

Diplomarbeit

Aufbau und Inbetriebnahme eines tribologischen Prüfstandes für Stückgüter

von

Georg SCHIERZ

Technische Universität Graz

Fakultät Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Technische Logistik

Beurteiler: Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Hafner

Graz, Juni 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 entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Hafner für seine hervorragende Unterstützung bedanken. Dieser investierte in die Betreuung meiner Diplomarbeit sehr viel Zeit und stand mir mit Hilfsbereitschaft sowie Geduld zur Seite.

Des Weiteren möchte ich mich bei dem gesamten Team des Instituts für Technische Logistik für die Hilfe und Tipps bedanken. Im Speziellen zu nennen ist hier der Werkstättenleiter Stefan Kratochwill, welcher die spanenden Bearbeitungen übernahm und die Teile schnell sowie präzise fertigte. Nicht zu vergessen ist auch das Mitwirken von Stefan Kürgerl und Dipl.-Ing. Florian Lottersberger, welche mir bei diversen Problemen weiterhalfen.

Ein besonderer Dank gebührt meinen Eltern, meinem Bruder und meiner restlichen Familie, welche mir in der gesamten Studienlaufbahn und natürlich auch schon davor finanziell, sowie mit Rat und Tat zur Seite standen. Meine Eltern ermöglichten meine schulische Ausbildung und erst damit ein Hochschulstudium. Ich möchte mich auch bei meiner Freundin Eva für ihre Unterstützung bedanken.

Spezieller Dank gebührt auch meinen Freunden. Mit Rene Reitbauer bestritt ich von Anfang an die Höhen und Tiefen des Studiums und der Studienzeit. Mit Benjamin Gartlacher hatte ich des Weiteren einen sehr kompetenten Mitstreiter im Laborprojekt und im Projekt Konstruktiv „Reibungsprüfstand“. Dieses Projekt weckte mein Interesse und ich sah in Herrn Professor Hafner einen sehr kompetenten Betreuer. Daher wählte ich die Weiterführung dieses Themas am Institut für Technisches Logistik der Technischen Universität Graz für diese abschließende Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades „Diplomingenieur Maschinenbau“.

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Aufbau und der Inbetriebnahme eines Reibungsprüfstandes. Mit diesem können die Haft- sowie die Gleitreibungskoeffizienten einer handelsüblichen Transportkiste beim Ziehen über eine beliebige Unterlage ermittelt werden. Die Prüfkiste sowie die Unterlage sind austauschbar. Ebenfalls variabel sind die Beladung der Kiste, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und der Weg.

Das Ziehen der Kiste wird über einen Servomotor realisiert. Für diesen Motor musste eine eigene Bewegungsroutine entworfen werden, welche Reibungsmessungen ermöglicht. Die Einstellung der Bewegungsparameter sowie die Bedienung des Prüfstandes erfolgt benutzerfreundlich über das Terminalprogramm „Servo Terminal“ der Firma Hauser.

Des Weiteren wurde ein Mess- und Auswerteprogramm mittels National Instruments LabVIEW entwickelt. Bei der Entwicklung dieses Programms wurde großer Wert auf Benutzerfreundlichkeit und Erweiterbarkeit gelegt. In Hinblick auf die Auswertung steht dem Benutzer eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung. Das Programm ermöglicht das Aufzeichnen der Signale von zwei Kraftsensoren, der Motorgeschwindigkeit und des Motormomentes. Die Aufzeichnung erfolgt auf Wunsch auch getriggert um nur den relevanten Messhub zu erfassen.

Um die richtige Funktionsweise aller Komponenten zu überprüfen wurden diverse Verifikations- sowie Testmessungen mit einer Transportkiste am aufgebauten und einsatzfähigen Prüfstand durchgeführt.

Abstract

This diploma thesis describes the set-up and implementation of a friction test bed. The test bed is engaged in the measurement of static and dynamic friction by pulling a commercially available carrier box over a base. The box and the base are exchangeable, like the load, the velocity, the acceleration and the path.

The hauling process is realised by a servomotor. To enable the measurement of friction with this motor a movement-routine was implemented. The setup of the movement-parameters as well as the handling is carried out by the terminalprogram “Servo Terminal” (company: Hauser).

Furthermore a measurement- and analysis program based on National Instruments LabVIEW was implemented. The developed program is user-friendly and modular, for further implementation. The program enables the recording of the data of two force sensors, the velocity and the torque. The user is able to set a trigger for the measurement of only relevant data.

To proof the correct function of all components some verification and test measurements were taken on the constructed and venturous test bed.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	1
1.1. Aufgabenstellung	1
1.2. Kurzbeschreibung des Ablaufes der Diplomarbeit.....	1
1.3. Lastenheft	2
1.3.1. Anforderungen an den Prüfstand	2
1.3.2. Anforderungen an die Prüfstandssteuerung	2
1.3.3. Anforderungen an die Messtechnik	3
1.4. Pflichtenheft	4
1.4.1. Prüfstandsanforderungen– Mechanischer Aufbau	4
1.4.2. Prüfstandssteuerung	5
1.4.3. Messsoftware	5
1.5. Prüfstandskomponenten	7
2. KONSTRUKTIVER AUFBAU DES PRÜFSTANDS.....	9
2.1. Prüfstandskonzept	9
2.1.1. Prüfkörper	9
2.1.2. Unterlage.....	9
2.1.3. Motor	9
2.1.4. Kraftsensor.....	10
2.2. Baugruppen.....	10
2.2.1. Rahmen	10
2.2.2. Schlitten	11
2.2.3. Kistenhalter	11
2.3. Unterbau.....	12
3. ANTRIEBSSYSTEM – GEREGLTE FAHRKURVEN	13
3.1. Komponenten	13
3.2. Terminalprogramm (Antriebssteuerungs-PC)	14
3.2.1. Kurzüberblick Servo Terminal.....	14
3.2.2. Befehle - Servosteuerung (detaillierte Beschreibung).....	15
3.2.3. Detailbeschreibung Terminalprogramm	17
3.2.4. Konfigurationsparameter der Messfahrten.....	20
3.3. COMPAX Echtzeitsteuerung.....	21
3.3.1. COMPAX Editor Kurzübersicht	21
3.3.2. Überblick -Messfahrt	22
3.3.3. Teilschritte der Messfahrten.....	23
3.4. Eingestellte Parameter (Motorregler, Messfahrt).....	33
3.4.1. Ersatz- und Vorgabewerte eines Bewegungsvorganges.....	33
3.4.2. Grenzwertvorgabe der Bewegungsparameter	33
3.4.3. Optimierungsparameter (Regler)	34
3.4.4. Bedienparameter - Messfahrt	35
3.4.5. Parameter für den D/A-Monitor.....	35
3.4.6. Konfigurationsparameter des Antriebssystem	37
3.4.7. Verifikation der Parameter.....	39

3.5.	Not-Stopp, Not-Halt.....	46
3.5.1.	Not-Halt	46
3.5.2.	Not-Stopp.....	47
3.6.	Einstell- und Bedienungsfehler (Fehlerbehandlung).....	48
3.6.1.	Fehlercodes	48
3.6.2.	Schnittstellenfehler	49
3.6.3.	Uploadfehler CPXEDITOR	50
3.6.4.	Eingabefehler Servo Terminal	50
3.6.5.	SPEED über P15=10 %	50
3.6.6.	ACCEL über 65.000 ms.....	50
4.	MESSTECHNIK ZUR REIBUNGSUNTERSUCHUNG.....	54
4.1.	Reibungsmessung.....	54
4.1.1.	Grundlagen.....	54
4.1.2.	Position der Last	56
4.1.3.	Kraftangriffspunkt.....	59
4.2.	Komponenten	61
4.3.	Messgrößen.....	62
4.3.1.	Kraftmessung	63
4.3.2.	Moment, Drehzahlmessung	65
4.4.	Mess-PC.....	66
4.4.1.	Measurement&Automation.....	66
4.4.2.	Anschlussblock	66
4.4.3.	Messkarte, Analog-Digital Wandlung.....	67
4.4.4.	LabVIEW (Mess- und Auswertesoftware).....	68
4.5.	Mess- und Auswerteprogramm	72
4.5.1.	Funktionsumfang	73
4.5.2.	Startmenü.....	74
4.5.3.	Eckdaten Messparameter	75
4.5.4.	Messung ausführen	76
4.5.5.	Messung auswerten	79
4.5.6.	Messserie	84
4.5.7.	Geführte Messung	84
4.5.8.	Messung Diagnose.....	84
4.5.9.	Daten einlesen.....	84
4.5.10.	KMD Kalibrierhilfe.....	85
4.5.11.	Filter einstellen.....	85
4.5.12.	Verstärkungsfaktoren (D/A-Wandlermodul COMPAX).....	86
4.5.13.	Triggerbereich Einstellen	86
4.5.14.	Programmoptionen.....	87
4.5.15.	Eckdaten Prüfstand.....	87
5.	TESTMESSUNG – ABLAUF UND ERGEBNISSE	88
5.1.	Aufgabenstellung	88
5.1.1.	Messreihe	88
5.2.	Versteifungen	89
5.3.	Legende - Messablauf	92
5.4.	Prüfstands-inbetriebnahme.....	93
5.5.	Messung konfigurieren.....	95

5.6.	Messung durchführen	97
5.7.	Messung auswerten.....	99
5.8.	Exemplarische Ergebnisse der Messreihe.....	102
5.8.1.	Ergebnisse	103
5.8.2.	Erkenntnisse	103
6.	AUSBLICK.....	104
7.	TABELLENVERZEICHNIS	105
8.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	107
9.	LITERATURVERZEICHNIS	112
	ANHANG.....	A-1
A	Verzeichnis der Dateien	A-1
A.1.	Antriebssystem - geregelte Fahrkurven.....	A-1
A.2.	Konstruktiver Aufbau des Prüfstandes.....	A-1
A.3.	Messtechnik zur Reibungsuntersuchung.....	A-1
B	Mess- und Auswerteprogramm Blockdiagramme.....	B-2
C	Vom Projekt Konstruktiv abweichende Bauteile.....	C-5
C.1.	Endschalter.....	C-5
C.2.	Energiekette	C-6
C.3.	Kistenhalter	C-7
D	Schaltung - Sicherheitskreis	D-8
E	Zeichnungen.....	E-9
E.1.	Gesamter Prüfstand inklusive Unterbau.....	E-10
E.2.	Reibungsprüfstand	E-12
F	Stücklisten	F-17
F.1.	Gesamter Prüfstand inklusive Unterbau.....	F-17
F.2.	Reibungsprüfstand	F-17

1. Einleitung

Reibung ist in der Technik eine nicht unerhebliche Größe, welche in erster Linie von der Materialpaarung abhängt. Sie ist ein Bewegungswiderstand, welcher sich in einem schlechteren Wirkungsgrad und Verschleiß äußert. In vielen technischen Einsatzgebieten wird daher die Reibung minimiert, zum Beispiel in Getrieben, Lagerungen und vielen mehr.

Jedoch gibt es durchaus technische Bereiche, in welchen eine hohe Reibung erwünscht ist um die richtigen Funktionen überhaupt zu ermöglichen. Zum Beispiel in Bremsen, Kupplungen und vielen mehr.

Reibungsminimierung und -maximierung sind auch wichtige Aufgaben in Logistikprozessen. So soll zum Beispiel zwischen einem Transportbehälter und einem schrägen Förderband eine hohe Reibung herrschen. Die Transportkiste könnte ansonsten den Höhenunterschied nicht überwinden. Auf einer Transportrutsche soll die Reibung jedoch niedrig sein, denn sonst würde der Behälter vor dem Erreichen seines Ziels noch auf der Rutsche zum Stehen kommen.

1.1. Aufgabenstellung

Im Zuge dieser Diplomarbeit soll ein Prüfstand für Stückgüter (Transportbehälter) aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Mit dessen Hilfe sollen die tribologischen Eigenschaften eines Transportbehälters in Paarung mit einer beliebigen Unterlage ermittelt werden. Die Inbetriebnahme beinhaltet den konstruktiven Aufbau sowie die Motoransteuerung. In weiterer Folge ist ein Messprogramm zu entwerfen, mit welchem die Reibungsmessungen durchgeführt werden können. Dieses Messprogramm muss in Form von Verifikations- und Testmessungen überprüft werden.

1.2. Kurzbeschreibung des Ablaufes der Diplomarbeit

Die jeweiligen Konstruktions- und grundlegende Erfahrungsdaten stammen aus dem Projekt Konstruktiv „Reibungsprüfstand“ ([SG12a]) sowie aus der dazu gehörigen, gleichnamigen Laborübung ([SG12b]). Auf diesen Daten basiert der gesamte mechanische Prüfstandsaufbau. Im Zuge des Projektes wurden einige Punkte des Lastenheftes definiert. Eine Festlegung weiterer Lasten erfolgte zu Beginn der Diplomarbeit. Die grundlegende Umsetzung der Anforderungen wurde im Pflichtenheft dargelegt.

Nach der Definition der Lasten und jener hierdurch entstandenen Pflichten wurden die Konstruktionsdaten aus dem Projekt überarbeitet und alle vorhandenen Teile auf Einbau und Plausibilität überprüft. Nach Einholen von Angeboten wurden die benötigten Komponenten bestellt. Die spanende Bearbeitung übernahm die Institutswerkstätte und im Fall einer Kupplungshälfte die Zentralwerkstatt der Technischen Universität Graz. Nach Erhalt und Fertigung der Komponenten wurden diese vom Autor zusammengebaut und damit der Prüfstand fertig gestellt.

Die Einarbeitung in die Messsoftware LabVIEW sowie in das Regler-Ansteuerungssoftwarepaket der Firma Hauser erfolgte parallel zur Lieferung und Fertigung. Auf Basis dieser Kenntnisse entstanden das Regler- und das Messprogramm. Die richtigen Funktionen aller Komponenten wurden durch diverse Verifikations- sowie Messfahrten

überprüft. Dies führte schlussendlich zu den ersten Testmessungen in Hinblick auf die Haft- und die Gleitreibung.

1.3. Lastenheft

Die Anforderungen an den gesamten Prüfstand, die Prüfstandssteuerung und die Messsoftware werden in diesem Lastenheft erläutert.

1.3.1. Anforderungen an den Prüfstand

Die grundsätzlichen Prüfstandsanforderungen, welche aus dem oben genannten Projekt stammen, werden im Folgenden aufgelistet (vgl. [SG12a], S.38):

1. Mit diesem Prüfstand sollen die Haft- und Gleitreibungskoeffizienten bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Gewichten ermittelt werden.
2. Es muss die Möglichkeit bestehen marktübliche Kisten unterschiedlichster Größen zu prüfen, wobei die maximalen Abmaße 800 x 600 x 420 mm betragen.
3. Messgeschwindigkeiten bis zu 0,3 m/s und Beschleunigungen bis zu 1,5 m/s² müssen realisierbar sein.
4. Um reale Bedingungen zu testen, sollen die Behälter mit bis zu 50 kg beladen werden können. Das Gewicht kann hierbei auch ungleichmäßig verteilt sein.
5. Es sollen verschiedene Reibpaarungen geprüft werden können.
6. Der gesamte Prüfstand muss mobil ausgeführt sein, damit er auf bestehende Stückgutförderer arretiert werden kann.
7. Der Prüfrahm soll auf Tischen montierbar sein, damit auch Reibpaarungen mit kleineren Proben der Unterlagen untersucht werden können.

1.3.2. Anforderungen an die Prüfstandssteuerung

Die Prüfstandssteuerung beschreibt die Schnittstelle zwischen Bediener und dem Prüfstand.

8. Durch Betätigen eines Startknopfes soll ein am Regler abgelegtes Fahrprofil abgearbeitet werden.
9. Die Möglichkeit, mehrere Messzyklen durchführen zu können, muss bestehen.
10. Die Wartezeit zwischen den Messzyklen muss einstellbar sein.
11. Die Prüfstandsgeschwindigkeit und Beschleunigung muss veränderbar sein.
12. Die Prüfweglänge, welche die Kiste zurücklegt, muss eingegeben werden können.
13. Ein Stoppbutton sowie ein Notauschalter müssen aus Sicherheitsgründen vorhanden sein.

14. Um Beschädigungen des Prüfstandes vorzubeugen müssen Endschalter vorgesehen werden.
15. Bei einem aufgetretenen Fehler muss die Möglichkeit bestehen, den Prüfstand wieder in die Ausgangslage zu bringen.

1.3.3. Anforderungen an die Messtechnik

In diesem Kapitel sollen die grundsätzlichen Anforderungen an die Prüfstandsmesstechnik genannt werden.

1.3.3.1. Messtechnik

16. Die Messsoftware muss die vorhandenen Komponenten (Kraftmessdose HBM S2 und Messverstärker HBM KWS3073) berücksichtigen.
17. Eine Kraftmessdose wird verwendet, die Option für eine zweite soll vorgesehen sein.
18. Geschwindigkeit und Motormoment sollen gemessen und aufgezeichnet werden.
19. Um nur die relevanten Werte aufzuzeichnen muss eine Zyklusstarterkennung (Trigger) vorhanden sein.
20. Aus Übersichtsgründen soll eine Echtzeit-Diagrammdarstellung implementiert sein.
21. Ein Filtern des Eingangssignals soll zur schöneren Darstellung erfolgen.

1.3.3.2. Benutzerschnittstelle (Input/Output)

22. Es soll eine Messwertaufnahme der Kraft, der Geschwindigkeit und des Momentes erfolgen können.
23. Die Daten der Prüflinge sollen eingegeben werden können.
24. Die Eingabe der Parameter (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Weg, Beladung) für den jeweiligen Prüfzyklus soll möglich sein.
25. Das Erstellen einer Ausgabedatei mit den jeweiligen Messwerten muss möglich sein.
26. Eine Erstellung von Messreihen (Faktorenpläne) soll ermöglicht werden.
27. Notausfunktionen mittels Notastaster müssen aus Sicherheitsgründen vorhanden sein.

1.3.3.3. Bedienung

28. Das Programm muss einfach zu bedienen sein.
29. Für die Bedienung der Funktionen soll ein Menü vorhanden sein.
30. Bei Bedarf muss die Möglichkeit einer programmatischen Erweiterung des Programms bestehen.

31. Um die Bedienung zu erleichtern sind Eingabemasken für verschiedene Funktionen vorzusehen.
32. Das Programm soll eine Fehlerbehandlungsroutine (Errorhandler) aufweisen.
33. Ein Fehler soll durch optische/akustische Fehlermeldungen erkennbar sein.
34. Das Programm soll kompatibel zu anderer Software sein, zum Beispiel MS Excel.

1.3.3.4. Auswertung

35. Eine Darstellung der Messwerte als Diagramm soll erfolgen.
36. Das Überlagern mehrerer Messdiagramme soll möglich sein um diese damit zu vergleichen.
37. Aus Übersichtlichkeitsgründen muss die Möglichkeit einer Normierung der überlagerten Messdiagramme bestehen.
38. Gleit- und Haftreibungskoeffizienten der jeweiligen Messungen müssen ermittelbar sein.
39. Eine Mittelung der jeweiligen Koeffizienten soll möglich sein.
40. Eine Ermittlung von Unterschieden bezüglich der verschiedenen Parameter und Messserien soll ermöglicht werden.
41. Eine statistische Analyse der Messdaten muss ermöglicht werden.

1.4. Pflichtenheft

Die grundlegende Umsetzung der Anforderungen werden in diesem Pflichtenheft erläutert.

1.4.1. Prüfstandsanforderungen – Mechanischer Aufbau

Das Pflichtenheft der Prüfstandsanforderungen wurde teilweise dem Projekt Konstruktiv entnommen (vgl. [SG12a], S.38):

1. Um die Reibung zwischen Unterlage und Kiste zu ermitteln, wird die Prüfkiste linear über eine Prüfunterlage gezogen und die hierbei benötigte Kraft mit der Kraftmessdose HBM S2 gemessen. Diese Kraft fließt in die Ermittlung der Reibkoeffizienten ein. Beim Zurückschieben wird die Kraftmessdose aus dem Kraftfluss ausgekoppelt, um eine undefinierte Bewegung und eine mögliche Beschädigung des Kraftsensors zu vermeiden. Die sichere Rückstellung der Prüfkiste ermöglicht eine eigens konstruierte Zentriereinheit.
2. Der Kistenhalter wird mit „item“-Profilen konstruiert, welche eine leichte und schnelle Anpassung an die geforderten Behältergeometrien ermöglichen. Um ein Absacken des Kistenhalters zu vermeiden, ist eine Befestigung des Halters an der Kistenoberseite vorgesehen.

3. Um die gewünschten Anforderungen an den Antrieb zu erfüllen wird ein ausreichend starker Servomotor HBMR 115A6-88S inklusive Getriebe PL115S-004/H und vorhandener Motorsteuerung verwendet. Laufrolleneinheiten, welche im Schlitten verbaut sind, weisen mit einer maximalen Geschwindigkeit von bis zu 10 m/s die gewünschten Geschwindigkeitsanforderungen auf.
4. Da der Prüfbehälter nach oben hin frei zugänglich ist, wird die Beladung mit Gewichten auch im betriebsbereiten Zustand ermöglicht.
5. Prüfbehälter und Prüfunterlage sind leicht auszuwechseln.
6. Für den gesamten Prüfstand werden möglichst nur Normteile verwendet und der Aufbau wird modular ausgeführt. Dies geschieht unter Verwendung von Profilen der Firma „item“.
7. Um die Mobilität zu gewährleisten wird der gesamte Prüfstand aus leichten Aluminiumprofilen gefertigt und Haltegriffe wurden angebracht.

1.4.2. Prüfstandssteuerung

- 8-13. Die Prüfstandssteuerung wurde mit dem Softwarepaket von Hauser realisiert. Dieses Softwarepaket beinhaltet einen Editor, in dem das Reglerprogramm verfasst wird, und ein Terminal zum Ansteuern des Reglers. Die Parameter Geschwindigkeit, Beschleunigung, Wartezeit und Prüfweg sind über Variablen im Terminal anzugeben.
14. Im Reglerprogramm ist ein Stoppbutton vorgesehen, welcher bei Betätigung einen Not-Halt auslöst. Dieser Not-Halt kann auch mittels Befehleingabe erfolgen. Des Weiteren sind zwei Notstoppschalter vorgesehen. Einer ist an der fertigen Reglereinheit befestigt und der zweite ist durch ein Kabel an jede gewünschte Position am Prüfstand transferierbar.
15. Am Beginn und am Ende der Prüfstrecke werden Rollenhebelendschalter angebracht, welche in Serie mit den Notstopptasten geschaltet sind. Diese Endschalter sind verschiebbar damit die Position den gewünschten Prüfwegen gerecht wird.
16. Beim Überfahren eines Endschalters kann man diese durch Betätigung eines weiteren Schalters überbrücken. Die Rückstellung bei einem Fehler geschieht entweder per Hand oder über eine Terminaleingabe.

1.4.3. Messsoftware

Das Mess- und Auswertprogramm „Reibungsprüfstand“ wurde basierend auf der Programmieroberfläche LabVIEW von National Instruments entwickelt.

1.4.3.1. Messtechnik

17. Es werden die Messwerte von zwei möglichen Kraftmessdose aufgezeichnet. Jedoch wurde im Prüfstandsbetrieb nur eine benutzt. Die Möglichkeit für eine zweite Kraftmessdose ist vorgesehen und man kann diese bei Bedarf einfach ankleben.
18. Mit Hilfe eines Digital/Analog Wandlers wird die Motorgeschwindigkeit und das Motormoment umgewandelt und in weiterer Folge in der Messsoftware erfasst,

aufgezeichnet und mit der Messung mitgespeichert.

19. Bei einer automatischen Messung wird auf Basis der Motorgeschwindigkeit die Messung mit einem eigens erstellten Programmmodul getriggert.
20. Die Messwerte werden kontinuierlich abgetastet und als solche dargestellt.
21. Zur Messsignalauswertung beziehungsweise -darstellung sind Filter vorgesehen. Die Filterfrequenzen und die Filterart sind einstellbar. Da es aufgrund von Filterung zu einem Informationsverlust kommt, wird auch das ungefilterte Signal weiterverarbeitet.

1.4.3.2. Input/Output

22. Über eine Messkarte von National Instruments ist eine Erfassung der Messverstärkersignale und damit der Kraftmessdosensignale möglich.
23. Die Messwertaufnahme und Weiterverarbeitung erfolgt über ein eigens entwickeltes Programm.
24. Die Eingabe der Prüflingsdaten ist in einer Eingabemaske möglich.
25. Eine Parametereingabe für Geschwindigkeit, Beschleunigung, Weg und Beladung ist in der gleichen Eingabemaske wie bei den Prüflingsdaten möglich.
26. Die Messwerte werden in einem tabellarischen Fileformat (*.tdms) abgelegt, wenn der Button „speichern“ betätigt wird.
27. Bei der Erstellung von Messreihen werden die Messungen aufgezeichnet und automatisch indiziert gespeichert.

1.4.3.3. Bedienung

28. Die Messsoftware sollte nach kurzer Einarbeitung leicht zu bedienen sein.
29. Um die Benutzung zu erleichtern ist auf dem Top-Level ein Menü in Form von Buttons vorgesehen, aus welchem man die verschiedenen Eingabemasken auswählen kann.
30. Das Programm soll modular aufgebaut sein, damit die Möglichkeit besteht Blöcke und Module zu verändern und hinzuzufügen.
31. Da verschiedene Funktionen und Anforderungen implementiert sind, gibt es Eingabemasken um die Bedienung zu ermöglichen und den User nicht mit Information zu überfordern.
32. Ein Errorhandler ist vorgesehen damit es bei fehlerhafter Bedienung zu keinem Programmabsturz oder Fehlverhalten kommt. Die Fehler werden in zwei Kategorien eingeteilt: sofortiger Absturz des Programms und mögliche fehlerhafte Eingabe ohne Programmabsturz.

33. Beim Auftreten eines Fehlers ertönt, sofern ein Signalmodul vorhanden ist, ein Ton. Des Weiteren erscheint ein Dialogfenster mit einer kurzen Fehlerbeschreibung. Bei der Durchführung einer Messung werden die aktuellen Messwerte in farblichen Abstufungen (grün, gelb, rot) hinterlegt.
34. Da in einem tabellarischen Fileformat gespeichert wird, ist es möglich die Messungen mit jedem Programm aufzurufen und weiterzuverarbeiten das mit Excel kompatibel ist.

1.4.3.4. Auswertung

35. Die Messwerte werden in der Messsoftware als Diagramm dargestellt.
36. Es ist möglich mehrere Verläufe aus vorangegangenen Messungen (Kraft, Geschwindigkeit, Moment) zu überlagern sowie auch in jeweils einer Messung eine Überlagerung von Kraft, Geschwindigkeit und Moment durchzuführen. Dies ist auf Wunsch auch abschaltbar.
37. Da die Kraftmesswerte im Normalfall ein Vielfaches der Geschwindigkeit beziehungsweise des Momentes betragen, ist eine Normierung unumgänglich. Hierbei besteht die Möglichkeit die Geschwindigkeit sowie das Moment mit einem Faktor zwischen 0,001 und 100 multipliziert darzustellen.
38. Mit der aufgezeichneten Kraft und dem eingegebenen Gewicht werden die Reibkoeffizienten ermittelt.
39. Da der Gleitreibungsbereich einen Großteil des Messweges einnimmt, findet in diesem Bereich eine Mittelung der Messwerte statt.
40. Durch die Möglichkeit, mehrere Messungen zu überlagern können Unterschiede zwischen den Messungen leicht erkannt werden.
41. Eine statistische Analyse der Messdaten ist in einem eigenen Modul möglich.

1.5. Prüfstandskomponenten

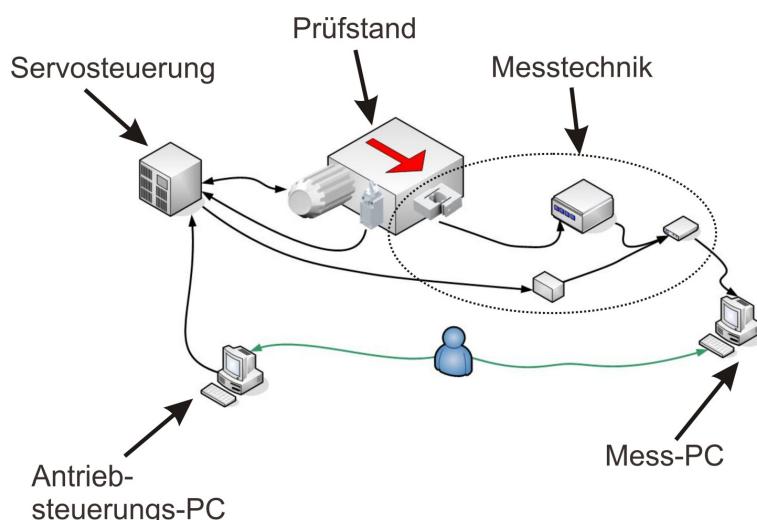


Abbildung 1-1 Prüfstandskomponenten

In Abbildung 1-1 sind die wichtigsten Prüfstandskomponenten angeführt.

- Antriebsteuerungs-PC:

Die beweglichen Teile des Prüfstandes werden mit Hilfe dieses PCs angesteuert. Am Antriebssteuerungs-PC befinden sich alle Programme, welche für die Programmierung und Einstellungen des Servoreglers erforderlich sind.

- Servosteuerung:

Die Servosteuerung beinhaltet den Servoregler, auf welchem die Bewegungsroutine abgelegt ist. Die Motorbewegung wird vom Regler gesteuert. Des Weiteren ist die Servosteuerung mit diversen Schutzfunktionen ausgestattet um einer Beschädigung des Motors vorzubeugen.

- Prüfstand:

Dies symbolisiert den mechanischen Teil des Reibungsprüfstandes.

- Messtechnik:

Die Messtechnik enthält alle zur Messwerteerfassung und Aufbereitung erforderlichen Komponenten.

- Mess-PC:

Das für die Messung und die Auswertung erforderliche Programm befindet sich am Mess-PC.

2. Konstruktiver Aufbau des Prüfstands

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem konstruktiven Aufbau des Reibungsprüfstandes.

2.1. Prüfstandskonzept

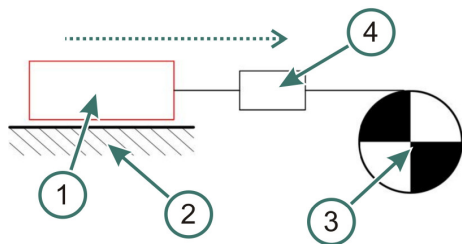


Abbildung 2-1 Prinzipskizze Prüfstand

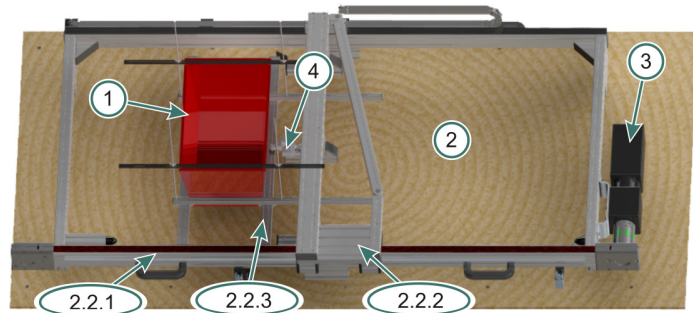


Abbildung 2-2 Gesamtkonstruktion, Ansicht von oben

Ein Prüfkörper (1) wird durch den Motor (3) über eine Unterlage (2) gezogen. Dabei erfasst der Kraftsensor (4) die benötigte Kraft um die Kiste in Bewegung zu versetzen. Dies ist die gerade vorhandene Reibkraft.

Die Hauptkomponenten Rahmen, Schlitten und Kistenhalter sollen in den nächsten Kapiteln erläutert werden.

2.1.1. Prüfkörper

Der Prüfkörper symbolisiert eine Transportkiste, welche zum Beispiel in automatischen Lagern benutzt wird. Durch die Anpassmöglichkeiten des Kistenhalters sind maximale Kistenabmaße bis zu 800 x 600 x 420 mm möglich. Hiermit sind die gängigsten Größen von handelsüblichen Behältern abgedeckt. Die Beladung derselben wird durch einfache Gewichte durchgeführt und kann bis zu 50 kg betragen.

2.1.2. Unterlage

Als Unterlage wird die Fläche bezeichnet über welche der Prüfkörper gezogen werden soll. Diese wird auf der Prüfstandsplatte fixiert. Die Unterlage kann aus jedem beliebigen festen Material bestehen, wodurch Reibungsversuche mit verschiedenen Reibpaarungen ermöglicht werden.

2.1.3. Motor

Der Motor ist als Synchron-Servomotor der Type HBMR 115A6-88S ausgeführt. Diese elektrische Drehfeldmaschine weist mit ihrem synchronen Verhalten eine relativ einfache netzseitige Drehzahleinstellung durch ein gesteuertes Drehstromsystem (Frequenzumrichter) auf. Dadurch ist die Drehzahl des Synchronmotors im Vergleich zu anderen elektrischen Arbeitsmaschinen nicht lastabhängig, sondern frequenzabhängig. Die permanente Magnetisierung lässt weiters einen besonders verschleiß- und wartungsfreien Betrieb zu. Im Vergleich zu anderen Maschinen weist die Synchronmaschine auch ein hohes Maximalmoment bei gleicher Baugröße auf, welches über einen großen Drehzahlbereich

konstant bleiben kann. Die Eigenschaft als Servomotor wird mittels integriertem Resolver bei Positioniervorgängen benutzt. (vgl. [HAF10a], S.4-13 – 4-15)

2.1.4. Kraftsensor

Da die Reibkraft nicht direkt an der Krafteinleitungsstelle gemessen werden kann, hat dieser Sensor die Aufgabe, vorhandene Reibkräfte indirekt zu erfassen. Die Reibkraftgrößen sind zumeist unbekannt, deswegen wurde unter Zuhilfenahme eines Reibkoeffizienten von 1 und dem Maximalgewicht 50 kg eine maximale Reibkraft von 500 N eruiert. Dies ist die Nennkraft der verwendeten Kraftmessdose HBM S2.

2.2. Baugruppen

Die Hauptbaugruppen des in Abbildung 2-2 ersichtlichen CAD-Modells sollen in diesem Kapitel beschrieben werden. Für weitere Informationen siehe Anhang E und F und für ausführliche Informationen Projekt-CD in den Ordnern „Zeichnungen“ und „Stücklisten“.

2.2.1. Rahmen

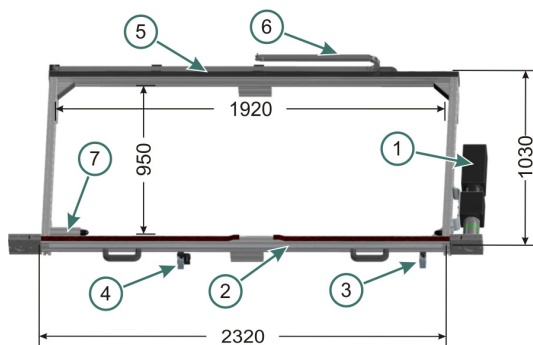


Abbildung 2-3 Rahmen Hauptkomponenten

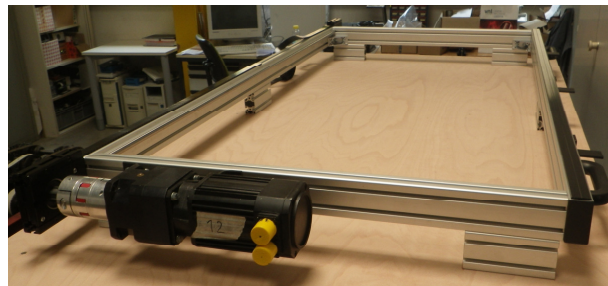


Abbildung 2-4 Rahmen während des Aufbaus

Der Rahmen bildet die Schnittstelle zwischen Untergrund und Schlitten. Auf diesen sind alle für den Antrieb benötigten Elemente montiert. Nachfolgend soll eine Auflistung der einzelnen Teile, siehe Abbildung 2-3, erfolgen:

- (1) Synchron-Servomotor HBMR 115 A6-88S und Getriebe PL115S/004/H
- (2) Der Rahmen besteht hauptsächlich aus Teilen des Baukastensystems von item. Im Inneren des durch (2) gekennzeichneten Längsprofils wird der Zahnriemen rückgeführt, seitlich sind die Führungen des Schlittens angebracht
- (3) Rollenhebelenschalter GLCB01D
- (4) Rollenhebelenschalter und Näherungssensor XS1N08PB349S
- (5) Gleitleiste zum Abstützen des Schlittens
- (6) Energiekette
- (7) Anschlagpuffer.

2.2.2. Schlitten

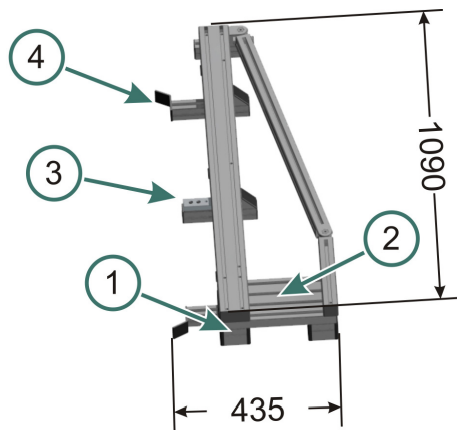


Abbildung 2-5 Schlitten Hauptkomponenten Abbildung 2-6 Schlitten gesamt

Der Schlitten bildet die Schnittstelle zwischen Rahmen und Kistenhalter. Abbildung 2-5 zeigt die wichtigsten Teile:

- (1) Lagereinheiten, deren Laufrollen auf den Führungsstangen abwälzen
- (2) An der Unterseite dieses Profils befindet sich die Zahnriemenbefestigung
- (3) Durch einen Gleitschlitten wird die an ihm montierte Kraftmessdose in den Kraftfluss ein- beziehungsweise ausgekoppelt
- (4) Mittels der „Seitenstößel“ und den darauf montierten Zentriereinheiten ist eine definierte Rückstellung des Kistenhalters möglich.

2.2.3. Kistenhalter

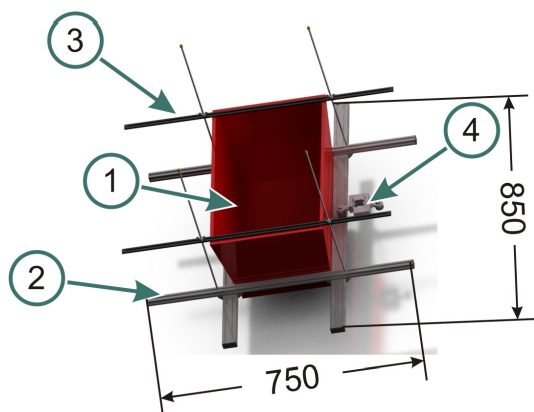


Abbildung 2-7 Kistenhalter Hauptkomponenten

Abbildung 2-8 Kistenhalter aufgebaut

Der Kistenhalter bildet die Schnittstelle zwischen Schlitten und Prüfkiste. Für eine bessere Darstellung ist eine Transportbox eingespannt, siehe Abbildung 2-7:

- (1) Prüfkiste
- (2) Der Kistenhalter besteht großteils aus Profilen der Firma „item“. Diese sind über Winkel, welche in den Längsnuten verschoben und an beliebiger Stelle festgezogen werden können, miteinander verbunden, um eine schnelle Anpassung an diverse Kistengrößen zu ermöglichen.
- (3) Die „Nutenbleche“ werden benutzt um den Kistenhalter vertikal zu nivellieren. Diese Bleche bestehen aus zwei Stahlstangen, welche so verschweißt sind, dass im Zwischenraum eine Aufnahme der Gewindestangen erfolgen kann.
- (4) Kraftmessdose HBM S2.

2.3. Unterbau

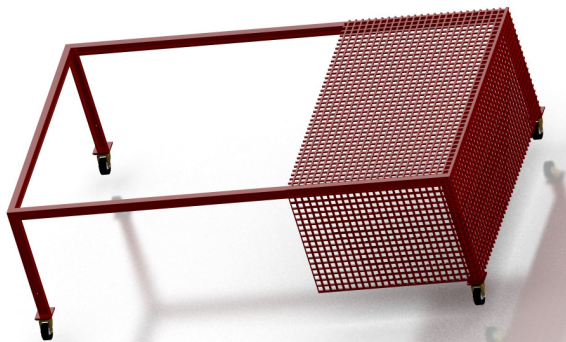


Abbildung 2-9 ursprünglicher Unterbau

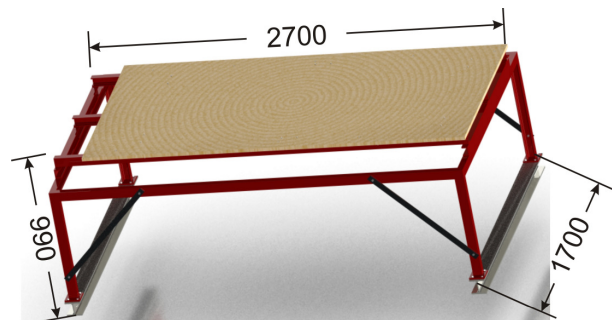


Abbildung 2-10 verwendeter Unterbau

Als Unterbau des Reibungsprüfstandes dient der Schutzüberbau des vorhandenen Zahnriemen-Dauerprüfstandes, siehe Abbildung 2-9. Dieser Schutzüberbau ist ein geschweißter Rahmen aus U-Profilen und weist außer Rollen noch ein Schutzgitter auf. Das Schutzgitter war allerdings hinsichtlich der Montage des Reibungsprüfstandes hinderlich und wurde entfernt. Die Schutzfunktion in vertikaler Richtung übernimmt nun die Unterlagsplatte des Reibungsprüfstandes, siehe Abbildung 2-10. Die Rollen erwiesen sich nur in der Montage des Reibungsprüfstandes als nützlich, da dieser in die Mitte des Laborraumes geschoben werden konnte und sind in weiterer Folge durch I-Träger ersetzt worden. Auf die Versteifungen wird in Kapitel 5.2. eingegangen.

Als Unterlagsplatte für den Prüfstand wird eine Buchensperrholzplatte verwendet, welche als Hartholz die gewünschte Eigenschaft der genügend hohen Steifigkeit aufweist. Da die Platte mit ihren Abmaßen kleiner als die Grundfläche des Unterbaus ist, musste ein zusätzlicher Aufsatz konstruiert werden. Dieser Aufsatz besteht wie der Unterbau aus U-Profilen und hat zur Abstützung der Platte in der Mitte noch ein Profil eingeschraubt, welches eine Durchbiegung verhindert.

3. Antriebssystem – geregelte Fahrkurven

In diesem Kapitel soll auf die Komponenten des Antriebssystems und die damit verwendete Software eingegangen werden. Das Antriebssystem ist für die Bewegung der Prüfkiste erforderlich.

3.1. Komponenten

- Datenfluss

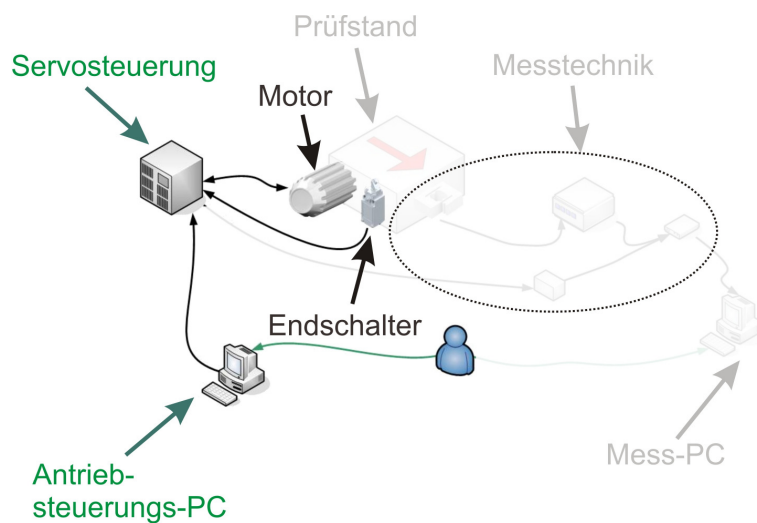


Abbildung 3-1 Antriebssystemkomponenten

- Antriebsteuerungs-PC:



Abbildung 3-2 Antriebs-PC

Inventarnummer: 0002029
Computername FFTMP13
Betriebssystem: Windows 98 zweite Ausgabe 32-bit
Pentium II 400MHz; 256 MB RAM
Benutzername: „hafner“
Passwort: „“
Programme:
Servo Terminal Version 6.3 (23.05.2001)
 Programm: SrvTerm.cfg
 Buttonleiste: Reib-Messprüfstand
COMPAX Programm Editor für COMPAX E/M
Version 1.2 (1990,91,93)
 Programm: REIB_V9.CPX
Hauser Parameter Editor Version 1.5 (1992)
 Parameter: 1_V20_V6.RPA

- Servosteuerung:



Abbildung 3-3 Servosteuerung

Inventarnummer: 0084739

Funktionsfähige Antriebseinheit

Bestehend aus:

24V Netzmodul

(Von links nach rechts)

Netzmodul: 042639 0004 951-300000 NMD 10/B

Regler 1: 058497 0001 951-200201 Servax 0500-M

Regler 2: 039837 001 951-100104 COMPAX 0200-M

Für die Motoransteuerung wird Regler 2 benutzt.

3.2. Terminalprogramm (Antriebssteuerungs-PC)

Das Terminalprogramm beschreibt die Schnittstelle zwischen Prüfstandsbediener und Antrieb. Als Terminalprogramm wird das „Servo Terminal“ von Hauser benutzt. In diesem werden die Parameter Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Wartezeit und Anzahl der Prüfläufe definiert. Des Weiteren wird der gesamte Bewegungsablauf in Hinblick auf Start, Stopp und Programmaufruf über das Terminal gesteuert.

Das Servo Terminal ist ein Servo Tool der Windows basierenden Software „Servo Manager“. Die anderen Windows basierenden Tools wie Parametereditor und Programmeditor können aufgrund der Regler-Softwareversion nicht benutzt werden, da diese eine Softwareversion größer 2.0 verlangen und der Regler aber nur mit Version 1.35 zur Verfügung steht. Dadurch muss auf die später beschriebenen älteren DOS basierenden Editoren zurückgegriffen werden.

3.2.1. Kurzüberblick Servo Terminal

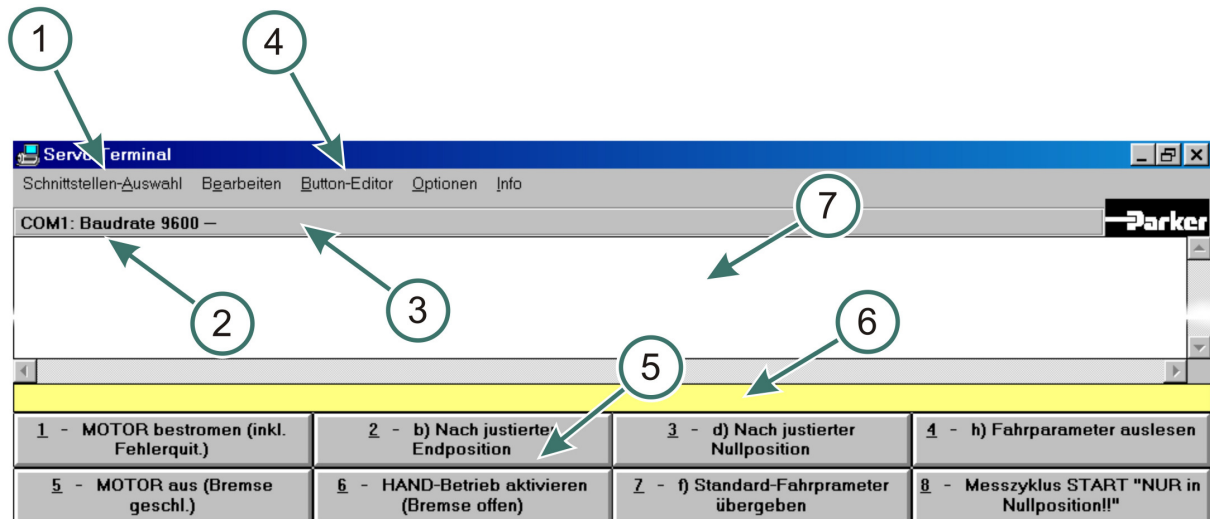


Abbildung 3-4 Kurzüberblick Servo Terminal

Eine Erklärung der in Abbildung 3-4 gekennzeichneten Punkte erfolgt in nachfolgender Auflistung:

(1) „Schnittstellen-Auswahl“:

In diesem Menü ist die Auswahl einer seriellen Schnittstelle, nach dem RS-232 Standard zur COMPAX-Regelung möglich. Diese muss mit den Einstellungen des Reglers übereinstimmen, da ansonsten keine Verbindung zu Stande kommt. Als Standardeinstellung wird das Port COM1 mit einer Baudrate (=Datenrate) von 9.600 bit pro Sekunde gewählt.

Für die Arbeit mit dem Parameter- und dem Programmeditor ist eine Freigabe dieser Schnittstelle notwendig, da es ansonsten zu Kommunikationsschwierigkeiten kommt.

(2) Die unter Punkt (1) eingestellte Schnittstelle wird hier angezeigt.

(3) Falls nach 5 Sekunden keine Verbindung zustande kommt, wird hier diesbezüglich eine Meldung gezeigt, (vgl. [HAU99], S. 26).

(4) „Button-Editor“:

Anhand dieses Menüs kann die Buttonleiste ausgewählt oder editiert werden. Bei diesem Reibungsprüfstand wurde der Name „Reib-Messprüfstand“ gewählt.

(5) Die unter (4) eingestellte Buttonleiste wird hier angezeigt. Nähere Beschreibung siehe Kapitel 3.2.3.

(6) In dieser Zeile ist, wie in Kapitel 3.2.2, eine direkte Befehlseingabe möglich.

(7) Alle an COMPAX gesendeten Befehle werden hier angezeigt.

3.2.2. Befehle - Servosteuerung (detaillierte Beschreibung)

Im Terminalprogramm ist eine direkte Befehlseingabe über die Eingabezeile (siehe Abbildung 3-4 (6)) möglich. Hierbei ist zu beachten, dass die Eingabe nicht „case sensitiv“ ist. Eingaben sollten vor der Bestätigung durch die Enter-Taste auf Richtigkeit überprüft werden, da bei fehlerhaften Eingaben keine Fehlermeldung angezeigt wird. Bei Positionierbefehlen ist eine fehlerhafte Eingabe leicht durch den Stillstand der beweglichen Teile zu erkennen, bei allen anderen Befehlen erweist sich das einfache Erkennen aber als schwierig. Mögliche Fehler und deren Auswirkungen werden in Kapitel 3.6. genannt.

Nachfolgend befindet sich eine Auflistung der für den Prüfstandsbetrieb wichtigsten Befehle (vgl. [HAU95], S. 33ff und S. 45ff):

Tabelle 3-1 Detaillierte Befehlsbeschreibung Servo Terminal

Befehl	Bedeutung
POSR kurz pr	Relativpositionierung; Bezugspunkt ist die momentane Position. Syntax: POSR Wert Wert: Zahl+ zwei Nachkommastellen oder ein Bedienparameter Beispiel: POSR 200 Relativpositionierung um 200 mm POSR 0 Nullpunkt an diese Stelle setzen
SPEED kurz sd	Verfahrgeschwindigkeit in % der Nenngeschwindigkeit <i>Verfahrgeschwindigkeit = Nenndrehzahl * Weg _ pro _ Motorumdrehung</i> Gültig bis ein neuer Wert eingegeben wird Syntax: SPEED Wert Wert: Zahl plus drei Nachkommastellen zwischen 0 und 100 % oder ein Bedienparameter Beispiel: SPEED 1 Geschwindigkeit wird auf um 1 % der Nenngeschwindigkeit gesetzt
ACCEL kurz al	Vorgabe der Beschleunigungs- und Bremszeit in ms $ta = \frac{SPEED}{100\%} * ACCEL$ ta...Rampenzeit Gültig bis ein neuer Wert eingegeben wird Syntax: ACCEL Wert Wert: Zahl zwischen 0 und 65.000 ms oder ein Bedienparameter Beispiel: ACCEL 1.000 setzt Beschleunigungs- und Verzögerungsrampe auf 1.000 ms
Wait	Programmierbare Wartezeit in ms bis zur Abarbeitung des nächsten Satzes Syntax: WAIT Wert Wert: Zahl zwischen 0 und 65.000 ms oder ein Bedienparameter Beispiel: WAIT 1.000 setzt die Wartezeit bis zum nächsten Satz auf 1.000ms
GOTO kurz go	Programmsprung zur angegebenen Satznummer/ Aufheben des Kennwortschutzes Syntax: GOTO Satznummer Beispiel: GOTO 17 Sprung zu Satz Nummer 17
GOTO kurz go	Aktivieren / Deaktivieren des Kennwortschutzes Syntax: GOTO Passwort Beispiel: GOTO 620 hebt Kennwortschutz auf GOTO 270 setzt Kennwortschutz

OUTPUT A0 kurz OTO	Antrieb stromlos schalten / Bremse aktivieren Syntax: OUTPUT A0=Zahl Zahl: 0/3... Antrieb ist unter Moment bei geöffneter Bremse 1... Antrieb ist stromlos bei geschlossener Bremse 2... Antrieb ist stromlos bei geöffneter Bremse Beispiel: OUTPUT A0=2 Antrieb ist stromlos bei geöffneter Bremse
IF	Bedingte Verzweigung in Abhängigkeit eines Steuersignals Syntax: IF Steuereingang=1/0 GOTO Satznummer Beispiel: IF E7=1 GOTO 17 Wenn E7 auf 1, dann Sprung zu Satz Nummer 17, sonst weiter
REPEAT	Beginn einer Programmschleife Der Programmblock zwischen REPEAT und END wird so oft wiederholt wie in Wert angegeben. Syntax: REPEAT Wert Wert: Zahl zwischen 1 und 9.999 oder ein Bedienparameter Beispiel: REPEAT 17 Schleifenbeginn welche 17 mal durchlaufen wird ... END Schleifenende
END	END-Anweisung für eine REPEAT-Schleife oder für das Programm Syntax: END
START kurz st	Programmstart; an der gerade vorhandenen Satznummer Die Satznummer kann mit S27 ausgelesen werden. Syntax: START
STOP kurz sp	Stopp Anweisung; für eine Positionierung oder für das Programm. Der Motor wird geführt zum Stehen gebracht. Syntax: STOP
QUIT kurz qt	Fehlerquittierung; Quittiert den gerade vorhandenen Fehler, wenn dieser davor behoben wurde. Syntax: QUIT
S1	Momentane Position bezogen auf den Realnullpunkt Syntax: S1

3.2.3. Detailbeschreibung Terminalprogramm

Um die Befehle nicht für jeden Prüfdurchlauf eingeben zu müssen, ist es im „Servo Terminal“ möglich bis zu acht Buttons mit Programmroutinen zu hinterlegen. Diese Programmierung wurde im Zuge der Diplomarbeit durchgeführt. Zum Aufrufen der Buttonleiste ist es erforderlich den Button-Datensatz des Prüfstandes „Reib-Messprüfstand“ zu laden. Dieser befindet sich in der Konfigurationsdatei „SrvTerm.cfg“. In dieser Datei findet man den richtigen Datensatz unter „Button-Editor“ → „Laden“ → „Reib-Messprüfstand“.

Die Buttonleiste befindet sich am unteren Rand des Terminalprogramms. Bei Betätigung eines Knopfes wird der dahinter liegende Code ausgeführt.

Abbildung 3-5 zeigt jene für die Prüfstandsbedienung erforderlichen Buttons:

1 - MOTOR bestromen (inkl. Fehlerquit.)	2 - b) Nach justierter Endposition	3 - d) Nach justierter Nullposition	4 - h) Fahrparameter auslesen
5 - MOTOR aus (Bremsengeschl.)	6 - HAND-Betrieb aktivieren (Bremsen offen)	7 - f) Standard-Fahrparameter übergeben	8 - Messzyklus START "NUR in Nullposition!!"

Abbildung 3-5 Buttons Servo Terminal

1. „MOTOR bestromen (inkl. Fehlerquit)“

Code	Beschreibung
QT OT0=0 s1	Quittiert den aufgetretenen Fehler, wenn dies möglich ist. Um den Prüfstand zu starten muss der Motor bestromt werden. Des Weiteren wird die aktuelle Schlittenposition ausgegeben.

2. „b) Nach justierter Endposition“

Code	Beschreibung
OT0=0 QT PR0 s1 OT0=2	Für das Weitergeben eines Positionierbefehls an den Motor, wie hier das Setzen eines neuen Nullpunktes mittels PR0, ist es erforderlich den Motor zu bestromen. Um das spätere Auslesen zu erleichtern wird auch die aktuelle Position mit s1 ausgegeben, was in diesem Fall zu s1=0 mm führen wird. OT0=2 entstromt den Motor wieder und öffnet die Bremse. Dadurch ist es möglich den Schlitten per Hand zu verschieben.

3. „d) Nach justierter Nullposition“

Code	Beschreibung
s1 OT0=2	Nach Erreichen der gewünschten Nullposition wird diese durch s1 ausgegeben. Der Motor bleibt allerdings weiterhin stromlos und die Bremse offen.

4. „h) Fahrparameter auslesen“

Code	Beschreibung
P40 P41 P42 P43 P44 P45 P46 P48 P49	Die frei programmierbaren Parameter P40-P49 werden durch Betätigung dieses Buttons ausgegeben um die entsprechenden Eingaben zu kontrollieren.

5. „MOTOR aus (Bremsen geschl.)“

Code	Beschreibung
SP QT OT0=1 s1	Anhand dieses Codes wird der Motor geführt gestoppt, sei es im Programmbetrieb, oder im einfachen Positionierbetrieb. Durch den Befehl OT0=1 wird der Motor entstromt und die Bremse geschlossen. Die momentane Position wird mittels s1 ausgegeben, um die Rückstellung zu erleichtern.

6. „HAND- Betrieb aktivieren (Bremsen offen)“

Code	Beschreibung
SP QT OT0=2 s1	Das gerade ablaufende Reglerprogramm beziehungsweise eine Positionierung wird unterbrochen. Des Weiteren quittiert dies auch einen auftretenden Fehler. Mit OT0=2 wird die Bremse geöffnet und dadurch ist es in weiterer Folge möglich den Schlitten per Hand zu verschieben.

7. „f) Standard-Fahrparameter übergeben“

Code	Beschreibung
P40=1 P41=2.45 P42=45000 P43=5 P44=1000 P45=45000 P46=0.2 OT0=0 P40="Wiederholungen" P41="% Speed Messhub" P42="ms ACCEL Messhub" P43="% Speed Rueckhub" P44="ms Wartezeit Hub" P45="ms ACCEL Rueckhub" P46="Speed Einstellhub" P48="mm Messhub" P49="mm Rueckhub"	Dieser Knopf dient zur Erleichterung der Parameter Einstellung. Es werden die programmierten Standardparameter übergeben und diese auch mit ihren Namen versehen um sie in weiterer Folge leichter identifizieren zu können. Durch den Befehl OT0=0 wird der Motor bestromt. Falls eine Änderung der Standardparameter nötig ist, findet man diese unter „Button-Editor“ → „Editieren“ → „Reib-Messprüfstand“

8. „Messzyklus START „NUR in Nullposition““

Code	Beschreibung
goto001 st	Startet das eigentliche am Regler abgelegte Programm in der ersten Zeile.

3.2.4. Konfigurationsparameter der Messfahrten

Die Bedienparameter sind vom Benutzer frei einstellbar und dienen zur Bewegungsablaufdefinition des Reibungsprüfstandes.

Tabelle 3-2 Bedienparameter

Parameter	Einheit	Bedeutung	Wertebereich
P40	#	„Wiederholungen“; Kennzeichnet die Anzahl der Messhübe.	1 - 9.999
P41	%	"% Speed Messhub"; Entspricht der maximalen Geschwindigkeit des Messhubes. Der Parameter P15 entspricht einer definierten Drehzahlgrenze.	0 - 10 (=P15)
P42	ms	"ms ACCEL Messhub"; Entspricht der Beschleunigungszeit um die unter P41 eingestellte Geschwindigkeit des Messhubes zu erreichen.	0 - 65.000
P43	%	"% Speed Rueckhub"; Ist die Geschwindigkeit für die Rückstellbewegung. Diese kann höher gewählt werden als die unter P41 eingestellte Geschwindigkeit.	0 - 10 (=P15)
P44	ms	"ms Wartezeit Hub"; Vor und nach dem Messhub, sowie nach dem Rückhub ist eine Wartezeit vorgesehen. Diese dient vorerst dazu, dass keine unnötigen Schwingungen aufgezeichnet werden und um die Hübe leichter identifizieren zu können.	0 - 65.000
P45	ms	"ms ACCEL Rueckhub"; Entspricht der Beschleunigungszeit um die unter P43 eingestellte Geschwindigkeit des Rückhubes zu erreichen.	0 – 65.000
P46	%	"Speed Einstellhub"; Ist die Geschwindigkeit des Einstellhubes. Diese sollte deutlich unter der unter P41 eingestellten Geschwindigkeit liegen (siehe Kapitel 3.3.3.2)	0 - 10 (=P15)
P47		frei	
P48	mm	"mm Messhub"; Entspricht der Schlittenbewegung im Messhub. Dieser ist abhängig von den Prüfkörpern und dem Endschalteabstand.	-1.700 – 1.700
P49	mm	"mm Rueckhub" entspricht der Länge des Rückhubes. Diese muss, um Fehlfunktionen zu vermeiden, der negierte Messhub sein. Sprich P49=-P48	-1.700 – 1.700

3.3. COMPAX Echtzeitsteuerung

Der „COMPAX Editor“ ist ein von Hauser bereitgestellter DOS-basierender Programmeditor. Unter Zuhilfenahme dieses Editors wurde die Bewegungsroutine des Prüfstandes definiert. Dass der Bewegungsablauf mit diesem Editor und nicht mit dem Servo Terminal beschrieben wurde, ist in der Tatsache begründet, dass die direkte Befehlseingabe im Terminal nicht zu den gewünschten Ereignissen führte. Das Terminal ist eine reine Benutzerschnittstelle. Zum Beispiel wird im Terminal eine „Repeat“-Schleife nicht ausgeführt und die mit „Wait“ eingestellte Wartezeit ergibt nicht den erwarteten Wert.

Das im COMPAX-Editor erstellte Programm wird nach seiner Fertigstellung auf den Regler geladen und ist, falls gewünscht, auch ohne Antriebs-PC ausführbar. Jedoch ist dann zu beachten, dass die Bedienparameter nicht variabel sind.

3.3.1. COMPAX Editor Kurzübersicht

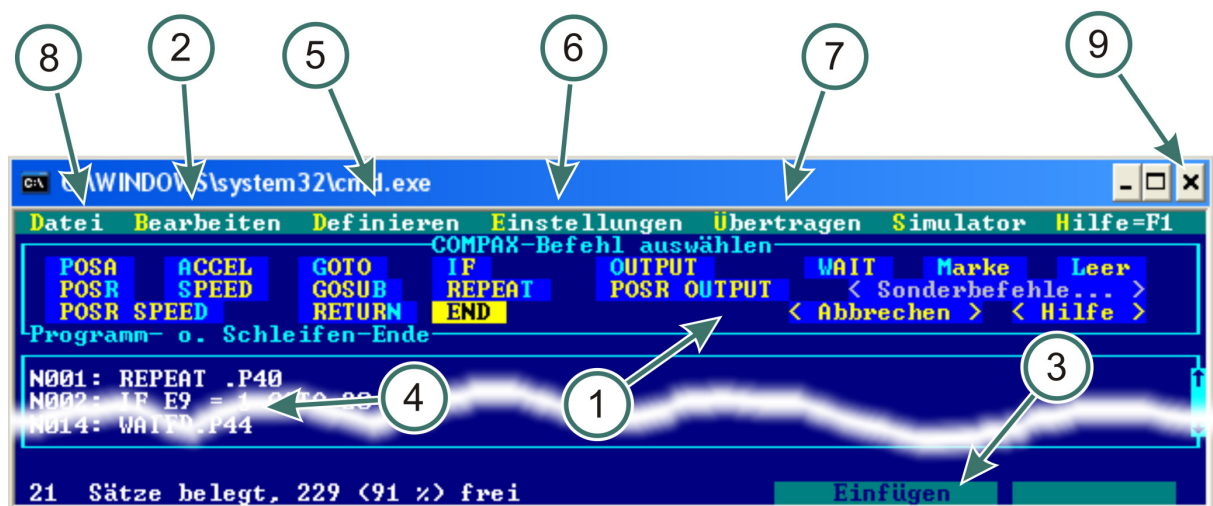


Abbildung 3-6 Kurzübersicht COMPAX Editor

Nachfolgende Auflistung beinhaltet eine Erklärung jener in Abbildung 3-6 gekennzeichneten Punkte:

- (1) Zeigt eine Liste der möglichen Befehle
- (2) „Bearbeiten“:
Um das Programm zu bearbeiten, muss in diesem Menü „Zeile“ ausgewählt werden.
- (3) Umschalten zwischen „Einfügen“ (Zeile davor einfügen) und „Überschreiben“ (Überschreiben der gewählten Zeile).
- (4) Dies ist der Programmierbereich in welchem das Programm erstellt wird. Für die Programmerstellung sind ausschließlich die unter Punkt (1) angeführten Befehle aufrufbar.
- (5) „Definieren“ → „Parameter“ → „Variablen (.Pnnn)“:

In diesem Fenster wurden alle Bedienparameter (P40-P49) als lokale Variablen definiert. Dadurch werden alle Bedienparameterwerte am Regler belassen. Falls

diese nicht als lokal definiert wären, würden sie beim Download auf den Regler mit dem Defaultwert 0 überschrieben.

- (6) „Einstellungen“ → „COMPAX -Typ“:

In dieser Eingabemaske ist die Reglertypen zu wählen. Da der Regler die Type 0200-M aufweist wurde „COMPAX XX00“ eingestellt.

- (7) „Übertragen“:

Unter Schnittstelle und Baudrate sind die gleichen Werte wie in den Reglereinstellungen (COM1, 9600) auszuwählen um eine Übertragung zu ermöglichen.

Mit „Download“ wird das erstellte Programm auf den Regler geladen und das am Regler vorhandene überschrieben. Die am Regler eingestellten Bedienparameter werden allerdings, weil als lokal gespeichert, behalten.

- (8) „Datei“:

In diesem Menü findet sich neben den üblichen Funktionen wie „Speichern“ und „Laden“ auch die „Ende“-Funktion. Der Editor darf nur mit dieser Funktion beendet werden. Wenn der Editor mit Hilfe des „Close“-Icons (9) geschlossen wird, kommt es zu keiner Freigabe der Schnittstelle welche für die Bedienung notwendig ist.

3.3.2. Überblick -Messfahrt

Die Prüfstandsroutine des erstellten Files „REIB_V9.CPX“ beschreibt den Bewegungsablauf des Prüfstandes und ist am Regler abgelegt. Diese Routine beinhaltet die Einstellbewegung, den eigentlichen Messhub und die Rückstellbewegung. Um die Bewegung zu starten ist es notwendig im Servo Terminal den Button 8 „Messzyklus durchführen“, siehe Abbildung 3-5 zu betätigen.

```

N001: REPEAT .P40
N002: IF E9 = 1 GOTO 18

N003: SPEED .P46
N004: ACCEL 1000 msec
N005: POSR -30 mm
N006: WAIT 1000 msec
N007: POSR 30 mm

N008: WAIT .P44

N009: SPEED .P41
N010: ACCEL .P42
N011: POSR .P48

N012: WAIT .P44

N013: SPEED .P46
N014: ACCEL .P45
N015: POSR 30 mm SPEED .P43
N016: POSR .P49

N017: WAIT .P44

N018: END
N019: END

```

Abbildung 3-7 Reib_V9.cpx

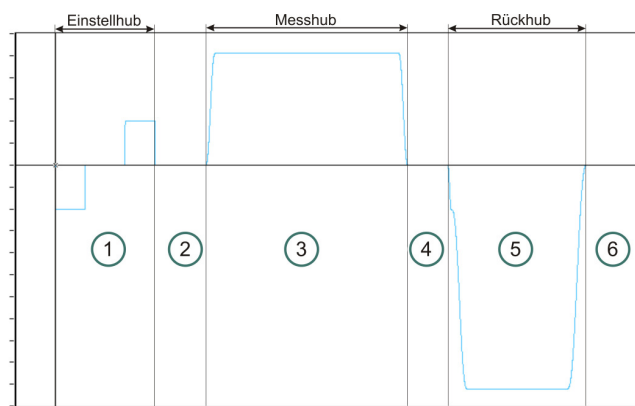


Abbildung 3-8 Reib_V9.cpx idealer v(t)

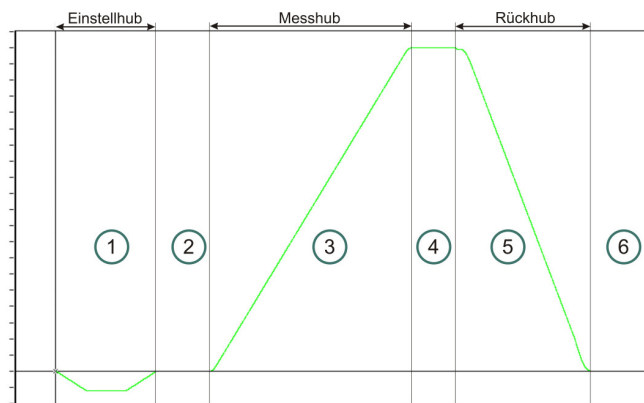


Abbildung 3-9 Reib_V9.cpx idealer s(t)

3.3.3. Teilschritte der Messfahrten

In diesem Kapitel werden jene in Abbildung 3-7, 3-8 und 3-9 gekennzeichneten Teilschritte erläutert.

3.3.3.1. REPEAT-Schleife (siehe Abbildung 3-7 Punkt 0)

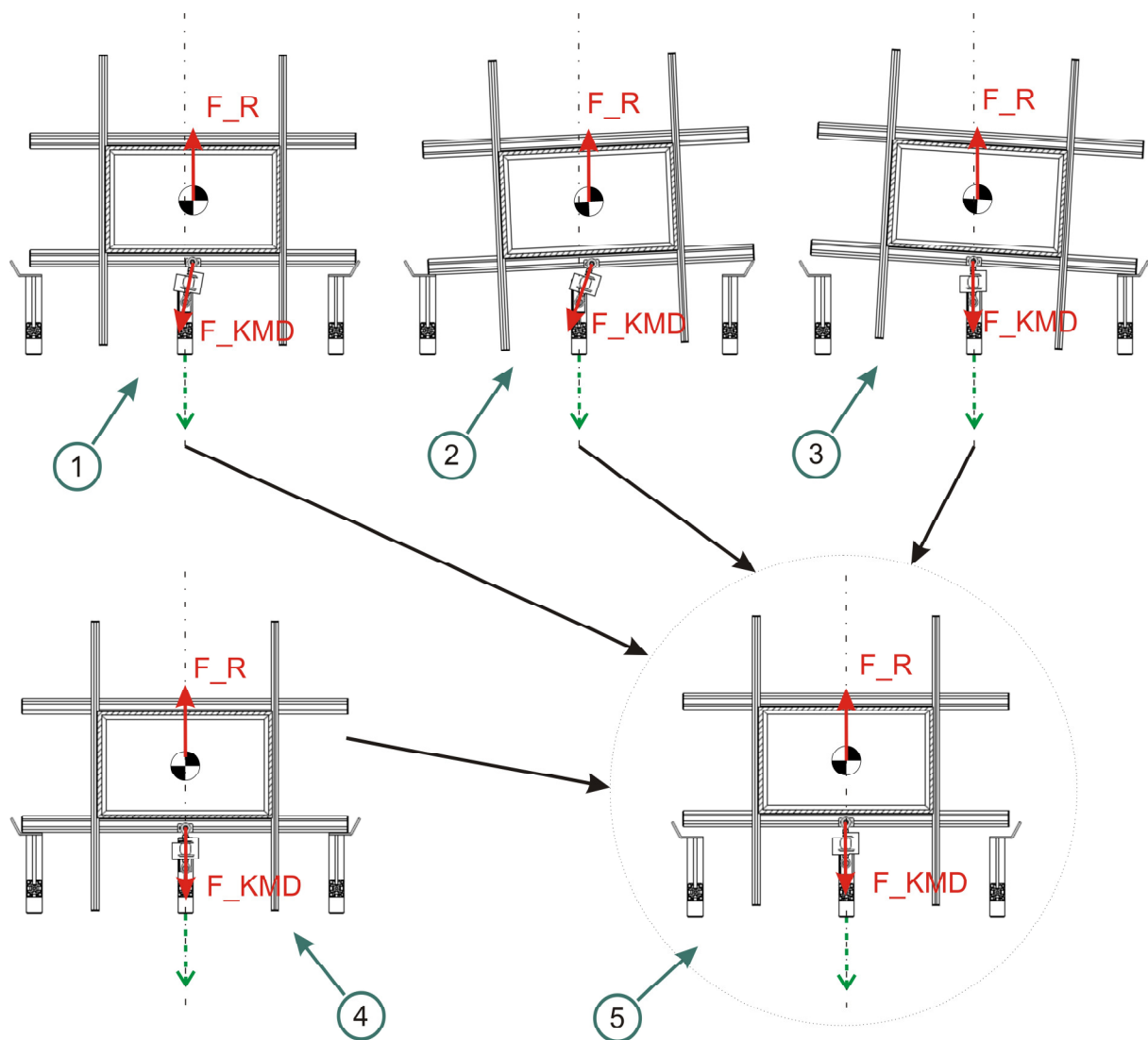
Um mehrere Messungen mit den gleichen Parametern hintereinander auszuführen ist eine Schleife notwendig. Diese beginnt in Zeile N001 und endet in Zeile N020. Damit ist das gesamte Bewegungsprofil abgedeckt. Der Schleifenparameter P40 gibt an, wie oft die Schleife durchlaufen werden soll.

Der an der Servosteuerung am Eingang E9 anliegende induktive Näherungssensor ermittelt ob sich der Schlitten wirklich in der Nulllage befindet. Wenn die Schlittenposition nicht mit dem Startpunkt übereinstimmt, wird der Eingang E9 auf E9=1 geschaltet. Mit Hilfe der Abfrage in Zeile N002 wird der Status des Sensoreingangs abgefragt. Wenn am Eingang der Wert 1 anliegt, befindet sich der Schlitten außerhalb des Nullpunktes und es erfolgt ein Sprung in die Zeile N020. Damit wird die Schleife ohne jegliche Bewegung beendet. Falls E9=0 anliegt wird die Schleife ausgeführt. Der „END“ Befehl in der letzten Zeile beendet das Programm.

3.3.3.2. Einstellhub (siehe Abbildung 3-8 Punkt 1)

Da es zu Beginn des Prüfzyklus keine Gewährleistung dafür gibt, dass die Kraftmessdose in Wirkrichtung des Schlittens auf Zug beansprucht ist, muss vor dem eigentlichen Prüfzyklus eine Einstellbewegung erfolgen. In diesem Hub wird die an der Kraftmessdose anliegende Kraft in eine Ebene mit der auf den Prüfkörper wirkenden Reibungskraft gebracht. Dadurch sind die gemessene Kraft und die Reibungskraft identisch. In weiterer Folge wird die Kraftmessdose vorgespannt um einem plötzlichen Beschleunigungsruck entgegenzuwirken.

In Abbildung 3-10 sind mögliche Stellungen des Kistenhalters zum Schlitten dargestellt. Die Stellungen (1), (2) und (3) kennzeichnen mögliche maximale Ausgangslagen, welche nach dem Arretieren des Kistenhalters entstehen können. In Stellung (4) ist die Lage nach dem Rückhub ersichtlich. Die optimale Konstellation von Schlitten-Kraftmessdose-Prüfkörper ist in Abbildung 3-10 (5) ersichtliche. Die Kraftmessdose ist auf Zug beansprucht und der Schwerpunkt des Prüfkörpers liegt in einer Ebene mit der Wirkrichtung des Schlittens.



F_R ... Reibungskraft Prüfkörper

F_{KMD} ... an Kraftmessdose gemessene Kraft

Abbildung 3-10 mögliche Schiefstellungen des Kistenhalters

Ausgangslagen, siehe Abbildung 3-10:

- (1) Der Kistenhalter steht normal auf die Wirkrichtung des Schlittens, allerdings ist ein Versatz nach rechts ersichtlich. Dieser bedingt, dass an der Kraftmessdose nicht der Betrag der Reibungskraft gemessen wird, sondern lediglich eine Kraftkomponente.
- (2) Diese mögliche Konstellation kann dadurch entstehen, dass Kistenhalter und Kraftmessdose schief stehen. Dadurch vergrößert sich der Winkel zwischen Wirklinie und Kraftsensor und die gemessene Kraft wird kleiner.
- (3) In dieser Stellung befindet sich die Kraftmessdose in einer optimalen Lage, allerdings nicht der schief stehende Kistenhalter.

Falls die Messung aus diesen Ausgangslagen gestartet wird, stellt sich erst nach einiger Zeit das Messoptimum (5) ein. Dieses Einstellen beinhaltet eine Drehbewegung der Kiste und damit der Kraftmessdose bis sie in Wirkrichtung mit dem Schlitten liegt. Die an dem Kraftsensor gemessene Kraft stimmt nicht mit der Reibkraft überein und dadurch wird die Messung der Haftreibung verfälscht.

- (4) In der Lage nach dem Rückhub liegt zwar eine optimale Konstellation vor, allerdings gilt $F_R = F_{KMD} = 0$ da sich die Kraftmessdose nicht auf Zug befindet. Wenn die Messung aus dieser Lage gestartet wird, bleibt der Prüfling trotz der einsetzenden Schlittenbewegung am Ausgangsort. Dies ist dadurch bedingt, dass die Kraftmessdose im Rückhub, mittels Gleitschlitten, aus dem Kraftfluss entkoppelt ist. Erst nachdem der Gleitschlitten durch die Schlittenbewegung in seine Messposition gebracht wurde, wird die Kraftmessdose in den Fluss geschaltet. Durch die plötzliche Beschleunigungsänderung entsteht eine Kraftspitze, welche nicht nur zu einem falschen Haftreibungswert, sondern auch zu einer unnötig hohen Belastung der Prüfstandskomponenten führt.
- (5) Nach der Einstellbewegung liegt ein Vorspannen der Kraftmessdose vor und die Wirkrichtungen aller Komponenten liegen in einer Ebene. Durch die Vorspannung kommt es nicht zu einem Ruck wie in Punkt (4) und durch die Lage der Wirkrichtungen ist eine Fehlmessung der Haftreibung unterbunden. Es gilt $F_R = F_{KMD}$.

Folgende Messungen sollen die Auswirkungen von Punkt (4) im Vergleich zu Punkt (5) illustrieren:

Prüfling: Kiste A 300 Ship 4
 Unterlage: Stahlblech, nach sehr vielen Prüfungen
 Gesamtgewicht: 14,92 kg
 Motorgeschwindigkeit: 0,1 m/s
 Weg: 700 mm
 Legende:



Abbildung 3-11 Messung ohne Einstellhub

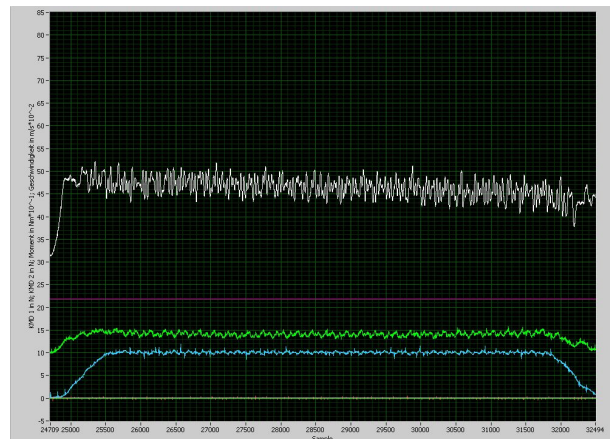


Abbildung 3-12 Messung mit Einstellhub

In Abbildung 3-11 sieht man deutlich einen hohen Kraftpeak von 82 N bei Sample 2.683, welcher fälschlicherweise als Haftreibungskraft interpretiert werden kann. Dieser Peak ist auf die plötzliche Beschleunigung des Prüfkörpers zurückzuführen. Der Schlitten ist 30 mm verfahren bis die Kraftmessdose und damit die Kiste in den Kraftfluss gekoppelt wurden. Hier ist auch ein kurzfristiges Einbrechen in der Geschwindigkeit beziehungsweise ein leichter Spitzenwert im Moment ersichtlich.

Im Vergleich dazu gibt es in Abbildung 3-12 keine derartigen Spitzen. Aufgrund des Materialverschleißes und des darauf folgenden Säuberns ist aber auch keine ausgeprägte Haftreibungskraft ersichtlich. Die Differenz zwischen den beiden Haftreibungsmesswerten beträgt zirka 35 N. Dies entspricht einem Haftreibkoeffizienten von 0,24.

In dem Mess- und Auswertprogramm „Reibungsprüfstand“ wurde ein automatischer Trigger implementiert. Dieser arbeitet mit der Geschwindigkeit als Referenz. Um Fehlfunktionen des Triggers zu vermeiden ist es unumgänglich die Geschwindigkeit des Einstellhubes P46 um ein vielfaches kleiner zu wählen als die Geschwindigkeit des Messhubes P41 zum Beispiel $P46 = P41 \cdot 10^{-2}$. Des Weiteren kommt es bei diesen sehr kleinen Geschwindigkeiten zu einer geringeren Belastung der Prüfstandsmechanik, da ein plötzliches Auffahren der Seitenstößel auf den Kistenhalter und ein schnelles in Kontakt treten von Kraftmessdose und Schlitten vermieden wird.

3.3.3.3. Wartezeit P44 (siehe Abbildung 3-7 Punkt 2, 4 und 6)

Die Wartezeiten nach dem Einstellhub, dem Messhub und dem Rückhub haben sich in Hinsicht auf Identifizierbarkeit und Zuordnung der aufgezeichneten Messkurven bewährt. In der Triggerung ist die Wartezeit vor und nach dem Messhub von Belang, da in dieser Zeit jene Samples gesucht werden, in welchen die Messung startet beziehungsweise endet. In

dieser Zeit ist auch ein allmähliches Absinken des Motormoments ersichtlich und es klingen mögliche anfängliche Schwingungen aus. Das Absinken des Motormoments bewirkt bei Messungen an der Belastungsgrenze allerdings keine zufrieden stellende Auswirkung in Hinsicht auf die mögliche Prüflänge.

Um dies zu verdeutlichen wurden mehrere Messungen mit einem Gewicht von 50,94 kg durchgeführt. Der Hintergrund dieser Messungen war die Ermittlung, wie weit die Prüfkiste bei veränderter Wartezeit am Beginn des Messhubes gezogen wird, bis die Servosteuerung eine Überlastung meldet und den Motor abstoppt.

Prüfling: Kiste A 300 Ship 4
 Unterlage: Stahlblech verzinkt
 Gesamtgewicht: 50,94 kg
 Motorgeschwindigkeit: 0,1 m/s



Abbildung 3-13 Wartezeit am Anfang

Tabelle 3-3 Wartezeit und zurückgelegter Weg

Messung Name	Wartezeit P44 in ms	zurückgelegter Weg in mm
A 300 Ship 4 vs Stahlblech wartezeit_2.tdms	1.000	793
A 300 Ship 4 vs Stahlblech wartezeit_3.tdms	2.000	791
A 300 Ship 4 vs Stahlblech wartezeit_4.tdms	3.000	706
A 300 Ship 4 vs Stahlblech wartezeit_5.tdms	4.000	566
A 300 Ship 4 vs Stahlblech wartezeit_6.tdms	5.000	493

Man sieht in diesen Vergleichsmessungen deutlich einen Momentenabfall zwischen 3.500 und 3.500 + „Wartezeit P44“ Samples. Der zurückgelegte Weg wurde aus dem Terminal ausgelesen und sinkt deutlich mit steigendem Wert in P44. Daraus ist ersichtlich, dass eine zu hoch gewählte Wartezeit einen negativen Einfluss auf die Länge des Messhubes bewirkt.

3.3.3.4. Messhub (siehe Abbildung 3-7 Punkt 3)

Im Messhub wird die Kraftmessdose auf Zug beansprucht und die Reibungskraft des Prüfkörpers gemessen. Die Prüflänge P48 muss so gewählt werden, dass es zu keinem Überfahren des motorseitigen Endschalters kommt.

Die Prüfgeschwindigkeit P43 darf einen Wert zwischen 0 und 10 % aufweisen. Dies entspricht einer Motorgeschwindigkeit von 0 beziehungsweise zirka 0,4 m/s. Falls nicht anders gewünscht sollte der Beschleunigungszeitparameter P42 einen Wert aufweisen, bei welchem kein Überschwingen zu beobachten ist.

Das Überschwingen soll durch eine Vergleichsmessung mit verschiedenen P42-Werten illustriert werden:

Geschwindigkeit: 0,2 m/s
Gewicht: 14,96 kg
gesamter Weg: 700 mm

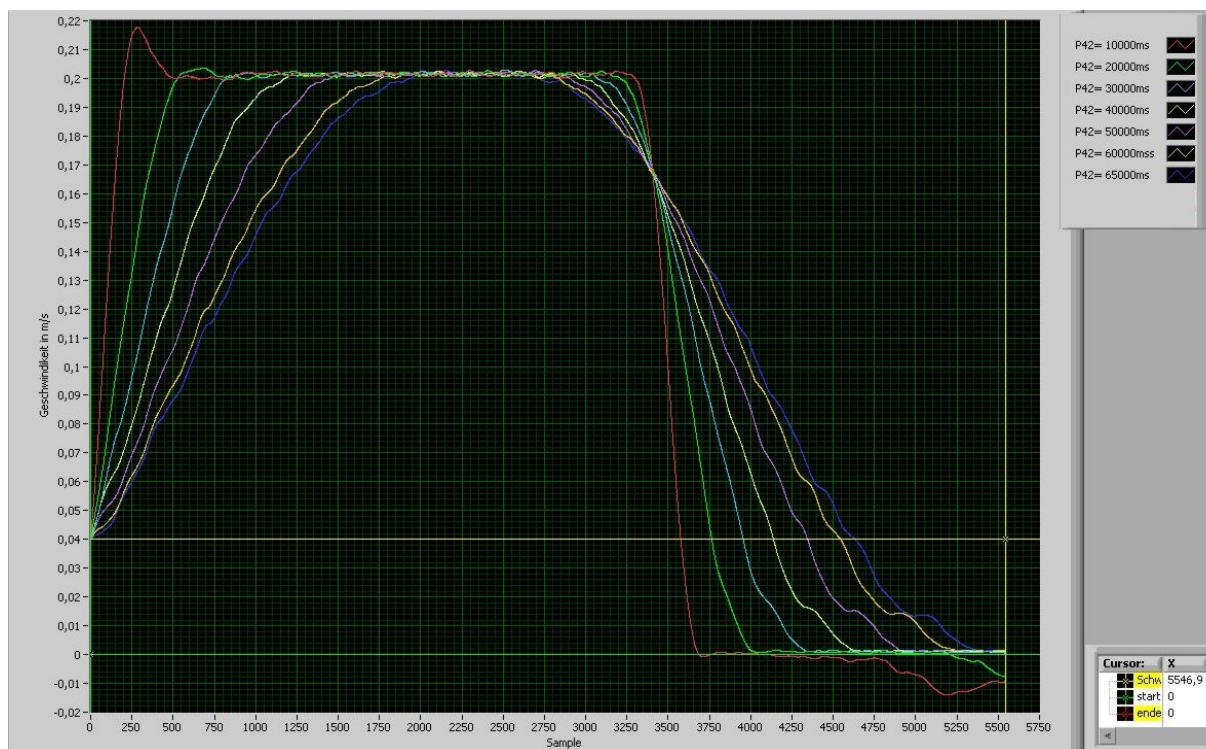


Abbildung 3-14 Vergleich Beschleunigungszeitparameter ACCEL

Man sieht deutlich, dass bei einem kürzeren Beschleunigungszeitparameter P42=10.000 ms (entspricht in Realität 500 ms, siehe Tabelle 3-1 „ACCEL“) ein deutlich stärkeres Überschwingen zu beobachten ist, als etwa bei P42=65.000 ms (entspricht 3.250 ms). Um allerdings den Beschleunigungsweg möglichst kurz und damit den Weg bei konstanter Geschwindigkeit möglichst lang zu halten, wurden Beschleunigungszeiten zwischen 20.000 und 30.000 ms genommen. Diese Zeiten sollten jedoch vor jeder Messung überdacht werden, da sich hierdurch ein anderer Beschleunigungsweg ergibt und dieser möglicherweise die Prüflänge überschreitet. In Tabelle 3-4 befindet sich eine exemplarische Gegenüberstellung der Beschleunigungswegen für 0,1 und 0,4 m/s:

Tabelle 3-4 Beschleunigungswege

	P41=0,1 m/s	P41=0,4 m/s
P42=20.000 ms	24 mm	392 mm
P42=25.000 ms	31 mm	490 mm
P42=30.000 ms	37 mm	588 mm

Bei großen Beladungen oder bei einer hohen erwarteten Reibung ist darauf zu achten, dass der Prüfweg und die damit verbundene Prüfzeit nicht zu groß gewählt werden. Dies ist darin begründet, dass eine große Beladung auch ein großes Motormoment hervorruft und dadurch der Motor in Überlast betrieben wird. Das ist von Motor und Servosteuerung nur für eine kurze Zeit zulässig. Messungen, in welchen dauerhaft Kräfte über 160 N aufgetreten sind, führten zu einer Überlastabschaltung nach zirka 8-10 Sekunden.

Als Geschwindigkeitsprofil wird die „ruckfreie Rampe“ gewählt. Dieses Geschwindigkeitsprofil weist einen stetig differenzierbaren Beschleunigungsverlauf auf. Dadurch werden negative Erscheinungen wie „Ruck“ und „Stoß“ vermieden, welche zu hohen Belastungen und unerwünschten dynamischen Phänomen führen würden.

Die Funktion der Beschleunigung folgt einem Polynom vierter Ordnung, welche durch die Integration nach der Zeit ein Polynom fünfter Ordnung für die Geschwindigkeit in der Beschleunigungsphase ergibt.

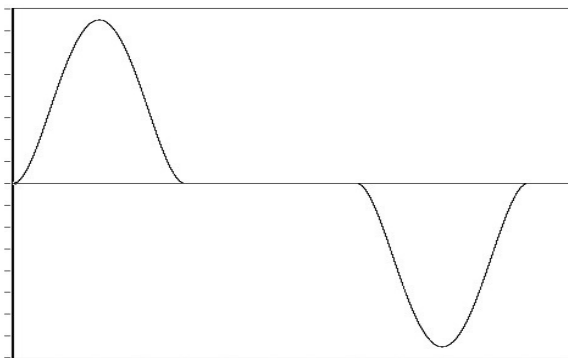


Abbildung 3-15 a(t) ideal

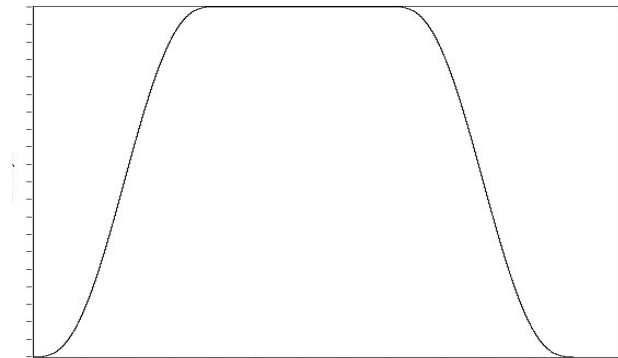


Abbildung 3-16 v(t) ideal

Beschleunigungsphase ([HAF10a], S.3-28):

$$a_{acc}(t) = a_{max} * (16 * (\frac{t}{T_{acc}})^4 - 32(\frac{t}{T_{acc}})^3 + 16(\frac{t}{T_{acc}})^2)$$

$$v_{acc}(t) = a_{max} * (\frac{16}{5} * \frac{t^5}{T_{acc}^4} - 8 \frac{t^4}{T_{acc}^3} + \frac{16}{3} \frac{t^3}{T_{acc}^2})$$

$$v_{max} = \frac{8}{15} * a_{max} * T_{acc}$$

$$s_{acc}(t) = v_{max} * (\frac{t^6}{T_{acc}^5} - 3 * \frac{t^5}{T_{acc}^4} + \frac{5}{2} * \frac{t^4}{T_{acc}^3})$$

Beschleunigung = 0 = konstant

$$a_{konst} = a_{acc}(t = T_{acc}) = 0$$

$$v_{konst} = v_{max}$$

$$v_{max} = v_{acc}(t = T_{acc})$$

$$s_{konst}(t) = v_{max} * t$$

Verzögerungsphase

$$a_{dec}(t) = -a_{max} * \left(16 * \left(\frac{t}{T_{dec}}\right)^4 - 32 * \left(\frac{t}{T_{dec}}\right)^3 + 16 * \left(\frac{t}{T_{dec}}\right)^2\right)$$

$$v_{dec}(t) = -a_{max} * \left(\frac{16}{5} * \frac{t^5}{T_{dec}^4} - 8 * \frac{t^4}{T_{dec}^3} + \frac{16}{3} * \frac{t^3}{T_{dec}^2}\right) + v_{max}$$

$$v_{max} = v_{acc}(t = T_{acc})$$

$$s_{dec}(t) = v_{max} * \left(\frac{t^6}{T_{acc}^5} - 3 * \frac{t^5}{T_{acc}^4} + \frac{5}{2} * \frac{t^4}{T_{acc}^3}\right) + v_{max} * t$$

Dies ergibt mit den folgenden Zahlenwerten die Idealverläufe:

Geschwindigkeit v_{max} : 0,1 m/s

Beschleunigungszeit T_{acc} : 10 s

gesamter Weg POSR: 2 m

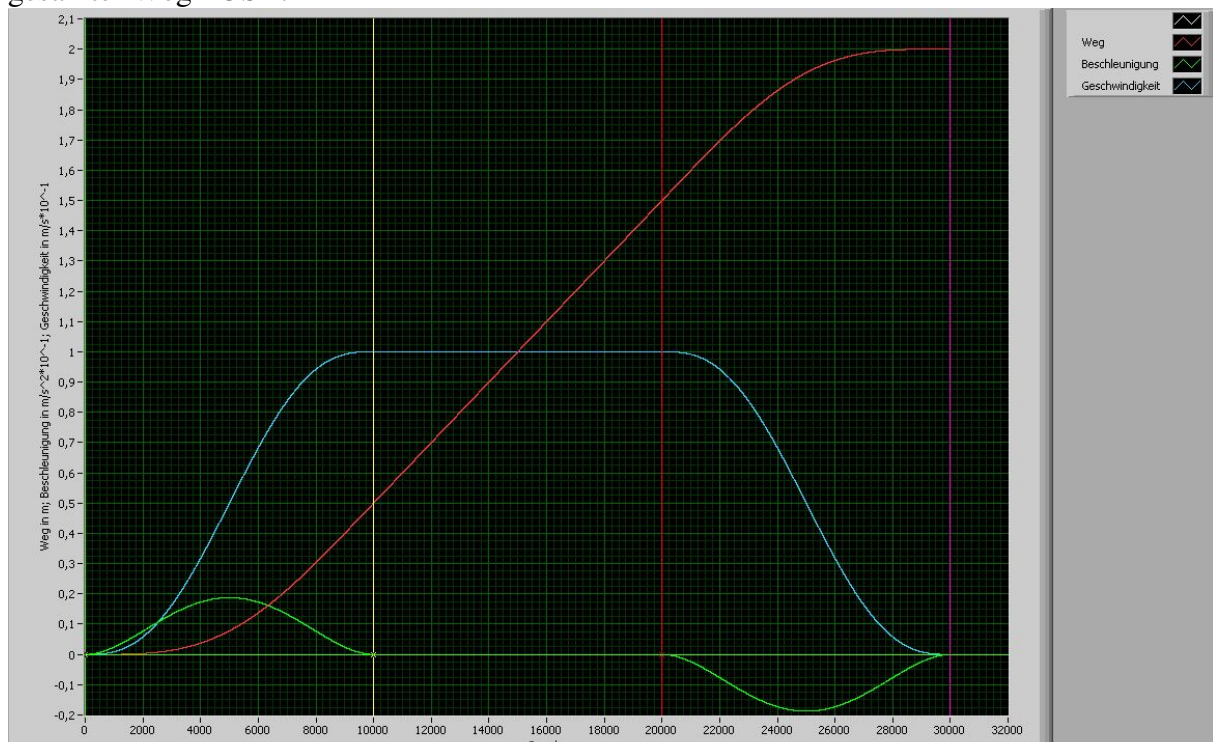


Abbildung 3-17 a(t), v(t), s(t) ideal

Man sieht in Abbildung 3-17 deutlich einen ausgeprägten Bereich, in welchem die Geschwindigkeit konstant ist. Dieses Plateau ist speziell für die Untersuchungen der Gleitreibung wichtig, da in die Messungen keine Beschleunigungen einfließen. Außerdem lässt sich die Reibung einer Geschwindigkeit zuordnen.

Um einen Bereich konstanter Geschwindigkeit überhaupt zu erreichen muss $2 \cdot s_{acc}(T_{acc})$ kleiner als der zu verfahrenende Weg sein. Dies ergibt folgende Bedingung:

$$v_{max} \cdot T_{acc} < PosR$$

- Grenze

Geschwindigkeit v_{max} : 0,1 m/s

Beschleunigungszeit T_{acc} : 20 s

gesamter Weg POSR: 2 m

$$v_{max} \cdot T_{acc} \leq PosR \quad 0,1 \left[\frac{m}{s} \right] * 20[s] = \underline{\underline{2[m]} < 2[m]} \text{ Bedingung gerade nicht erfüllt!}$$

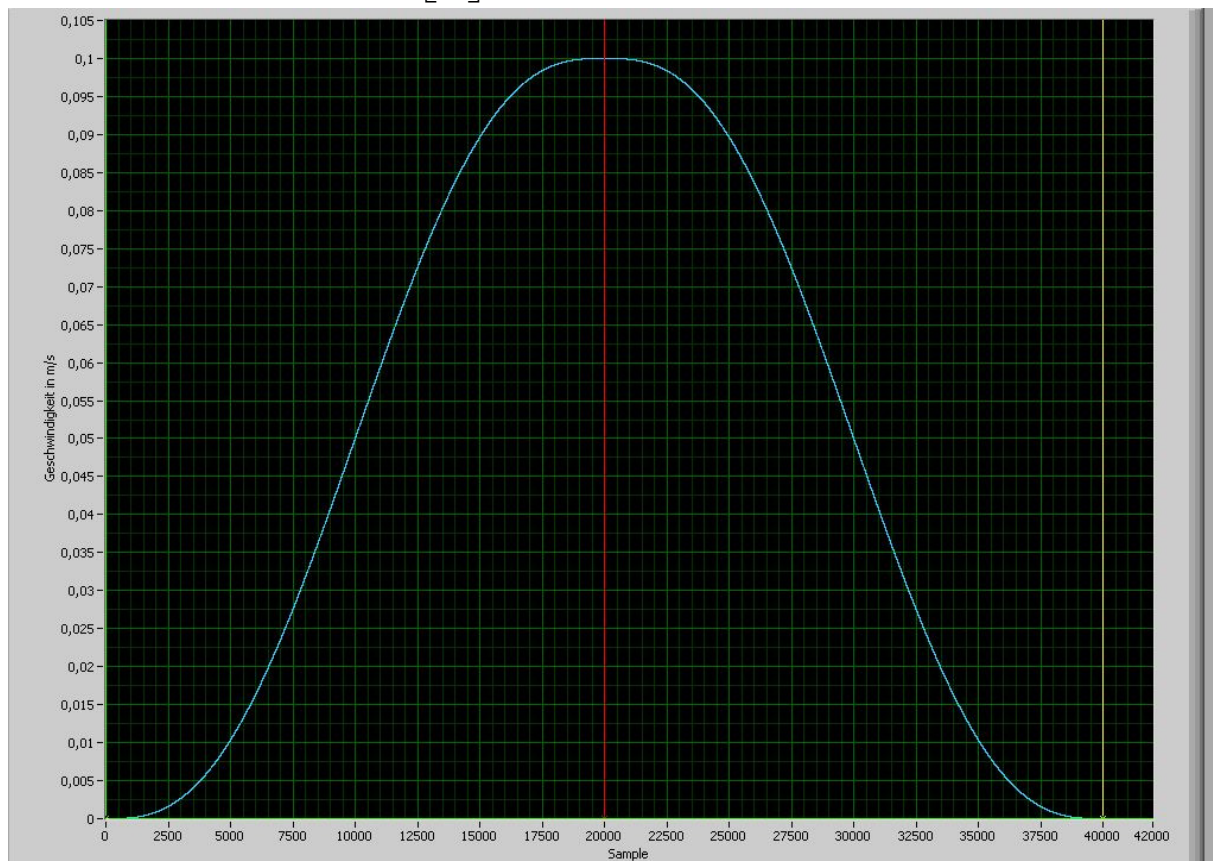


Abbildung 3-18 $v(t)$ ideal, ohne konstanten Bereich

Die geforderte Geschwindigkeit von 0,1 m/s wird gerade noch erreicht. Ein ausgeprägter Bereich konstanter Geschwindigkeit fehlt allerdings. Dies liegt daran, dass auf die Beschleunigungsphase direkt die Verzögerungsphase folgt.

- Außerhalb des zulässigen Bereichs

Geschwindigkeit v_{\max} : 0,1 m/s

Beschleunigungszeit T_{acc} : 60 s

gesamter Weg POSR: 2 m

$$v_{\max} * T_{\text{acc}} \leq \text{PosR} \quad 0,1 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * 60[\text{s}] = \underline{\underline{6[\text{m}]}} < \underline{\underline{2[\text{m}]}} \quad \text{Bedingung nicht erfüllt!}$$

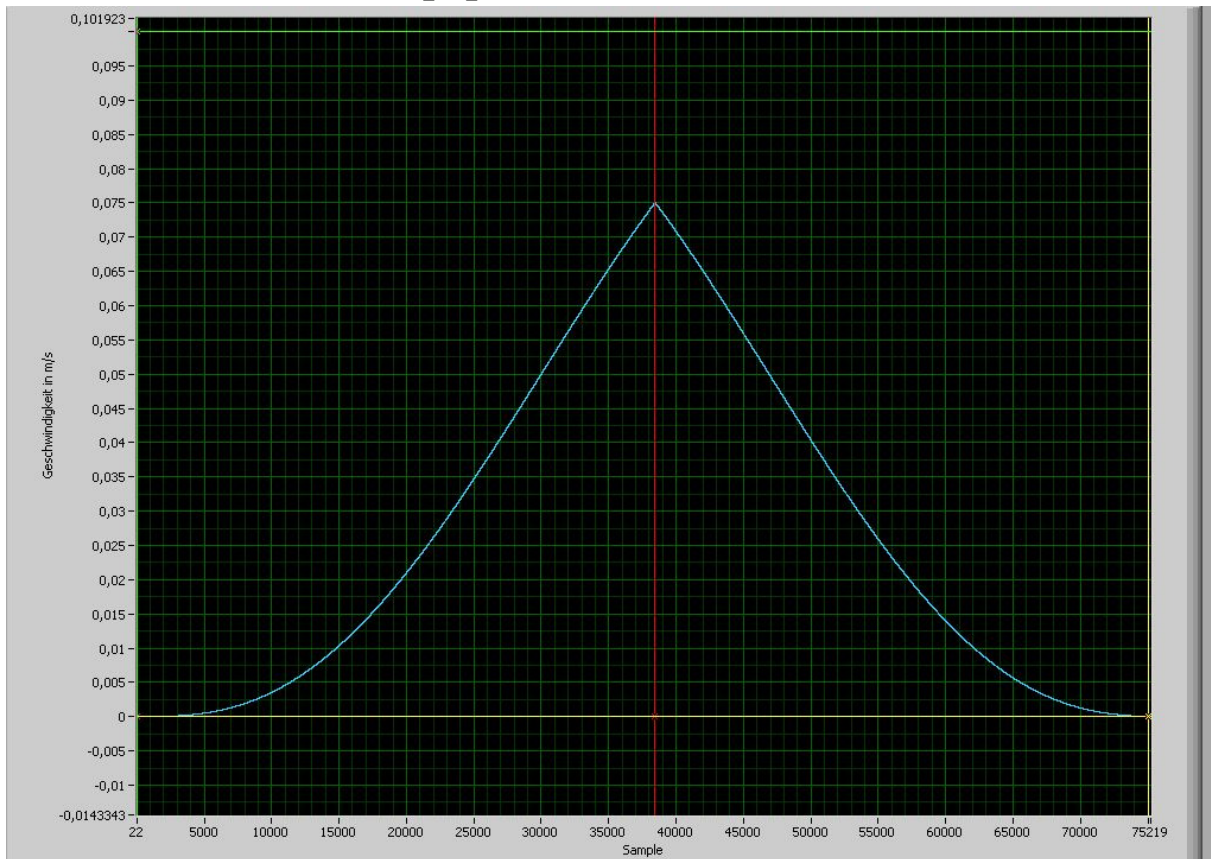


Abbildung 3-19 $v(t)$ ideal, Spitze

In Abbildung 3-19 sieht man sehr deutlich, dass weder die geforderte Geschwindigkeit von 0,1 m/s erreicht wird, noch ein Plateau existiert. Aus diesem Grund sollten solche Parametereinstellungen vermieden werden, wenn die Gleitreibung gemessen werden soll.

3.3.3.5. Rückhub (siehe Abbildung 3-7 Punkt 5)

Der Rückhub ist notwendig, damit der Prüfkörper wieder in die Ausgangsposition gebracht wird. Ähnlich dem Einstellhub ist auch beim Rückhub eine Einstellbewegung ersichtlich, in welcher der Kistenrahmen gefangen und die Kraftmessdose aus dem Kraftfluss entkoppelt wird. Diese Bewegung ist im Rückhub integriert um einer unnötigen Verkürzung der Prüflänge entgegenzuwirken. Hierfür werden zwei Geschwindigkeitsstufen verwendet. In der ersten verfährt der Schlitten in negative Richtung um 30 mm um den Rahmen zu fangen, um danach in der zweiten Stufe die Ausgangslage zu erreichen.

In diesem Hub kann man die Geschwindigkeit höher und die Beschleunigungszeit niedriger wählen als im Messhub, um den Ausgangspunkt schneller zu erreichen.

3.4. Eingestellte Parameter (Motorregler, Messfahrt)

Um den Motor mit Hilfe der Servosteuerung anzusprechen war es notwendig diese zu konfigurieren. Hierfür wurde der „Hauser Parameter Editor“ verwendet. Dieser ähnelt in seinem Aufbau und der Bedienung dem vorherigen Programmierer. Die nachfolgende Parameternaufzählung ist im File „1_V20_V6.RPA“ hinterlegt. Die Bedeutung sowie die Standardwerte wurden dem COMPAX Benutzerhandbuch (vgl. [HAU95], S.48-50) entnommen.

3.4.1. Ersatz- und Vorgabewerte eines Bewegungsvorganges

Tabelle 3-5 Parameter Ersatz- und Vorgabewerte

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P2	Standard-Geschwindigkeit SPEED	10 %	5 %
P6	Standard-Rampenzeit ACCEL	1.000 ms	25.000 ms

Diese Parameter dienen als Standardparameter wenn keine Geschwindigkeit und keine Beschleunigungszeit eingestellt wurden und der Schlitten dennoch in Bewegung versetzt wird. Ein SPEED von 10 % entspricht einer Motorgeschwindigkeit von 0,4 m/s und eine eingestellte ACCEL von 1.000 ms entspricht einer Rampenzeit von 100 ms. Durch diese Konfiguration würde sehr schnell auf die maximale Prüfstandsgeschwindigkeit beschleunigt. Das würde eine sehr große Belastung aller Antriebskomponenten hervorrufen und könnte Personenverletzungen nach sich ziehen.

Da diese beiden Parameter eher Absicherungscharakter aufweisen sollen, falls vergessen wurde eine Geschwindigkeit beziehungsweise eine Beschleunigungszeit einzustellen, sind sie auf moderate Werte von 5 % (0,2 m/s) und 25.000 ms (1.250 ms) gesetzt. Die Umrechnung wurde in Tabelle 3-1 gezeigt.

3.4.2. Grenzwertvorgabe der Bewegungsparameter

Tabelle 3-6 Parameter Begrenzungen

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P11	max. Position	+4*106 mm	1.700 mm
P12	min. Position	-4*106 mm	-1.700 mm
P13	max. zulässige Schlepptoleranz	10 mm	10 mm
P15	Drehzahlgrenze	100 %	10 %
P16	Drehmomentgrenze	200 %	300 %

Um den Prüfstandsbediener davor zu bewahren eine Geschwindigkeit über der maximalen Prüfstandsgeschwindigkeit einzustellen wird eine Drehzahlgrenze bei 10 % gesetzt. Um Messungen bei höheren Belastungen durchzuführen wird die Drehmomentgrenze auf den maximalen Wert 300 % gestellt.

Die Wegbegrenzungen P11 und P12 sind die absoluten Maximalwerte, welche im Prüfstand

ohne Schlitten möglich wären. Sie wurden verwendet um den Benutzer vor einer Fehleingabe zu bewahren. Eine tatsächliche Wegbegrenzung übernehmen die Endschalter.

3.4.3. Optimierungsparameter (Regler)

Tabelle 3-7 Optimierungsparameter des Reglers

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P23	Steifigkeit des Antriebs	100 %	70 %
P24	Dämpfung Drehzahlregler	100 %	120 %

Die prinzipielle Wirkung dieser Parameter ist in Abbildung 3-20 und 3-21 (vgl. [HAU95], S. 31) ersichtlich.

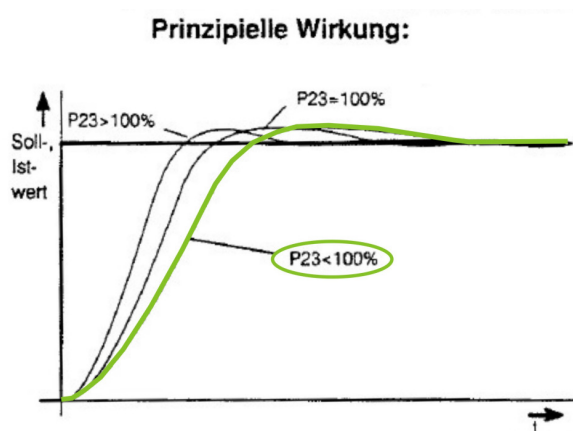


Abbildung 3-20 Wirkung P23

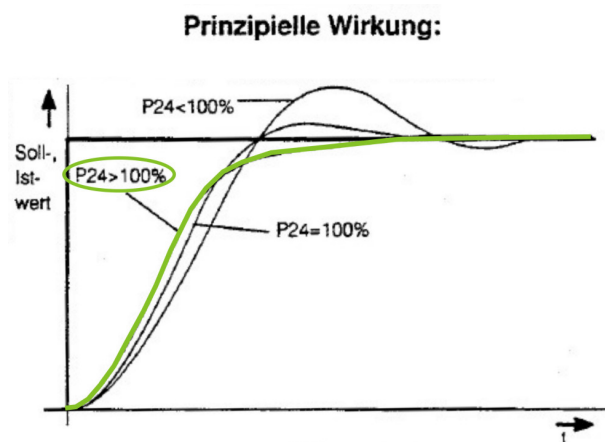


Abbildung 3-21 Wirkung P24

Um die Regelung zu optimieren, wurden diverse Versuche durchgeführt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass möglichst kein Überschwingen zu Stande kommt. Dieses hätte sich im Prüfstandsbetrieb negativ ausgewirkt da die Messzeit um die Einschwingzeit unnötig verkürzt worden wäre.

Die Steifigkeit, welche proportional zur Regelschnelligkeit (Anstiegszeit) ist, wird auf einen Wert kleiner 100 % gesetzt. Damit ist die Regelung langsamer aber auch der Schleppfehler (Abweichung zwischen Ist- und Sollposition) minimal größer. Da die Dämpfung die Höhe des Überschwingens beziehungsweise das Abklingen von Schwingungen beeinflusst, wird dieser Wert erhöht. (vgl. [HAU95], S. 31)

Versuche zeigten, dass der Schleppfehler im Bereich der maximal zulässigen Schlepptoleranz von $P13=10$ mm blieb. Des Weiteren zeigte sich auch, dass durch die längere Anstiegszeit keine Einbußen in der Rampengenauigkeit auftraten.

Bei beiden Parametern ist darauf zu achten, dass ab einem kritischen Wert der Regelkreis zu schwingen anfängt. Die Resonanzerscheinungen äußern sich im Stillstand des Prüfstandes durch ein Zittern der Mechanik und durch Geräusche. Da die Resonanz zu Beschädigungen führen könnte und Geräusche störend sind, wurde durch Versuche gezeigt, dass beide Parameter unter 200 % bleiben sollten.

3.4.4. Bedienparameter - Messfahrt

Tabelle 3-8 Parameter Bedienparameter

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P40	Wiederholungen	0	1
P41	SPEED Messhub	0	2,45 %
P42	ACCEL Messhub	0	45.000 ms
P43	SPEED Rückhub	0	5 %
P44	Wartezeit nach Hub	0	1.000 ms
P45	ACCEL Rückhub	0	45.000 ms
P46	SPEED Einstellhub	0	0,2 %
P47	-	0	1
P48	mm Messhub	0	500 mm
P49	mm Rückhub	0	-500 mm

Die Bedienparameter wurden bereits in Kapitel 3.2.4. beschrieben

3.4.5. Parameter für den D/A-Monitor

Tabelle 3-9 Parameter D/A-Monitor

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P71	Verstärkung D/A-Monitor 1	5	40
P72	Verstärkung D/A-Monitor 2	10	40
P73	Adresse D/A-Monitor 1	4	4
P74	Adresse D/A-Monitor 2	15	15

Mit Hilfe des D/A-Monitors werden zwei analoge Ausgangskanäle zur Verfügung gestellt. Jene in Tabelle 3-9 genannten Parameter beeinflussen diese Kanäle (Adresse und Verstärkung) des Reglers. Der Parameter P73=4 entspricht dem Drehzahl-Istwert und der Parameter P74=15 entspricht dem Istwert des Querstroms, welcher in das Motormoment umgerechnet werden kann. Mit P73 und P74 wären noch eine Vielzahl anderer Ausgangsgrößen ermittelbar, siehe ([HAU95], S. 60).

Die Ausgabegrößen müssen aufgrund ihrer geringen Spannung verstärkt werden. Da diese Größen jedoch nicht mit Hilfe eines externen Messverstärkers skaliert werden, ist es nötig sie mittels P71 und P72 zu verstärken. Hier ist darauf zu achten, dass die Signale im Messbereich +/- 10 V bleiben. Ansonsten würden die Signale auf Höhe dieser Grenzwerte abgeschnitten. Die Verstärkungsfaktoren müssen auch in dem Mess- und Auswerteprogramm eingestellt werden. Um die Verstärkungsfaktoren zu ändern muss in der COMPAX Steuerung der Passwortschutz mit „go620“ aufgehoben werden.

Im Anschluss an die Messwerterfassung soll eine Berechnung der Messbereichsgrenzwerte von Moment und Geschwindigkeit mit Hilfe der oben genannten Faktoren erfolgen. Die Umrechnungen in die physikalischen Größen der Messwerte erfolgt nach folgenden Gleichungen ([HAU95], S. 60-61):

$$PG = \frac{MW * BG}{VS * 10[V]}$$

$$\text{Moment} = 3 * \text{Querstrom} * 0,71 * \text{Drehmomentkonst.}$$

PG: Physikalische Größe

MW: Spannung am Ausgangskanal in V

BG: Bezugsgröße

VS: Verstärkungsfaktoren P71 beziehungsweise P72

Es wurde bei beiden Verstärkungsfaktoren 40 eingestellt. Um eine Berechnung der Grenzwerte für Moment und Geschwindigkeit durchführen zu können wurde der Maximale Messwert MW=10 V eingesetzt:

Riemenscheibenumfang	u = 0,28 m
Getriebeübersetzung	i = 4
Drehmomentkonstante	k _t = 0,34 Nm/A

Messwert	MW = 10 V
Verstärkungsfaktoren P71, P72	VS = 40

- Moment:

$$BG=200A$$

$$PG = \frac{MW * BG}{VS * 10[V]} = \frac{10[V] * 200[A]}{40 * 10[V]} = 5[A]$$

$$M = 3 * PG * 0,71 * k_{-t} = 3 * 5[A] * 0,34 \left[\frac{Nm}{A} \right]$$

$$\underline{\underline{M = 3,621Nm}}$$

- Geschwindigkeit:

$$BG=20.000 \text{ min}^{-1}$$

$$PG = \frac{MW * BG}{VS * 10[V]} = \frac{10[V] * 20000[\text{min}^{-1}]}{40 * 10[V]} = 500[\text{min}^{-1}]$$

$$v = \frac{u}{i * 60} * PG = \frac{0,28[m]}{4 * 60} * 500[\text{min}^{-1}]$$

$$\underline{\underline{v = 0,583 \frac{m}{s}}}$$

Im Zuge der Diplomarbeit wurde ein maximales Moment 3,57 Nm gemessen. Aus diesem Grund wird mit einer Grenze von M~3,62 Nm ein ausreichend großer Messbereich abgedeckt. Da die maximale Geschwindigkeit auf v_{max}=0,4 m/s begrenzt ist, ergibt sich mit einer Grenze von v~0,58 m/s ein zufrieden stellender Messbereich.

3.4.6. Konfigurationsparameter des Antriebssystem

3.4.6.1. Konfigurationsparameter der Bewegungsachse

Tabelle 3-10 Parameter Konfiguration

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P80	Antriebstyp	16	8
P82	Zähnezahl	0	28
P83	Zahnteilung	0	10 mm
P84	Trägheitsmoment Getriebe und Kupplung	0	9,41 kg*cm ²
P85	Übersetzung	0	4
P88	max. Masse	0	70 kg
P90	Einheit Wegangabe (dim.)	mm	mm
P92	min. Masse	0	17,5 kg
P94	Rampenform	ruckfrei	ruckfrei

Die Konfigurationsparameter ergeben sich aus den Eckdaten des vorhandenen Reibungsprüfstandes. Der Antrieb ist ein Riementrieb und dies entspricht dem Parameter P80=8. Die Riemenscheibe hat 28 Zähne mit einer Zahnteilung von 10 mm.

Wertebereich Bedingung (nach [HAU95], S. 50):

$$1 \leq \text{Zahnzahl} * \text{Zahnteilung} \leq 300$$

$$\underline{1 \leq 280 \leq 300} \Rightarrow \text{Bedingung erfüllt!}$$

Der Parameter P84 beschreibt die Summe der Trägheitsmomente von Getriebe und Kupplung. Das Trägheitsmoment des Getriebes, welches eine Übersetzung von P84=4 aufweist, wird im Getriebedatenblatt mit $I_{zz_{\text{getriebe}}}=1,51 \text{ kg*cm}^2$ angegeben.

Von der Kupplung ist dieses allerdings unbekannt. Aus diesem Grunde muss es berechnet werden.

Eine erste Abschätzung wurde per Hand durchgeführt. Hierbei ist die Kupplung als ein gelochter Drehzylinder idealisiert und die gesamte Masse gleichmäßig verteilt:

Gesamtmasse der

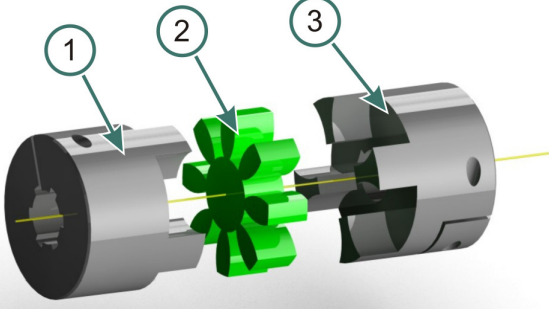
Kupplung: $m= 0,924 \text{ kg}$

Außenradius: $r_a= 4 \text{ cm}$

Innenradius: $r_i= 1,3 \text{ cm}$

$$I_{zz} = \frac{m * (r_a^2 - r_i^2)}{2} = \frac{0,94[\text{kg}] * ((4[\text{cm}])^2 - (1,3[\text{cm}])^2)}{2} \Rightarrow \underline{\underline{I_{zz} = 6,611 \text{ kg} * \text{cm}^2}}$$

Nachdem in dieser Berechnung keine Massenunterschiede und Geometrien Berücksichtigung finden, ist eine Ermittlung des Trägheitsmomentes unter Zuhilfenahme der CAD-Software ProEngineer durchgeführt worden:



$I_{zz_1} = 3.81 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$
$I_{zz_2} = 0.34 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$
$I_{zz_3} = 3.75 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$
$I_{zz_{gesamt}} = \sum I_{zz_i}$
<u><u>$I_{zz_{gesamt}} = 7.94 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$</u></u>

Abbildung 3-22 Kupplung

Das hiermit berechnete Trägheitsmoment stimmt in der Größenordnung mit dem händisch errechneten überein. Jedoch ist der computergenerierte Wert genauer.

Somit ergibt sich für P84:

$$P84 = I_{zz_{gesamt}} + I_{zz_{getriebe}} = 7,94[\text{kg} \cdot \text{cm}^2] + 1,51[\text{kg} \cdot \text{cm}^2]$$

$$\underline{\underline{P84 = 9,41 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2}}$$

Die minimale Masse P92 berechnet sich mit folgenden Werten, wobei das Gewicht der Kiste vernachlässigt wurde:

Schlitten:	13,7 kg
Kraftmessdose:	0,5 kg
Kistenhalter:	3,26 kg
Min. Gewicht:	17,46 kg
Max. Beladung:	50 kg
Max. Gewicht:	67,5 kg

Daraus folgt, dass die minimale Masse P92=17,5 kg und somit die maximale Masse P88=70 kg, mit einer kleinen Reserve von 2,5 kg, beträgt.

3.4.6.2. Motordaten

Tabelle 3-11 Parameter Motordaten

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P100	Motornummer		202
P101	Polzahl		6
P102	EMK [V*min / 1.000]		88
P103	Trägheitsmoment		260 kg*mm ²
P104	Nenn Drehzahl		3.500 1/min
P105	Nennstrom		2.150 mA
P106	Nennmoment (ASYN)		2.100 mNm

Alle Motordaten stammen aus der Datenbank, welche Hauser mit dem Parametereditor mitlieferte. Diese findet man im File „MOT-ALL.DAT“. Die Einstellung der Motordaten wurde über den Menüeintrag „Bearbeiten“ → „Motor wechseln“ → „HBMR 115 A6-88S“ vorgenommen, welcher durch die Motornummer P100=202 gekennzeichnet ist.

Es ist aufgefallen, dass Abweichungen zwischen diesen Parametern, dem Datenblatt, und der Motoraufschrift bestehen:

Tabelle 3-12 Unterschiedliche Motordaten

	Motor	Datenblatt	Parametereditor
Trägheitsmoment in $\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	Keine Angabe	310	260
Nennzahl in RPM	2.500	2.400	3.500
Nennstrom in mA	2.100	2.100	2.150
Nennmoment in Nm	2,2	1,9	2,1

Die leichten Abweichungen werden in Kauf genommen und die generierten Werte des Parametereditors benutzt. Es ist hierbei darauf zu achten, dass 3.500 RPM nun als Nennzahl gilt, von welcher auf die Geschwindigkeit rückgerechnet wird.

3.4.6.3. Mechanisches Bezugssystem definieren

Tabelle 3-13 Parameter Mechanisches Bezugssystem

Parameter Nr.	Bedeutung	Standard Wert	eingestellter Wert
P213	Maschinennull-Richtung	rechts	links
P214	Messradrichtung	rechts	links
P215	Richtungssinn	Motor rechts	Motor rechts

Mit diesen Parametern werden die positive Drehrichtung sowie die Zählrichtung des Messrades bestimmt.

3.4.7. Verifikation der Parameter



Da mit den vorangestellten Parametern der Bewegungsablauf beeinflusst wird, war eine Verifikation der richtigen Bewegungen unumgänglich.

3.4.7.1. Rampe

Die Überprüfung der richtigen Weglänge ist mit einem Rollmeter festzustellen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, einen Weg von 280 mm (Umfang der Riemenscheibe) zu verfahren. Dies entspricht einer Umdrehung der Kupplung.

Für die Geschwindigkeitsüberprüfung wurde eine sehr kurze Beschleunigungszeit eingestellt und die Umdrehungen pro Minute gezählt, woraus sich die Geschwindigkeit berechnen lässt. Da als Geschwindigkeitsprofil die „ruckfreie Rampe“ gewählt wurde, ist es nicht unerheblich ob der Regler diese auch wirklich verfährt.

In Abbildung 3-23 befindet sich eine Gegenüberstellung von idealen ruckfreien Rampen, welche auf den Formeln in Kapitel 3.3.3.4. basieren und realen Messungen mit einem Gesamtgewicht von 14,96 kg. Alle Messungen sind mit einem SPEED von 5 % = 0,2042 m/s, bei einem Verfahrweg von 700 mm, durchgeführt worden, wobei ACCEL von 10.000-60.000 ms (Rampenzeit 500 – 3.000 ms) gesteigert wurde.

idealer Verlauf 
 Legende: realer Verlauf 

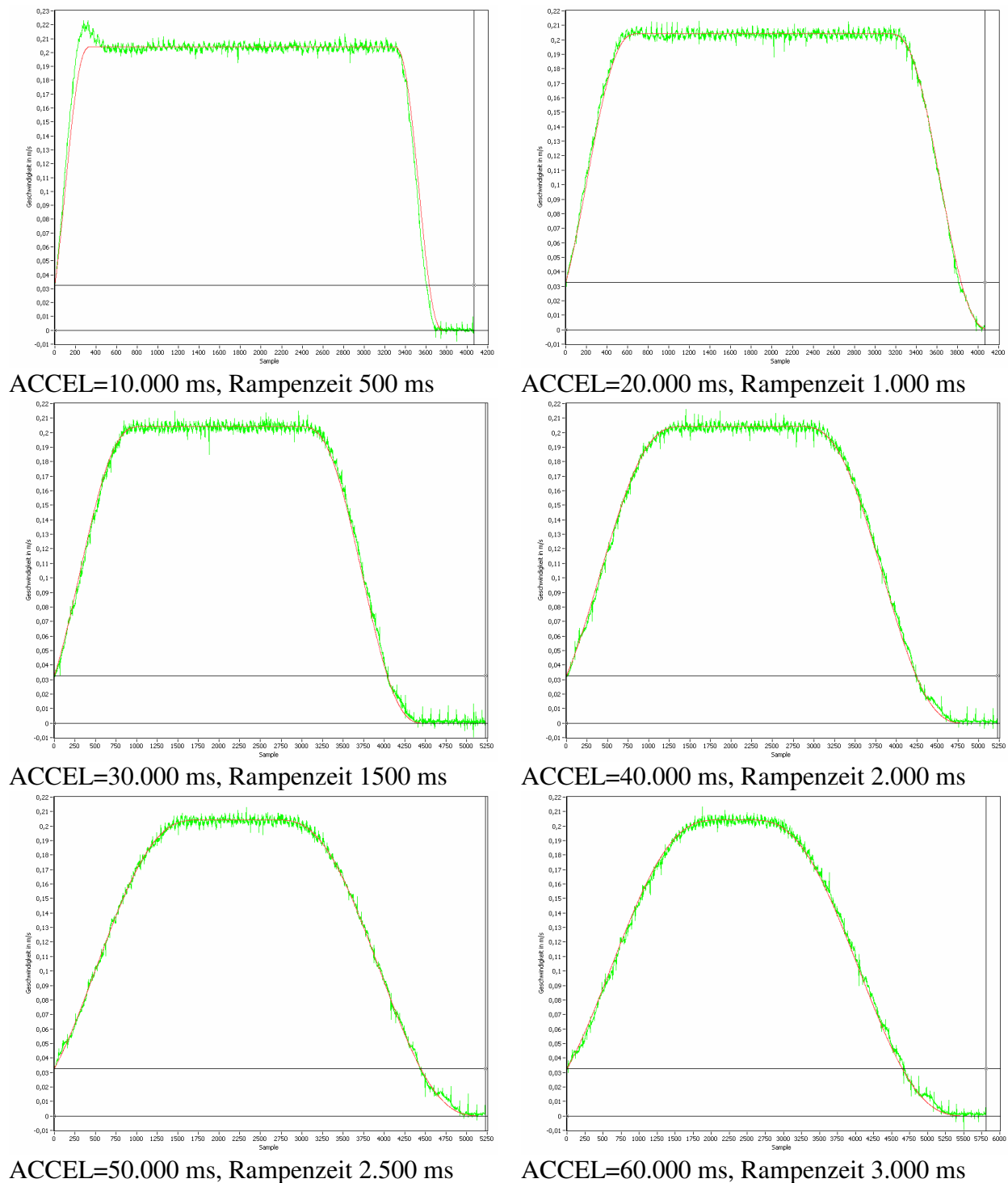


Abbildung 3-23 Gegenüberstellung Geschwindigkeitsprofile ideal vs. real

Man sieht in Abbildung 3-23 deutlich, dass trotz einer Beladung der Motor sein Geschwindigkeitsprofil, abgesehen vom Messrauschen, einhält. Bei einer Rampenzeit von 500 ms gibt es noch kleine Abweichungen, ab einer Rampenzeit von 1.000 ms sind diese praktisch nicht mehr vorhanden. Aus diesem Grund wurden die meisten Messungen mit einer Rampenzeit größer als 1.000 ms durchgeführt.

Ein weiterer wichtiger Rampenwert ist der Verfahrensweg. Um diesen auch formal bestimmen zu können, empfiehlt sich zum Beispiel der Algorithmus: „Methode der kleinsten Schritte“ (EULER`sche Polygonzugverfahren)

$$s_n = s_{n-1} + v_{n-1} * \Delta t$$

In folgendem Beispiel wird eine Masse von 4,56 kg auf 0,1 m/s mit einer Rampenzeit von 1.250 ms beschleunigt. Der gewünschte Verfahrensweg beträgt POSR 300 mm. Dies liefert das in Abbildung 3-24 gezeigte Geschwindigkeitsprofil:

Tabelle 3-14 Wegstücke

Sample	Geschwindigkeit in m/s	berechneter Weg in mm
0	0,000854492	0
1	0,000284831	0,00085449
2	0,000284831	0,00113932
3	0,000284831	0,00142415
4	0,000854492	0,00170899
5	0,000284831	0,00256348
6	-0,00484212	0,00284831
7	0	-0,00199381
...
4.447	0,000284831	300,884926
4.448	0,000569661	300,885211
4.449	0,000569661	300,885781

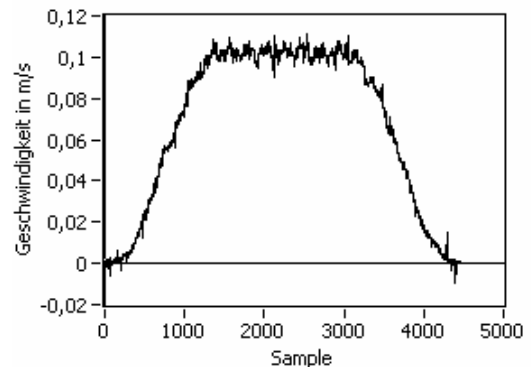


Abbildung 3-24 Methode der kleinsten Schritte, v(t)

Befehl s1 in Servo Terminal ergibt:

$$s1=300,14 \text{ mm}$$

Differenz s1 zu Methode der kleinsten Schritte:

$$\Delta s = 300,14 \text{ mm} - 300,8858 \text{ mm}$$

$$\Delta s = -0,746 \text{ mm}$$

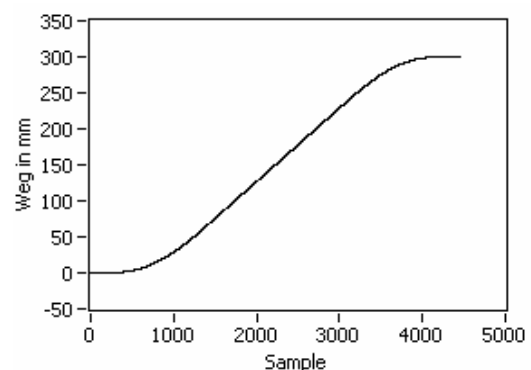


Abbildung 3-25 Methode der kleinsten Schritte, s(t)

Der berechnete Weg wird mit Hilfe der Methode der kleinsten Schritte ermittelt und liefert als Endergebnis 300,886 mm. Die einzelnen Wegpunkte ergeben die in Abbildung 3-25 dargestellte Kurve.

Die Methode der kleinsten Schritte ist nur eine Näherungsformel und für die Berechnung wird das ungefilterte Geschwindigkeitsprofil, welches ein leichtes Rauschen aufweist, herangezogen. Dadurch weicht der ermittelte Weg um 0,746 mm von der genaueren Servo Terminal Position ab. Dass die reale Position von der geforderten um 0,14 mm abweicht, ist in der Einstellung der maximal zulässigen Positionierzone begründet.

3.4.7.2. Geschwindigkeit

Da die Prüfgeschwindigkeit einer der wichtigsten Antriebsparameter ist, wurden in nachfolgender Messreihe Untersuchungen betreffend ihrer Genauigkeit durchgeführt. Hierbei

wurde im Prüfstandsbetrieb überprüft, in wie weit die Geschwindigkeitsmessungen im Gleitreibungsgebiet von den jeweiligen Eingabe abweichen.

Tabelle 3-15 Messreihe Genauigkeit der Geschwindigkeit

Prüfling	Kiste A 300 Ship 4
Unterlage	Stahlblech verzinkt
Gesamtgewicht	25,16 kg
ACCEL	25.000 ms
Wiederholungen	100
Geschwindigkeit	0,02; 0,2; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 m/s

Die Berechnung der Messabweichung erfolgte mittels folgender Formeln ([MÜH12], S.29):

abs. Messabweichung: $\Delta v[\text{dim}] = x - x_w$

rel. Messabweichung: $\Delta v_{rel}[\%] = \frac{x}{x_w} - 1$

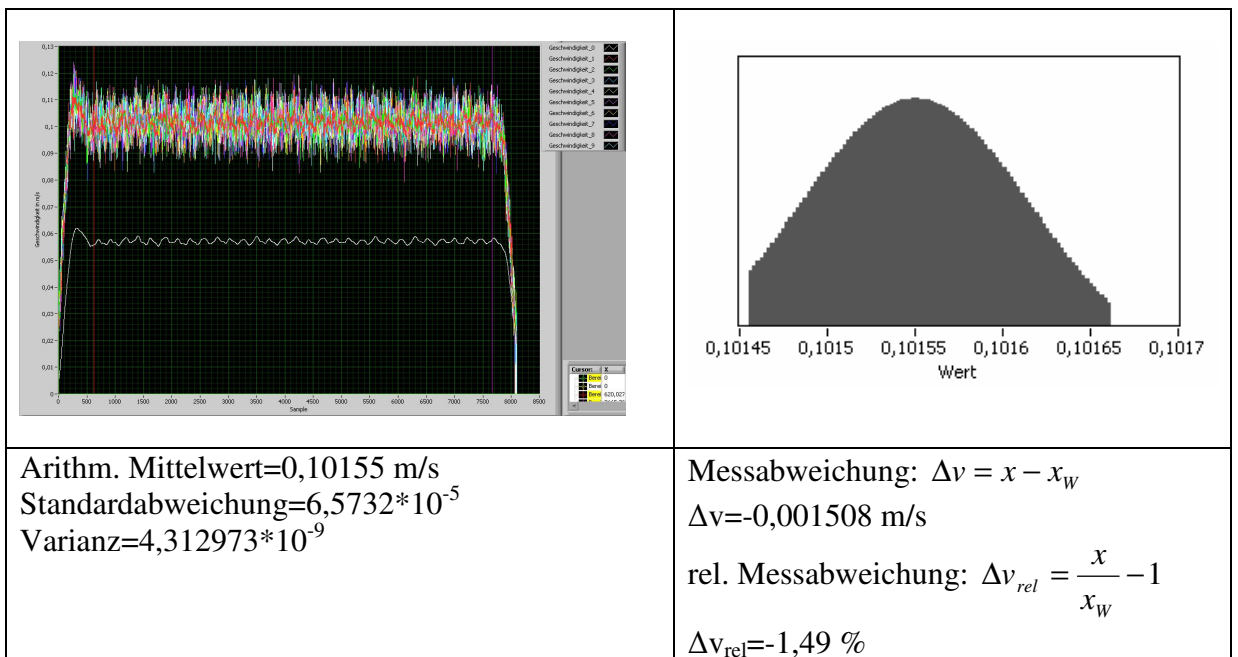
x: gemessener Wert

x_w : wahrer Wert

Die Tabellen 3-16 bis 3-18 zeigen eine Darstellung der Ergebnisse bei 0,1; 0,2 und 0,3 m/s:

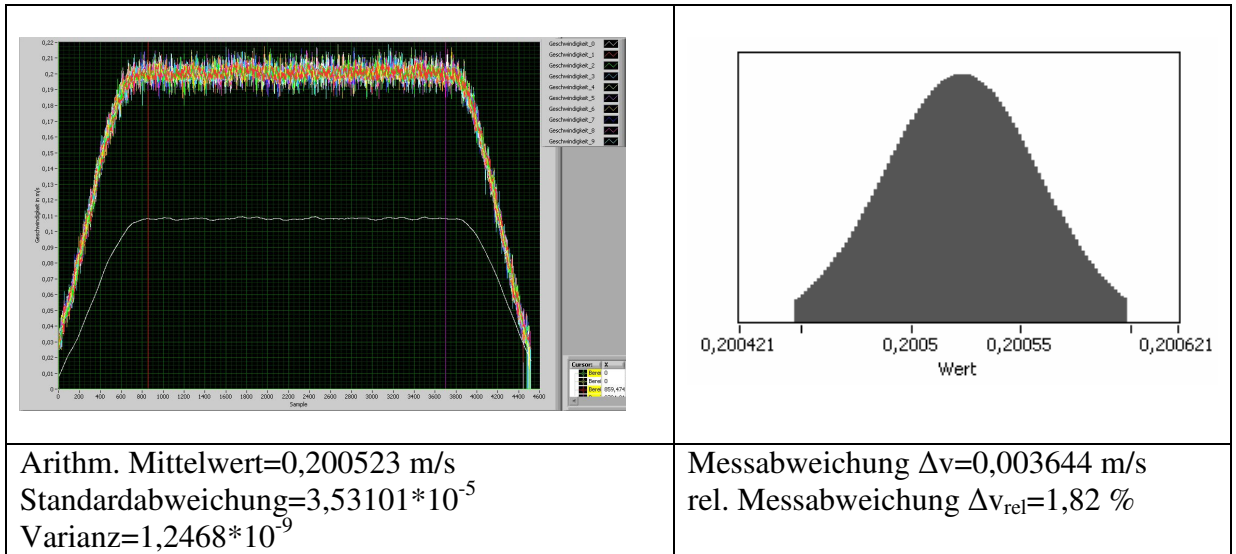
- Messung mit $v \sim 0,1$ m/s

Tabelle 3-16 Messabweichung bei SPEED P41=2,45 %; $v=0,100042$ m/s



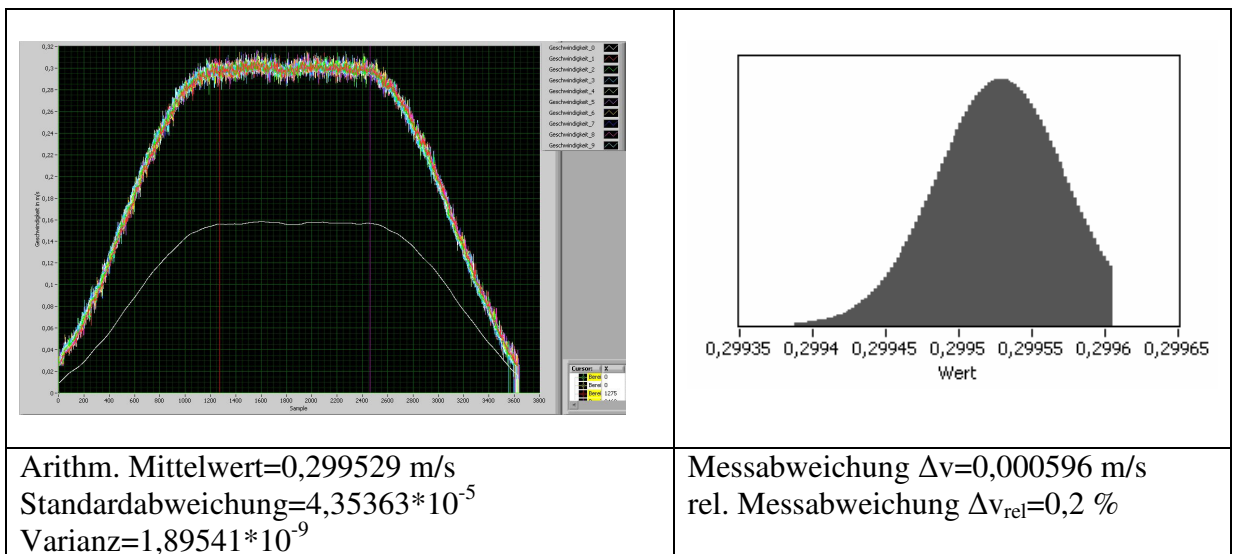
- Messung mit $v \sim 0,2$ m/s

Tabelle 3-17 Messabweichung bei SPEED P41=5 %; $v = 0,204167$ m/s



- Messung mit $v \sim 0,3$ m/s

Tabelle 3-18 Messabweichung bei SPEED P41=7,35 %; $v = 0,300125$ m/s



Mit Hilfe dieser Messreihe wurde gezeigt, dass in Bezug auf die Motorgeschwindigkeiten 0,1-0,3 m/s mit einer relativen Messabweichung von bis zu 1,82 % gerechnet werden muss, wobei die Messabweichung 0,004 m/s beträgt.

Es wurde noch eine weitere Messung mit einer sehr kleinen Geschwindigkeit von 0,002 m/s durchgeführt. Hier beträgt die Messabweichung -0,0012 m/s und die relative Messabweichung -37,6 %.

In Tabelle 3-19 finden sich die jeweiligen Messabweichungen für verschiedene Geschwindigkeiten:

Tabelle 3-19 Messunsicherheit Geschwindigkeit

Geschwindigkeit in m/s	Erwartungswert/ Arithm. Mittel in m/s	Messabweichung in m/s	Messabweichung in %
0,002042	0,00327	-0,001228	-36,6
0,02042	0,021537	-0,001117	-5,19
0,100042	0,10155	-0,001508	-1,49
0,204167	0,200523	0,003644	1,82
0,300125	0,299529	0,000596	0,2
0,408333	0,397851	0,010482	2,6

3.4.7.3. Motormoment

Für die Messung des Motormomentes wurden je zwei Messserien durchgeführt. Eine beschäftigt sich mit der Spannung, welche am Anschlussblock anliegt. Hierbei wurde die Last variiert und die Momentenverläufe in Volt ausgegeben, sowie die Spannungen mit einem Multimeter gemessen, welche am Anschlussblock anliegen. Die Spannungen wurden im Bereich zwischen Sample 2.500 und 8.000 gemittelt.

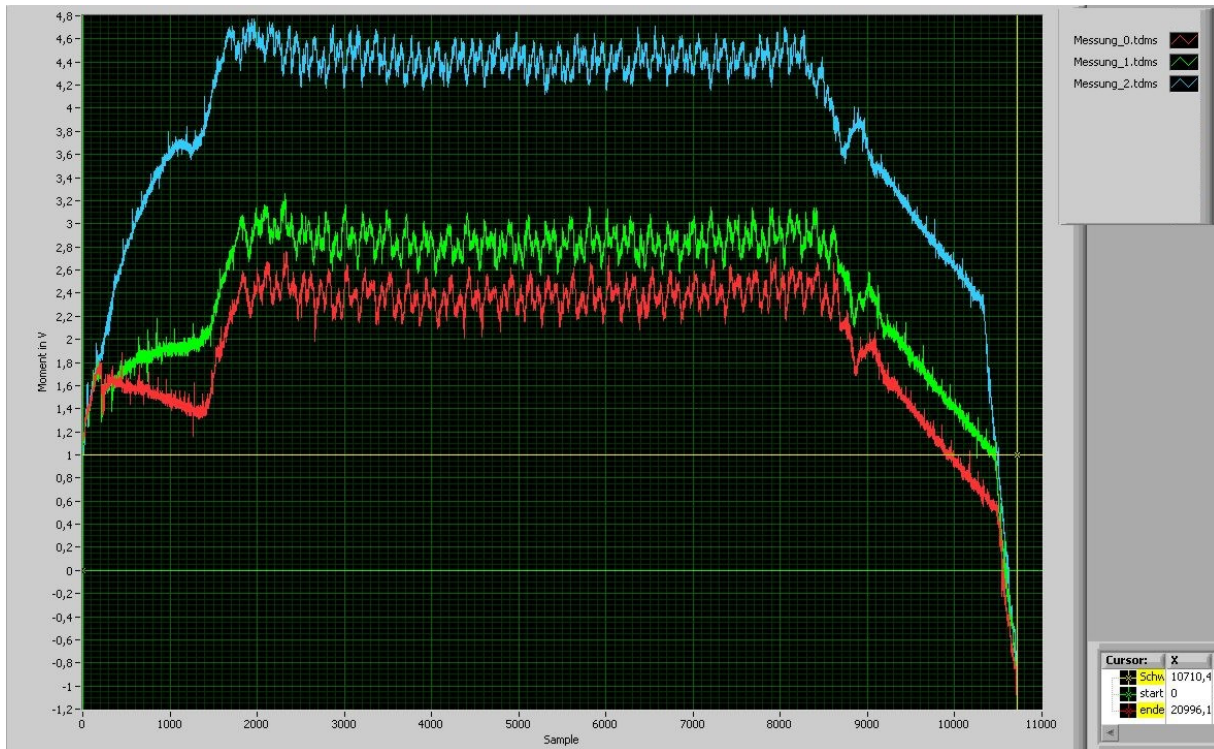


Abbildung 3-26 Vergleich Motormoment in V

Tabelle 3-20 Vergleich Motormoment in V, Ergebnisse

Messung	Gewicht in kg	Spannung an Anschlussblock in V	Spannung, Programm in V
0	keine Kiste, kein Kistenhalter	2,2	2,38
1	4,56	3,0	2,85
2	17,54	4,5	4,42

Hierbei treten Unterschiede bis zu 0,18 V auf. Diese sind auf die Mittelung beziehungsweise auf das diskrete Ablesen des Multimeters rückzuführen.

In der zweiten Messreihe wird das Motormoment in Nm aufgezeichnet und eine Gegenprobe mit der Ausgabe des Servo Terminals durchgeführt.

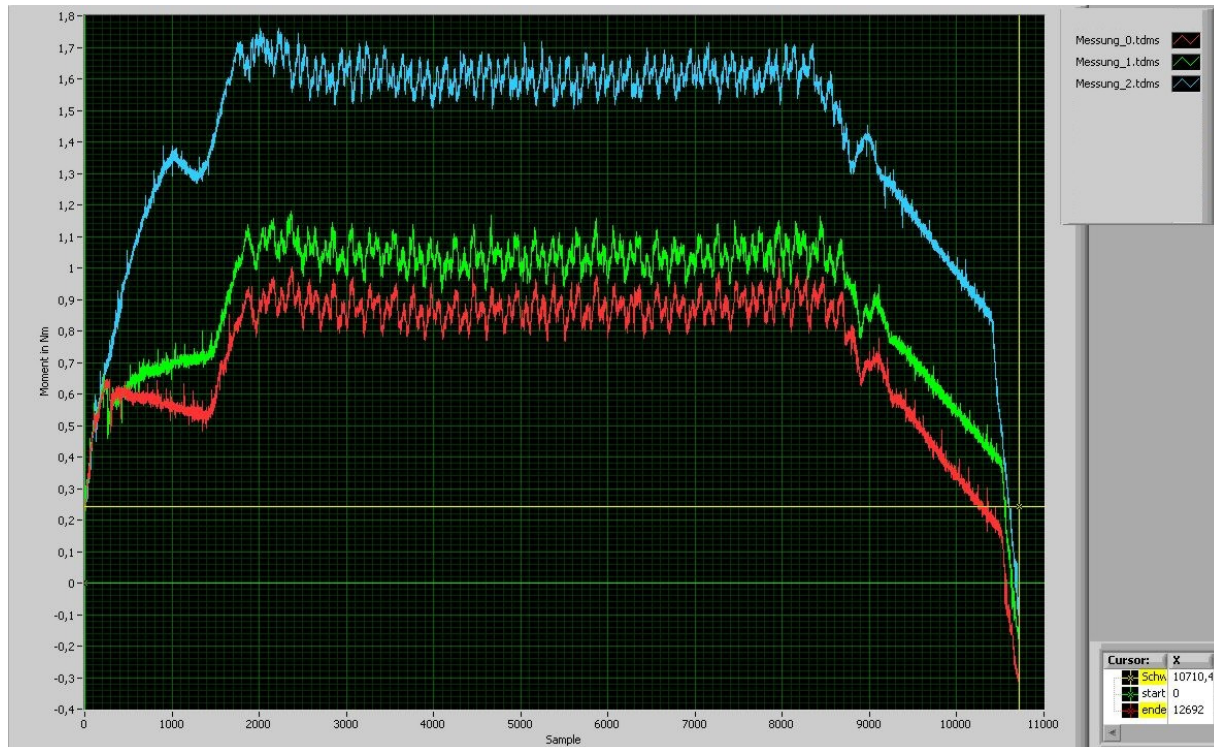


Abbildung 3-27 Vergleich Motormoment in Nm

Tabelle 3-21 Vergleich Motormoment in Nm, Ergebnisse

Messung	Gewicht in kg	Ausgabe Servo Terminal in %	Moment Servo Terminal in Nm	Moment, Programm in Nm
0	keine Kiste, kein Kistenhalter	40	0,88	0,87
1	4,56	48	1,056	1,04
2	17,54	73	1,61	1,61

Die Abweichungen von bis zu 0,016 Nm sind, wie bei der Spannungsmessung, auf die Mittelung zurückzuführen.

Mit beiden Kurvenscharen wurde gezeigt, dass zumindest die Ausgaben übereinstimmen. Die zweite Kurvenschar beinhaltet weiters auch die Bestätigung, dass die Momentenberechnung in Kapitel 4. "Messtechnik zur Reibungsuntersuchung" korrekt arbeitet.

3.5. Not-Stopp, Not-Halt

Da es im Zuge der Sicherheit wichtig ist, ob Not-Stopp und Not-Halt richtig funktionieren, wurden diese Sicherheitselemente überprüft. Im Fall des Not-Haltes betrifft dies den Button 5 „Motor aus (Bremse geschl.)“, siehe Kapitel 3.2.3.. Bezogen auf den Not-Stopp wurden die Notstoppschalter sowie die Endschalter auf ihre Funktion geprüft.

3.5.1. Not-Halt

Das Senden von „Stopp“ an den Regler unterbricht den Positioniervorgang, wodurch die Achse geführt zum Stillstand gebracht wird. Der Weg bis zum Stillstand wurde mit einer Last von 25,16 kg bei den Geschwindigkeiten 0,1 m/s, 0,2 m/s und 0,4 m/s ermittelt. Die Geschwindigkeitsverläufe sind in Abbildung 3-28 dargestellt und die jeweiligen Zeitpunkte markiert, bei welchen der „Stopp“-Befehl gesendet wurde.



Abbildung 3-28 Not-Halt

In Abbildung 3-28 ist ersichtlich, dass ganz normale Rampen verfahren werden, in welchen die Bremszeiten den jeweiligen Beschleunigungszeiten entsprechen. Somit wird der Not-Halt mit der eingestellten Beschleunigungszeit vollzogen.

Um den Bremsweg zu ermitteln, findet die Methode der kleinsten Schritte Anwendung. Diese ergibt folgende Bremswege:

Tabelle 3-22 Not-Halt Bremswege

Geschwindigkeit in m/s	Bremsweg in mm
0,1	25
0,2	180
0,41	210

3.5.2. Not-Stopp

Ein Not-Stopp tritt bei der Betätigung eines Endschalters beziehungsweise eines Not-Stopp Schalters ein. Dadurch soll die Bewegung möglichst abrupt beendet werden. Die Bremszeit ist mit dem Reglerparameter P10=250 ms definiert. Um dies zu verifizieren wurde wiederum eine Last von 25,16 kg von den Geschwindigkeiten 0,1 m/s, 0,2 m/s und 0,4 m/s abgebremst, allerdings hier unter zu Hilfenahme eines Not-Stopp Schalters. Die jeweiligen Geschwindigkeitsverläufe sind in Abbildung 3-29 ersichtlich.

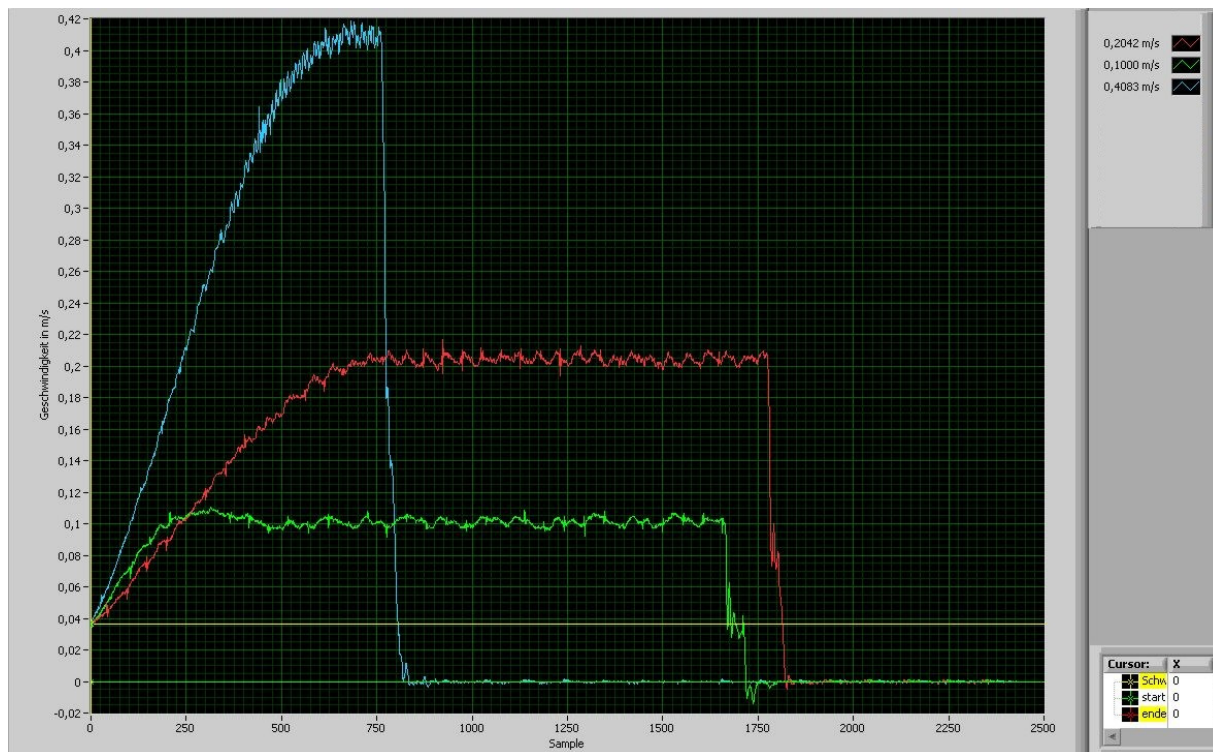


Abbildung 3-29 Not-Stopp

Diese Abbildung zeigt eine im Vergleich zur Beschleunigungszeit wesentlich niedrigere Bremszeit und die Bewegung wird schlagartig unterbrochen. Dies führt mit der Methode der kleinsten Schritte zu folgenden Bremswegen:

Tabelle 3-23 Not-Stopp Bremswege

Geschwindigkeit in m/s	Bremsweg in mm
0,1	3,4
0,2	7,2
0,41	12,4

Hierdurch wird deutlich wie kurz der Weg bei Betätigung eines Not-Stopp Schalters beziehungsweise eines Endschalters tatsächlich ist. Da der Abstand der Endschalter zum jeweiligen Außenprofil variabel ist, müssen auch die Bremswege eingehalten werden.

3.6. Einstell- und Bedienungsfehler (Fehlerbehandlung)

Es liegt im Wesen des Menschen Fehler zu machen. In diesem Kapitel sollen Fehlermöglichkeiten, deren Ursache und Behebung erläutert werden.

3.6.1. Fehlercodes

Bei einem auftretenden Fehler, für welchen ein Fehlercode existiert (vgl. [HAU95], S. 51ff), wird dieser durch E&Zahl auf dem Regler und im Servo Terminal angezeigt.

3.6.1.1. E55, Externer Not-Stopp

Dieser Fehler tritt auf wenn einer der Not-Stopp Taster gedrückt oder ein Endschalter ausgelöst wird.

Bei Betätigung durch Not-Stopp Taster, diesen lösen und im Servo Terminal auf den Button 1 "MOTOR bestromen (inkl. Fehlerquit)" klicken.

Falls der Not-Stopp durch einen der Endschalter ausgelöst wird, muss der Überbrückungsschalter betätigt werden und dabei eines der beiden folgenden Schemata befolgt werden.

Endschalter überfahren bei kleiner Last (mit Hand zu verschieben):

1. Überbrückungsschalter gedrückt halten;
2. Button 6 „HAND-Betrieb aktivieren (Bremse offen)“;
3. Den Schlitten mit dem Kistenhalter per Hand vom Endschalter herunter und in die Nulllage bringen;
4. Button 1 "MOTOR bestromen (inkl. Fehlerquit)“;
5. Prüfstand ist wieder einsatzbereit.

Endschalter überfahren bei großer Last (mit Hand nicht mehr zu verschieben):

1. Überbrückungsschalter gedrückt halten;
2. Button 6 „HAND-Betrieb aktivieren (Bremse offen)“;
3. Den Schlitten per Hand vom Endschalter herunter schieben bis dieser beim Kistenhalter ansteht;
4. Feststellen der Position bezüglich des Nullpunktes, (mittels Maßband und nicht mit dem Befehl „s1“);
5. Schlitten mit POSR in den Nullpunkt bringen;
6. Button 1 "MOTOR bestromen (inkl. Fehlerquit)“;
7. Prüfstand wieder einsatzbereit.

3.6.1.2. E20 oder E21, Zielposition hinter positiver/negativer Endgrenze

Die Parameter P48, P49 beziehungsweise der Positionierbefehl weisen einen zu hohen Wert auf.

3.6.1.3. E23, anstehender Befehl nicht zulässig

Dieser Fehler tritt auf, wenn der Handbetrieb noch aktiviert ist. Im Handbetrieb ist der Motor stromlos.

Button 1 "MOTOR bestromen (inkl. Fehlerquit)" betätigen.

3.6.1.4. E53, Motor überlastet

Dies tritt bei einer hohen Kraft auf. Hier empfiehlt es sich wie folgt vorzugehen:

1. Button 6 „HAND-Betrieb aktivieren (Bremsen öffnen)“
2. Den Schlitten per Hand vom Endschalter herunter bringen bis dieser beim Kistenhalter ansteht;
3. Feststellen der Position bezüglich des Nullpunktes mittels Maßband und nicht mit dem Befehl „s1“;
4. Schlitten mit POSR in den Nullpunkt bringen, hierbei allerdings in mehreren Etappen verfahren, sonst tritt der Fehler möglicherweise erneut auf;
5. Button 1 "MOTOR bestromen (inkl. Fehlerquit)“;
6. Prüfstand wieder einsatzbereit.

3.6.1.5. E57, Zwischenkreisspannung zu niedrig

Im Raum MEEG064, in welchem sich der Reibungsprüfstand befindet, sind die Frequenzumrichter zu niedrig dimensioniert. Deswegen ist es nicht möglich den Motor mit den raumeigenen 380V Steckdosen zu betreiben. Als Ausweg bietet sich hier ein Verlängerungskabel an, welches in der Prüfhalle angeschlossen wird.

3.6.1.6. E10, Schleppfehler zu groß

Kann im normalen Prüfstandsbetrieb nur auftreten wenn etwas den Fahrweg des Schlittens behindert. Eine mögliche Fehlerquelle ist allerdings auch das Auffahren auf einen der Gummipuffer.

3.6.2. Schnittstellenfehler

Der einfachste Grund ist ein nicht korrekt angebrachtes Kabel. Dieser Fehler kann jedoch auch auftreten, wenn in einem der Programme CPXEDITOR, CPXPARAM oder Servo Terminal die Schnittstelle nicht geschlossen wurde.

Falls das Schließen der Schnittstelle nicht zum Erfolg führt, ist es notwendig den Computer neu zu starten.

3.6.3. Uploadfehler CPXEDITOR

Im COMPAX Editor ist es nicht nur möglich ein Programm auf den Regler zu laden. Man ist auch in der Lage das am Regler bestehende Programm wieder auf den PC zu laden. Falls diese Notwendigkeit besteht, werden bei Aufruf des Menüs „Definieren“ → „Parameter“ → „Variablen (.Pnnn)“ alle variablen Werte auf Null gesetzt, sowie deren Verwendung gelöscht. Dies führt beim Bestätigen durch „Ok“ zu Fehlern in jeder Programmzeile, in welcher einer der Bedienparameter verwendet wird. Diese Fehler werden am leichtesten durch einen neuerlichen Upload beseitigt.

3.6.4. Eingabefehler Servo Terminal

Diese Fehler beziehen sich lediglich auf die Eingabe. Da im Servo Terminal kein Errorhandler implementiert ist, werden Falscheingaben ignoriert. Zum Beispiel wurde das Wort „irgendwas“ eingegeben und mit Enter betätigt, siehe Abbildung 3-30:

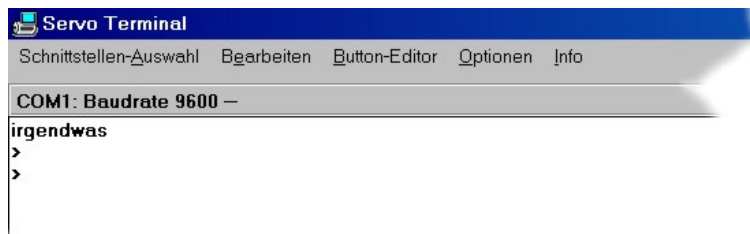


Abbildung 3-30 Eingabefehler Servo Terminal

Man sieht bei dieser kleinen Demonstration, dass fehlerhafte Eingaben nicht verarbeitet werden.

3.6.5. SPEED über P15=10 %

Falls Geschwindigkeitswerte über dem in P15 definierten Wert liegen, werden diese immer auf P15 gesetzt und höhere Werte ignoriert.

3.6.6. ACCEL über 65.000 ms

Die Beschleunigungszeit ist auf 65.000 ms begrenzt. Falls ein höherer Wert eingegeben wird, kommt es nicht zu einer Fehlermeldung sondern zu einer Rampe, welche von der eingestellten Beschleunigungszeit immens abweicht.

In nachfolgender Messung wird eine Masse von 14,96 kg auf eine Geschwindigkeit von 0,1 m/s beschleunigt. Es wurde eine ACCEL=90.000 ms eingestellt.

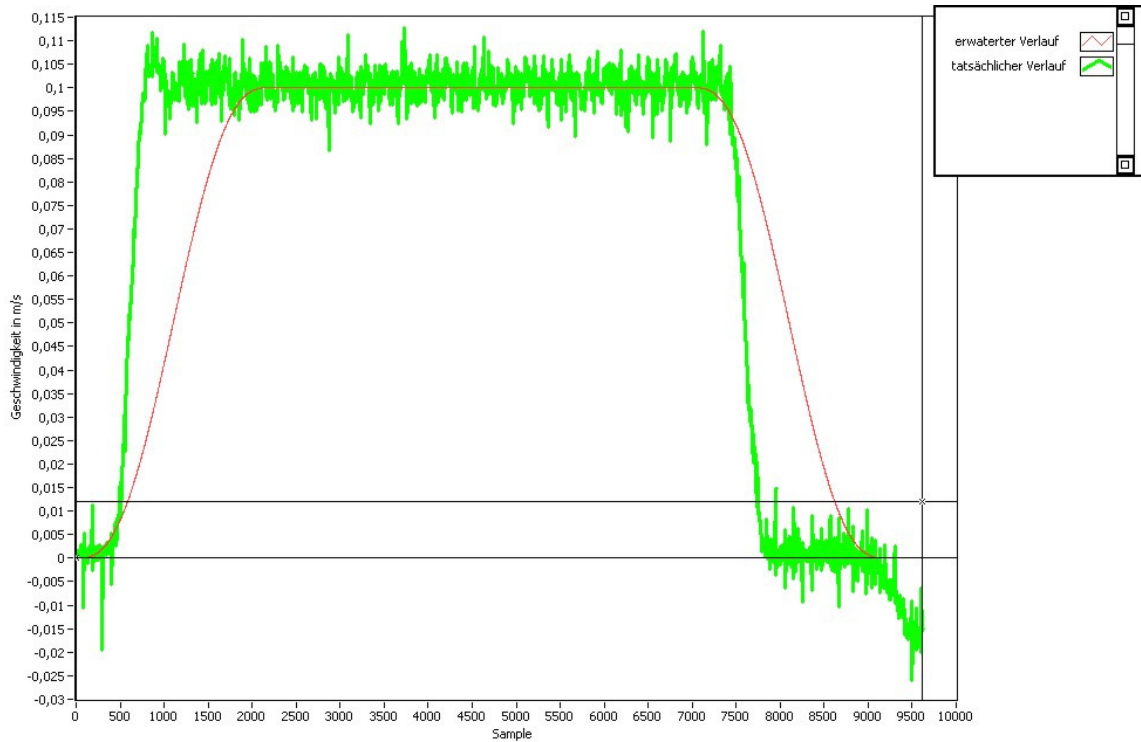


Abbildung 3-31 Vergleich ACCEL ideal, real bei 90.000 ms

Abbildung 3-31 verdeutlicht, dass im tatsächlichen Verlauf weitaus schneller beschleunigt wird, als im idealen Verlauf.

Da die eingestellte ACCEL um 25.000 ms über dem maximalen Wert liegt, wird ACCEL=25.000 ms eingestellt und mit dieser Zeit nochmals eine Bewegung durchgeführt.

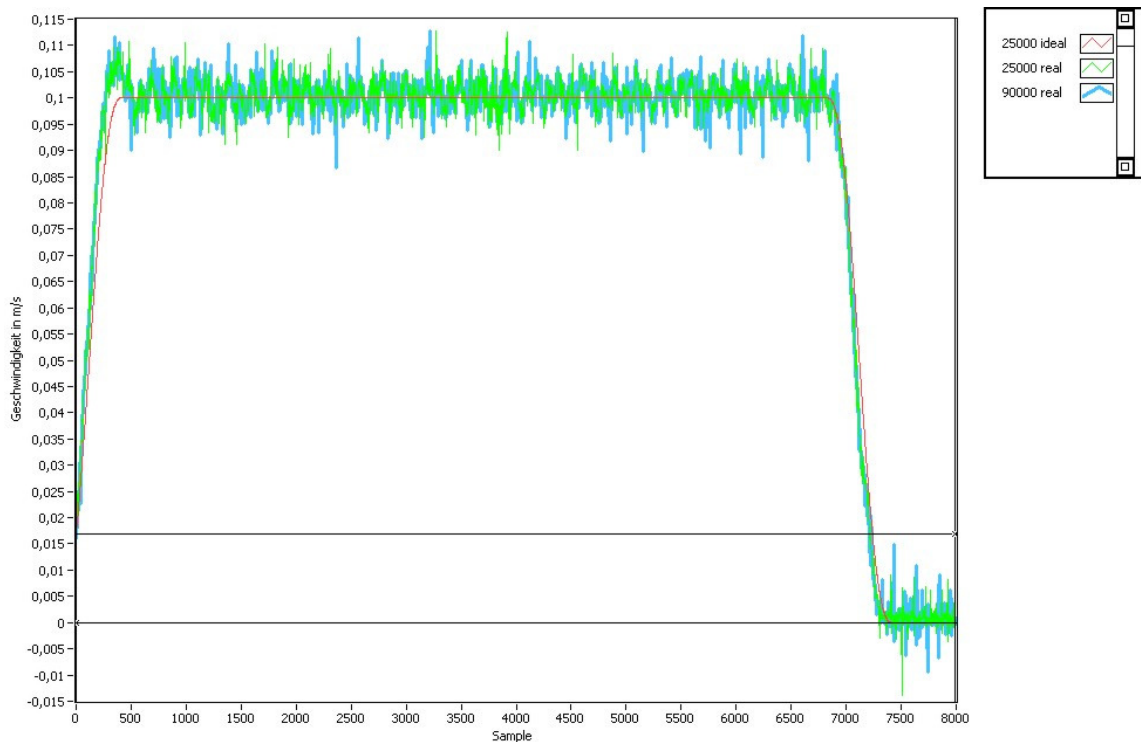


Abbildung 3-32 Vergleich ACCEL real bei 25.000 ms

In Abbildung 3-32 ist jene Messung, bei welcher 90.000 ms eingestellt wurde mit jener bei 25.000 ms, sowie dem idealen Verlauf bei 25.000 ms gegenübergestellt. Es ist deutlich ersichtlich, dass sich diese Kurve decken. Dies legt nun die These nahe, dass ab einer Beschleunigungszeit von 65.000 ms die Zeit wieder neu anfängt zu zählen.

Um dies zu überprüfen findet eine ähnliche Messung mit gleicher Masse erneut statt. Jedoch wird hier eine ACCEL von 180.000 ms eingestellt. Der SPEED von 2,45 % bleibt gleich.

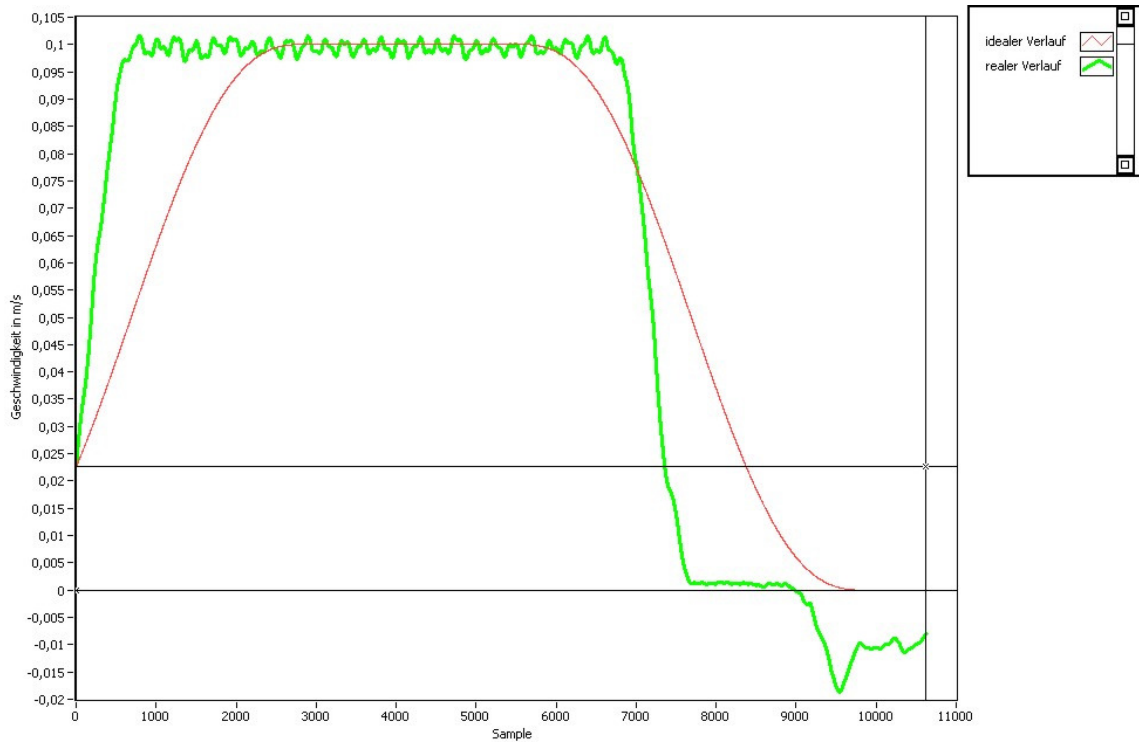


Abbildung 3-33 Vergleich ACCEL ideal, real bei 180.000 ms

In Abbildung 3-33 ist wie bei vorangegangener Messung im realen Verlauf eine wesentlich kürzere Beschleunigungszeit zu sehen als im idealen Verlauf. Aus diesem Grunde wird nun eine Messung bei einer ACCEL von 50.000 ms nochmals durchgeführt und wiederum mit der idealen Rampe und der Messung bei ACCEL=180.000 ms verglichen.

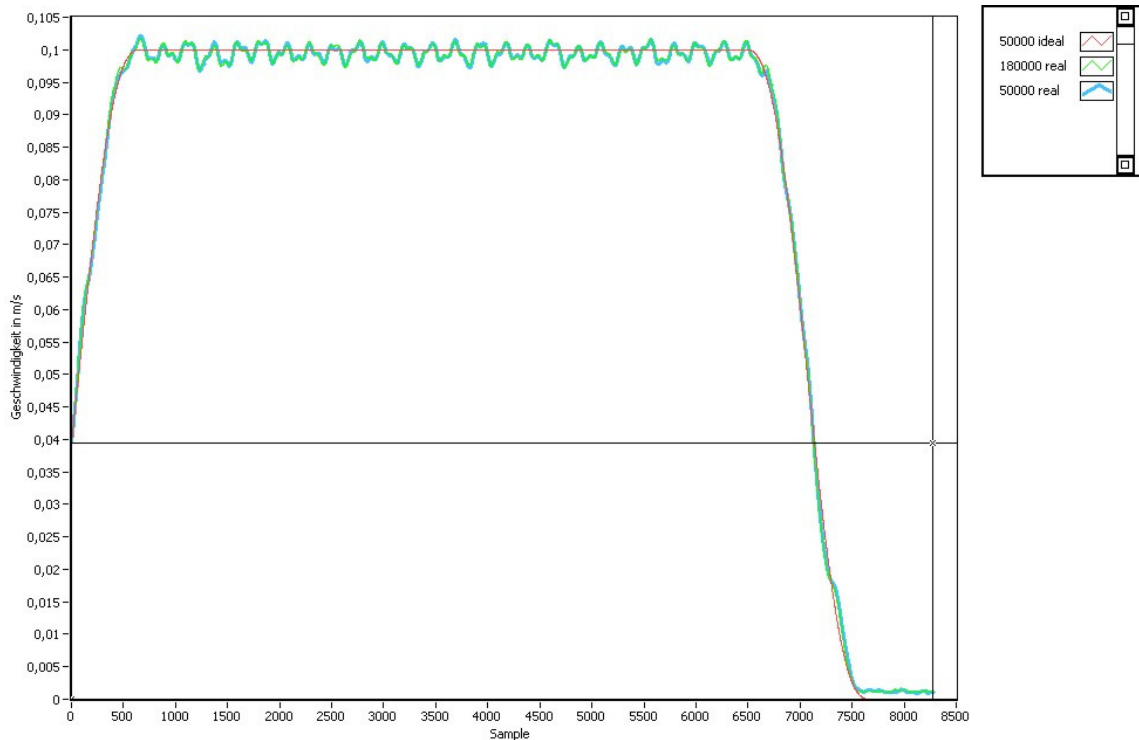


Abbildung 3-34 Vergleich ACCEL ideal, real bei 50.000 ms

Das Ergebnis ist wiederum das gleiche wie bei vorangegangener Messung. Die drei Kurvenverläufe decken sich, siehe Abbildung 3-34.

Aus diesen Messungen kann man schließen, dass bei einer eingestellten $ACCEL_eingestellt > 65.000$ ms folgender Zusammenhang mit der realen Beschleunigungszeit besteht:

$$i = \frac{ACCEL_eingestellt}{65000}$$

$$ACCEL = ACCEL_eingestellt - i * 65000$$

Hierbei muss „i“ abgerundet werden.

4. Messtechnik zur Reibungsuntersuchung

In diesem Kapitel wird die Messtechnik erklärt, welche im Reibungsprüfstand Verwendung findet.

4.1. Reibungsmessung

4.1.1. Grundlagen

Die Reibung ist ein Bewegungswiderstand. Dieser tritt bei Relativbewegungen sich berührender rauen Körpern als Widerstandskraft auf. Hier gilt es zwischen der Haftreibung und der Gleitreibung zu unterscheiden. Die Haftreibung (auch Ruhereibung oder statische Reibung) wirkt gegen das Einleiten einer Relativbewegung und ist eine Reaktionskraft. Hingegen wirkt die Gleitreibung (auch Bewegungsreibung oder dynamische Reibung), als eingepägte Kraft, gegen die Aufrechterhaltung einer Bewegung.

Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 (vgl. [GHS+11], S. 253) zeigen die jeweiligen Freischnitte für Haft- und Gleitreibung.

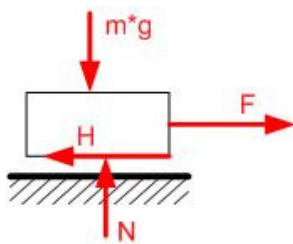


Abbildung 4-1 Freischnitt Haftreibung

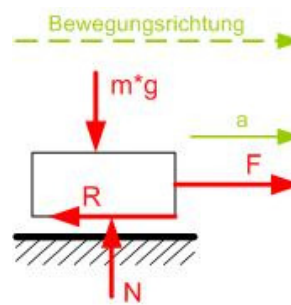


Abbildung 4-2 Freischnitt Gleitreibung

Als wichtigste Reibungsmessgrößen sind die Normalkraft N , die Haftreibungskraft H und die Gleitreibungskraft R zu nennen. H und R wirken immer der Bewegung entgegen. Die Reibkraft und die Normalkraft hängen nach Amontons-Coulomb durch einen Proportionalitätsfaktor μ zusammen. Das Reibungsgesetz lautet ([GHS+11], S. 258):

$$R = \mu * N$$

Hieraus folgt, (vgl. [GHS+11], S. 259):

Haftung:
$$\mu_0 > \frac{H}{m * g}$$

Grenzhaftung:
$$\mu_0 = \frac{H}{m * g}$$

Gleitreibung:
$$\mu = \frac{R}{m * g}$$

Die Grenzhaftung, bei welcher gerade noch keine Bewegung einsetzt und die Reibung bei sich bewegendem Körpern sind speziell für den Prüfstandsbetrieb von Interesse.

- Reibungswinkel (vgl. [GHS+11], S. 256-257):

Durch Vektoraddition ist die Zusammenfassung von H und N möglich und ergibt die resultierende Kraft W. Der Winkel φ gibt die Richtung der Resultierenden an, siehe Abbildung 4-3 und 4-4 (nach [GHS+11], S. 257)). Dieser lässt sich durch folgende Formel bestimmen:

$$\varphi = a \tan\left(\frac{H}{N}\right)$$

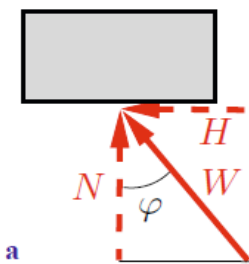


Abbildung 4-3 Resultierende Reibkraft

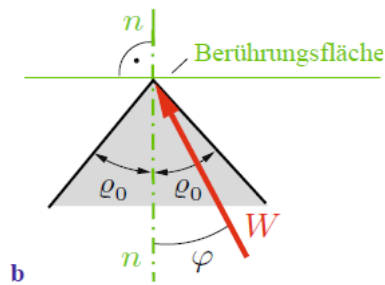


Abbildung 4-4 Haftwinkel

Im Falle der Grenzhaftung gilt für den Haftwinkel ρ_0 :

$$\rho_0 = a \tan\left(\frac{H}{m \cdot g}\right) = a \tan(\mu_0)$$

Für den Fall, dass die Bedingung $\rho_0 > \varphi$ erfüllt ist, bleibt der Körper in Ruhe. Der Reibungswinkel ist speziell für schiefe Ebenen von Bedeutung, da er Auskunft über den Anstellwinkel gibt.

- Stick-Slip:

Analysen zeigen „(...)“, dass das Gleitreibungsverhalten einer schwingungsfähigen Masse-Feder-Dämpfungs-Kombination (...) entscheidend durch die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Gleitreibungszahl (...) bestimmt wird. Unter Berücksichtigung der elastischen Deformation kontaktierender Rauheitshügel kann auch die zeitabhängige "Kontaktsteifigkeit" zur Anregung von stick-slip-Bewegungen beitragen (Sherif, 1991). Stick-slip Vorgänge treten besonders dann auf, wenn die statische Reibungszahl größer ist als die dynamische Reibungszahl, d. h. wenn gilt, „: $\mu_0 > \mu$ ([CZH10], S. 106).

- Umsetzung im Prüfstandsbetrieb:

Für die Messung der Reibkraft wird der Kraftsensor HBM S2 mit einer relativen Kennwertabweichung Zug/Druck von 0,25 % eingesetzt.

In dem Prüfstandsprogramm, siehe Kapitel 4.5., wird der Haftreibungskoeffizient μ_0 mit Hilfe der Grenzhaftung berechnet. Hier ist H mit dem ersten positiven Kraftextremwert, welcher bei Bewegungsbeginn eintritt, gleichzusetzen.

Im Gleitreibungsbereich findet eine Mittelung der Kraftmesswerte statt, um etwaige ungleichförmige Motorbewegungen und den Stick-Slip Effekt auszugleichen.

4.1.2. Position der Last

Für die richtige Messung ist unter anderem entscheidend, dass der Kistenhalter nicht auf die Seitenstößel trifft. Denn das ergäbe eine Verfälschung in der Kraftmessung. Der Kraftsensor wird in diesem Fall aufgrund der Hebelwirkung sogar mit einer höheren Kraft belastet.

Dies soll in einer Gegenüberstellung zweier Kraftmessungen erläutert werden. Bei Messung 0, siehe Abbildung 4-5, befindet sich die Last mittig. Bei Messung 1, siehe Abbildung 4-6, ist die Beladung bis an die Innenkante der Kiste verschoben. Aus diesem Grund wird der Kistenhalter schon im Einstellhub an den Stößel gedreht und befindet sich dort bei Beginn der Messung.

Die Beladung besteht aus einem Betonwürfel mit aufgelegtem Stahlprofil. Dies ergibt insgesamt ein Gewicht von 20,6 kg ergibt und ist in Abbildung 4-7 dargestellt. Der Kistenhalter und die Kiste wiegen 4,56 kg. Das ergibt ein Gesamtgewicht von 25,16 kg.

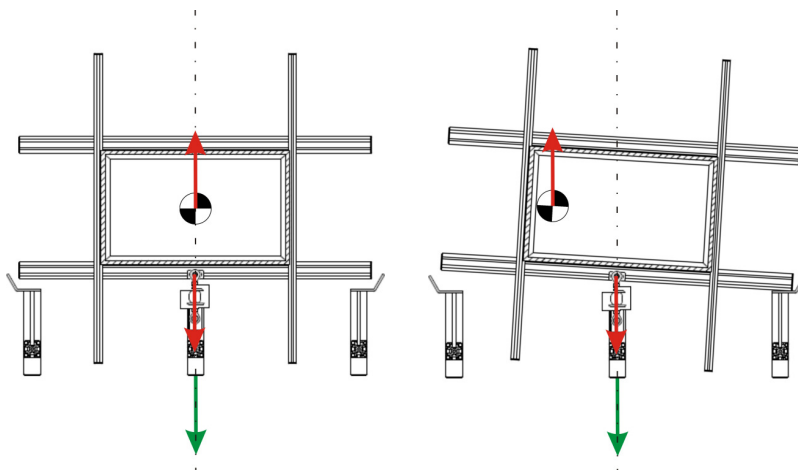


Abbildung 4-5 Beginn Messung 0

Abbildung 4-6 Beginn Messung 1

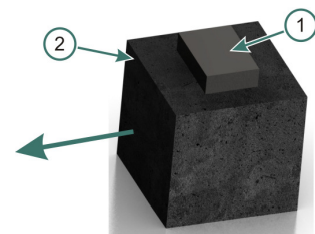


Abbildung 4-7 Last 20,6 kg

1. Stahlprofil:
30x80x116mm
2. Betonwürfel:
200x200x200mm

Prüfling: Kiste A 300 Ship 4
 Unterlage: Stahlblech verzinkt
 Gesamtgewicht: 25,16 kg
 Motorgeschwindigkeit: 0,1 m/s

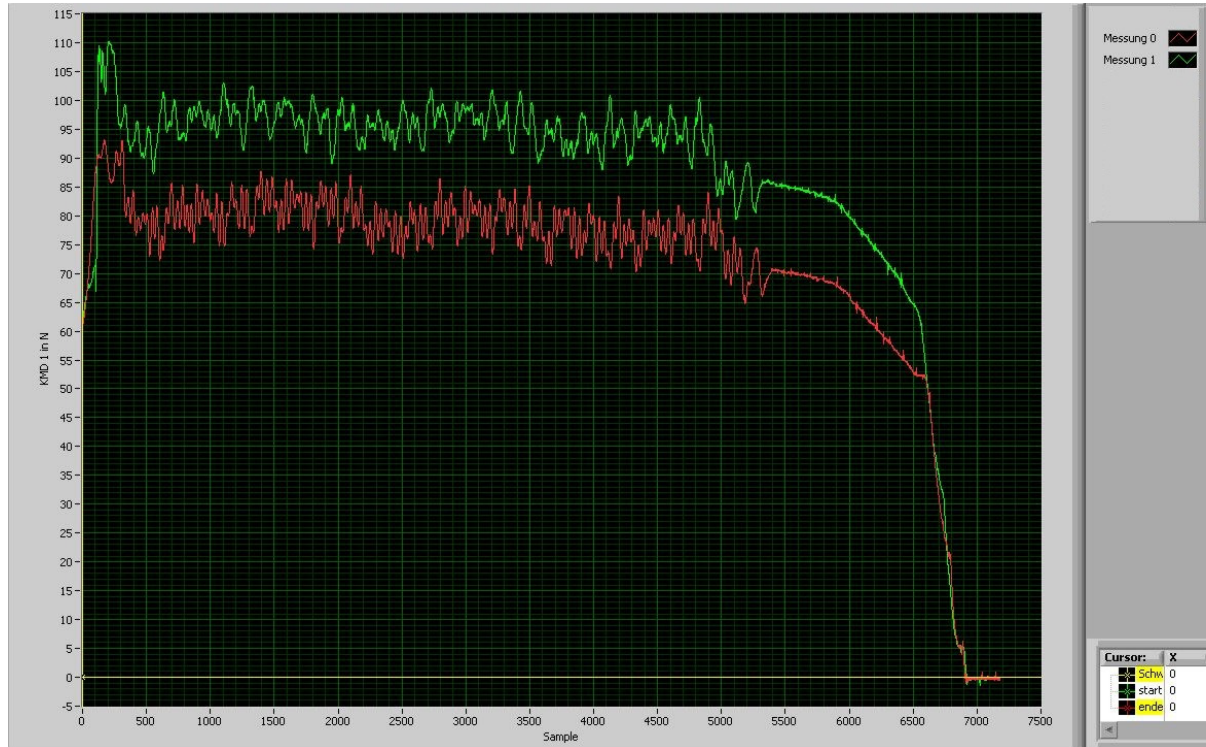


Abbildung 4-8 Messung bei verschiedenen Lastpositionen, Stahlblech

Tabelle 4-1 Ergebnisse bei verschiedenen Lastposition, Stahlblech

Messung	F_max Haftreibung in N	F_mittel Gleitreibung in N	μ_0	μ
Messung 0	93,14	79,78	0,38	0,32
Messung 1	110,23	96,19	0,45	0,39

Es ist ersichtlich, dass die außermittige Last von Messung 1 eine Reibungskraft hervorruft, welche im Schnitt zirka 17 N größer ist als jene Kraft bei mittlerer Beladung (Messung 0). Das ergibt, wie in Tabelle 4-1 gezeigt, Reibkoeffizienten die eine Differenz $\Delta\mu_0=0,07$ und $\Delta\mu=0,067$ aufweisen.

Um alle Kraftmessungen und die damit ermittelten Reibkoeffizienten quantitativ miteinander vergleichen zu können, werden solche wie in „Messung 1“ gezeigten Messungen als Fehlmessung ausgeschlossen. Da beim Reibungsprüfstand keine Sensorik existiert, welche die Lage des Kistenhalters erkennt, ist mit freiem Auge in einer Probefahrt darauf zu achten ob die Kiste anschlägt oder nicht. Dieses Auflaufen am Stößel muss allerdings nicht gleich am Anfang auftreten, sondern kann auch aufgrund einer leicht außermittigen Beladung beziehungsweise inhomogener Reibung erst während des Messhubes geschehen. Damit muss nicht der gesamte Messhub verworfen werden.

Nachfolgende Messserie soll nun zeigen wie viel Weg in cm verfahren werden kann, ohne dass es zur vorher genannten Fehlmessung kommt. Hierfür wird ein kleineres Gewicht als in

den vorherigen Messungen benutzt, da dadurch die Unterschiede besser ersichtlich sind. Dieses Gewicht hat eine Masse von 8,02 kg und führt mit dem Kistenhalter plus Kiste zu einem Gesamtgewicht von 12,58 kg. Der gewünschte Verfahrweg beträgt 500 mm bei einer Geschwindigkeit von 0,3 m/s. Prüfkiste und Prüfunterlage bleiben die Gleichen.

Die Position der Beladung wird an Hand Abbildung 4-9 in x- und y- Richtung variiert. Daraus ergibt sich Abbildung 4-10, in welcher der verfahrenene Weg bis zum Anschlagen am Stößel auf der z-Achse aufgetragen ist.

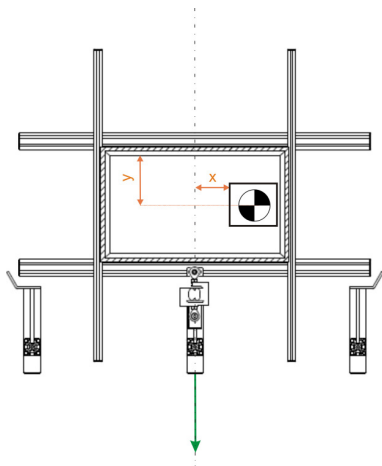


Abbildung 4-9 x,y Lage Last

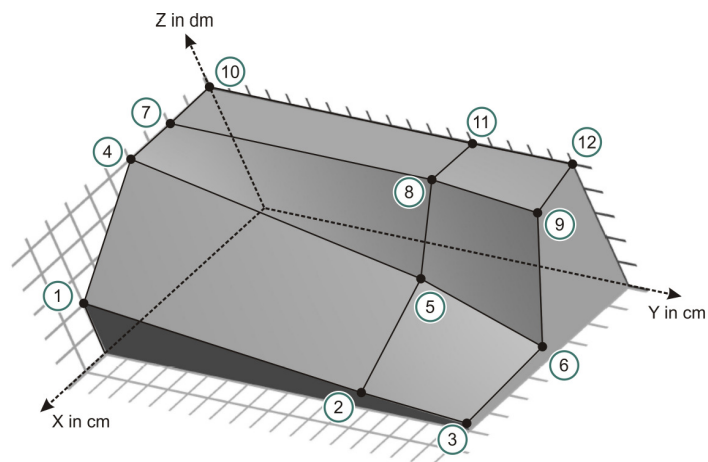


Abbildung 4-10 Drehbewegung in Folge der Lastlage

Tabelle 4-2 Weglänge bei ungleichmäßiger Beladung

Messung	x Abstand in mm	y Abstand in mm	zurückgelegter Weg in mm	Messung ok?
1	80	35	210	nein
2	80	130	64	nein
3	80	180	22	nein
4	40	35	500	ja
5	40	130	239	nein
6	40	180	45	nein
7	20	35	500	ja
8	20	130	500	ja
9	20	180	450	nein
10	0	35	500	ja
11	0	130	500	ja
12	0	180	500	ja

Mit der Messreihe (Tabelle 4-2) wurde gezeigt, dass bei dieser Prüflingskonfiguration eine Messung mit einem x-Abstand kleiner 20 mm und einem y-Abstand kleiner 130 mm zulässig ist.

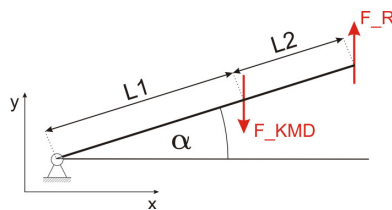
Bei Positionen größer als $x=20$ mm und $y=130$ mm muss mit einer Verkürzung des Messweges gerechnet werden, da sich der Kistenhalter gegen den Seitenstößel dreht. Durch Drehbewegungen kommt es des Weiteren zu unerwünschten Bohrrreibungseffekten. Diese sollten durch eine möglichst mittige Lastposition vermieden werden.

4.1.3. Kraftangriffspunkt

Eine Möglichkeit die Drehbewegung zu nutzen wäre die Ermittlung des Kraftangriffspunktes in x-Richtung. Hierfür dienen die folgenden Vereinfachungen:

- Der Kistenhalter wird als Balken idealisiert
- Der Bereich Kistenhalter-Stößel wird als Festlager angesehen, um welches sich der Balken dreht
- Die Krafrichtungen sind immer parallel und zeigen in Bewegungsrichtung
- Es wird nur der Gleitreibungsbereich beachtet

Als Beispiel werden die Mittelwerte des Gleitreibungsgebietes von Tabelle 4-1 herangezogen. Da in Messung 0 kein Kontakt zum Stößel herrscht, wird der Mittelwert des Gleitreibungsgebietes als Reibkraft F_R angesehen und diese für die Berechnung der Kraftangriffspunktlage herangezogen.



$$L1 = 425 \text{ mm}$$

$$\alpha = 3^\circ$$

$$F_R = F_{KMD_0} = 79,78 \text{ N}$$

$$F_{KMD} = F_{KMD_1} = 96,19 \text{ N}$$

Abbildung 4-11 Freischnitt Kraftangriffspunkt

Summe aller Momente um das Festlager

$$0 = -F_{KMD} * L1 * \cos(\alpha) + F_R * (L1 + L2) * \cos(\alpha)$$

$$L2 = \frac{F_{KMD}}{F_R} * L1 - L1 \Rightarrow L2 = \frac{96,19[\text{N}]}{79,78[\text{N}]} * 425[\text{mm}] - 425[\text{mm}]$$

$$\underline{\underline{L2 = 87,4185 \text{ mm}}}$$

Als Vergleich dazu wird nun auch der Abstand der Schwereachse in x-Richtung anhand des Koordinatensystems in Abbildung 4-9 berechnet:

$$x_s = \frac{\sum x_i * m_i}{\sum m_i}$$

$$x_s = \frac{0 * m_{Kiste} + x_{Last} * m_{Last}}{m_{Kiste} + m_{Last}} \Rightarrow x_s = \frac{0 * 4,56[\text{kg}] + 100[\text{mm}] * 20,6[\text{kg}]}{4,56[\text{kg}] + 20,6[\text{kg}]}$$

$$\underline{\underline{x_s = 81,876 \text{ mm}}}$$

Aus diesen zwei Werten ist ersichtlich, dass die Lage des Kraftangriffspunktes sich nicht exakt auf der Schwereachse befindet, sondern einen um 5,54 mm größeren Wert aufweist.

Um zu zeigen, dass diese Differenz auch von der Gleitpaarung abhängig ist, wurde noch eine weitere Messung durchgeführt. In dieser blieb die gesamte Konfiguration, bis auf den Austausch Stahlblech zu Pertinaxplatte, gleich. Diese Pertinaxplatte weist nach unzähligen

Messungen allerdings einen sehr hohen Verschleiß auf und wurde nicht gesäubert. Aus diesem Grund sind die Messergebnisse deutlich höher als bei der Stahlplatte.

Prüfling: Kiste A 300 Ship 4
 Unterlage: Pertinaxplatte mit sehr starken Verschleiß
 Gesamtgewicht: 25,16 kg
 Motorgeschwindigkeit: 0,1 m/s



Abbildung 4-12 Messung bei verschiedenen Lastpositionen, Pertinaxplatte

Tabelle 4-3 Ergebnisse bei verschiedenen Lastpositionen, Pertinaxplatte

Messung	F_max Haftreibung Mittelwert über 5 Hübe in N	F_mittel Gleitreibung Mittelwert über 5 Hübe in N	μ_0	μ
Messung 1P	124,048	116,87	0,503	0,474
Messung 3P	170,557	130,704	0,691	0,53

Daraus folgt:

$$L2 = \frac{F - KMD}{F - R} * L1 - L1 \Rightarrow L2 = \frac{130,704[N]}{116,87[N]} * 425[mm] - 425[mm]$$

$$\underline{\underline{L2 = 50,83 mm}}$$

Da durch die gleiche Konfiguration auch die Lage der Schwereachse $x_s=81,876$ mm gleich bleibt, ergibt sich nun eine Differenz von 31,57 mm. Man sieht allerdings auch, dass im Unterschied zur vorherigen Rechnung die Lage des Kraftangriffspunktes einen kleineren x-Abstand aufweist.

4.2. Komponenten

- Datenfluss

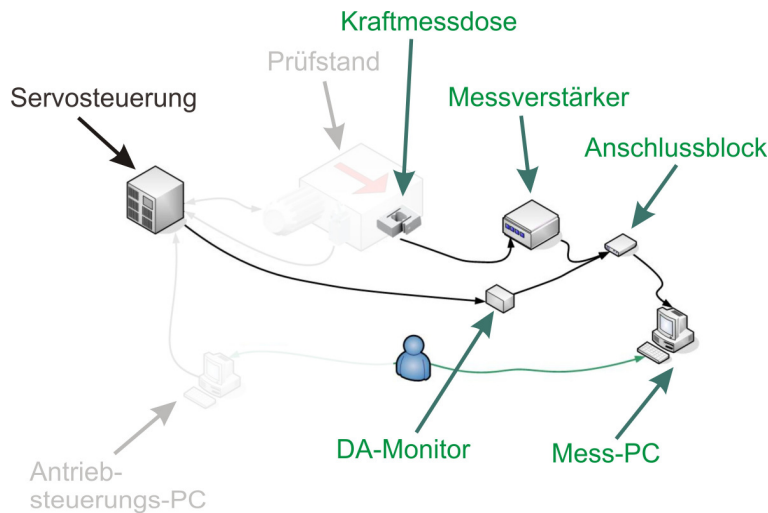


Abbildung 4-13 Messtechnikkomponenten

- Messtechnik

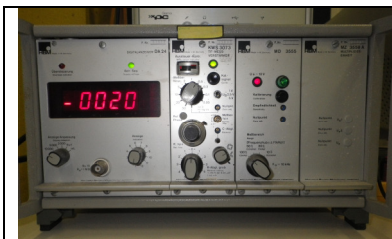


Abbildung 4-14 Messverstärker

Messverstärker:

Inventarnummer: 0084881

Bestehend aus:

HBM KWS 3073 F.Nr. 25092

HBM DA24 F.Nr.13900

Sonstige Messtechnik:

Kraftmessdose HBM S2 500 (87500)

Option D1-Steckkarte in COMPAX 0200M verbaut

D/A-Monitorbox 038498 0002 008-003201 ASS01/01

Anschlussblock NI CB-68LP Seriennummer 102527F

Messkarte NI PCI-6024E Seriennummer 0x1067F21

in PC verbaut

- Mess-PC



Abbildung 4-15 Mess-PC

Computername FFTMPC116

Betriebssystem: Windows 7 SP1 32-bit

Intel Core 2 Duo Prozessor 2,4 GHz; 2 GB RAM

Benutzername: „Prouser“

Passwort: „Prouser“

Programme:

Measurement and Automation Explorer 5.1

LabVIEW 2011 autumn

Report Generation Toolkit

DAQmx 9.5.1

4.3. Messgrößen

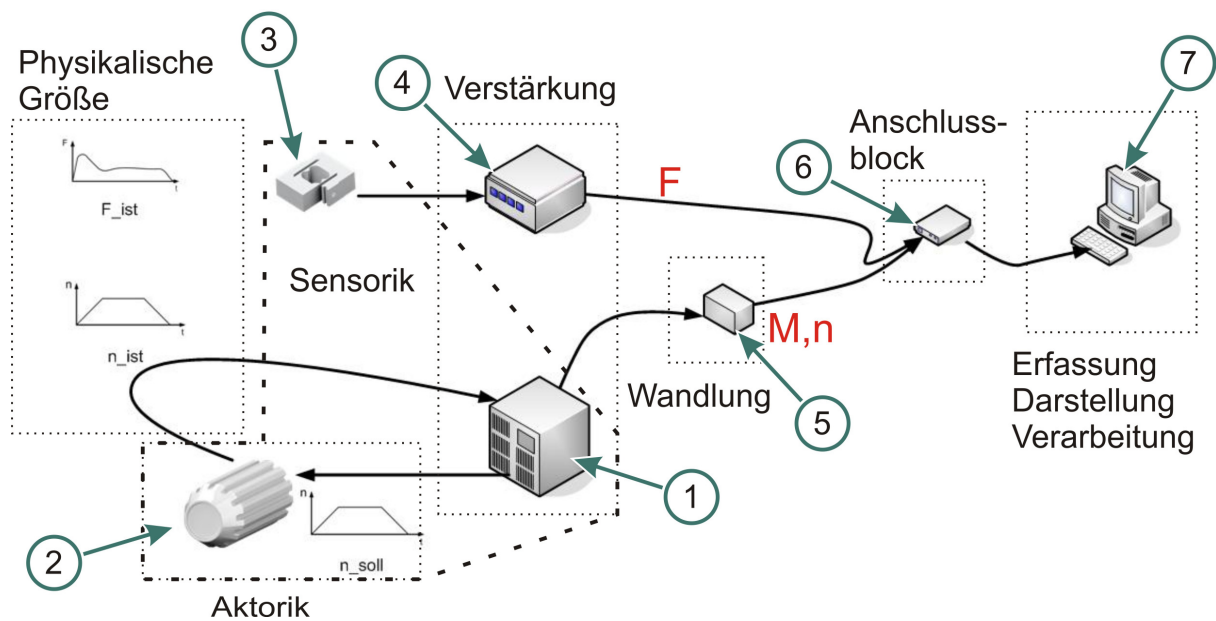


Abbildung 4-16 Messketten

Die Servosteuerung (1) gibt dem Motor (2) ein Drehzahlprofil vor. Der Motor fährt dieses Profil ab, wodurch ein gewisser Weg zurückgelegt wird. Im Motor befindet sich ein Resolver, welcher eine zur Drehzahl $n(t)$ proportionalen Spannung an die Servosteuerung zur Weiterverarbeitung zurückgibt.

Durch die Motordrehung setzt sich auch der Prüfkörper (in der Skizze nicht dargestellt) in Bewegung und es treten Reibungskräfte auf. Diese Kräfte werden in der Kraftmessdose (3) als Verformungen wahrgenommen und als elektrisches Signal an den Messverstärker (4) weitergeleitet. Der Messverstärker und die Servosteuerung haben die Aufgabe, gemessene elektrische Signale zu skalieren.

Ein weiterer Aufgabenbereich der Servosteuerung ist die Ermittlung von internen Mess- und Zwischengrößen, wie das Motormoment und die Motordrehzahl. Um diese Messgrößen weiter zu verwenden, ist eine Digital/Analog Wandlung (5) notwendig, da der Anschlussblock nur Analogsignale annimmt.

Im Anschlussblock (6) werden die Signale von D/A-Monitor und Messverstärker in eine Leitung zusammengefasst und an die Messkarte, welche im Mess-PC (7) verbaut ist, eingeleitet. Dieser PC dient der Erfassung, der Darstellung und der Weiterverarbeitung.

Die Messkette Kraftmessdose→Messverstärker besteht aus Teilen der Firma HBM und die Messkette Motor→Servosteuerung→D/A-Monitor beruht auf Komponenten der Firma Hauser. Um die Kompatibilität zu gewährleisten, werden ab dem Anschlussblock nur mehr Komponenten von National Instruments verwendet. Diese beinhalten neben dem Anschlussblock noch die Messkarte, die Konfigurationssoftware „Measurement&Automation“ und das im Zuge dieser Arbeit entwickelte Mess- und Auswertprogramm „Reibungsprüfstand“.

4.3.1. Kraftmessung

Der gesamte Prüfstands Aufbau beschäftigt sich vorrangig mit der Messung von Reibungskräften. Die Kraftmessung soll in den nächsten Kapiteln kurz beschrieben werden.

4.3.1.1. Kraftaufnehmer

Diese Messelemente sind als Biegebalken ausgeführt, welche sich bei einer Krafteinwirkung verformen, siehe Abbildung 4-17. Um die Verformung zu ermitteln sind meist vier oder ein Vielfaches von vier Dehnmessstreifen (DMS) angebracht, welche durch ihre Verformung eine Widerstandsänderung bewirken. Am Kraftsensor HBM S2 sind vier DMS appliziert. Die DMS sind so angeordnet, dass eine Hälfte (2), (3) gestaucht und die andere Hälfte (1), (4) gedehnt wird, falls eine Krafteinwirkung erfolgt.

Eine bevorzugte Schaltung zur Widerstandsmessung der DMS ist die Wheatstone'sche Brücke im Ausschlagverfahren, siehe Abbildung 4-18. Durch diese Vollbrücke mit vier gegenseitig veränderlichen Widerständen werden Temperatureinflüsse kompensiert und es ist eine sehr große Empfindlichkeit möglich. Die Empfindlichkeit ist ein Maß für die Änderung der Ausgangsspannung im Vergleich zur Eingangsspannung. (vgl. [MÜH12], S.134)

In der vorhandenen Brücke Abbildung 4-18 (vgl. [MÜH12], S.136) werden die Widerstände R_2 , R_3 gestaucht und R_1 , R_4 gestreckt. Alle vier haben den gleichen Grundwiderstand R und weisen bei Verformung eine Verstimmung ΔR auf.

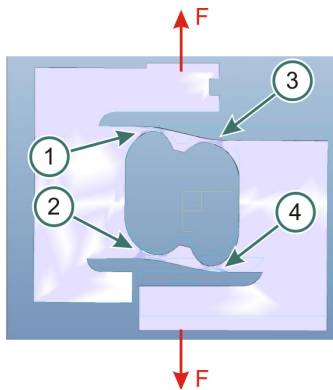


Abbildung 4-17 verformte Kraftmessdose

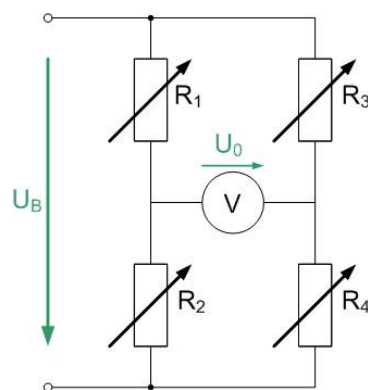


Abbildung 4-18 Wheatstone Vollbrücke

U_B ... Brückespeisespannung
 U_0 ... Brückenspannung

Berechnung U_0 (vgl. [MÜH12], S.137)

$$R_1 = R - \Delta R$$

$$R_2 = R + \Delta R$$

$$R_3 = R + \Delta R$$

$$R_4 = R - \Delta R$$

$$U_0 = U_B * \frac{\Delta R}{2R}$$

4.3.1.2. Messverstärker

Der Messverstärker hat die Aufgabe, eintretende kleine Spannungen zu skalieren. Hierfür muss er die Brückenspeisespannung (1; 2,5; 5 V) bereitstellen. Weiters ist der Messbereich auszuwählen, welcher einen Wert zwischen 0,05 und 50 mV/V aufweisen kann.

Der Ausgangsspannungsbereich des Messverstärkers liegt zwischen -10 und +10 V. Dieser Bereich soll so gut wie möglich ausgenutzt, darf aber nicht über- oder unterschritten werden. Die beiden vorher genannten Einstellungen Speisespannung und Messbereich (Empfindlichkeit) verstärken das Ausgangssignal des Messverstärkers. Besonders wichtig ist, falls die Messdose HBM S2 500 (87500) verwendet wird, dass es einen Polaritätsfehler im Anschluss gibt. Aus diesem Grund werden auf der Anzeige des Messverstärkers Zugkräfte

mit negativem Vorzeichen dargestellt. Der Polaritätsfehler ist für den weiteren Betrieb im Anschlussblock durch Vertauschen von Plus- und Minuspol wieder aufgehoben.

Als Beispiel für den Einfluss der Messverstärkereinstellungen auf eine Kraftmessung dient ein Gewicht von 10,215 kg, welches 100,21 N entspricht. Dieses wurde mit der Kraftmessdose angehoben und die Spannung aufgezeichnet, sowie vor jeder Messung die Speisespannung und der Messbereich verändert. Um die Messung quantitativ zu repräsentieren wurden der Mittelwerte U_0 des konstanten Messfensters gebildet.

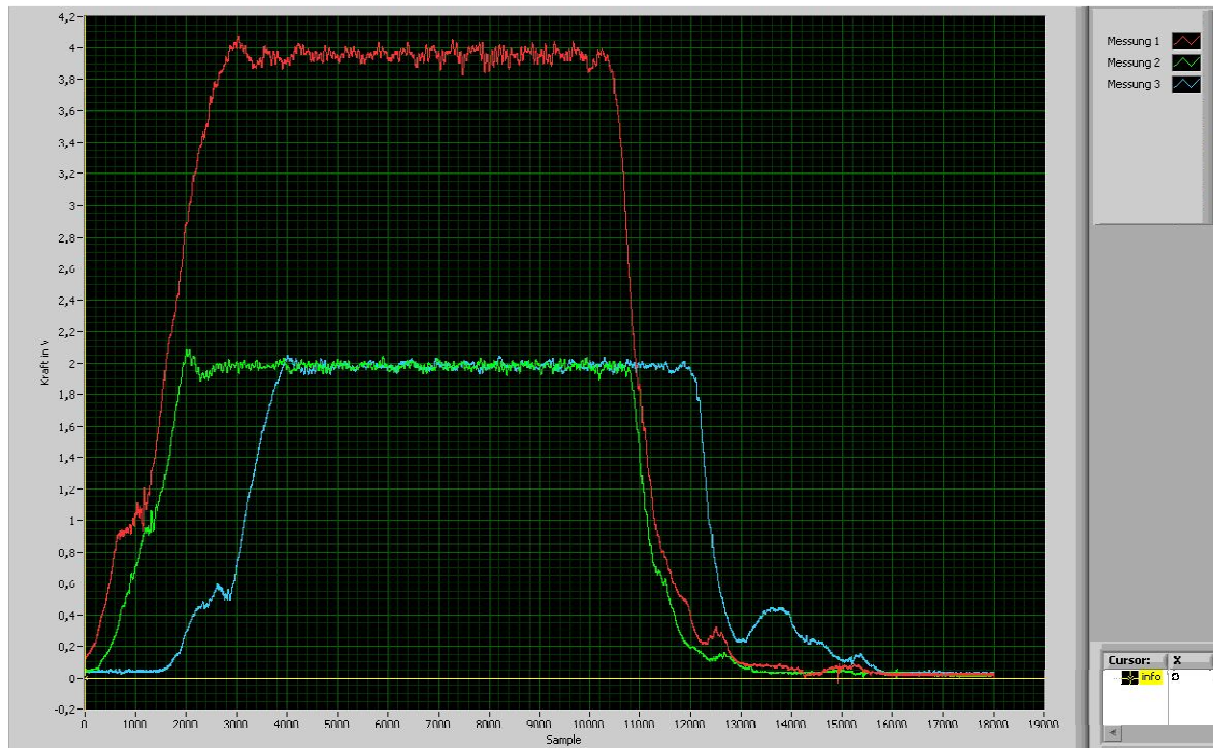


Abbildung 4-19 Vergleich Einstellungen Messverstärker

Tabelle 4-4 Ergebnisse Messverstärkereinstellungen

Messung	U_B in V	Messbereich in mV/V	U_0 in V
1	5	0,5	3,96
2	5	1	1,98
3	2,5	0,5	1,98

Diese Messungen verdeutlichen, dass die Verstärkungen von Messung 2 und 3 die gleichen Ausgangssignale hervorrufen, jedoch Messung 1 die doppelte Spannung U_0 aufweist.

Da eine höhere Spannung U_0 eine bessere Auflösung der Messergebnisse liefert, soll die Einstellung von Messung 1 nun weiterverfolgt werden. Besonderes Interesse gilt hier der Ermittlung der Maximalkraft und dem Proportionalitätsfaktor.

In Hinblick auf die maximale Spannung $U_{\max} = 10 \text{ V}$ ergibt sich folgende mögliche Maximalkraft:

$$\frac{F_1}{U_1} = \frac{F_{\max}}{U_{\max}} \Rightarrow F_{\max} = \frac{F_1}{U_1} * U_{\max} \Rightarrow F_{\max} = \frac{100,21[\text{N}]}{3,96[\text{V}]} * 10[\text{V}]$$

$$\underline{\underline{F_{\max} = 253,06 \text{ N}}}$$

Die Rechnung zeigt, dass mit einer Speisespannung von 5 V und einer Empfindlichkeit von 0,5 mV/V Messungen bis zu einer maximalen Kraft von etwa 253 N durchgeführt werden können. Aus den Testmessungen ging hervor, dass die maximal aufgetretene Kraft bei 212 N lag. Hierdurch wird der Messbereich gut ausgenutzt und die Einstellungen von Messung 1 beibehalten.

Um die Spannung ohne Verhältnisrechnung in eine Kraft umzuformen wird ein Proportionalitätsfaktor VS benötigt:

$$U_1 * VS = F_1 \Rightarrow VS = \frac{F_1}{U_1} \Rightarrow VS = \frac{100,21[\text{N}]}{3,96[\text{V}]}$$

$$\underline{\underline{VS = 25,3 \frac{\text{N}}{\text{V}}}}$$

Dieser Wert wurde auf 25 N/V abgerundet und ist in dem Mess- und Auswerteprogramm einzustellen.

4.3.2. Moment, Drehzahlmessung

Für die Moment- und die Drehzahlmessung ist zuerst eine Digital-Analog Wandlung erforderlich. Die Signale werden in weiterer Folge durch den D/A-Monitor geführt. Dieser wird benötigt um die Analogsignale an den Anschlussblock weiterzuleiten.

4.3.2.1. Digital-Analog Wandlung

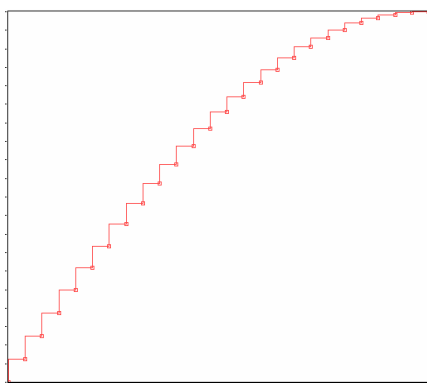


Abbildung 4-20 digitales Signal

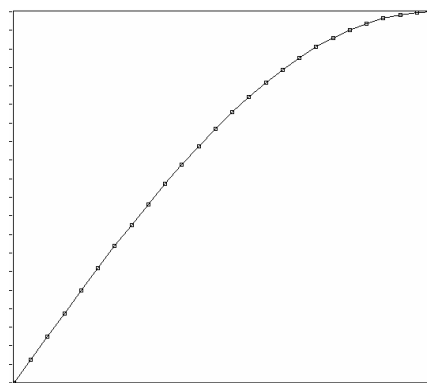


Abbildung 4-21 analoges Signal

Digitale Signale sind zeitdiskret und wertdiskret. Der D/A-Umsetzer wandelt diese zeitdiskreten Signale in zeitkontinuierliche um. Hierbei wird das Signal mit der Abtastfrequenz abgetastet. Da das entstehende Signal nach wie vor eine Treppenfunktion beschreibt, ist eine Bearbeitung durch einen Glättungsfilter notwendig. Die Abtastrate gibt an, wie oft das Signal pro Sekunde abgetastet wird und die Auflösung beschreibt die

Klassenbreite des wertdiskreten Signals. Je größer die Abtastrate und die Abtastfrequenz sind, desto genauer ist das analoge Signal. (vgl. [MEY11], S.150-151)

Jener für diesen Prüfstand verwendete D/A-Wandler weist eine feste Abtastrate von 10 MHz und eine Auflösung von 12 bit auf. (vgl. [HAU95], S.60)

4.4. Mess-PC

Der Mess-PC ist eines der Herzstücke in der Messtechnik, da hier die Messungen aufgezeichnet und ausgewertet werden. Für das Aufzeichnen und Auswerten wurde eigens für den Reibungsprüfstand ein Programm entwickelt, welches auf der Programmieroberfläche „LabVIEW“ von National Instruments basiert und in Kapitel 4.5 vorgestellt wird.

4.4.1. Measurement&Automation

Measurement&Automation ist eine Software, welche zur Erfassung von Daten mit LabVIEW benötigt wird. Sie wird als ein Teil des Zusatzpaketes DAQmx9.5.1 installiert. Hier werden die Einstellungen betreffend der Messkarte und des Anschlussblockes definiert.

4.4.2. Anschlussblock

An den in Measurement&Automation eingestellten Anschlussblock CB-68LP werden die einzelnen von Messverstärker und D/A-Monitor kommenden Signalleitungen angeschlossen. Nachfolgend sind die Anschlusskizzen zu finden:

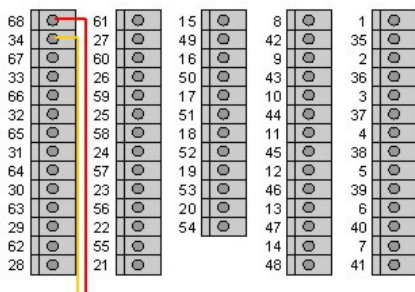


Abbildung 4-22 KMD 1, Physik. Kanal Dev1/ai0

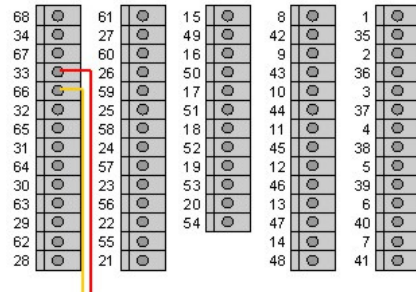


Abbildung 4-23 KMD 2, Physik. Kanal Dev1/ai1

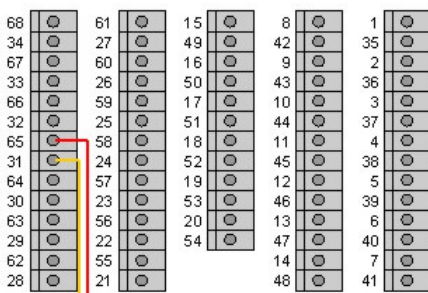


Abbildung 4-24 Moment, Physik. Kanal Dev1/ai2

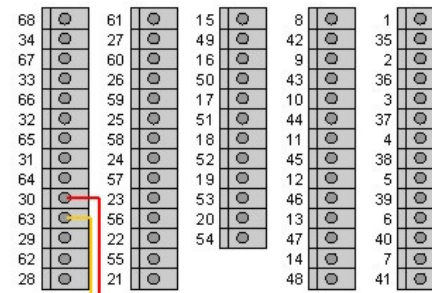


Abbildung 4-25 Drehzahl, Physik. Kanal Dev1/ai3

Um Fehlfunktionen in dem Mess- und Auswerteprogramm zu vermeiden, darf die Anschlussbelegung nicht verändert werden. Das Programm „Reibungsprüfstand“ identifiziert die einzelnen Kanäle anhand der Kanalreihenfolge. Der Kanal für die Kraftmessdose 2, siehe Abbildung 4-23, ist kurzgeschlossen um ein elektrisches Überspringen zu vermeiden.

Abbildung 4-26 zeigt dieses Phänomen bei nicht kurzgeschlossener KMD 2:

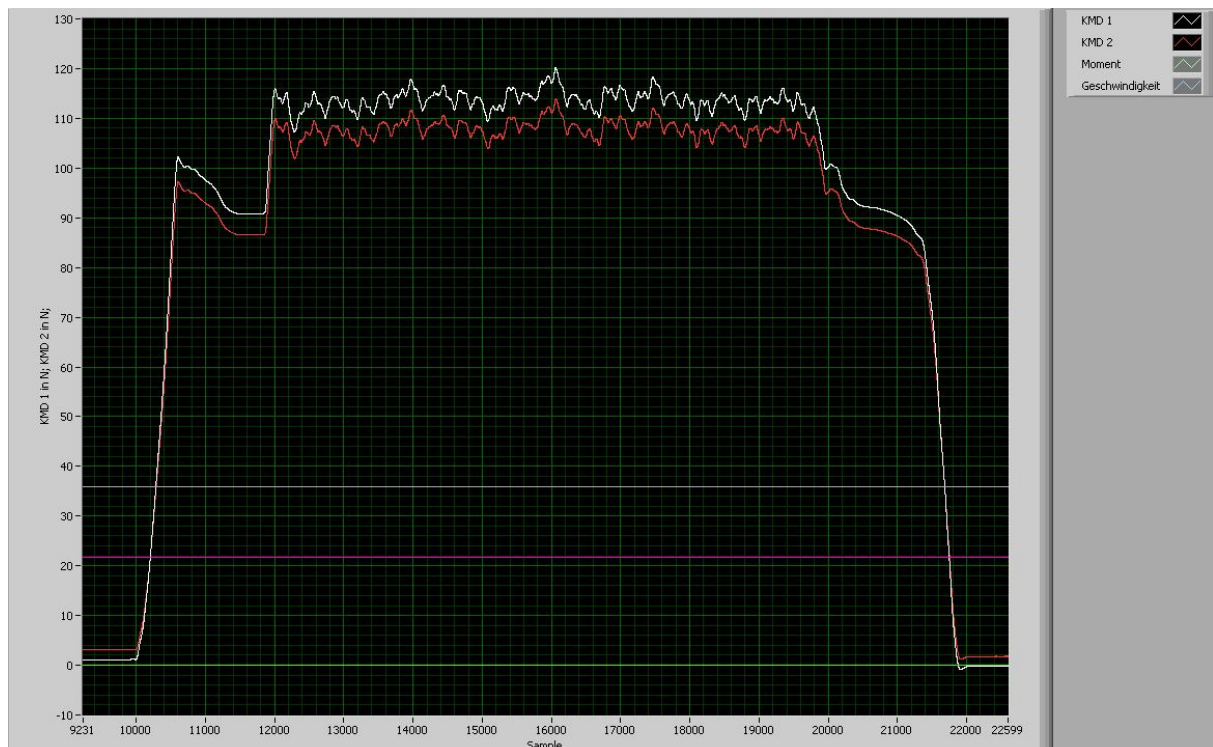


Abbildung 4-26 elektrisches Übersprechen

Die Kraftmessdose 2 dürfte keine Signale ausgeben, denn sie ist nicht angeschlossen. Allerdings ist ein elektrisches Übersprechen von Kraftmessdose 1 zu beobachten.

4.4.3. Messkarte, Analog-Digital Wandlung

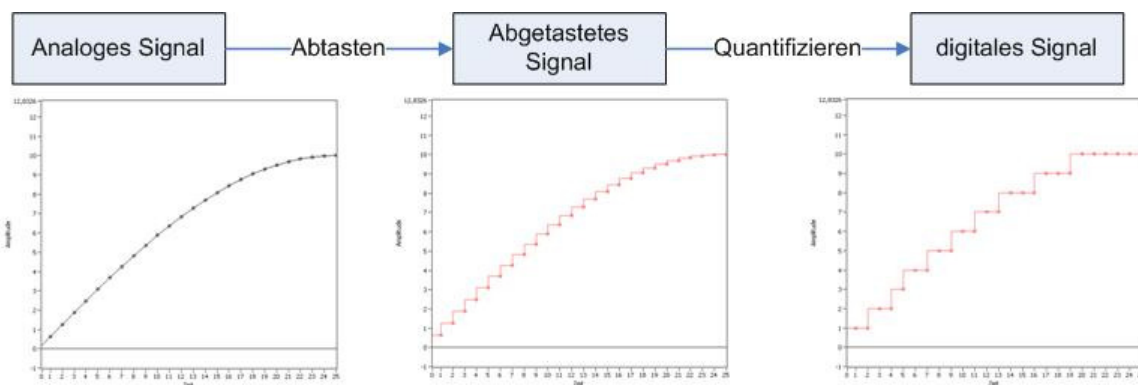


Abbildung 4-27 A/D-Wandlung

In der Messkarte findet eine Umwandlung der analogen Messgrößen in digitale Größen statt. Das wertkontinuierliche, zeitkontinuierliche Analogsignal wird zunächst abgetastet. Dadurch entsteht ein wertkontinuierliches, zeitdiskretes Signal. Dieses Signal wird in Klassen eingeteilt. Im letzten Schritt erfolgt eine Umwandlung in ein wertdiskretes, zeitdiskretes Digitalsignal. Wie oft das Signal in einer Sekunde abgetastet wird ist durch die Abtastfrequenz definiert und die Auflösung gibt Aufschluss über die Klassenbreite des Quantifizierens. Je größer die Abtastfrequenz und die Auflösung sind, desto genauer wird das digitale Signal. (vgl. [MEY11], S.14-16)

Die verwendete Messkarte PCI-6221 weist eine maximale Abtastrate von 250 kHz und eine Auflösung von 16 bit auf. Der maximale Messwert beträgt 10 V.

Der kleinste Messwert beziehungsweise die Klassenbreite ergibt sich wie folgt, (vgl. [HAF10b], S.84):

$$U_{\min} = \frac{U_{\max}}{2^{\text{Bitanzahl}}} \Rightarrow U_{\min} = \frac{10V}{2^{16\text{bit}}} = \frac{10[V]}{65.536}$$

$$\underline{\underline{U_{\min} = 0,153\text{mV}}}$$

4.4.3.1. Abtastfrequenz

Bei der Abtastfrequenz, über die Samplerate (siehe Kapitel 4.5.4.) einstellbar, ist auf die Einhaltung des Nyquist/ Shannon-Abtasttheorems zu achten. (vgl. [MEY11], S.159)

$$f_{\text{abtast}} > 2 * f_{\text{max}}$$

f_{max} ... maximal auftretende Frequenz

f_{abtast} ... Abtastfrequenz

Bei Nichteinhaltung dieser Bedingung würde es zu einem Informationsverlust in Folge des Aliasing-Effektes kommen, siehe Abbildung 4-28:

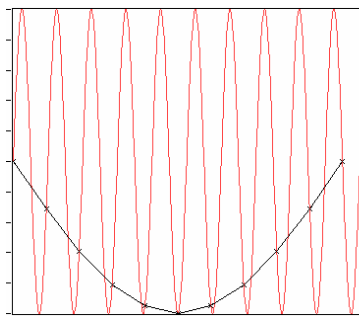


Abbildung 4-28 Aliasing-Effekt

Die gewählte Abtastfrequenz ist zu niedrig. Höhere Frequenzen werden hierdurch fälschlicherweise niedrigeren zugeordnet.

Dieses Phänomen ist allerdings im Prüfstandsbetrieb durch die hohen Abtastraten ausgeschlossen. Hohe Abtastraten sind dadurch bedingt, dass die Messung der Haftreibung ein sehr kleines Messfenster benötigt.

4.4.4. LabVIEW (Mess- und Auswertesoftware)

LabVIEW ist ein von National Instruments entwickeltes Softwarewerkzeug das es ermöglicht, Virtuelle Instrumente kurz VIs, zu erstellen. Diese VIs verwandeln einen herkömmlichen PC in ein leistungsfähiges Messgerät. Ein Vorteil gegenüber konventionellen Messgeräten liegt in der Modularität, welche es ermöglicht eigene Messsysteme ohne Hardwareanpassungen zu entwickeln. Dadurch werden Kosten gespart und somit eignet sich LabVIEW vor allem im Prototypenbau oder im Prüfstandseinsatz. Die weiteren Vorteile liegen in der Digitalisierung von Messungen, wodurch es leicht möglich wird Messergebnisse darzustellen und weiterzuverarbeiten. Speziell in Hinblick auf die Weiterverarbeitung ist LabVIEW ein

mächtiges Tool, welches eine Vielzahl von Operationen zulässt.

4.4.4.1. Kurzbeschreibung Programmieren

LabVIEW ist eine graphische Programmieroberfläche, in der man die einzelnen Befehle als Blöcke im Drag and Drop Prinzip einfügt. Durch die graphische Programmierung ist im Unterschied zu textbasierenden Programmiersprachen der Datenfluss leichter ersichtlich, das Programm wird allgemein übersichtlicher und damit leichter lesbar. Es empfiehlt sich, vor allem in Hinblick auf die Erweiterbarkeit, in Projekten zu arbeiten. In diesen sind oft verwendete Blöcke als Methoden leichter zugänglich.

Als kurzes Beispiel soll ein sehr einfaches Projekt dienen, in welchem der Verlauf des natürlichen Logarithmus dargestellt wird. Dieses Projekt beinhaltet nur zwei Virtuelle Instrumente. Im VI „Start“ wird der Endwert der Berechnung definiert. In diesem VI ist ein Graph vorhanden welcher zur Darstellung des Verlaufes dienen soll. Das „start“ Instrument ruft das VI „ln.vi“ auf und hier wird mittels einer For- Schleife der Verlauf erstellt.

- ln.vi

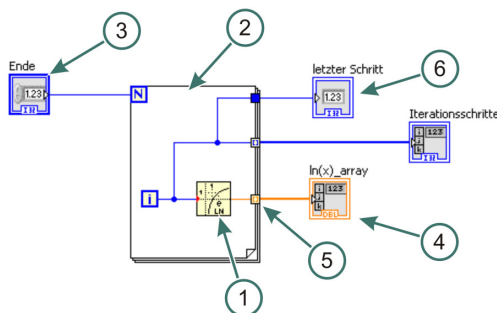


Abbildung 4-29 ln.vi Blockdiagramm

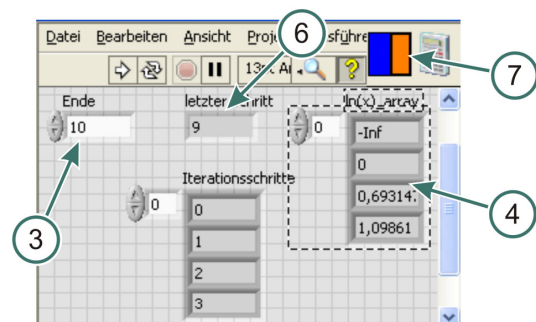


Abbildung 4-30 ln.vi Frontpanel

In diesem VI wird $\ln(x)$ errechnet. Dies passiert im \ln -Block (1) mit welchem der Iterationsanschluss der For- Schleife (2) verbunden ist. Da eine For- Schleife keine Endlosschleife ist, benötigt man einen Endwert. Die Definition dieses Wertes erfolgt in dem ganzzahligen numerischen Bedienelement (3). Die blaue Farbe des Bedienelementes und der Verbindungen, auch „wire“ genannt, signalisiert Integerwerte. Da nicht ein einzelner Wert $\ln(x)$, sondern dessen Verlauf, von Interesse ist, wird ein Container benötigt. In diesem Fall wird ein Double-Array (4) benutzt. Der Datentyp Double ist durch die orange Farbe ersichtlich und das Array ist in der Dicke der Verbindung zu sehen. Der \ln -Block (1) gibt nur diskrete Werte aus, welche im „autoindizierten Tunnel“ (5) der Reihe nach in ein Array geschrieben werden. Eine Weitergabe an das Double-Array erfolgt erst bei Beendigung der Schleife. Der jeweils letzte Schleifenwert ist im numerischen Anzeigeelement (6) zu sehen.

„ln.vi“ ist als Sub-VI implementiert und hat die Anschlussbelegung (7). Mit Hilfe dieser Anschlüsse werden die Ein- und Ausgänge des Sub-VIs definiert, wobei mit dem linken der Wert des Schleifenendes (3) eingelesen wird. Der Rechte bezieht sich auf das Double-Array (4). „ln.vi“ gibt dieses an das aufrufende VI zurück.

- start.vi

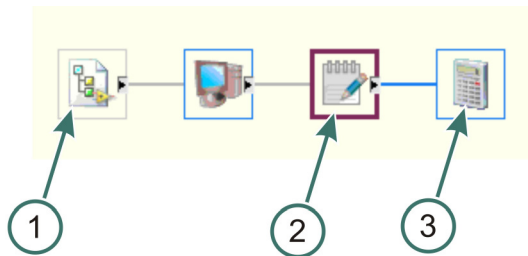


Abbildung 4-31 LabVIEW Beispiel Hierarchie

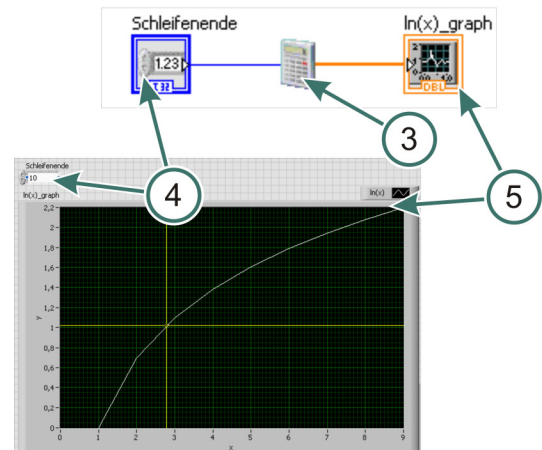


Abbildung 4-32 start.vi Frontpanel, Blockdiagramm

Dieses VI ist für die Darstellung des Verlaufes zuständig. In dem Bedienelement (4) wird das Schleifenende definiert und dann an das Sub-VI „ln.vi“ (3) weitergeleitet. Das Array, welches „ln.vi“ ausgibt, ist nun als Graph (5) zu sehen und beinhaltet den Verlauf von $\ln(x)$ im Bereich von $x=0$ bis $x=9$. Eine Darstellung des Wertes $\ln(x=0)=-\infty$ ist nicht möglich.

In Abbildung 4-31 ist die Hierarchie dieses VIs, mit Punkt (2) bezeichnet, zu sehen. „ln.vi“ wird von „start.vi“ aufgerufen und befindet sich mit (3) bezeichnet eine Stufe darunter. Der Top-Level in der Hierarchie ist durch das Projekt (1) dargestellt.

4.4.4.2. Graph Funktionen

Da in dem Mess- und Auswerteprogramm größtenteils Graphen zur Darstellung der Messwerte dienen, sollen in diesem Kapitel die LabVIEW Standardfunktionen für Graphen beschrieben werden. Als Plot dient der im vorherigen Kapitel erstellte Verlauf von $\ln(x)$. Der Graph ist genauso wie ein Array ein Container, nur dass hier die Zahlenwerte graphisch dargestellt werden.

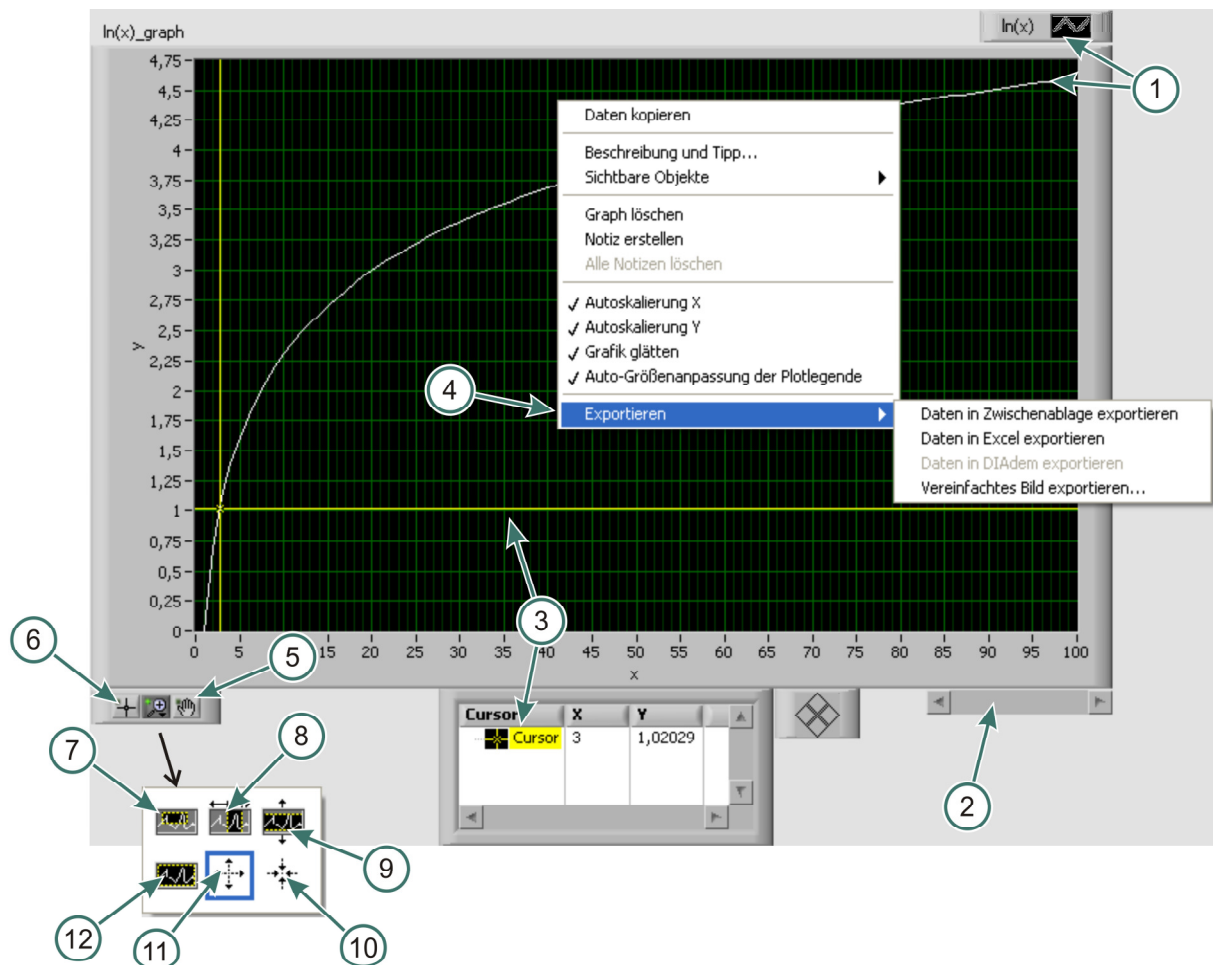


Abbildung 4-33 LabVIEW Standard Graph Funktionen

Nachfolgend befindet sich eine Erklärung der markierten Punkte in Abbildung 4-33:

- (1) Der Inhalt des 1-dimensionalen Arrays, sowie der Plotname und dessen Farbe.
- (2) Verschiebepalken um auf der x-Achse zu scrollen.
- (3) Eines der wichtigsten Elemente bei der Auswertung von Messergebnissen ist der Cursor. In dem Mess- und Auswerteprogramm dürfen die Namen des Cursors auf keinen Fall geändert werden. Die Cursor werden anhand ihrer Namen identifiziert. Jedoch ist es durchaus legitim Cursor hinzuzufügen.
- (4) Dieses Menü wird mit der rechten Maustaste geöffnet und bietet Exportfunktionen. Der Export basiert auf der gerade vorhandenen Darstellung des Plots. Im Falle des Excel-Exports wird der gerade sichtbare Teil des Graphen mit x und y Werten übertragen.

Graph-Palette:

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| (5) Freies Verschieben der Plots | (9) y-Achse zoomen |
| (6) Cursor-Verschieben | (10) verkleinern |
| (7) Teilbereich zoomen | (11) vergrößern |
| (8) x-Achse zoomen | (12) Autoscale. |

4.5. Mess- und Auswerteprogramm

Das Mess- und Auswerteprogramm „Reibungsprüfstand“ wurde eigens für diesen Prüfstand auf LabVIEW Basis entwickelt. Bei diesem Werkzeug wurde Wert auf Benutzerfreundlichkeit und Funktionalität gelegt. Es wird hiermit ermöglicht Messungen aufzuzeichnen, zu verarbeiten, auszuwerten und zu speichern.

Um die Grundsätze der Objekt-Orientierten Programmierung einzuhalten ist das Programm modular in dem Projekt „start.lvproj“ implementiert. Durch die Modularität steht einer Weiterentwicklung nichts im Wege, wodurch die Anpassung an verschiedene Problemstellungen möglich wird.

Da der Programmumfang im Laufe dieser Diplomarbeit immer weiter zugenommen hat, war es unumgänglich das Projekt in einen „*.exe“-File zu kompilieren. Dieser heißt „Reibungsprüfstand.exe“.

Durch die Kompilation ergeben sich folgende Vorteile:

- Der Programmstart wird erleichtert.
- Das Programm ist transportabel und läuft auf jedem Rechner mit LabVIEW Runtime. Diese Runtime kann man unter <http://www.ni.com/downloads/drivers/d/> kostenlos downloaden.
- Da man nur die Runtime und nicht die gesamte LabVIEW Entwicklungsumgebung benötigt, ist es möglich das Programm ohne Benutzung des Lizenzservers zu verwenden.
- Es wird allgemein eine bessere Leistungsfähigkeit erzielt.
- Einem unbedarften Benutzer ist die Möglichkeit entzogen Teile des Programms zu verändern.

4.5.1. Funktionsumfang

In der nachfolgenden Auflistung soll ein Überblick über die Funktionalität gegeben werden:

Messung konfigurieren:

- Verstärkungsfaktoren
- Samplerate
- Triggerlevel
- Sampleanzahl
- Parameterberechnung für COMPAX
- Geschwindigkeitsprofilüberprüfung
- Waage
- Beladungsrechner.

Messung aufzeichnen:

- manuell, anhand der Samplerate
- automatisch mit Triggerung
- Diagnosefunktionen
- Filter
- Messserien
- „Echtzeit“ Messwertdarstellung.

Messung auswerten:

- Ermittlung des Haftreibungskoeffizienten
- Ermittlung des Gleitreibungskoeffizienten
- Mittelwertbildung
- Kraftmaximum, Minimum und Mittelwert
- mehrere Messhübe der Reihe nach abspielen
- Messungen zusammenfügen
- Messkurvenauswahl
- Messungsvergleich
- Wegberechnung
- Wechsel zwischen gefilterten und ungefilterten Messschrieben
- Skalieren von Moment und Geschwindigkeit
- Statistische Analyse.

Dateifunktionen:

- eine/ mehrere Messungen einlesen
- zwischen Messungen umschalten
- Messungen in *.tdms Format abspeichern
- Randbedingungen ändern
- Screenshot in *.jpg per Taste F1
- VI beenden durch "ESC"
- Teilmessungen extrahieren
- Protokolle in *.txt beziehungsweise in *.doc erstellen
- Diagramme in *.jpg Format erzeugen
- bevorzugte Speicherorte
- Konfigurationsfiles.

Errorhandler wurden in jedem VI implementiert, in welchem der Benutzer Einstellungen tätigen kann. Die Fehler sind in zwei Gruppen unterteilt:

- Fehler führen zu Programmabsturz:

Zum Beispiel führt eine negative Samplerate zu einer Fehlfunktion des DAQ-Assistenten und damit zu einem Absturz.

Dialogmeldung mit einer Schaltfläche: „Zurücksetzen“

- Fehler führen nicht zu Programmabsturz:

Ein negativer Verstärkungsfaktor ist vermutlich falsch eingegeben, dies könnte aber auch gewünscht sein.

Dialogmeldung mit zwei Schaltfläche: „Zurücksetzen“ und „trotzdem ok“.

4.5.2. Startmenü

Bei der Ausführung von „Reibungsprüfstand.exe“ wird als erstes das Startmenü, siehe Abbildung 4-34, angezeigt. Diese Abbildung fungiert als Leitfaden für die Kapitel 4.5.3 - 4.5.15, in welchen eine Erklärung der wichtigsten Funktionen erfolgt. Von dem Startmenü aus ist ein Aufrufen dieser grundlegenden Funktionen des Messprogramms möglich.

Wenn eine dieser Funktionen, zum Beispiel „Eckdaten Messung“ oder „Messung ausführen“, geschlossen wird, befinden sich die eingegebenen Daten im temporären Speicher des VIs.

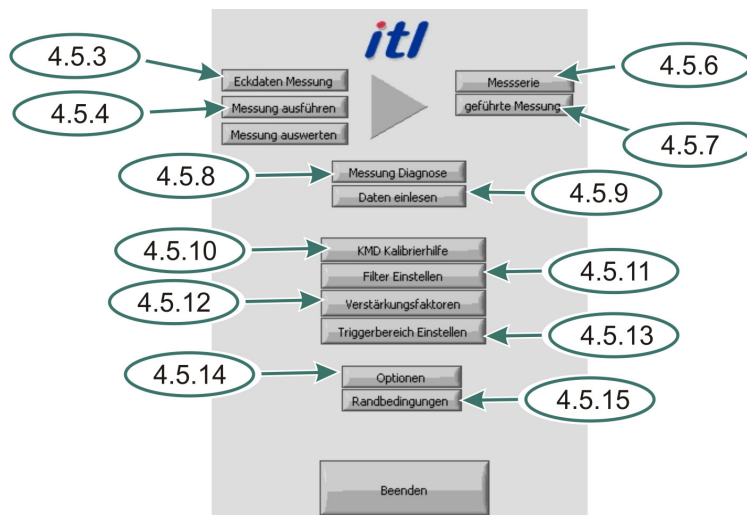


Abbildung 4-34 Startmenü

4.5.3. Eckdaten Messparameter

Abbildung 4-35 Eckdaten Messung

Mit der Eingabemaske (1) ist es möglich grundlegende Informationen über die Messung festzuhalten. Alle in dieser Maske getätigten Eingaben werden mit der nächsten durchgeführten Messung dokumentiert.

Für eine leichtere Ermittlung der Bedienparameter SPEED und ACCEL, siehe Kapitel 3.2.4., ist ein Umrechner (2) vorhanden. Dieser rechnet automatisch von den Bedienparametern auf die echten Parameter beziehungsweise umgekehrt um. Als Beispiel sei die Umwandlung der prozentualen Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde angeführt. An Hand der Eingaben des Geschwindigkeitsprofils wird auch ein Beschleunigungszeitdiagramm erstellt. Aus diesem errechnet das Programm automatisch die maximale Beschleunigung und den Beschleunigungsweg, siehe Kapitel 3.3.3.4. Um die in Abbildung 3-18 gezeigte Spitze zu

vermeiden kann man das Geschwindigkeitsprofil mit dem Button (3) auf Gültigkeit überprüfen. Hierfür ist allerdings ein definierter Prüfweg (4) erforderlich.

Die Eingabe des Gesamtgewichts (5) ist essentiell für die Ermittlung der Reibkoeffizienten. Um die Eingabe zu erleichtern ist ein kleiner Rechner (6) vorhanden, in welchem das Gesamtgewicht anhand von Kistenhalter, Leergewicht und Beladung ermittelt wird. Falls man mit vielen verschiedenen Beladungen arbeitet empfiehlt sich der „Beladungsrechner“. In diesem wird zum eingestellten Gesamtgewicht eine einstellbare Gewichtsliste addiert beziehungsweise vom Gesamtgewicht subtrahiert. Falls die Last komplett unbekannt ist, besteht die Möglichkeit diese mit der Kraftmessdose zu wiegen, siehe Punkt (7). Die Ergebnisse überschreiben auf Wunsch jene Eingaben im Rechner (6). Für das Wiegen muss der Kraftsensor allerdings demontiert werden.

Für den Fall, dass im Startmenü, „Messserie“ ausgewählt wird, sind die Felder (8), (9) und (10) aktiviert. Der Messreihenname (8) fungiert als Ordnerbezeichnung in welchen alle durchgeführten Messungen mit Name und Index abgelegt werden. Falls der Bedarf besteht eine Messreihe zu erweitern, ist diese mittels der Liste (9) auszuwählen. Mit der Liste (10) können die Daten einer bereits durchgeführten Messung übernommen werden. Für den Start einer Messung muss man dann allerdings „*.neue Messung“ auswählen.

Eine Messreihe wird durch „zurück“ abgebrochen.

4.5.4. Messung ausführen

Bei Betätigung des Buttons „Messung ausführen“ werden zunächst die Eckdaten der Messwertaufzeichnung definiert. Erst durch „Messung Starten“ startet die Messung mit diesen Daten.

4.5.4.1. DAQ-Daten

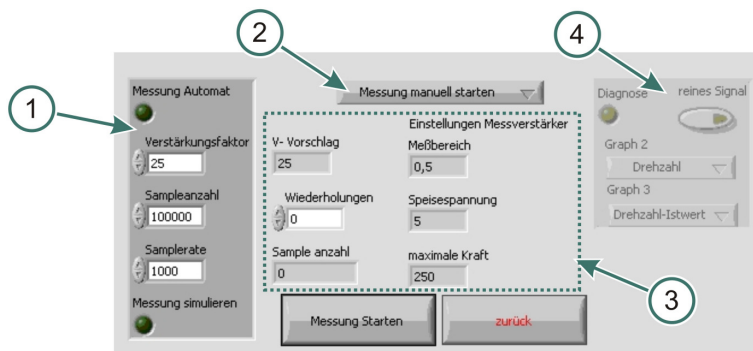


Abbildung 4-36 DAQ-Daten

Die DAQ-Daten, wie der Verstärkungsfaktor, die Samplerate und die Anzahl werden im Cluster (1) definiert. Mit dem Dropdownmenü (2) wählt man einen Messmodus:

- manuell: Die Messung endet erst nach der eingestellten Sampleanzahl.
- getriggert: Messung startet erst bei Überschreiten eines Triggerlevels und endet bei 20 sekündigem Motorstillstand.

- simuliert: Statt des Messkarteneingangs werden simulierte Sinus Signale aufgezeichnet.
- Einstellung: Die Messung erfolgt gleich wie die manuelle. Einige VIs schlagen diesen Einstellmodus vor. Dieser soll signalisieren, dass es sich nicht um eine herkömmliche Messung handelt, da die Messschriebe nach der Abarbeitung gelöscht werden.

In den Feldern (3) sieht man Vorschläge, welche durch die vorgenommenen Eingaben in „Eckdaten Messung“ kreiert worden sind. Diese sollte man lediglich als Richtwerte benutzen.

Wenn man im Startmenü „Messung Diagnose“ wählt ist das Diagnosecluster (4) aktiv. Mit Hilfe dieser Clustereinstellungen können andere D/A-Monitoradressen, siehe Kapitel 3.4.5. beziehungsweise ([HAU95], S.60 ff), ausgewählt werden. Diese ersetzen bei der Messung die Graphen „Moment“ und „Geschwindigkeit“. Für den Fall, dass nur das Aufzeichnen der Eingangsspannungen von Belang ist, existiert der Knopf „reines Signal“.

4.5.4.2. Messung

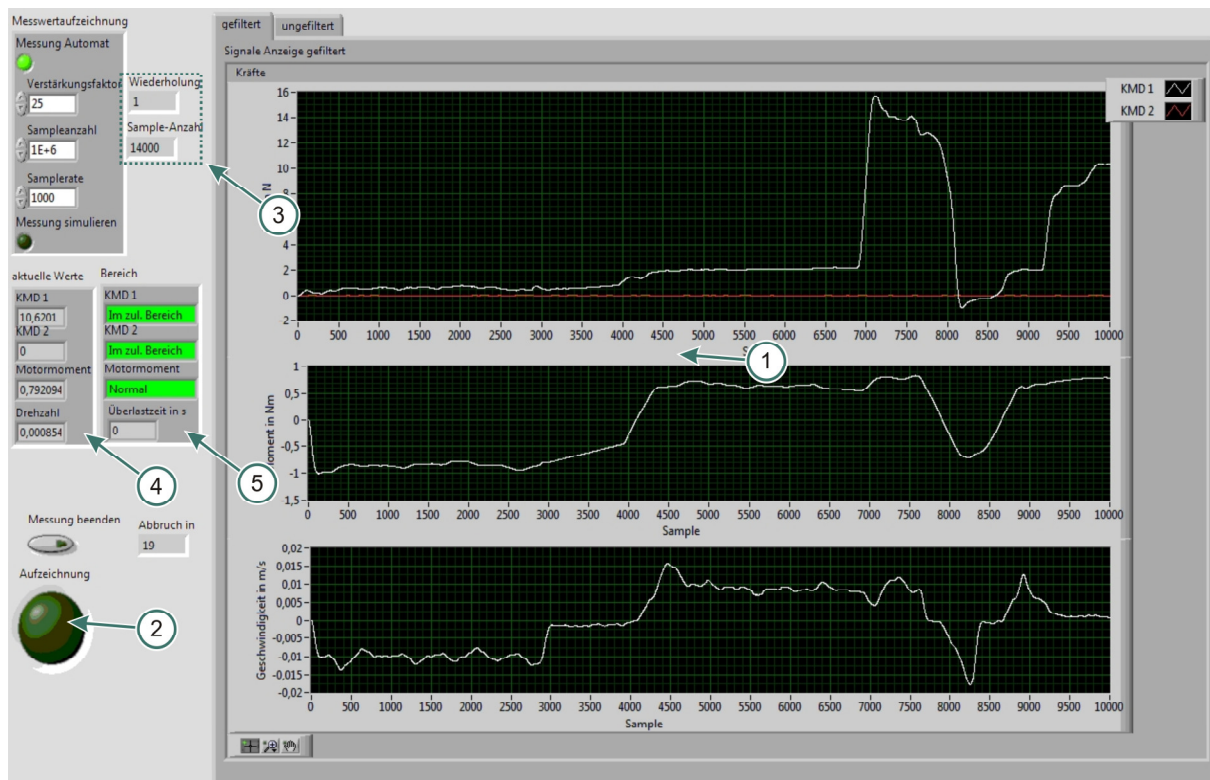


Abbildung 4-37 Messung ausführen

In dem Diagrammcluster „Signale Anzeige“ (1) werden aufgezeichnete Daten der Kräfte, des Motormomentes und der Geschwindigkeit über der Samplezahl dargestellt. Es ist auch möglich zwischen den gefilterten und ungefilterten Signalen zu wechseln. Die Aufzeichnung ist nicht in Echtzeit, sondern um eine Sekunde, in diesem Fall 1.000 Samples, zeitlich versetzt. Das ist ein Kompromiss zwischen der „Echtzeit“- Aufzeichnung und der Programmfunktionalität.

Die von der Messkarte kommenden Signale werden in diesem VI sofort verarbeitet:

- Kräfte werden mit dem Verstärkungsfaktor multipliziert.
- Der Querstrom wird anhand der in Kapitel 3.4.5. angeführten Formel in das Motormoment in Nm umgerechnet.
- Aus der Drehzahl wird die Motorgeschwindigkeit in m/s berechnet.
- Bei aktivierter Triggerung wird die Geschwindigkeit auf ihr derzeitiges Level überprüft und bei Überschreitung die Aufzeichnung gestartet beziehungsweise beim Unterschreiten beendet.

Ob die Messung aufgezeichnet wird oder nicht zeigt die Leuchte (2). Bei der manuellen Messung wird alles aufgezeichnet, jedoch ist bei der automatischen Messung die Aufzeichnung vom Trigger abhängig. Falls der „Motor steht“- Bereich für 20 Sekunden nicht verlassen wird, bedeutet dies das Messende. Da durchwegs mehrere Hübe in einer Messung durchgeführt werden können, findet im Rahmen (3) eine Zählung der Hübe und der Samplezahl statt.

Im Cluster (4) werden die jeweils aktuellen letzten Werte angezeigt. Diese sind im Cluster (5) in Bezug auf ihre Größe bezüglich der jeweiligen Maxima ersichtlich.

Falls „Messung beenden“ oder „ESC“ betätigt wird findet unabhängig vom Messmodus ein Messende statt. Bei einer automatischen Messung werden erst danach die einzelnen Messhübe zu einer Messung zusammengefasst. Des Weiteren findet eine Überprüfung der aufgezeichneten Sampleanzahl statt. Wenn diese einen definierten Wert (600.000 Samples) überschreitet, wird die Messung in Pakete zu je 600.000 Samples aufgeteilt.

Für den Fall, dass während der Messung oder des Auswertens ein Fehler im Messprogramm auftritt, tritt eine Backupfunktion in Kraft. Die aufgezeichneten Messwerte werden im Ordner „*/backup/“ mit Datum und Uhrzeit dauerhaft hinterlegt.

Um bei der Messung keine Übertragungsschwierigkeiten zu verursachen ist es notwendig, das Programm „Reibungsprüfstand.exe“ von der Festplatte zu starten und nicht von einem USB-Stick. Während der Aufzeichnung sollten, um eine Echtzeitmessung zu ermöglichen, keine anderen unnötigen Programme laufen. Um vor allem bei zeitlich langen Messungen keinen Abbruch zu provozieren, muss die Zeit bis zum Ausschalten der Festplatte unter Energieoptionen angepasst werden.

4.5.5. Messung auswerten



Abbildung 4-38 Messung auswerten

Die jeweils letzte durchgeführte Messung mit ihren Messschrieben und den jeweiligen Eckdaten kann in diesem VI ausgewertet werden. Um dies zu ermöglichen sind vier Cursor (1) definiert. Diese grenzen die Bereiche der Haftreibung und der Gleitreibung ab. Anhand dieser Bereiche werden für den ausgewählten Plot (2) die jeweiligen Werte (3) berechnet. Hier ist allerdings darauf zu achten, dass die Beschleunigung nur linear angenähert wird. In Hinblick auf die Reibkoeffizienten sollte man allerdings mit dem Menü (4) die ungefilterten Messschriebe benutzen. Falls mehrere Messhübe vorhanden sind und die Reibkoeffizienten von bestimmten Hüben gemittelt werden sollen ist dies in Elementen Punkt (5) möglich.

Speziell in Hinblick auf die Darstellung besteht die Möglichkeit im Cluster (6) Kanäle auszuschalten beziehungsweise die Geschwindigkeit oder das Moment mit einem Faktor zu multiplizieren. Auf Wunsch kann die aktuelle Darstellung mittels Button (7) in einem *.jpg-File gespeichert werden. Falls mehrere Messungen eingelesen werden, kann man zwischen diesen mit Hilfe des Dropdown Menüs (8) wechseln. Die beiden Knöpfe (9) bieten die Möglichkeit entweder alle eingelesenen Messungen, oder nur die gerade angezeigte, aus dem temporären Speicher zu entfernen.

Um die Arbeit zu erleichtern existiert noch ein fünfter Cursor namens „Info“ (10). Dieser hat eine Doppelfunktion. Während mit der vertikalen Komponente die Messwerte plotübergreifend an der aktuellen Position in den Feldern (11) ausgegeben werden, ist der horizontale Balken für die Zusatzfunktionen „Statistik“, „Abspielen“ und „Extrahieren“ essentiell.

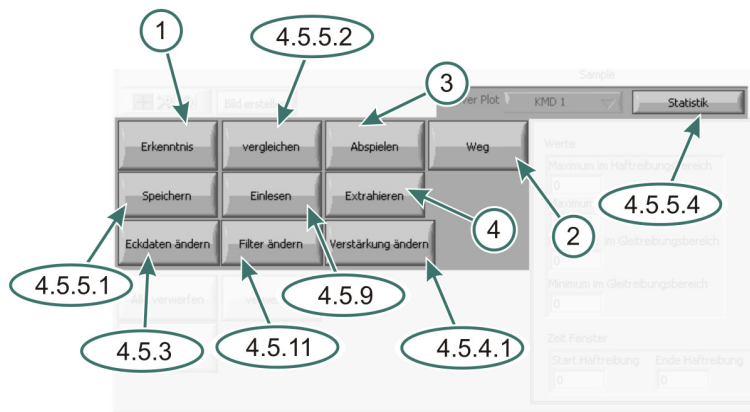


Abbildung 4-39 Auswerten Zusatzfunktionen

- (1) Hierdurch können zusätzliche Informationen zur Messung festgehalten werden. Diese sind im Textfeld „Informationen zur Messung“ zu finden, siehe Kapitel 4.5.3.
- (2) Wegberechnung anhand der Methode der kleinsten Schritte, siehe Kapitel 3.4.7.1.
- (3) mehrer Messhübe werden anhand des horizontalen Info-Cursors aufgeteilt und können durch Button (3) der Reihe nach abgespielt werden.
- (4) Falls nur einzelne Bereiche einer Messung relevant sind, ist es möglich diese mit Knopf (4) zu extrahieren. Die Messhübe werden anhand des Info-Cursors ermittelt. In einem weiteren VI können die Messhübe separat beziehungsweise einzelne Bereiche getrennt von der Hauptmessung abgespeichert werden.

4.5.5.1. Speichern

Erst durch Betätigen von „Speichern“ werden die Messungen gespeichert!

Die Speicherung der Messungen erfolgt in einem *.tdms-File. Dies ist eine binäre Messdatendatei, welche im Vergleich zu *.lvm-Files schneller gelesen beziehungsweise geschrieben wird. Das tdms Format benötigt auch weniger Speicherplatz und ist mit einem von NI bereitgestellten „Excel Importer“ im Tabellenkalkulationsprogramm aufrufbar.

Für jede gespeicherte Messung schreibt das Programm auch ein kurzes Protokoll im Format *.txt oder *.doc. Die Unterschiede sollen nun kurz erläutert werden:

Tabelle 4-5 Vergleich Protokollformate

	*.txt	*.doc
Aufrufprogramm	Editor, Notepad	Microsoft Word
Speichergeschwindigkeit	sehr kurz	lange
Formatiert?	nein	ja
Inhalte	alle angezeigten Werte Statistikwerte	alle angezeigten Werte Statistikwerte Histogramme eine Abbildung

4.5.5.2. Vergleichen, mehrere Messungen

Als erstes müssen die Messungen ausgewählt werden, die man vergleichen möchte. Danach ist über die Kanalauswahl ein Vergleich möglich.

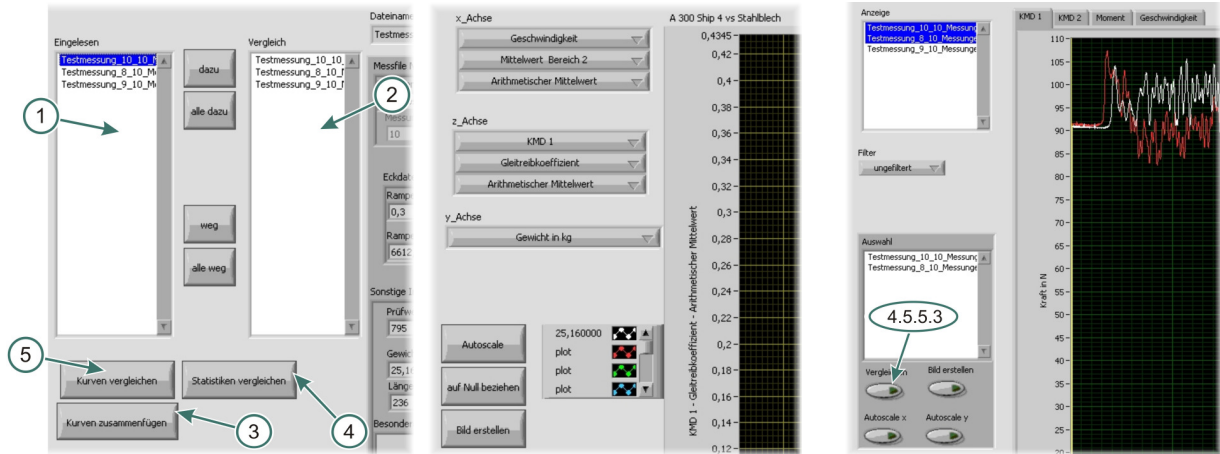


Abbildung 4-40 Vergleichauswahl Abbildung 4-41 Statistikvergleich Abbildung 4-42 grober Vergleich

- (1) Die eingelesenen Messungen sind hier ersichtlich.
- (2) Stellt die Messungen für den Vergleich, Reihenfolge von oben nach unten dar.
- (3) An Hand der in Liste (2) festgelegten Reihenfolge werden die einzelnen Messungen zu einer einzigen zusammengefasst.
- (4) Falls Statistikdaten vorhanden sind, besteht mit dem Button „Statistiken vergleichen“ (4) eine Vergleichsmöglichkeit, siehe Abbildung 4-41. Hierbei sind die Bezüge von x-, y- und z-Achse frei wählbar.

Mittels des Dropdownmenüs „y-Achse“ kann aus jenen in Kapitel 4.5.3. gezeigten Werten ausgewählt werden. An Hand dieser Auswahl werden die jeweiligen Messungen zusammengefasst. Im Beispiel wurde „Gewicht in kg“ gewählt. Dies bedingt eine Zusammenfassung aller drei Messungen, da sie mit dem gleichen Gewicht erfolgten.

Tabelle 4-6 Achseinstellungen Statistikvergleich

y-Achse	x-, z-Achse		
	Kanal	Option	Statistik
Geschwindigkeit	KMD 1	Maximum Bereich 1	Maximum
Beschleunigungszeit	KMD2	Mittelw. Bereich 2	Minimum
Prüfweg	Moment	Maximum Bereich 2	Index max min
Gewicht	Geschwindigkeit	Minimum Bereich 2	Standardabweichung
Körperlänge		Haftreibungskoeffizient	Arithmetrischer Mittelwert
		Gleitreibungskoeffizient	Mittelwert

Beim groben Vergleich, siehe Abbildung 4-42, sind jene in „Anzeige“ markierten Kurven übereinander gelegt. Es ist erforderlich einen Kanal zu wählen. Zu dem in Kapitel 4.5.5.3. beschriebenen Vergleich kommt man durch „Vergleichen“.

4.5.5.3. Vergleichen

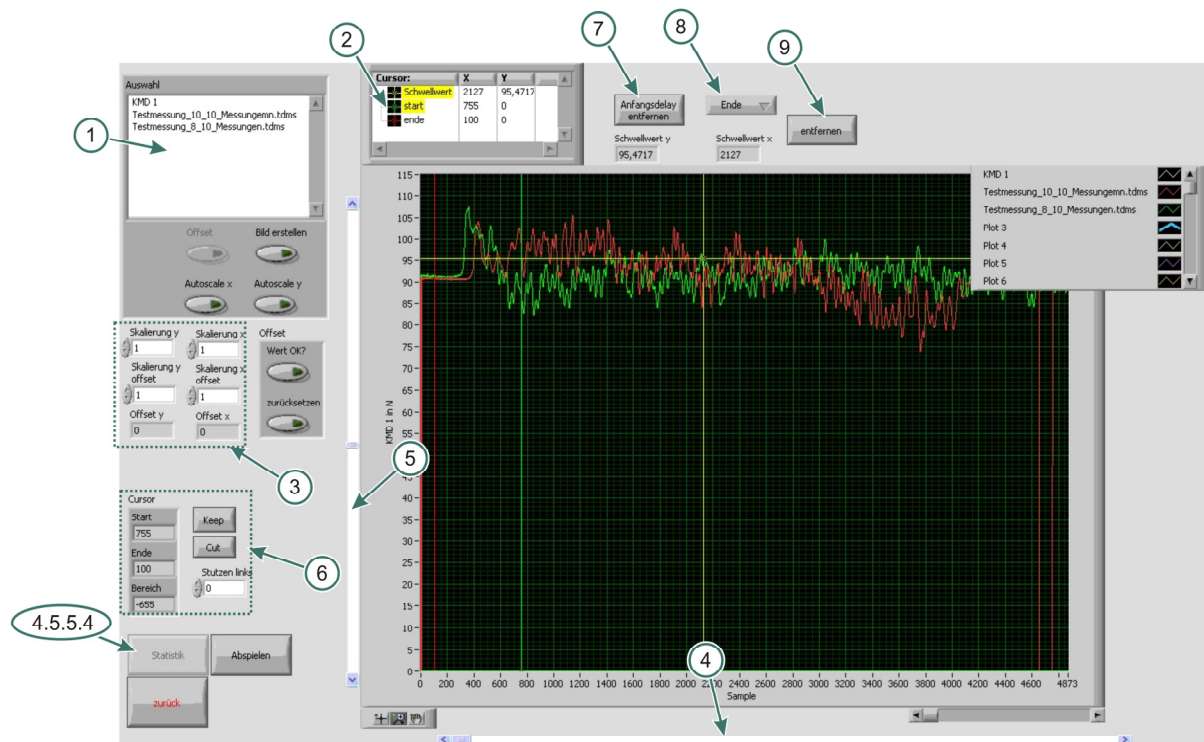


Abbildung 4-43 Messungen vergleichen

- Mögliche Bearbeitungen für einen Plot:

Mit Hilfe von „Auswahl“ (1) können nun einzelne Messungen markiert werden. Die gerade aktivierte Messung wird dicker dargestellt als die anderen. Für die Bearbeitung eines Plots sind zwei Cursor „start“ und „ende“ (2) vorgesehen.

Die Verschiebungsfaktoren für einen Offset sind in den Feldern Punkt (3) ersichtlich.

Mittels Scrollbar (4) wird eine horizontale Verschiebung des aktivierten Plots nach rechts durchgeführt. Hierbei wird der Scrollbarwert mit dem in (3) befindlichen „Skalierung x offset“- Faktor multipliziert.

Mit dem Balken (5) ist eine vertikale Verschiebung mit Faktor (3) „Skalierung y offset“ möglich. Wenn die gewünschte Verschiebung erreicht ist, muss man diese mit „Wert ok?“ bestätigen. Mit den Bearbeitungsfunktionen (6) kann per „Keep“ nur ein Ausschnitt des Plots behalten, beziehungsweise per „Cut“ dieser Ausschnitt entfernt werden. Die jeweiligen Bereiche werden durch die beiden Cursor „start“ und „ende“ definiert. Durch „stutzen links“ wird der Plot von Null bis zum eingegeben Sample gekürzt.

- Mögliche Bearbeitungen für alle Plots:

Mit Hilfe von „Anfangsdelay entfernen“ (7) wird für jeden Plot der erste Wert gesucht, welcher über dem horizontalen „Schwellwert“-Cursor liegt. Dadurch ist nun ein Übereinanderlegen von verschiedenen Messungen möglich. Der vertikale „Schwellwert“-Cursor dient dem Entfernen von ganzen Bereichen. Mit dem Dropdownmenü (8) wird ein Bereich definiert, und mit dem Knopf (9) schlussendlich

entfernt. Dieser Entfernungsbereich gilt entweder von 0 bis zum Schwellwert („Anfang“) oder vom Schwellwert bis zum letzten Sample („Ende“).

Falls man dieses VIs über den „Statistik“- Button, siehe 4.5.5.4., aufruft, sind unter Auswahl (1) die Messhübe in ihrer Reihenfolge ersichtlich. Eine statistische Auswertung ist nur möglich, wenn alle Offsetfunktionen zurückgesetzt sind. Denn die Offsetfunktionen wirken nur jeweils auf eine Messkurve, beziehungsweise im Fall der Statistik auf einen Hub. Jedoch sind für die weitere Statistikberechnung Bearbeitungen möglich, welche alle Plots beinhalten.

4.5.5.4. Statistik

Als erstes findet eine Bearbeitung durch jene in Kapitel 4.5.5.3. vorgestellten Funktionen statt. Hier sind allerdings nur jene gültig, welche alle Plots betreffen. Erst danach wird das eigentliche Statistik VI aufgerufen.

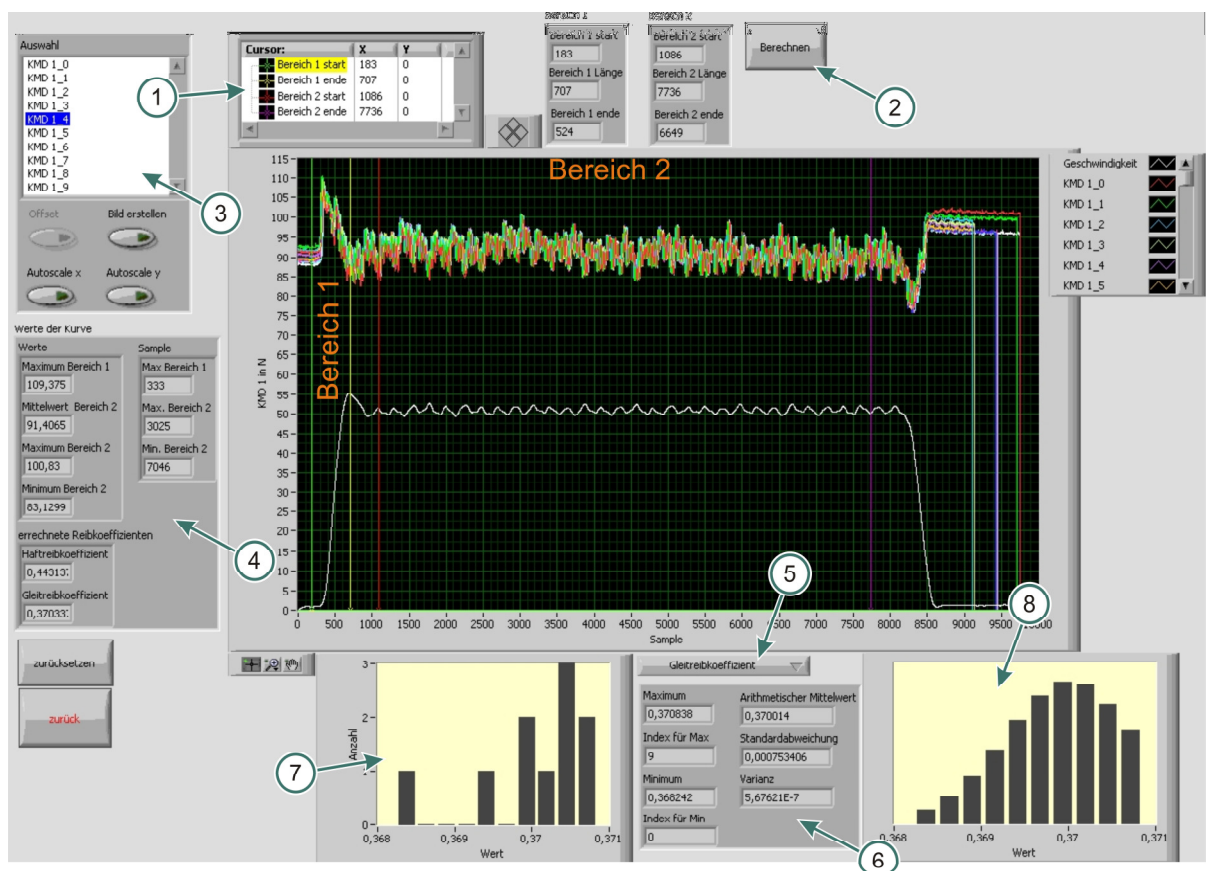


Abbildung 4-44 Statistik

Mit den vier Cursor (1) ist eine Definition der jeweiligen Samplebereiche möglich. „Bereich 1“ gilt als der Haftreibungsbereich und „Bereich 2“ als der Gleitreibungsbereich. Um die Bereiche leichter identifizieren zu können wird beim Aufruf dieses VIs auch die Geschwindigkeit dargestellt. Diese ist allerdings so skaliert, dass ihr Maximum der Hälfte des auszuwertenden Plotmaximums entspricht. Wenn die Bereiche definiert sind, werden über „Berechnen“ (2) die Statistikkomponenten ermittelt. Diese werden für jenen durch „Auswahl“ (3) ausgewählten Plot im Cluster (4) dargestellt. Die plotübergreifenden Statistiken sind mit Hilfe des Dropdownmenüs (5) auswählbar. Eine Anzeige erfolgt durch das Cluster (6), das Histogramm (7) und den Normalverteilungsgraphen (8).

Tabelle 4-7 Statistiken

Auswahl mit (5)	Anzeige in (6)
<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Bereich 1 • Mittelwert Bereich 2 • Maximum Bereich 2 • Minimum Bereich 2 • Sample Maximum Bereich 1 • Sample Maximum Bereich 2 • Sample Minimum Bereich 1 • Haftreibkoeffizient • Gleitreibkoeffizient 	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum • Kurvenindex für Maximum • Minimum • Kurvenindex für Minimum • Arithmetischer Mittelwert • Standardabweichung • Varianz.

Durch „zurück“ wird dieses VI wieder beendet und die Statistikwerte für den jeweiligen Kanal übernommen. Die Daten werden für jeden einzelnen Kanal im Protokoll gespeichert.

4.5.6. Messserie

Die Messserie beinhaltet eine automatische Abfolge von jenen in Kapitel 4.5.3. (Eckdaten Messung) und 4.5.4. (Messung durchführen) vorgestellten VIs. Beim Durchführen von Messserien findet im Vergleich zu einer herkömmlichen Messung eine automatische Speicherung mit dem jeweiligen Messserienamen statt.

4.5.7. Geführte Messung

Dieser Knopf führt zu einer automatischen Abfolge von den VIs welche in Kapitel 4.5.3. (Eckdaten Messung), 4.5.4. (Messung durchführen) und 4.5.5. (Messung auswerten) vorgestellt wurden.

4.5.8. Messung Diagnose

Die Diagnosefunktion ist ein Tool das Einblick in andere D/A-Adressen gibt, siehe Kapitel 3.4.5. Es ist des Weiteren auch möglich direkt die Spannungen der Messgrößen aufzuzeichnen und darzustellen.

Die Einstellung geschieht mit Hilfe der DAQ-Daten (siehe Kapitel 4.5.4.1.) und die Aufzeichnung funktioniert analog zu „Messung durchführen“ (siehe Kapitel 4.5.4.2.). Jedoch werden bei der Diagnose lediglich ungefilterte Messwerte aufgezeichnet und temporär gespeichert. Diese sind allerdings wie jede andere Messung auswertbar.

4.5.9. Daten einlesen

Mit diesem, dem Windows Explorer nachempfundenen VI, ist es möglich, Messfiles zu öffnen und auszuwerten. Die Messfiles müssen allerdings mit dem Prüfstandsprogramm

erstellt worden sein. Es ist auch das Einlesen mehrerer Files möglich um diese in weiterer Folge zu vergleichen.

4.5.10. KMD Kalibrierhilfe

Dieses VI stellt ein Werkzeug dar, mit dessen Hilfe die Messverstärkereinstellung beziehungsweise die Einstellung des Verstärkungsfaktors der Kraftsensoren erleichtert werden soll. Für den Betrieb dieses VIs muss man den Kraftsensor mit einem bekannten Gewicht belasten. Dieses Gewicht multipliziert mit der Erdbeschleunigung ergibt die gesuchte Kraft. Anhand dieser Kraft und dem aufgezeichneten, gemittelten Signal wird ein Vorschlag für die Verstärkung berechnet. Nach einer händische Eingabe der Verstärkung findet eine Darstellung der Abweichungen in Newton und in Kilogramm statt. Eine Berechnung des Verstärkungsfaktors mit Hilfe der Messverstärkereinstellungen ist auch möglich.

4.5.11. Filter einstellen

Bei Betätigung des Buttons „Filter einstellen“ stellt das Programm anfangs die Frage ob eine Kurve eingelesen oder aufgezeichnet werden soll. Erst danach wird das VI „Filter einstellen“ aufgerufen.

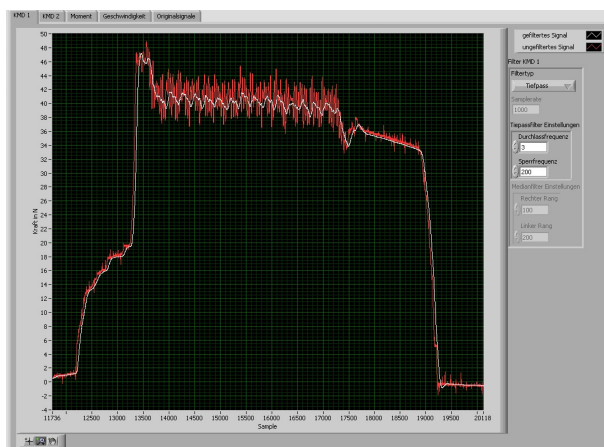


Abbildung 4-45 Chebyshev-Filter

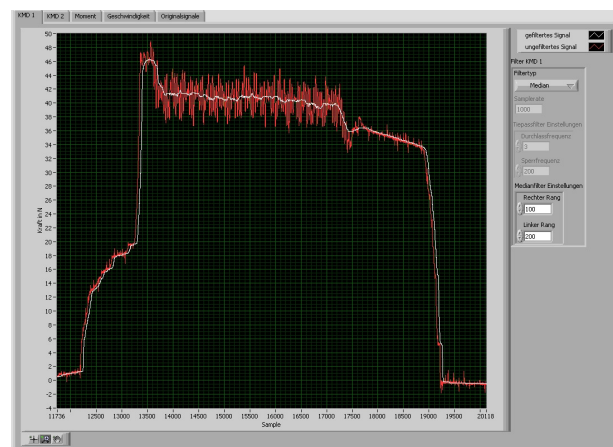


Abbildung 4-46 Medianfilter

In diesem VI ist ein Durchschalten der Kanäle per Registerkarten möglich. Hauptzweck dieses VIs ist allerdings die Filtrierung, welche für jeden Kanal separat einstellbar ist. Mit einem Dropdownmenü ist die Auswahl zwischen Chebyshev-Filter (Abbildung 4-45) und Medianfilter (Abbildung 4-46) möglich.

Es sollten allerdings für alle Kanäle die gleichen Filtereinstellungen getätigt werden um zum Beispiel die gleiche Phasenverschiebung zu erhalten.

Die Filtrierung hat lediglich eine Darstellungsfunktion und sollte nicht für die Ermittlung des Haftreibkoeffizienten benutzt werden!

Betätigen von „Speichern“ schreibt bei Aufruf aus dem Hauptmenü die Einstellungen in einen Konfigurationsfile. Falls dieses VI aus „Messung auswerten“ aufgerufen wird, bezieht sich das Speichern lediglich auf diese eine Messung.

Hier ist zu beachten, dass das Nyquist Kriterium erfüllt werden muss. Die obere Frequenz muss kleiner als die halbe Samplerate sein. Hierfür ist auch ein ErrorHandler vorhanden.

4.5.12. Verstärkungsfaktoren (D/A-Wandlermodul COMPAX)

Anhand der in Kapitel 3.4.5. vorgestellten Formel, der Geschwindigkeits- bzw. Momenteingabe und der zugehörigen Spannung erfolgt in diesem VI eine Berechnung der maximalen Verstärkungsfaktoren P71 und P72.

4.5.13. Triggerbereich Einstellen

Beim Aufrufen dieser Funktion stellt das Programm anfangs die Frage, ob eine Kurve eingelesen oder aufgezeichnet werden soll. Falls eine eingelesene Messung verwendet wird, ist darauf zu achten, dass es sich um eine manuell erstellte handelt. Für den Fall, dass die Messung erst aufgezeichnet werden soll, muss eine manuelle Messung gewählt werden und es sollten mindestens drei Messhübe vorhanden sein. Die Aufzeichnung erfolgt unter einer eigenen Filterung, die vom Prüfstandsbediener nicht verändert werden kann. In diesem VI ist lediglich die Geschwindigkeit von Interesse.



Abbildung 4-47 Trigger einstellen

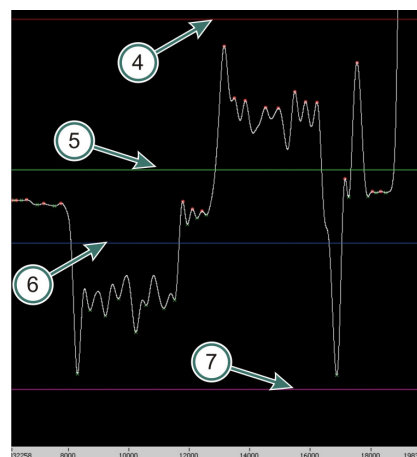


Abbildung 4-48 Trigger einstellen vergrößert

Die Bereichseinstellung erfolgt mit dem horizontalen Cursor (1). Um die Einstellungen leichter zu überprüfen, werden diese auch im Cluster (2) angezeigt. Die vier Dioden in (3) zeigen ob ein Fehler vorliegt, zum Beispiel wenn der „Motor steht“ Bereich größer als der Einstellbereich ist.

Die Bereiche sind unterteilt in „Motor steht“ (5) und (6) beziehungsweise „Motor ist im Einstellbetrieb“ (4) und (7). Es empfiehlt sich diese Bereiche etwas größer zu wählen als die Messung selbst, um etwaige Ausreißer zu erfassen.

Mit „Peaks `n valleys“ wurden die Spitzen und Täler markiert. Eine Messung muss mit Motorstillstand starten. Wenn dieser länger als 20 Sekunden gehalten wird, kommt es zu einem Abbruch. Ein Überschreiten des Einstellbereiches signalisiert den Start des Messhubes. Dieser beginnt im letzten Tal welches sich vor dem Überschreiten ergibt. Der Messhub wird erkannt und als solcher aufgezeichnet solange die Messwerte nicht die obere Grenze des Einstellhubes unterschreiten. Der Messhub endet im ersten Tal nach dem Unterschreiten. Nach der Rückstellbewegung, welche nicht aufgezeichnet wird, beginnt die Messung erneut.

4.5.14. Programmoptionen

Hier werden die bevorzugten Speicherorte für Bilder und Messungen definiert. Des Weiteren ist eine Einstellung bezüglich der bevorzugten Protokoll-Formate möglich. Die Einstellungen werden in einem Konfigurationsfile hinterlegt.

Falls das Mess- und Auswerteprogramm auf einen anderen PC transferiert wird, ist es notwendig die Speicherorte zu ändern. Falls das gewählte Verzeichnis nicht existiert erscheint eine Fehlermeldung und es wird automatisch das Standardverzeichnis verwendet.

4.5.15. Eckdaten Prüfstand

Abbildung 4-49 Randbedingungen

Die Randbedingungen des Prüfstands (1) beschreiben die absoluten Maxima und halten Einzug in den Errorhandler. Die Verstärkungsfaktoren P71 und P72 (2) müssen sich zwingend mit jenen des COMPAX-Reglers decken, sonst kommt es zu fehlerhaften Ausgaben von Moment und Geschwindigkeit. Alle hier getätigten Eingaben werden mit „Speichern“ in einem Konfigurationsfile abgelegt.

Die Nenngeschwindigkeit, essentiell für die Berechnung von SPEED, berechnet sich mit jenen durch (3) markierten Randbedingungen:

$$v = \frac{n * z * t}{60 * i_{\text{getriebe}} * 1000} \Rightarrow v = \frac{3500[\text{min}^{-1}] * 28 * 10[\text{mm}]}{60 * 4 * 1000}$$

$$\underline{v = 4,08333 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \Rightarrow v \approx 4,08 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Hiermit findet auch die Drehzahlumrechnung während des Messens statt. Hier ist aber n durch einen Vektor ersetzt, in welchem die aufgezeichneten Drehzahlmesswerte stehen.

5. Testmessung – Ablauf und Ergebnisse

5.1. Aufgabenstellung

Es sollen die Haft- und Gleitreibungskoeffizienten einer handelsüblichen Transportkiste, mit verschiedenen Beladungen und Geschwindigkeiten ermittelt werden. Des Weiteren ist hierbei auch der Reibungswinkel von Interesse. Als Unterlage wird ein verzinktes Stahlblech verwendet.

5.1.1. Messreihe

Die verschiedenen Motorgeschwindigkeiten sind durch den Bedienparameter P42 einstellbar und die verschiedenen Beladungen wurden über unterschiedliche Gewichte realisiert.

Tabelle 5-1 Bereiche der Testmessung

	Abkürzung	Bereich
Geschwindigkeit in m/s	v	0,1 ~ 0,3
Gesamtgewicht in kg	m	4,56 ~ 25,16
Unterlage	-	verzinktes Stahlblech

Um die Erstellung der Messreihe zu erleichtern wurde auf einen 2 dimensional Faktorenplan zurückgegriffen:

Tabelle 5-2 Messreihe

Prüfunterlage	verzinktes Stahlblech	
Prüfkiste	A 300 Ship 4	
ACCEL in ms	25.000	
Prüfweg in mm	795	
Messreihe		
Messung	v in m/s	m in kg
0	0,1	4,56
1	0,2	4,56
2	0,3	4,56
3	0,1	12,58
4	0,2	12,58
5	0,3	12,58
6	0,1	25,16
7	0,2	25,16
8	0,3	25,16

5.2. Versteifungen

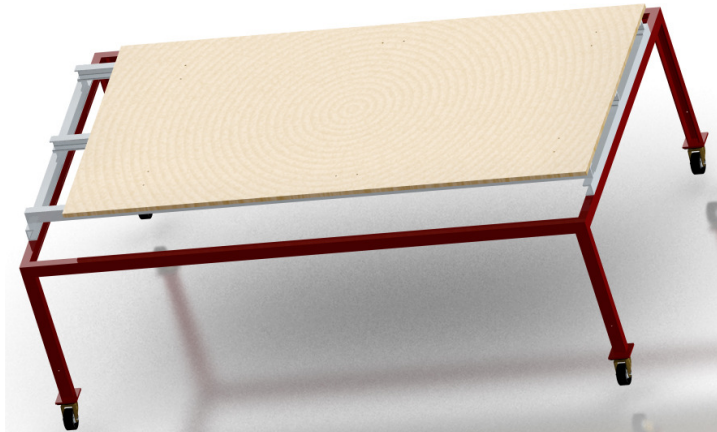


Abbildung 5-1 Unterbau erste Aufbaustufe

Im Zuge erster Versuche zeigte sich sehr rasch, dass der anfangs verwendete Unterbau, siehe Abbildung 5-1, leider nicht steif genug war und im Prüfstandsbetrieb zu Schwingungen angeregt wurde. Des Weiteren sah man deutlich eine Bewegung in Prüfrichtung durch das Spiel in den Rollen, was ebenfalls zu unerwünschten Bewegungen führte.

In Abbildung 5-2 sind eine Prinzipskizze der unerwünschten Bewegungen und die konstruktiven Verbesserung ersichtlich:

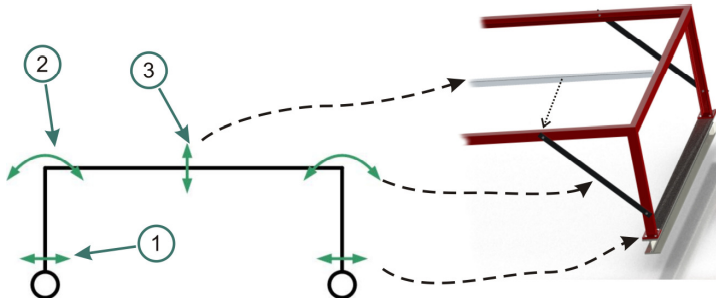


Abbildung 5-2 Prinzipskizze möglicher Bewegungen

- Das Spiel in den Rollen (1) und die damit verbundene Bewegung haben sich im Prüfstandsbetrieb am negativsten auf die Messungen ausgewirkt. Als Gegenmaßnahme wurden die Rollen durch zwei I-Träger ersetzt. Dadurch ging leider die Mobilität im Sinne von Verschieben des Prüfstands in die Labormitte verloren, allerdings verbesserten sich die Messergebnisse merklich, da die mit freiem Auge erkennbaren Schwingungen wegfielen.
- Im nächsten Schritt wurden Versteifungen in die vier Ecken des Gestells aufgeschraubt um die Verformung (2) zu unterbinden. Diese Maßnahme führte ebenfalls zu einer Verbesserung der Messergebnisse.
- In der letzten Iteration wurde ein Formrohr aus Stahl in eine Längsstrebe des Gestells eingeschraubt um diese zu versteifen und damit die vertikale Schwingungen (3) zu eliminieren.

Die Ergebnisse dieser Optimierungen sollen nachfolgende Messungen mit identischen Randbedingungen zeigen.

Prüfling: Kiste A 300 Ship 4
Unterlage: Stahlblech verzinkt
Gesamtgewicht: 15,8 kg
Motorgeschwindigkeit: 0,1 m/s



Abbildung 5-3 Schwingungsvergleich Kraft

Die rote Kurve in Abbildung 5-3 zeigt eine Messung vor den Optimierungsmaßnahmen. Es ist im Bereich zwischen 500 und 3.500 Samples deutlich eine gedämpfte Schwingung mit einer maximalen Amplitude von 6 Newton zu sehen. Dies führt zu einer leichten Verfälschung der Messergebnisse und durch die sich ändernden Trägheitskräfte kann es auch zu einem Verrutschen der Beladungen kommen.

Die grüne Kurve in Abbildung 5-3 zeigt die Messung nach den Optimierungen. Man sieht, dass die gedämpfte Schwingung nicht mehr vorhanden ist. Aufgrund von Verschleißerscheinungen sind die beiden Kurven allerdings um etwa 6 Newton verschoben. Die nun auftretenden Schwingungserscheinungen mit einer Amplitude von etwa 2 Newton sind zu tolerieren.

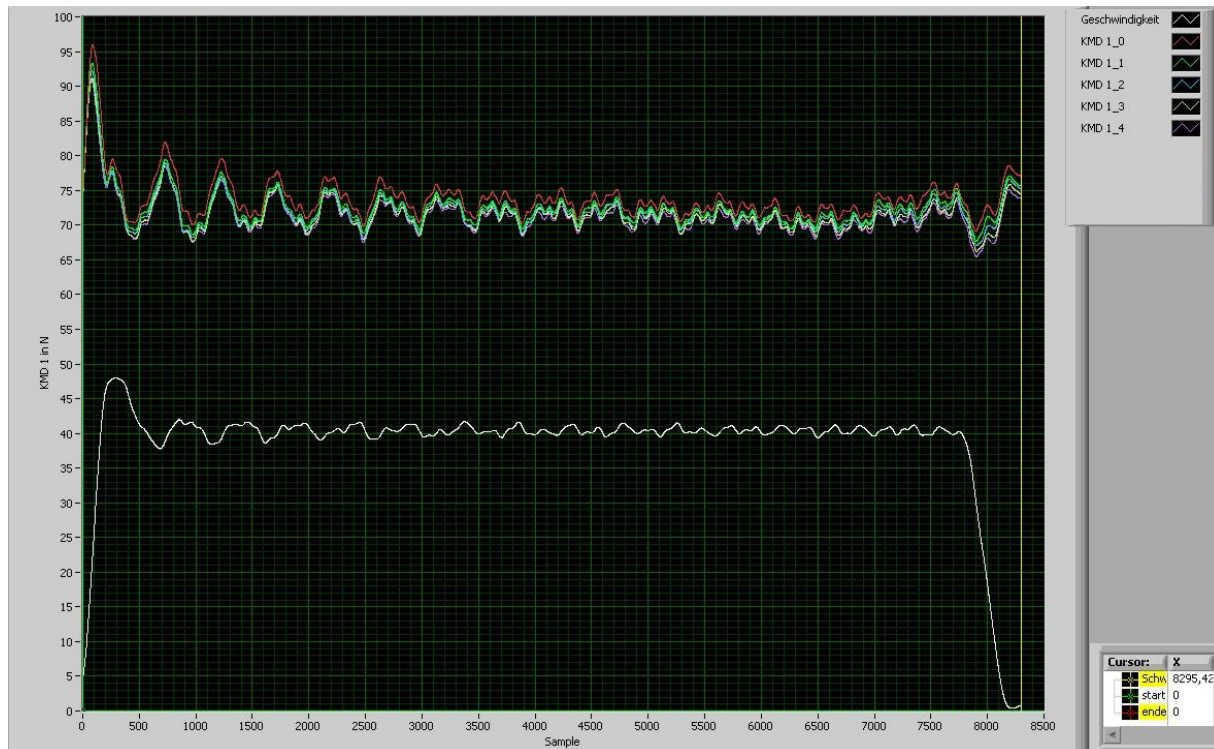


Abbildung 5-4 fünf Messhübe ohne Versteifungen

Ein weiterer Nachteil in Bezug auf sich ändernde Trägheitskräfte liegt in der Regelung des Motors. Diese möchte die sich ändernde Last kompensieren und folgt zeitversetzt der Kraft. In Abbildung 5-4 ist eine Gegenüberstellung von fünf Messhüben ohne Versteifung mit der zugehörigen Geschwindigkeit zu sehen. Es ist hier allerdings zu beachten, dass nur die Kraftkurven maßstabsgetreu sind und die Geschwindigkeit um den Faktor 400 vergrößert ist. Man sieht hier allerdings deutlich, dass im Tal der Geschwindigkeitskurve eine Spitze in der Kraftkurve auftaucht.

Die Geschwindigkeitsänderung im nicht versteiften Zustand führt zu einem Umgehen des programmbasierenden Triggers. Dieser triggert die Messungen anhand der Geschwindigkeitskurve und wird im nicht versteiften Zustand bei größeren Lasten überlistet, da es durch die auftretenden Schwingungen zu einem Überschreiten des Start und Stoppelevels kommt.

Nachfolgend ist der Motorgeschwindigkeitsmessschrieb der zuvor genannten Messung zu sehen. Hier zeigt wiederum die rote Kurve den Zustand vor und die grüne Kurve nach den Optimierungsmaßnahmen.

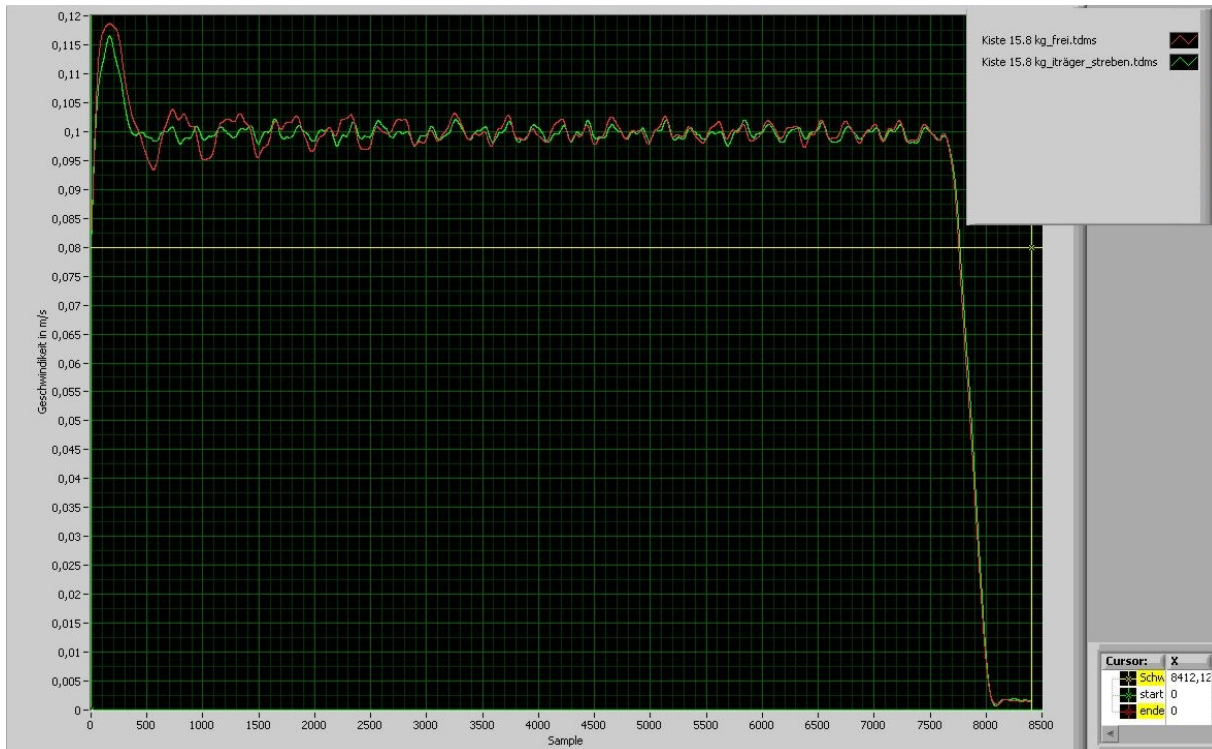


Abbildung 5-5 Schwingungsvergleich Geschwindigkeit

Im Vergleich zum nicht versteiften Zustand wird nun die geforderte Geschwindigkeit von 0,1 m/s konstanter eingehalten und die anfängliche Schwingung entfällt.

5.3. Legende - Messablauf

Um die Durchführungen besser illustrieren zu können werden diese in Flussdiagrammen dargestellt. Die Farben der Symbole entsprechen ihrer obersten Zugehörigkeit:

Tabelle 5-3 Legende

Bedeutung	Software	Servo Terminal
zeichnet eine Aktion aus; Anführungszeichen zeichnen ein Menü in der Software beziehungsweise einen Button im Terminal aus		
Dateneingabe beziehungsweise Datenausgabe		
Entscheidung		
Kennzeichnet eine Hardwareaktion, welche per Hand durchgeführt werden muss		
lokales Ende		
globales Ende		

5.4. Prüfstandsinbetriebnahme

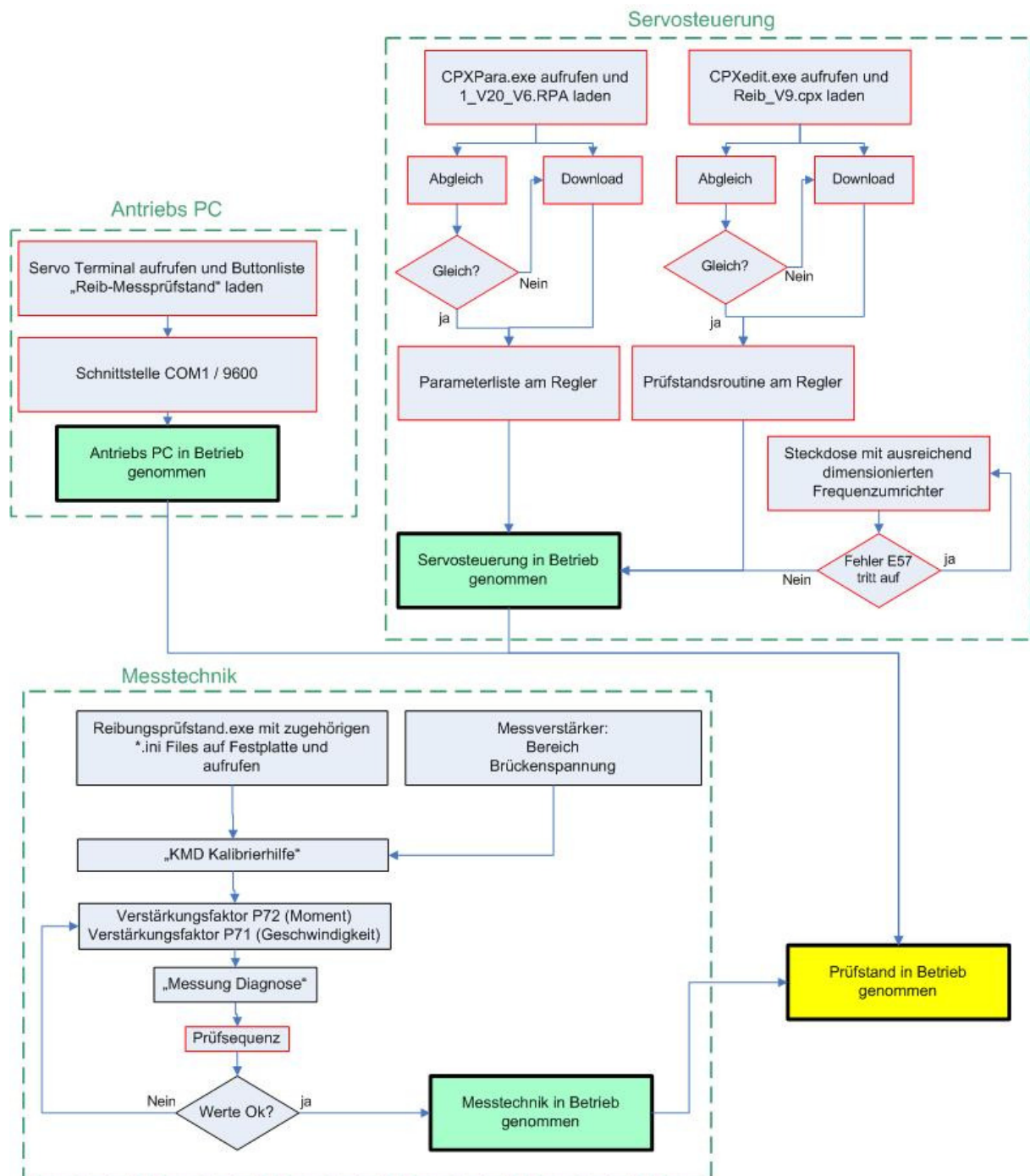


Abbildung 5-6 Inbetriebnahme

- Servosteuerung, siehe Kapitel 3.3. und 3.4.:

Die Servosteuerung muss an einer Starkstromsteckdose angesteckt werden, welche einen ausreichend dimensionierten Frequenzumrichter aufweist. Aus diesem Grunde sind jene im Prüfstandraum vorhandenen Steckdosen ungeeignet und es wird auf eine in der Prüfhalle ausgewichen. Die Prüfstandsroutine „REIB_V9.CPX“ und der Parameterfile „1_V20_V6.RPA“ sind dauerhaft am Regler abgespeichert. Eine Überprüfung durch Abgleich ist also nur notwendig, wenn der Verdacht besteht, dass

einer der Files beschädigt oder verändert wurde.

- Antriebs-PC (Servo Terminal, siehe Kapitel 3.2.):

Um die Antriebsinbetriebnahme zu erleichtern ist es erforderlich, im Servo Terminal die Buttonleiste „Reib-Messprüfstand“ zu laden, falls diese nicht ohnehin vorhanden ist. Da in den Reglerparametern die Schnittstelle COM1 mit 9.600 bps definiert ist, muss man diese auch im Terminal benutzen.

- Messtechnik, siehe Kapitel 4.5.

Um eine Messung durchführen zu können ist es erforderlich, dass das Programm „Reibungsprüfstand.exe“ mit den zugehörigen *.ini Files von der Festplatte gestartet wird. Falls ein Transfer auf einen anderen Rechner durchgeführt worden ist, muss man die Speicherorte in den Optionen umstellen.

Die Einstellungen des Messverstärkers müssen der möglichen Belastung gerecht werden. Damit ist auch wichtig, dass der Verstärkungsfaktor einen entsprechenden Wert annimmt. Durch Betätigung von „KMD Kalibrierhilfe“ soll dies erleichtert werden. Es ist bei dieser Referenzmessung jedoch notwendig, dass der Kraftsensor mit einer bekannten Kraft belastet wird. Diese kann zum Beispiel manuell über eine Federwaage aufgebracht werden. Erst danach ist sichergestellt, dass die Kraftmesskette richtig arbeitet.

Die Verstärkungsfaktoren P71 (Geschwindigkeit), P72 (Moment) sind nur bei Bedarf zu ändern, siehe Kapitel 3.4.5.

Nach Betätigung von „Messung Diagnose“ sollte im Servo Terminal eine Befehlskette mit bekannten Parametern erfolgen und in „Messung Diagnose“ die Geschwindigkeit überprüft werden. Für eine genauere Überprüfung empfiehlt sich nach vollendetem Messdurchlauf das VI „Messung auswerten“.

Beispielhafte Eingaben im Servo Terminal:

1. SPEED 2.45 (0,1 m/s)
2. ACCEL 25000 (612,5 ms)
3. POSR 500

Folgende Einstellungen werden im Zuge der Inbetriebnahme getätigt:

Tabelle 5-4 Einstellungen Inbetriebnahme

Speisespannung in V	5
Messbereich in mV/V	0,5
Verstärkungsfaktor Kraft	25
Verstärkungsfaktor Geschwindigkeit P71	40
Verstärkungsfaktor Moment P72	40

5.5. Messung konfigurieren

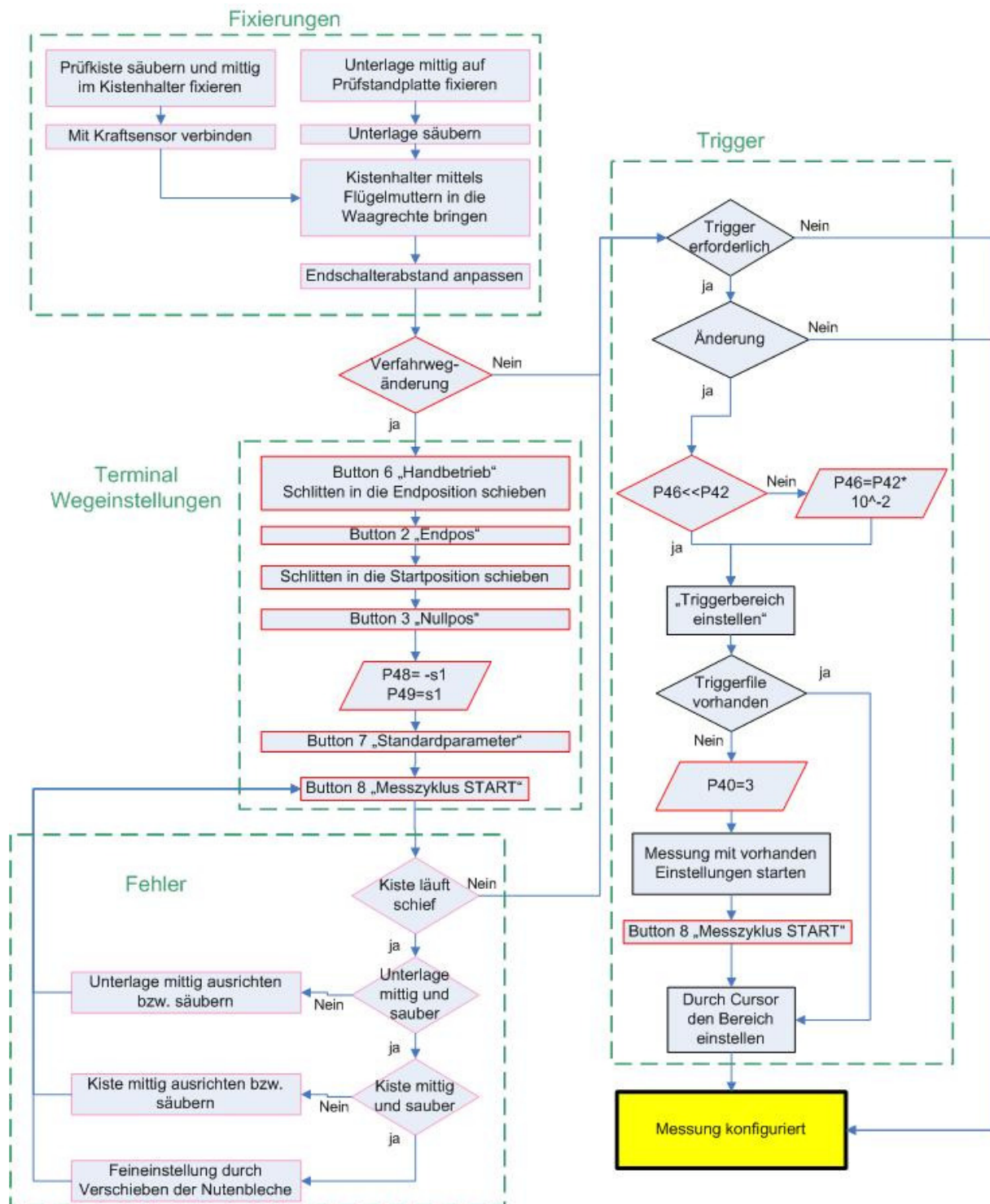


Abbildung 5-7 Messung konfigurieren

- Fixierungen und Fehler:

Es zeigte sich, dass vor allem die mittige Ausrichtung entscheidend für richtige Messergebnisse ist und auch das Säubern nicht außer Acht gelassen werden darf. Des Weiteren zeigte sich, dass eine bloße Berührung der Lauffläche eine Bahnveränderung

nach sich zog.

Die waagrechte Einstellung mit den Flügelmuttern ist notwendig um den Kraftsensor in eine Ruhelage zu bringen. Diese Ruhelage ist erreicht, wenn am Messverstärker 0 digits angezeigt werden.

Vor allem durch die verschiedenen Kistengrößen sind unterschiedliche Verfahrswege möglich. Um den maximalen Verfahrsweg zu erhalten und dennoch einen Schutz durch die Endschalter zu gewährleisten, können diese verschoben werden. Sie sollten jedoch so angebracht sein, dass die beweglichen Teile wie Schlitten und Kistenhalter einen Abstand von mindestens 20mm zu den Gummipuffern haben, siehe Kapitel 3.5.2. Hier ist beim motorabgewandten Endschalter auf die Lage des Näherungssensors zu achten.

- Terminal Wegeinstellungen, siehe Kapitel 3.2.3. und 3.2.4.

Die Wegeinstellung, wie sie in Abbildung 5-7 gezeigt wird, erwies sich als vorteilhaft für eine automatische Wegmessung und der Schlitten ist dadurch sicher in der Startposition. Die Längen des Messhubes P48 beziehungsweise des Rückhubes P49 müssen getrennt eingegeben werden, wobei gilt $P48 = -P49$

- Trigger, siehe Kapitel 4.5.13.

Der Trigger ist vor allem bei mehreren aufeinander folgenden Messhuben von Vorteil. Beim Durchführen einer automatischen Messung wird dadurch lediglich der Messhub aufgezeichnet, der Rest entfällt. Dies erleichtert die Auswertung und reduziert den nötigen Speicherplatz eines Messfiles.

Eine Triggeränderung ist nur nötig wenn die Einstellgeschwindigkeit P46 geändert werden muss. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Messgeschwindigkeit kleiner als die Einstellgeschwindigkeit ist.

Tabelle 5-5 Einstellungen Messung konfigurieren

Endschalter 1 in mm	95
Endschalter 2 in mm	640
Einstellgeschwindigkeit P46 in %; m/s	0,2; 0,008
Messhub P48 in mm	795
Rückhub P49 in mm	-795
Einstellbereich oben in m/s	0,0105
Einstellbereich unten in m/s	-0,0236
Motor steht oben in m/s	0,00347
Motor steht unten in m/s	-0,0055

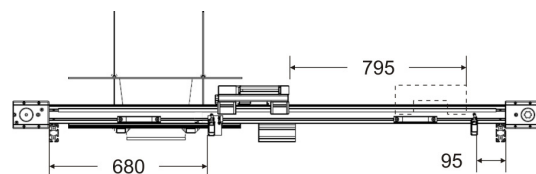


Abbildung 5-8 Skizze Wege

5.6. Messung durchführen

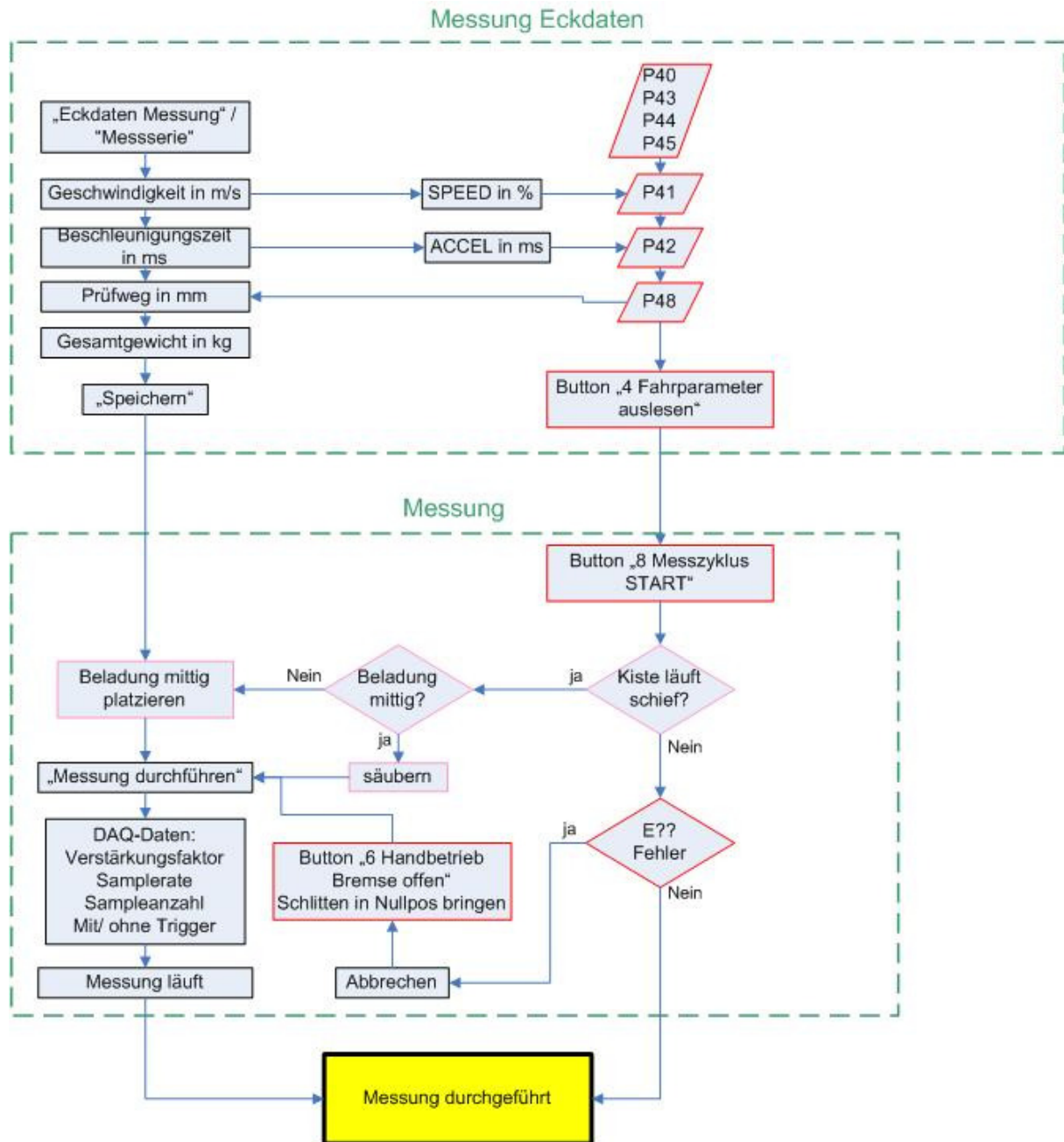


Abbildung 5-9 Messung durchführen

- Messung Eckdaten, siehe Kapitel 3.2.4. und 4.5.3.:

In diesem Schritt werden im VI „Eckdaten Messung“ Geschwindigkeit und Beschleunigungszeit umgerechnet. An Hand des Messweges P48 kann man überprüfen, ob ein Bereich konstanter Geschwindigkeit erreicht wird. Essentiell ist jedoch das Gewicht, denn dieses fließt in die Berechnung der Reibkoeffizienten direkt ein. Die anderen Parameter in „Eckdaten Messung“ sind genauso wie die restlichen Bedienparameter des Terminals nur bei Bedarf zu ändern.

- Messung:

Die Bedeutung einer mittigen Position der Beladung ist in Kapitel 4.1.2. erläutert worden und die Beschreibung der Fehler erfolgte in Kapitel 3.6.

Die Eingabedaten werden nun exemplarisch für Messung 7 der Messreihe angeführt:

Tabelle 5-6 Einstellungen Messung durchführen

	Eckdaten Messung	Servo Terminal	Bedienparameter
Messserienname	Messreihe		
Messung	7		
Geschwindigkeit in m/s; %	0,2	4,9	=P41
Beschleunigungszeit in ms	1.224,49	25.000	=P42
Beschleunigung in m/s ² , errechnet	0,31		
Beschleunigungsweg in m, errechnet	0,122		
Prüfweg in mm	795		=P48=-P49
Gesamtgewicht in kg	25,16		
Körper	A 300 Ship 4		
Untergrund	Stahlblech		
Länge Körper in mm	236		
Wiederholungen		10	=P40

In den nachfolgenden DAQ-Daten werden der vorher berechnete Verstärkungsfaktor und die Samplerate eingestellt. Da diese Messung aus mehreren Messhüben besteht, wurde eine „automatische Messung“ gewählt.

Tabelle 5-7 Einstellungen DAQ-Daten

Verstärkungsfaktor	25
Samplerate in Hz	1.000
Messung automatisch	

5.7. Messung auswerten

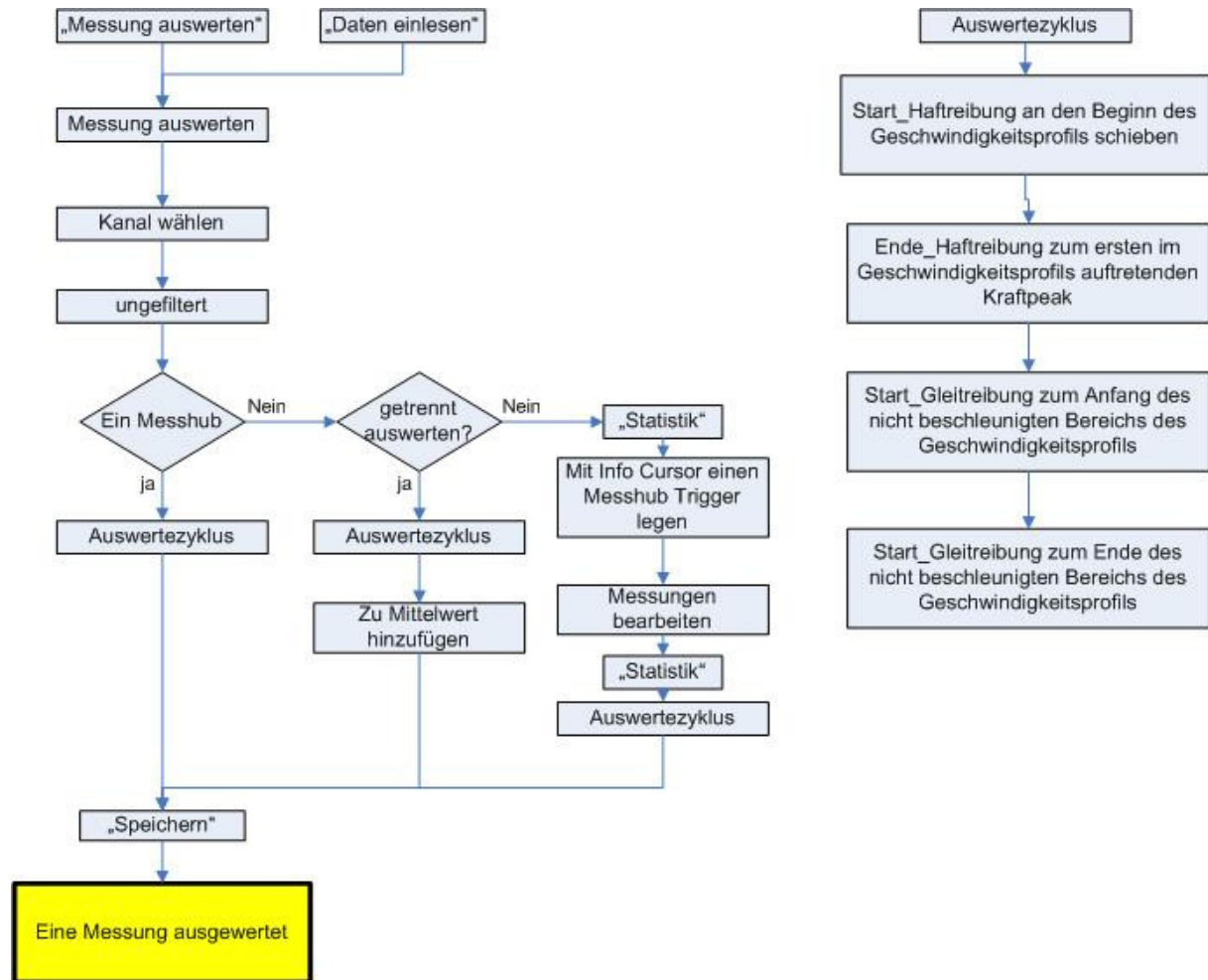


Abbildung 5-10 Eine Messung auswerten

- Messung auswerten, siehe Kapitel 4.5.5:

Mit diesem VI wird der gerade aktuelle Kanal einer eingelesenen Messung ausgewertet. Hierbei muss man sich, wie im Ablaufdiagramm dargestellt, entscheiden wie ausgewertet werden soll.

Man sollte auch bedenken, dass beim Beenden ohne „Speichern“ die Messung gelöscht wird. Dies betrifft nicht die eingelesenen Messungen.

Nachfolgend wird die Auswertung einer beliebigen Messung, welche aus zehn Messhuben besteht, erläutert:

- Jeweils ein Messhub

Es gilt der Auswertezyklus, anhand dessen die Cursor verschoben werden und damit den jeweiligen Bereich eingrenzen. Die Berechnung der Koeffizienten erfolgt automatisch anhand der Formeln:

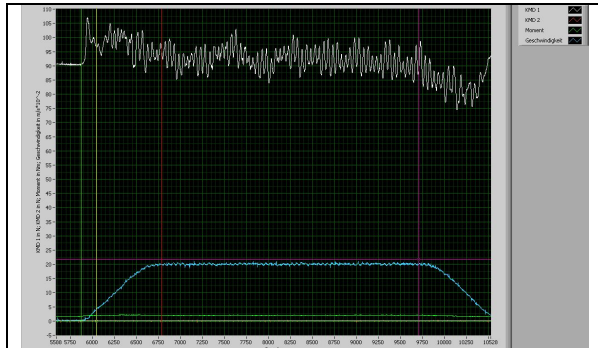
Haftreibkoeffizient:

$$\mu_0 = \frac{\text{Max. Haftreibungsgebiet}}{m * g}$$

Gleitreibkoeffizient:

$$\mu = \frac{\text{Mittel. Gleitreibungsgebiet}}{m * g}$$

Tabelle 5-8 Auswertung, Messwerte 2 Hub



Start_Haftreibung in Sample	5.870
Ende_Haftreibung in Sample	6.042
Start_Gleitreibung in Sample	6.785
Ende_Gleitreibung in Sample	9.709
max. Haftreibungsgebiet in N	107,06
max. Gleitreibungsgebiet in N	102,91
Mittel Gleitreibungsgebiet in N	92,21
min. Gleitreibungsgebiet in N	83,98
Haftreibkoeffizient	0,43
Gleitreibkoeffizient	0,37

Tabelle 5-9 Auswertung, Messwerte 3 Hub



Start_Haftreibung in Sample	12.000
Ende_Haftreibung in Sample	12.251
Start_Gleitreibung in Sample	12.978
Ende_Gleitreibung in Sample	15.926
max. Haftreibungsgebiet in N	108,15
max. Gleitreibungsgebiet in N	103,15
Mittel Gleitreibungsgebiet in N	92,53
min. Gleitreibungsgebiet in N	83,86
Haftreibkoeffizient	0,44
Gleitreibkoeffizient	0,37

- getrennt auswerten

Bei mehreren Messhüben ist es nicht zwingend erforderlich, dass jeder einzelne Hub in die Berechnung der Reibkoeffizienten einfließt. Deswegen ist es mit der implementierten Mittelwertbildung möglich das Mittel einzelner Bereiche zu berechnen und diese zu addieren.



arithmetisches Mittel der beiden vorher gezeigten Messhübe:

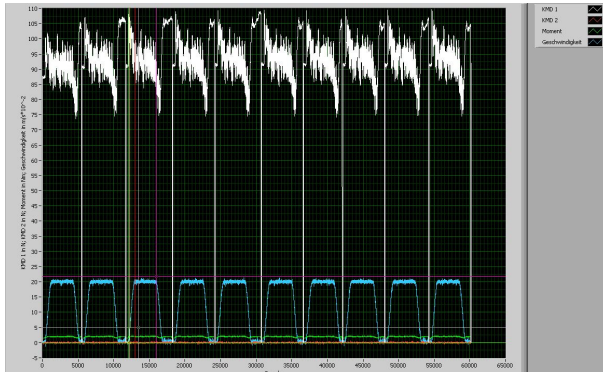
$$\mu_0 = \frac{\sum \mu_{0,i}}{i} \Rightarrow \mu_0 = \frac{0,4337 + 0,4382}{2} \Rightarrow \mu_0 \approx 0,44$$

$$\mu = \frac{\sum \mu_i}{i} \Rightarrow \mu = \frac{0,3736 + 0,3749}{2} \Rightarrow \mu \approx 0,37$$

- Statistik

Falls alle Messhübe gleichzeitig ausgewertet werden sollen empfehlen sich folgende Schritte:

1. Messhübe aufteilen

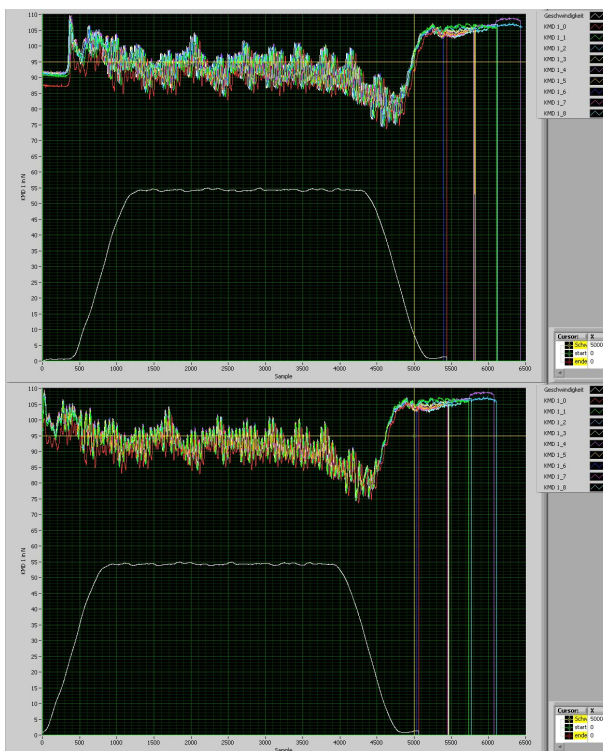


Den horizontalen, strichlierten Info Cursor auf einen Level schieben, welcher die Messhübe unterteilen soll.

(Hier: Info Cursor y Wert=5)

„Statistik“ Button betätigen

2. Messung bearbeiten



Da die Messungen nicht exakt den gleichen Startsamplewert aufweisen, wird mit dem horizontalen Schwellwertcursor ein Schwellwert festgelegt. Durch Betätigung von „Anfangsdelay entfernen“ werden nun die Kurven so übereinander gelegt, dass jeweils der erste y-Wert jedes Plots, welcher den Schwellwert überschreitet, im Sample null zu liegen kommt.

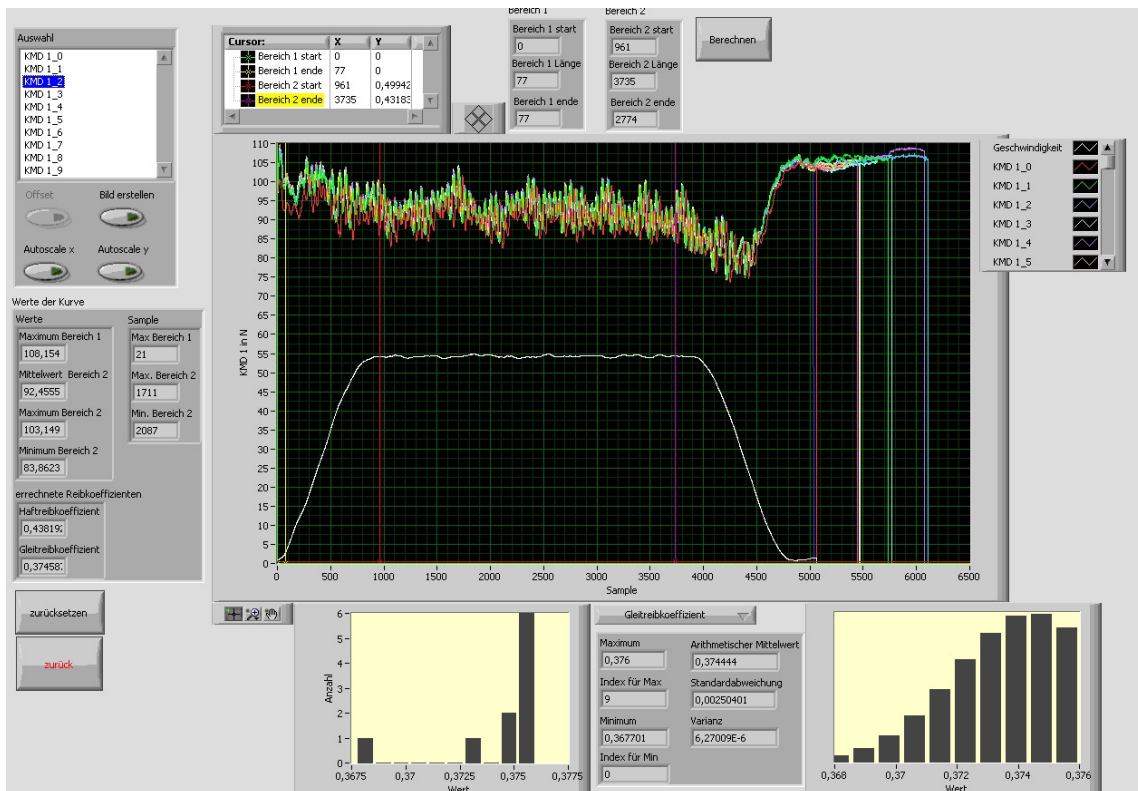
Weiters wäre es natürlich auch möglich mit dem vertikalen Schwellwertcursor ganze Bereiche zu entfernen.

Schwellwertcursor y wert=95

„Statistik“ Button betätigen

3. Statistische Auswertung:

Die Statistische Auswertung funktioniert analog der Auswertung eines Hubes, nur werden hier mehrere betrachtet. Um die Auswertung zu erleichtern ist auch die Geschwindigkeitskurve des ersten Hubes im Graphen zu sehen. Diese Kurve fließt natürlich nicht in die Statistik mit ein.



Die „Werte der Kurve“, angezeigt für den dritten Hub, decken sich mit den vorher gezeigten Werten. Jedoch ergibt nun das arithmetische Mittel über alle Kurven, dass der Gleitreibkoeffizient $\mu=0,374$ mit einer Standardabweichung $\sigma=0,0025$ beträgt. Der Haftreibkoeffizient beträgt $\mu_0=0,407$ mit $\sigma=0,0115$.

5.8. Exemplarische Ergebnisse der Messreihe

In dieser Messreihe ist die Transportbox über ein verzinktes Stahlblech gezogen und die Reibkoeffizienten ermittelt worden. Um die Koeffizienten anschaulicher zu illustrieren wurde das VI „Statistiken vergleichen“, siehe Kapitel 4.5.5.2, verwendet. Die jeweiligen Werte der Tabellen 5-12 und 5-14 wurden aus dem Prüfstandsprogramm übernommen.

Die Berechnung des Reibwinkels, siehe Tabelle 5-13, erfolgt nach jener in Kapitel 4.1.1. dargelegten Formel.

5.8.1. Ergebnisse

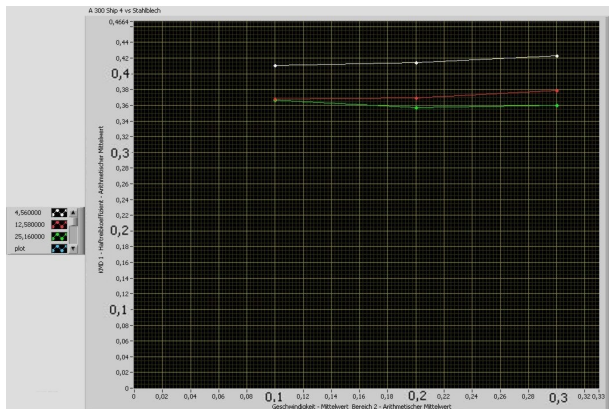


Abbildung 5-11 Ergebnisse Haftreibung

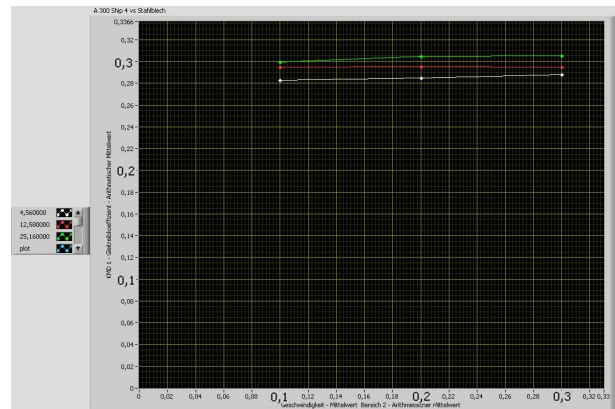


Abbildung 5-12 Ergebnisse Gleitreibung

Tabelle 5-10 Ergebnisse Haftreibung

	0,1 m/s	0,2 m/s	0,3 m/s	μ_0 mittel
4,56 kg	0,41	0,41	0,42	0,42
12,58 kg	0,37	0,37	0,38	0,37
25,16 kg	0,37	0,36	0,36	0,36
μ_0 mittel	0,38	0,38	0,39	0,38

Tabelle 5-11 Ergebnisse Reibungswinkel errechnet in °

	0,1 m/s	0,2 m/s	0,3 m/s	ρ mittel
4,56 kg	22,31	22,49	22,93	22,58
12,58 kg	20,21	20,26	20,73	20,40
25,16 kg	20,12	19,63	19,79	19,85
ρ mittel	20,89	20,80	21,16	20,95

Tabelle 5-12 Ergebnisse Gleitreibung

	0,1 m/s	0,2 m/s	0,3 m/s	μ mittel
4,56 kg	0,28	0,28	0,29	0,29
12,58 kg	0,29	0,30	0,29	0,29
25,16 kg	0,30	0,30	0,31	0,30
μ mittel	0,29	0,29	0,30	0,29

5.8.2. Erkenntnisse

Mit steigender Belastung sinkt der Haftreibungskoeffizient. Bei steigender Geschwindigkeit und dadurch höherer Beschleunigungszeit bleibt der Haftreibungskoeffizient annähernd konstant.

Diese Aussagen betreffen auch den vom Haftreibkoeffizienten abgeleiteten Reibungswinkel. Dieser beträgt $20,95^\circ$, bei einem gemittelten Haftreibkoeffizienten von 0,38.

Mit steigender Belastung steigt der Gleitreibungskoeffizient leicht an. Über die Geschwindigkeit entsteht ein annähernd konstanter Verlauf.

6. Ausblick

In diesem Kapitel soll kurz erläutert werden, wie der Prüfstand weiterentwickelt werden könnte:

- In den angeführten Messungen wurde aus Effizienzgründen versucht die Haftreibungs- und die Gleitreibungsmessung in einem Durchlauf zu untersuchen. Dies führte in dieser Konfiguration jedoch zu einer Verfälschung in der Haftreibungsmessung. Hierfür sollte eine Modifikation des Messvorganges vorgenommen werden.
- Da im Zuge der Kraftmessungen keine Beschleunigungen aufgezeichnet werden, wäre es denkbar diese mittels Beschleunigungssensor zu messen und in die Messung aufzunehmen. Hierdurch könnten dynamische Effekte ermittelt werden, die Einfluss auf die Reibungsmessung haben.
- Es besteht die Möglichkeit eine zweite Kraftmessdose vorzusehen um Messungen mit außermittigen Gewichten durchführen zu können. Damit wären Reibungsmessungen auch in Abhängigkeit der Lastlage möglich.
- Zurzeit sind lediglich waagrechte Messungen möglich. Man könnte den Prüfstand jedoch auch mit einer Vorrichtung aufkippen.
- Unebenheiten der Prüfkörperoberflächen werden zurzeit nicht berücksichtigt. Diese könnte man allerdings durch eine Untersuchung der Flächenpressung in die jeweiligen Messungen aufnehmen.
- Es zeigte sich im Laufe der Testmessungen, dass durch Verschleiß die Reibkoeffizienten erheblich erhöht werden. Deswegen bestünde die Möglichkeit, diesen Prüfstand als Dauerprüfstand einzusetzen und Verschleißuntersuchungen durchzuführen.
- Der Prüfstand ist so leicht wie möglich gehalten um ihn zu transferieren. Deswegen wäre es möglich die Mobilität auszunützen und diesen Prüfstand auf bestehende Anlagen montieren.
- Es wäre auch denkbar, Messungen lediglich mit Materialproben der Prüflinge durchzuführen. Hierfür müsste allerdings eine andere Prüfkörperaufnahme konstruiert werden.

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Detaillierte Befehlsbeschreibung Servo Terminal	16
Tabelle 3-2 Bedienparameter	20
Tabelle 3-3 Wartezeit und zurückgelegter Weg.....	27
Tabelle 3-4 Beschleunigungswege.....	29
Tabelle 3-5 Parameter Ersatz- und Vorgabewerte	33
Tabelle 3-6 Parameter Begrenzungen	33
Tabelle 3-7 Optimierungsparameter des Reglers	34
Tabelle 3-8 Parameter Bedienparameter	35
Tabelle 3-9 Parameter D/A-Monitor	35
Tabelle 3-10 Parameter Konfiguration.....	37
Tabelle 3-11 Parameter Motordaten.....	38
Tabelle 3-12 Unterschiedliche Motordaten.....	39
Tabelle 3-13 Parameter Mechanisches Bezugssystem.....	39
Tabelle 3-14 Wegstücke.....	41
Tabelle 3-15 Messreihe Genauigkeit der Geschwindigkeit	42
Tabelle 3-16 Messabweichung bei SPEED P41=2,45 %; $v=0,100042$ m/s.....	42
Tabelle 3-17 Messabweichung bei SPEED P41=5 %; $v=0,204167$ m/s.....	43
Tabelle 3-18 Messabweichung bei SPEED P41=7,35 %; $v=0,300125$ m/s.....	43
Tabelle 3-19 Messunsicherheit Geschwindigkeit	44
Tabelle 3-20 Vergleich Motormoment in V, Ergebnisse	44
Tabelle 3-21 Vergleich Motormoment in Nm, Ergebnisse	45
Tabelle 3-22 Not-Halt Bremswege	46
Tabelle 3-23 Not-Stopp Bremswege	47
Tabelle 4-1 Ergebnisse bei verschiedenen Lastposition, Stahlblech.....	57
Tabelle 4-2 Weglänge bei ungleichmäßiger Beladung	58
Tabelle 4-3 Ergebnisse bei verschiedenen Lastpositionen, Pertinaxplatte	60

Tabelle 4-4 Ergebnisse Messverstärkereinstellungen	64
Tabelle 4-5 Vergleich Protokollformate	80
Tabelle 4-6 Achseinstellungen Statistikvergleich	81
Tabelle 4-7 Statistiken.....	84
Tabelle 5-1 Bereiche der Testmessung	88
Tabelle 5-2 Messreihe	88
Tabelle 5-3 Legende.....	92
Tabelle 5-4 Einstellungen Inbetriebnahme	94
Tabelle 5-5 Einstellungen Messung konfigurieren	96
Tabelle 5-6 Einstellungen Messung durchführen.....	98
Tabelle 5-7 Einstellungen DAQ-Daten	98
Tabelle 5-8 Auswertung, Messwerte 2 Hub.....	100
Tabelle 5-9 Auswertung, Messwerte 3 Hub.....	100
Tabelle 5-10 Ergebnisse Haftreibung.....	103
Tabelle 5-11 Ergebnisse Reibungswinkel errechnet in °	103
Tabelle 5-12 Ergebnisse Gleitreibung.....	103
Tabelle 9-1 Endschalteraustausch	C-6
Tabelle 9-2 Energiekettenaustausch.....	C-6
Tabelle 9-3 Kistenhalter	C-7
Tabelle 9-4 verwendete Schaltsymbole.....	D-8

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Prüfstandskomponenten.....	7
Abbildung 2-1 Prinzipskizze Prüfstand.....	9
Abbildung 2-2 Gesamtkonstruktion, Ansicht von oben.....	9
Abbildung 2-3 Rahmen Hauptkomponenten.....	10
Abbildung 2-4 Rahmen während des Aufbaus	10
Abbildung 2-5 Schlitten Hauptkomponenten.....	11
Abbildung 2-6 Schlitten gesamt	11
Abbildung 2-7 Kistenhalter Hauptkomponenten	11
Abbildung 2-8 Kistenhalter aufgebaut	11
Abbildung 2-9 ursprünglicher Unterbau	12
Abbildung 2-10 verwendeter Unterbau.....	12
Abbildung 3-1 Antriebssystemkomponenten.....	13
Abbildung 3-2 Antriebs-PC	13
Abbildung 3-3 Servosteuerung.....	14
Abbildung 3-4 Kurzüberblick Servo Terminal	14
Abbildung 3-5 Buttons Servo Terminal	18
Abbildung 3-6 Kurzübersicht COMPAX Editor.....	21
Abbildung 3-7 Reib_V9.cpx	23
Abbildung 3-8 Reib_V9.cpx idealer $v(t)$	23
Abbildung 3-9 Reib_V9.cpx idealer $s(t)$	23
Abbildung 3-10 mögliche Schiefstellungen des Kistenhalters	24
Abbildung 3-11 Messung ohne Einstellhub	26
Abbildung 3-12 Messung mit Einstellhub	26
Abbildung 3-13 Wartezeit am Anfang	27
Abbildung 3-14 Vergleich Beschleunigungszeitparameter ACCEL	28
Abbildung 3-15 $a(t)$ ideal	29

Abbildung 3-16 $v(t)$ ideal.....	29
Abbildung 3-17 $a(t)$, $v(t)$, $s(t)$ ideal.....	30
Abbildung 3-18 $v(t)$ ideal, ohne konstanten Bereich.....	31
Abbildung 3-19 $v(t)$ ideal, Spitze.....	32
Abbildung 3-20 Wirkung P23.....	34
Abbildung 3-21 Wirkung P24.....	34
Abbildung 3-22 Kupplung.....	38
Abbildung 3-23 Gegenüberstellung Geschwindigkeitsprofile ideal vs. real.....	40
Abbildung 3-24 Methode der kleinsten Schritte, $v(t)$	41
Abbildung 3-25 Methode der kleinsten Schritte, $s(t)$	41
Abbildung 3-26 Vergleich Motormoment in V.....	44
Abbildung 3-27 Vergleich Motormoment in Nm.....	45
Abbildung 3-28 Not-Halt.....	46
Abbildung 3-29 Not-Stopp.....	47
Abbildung 3-30 Eingabefehler Servo Terminal.....	50
Abbildung 3-31 Vergleich ACCEL ideal, real bei 90.000 ms.....	51
Abbildung 3-32 Vergleich ACCEL real bei 25.000 ms.....	51
Abbildung 3-33 Vergleich ACCEL ideal, real bei 180.000 ms.....	52
Abbildung 3-34 Vergleich ACCEL ideal, real bei 50.000 ms.....	53
Abbildung 4-1 Freischnitt Haftreibung.....	54
Abbildung 4-2 Freischnitt Gleitreibung.....	54
Abbildung 4-3 Resultierende Reibkraft.....	55
Abbildung 4-4 Haftwinkel.....	55
Abbildung 4-5 Beginn Messung 0.....	56
Abbildung 4-6 Beginn Messung 1.....	56
Abbildung 4-7 Last 20,6 kg.....	56
Abbildung 4-8 Messung bei verschiedenen Lastpositionen, Stahlblech.....	57

Abbildung 4-9 x,y Lage Last.....	58
Abbildung 4-10 Drehbewegung in Folge der Lastlage	58
Abbildung 4-11 Freischnitt Kraftangriffspunkt	59
Abbildung 4-12 Messung bei verschiedenen Lastpositionen, Pertinaxplatte	60
Abbildung 4-13 Messtechnikkomponenten	61
Abbildung 4-14 Messverstärker	61
Abbildung 4-15 Mess-PC.....	61
Abbildung 4-16 Messketten	62
Abbildung 4-17 verformte Kraftmessdose	63
Abbildung 4-18 Wheatstone Vollbrücke.....	63
Abbildung 4-19 Vergleich Einstellungen Messverstärker	64
Abbildung 4-20 digitales Signal.....	65
Abbildung 4-21 analoges Signal	65
Abbildung 4-22 KMD 1, Physik. Kanal Dev1/ai0.....	66
Abbildung 4-23 KMD 2, Physik. Kanal Dev1/ai1	66
Abbildung 4-24 Moment, Physik. Kanal Dev1/ai2.....	66
Abbildung 4-25 Drehzahl, Physik. Kanal Dev1/ai3.....	66
Abbildung 4-26 elektrisches Überschwingen	67
Abbildung 4-27 A/D-Wandlung.....	67
Abbildung 4-28 Aliasing-Effekt.....	68
Abbildung 4-29 ln.vi Blockdiagramm	69
Abbildung 4-30 ln.vi Frontpanel.....	69
Abbildung 4-31 LabVIEW Beispiel Hierarchie.....	70
Abbildung 4-32 start.vi Frontpanel, Blockdiagramm	70
Abbildung 4-33 LabVIEW Standard Graph Funktionen	71
Abbildung 4-34 Startmenü	75
Abbildung 4-35 Eckdaten Messung	75

Abbildung 4-36 DAQ-Daten	76
Abbildung 4-37 Messung ausführen	77
Abbildung 4-38 Messung auswerten	79
Abbildung 4-39 Auswerten Zusatzfunktionen	80
Abbildung 4-40 Vergleichsauswahl.....	81
Abbildung 4-41 Statistikvergleich	81
Abbildung 4-42 grober Vergleich	81
Abbildung 4-43 Messungen vergleichen.....	82
Abbildung 4-44 Statistik	83
Abbildung 4-45 Chebyshev-Filter.....	85
Abbildung 4-46 Medianfilter	85
Abbildung 4-47 Trigger einstellen	86
Abbildung 4-48 Trigger einstellen vergrößert	86
Abbildung 4-49 Randbedingungen	87
Abbildung 5-1 Unterbau erste Aufbaustufe	89
Abbildung 5-2 Prinzipskizze möglicher Bewegungen.....	89
Abbildung 5-3 Schwingungsvergleich Kraft.....	90
Abbildung 5-4 fünf Messhübe ohne Versteifungen	91
Abbildung 5-5 Schwingungsvergleich Geschwindigkeit.....	92
Abbildung 5-6 Inbetriebnahme	93
Abbildung 5-7 Messung konfigurieren	95
Abbildung 5-8 Skizze Wege	96
Abbildung 5-9 Messung durchführen	97
Abbildung 5-10 Eine Messung auswerten	99
Abbildung 5-11 Ergebnisse Haftreibung.....	103
Abbildung 5-12 Ergebnisse Gleitreibung.....	103
Abbildung 9-1 Messung aufzeichnen Frontpanel	B-3

Abbildung 9-2 Messung aufzeichnen Blockdiagramm.....	B-3
Abbildung 9-3 Endschalter Projekt.....	C-5
Abbildung 9-4 Endschalter Konzept.....	C-5
Abbildung 9-5 Endschalter verbaut.....	C-5
Abbildung 9-6 Energiekette	C-6
Abbildung 9-7 Kistenhalter Projekt	C-7
Abbildung 9-8 Kistenhalter.....	C-7
Abbildung 9-9 Schaltung des 24 Volt Kreises	D-8

9. Literaturverzeichnis

- [CZH10] Czichos, Horst; Habig, Karl-Heinz: *Tribologie-Handbuch - Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik*, 3.Aufl., Berlin : VIEWEG+TEUBNER, 2010. - ISBN 978-3-8348-0017-6.
- [GHS+11] Gross, Dietmar; Hauger, Werner; Schröder, Jörg; Wall, Wolfgang: *Technische Mechanik – Band 1: Statik*, 11.Aufl., Heidelberg/London/New York : Springer, 2011. - ISBN 978-3-642-13805-8.
- [HAF10a] Hafner, Norbert: *Skriptum Antriebstechnik (309.012)*, Graz: 2010/11
- [HAF10b] Hafner, Norbert: *Skriptum Rechner- und industrielle Automatisierungssystem (309.015)*, Graz: 2010/2011
- [HAU95] Hauser (Hrsg.): *COMPAX Produkthandbuch - Kompakte Servosteuerung*, März 1995.
- [HAU99] Hauser (Hrsg.): *Servo Manager - mit den Servo Tools: ParameterEditor, ProgramEditor und Terminal – Bedienungsanleitung*, Mai 1999.
- [MEY11] Meyer, Martin: *Signalverarbeitung - Analoge und digitale Signale, Systeme und Filter*, 6.Aufl., Wiesbaden, VIEWEG+TEUBNER, 2011, - ISBN 978-3-8348-0897-4
- [MÜH12] Mühl, Thomas: *Einführung in die elektrische Messtechnik - Grundlagen, Messverfahren, Geräte*, 3.Aufl. (korrigierter Nachdruck), Mörlenbach : VIEWEG+TEUBNER, 2012. - ISBN 978-3-8351-0189-0.
- [SG12a] Schierz, Georg; Gartlacher, Benjamin: *Projekt Konstruktiv „Reibungsprüfstand“*, Graz: 2012.
- [SG12b] Schierz, Georg; Gartlacher, Benjamin: *Laborübung Förder- und Lagertechnik „Reibungsprüfstand“*, Graz: 2012.

Anhang

A Verzeichnis der Dateien

A.1. Antriebssystem - geregelte Fahrkurven

Die folgenden Verzeichnisse beinhalten jene Files, welche in Kapitel 3. beschrieben wurden.

- COMPAX Echtzeitsteuerung

Dieses Verzeichnis beinhaltet verschiedene Iterationen der Echtzeitsteuerung. „REIB_V9.CPX“ ist die aktuelle Version. Des Weiteren befindet sich auch die Servo Terminal Datei „SrvTerm.cfg“ in diesem Verzeichnis.

- COMPAX Parameter

Die Regler-Parameter befinden sich mit diversen Iterationen in dem Verzeichnis. Der aktuelle Stand ist in „1_V20_V6.RPA“ hinterlegt.

A.2. Konstruktiver Aufbau des Prüfstandes

Eine Auflistung aller Konstruktionsdaten, siehe Kapitel 2.

- ProE Konstruktionsdateien

Dieses Verzeichnis enthält alle verwendeten Pro Engineer Wildfire 5 Dateien. Der File von welchem ausgegangen werden sollte heißt „reibungsprufstand_mit_gestell.asm“

- Stücklisten

Hier befinden sich die Stücklisten der Zusammenstellungszeichnungen.

- Zeichnungen

Die Zusammenstellungs- und Konstruktionszeichnungen sind, um sie leichter zu finden, in die jeweiligen Baugruppenordner verschoben worden.

A.3. Messtechnik zur Reibungsuntersuchung

In diesem Verzeichnis befinden sich jene Files welche zur Messung notwendig sind, siehe Kapitel 4.

- Bewegungsprofil

Diese Files dienen simulierten Vergleichsmessungen, mit welchen das Geschwindigkeitsprofil überprüft werden kann. Die Geschwindigkeit beträgt 5% und der simulierte Weg beträgt 700mm. Die Beschleunigung geht aus dem Dateinamen hervor und variiert zwischen ACCEL=10.000 und 65.000 ms.

- exe

Die kompilierten *.exe Files befinden sich in diesem Ordner. Bei einem Transfer ist darauf zu achten, dass im Auswerteprogramm die Speicherorte umgestellt werden.

- LabVIEW-Addons

Der Link zur NI-Runtime und der TDMS-Excelimporter werden in diesem Ordner gefunden.

- VI_doku

In diesem Ordner befindet sich eine grobe Dokumentation des Mess- und Auswerteprogrammes. Jeder *.doc File enthält das VI Symbol, eine kurze Beschreibung, das Frontpanel, das Blockdiagramm mit allen Cases, die Hierarchie und eine Liste der Sub-VIs.

- VIs

Alle für das Mess- und Auswerteprogramm „Reibungsprüfstand“ erforderlichen VIs befinden sich hier. Die VIs sind mittels LabVIEW 2011 autumn erstellt worden. Das Projekt heißt „start.lvproj“.

B Mess- und Auswerteprogramm Blockdiagramme

Da das Mess- und Auswerteprogramm im Laufe der Diplomarbeit immer mehr gewachsen ist, soll für nähere Informationen auf die Projekt-CD verwiesen werden.

Exemplarisch werden hier das Frontpanel und das Blockdiagramm von „Messung_aufzeichnen_DAQ_optimiert.vi“ dargestellt und auch kurz erläutert.

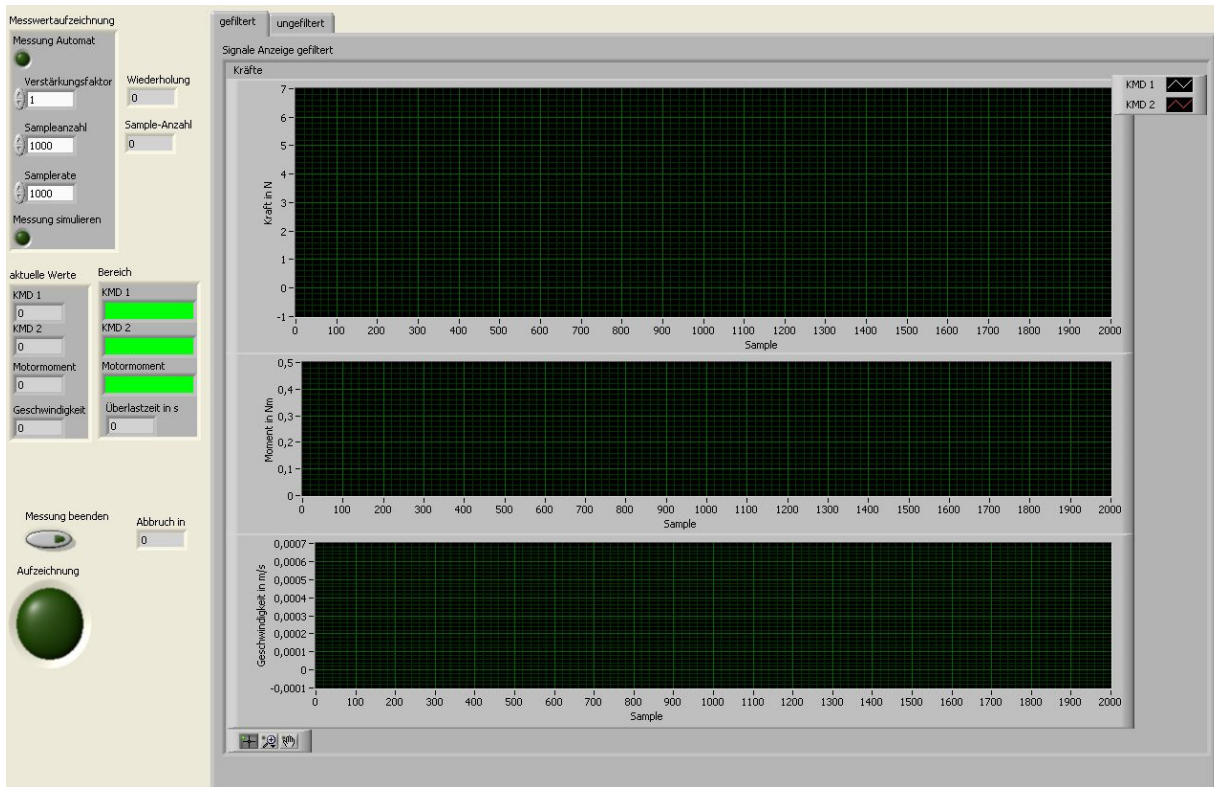


Abbildung 9-1 Messung aufzeichnen Frontpanel

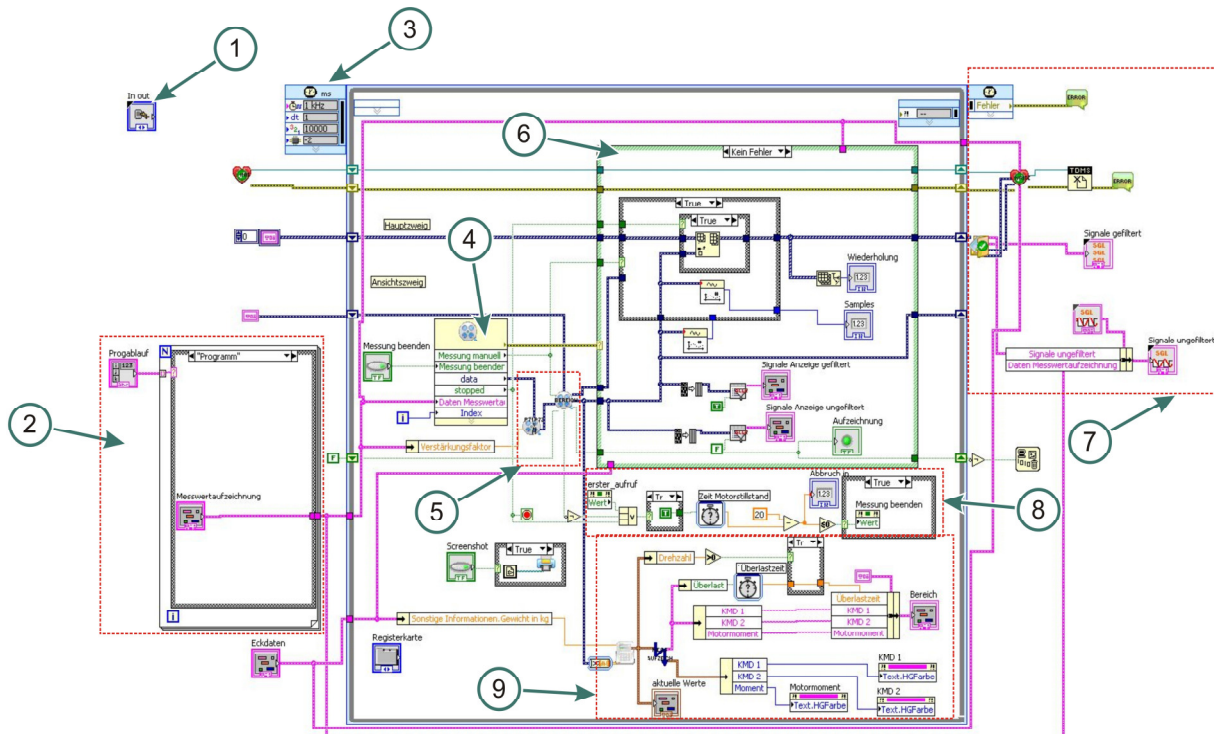


Abbildung 9-2 Messung aufzeichnen Blockdiagramm

Nachfolgend ist eine kurze Erklärung der in Abbildung 9-2 markierten Blöcke aufgelistet:

- (1) Das „In out“ Steuerelement wird bei allen größeren VIs verwendet um die

Übersichtlichkeit zu verbessern. In diesem Element sind die wichtigsten Zwischenanzeigen des Sub-Programms, sowie die Ein- und Ausgänge dargestellt.

- (2) Die Kombination des „Programmsequenz“ Arrays, einer For- Schleife und der Casestruktur wird in diversen Sub-VIs benutzt um die Start- und Programmeinstellungen herzustellen.

Nachfolgende Punkte betreffen nur mehr das Einlesen und die erste Verarbeitung der Messwerte:

- (3) Zeitgesteuerte Schleifen eignen sich sehr gut, wenn ein gewisser einstellbarer Takt eingehalten werden soll. Die meisten Messwerte wurden mit 1.000 Hz aufgezeichnet, deswegen wurde dieser Takt auch bei der Schleife eingestellt. Es gibt allerdings keine Probleme wenn die Samplerate der Aufzeichnung von 1.000 Hz abweichen soll.
- (4) Die Aufzeichnung selbst wird im VI „DAQ.vi“ vorgenommen, beziehungsweise über dieses beendet. Die Samplerate ist hier auch gleichzeitig die Puffergröße beim kontinuierlichen Erfassen der Messdaten. Falls die Puffergröße überschritten wird führt dies zu einem Abbruch mit Fehlermeldung.
- (5) In dem VI „Verstärkungsfaktoren.vi“ werden die Messwerte der Kraftmessdose mit dem Verstärkungsfaktor multipliziert. Des Weiteren findet die Umrechnung der D/A-Signale in das Moment und die Geschwindigkeit statt. In „Messung_bereich_drehzal_optimiert_2.vi“ befindet sich der Trigger für eine automatische Messung.
- (6) Falls „kein Fehler“ auftritt findet eine erste grobe Verarbeitung der DAQ-Signalen statt. Bei einer getriggerten Messung werden die einzelnen Messhübe in ein Array geschrieben, welches durch die Schieberegister für die Dauer der Schleife existiert. Im Falle einer manuellen Messung, wird dieses Array erst bei Beendigung der Messung gefüllt. Falls ein Fehler auftritt, wird eine Sicherheitskopie der durchgeführten Messung erstellt.
- (7) Hier findet die Nachbereitung statt. Die einzelnen Messhübe werden getrennt gefiltert und danach zu einer einzigen Messung zusammengesetzt. Das getrennte Filtern bietet den Vorteil, dass ein Informationsverlust am Anfang und am Ende der Messhübe vermieden wird.

Es findet hier auch die Umwandlung des dynamischen Datentyps in die jeweiligen float-Arrays statt. Der Vorteil in der Umwandlung liegt darin, dass der dynamische Datentyp sehr sperrig und damit Speicherintensiv ist. Der Nachteil beim float-Array besteht darin, dass der Zeitstempel verloren geht. Deswegen muss die Zeit in weiterer Folge über die Samplerate ermittelt werden.

Für den Fall das irgendwo im Programm ein Fehler auftaucht, findet sicherheitshalber eine Speicherung im Backup-Ordner statt. Da jede Messung in diesen Ordner abgelegt wird, empfiehlt es sich den Inhalt von Zeit zu Zeit zu leeren.

- (8) Dieser Programmteil betrifft lediglich die getriggerte Messung und beendet diese bei einem Motorstillstand von 20 Sekunden.
- (9) Hier findet eine Darstellung und Aufschlüsselung, der aktuellen Messwerte statt.

C Vom Projekt Konstruktiv abweichende Bauteile

Folgende essentielle Teile, beziehungsweise Baugruppen der im Projekt Konstruktiv „Reibungsprüfstand“ [SG12a] durchgeführten Konstruktion sind im Laufe der Diplomarbeit ausgetauscht worden.

C.1. Endschalter

Endschalter werden benutzt um einen Weg zu begrenzen und nach Überschreiten dieses Weges den Antrieb abzuschalten beziehungsweise eine Stopproutine zu starten.

- Endschalter-Vorschlag aus Projekt

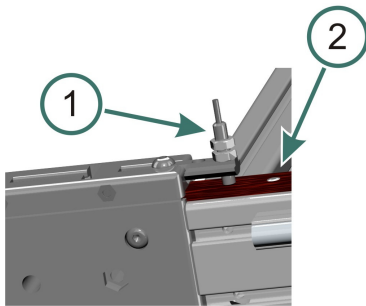


Abbildung 9-3 Endschalter Projekt

In diesem Vorschlag befindet sich jeweils an den beiden Umlenkungen ein induktiver Näherungssensor (1). Das erforderliche magnetische Gegenstück ist eine Nocke (2), welche an einer definierten Stelle in den Riemen eingedrückt wird.

Dies hat den Nachteil, dass die zulässige Prüflänge nicht variabel ist. Als weiteren Nachteil ist bei dieser Variante zu nennen, dass der induktive Näherungsschalter nicht direkt in den elektrischen Not-Stopp Kreis geschaltet werden kann, sondern bei Betätigung eine Stopp-Routine aufruft und damit den Motor geführt zum Stehen bringt, siehe Kapitel 3.5.2.

- Endschalter Prüfstand

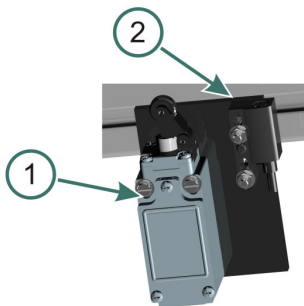


Abbildung 9-4 Endschalter Konzept



Abbildung 9-5 Endschalter verbaut

Auf Grund der Nachteile des induktiven Näherungssensors werden diese durch Rollenhebel Endschalter (1) ausgetauscht. Diese sind direkt in den Not-Stopp Kreis geschaltet und befinden sich in Serie zu den Not-Stopp Tastern, welche zu einem beinahe sofortigen Stopp der sich bewegenden Teile führen. Die Zeit bis zum Stillstand beträgt 250ms (Parameter P10). Des Weiteren ist ein leichtes Verschieben

der Endschalter möglich, was eine Anpassung der Prüflänge erlaubt. In den Abbildungen 9-4 und 9-5 ist auch ein induktiver Näherungssensor (2) ersichtlich welcher nun als Nullpunktindikator fungiert. Ein Start der Prüfstandsroutine ist nur möglich wenn sich der Schlitten im Nullpunkt befindet.

Tabelle 9-1 Endschalteraustausch

	Projekt Konstruktiv	Diplomarbeit	Aktion
Baugruppe	BG 01	BG 01	
BG. Name	Rahmen	Rahmen	
Position	23	23	ausgetauscht
Benennung	ENDSCHALTER M8 1	ENDSCHALTER GLCB01D	
Position		25	eingefügt
Benennung		NAERUNGSSENSOR XS1N08PB349S	
Position		31	eingefügt
Benennung		ANSCHLAGPUFFER	

C.2. Energiekette



Abbildung 9-6 Energiekette

In Energieketten werden Kabeln eingelegt und sie sorgen bei sich bewegenden Bauteilen für definierte Kabelbewegungen. Im Projekt wird die Energiekette E2 MINI SERIE 10 von igus herangezogen. Diese Energiekette entspricht den Anforderungen des Prüfstandes, da auch für die Verkabelung einer möglichen Messgeräteadaption genügend Platz vorhanden wäre. Allerdings lässt sich diese Energiekette nicht öffnen und der Stecker der Kraftmessdose überschreitet das Innenmaß der Energiekette. Diese Tatsache hätte schlussendlich dazu geführt, dass entweder der Stecker oder die Kraftmessdose selbst vom Kabel getrennt werden müsste. Auf Grund dieses Nachteils wird im Prüfstand die Energiekette E2 MINI SERIE 15 verbaut. Diese lässt sich einseitig öffnen und im Innenraum noch genügend Platz für weitere Messtechnik.

Tabelle 9-2 Energiekettenaustausch

	Projekt Konstruktiv	Diplomarbeit	Aktion
Baugruppe	BG 01	BG 01	
BG. Name	Rahmen	Rahmen	
Position	19	19	ausgetauscht
Benennung	E-KETTE E2 MINI SERIE 10	E-KETTE E2 MINI SERIE 15	

C.3. Kistenhalter

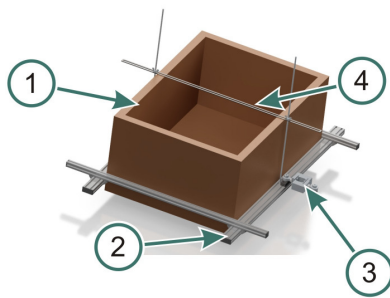


Abbildung 9-7 Kistenhalter Projekt

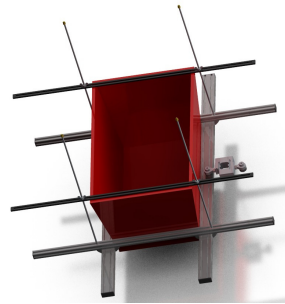


Abbildung 9-8 Kistenhalter

Der Kistenhalter (2) ist die direkte Schnittstelle zwischen dem Prüfkörper (1) und der Kraftmessdose (3).

Aufgrund verschiedener Prüfkörpergrößen müssen alle Teile des Kistenhalters verschiebbar angebracht sein, um eine optimale Einstellung zu gewährleisten. Diese optimale Einstellung beinhaltet eine gewisse Höhe des Kistenhalters über der Prüfunterlage um eine Schiefstellung der Kraftmessdose auszuschließen. Da beim Rückhub die Seitenstößel des Schlittens in Kontakt mit dem Kistenhalter stehen, darf dieser auch nur minimal von der horizontalen Lage abweichen.

Im Zuge erster Versuche hat sich rasch gezeigt, dass zwar die Kraftmessdose ihre Höhenlage nicht verlor, da aber nur ein Nutenblech vorhanden war kippte der Kistenhalter zur Seite. Des Weiteren lassen sich mit nur einem Nutenblech keine konischen Kisten einspannen. Ein weiterer Nachteil ist, dass man die Kiste im betriebsbereiten Zustand nur umständlich mit Gewichten beladen kann.

Aus diesen Gründen wurde ein zweites Nutenblech im Kistenhalter arretiert, siehe Abbildung 9-8. Diese einfache Maßnahme führte dazu, dass der Kistenhalter nicht mehr zur Seite kippt, eine genaue Einstellung der Höhenlage durch Flügelmutter möglich ist und diese Höhenlage exakt eingehalten wird.

Tabelle 9-3 Kistenhalter

	Projekt Konstruktiv	Diplomarbeit	Aktion
Baugruppe	BG 03	BG 03	
BG. Name	Kistenhalter	Kistenhalter	
Position	6	6	Anzahl erhöht
Benennung	NUTBLECH	NUTBLECH	

D Schaltung - Sicherheitskreis

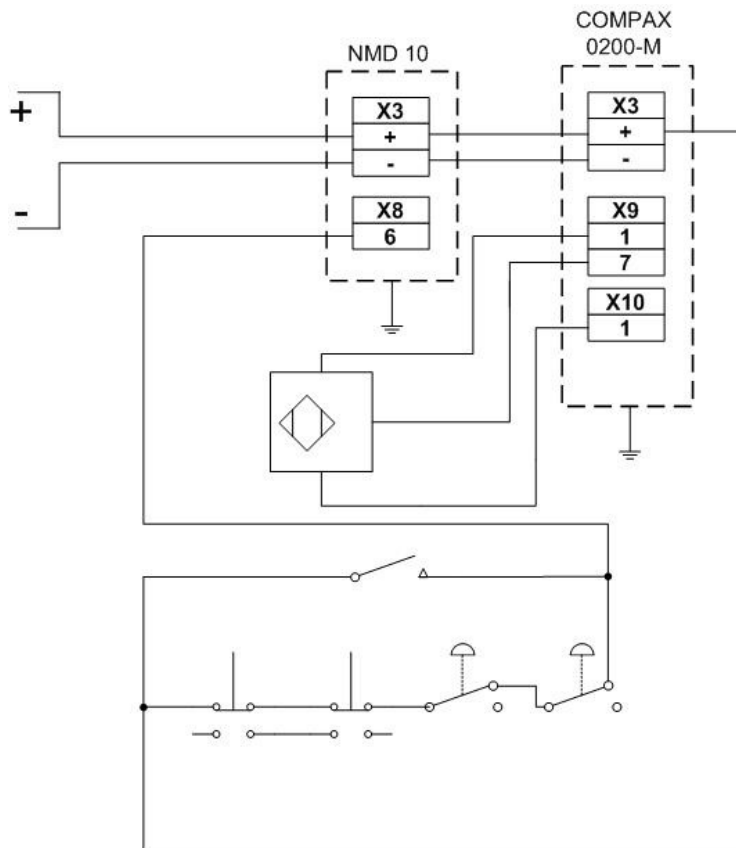


Abbildung 9-9 Schaltung des 24 Volt Kreises

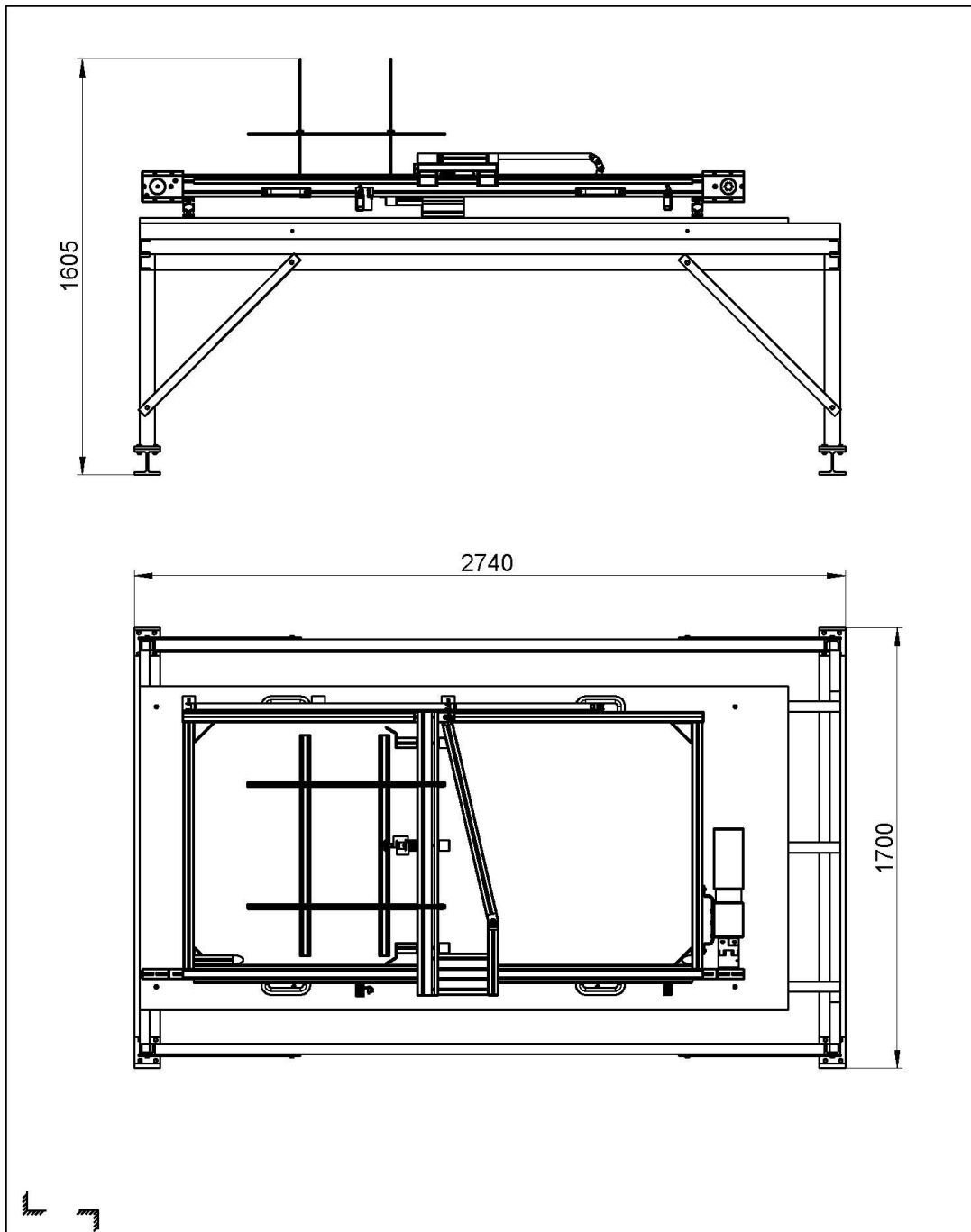
Tabelle 9-4 verwendete Schaltsymbole

	Beschreibt den Regler, bzw. das Versorgungsmodul. „Xi“ bezeichnet die jeweilige Anschlussleiste. „Pin i“ ist der Pin in dieser Leiste.		
	induktiver Näherungsschalter		Rollenhebelendschalter
	Not-Stopp Schalter		Überbrückungsschalter

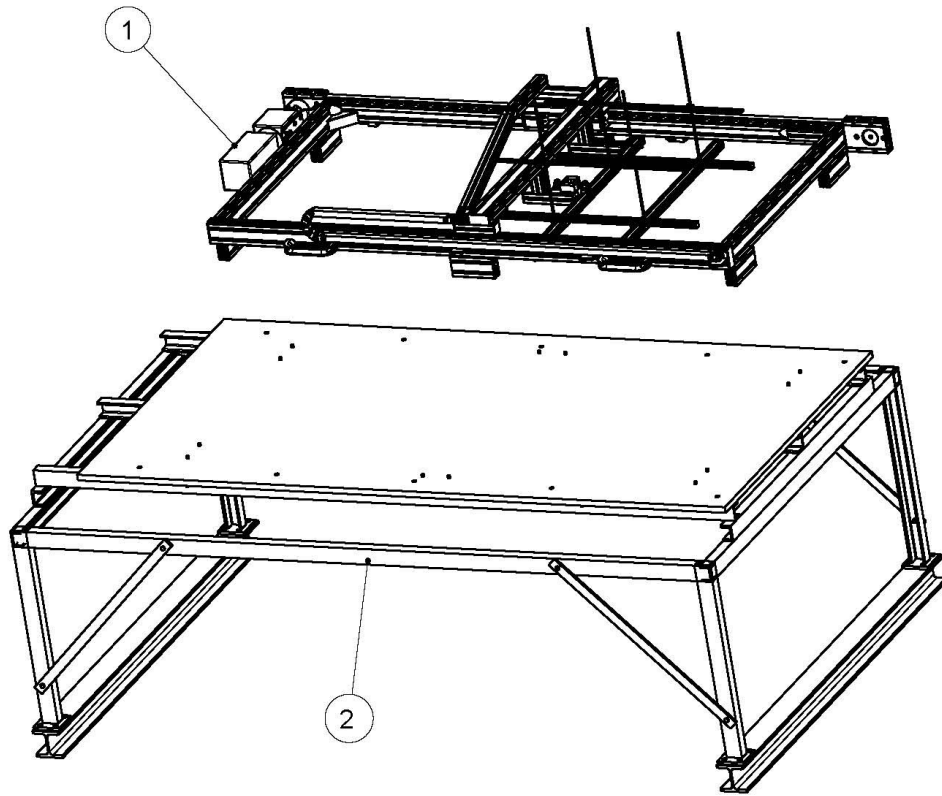
E Zeichnungen

In dieses Kapitel sind lediglich Zeichnungen mit den jeweiligen Hauptabmaßen und den Hauptbaugruppen aufgenommen. Für weitere Baugruppenzeichnungen beziehungsweise Konstruktionszeichnungen wird auf die Projekt-CD verwiesen.

E.1. Gesamter Prüfstand inklusive Unterbau

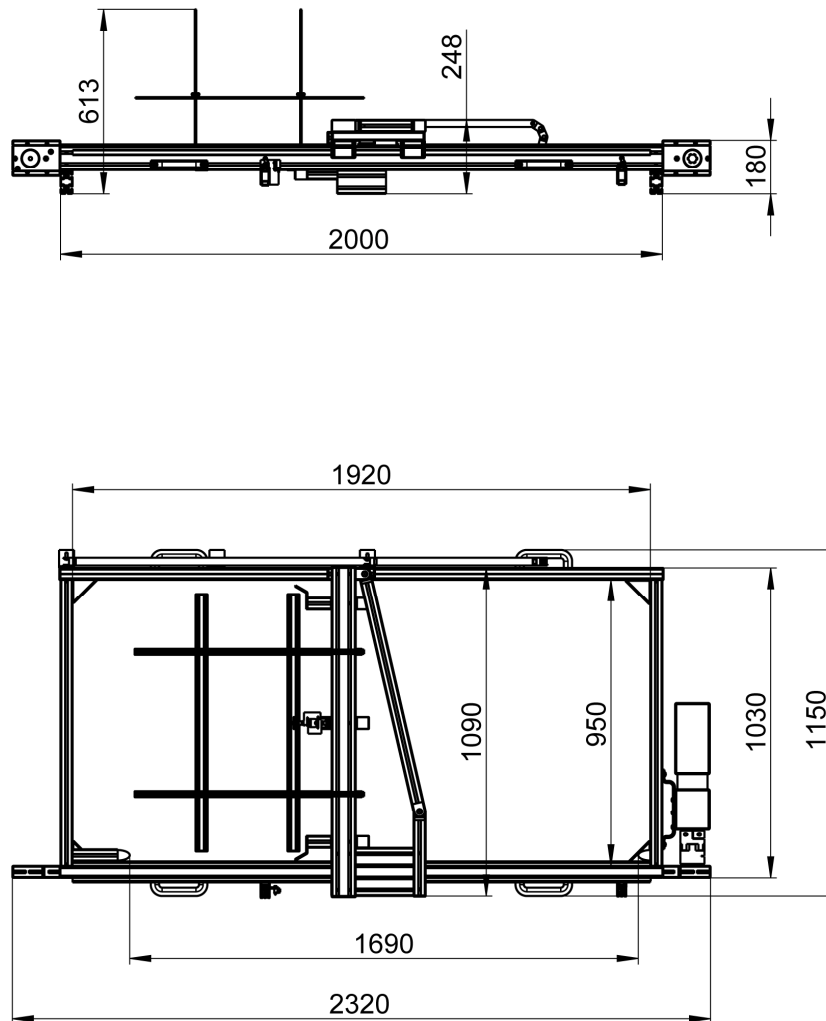


Dichte:	kg/dm ³	Gewicht:	kg	Volumen:	cm ³	Oberfläche:	m ²
Allgemeintoleranzen ISO 2768		Werkstückkanten DIN 6784		Bemerkung:		Auftraggeber: ITL	
Werkstoff (Werkstoff-Nr.)	-	TU Graz		Benennung		Blatt 1 von 1	
Werkstoffnorm	-			Reibungsprüfstand mit Unterbau			
Rohmaße	-	Datum	Name	Projekt/Programm			
Modellnummer	-	Gez.	100313	GS	Aufgabenstellung		
Formnorm	-	Gepr.			Zeichnungs-Nr.		
Wärmebeh.	-	Norm			Norm-Nr.		
Oberfläche	-	M 1:20		Teil/Position zu Baugr. (Z.Nr.)		Ers.f.	
				GES		Ers.d.	

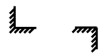
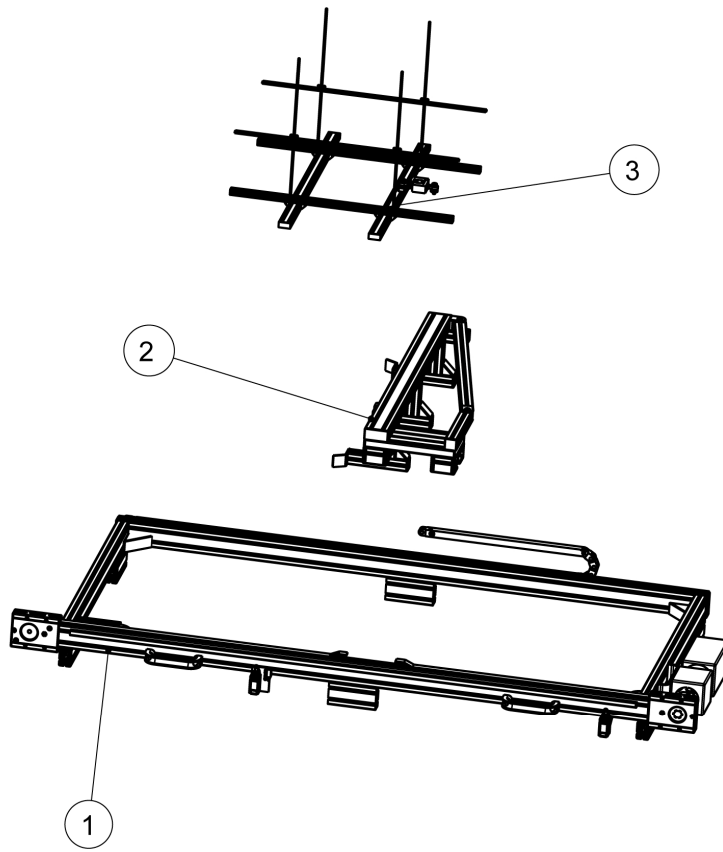


Dichte:	kg/dm ³	Gewicht:	kg	Volumen:	cm ³	Oberfläche:	m ²
Allgemeintoleranzen ISO 2768		Werkstückkanten DIN 6784		Bemerkung:		Auftraggeber: ITL	
Werkstoff (Werkstoff-Nr.)	-	TU Graz		Benennung		Blatt 1 von 1	
Werkstoffname	-			Reibungsprüfstand mit Unterbau			
Rohmaße	-	Datum	Name	Projekt/Programm			
Modellnummer	-	Gez.	130313	GS	Aufgabenstellung		
Formnorm	-	Gepr.			Zeichnungs-Nr.		
Wärmebeh.	-	Norm			Norm-Nr.		
Oberfläche	-	M 1:20				Teil/Position	Ers.f.
				zu Baugr. (Z.Nr.)		GES	Ers.d.

E.2. Reibungsprüfstand

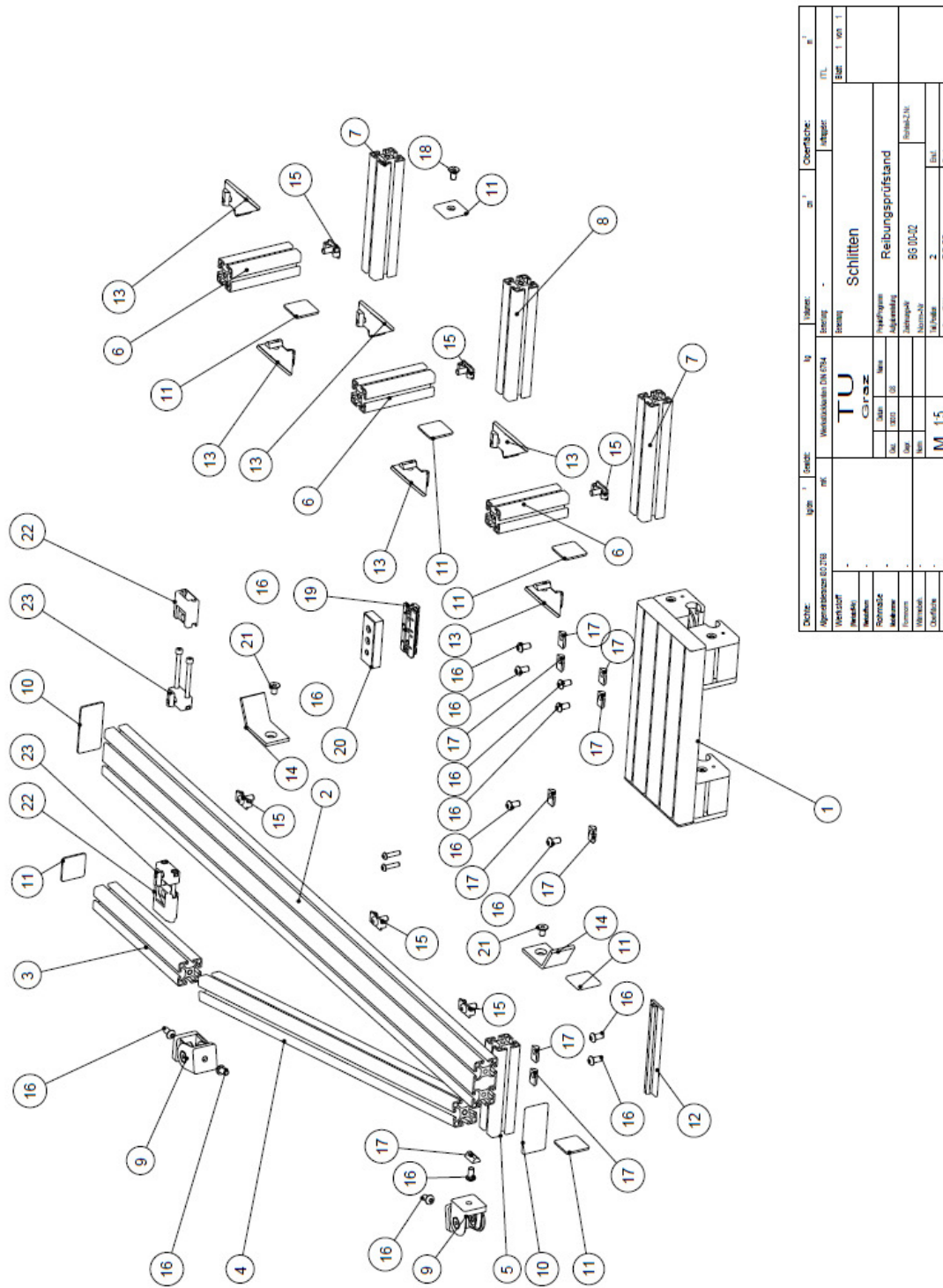


Dichte:	kg/dm ³	Gewicht:	kg	Volumen:	cm ³	Oberfläche:	m ²
Allgemeintoleranzen ISO 2788		Werkstückkanten DIN 6784		Bemerkung:		Auftraggeber: ITL	
Werkstoff (Werkstoff-Nr.)	-	TU Graz		Benennung			Blatt 1 von 1
Werkstoffform	-			Reibungsprüfstand Hauptabmaße			
Rohmaße	-	Datum	Name	Projekt/Programm			
Modellnummer	-	Gez. 130313	GS	Reibungsprüfstand			
Formnorm	-	Gepr.		Aufgabenstellung			
Wärmebeh.	-	Norm		Zeichnungs-Nr.		Rohteil-Z.Nr.	
Oberfläche	-	M 0:1		Norm-Nr.			
				Teil/Position		Ers.f.	
				zu Baugr. (Z.Nr)		Ers.d.	



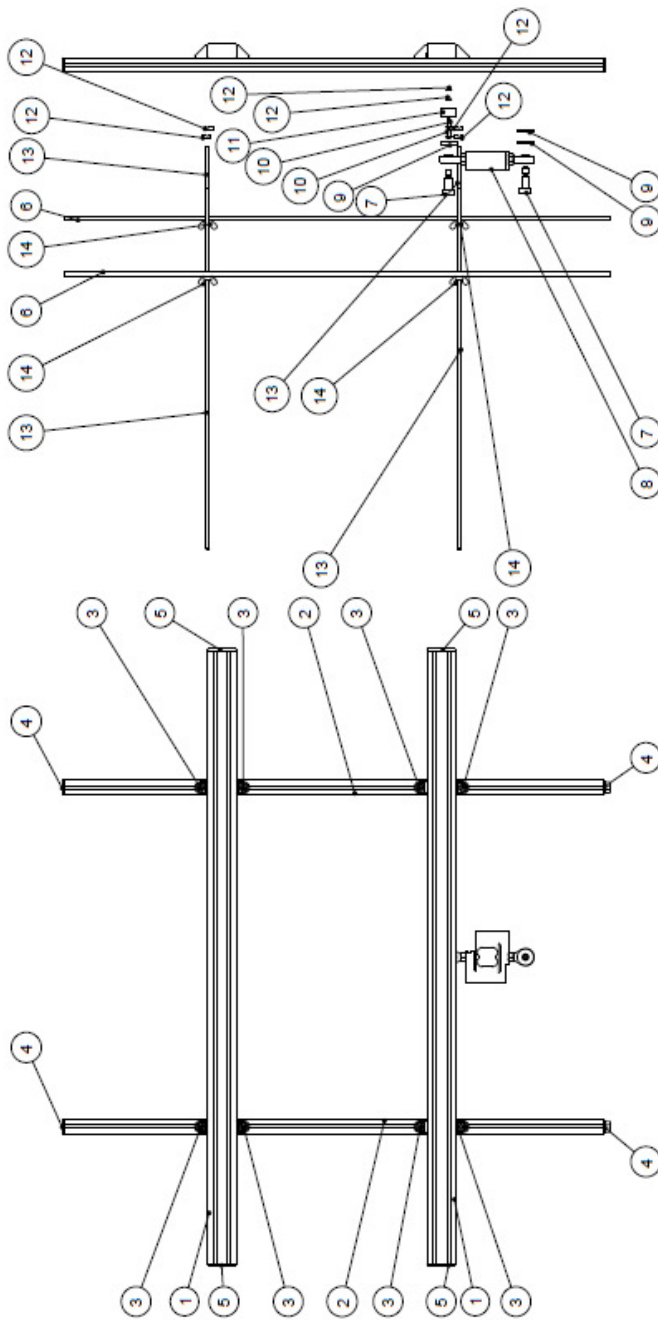
Dichte:	kg/dm ³	Gewicht:	kg	Volumen:	cm ³	Oberfläche:	m ²	
Allgemeintoleranzen ISO 2768		Werkstückkanten DIN 6784		Bemerkung:		Auftraggeber: ITL		
Werkstoff (Werkstoff-Nr.)	-	TU Graz		Bemerkung			Blatt 1 von 1	
Werkstoffnorm	-			Reibungsprüfstand				
Rohmaße	-	Datum	Name	Projekt/Programm				
Modellnummer	-	Gez.	130313	GS	Aufgabenstellung			
Formnorm	-	Cepr.			Zeichnungs-Nr.			
Wärmebeh.	-	Norm			Norm-Nr. BG 00			
Oberfläche	-	M 1:20				Teil, Position	Ers. f.	
				zu Baugr. (Z.Nr)		GES	Ers. d.	

- Schlitten



Zeichn:	Aggregatbau 60.275	Größe:	M 1:5	Name:	Schlitten	Oberfläche:	ITL	n ¹
Werkstoff:	Werkstoffdaten DIN 6754	Maßstab:	1:5	Zeichner:	Benjamin	ITL:	Benjamin	1 von 1
Hersteller:	TU Graz			Prüfprogramm:				
Richtmaß:	DIN 6754			Anwendung:	Reibungsprüfung			
Anzeige:	DIN 6754			Zeichnung:	80.01.01			
Material:	Stahl			Normen:	ISO 9001			
Qualität:	ISO 9001			Werkstoff:	Stahl			
				Umfeld:	ISO 9001			

• Kistenhalter



Skizze	1/2	Blatt	1	Form	2	Charakter	1/2	
Geometrie	1/2	Form	1	Blatt	1	Charakter	1/2	
Mechanik	1/2	Form	1	Blatt	1	Charakter	1/2	
Elektronik	1/2	Form	1	Blatt	1	Charakter	1/2	
Technische Zeichnung	1/2	Form	1	Blatt	1	Charakter	1/2	
Titel	TU		TU		TU		TU	
Kistenhalter								
Projekt	Reibungsprofil		Reibungsprofil		Reibungsprofil		Reibungsprofil	
Modul	65 043		65 043		65 043		65 043	
Blatt	3		3		3		3	
Blatt	3		3		3		3	
Blatt	3		3		3		3	
Blatt	3		3		3		3	
Blatt	3		3		3		3	

F Stücklisten

F.1. Gesamter Prüfstand inklusive Unterbau

2	UNTERBAU	GES 00	1			
1	REIBUNGSPRÜFSTAND	BG 00	1			
Pos	Benennung	Norm/Zeichnung	Anz.	Halbzeug	Bemerkung	Bestell-Nr.

F.2. Reibungsprüfstand

3	KISTENHALTER	BG 00-03	1			
2	SCHLITTEN	BG 00-02	1			
1	RAHMEN	BG 00-01	1			
Pos	Benennung	Norm/Zeichnung	Anz.	Halbzeug	Bemerkung	Bestell-Nr.

- Rahmen

31	ANSCHLAGPUFFER D35 L40		2			
30	HALBRUNDSCHRAUBE M8x16		2		Haberkorn	8000019
29	NUTENSTEIN 8 M8		6		Haberkorn	0038849
28	ABDECKKAPPE 8 80X40		2		Haberkorn	0002602
27	SENSORBEFESTIGUNG	BG 01-27	1			
26	SENSORHALTER XSZB108		1		RS	334-1720
25	NAERUNGSSENSOR XS1N08PB349S		1		RS	198-970
24	ENDSCHALTERHALTER	BG 01-24	2			
23	ENDSCHALTER GLCB01D		2		RS	308-1850
22	ZAHNRIEMEN R25 T10 L4680		1		Haberkorn	0033710
21	STANDARDVERBINDUNG 8		8		Haberkorn	0038879
20	HALBRUNDSCHRAUBE M8X20		2		Haberkorn	0038893
19	E-KETTE E2 MINI SERIE 15		1		igus	
18	SENKSCHRAUBE M8X14	DIN 7991M	3		Haberkorn	8000707
17	PROFIL MW 60X30X6E	BG 01-17	3	60x50x6		
16	WINKELSATZ 8 80X80		4		Haberkorn	0041132
15	KUPPLUNGSSATZ	BG 01-15	1			
14	MOTORBEFESTIGUNG	BG 01-14	1			
13	GETRIEBE PL115S-004/H		1		Neugart	
12	SERVOMOTOR HBMR 115A6-88S		1		Hauser	
11	HANDGRIFF	BG 01-11	4			
10	Fuß	BG 01-10	6			
9	GLEITLEISTE 8 2000		1		Haberkorn	0045799
8	PROFIL 8 40X40L 150	BG 01-08	1	40x40x150	Haberkorn	0002633
7	PROFIL 8 80X40L 2000	BG 01-07	1	80x40x2000	Haberkorn	0002634
6	PROFIL 8 80X40L 950	BG 01-06	2	80x40x950	Haberkorn	0002634

5	ZAHNRIEMENUMLEKNUG VK 32		1		Haberkorn	0036611
4	ZAHNRIEMENUMLEKNUG MIT BOHR.		1		Haberkorn	0036607
3	WELLE 14 MM 1920		2		Haberkorn	0029401
2	WELLENKLEMMPROFIL 8 14 1920		2		Haberkorn	0029434
1	PROFIL 8 80X40L 2000L	BG 01-01	1	80x40x2000	Haberkorn	0002634
Pos	Benennung	Norm/Zeichnung	Anz.	Halbzeug	Bemerkung	Bestell-Nr.

- Schlitten

25	HALBRUNDSCHRAUBE M6x25		2		Haberkorn	8000001
24	ABDECKKAPPE 8 40X40 Zn		1		Haberkorn	0042709
23	SPANNER GEGENLAGER 8 R25		2		Haberkorn	0042630
22	ZAHNRIEMENSPANNER 8 R25		2		Haberkorn	0042629
21	SENKSCHRAUBE M8X14	DIN 7991	2		Haberkorn	8000707
20	MESSDOSENBEFESTIGUN G	BG 02-20	1	82x34x15		
19	GLEITSCHLITTEN		1		Haberkorn	0060739
18	SENKSCHRAUBE M8X16	DIN 7991	1		Haberkorn	8000109
17	NUTENSTEIN 8 ST M8		9		Haberkorn	0038849
16	HALBRUNDSCHRAUBE M8x16		14		Haberkorn	8000019
15	STANDARDVERBINDUNG SSATZ 8		6		Haberkorn	0038879
14	ZENTRIEREINHEIT	BG 02-14	2	100x40x5		
13	WINKELSATZ 8 40X40		6		Haberkorn	0041115
12	GLEITLEISTE 8 150		1		Haberkorn	0045799
11	ABDECKKAPPE 8 40X40		7		Haberkorn	0002601
10	ABDECKKAPPE 8 80X40		2		Haberkorn	0002602
9	GELENK 8 40X40		2		Haberkorn	0026531
8	PROFIL 8 40X40L 190	BG 02-08	1	40x40x190	Haberkorn	0002633
7	PROFIL 8 40X40L 200	BG 02-07	2	40x40x200	Haberkorn	0002633
6	PROFIL 8 40X40L 120	BG 02-06	3	40x40x120	Haberkorn	0002633
5	PROFIL 8 40X40L 150		1	40x40x150	Haberkorn	0002633
4	PROFIL 8 40X40L 750	BG 02-04	1	40x40x750	Haberkorn	0002633
3	PROFIL 8 40X40L 250	BG 02-03	1	40x40x250	Haberkorn	0002633
2	PROFIL 8 80X40L 1090	BG 02-02	1	80x40x1090	Haberkorn	0002634
1	SCHLITTEN-LANG	BG 02-01	1		BG 021	
Pos	Benennung	Norm/Zeichnung	Anz.	Halbzeug	Bemerkung	Bestell-Nr.

- Kistenhalter

14	MUTTER M5	DIN 315	2		Haberkorn	
13	GEWINDESTANGE M5		2		Haberkorn	
12	NUTENSTEIN 5 ST M5 ROSTFREI		4		Haberkorn	0042855
11	TRANSPORTPLATTE 5 40X20		1		Haberkorn	0043758
10	HALBRUNDSCHRAUBE M5X10		2		Haberkorn	8000006
9	SCHEIBE	DIN 6340-8 4	3		Haberkorn	
8	HBM S2 mit 2 Stück Gelenköse		1		HBM	
7	SCHRAUBE_ISO_7379- M8X16		2		Haberkorn	
6	NUTENBLECH	BG 03-06	2	760x15x5		
5	ABDECKKAPPE 5 40X20 SCHWARZ		4		Haberkorn	0037011
4	ABDECKKAPPE 5 20X20 SCHWARZ		4		Haberkorn	0037009
3	KLEMMWINKEL 5		8		Haberkorn	0043784
2	PROFIL 5 20X20 750		2	20x20x750	Haberkorn	0037003
1	PROFIL 5 40X20 850		2	40x20x850	Haberkorn	0037004
Pos	Benennung	Norm	Anz.	Halbzeug	Bemerkung	Bestell-Nr.