position 0 Meter zusätzlich mit einem sehr hohen Geschwindigkeitswert. Gleich im Anschluss daran fällt die Geschwindigkeit aber auf 0 km/h ab, da für die Position solange der Fehler andauert weiterhin 0 Meter ausgegeben wird.

Abbildung eines Versuchs bei dem an der Position 10 Meter ein Laser-Fehler auftrat:



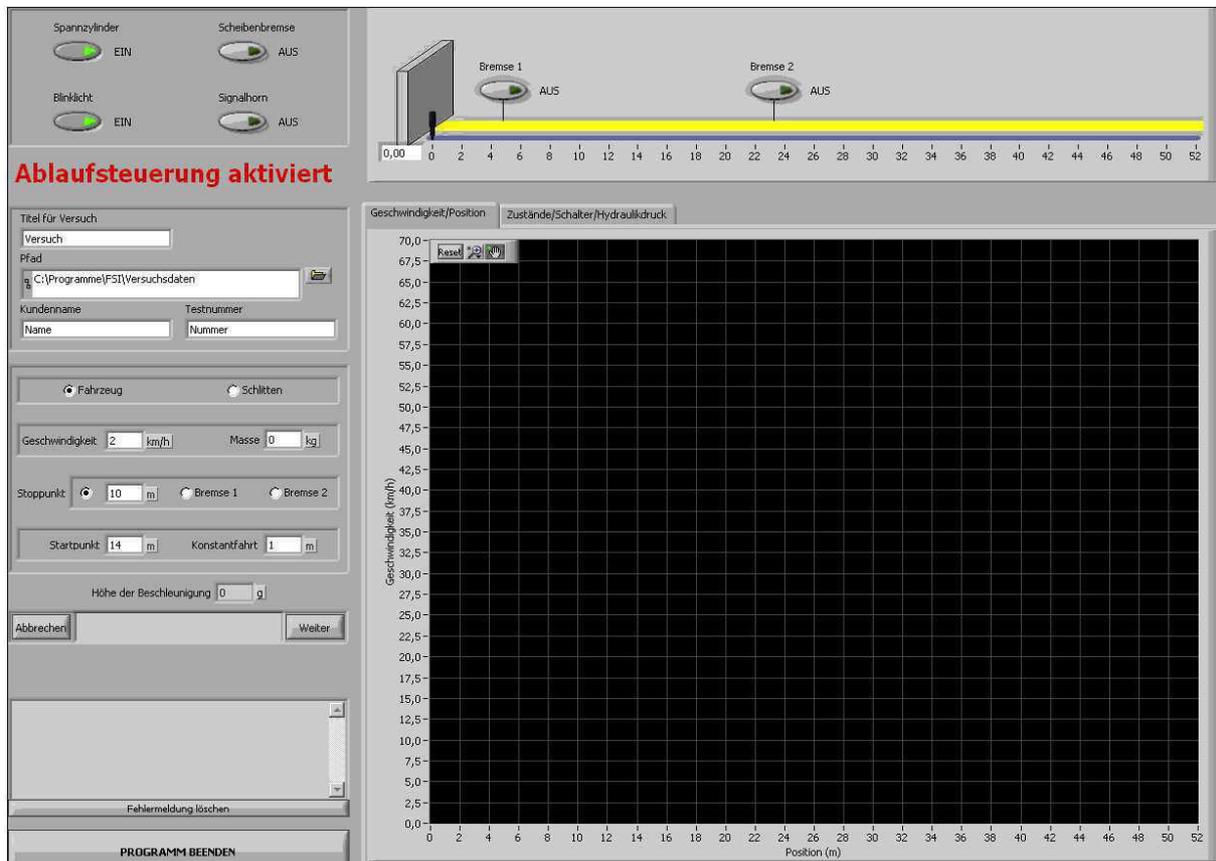
Bedienungsanleitung

Ablaufsteuerung

Inhaltsverzeichnis

Anwenderoberfläche	3
Zweck der Ablaufsteuerung	3
Beschreibung der Anwenderoberfläche	4
Prinzip der Ablaufsteuerung	5
Durchführung eines Versuchs.....	6
Schritt 1: Versuchsdaten eingeben	6
Wichtiger Hinweis zu Rampeneinstellungen	6
Beispiel.....	7
Verlassen von Schritt 1	7
Schritt 2: Startpunkt anfahren	8
Verlassen von Schritt 2	8
Schritt 3: Versuch vorbereiten.....	8
Verlassen von Schritt 3	9
Schritt 4: Versuch durchführen	9
Verlassen von Schritt 4	9
Schritt 5: Daten speichern	10
Verlassen von Schritt 5	10
Anmerkung zu Laser	11

Anwenderoberfläche



Zweck der Ablaufsteuerung

Die Ablaufsteuerung ist für die Durchführung von Versuchen (Crashtests) mit Fahrzeug oder Schlitten gedacht. Sie ist so ausgelegt, dass der Anwender eine fixe Reihenfolge einzuhalten hat (Ablauf) um einen Versuch durchführen zu können.

Am Programmstart hat der Anwender die Versuchsdaten einzugeben – die eigentliche Versuchsvorbereitung und Durchführung erfolgt danach automatisiert.

Nach der Versuchsdurchführung werden die vom Anwender eingegebenen Daten zusammen mit den während des Versuchs angefallenen Daten (Geschwindigkeit, Drücke,...) in einem Pdf-Dokument und zusätzlich in drei Textdateien gespeichert.

Beschreibung der Anwenderoberfläche

Im oberen Bereich der Anwenderoberfläche ist die **Beschleunigungsstrecke** mit den beiden Bremsen und der **Position des Seilwagens** (schwarzer Balken) dargestellt. Die Position wird zusätzlich noch als Zahlenwert ausgegeben – die Angaben sind in Meter zu verstehen.

Die Schalter für Bremse 1 und Bremse 2 sind in der Grafik der Beschleunigungsstrecke an der Stelle ihrer tatsächlichen Position angebracht.

Im **linken oberen Bereich** sind die Schalter für **Spannzylinder, Scheibenbremse, Blinklicht** und **Signalhorn** angebracht.

Mit Ausnahme des **Signalhorns**, können alle anderen fünf Schalter im oberen Bereich nicht betätigt werden – sie werden durch den automatischen Programmablauf aktiviert/deaktiviert.

Unterhalb des roten Schriftzugs „Ablaufsteuerung aktiviert“ finden sich die **zwei Bereiche für die Eingabe der Versuchsdaten** durch den Benutzer.

Der **erste Bereich** beinhaltet folgende Eingabemöglichkeiten:

- Titel für Versuch
- Pfad in dem die Textdateien und das PDF-Dokument gespeichert werden
- Kundenname und Testnummer,

der **zweite Bereich**:

- Versuchsart (Fahrzeug oder Schlitten)
- Soll-Geschwindigkeit und Fahrzeug-/Schlittenmasse
- Stoppunkt (nur bei Fahrzeugversuch)
- Startpunkt und Konstantfahrt

Der gesamte Programmablauf wird mit lediglich den beiden Tasten „Abbrechen“ und „Weiter“ sowie dem dazwischen liegenden Kommunikationsfenster gesteuert.

Im **Fenster oberhalb von „Programm beenden“** werden evtl. auftretende **Fehlermeldungen des Lasers** ausgegeben. Es kann mit der Taste **„Fehlermeldung löschen“** wieder bereinigt werden – aber nur wenn der Fehler (z.B. Intensität gering wegen verschmutztem Reflektor) beseitigt wurde.

Durchführung eines Versuchs

Nachdem das Programm sich erfolgreich initialisiert hat kann die Durchführung eines Versuchs wie im Folgenden beschrieben vorgenommen werden:

Schritt 1: Versuchsdaten eingeben

Es erfolgt die Eingabe der Versuchsdaten in den beiden Bereichen, die bereits weiter oben beschrieben wurden und von denen einige Felder hier genauer beschrieben werden.

Wahl der Versuchsart:

- **Fahrzeug:** Es muss ein Stoppunkt gewählt werden. Möglich sind ein **frei wählbarer Stoppunkt (wegen unzureichender Bremsleistung nur sinnvoll bis ca. 15km/h)** oder die Position von **Bremse 1 (entspricht 4,7m)** oder **Bremse 2 (entspricht 23,4m)**.
- **Schlitten:** Die Wahl eines Stoppunktes ist hier nicht möglich, da die Biegeblechbremse für den Schlitten immer an der Crashwand montiert ist und somit für den Schlitten ein **fixer Stoppunkt von 4,7m** eingestellt ist.

Eingabe der Konstantfahrt:

Sie stellt die Strecke vor dem Erreichen des Stoppunktes dar, in der bereits die eingegebene Soll-Geschwindigkeit gefahren werden soll.

Die Konstantfahrt soll also gewährleisten, dass die Soll-Geschwindigkeit beim Stoppunkt auf jeden Fall erreicht ist - sie sollte sinnvollerweise im Bereich von ein paar Metern liegen.

Wichtiger Hinweis zu Rampeneinstellungen

Aus der Eingabe von Soll-Geschwindigkeit, Stoppunkt, Startpunkt und Konstantfahrt berechnet das Programm die notwendigen Rampeneinstellungen so, dass wenn der Seilwagen an der Stelle Startpunkt losfährt, er die eingegebene Soll-Geschwindigkeit bereits vor dem Stoppunkt und zwar um genau die bei Konstantfahrt eingegebenen Meter erreichen wird.

Des Weiteren wird die dabei auftretende **maximale Beschleunigung** berechnet und zur Information am Bildschirm ausgegeben (Einheit in Vielfachen der Erdbeschleunigung g).

Beispiel

Fahrzeugversuch

Soll-Geschwindigkeit = 40 km/h

Stoppunkt = Frei bei 10 Meter

Startpunkt = 35 Meter

Konstantfahrt = 4 Meter

Anmerkung: Stoppunkt und Startpunkt werden immer von der Crashwand aus gemessen welche somit die Position 0 Meter darstellt!

Der Startpunkt liegt 35 Meter vor der Crashwand und die Rampeneinstellungen für den Frequenzumrichter werden so berechnet, dass die Geschwindigkeit von 40 km/h bereits 14 Meter vor der Crashwand (Stoppunkt + Konstantfahrt) erreicht wird.

Im Fall der Bremse 1 oder Bremse 2 als Stoppunkt werden wie auch oben schon beschrieben 4, 7 Meter bzw. 23,4 Meter als Stoppunkt definiert.

Bei einem Schlittenversuch sind es ebenfalls 4,7 Meter.

Verlassen von Schritt 1

Drücken von „Weiter“: Es folgen der Sicherheit dienende Abfragen, welche bei positiver Bestätigung zu einem Wechsel nach Schritt 2 führen – Eingabefelder werden gesperrt!

Drücken von „Abbrechen“: ohne Funktion

Drücken von „Programm beenden“: Programm wird beendet (nur in Schritt 1 möglich)

Schritt 2: Startpunkt anfahren

Es wird mit dem Seilwagen die Startposition angefahren und bei Erreichen selbiger automatisch gestoppt.

Verlassen von Schritt 2

Drücken von „Weiter“: Es erfolgt ein Wechsel zu Schritt 3

Drücken von „Abbrechen“: Rückkehr zu Schritt 1 (falls Seilwagen noch in Bewegung, so wird dieser gestoppt)

Schritt 3: Versuch vorbereiten

Senden der Rampenparameter für den Versuch an den Frequenzumrichter.

Aktivieren von Bremse 1 oder Bremse 2 falls diese benötigt werden.

Anschalten der Warn-/Leuchtschrift an den Eingangstüren.

- **Fahrzeugversuch:**

Falls bei Stopppunkt Bremse 1 oder Bremse 2 gewählt wurde, so wird eben diese aktiviert

Bei freiem Stopppunkt wird aus Sicherheitsgründen immer die Bremse 1 aktiviert.

- **Schlittenversuch:**

Der schwere Schlitten kann immer nur von einer an der Crashwand montierten Bremseeinheit/Biegeblechbremse vordefiniert abgebremst werden, sodass hier keine der beiden Bremsen 1 oder 2 zu aktivieren sind.

ACHTUNG!!

ES DARF NIE EIN SCHLITTENVERSUCH OHNE DIE DAFÜR EXTRA ZU MONTIERENDE BREMSEINHEIT DURCHGEFÜHRT WERDEN, DA DER SCHLITTEN ANSONSTEN UNGEBREMST IN DIE CRASHWAND FAHREN WÜRDEN → TOTALSCHADEN DER ANLAGE !!

Verlassen von Schritt 3

Drücken von „Weiter“: Es folgen der Sicherheit dienende Überprüfungen und Abfragen, welche bei positiver Bestätigung zu einem Wechsel nach Schritt 4 führen.

Drücken von „Abbrechen“: Rückkehr zu Schritt 1

Schritt 4: Versuch durchführen

Der Versuch wird jetzt durchgeführt, d. h. es wird die Geschwindigkeit so hochgefahren, dass die vom Anwender eingegebenen Versuchparameter eingehalten werden.

Zu Beginn des Fahrvorgangs wird der Boost für die kurzzeitige Erhöhung der Lichtleistung des HMI-Lichts aktiviert.

WICHTIG!!

Nur bei einem **Fahrzeugversuch mit freiem Stopppunkt** wird ein automatischer Stopp ausgeführt. Bei **allen anderen Versuchen** muss die Anlage **manuell** durch Drücken von „Weiter“ oder „Abbrechen“ gestoppt werden.

Verlassen von Schritt 4

Drücken von „Weiter“: Es erfolgt ein Stoppen der Anlage und der Wechsel nach Schritt 5 (bei einem **Fahrzeugversuch mit freiem Stopppunkt** wird „Weiter“ quasi automatisch durch das Programm betätigt, d. h. das Stoppen und der Wechsel nach Schritt 5 geschehen automatisch)

Drücken von „Abbrechen“: Hat hier die gleiche Funktion wie „Weiter“!

Schritt 5: Daten speichern

Die vom Anwender eingegebenen Daten für den Versuch und die während der Versuchsdurchführung angefallenen Daten (Geschwindigkeit, Drücke, Schalterzustände) werden in einer Pdf-Datei und in drei Textdateien gespeichert.

Verlassen von Schritt 5

Drücken von „Weiter“: Es erfolgt ein Wechsel zum Programmanfang d. h .zu Schritt 1.

Drücken von „Abbrechen“: Hat hier die gleiche Funktion wie „Weiter“!

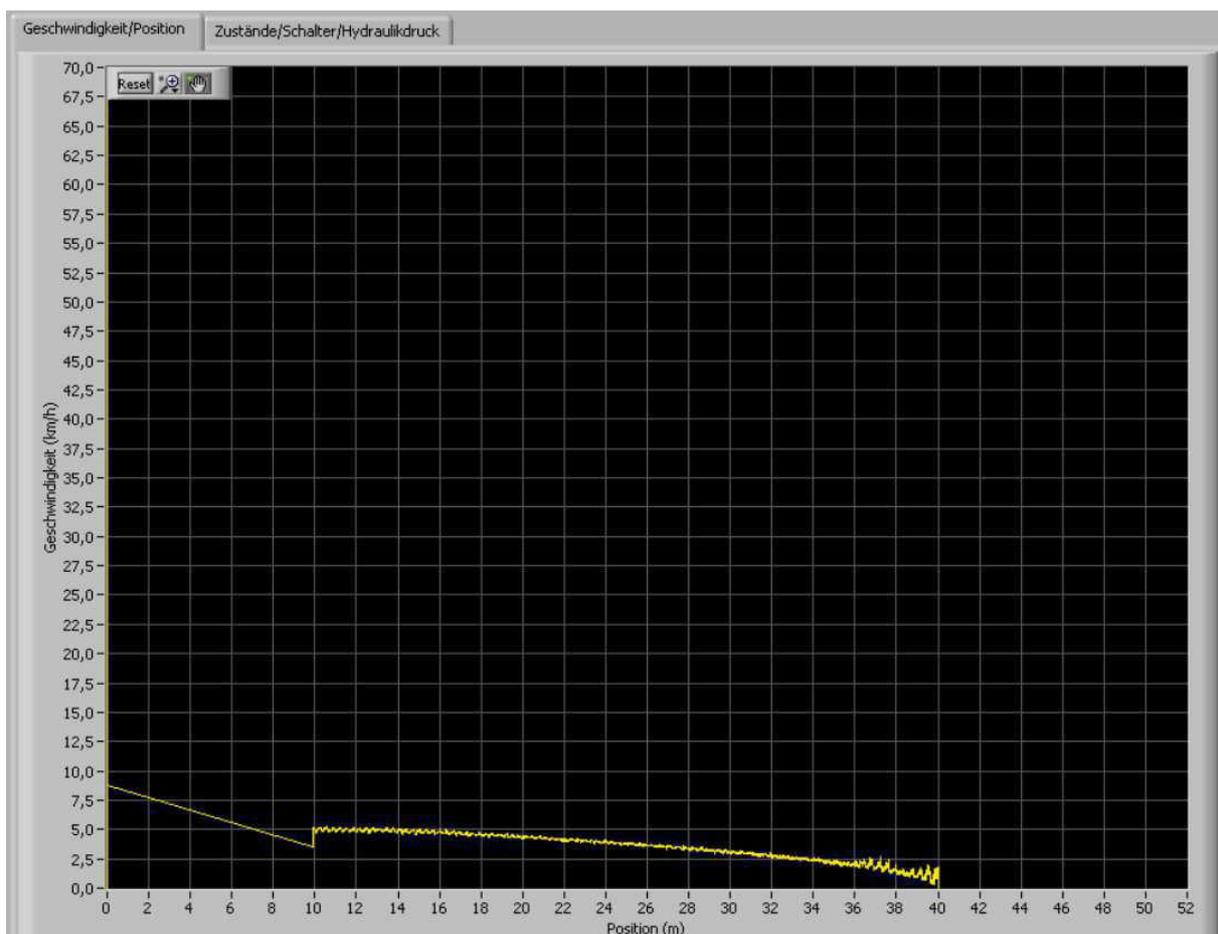
Anmerkung zu Laser

Falls der Laser einen Fehler erkennt (üblich ist eine Intensitätsunterschreitung wegen verschmutztem Reflektor oder Linse), so sendet dieser einen Positionswert von 0 Meter.

Dies hat zur Folge, dass sich die Position von der tatsächlichen Seilwagenposition (vor Fehler) auf 0 Meter (nach bzw. während Fehler anliegt) sprunghaft ändert.

Da die Geschwindigkeit aus der Positionsänderung und der verstrichenen Zeit berechnet wird ergibt sich bei Auftreten eines Fehlers somit ein Sprung auf Position 0 Meter zusätzlich mit einem sehr hohen Geschwindigkeitswert. Gleich im Anschluss daran fällt die Geschwindigkeit aber auf 0 km/h ab, da für die Position solange der Fehler andauert weiterhin 0 Meter ausgegeben wird.

Abbildung eines Versuchs bei dem an der Position 10 Meter ein Laser-Fehler auftrat:



Anhang 3

Datenblätter

Laser-Entfernungs-Messgerät LE-200 CANopen

Eglisshalde 6
D-78647 Trossingen
Tel. +49 - (0) 74 25 / 228 - 0
Fax +49 - (0) 74 25 / 228 - 33
<http://www.tr-electronic.de>
Germany



- **Robuste Bauform**
- **Erfassung von linearen Bewegungsabläufen**
- **Berührungslose und verschleißfreie Distanzmessung**
- **Distanzmessungen bis 125 m, 170 m, 195 m**
- **CANopen-Schnittstelle**
- **Parametrierbar über den CAN-Bus**

Elektrische Kenndaten

Messprinzip	Phasenlaufzeitmessung
Reichweite (Messung auf Reflektorfolie)	0,2 – 125 m Standard, 170 m, 195 m (Sondergeräte)
Auflösung	wählbar, physikalische Auflösung 0,7 mm
Linearisierung	
bis auf 12 m (Standard)	absoluter Linearitätsfehler ±3 mm
gesamte Messlänge	absoluter Linearitätsfehler ±5 mm
Betriebsspannung	18-27 V DC ± 5 %, 24 V DC ± 5% bei Geräten mit Heizung
Leistungsaufnahme (ohne Last)	< 6 Watt, < 60 Watt bei Geräten mit Heizung
Lichtsender	Laserdiode (Rotlicht) / Laserschutzklasse 2 nach DIN EN 60 825-1: 2001-11
Wellenlänge λ	670 nm
maximale Laserleistung	$P \leq 1$ mW
Lebensdauer (25°C)	50 000 h
Messwertausgabe / Refreshzyklus	1000 Werte / s
Integrationszeit	1 ms
Reproduzierbarkeit	± 2 mm
Programmierung über RS485	PC IBM kompatibel (TRWinProg) / CANopen
CANopen Schnittstelle	CAN-Bus-Interface nach ISO/DIS 11898
Datenprotokoll	CAN 2.0 A, CANopen Device Profil für Encoder CiA DS-406 V2.0
Ausgabecode	Binär
Baudrate (einstellbar)	- 20 kBaud, Leitungslänge bis 2500 m - 125 kBaud, Leitungslänge bis 500 m - 500 kBaud, Leitungslänge bis 100 m - 1 MBaud, Leitungslänge bis 25 m
Besondere Merkmale	Konfigurierung nachfolgender Parameter über den CAN-Bus: - Presetwert, - Preset löschen, - Ausgabewert im Fehlerfall, - Funktion ext. Eingang, - Automatische Fehlerquittierung, - Funktion Fehlerausgang, - Schaltfunktionen, - Betriebsparameter, - Positionswert, - Mess-Schritt, - Zyklisches Senden der Positionswerte
Schalteingang / Schaltausgang	
Schaltpegel Schalteingang	1-Pegel > +8V, 0-Pegel < +2V, bis zu ±35V, 5 kOhm
Schaltpegel Schaltausgang	1-Pegel > US-2V, 0-Pegel < 1 V, bis zu 100mA

Umgebungsbedingungen

EMV	EN 61000-4-2 (IEC-801-2) / EN 61000-4-4 (IEC-801-4)
Betriebstemperaturbereich	0-50°C, -30 bis +50°C bei Geräten mit Heizung
Temperaturdrift	1 ppm / °C, bezogen auf die max. Messlänge von 125m, 170m oder 195m
Lagertemperaturbereich	-20 bis +75°C
Relative Luftfeuchte	98 % (keine Betauung)
* Schutzart	IP 65 (DIN 40 050)
* Die Schutzart gilt für das Laser-Entfernungs-Messgerät mit fest verschraubter Kabelverschraubung	

Technische Daten / Technical data

Type	>pDRIVE< MX plus	
Antriebe mit hoher Dauerlast "P"		
Motorleistung typ.	rated motor power typ.	
Dauerausgangsleistung	continuous output power	
Dauerausgangsstrom	continuous output current	400V 440V 500V
Maximalstrom	maximum current	400V
Maximalmoment	maximum torque	
Antriebe mit hoher Überlast "C"		
Motorleistung	rated motor power	
Nennausgangsleistung	nominal output power	
Nennausgangsstrom	nominal output current	400V 440V 460V 500V
Maximalstrom	maximum current	400V
Maximalmoment	maximum torque	
Allgemeine Daten		
Eingangsspannung	mains supply voltage	
Ausgangsspannung	output voltage	
Ausgangsfrequenz	output frequency	
Eckfrequenz	base frequency	
Wirkungsgrad (ca.)	efficiency (appr.)	
Kühlluftmenge	airflow	
Verluste (bei I _{N+C})	losses (at I _{N+C})	
Ausführung	design	
Betriebstemperatur	operating temperature	
Temperaturerhöhung	temperature increase	
Verschmutzungsgrad	pollution degree	
Schutzart, Kühlung	protection degree, cooling	
Masse (ca.)	weight (appr.)	
Lagertemperatur	storage temperature	
Luftfeuchtigkeit	humidity	
Aufstellhöhe	height	
Ext. Netzsicherungen	ext. mains fuses	400...440V 460...500V
Motorkabel (Cu)	motor cable (Cu)	400...440V 460...500V
Optionen		
RFI-Filter für TT/TN	RFI-filters for TT/TN	400V 440...500V
RFI-Filter für IT	RFI-filters for IT	400...500V
Netzdrössel	line choke	
Ausgangsmotorfilter	output motor filter	
Optionskarten	option boards	
Busoptionen	bus options	

>pDRIVE< MX plus (Baugröße 4 / size 4)

160/200	200/250	250/315	315/380
Drives with high continuous load "P"			
200 kW	250 kW	315 kW	380 kW
270 kVA	336 kVA	395 kVA	470 kVA
390 A	485 A	570 A	700 A
362 A	440 A	517 A	636 A
312 A	388 A	456 A	560 A
488 A	606 A	713 A	875 A
120...140% M _N (>60s/10min) / 120...140% T _N (>60s/10min)			
Drives with high overload "C"			
160 kW	200 kW	250 kW	315 kW
225 kVA	280 kVA	329 kVA	395 kVA
325 A	404 A	475 A	583 A
302 A	367 A	431 A	530 A
302 A	361 A	414 A	477 A
260 A	323 A	380 A	468 A
488 A	606 A	713 A	875 A
150...170% M _N (>60s/10min) / 150...170% T _N (>60s/10min)			
General data			
3 AC 400 V ± 15 %, 50/60 Hz ± 5 %			
3 AC 440 V ± 15 %, 50/60 Hz ± 5 %			
3 AC 460 V ± 15 %, 50/60 Hz ± 5 %			
3 AC 500 V + 10 %, -15 %, 50 Hz ± 5 %			
3 AC 0...100 % U _{Netz} parametrierbar / U _{Mains} adjustable			
0...300 Hz, einstellbar / adjustable			
25...300 Hz, einstellbar / adjustable			
> 97,7 %			
1200 m ³ /h		1600 m ³ /h	
4000 W	5000 W	6200 W	7500 W
Einbaugerät / built-in unit			
0...45°C		0...40°C	
0...45°C		0...40°C	
+10°C bei 20% Leistungsreduktion / at 20% power reduction			
2 nach / acc. to EN 50178			
IP00, forced			
190 kg			200 kg
-25°C...+65°C			
class 3K3, keine Betauung / non condensing			
≤1000 m (darüber/above: reduction 1% / 100m; max. 2000m)			
500 A sf	630 A sf	800 A sf	1000 A sf
400 A sf	500 A sf	630 A sf	800 A sf
2x(3x120mm ²)	2x(3x150mm ²)	2x(3x185mm ²)	3x(3x185mm ²)
2x(3x120 mm ²)	2x(3x120mm ²)	2x(3x150 mm ²)	2x(3x185 mm ²)
Options			
CE-0 400/570-TN (für/for max. 700 A)			
CE-0 500/570-IT (für/for max. 700 A)			
CE-0 500/570-IT (für/for max. 700 A)			
NDU 365	NDU 455	NDU 540	NDU 650
AMF 450/580-3			AMF 450/1100-3
IO1 Klemmenerweiterung einbaubar/terminal extension can be built-in			
PBO1 Profibusoption einbaubar / can be built-in			
GW-IBO1 Interbusoption extern / external Gateway			
GW-CBO1 CANopen-Busoption extern / external Gateway			
GW-DBO1 DeviceNet-Busoption extern / external Gateway			

Spezifikation der Steuerklemmen

Grundkarte (UI1) – Klemmenreihe X1

+10 AIV	Kl. X1: 1 Kl. X1: 2	Referenzspannung Analogeingang AIV	+10 V, +2 % -0 %, bei 0...10 mA; kurzschlußfest 0...10 V, Impedanz ca. 100 k Ω , Genauigkeit $\pm 0,6$ %, Linearitätsfehler < -0,15 % mit 1 k Ω Sollwertpotentiometer, Auflösung 10 bit (~ 10 mV), Grenzwerte und Verwendung parametrierbar, Abfragezeit 5 ms
AIC	Kl. X1: 3	Analogeingang AIC	0(4)...20 mA, Bürde 250 Ω , Genauigkeit $\pm 0,9$ %, Auflösung 10 bit (~ 20 μ A), Stabilität $\pm 0,2$ % bei 10 K Temperaturänderung, 3 mA LiveZero Überwachung, Grenzwerte und Verwendung parametrierbar, Abfragezeit 5 ms
0 V	Kl. X1: 4	Masse	Elektronikmasse 1.)
AO1	Kl. X1: 5	Analogausgang AO1	0(4)...20 mA, externe Bürde max. 600 Ω , Auflösung 10 bit, Genauigkeit f, I, U: $\pm 1,5$ %; M, S; P: ± 5 %
0 V	Kl. X1: 6	Masse	Elektronikmasse 1.)
TH+ TH-	Kl. X1: 7 Kl. X1: 8	Thermistoreingang + Thermistoreingang -	für max. 6 Kaltleiter in Serie, Verdrahtung unbedingt geschirmt und getrennt vom Motorkabel verlegt ausführen !! Thermistorenwert < 1,5 k Ω , Ansprechwert 3 k Ω , Rückfallwert 1,8 k Ω , Kurzschlußüberwachung auf < 50 Ω , Meßstrom ca. 1 mA, Meßspannung > 12 V
0 V	Kl. X1: 9	Masse	Elektronikmasse 1.)
DIS	Kl. X1: 10	Summen-Rückleiter	gemeinsam für alle Digitaleingänge der Grundkarte, floatend bis max. 35 V gegen Erde und gegen 0 V
DI1	Kl. X1: 11	Digitaleingang DI1	Optokoppler-Eingang für 24 V, Mindestpulslänge 10 ms, bipolar, daher für positive und negative Logik (High > 15 V, Low < 4 V), ca. 8 mA bei 24 V, Verwendung parametrierbar
DI2	Kl. X1: 12	Digitaleingang DI2	Spezifikation wie Kl. X1: 11
DI3	Kl. X1: 13	Digitaleingang DI3	Spezifikation wie Kl. X1: 11
DI4	Kl. X1: 14	Digitaleingang DI4	Spezifikation wie Kl. X1: 11
+24	Kl. X1: 15	Abfragespannung / Digitalausgang	+24 V Spannungsquelle, max. 150 mA (kurzschlußfest), parametrierbar als konstante Digitalausgang-Abfragespannung oder als Digitalausgang mit wählbarer Information, Toleranz: +25 %, -15 %
P24 POV	Kl. X1: 16 Kl. X1: 17	Einspeisung Puffer- spannung	externe 24 V Versorgung für Elektronik bei Netz-AUS, Toleranz +25 %, -10 % inkl. Restwelligkeit (UI und IO1), Strombedarf ca. 0,5 A (ohne BUS), über eine Diode von den internen 24 V entkoppelt
RL1	Kl. X1: 18	Relaisausgang 1	Schaltspannung max. 250 V AC, 30 V DC Schaltleistung max. 1250 VA, 150 W Dauerstrom max. 3 A min. Schaltleistung (Relais neuwertig) 24 V DC, 3 mA
NC1	Kl. X1: 19	Öffnerkontakt	Abfragespannung muß Überspannungskategorie II entsprechen, damit für die restlichen Steuerklemmen die PELV-Bedingungen nicht verletzt werden
NO1	Kl. X1: 20	Schließerkontakt	

1.) Elektronikmasse darf max. 35 V gegenüber PE floaten.

>pDRIVE< EM Motor

Datenblatt / data sheet

>pDRIVE<

Schneider Electric Power Drives

Type: >pDRIVE< EC2-35L 04B

Code: EC2 35L 04B3A WCAA 000NA 52BCA

**Drehstrom-Asynchron-Motor mit Kurzschlussläufer
Graugussgehäuse (geschlossen, oberflächengekühlt)
Ausführung in Bauform IM 1001 (B3) /
3-phase asynchronous squirrel-cage motor
cast iron frame (closed with surface cooling)
mounting arrangement IM 1001 (B3)**

Baugröße / frame size:	355L
Bemessungsleistung / rated output power:	315 kW
Bemessungsspannung / rated voltage:	3AC 380 ... 420 V / 655 ... 725 V ± 5 %
Bemessungsstrom / rated current:	524 / 303 A
Schaltung / connection:	Dreieck / Stern / delta / star
Bemessungsfrequenz / rated frequency:	50 Hz ± 2 %
Bemessungsdrehzahl / rated speed:	1490 min ⁻¹
Mech. Grenzdrehzahl / max. mech. speed:	3600 min ⁻¹
Leistungsfaktor / power factor (cos ϕ):	0,91
Wirkungsgrad / efficiency:	95,8 %
Anzugsstrom / starting current :	5,3 x I _N
Bemessungsmoment / rated torque:	2019 Nm
Anzugsmoment / breakaway torque:	2,1 x M _N / T _N
Kippmoment / pull-out torque:	2,5 x M _N / T _N
Trägheitsmoment / moment of inertia:	6,66 kgm ²
Schalldruckpegel / sound pressure level:	86 dB(A) + max. 3 dB(A) Toleranz / tolerance
Masse / weight:	1950 kg
Schwingstärkestufe / vibration category:	A, mit halber Passfeder gewuchtet / A, balanced with half key
Schutzart / protection degree:	IP55
Kühlart / cooling type:	IC411, eigenbelüftet / self ventilated
Drehrichtung / direction of rotation:	beide / both
Temperaturbereich / temperature range:	-20 ... 40 °C bis / up to 60 °C mit Abminderung / with derating
Max. Aufstellungshöhe / maximum altitude:	0...1000 m bis / up to 4000 m mit Abminderung / with derating
Isolationsklasse / insulation class:	F / B
Klimagruppe / climate group:	K0
Klemmenkasten / terminal box	Metall, Lage oben / metal, position on top
Kabelausleitung / cable outlet:	wählbar, Klemmenkasten um 4 x 90° drehbar / selectable, terminal box can be rotated through 4 x 90°
Farbe / color:	RAL 5012 (Lichtblau / light blue)
Motorschutz / motor protection:	6 PTC
Lagerausführung AS / bearing design DE:	Zylinderrollenlager mit Nachschmiereinrichtung roller bearing with lubricator
Lagerausführung BS / bearing design NDE:	isoliertes Rillenkugellager mit Nachschmiereinrichtung insulated ball bearing with lubricator

Analog Input Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint

NI [c]FP-AI-100, NI [c]FP-AI-102, NI [c]FP-AI-110, NI [c]FP-AI-111

- 8 or 16 voltage or current inputs
 - ± 120 V input range, maximum
 - 0 to 20, 4 to 20 mA input ranges
- Built-in signal conditioning
 - 50, 60, and 500 Hz noise rejection
- 12 and 16-bit resolution
- Software-configurable input ranges per channel
- 2,300 V_{rms} bank isolation for transient overvoltage protection
- Hot-swappable with autoconfiguration
- -40 to 70 °C operating range



Module	Input Channels	Resolution	Input Type	Input Ranges	50/60 Hz Noise Filter	All-Channel Update Rate
				(Software Configurable per Channel)		
[c]FP-AI-100	8	12 bits	Voltage Current	± 1 V, ± 5 V, ± 15 V, ± 30 V, 0 to 1 V, 0 to 5 V, 0 to 15 V, 0 to 30 V 0 to 20 mA, 4 to 20 mA, ± 20 mA	–	360 Hz
[c]FP-AI-102	8	12 bits	Voltage	± 20 V, ± 60 V, ± 120 V, 0 to 20 V, 0 to 60 V, 0 to 120 V	–	360 Hz
[c]FP-AI-110	8	16 bits	Voltage Current	± 60 mV, ± 300 mV, ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V, 0 to 1 V, 0 to 5 V, 0 to 10 V 0 to 20 mA, 4 to 20 mA, ± 20 mA	✓ (software selectable)	5 Hz to 0.66 Hz (rate varies with filter settings)
[c]FP-AI-111	16	16 bits	Current	0 to 20 mA, 4 to 20 mA, ± 20 mA	✓ (software selectable)	3 Hz to 0.83 Hz (rate varies with filter settings)

Overview

The National Instruments [c]FP-AI-1xx devices are versatile analog input modules for Compact FieldPoint and FieldPoint that can be used to measure voltages ranging from the millivolt level to the 120 V high-voltage level in applications such as battery-pack monitoring, fuel-cell testing, and general measurement from transducers. These modules can also measure 0 to 20 or 4 to 20 mA current loops from industrial sensors and transmitters. All the modules include overranging and onboard diagnostics to ensure trouble-free installation and maintenance. The modules measure and linearize signals on-board to return scaled values to your control or monitoring software. The [c]FP-AI-1xx modules come with NIST-traceable calibration certificates, ensuring accurate and reliable analog measurements.

Specifications

Typical for -40 to 70 °C unless otherwise noted.

Input Characteristics

Number of inputs

[c]FP-AI-100, [c]FP-AI-102, [c]FP-AI-110	8 single-ended
[c]FP-AI-111	16 single-ended

ADC resolution

[c]FP-AI-110, [c]FP-AI-111	16 bits, 1 in 65,536
[c]FP-AI-100, [c]FP-AI-102	12 bits, 1 in 4,096

Filters

[c]FP-AI-110, [c]FP-AI-111	50, 60, or 500 Hz, software configurable per channel
[c]FP-AI-100, [c]FP-AI-102	170 Hz, first-order analog filter
NMR ([c]FP-AI-110 and [c]FP-AI-111 only)	95 dB (at 50/60 Hz, with filter enabled)

Input impedance, voltage inputs

[c]FP-AI-100	1.5 M Ω
[c]FP-AI-102	1 M Ω
[c]FP-AI-110	100 M Ω

Input impedance, current inputs

	100 Ω
--	--------------

Overvoltage protection (voltage inputs only)

[c]FP-AI-100, [c]FP-AI-102	250 V
[c]FP-AI-110	40 V

Overcurrent protection (current inputs only)

	30 mA
--	-------

Analog Input Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint

Specifications (continued)

Module	Input Range	Input Range		Effective Resolution	Offset Error		Gain Error	
		Nominal	With Overranging		Typical 15 to 35 °C	Maximum -40 to 70 °C	Typical 15 to 35 °C	Maximum -40 to 70 °C
[c]FP-AI-100	Voltage	0 to 1 V	0 to 1.2 V	1.5 mV	1.5 mV	15 mV	0.09%	0.50%
		0 to 5 V	0 to 6 V	5 mV	6 mV	27 mV	0.09%	0.50%
		0 to 15 V	0 to 18 V	15 mV	15 mV	45 mV	0.12%	0.55%
		0 to 30 V	0 to 36 V	25 mV	30 mV	70 mV	0.22%	0.55%
		±1 V	±1.2 V	1.5 mV	2 mV	20 mV	0.08%	0.50%
		±5 V	±6 V	5 mV	10 mV	40 mV	0.08%	0.55%
		±15 V	±18 V	25 mV	30 mV	90 mV	0.11%	0.60%
		±30 V	±36 V	40 mV	60 mV	160 mV	0.20%	0.55%
	Current	0 to 20 mA	0 to 24 mA	15 µA	20 µA	45 µA	0.09%	0.51%
		4 to 20 mA	3.5 to 24 mA	15 µA	20 µA	45 µA	0.09%	0.51%
±20 mA		±24 mA	20 µA	40 µA	110 µA	0.06%	0.55%	
[c]FP-AI-102	Voltage	0 to 20 V	—	15 mV	20 mV	100 mV	0.1%	0.3%
		0 to 60 V	—	40 mV	50 mV	150 mV	0.1%	0.3%
		0 to 120 V	—	70 mV	100 mV	250 mV	0.1%	0.3%
		±20 V	—	25 mV	40 mV	175 mV	0.1%	0.3%
		±60 V	—	70 mV	120 mV	350 mV	0.1%	0.3%
		±120 V	—	125 mV	220 mV	700 mV	0.1%	0.3%
[c]FP-AI-110	Voltage	0 to 1 V	0 to 1.04 V	25 µV	50 µV	650 µV	0.03%	0.1%
		0 to 5 V	0 to 5.2 V	90 µV	180 µV	1500 µV	0.03%	0.1%
		0 to 10 V	0 to 10.4 V	190 µV	300 µV	2500 µV	0.03%	0.1%
		±60 mV	±65 mV	3 µV	30 µV	500 µV	0.03%	0.1%
		±300 mV	±325 mV	16 µV	40 µV	600 µV	0.03%	0.1%
		±1 V	±1.04 V	40 µV	75 µV	850 µV	0.03%	0.1%
		±5 V	±5.2 V	190 µV	300 µV	2500 µV	0.03%	0.1%
		±10 V	±10.4 V	380 µV	650 µV	4000 µV	0.03%	0.1%
	Current	0 to 20 mA	0 to 21 mA	500 nA	1 µA	10 µA	0.04%	0.2%
		4 to 20 mA	3.5 to 21 mA	500 nA	1 µA	10 µA	0.04%	0.2%
±20 mA		±21 mA	700 nA	1 µA	10 µA	0.04%	0.2%	

Isolation Voltage

Maximum isolation voltage	250 V _{meas} , Installation Category II
Channel-to-channel isolation	No isolation between channels
Transient overvoltage	2,300 V _{meas}

Physical Characteristics

LED Indicators

POWER (green)	Power on and self-test passed
READY (green)	Module configured and ready

Dimensions (including terminal base) 10.9 by 10.9 by 0.1 cm (4.3 by 4.3 by 3.6 in.)

Weight

[c]FP-AI-110, [c]FP-AI-111	136 g (4.8 oz)
[c]FP-AI-100, [c]FP-AI-102	145 g (5.1 oz)

Power Requirement

Power from network module

[c]FP-AI-110, [c]FP-AI-111	350 mW
[c]FP-AI-100, [c]FP-AI-102	400 mW

Environment

Operating temperature	-40 to 70 °C
Storage temperature	-55 to 85 °C
Relative Humidity	10 to 90%, noncondensing

Shock and Vibration

These specifications apply only to Compact FieldPoint. NI recommends Compact FieldPoint if your application is subject to shock and vibration.

Operating vibration, random

(IEC 60068-2-64) 10 to 500 Hz, 5 g_{rms}

Operating vibration, sinusoidal

(IEC 60068-2-6) 10 to 500 Hz, 5 g

Operating shock

(IEC 60068-2-27) 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations;
30 g, 11 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 3121-1, UL 61010C-1
- CAN/CSA C22.2 No. 1010.1

For UL, hazardous location, and other safety certifications, refer to the product label or to ni.com

Electromagnetic Compatibility

CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant

Emissions	EN 55011 Class A at 10 m FCC Part 15A above 1 GHz
Immunity	EN 61326:1997 + A2:2001, Table 1

For EMC compliance, operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE Marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety) 73/23/EEC

Electromagnetic Compatibility

Directive (EMC) 89/336/EEC

Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/hardrefnsl/ and search by model number or product line.

Module	Filter Settings	Update Rate (All Channels)	Input Bandwidth (-3 dB)
[c]FP-AI-100, [c]FP-AI-102	—	2.8 ms	170 Hz
[c]FP-AI-110	50 Hz	1.470 s	13 Hz
	60 Hz	1.230 s	16 Hz
	500 Hz	0.173 s	130 Hz
[c]FP-AI-111	50 Hz	1.230 s	13 Hz
	60 Hz	1.050 s	16 Hz
	500 Hz	0.290 s	130 Hz

High-Speed Counter Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint

NI [c]FP-CTR-500, NI [c]FP-CTR-502

- 8 inputs
 - 5 to 30 VDC inputs
 - 16-bit counter registers
 - 50 kHz, maximum
- Gate inputs and digital outputs
- Cascadable counters for higher counts
- 2,300 V_{rms} bank isolation for transient overvoltage protection
- Hot swappable with autoconfiguration
- -40 to 70 °C operating range



Module	Counter Inputs	Input Ranges	Inputs Type	Counter Resolution	Gate Inputs	Configurable Outputs	Internal Reference Clock for Frequency Measurements	Maximum Input Frequency
[c]FP-CTR-500	8	10 to 30 VDC	Sourcing	16 bit, cascadable to 128 bit	4	4	1 kHz and 32 kHz	50 kHz
[c]FP-CTR-502	8	5 to 30 VDC	Sinking	16 bit, cascadable to 128 bit	4	4	1 kHz and 32 kHz	50 kHz

Specifications

Typical for -40 to 70 °C unless otherwise noted.

Input Characteristics

Input channels	12 (8 count, 4 gate)
Input type	
[c]FP-CTR-500	10-30 VDC, sinking
[c]FP-CTR-502	5-30 VDC, sourcing
Maximum input voltage	30 VDC
Input threshold level	
[c]FP-CTR-500	8 V typ 6 V min 10 V max
[c]FP-CTR-502	V _{SUP} - 2.5 V typ V _{SUP} - 3.0 V min V _{SUP} - 2.0 V max (V _{SUP} is the external supply voltage)
Input current limiting	
[c]FP-CTR-500	5 mA
[c]FP-CTR-502	6 mA
Input bandwidth	
Count inputs	50 kHz or software-enabled 200 kHz lowpass filter
Gate inputs	50 kHz
Maximum off-state leakage current for external devices	
[c]FP-CTR-500	0.2 mA
[c]FP-CTR-502	0.3 mA

Output Characteristics

Output channels	4
Output type	
[c]FP-CTR-500	10-30 VDC sourcing, compatible with most 12 and 24 VDC devices
[c]FP-CTR-502	5-30 VDC sinking, compatible with TTL and other 5, 12, and 24 VDC devices
Supply voltage	
[c]FP-CTR-500	10-30 VDC, user-provided
[c]FP-CTR-502	5-30 VDC, user-provided
Maximum output current	
FP-CTR-500/502	1 A per channel
[c]FP-CTR-500/502	1 A per channel at -40 to 50 °C; 0.75 A per channel at 50 to 60 °C
Maximum output current on all channels	4 A
Output impedance	
[c]FP-CTR-500	0.3 Ω
[c]FP-CTR-502	0.12 Ω
Output bandwidth	16 kHz for a current flow ≥3.2 mA
Maximum off-state leakage current	25 μA

Power Requirement

Power from network module	800 mW
---------------------------	--------

Isolation Voltage

Maximum isolation voltage	250 V _{rms} , Installation Category II
Channel-to-channel isolation	No isolation between channels
Transient overvoltage	2,300 V _{rms}

Environment

Operating temperature	
FP-CTR-500/502	-40 to 70 °C
[c]FP-CTR-500/502	-40 to 60 °C
Storage temperature	-55 to 85 °C
Relative humidity	10 to 90%, noncondensing

Shock and Vibration

These specifications apply only to Compact FieldPoint. NI recommends Compact FieldPoint if your application is subject to shock and vibration.

Operating vibration, random (IEC 60068-2-64)	10 to 500 Hz, 5 g _{rms}
Operating vibration, sinusoidal (IEC 60068-2-6)	10 to 500 Hz, 5 g
Operating shock (IEC 60068-2-27)	50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations; 30 g, 11 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 3121-1, UL 61010C-1
- CAN/CSA C22.2 No. 1010.1

For UL, hazardous location, and other safety certifications, refer to the product label or to ni.com

Electromagnetic Compatibility

CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant

Emissions	EN 55011 Class A at 10 m FCC Part 15A above 1 GHz
Immunity	EN 61326:1997 + A2:2001, Table 1

For EMC compliance, operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE Marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety)	73/23/EEC
--------------------------------	-----------

Electromagnetic Compatibility

Directive (EMC)	89/336/EEC
-----------------	------------

Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/hantrol.nsl/ and search by model number or product line.

FP-DIO-550

Specifications

These specifications are typical for –40 to 50 °C unless otherwise noted. Specifications are subject to change without notice.

Input Characteristics

Number of channels	8
Input type	Sinking, sourcing, or differential
Maximum input voltage	30 VDC
Digital logic levels	
OFF state	≤5 VDC
ON state	11–30 VDC
Input current	7 mA max
Input delay time	100 μs max
Maximum reverse voltage	30 VDC

Output Characteristics

Number of channels	8
Output type	Sourcing
Supply voltage range (V_{ext})	10–30 V
Output voltage	$V_{ext} - (I_0 R_0)$
Output impedance (R_0)	200 mΩ max
Continuous output current (I_0)	250 mA max
Output protection	Short circuit

Physical Characteristics

Indicators	Green POWER and READY indicators, 16 green ON/OFF indicators
Weight	
FP-DIO-550	141 g (5.0 oz)
cFP-DIO-550	111 g (4.0 oz)

Power Requirements

Power from network module	600 mW
---------------------------	--------

Isolation Voltage

Channel-to-ground isolation	
Continuous	250 V _{rms} , Measurement Category II
Dielectric withstand	2,300 V _{rms} , 5 s
Channel-to-channel isolation	None

Environmental

FieldPoint modules are intended for indoor use only. For outdoor use, they must be mounted inside a sealed enclosure.

Operating temperature	
Input voltage ≤25 V	–40 to 70 °C
Input voltage ≤30 V	–40 to 50 °C
Storage temperature	–45 to 85 °C
Humidity	10 to 90% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m; at higher altitudes the isolation voltage ratings must be lowered
Pollution Degree	2

Shock and Vibration

These specifications apply only to the cFP-DIO-550. NI recommends Compact FieldPoint if your application is subject to shock and vibration.

Operating vibration, random (IEC 60068-2-64)	10–500 Hz, 5 g _{rms}
Operating vibration, sinusoidal (IEC 60068-2-6)	10–500 Hz, 5 g
Operating shock (IEC 60068-2-27)	50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations; 30 g, 11 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations