



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Kevin Voß

Fähigkeitsnachweis einer Lebensdauerlaufprüfmaschine für Gurtschlösser

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Kevin Voß

**Fähigkeitsnachweis einer
Lebensdauerlaufprüfmaschine für
Gurtschlösser**

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Fahrzeugtechnik
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
Autoliv B.V. & Co. KG
Test Engineering ET4
Otto-Hahn-Straße 4
25337 Elmshorn

Erstprüfer/in: Professor Dipl.-Ing. Arne Freytag
Zweitprüfer/in : Dr. Torben Beeck

Abgabedatum: 01.10.2018

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Kevin Voß

Thema der Masterthesis

Fähigkeitsnachweis einer Lebensdauerlaufprüfmaschine für Gurtschlösser.

Stichworte

Steuerung, Validierung, Gurtschlösser, MSA, Statistik, Messdatenauswertung, Prüfmittleignung, Kraftmessung, Wegmessung, Prüfstand, Datenbank, Regelung

Kurzzusammenfassung

Schwerpunkt dieser Arbeit ist der Fähigkeitsnachweis einer Lebensdauerlaufprüfmaschine für Gurtschlösser. Dieser Nachweis wird durch eine Linearitäts- und Reproduzierbarkeitsprüfung sowie anhand eines Validierungsplanes geführt.

Nachdem mit Hilfsmitteln des Qualitäts- und Prozessverbesserungsmanagements das System „Prüfstand“ definiert und abgegrenzt wurde, wird ein Validierungsplan erstellt.

In den Validierungsplan fließen die Erkenntnisse einer vorangegangenen Untersuchung von Schlossgrenzmustern, die Vorgaben durch Gesetze und Richtlinien und die Forderungen aus dem Lastenheft ein.

Als dann werden die Tests zusammen mit den Fachabteilungen bewertet und gewichtet.

Nach der finalen Auswahl werden die Tests durchgeführt, Messdaten dokumentiert und anschließend die Ergebnisse statistisch ausgewertet und beurteilt.

Name of Student

Kevin Voß

Title of the paper

Proof of capability for a durability test machine for buckles.

Keywords

Controller, Validation, Buckles, MSA, Statistics, measurement data evaluation, testing equipment aptness, Force measurement, distance measurement, test bench, Database

Abstract

The focus of this work is the proof of capability of a life cycle testing machine for belt buckles. This proof is guided by a linearity and reproducibility tests as well as a validation plan.

After defining and demarcating the system with Quality and Process Management tools, a validation plan is created.

The validation plan incorporates the findings of a previous investigation of modified buckles, the requirements of laws and directives and the requirements of the Automotive-specifications.

Then the tests are evaluated and weighted together with the specialist department.

After the final selection, the tests are carried out, measured data are documented and then the results are statistically evaluated and assessed.

Vorwort

In den Testhallen von Autoliv werden die Produkte des Konzerns eingehend untersucht, um den Standards der Automobilindustrie zu folgen und um Rückschlüsse für die eigene Weiterentwicklung der Produkte zu ziehen. Dafür muss das Equipment selbst auch immer weiter verbessert werden.

Ein Beispiel dafür ist der neue Schlossdauerlaufprüfstand, der Gegenstand dieser Arbeit ist. Er wurde in dem Bereich Lab-Support eigens geplant, entwickelt und mit Hilfe von Subunternehmen hergestellt. Um die Funktionsfähigkeit nachzuweisen, dient diese Arbeit.

An dieser Stelle möchte ich ganz herzlich meinen Betreuern Herrn Professor Dipl.-Ing. Arne Freytag von der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg und Herrn Dipl. Ing. Stephan Gathmann von der Firma Autoliv B.v. & Co. KG für die fachliche Betreuung und Unterstützung in allen Bereichen danken.

Ebenfalls möchte ich meinen Vorgesetzten Herrn Dr. Torben Beeck und Herrn Dipl.-Ing. Marcus Knoll für die Möglichkeit, meine Arbeit bei Autoliv B.v. & Co. KG durchführen zu können, danken.

Außerdem gilt mein Dank dem ganzen ET-Team für die wundervolle Aufnahme in die Abteilung und für die hochinteressante Zeit, sowie dem gesamten Test- und Design-Team, welches mich bei der Bearbeitung meiner Aufgaben aus den verschiedenen Themengebieten unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	1
1.3 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	3
2.1 Fahrzeugsicherheit	3
2.1.1 Allgemeines	3
2.1.2 Aktive und passive Sicherheit	5
2.1.3 Rückhaltesysteme.....	6
2.2 Gesetze und Richtlinien	11
2.3 Auszug Prüfprozesseignung	13
2.3.1 Einführung.....	13
2.3.2 Begriffserklärung.....	15
2.3.3 Linearität	20
2.3.4 Wiederholpräzision.....	21
2.3.5 Messbeständigkeit	21
2.3.6 Typische Einflussgrößen.....	21
3 Prüfstandsaufbau	23
3.1.1 Hardware	26
3.1.2 Software.....	30
3.1.3 Abtastfrequenz.....	32
4 Vorversuche.....	33
4.1 Wegmessung	33
4.2 Kraftmessung.....	38
4.3 Eingangsmessung der Schlossmuster	45
5 Validierungsplan.....	52
5.1 Test aus Vorgaben.....	52
5.2 Grenztets und Tests aus Vorversuchen	53
6 Validierung.....	54
6.1 Test der manipulierten Schlösser.....	54
6.1.1 Versuchsbeschreibung.....	54
6.1.2 Auswertung	54
6.2 Test der Grenzprüffrequenz	70
6.2.1 Versuchsbeschreibung.....	70
6.2.2 Auswertung	70
6.3 Test der Alterungsmuster.....	71
6.3.1 Versuchsbeschreibung.....	71
6.3.2 Auswertung	71
7 Zusammenfassung.....	72

8	Ausblick	73
8.1	Dauerlauffähigkeit	73
8.2	Kraftregelung	73
8.3	Erhöhung der Speicherrate/-frequenz	75
8.4	Geschwindigkeitseinfluss	75
8.5	Speicherproblem	76
8.6	Geräuschemissionen	77
8.7	Unterschiedliche Prüffrequenz	77
8.8	Anpassung an andere Anforderungen	78
8.9	Jährliche Kalibrierung.....	79
	Literaturverzeichnis	XI
	Anhang.....	XII
	Eidesstattliche Erklärung.....	XXIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Verkehrsunfälle und getötete Verkehrsteilnehmer in der Bundesrepublik Deutschland [PS16]	4
Abbildung 2.2: Gebiete der Fahrzeugsicherheit [PS16]	5
Abbildung 2.3: Komponenten des Drei-Punkt-Gurts [AL18]	8
Abbildung 2.4: Gesetzlich vorgeschriebene Bereiche für die geometrische Lage des oberen Gurtverankerungspunktes [PS16]	8
Abbildung 2.5: Ausführung eines pyrotechnischen Gurtstraffers [PS16]	8
Abbildung 2.6: Komponenten des Gurtschlosses [AL18]	10
Abbildung 2.7: Einflüsse auf ein Messergebnis [WI18]	14
Abbildung 2.8: Definition Prozess nach EFQM [DS07]	15
Abbildung 2.9: Definition Prüfprozess [DS07]	16
Abbildung 2.10: Definition: Prüfen, Lehren, Messen [DS07]	17
Abbildung 2.11: Definition Prüfmittel [DS07]	18
Abbildung 2.12: Wirkung von Messabweichungen [DS07]	19
Abbildung 3.1: Kompletter Prüfstand	23
Abbildung 3.2: P-Diagramm des Prüfstandes (In Anlehnung an [UD18])	24
Abbildung 3.3: Blockdiagramm des Prüfstandes (in Anlehnung an [RS18])	25
Abbildung 3.4: Prüfstand mit 6 Modulen, Touchscreen und weiteren Bedienelementen.	26
Abbildung 3.5: Ein Modul mit den beiden Elektromotoren und der Mechanik.....	27
Abbildung 3.6: Die Mechanik mit den Gleitschienen und Kraftmesszellen	27
Abbildung 3.7: Detailansicht der beweglichen Teile (Zungennest und Drücker).....	28
Abbildung 4.1: Messachse in Seitenansicht	34
Abbildung 4.2: Messachse in Frontansicht	34
Abbildung 4.3: Wiederholgenauigkeit des Buttons in Prozent vom Verfahrweg	35
Abbildung 4.4: Wiederholgenauigkeit der Zunge in Prozent vom Verfahrweg	36
Abbildung 4.5: Linearität des Buttons in Prozent vom Verfahrweg	36
Abbildung 4.6: Linearität der Zunge in Prozent vom Verfahrweg.....	37

Abbildung 4.7: Aufnahme für Federn (Alles was grau ist, ist nur für die Kraftmessung der Vorversuche).....	38
Abbildung 4.8: Frontansicht der Federnaufnahme mit eingezeichneter Federkraft.	39
Abbildung 4.9: Wiederholgenauigkeit des Buttons in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton).....	41
Abbildung 4.10: Wiederholgenauigkeit der Zunge in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton).....	42
Abbildung 4.11: Linearität des Buttons in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton).....	42
Abbildung 4.12: Linearität der Zunge in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton).....	43
Abbildung 4.13: Linearität und Vergleichsgrade der Zunge des 4ten Moduls.....	44
Abbildung 4.14: Abweichung von der Linearität der Zunge des 4ten Moduls.....	44
Abbildung 4.15: Aufbau der Schlossöffnungskraftmessung mit gealtertem Schloss.	47
Abbildung 4.16: Aufbau der Einsteckkraftmessung mit gealtertem Schloss.	48
Abbildung 4.17: Einsteckkräfte des 5. Musterschlösses.....	49
Abbildung 4.18: Schlossöffnungskräfte des 4. Musterschlösses.....	49
Abbildung 4.19: Einsteckkräfte des 5. Musterschlösses.....	50
Abbildung 4.20: Schlossöffnungskräfte des 1. korrodierten Schlösses 5 mal gemessen.....	51
Abbildung 6.1: Beispiel der Einsteckkräfte mit markanten Punkten.....	55
Abbildung 6.2: Beispiel der Öffnungskräfte mit markanten Punkten.....	55
Abbildung 6.3: Vergleich der Einsteckkräfte der Schlösser im Mittel über alle Module.....	56
Abbildung 6.4: Vergleich der Einsteckkräfte der Schlösser auf den einzelnen Modulen.....	57
Abbildung 6.5: Vergleich der Schlossöffnungskräfte der Schlösser im Mittel über alle Module.....	58
Abbildung 6.6: Vergleich Schlossöffnungskräfte der Schlösser auf den einzelnen Modulen.....	59
Abbildung 6.7: Schlossöffnungskräfte des zweiten Schlösses auf Modul3 über dem Weg	61

Abbildung 6.8: Schlossöffnungskräfte des zweiten Schlosses auf Modul1 über dem Weg	61
Abbildung 6.9: Einsteckkräfte Schloss3 auf Modul2 unbearbeitet	62
Abbildung 6.10: Einsteckkräfte Schloss3 auf Modul2 Geraden aufeinandergelegt.....	62
Abbildung 6.11: Mittelwerte der EK Schloss3 auf Modul2 unbearbeitet	63
Abbildung 6.12: Mittelwerte der EK Schloss3 auf Modul2 Geraden aufeinandergelegt.....	63
Abbildung 6.13: Ausgangsmessung der Einsteckkräfte, Probe-Nr. 1-5 entspricht Schloss 1-5 und Probe-Nr. 6 ist Schloss 7	64
Abbildung 6.14: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 1. Schlosses	66
Abbildung 6.15: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 2. Schlosses	66
Abbildung 6.16: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 3. Schlosses	67
Abbildung 6.17: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 4. Schlosses	67
Abbildung 6.18: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 5. Schlosses	68
Abbildung 6.19: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 7. Schlosses	68
Abbildung 6.20: Standardabweichung der Einsteckkräfte im Mittel über die Module.....	69
Abbildung 6.21: Standardabweichung der Öffnungskräfte im Mittel über die Module....	69
Abbildung 8.1: Blockdiagramm eines Standard-Regelkreises für eine einzige Regelgröße $y(t)$, sog. Eingrößen-Regelung als einschleifiger Regelkreis. [WR18]	74
Abbildung 8.2: Datenrate aktuell.....	76
Abbildung 8.3: Mögliche Datenrate.....	77
Abbildung 8.4: Seitenansicht Testaufbau für Renault Nissan [AL18].....	78
Abbildung 8.5: Draufsicht Testaufbau für Renault Nissan [AL18]	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zur Datenerfassung relevante Teile.....	30
Tabelle 2: Auszug aus DIN 878.....	33
Tabelle 3: Herstellerangaben für verschiedene Federn zur Kraftmessung.....	39
Tabelle 4: Gemessenen Federkräfte und resultierende Federraten.....	40
Tabelle 5: Durch Versuch ermittelte Federraten und Toleranzen.....	41
Tabelle 6: Vorgaben für den Prüfstand aus Gesetzen, Richtlinien und Lastenheften....	52
Tabelle 7: Ergebnisse und Einstellungen de Grenzprüffrequenztests.....	70

1 Einleitung

1.1 Motivation

Durch die immer weiter anwachsenden Anforderungen an alle Teile des Automobils und den stetigen Verbesserungswillen der Automobil- und Zuliefererindustrie, sind immer neue und strengere Prüfbedingungen, gerade für die Sicherheitssysteme, wichtig. Um diese Bedingungen einzuhalten ist auch eine kontinuierliche Verbesserung des Prüfequipments erforderlich. Bei der Entwicklung von Gurtschlössern sind umfangreiche Tests zur Validierung der Funktionsfähigkeit nötig. Die Lebensdauer gehört zu einer der wichtigsten Laborprüfungen. Zu diesem Zweck wurde für den Schlossdauerlauf eine neue Prüfmaschine entwickelt, welche sechs einzelne Module hat. Diese Module können einzeln oder zusammen in einem dafür vorgesehenen Gehäuse betrieben werden. Dabei wird bei jedem Zyklus die Gurtzunge in das Gurtschloss gesteckt, die Verriegelung kontrolliert und wieder geöffnet. Die AKLV (Arbeitskreis Lieferantenvorschrift)¹⁰⁸ (Stand: 2014) sowie das Gesetz haben dafür genaue Kraft Grenzwerte und entsprechende Prüfzyklen die eingehalten werden müssen.

Momentan wird zur Prüfung der Dauerlauffähig der Schlösser eine eingekaufte Maschine der Firma ATOS verwendet. Da die Firma Autoliv versucht ist die Qualität seiner Prüfungen stetig zu verbessern, wurde ein eigener Prüfstand entwickelt und umgesetzt, um einfacher an die Daten zu kommen und besser weiterverarbeiten zu können. Dies ist mit dem ATOS-Prüfstand schwierig, da dort nur die ATOS-Software mit vorgegebener Schnittstelle zur Verfügung steht. Durch die Eigenentwicklung kann auch schneller und kostengünstiger auf neue Anforderungen oder Test-Spezifikationen reagiert werden. Mit den Daten des neuen Prüfstandes soll des Weiteren die Entwicklung in einigen Fragen zum Schloss unterstützt werden. In diesem Sinn ist der Fähigkeitsnachweis notwendig. In dieser Arbeit soll nun untersucht werden, ob der Prüfstand beziehungsweise seine Module die, an sie gestellten Anforderungen erfüllen.

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel ist es, einen Fähigkeitsnachweis des Prüfstandes zu erbringen, um den Kundenwünschen gerecht zu werden und um zu wissen, was der Prüfstand darüber hinaus leisten kann, um eventuelle zukünftige Anforderung mit abdecken zu können. Zu diesem Zweck werden zum einen die Anforderungen aus dem Lastenheft sowie aus Gesetzen und Richtlinien in den Validierungsplan einfließen. Zum anderen auch verschiedene Schlossmuster untersucht, um die Grenzen des Prüfstandes zu erfassen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach dieser Einleitung wird sich mit dem Thema der Fahrzeugsicherheit beschäftigt. Hierzu wird auf die Einteilung in aktive und passive Systeme Bezug genommen. Danach werden die Bestandteile des Rückhaltesystems näher erläutert. Nachdem die Prüflinge näher beschrieben wurden, wird sich mit den Gesetzen und Richtlinien auseinander gesetzt, um die Rahmenbedingungen zu klären. Darauffolgend wird der Prüfstandaufbau in Hardware und Software beschrieben.

Nach dem Klären aller Aufbauten und Bedingungen werden dann die ersten Messungen zum Nachweis der Linearität und der Wiederholgenauigkeit vorgenommen. Mit diesen Erkenntnissen und den Vorgaben der Kunden und aus der Abteilung wird nun ein Validierungsplan erstellt und dieser mit der Fachabteilung diskutiert bis alle Anforderungen (intern und extern) abgedeckt werden.

Das nächste große Kapitel wird die Validierung mit allen Tests enthalten. Hierzu werden die Versuche beschrieben, die Ergebnisse dargestellt und ausgewertet, sowie die Auswerteverfahren erläutert.

Die letzten Kapitel enthalten eine Zusammenfassung und geben einen Ausblick für mögliche weiterführende Themen und Aufgabenstellungen.

2 Grundlagen

2.1 Fahrzeugsicherheit

Die in den folgenden Unterkapiteln verwendeten Texte haben als Quelle **[PS16]** und **[OP10]**. Falls abweichende Quellen verwendet wurden, ist dies gekennzeichnet.

2.1.1 Allgemeines

Die Sicherheit des Transports für Menschen und Güter hat weltweit einen hohen Stellenwert. Zahlreiche Organisationen wie die UN, Regierungen, Forschungseinrichtungen und Industrie haben Programme initiiert, um trotz steigendem Verkehrsaufkommen die Zahl der Unfälle zu senken. In den Industrieländern wurden die Erfolge durch Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur, der Verkehrsinformation, der Ausbildung der Verkehrsteilnehmer und deutliche Fortschritte bei Fahrzeugen erreicht. Die Vernetzung des Fahrzeugs mit den übrigen Verkehrsteilnehmern und der Infrastruktur sowie das automatisierte Fahren werden weitere Fortschritte auf diesem Gebiet ermöglichen. Nicht nur der Gesetzgeber, sondern auch die Wissenschaft und Industrie sowie Verbraucherschutzorganisationen sind aktiv. Inzwischen gibt es weltweit Sicherheitsgesetze, die durch Verbraucherinformationen und Produkthaftung ergänzt werden. Die Verbraucherinformation wird durch Gesetzgeber, inzwischen auch für unfallvorbeugende Systeme, Versicherungen, Verbraucherschutzorganisationen und Automobilfachzeitschriften erarbeitet. Der Impuls der Produkthaftung ist immens. Der Hersteller übernimmt die Verantwortung für einwandfreie Technik und stellt sicher, dass das Fahrzeug mindestens dem Stand der Sicherheitstechnik entspricht. Ein sicherheitstechnisch positiv bewertetes Fahrzeug ist ein wesentliches Kaufargument.

In Abbildung 2.1 ist zu sehen, dass trotz stetig steigender Anzahl an Unfällen die Unfallschwere und dabei die Anzahl der im Straßenverkehr getöteten Personen einen signifikanten Abwärtstrend hat und dies trotz deutlich steigender Anzahl an Verkehrsteilnehmern. Dies ist nur durch die oben genannten Gründe erreichbar. Die Fahrzeugsicherheit ist sicherlich auch dank ihrer modernen aktiven Systeme ein großer Bestandteil. Allerdings hat sich auch in der passiven Sicherheit viel getan, was nur durch konsequente Weiterentwicklung und immer bessere und härtere Testszenarien gelingen kann.

Entwicklung Verkehrssicherheit

Verkehrsunfälle und Getötete (Deutschland bis 2014)

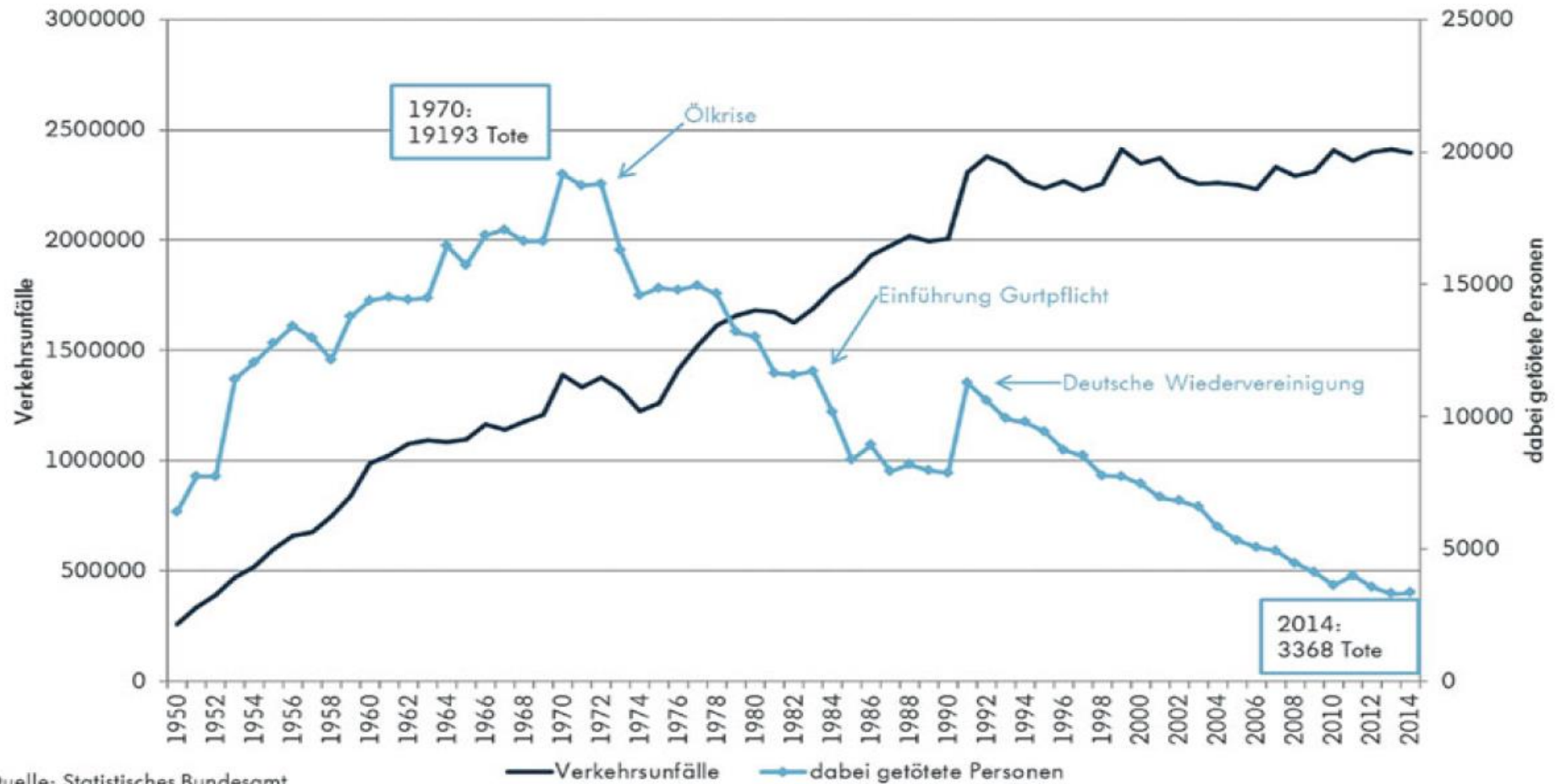


Abbildung 2.1: Verkehrsunfälle und getötete Verkehrsteilnehmer in der Bundesrepublik Deutschland [PS16]

2.1.2 Aktive und passive Sicherheit

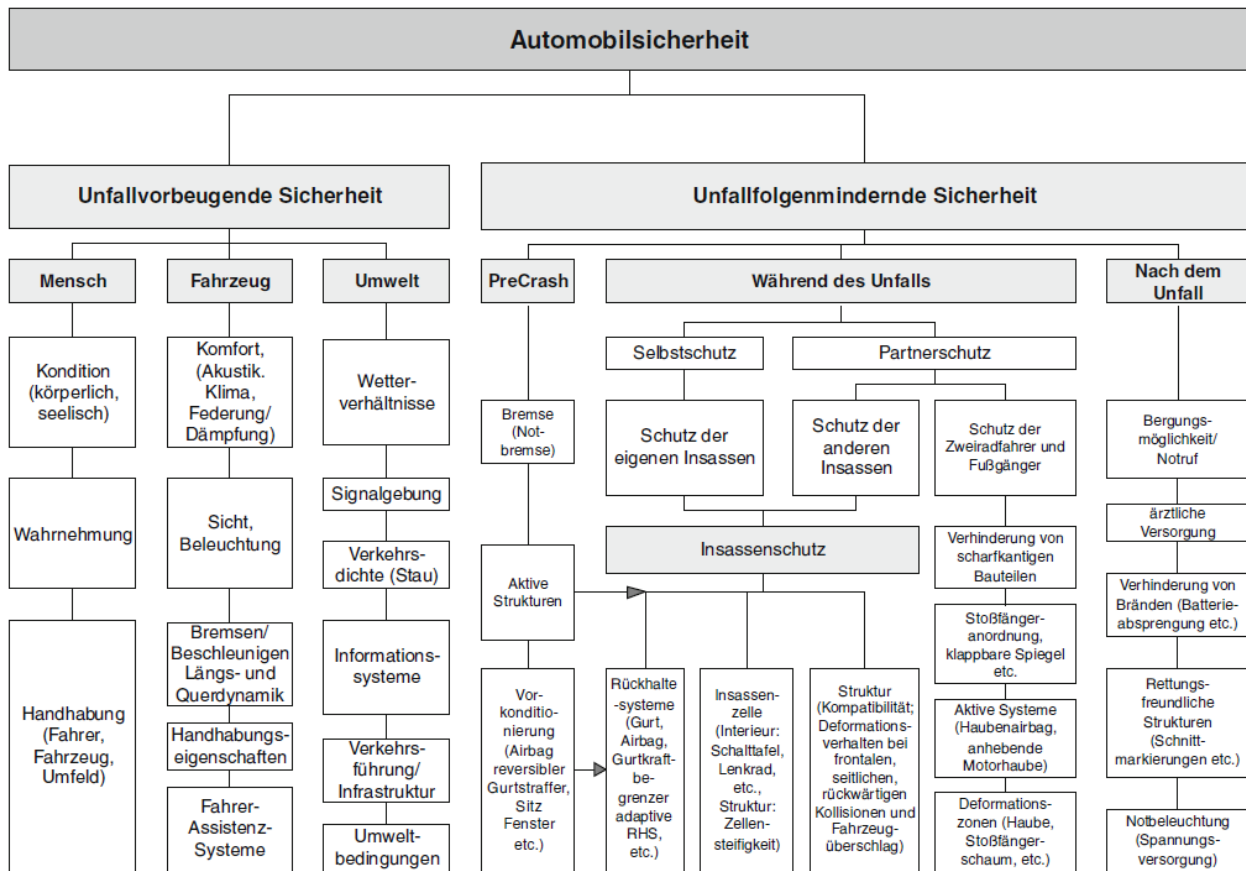


Abbildung 2.2: Gebiete der Fahrzeugsicherheit [PS16]

Wie in Abbildung 2.2 zu sehen ist, teilt sich das Gebiet der Automobilsicherheit in viele Teilbereiche. Die erste Unterscheidung ist meistens die in unfallvorbeugende (aktive) und unfallfolgenmindernde (passive) Sicherheit. Dabei gehören die Rückhaltesysteme in erster Linie zu den Systemen der passiven Sicherheit und dienen dem Insassenschutz. Es gibt Systeme die in allen drei Phasen eines Unfalls (Pre-, during-, post-Crash) wichtige Aufgaben erfüllen.

So ist in der Pre-Crash-Phase das Aufrollen der Gurtlose und das frühe Anbinden des Insassen an die Fahrzeugbeschleunigung mittels reversibler Vorstraffer wichtig. Während des Crashes steht am Anfang wieder die Anbindung an die Fahrzeugbeschleunigung, diesmal allerdings auch mittels irreversibler (z.B. pyrotechnischer) Mechanismen sowie die Begrenzung der Gurtkräfte und des freizugebenen Weges. In der Post-Crash-Phase ist es wichtig, dass sich das Gurtschloss ohne zu hohe Kräfte öffnen lässt, um so den Insassen nicht im Fahrzeug zu „fesseln“ falls dieses in Brand gerät oder im Wasser versinkt, auch wenn diese Fälle eher selten Realität sind.

2.1.3 Rückhaltesysteme

Bei den Rückhaltesystemen wird unterschieden zwischen Einrichtungen, die aktiviert werden müssen damit ihre Schutzwirkung erreicht wird (Sicherheitsgurt anlegen oder Kinderrückhaltesysteme sind hierfür gute Beispiele), und Einrichtungen, deren Schutzwirkung ohne Zutun der Insassen automatisch beim Unfall aktiviert werden, z.B. Gurtwegbegrenzung, Gurtstrammer, Airbag. Moderne Gurtsysteme besonders in Kombination mit dem Airbag sind äußerst leistungsfähig und garantieren den Insassen einen hervorragenden Schutz im Kollisionsfall. Ein entscheidendes Kriterium für die Güte und Wirksamkeit eines Gurtrückhaltesystems ist die Abstimmung der Einzelkomponenten aufeinander, d. h. nur das perfekte Zusammenspiel von Fahrzeugstruktur, Lenkradbewegung, Sitzverhalten, Innenraumgestaltung, Gurtcharakteristik und Airbagverhalten garantiert einen optimalen Insassenschutz. Adaptive Rückhaltesysteme können dabei in Abhängigkeit der unterschiedlichen Unfallschwere und Insassen angesteuert werden.¹

Sicherheitsgurte/Retraktor

Die Idee, den Fahrer mit Hilfe eines Sicherheitsgurtes an das Fahrzeug anzubinden, ist schon fast genauso alt, wie das Automobil selbst. Bereits im Jahre 1903 wurden Patente für einen Vier- und einen Fünf-Punkt-Gurt angemeldet. Die Sicherheitsgurte konnten sich zu diesem Zeitpunkt aber nicht durchsetzen. Daher gelten die 50er Jahre als Geburtsstunde des Sicherheitsgurtes.

Die ersten Entwicklungen dieser Zeit sind Zwei-Punkt-Gurte. Eine Variante, mit Anbindungspunkten an der oberen B-Säule und dem Kardantunnel, ist als Schultergurt ausgelegt. Dies verhindert ein ungebremstes Aufschlagen des Kopfes auf das Lenkrad, birgt aber die Gefahr unter dem Gurt hindurch zu rutschen. (Tucker Torpedo, 1948)

Die zweite Variante ist der Beckengurt mit Anbindung an der unteren B-Säule und dem Kardantunnel. Hier wird das Abtauchen unter den Gurt vermieden, beim Frontalaufprall werden Kopf und Oberkörper aber nicht gehalten und prallen ungebremst auf Lenkrad oder Armaturenbrett. Der Beckengurt wurde ab 1957 bei Mercedes und bei Porsche als Option angeboten.

Der schwedische Automobilhersteller Volvo bringt 1959 einen Drei-Punkt-Gurt auf den Markt, der die Vorteile der beiden oben genannten Varianten vereint. Da der Sicherheitsgurt zu diesem Zeitpunkt noch nicht über einen Retraktor verfügt, sondern starr ausgelegt ist, wird häufig die mangelnde Bewegungsfreiheit im angegurteten Zustand als Argument gegen den Sicherheitsgurt angebracht.

Ende der 1960er Jahre kommt der selbsttätig aufrollende Sicherheitsgurt mit Einhandbedienung auf den Markt. Erst zu diesem Zeitpunkt steigt die Akzeptanz der Fahrzeugbesitzer ihr Fahrzeug mit Sicherheitsgurten auszustatten. Ab dem 1. Januar 1974 sind die Hersteller verpflichtet ihre Neuwagen mit Sicherheitsgurten auf den vorderen Sitzen auszustatten. Ab dem 1. Mai 1979 gilt die Ausstattungspflicht auch für die Rücksitze. Allerdings war die Akzeptanz der Bevölkerung nicht groß und da es erst ab 1984 Strafen für das Nichteinhalten der seit 1976 bestehenden Gurtspflicht gab, wird der Gurt erst später zum Unfallfolgenminderer Nummer eins.

Weltweit hat sich der Dreipunktgurt mit Aufrollautomatik durchgesetzt. Der Dreipunktgurt ist mittlerweile bei fast allen Fahrzeugen auf allen Sitzplätzen eingebaut. Das Schloss ist bei verstellbaren Sitzen direkt am Sitz befestigt, die außen liegende Seite des Gurtes an der B- oder C-Säule. Das zulässige Feld der Gurtverankerungspunkte ist durch gesetzliche Regelungen exakt vorgeschrieben, Abbildung 2.4. Der außen obenliegende Punkt ist bei den meisten Fahrzeugen höhenverstellbar. Das Komfortempfinden des Menschen für die Lage des Gurtes und dessen Schutzwirkung gehen konform. Für das Sperren der Gurte beim Unfall sorgen zwei voneinander unabhängige mechanische Systeme. Ein System nutzt die Fahrzeugbeschleunigung oder -verzögerung (Pendelprinzip). Bei einem Impuls von mehr als 0,7 g wird die Sperrung ausgelöst. Eine zweite Sperre reagiert auf die Gurtauszugsbeschleunigung, wobei oberhalb eines festgelegten Wertes gesperrt wird, d. h. bei Auszugsbeschleunigungen von mehr als 1 g tritt die Sperrung innerhalb von 20mm Auszugslänge ein. Für das optimale Zusammenwirken von Sicherheitsgurten und der Fahrzeugstruktur hat sich der Einsatz der pyrotechnischen Gurtstraffer und teilweise von zusätzlichen Kraftbegrenzern durchgesetzt. Bei PreCrash-Systemen werden die Gurte durch elektrische Stellmotoren vor dem Unfall gestrafft. Es gibt zusätzlich noch eine Reihe von Kraftbegrenzern, damit der Brustkorb nicht über Gebühr belastet wird. Welche Art der Zusatzeinrichtung verwendet wird ist abhängig vom Zusammenwirken aller für den Unfallablauf wichtigen Komponenten: Fahrzeugdeformationscharakteristik, Sitz, Rückhaltesysteme und geometrische Anordnung. Für die Bereitschaft zum Anlegen des Gurtes ist der Komfort ebenfalls eine wichtige Größe. Die Anordnung des Gurtschlösses am Sitz und die Gurthöhenverstellung haben hierzu bereits sehr positive Beiträge geleistet. Eine weitere Maßnahme zur Minimierung der Gurtlose beim Dreipunktgurt ist die Optimierung der Rückzugskraft durch den Gurtautomaten, um ein einwandfreies Aufrollen zu garantieren, ohne dass im angelegten Bereich die Kraft übermäßig hoch ist. Teilweise werden auch zwei Automaten pro Gurt angeboten, um den Komfort auch im Beckengurt zu steigern. Bei einigen Systemen mit elektrischen Stellmotoren werden diese auch verwendet, um vor Fahrtantritt die Gurtlose automatisiert zu reduzieren.

Abbildung 2.3 zeigt die Komponenten eines Drei-Punkt-Gurtes wie sie in heutigen Fahrzeugen verbaut sind. Abbildung 2.4 zeigt die genauen geometrischen Bestimmungen zur Positionierung des oberen Befestigungspunktes. Abbildung 2.5 zeigt einen pyrotechnischen Gurtstraffer.

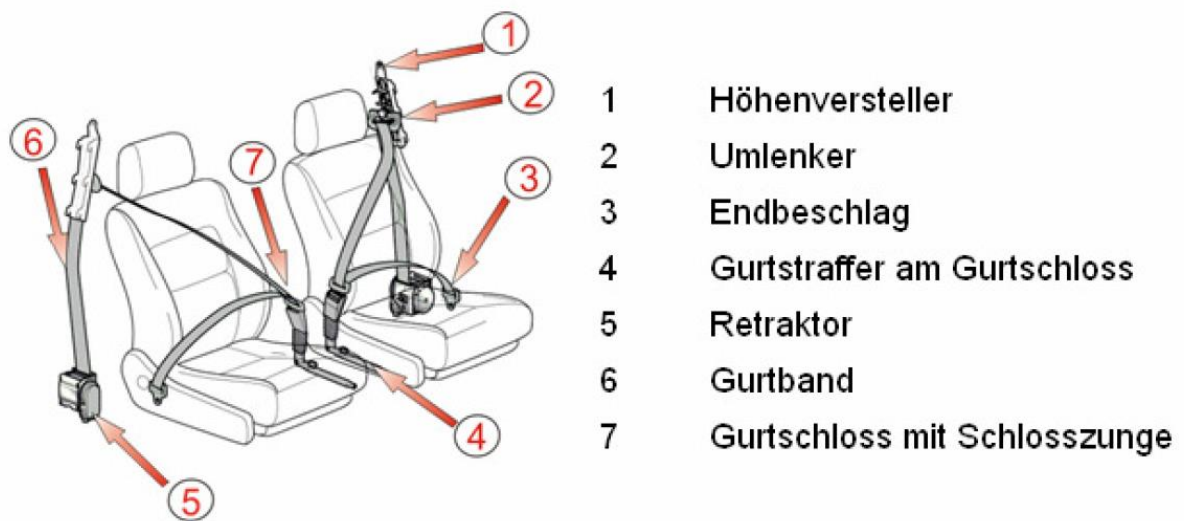


Abbildung 2.3: Komponenten des Drei-Punkt-Gurts [AL18]

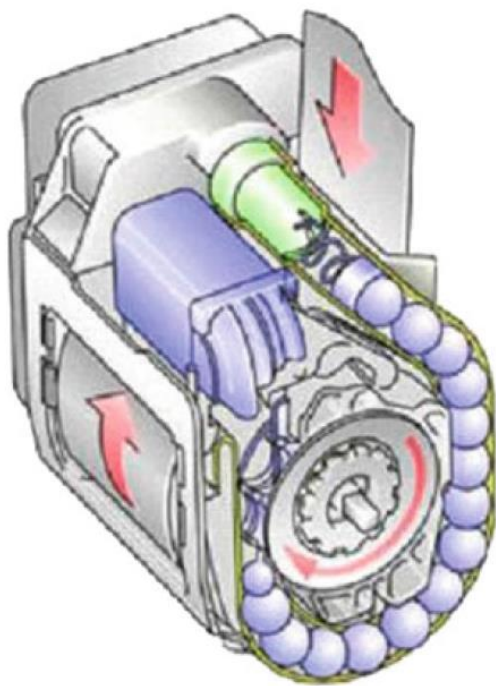


Abbildung 2.5: Ausführung eines pyrotechnischen Gurtstraffers [PS16]

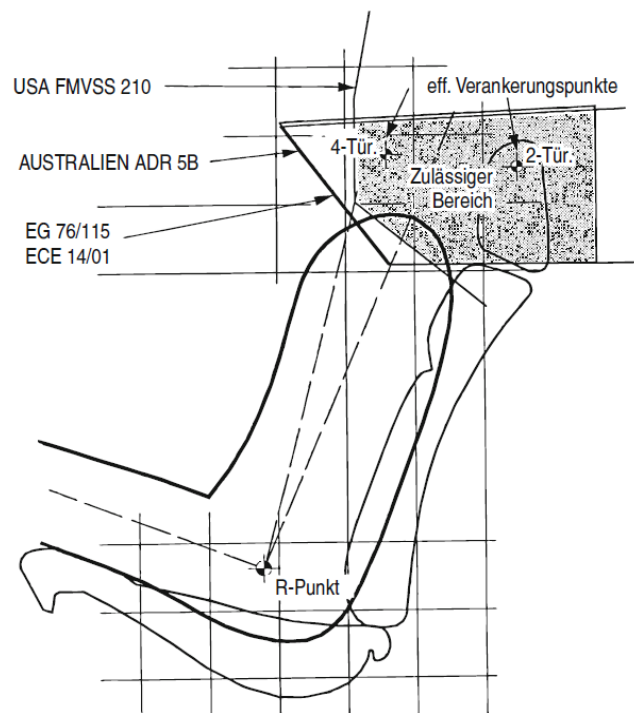


Abbildung 2.4: Gesetzlich vorgeschriebene Bereiche für die geometrische Lage des oberen Gurtverankerungspunktes [PS16]

Gurtschloss

Das Gurtschloss ist ein wichtiger Bestandteil des Rückhaltesystems. Es ist mit der Karosserie verschraubt und bildet damit einen der drei Anbindungspunkte des Sicherheitsgurtes. Die Hauptfunktion ist das Trennen des Gurtsystems, um das An- und Abschnallen zu ermöglichen. Hierbei muss es zahlreiche Eigenschaften aufweisen, die für die fehlerfreie Funktion maßgeblich sind:

Für den Insassen muss eindeutig zu erkennen sein, ob das Gurtschloss verriegelt ist. Eine akustische Rückmeldung durch ein deutlich hörbares Einrastgeräusch ist auch heute noch Stand der Technik. Zusätzlich wird in vielen Fahrzeugen über eine Belegungserkennung des Sitzes und der Stellung eines in das Gurtschloss integrierten Schalters überprüft, ob sich die Insassen angegurtet haben. Fehlverhalten wird über eine Kontrollleuchte und/oder ein akustisches Warnsignal angezeigt.

Es muss ausgeschlossen werden, dass der Insasse das Gurtschloss zufällig oder unwissentlich entriegelt und sich somit in Gefahr begibt. Ursache hierfür könnte zum Beispiel Jackentascheninhalt sein, der auf das Gurtschloss drückt. Daher ist eine Mindestpresskraft erforderlich, die auf die Drucktaste des Gurtschlusses aufgebracht werden muss, um das Schloss zu entriegeln.

Das Gesamtsystem Gurtschloss ist nur so stark wie sein schwächstes Glied. Daher muss die Verbindung von Gurtschloss und Schlosszunge die gleichen Zugkräfte aufnehmen können, wie ein durchgängiger Sicherheitsgurt.

Während einer Kollision wird der Gurt auf Zug belastet. In dieser Situation darf es nicht möglich sein, das Gurtschloss zu entriegeln. Andernfalls könnte der Insasse durch die auf ihn einwirkenden Kräfte oder ein umher fliegender Gegenstand die Verbindung ungewollt lösen. Der Verriegelungsmechanismus ist daher so ausgelegt, dass die Schlosszunge beim Betätigen der Drucktaste leicht in das Schloss hineingezogen wird, um die Verriegelung zu trennen. Ist der Gurt auf Zug belastet ist das Hineinziehen der Zunge in das Schloss nicht möglich.

Nach einer Kollision muss sich das Gurtschloss durch Betätigen der Drucktaste öffnen lassen, damit sich der Insasse selbstständig aus dem Fahrzeug befreien kann. Das heißt auch, dass die Drucktaste nach erfolgter pyrotechnischer Straffung und daraus resultierender Absenkung des Gurtschlusses noch erreichbar sein muss. Um eine fehlerfreie Funktion zu gewährleisten, sollten die Gehäusehälften so miteinander verbunden werden, dass eine Öffnung des Gehäuses nicht zerstörungsfrei möglich ist, um Manipulationen oder unsachgemäße Reparaturversuche am Gurtschloss zu verhindern.

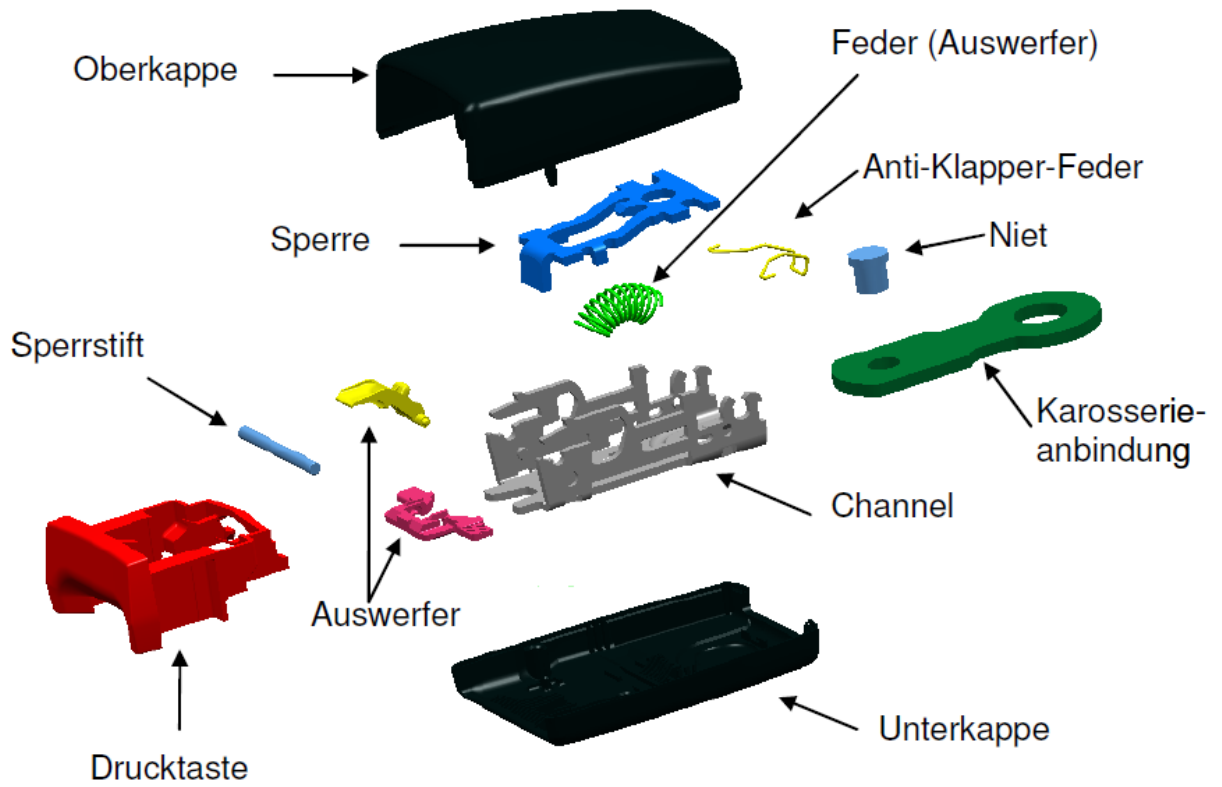


Abbildung 2.6: Komponenten des Gurtschlosses [AL18]

2.2 Gesetze und Richtlinien

Das Design von Gurtschlössern muss so ausgelegt, und die Fertigung so geführt werden, dass diverse Anforderungen erfüllt werden.

Diese Anforderungen sind in verschiedenen Gesetzen, Normen und Richtlinien zwischen OEM und Zulieferer festgehalten. Eine dieser Richtlinien ist die AK LV 108 zwischen der Autoliv B.V. & Co. KG und OEMs, die an dieser Lieferantenvorschrift mitgewirkt haben. Des Weiteren gibt es noch die ATS (Autoliv Test Specification) 08 speziell für den Schlossdauerlaufstest. Weiter unten sind in diesem Kapitel Auszüge aus diesen Richtlinien zu finden. Des Weiteren im Kapitel 4.3. In diesen werden unterschiedlichste Tests und Anforderungen genauestens beschrieben und quantifiziert, um eine hohe Lebensdauer der für die Sicherheit des Insassen wichtigen Teile zu gewährleisten. Bei der Firma Autoliv werden diese Tests im eigenen Haus unter genauer Dokumentation, Transparenz und Reproduzierbarkeit durchgeführt.

AKLV 108:

6.2.8 Dauerverschleißtest 1

Lastwechsel: 20 000 x Ver- und Entriegelungen

Frequenz: 0,5 Hz ± 0,3 Hz

Die Steckzunge soll mit einer Kraft von (60 ± 10) N bis zu ihrem Anschlag in das Gurtschloss eingeschoben werden. Nach jedem Verriegeln der Steckzunge ist eine Verriegelungskontrolle mit $F = (90 + 10)$ N erforderlich. Zum Öffnen des Gurtschlusses ist am Ende von jedem Zyklus eine Kraft von 60 N -10 N auf die Drucktaste aufzubringen. Die Steckzunge muss dabei mit max. 30 N ausgeworfen werden.

Die elektrische Schaltfunktion (wenn vorhanden) wird während des Tests bei jedem Zyklus geprüft (Messen und Aufzeichnen aller Werte).

Anforderungen: siehe 4.2 und 5.1 in AKLV108

ATS 08:

5.2 Test Machine

The buckle cyclus endurance simulates the normal manual usage (release and insert). The buckle endurance affords an insertion of the tongue until the locking mechanism is activated. To insert the tongue into the buckle a given, defined and specified force is needed. To release the buckle the push button has to be operated with a given force until the locking mechanism is unlocked.

In order to remove the potential partial engagement of the tongue/buckle assembly it is recommended that the inserting and release load should be applied for at least 0.2s.

If is needed to acquire or monitor load data from the equipment the load should be filtered with a 100 Hz Filter and should be monitored every cycle. The sampling rate should be at least 1 kHz.

The inserting and release load should be 60±10N. Recommended test frequency is 30 cycles/min.

It is recommended for the test rig to have an interface to an external monitoring system for the electrical function, interface which will transfer the status of the tested buckle – open/closed.

Diese Vorschriften beziehen sich auf das europäische Gesetz ECE-R16 und US-Gesetz FMVSS 209 (208), gehen aber noch darüber hinaus.

Des Weiteren gibt es Richtlinien, um Prüfprozesse systematisch zu untersuchen und zu verifizieren. Diese finden sich in Kapitel 2.3.

2.3 Auszug Prüfprozesseignung

Nachdem nun die Rahmenbedingungen und die zu prüfenden Teile näher beschrieben wurden wird nun auf die Prüfprozesseignung und die generelle Vorgehensweise eingegangen, um Prüfprozesse zu validieren.

Die in den folgenden Unterkapiteln verwendeten Graphiken und Texte haben als Quelle hauptsächlich **[DS07]**. Falls abweichende Quellen verwendet ist dies gekennzeichnet.

2.3.1 Einführung

Um aus den Messwerten korrekte Rückschlüsse zu ziehen, müssen die Werte mit ausreichender „Genauigkeit“ bezogen auf die Merkmalstoleranz oder den Prozess erfasst werden. In der Vergangenheit hat man primär die Eignung eines Messgerätes anhand von Mindestwerten, die in Normen festgehalten sind, überprüft bzw. die Herstellerangaben überwacht. Heute gibt es dazu eindeutige Vorgaben. So fordert die DIN EN ISO 10012:2004 die Bestimmung der Messunsicherheit gemäß der DIN EN 13005. Dabei ist die Überprüfung des Messmittels unter idealen Bedingungen nur eine Komponente bei der Bestimmung der Messunsicherheit des Messprozesses: z.B. im Messraum mit geschultem Personal, mit idealisierten Werkstücken, wie Normale oder Einstellmeister, und in standardmäßig vorgegebenen Vorrichtungen. Die Vorgehensweise und die Art der Überprüfung in Form von Prüfanweisungen ist exemplarisch in der VDI / VDE / DGQ-Richtlinie 2618 beschrieben. Diese Handhabungsweise ist bei neuen Geräten zur Überprüfung der Herstellerangaben, bzw. für regelmäßige Überwachungen (Prüfmittelüberwachung) notwendig, um Veränderungen oder Fehler am Gerät selbst feststellen zu können. Die so ermittelte „Eignung“ sagt allerdings noch nichts bzw. sehr wenig über das Verhalten des Gerätes unter den realen Bedingungen aus. (s. Abbildung 2.7)

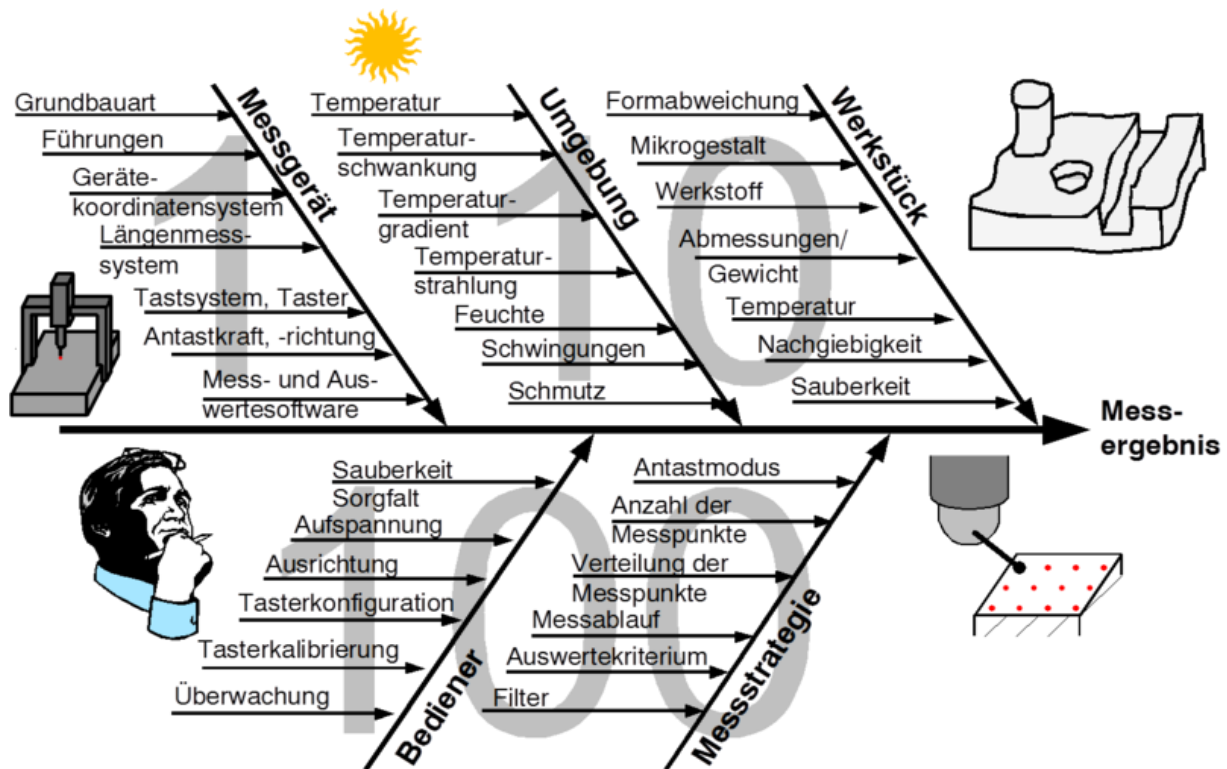


Abbildung 2.7: Einflüsse auf ein Messergebnis [WI18]

Einschlägige Erfahrungen haben gezeigt, dass der Einfluss eines Messgeräts allein an dem Messprozess häufig die geringste Komponente darstellt. Daher sind für eine Gerätebetrachtung alle Einflussgrößen zu berücksichtigen.

Daher kann mit den oben beschriebenen Verfahren bestenfalls eine theoretische Aussage getroffen werden, dass ein Messgerät für eine vorgegebene Toleranz prinzipiell geeignet sein könnte. Um allerdings unter den genannten Einflüssen feststellen zu können, ob das Messsystem geeignet bzw. qualifiziert ist, um einen vorliegenden Prozess mit ggf. sehr kleiner Prozessstreuung unter realen Bedingungen sicher zu beurteilen, sind andere Verfahren und Vorgehensweisen erforderlich.

Insbesondere unter der Zielsetzung „Never Ending Improvement“ werden Toleranzen immer enger und die Prozessstreuung immer kleiner. Daher muss das Messsystem der jeweiligen Aufgabenstellung gerecht werden. Ist dies nicht der Fall, sind die Messergebnisse verfälscht und für die statistische Analyse nahezu unbrauchbar.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, verlangen mehrere Normen und Richtlinien die Beurteilung der Messsysteme anhand von so genannten Fähigkeitsstudien bzw. die Bestimmung der Messunsicherheit. Im Rahmen der ISO/TS 16949 wird ebenfalls die Bestimmung der Eignung des Prüfprozesses verbindlich vorgeschrieben. Die Vorgehensweise ist darin nicht näher spezifiziert. Es ist nur der Hinweis, dass die Vorgaben des Kunden gelten. Dies können damit einerseits Prüfmittelfähigkeitsuntersuchungen oder andererseits die Bestimmung erweiterter Messunsicherheit sein. Aller Voraussicht nach werden in absehbarer Zukunft beide Verfahren nebeneinander stehen. In erste Linie wird im Umfeld der amerikanischen Automobilindustrie nach wie vor die MSA zum Tragen kommen. Es ist zu erwarten, dass bei den deutschen Automobilkonzernen die Prüfprozesseignung gemäß VDA 5 in den Vordergrund rücken wird.

2.3.2 Begriffserklärung

Prozess

Bei der Frage, ob ein Messsystem für die jeweilige Aufgabe geeignet ist oder nicht, wird immer der gesamte Vorgang als ein Prozess betrachtet und untersucht. Die Abbildung 2.8 zeigt die Definition „Prozess“ im Sinne der EFQM (European Foundation of Quality Management)

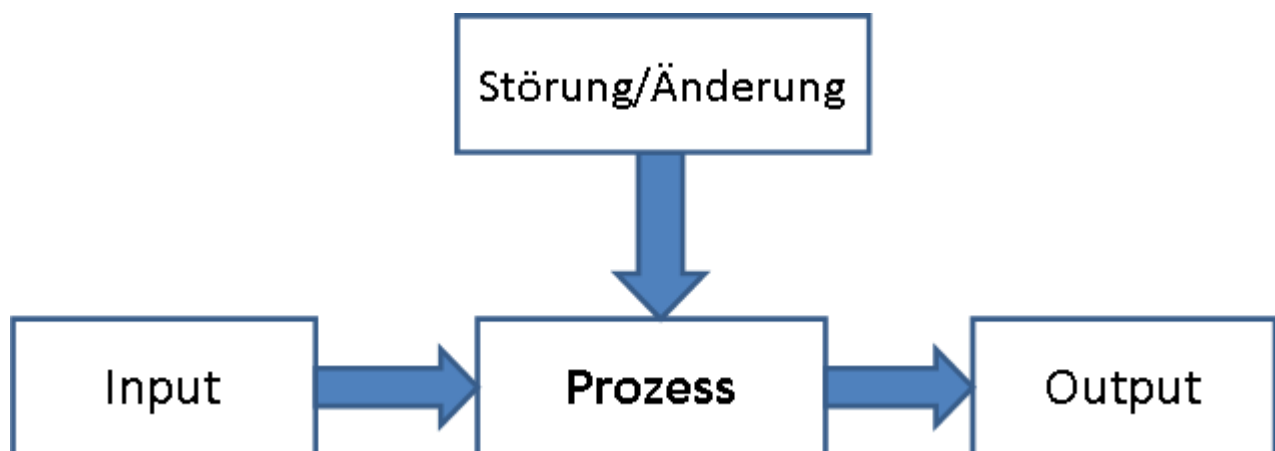


Abbildung 2.8: Definition Prozess nach EFQM [DS07]

Prüfprozess

Der Prüfprozess (Abbildung 2.9) ist immer als Gesamtheit aller Einflussfaktoren zu sehen. In der Vergangenheit wurde oftmals nur das Messgerät alleine betrachtet. Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass das Messgerät in der Regel den kleinsten Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. Viel kritischer sind die Einflussfaktoren wie Umgebung oder das Prüfobjekt selbst. So kann sich ein Prüfobjekt mit der Zeit aufgrund seiner Materialeigenschaften verändern. Damit können beispielsweise Ergebnisse eines Lieferanten nicht mit den Ergebnissen eines Abnehmers verglichen werden, wenn diese Veränderungen des Prüfobjektes nicht berücksichtigt werden.

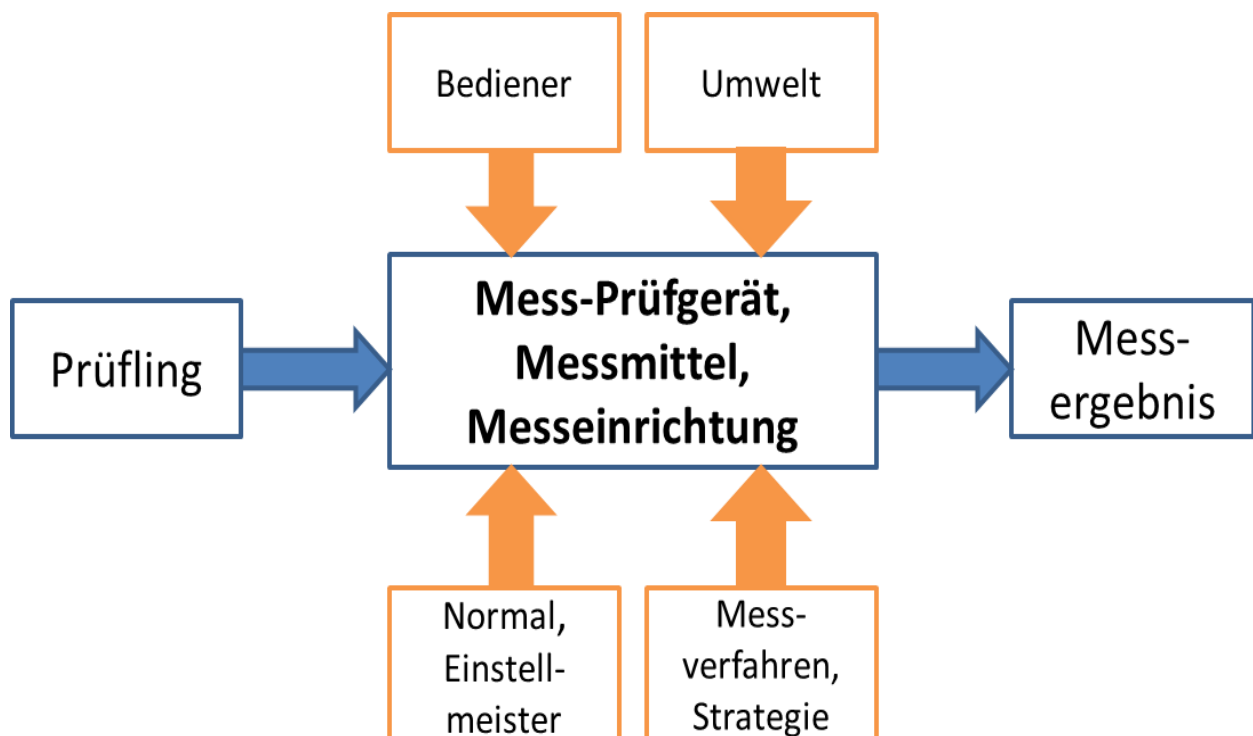


Abbildung 2.9: Definition Prüfprozess [DS07]

Prüfen

Der Begriff „Prüfen“ (Abbildung 2.10) ist als Oberbegriff für eine subjektive bzw. objektive Beurteilung zu verstehen. Prinzipiell sollte jede Prüfung möglichst objektiv d.h. durch Lehren oder durch Messen erfolgen. Stehen in Ausnahmefällen für eine Messaufgabe aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen keine Lehren oder Messmittel zur Verfügung, bleibt nur die subjektive Prüfung durch Sinneswahrnehmung übrig. Diese ist wegen unterschiedlicher Wahrnehmung und Bewertung des jeweiligen Prüfers äußerst kritisch und bedarf viel Erfahrung.

Die beste Beurteilungsfähigkeit ist die Prüfung mit einem Messsystem. Die Messwerte können oftmals elektronisch erfasst und automatisch weiterverarbeitet werden. Zum Beispiel über eine Datenbank und eine automatisierte Software, um Berichte zu erstellen. Diese Vorgehensweise vermeidet Fehler bei der Messung und vermindert Übertragungsfehler.

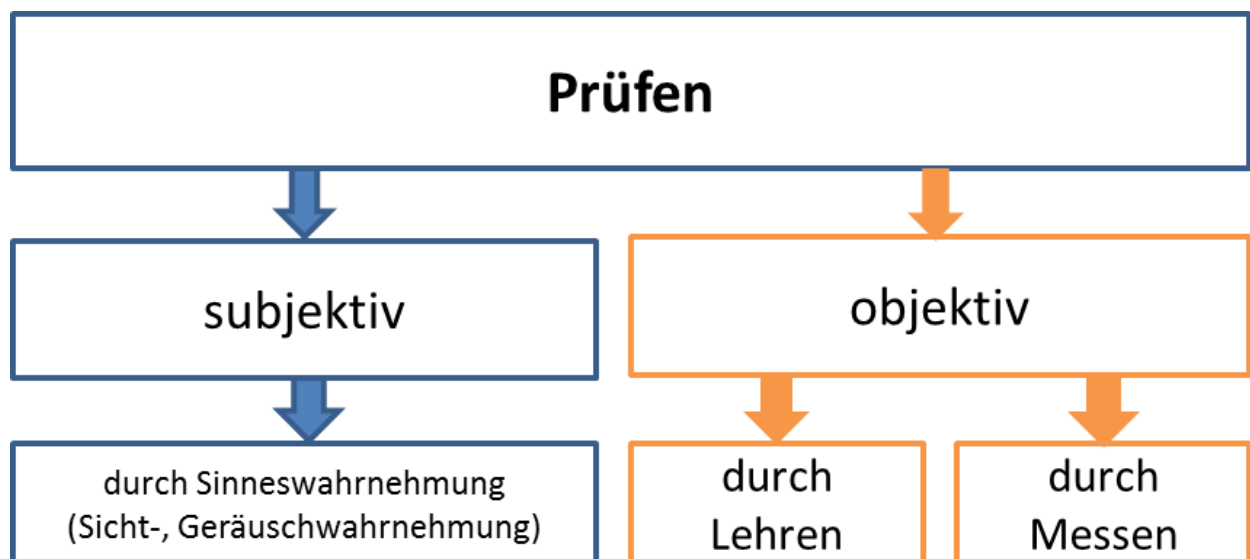


Abbildung 2.10: Definition: Prüfen, Lehren, Messen [DS07]

Prüfmittel

Die für den objektiven Prüfer zur Verfügung stehenden Prüfmittel (Abbildung 2.11) können grob eingeteilt werden in: Normale, Messgeräte, Lehren und Hilfsmittel.

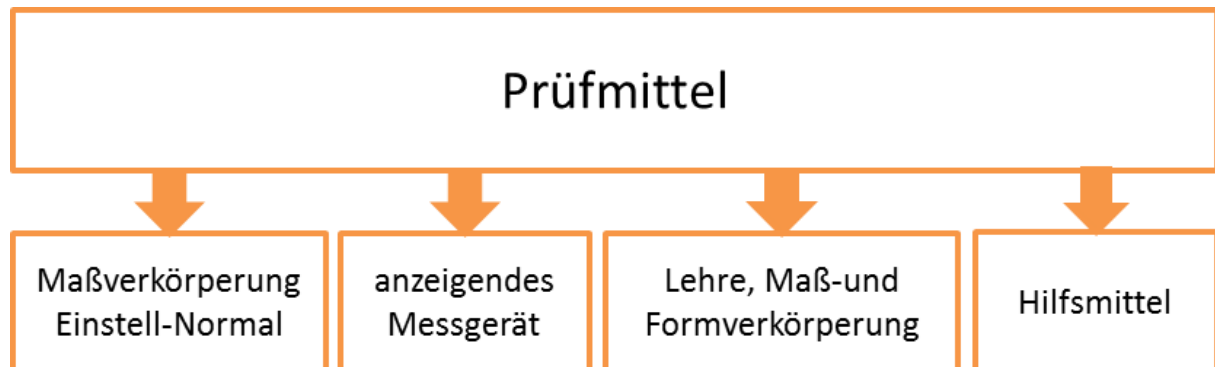


Abbildung 2.11: Definition Prüfmittel [DS07]

Die Maßverkörperung und Einstellnormale stellen die Rückführbarkeit eines Messprozesses auf die nationalen und internationalen Normale her. Gleichzeitig dienen diese zu Einstellung der Messgeräte für die jeweilige Aufgabenstellung. Oftmals handelt es sich um Hilfsmittel, die Bestandteil des Messprozesses sind.

Lehren lassen nur eine gut/schlecht Prüfung zu und sind damit für eine statistische Auswertung im Sinne einer Prozessfähigkeitsstudie nicht brauchbar. Eine automatische Übertragung des Prüfergebnisses ist ebenfalls nicht möglich. Der Vorteil bei Lehren ist die einfache und schnelle Handhabung.

Messabweichung und Messunsicherheit

Zeigt ein anzeigendes Messgerät einen Wert an, ist dieser nicht zwangsläufig der „Richtige Wert“. Dieser liegt in einem Bereich um das Messergebnis. Der Bereich ist die Messunsicherheit, die sich aus mehreren Messabweichungen zusammensetzt.

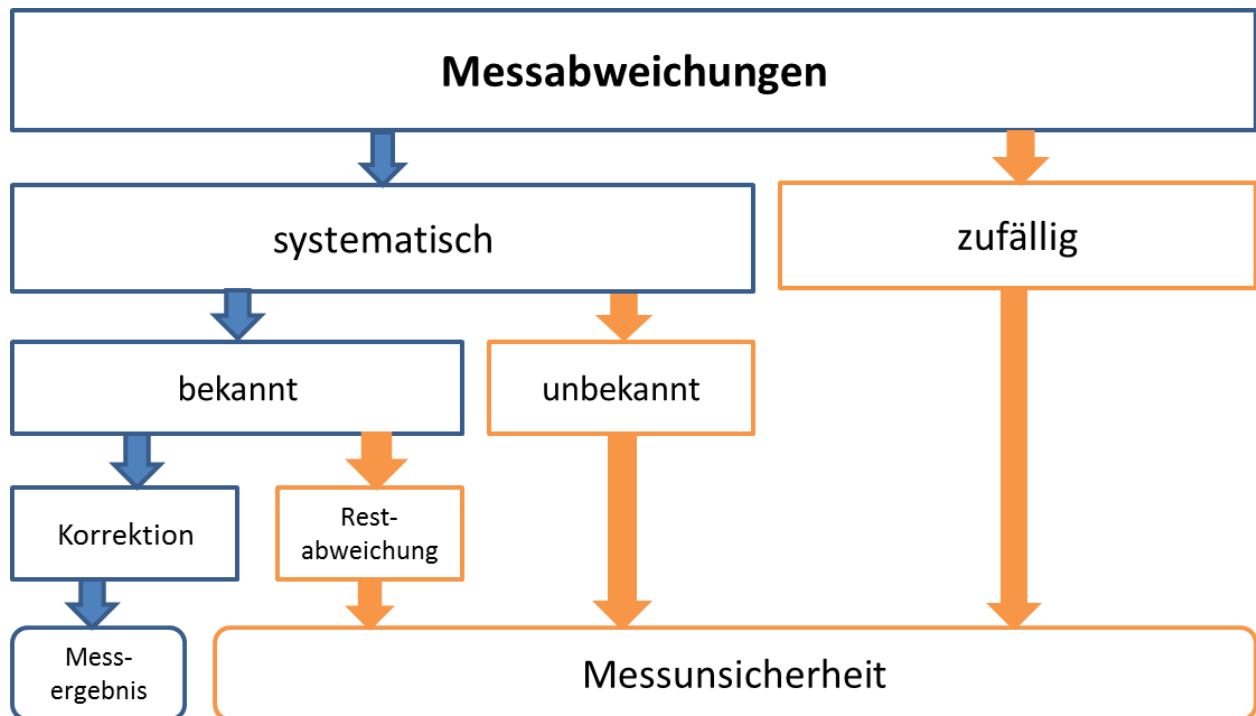


Abbildung 2.12: Wirkung von Messabweichungen [DS07]

Diese unterschiedlichen Abweichungsarten sind in Abbildung 2.12 schematisch zusammengefasst. Näheres zu Begriffsdefinition und der Berechnung bzw. Ermittlung der Messunsicherheit ist im „Leitfaden zu Angabe der Unsicherheit beim Messen“ oder „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, kurz GUM, zu entnehmen.

Systematische Messabweichung

Die systematische Messabweichung ist die Abweichung zwischen Mittelwert der Messwertreihe bei wiederholtem Messen des gleichen Merkmals und dem wahren Wert des Merkmals. Der wahre Wert bezieht sich hierbei auf ein Normal, ein Einstellstück bzw. eine der Prüfmittelüberwachung zugrunde liegende Maßverkörperung, deren Ist-Wert ausreichend bekannt ist. Die Untersuchung ist an ein und demselben Normal, von einem Bediener und an einem Ort vorzunehmen.

Die systematische Messabweichung eines Messgerätes wird üblicherweise geschätzt durch Mittelwertbildung der Messabweichungen der Anzeige über eine angemessene Anzahl an Wiederholmessungen.

Die Ursachen der systematischen Abweichungen können bekannt oder unbekannt sein. Sie werden hauptsächlich hervorgerufen durch Unvollkommenheit der Messgeräte, der Messverfahren, des Prüfgegenstandes und durch Umwelteinflüsse.

Erfassbare systematische Abweichung (bekannt)

Erfassbare systematische Abweichungen (durch Berechnung oder Messung bestimmbar) können zu Berichtigung der Messwerte benutzt werden.

Nicht erfassbare systematische Abweichungen (unbekannt)

Systematische Abweichungen, die auf einfache Weise nicht erfassbar sind, können jedoch oftmals abgeschätzt werden. Diese Abweichungen haben immer ein bestimmtes Vorzeichen (+ oder -), es ist jedoch nicht bekannt. Deshalb werden die zwar abschätzbaren aber nicht erfassbaren systematischen Abweichungen wie zufällige Abweichungen behandelt. Sie gehen dann mit dem Vorzeichen \pm in die Berechnung der Messunsicherheit ein.

Zufällige Abweichungen

Zufällige Abweichungen werden von nicht erfassbaren Änderungen der Maßverkörperungen, der Messgeräte, der Prüfgegenstände, der Umwelt und der Prüfpersonen hervorgerufen. Derartige Abweichungen haben unter gleichen Bedingungen nicht immer die gleiche Größe. Sie sind einzeln nicht erfassbar, machen die Messergebnisse unsicher und sind dadurch ein Bestandteil der Messunsicherheit.

2.3.3 Linearität

An Normalen bzw. an kalibrierten Referenzteilen, die den gesamten Messbereich des Gerätes abdecken, werden durch denselben Bediener an demselben Ort nach einem festgelegten Messverfahren Wiederholungsmessungen durchgeführt. Der Mittelwert einer Messwertreihe an den verschiedenen Normalen wird mit dem Referenzwert des Normals verglichen. Die Abweichungen sind ein Maß für die „Linearität“. Trägt man diese in ein Diagramm ein, so erhält man die Kennlinie der Linearitätsabweichung.

2.3.4 Wiederholpräzision

In kurzen Zeitabständen werden Wiederholungsmessungen nach einem festgelegten Messverfahren an denselben Teilen (Normal, Prüfteil oder mehrere gleichartige Teile) mit demselben Gerätebediener sowie derselben Geräteausrüstung und an demselben Ort durchgeführt.

Ein Maß für die Wiederholpräzision ist das Vielfache der Standardabweichung der Messwertreihe.

2.3.5 Messbeständigkeit

Einem festgelegten Messverfahren mit derselben Geräteausrüstung und dem identischen Objekt werden an demselben Ort durch denselben Beobachter in festgelegten Zeitabständen Messungen vorgenommen und die sich ergebenden Mittelwerte miteinander verglichen.

Ein Maß für die Stabilität ist die maximale Differenz zwischen den Mittelwerten dieser Messwertreihen.

Die ermittelten Abweichungen beinhalten sowohl zufällige als auch systematische Einflüsse durch Messwertaufnehmer, die Kalibrierung, Verschleiß sowie durch die Umgebung.

2.3.6 Typische Einflussgrößen

Die beste Untersuchung und Beurteilung eines Messgerätes, wie diese im Sinne der Prüfmittelüberwachung (DIN EN ISO 100192) durchgeführt wird, ist für den Eignungsnachweis eines Prüfprozesses nur eine Komponente. Im realen Einsatz bzw. bei einer konkreten Messaufgabe haben immer mehrere Einflussgrößen eine nicht unerhebliche Auswirkung auf das Messergebnis. Daher wird hier von einem Messsystem gesprochen, das neben dem Messgerät selbst alle relevanten Einflussgrößen enthält. Jede Einflussgröße für sich allein betrachtet, trägt einen Teil zur gesamten Messabweichung bei. Ob sich aufgrund von Abhängigkeiten von Einflussgrößen die Auswirkung verstärkt oder korrigiert, soll hier nicht näher erörtert werden. Vielmehr ist es das Ziel des Eignungsnachweises bei einem Prüfprozess die signifikanten Einflussgrößen zu finden und den Beitrag an der Messabweichung abzuschätzen. Die Gesamtheit der einzelnen Messabweichungen ergibt die Messunsicherheit.

Typische Ursachen für Messabweichungen sind:

- Form- und Lageabweichungen
 - Beschaffenheit der Oberfläche
 - Werkstückverformung
- Messanordnung und verfahrensbedingte Abweichungen
 - Nichteinhaltung des Abbe'schen Grundsatzes
 - Vorgehensweise beim Einstellen
 - Berücksichtigung von Positioniergrundsätzen
 - Beachtung des Eigengewichtes
 - Antastrichtung
 - Bezugsrichtung
- Durch Maßverkörperungen und Messgeräte verursachte Abweichungen
 - Maßverkörperung selbst
 - Wiederholbarkeit der Messwerte
 - Messwertumkehrspanne
 - Messkraft
 - Abplattung
 - falsche Nullstellung
 - falsche Messgeräte
 - Linearitätsabweichungen
 - Abnutzung
- Umgebungseinflüsse
 - Temperaturschwankungen
 - relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck
 - Sauberkeit
 - Magnetfelder
 - Schwingungen
- Bedienpersonal
 - Ablesefehler z.B. Parallaxe
 - Beurteilungsvermögen
 - Gefühl beim Prüfen
 - Werkstückspannung
- Messmethode
 - Anzahl der Messpunkte / Scannen
 - unterschiedliche Referenzen
 - Auswerte- / Berechnungsmethode
 - Messgeschwindigkeit

In diesem vorliegenden Fall sind am relevantesten die Alterung der Gleitschienen durch Umwelteinflüsse sowie das falsche beziehungsweise schiefe Anschrauben der Schlösser. Letzteres ist weitestgehend vermeidbar, da das Nest für jedes Schloss angepasst wird.

3 Prüfstands Aufbau

Der Prüfstand hat die Grundfläche von 900mm x 900mm. Das Pult vorne trägt noch einmal 200mm auf. Die Höhe ohne beziehungsweise mit geschlossener Klappe beträgt 1800mm und im offenen Zustand 2480mm.

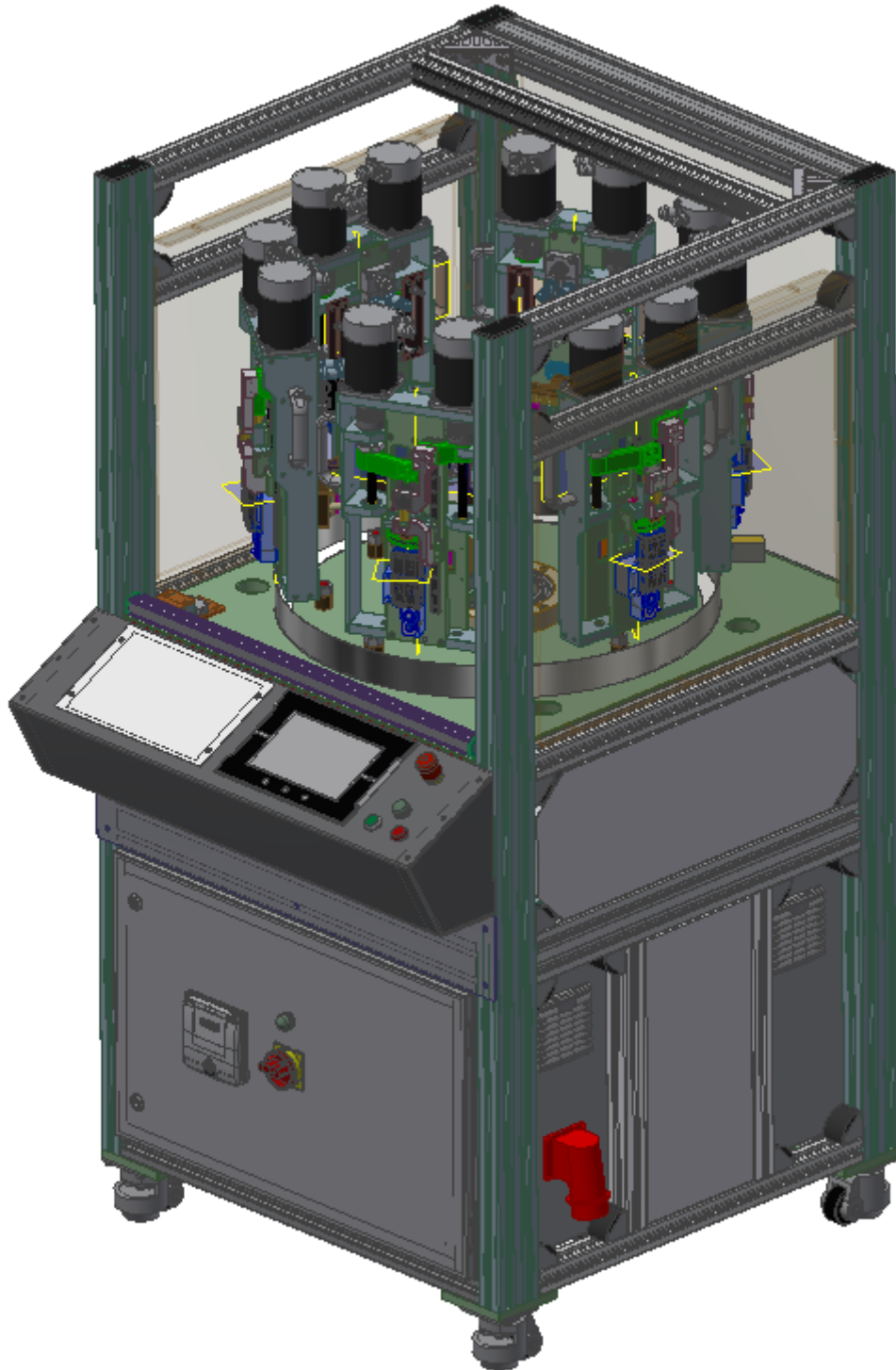


Abbildung 3.1: Kompletter Prüfstand

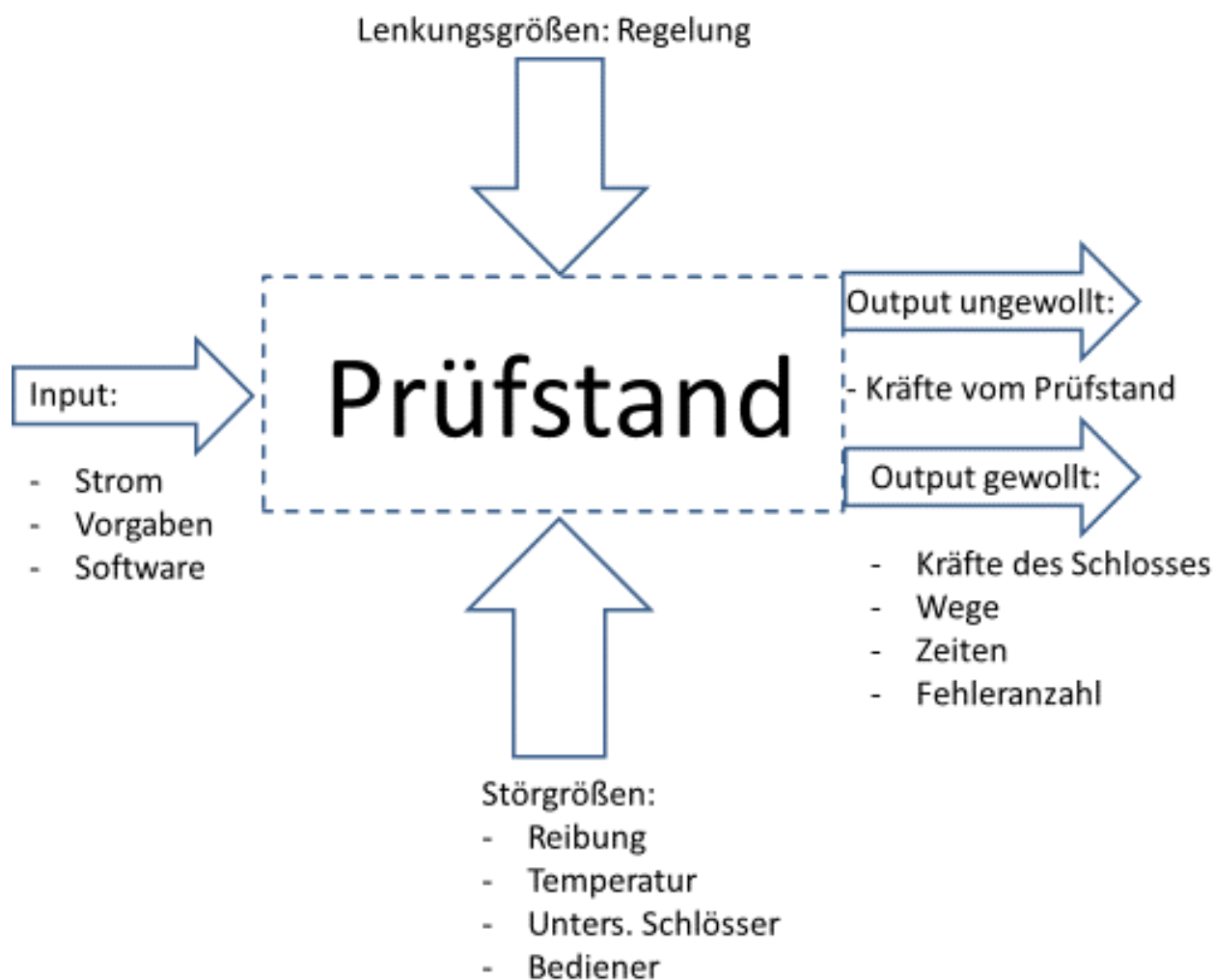


Abbildung 3.2: P-Diagramm des Prüfstandes (In Anlehnung an [UD18])

In Abbildung 3.2 ist das Parameter-Diagramm des Prüfstandes mit den wichtigsten Größen zu sehen.

Abbildung 3.3 zeigt das Blockdiagramm des Prüfstandes. Das obere große Rechteck beinhaltet die Elektronik und das untere die Mechanik. Wobei die Kraftmesszellen und Positionssensoren auch zur Elektronik gezählt werden können. Da sie keine extra Stromversorgung haben und positionstechnisch in der Mechanik Platz finden, sind sie dort dargestellt. Alles was außerhalb der großen Rechtecke ist, sind Inputs beziehungsweise Outputs.

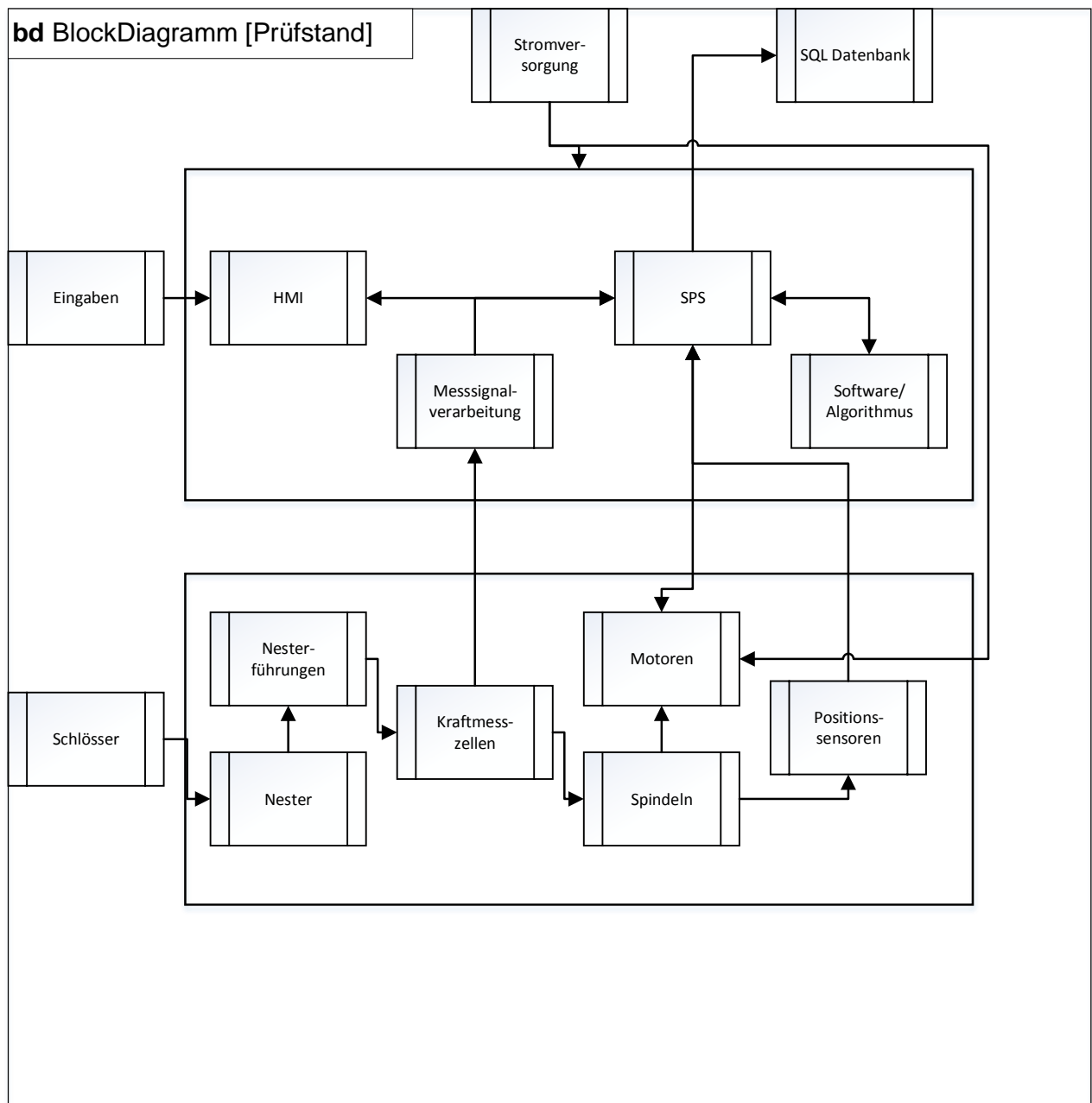


Abbildung 3.3: Blockdiagramm des Prüfstandes (in Anlehnung an [RS18])

Grundsätzlich besteht der Prüfstand aus Sechs einzelnen Modulen (1), die in der dafür vorgesehenen Station oder bei entsprechender Verkabelung mit der Station auch außerhalb betrieben werden können. Jedes Modul kann einzeln angesteuert werden. Die Steuerung und das Monitoring werden von einer SPS-Steuerung in der Station übernommen. Die Bedienung erfolgt über einen Touchscreen (2) an der Station.

3.1.1 Hardware

Jedes Modul kann ein Schloss zurzeit testen. Die Schlösser und die Zungen müssen per Hand angeschraubt beziehungsweise eingelegt werden. Zum Testen ist jedes Modul mit zwei Elektromotoren (3) ausgestattet, welche über eine Spindel (4) je einen Schlitten (5) auf entsprechenden Gleitschienen bewegen. An einer Gleitschiene ist über eine Kraftmesszelle (6) ein „Nest“ (7) verbunden, welches zur Aufnahme verschiedener Schlosszungen dient. Die andere Gleitschiene ist auch über eine Kraftmesszelle mit einem „Drücker“ (8) verbunden, welcher zur Betätigung des roten Entriegelungsknopfes des Schlosses ist. Des Weiteren ist auch die Aufnahme verschiedener Schlösser über „Nester“ (7) realisierbar.

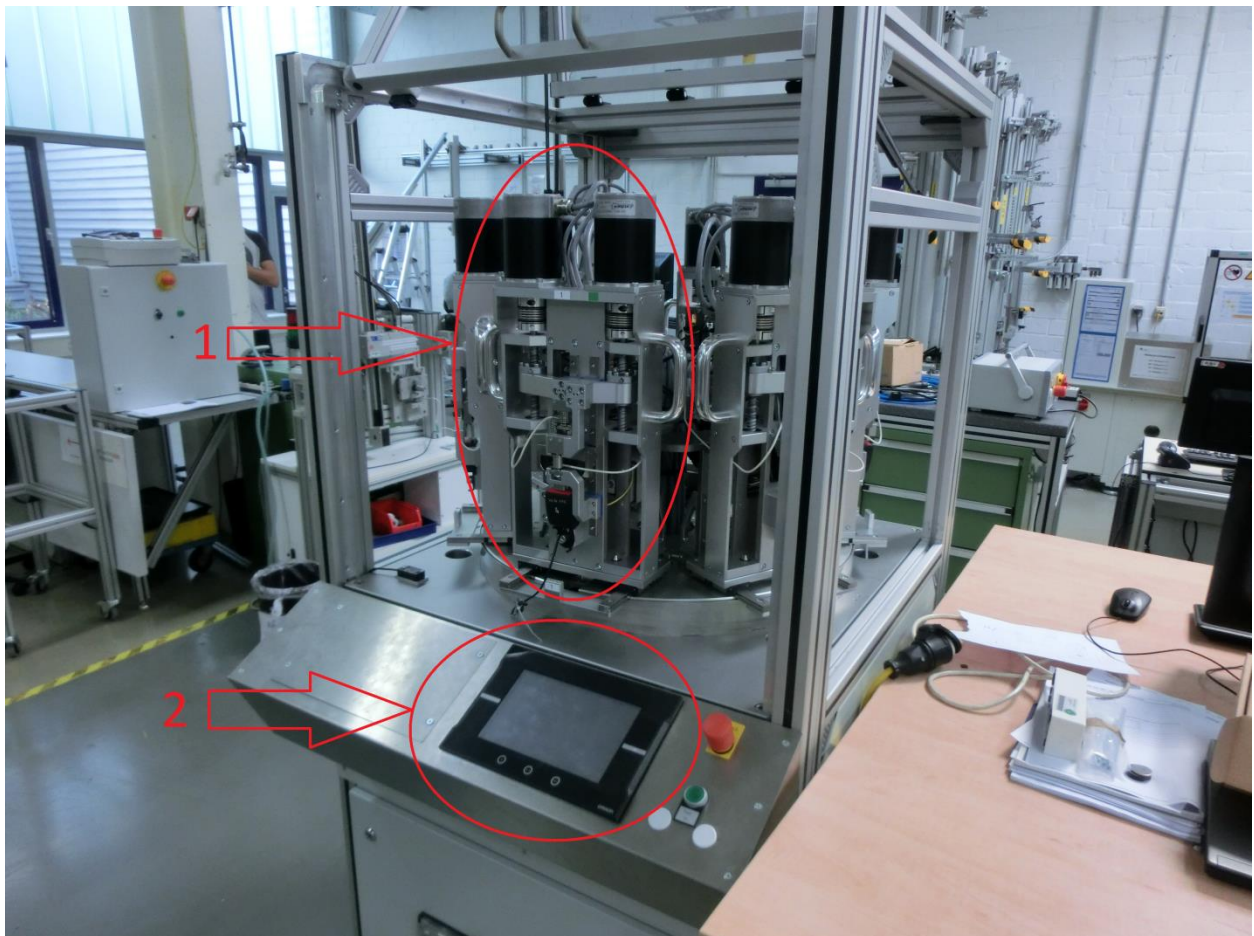


Abbildung 3.4: Prüfstand mit 6 Modulen, Touchscreen und weiteren Bedienelementen.

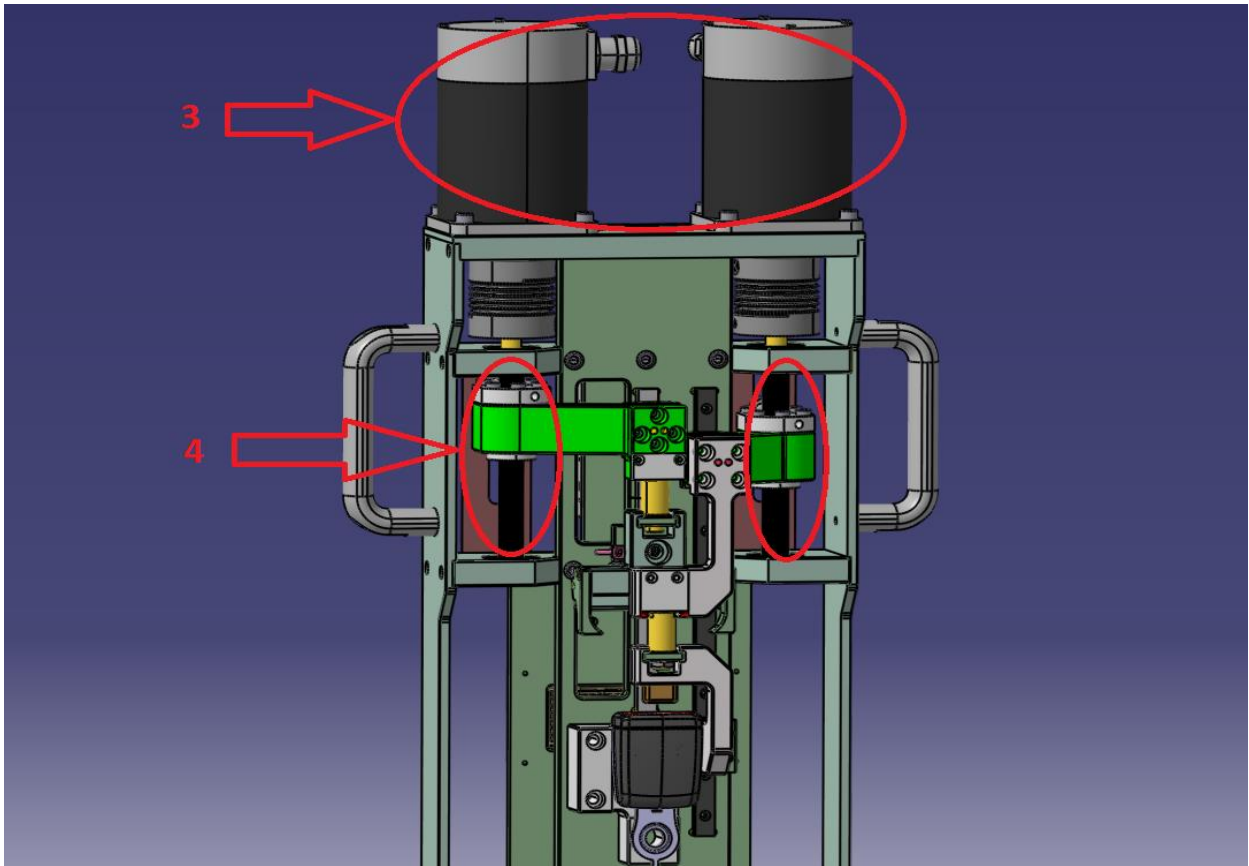


Abbildung 3.5: Ein Modul mit den beiden Elektromotoren und der Mechanik

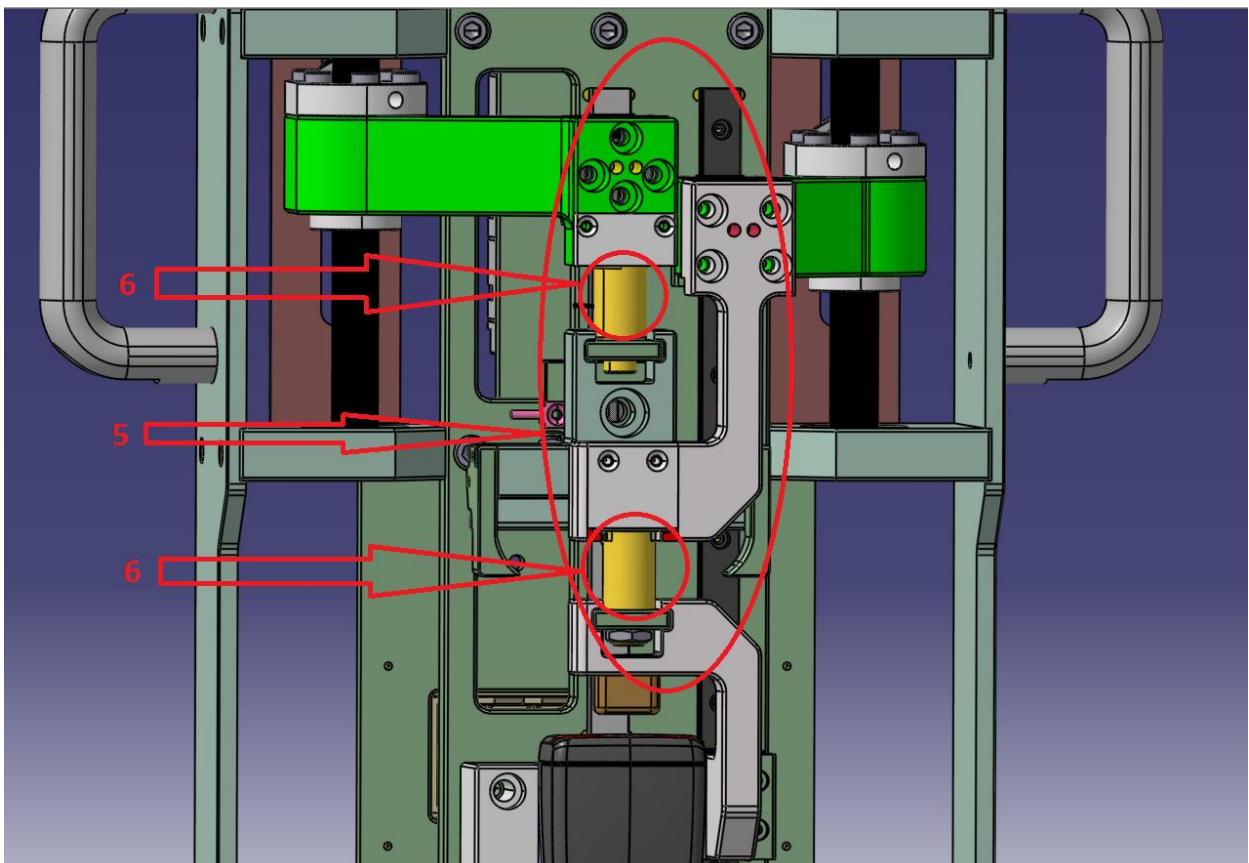


Abbildung 3.6: Die Mechanik mit den Gleitschienen und Kraftmesszellen



Abbildung 3.7: Detailansicht der beweglichen Teile (Zungennest und Drücker)

Zur Datenerfassung relevante Teile:

Anzahl	Bezeichnung	Firma	Modell	Spezifikation
1	Spindel	-	-	Steigungsgenauigkeit: 52 µm/300mm; Axialspiel: max. 0,04mm
1	Kugellager	Laepché	S 6201 2RS	-
1	Gleitschiene	Laepché	LGMX12L2BBL00270NZ0-1-0-12,5N	-
1	Gleitschiene	Laepché	LGMX12L1BBL00200NZ0-1-0-12,5N	-
1	Kraftmesszelle	MEAS	XFTC300-A2-500N/ET2	Linearität, Hysterese: $\leq \pm 0,5\%$ F.S.
1	Balgkupplung	R+W	BKC/15	-
1	Schrittmotoren	Störga	SM 88.218M2 E50 Z107	2 Phasen 1,8° Schrittmotor
1	Endstufe	Störga	WSE 04.230AC V01	-
1	Spannungsversorgung	OMRON	NJ-PA3001	-
1	Maschinensteuerung	OMRON	NJ101-9020	-
1	Maschinensteuerung	OMRON	NX-ECC202	-
1	Maschinensteuerung	OMRON	NX-ID4442	-
1	Maschinensteuerung	OMRON	NX-OD4256	-
1	Maschinensteuerung	OMRON	NX-AD2608	-
2	Maschinensteuerung	OMRON	NX-PG0122	-
2	Maschinensteuerung	OMRON	NX-EC0142	-
1	Maschinensteuerung	OMRON	GX-JC03	-

1	Bedienterminal	OMRON	NA5-9W001B	-
1	Datenbank	Raspberry Pi, Samsung SSD	MySQL Server	500GB

Tabelle 1: Zur Datenerfassung relevante Teile

3.1.2 Software

Da beim manuellen Einbau der Prüflinge die Lage nicht immer gleich ist, muss jedes Modul „angelernt“ werden. Dazu wird über den Touchscreen die gewünschte Ausgangsposition, Einrast- und Entriegelungsposition sowie Verriegelungskontrollposition angefahren. Dabei werden die Echtzeitwerte der Kraftmesszellen mit auf dem Display angezeigt. Danach werden noch Daten zur Identifikation des Schlosses eingegeben und nach welchen Spezifikationen (z.B. Kraftgrenzwerte) getestet werden soll.

Während eines Zyklus fährt die Zunge von der Initialposition in das Schloss bis zur angelernten Einrastposition. Danach wird die Verriegelungskontrolle durchgeführt in dem an der Zunge gezogen wird bis die geforderte Kraft oder die Verriegelungskontrollposition erreicht ist, welche aber deutlich höher angelernt wurde als in Realität, da so bei Nicht-Erreichen der Kraft aber Erreichen des Weges ein Fehlverhalten des Schlosses detektiert werden kann. Nach der Verriegelungskontrolle fährt die Zunge wieder in die Einrastposition. Danach fährt der Drücker auf den Entriegelungsknopf in die Entriegelungsposition, womit die Zunge wieder ausgeworfen wird. Dies ist möglich, da sich die Zunge in Ihrem „Nest“ um mehrere Millimeter hoch und runter bewegen kann. Jetzt fährt alles auf die Initialpositionen und der Zyklus ist beendet.

Die gemessenen Kräfte und Wege werden von der SPS-Steuerung mit einer Frequenz von 100 Hz an einen Raspberry Pi geschickt und dort von einem lokal laufenden SQL-Server gespeichert und verwaltet. Auf diesen Server kann von überall zugegriffen werden, wenn Netzwerkzugang vorhanden ist. Als erstes wurde mit 10 Hz aufgezeichnet. Zur Validierung ist eine Abtastfrequenz von 10 Hz zu niedrig. Dies ging aus den ersten Untersuchungen hervor. Bei dieser Abtastrate ist es nur Zufall wenn ein tatsächlicher Anstieg der Kraft bei der Verriegelungskontrolle zu sehen ist. Wie hoch die Abtastfrequenz sein muss, wird in Kapitel 3.1.3 näher untersucht.

Bei einem wirklichen Dauerlauf mit 20.000 bis 50.000 Zyklen ist aber eine hohe Abtastrate nicht sinnvoll, da dann Unmengen an Daten produziert werden würden. Im Serienbetrieb wird dann nur jeder 100ste oder 1000ste Zyklus gespeichert und Zyklen die fehlerhaft waren, um zu erkennen was fehlerhaft war.

Verwendete Software:

- OMRON SYSMAC-SE201L
- OMRON SYSMAC-SE200D
- MY SQL Server als Datenbank auf Raspberry Pi

Während der Vorversuche in Kapitel 4 ist aufgefallen, dass der Zyklus so wie er am Anfang programmiert war nicht den Vorgaben der AKLV108 entspricht. Zwar werden die Kräfte überwacht, allerdings wird ein Weg vorgegeben und nicht die Kraft als Abschaltsschwelle. So wird momentan weggeregelt und mit der Kraft als Notabschaltung gearbeitet. Es müsste aber genau umgekehrt sein, also kraftgeregelt und mit dem Weg als Notabschaltung. Damit ergibt sich dann folgende Regelung:

Einstecken:

- Kraftgeregelt bis zu einem Kraftwert der vorher eingestellt werden kann, dann weiter im Zyklus
- Wenn die Kraft außerhalb einzustellender Grenzen (bspw. 50-70N) ist, wird dies als Testfehler registriert
- angelernt wird trotzdem ein Weg (Weg bis die Zunge bis zum Anschlag im Schloss steckt) auf diesen Weg wird ein einzugebender Wert addiert (bspw. 2mm), um zu verhindern, dass wenn die Zunge neben das Schoss gesteckt wird, das Nest weiterfährt.

Verriegelungskontrolle:

- Kraftgeregelt bis zu einem vorher eingestellten Wert
- Angelernt wird ein Weg, der aber auch noch um einen Wert verringert wird, der auch einzugeben ist
- Wenn definierter Weg erreicht wird ohne die definierte Kraft → Produktfehler (kein vorschriftsmäßiges Verriegeln)
- Wenn Kraftwert über einem vorher eingegebenen Wert liegt (bspw. 100N) → Testfehler

Auswerfen:

- Button fährt kraftgeregelt bis einzugebendem Wert (Bspw. 35N)
- Dann muss Zunge mit \leq einzugebendem Wert (Bspw. 30N) auf Initialposition fahren
- Wenn nicht wird der Prozess mit anderem einzugebendem Wert (bspw. 60N) für Button wiederholt (Zungenkraft bleibt gleich) aber dieses Wiederholen ist als Fehler festzuhalten
- Das ganze wird dann x mal (muss einzugeben sein) wiederholt, danach Testabbruch mit Fehlermeldung
- Des Weiteren muss auch eine Mindestbuttonkraft eingehalten werden (muss einzugeben sein, bspw. 10N) und falls diese nicht erreicht wird, dies als Fehler ausgegeben werden
- also auch hier ist ein Bereich für einen i.O. Test anzugeben (in diesem Beispiel 10-35N) für Buttonkraft

3.1.3 Abtastfrequenz

In erster Auslegung wurde mit 10 Hz abgetastet. Dies ist zu gering, da so zum Beispiel nicht jede Verriegelungskontrolle aufgezeichnet wird beziehungsweise als fehlerhaft aufgezeichnet wird. Da die interne Steuerung aber mit einer höheren Frequenz arbeitet, wird die Prüfung fortgesetzt und nicht als Fehler in der Steuerung registriert.

Zur Untersuchung der benötigten Frequenz wird ein alter Datensatz des alten Schlossdauerlaufprüfstands der Firma „ATOS“ benutzt. Dieser zeichnet mit 1000 Hz auf. Bei dieser Frequenz sind alle relevanten Punkte zu sehen. Da 1000Hz aber bezüglich der Datenmenge und der dafür benötigten Speicherzeit auf dem Server viel ist, wird nur jeder Zehnte Datenpunkt erfasst, daraus ein Verlauf erstellt und dieser über den 1000 Hz-Verlauf gelegt, um die Auswirkungen der Reduktion zu untersuchen. Dabei ist zu sehen, dass der Verlauf an sich kaum beeinflusst wird und damit eine Abtastrate von 100 Hz ein guter Kompromiss aus Genauigkeit und Geschwindigkeit zu sein scheint.

4 Vorversuche

Um eine Grundlage für die Validierung zu schaffen, müssen im Vorfeld Versuche gefahren werden. Diese sollen dazu dienen, die Weg- sowie die Kraftmessung zu validieren. Des Weiteren werden die Muster, die im weiteren Verlauf mit dem Prüfstand untersucht werden, einer Eingangsmessung an einer anderen kalibrierten Maschine unterzogen, um genau zu wissen, welche Aussagen mit dem neuen Prüfstand getätigt werden sollen und können.

4.1 Wegmessung

Da die interne Wegmessung des Prüfstandes nur über die Schrittgeber der Motoren realisiert ist und dann eine Umrechnung über die Spindelsteigung erfolgt, ist zu prüfen, ob der angezeigte Weg mit dem realen Weg übereinstimmt. Zur Prüfung wird eine kalibrierte Messuhr nach DIN 878 (Tabelle 2) auf einem massiven Stativ installiert und damit der hinreichend genau bekannte Weg des „Zungennestes“ und des Auslösebuttons gemessen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Achse der Messuhr, also die gegebene Messrichtung, parallel zu der Achse der jeweiligen Gleitschiene ist, um so diese Fehlerquelle möglichst klein zu halten. (Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2)

Die Datenerfassung erfolgt manuell über die Eintragung der an der Steuerung eingestellten Werte und den jeweils abgelesenen Werten an der Messuhr.

Zur Kontrolle der Linearität wird kontinuierlich über den gesamten Bereich der Messuhr verfahren (10mm). In diesem Bereich wird alle 0,25mm ein Datenpaar aufgezeichnet. Nachdem die Nullstellung am Prüfstand eingestellt wurde, wird die Messuhr installiert und auf „Null“ gestellt. Zur Überprüfung der Wiederholpräzision wird wiederholt (41 Mal) von 0mm bis zu einem bestimmten Wert am Ende des Messbereichs gefahren. Um den Einfluss eines möglichen Spiels zwischen Spindel und Schlitten so gering wie möglich zu halten, wird die Nullposition immer in Fahrtrichtung der Prüfung angefahren.

Messbereich	Messwert- umkehr- spanne	Wiederhol- grenze	Grenzwert für			
			Messabweichung der Anzeige über			
			beliebige 1/10 Umdrehung	beliebige ½ Umdrehung	1 Umdrehung	Messbereich
10 mm	3 µm	3 µm	5 µm	9 µm	10 µm	15 µm

Tabelle 2: Auszug aus DIN 878



Abbildung 4.1: Messachse in Seitenansicht

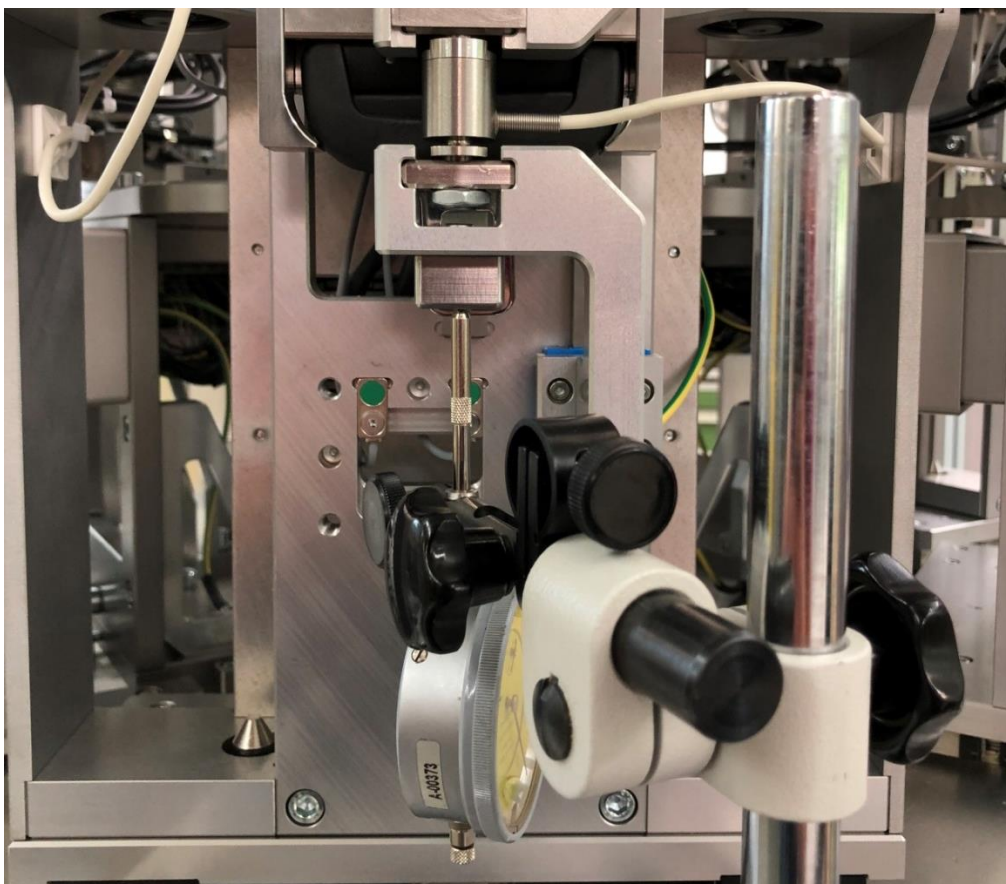


Abbildung 4.2: Messachse in Frontansicht

Zur Berechnung der Standardabweichung (s_g) wird die Formel für Stichproben ($n-1$) genommen [KG18]

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2}$$

mit:

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

und

$$i = 1, \dots, n \text{ mit } n \geq 15$$

Abbildung 4.3 - Abbildung 4.6 zeigen $s_g(x_i)$ in Prozent vom Verfahrensweg. Es zeigt sich, dass die Module, die in der Wiederholgenauigkeit (Button) besser bzw. schlechter sind diese Tendenz auch in der Linearität (Button) zeigen. Bei der Zungenaufnahme ist dies allerdings nicht zu beobachten.

Außerdem ist zu sehen, dass die maximale Standardabweichung der Zungenaufnahme knapp über 0,25% liegt und damit sehr gut ist, da die Wege nicht nochmal extern gemessen werden, sondern nur über die Schrittmotoren bestimmt werden. Vor Allem, da sie meistens weit darunter liegt. Die Standardabweichung des Buttons liegt generell über der der Zungenaufnahme. Ist aber mit um die 0,5% und maximal 0,85% immer noch im annehmbaren Bereich.

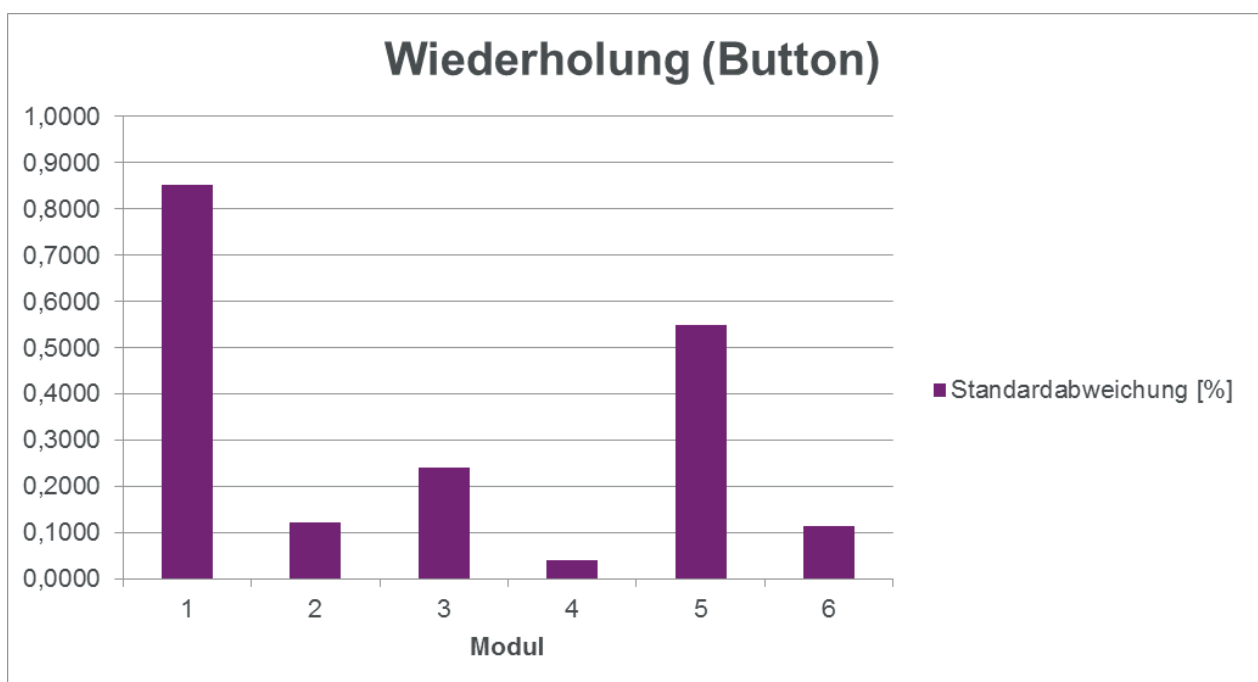


Abbildung 4.3: Wiederholgenauigkeit des Buttons in Prozent vom Verfahrensweg

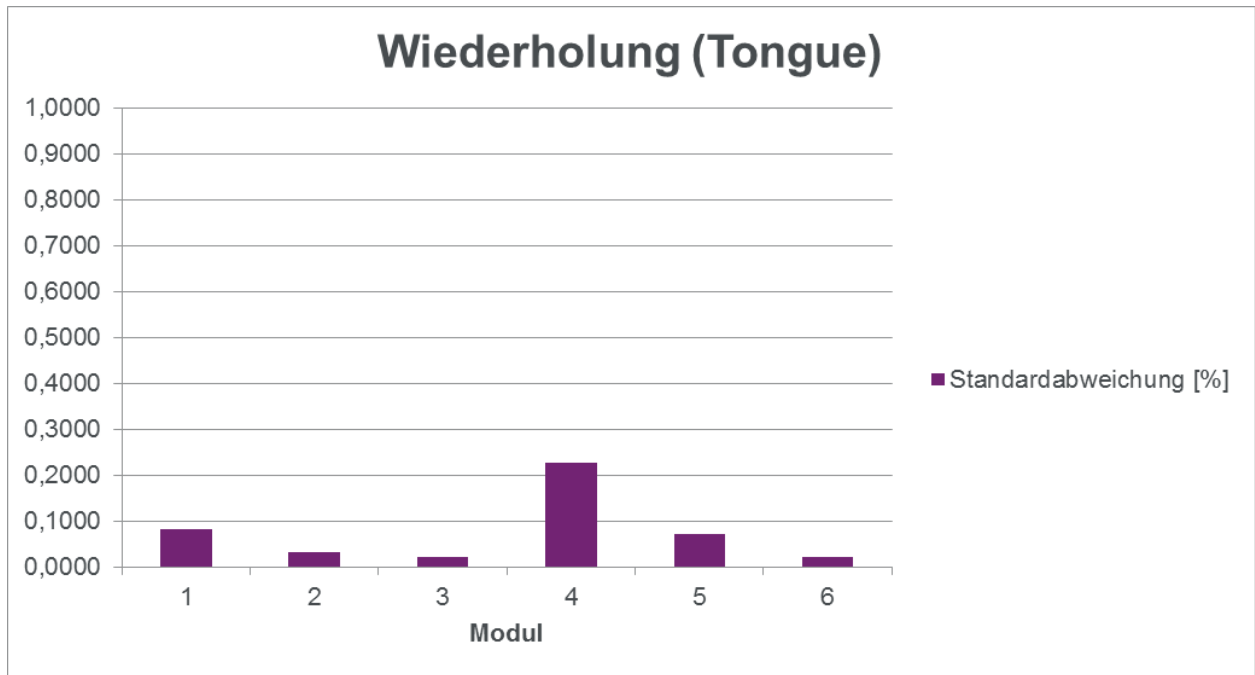


Abbildung 4.4: Wiederholgenauigkeit der Zunge in Prozent vom Verfahrenweg

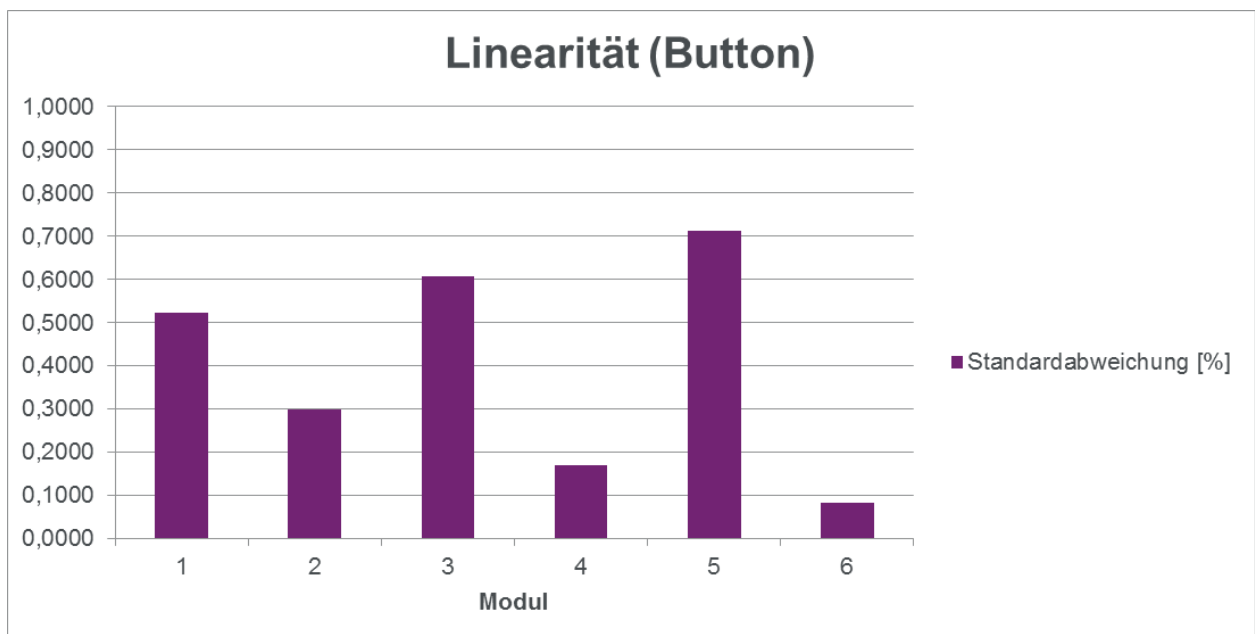


Abbildung 4.5: Linearität des Buttons in Prozent vom Verfahrenweg

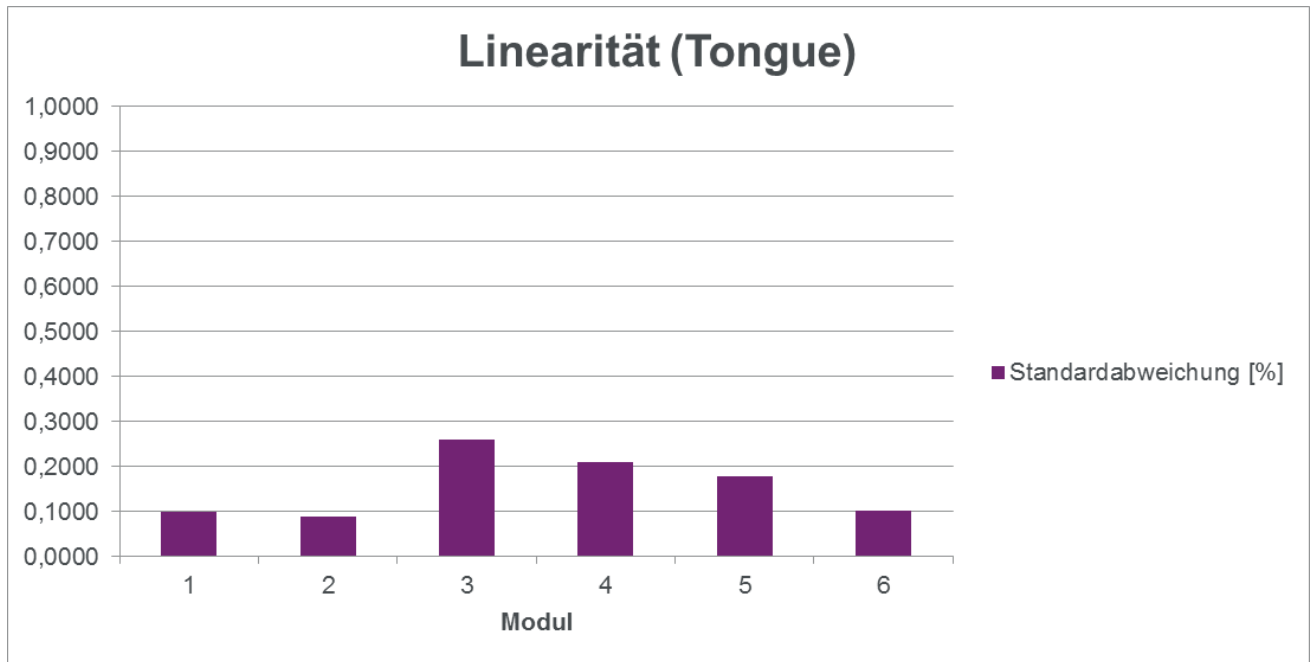


Abbildung 4.6: Linearität der Zunge in Prozent vom Verfahrensweg

Dies könnte daran liegen, dass der Hebelarm, mit dem der Button an der Gleitschiene befestigt ist, deutlich länger als der der Zungenaufnahme ist, da die Kraftmesszelle dieser Aufnahme auf einer Linie mit der Gleitschiene ist. Damit könnte es sein, dass die Lager der Button-Betätigung ein wenig verkanten und mehr Reibung entsteht. Des Weiteren hat die Aufnahme der Kraftmesszelle an der Button-Betätigung mehr Spiel. Dieses Spiel wurde am Modul 1 gemessen. Es ist dort am größten und beträgt 0,355mm. Es ist aufgefallen, dass dort neben dem Spiel der Aufnahmen in den, an den Schienen befestigten Teilen, und der Kraftmesszellenbefestigung auch ein Spiel zwischen diesen Aufnahmen und dem Gewinde der Messzellen ist. Während das erste Spiel nur schwer mit engeren Toleranzen und damit verbundenen Zusammenbauschwierigkeiten zu beheben ist, kann das zweite Spiel mit Teflonband um das Gewinde einfach verkleinert werden. Nach dieser Maßnahme beträgt das gesamte Spiel noch 0,255mm, somit eine Verbesserung von 0,13mm (ca. 36,6%). Das Potenzial bezüglich der Verbesserung der Wiederholgenauigkeit dieser Maßnahme müsste folgend untersucht werden. Es wird an dieser Stelle allerdings darauf verzichtet, da für die Aufgaben des Prüfstandes die Genauigkeit der Wegmessung hinreichend gut ist.

Die Trendabweichung zwischen den jeweiligen Modulen von Button und Zunge könnte daher kommen, dass die Abweichung bei der Zunge insgesamt so gering ist, dass es sich hierbei hauptsächlich um die statistischen Abweichungen und nicht systemabhängige Fehler handelt. Bei dem Button ist die Abweichung aufgrund des größeren Spiels höher und deswegen das Verhalten der einzelnen Module deutlich sichtbar.

4.2 Kraftmessung

Nachdem die Genauigkeit des Weges hinreichend genau nachgewiesen wurde, muss weitergehend die Kraftmessung plausibilisiert werden. Da die eingesetzten Kraftmesszellen kalibriert sind ist zu erwarten, dass diese hinreichend genau sind. Bleibt zu überprüfen, ob diese Genauigkeit auch durch den gesamten Messprozess und die Auswertelektronik annähernd erhalten bleibt. Hierzu wird eine Vorrichtung aus kohlefaserverstärktem Kunststoff entworfen und im 3D-Drucker gedruckt. Diese Vorrichtung (Abbildung 4.7) ist so konstruiert, dass sie zwei Aufnahmen für Federn einer bestimmten Größe hat. Die Position dieser Aufnahmen stimmt exakt mit den Achspositionen der Kraftmesszellen überein. Damit die Federn nicht nur unten sondern auch oben geführt werden, wurde ein Zapfen entworfen, welcher direkt an den Button oder mit Verwendung des Bügels (Abbildung 4.8) an dem Zungennest befestigt werden kann. Bei dem Bügel wurde darauf geachtet, dass die Faserrichtung so gewählt ist, dass die Durchbiegung bei vorgesehener Belastung möglichst gering ist. Andere Lastfälle sind nicht zu berücksichtigen.

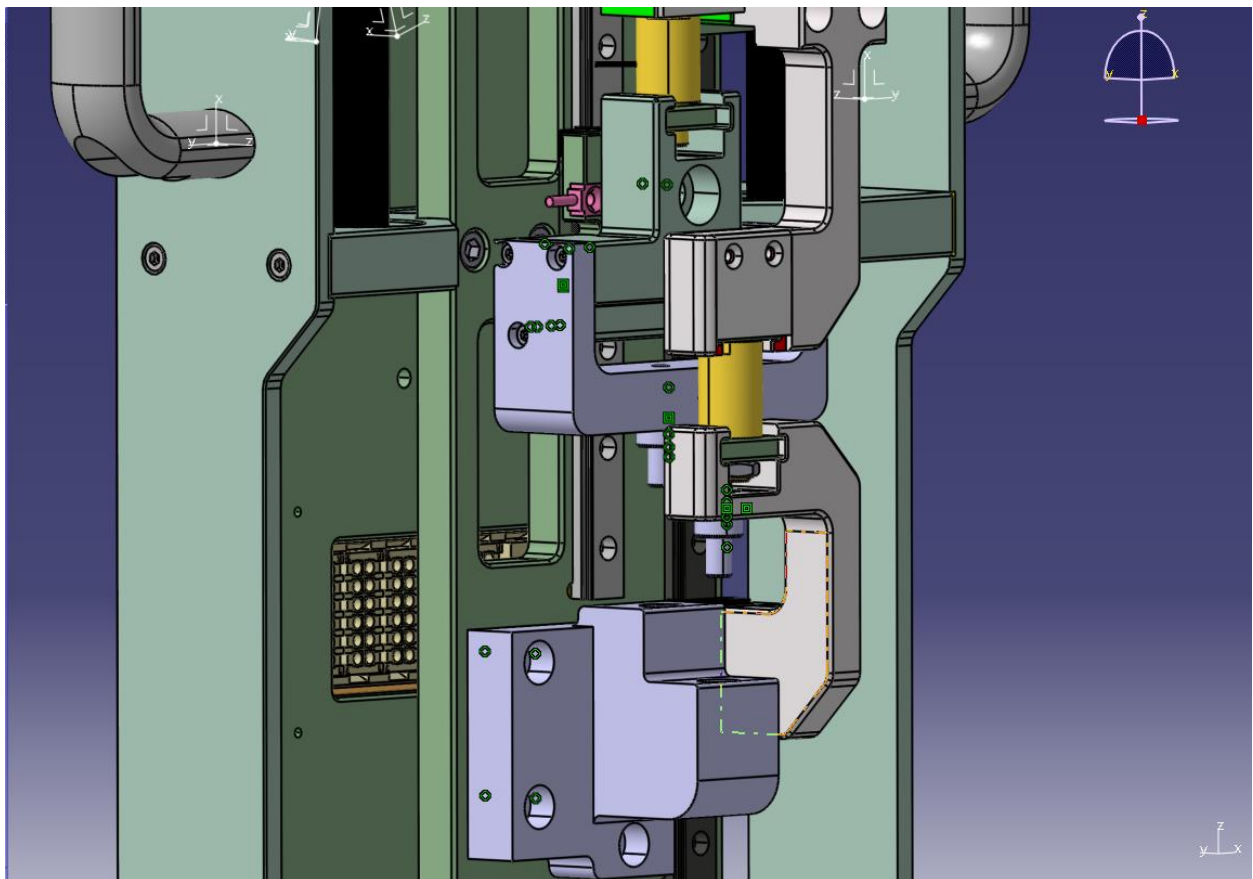


Abbildung 4.7: Aufnahme für Federn (Alles graue ist nur für die Kraftmessung der Vorversuche)

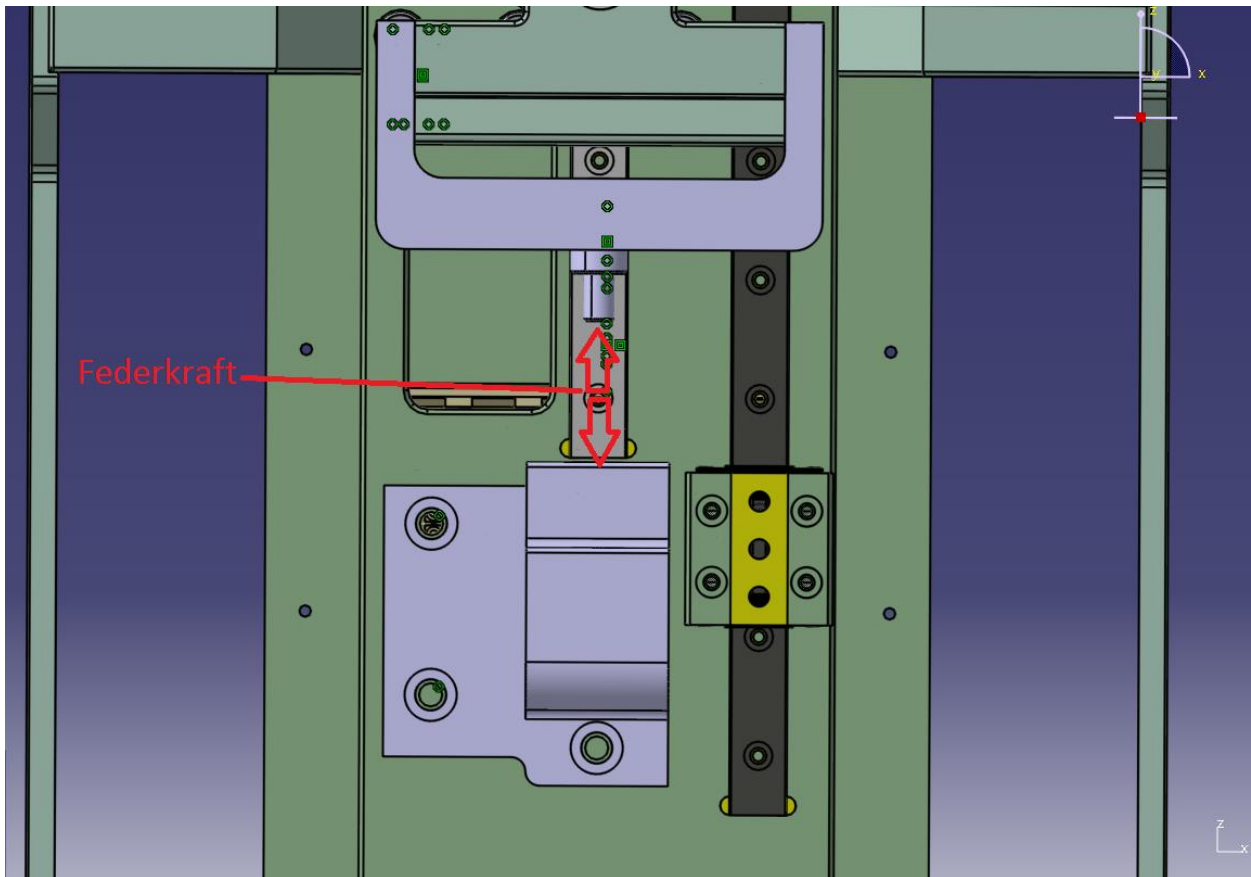


Abbildung 4.8: Frontansicht der Federnaufnahme mit eingezeichneter Federkraft.

Bezeichnung	Federrate [N/mm]	Stat. max. Kraft [N]	Toleranz max. Kraft [N]
VD-092	0,489	9,1	±0,84
VD-125	0,824	18,035	±1,36
D-125	0,959	20,998	±1,4
VD-163A	0,924	15,126	±2,05
VD-163	1,367	32,197	±2,39
D-198	5,715	103,156	±5,88
D-231	10,432	198,73	±13,27

Tabelle 3: Herstellerangaben für verschiedene Federn zur Kraftmessung

Da die Toleranzangaben des Herstellers sehr grob ist (Tabelle 3) und vermutlich Fertigungsbedingt ist, wird jeweils eine der Federn jeder Sorte vermessen. Dabei ergeben sich die Kräfte und Wege und die daraus resultierenden Federraten wie in Tabelle 4 festgehalten.

Versuch Nr.	Federbez.	Kraft [N] Anfang	Kraft [N] Ende (nach 10mm)	res. Federrate [N/mm]
1	VD-092	2,34	7,16	0,482
2	VD-092	2,33	7,15	0,482
3	VD-092	2,33	7,15	0,482
1	VD-125	5,80	14,48	0,868
2	VD-125	5,80	14,48	0,868
3	VD-125	5,79	14,48	0,869
1	D-125	6,65	16,15	0,95
2	D-125	6,64	16,15	0,951
3	D-125	6,65	16,15	0,95
1	VD-163A	0,72	9,70	0,898
2	VD-163A	0,72	9,70	0,898
3	VD-163A	0,72	9,70	0,898
1	VD-163	7,36	21,17	1,381
2	VD-163	7,36	21,17	1,381
3	VD-163	7,35	21,17	1,382
1	D-198	18,42	74,48	5,606
2	D-198	18,46	74,48	5,602
3	D-198	18,43	74,49	5,606
1	D-231	1,33	104,32	10,299
2	D-231	1,31	104,30	10,299
3	D-231	1,33	104,34	10,301

Tabelle 4: Gemessenen Federkräfte und resultierende Federraten

Damit ergeben sich die durchschnittlichen Federraten zu:

Federbezeichnung	res. Ø- Federrate [N/mm]	Toleranz Federrate im Versuch [%]
VD-092	0,482	-*
VD-125	0,86833	± 0,038
D-125	0,95033	± 0,035
VD-163A	0,898	-*
VD-163	1,38133	± 0,024
D-198	5,60466	± 0,012
D-231	10,29967	± 0,006

Tabelle 5: Durch Versuch ermittelte Federraten und Toleranzen

*hier keine Angabe, da im Versuch keine Abweichungen vorhanden waren. Natürlich sind auch hier Toleranzen anzunehmen.

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Wegmessung wird bei der Kraftmessung nun die stärkste Feder (siehe Tabelle 3) genommen, um möglichst den gesamten Messbereich abzudecken. Nun wird hintereinander oft ein und derselbe Weg angefahren. Aus dem Weg und der Federkonstanten der verwendeten Feder lässt sich die „Soll-Kraft“ berechnen. Diese wird mit der angezeigten Kraft der Messsystems verglichen und dieselben Auswertungen vorgenommen wie bei der Wegmessung.

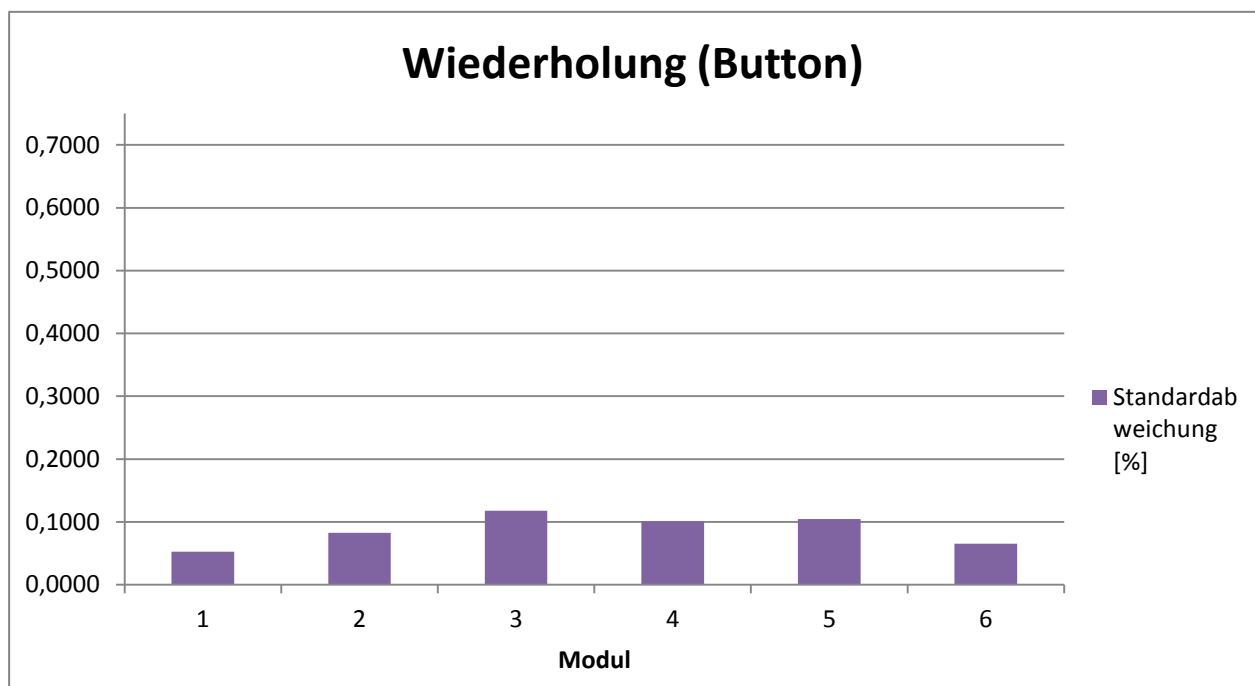


Abbildung 4.9: Wiederholgenauigkeit des Buttons in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton)

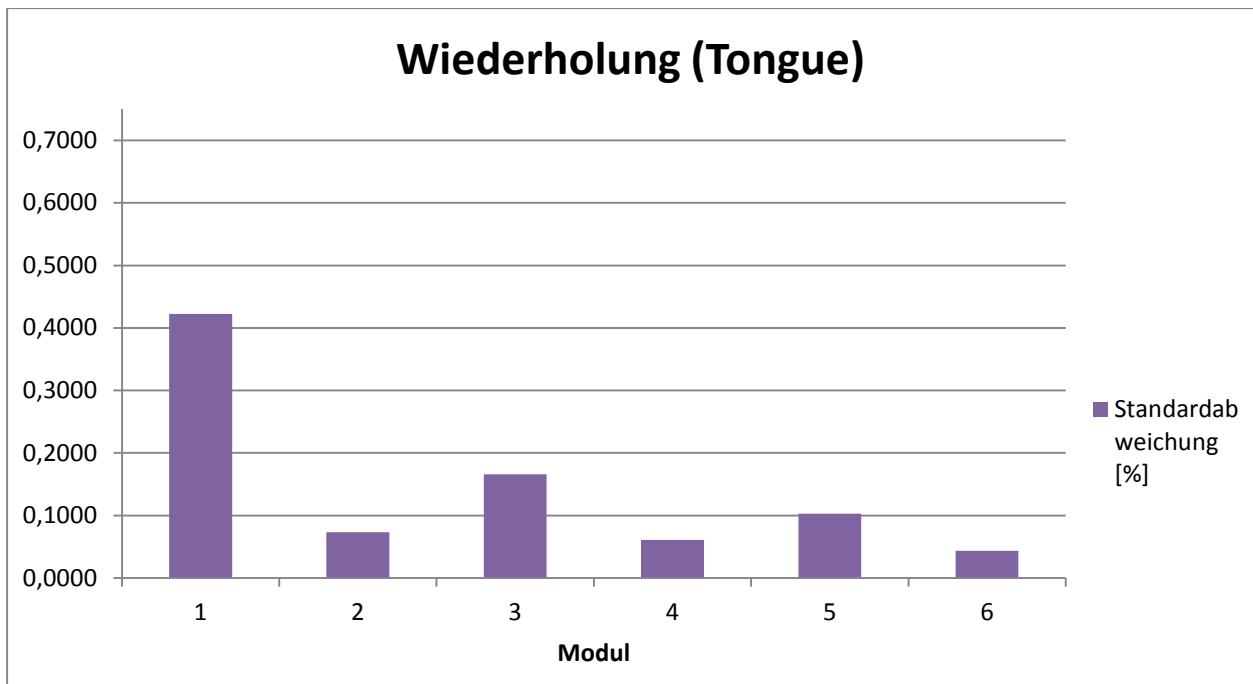


Abbildung 4.10: Wiederholgenauigkeit der Zunge in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton)

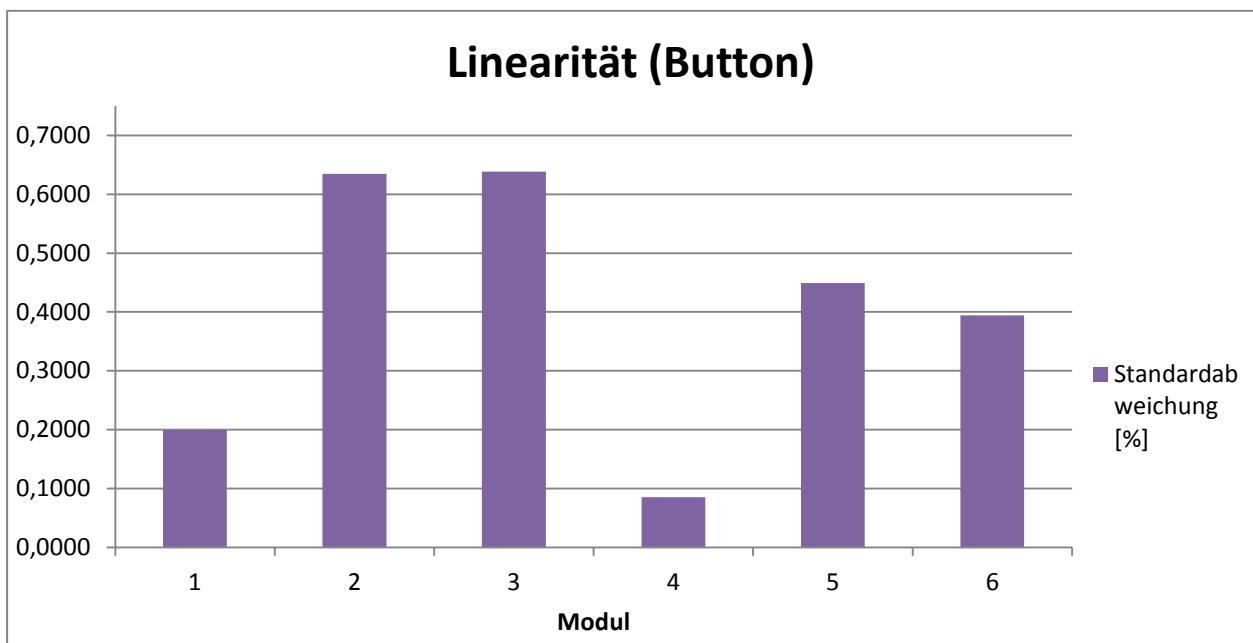


Abbildung 4.11: Linearität des Buttons in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton)

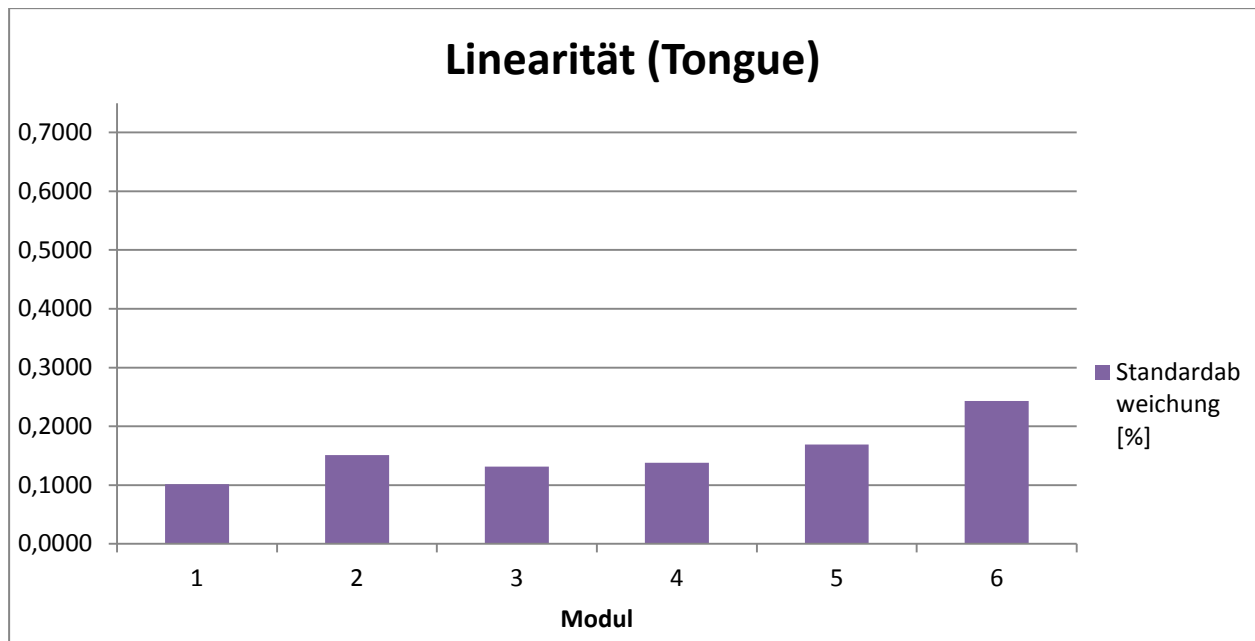


Abbildung 4.12: Linearität der Zunge in Prozent vom Messbereich (F.S.: 500 Newton)

Es ist zu sehen, dass die Standardabweichung der Wiederholgenauigkeit meist unter 0,2 Prozent liegt. Außer die Zunge bei dem ersten Modul, welche bei knapp 0,4 Prozent liegt. Dies liegt neben den, bei der Wegmessung angesprochenen Punkten, vor Allem an dem Spiel der Spindel in den Lagern. Da dieses aber erst unter Last zum Tragen kommt ist dies bei der Wegmessung nicht aufgefallen. Das dies auch bei der Linearität nicht auffällt liegt hauptsächlich daran, dass bei der Linearität immer nur in kleinen Schritten in eine Richtung verfahren wird.

Die teilweise doch recht hohe Standardabweichung in der Linearität des Buttons von um die 0,6 Prozent liegt wohl hauptsächlich an dem Hebel den der Kraftangriffspunkt zu der Achse der Gleitschiene hat. Dadurch kann sich das Lager mal mehr, mal weniger verkannten und so mehr oder weniger Reibung verursachen. Dieser Effekt tritt bei der Wiederholgenauigkeit nicht auf, da dort ein länger Weg gefahren wird und nicht in kleinen Teilschritten.

Im Allgemeinen lässt sich aber sagen, dass die Genauigkeit der Kraftmessung und der Wegmessung die Anforderungen für einen Schlossdauerlauf erfüllen (siehe Kapitel 4.1 und 4.2), um dort qualifizierte Aussagen treffen zu können. In wie weit diese auch quantifizierbar sind soll in Kapitel 6 geklärt werden.

Am Rande ist zu erwähnen, dass während der Kraftmessung ein Kabelbruch festgestellt wurde. Dieser befand sich in der Verbindung des Modul-Anschlusses 4 zur SPS Steuerung. Betroffen war das Signalkabel der Kraftmesszelle für die Button-Kraft. Da sich der Bruch sehr nah am Ende befand, konnte dieser Fehler leicht behoben werden.

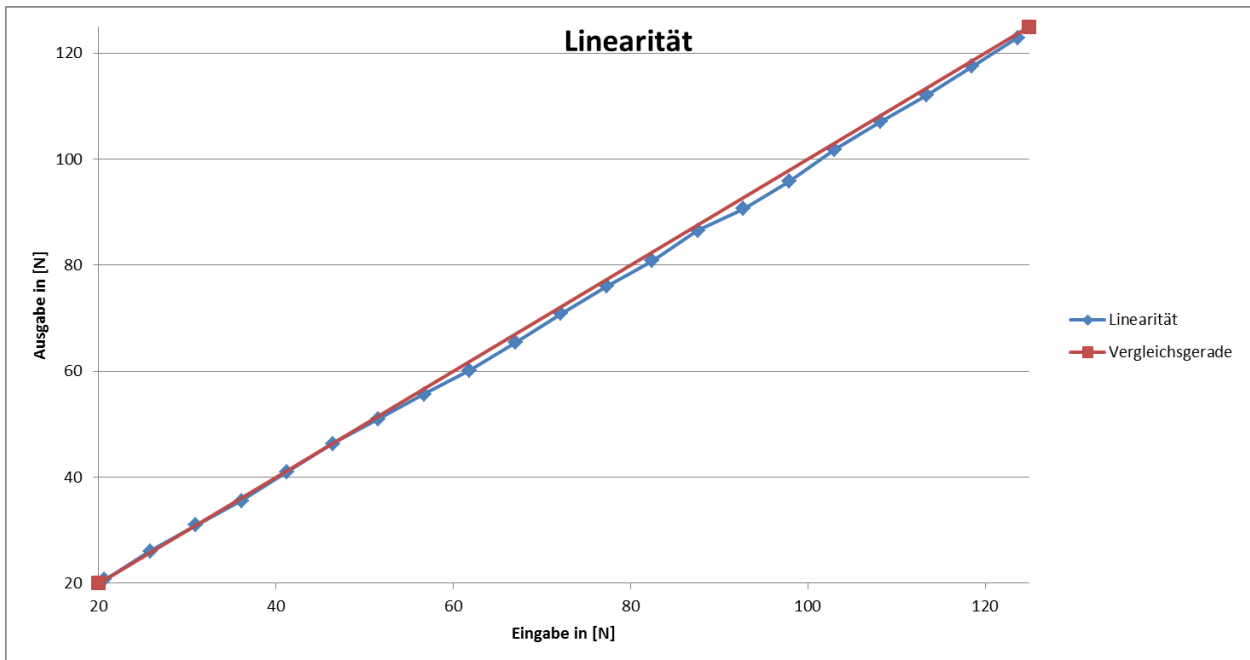


Abbildung 4.13: Linearität und Vergleichsgrade der Zunge des 4ten Moduls

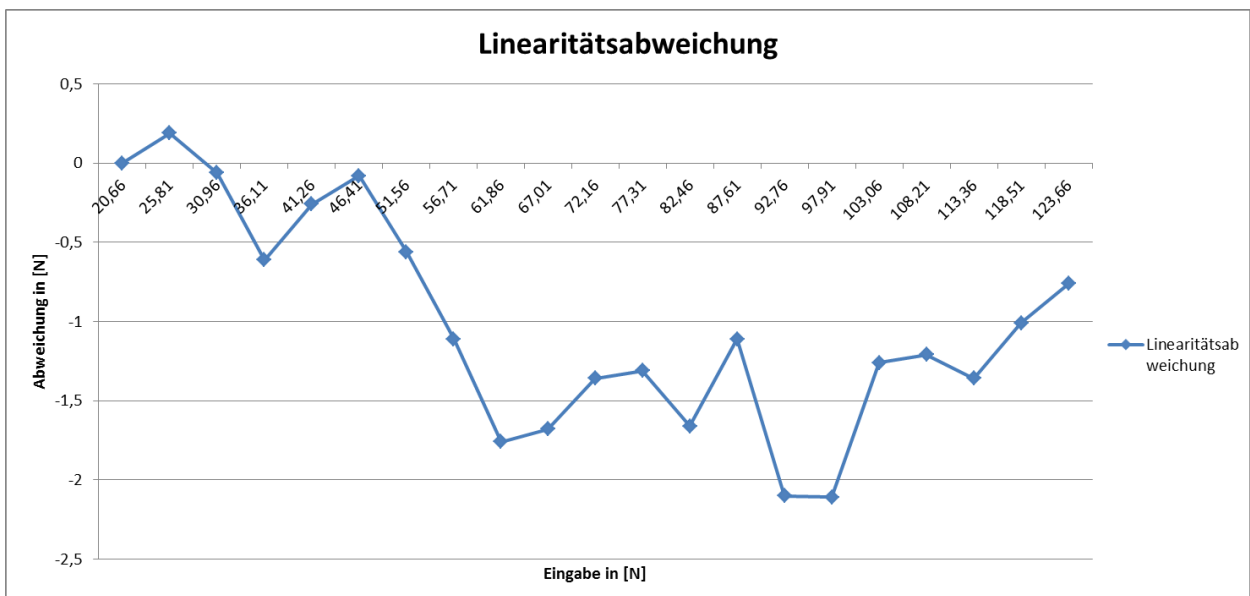


Abbildung 4.14: Abweichung von der Linearität der Zunge des 4ten Moduls

In der Abbildung 4.13 und Abbildung 4.14 ist eine Tendenz ins Negative zu sehen. Diese ist in der Mitte des Messbereichs am größten. Eine mögliche Verbesserungsmaßnahme wäre, die Datenausgabe mit einem Offset von ca. -1N zu versehen, da so der Betrag der Abweichung verkleinert wird.

Dies ist nur als Beispiel angeführt um zu sehen, was hinter den einzelnen Werten steht. Ein Diagramm für die Linearitätsabweichung ist für Kraft- und Wegmessungen der Zunge und des Buttons für jedes Modul im Anhang zu finden. Aus den Daten zu diesen Diagrammen entstanden die Vergleichsdiagramme der einzelnen Module.

4.3 Eingangsmessung der Schlossmuster

Da die generelle Tauglichkeit der Kraft- und Wegmessung nachgewiesen wurde, werden Schlossmuster aus Alterung oder Musterbau (manipulierte Schlösser) einer Eingangsmessung unterzogen. (Abbildung 4.15 und Abbildung 4.16) Dabei werden ihre Schlossöffnungskräfte (Abbildung 4.18) und die Einsteckkräfte (Abbildung 4.17) über dem Weg aufgezeichnet. Diese Aufzeichnung erfolgt an einem Prüfstand der Firma „Zwick/Rollei“. Dieser zeichnet mit einer Frequenz von 100Hz auf und verfährt dabei langsam (100mm/min). Des Weiteren ist dieser kalibriert und validiert.

Jedes der Schlösser- jeweils sechs Mal unter verschiedenen Bedingungen (Staub, Korrosion, Temperatur und alles nacheinander) gealterte, sowie 7 manipulierte Schlösser und 6 Schlösser direkt aus der Produktion- werden 3 mal gemessen um zum Einen sehen zu können, welchen Verlauf das Schloss hat und zum Anderen, wie groß die Streuung bei wiederholter Messung ist. Ziel im weiteren Verlauf ist es, die unterschiedlichen Charakteristika der manipulierten Schlösser auf allen Modulen gleich erkennen zu können. Des Weiteren soll mit den Alterungsmustern überprüft werden, ob die Ergebnisse übereinstimmen und ein eventueller „Drift“ während des Dauerlaufs erkennbar und danach auch wieder auf der o.g. Maschine ersichtlich ist.

Die Alterungen sind ebenfalls in der AKLV108 festgehalten:

Staubtest

Vor dem Test die Kammerwände und -decke entstauben!

Prüfbedingungen:

- Staubmasse: 0,9 kg, grobkörnig
- Staubspezifikation: SAE J 726 grob, Air Cleaner-Test
- Prüfzeit: 5 Stunden
- Atmosphäre: öl- und wasserfreie Pressluft
- Luftdruck: (5,5 ± 0,5) bar
- Düsen: (1,5 ± 0,1) mm
- Staubaufwirbelung : alle 20 Minuten über eine Zeitdauer von 5 s
- Prüfaufbau: Bild 23: Prüfaufbau Staubtest

Prüfung des Gurtschlusses in vertikaler Lage. Die Hälfte der Gurtschlösser wird mit verriegelter Steckzunge, die andere Hälfte ohne Steckzunge geprüft. Bei Schlössern mit elektrischen Schaltkontakten muss der Stecker mit einem Blindstecker abgedeckt werden.

Herausnahme der Teile aus der Staubkammer frühestens 1 Stunde nach Testende.

Nach dem Test äußeren Staub abwischen, das Gurtschloss 5mal aus 5cm Höhe auf die Schlossöffnung fallen lassen.

Korrosionstest

Die Prüflinge sind in eine Prüfkammer gemäß ASTM-B 117/94 zu geben. Bei der Hälfte der Prüflinge soll die Steckzunge frei hängen, bei der anderen Hälfte sollen die Steckzungen in die Gurtschlösser eingesteckt werden.

Die Schlösser sind so in die Prüfkammer mit der Schlossöffnung nach oben ($0^\circ \pm 2^\circ$) zu stellen, dass kein Kondensat auf sie tropfen kann. Abgesehen von gegebenenfalls erforderlichen kurzen Unterbrechungen, z. B. zum Prüfen und Auffüllen der Salzlösung, muss sich die Prüfung fortlaufend, wie in o. g. Norm gefordert, über einen Zeitraum von 50 Stunden erstrecken.

Das Steckergehäuse des E-Kabels ist im Test durch einen Blindstecker gegen Feuchtigkeit schützen. Nach Abschluss der Prüfung sind die Prüfteile zur Entfernung etwaiger Salzurückstände in fließendem klarem Wasser ($38-5^\circ\text{C}$) zu waschen.

Waschvorgang:

Mit den voll untergetauchten Gurtschlössern werden drei kreisförmige Bewegungen (Drucktaste und Schlossbreite quer zur Bewegungsrichtung) ausgeführt; eingedrungenes Wasser ablaufen lassen. Vorgang wiederholen bis 3 Durchgänge je Gurtschloss erreicht sind.

Trocknung:

24 h bei Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchte von 48% bis 67%.

Temperaturtest

Bei der Hälfte der Prüflinge soll die Steckzunge frei liegen, bei der anderen Hälfte sollen die Steckzungen in die Gurtschlösser eingesteckt werden.

[Übernahme aus LV104]

Temperaturwechseltest auf Basis ADR 4/01, FMVSS 209, mit anschließendem Kältetest:

- | | |
|--|---------------------------|
| • 24 h HT rel. Luftfeuchte 90 % | Funktionsprüfung von Hand |
| • 24 h HT rel. Luftfeuchte 15 % | Funktionsprüfung von Hand |
| • 24 h RT rel. Luftfeuchte (63 ± 3) % | Funktionsprüfung von Hand |
| • 6 h (100 ± 5) °C rel. Luftfeuchte 15 % | |
| • 6 h (0 -5) °C | |
| • 6 h RT rel. Luftfeuchte (63 ± 3) % | |
| • 6 h (100 ± 5) °C rel. Luftfeuchte 15 % | |
| • 6 h (0 -5) °C | |
| • 6 h RT rel. Luftfeuchte (63 ± 3) % | |
| • 6 h (100 ± 5) °C rel. Luftfeuchte 15 % | |
| • 6 h (0 - 5) °C | |
| • 6 h RT rel. Luftfeuchte (63 ± 3) % | |
| • 24 h (-40 +5) °C | Funktionsprüfung von Hand |

Temperatur-Änderungs-Gradient jeweils 1 K/min:

- Keine auffälligen Geräusche gegenüber Neuzustand erlaubt
- Prüfung der Funktionen von Hand unmittelbar (innerhalb 1 Min.) nach Entnahme aus der Klimakammer.
- Danach Aufzeichnen der elektrischen Werte bis die Raumtemperatur erreicht ist (50% Einsteckzunge gesteckt, 50% Einsteckzunge danebengelegt).

Funktion prüfen: Steckzunge einstecken und verriegeln sowie öffnen und auswerfen innerhalb 1 Min. in geöffneter Klimakammer

HT: Hochtemperatur ($+85^{\circ}\text{C} \pm 2,5^{\circ}\text{C}$); RT: Raumtemperatur ($+23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)



Abbildung 4.15: Aufbau der Schlossöffnungskraftmessung mit gealtertem Schloss.



Abbildung 4.16: Aufbau der Einsteckkraftmessung mit gealtertem Schloss.

Exemplarisch sind nachfolgend jeweils die drei Kurven eines Schlosses zu sehen. Abbildung 4.17 gealtert (Einsteckkräfte) und Abbildung 4.18 aus dem Musterbau (Schlossöffnungskräfte).

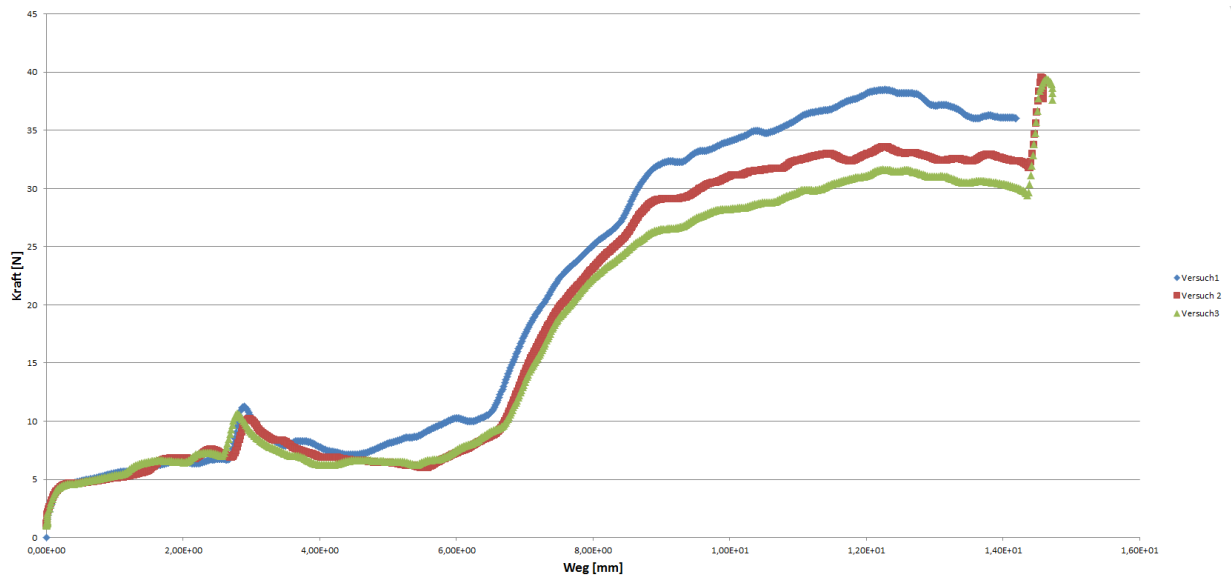


Abbildung 4.17: Einsteckkräfte des 5. Musterschlusses.

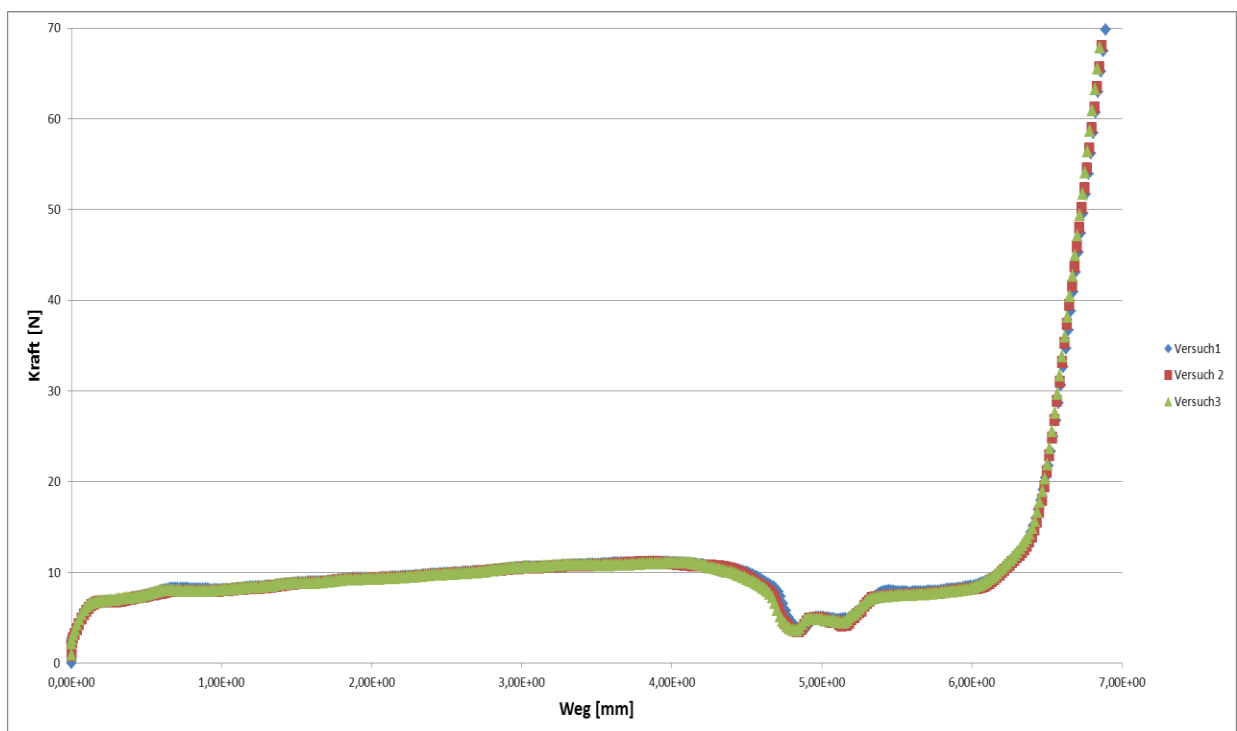


Abbildung 4.18: Schlossöffnungskräfte des 4. Musterschlusses.

Wie in Abbildung 4.17 und Abbildung 4.18 zu sehen ist, ist die Schlossöffnungskraft besser reproduzierbar als die Einsteckkraft. Zwar ist die Ähnlichkeit bei der Einsteckkraft in den drei Verläufen erkennbar, allerdings sind in einigen Bereichen auch deutliche Offsets ersichtlich. Dies wird daran liegen, dass bei der Einsteckkraftmessung die Zunge eingesteckt wird. Dies ist mit viel Spiel zwischen dem Schloss und der Zunge behaftet. Des Weiteren entsteht unterschiedlich viel Reibung je nachdem, wie die Zunge am Anfang der Messung positioniert ist. Bei der anderen Messung hingegen wird mit einem starren „Arm“ nur die Drucktaste betätigt. Hierbei gibt es kaum Unterschiede in der Positionierung.

In Abbildung 4.17 ist zu sehen, dass die Kräfte mit der Zeit (über die drei Versuche) abnehmen. Um zu untersuchen, ob es sich dabei um ein Setzverhalten des Schlosses handelt und gegen welchen Wert es assimiliert, werden weitere Versuche zur Einsteckkraft gemacht. Die Schlossöffnungskräfte zeigen dieses Verhalten nicht in diesem Maße. Aber auch da wurden noch weitere Versuche gefahren. Die Ergebnisse sind folgend dargestellt.

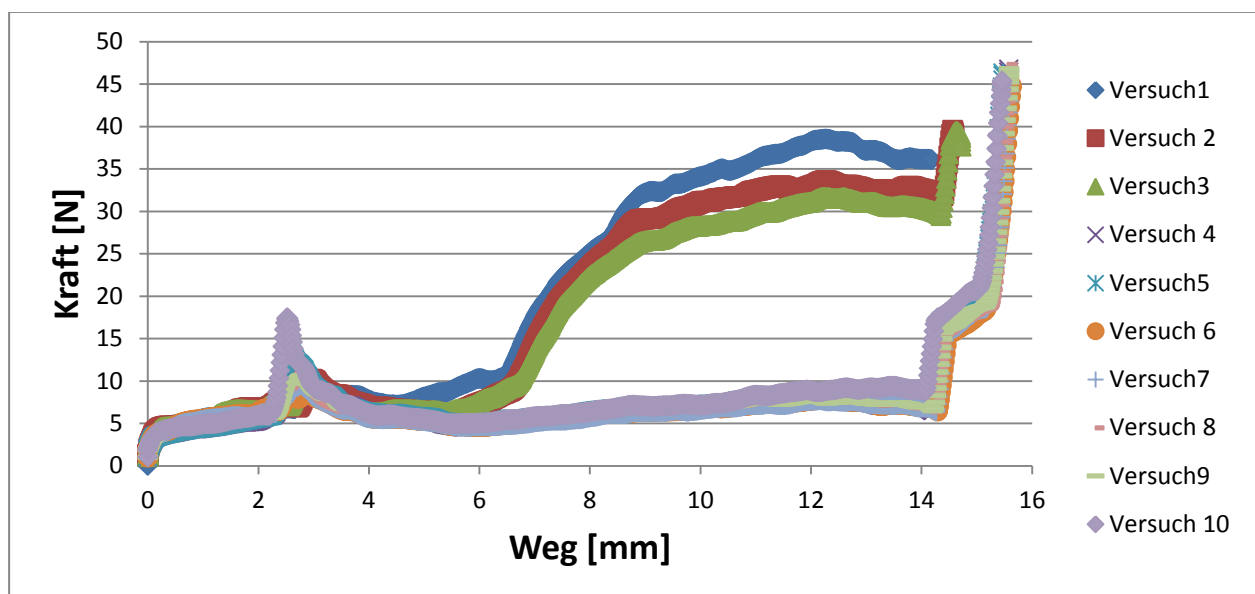







Abbildung 4.19: Einsteckkräfte des 5. Musterschlusses

Legende	Nr	N	mm
	1	1	12,06
	2	2	11,76
	3	3	11,95
	4	4	11,82
	5	5	11,99

Seriengrafik:

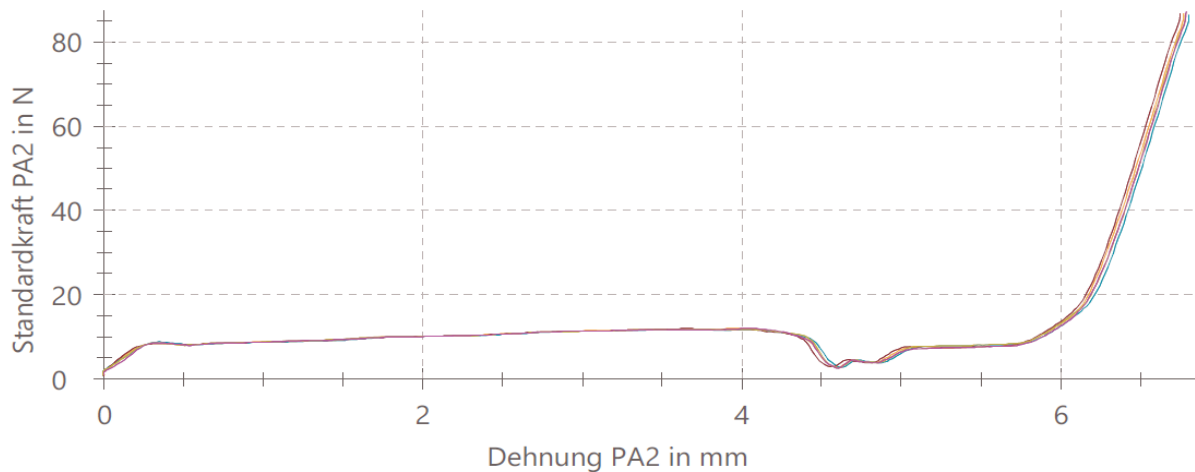


Abbildung 4.20: Schlossöffnungskräfte des 1. korrodierten Schlosses 5 mal gemessen.

Es ist zu sehen, dass die Schlossöffnungskräfte (Abbildung 4.20) zwar einer Streuung unterliegen, diese aber geringer ist als bei der Einsteckkraft (Erklärung siehe oben) und keine Tendenz aufweist. Deshalb wurden hier nur die Muster konsequent durchgemessen, um diese später ggf. wiedererkennen zu können.

Bei den Einsteckkräften (Abbildung 4.19) ist zu beobachten, dass es sehr auf die Einrichtung der Maschine ankommt, wie der Verlauf der Kurven aussieht. Wird das Schloss zur Messachse etwas zu schräg positioniert, so fängt die Zunge an am Channel zu reiben und einen höheren Kraftverlauf zu erzeugen (erste Messungen). Bei den sieben darauffolgenden wurde dieses Verhalten nicht beobachtet und auch kein genereller Trend mehr festgestellt.

So lässt sich festhalten, dass die Unterschiede zwischen den Mustern und den „normalen“ Teilen zu sehen ist und im eigentlichen Test zu überprüfen ist, ob der neue Schlossdauerlaufprüfstand diese Unterschiede auch darstellen kann.

5 Validierungsplan

In diesem Kapitel wird aus den Vorgaben der Gesetze, Richtlinien und Lastenhefte sowie aus den Erkenntnissen der Vorversuche ein Plan erstellt, an dem klar wird, welche Tests nötig sind, um welche Eigenschaften und Grenzen des Prüfstandes zu erfassen. Auf eine Bewertung wurde bewusst verzichtet, da alle diese Vorgaben essenziell sind.

5.1 Test aus Vorgaben

Variable	Vorgabe	Beschreibung	Herkunft	Vorgehensweise
i	Lastwechsel	30.000 Zyklen	Internes Lastenheft	Dauerlauf mit mindestens 30.000 Zyklen muss Prüfstand unbeschadet überstehen
$\frac{v}{f}$	Prüffrequenz	30 ±1 Zyklen/min	Internes Lastenheft	- 100 Zyklen laufen lassen mit versch. Geschw. - Zeit stoppen - Frequenz errechnen
F_1	Verriegelungskontrolle	90 +10N	AK LV 108	- Monitoring der Kräfte - Erkennung eines Fehlers
F_2	Einsteckkraft	60 ±10N	AK LV 108	- Monitoring der Kräfte - Erkennung eines Fehlers
F_3	Öffnungskraft	< 35N	Internes Lastenheft	- Monitoring der Kräfte - Erkennung eines Fehlers
F_3	Öffnungskraft	60 -10N	AK LV 108	- Monitoring der Kräfte - Erkennung eines Fehlers

Tabelle 6: Vorgaben für den Prüfstand aus Gesetzen, Richtlinien und Lastenheften.

5.2 Grenztests und Tests aus Vorversuchen

Neben den im vorigen Kapitel aufgelisteten Anforderungen, die mindestens erfüllt werden müssen, sind von der Abteilung weitergehende Tests gefordert. Diese sollen dabei helfen die Grenzen des Prüfstandes auszuleuchten. Dazu werden verschiedene Tests zur Hilfe genommen. Die oben genannten Tests werden mit den folgenden abgedeckt.

Test der manipulierten Schlösser

Hierbei werden die Schlösser rund 100 Zyklen pro Station getestet. Damit soll untersucht werden, ob die verschiedenen Charakteristika der einzelnen Schlösser sicher auf jeder Station wiedererkannt werden kann. Da die Muster 5 und 6 sehr ähnlich sind und der Prüfstand nur 6 Stationen hat, wird das Muster 6 weggelassen. Genauere Informationen und die Ergebnisse finden sich in Kapitel 6.1.

Test der Grenzfrequenz

Um für eventuelle spätere Anforderungen gerüstet zu sein, muss geprüft werden, wie schnell die Zunge und der Button maximal verfahren werden können. Dazu wird dann der Vorlaufweg knapp eingestellt, um zu sehen wie hoch die maximale Prüffrequenz sein könnte. Dieser Test wird in Kapitel 6.2 näher beleuchtet.

Tests der Alterungsmuster

Dieser Test besteht darin, die Alterungsmuster der Eingangsmessung immer 10.000 Zyklen auf einem Modul zu untersuchen und zwischen drin wieder mit der Maschine zur Eingangsmessung zu vermessen. Damit soll einmal gezeigt werden, dass die Verläufe des Prüfstandes mit denen der Eingangsprüfmaschine übereinstimmen und zum anderen, dass dies auch über die Zeit noch der Fall ist und „Shifts“ und „Drifts“ der Verläufe der Schlösser erkannt werden können. Weitere Informationen finden sich in Kapitel 6.3.

Die Vorgaben aus Tabelle 6 werden mit den oben genannten Tests abgedeckt. Die Lastwechsel mit dem *Test der Alterungsmuster*, die Prüffrequenz mit dem *Test der Grenzfrequenz* und alle Kräfte durch die Aufzeichnungen während der *Tests der Alterungsmuster* und *der manipulierten Schlösser*.

6 Validierung

In diesem Kapitel werden die angesprochenen Tests aus Kapitel 5 durchgeführt und ausgewertet. Dabei sind die Tests aus Vorgaben (Kapitel 5.1) zwingend erforderliche Daten, die der Prüfstand liefern muss. Aus diesem Grund steht die Gewährleistung dieser an erster Stelle und wurde im laufenden Prozess immer wieder kontrolliert, überwacht und nachgebessert. Explizite Tests gibt es hier nicht. Sollten diese Anforderungen nicht erfüllt werden, wird dies auch bei den, in Kapitel 5.2 erwähnten, Tests ersichtlich. Somit werden hier auch nur diese Versuche dokumentiert und ausgewertet.

6.1 Test der manipulierten Schlösser

Bei diesem Test werden die in Kapitel 4.3 beschriebenen und gemessenen Grenzmuster auf dem Prüfstand untersucht. Dabei wird auf das Schloss Nummer 6 verzichtet, da es ähnlich Nummer 5 ist und der Prüfstand insgesamt nur 6 Module zur Verfügung hat und dies so den Test vereinfacht. Es soll gezeigt werden, ob es möglich ist die verschiedenen Muster auf den unterschiedlichen Modulen wiederzuerkennen.

6.1.1 Versuchsbeschreibung

Daher werden insgesamt sechs Tests gefahren. Bei dem ersten Test ist das Muster 1 auf dem ersten Modul. Dann werden die Schlösser alle ein Modul weiter aufgebaut. Bei jedem Test werden 100 Zyklen gemacht und dabei 10 Zyklen aufgezeichnet. (1ter, 11ter, etc.) Dabei wird mit einer Geschwindigkeit von 35 mm/Sek. getestet. Die Abtastrate liegt bei 100 HZ.

6.1.2 Auswertung

6.1.2.1 Auswerteverfahren

Die Datenaufzeichnung erfolgt, wie auch im späteren Serienbetrieb geplant, über einen Raspberry Pi mit einer SQL Datenbank. Aus dieser Datenbank werden die Daten heruntergeladen und stehen im .csv-Format zur Verfügung. Diese Daten werden in Excel importiert. Da die Datenbank die Daten nach Modul sortiert liefern kann ist hier keine Selektion erforderlich. Dadurch, dass die einzelnen Zyklen der einzelnen Module unterschiedlich und teilweise doppelt verarbeitet werden, müssen diese dementsprechend sortiert werden. Zur Berechnung der Standardabweichung wurden die selben Formeln wie in Kapitel 4.1 benutzt. Da es sich hier um eine relativ kleine Datenmenge handelt ist dies gut zu realisieren. Für größere Umfänge ist über eine Automatisierung und/oder die Verwendung eines anderen Programms zur Auswertung nachzudenken. Zur besseren Übersicht wurden die Zyklen teilweise gemittelt. Dies ist kenntlich gemacht. Die Ergebnisse werden im folgenden Kapitel dargestellt.

Zum besseren Verständnis werden jetzt exemplarisch Zyklen gezeigt, die mit der Zwick aufgenommen wurden. Anhand dieser werden die wichtigen Punkte und Bereiche gezeigt und erklärt.

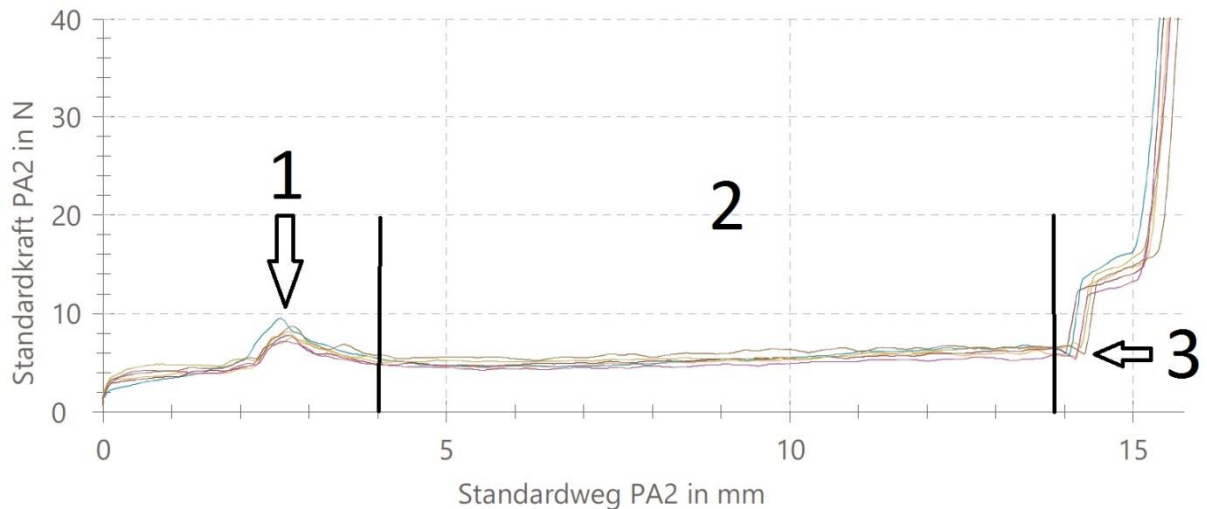


Abbildung 6.1: Beispiel der Einsteckkräfte mit markanten Punkten.

In Abbildung 6.1 im Punkt mit der Nummer 1 ist das erhöhte Kraftniveau zu sehen, welches durch das „umklappen“ der Feder entsteht. Dies ist für das Einstecken der interessante Punkt, da dort normalerweise die maximalen Kräfte erreicht werden. Im Bereich 2 wird der Auswerfer des Schlosses bei linear leicht steigender Kraft nach unten gedrückt. Im Punkt 3 ist das Verriegeln des Schlosses zu sehen. Danach fährt das Schloss auf Block und die Kraft steigt stark, da der Auswerfer auf dem Channel sitzt.

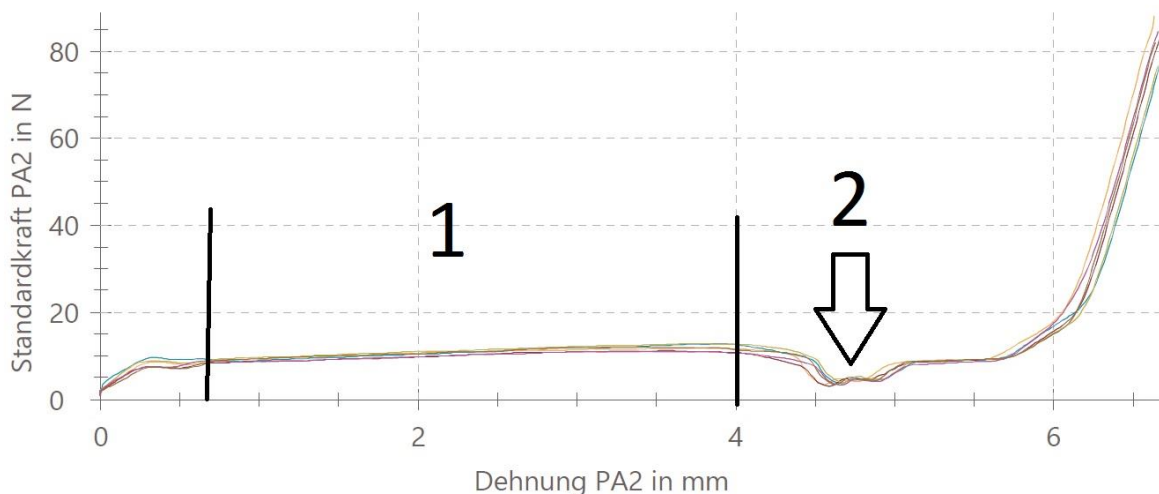


Abbildung 6.2: Beispiel der Öffnungskräfte mit markanten Punkten.

In Abbildung 6.2 im Bereich 1 ist zu sehen, dass die Kraft linear leicht ansteigt nachdem sich der Auslöseknopf in Bewegung gesetzt hat. In diesem Bereich liegt normalerweise die maximale Kraft. Im Punkt zwei ist dann das Entriegeln des Schlosses zu sehen. Danach wird die Feder noch weiter zusammengedrückt bis auch hier am Ende auf Block gefahren wird und die Kraft stark steigt. Bei den Daten des Dauerlaufprüfstandes sind die Kurven an der X-Achse gespiegelt, da die Kräfte dort negativ aufgezeichnet werden.

6.1.2.2 Ergebnisse

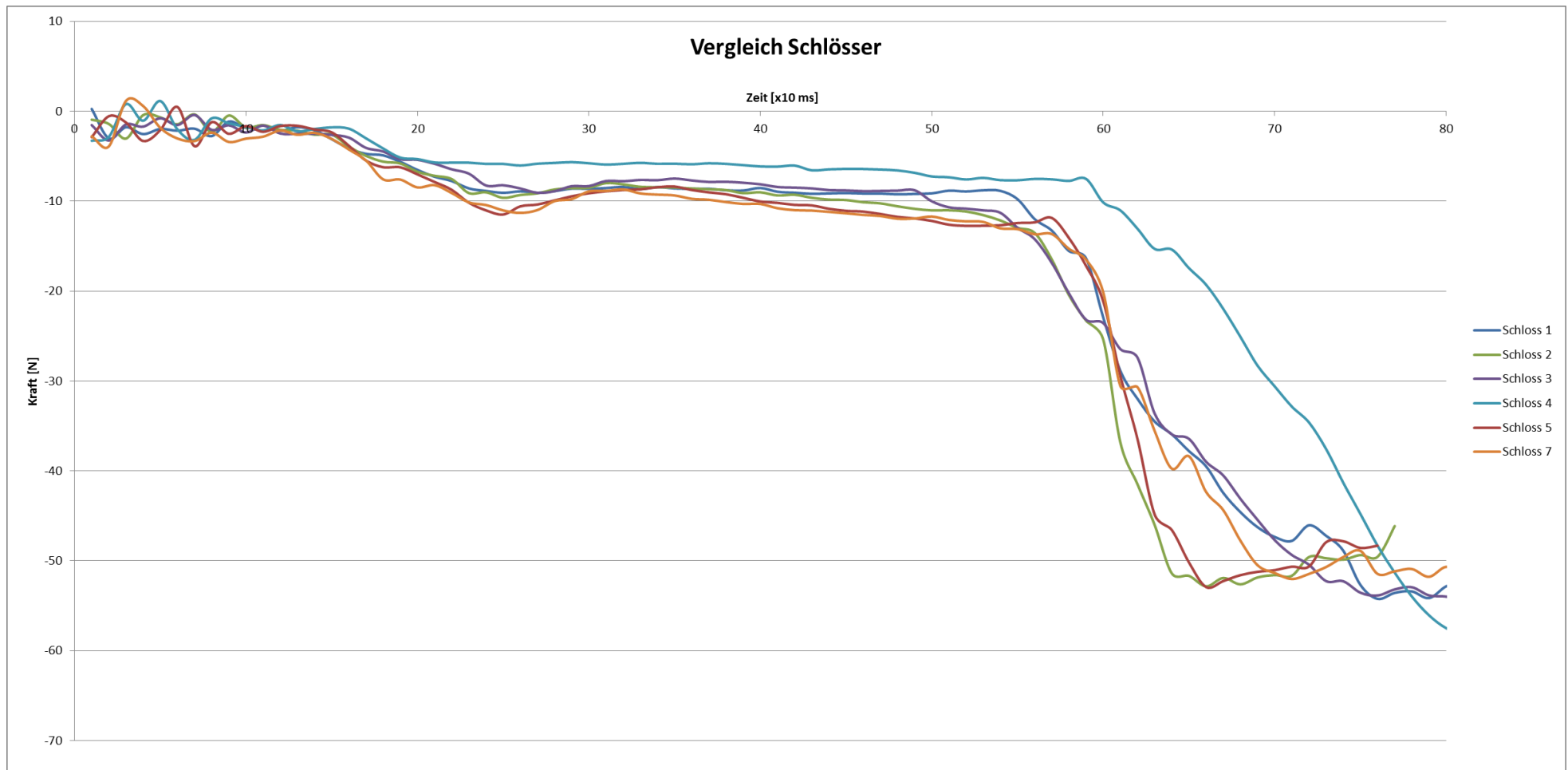


Abbildung 6.3: Vergleich der Einsteckkräfte der Schlösser im Mittel über alle Module

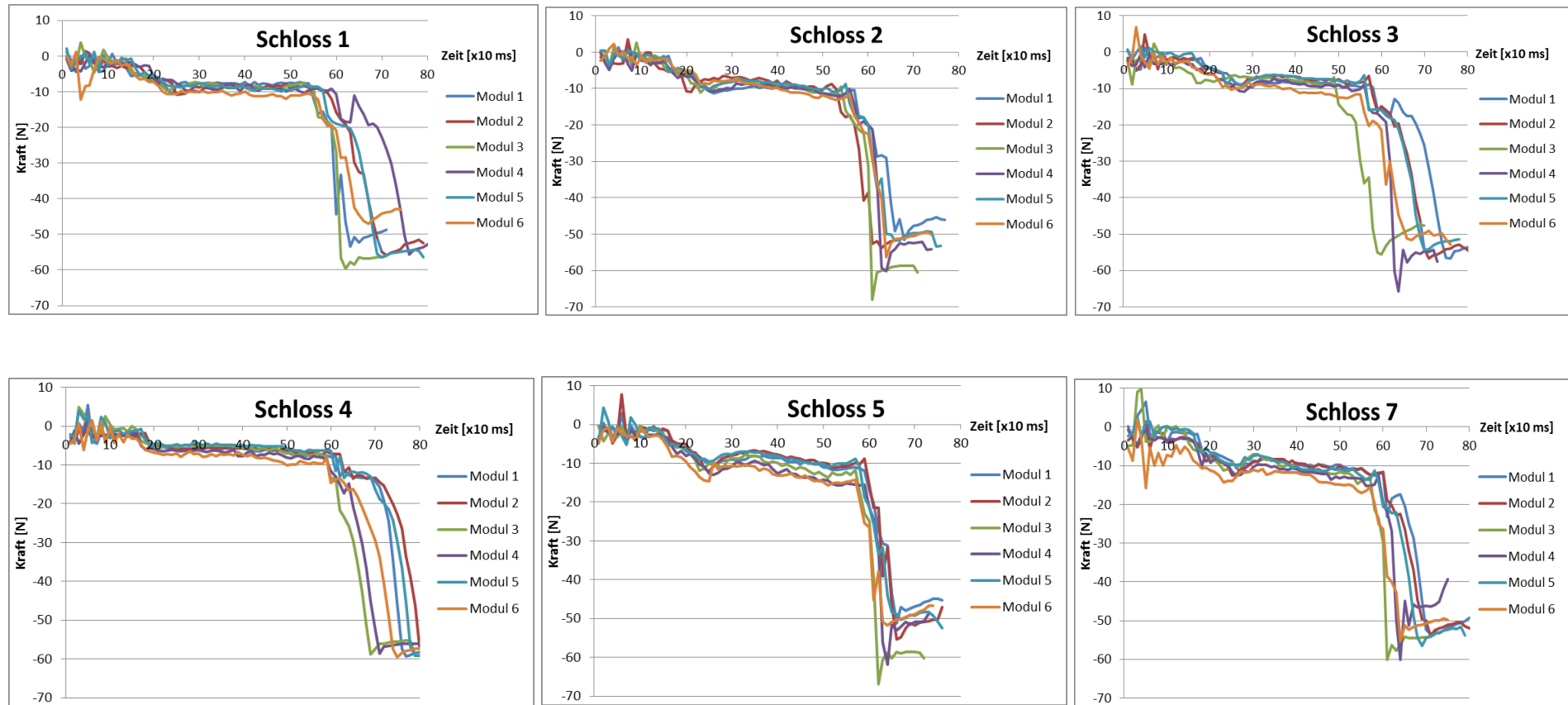


Abbildung 6.4: Vergleich der Einsteckkräfte der Schlösser auf den einzelnen Modulen

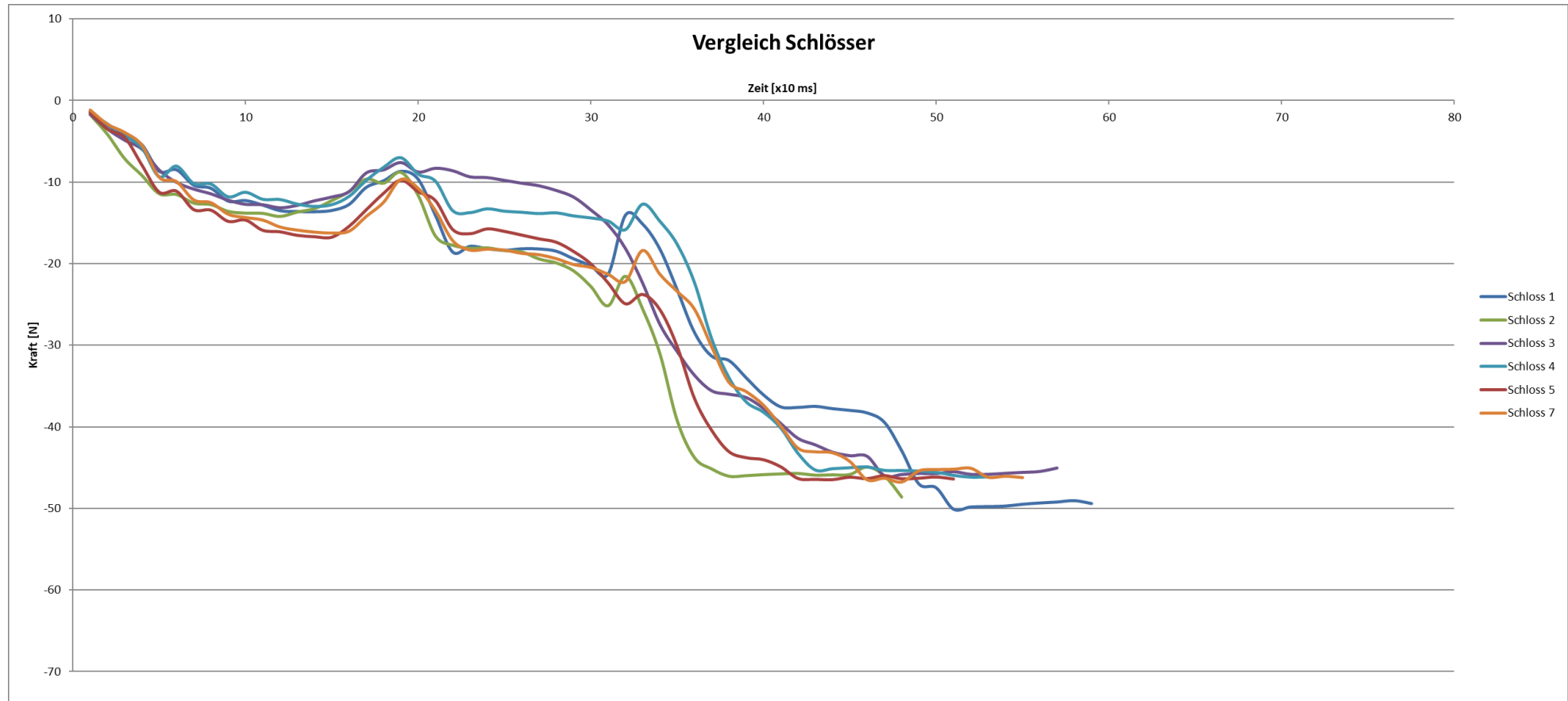


Abbildung 6.5: Vergleich der Schlossöffnungszeiten der Schlösser im Mittel über alle Module

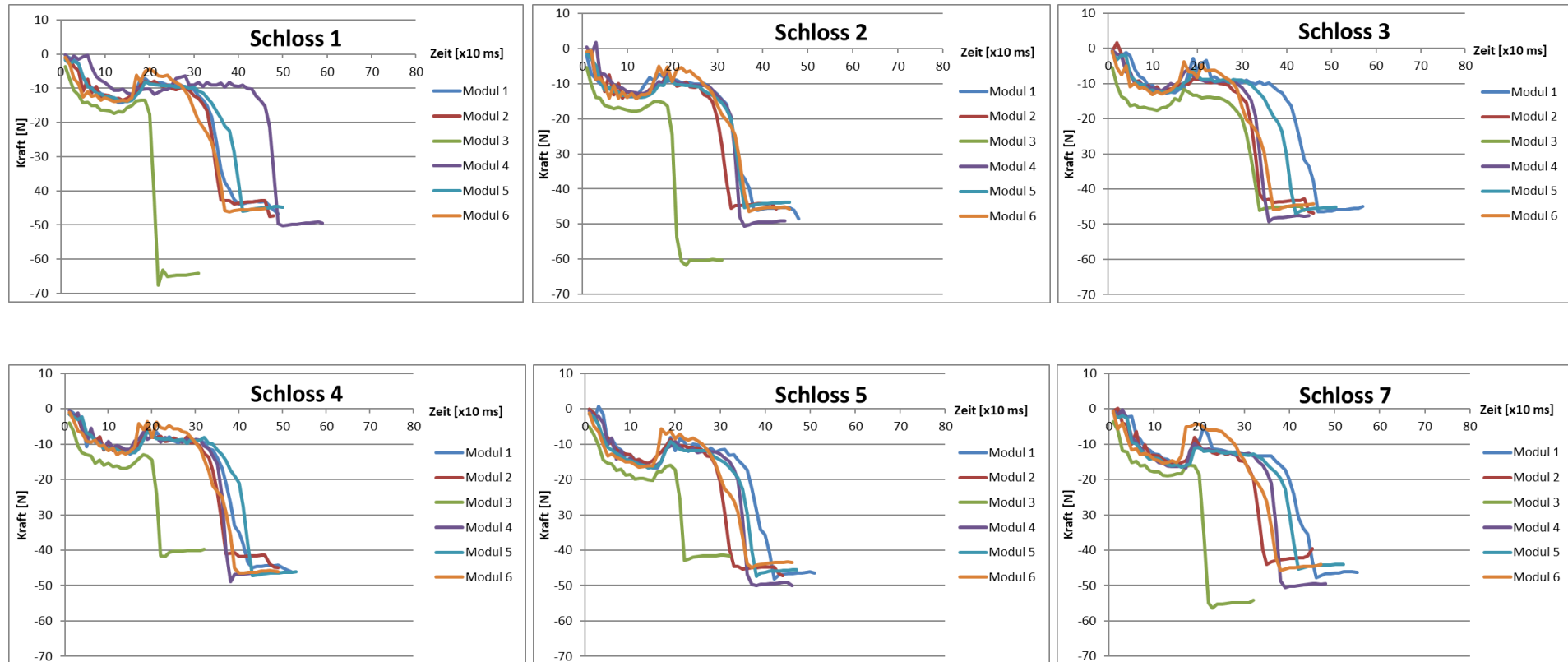


Abbildung 6.6: Vergleich Schlossöffnungskräfte der Schlösser auf den einzelnen Modulen

Wie in der Abbildung 6.3 zu sehen ist, gibt es erkennbare Unterschiede in den Messdaten der Schlösser, wenn die Zyklen und die Module gemittelt werden. Es ist zu sehen, dass das vierte Schloss während des Verriegelns nicht so ein hohes Kraftniveau aufweist wie das fünfte oder das siebte Schloss. Des Weiteren ist auffällig, dass das vierte Schloss ein wenig später verriegelt als die anderen Schlösser.

In Abbildung 6.4 ist erkennbar, dass die einzelnen Module doch teilweise erhebliche Schwankungen aufweisen, obwohl dasselbe Schloss montiert ist. Allerdings ist der Trend aus Abbildung 6.3 auch hier erkennbar. So weisen die Schlösser fünf und sieben stets ein höheres Kraftniveau auf als die übrigen und Schloss vier verriegelt meist am spätesten.

Bei dem Vergleich der Schlossöffnungszeiten (Abbildung 6.5) ist wieder das erhöhte Kraftniveau der Schlösser 5 und 7 auffällig. Allerdings ist hier überall die interessante und durch die AKLV definierte Kraft des Öffnens gut als minimal- (beziehungsweise im Betrag maximal-) Funktion der Kraft in dem Bereich von ca. 80-100ms bis ca. 200ms zu finden. Des Weiteren ist in Abbildung 6.6 zu sehen, dass das Modul 3 bei jedem Schloss, außer dem Dritten, sehr schnell sehr hohe Kräfte erreicht. Die Vermutung ist, dass bei den Versuchen auf dem Modul 3 die Verzögerung kurz vor Erreichen des Maximalwertes nicht funktioniert hat. Dies wurde in Abbildung 6.7 und Abbildung 6.8 weiter untersucht. Dort wurde die Kraft über dem Weg aufgetragen. Es ist zu sehen, dass, wenn die Kraft über dem Weg aufgetragen wird, keine signifikanten Unterschiede vom Modul 3 zu anderen zu sehen ist. Zwar ist das Kraftniveau auf Modul 3 höher und der Zyklus auch um ca. 0,5mm verschoben aber ein so starker Anstieg wie in Abbildung 6.6 zu sehen war ist hier nicht erkennbar. Somit ist die anfängliche Vermutung richtig und bei diesen Tests, die diese Anomalie aufweisen, wurde die Geschwindigkeit zum Ende des Zyklus nicht verringert, wie es eigentlich der Fall sein sollte, damit nicht über die Kraftgrenzen hinaus gefahren wird.

Die eigentlich wichtige maximale Einsteckkraft, die nach AKLV definiert ist, ist nicht zuverlässig überall ersichtlich. So ist diese bei den Schlössern fünf und sieben gut sichtbar, allerdings auch im Vergleich zu den Eingangsmessungen an der Zwick undeutlich und zu gering. Da in Abbildung 6.4 am Ende eine große Spannweite (in X-Richtung) der abfallenden Geraden zu sehen ist (z.B. Schloss 3 zwischen 500-700ms), wurde untersucht, ob dies eventuell zum "Verschmieren" der Mittelwerte führt. Dazu wurden die Daten so übereinandergelegt, dass diese Geraden möglichst auf dem X-Wert übereinanderliegen, um zu sehen, ob dies die Kraftüberhöhung, wie z.B. bei Schloss 5 zwischen 200-300ms, besser ausbildet. Dabei kam heraus, dass dies, wenn überhaupt, nur zu einem geringen Teil der Fall ist. In Abbildung 6.11 und Abbildung 6.12 ist zu sehen, dass sich der Graph der Mittelwerte kaum ändert und vor allem nicht an den signifikanten Stellen ändert wenn, wie in Abbildung 6.9 und Abbildung 6.10, die Geraden des auf Block fahrenden Schlosses aufeinander gelegt werden. So ist nur bei den Schlössern Fünf und Sieben das „Umklappen“ der Feder zwischen 200 und 300ms ersichtlich. Bei den anderen Schlössern nicht, beziehungsweise nicht so deutlich.

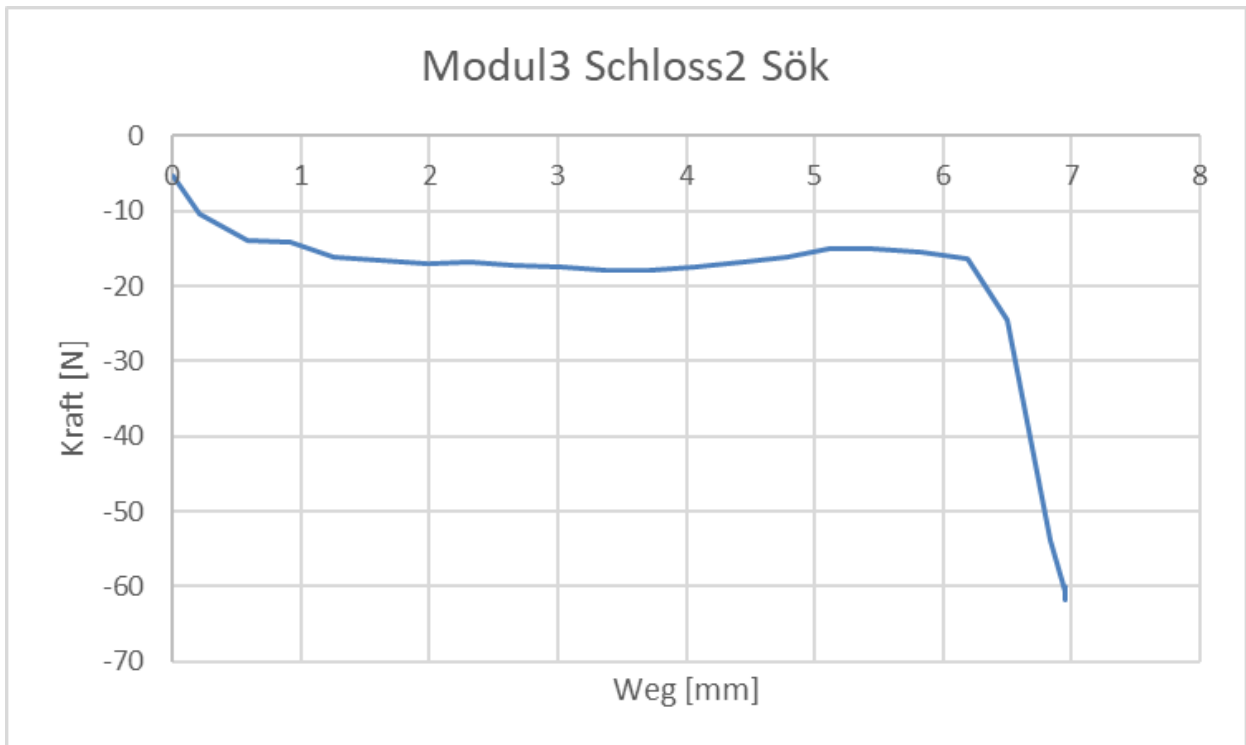


Abbildung 6.7: Schlossöffnungskräfte des zweiten Schlosses auf Modul3 über dem Weg

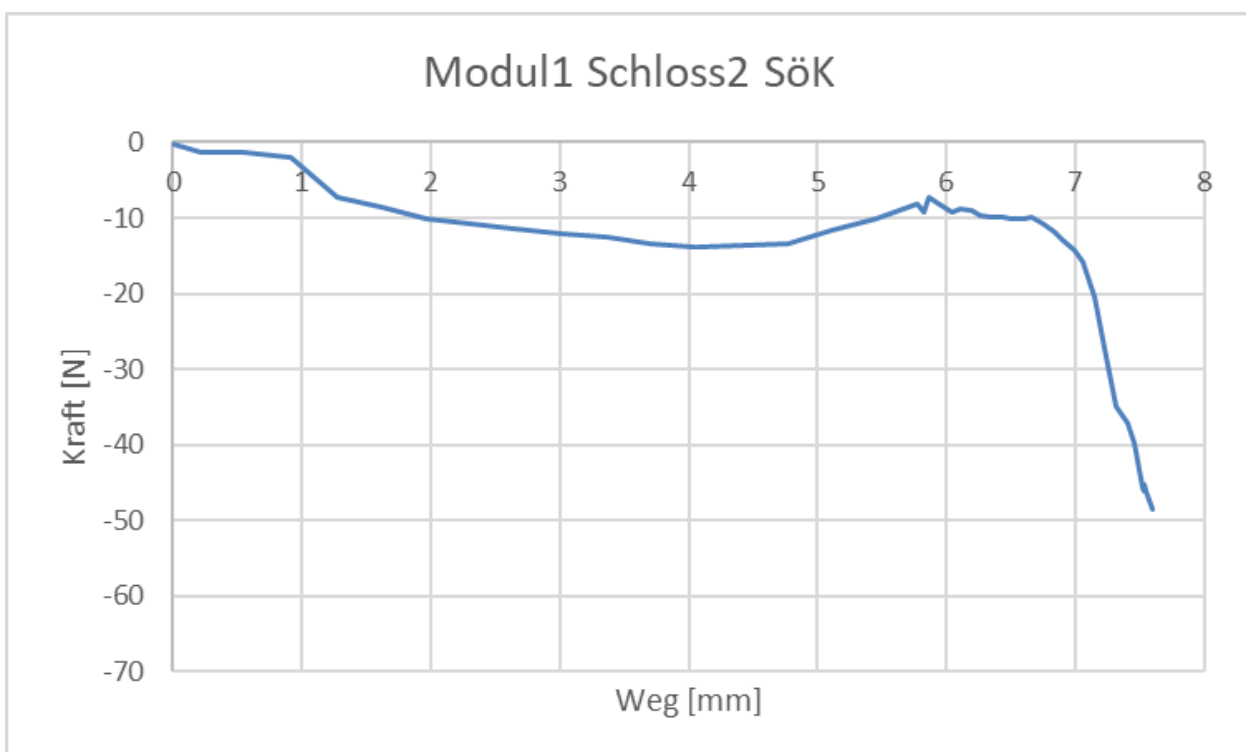


Abbildung 6.8: Schlossöffnungskräfte des zweiten Schlosses auf Modul1 über dem Weg

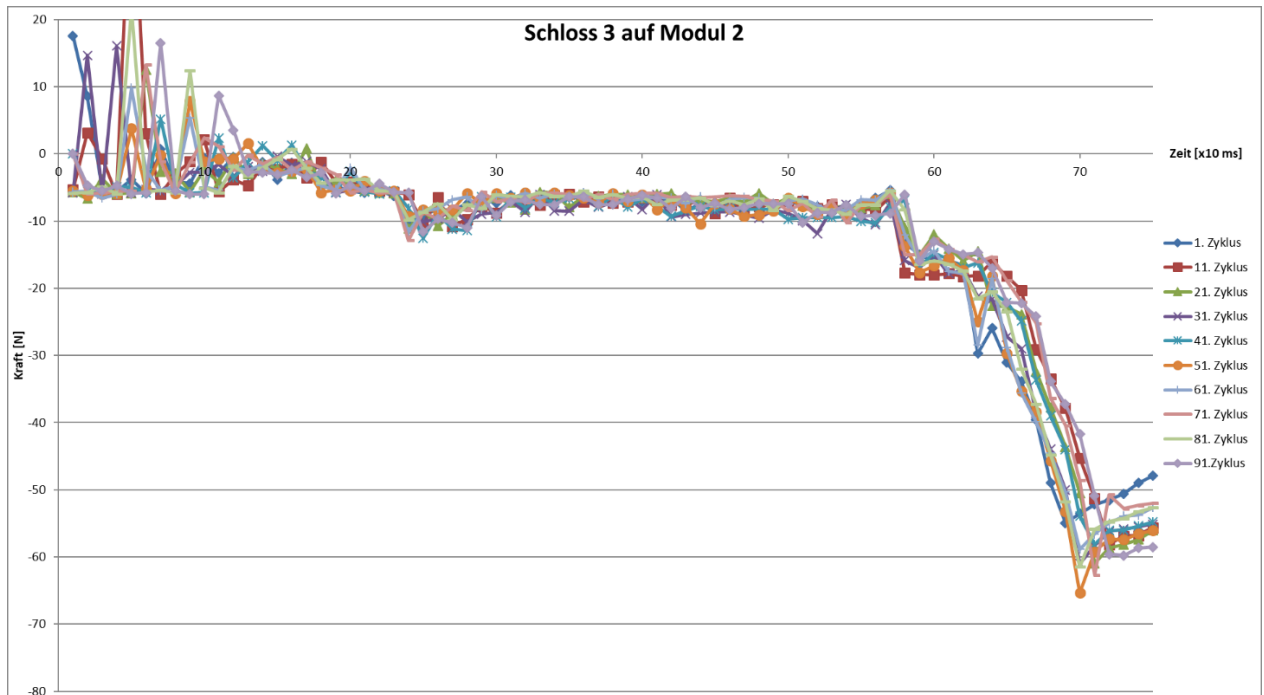


Abbildung 6.9: Einsteckkräfte Schloss3 auf Modul2 unbearbeitet

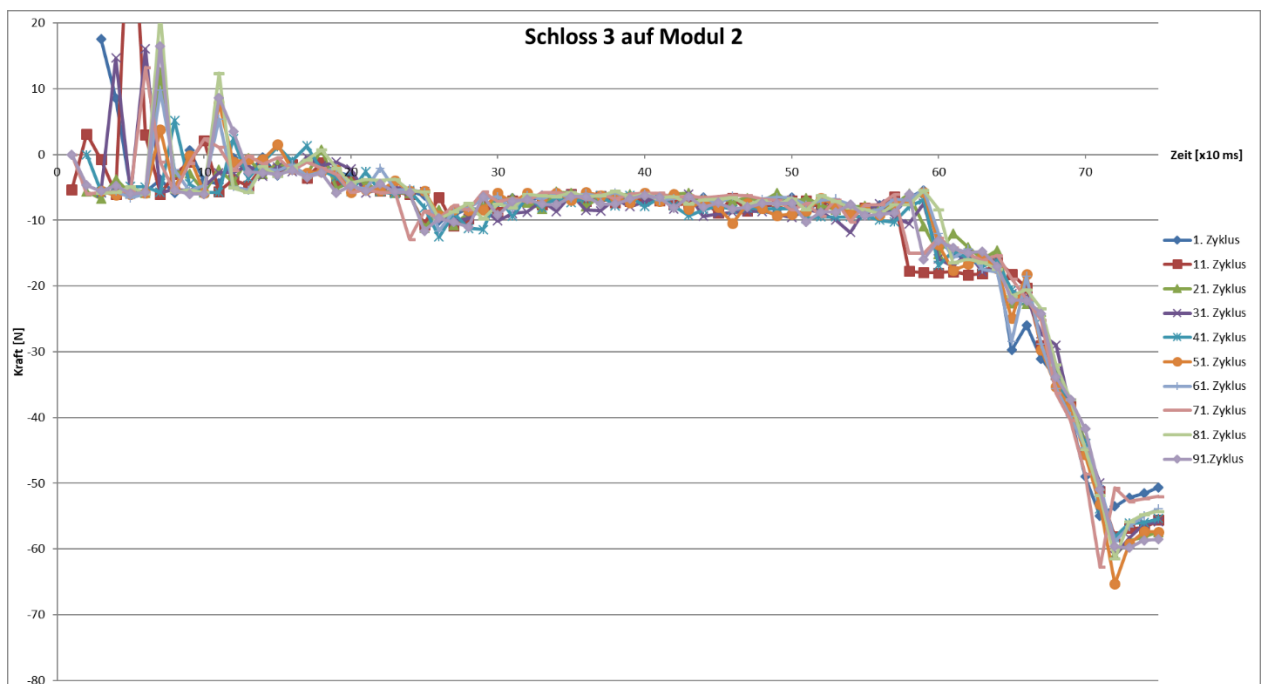


Abbildung 6.10: Einsteckkräfte Schloss3 auf Modul2 Geraden aufeinandergelegt

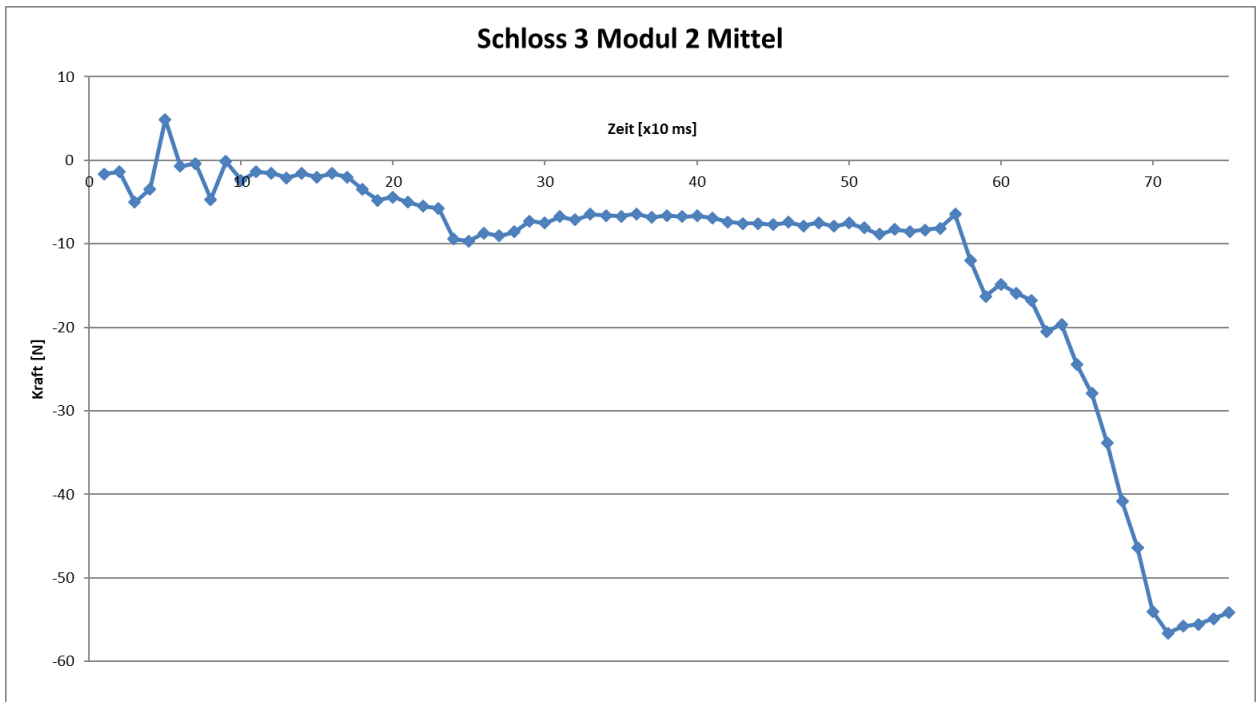


Abbildung 6.11: Mittelwerte der EK Schloss3 auf Modul2 unbearbeitet

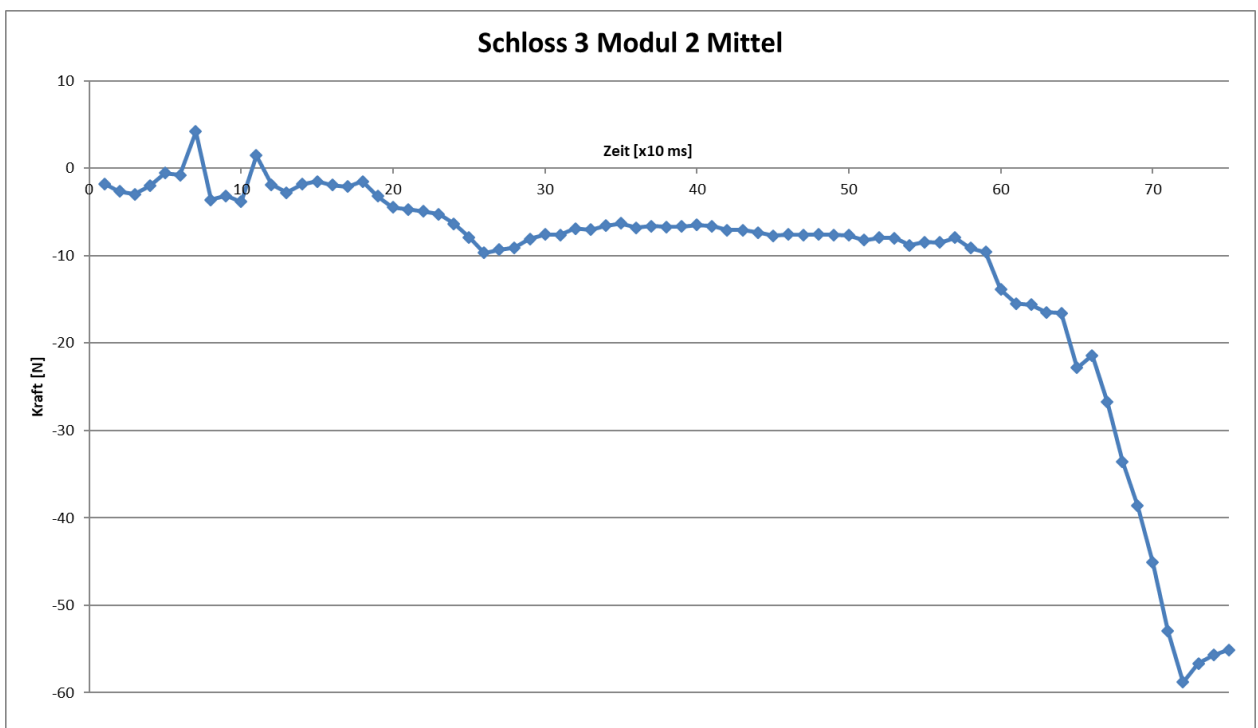








Abbildung 6.12: Mittelwerte der EK Schloss3 auf Modul2 Geraden aufeinandergelegt

6.1.2.3 Bewertung

Aus den Ergebnissen des vorigen Kapitels wird schnell ersichtlich, dass über einen längeren Zeitraum betrachtet unterschiedliche Schlösser voneinander unterschieden werden können. So sind die unterschiedlichen Kraftniveaus der Schlösser vier, fünf und sieben im Vergleich zu den relativ ähnlichen Schlössern eins bis drei gut erkennbar. Dass dieser Trend nicht von der Maschine, sondern tatsächlich von den verschiedenen Schlössern kommt sieht man, wenn diese Kurven mit denen der Eingangsmessung verglichen werden. So sind dort diese Unterschiede ersichtlich. Zur Überprüfung, ob dies auch nach dem Test auf der Prüfmaschine so ist, wurden die Schlösser einer Ausgangsuntersuchung auf der Zwick (selbe Maschine wie bei der Eingangsmessung) unterzogen. Dort wurden die Ergebnisse bestätigt (EK bspw. siehe Abbildung 6.13, Sök und Rest EK im Anhang)

Ergebnisse:

Legende	Nr	Probe-Nr	Fmax PA2	dL	Fmax PA2	Bmerkung
		N		mm		
	1	1	42,99	15,61		
	2	2	44,63	15,46		
	3	3	44,87	15,27		
	4	4	46,08	15,79		
	5	5	44,61	15,38		
	6	6	44,83	15,55		

Statistik:

Serie	Fmax PA2
n = 6	N
min	42,99
\bar{x}	44,67
max	46,08
s	0,99
V [%]	2,21
$\bar{x} - 3s$	41,71
$\bar{x} + 3s$	47,62

Seriengrafik:

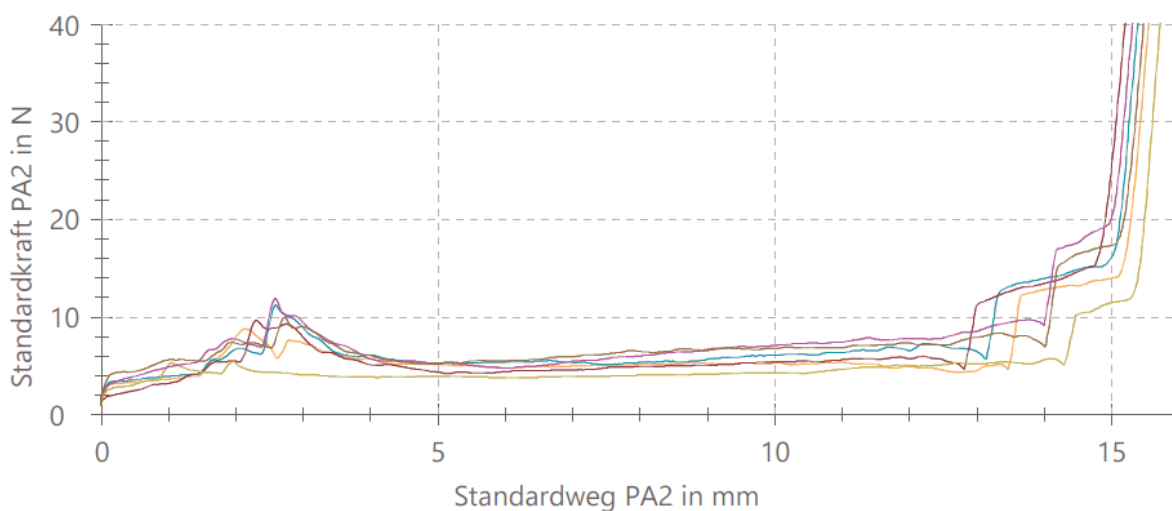


Abbildung 6.13: Ausgangsmessung der Einsteckkräfte, Probe-Nr. 1-5 entspricht Schloss 1-5 und Probe-Nr. 6 ist Schloss 7

Bei der Betrachtung eines einzelnen Zyklus ist es allerdings kaum möglich eine korrekte Aussage zu treffen, da die Schwankungen trotz desselben Moduls und Schlosses sehr erheblich sind und so zum Beispiel schwer zu sagen ist, ob es Schloss 4 auf Modul 6 oder Schloss 1 auf Modul 1 (Abbildung 6.4) ist.

Dass das „Umklappen“ nur bei den Schlössern Fünf und Sieben zu sehen ist, lässt sich auf die dort eingebauten, stärkeren Federn zurückführen.

Eine generelle Tendenz der einzelnen Module ist nicht ersichtlich. Lediglich das Modul 3, welches beim Öffnen die Geschwindigkeit oft nicht verringert, was bei der Betrachtung über der Zeit (Abbildung 6.6) einen anderen Verlauf generiert, ist auffällig.

Da nach AKLV aber nur die maximalen Einsteck- und Öffnungskräfte interessant sind, müssen diese fehlerfrei detektiert werden können. Dies ist so nur nach vorigem analysieren der Graphen möglich. So muss per Hand der Bereich für die maximale Kraft begrenzt werden. Bei der Schlossöffnungskraft ist dies bis auf das Modul 3 auch recht gut möglich. Dort liegt die maximale Kraft immer zwischen 100-200ms (Abbildung 6.6), beziehungsweise ist über eine Extrempunktabfrage für diesen Bereich automatisiert berechenbar. Sollte der Prozess stabil auf allen Modulen laufen ist es hier höchstwahrscheinlich möglich einen Bereich fest zu definieren und fehlerfrei die maximale Öffnungskraft zu bestimmen. So wie der Prüfstand momentan läuft ist dies aber nicht gewährleistet. Für die Einsteckkräfte ist es sogar nach oben genannter Methode schwierig, da kein eindeutiges Maximum, wie bei der Zwickmessung, ersichtlich ist. Da das eigentliche Maximum kurz nach dem Beginn der Messung liegt, dieses aber auf diesem Prüfstand nicht zuverlässig aufgezeichnet wird, müsste über eine Alternative nachgedacht werden. Ein Ansatz dazu ist die Steigung, die nach dem eigentlichen Maximum zu sehen ist zu untersuchen, um so eine Größe zu haben, mit der zumindest Schlösser und Zyklen verglichen werden könnten. In Abbildung 6.14 - Abbildung 6.19 sind die Mittelwerte der Schlösser auf den einzelnen Modulen aufgezeigt. Diese sind nur im Bereich von 300-500ms dargestellt und immer mit einer Ausgleichsgeraden versehen. Die Geradengleichungen stehen auf der rechten Seite der Diagramme und sind von oben (Modul 1) bis unten (Modul 6) sortiert. Um hier eine Aussage treffen zu können, sollten die Schlösser auf den einzelnen Modulen möglichst gleiche Steigungen haben und sich die Schlösser an sich unterscheiden. Letzteres ist teilweise ersichtlich, da Schloss 5 und Schloss 7 steilere Steigungen haben. Ersteres trifft kaum zu. Somit scheidet auch diese Methode aus. Weitergehende Überlegungen zu diesem Thema werden im Kapitel 8 Ausblick näher beleuchtet.

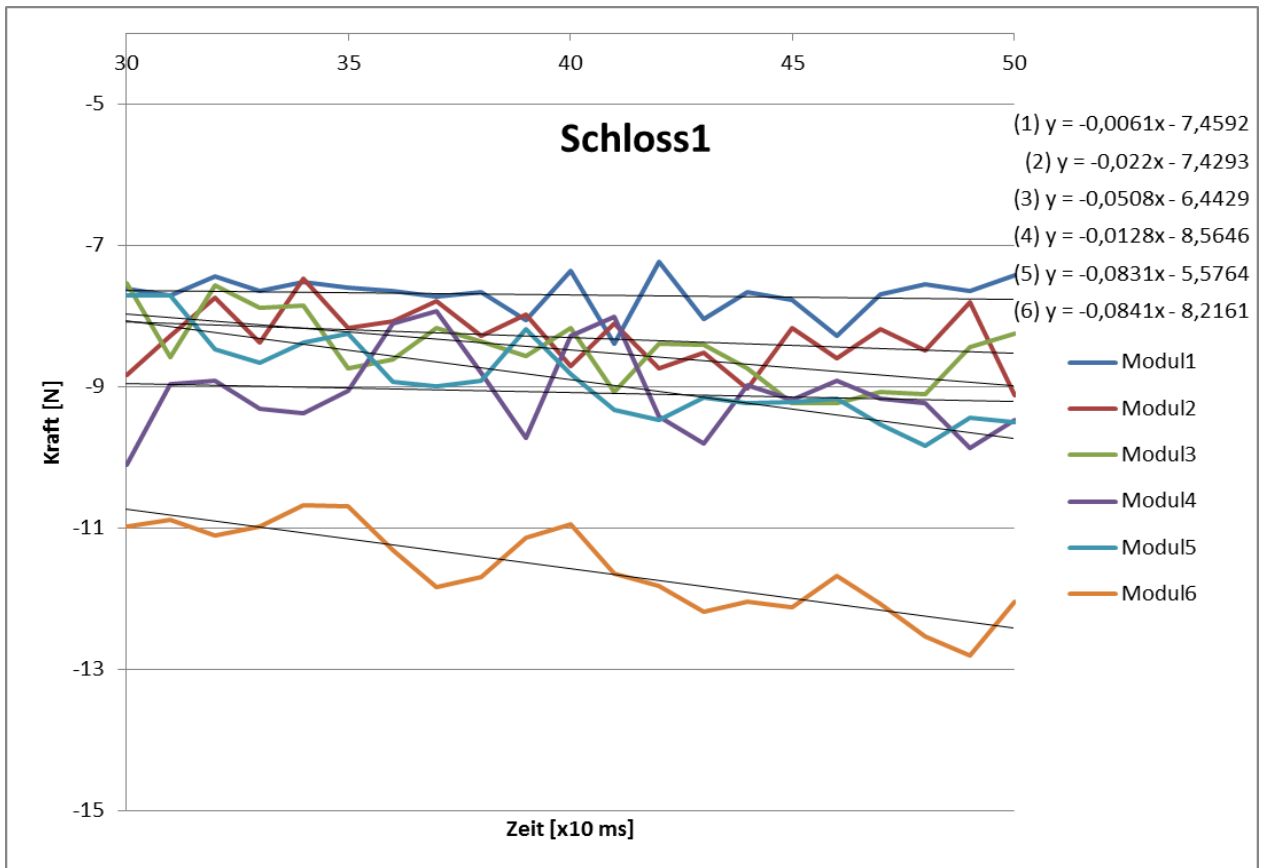


Abbildung 6.14: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 1. Schlosses

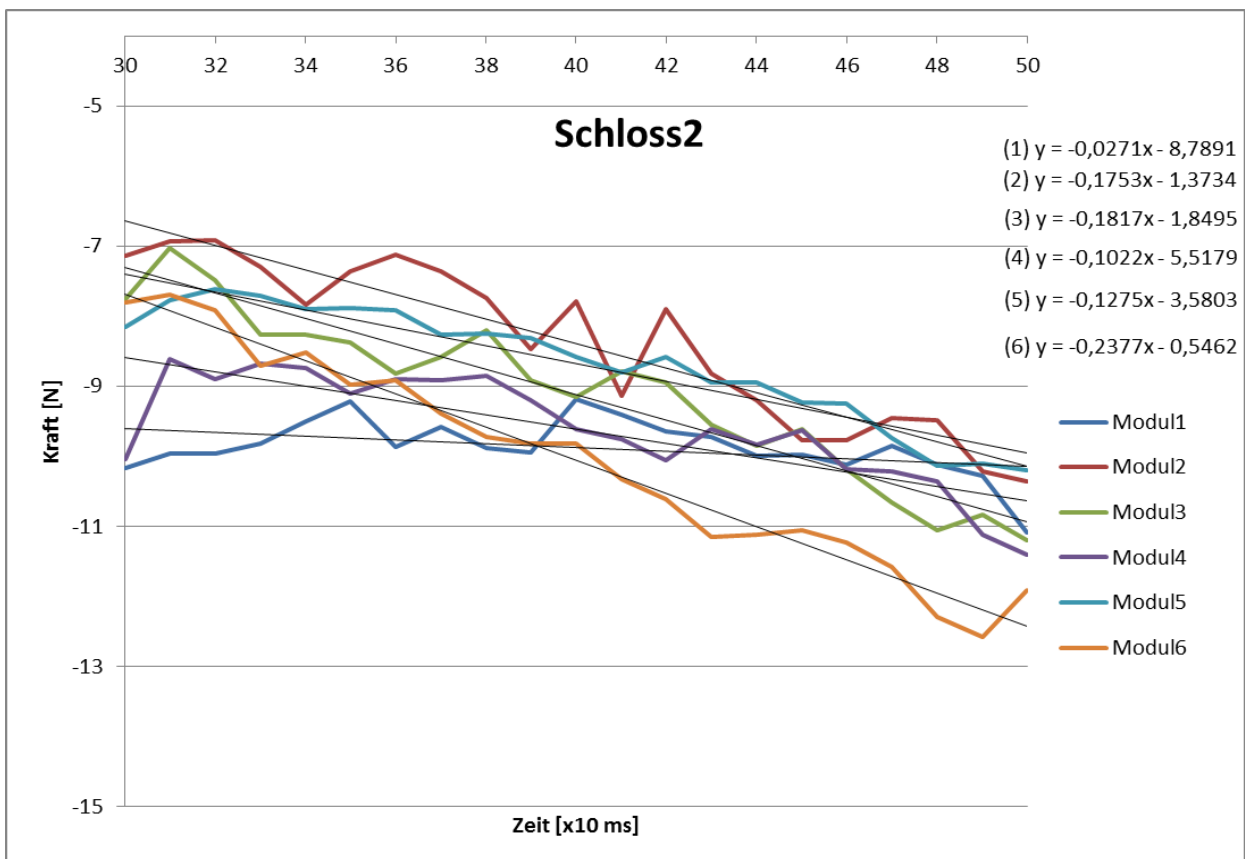


Abbildung 6.15: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 2. Schlosses

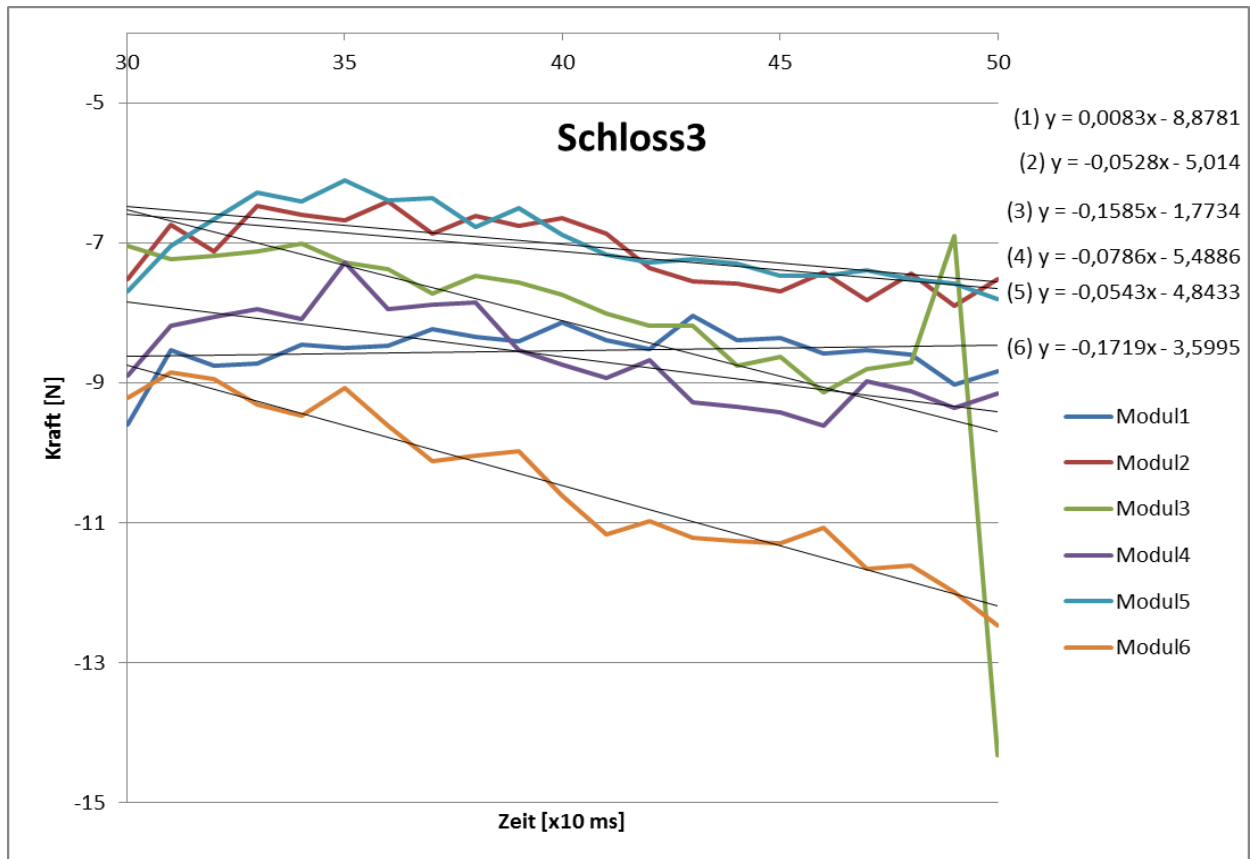


Abbildung 6.16: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 3. Schlosses

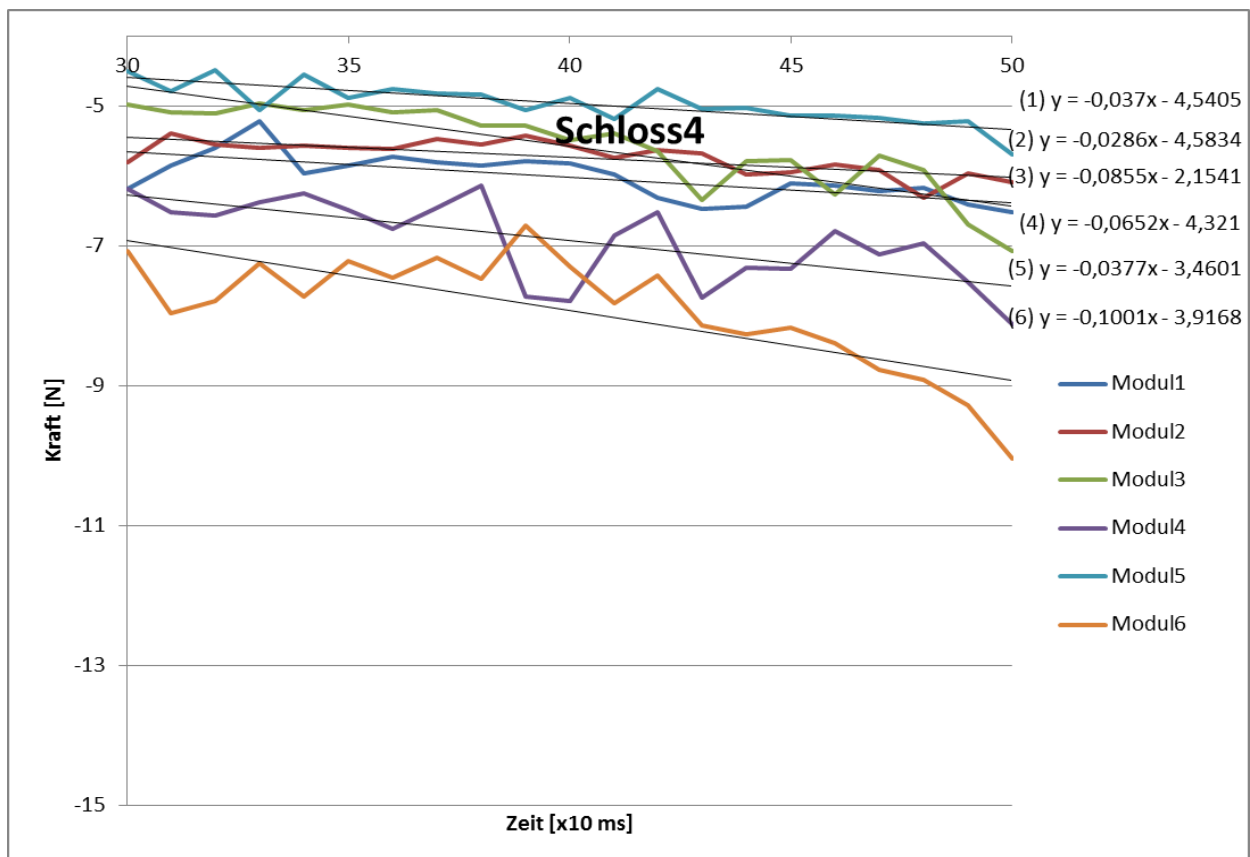


Abbildung 6.17: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 4. Schlosses

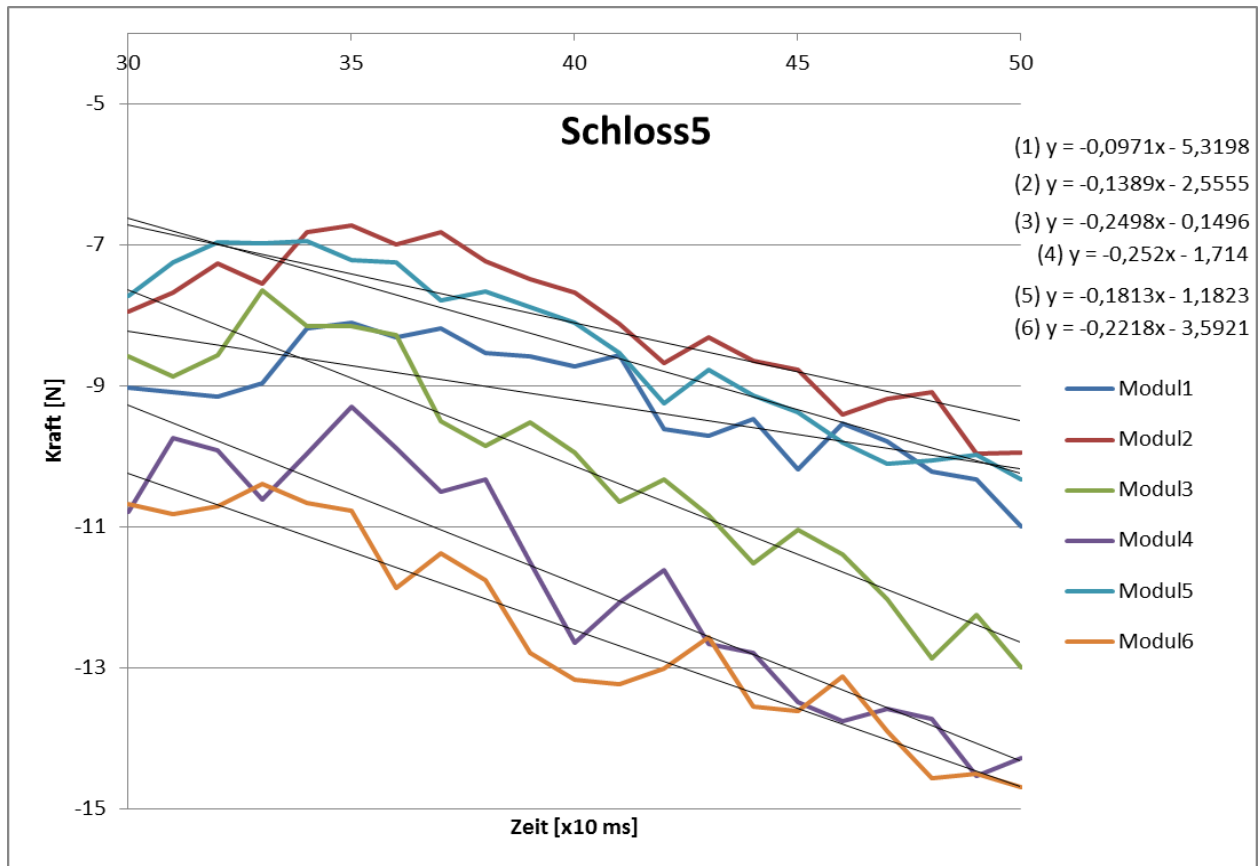


Abbildung 6.18: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 5. Schlosses

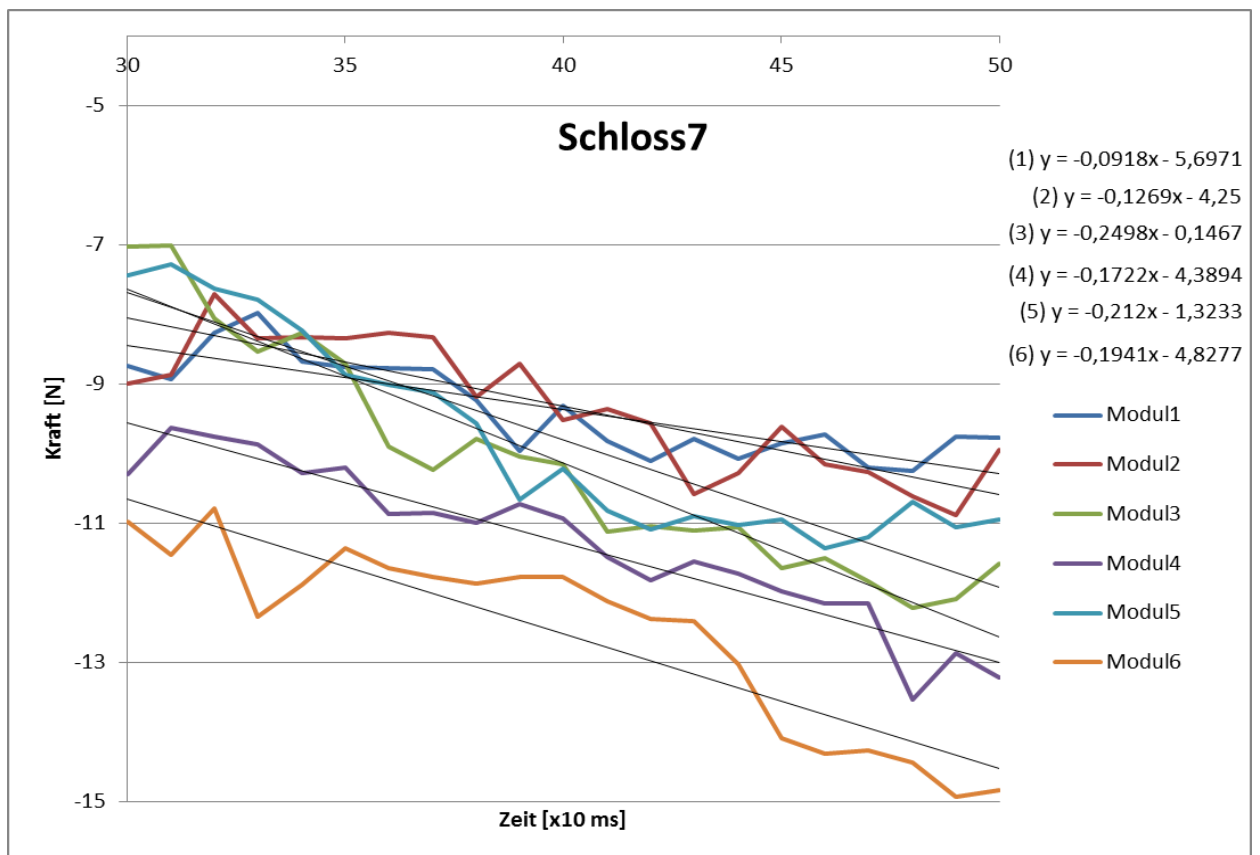


Abbildung 6.19: Steigungen der Ausgleichsgeraden des 7. Schlosses

Zur statistischen Untersuchung wurden die Standardabweichungen der einzelnen Zyklen untereinander gebildet und diese dann gemittelt. Diese Standardabweichungen wurden in Abbildung 6.20 und Abbildung 6.21 dargestellt. Dieses doch gute Ergebnis ist überraschend, da die sichtbaren Abweichungen in Abbildung 6.4 doch recht groß sind. Da die größten Abweichungen allerdings in den nicht so relevanten Randbereichen liegen aber die meisten Werte in den Bereichen, die interessant sind, sind diese unterschiedlichen Bewertungen zu erklären. Des Weiteren geschieht das Einstecken und Öffnen in einem nur kleinen Bereich des Messbereichs der Kraftmesszelle. Das Einstecken ist mit größeren Fehlern behaftet als das Öffnen, da das Einstecken länger dauert und, durch die „Nester“ bedingt, ungenauer ist.

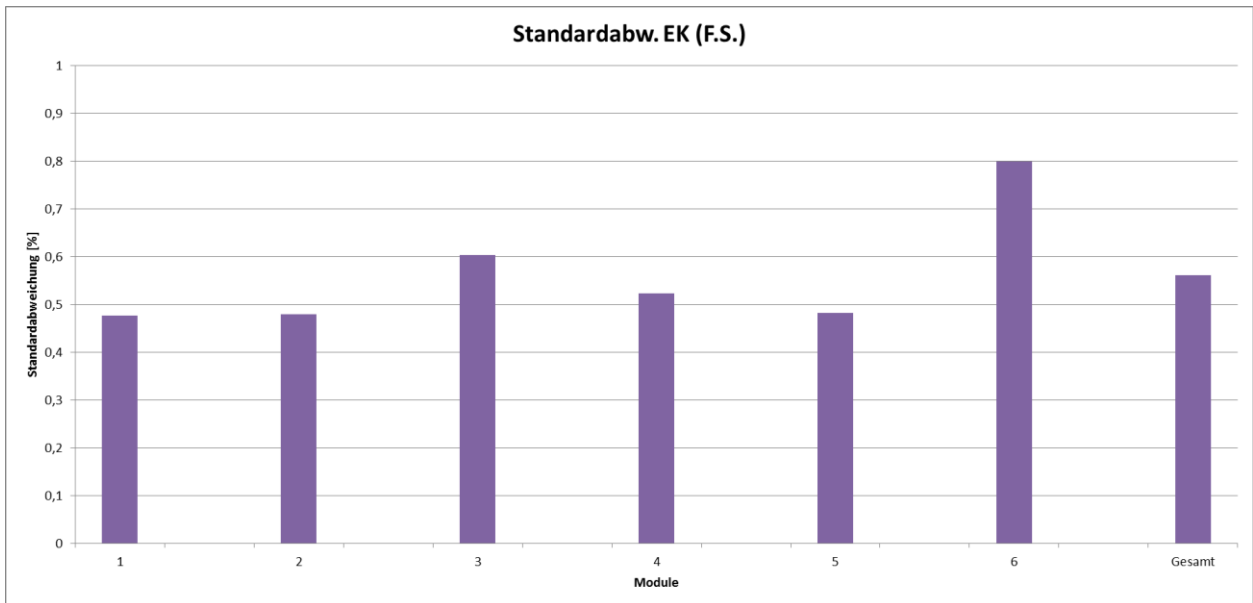


Abbildung 6.20: Standardabweichung der Einsteckkräfte im Mittel über die Module

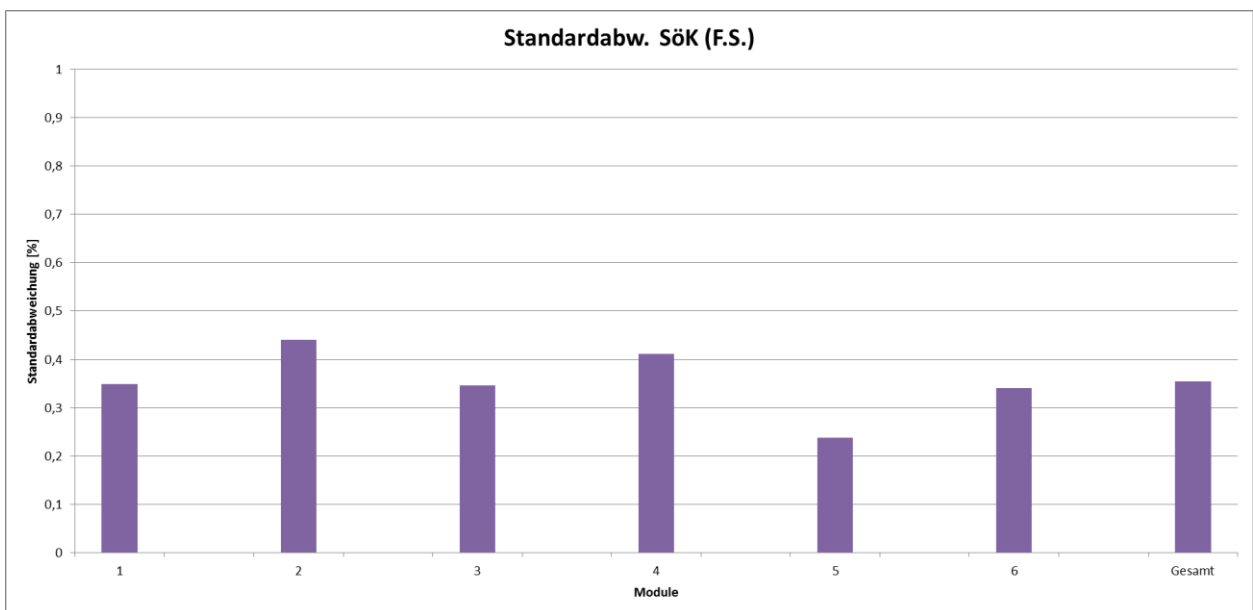


Abbildung 6.21: Standardabweichung der Öffnungskräfte im Mittel über die Module

6.2 Test der Grenzprüffrequenz

6.2.1 Versuchsbeschreibung

Bei diesem Test wird die Initialposition möglichst knapp gewählt. Das heißt, dass die Zunge auf dem Auswerfer des Schlosses steht und das Zungennest fast an der Oberkante der Zunge steht. Der Button wird so über dem Auslöseknopf platziert, dass dort kein Spalt mehr ist. Nun wird der Rest normal geteacht. Für die Haltedauer der Kräfte und die Verfahrgeschwindigkeit wurde im Vorfeld geguckt, wo dort die Grenzen sind. So ergaben sich Maximalwerte von 35mm/s. für die Geschwindigkeit und ein Minimalwert von 100ms für die Zeit, damit der Prüfstand noch sauber durchläuft. Es werden neue einfache Schlösser verwendet. Weitere Einstellungen:

- Insertion_Force: 55N default (max. 100N)
- Latch_Force: min. 90N
- Release_Force: 30N default (max. 100N), 2nd Try 60N

Nun werden 100 Zyklen gefahren und die Zeit gestoppt, die jedes Modul braucht.

6.2.2 Auswertung

6.2.2.1 Auswerteverfahren

Zum Zeitmessen dient die Stoppuhr eines Smartphones. Die Zyklen werden von dem Prüfstand selbst gemessen. Die Werte werden notiert und händisch ausgerechnet.

6.2.2.2 Ergebnisse

Modul [-]	Zyklen [-]	Zeit [s]	Prüffrequenz [Zyklen/min.]	Haltezeit [ms]	Geschw. [mm/Sek.]
1	100	229,28	26,169	100	35
2	100	224,86	26,683	100	35
3	100	228,23	26,289	100	35
4	100	224,44	26,733	100	35
5	100	229,80	26,11	100	35
6	100	215,23	27,877	100	35

Tabelle 7: Ergebnisse und Einstellungen de Grenzprüffrequenztests

6.2.2.3 Bewertung

In Tabelle 7 ist zu sehen, dass das Modul 6 schneller ist als die anderen. Diese Abweichungen liegen aber noch innerhalb der Toleranzen. Alle Module erreichen die geforderten Frequenzen. Es wäre möglich, dass die Abweichungen nicht unbedingt mit den Modulen zu tun haben -wobei diese auch ein wenig verschieden sind- sondern auch Schloss bedingt sein könnten.

6.3 Test der Alterungsmuster

Dieser Test war durch Softwareprobleme nicht mehr durchführbar. Damit werden hier keine Ergebnisse vorgestellt aber der geplante Ablauf und die Auswertung werden erörtert, um diesen Test zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen.

6.3.1 Versuchsbeschreibung

Bei diesem Test soll untersucht werden, ob der Prüfstand in der Lage ist zunehmenden Verschleiß (Erhöhung der Kräfte) aufzeichnen zu können. Diese sind ein Anzeichen für eine drohende Fehlfunktion. Dazu werden die Einsteck- und Schlossöffnungskräfte aufgezeichnet. Die präparierten Muster werden auf die Stationen gesetzt. Es werden 10.000 Zyklen pro Modul gefahren. Während die Module gewechselt werden, werden die Schlösser wieder, ähnlich der Eingangsmessung (Kapitel 4.3) untersucht, damit die vom Prüfstand aufgezeichneten Zyklen stets mit den hinreichend genau bekannten Zyklen verglichen werden können. So werden insgesamt 60.000 Zyklen mit jedem Schloss gefahren. Die Zyklen-Aufzeichnung sollte dabei, je nach technischen Möglichkeiten, bei jedem 100ten bis 1000ten Zyklus liegen. Ein großer Abstand zwischen den Aufzeichnungen sollte dabei kein Problem darstellen, da sowieso jeder fehlerhafte Zyklus aufgezeichnet wird

6.3.2 Auswertung

Da die Kraftverläufe der Schlösser durch die Eingangsmessung hinreichend genau bekannt sind (Kapitel 4.3), können die ersten Zyklen mit denen der Eingangsmessung verglichen werden. Die Zyklen am Ende eines jeden Durchgangs können wieder mit denen der Zwischenmessungen (Kapitel 6.3.1) verglichen werden. Da Veränderungen zu erwarten sind, ist zu prüfen, ob diese durch den Prüfstand erkannt werden und diese Änderungen auch mit den realen Änderungen (Messung auf der Zwick) übereinstimmen oder welche, eventuell auch nur qualitativen, Aussagen getroffen werden können.

7 Zusammenfassung

Um an dem sich ständig ändernden Automobilmarkt bestehen zu können, ist es immens wichtig alle Produkte und Prozesse stetig zu verbessern. Damit dies geschieht, ist es, gerade im Hinblick auf die enorme Verantwortung, die mit Sicherheitssystemen einhergeht, wichtig auch die Prüfprozesse weiterzuentwickeln. Um während der vorgegebenen Tests der Gurtschlösser auch gleichzeitig Informationen für die Entwicklungsabteilung zubekommen, hat man sich für die eigenständige Umsetzung eines Prüfstandes für Gurtschlösser entschieden.

Nach dessen Fertigstellung begann diese Arbeit, um die Eignung sicherzustellen. Dabei konnte in Kapitel 4 festgestellt werden, dass die Genauigkeit der Kraft- und Wegmessung sehr gut ist. Aber auch hier besteht noch Verbesserungspotenzial. So könnte als temporäre Lösung Teflonband zwischen den Gewinden der Kraftmesszellen und deren Aufnehmern gebracht werden, um das Spiel zwischen diesen zu verkleinern. Als dauerhafte Lösung sollten hier die Toleranzen überprüft und verkleinert werden.

So dann wurden verschiedene Muster angefertigt, um den Prüfstand unter realen Bedingungen zu testen. Dabei war schnell zu sehen, dass der programmierte Testablauf nicht den Vorgaben der AKLV entspricht. Aus diesem Grund musste dort nachgebessert werden. Die Wegsteuerung des Prüfstandes musste durch eine Kraftsteuerung ersetzt werden, da nach der AKLV nur Kraftgrenzen gegeben sind. Durch diese Nachbesserung ist aber die Dauerlauffähigkeit verloren gegangen und es konnten nur Untersuchungen der Grenzmuster aber nicht der Alterungsmuster gemacht werden. Auf diese Problematik wird weitergehend in den Kapiteln 8.1 und 8.2 eingegangen.

Während der Validierung mit den Schlossgrenzmustern ist aufgefallen, dass zwar Unterschiede im Verhalten der unterschiedlichen Schlösser beobachtet werden können, allerdings nur wenn diese über einen längeren Zeitraum betrachtet werden. Dadurch, dass während des Dauerlaufes so schnell wie möglich gefahren wird, um möglichst viele Zyklen in kurzer Zeit testen zu können, ist auch eine Abtastrate von 100 Hz wie auf der Zwick zu gering. Dies wird in den Kapiteln 8.3 und 8.4 näher beleuchtet.

Die Standardabweichung in den einzelnen Zyklen und Möglichkeiten Schlösser anhand der Messdaten zu untersuchen ist in Kapitel 6.1 dargestellt. Auch wenn die Standardabweichungen zwischen 0,3% - 0,6% (F.S.) liegen, ist für die Erkennung von unterschieden in den Schlössern eine höhere Abtastfrequenz sinnvoll. Hierzu finden sich weitere Überlegungen in Kapitel 8.4.

Um eine höhere Abtastrate auch speichern zu können, muss hier die Steuerung auch noch einmal überarbeitet werden, um die bis jetzt langsame Speicherung zu verbessern. Dieses Problem wird in Kapitel 8.5 weiter untersucht.

Es ist also durch die guten Ergebnisse des Kapitels 4 durchaus davon auszugehen, dass der Prüfstand in der Lage ist zu leisten, was von ihm erwartet wird, wenn alle offenen Punkte, die in dieser Arbeit angesprochen wurden, beseitigt werden. Ansätze für deren Beseitigung werden im nächsten Kapitel gegeben.

8 Ausblick

Infolge von Problemen mit dem Softwarelieferanten kam es bei der Bearbeitung dieser Arbeit zu erheblichen Verzögerungen. Aus diesem Grund konnten einige Tests nicht durchgeführt werden und müssen im Nachgang erledigt werden. Um die Voraussetzungen dafür zu schaffen sind noch weitere offene Punkte zu klären. In diesem Kapitel sollen die offenen Punkte angesprochen und Lösungsvorschläge vorgestellt werden. Genauso werden weitergehende Punkte angesprochen.

8.1 Dauerlauffähigkeit

Bis zuletzt konnten auf dem Prüfstand nicht zuverlässig mehrere tausend Zyklen gefahren werden. Es haben bei den Versuchen meist nur 50% der Module die geforderten Zyklen geschafft. Dies ist das größte Problem und damit auch der Grund gewesen, den Test der Alterungsmuster nicht mehr durchzuführen. Sinn und Zweck dieses Tests ist in Kapitel 6.3 beschrieben.

Das größte Problem ist hier, dass die betroffenen Module entweder während des Einsteckens stehen bleiben oder aber sich in einer Dauerschleife verfangen, bei der die Zunge nur ein paar Millimeter hoch und runter fährt. Das hoch und runter Fahren war ein Vorzeichenfehler in der Programmierung, der leicht behoben werden konnte. Dadurch wurde aber das Stehenbleiben nicht behoben. Es ist anzunehmen, dass hier nicht ausreichend fehlertolerant programmiert wurde. Eine weitere Erklärung wäre, dass einige Masseanbindungen nicht ausreichend sind oder sonstige mechanische Fehler. Diese sind unwahrscheinlich, sollten aber überprüft werden.

Da aktuell nur die Bewegung gestoppt wird sobald ein bestimmter Wert erreicht ist dies keine richtige Regelung, auch wenn dieser Wert mit verlangsamer Geschwindigkeit angefahren wird. Wenn die Kraftregelung (Kapitel 8.2) richtig umgesetzt wird, könnte sich dieser Punkt eventuell gleich mit beheben lassen.

8.2 Kraftregelung

Da momentan nur eine Kraftabschaltung für das Weiterfahren des Motors bei Erreichen eines bestimmten Kraftwertes realisiert ist, dies zu Problemen führt und nicht das ist, was gefordert war, muss eine Regelung implementiert werden. Diese sollte mit den, durch die OMRON-Software zur Verfügung gestellten, Funktionen zu realisieren sein. Exemplarisch ist in Abbildung 8.1 ein Regelkreis dargestellt.

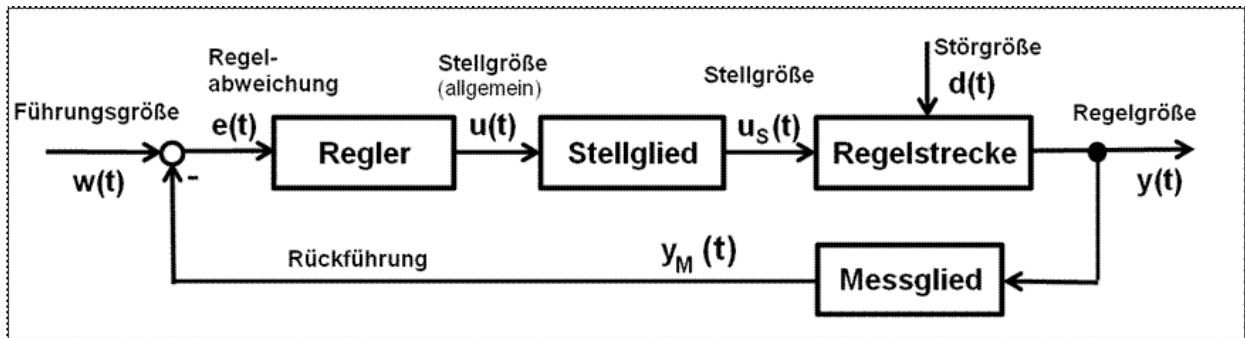


Abbildung 8.1: Blockdiagramm eines Standard-Regelkreises für eine einzige Regelgröße $y(t)$, sog. Eingrößen-Regelung als einschleifiger Regelkreis. [WR18]

Dabei sind die o.g. Größen in diesem Fall:

- Führungsgröße → eingegebene Kraftgrenze
- Regelabweichung → Links-/Rechtsdrehung des Motors
- Regler → Motorsteuerung
- Stellgröße → Winkeländerung des Motors
- Stellglied → Motor
- Regelstrecke → Motorwelle bis zur Kraftmesszelle
- Störgrößen → z.B. Reibung der Schiene
- Regelgröße → Kraft der Messzellen
- Messglied → Messzellen

Dabei muss so eine Regelung für die Einsteck-/Verriegelungs- und Öffnungskraft realisiert werden. Für diese Regelung ist es essenziell ein Abbruchkriterium zu definieren, da der Zyklus sonst nicht definiert weiterlaufen könnte.

Dazu werden zwei Kriterien festgelegt. Das erste ist, dass sobald die geforderte Kraft erreicht ist, diese für eine gewisse Zeit Δt gehalten werden soll. Hierfür wird ein Bereich um die geforderte Kraft (z.B. ± 5 N) definiert und sobald die Kraft für Δt in diesem Bereich gehalten wurde wird weitergefahren. Damit ist aber nicht ausgeschlossen, dass sich ein Modul in einem Regelvorgang aufhängt. Somit ist das zweite Kriterium eine Maximalzeit für diesen Vorgang. Diese wird aus geteachter Position (P_t) plus die 2-5mm Sicherheit (S) die eh schon addiert werden, minus der Initialposition (P_i) errechnet. Damit hat man einen maximalen Weg der zurückgelegt werden muss. Wird dieser durch die eingestellte Geschwindigkeit (v) geteilt erhält man eine Zeit (t). Diese wird zu Δt addiert und ergibt so die Maximalzeit für einen Regelzyklus. Berücksichtigt werden muss hier natürlich die Verringerung der Geschwindigkeit kurz bevor die Maximalwerte erwartet werden.

$$t = \frac{P_t + S - P_i}{v}$$

$$t_{max} = t + \Delta t$$

8.3 Erhöhung der Speicherrate/-frequenz

Diese Überlegung kommt vorrangig aus den Ergebnissen des Kapitels 6.1, da dort zu sehen ist, dass es teilweise sehr schwierig ist das korrekte Maximum beziehungsweise Minimum zu finden. Im ersten Schritt sollte überprüft werden, ob mit einem Tiefpassfilter von 50 Hz gearbeitet wurde. Von den reinen Messdaten ausgehend ist zu vermuten, dass dies nicht der Fall ist. Dies müsste mit dem Zulieferer erörtert werden.

Sollte es trotz Tiefpassfilters noch zu unklaren Ergebnissen kommen und das in Kapitel 8.5 besprochene Problem der Datenspeicherung behoben sein, so sollte auf jeden Fall überlegt werden, die Speicherrate zu erhöhen. Am besten auf 1000 Hz, wenn dies möglich ist. Dabei muss dann natürlich der Tiefpass angepasst werden. Damit sollte sich eine ähnlich klare Kurve ergeben wie bei der Zwick. Natürlich nicht ganz so genau, da hier mehrere Teile nicht so starr sind, wie an der Zwick.

8.4 Geschwindigkeitseinfluss

Wie in Kapitel 6.1.2.2 untersucht wurde, gibt es bei dem Modul 3 oft Probleme mit der Geschwindigkeitsreduzierung, die immer kurz vor Erreichen der jeweiligen Maximalkraft stattfinden sollte. Damit soll verhindert werden, dass die Kräfte die angegebenen Werte signifikant überschreiten und damit Fehler produzieren, die nicht nötig wären. Da auf den anderen Modulen eine solche Auffälligkeit nicht beobachtet worden ist, bleibt zu klären, woran dies liegt.

Im Allgemeinen ist der Geschwindigkeitsfaktor in dieser Arbeit nicht weiter untersucht worden. Die Prüffrequenz liegt im Bereich der Vorgaben der AKLV. Die einstellbare Verfahrgeschwindigkeit liegt mit der aktuellen Software bei maximal 35mm/s. Damit sollte auch diese Geschwindigkeit gefahren werden, da so die Prüfungen schneller beendet werden und dies im Sinne von Autoliv ist. Wie am Beispiel des Modul 3 zu sehen ist, ist trotz veränderter Geschwindigkeit kaum ein Unterschied über dem Weg zu sehen. Der einzige Nachteil ist, dass die Kraftwerte dann sehr leicht über Maximalwerte hinausgehen. Somit wäre mit neuem Softwarestand auch eine Untersuchung im Nachgang eventuell noch sinnvoll.

Da im vorigen Kapitel über die Erhöhung der Abtastrate nachgedacht wurde, sollte an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass auf der Zwick auch „nur“ mit 100 Hz abgetastet wird. Dort liegt die Verfahrgeschwindigkeit allerdings bei 100mm/min. Dies entspricht 1,7mm/s. Dies ist etwa $\frac{1}{20}$ der Geschwindigkeit des Dauerlaufprüfstandes. Damit müsste untersucht werden, ob eine nur zehn Mal höhere Abtastrate von dann 1000 Hz ausreichend ist oder ob diese weiter erhöht werden muss.

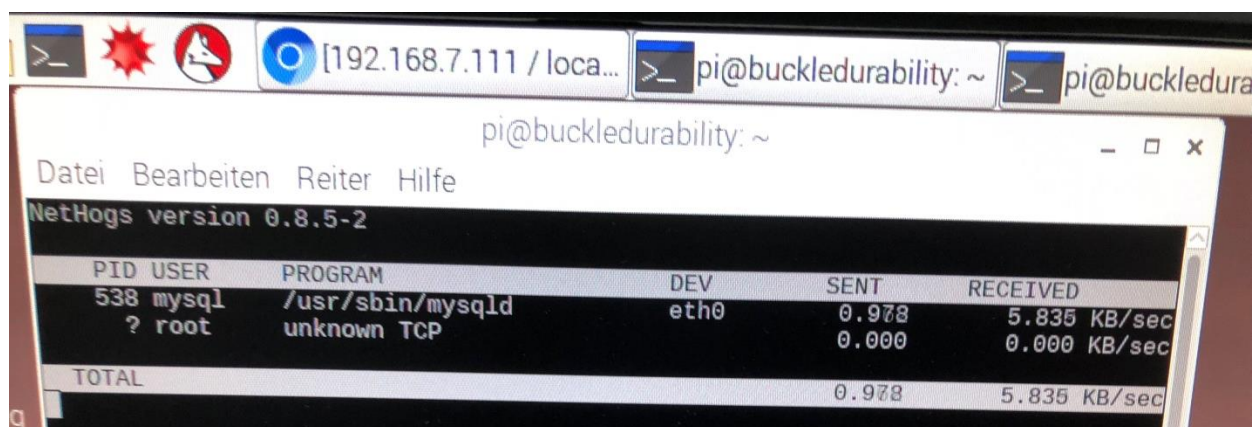
Dies wurde im Vorfeld nicht untersucht, da man versucht war so wenig Daten wie möglich aufzunehmen. Dann wurde die Frequenz auf 100 Hz erhöht. Ab diesem Zeitpunkt wurden dann aber Test ohne richtigen Zyklus durchgeführt und so viel dieses Problem erst zum Ende dieser Arbeit auf.

8.5 Speicherproblem

Während der Versuche ist aufgefallen, dass der Datentransfer von der Steuerung zu der Datenbank sehr langsam ist. Es werden Übertragungsraten von 5-7 KB/s erreicht. (Abbildung 8.2) Das entspricht etwa 50-70 Zeilen pro Sekunde. Da alle 10ms gespeichert wird ergibt dies 100 Zeilen pro Sekunde. Bei einem normalen Dauerlauf ohne Fehlzyklen und wenn beispielsweise alle 100 Zyklen gespeichert wird ist dies zwar kein Problem, allerdings wenn vermehrt Fehler auftreten, da diese Zyklen dann noch zusätzlich gespeichert werden müssen.

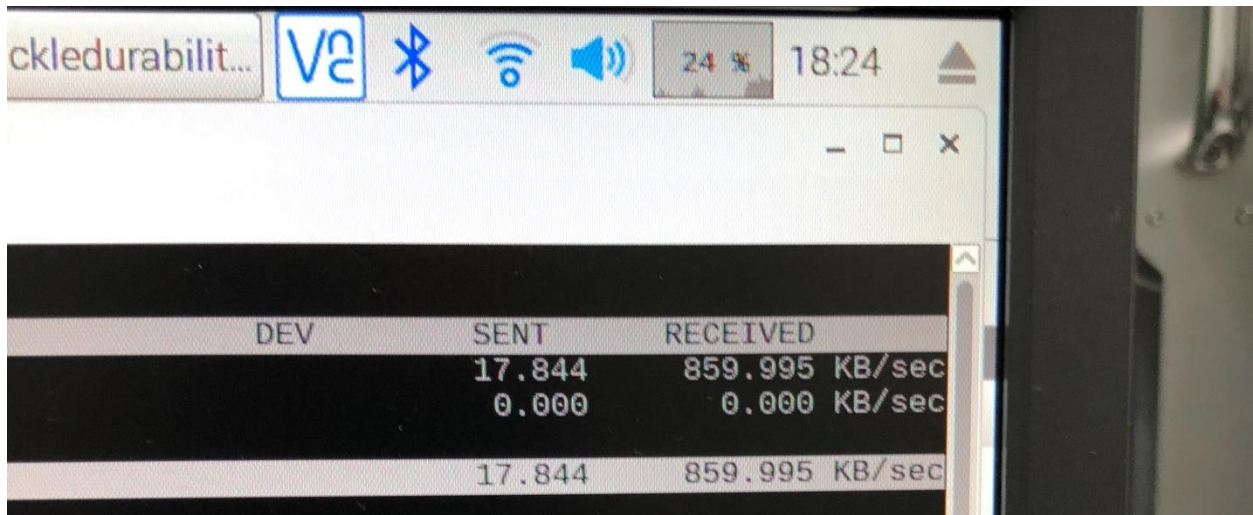
Da bei dem Herunterladen der Daten aus der Datenbank ca. die 100-fache Geschwindigkeit erzielt wird, werden zu diesem Thema weiterführende Untersuchungen angestellt. Um einen Engpass bei der Datenbank auszuschließen, wird ein weiterer Raspberry Pi mit dem Programm „SysBench“ präpariert, welches vorrangig zum Testen des Systems (Server), auf dem es installiert ist, dient. Da aber vor allem die Kommunikation über Ethernet untersucht werden soll, wird die Syntax, um das Programm aufzurufen so modifiziert, dass alle Tests über die Ethernet-Schnittstelle auf der eigentlichen Datenbank durchgeführt werden. Da hauptsächlich die Datenrate beim Schreiben von Daten via Ethernet auf der Datenbank von Interesse ist, wird über den zweiten Raspberry Pi eine Tabelle mit 1.000.000 Zeilen erstellt und dabei der Datenverkehr mit einem anderen Tool überwacht. Dabei ist zu beobachten, dass auf diesem Weg Geschwindigkeiten von ca. 620-890 KB/s erreicht werden. (Abbildung 8.3) Dabei ist die Datenbank CPU zu 23-28% ausgelastet (vollständiger Benchmark-Bericht im Anhang). Somit ist datenbankseitig ein Vielfaches von dem möglich, was der Prüfstand derzeit leistet.

Ein mögliches Problem ist, dass das Senden der Daten nur einmal pro Primary-Task geschieht. Diese Zahl (Chunk-Size) sollte normalerweise bei ca. 15 pro Task liegen. Da der Primary-Task noch ohne Probleme ausgeführt werden kann, sollte nichts dagegen sprechen. Dies sollte bei der Überarbeitung der Software berücksichtigt werden. Vor allem wenn, wie in Kapitel 8.3 beschrieben, die Speicherrate der Daten erhöht werden sollte.



```
pi@buckledurability: ~
Datei Bearbeiten Reiter Hilfe
NetHogs version 0.8.5-2
  PID USER   PROGRAM          DEV  SENT  RECEIVED
  538 mysql  /usr/sbin/mysqld eth0  0.978  5.835 KB/sec
   ? root   unknown TCP      0.000  0.000 KB/sec
TOTAL                                0.978  5.835 KB/sec
```

Abbildung 8.2: Datenrate aktuell



DEV	SENT	RECEIVED
17.844	17.844	859.995 KB/sec
0.000	0.000	0.000 KB/sec
17.844	17.844	859.995 KB/sec

Abbildung 8.3: Mögliche Datenrate

8.6 Geräuschemissionen

Während der Vorversuche fiel auf, dass der Prüfstand sehr laut ist. Zwar fehlt noch die hintere Plexiglasabdeckung, allerdings wird dadurch keine großartige Änderung erwartet. Somit ist zu prüfen, wo der Prüfstand betrieben wird und welche Maßnahmen getroffen werden müssen, um den Arbeiterschutz zu gewährleisten. So könnte versucht werden mit dämmenden Materialien zu arbeiten oder die Maschine an einem Ort aufzustellen, wo schon eine erhöhte Geräuschemission gegeben ist und das Tragen von Gehörschutz Pflicht ist. Alternativ müsste überlegt werden, die Motoren gegen leisere zu tauschen.

Die Weiteren Versuche wurden in dem Bereich der Umweltsimulation gemacht. Da dort auch andere Dauerläufer und Klimakammern stehen, herrscht dort ohnehin schon ein hoher Geräuschpegel und das Anlegen von geeigneten Schutzeinrichtungen ist Pflicht. Damit ist dies erstmals der beste Platz solange der Prüfstand ähnlich laut ist. Sollte ein alternativer Aufstellungsort angestrebt werden, müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden.

8.7 Unterschiedliche Prüffrequenz

In Kapitel 6.2.2.2 ist aufgefallen, dass die einzelnen Module eine etwas unterschiedliche Prüffrequenz haben. Sie liegen innerhalb der zulässigen Toleranzen. Weitergehend könnte untersucht werden, wo diese Unterschiede herkommen. Es wäre möglich, dass diese nicht unbedingt mit den Modulen zu tun haben, wobei diese auch ein wenig verschieden sind, sondern auch Schloss bedingt sein können. So wäre zu untersuchen, was ein früher oder später verriegelndes, fertigungstoleranzbehaftetes, schwächer oder stärker auswerfendes Schloss für einen Einfluss auf die Zyklen pro Minute hat.

8.8 Anpassung an andere Anforderungen

Während der Bearbeitung gab es bereits eine Anfrage aus dem Werk/Testlabor in Rumänien. Diese produzieren und testen vor allem nach den Spezifikationen von Renault Nissan. Diese Spezifikationen sind etwas anders als die der AKLV. Nachfolgend sind die relevanten Teile der Vereinbarung „RNDS-C-00457 v1.0“ dargestellt. Erläuternde Illustrationen sind Abbildung 8.4 und Abbildung 8.5.

Operating procedure:

The test is conducted at ambient temperature.

- The buckle is rigidly attached along the longitudinal axis of cylinder "V1"
- The latch is flexibility mounted at the end of cylinder "V1" so that it can position itself freely when introduced in the buckle

Test cycle

- Cylinder "V1" introduces the latch in the buckle, then, once the latch is locked, applies a force "F" of 10 N in the opposite direction
- Cylinder "V2" advances, pushes the push-button, and releases the latch which moves back under the action of "V1" cylinder force "F"
- Cylinder "V2" moves back.
- For cylinders "V1" and "V2", the speed is $0,5 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$, and the insertion force of cylinder "V1" is $30 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$.
- The test is performed at a rate of 25 ± 5 cycles per minute
- 10 000 cycles following A, 10 000 cycles following B and 10 000 cycles following C to be performed is indicated in Product Specification

Results:

No abnormal wear or rupture of the following parts: lock, plate, latch, casings, push-button, springs shall be noticed.

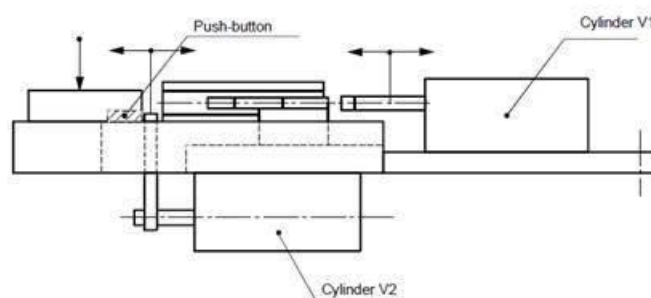


Abbildung 8.4: Seitenansicht Testaufbau für Renault Nissan [AL18]

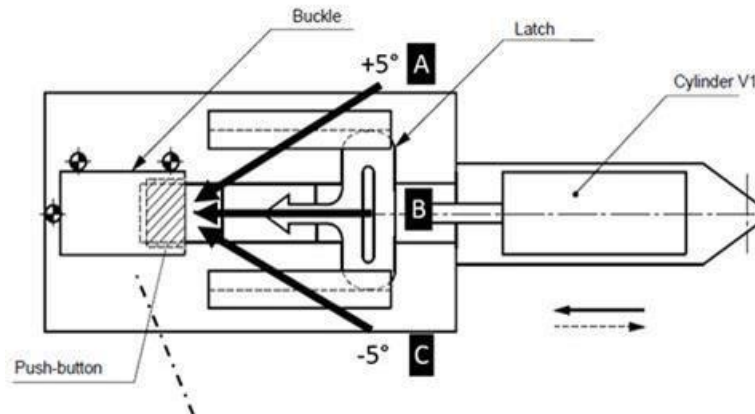


Abbildung 8.5: Draufsicht Testaufbau für Renault Nissan [AL18]

Die unterschiedlichen Winkel sollten durch entsprechende Nester für die Schlösser realisierbar sein. Da in Planung ist, das Nest der Zunge zu ändern und dieser damit weniger Möglichkeit geben sich darin zu bewegen und über, zur Längsachse verdrehte Nester der Schlösser, sollte diese Anforderung leicht umsetzbar sein. Die sehr hohen Geschwindigkeiten, die hier gefordert sind, dürften das größte Problem darstellen. Diese liegen mit 500mm/s bei mehr als dem 14-fachen, was zurzeit möglich ist. Sollte über einen Einsatz für diesen Zweck nachgedacht werden, muss dies berücksichtigt werden und der Prüfstand angepasst werden.

8.9 Jährliche Kalibrierung

Da auch dieser Prüfstand einer jährlichen Kalibrierung unterzogen werden muss, um die Prüfmittleignung weiter zu gewährleisten, wäre es sinnvoll einen Halter für diese Prüfvorrichtung zu entwickeln. Damit wäre gewährleistet, dass die Maschine getestet werden kann ohne sie auseinanderbauen zu müssen und die Messeinrichtungen anderweitig kalibrieren zu lassen.

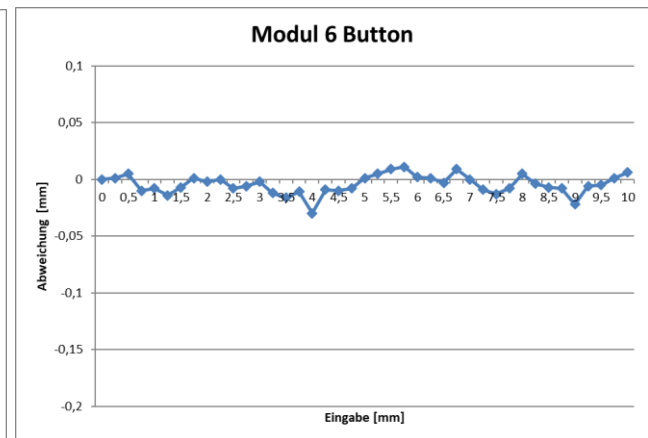
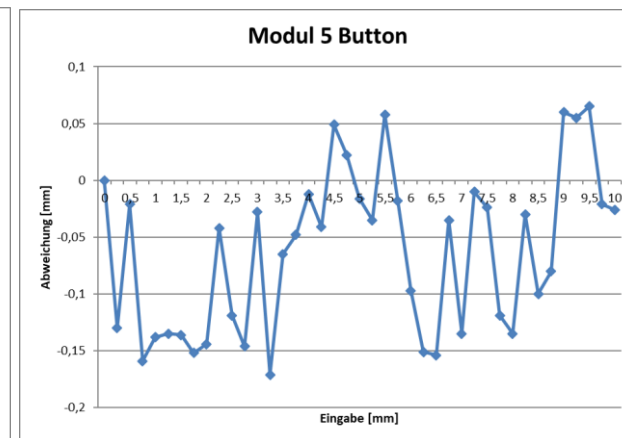
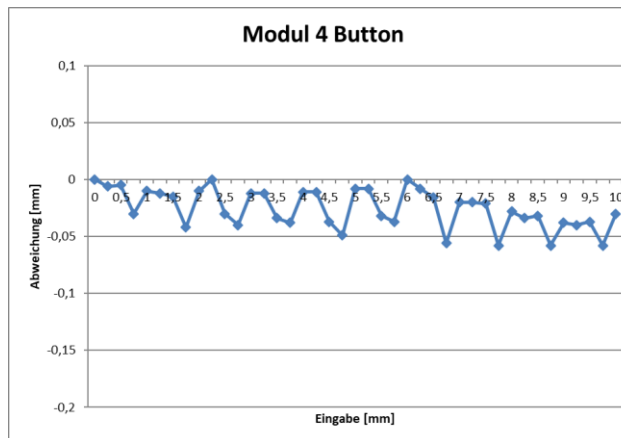
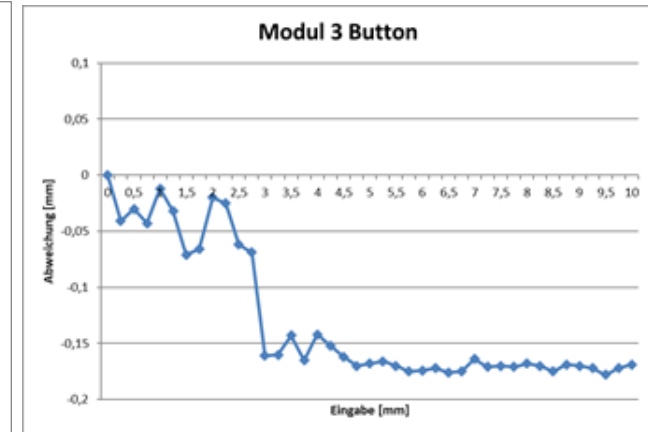
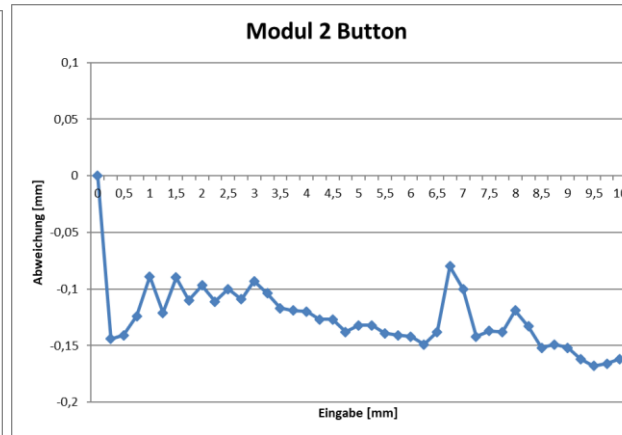
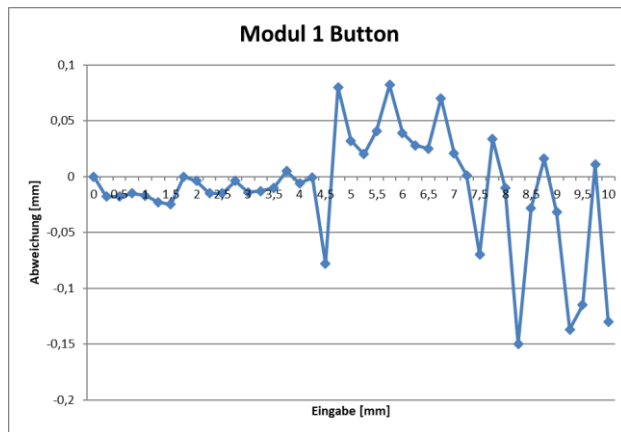
Um dies möglichst einfach und transparent zu gestalten, wäre auch ein Ablaufplan und ein vorgefertigtes Protokoll sinnvoll, um Fehler zu minimieren und alles so effizient wie möglich zu gestalten.

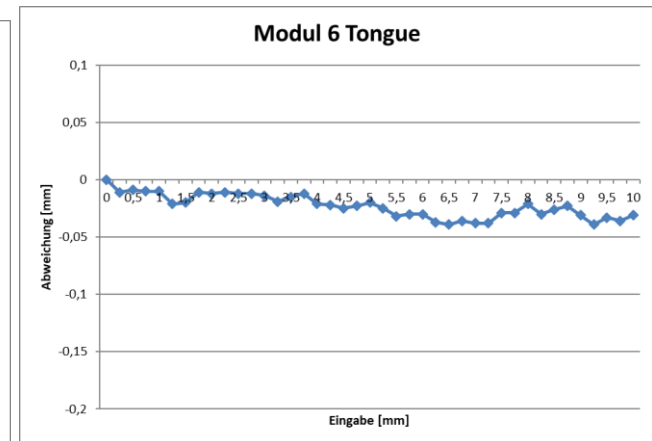
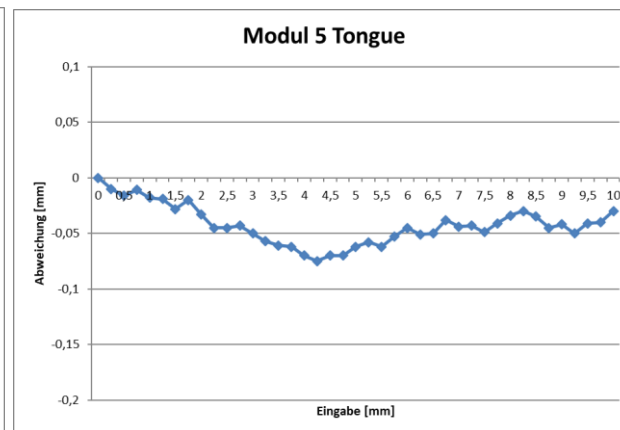
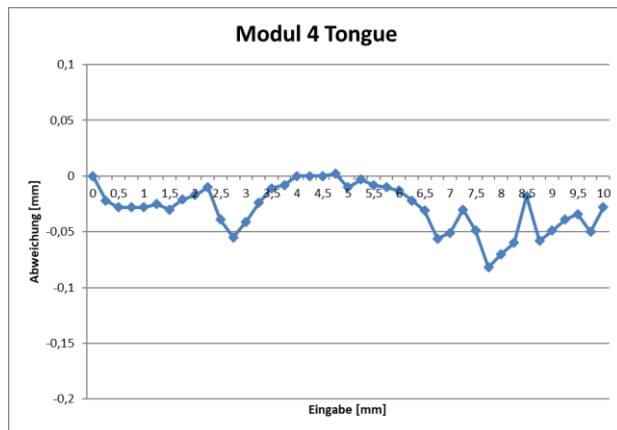
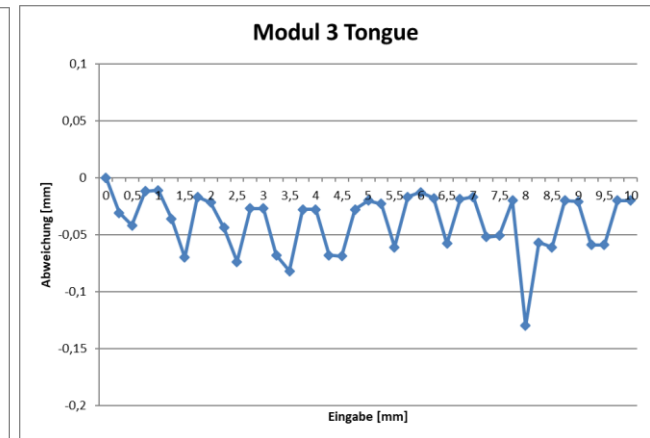
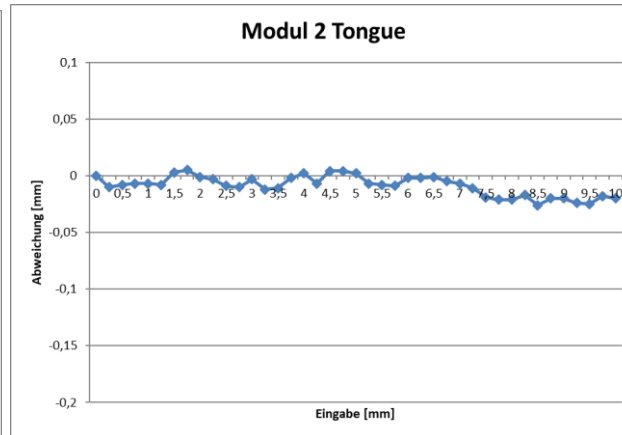
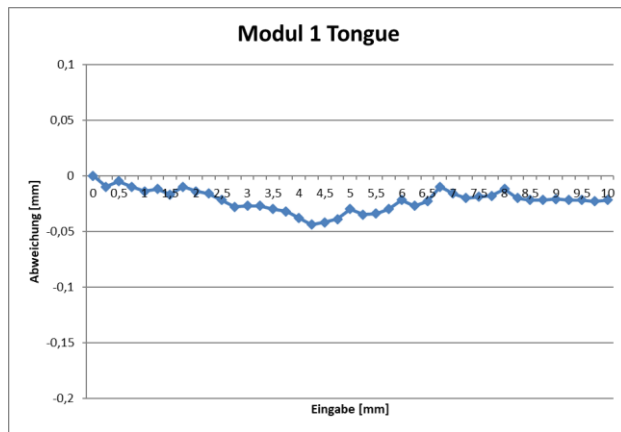
Literaturverzeichnis

- [AL18] Autoliv: interne Datenbank
- [DS07] **Edgar Dietrich & Alfred Schulze:** *Eignungsnachweis von Prüfprozessen: Prüfmittelfähigkeit und Messunsicherheit im aktuellen Normenumfeld – 3.* Aktualisierte und erweiterte Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 2007
- [KG18] <http://www.klaus-gach.de/dateien/stats/varianz1.pdf>; Zugriff am 30.07.2018 um 10:24 Uhr
- [OP10] **Ole Piening,** *Untersuchung einer alternativen kraftschlüssige Verbindung von Gurtschlosskappen mittels der Six Sigma Methode und der statistischen Versuchsplanung – HAW Hamburg Masterarbeit FuF, 2010*
- [PS16] **Stefan Pischinger & Ulrich Seiffert:** *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik - 8., aktual. & erweiterte Aufl. [Online-Ausg.] - Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016*
- [RS18] https://www.researchgate.net/figure/Functional-block-diagram-of-safety-management-system-for-tower-crane-TC-STE_fig4_264384725; Zugriff am 24.09.2018 um 10:40 Uhr
- [UD18] <https://www.ub-dietz.net/know-how/information-for-experts/parameter-diagrams-p-diagrams/>; Zugriff am 25.06.2018 um 10:37 Uhr
- [WI18] https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ishikawa-KMT_QFM.png; Zugriff am 02.05.2018 um 12:05 Uhr
- [WR18] https://de.wikipedia.org/wiki/Regelungstechnik#/media/File:Blockschaltbild_erweiterter_regelkreis.gif; Zugriff am 17.09.2018 um 10:11

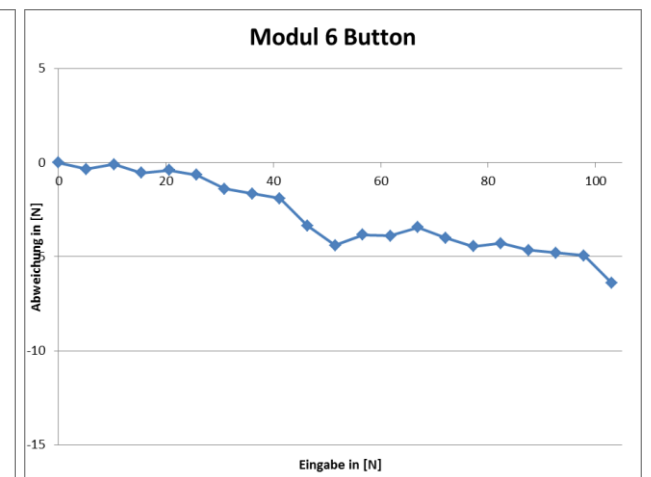
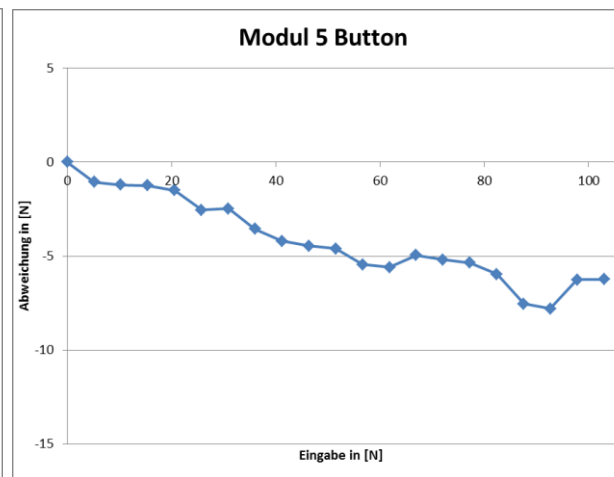
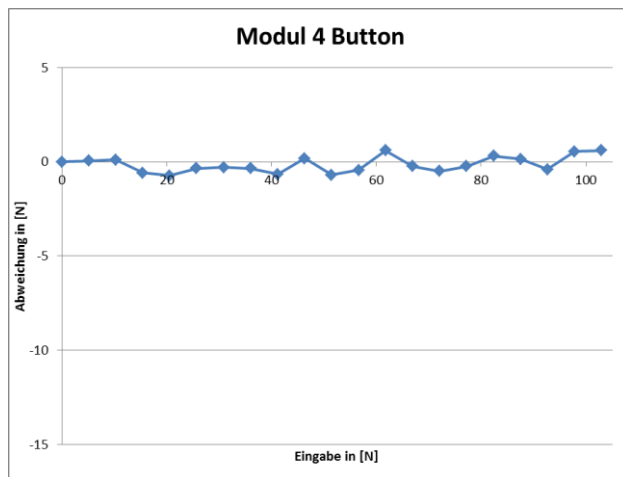
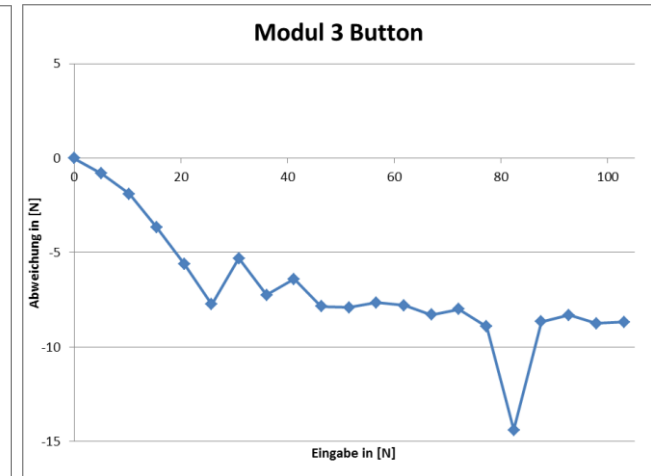
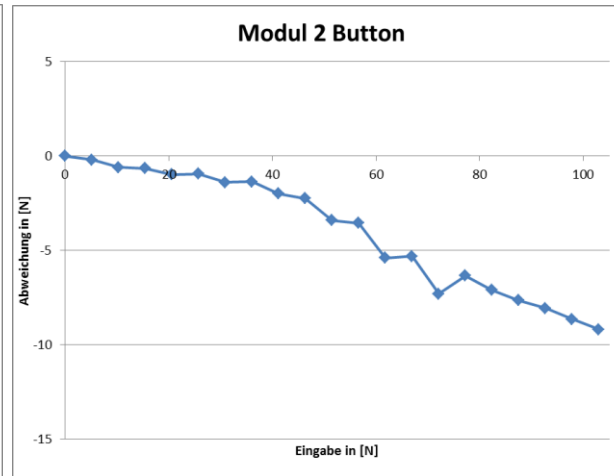
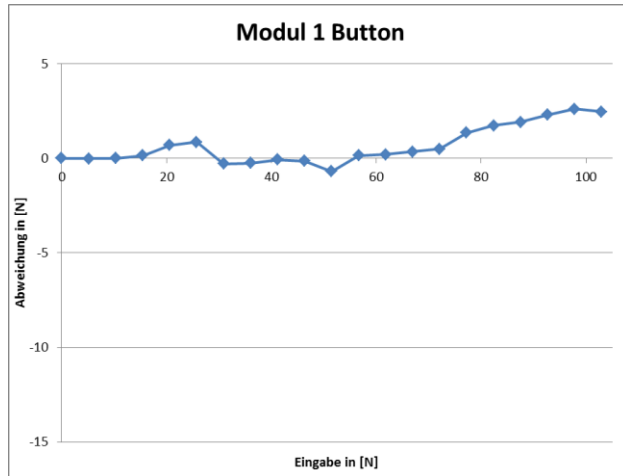
Anhang

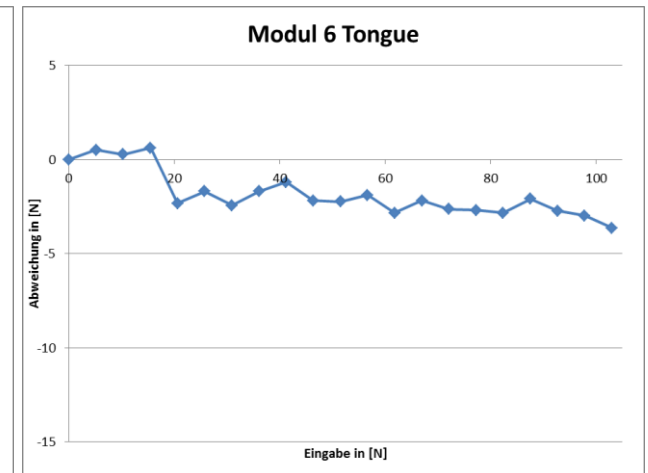
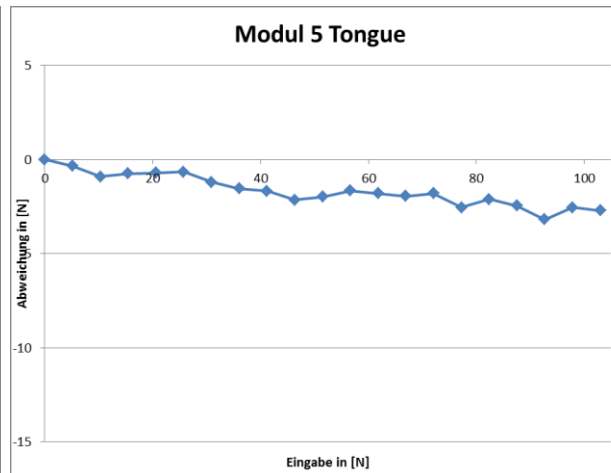
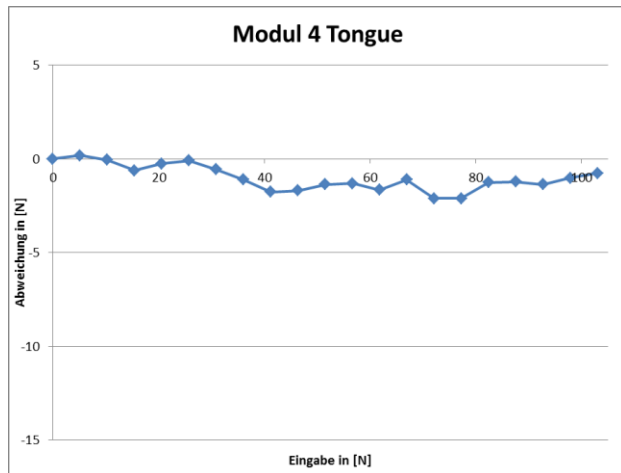
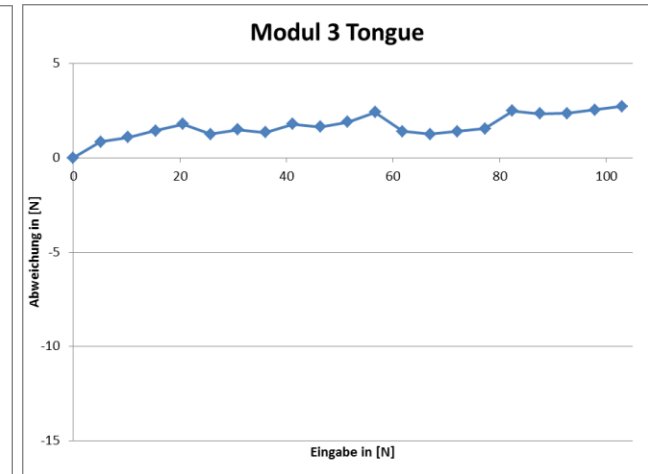
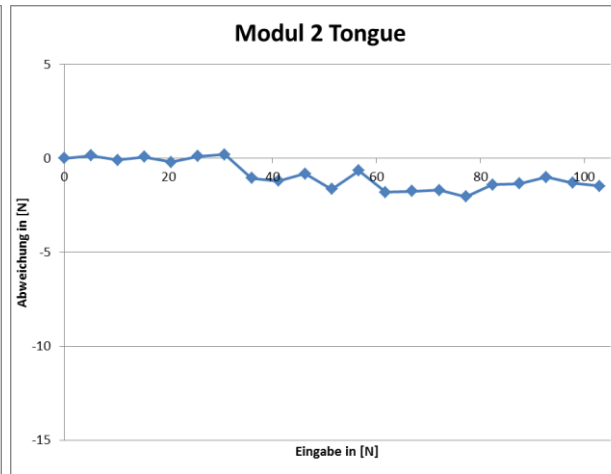
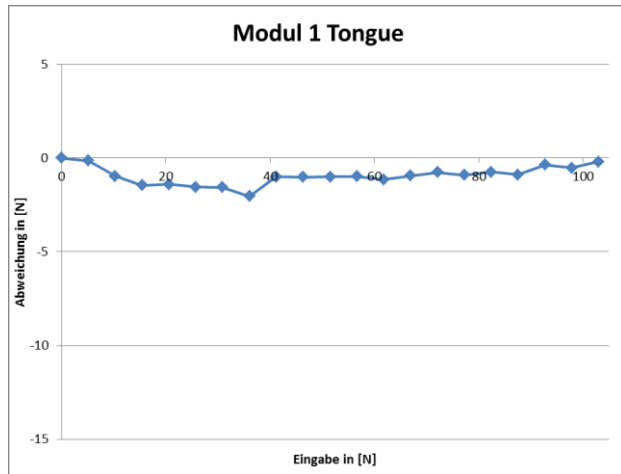
Folgende Graphen zeigen die Linearitätsabweichungen der Module für Button und Zunge für die Wegmessung.












Folgende Graphen zeigen die Linearitätsabweichungen der Module für Button und Zunge für die Kraftmessung.

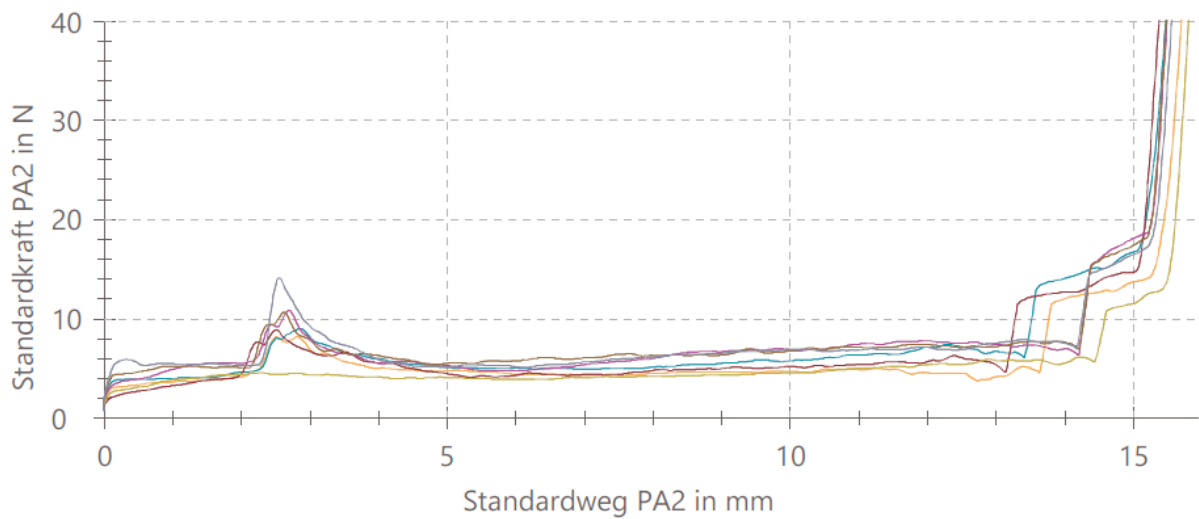











Folgende Graphen zeigen die letzten drei Messungen der Eingangsmessung der Einsteckkräfte. Die Nummern bezeichnen die Muster.

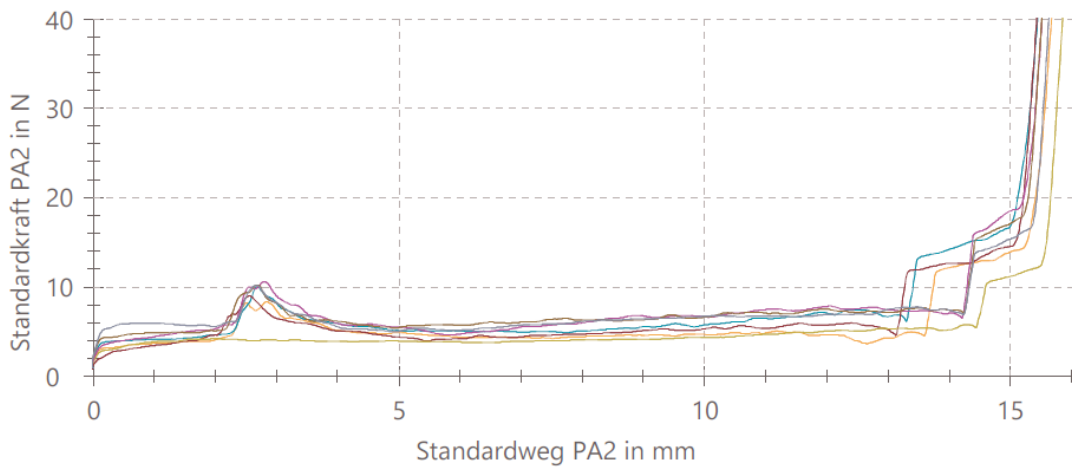
Legende	Nr	N	mm	n = 7	N	
	1	1	46,18	15,77	min	45,91
	2	2	45,91	15,54	\bar{x}	46,83
	3	3	46,80	15,44	max	47,79
	4	4	47,56	15,88	s	0,72
	5	5	47,23	15,56	V [%]	1,54
	6	6	47,79	15,56	$\bar{x} - 3s$	44,66
	7	7	46,34	15,63	$\bar{x} + 3s$	49,00








Seriengrafik:



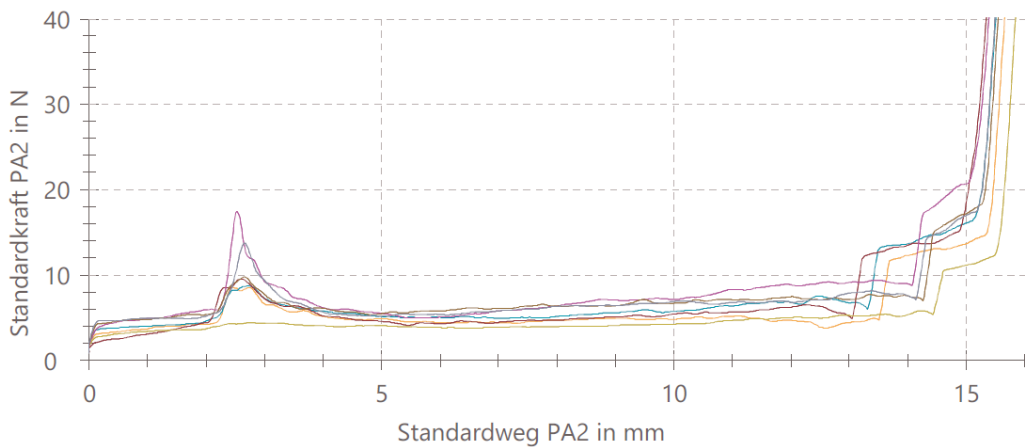
Legende	Nr	N	mm	n = 7	N
	1	1	46,62	min	45,85
	2	2	45,85	\bar{x}	46,98
	3	3	47,08	max	48,16
	4	4	46,86	s	0,73
	5	5	46,77	V [%]	1,55
	6	6	47,55	$\bar{x} - 3s$	44,80
	7	7	48,16	$\bar{x} + 3s$	49,17

Seriengrafik:









Legende	Nr	N	mm	n = 7	N
	1	1	47,01	min	45,38
	2	2	46,68	\bar{x}	46,60
	3	3	45,84	max	47,89
	4	4	47,89	s	0,83
	5	5	45,38	V [%]	1,78
	6	6	46,38	$\bar{x} - 3s$	44,11
	7	7	47,03	$\bar{x} + 3s$	49,09

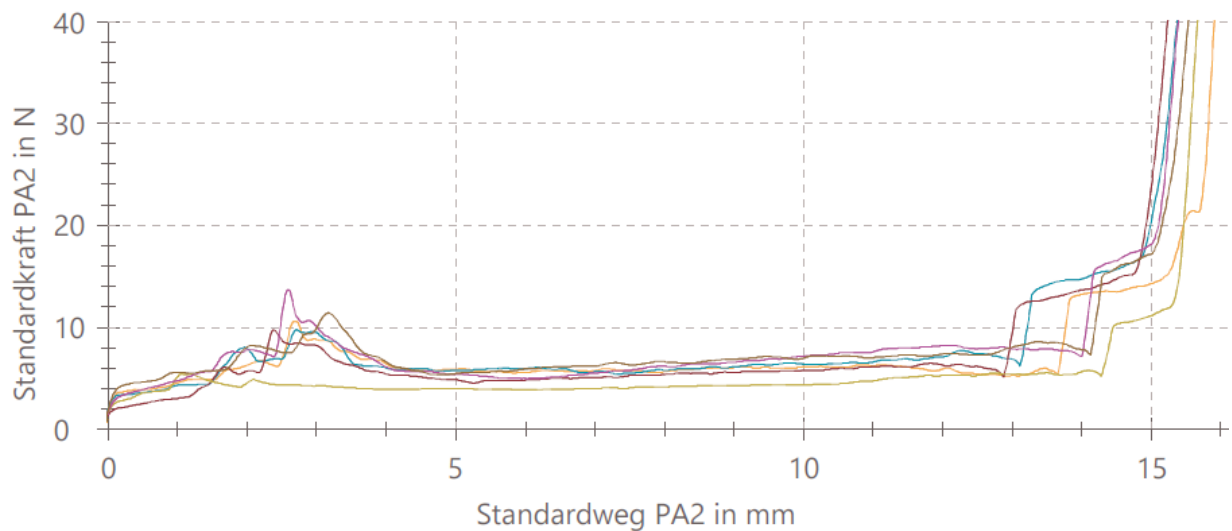
Seriengrafik:



Folgende Graphen zeigen die ersten drei Messungen der Ausgangsmessungen der Einsteckkräfte. Die Nummern bezeichnen die Muster:

Legende	Nr	N	mm	n = 6	N
	1	1	48,35	min	43,60
	2	2	43,60	\bar{x}	45,39
	3	3	44,45	max	48,35
	4	4	46,45	s	1,77
	5	5	45,37	V [%]	3,89
	6	6	44,13	$\bar{x} - 3s$	40,10
				$\bar{x} + 3s$	50,69

Seriengrafik:

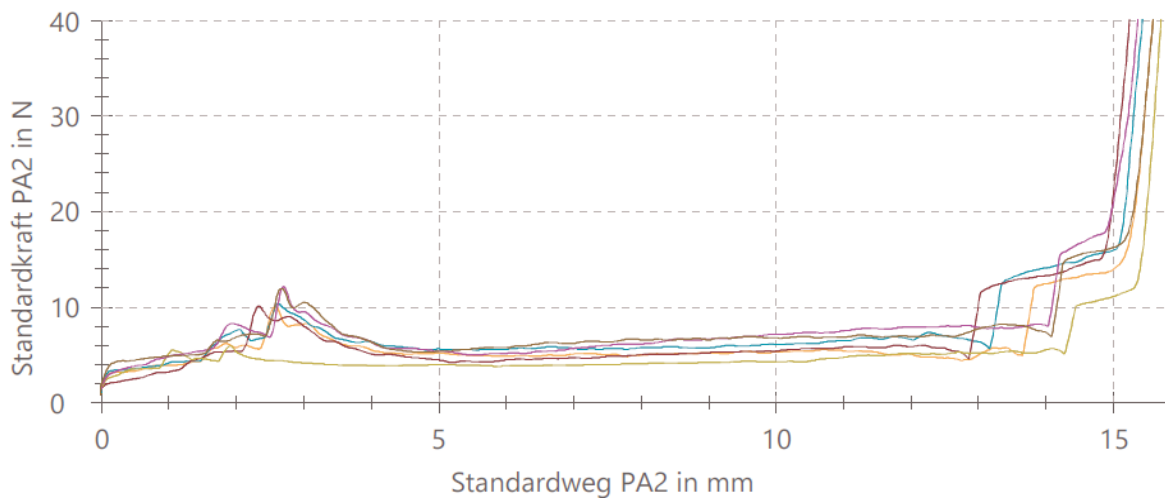




Nr	N	mm
1	1	42,55
2	2	44,67
3	3	45,64
4	4	46,21
5	5	44,74
6	6	42,96

n = 6	N
min	42,55
\bar{x}	44,46
max	46,21
s	1,45
V [%]	3,25
$\bar{x} - 3s$	40,12
$\bar{x} + 3s$	48,80

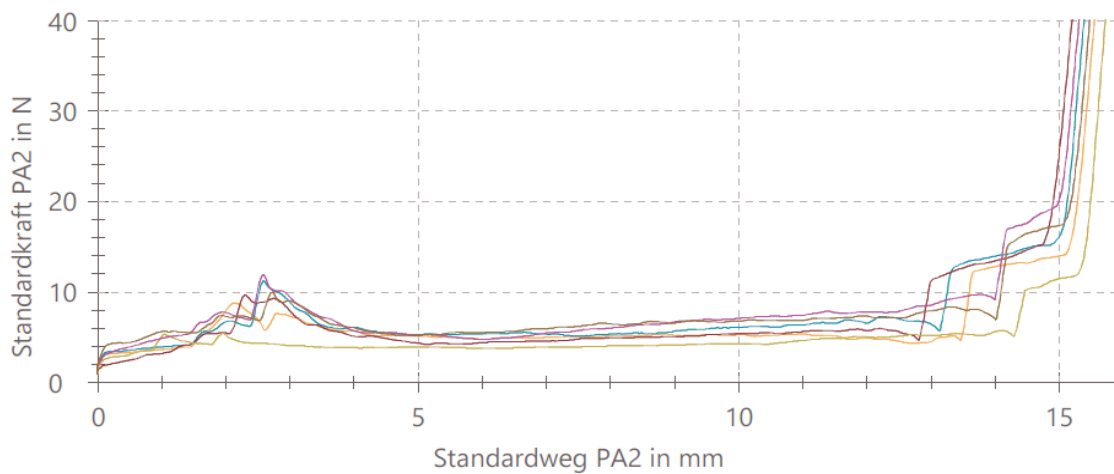
Seriengrafik:



Nr	N	mm
1	1	42,99
2	2	44,63
3	3	44,87
4	4	46,08
5	5	44,61
6	6	44,83

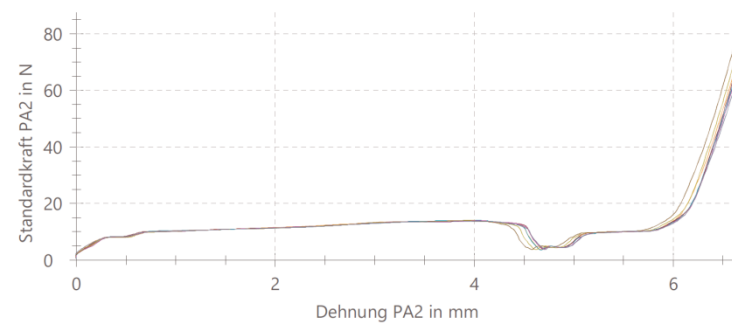
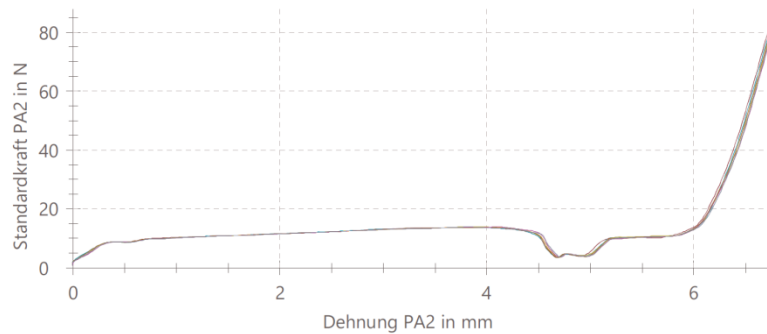
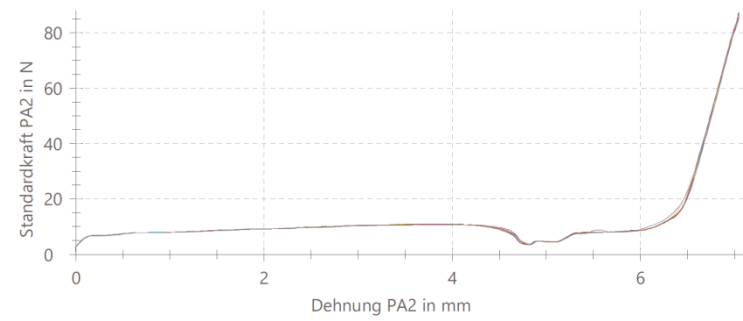
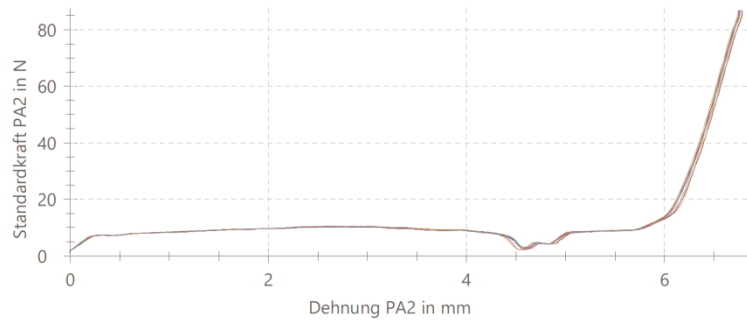
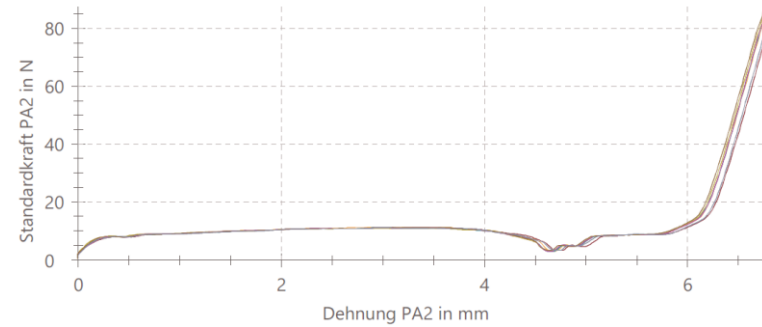
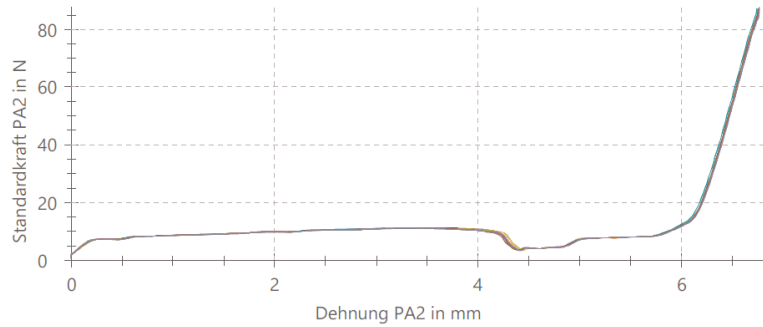
n = 6	N
min	42,99
\bar{x}	44,67
max	46,08
s	0,99
V [%]	2,21
$\bar{x} - 3s$	41,71
$\bar{x} + 3s$	47,62

Seriengrafik:



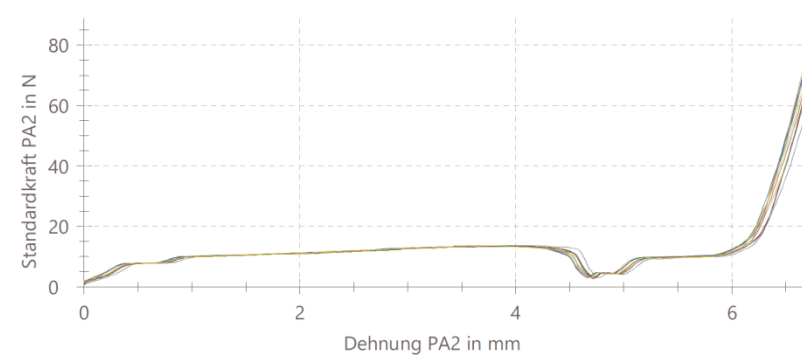
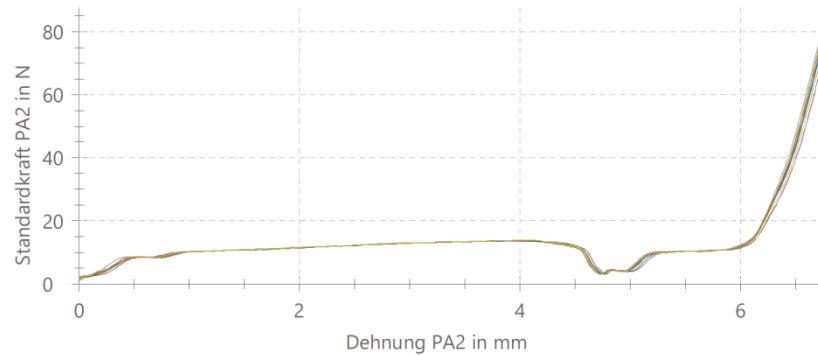
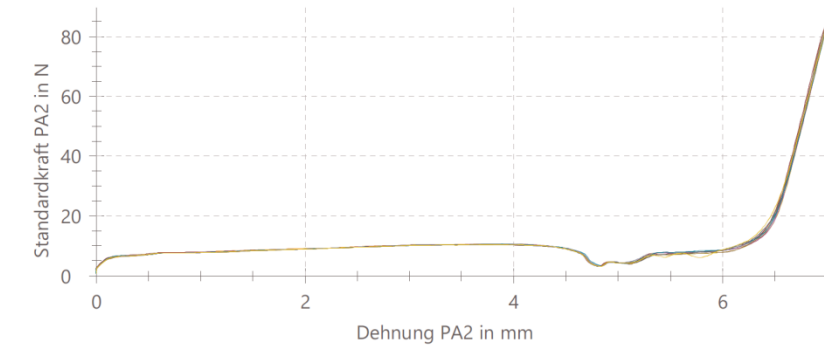
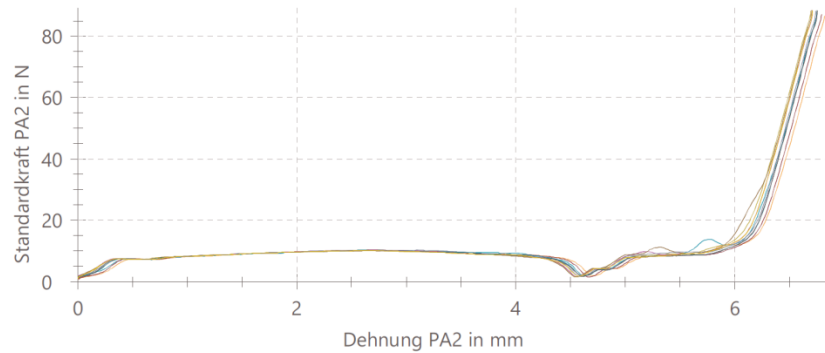
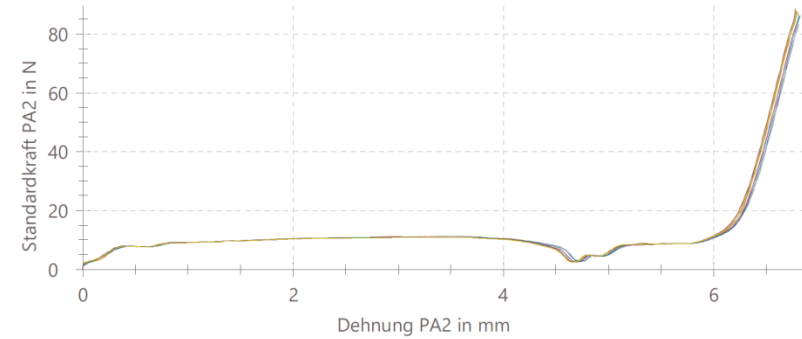
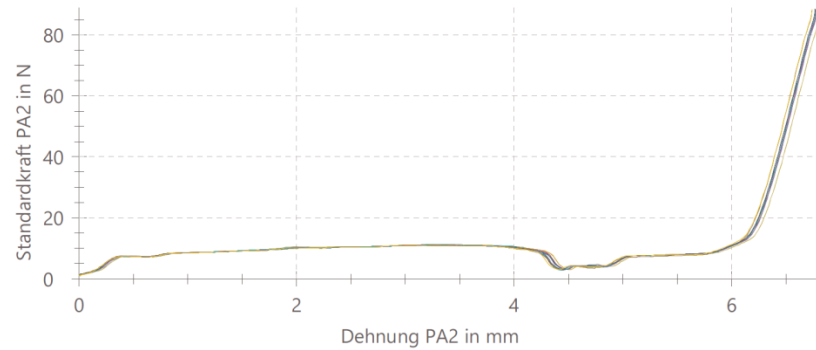
Folgende Graphen zeigen die sieben letzten Messungen der Eingangsmessungen der Öffnungskräfte. Die Nummern bezeichnen die Messung. Schloss1 oben links, Schloss 3 mittig links, Schloss 6 unten rechts.

○=1; ○=2; ○=3; ○=4; ○=5; ○=6; ○=7



Folgende Graphen zeigen die zehn Messungen der Ausgangsmessungen der Öffnungskräfte. Die Nummern bezeichnen die Messung. Schloss1 oben links, Schloss 6 unten rechts.

🟠=1; 🟢=2; 🟣=3; 🟡=4; 🟠=5; 🟤=6; 🟡=7; 🟢=8; 🟣=9; 🟡=10



Folgend ist der Benchmark-Bericht der SQL Datenbank zu sehen. Dabei war eine CPU-Auslastung von 85-90% und eine CPU-Temperatur von 63°C zu beobachten.

```
sysbench --test=oltp --oltp-table-size=1000000 --mysql-host=192.168.178.150 -  
-mysql-user=machine --mysql-password=machine1234 --mysql-db=buckle_durability  
--mysql-ssl=on --max-time=60 --max-requests=0 --num-threads=8 runsysbench  
0.4.12: multi-threaded system evaluation benchmark
```

```
No DB drivers specified, using mysql  
Running the test with following options:  
Number of threads: 8
```

```
Doing OLTP test.  
Running mixed OLTP test  
Using Special distribution (12 iterations, 1 pct of values are returned in  
75 pct cases)  
Using "BEGIN" for starting transactions  
Using auto_inc on the id column  
Threads started!  
Time limit exceeded, exiting...  
(last message repeated 7 times)  
Done.
```

```
OLTP test statistics:  
  queries performed:  
    read:                93436  
    write:               33370  
    other:               13348  
    total:              140154  
  transactions:         6674   (111.16 per sec.)  
  deadlocks:            0      (0.00 per sec.)  
  read/write requests: 126806 (2112.13 per sec.)  
  other operations:     13348  (222.33 per sec.)
```

```
Test execution summary:  
  total time:           60.0371s  
  total number of events: 6674  
  total time taken by event execution: 479.8934  
  per-request statistics:  
    min:                34.33ms  
    avg:                71.90ms  
    max:                236.86ms  
    approx. 95 percentile: 117.58ms
```

```
Threads fairness:  
  events (avg/stddev):  834.2500/13.47  
  execution time (avg/stddev): 59.9867/0.01
```

Eidesstattliche Erklärung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 10 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann –auch nachträglich– zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Voß

Vorname: Kevin Steve

dass ich die vorliegende – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Fähigkeitsnachweis einer Lebensdauerlaufprüfmaschine für Gurtschlösser.

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der _____ ist erfolgt durch:

Hamburg

01.10.2018

Ort

Datum

Unterschrift im Original