

Masterarbeit

KONZEPTIONIERUNG, KONSTRUKTION UND INBETRIEBNAHME EINES FALLTESTS

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Philipp Kreinz, BSc.

Personenkennzeichen

1610322001

betreut und begutachtet von

Dr. Christian Gasser

Graz, im Dezember 2017

.....
Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....
Unterschrift

DANKSAGUNG

Meiner Familie, besonders meinen Kindern, möchte ich für die Geduld und die Kraft danken, die mir das Erstellen dieser Arbeit ermöglichte. Meinem Betreuer möchte ich für die Vergabe dieses interessanten Themas und der hervorragenden Betreuung sowie dem erteilten Rat danken.

KURZFASSUNG

Der Trend zur Produktion in hoher Stückzahl, weltweiter Verfügbarkeit und das Einführen neuer „smarter“ Artikel nimmt stetig zu. Deswegen sind Hersteller darauf bedacht ein Qualitätssiegel zu erteilen, welches Marktteilnehmer die Entwicklung erschwert und das Aufholen des Vorsprunges verlängert. Dies erfordert jedoch Prüfmethode der hergestellten Artikel, die zuverlässig und abgestimmt auf die jeweiligen Produkte sind. Aus diesem Grund werden sehr oft maßgeschneiderte Prüfmaschinen, die den Richtlinien der Hersteller entsprechen, konstruiert und integriert. Das Einbringen solcher Methoden lässt Fehler direkt in dem Herstellungsprozess erkennen und mindert den möglichen Schaden der dadurch entstehen kann.

In dieser Arbeit wird eine Methode zur Überprüfung der Qualität des Materials sowie den zusammengesetzten Komponenten von elektronischen Preisschildern beschrieben und mit dem Aufbau eines Prototyps nachgewiesen. Zur Realisierung, um die Durchführung eines Falltests zu ermöglichen, ist ein Prüfgerät konzeptioniert und konstruiert, welches für diese Art Produkt auf dem aktuellen Markt nicht existiert. Der Aufbau dieses Prototyps ist im Detail beschrieben und im Zuge einer Inbetriebnahme auf Funktionalität überprüft. Um den Nachweis der erfolgreichen Umsetzung der Konstruktion zu erbringen, wird der Testlauf einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme unterzogen. Die Anforderungen werden vom Hersteller klar definiert und sind in die Arbeit mit eingeflossen.

ABSTRACT

The trend of high quantity production, worldwide availability and the introduction of new “smart” products are steadily increasing. Therefore, manufacturers intend to use quality seals to prevent competitors from developing similar products in time and to extend their own leading position on the market. This requires new testing methods which are reliable and adjustable to the products. For this reason, engineers often develop customized test rigs that comply with the guidelines of manufacturers. The introduction of such methods allows detecting errors directly during the manufacturing process and reduces the potential damage that can result.

This thesis examines a method of testing the quality of materials and the assembled components of an electronic device. Furthermore, the composition of a prototype is used to confirm the results of the testing method. A testing device to perform a drop test is designed, which does not exist for this kind of products. The structure of this prototype is described in detail including a thorough documentation of all findings of the start-up. In order to proof the successful implementation of the mechanical design, a test run has been subjected to a high speed recording. The requirements were clearly defined by the manufacturer and have been integrated in this paper.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Ziele dieser Arbeit.....	2
1.2	Motivation.....	2
1.3	Beschreibung der zu testenden Produkte	3
2	Einführung in die Prüfverfahren	4
2.1	Richtlinien	5
2.2	Bestehende Normen.....	6
2.2.1	Normen der Verpackungsindustrie	7
2.2.2	Normen aus der Mobilfunkindustrie	8
2.2.3	Normen von elektrischen Geräten	8
2.3	Lastenheft	9
2.4	Flexibles Prüfverfahren	11
2.5	Produktion.....	11
3	Falltest.....	13
3.1	Verfahrensweise des Falltests.....	14
3.2	Physikalische Grundlagen	16
3.2.1	Freier Fall ohne Luftwiderstand	18
3.2.2	Freier Fall mit Luftwiderstand	19
3.2.3	Reibung.....	20
3.2.4	Magnetismus / Elektromagnet	22
3.3	Einflüsse durch unterschiedliche Temperaturen	26
4	Konzept des Prüfgerätes.....	27
5	Mechanischer Aufbau.....	32
5.1	Gestell / Rahmen	32
5.2	Führungsschlitten und Lagerung	36
5.3	Haltemechanismus / Auslöser	39
5.4	Dämpfung	44
5.5	Versorgung und Betätigung	45
6	Erkenntnisse während der Inbetriebnahme	47
6.1	Zusammenbau des Prüfaufbaus.....	48
6.2	Montage des Führungsschlittens.....	49
6.3	Aufbau der Versorgungskomponenten	52
6.4	Fallversuch ohne Produkt	54
6.5	Änderungsmaßnahmen	55
6.5.1	Tausch des Elektromagneten	55
6.5.2	Untersuchen des Schaltvorganges des induktiven Näherungsschalters	56
6.5.3	Anpassen des Dämpfers und des Befestigungsbleches	58
6.6	Spannen und lösen der Produkte	60
7	Versuche und Ergebnisse im Testlabor	63

8	Zusammenfassung und Ausblick	72
8.1	Zusammenfassung	72
8.2	Verbesserungsvorschläge	72
8.3	Ausblick.....	74
9	Abbildungsverzeichnis.....	75
10	Literaturverzeichnis	78

1 EINLEITUNG

In der Zeit, in der Hersteller in der Industrie gebunden sind an Flexibilität und Just in Time Produktion, ist es wichtig, Konzepte zur Überprüfung der Qualität von den hergestellten Artikeln und deren Bauteilen zu erstellen. Da ein sehr großer Schritt in der Umsetzung zwischen Produktion und Engineering liegt, der mit vielen Hindernissen im Herstellungsprozess und unerwarteten Ereignissen gekennzeichnet ist, sind Prüfmaschinen zur Qualitätskontrolle unerlässlich. Vor allem in der Herstellung von elektronischen Baugruppen, welche oft direkt nach der Fertigstellung an den Kunden geliefert werden sollen.

Hinzu kommt, dass durch die technologisch fortschrittliche Produktion, viele Artikel bzw. Produkte in hohen Stückzahlen produziert werden können. Dies erfolgt meist in sehr kurzen Zeiträumen, da die heutige Wirtschaft einen Zeitverlust und lange Produktionsschritte nicht mehr zulässt. Es kann ein Nachteil des heutigen Industriezeitalters sein, bringt aber auch die Möglichkeit, neue Maschinen und Herstellungsprozesse in den Markt zu integrieren und Entwicklungen voran zu treiben.

In weiterer Folge ist es notwendig, Produkte mit hohem Qualitätsstandard zu produzieren. Einer der Hauptgründe ist, der leicht zugängliche, internationale Markt. Eine Integration von Prüfmaschinen und Prüflabors direkt in die Produktion, ist somit eine sinnvolle Ergänzung um Fehler im Herstellungsprozess früh zu erkennen. Dies erfordert Prüfmethode, welche wenn möglich, direkt in die Produktionsschritte eingebunden sind sowie dem Produkt angepasst werden.

Da es keinen standardisierten Ablauf oder Prüfmaschinen für diese Aufgabe handelsüblich gibt, werden sehr oft zu den entwickelten Produkten, Prüfmaschinen entworfen bzw. in Auftrag gegeben. In dieser Arbeit findet sich eine solche Aufgabenstellung. Die Konzeptionierung sowie Konstruktion eines Prüfaufbaus für einen Falltest und dessen Inbetriebnahme zur Verifizierung der Qualität von elektronischen Preisschildern der Firma SES-Imagotag.

1.1 Ziele dieser Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Prototyp eines Prüfgerätes zur Durchführung eines Falltests zu konstruieren. Dieser Prototyp ist abgestimmt auf die elektronischen Preisschilder der Firma SES-Imagotag, welche in verschiedenen Varianten und Größen verfügbar sind. Nach der Erarbeitung eines Konzeptes und dessen Dokumentation, sind die einzelnen Bauteile des Prüfaufbaus gefertigt und in einem Labor für Testversuche aufgebaut.

Daraufhin erfolgt die Inbetriebnahme des Prüfgerätes. Abgestimmt auf die Anforderungen des Auftraggebers, sind erste Testversuche durchzuführen. Um den Ablauf des Gerätes genau zu untersuchen, wird der Falltest mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme auf die im Lastenheft geforderten Funktionen überprüft. Im letzten Schritt wird die Verbesserungsmöglichkeit durch die entstandenen Erkenntnisse dokumentiert.

Durch diese Ergebnisse soll es möglich sein, eine interne Prüfrichtlinie für die elektronischen Preisschilder zu erstellen bzw. die bestehenden Protokolle zu erweitern. Diese sollen zusätzlich als Hilfestellung zur Erarbeitung einer Norm für diese neu entwickelten Produkte dienen.

1.2 Motivation

Die Innovation, welche in dieser Arbeit beschrieben wird, soll den „smarten“ Umgang mit diversen Artikeln aus Industrie, Handel und der Lebensmittelindustrie sicherstellen. Es handelt sich um elektronische Preisschilder mit neuer integrierter Technologie zu Visualisierungszwecken, die in sehr hohen Stückzahlen kostengünstig produziert werden. Da diese Preisschilder in ihrem Fertigungsprozess von Einzelteilen zu einer Baugruppe zusammengesetzt werden, muss ein Prüfkonzept zur Gewährleistung deren Belastbarkeit angewandt werden, sowie die notwendigen Prüfschritte integriert werden.

Da diese Produkte neu am Markt sind, existiert keine Norm für eine Vorgabe einer bestimmten Prüfmethode. Daher wird der Ablauf, die Konzeptionierung sowie die erstellten Anforderungen, gängiger und etablierter Prüfmethoden aus ähnlichen Prozessen recherchiert, um die Konstruktion eines Prüfgerätes zu realisieren. Das Ziel ist es, einen funktionsfähigen Prototyp für die vorgesehenen Tests zu erstellen.

Der Auftraggeber fordert in seinem Lastenheft einen Falltest (Drop-Test), der mit Hilfe dieses Prüfgerätes umgesetzt wird. Dabei wird auf die Umwelteinflüsse und die Flexibilität des Gerätes bedacht, um die Möglichkeit zu eröffnen, diese Prüfmethode in weiterer Folge direkt in den Herstellungsprozess zu integrieren. Die dabei entstehenden Ergebnisse sollen zur Erstellung einer internen Prüfrichtlinie dienen. Die vorab recherchierten Normen sind als Hilfestellung für die Konstruktion heranzunehmen.

Die Herausforderung liegt darin, einen Prüfaufbau für die verschiedenen Typen der elektronischen Preisschilder zu konstruieren und dabei die Anforderungen und Randbedingungen aus dem Lastenheft einzuhalten. Eine der Schwierigkeiten liegt in der, durch die verschiedenen Baugrößen der Produkte entstehende, Flexibilität des Gerätes. Eine einfache Bedienung sowie ein wartungsfreundlicher Aufbau ist in das Konzept für die spätere Konstruktion einzuarbeiten.

1.3 Beschreibung der zu testenden Produkte

Bei den zu testenden Produkten handelt es sich um elektronische Preisschilder in verschiedenen Größen und unterschiedlichen Formen der verbauten Teile. Es gibt für diese Art Technologie verschiedene Anwendungsfälle neben der Preisauszeichnung wie z.B.: Bürobeschilderung, Produktkennzeichnungen etc. Diese Displays sollen als Anzeigetafel für allgemeine und detaillierte Informationen dienen, wie sie z.B.: im Supermarkt oder Einkaufszentren bekannt sind.

Die Größen variieren, sodass von einem standardisierten Regal im Supermarkt bis hin zum Angebotsschild, Werbeanzeigen etc. mit diesen Schildern bestückt werden können. Die Abnehmer dieses innovativen Produktes sind in zahlreichen Branchen angesiedelt. Sie werden in diversen Bereichen der Wirtschaft eingesetzt und müssen daher ein universelles, ansprechendes Erscheinungsbild haben sowie qualitativ hochwertig sein. Hinter dieser innovativen Idee, steckt ein sogenanntes E-Paper Display. Dieses lässt sich berührungslos durch eine drahtlose Verbindung in wenigen Sekunden verändern. Eine dafür entwickelte Software sorgt für den verbesserten Ablauf des Warenflusses und der Bedarfserhebung sowie dessen Kontrolle.

Die elektronischen Preisschilder, welche für den in dieser Arbeit entwickelten Prototyp bestimmt sind, haben die Abmessungen von (in Zoll) 1.6“, 2.2“, 2.6“, 2.7“, 4.2“, 4.4“, 4.5“, 6.0“, 7.4“ bis 12“. Da die Kontur und die Größe der Preisschilder sich sehr stark unterscheiden, ist die Konstruktion eines Prüfgerätes zur Qualitätssicherung sehr fordernd. Die Grundkomponenten der Preisschilder bestehen aus einem zusammengesetzten Gehäuse, in welchem das Display, die Platine, die Energieversorgung durch eine Batterie und dessen Verkabelung Platz hat. Halterungen für diverse Montagezwecke sind ebenfalls erhältlich, aber für diese Arbeit nicht von Bedeutung. Es werden die Grundkomponenten der Produkte untersucht.

Die Masse unterscheidet sich je nach Typ bzw. Größe. Durch das Design der verschiedenen Displays variieren ebenso die Kontur und die Befestigung des Batteriegehäuses. Eine Verlagerung des Schwerpunktes durch diese unterschiedlichen Produkttypen, stellt eine Herausforderung an die Konstruktion des Haltemechanismus der Prüfmaschine dar. Die Produkte dürfen während des Testvorgangs ihre Orientierung nicht verändern. Da die Gehäuse miteinander verpresst sind, ist festzustellen ob diese einen Fall aus definierter Höhe standhalten. Durch die kleinen Kanten ist sicherzustellen, dass bei einem Testvorgang das Produkt immer, wiederholbar auf die gleiche Stelle fällt um ein Urteil treffen zu können.

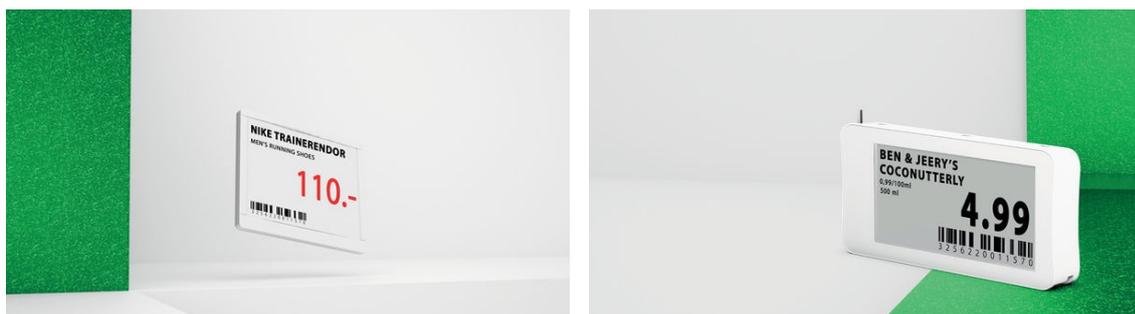


Abb. 1: Elektronische Preisauszeichnung der Firma SES-Imagotag, Quelle: (ses-imagotag, 2017)

2 EINFÜHRUNG IN DIE PRÜFVERFAHREN

Prüfverfahren, insbesondere mechanische Tests, um die Festigkeit eines Produktes zu gewährleisten, sind für das Anbringen von Kennzeichnungen wie zum Beispiel das in Verkehr bringen von Produkten unter den geltenden Harmonisierungsvorschriften (CE-Kennzeichnung) erforderlich. Diese unterliegen den in dem Vertriebsland geltenden Normen. Zu den verschiedenen Prüfverfahren zählen zum Beispiel die Überprüfung der Dichtheit, Magnetfeldresistenz, Strahlung, Bruchfestigkeit, Hitzebeständigkeit, Inhaltsstoffe, Materialfestigkeiten etc. Hersteller bedienen sich meist Verfahren, die schnell und zuverlässig in die Produktion integriert werden können oder in einem Testlabor durchführbar sind.¹

Hierfür werden speziell angefertigte Prüfmaschinen in Auftrag gegeben, die den Abmaßen bzw. den Anforderungen der Produkte entsprechen und die gewünschte Testfunktion ausführen können.

Das Prüfverfahren hängt sehr stark von dem Einsatzgebiet der Produkte ab. So müssen Testapparate für ein Produkt, welches später seinen Einsatz in Niedrig.- oder Hochtemperaturbereichen finden soll, auch in der Konstruktionsphase dementsprechend berücksichtigt und ausgelegt werden.

Um ein Prüfverfahren zu definieren werden Protokolle erstellt, die von den dazugehörigen und verwandten Normen sowie den Anforderungen abgeleitet sind. Bestehende aus einer Norm können verwendet werden, sofern diese existieren. Es werden darin die benötigten Daten des Testversuchs beschrieben sowie die Anzahl der durchzuführenden Tests. Die Anzahl an Testzyklen entspricht den Vorgaben des Herstellers und dessen Einschätzung auf die notwendige Lebensdauer des Produktes. Von dem Prüfgerät wird daher eine möglichst hohe Wiederholgenauigkeit verlangt, um den Testvorgang optimal zu gestalten und eine Gewährleistung der versprochenen Qualität gegenüber dem Kunden präsentieren zu können.

Je genauer ein Testvorgang dokumentiert ist, umso leichter ist das Produkt am Markt zu platzieren, da die Institute der dafür benötigten Genehmigungen (Patente, Kennzeichnungen, Länderspezifische Anforderungen) schneller ein Ergebnis erarbeiten können. Durch schnelles integrieren am Markt lässt sich ein Vorteil bzw. Vorsprung zur Konkurrenz erreichen.

Gut erarbeitete interne Richtlinien die den Produktionsablauf sowie erforderliche Tests an den Produkten beschreiben, helfen bei der Umsetzung einer Konstruktion eines Prüfgerätes. Je genauer die Definitionen desto genauer das Ergebnis.

¹ Vgl. (wko, 2017)

2.1 Richtlinien

Richtlinien sind im Gegensatz zu den Normen Vorgaben der Hersteller, welche sich an Normen und gängigen Methoden anlehnen. Sie müssen nicht einheitlich für jeden Hersteller gelten, unterliegen keinem Gesetz, sondern werden individuell gestaltet.

Richtlinien sind wichtig um als Hersteller den eigenen Standard zu bewahren und den Bezug zu Normen herbei zu führen. Sie beschreiben die qualitative Wertigkeit der Produkte, welche vom Hersteller eingehalten werden müssen. Dass zur Prüfung benötigte Protokoll, welches als Vorlage für diese Arbeit dient, wird vom Hersteller der elektronischen Preisauszeichnungen, der Firma SES-Imagotag vorgelegt. Es ist im speziellen auf Funktionalität und Qualität des Gehäuses bedacht. Es soll sichergestellt sein, dass durch das Einhalten der Richtlinie alle Produkte eine gewisse Robustheit aufweisen und keinen Schaden im täglichen Gebrauch erfahren.

In Abbildung 2 ist ein Prüfprotokoll der Firma SES-Imagotag dargestellt. Es zeigt die zu betrachtenden und zu dokumentierenden Faktoren in der Tabelle. Die Konstruktion bzw. das Konzept des Prüfgerätes, welches in den folgenden Kapiteln beschrieben wird, ist an diesen Entwurf des Prüfprotokolls angelehnt um dessen Anforderung zu erfüllen.

ses imagotag

Prüfprotokoll Drop-Test 1.6"

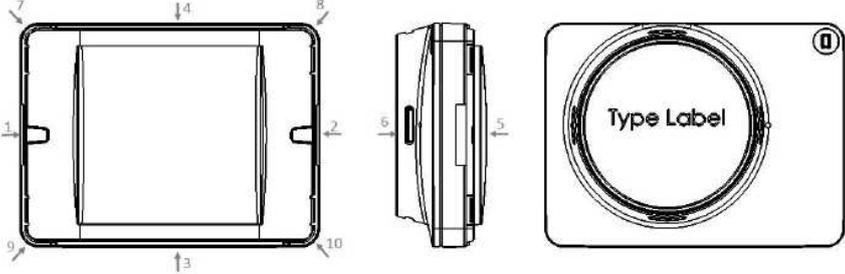
		Label ID:
		Label Type: 1.6"
		Time:
		Date:
		Conditions
		Temperature:
		Ground:
Height:		
Side	Comment	Func. OK
1	<hr/> <hr/> <hr/>	<input type="radio"/>
2	<hr/> <hr/> <hr/>	<input type="radio"/>

Abb. 2: Prüfprotokoll der Firma SES-Imagotag. Quelle: (SES-Imagotag, 2017)

Das Protokoll auf Seite 5, enthält eine Abbildung eines Produktes in dem die zu testenden Kanten und Ecken ersichtlich sind. Es geht für den Prüfer klar hervor, was in einem Prüfschritt zu testen ist. Zusätzlich befinden sich auf dem Protokoll Einträge zu den Randbedingungen und Zusatzinformationen wie z.B.: die Temperatur, Masse, Beobachtungen etc. Zur Rückverfolgung werden Datum und Uhrzeit vermerkt.

Ist ein Testzyklus durchlaufen, kann die Funktionalität als gewährleistet oder auch als unzureichend bestätigt werden. Anhand der Ident-Nummer und der Type der elektronischen Preisschilder ist eine eindeutige Kennung der Charge rück zu verfolgen.

2.2 Bestehende Normen

Normen dienen dazu, die Sicherheit von Bauteilen und Produkten herzustellen und einen Standard zu generieren, welcher im Herstellungsprozess einzuhalten ist. Normen werden international durch Institute erstellt und national angepasst bzw. ergänzt. Vielen Herstellern ist wichtig, Normen in der jeweiligen Zielgruppenregion einzuhalten um einen großen Markt zur Verfügung zu haben.²

Als Beispiel werden Produkte die von europäischen Firmen hergestellt werden, auch den EN-Normen (Europäisches Normungsinstitut) sowie den jeweiligen Normen der Vertriebsländer unterzogen. DIN (Deutsches Institut für Normung) sowie die ÖNORM (Österreichische Norm, Austrian Standards Institute) sind vor allem in mitteleuropäischen Gebieten weit verbreitet.³

Übergeordnet würde die ISO (Internationale Organisation für Normung) eine Vorschrift für das Einhalten der Qualität und der Sicherheit der hergestellten Artikel beschreiben. In ihr findet man die technisch detaillierte Anforderung die an ein Produkt gestellt wird.⁴

Normen dienen auch dazu, Konformitätskennzeichnungen, welche ein Produkt in Form eines Symbols kennzeichnen, anbringen zu können. Das Produkt wird vom Hersteller als getestet und als sicher bestätigt (z.B.: CE, für die EU-Verordnung für das Inverkehrbringen von Artikeln unter Beachtung von Harmonisierungsvorschriften).⁵

Werden Produkte anhand der Vorlagen von Normen gefertigt, bestätigen sie diesen Sicherheitsstandard und können somit Qualität von Material und Funktionalität ausweisen. Das Anbringen der Qualitätskennzeichnungen unterliegt dem Hersteller. Im Schadfal muss er die notwendigen Dokumente und Prüfprotokolle die dies bestätigen vorweisen können.

Beispiele für Normen die dem beschriebenen Produkt dieser Arbeit als Hilfestellung dienen können :

EN 60068:

- Umgebungseinflüsse - Teil 1: Allgemeines und Leitfaden (IEC 60068-1:2013);
- Umgebungseinflüsse - Teil 2-27: Prüfverfahren - Prüfung Ea und Leitfaden: Schocken

² Vgl. (austrian-standards, 2017)

³ Vgl. (austrian-standards, 2017)

⁴ Vgl. (wko, 2017)

⁵ Vgl. (wko, 2017)

- Teil 2-31: Prüfverfahren - Prüfung Ec: Schocks durch raue Handhabung, vornehmlich für Geräte (IEC60068-2-31:2008);
- Teil 2-53: Prüfverfahren - Prüfungen und Leitfaden - Kombinierte klimatische (Temperatur/Luftfeuchte und dynamische (Schwingung/Schock) Prüfungen (IEC 60068-2-53:2010);⁶
- Teil 2-55: Prüfverfahren - Prüfung Ea und Leitfaden: Prüfung loser Packstücke einschließlich Prellen (IEC 60068-2-55:2013);
- Teil 2-77: Prüfungen - Prüfung 77: Körperfestigkeit und Schlagprüfung (IEC 60068-2-77:1999)⁷

Der Eintrag der rauen Handhabung, des Schocks sowie der Körperfestigkeit trifft auf das zu erwartende Ergebnis des Falltests zu, da die elektronischen Preisschilder durch den Aufprall genau diesen erfahren. Da in den folgenden Anforderungen an das Testverfahren Temperatureinflüsse vorkommen, führt diese Norm ebenfalls Ähnlichkeiten zu den vorausgesetzten Testversuchen auf. Für die internen Richtlinien stellt diese Norm eine gute Hilfestellung dar, um die Dokumentation, mit dem Ziel eine eigene Norm für dieses Art Produkt zu erstellen, abzuleiten.

2.2.1 Normen der Verpackungsindustrie

In der Verpackungsindustrie werden Produkte (Kartons etc.) auf ihre Festigkeit einem Falltest unterzogen. Es werden Kanten und Flächen definiert, welche aus einer Richtlinie bzw. einer Norm hervorgehende Bruchfestigkeit und Lebensdauer aufweisen müssen. Hierzu werden z.B.: Kartons von vorgegebener Höhe in bestimmten Winkeln mit Hilfe einer Vorrichtung fallen gelassen. Dies geschieht allerdings meist ohne Führungssystem.

Die Größe und Form der Prüflinge hat großen Einfluss auf die Genauigkeit und die Wiederholbarkeit eines Testvorgangs. So können große Flächen z.B.: Einfluss auf das Fallverhalten haben. Kartons werden hauptsächlich an Kanten und Ecken getestet da diese am wahrscheinlichsten beansprucht werden.

Diese müssen robust genug sein um einen oder mehrere Transporte zu überstehen um den Inhalt zu schützen und beim Kunden letztendlich einen guten Eindruck zu hinterlassen. Viele Umschlaglager setzen diese Qualität voraus. Es ist eines ihrer Qualitätsmerkmale die Ware unbeschadet zu verteilen.

Beispiel für die Norm der Verpackungsindustrie:

ÖNORM ISO 2206: 1987 12 01:

- Verpackung; versandfertige Packstücke; Bezeichnung von Flächen, Kanten und Ecken für die Prüfung⁸

Die in dieser Norm beschriebenen Flächen und Kanten sind eine gute Vorgabe um die elektronischen Preisschilder zu testen. Das Material unterscheidet sich zwar von dem in der Norm beschriebenen Produkten, dennoch ist eine vorhandene Norm und deren Vorgabe für ein Prüfverfahren ein Schritt in die Richtung, eine neue Norm zu erarbeiten, für die beschriebene Technologie der Produkte. Gerade die

⁶ Vgl. (austrian-standards, 2017)

⁷ Vgl. (austrian-standards, 2017)

⁸ Vgl. (austrian-standards, 2017)

Bezeichnungen der Kanten und Flächen sind Voraussetzungen für das Konzept des Prüfgerätes und dem folgenden Prüfablauf.

2.2.2 Normen aus der Mobilfunkindustrie

Als Vergleich, da es noch keine Norm für die beschriebenen elektronischen Preisschilder gibt, kann eine Variante zur Testung von ähnlichen Geräten, aus der Mobilfunkindustrie, dienen. Mobiltelefone werden Falltests mehrfach unterzogen um die Festigkeit und Qualität zu garantieren. Dies geschieht aus definierter Höhe und definierten Winkeln. Zusätzlich werden Vibrationstests und „Schüttelverfahren“ angewandt um einen realitätsnahen Lebenszyklus zu bestimmen.⁹

Es existieren viele Varianten von Prüfgeräten für die Durchführung solcher Tests, die immer an die jeweilige Marke und Größe angepasst sind. Wichtig sind die Spannungsmöglichkeit der Produkte und das definierte Aufprallen an Kanten und Flächen (Wiederholgenauigkeit). Ist dies gegeben kann durch eine bestimmte Anzahl an Testdurchläufen, eine Festigkeit, welche in die Lebensdauer der Produkte einfließt, ausgegeben werden.

2.2.3 Normen von elektrischen Geräten

Elektrische Geräte müssen zusätzlich zur mechanischen Festigkeit, die angegebene Funktionalität auch nach einem Belastungstest besitzen. Die verbauten Elemente gilt es nach einem Testvorgang zu beurteilen. Eine Batterie, Akkumulatoren und andere Bauteile in denen sich umweltgefährdete Materialien befinden, sind ganz besonders zu beachten. Produkte mit verbautem elektronischem Material dürfen im Falle des Herunterfallens nicht zerbrechen und somit zulassen, dass schädliches Material sowie Substanzen austreten können und die Umwelt dadurch schwer belasten.

Ebenfalls muss durch Korrosionsschäden eine Dichtheit über die Lebensdauer des Produktes gewährleistet sein. Dies gilt auch für das Bestehen bleiben der elektrischen Verbindungen. Insbesondere von Bauelementen die eine Sicherheitsfunktion besitzen. Diese Funktionen müssen ebenfalls nach einem Falltest noch gewährleistet sein. Es dürfen z.B.: die Versorgung der Leitungen und Batterie durch den Schock des Aufpralls eines Falltests nicht gefährdet oder unterbrochen sein.

Beispiel für eine Norm elektrischer Geräte:

DIN EN 50102:

- VDE 0470-100:1997-09 Schutzarten durch Gehäuse für elektrische Betriebsmittel (Ausrüstung) gegen äußere mechanische Beanspruchungen (IK-Code)¹⁰

Da diese Norm insbesondere die Stoßbeanspruchung von elektrischen Geräten beschreibt und diese auf die elektronischen Preisschilder durch falsches handhaben und fallenlassen zutrifft, ist auch diese Norm interessant für die Produkte der Firma SES-Imagotag.

Der IK-Code entstammt aus der IEC 62262 und verweist auf die EN 5010229IEC. Er beschreibt Schutzart anhand der Schlagenergie unterteilt in 10 Stufen.

⁹ Vgl. (Test.de, 2017)

¹⁰ Vgl. (austrian-standards, 2017)

2.3 Lastenheft

Das Lastenheft ist eine der Grundlagen um ein Konzept bzw. eine Konstruktion, anforderungsgemäß zu erstellen. In ihm finden sich Randbedingungen die als Vorgabe für einen Entwurf dienen. Es ist die vereinbarte Vorgabe zwischen Auftraggeber und Lieferanten und muss eingehalten werden bzw. bei Änderungen ergänzt werden. Dieses Lastenheft bezieht sich auf die Anforderungen, welche die Firma SES-Imagotag an einen Prüfaufbau für eine Qualitätsüberprüfung der von ihnen entwickelten elektronischen Preisschilder stellt.

Zu der Erstellung des Lastenheftes in dieser Arbeit sind folgende Punkte vereinbart und definiert worden:

- Auf Basis einer erstellten Normenevaluierung, sollen branchenähnliche Normen als Hilfestellung dazu dienen, das Konzept für einen Prüfaufbau zu erstellen und zu dokumentieren.
- Durch die erarbeiteten Informationen und dem resultierenden Ergebnis durch den Testzyklus, sowie die grob definierte Vorgabe bezüglich der Prüfmittel, dem Prüfablauf und der Erstellung der notwendigen Dokumente, soll es möglich sein, eine interne Richtlinie zu erarbeiten bzw. zu vervollständigen.
- Es ist ein Prototyp eines Prüfaufbaus für einen Falltest zu konzipieren und zu konstruieren.
- Zusätzlich zu den Rahmenbedingungen, welche für den Prüfaufbau gelten, ist eine temperierbare Testumgebung zu berücksichtigen.
- Als Prüfmethode wird ein Falltest definiert. Dieser soll die Möglichkeit eröffnen, die in dem Prüfprotokoll definierten, zu testenden Kanten und Flächen auf ihre Festigkeit überprüfen zu können (Abb.3, Seite 10). Dabei ist die Vorgabe der Orientierung der Flächen durch das Prüfprotokoll genau erstellt.
- Für diesen Test, ist ein geführtes System mit entkoppelbarem Mechanismus gefordert. Beim Aufprall muss sich jedes Produkt in der ursprünglichen, gespannten bzw. definierten Lage befinden.
- Die Spannvorrichtung soll universell für mehrere Produkttypen konstruiert sein.
- Die Fallhöhe soll von 1 m bis maximal 2 m einstellbar sein.
- Die Fallgeschwindigkeit muss nicht dem Freien Fall entsprechen, da das System durch die Führungskomponenten reibungsbehaftet ist. Es ist zulässig, mögliche Beschleunigungsverluste durch die Fallhöhe auszugleichen.
- Es muss möglich sein, das Prüfgerät unter verschiedenen Bedingungen in Betrieb zu nehmen. Das Prüfgerät soll noch funktionsfähig sein, wenn es einer Temperatur von minus 30°C und bis zu plus 80°C ausgesetzt ist, bei einer Luftfeuchte von $50 \pm 5 \%$.¹¹

¹¹ Vgl. (SES-Imagotag, 2017)

- Die Definition der Testflächen und Kanten wird anhand der Abbildung 3 dargestellt. Es muss möglich sein, die gezeigten Flächen und Kanten mit dem Falltestgerät, ohne den Aufbau durch zeitaufwendiges umbauen der Baugruppen verändern zu müssen, testen zu können. Dabei sind die Punkte 1 bis 6 Flächen und die Punkte 7 bis 10 als Kanten zu sehen.

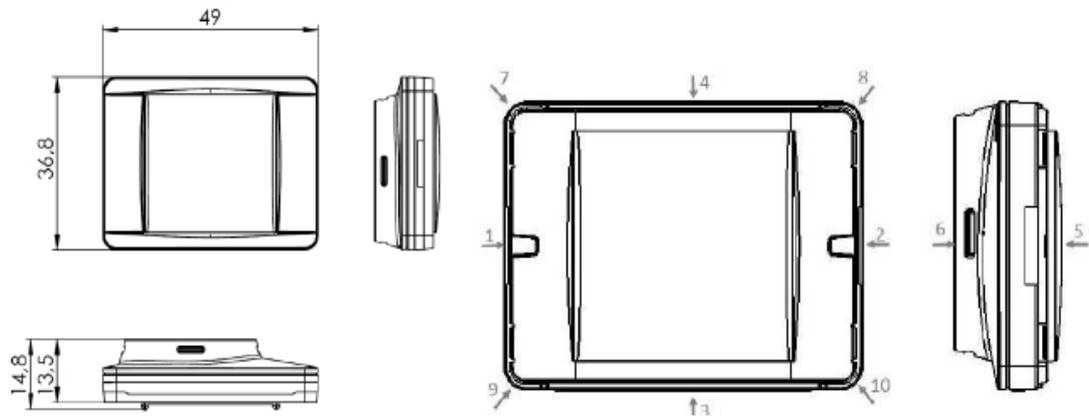


Abb. 3: Anforderung der Testflächen und Ecken der Firma SES-Imagotag. Quelle: (SES-Imagotag, 2017)

- Die Kanten sollen in einem Winkel von 45° getestet werden. Diese müssen bei jedem Versuch wiederholbar auftreten können. Die Kontur der Gehäuse variiert je nach Produkttyp. Nicht für einen Testvorgang verbaut sind Halterungen die z.B.: für die Wand- oder Regalmontage angedacht sind.
- Weiteres soll das Gerät bedacht auf zukünftige Automatisierungsfunktionen ausgelegt sein. Somit wird im Vorhinein sichergestellt, dass diese Entwicklung als Grundkonzept bzw. Muster für Automatisierungsschritte dient und eine Neuentwicklung nicht bei allen Komponenten notwendig ist.
- Der Aufbau soll variabel sein, beziehungsweise sollen Komponenten austauschbar gestaltet werden. Sicherheitsfunktionen und Testkonzepte sollen im weiteren Verlauf durch den Hersteller bestimmt und angewandt werden können. Zusätzliche Anpassungen um das Prüfgerät in einen Produktionsbetrieb integrieren zu können, sollen möglichst einfach durchführbar sein.¹²

Weiteres soll angemerkt sein, dass die in der Arbeit vorkommenden elektronischen Preisauszeichnungen auf Temperaturunterschiede ausgelegt und entworfen worden sind. Ein möglicher Falltest in einer Klimakammer (-30°C und bis zu 80°C) soll bestätigen, dass das Material, dessen Stärke und Kontur diesen Bedingungen standhält.¹³

¹² Vgl. (SES-Imagotag, 2017)

¹³ Vgl. (SES-Imagotag, 2017)

2.4 Flexibles Prüfverfahren

Unter einem flexiblen Prüfverfahren wird verstanden, eine Einstellmöglichkeit an Spannvorrichtungen und Haltern zu generieren. Verändern sich im Laufe der Zeit Produkte oder Konturen bestehender Artikel, so soll dies nicht zu einer Neukonzeptionierung des Prüfgerätes führen.

Dem entgegenwirken kann man, in dem z.B.: Halter, Stempel sowie bewegliche Elemente ersetzbar konstruiert werden. So kann man individuelle Haltefunktionen durch den Tausch von einzelnen Teilen erfüllen, ohne kostenintensive Entwicklung betreiben zu müssen. Diese austauschbaren Komponenten können zusätzlich den Zugriff auf junge Technologien ermöglichen, wie z.B.: das 3D-Druckverfahren.

Winkeleinstellungen sollen möglich sein. Wird die Außenkontur durch neues Design verändert, so muss man den Winkel des Prüfgerätes dementsprechend anpassen können. In der ersten Anforderung an das Prüfgerät wird der geforderte Winkel von 45° und die Horizontalebene eingehalten um die Flächen bzw. Kanten testen zu können. Ändert sich die Kontur neuer Produkte stark, ist durch einfaches nachbearbeiten oder tauschen eines Bauteils, jeder weitere Winkel einstellbar.

2.5 Produktion

In der Produktion werden die elektronischen Preisschilder, bestehend aus einem Display, einem mehrteiligen Kunststoffgehäuse und einer entsprechenden Spannungsquelle, in dem Herstellungsprozess verbaut. Das fertige Produkt dieses Prozesses, soll angelehnt an die entstehende Richtlinie, einem Test unterzogen werden.

Die Kunststoffgehäuse werden miteinander durch Pressen verbunden. Somit muss die Qualität und Festigkeit nach diesem Produktionsschritt festgestellt werden. Die Produkte werden in großen Chargen gefertigt (jährliche Produktion von bis zu 100 Millionen Stück und höher). Aus diesem Grund ist ein möglicher Fehler der Spritzgussteile oder eine Beschädigung früh festzustellen, um hohe finanzielle Schäden zu vermeiden.

Materialien können nach mehreren Produktionsschritten, veränderter Temperatur und eventuell auftretender Spannungen durch das Verbauen der Teile, Schwachstellen aufweisen. Deswegen ist es sinnvoll, das fertig assemblierte Produkt direkt zu testen oder an ein internes Prüflabor zu übergeben.

So kann früh in den Produktionsprozess eingegriffen werden. Im Falle eines Fehlers der materialbedingt oder konstruktiv auftritt, insbesondere bei Produktionsstätten mit sehr hohem Durchsatz, müssen diese schnell erkannt und behoben werden, sowie in den folgenden Prüfschritten mit untersucht werden. Eine sinnvolle Variante für solche Unternehmen ist, einen Testvorgang in die laufende Produktion zu integrieren.

Die folgende Darstellung (Abbildung 4) zeigt einen Entwicklungsprozess und dessen Phasen in einfacher Darstellung. Früherkennung von Fehlern durch Kontrolle ist besonders in der laufenden Produktion wichtig und spart Unternehmen viele Kosten durch Ersatzteile und fehlerhafter Chargen.¹⁴

Ist eine effiziente Testmöglichkeit in der laufenden Produktion der elektronischen Preisschilder möglich, so kann eine Früherkennung der Fehler zu erheblichen Einsparungen bzw. der Fehlproduktion und Rückerstattung führen. Dies erhöht zudem den Marktwert dieser Technologie.

Entwicklungszyklus



JEDE SPÄTERE VERÄNDERUNG
KOSTET **CA. 10 MAL MEHR**
ALS IN DER VORHERIGEN STUFE

Quelle: Reintreten, D. (2009) Principles of Product Development Flow. Celeritas Publishing

Abb. 4:Entwicklungszyklus /Produktentwicklung; Quelle: (evo-tech, 2017)

Die Aussage der Darstellung des Entwicklungszyklus warnt bewusst vor den steigenden Kosten im Falle einer späten Veränderung. Prüfgeräte in und nach der Entwicklungsphase verringern dieses Risiko erheblich. Zudem die Qualitätskontrolle und Beurteilung des Materials nicht alleine dem assemblierenden Mitarbeiter ohne die Verfügbarkeit eines Prüfgerätes und dessen Vorgabe des Testvorganges sowie einer Schulung der Qualitätskontrolle zuzutrauen ist.

¹⁴ Vgl. (evo-tech, 2017)

3 FALLTEST

Um die in den späteren Kapiteln beschriebene Prüfmethode zu realisieren, damit ein Prüfvorgang für die elektronischen Preisschilder stattfinden kann, wurde ein Falltest (Drop Test) festgelegt. Da diese Prüfmethode sehr viele Zusammenhänge zu den beschriebenen, branchenähnlichen Normen herstellt, stellt dieser Test eine gute Basis dar die Qualität der Produkte zu überprüfen.¹⁵

Ein Falltest muss definiert in seiner Höhe mit definiertem Untergrund erfolgen um genaue, dokumentierbare und reproduzierbare, Ergebnisse zu erzielen. Dieser Test kann je nach Entwicklungsstufe manuell oder automatisiert erfolgen. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird jedoch nur das manuelle Verfahren behandelt, welches der Anforderung der Firma SES-Imagotag an den Prototypenaufbau entspricht.

Es muss in erste Linie sichergestellt werden, dass der Prüfling in seiner Orientierung im Raum und der Geschwindigkeit, wiederholbar getestet werden kann. Nur so kann ein eindeutiges Qualitätsurteil durch den Test erstellt werden. Die Anzahl der benötigten Fallversuche, hängt von der Anforderung des Prüfprotokolls der Firma SES-Imagotag bzw. von der entstehenden Prüfrichtlinie und deren Vorgabe ab.

Das Grundprinzip eines Falltests ist immer gleich. Er besteht aus einem Rahmen oder einem Gestell, Führungselementen zum Befestigen der Prüflinge, einem Auslöser, einer Aufprallplatte. Der Unterschied in der Ausführung ist stark produktabhängig. So variieren die Prüfmaschinen in ihrer Größe und verschiedenster einstellbarer Höhen für die Testläufe der Produkte.

Kartons werden meist, im Vergleich zu vielen elektronischen Artikeln, frei fallen gelassen. Bei anderen Produkten macht es Sinn, geführt bis zu einem definierten Punkt den Freien Fall zu simulieren, um die Genauigkeit der gewünschten Aufprallfläche einzuhalten. Als Beispiel ist die Kante eines Glasdisplays empfindlicher als die Kante eines Kartons. Diese muss daher gezielt überprüft werden können um ein Qualitätsurteil zu erteilen.

Einflüsse auf das Prüfgerät werden in der Konstruktionsphase beachtet. Durch den Test an dem Prüfgerät werden Widerstände die den Fall beeinflussen ermittelt und mit einbezogen. So sind geführte Systeme eine gute Methode um ein Produkt gezielt fallen zu lassen und dabei eine hohe Genauigkeit der gewünschten Aufprallfläche zu erreichen. Nicht geführte Systeme lassen eine höhere Beschleunigung im Bezug auf den Freien Fall zu, dafür ist die Genauigkeit nicht gegeben, im Vergleich zu einem geführten System. Werden die Nachteile zweier Systeme reduziert und auf ein annehmbares Maß gebracht, stellt dies kein Hindernis dar.

¹⁵ Vgl.(beuth, 2017)

3.1 Verfahrensweise des Falltests

Das Produkt wird in einer Spannvorrichtung geklemmt. Hierbei muss durch Vorrichtungen und geschultes Personal darauf geachtet werden, die horizontale und vertikale Position genau einzuhalten. Dies geschieht in vordefinierter Höhe (wie in Abbildung 5 schematisch dargestellt). Dies kann manuell oder durch verschiedene Antriebssysteme zur Positionierung geschehen. Manuelle Tests werden vorzugsweise in der Vorentwicklungsphase an Prototypen eingesetzt. Hierfür werden meist Klemmsysteme verwendet die in ihrer Position verbleiben ohne zu verrutschen. Wichtig für diese Prüfmethode und der Verifizierung der Qualität ist, wie schon beschrieben, eine hohe Wiederholgenauigkeit.

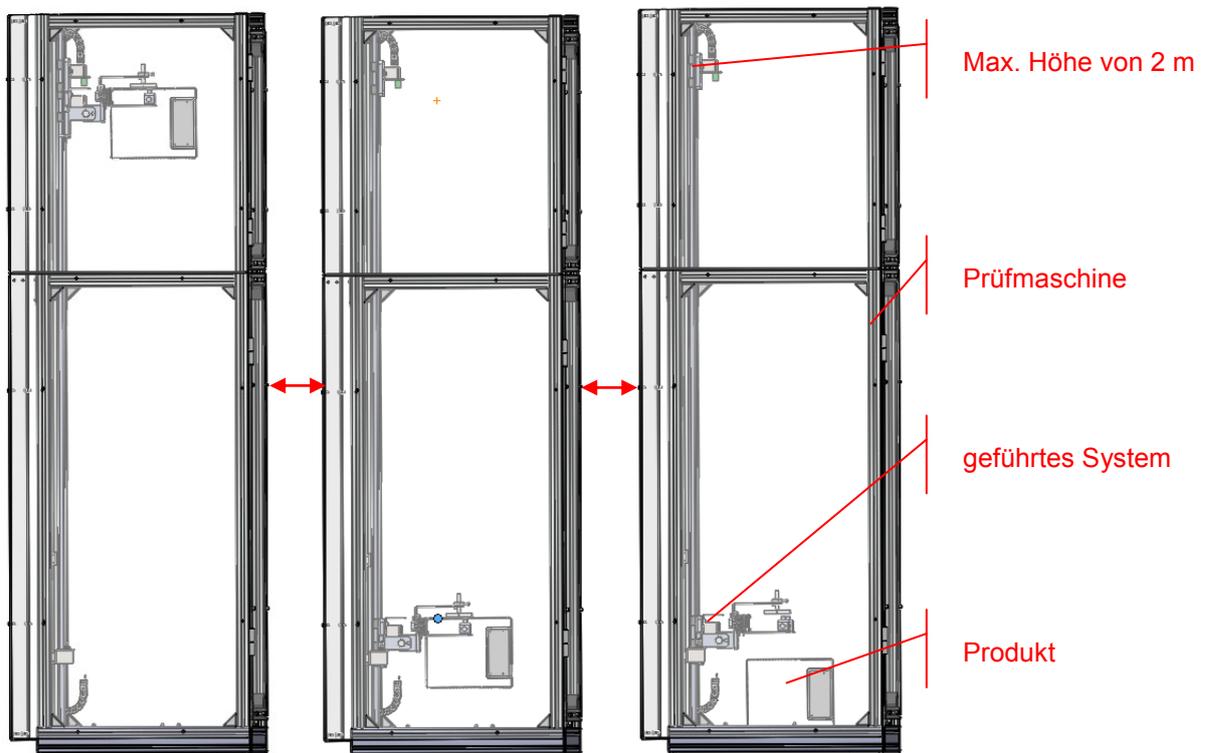


Abb. 5: Entwurf eines Falltestvorgangs. Spannen, Fallen, Aufprall in einem geführten System. Quelle: Eigene Darstellung

Der Ablauf, welcher in Abbildung 5 dargestellt wird, verläuft in der Theorie wie folgt:

Der Führungsschlitten wird vom Halteschlitten gelöst. Durch den Fall wird eine bestimmte Geschwindigkeit erreicht. Danach löst ein Mechanismus im annähernd Freien Fall das Loslassen des Produktes, kurz vor dem Auftreffen auf dem Boden aus. Die Reibung, welche Einfluss auf die Beschleunigung hat, kann in den meisten Fällen vernachlässigt werden, da die Beschleunigung mit der Fallhöhe manipuliert werden kann. Trifft das Produkt auf die Bodenplatte, erfährt es durch die Geschwindigkeit die es erreicht und dem Eigengewicht, einen Schlag. Der Falltest unterscheidet sich hier von einem Impulstest (Impacttest) indem das Produkt durch Beschleunigung die Kraft des Einschlags bestimmt, nicht ein definiertes Gewicht mit gleichmäßiger Beschleunigung auf ein Produkt trifft.

Die verwendeten Bodenplatten, bzw. der Untergrund, hängen vom Einsatzgebiet des Produktes sowie den Definitionen der Hersteller. (Stahl, Beton, Holz etc.) ab. Der Untergrund sollte in jedem Fall schwingungsarm gewählt werden um die Festigkeit unverfälscht testen zu können. Schwingungen bzw. das Nachgeben des Untergrundes, würden die Bremsvorgänge begünstigen bzw. den Einschlag abschwächen.

Nach erfolgreichem Versuch, ist im ersten Schritt durch eine Sichtprüfung festzustellen, ob es zu Beschädigungen gekommen ist. Es kann ebenfalls mit Messhilfsmitteln, wie zum Beispiel Lupen festgestellt werden, ob Risse oder Schäden entstanden sind. Automatisierte Versionen von Falltestmaschinen können mit optischen Erkennungssensoren (Kameras) Risse und Beschädigungen feststellen. Es ist auch möglich, durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen dem Personal detaillierte Ansichten von dem Testablauf zur Verfügung zu stellen. Hält ein Produkt oder Bauteil diesem Test stand, kann es als sicher und qualitativ hochwertig ausgegeben werden.

Sollten sich Schäden (wie in Abbildung 6 an dem Display zu erkennen) an Oberflächen, Material oder Funktionalität (z.B.: keine Anzeige am Display) ergeben, muss konstruktiv eingegriffen werden. In den Modellen können Flächen und Kanten dementsprechend angepasst werden, damit die Lastaufnahme besser verteilt ist. Auch die Wahl des richtigen Materials spielt eine entscheidende Rolle.



Abb. 6: Falltestversuch an einem Mobilfunkgerät. Quelle: (Test.de, 2017)

Der Ablauf von Falltests ist sehr ähnlich aufgebaut. Der größte Unterschied besteht in der Form bzw. Kontur der Prüflinge. Der Prüfablauf richtet sich auch stark nach dem Einsatzgebiet der Produkte. Tragbare Produkte wie z.B.: Kartons neigen eher dazu fallen gelassen zu werden. Es kann auch angenommen werden, dass z.B.: Gehäuse von Kaffeemaschinen die in Büros ihren Einsatz finden, weniger oft fallen gelassen werden. Deshalb ist eine Wiederholung von mehreren hundert Testzyklen nicht immer notwendig bzw. sinnvoll.

3.2 Physikalische Grundlagen

Anhand bekannter Naturgesetze können die Einflüsse auf den Prüfling während des Falltests beschrieben werden. Für eine Erstabschätzung der zustande kommenden Beschleunigung können einige Faktoren vernachlässigt werden. Geringe Reibungswiderstände durch Bauteile sowie der Luftwiderstand können in der ersten Berechnung für den freien Fall ignoriert werden. Es wird das Newton'sche Gravitationsgesetz angewandt, um die Beschleunigung eines Körpers und die daraus resultierende Endgeschwindigkeit für den Aufprall errechnen zu können. Dieses Gesetz beschreibt die Wirkweise der Gravitation auf den Schwerpunkt eines Körpers. In Abbildung 7 ist dargestellt, wie der Einfluss der Beschleunigung den zurückgelegten Weg durch die steigende Geschwindigkeit im Abstand von einer Sekunde erhöht.

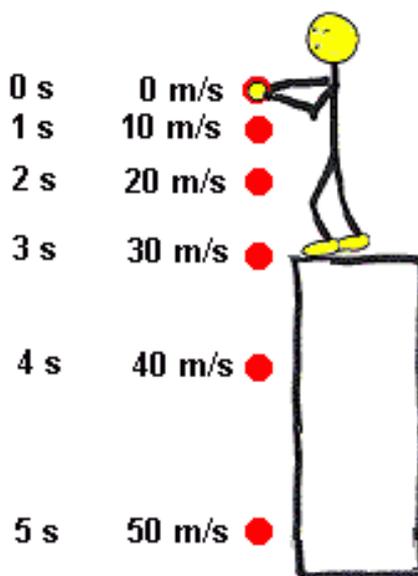


Abb. 7: Beschleunigung eines Körpers im Freien Fall. Quelle: (schulen.eduhi, 2017)

Die Höhe bestimmt die Geschwindigkeit mit der der Körper letztendlich auftreffen wird. Die durch die Masse entstehende Verzögerung des Objektes sowie die Größe der Flächen auf denen der Körper auftrifft bestimmen den erlittenen Schaden / Schlag. Somit erleiden Kanten aufgrund ihrer kleineren Fläche einen wesentlich höheren Schaden bei hohen Geschwindigkeiten. Die Kraft, aufgeteilt auf die Aufprallfläche, kann anhand von Berechnungen mit den zur Verfügung stehenden Materialdaten verglichen werden und eine grobe Einschätzung über die Höhe des möglichen Schadens oder der Bruchfestigkeit getroffen werden.¹⁶

Dies kann in der Theorie sehr einfach ohne Reibungswiderstände berechnet werden. Reibungsbehaftet kommen einige Faktoren die Einfluss auf die Beschleunigung haben hinzu. Dies ist dementsprechend

¹⁶ Vgl. (Böge, 2013), S. 154 ff.

aufwendiger zu berechnen, da Werte teilweise durch Versuche ermittelt werden müssen. Der Aufwand ist bei kurzen Fallzeiten oft nicht sinnvoll, da der Einfluss zu gering ist.¹⁷

Beim Freien Fall kommt die Formel der gleichmäßig beschleunigten Bewegung zum Einsatz. Die Theorie Beschreibt einen Körper der Erdnahe direkt aus einer gewissen Höhe fallengelassen wird und direkt auf eine Oberfläche zufliegt.¹⁸

Die Geschwindigkeit errechnet sich mit der Beschleunigung durch die Erdanziehungskraft und der Höhe wie folgt¹⁹:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Geschwindigkeit errechnet mit Weg und Zeit:

$$v = \frac{s}{t}$$

h...Höhe in mm
g... Erdanziehungskraft in m/s ²
v...Geschwindigkeit in m/s
t...Zeit in s

Die durch den Fall erzeugte Bewegungsenergie dient letztendlich zur Berechnung der Kraft:

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

$$F = \frac{E}{s}$$

E...Energie der Bewegung in J
m...Masse in kg
v...Geschwindigkeit in m/s
s...Weg in mm
F...Kraft in N

Der Bremsweg s kann durch die Eindringtiefe eines Körpers beschrieben werden. Bei starren Objekten, z.B.: bei einem Aufprall eines Autos gegen eine massive Wand, wird der Weg, der durch die Verformung des Autos entsteht als Bremsweg angenommen. Somit wird die entstandene Energie abgebaut.

Da in dieser Arbeit ein „geführtes“ System durch einen Schlitten konstruiert ist, werden in den nachfolgenden Kapiteln jeweils das Reibungsbehaftete und das Reibungslose Verhalten der Prüflinge beschrieben.

¹⁷ Vgl. (Böge, 2013), S. 154 ff.

¹⁸ Vgl. (Böge, 2013) S. 154 ff.

¹⁹ Vgl. (Jürgen Dankert, 2006), S. 438

Zunächst wird beschrieben, wie sich der Fallversuch im freien Fall ohne Luftwiderstand und Reibung theoretisch verhält. Weiteres können die Reibung sowie der Luftwiderstand anhand der Reibwerte aus Tabellen des Herstellers der verbauten Gleitlager im Führungsschlitten und bekannten Tabellen der Naturgesetze bestimmt werden.

3.2.1 Freier Fall ohne Luftwiderstand

Nimmt man an, dass eine Masse bzw. ein Körper ohne Luftwiderstand (Vakuum) zu Boden fällt, so wirkt auf ihn lediglich die Schwerkraft als Beschleunigungsgenerator. Dies beschreibt das Newton'sche Gravitationsgesetz. In diesem Gesetz wird der Einfluss der Masse der Erde auf den fallenden Körper beschrieben. In erdnaher Umgebung wirkt eine Beschleunigung von $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ (Mittleuropäisches Maß).²⁰ Da die Erde keine perfekte Kugel ist, ändert sich dieser Wert aufgrund der Distanz zum Erdmittelpunkt geringfügig, je nach Region. Dieser geringe Unterschied kann Fachwerken entnommen werden.

Ein Berechnungsbeispiel zum besseren Verständnis:

Ein Körper fällt aus 2m Höhe:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{9,81}} = 0,6385 \text{ s}$$

t...Zeit in s
h...Höhe in m
v...Geschwindigkeit in m/s
g...Schwerkraft in m/s ²

Eingesetzt in die Formel der Geschwindigkeit aus Kapitel 3.2 erreicht der Körper:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2} = 6,263 \frac{m}{s}$$

Somit wird im widerstandslosen Fall lt. diesem Beispiel eine Geschwindigkeit von 6,263 m/s erreicht. Wirft man einen Körper senkrecht nach oben, wirkt die Erdanziehungskraft diesem entgegen und ist dafür verantwortlich dass der Körper abbremsst.

²⁰ Vgl. (Harten, 2014), S. 32 ff.

3.2.2 Freier Fall mit Luftwiderstand

Im Gegensatz zum widerstandslosen Freien Fall, wird der widerstandsbehaftete Freie Fall, um Faktoren ergänzt. Hier kommen nun der Widerstandsbeiwert (experimentell bestimmter Faktor durch Tests), die Luftdichte und Fläche des Körpers hinzu. Der hier entstehende Widerstand, welcher den Körper bremst wird durch die Menge an Luft die dieser durch seine Fläche verdrängen bzw. vor sich herschieben muss beschrieben. Die Fläche hat einen dementsprechend großen Einfluss auf das Bremsverhalten. In Abbildung 8 ist eine Kugel dargestellt. Die dargestellte Luft (grau) muss im Fall um das Objekt weichen und bremst die Kugel durch ihren Widerstand (C_w-Wert) ab.

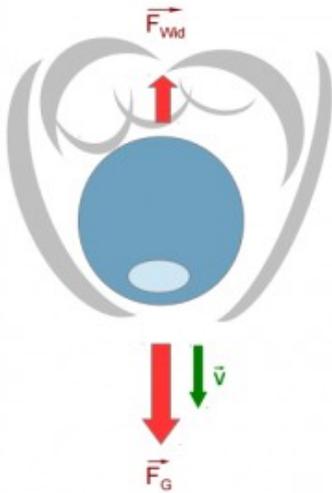


Abb. 8: Schematische Darstellung der verdrängten Luft. Quelle: (geogebra, 2017)

Würde ein Körper aus großer Höhe fallen (er hat genug Zeit zu beschleunigen), wirkt sich seine Masse auf die Endgeschwindigkeit aus. Je größer die Masse umso größer die Endgeschwindigkeit. Jedoch ist, wie aus der Physik hervorgeht, eine maximale Endgeschwindigkeit errechenbar.

Die folgenden Formeln beschreiben die Geschwindigkeit die ein Körper, widerstandsbehaftet, erreichen kann:

$$v_s = \sqrt{\frac{2 * m * g}{C_W * Q_L * A_P}}$$

$$t_s = \sqrt{\frac{2 * m}{C_W * Q_L * A_P * g}}$$

$$v(t) = v_s * \tanh \left(g * \frac{t}{t_s} \right)$$

v_s...stationäre Fallgeschwindigkeit m/s

m...Masse in kg

g...Schwerkraft in m/s²

C_w...Widerstandsbeiwert

Q_L...Luftdichte in kg/m³

A_P...projizierte Fläche in m²

t_s...Zeitkonstante in s

v(t)...Momentangeschwindigkeit in m/s

3.2.3 Reibung

Kein Körper in atmosphärischen Bedingungen ist reibungslos. Sei es ein Gas, Festkörper oder eine Flüssigkeit. Reibung ist grundsätzlich beschrieben, als das Aufeinandertreffen von Teilchen. Man unterscheidet unter Haftreibung, Gleitreibung und Rollreibung. Die Haftreibung ist die stärkste unter ihnen. Sie ist dafür verantwortlich, dass z.B.: sich Fahrzeuge, Menschen und andere Gegenstände sich nicht unkontrolliert in Bewegung setzen können. Wird die Haftreibung einmal überwunden, so tritt die Gleitreibung in Erscheinung. Je nach Beschaffenheit der Oberfläche, der Masse und dem Material fällt die Kraft die überwunden werden muss unterschiedlich aus.²¹

Die Reibung ist bei dem Prüfaufbau insofern zu beachten, dass sie entgegen der Beschleunigung wirkt. Ist die Reibungswert durch die verbauten Teile zu hoch, muss, um eine angemessene Geschwindigkeit zu erreichen, der Fall aus größerer Höhe geschehen um eine annehmbare Beschleunigung zu erhalten. Die Höhe ist jedoch durch die Anforderung im Lastenheft begrenzt. Da der Fall senkrecht nach unten gerichtet ist, spielt die Haftreibung keine Rolle da der Schlitten aufgrund seiner Masse diese überwindet.²²

Jede Materialpaarung besitzt einen ermittelten Reibungskoeffizienten. Dieser kann und wird in einem Testlabor für alle Materialien bestimmt. Je kleiner dieser Wert desto besser, wenn ein möglichst widerstandsfreies Gleiten erwünscht ist. Den Reibwert, meist mit dem griechischen Buchstaben μ angegeben, findet man in Fachliteratur und Tabellenbüchern.²³

Hersteller von Lagern bzw. Gleitlagern stellen diesen Wert für ihre Produkte zu Verfügung. Vor allem ist es in ihrem Interesse, in der Branche neue Technologie und ein gutes Produkt zu präsentieren um den Wettbewerb zu erhalten.

Ist man bemüht, die Gleiteigenschaften zu verbessern, ist dies in erster Linie durch Hohe Qualität der Oberfläche und des eingesetzten Materials zu erreichen. Ein anderer Ansatz wäre die Masse zu verringern. Zusätzlich kann man durch Schmiermitteleinsatz diese Eigenschaft verbessern. Es ist allerdings darauf zu achten, dass Schmierfett und Öle ihre Gleiteigenschaft mit fallender Temperatur verschlechtern. Somit ist der Einsatz dieser Stoffe begrenzt.²⁴

²¹ Vgl. (Böge, 2013) S. 91 ff.

²² Vgl. (Böge, 2013) S. 91 ff.

²³ Vgl. (Böge, 2013) S. 91 ff.

²⁴ Vgl. (Dieter Muhs, 2007)S. 71 ff.

In Abbildung 9 ist eine mögliche Auswahl an Gleitlagerwerkstoffen und deren Eigenschaften ersichtlich. Anhand solcher Tabellen lassen sich Materialien für einen reibungsarmen Betrieb des Prüfaufbaus bestimmen.

Forderung nach	Gleitlagerwerkstoffe und ihre Eignung								
	Guss-eisen	Sinter-metall	CuSn-Guss-bzw. Knetlegierungen	G-CuPb-Legierungen	PbSn-Legierungen	Kunst-stoffe	Holz	Gummi	Kohle Graphit
Gleiteigenschaften	2	2	3	4	4	4	4	4	4
Notlaufverhalten	2	4	2	3	3	4	1	0	4
Verschleißwiderstand	4	2	4	2	1	2	1	0	1
stat. Tragfähigkeit	4	2	3	1	1	1	0	0	1
dyn. Belastbarkeit	3	1	3	1	1	1	0	0	0
hoher Gleitgeschwindigkeit	1	0	3	4	4	0	0	0	3
Unempfindlichkeit gegen Kantenpressung	0	0	3	3	4	4	3	4	2
Einbettfähigkeit	0	0	3	3	4	3	3	4	3
Wärmeleitfähigkeit	2	2	3	2	1	0	0	0	3
kleiner Wärmedehnung	4	4	3	2	2	0	1	0	4
Beständigkeit gegen hohe Temperaturen	2	2	2	0	0	0	0	0	4
Öl-(Fett-) Schmierung	4	4	4	4	4	4	4	2	4
Wasserschmierung	0	0	0	0	0	4	4	4	4
Trockenlauf	0	0	0	0	0	4	0	0	4

4 sehr gut geeignet
 3 gut geeignet
 2 geeignet/möglich
 1 Eignung eingeschränkt
 0 nicht geeignet

Abb. 9: Eigenschaften von Gleitlagerwerkstoffen. Quelle: (Dieter Muhs, 2007), S.532

Für den Aufbau der Prüfmaschine und den verbauten Führungsschlitten (Kapitel 5) sind Kunststoffgleitlager für die Führungsaufgabe des Fallmechanismus gewählt. Grund ist die gute Gleiteigenschaft bzw. der geringe Reibwert der Kunststofflager bei fettfreiem Betrieb.

3.2.4 Magnetismus / Elektromagnet

Um die Wirkweise des Magnetismus in dieser Arbeit nicht zu vernachlässigen, da Hubmagnete in dem Aufbau vorhanden sind, ist in diesem Kapitel eine kurze Einführung in den Aufbau und die Funktionsweise eines Elektromagnetes erklärt.

Grundsätzlich ist das Prinzip bzw. des Aufbaus von Elektromagnete einfach. Durch die verbaute Spule, dass Anlegen von Spannung und des resultierenden Stromflusses wird ein Magnetfeld aufgebaut. Die Stärke des Magnetfeldes hängt von den Wicklungen der Spule und des darin befindlichen Eisenkerns ab.²⁵

Da jeder dieser stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld erzeugt, überlagern sich diese zu einem starken Gesamtmagnetfeld. Dieses Magnetfeld kann verstärkt werden, durch das Einbringen eines Eisenkerns. In diesem werden die ungeordneten ferromagnetischen Teilchen so angeordnet, sodass sie in Flussrichtung des Magnetfeldes zeigen. Da dieser Eisenkern lose im Gehäuse platziert ist, zieht es diesen in Flussrichtung der Feldlinien. Der magnetisierte Eisenkern verstärkt das Magnetfeld erheblich im Vergleich zu der Stärke des Magnetfeldes der reinen Spule.²⁶

In Abb.10 ist ein Hubmagnet abgebildet. Dieser zieht den Eisenkern, sobald die Spule unter Spannung gesetzt ist, bis die Rückstellfeder ganz zusammengedrückt ist, hinein. Durch die Rückstellfeder wird der Ausgangszustand wieder hergestellt, sobald der Stromfluss unterbrochen wird.

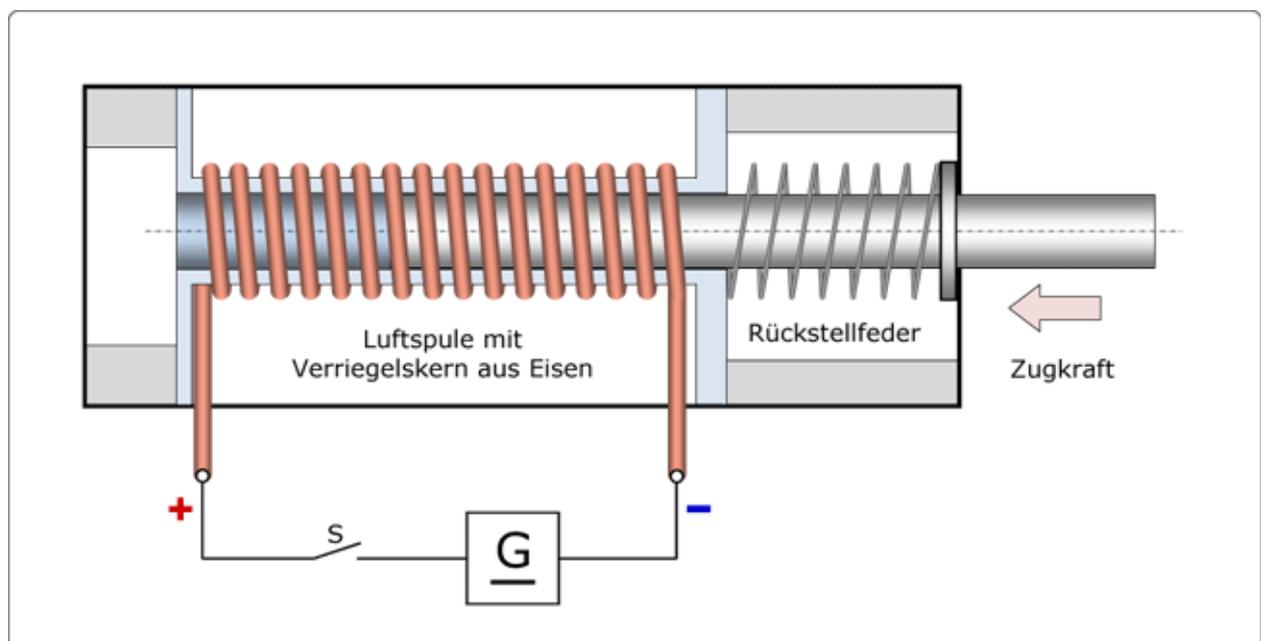


Abb. 10: Aufbau eines Hubmagneten. Quelle: (elektrotechnik-fachbuch, 2017)

²⁵ Vgl.(elektrotechnik-fachbuch, 2017)

²⁶ Vgl. (elektrotechnik-fachbuch, 2017)

Aufgrund der Höhe der Spannung, der Anzahl der Wicklungen und des resultierenden Stromflusses wird eine Kraft übertragen. Da dieses Magnetfeld beim Ein- und Ausschaltvorgang jeweils auf und abgebaut werden muss, besitzt der Magnet nicht über die ganze Einschaltdauer die gleiche Kraft. So muss bei einem Einsatz eines Elektromagneten auf Anfangs- und Endkräfte, welche vom Hersteller definiert sind, geachtet werden. Die Haltekräfte in dieser Arbeit werden folglich so ausgelegt, dass die zu testenden Produkte im Prüfaufbau keinen Schaden erleiden und die Reibung bzw. Kraft der Hubmagnete ausreicht um diese sicher für den Testdurchlauf spannen zu können.²⁷

Im praktischen Teil dieser Arbeit werden Hubmagnete für das Einspannen der elektronischen Preisschilder verwendet, welche dem Aufbau des in Abbildung 10 beschriebenen Magneten ähnlich sind. Ein weiteres Kriterium für die Verwendung der Hubmagnete ist, die Rückstellart und dessen Geschwindigkeit. Da im weiteren Verlauf eine hohe Genauigkeit bei dem Aufprall erreicht werden soll, wirkt sich dies auf einen fehlerfreien Betrieb aus. Die Rückstellfeder muss den Hubmagneten schnell in seinen Ausgangszustand versetzen um den ungespannten Zustand der Produkte herzustellen.

Bei der verbauten Rückstellfeder wird, bei den verwendeten Hubmagneten, durch Rücksprache mit dem Hersteller auf die Öffnungszeit bzw. Stärke bedacht. In dem in Kapitel 5 beschriebenen Aufbau sind der Öffnungsweg und die benötigte Zeit für diesen Vorgang in der Konstruktion berücksichtigt.

Das bedeutet man kann anhand der Kennlinie der Feder, die Kraft die der Eisenkern benötigt um seine ursprüngliche Position zu erreichen, einer Tabelle entnehmen. Ein Beispiel der Kennlinie einer Feder ist in Abbildung 11 zu erkennen. Dabei muss die Federkraft, abhängig von der Hublänge des Magneten, von der Haltekraft abgezogen werden, da sie dieser entgegen wirkt.

²⁷ Vgl. (elektrotechnik-fachbuch, 2017)

Zylindrische Schrauben-Druckfedern

vgl. DIN 2098-1 (1968-10), -2 (1970-08)

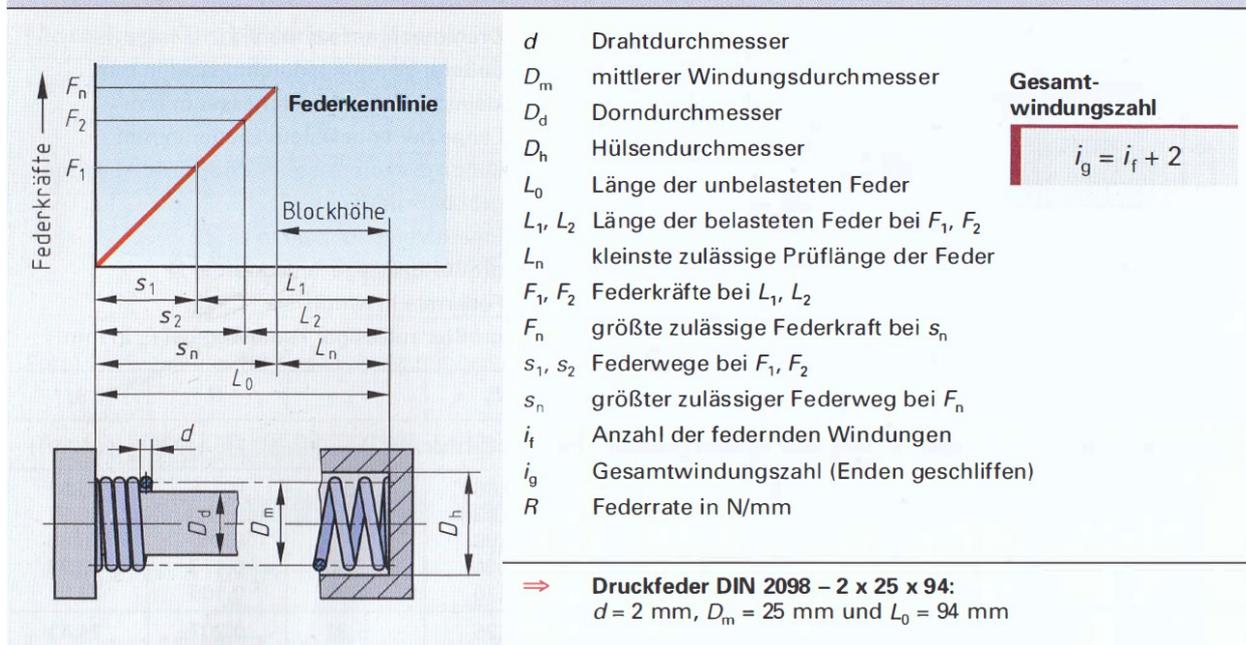


Abb. 11: Darstellung der Federkräfte abhängig vom Federweg. Quelle: (Gomeringer, 2014) S.246

Ein weiterer Punkt ist, dass die in den Hubmagneten verbaute Spule durch das Vorhandensein eines Eisenkörpers und dessen Bewegung durch die Feder eine Spannung induziert, so bleibt das Magnetfeld auch im abgeschalteten Zustand noch kurz erhalten bzw. verzögert sich der Abbau des Feldes.

Bei zeit- und wegcritischen Ereignissen kann dies zu einer Fehl- bzw. verspäteten Funktion führen. Eine Freilaufdiode kann in diesem Fall Abhilfe schaffen. Sie würde die Induktionsspannung die in der Spule entsteht abbauen, in dem der Strom weiterfließen kann. Durch das Einbauen dieser Freilaufdiode, ist es möglich die Zeit die der Magnet zum Öffnen benötigt zu reduzieren.

Elektromagnete bzw. Hubmagnete gibt es in den verschiedensten Ausführungen. Der Unterschied in Preis und Qualität ergibt sich durch die Qualität der Wicklungen und dem verbauten Material (Genauigkeit etc.).

Die Einschaltdauer und deren Kraftdiagramm gibt Aufschluss über den Verhalt des Magneten während eines Testzyklus. Grundsätzlich wird noch unterschieden, wie lange der Magnet im eingeschalteten Zustand bleibt. Wird er nur kurz betätigt so ist die entstehende Wärme kein Problem. Bei einem Dauerbetrieb allerdings, muss dies berücksichtigt werden. Jeder Hersteller gibt die Einschaltdauer der Elektromagnete an. Ein dauerhaft betriebener Magnet hat somit 100%ED (Einschaltdauer) und dadurch weniger Haltekraft, da bei gleicher Bauform weniger Wicklungen aufgrund der Wärmeentwicklung umsetzbar sind.

In Abbildung 12 sind einige Bauformen von Hubmagneten abgebildet. Die Wahl hängt von der Stärke des Hubmagneten (große Bauform) bzw. der Platzsituation an der Maschine ab.



Abb. 12: Verschiedene Ausführungen von Elektromagneten. Quelle: (magnetbasics, 2017)

Ein Elektromagnet hat meist, durch sein verbautes Material, einen großen Temperaturbereich in dem er betrieben werden kann. Trotzdem ist darauf zu achten, dass dieser nicht über- oder unterschritten wird. Hersteller geben in den Datenblättern an, in welchen Temperaturbereich der Magnet optimal arbeitet. Kommt man während des Betriebes außerhalb dieses Bereiches, verliert der Magnet die Stärke seiner Haltekraft. Bis hin zum kompletten Versagen.

3.3 Einflüsse durch unterschiedliche Temperaturen

Unterschiedliche Temperaturen wirken sich auf die Eigenschaften der Materialien aus. Tests bei wechselnden bzw. Hoch- und Tieftemperaturbedingungen, wie sie im Lastenheft definiert sind, müssen vor allem bei den elektronischen Preisschildern durchgeführt werden, da sie am internationalen Markt platziert sind. Wenn z.B.: der Kunde wünscht, eines der Produkte in einem Tiefkühlager zu platzieren. Somit muss sichergestellt sein, dass die mechanische und elektrische Funktionalität auch bei den geforderten Temperaturen (-30° und +80° Celsius) gegeben ist.

Es soll angemerkt sein, dass die in der Arbeit vorkommenden elektronischen Preisauszeichnungen auf diese Temperaturbereiche ausgelegt und entworfen worden sind. Ein möglicher Falltest in einer Klimakammer soll bestätigen, dass das Material, dessen Stärke und Kontur diesen Bedingungen standhält.

Bei tiefen Temperaturen entwickeln Schmierstoffe eine gewisse Zähigkeit. Sind Führungselemente mit Schmierstoffen wie Ölen etc. versehen, muss auf die Kennwerte anhand des Datenblattes geachtet werden. Der Reibwert erhöht sich bei tiefen Temperaturen aufgrund der Zähflüssigkeit womöglich so sehr, dass ein Falltest nicht mehr möglich ist. Zusätzlich können Werkstoffe, besonders Kunststoffe, spröde werden. In den folgenden Kapiteln dieser Arbeit kommen Hubmagnete zum Einsatz. Diese entwickeln unterschiedliche Haltekräfte bei Hoch- und Tieftemperaturbereichen. Sie halten den in dem Lastenheft geforderten Temperaturbereichen stand.

Bei hohen Temperaturen dehnen sich Werkstoffe aus. Dabei kann an Passungen der Bauteile zu viel Spiel entstehen und ihre Funktion beeinträchtigt sein. Führungen könnten sich während der Bewegung dadurch z.B.: verkanten und steckenbleiben. Vor allem bei einem Versuch einem freien Fall nahe zu kommen, sind durch lockere Führungen entstehende Vibrationen nicht erwünscht.

Grundsätzlich gibt es für jeden Werkstoff einen im Labor ermittelten Temperaturkoeffizienten. Dieser beschreibt die Eigenschaft des Werkstoffes bei steigender oder fallender Temperatur.

4 KONZEPT DES PRÜFGERÄTES

Das Konzept ist aus den Vorgaben der Firma SES-Imagotag erstellt. Da wie in dem Lastenheft bestimmt, verschiedene Temperaturbedingungen gefordert sind, ist auf das Material für den Aufbau achtgegeben worden. Das Konzept ist mit Hilfe der erarbeiteten Normenevaluierung und den darin vorkommenden Anforderungen der Firma SES-Imagotag entworfen. Es wirken sich die beschriebenen physikalischen Gesetze auf die Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Versuche aus.

Im weiteren Verlauf wird im Detail beschrieben, wie die einzelnen Bauteile konstruiert sind, um das Prüfgerät für den geforderten Betrieb zu erstellen. In Abbildung 13 ist das im Zuge der Normenevaluierung bestimmte Grundkonzept des Falltests dargestellt. Es sind die wichtigsten Elemente aufgeführt und mit den gewünschten Funktionen aus dem Lastenheft beschrieben.



Abb. 13: Konzept eines Falltest der Normenevaluierung. Quelle: (SES-Imagotag, 2017)

Das in den späteren Kapiteln (ab Kapitel 5) umgesetzte Konzept besteht aus einer Rahmenkonstruktion aus Aluminium mit einer Stahlplatte als Aufprallfläche für die Produkte. An der Konstruktion ist eine Spann- bzw. Haltevorrichtung durch ein geführtes Schlittenelement befestigt. Durch das Lösen der Haltevorrichtung und der folgenden Fallbeschleunigung erfahren der Schlitten und das Produkt annähernd den Freien Fall. Kurz vor dem Auftreffen, löst der Schlitten das Produkt von seinem Haltemechanismus. In diesem Moment haben beide die gleiche Geschwindigkeit.

Der Mechanismus am Schlitten muss recht spät auslösen, um eventuell auftretende Bewegungen der Produkte im nicht geführten Fall der Produkte zu vermeiden. Da es bei den Produkten unterschiedliche Größen gibt, ist der Haltemechanismus einstellbar ausgeführt. Je nach Produkttyp kann er auf dessen Größe verstellt und angepasst werden. Da die Produktentwicklung bei einem am Markt noch recht jungen Produkt sehr schnell voranschreitet, ist auf mögliche Veränderungen, die im Rahmen der Größe und dem Gewicht entsprechen, zu achten.

Letztendlich fällt das Produkt in der gewünschten Lage auf die Stahlplatte. Der Testdurchlauf wird dokumentiert und wiederholt, wie es das erstellte Prüfprotokoll verlangt.

Als Grundkonzept ist, abgesehen von der beschriebenen Rahmenkonstruktion, ein elektrischer Auslösemechanismus bestimmt. Grund ist die Robustheit gegenüber widriger Umweltbedingungen. Es ist daher notwendig eine Energieführungskette mit in das System zu integrieren. Diese darf das Fallen der Führungskomponenten nicht beeinträchtigen.

Sie führt die Versorgungsleitungen und hat durch ihre Position bzw. Befestigung wenig Einfluss auf den fallenden Schlitten. Der Auslöser des Haltemechanismus wird durch einen Spannungsimpuls eines induktiven Näherungsschalters ausgelöst.

Da von der Firma SES-Imagotag Sicherheitsabdeckungen gewünscht sind, ist der Auslöser nach außen geführt. Alle elektrischen bzw. zum Einspannen der Produkte entwickelten Komponenten sind insofern verstellbar, dass jedes Produkt in allen geforderten Positionen gespannt werden kann um die notwendigen Kanten und Ecken zu testen.

Die Höhe des Auslösers wird definiert durch Markierungen bzw. ein am Rahmen befestigtes Maß gekennzeichnet. Somit ist sichergestellt, dass eine Wiederholgenauigkeit erreicht wird. Zusätzlich ist ersichtlich ob der Auslöser noch an seiner bzw. der gewünschten Höhe ist.

Da die Betätigung nach außen geführt ist, kann sich das Prüfgerät in einer klimatisierten Umgebung befinden. Das Auslösen des Falltests kann außerhalb erfolgen, wenn dies der Fall ist. Es ist unzumutbar das Bediengerät innerhalb einer Klimakammer betätigen zu müssen.

In der Konzeptionierung sind mehrere Entwürfe für das Prüfgerät entstanden. Wesentliche Unterschiede bei den Konzepten betreffen den Haltemechanismus der elektronischen Preisschilder und das Führungssystem. Dabei sind die Gleiteigenschaften verschiedenster Lagertypen untersucht worden, sowie eine Recherche der Robustheit gegenüber den geforderten Temperaturbereichen im Lastenheft.

Der Gesamtaufbau des umgesetzten, in den folgenden Kapiteln im Detail beschriebenen, Konzeptes ist in Abbildung 14 dargestellt.

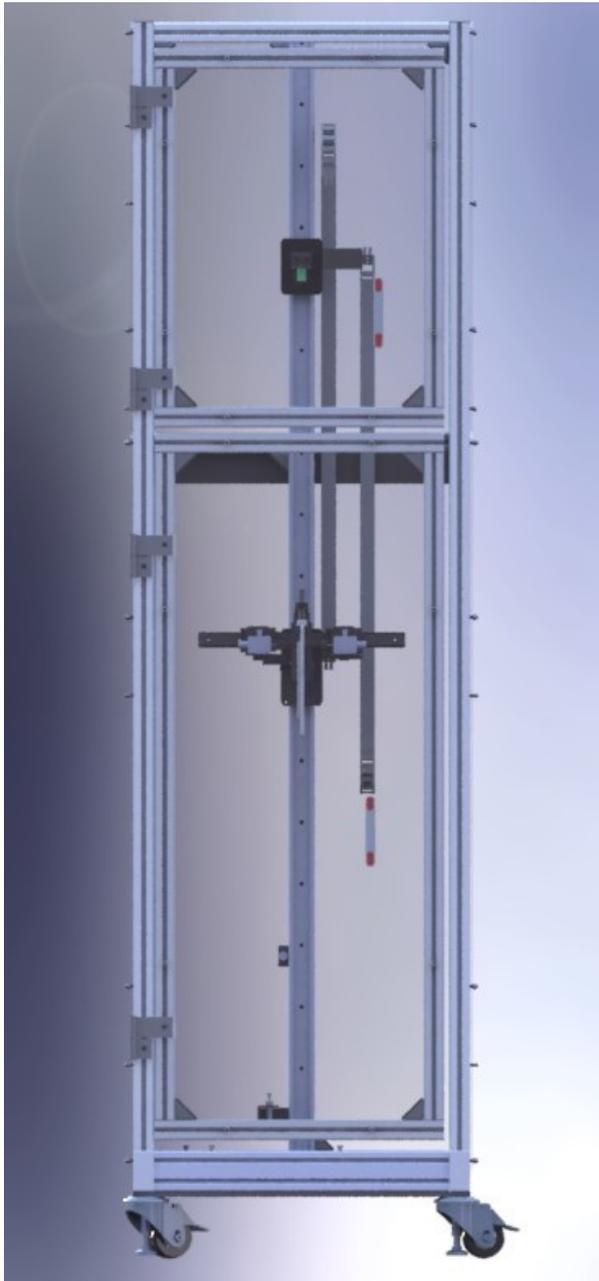


Abb. 14: Umgesetztes Konzept des Prüfaufbaus für den Falltest. Quelle: Eigene Darstellung

Die größte Herausforderung stellt der Haltemechanismus der Produkte dar. Dieser ist in mehreren Schritten durch das Erstellen von verschiedenen Ausführungen entstanden. Alle Einflussfaktoren aus dem Lastenheft sind berücksichtigt um ein Ergebnis zu erzielen. Um einen Vergleich zu den ersten Entwürfen und deren Führungssystem oder Spannmöglichkeit näher zu bringen, sind in den folgenden Seiten (S.30 und S.31) zwei weitere Ausarbeitungen beschrieben.

Ein angedachtes Konzept beschreibt eine pneumatische Betätigung. Dieses würde aber nicht ohne Zusatzstoffe bei der Druckluftaufbereitung funktionieren, sollte die Temperatur unter null Grad Celsius fallen (Frostschutz). In Abbildung 15 ist der Entwurf des pneumatischen Halters abgebildet um einen Vergleich zu der in den späteren Kapiteln beschriebenen Version darzustellen.

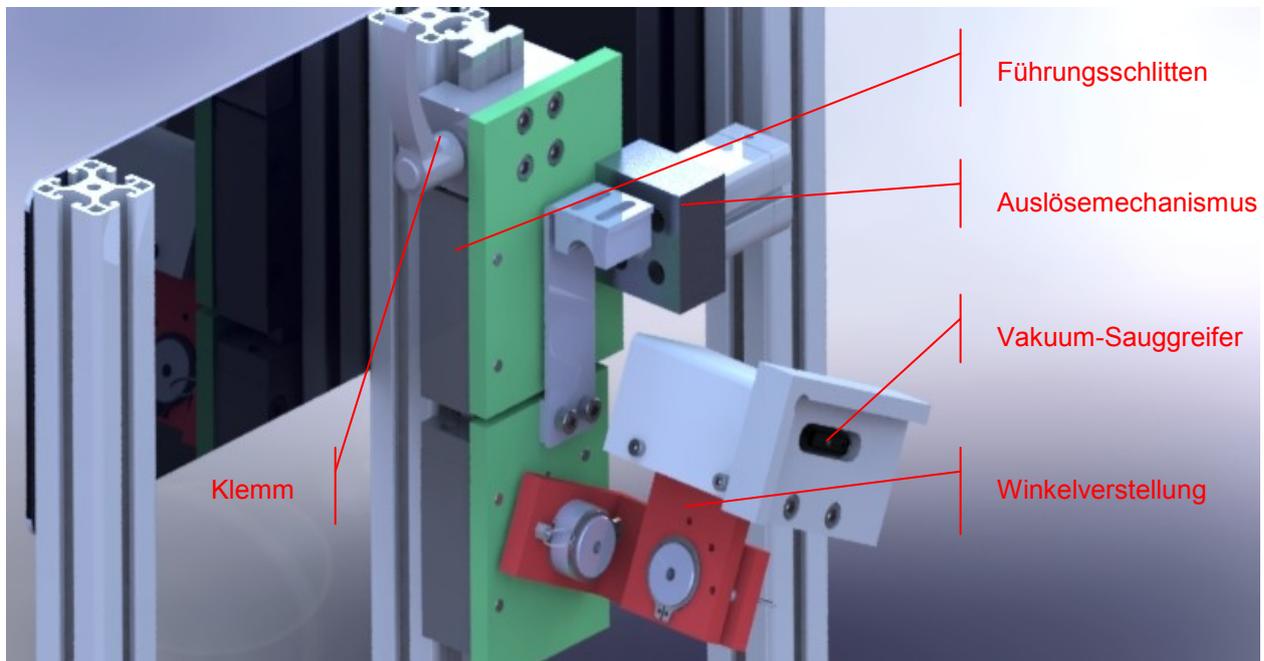


Abb. 15: Pneumatische Halter der durch einen Vakuumsauger das Produkt hält. Quelle: eigene Darstellung

Bei diesem Konzept wird das Produkt durch den Vakuumsauger in der Ausnehmung gehalten. Die Winkelverstellung kann nach vorne um 90° und um 45° seitlich verstellt werden. Das Neigen an der Winkelverstellung dient, die Kanten der elektronischen Preisschilder testen zu können.

Ein weiterer Grund für das Ausscheiden dieses Konzeptes ist die Verfügbarkeit des Betriebsmediums und dessen Versorgungsleitungen. Genauer die Temperaturfestigkeit der benötigten Ventile, da Druckluft als Medium vom Auftraggeber genehmigt wurde ist dieses Konzept grundsätzlich in Ordnung. Für den geforderten Temperaturbereich wäre aber eine pneumatische Schaltung nur außerhalb einer Klimakammer möglich, da die Dichtungen nicht für diese Bedingungen (+20°C und -80°C) ausgelegt sind. Das Führen der Schläuche und die Schaltlogik der Ventile sind um einiges aufwendiger zu gestalten wie das folglich beschriebene, umgesetzte Konzept.

Ein weiteres Konzept beschreibt ein anderes Führungssystem. Es werden keine Gleitlagerführungen verwendet, sondern Linearkugellager. Sie besitzen einen sehr geringen Reibwert und sind für Führungsaufgaben mit hoher Beschleunigung sehr gut geeignet. In Abbildung 16 ist der Entwurf des Schlittens mit den Führungsstangen an denen die Linearkugellager geführt sind ersichtlich.

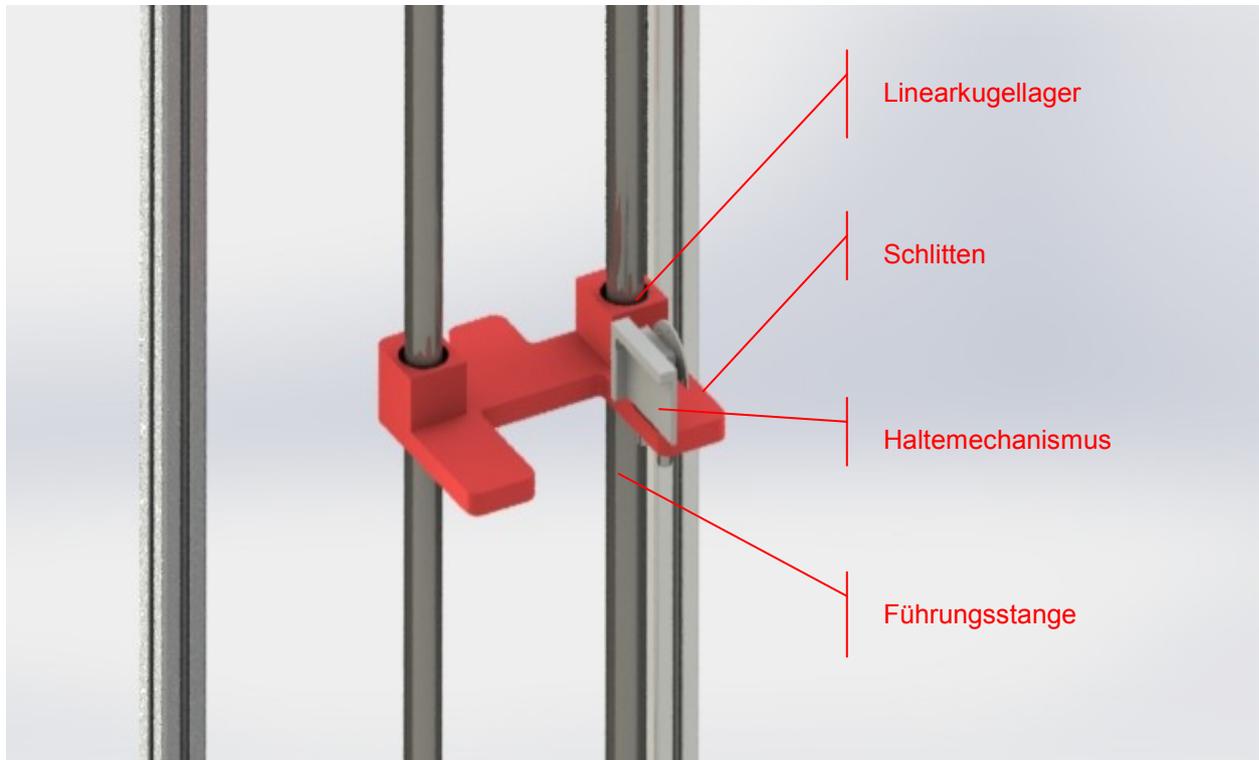


Abb. 16: Konzept des Prüfgerätes mit Linearkugelgelagertem Schlitten. Quelle: Eigene Darstellung

Der Schlitten wird von den zwei ersichtlichen Stangen geführt. Der Grund für das Ausscheiden dieses Konzeptes liegt in der notwendigen Genauigkeit bei der Fertigung der Bauteile und dem Montageaufwand durch das Führungssystem.

Werden die zwei Führungsstangen nicht exakt senkrecht und in gleichem Abstand montiert, bleibt der Schlitten stecken oder erreicht die erwartete Geschwindigkeit nicht. Zusätzlich ist das Ausrichten dieser Führungsstangen bei einer geforderten Höhe des Aufbaus von bis zu 2 m nicht gut umsetzbar. In dem Konzept ist ein geteilter Aufbau aufgeführt. Es soll aufgrund der Transportfähigkeit und der nicht gegebenen Notwendigkeit, immer Tests aus 2 m Höhe durchführen zu müssen, der Aufbau knapp über der Hälfte seiner Höhe teilbar sein, bei voller Funktionsfähigkeit. Trennt man die Führungsstangen wäre eine Bearbeitung dieser notwendig um die Stoßenden wieder exakt miteinander zu verbinden.

5 MECHANISCHER AUFBAU

Der mechanische Aufbau ist, wie im Konzept beschrieben, flexibel gestaltet. In diesem Kapitel wird die Funktionalität der Baugruppen detailliert beschrieben. Die einzelnen, als Zukauf verwendeten Bauteile, sind mit den Herstellern abgestimmt, um ein gutes Ergebnis zu erzielen. Die in weiterer Folge beschriebene Umsetzung ist anhand der Ausarbeitung der vorigen Entwürfe entstanden und entspricht den Anforderungen des Lastenheftes. Dieser Entwurf des Prototyps ist von der Firma SES-Imagotag freigegeben.

5.1 Gestell / Rahmen

Das Grundgestell besteht aus einer Aluminiumprofil-Konstruktion (Abbildung 17). Durch Stoßverbindungselemente kann der Oberteil vom Unterteil getrennt und abgenommen werden. Das Teilen des Rahmens bringt den Vorteil, bei Testdurchläufen von bis zu 1,2 m Höhe, das Prüfgerät auf einem Tisch oder Ablage stellen zu können um ein ergonomisches Arbeiten zu ermöglichen. Beide Teile des Rahmens sind mit Türelementen ausgestattet und lassen sich getrennt öffnen.

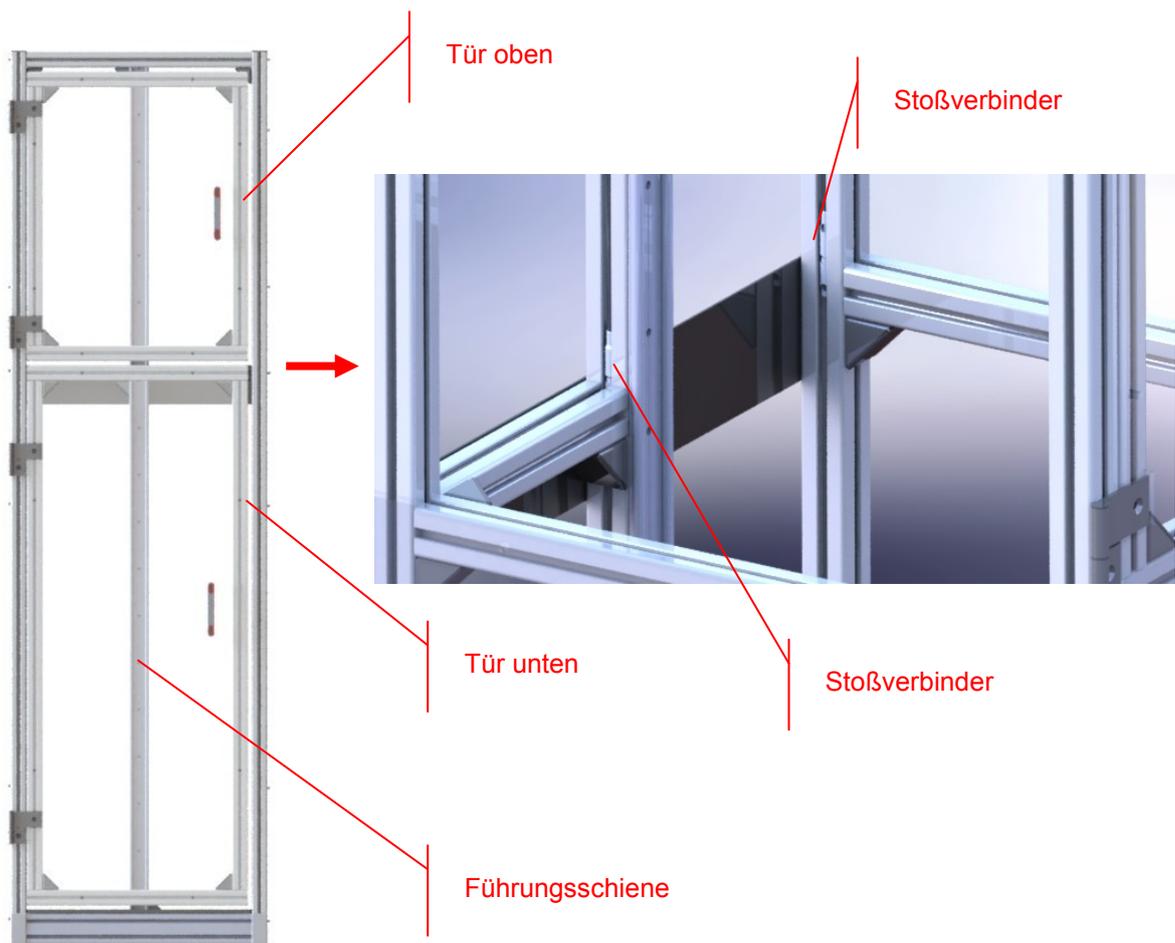


Abb. 17: Rahmenaufbau des Prüfgerätes mit Detailansicht der Stoßverbinder. Quelle: Eigene Darstellung

An der Innenseite der Türen sind Magnetschnapper befestigt um diese während des Betriebes geschlossen zu halten. Die Griffe der Türen sind an der Sicherheitsscheibe verschraubt.

Um die Sicherheit durch herumfliegende Teile beschädigter Produkte zu gewährleisten; sind 6 mm starke Sicherheitsscheiben aus Polycarbonat (Abbildung 18) um den Rahmen montiert. Die zu prüfenden Produkte können durch Öffnen der Tür an der Vorderseite in den Apparat eingespannt werden. Die Tür muss während des Testvorgangs geschlossen bleiben. Eine Sicherheitslogik ist in dieser Version des Prüfgerätes nicht integriert. Zusätzlich zu der Sicherheitsfunktion, dienen die Sicherheitsscheiben der Stabilität des Rahmens.

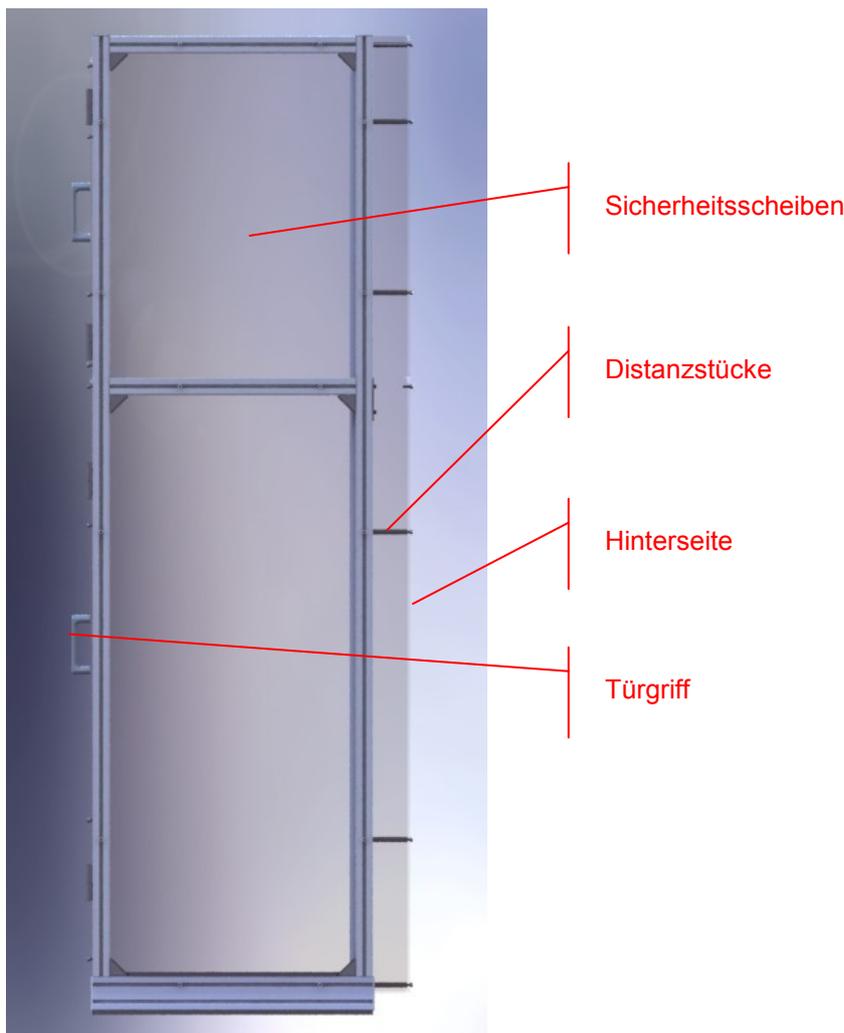


Abb. 18: Sicherheitsscheiben zum Schutz des Bedieners. Quelle: Eigene Darstellung

Die Distanzstücke an der Hinterseite des Aufbaus dienen dazu, Platz zu schaffen um die Leitungen zu den Energieketten führen zu können. Die Sicherheitsscheibe befindet sich an der Hinterseite im Abstand von 80 mm zu dem Profil. Ebenso ist dieser Bereich geschaffen, die Schaltbox bzw. dessen Leitung nach außen führen zu können.

Die am Rahmen befestigte Laufschiene, ist ebenfalls teilbar ausgeführt (Abbildung 19). Bei der Montage der Schiene ist auf Parallelität und auf die Kanten am Übergang zu dem oberen Teil zu achten.

Die Laufschiene ist, aufgrund der Stoßverbindung durch den teilbaren Rahmen in ihrer Herstellung sonderbehandelt. Es werden beide Teile aus einer Charge gefertigt und die Stoßenden nachbehandelt. Geschieht dies nicht, werden die Schienen nur auf Maß zugeschnitten. Das kann bedeuten, dass die Stoßflächen nicht exakt übereinstimmen. Ist dies der Fall kann es zu einem Verlust der Beschleunigung des Führungsschlittens im Freien Fall führen.²⁸

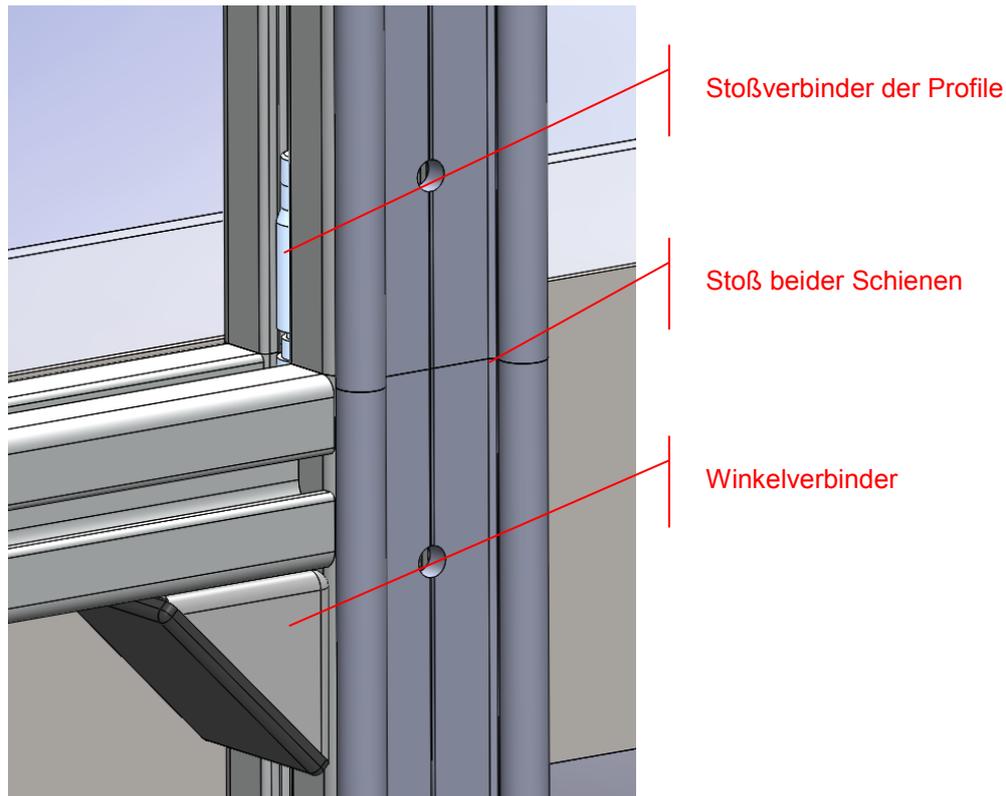


Abb. 19: Stoßverbindung der Führungsschiene. Quelle: Eigene Darstellung

Die einzelnen Aluminiumelemente des Rahmens lassen sich durch die Verbindungstechnik (Winkelverbinder) des Lieferanten problemlos zusammensetzen. Auch im getrennten Zustand (Ober- und Unterteil) ist der Aufbau stabil genug um in Betrieb genommen zu werden.

²⁸ Vgl. (Igus, 2017)

Die Abmessungen der Grundplatten (Bodenplatten) des Rahmens definieren die Außenabmessung des Prüfaufbaus. Beim Zusammenbau ist somit die Abmessung von 650 mm x 650 mm vorgegeben. Die obere Grundplatte (Aufprallplatte) ist an den Ecken ausgenommen, um die Winkelverbinder montieren zu können. (Abbildung 20)

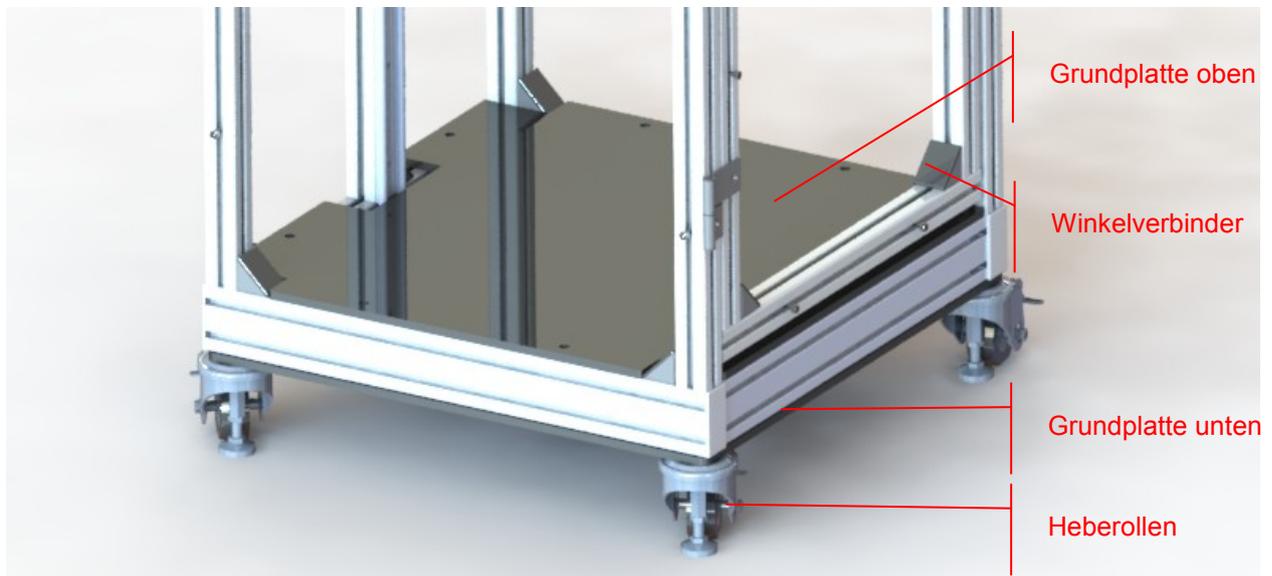


Abb. 20: Grundplatte des Aufbaus. Quelle: Eigene Darstellung

Am unteren Teil des Rahmens befindet sich die zweite Stahlplatte. Die obere dient als Aufprallplatte für die vorgesehenen Falltests, die untere einerseits als zusätzliches Gewicht, um den Aufbau zu stabilisieren, aber auch um die elektronischen Komponenten sicher verbauen zu können. (Abbildung 21)

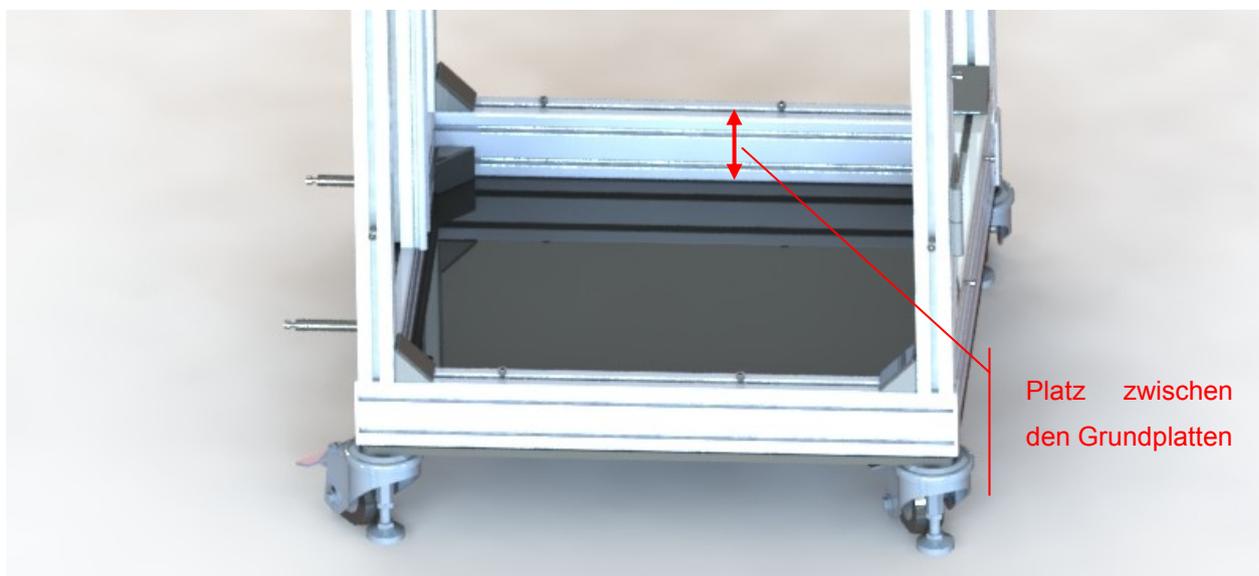


Abb. 21: Zwischenraum für die Befestigung der Elektronik. Quelle: Eigene Darstellung

An der Unterseite der unteren Platte befinden sich M 12 Gewindebohrungen um Laufrollen zu befestigen (Abbildung 21). Die Laufrollen sind als Kombinationsbauteile, bestehend aus Rollen und Stellfüßen ausgeführt. Es ist möglich durch einfaches drücken der dafür vorgesehenen Lasche an den Rollen, den ganzen Aufbau auf Stellfüßen zu platzieren. So ist ein stabiler Stand des Aufbaus garantiert.

5.2 Führungsschlitten und Lagerung

In Abbildung 22 ist der Schlitten für den Falltest abgebildet. Dieser Schlitten soll mit dem Produkt durch die Fallbeschleunigung annähernd den Freien Fall erreichen und sich kurz vor dem Aufprall von dem Produkt lösen.

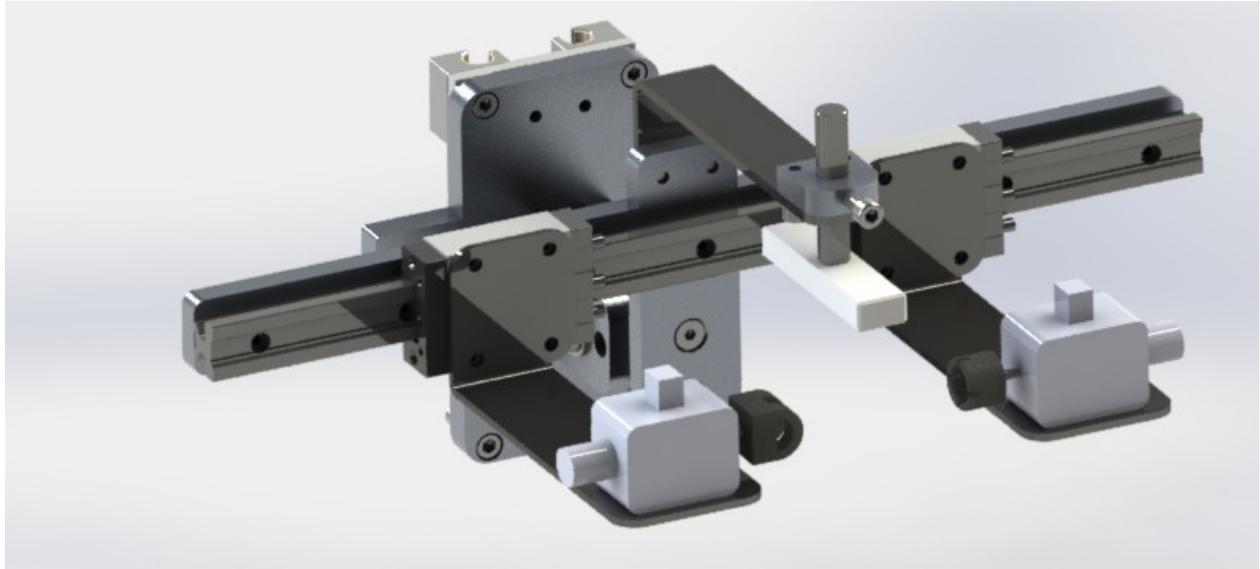


Abb. 22: Schlitten mit Magnete und Verstell Funktionen. Quelle: Eigene Darstellung

Als Führungselement kommt ein Gleitführungsschlitten der Firma Igus zum Einsatz. Die Gleiteinsätze des Schlittens sind aus speziellem Temperaturunempfindlichen Material (iglidur®J), welches einen geringen Reibwert besitzt, gefertigt. Dieses Material ist für solche Anwendungszwecke ausgelegt und vom Hersteller getestet bzw. entwickelt. Diese Gleitführungen sind außerdem für eine Hohe Laufzeit ausgelegt. Sollte ein Wartungsvorgang oder tausch notwendig sein, ist dies problemlos möglich da sich die Gleitelemente aus dem demontierten Schlitten leicht entfernen lassen.²⁹

Eine Funktion die der Führungsschlitten erfüllt, ist das Verstellen des Winkels um die geforderten Kanten testen zu können. Zwei Lagerplatten verbinden den Vorderteil des Schlittens mit dem Führungselement und dessen Adapterplatte. Diese besitzen eine 20 mm große Bohrung für den verbauten Lagerbolzen. In der beweglichen Platte in der Mitte, ist eine Gleitlagerbuchse eingesetzt um den Bolzen zu führen. Die Platte dient der Verstellung des Halters und hat Bohrungen im Abstand von 45° für die Winkelverstellung. Die Winkelverstellung wird mit der dafür vorgesehenen Passschraube fixiert.

²⁹ Vgl. (Igus, 2017)

Der Lagerbolzen ist spielfrei gelagert um unnötiges wackeln des Halters zu vermeiden. Durch die 10 mm große Bohrung lässt sich die Passschraube montieren, um die Position von 45° bzw. die Horizontale Ebene genau einzuhalten. Durch die Passschraube entsteht zusätzlich Stabilität in dem Gelenk. (Abbildung 23)

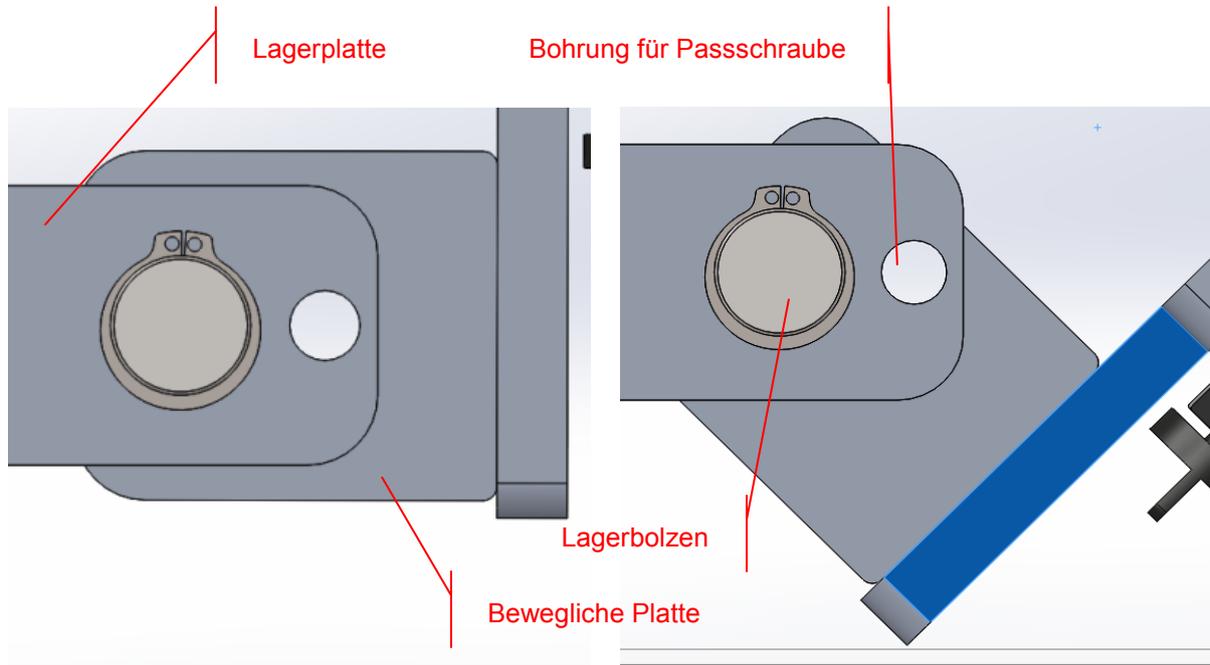


Abb. 23: Verstellfunktion des Halters für eine Neigung von 45°. Quelle: Eigene Darstellung

An der Vorderseite des Führungsschlittens befinden sich zwei verstellbare Führungswagen (Abbildung 24). An ihnen sind die Befestigungsbleche der Hubmagnete befestigt. Diese ermöglichen eine Verstellung in der Breite, um alle geforderten Größen der Produkte einspannen zu können. Als Führungsschiene dient eine für diese Baugruppe mitgelieferte, T-Schiene.

Zusätzlich, um ein verrutschen zu vermeiden, sind beide Wagen mit einer Klemmschraube ausgestattet. Für ein Testen in Senkrechter Position des Produkts, können die Wagen mit den Hubmagneten mittig zusammengesoben werden. Der Öffnungsweg der Magnete reicht aus um die Produkte spannen zu können.

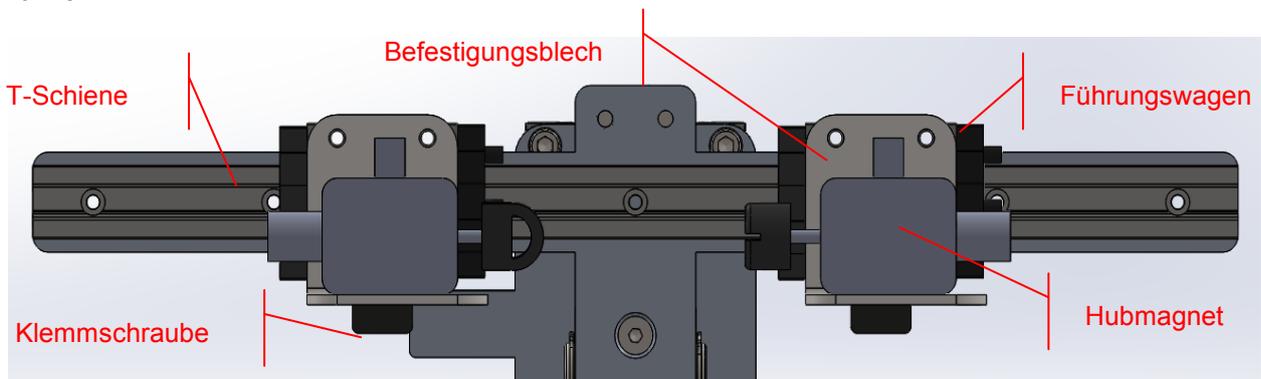


Abb. 24: Führungswagen der Hubmagnete mit T-Schienensystem. Quelle: Eigene Darstellung

Der ganze Schlitten ist sehr wartungsfreundlich konstruiert um gegebenenfalls einzelne Komponenten tauschen zu können. Die beiden Führungswagen lassen sich seitlich von der T-Schiene schieben, sofern eine Wartung an ihnen notwendig ist. Die Gleitleisten der Führungswagen sind gleich wie die des Führungsschlittens als Verschleiß- bzw. Ersatzteil ersetzbar. (Abbildung 25)

Dies ermöglicht außerdem ein Überarbeiten und Verbessern des Konzeptes zur Optimierung des Prüfungsvorganges sowie das Einbringen weiterer Automatisierungsschritte. Dieser Typ Schienen ist auch als Spindeltrieb bzw. Linearantrieb mit Motor erhältlich, bei gleicher Baugröße.

Ein großer Vorteil bei den verbauten Lagereinheiten und Führungsschienen ist, die lange Verfügbarkeit die durch den Hersteller garantiert wird.³⁰

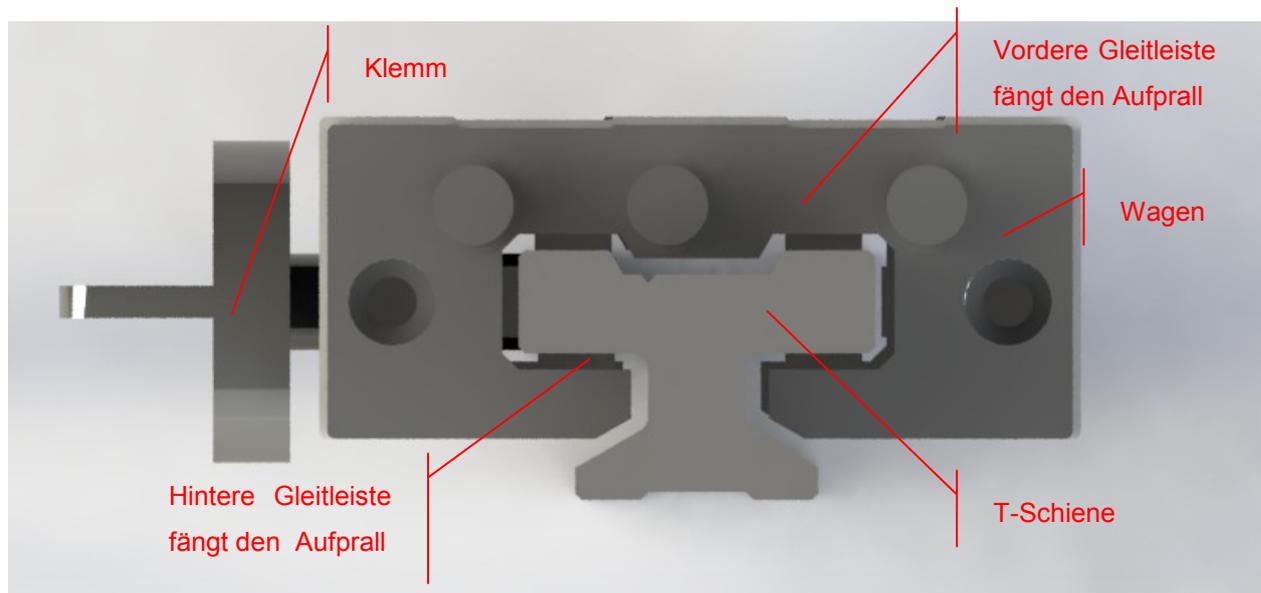


Abb. 25: Führungswagen der Hubmagnete mit T-Schiene. Quelle: Eigene Darstellung

Die T-Schiene bietet durch die 6 Auflageflächen eine Stabilität in allen Freiheitsgraden die für den freien Fall zu beachten sind. So ist beim Auftreffen auf den Stoßdämpfer die Beanspruchung auf der hinteren und deren gegenüberliegenden Gleitleiste am größten. Es sind in Längsrichtung des Wagens jeweils vier hintere und vier vordere Gleitleisten verbaut. Durch die Größe der entstehenden Auflagefläche aufgrund der Anzahl dieser Leisten, stellt die Belastung des Aufpralls kein Problem dar.

³⁰ Vgl. (Igus, 2017)

5.3 Haltemechanismus / Auslöser

Der Haltemechanismus funktioniert mit Hilfe von Hubmagneten (Abbildung 26). Diese Magnete sind anhand der Modelldaten der elektronischen Preisschilder, deren Gewicht und Größe, für dieses Prüfverfahren ausgewählt. Das Konzept der Halterung ist flexibel genug, um alle Produkte, auch mit den unterschiedlichen Konturen, spannen zu können.

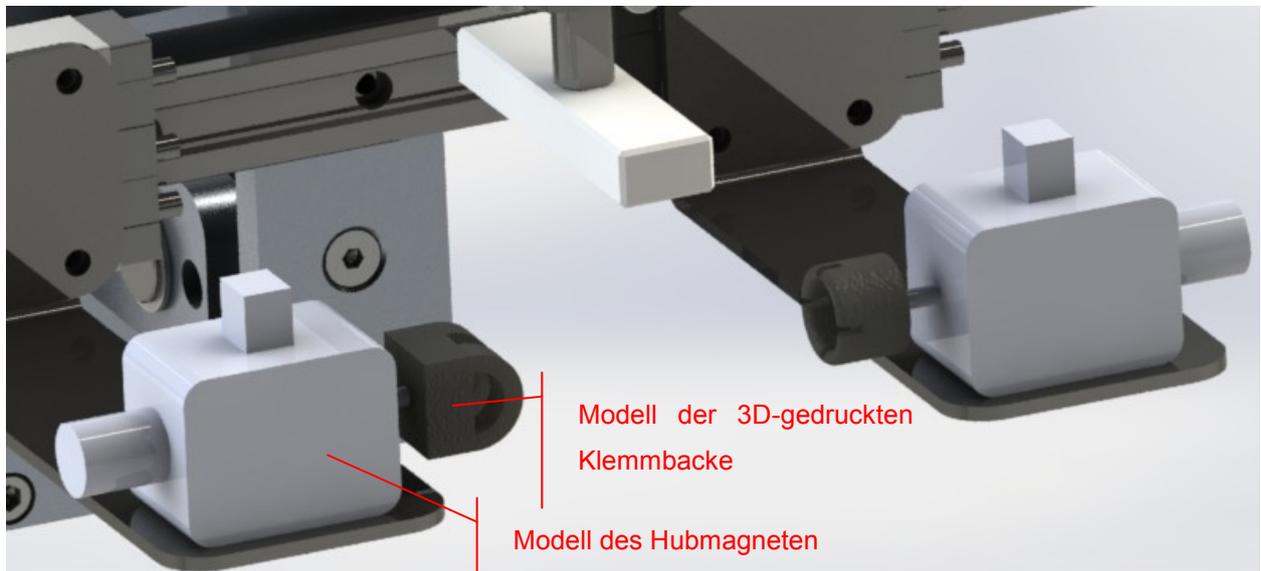


Abb. 26: 3-D gedruckte Klemm und Anschlagteile. Quelle: Eigene Darstellung

Der Hub der Magnete beträgt jeweils 15 mm. Ein Öffnungsweg von 2 bis 3 mm ist bereits ausreichend, um nach dem Auslösen des Mechanismus von Kanten und Ecken der Kontur entfernt zu sein. Werden die Magnete ganz zusammen geschoben, hat dies Einfluss auf die Haltekraft. Anhand der Kennlinie in Abbildung 27 ist die Haltekraft, welche sichtlich durch den Hubweg abnimmt dargestellt. Dabei beschreibt „ED“ die Einschaltdauer. Bei dem Prüfaufbau ist eine Einschaltdauer von 100% anzunehmen, da nicht definiert ist, in welchem Zeitabstand der Auslöser betätigt werden muss. Die Kraft nimmt anhand der Darstellung in Abbildung 27 mit dem zunehmenden Hubweg deutlich ab.

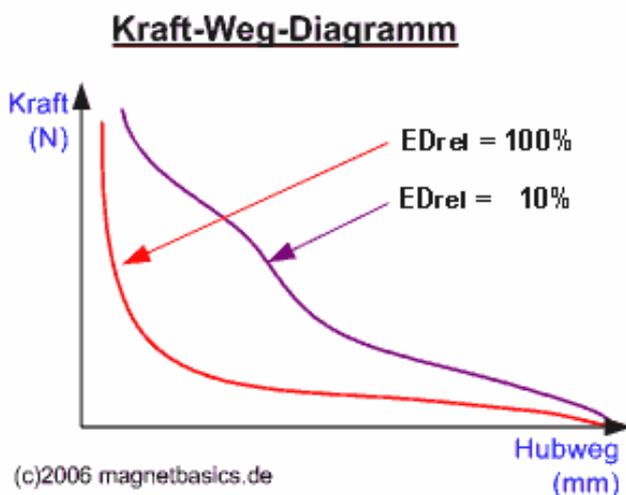


Abb. 27: Kraft-Weg-Diagramm eines Hubmagneten. Quelle: (magnetbasics, 2017)

Die Klemmbacken bzw. Halter an den Hubmagneten sind im 3-D Druckverfahren hergestellt. Da die Magnete in der standardisierten Bauform des Herstellers ein Gewinde besitzen, mit dem es möglich ist verschiedenste Halter zu montieren, ist dieses Verfahren gut geeignet um eine Klemmbacke schnell und kostengünstig, angepasst auf das jeweilige Produkt oder die gewünschte Kontur zu fertigen.

Ebenso kann ein neues Modell erstellt werden, wenn sich die Kontur der Produkte im Laufe der Zeit ändert und der im Einsatz befindliche Klemm seine Funktion nicht mehr erfüllt. In Abbildung 28 sind zwei Modelle der 3D-gedruckten Klemmbacken abgebildet.

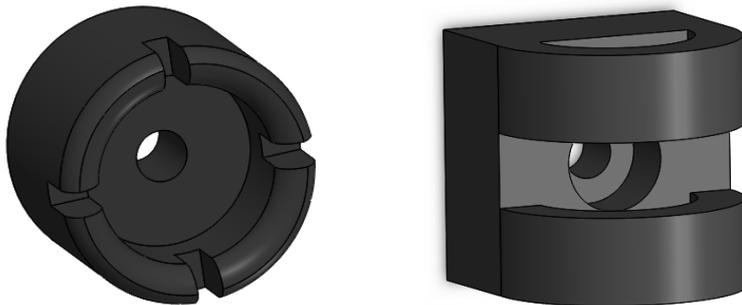


Abb. 28: Modelle der 3D-gedruckten Klemmbacken. Quelle: Eigene Darstellung

Um die nötige Haltekraft und Reibung zu erhalten sind verschiedene Klemmbacken konstruiert, gedruckt und gefertigt. Im Zuge der Inbetriebnahme lassen sich diese beliebig tauschen und auf Produkte abstimmen um die elektronischen Preisschilder optimal spannen zu können.

Das Material für die Herstellung dieser Klemmbacken ist frei wählbar. Gummi- bzw. silikonähnliche Werkstoffe sind besser geeignet als Kunststoffe durch ihren höheren Reibungswiderstand. Die Kontur kann flexibel, bei empfindlichen Bauteilen oder aus starr ausfallen. Durch vergrößern der Auflagefläche der Klemmbacken am Produkt, wird ein verdrehen bedingt durch den Schwerpunkt verhindert. Dies kommt vor allem dem Spannen der größeren Serien zu gute.

Bei dem Entwurf neuer Konturen der Klemmbacken ist zu beachten, dass sich kein Saugeffekt bilden kann. Dies würde bedeuten, dass beim Lösen vom Führungsschlitten, das Produkt in seiner Lage verändert wird.

Der Anschlag am Führungsschlitten (Abbildung 29), dient als Orientierung um die elektronischen Preisschilder in einem Winkel von 90° zu der Schlittenplatte positionieren zu können. Dies soll ermöglichen, die Produkte in jedem Testvorgang gleich auszurichten bzw. zu spannen.

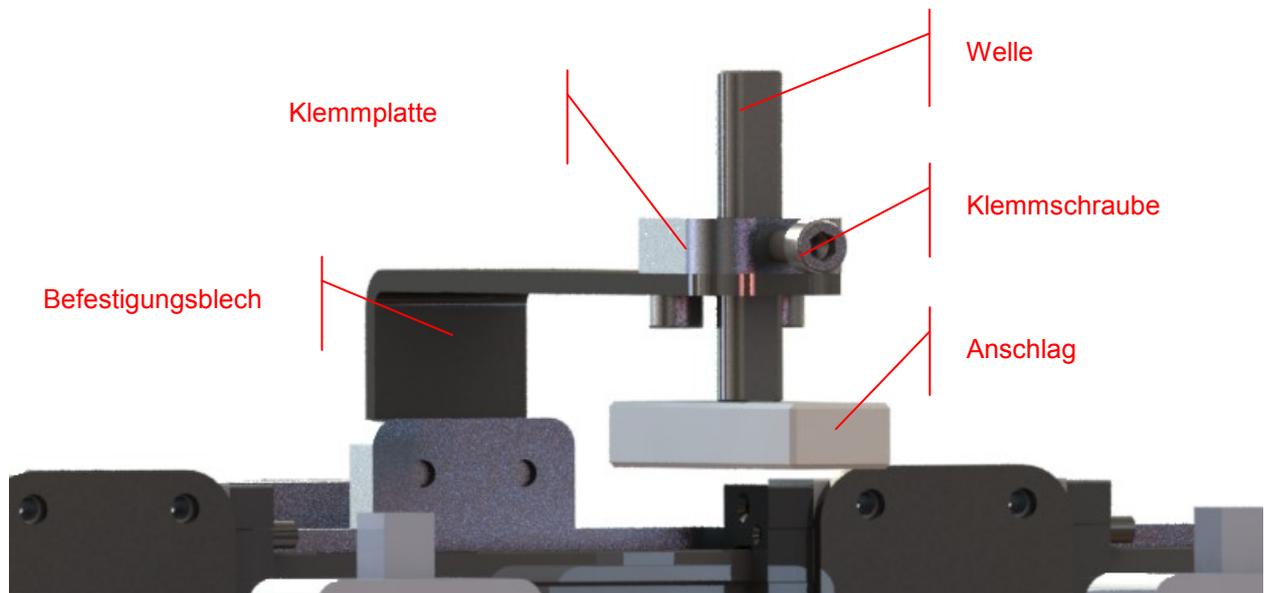


Abb. 29: Oberer Klemm mit 3D- gedrucktem Anschlag. Quelle: Eigene Darstellung

Der Anschlag ist mit Hilfe des Befestigungsbleches und der Klemmplatte montiert. Er selbst ist im 3D-Druckverfahren hergestellt. Dies bietet die Möglichkeit, seine Kontur schnell an ein Produkt anzupassen, wenn notwendig. Der Anschlag kann durch die verbaute Welle in der Höhe verstellt werden, für die jeweilige Größe des zu testenden Produkttyps.

Durch die gefräste Klemmfläche an der Welle ist sichergestellt, dass sich der Anschlag nicht mehr dreht und ein wiederholtes Spannen in gleicher Position möglich ist. Eine Schraube dient zum Klemmen der Welle bzw. der Fixierung der Höhe des Anschlages. Bauteile, wie der beschriebene Anschlag, sollen nicht an Konturen oder eingeschränkter Funktionen gebunden sein. Eine Abweichung der Einstellung, wie z.B.: leichtes verdrehen in der Horizontalebene darf keinen Unterschied im Testergebnis hervorrufen.

Die Befestigungsbleche der Hubmagnete und das des Anschlages sind kostengünstige Fertigungsteile. Sie lassen sich schnell durch kürzere, robustere oder Versionen mit anderem Loch-Bild ersetzen. So können sie für weitere Produkte einfach getauscht werden.

Der Auslöser, welcher für den freien Fall des Führungsschlittens konstruiert ist, ist mit einem Elektromagneten konzipiert. Dieser Schlitten lässt sich durch eine Feststellschraube an der im Protokoll definierten Höhe klemmen. Die Klemmschraube hält das Gewicht beider Schlitten. Somit ist es möglich, immer die gleiche Höhe bzw. Position für den Falltest sicherzustellen.

Der Magnet (Abbildung 30, grün eingefärbtes Bauteil) hat lt. Hersteller genug Haltekraft (35 N), um das Gesamtgewicht des unterhalb befindlichen Führungsschlittens samt Produkt bis zum Zeitpunkt des Auslösens in dieser Position zu fixieren. Das Gewicht des Führungsschlittens entstammt dem CAD-Modell. Ausgelöst wird lediglich durch das Unterbrechen der Spannungsversorgung des Magneten.

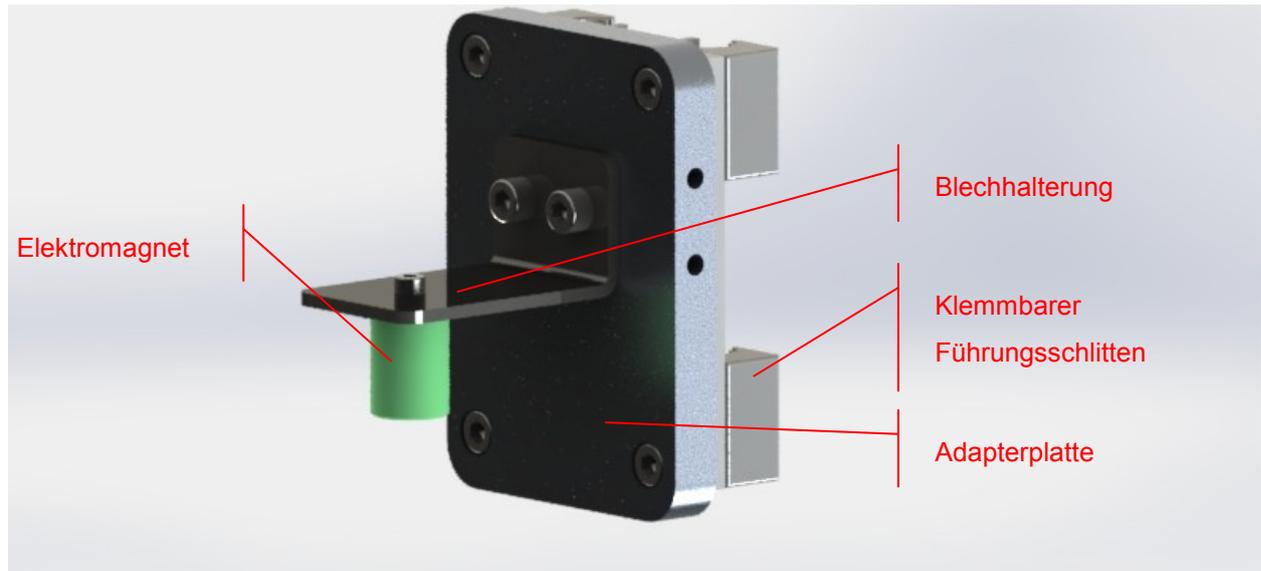


Abb. 30: Oberer Schlitten mit Elektromagnet (grün). Quelle: Eigene Darstellung

Da dieser Magnet mit der in Abbildung 30 gezeigten Blechhalterung montiert ist, ist er kostengünstig und leicht ersetzbar, im Falle einer Anpassung und Gewichtsveränderung des Führungsschlittens sowie der Produkte. Die verbaute Adapterplatte ist aus Aluminium gefertigt. Das seitlich befindliche Lochbild ist für das Anbringen eines Winkels zur Befestigung der Energieführungskette. Das Maß dieser Löcher entspricht exakt dem, der Adapterplatte des Führungsschlittens um das verwenden gleicher Bauteile zu ermöglichen.

Der Auslöser bzw. der induktive Näherungssensor der das Öffnen der Hubmagnete umsetzt, befindet sich seitlich am Rahmen. Dieser lässt sich ebenfalls auf die notwendige Höhe verstellen, um angepasst an den Produkttyp, genug Zeit freizugeben, um das Produkt von dem Halter rechtzeitig zu lösen. (Abbildung 31)

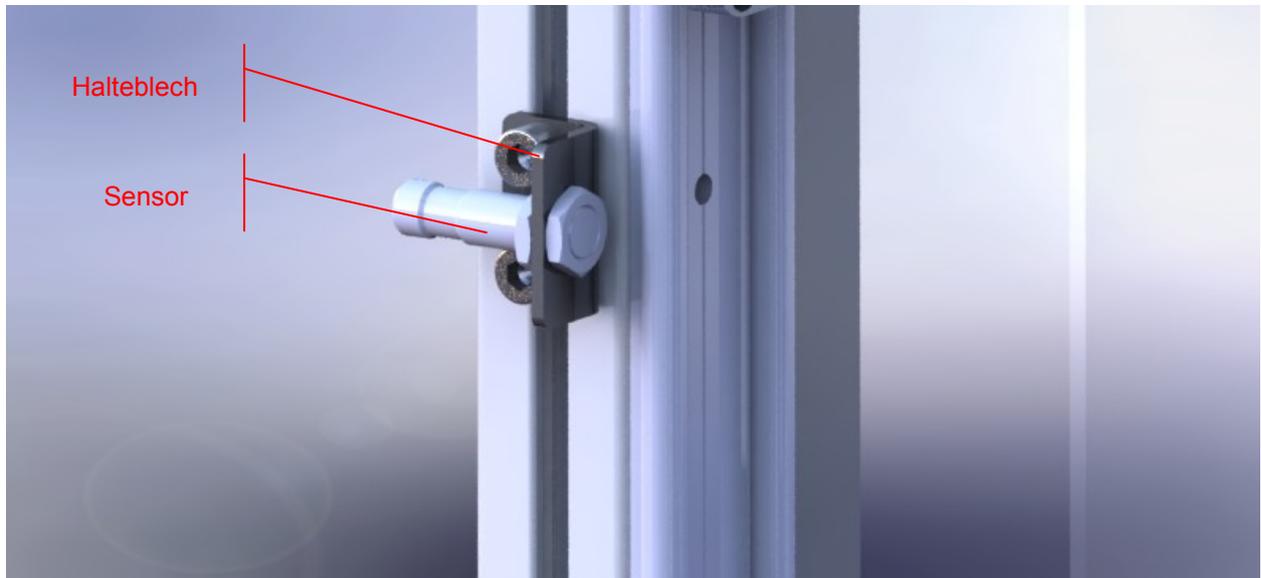


Abb. 31: Halteblech mit Sensor. Am Rahmen seitlich der Führungsschiene montiert. Quelle: Eigene Darstellung

Durch das Passieren des Führungsschlittens mit dem gespannten Produkt am Sensor, werden die Hubmagnete in den spannungslosen Zustand geschaltet. Die Spannungsversorgung des induktiven Näherungssensors ist am Profil an der Rückseite befestigt und verläuft direkt in die Ausnehmung der Bodenplatte zur Schaltlogik. Der Abstand des Sensors zu dem vorbeifallenden Schlitten ist anhand des Datenblattes des Sensors definiert. Die Einstellung am Prüfgerät ist vermessen und beträgt 3 mm.

5.4 Dämpfung

Um den Führungsschlitten nach dem Lösen des Produktes im freien Fall wieder zu bremsen, benötigt es ein Dämpfungssystem. Zum Einsatz kommt ein Industriestoßdämpfer der Firma Festo, um die Geschwindigkeit des Führungsschlittens zu reduzieren und ihn letztendlich in Ruhelage zu versetzen. Wie in Abbildung 32 ersichtlich, ist die Adapterplatte mit einer Ausprägung an einer Seite ausgestattet. Genau auf diese soll der dafür vorgesehene Kunststoffteil des Stoßdämpfers auftreffen und den Führungsschlitten zum Stillstand bringen.

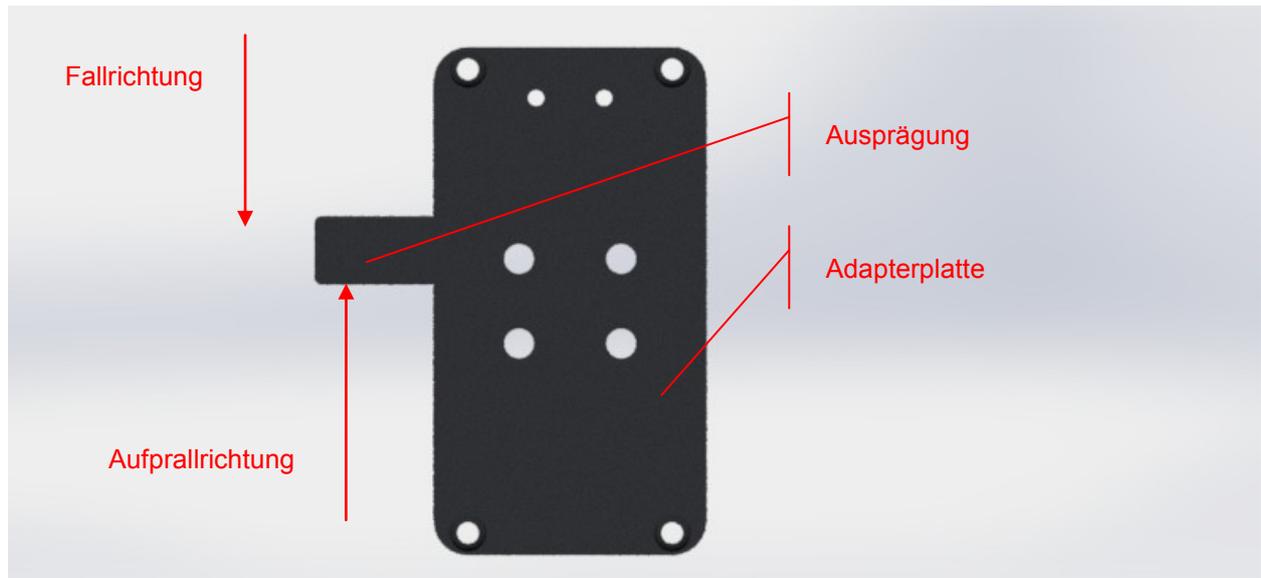


Abb. 32: Adapterplatte mit Ausprägung für den Stoßdämpfer. Quelle: Eigene Darstellung

Der Stoßdämpfer der den Schlitten bremst, ist mit Hilfe eines Berechnungsprogrammes, welches von der Firma Festo kostenlos zur Verfügung gestellt wird, ausgelegt. Das Programm gibt mit den Daten des Gewichtes und der theoretischen Geschwindigkeit von 6,2 m/s einen Vorschlag der zur Verfügung stehenden Baugrößen bzw. Seriennummern der Stoßdämpfer und deren Dämpfungseigenschaften aus. Der vorgeschlagene Dämpfer ist selbsteinstellend. Je Größer und schneller der Druck auf der Kolbenstange des Dämpfers entsteht, desto mehr Widerstand liefert der Stoßdämpfer. Der Hub des Stoßdämpfers beträgt insgesamt 16 mm.

Die Befestigung des Stoßdämpfers befindet sich seitlich an dem Profilsteher der Führungsschiene. Das dafür vorgesehene Blech ist so konstruiert, um in der Nut des Profils angeschraubt zu werden. Somit kann die Höhe des Dämpfers individuell verstellt werden. Diese Möglichkeit der Verstellung ist notwendig um eine Optimierung der Höhe vorzunehmen zu können, sollte der Auslöser für kleine Baugrößen der elektronischen Preisschilder weit nach unten nahe der Bodenplatte gesetzt werden müssen.

5.5 Versorgung und Betätigung

Die beiden in dem Schlitten verbauten Magnete sind mit einer 24 V Spannungsquelle verbunden. Verwendet wird hierfür ein Industrienetzteil, welches den Anforderungen für den Aufbau bzw. dem Lastenheft entspricht. Um das Öffnen durch einen induktiven Sensor zu realisieren, ist eine Selbsthalteschaltung mit Hilfe von Relais realisiert. Diese Schaltung ermöglicht das Spannen der Produkte durch betätigen eines Druckknopfes (tastend). Im folgenden Schaltbild (Abbildung 33) sind die Selbsthaltefunktion sowie der Auslöser dargestellt.

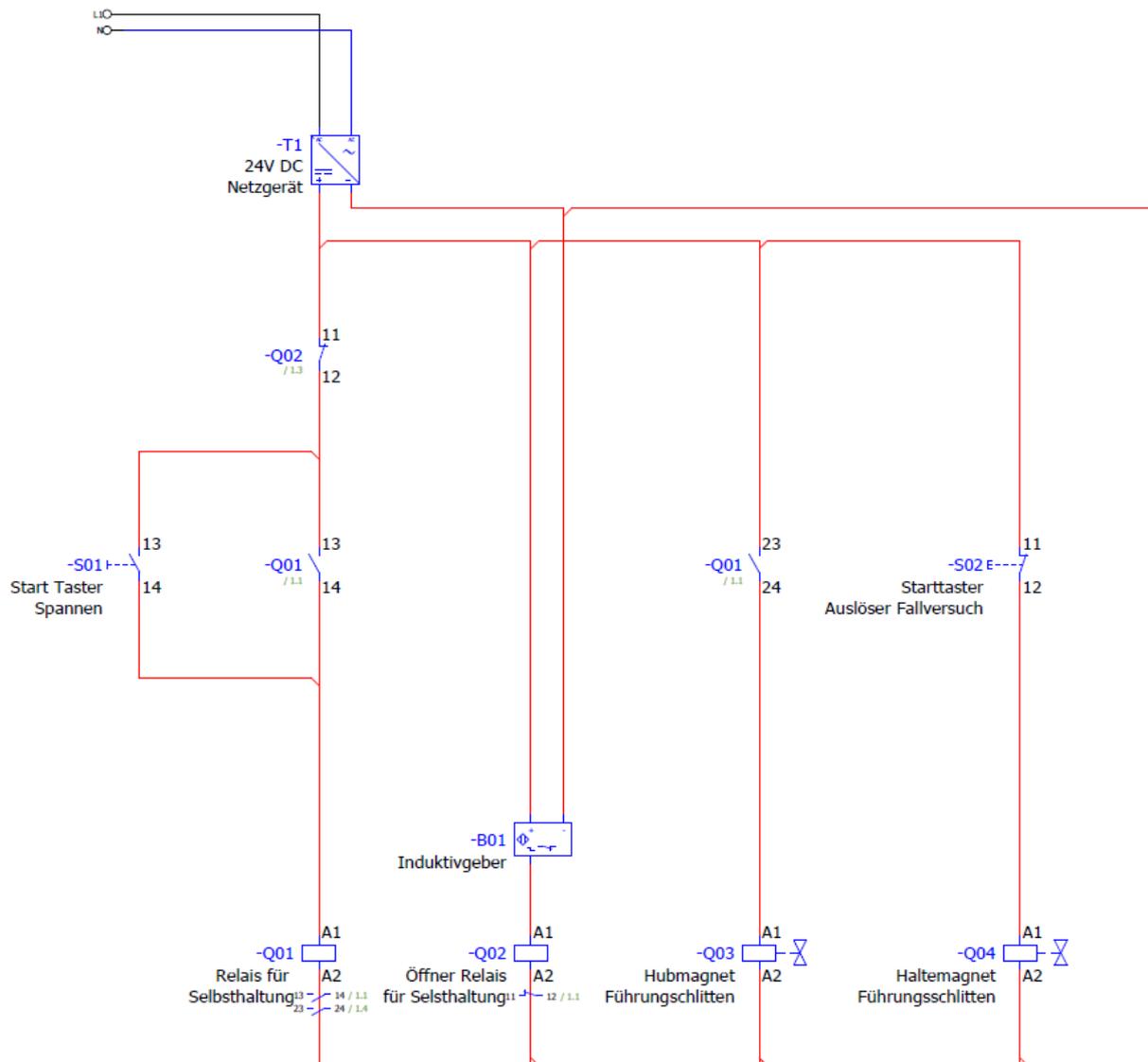


Abb. 33: Schaltbild der Selbsthalteschaltung des Aufbaus. Quelle: Eigene Darstellung

Durch betätigen des Tasters „Spannen“ werden die Hubmagnete unter Spannung gesetzt. Das Produkt ist gespannt. Durch Drücken des Starttasters „Auslöser Fallversuch“ wird der Elektromagnet unterbrochen. Der Führungsschlitten fällt Richtung Bodenplatte. Dieser gespannte Zustand bleibt erhalten bis der Schlitten den Sensor „Induktivgeber“ im freien Fall passiert. Dann löst der Induktivgeber am Relais das Öffnen der Selbsthaltung durch einen Spannungsimpuls aus. Die Hubmagnete werden durch die

Rückstellfeder in ihre Ausgangslage zurück gestellt und das Produkt fällt den verbleibenden Weg bis zum Aufprall.

Der Auslöser bzw. das Rücksetzen durch den Sensor soll möglichst spät erfolgen damit sichergestellt ist, dass sich das Produkt nicht verdreht bzw. seine Position durch seinen Schwerpunkt verändert. Der Schlitten trifft kurz danach auf den mechanischen Dämpfer und wird gebremst

In der folgenden Abbildung 34 ist dargestellt, wie eines der Preisschilder vom Halter gelöst wird und wie es auftrifft. Je kürzer der Weg den es frei bzw. alleine fällt, desto genauer das Resultat.

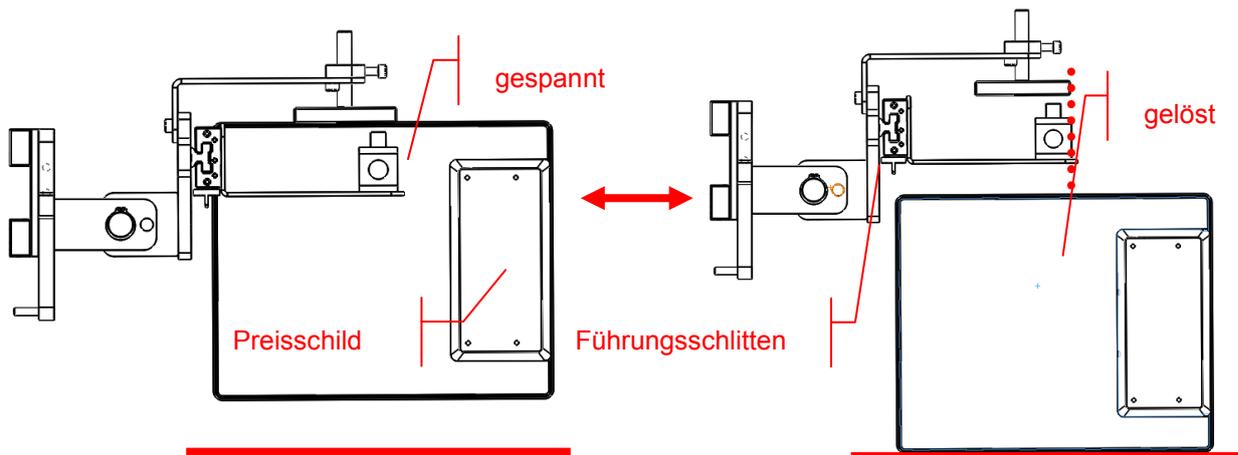


Abb. 34: Kurze Falldistanz des Produktes durch spätes Auslösen. Quelle: Eigene Darstellung

Durch diese einfache Betätigung werden für den Benutzer nur zwei Knöpfe vorgegeben. Spannen und Auslösen des Testvorgangs. Die ganze Elektronik für diesen Mechanismus befindet sich, wie in Kapitel 5 beschrieben, unter der Aufprallplatte des Prüfgerätes. Es sind nur die Leitungen der Industrieschaltbox nach außen geführt, sodass ein leichtes Bedienen möglich ist. (Abbildung 35)

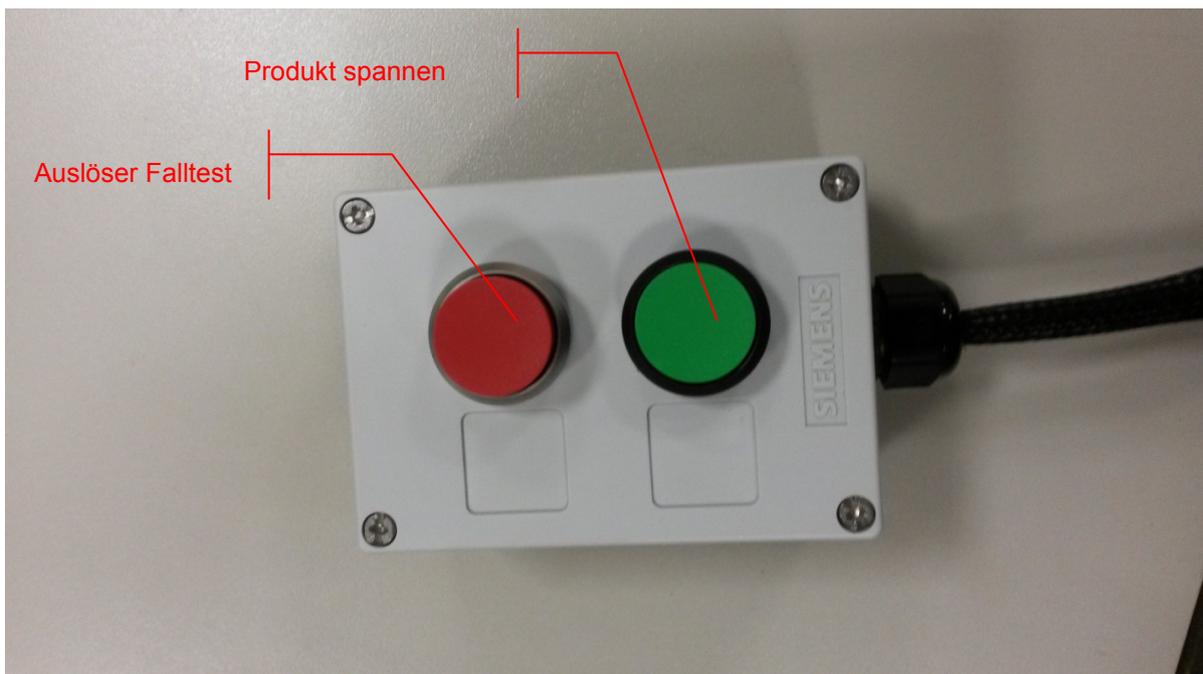


Abb. 35: Schaltbox des Prüfaufbaus. Quelle: Eigene Darstellung

6 ERKENNTISSE WÄHREND DER INBETRIEBNAHME

In diesem Kapitel sind die Erkenntnisse des Zusammenbaus des Prüfgerätes sowie die der Inbetriebnahme dokumentiert. Es wird verdeutlicht, wie der Übergang von der Theorie in die Praxis dieser Konstruktion umgesetzt ist und die Komponenten zusammengesetzt funktionieren.

Konstruktionen von Prototypen stellen immer eine Herausforderung dar und sind nicht leicht zu bewältigen. Es sind bei der Montage und der Inbetriebnahme sehr viele Punkte zu beachten wie z.B.: die Toleranz der Schraubenlöcher, der Fertigungsteile und die elektrische Funktionalität.

Es zeigt sich bei den ersten Versuchen, wo Schwachstellen auftreten und an welchen Stellen Verbesserungen vorgenommen werden müssen, um einen störungsfreien Betrieb des Gerätes zu ermöglichen. Die beschriebenen Verbesserungen sind in den 3D-Modellen der vorhergehenden Kapitel bereits eingearbeitet. In der Abbildung 36 ist der komplettierte Aufbau des Prüfgerätes zu sehen.



Prüfgerät im Labor
der FH-Campu02
Graz

Abb. 36: Aufbau des Prüfgerätes an der FH-Campu02 Graz. Quelle: Eigene Darstellung

6.1 Zusammenbau des Prüfaufbaus

Der Rahmen des Aufbaus ist nach der Konstruktionsvorgabe montiert. Ergänzt wurde dieser, durch 2 Profile, welche einerseits die Seitenteile des Rahmens an der Vorderseite verbinden, sowie auf der linken Seite den mittleren Profilsteher an dem die Führungsschiene montiert ist mit dem Seitenteil des Gestells. Grund ist eine Steigerung der Stabilität des Aufbaus. (Abbildung 37)



Abb. 37: Zusätzliche Profile um die Stabilität zu erhöhen. Quelle: Eigene Darstellung

Die Montage der Führungsschiene mit den bearbeiteten Stößen und dessen Überprüfung zeigt, dass der Führungsschlitten ohne merkliches Hindernis durch Kanten oder Versatz der Schienen vom Ober- zum Unterteil des Aufbaus gleiten kann. Die Fasse an den Stoßstellen stellt kein Hindernis für den Schlitten dar. (Abbildung 38)



Abb. 38: Bearbeitete Stoßstelle der beiden Führungsschieneiteile. Quelle: Eigene Darstellung

Auch das Gewicht durch die verbauten Bodenplatten (ca. 60 kg), am unteren Teil des Rahmens, reicht aus um einen sicheren Betrieb ohne Umfallgefahr zu ermöglichen. Ein Kippen des Prüfgerätes ist nur schwer möglich, da der unten liegende Schwerpunkt und die Grundfläche von 650 mm x 650 mm ausreichen, um einen sicheren Stand zu gewährleisten.

6.2 Montage des Führungsschlittens

Der Führungsschlitten ist vom Hersteller, angepasst an die Schiene, ausgeliefert. Ein Überprüfen der Spielfreiheit der an ihm montierten Gussteile in denen sich die Gleitleisten befinden zeigt, dass das Spiel zwischen Schiene und Schlitten reduziert werden kann und somit für einen optimalen Lauf angepasst werden muss. (Abbildung 39)

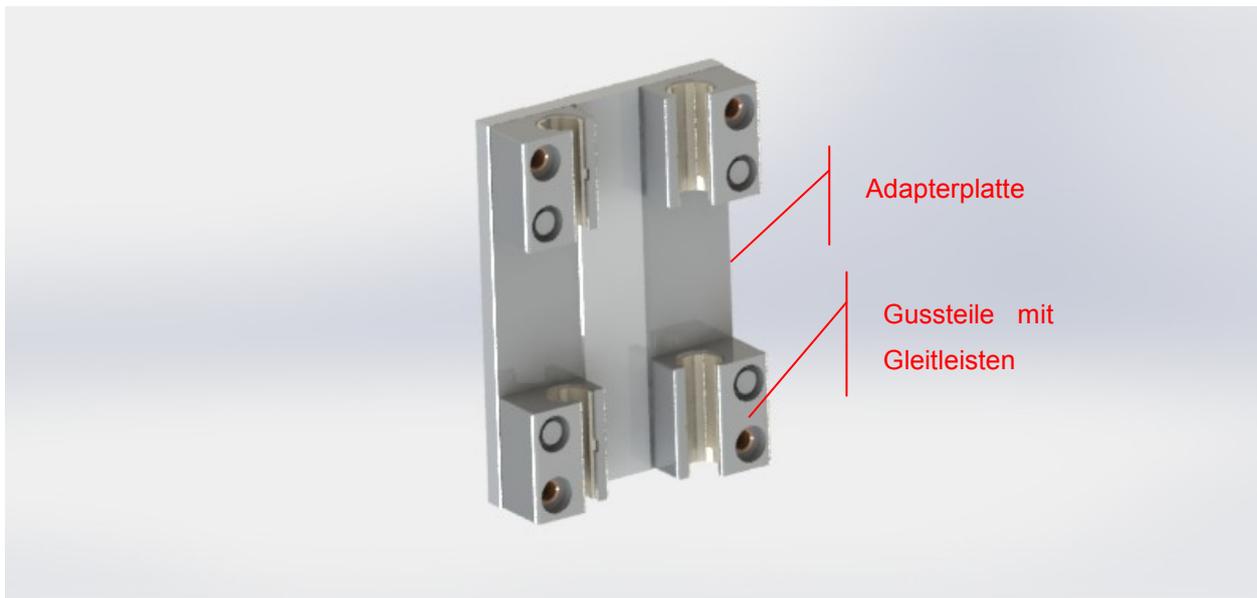


Abb. 39: Führungsschlitten mit Gussteilen in denen sich Gleitleisten befinden. Quelle: Eigene Darstellung

Die ersten Tests des Führungsschlittens zeigen, dass ein vibrationsfreies Gleiten mit dem gewählten Produkt, welches eine Baugröße von 100 mm besitzt, nicht immer stattfindet. Grund ist der Abstand des Schwerpunktes und dessen Verhältnis zur Länge des zusammengesetzten Führungsschlittens. Der Hersteller gibt vor, ein Verhältnis von maximal 1:2 der Länge des Führungswagens zum Schwerpunkt des Schlittens samt Produkt, einzuhalten um einen ruhigen vibrationsfreien Lauf zu garantieren.

Dies ist mit der Baugröße von 100 mm nicht der Fall und der Führungsschlitten ist deshalb durch eine Type mit einer 150 mm langen Adapterplatte ersetzt. Da die Länge der Führungsschienen und die Höhe des Aufbaus ausreichen um den Schlitten gemäß den Anforderungen der Höhe zu platzieren, stellen die hinzukommenden 50 mm an Länge des Schlittens und der Adapterplatte kein Problem dar.

Die folgende Abbildung 40 zeigt den Schwerpunkt, ausgegeben durch das CAD-System. Es ist der Abstand zwischen Adapterplatte und dem errechneten Schwerpunkt ersichtlich. In der Grafik ist der getauschte 150 mm lange Führungsschlitten mit der 150 mm langen Adapterplatte dargestellt.

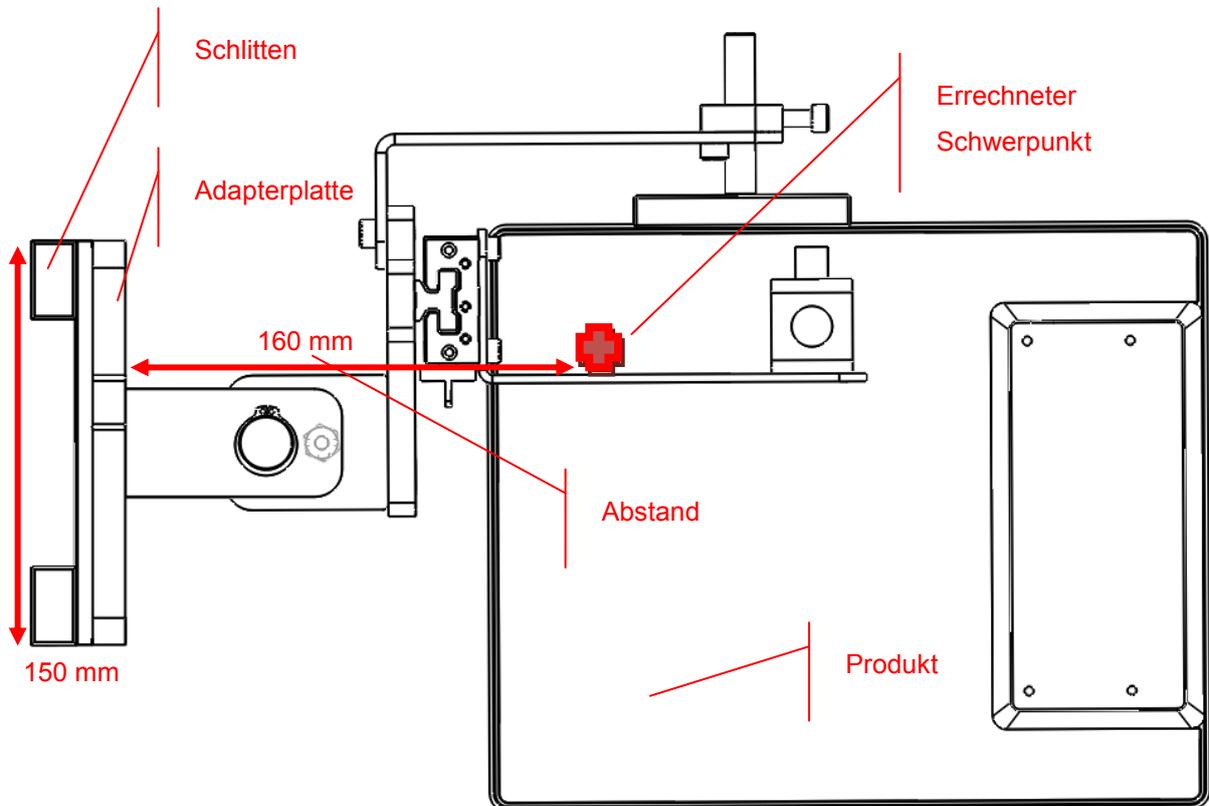


Abb. 40: Darstellung des errechneten Schwerpunktes des Führungsschlittens. Quelle: Eigene Darstellung

Um den Schwerpunkt zu errechnen, ist das größte elektronische Preisschild der geforderten Modelle eingezeichnet. Da das Batteriegehäuse ganz außen liegt, stellt dieser Fall den schlechtesten möglichen der Gewichtsverteilung dar. Da aus diesem Modell hervorgeht, dass das notwendige Verhältnis eingehalten wird, tritt beim Fall keinerlei Komplikation auf. Dies bestätigen mehrere Tests in denen Führungsschlitten unter Beobachtung fallen gelassen werden.

Um die Winkelverstellung zu testen ist, nach dem Zusammensetzen der Fertigungsteile, der im Modell angedachte Rastbolzen aus dem ersten Entwurf, der ursprünglich für die Arretierung vorgesehen war, in dem Modell in Abbildung 41 eingebaut.

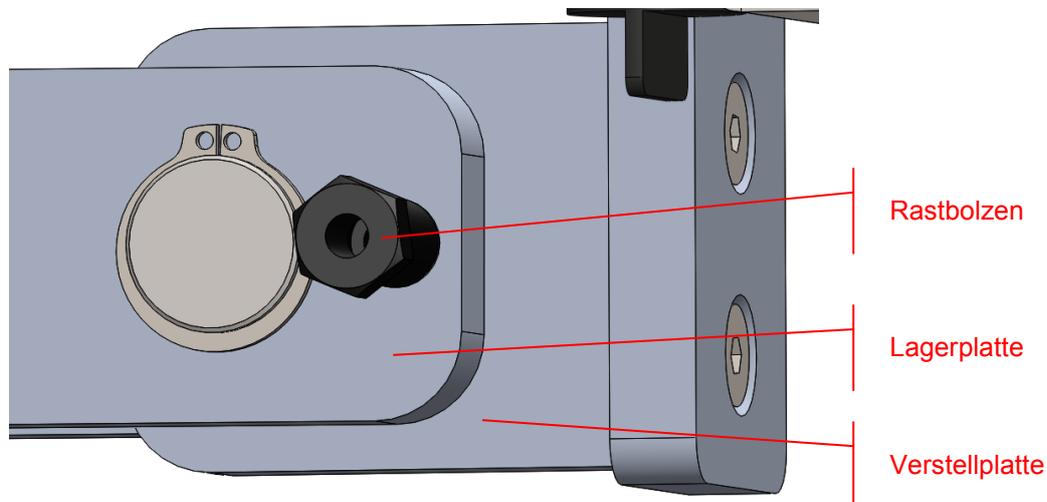


Abb. 41: CAD-Modell des Rastbolzens, montiert am Führungsschlitten. Quelle: Eigene Darstellung

Dieser Rastbolzen ist mit einem M10 Feingewinde und einem 5 mm Schaftdurchmesser ausgeführt. Nach dem ersten Falltest ohne Produkt stellte sich heraus, dass dieser für die Wucht des Aufpralls, trotz Dämpfer, viel zu gering gewählt ist. Er würde nach einigen weiteren Versuchen abscheren oder die Bohrung Oval ausschlagen. Die Änderung auf die in Kapitel 5.2 beschriebene Passschraube ist durchgeführt worden um einen fehlerfreien Betrieb zu garantieren.

Durch das Einsetzen der Passschraube kann die Winkelverstellung gesichert werden und es entsteht kein Schaden an den Bauteilen durch den Impuls des Aufpralls des Führungsschlittens auf den Stoßdämpfer. Zusätzlich ist die durch die Passung entstehende Genauigkeit eine Verbesserung der Stabilität der Verstell-Funktion erreicht.

6.3 Aufbau der Versorgungskomponenten

Nach dem Zusammensetzen des Rahmens und des Führungsschlitten sowie des Halteschlittens, ist im nächsten Schritt die Energieführungsketten für den Elektromagneten und die Hubmagnete installiert worden. Da beide Ketten nebeneinander angeordnet sind, ist darauf zu achten, dass durch das Fallen keine Störung zwischen der stehenden (Halteschlitten) und der bewegten Energieführungskette (Führungsschlitten) auftreten. (Abbildung 42)

Durch den Radius der Energiekette ist eine Anpassung der beiden Befestigungsbleche der Energiekette notwendig. Da die obere Kette ruht, weil der Halteschlitten sich in seiner Position nicht mehr verändert, muss die Energiekette des Führungsschlittens an ihr passieren, um den am Halteschlitten befestigten Elektromagneten zu erreichen. Durch Kürzen eines der Belche ist dies möglich.

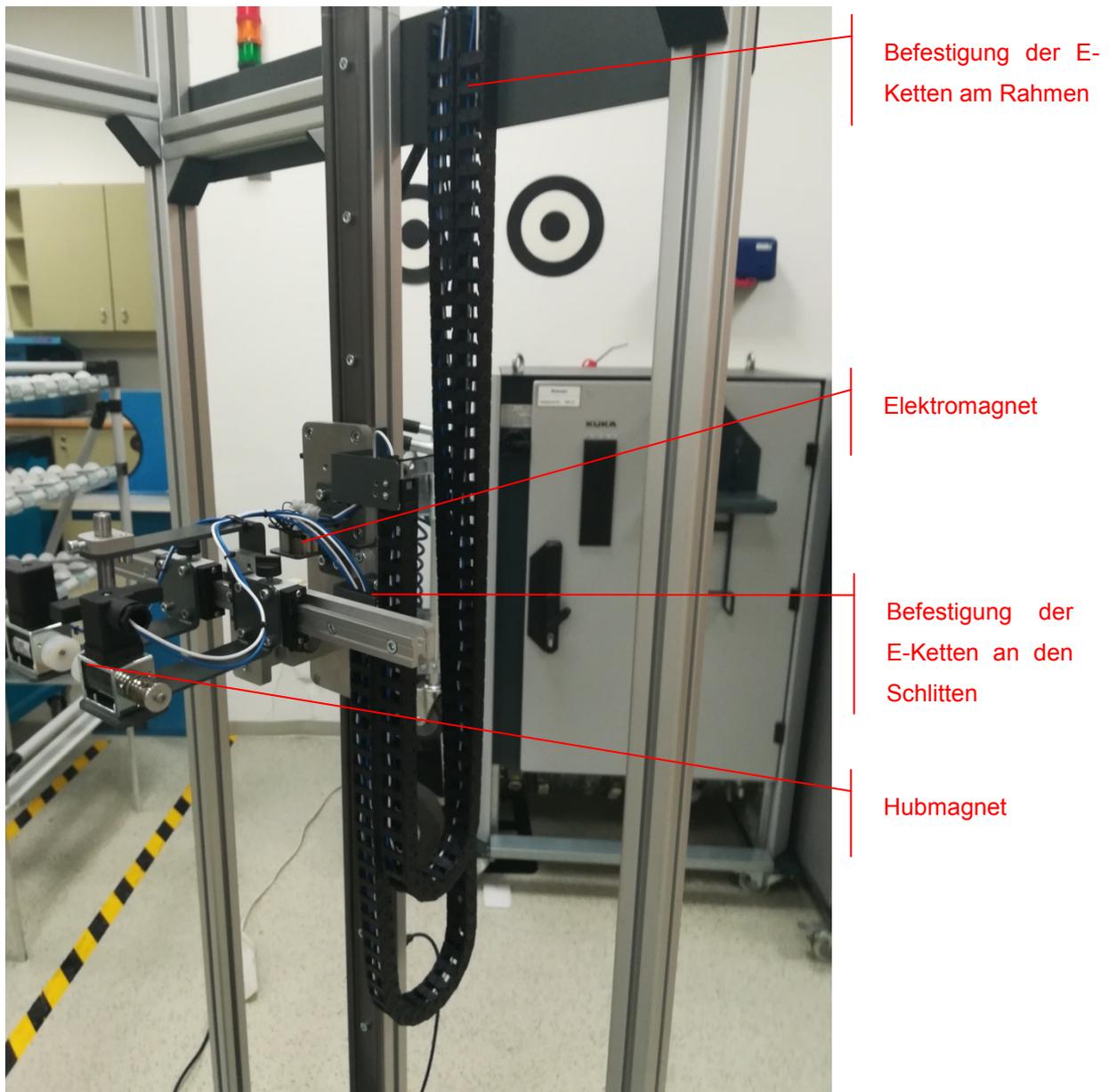


Abb. 42: Darstellung der E-Kette während der Inbetriebnahme. Quelle: Eigene Darstellung

Beide Energieführungsketten sind in gleichem Abstand an dem Verbindungsblech und den Befestigungsblechen an den Schlitten angebracht. So ist ein geradliniger vertikaler Ausrollvorgang möglich. Da die E-Ketten auf dem Verbindungsblech des Rahmens montiert sind, sind sie nicht mit dem trennbaren Oberteil verbunden. So ist das entkoppeln beider Rahmenteile möglich, ohne elektrische Komponenten verändern zu müssen.

Die Energieversorgung der elektronischen Bauteile sowie die der verbauten Magnete und des Sensors erfolgt über ein 24 Volt Industrienetzteil (Abbildung 43). Dieses und die notwendigen Relais der Selbsthalteschaltung sind, wie im Kapitel 5.5 beschrieben, im unteren Teil des Rahmens unter der Aufprallplatte montiert.

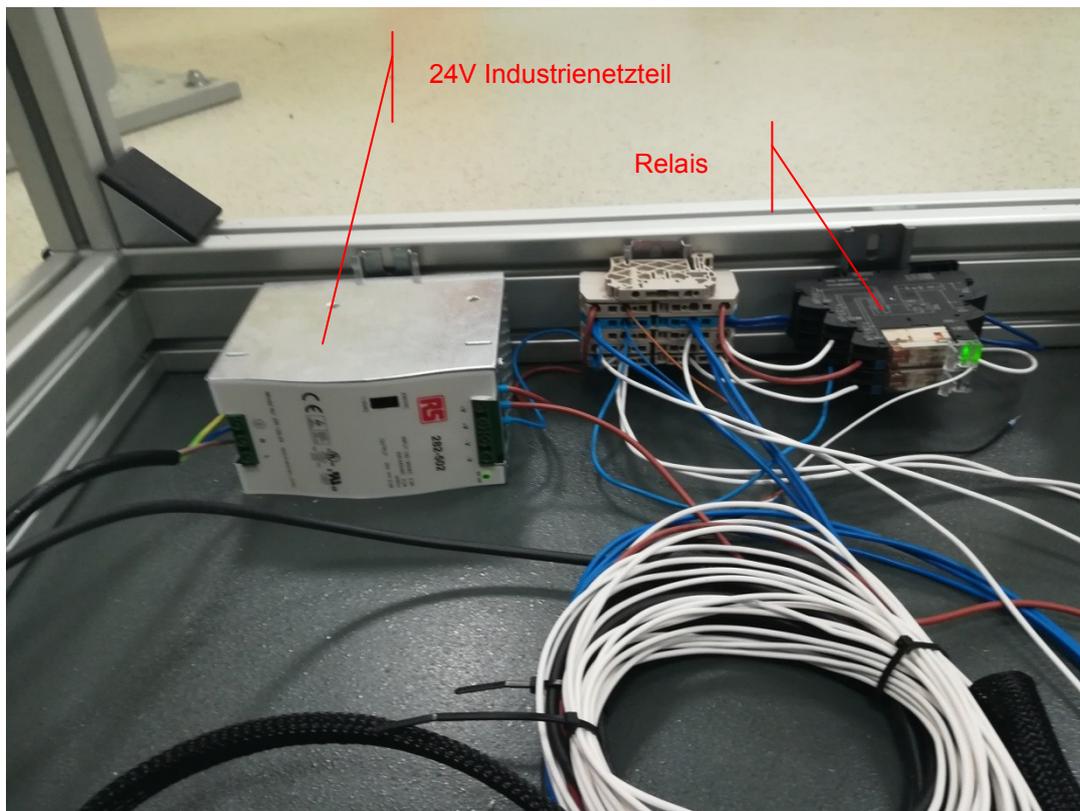


Abb. 43: Elektronik des Prüfgerätes. Quelle: Eigene Darstellung

Die Leitungen sind bewusst länger ausgeführt, um ein Verlegen oder ein Ändern der Komponenten in z.B.: eine andere Position des Aufbaus, zu ermöglichen. Die Leitungen der Schaltbox sind zusätzlich mit einem flexiblen Schutzschlauch ausgestattet um Schäden durch Schleifen am Boden zu vermeiden.

Alle elektronischen Komponenten sind auf genormten Hutschienen montiert und stehen nicht in Kontakt mit der Bodenplatte. Da die Stahlplatte nur sehr wenige bis gar keine Vibrationen überträgt, ist ein Verrutschen der Komponenten ausgeschlossen.

6.4 Fallversuch ohne Produkt

Für den ersten Fallversuch ohne ein Produkt in den Halter zu spannen, ist eine Höhe von 1,2 m eingestellt. Es gilt zu testen ob der gedachte mechanische und elektrische Ablauf funktioniert.

Es sind folgende Punkte für diesen Test relevant und zu dokumentieren:

- Haften des Führungsschlittens am Halte- / Elektromagneten
- Funktionsprüfung der Schaltlogik
- Spannmechanismus der Hubmagnete auslösen
- Unterbrechen des Elektromagneten mit dem vorgesehenen Taster der Schaltbox (roter Taster)
- Freier Fall des Führungsschlittens. Beobachten des Fallvorganges auf Störungen
- Öffnen der Hubmagnete bzw. Funktionsüberprüfung des induktiven Näherungsschalters bei freiem Fall
- Aufprall auf den Stoßdämpfer und das mechanische Verhalten der Konstruktion

Die Resultate dieses Versuches zeigen, dass:

- Der Elektromagnet muss gegen ein leistungsstärkeres Modell getauscht werden. Der Magnet ist trotz der vom Hersteller angegebenen 35 N Haltekraft nicht stark genug den Führungsschlitten sicher zu halten.
- Die elektrische Schaltung des Aufbaus funktioniert
- Der Spannmechanismus der Hubmagnete funktioniert durch Auslösen an der Schaltbox (Grüner Taster)
- Das Unterbrechen des Elektromagneten funktioniert (roter Taster)
- Der freie Fall des Führungsschlittens geschieht ohne auffällige Störungen oder Vibrationen
- Das Öffnen der Hubmagnete funktioniert nicht. Der Näherungssensor unterbricht die Spannungsversorgung der Magnete bzw. schaltet das Relais nicht. Der Sensor schaltet jedoch bei einem langsamen vorbeiführen des Schlittens sowie einer geringeren Fallhöhe.
- Beim Aufprall auf den Stoßdämpfer ist ein verrutschen des Befestigungsbleches zu erkennen. Der Dämpfer verringert den Stoß erst in den letzten 4 mm seines zur Verfügung stehenden Hubs merklich. Dies ruft starke Schwingungen am Führungsschlitten hervor.

Aufgrund dieser Resultate sind Änderungen am Aufbau notwendig und für weitere Testversuche umgesetzt worden.

6.5 Änderungsmaßnahmen

In folgendem Kapitel werden die Maßnahmen beschrieben, welche aus den ersten Tests des Aufbaus hervor gingen. Ohne diese, teilweise konstruktiven, mechanischen Änderungen, würde ein störungsfreier Betrieb und somit eine Abnahme des Prüfgerätes nicht stattfinden da die Funktion nicht ausreichend gegeben ist.

6.5.1 Tausch des Elektromagneten

Da die Haltekraft des Elektromagneten nicht ausreicht (35 N lt. Hersteller), um den Schlitten sicher zu halten, ist er gegen ein Modell mit 250 N ersetzt. Da die Baugröße bzw. die Höhe der Modelle nur geringfügig unterschiedlich ist, ist ein Nachbearbeiten des Befestigungsbleches nicht notwendig. In Abbildung 44 ist der schwächere Magnet auf das Blech gestellt um einen Vergleich der Größe beider Modelle ersichtlich zu machen.

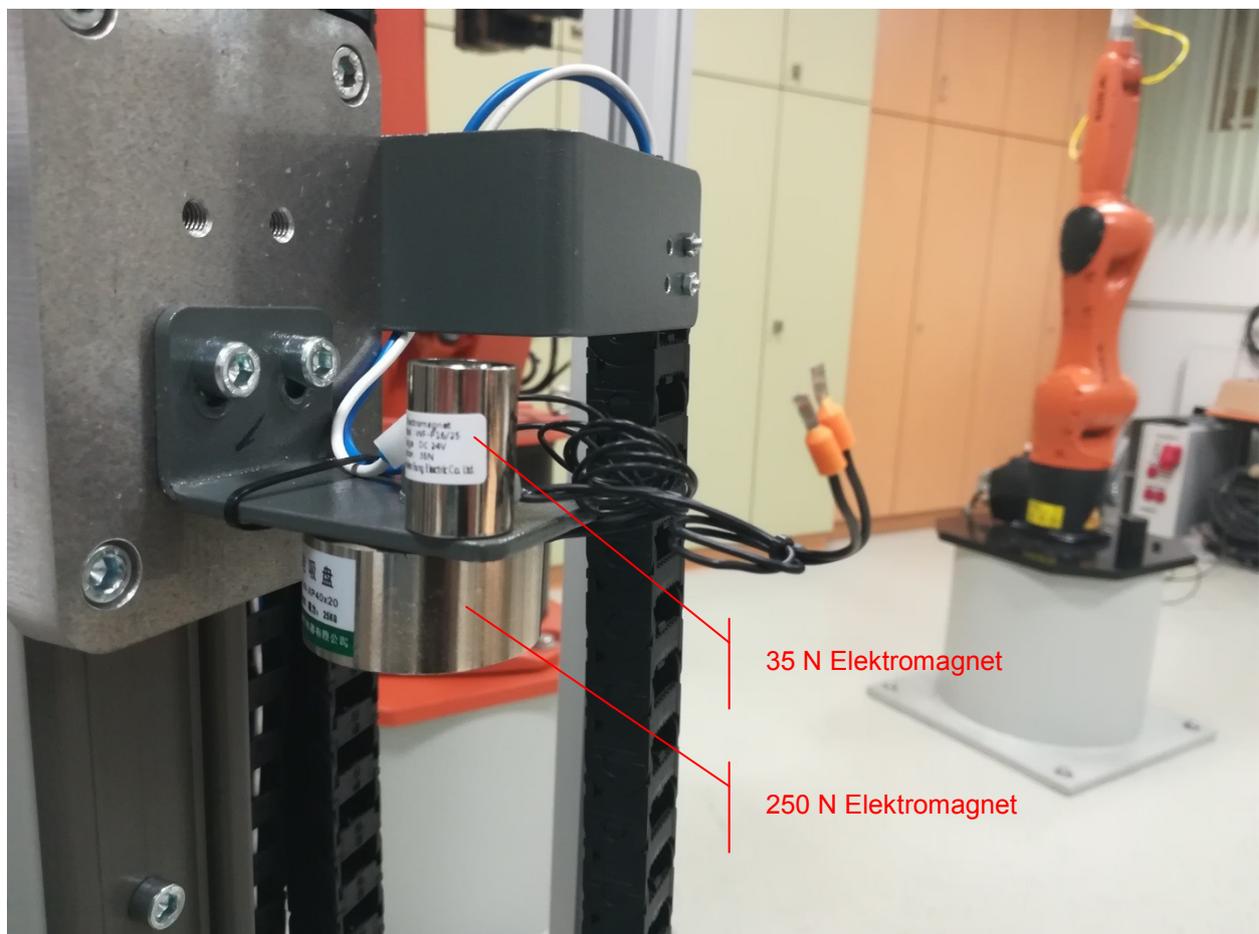


Abb. 44: Modelle der Elektromagnete am Halteschlitten. Quelle: Eigene Darstellung

Der Test des neuen Magneten ist erfolgreich verlaufen. Der Führungsschlitten wird sicher gehalten.

6.5.2 Untersuchen des Schaltvorganges des induktiven Näherungsschalters

Der zweite zu verbessernde Punkt ist das Auslösen des Sensors. Um eine praktische Erkenntnis zu erlangen warum der Sensor nicht auslöst, wird der Schlitten aus unterschiedlichen Höhen fallen gelassen um die Reaktion des Sensors unter verschiedenen Geschwindigkeiten zu testen. Daraus geht hervor, dass die Aluminiumussteile des Führungsschlittens und die darin befindliche Schraube in dem kurzen Abstand des vorbei Fallens nicht ausreichen, um das Magnetfeld des Sensors stark genug zu beeinflussen.

Durch Anbringen eines 3 mm dicken Stahlbleches an der Rückseite des Führungsschlittens, reicht die Dichte des Materials aus um den Öffnungszustand der Schaltung herzustellen. Auch bei hoher Geschwindigkeit aus 2 m Höhe (maximale Fallhöhe des Aufbaus). Das Blech ist über die ganze Länge des Führungsschlittens befestigt. Somit ist der geschaltete Zustand des Sensors zusätzlich länger aufrecht. (Abbildung 45)

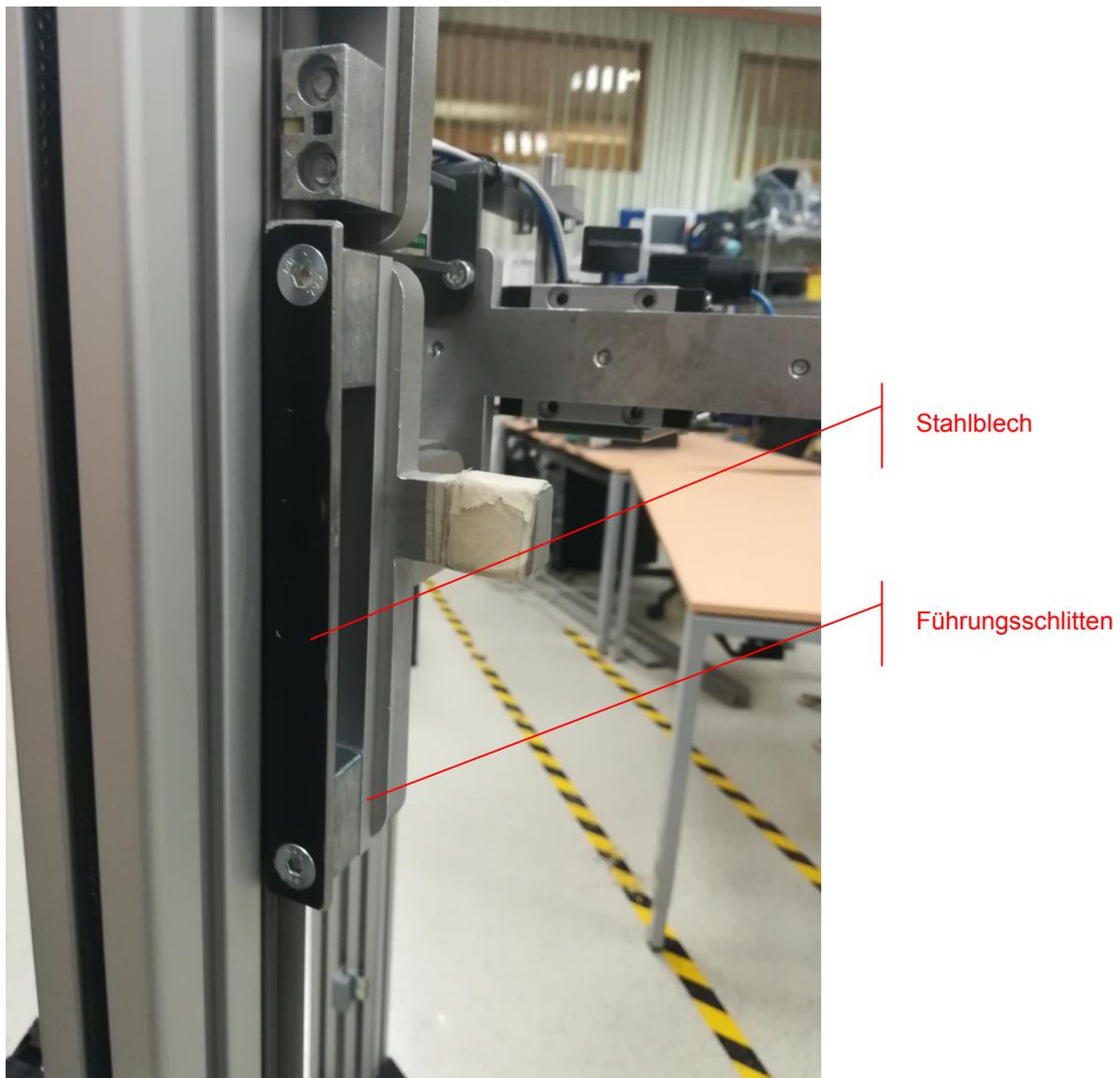


Abb. 45: Stahlblech, befestigt an der Rückseite des Führungsschlittens. Quelle: Eigene Darstellung

Um den Ablauf genauer darzustellen ist in der folgenden Abbildung 46 der Sensor im geschalteten und nicht geschalteten Zustand zu erkennen. Der Sensor erfasst den Schlitten und öffnet das Relais und versetzt somit die Hubmagnete in den Spannungslosen Zustand.

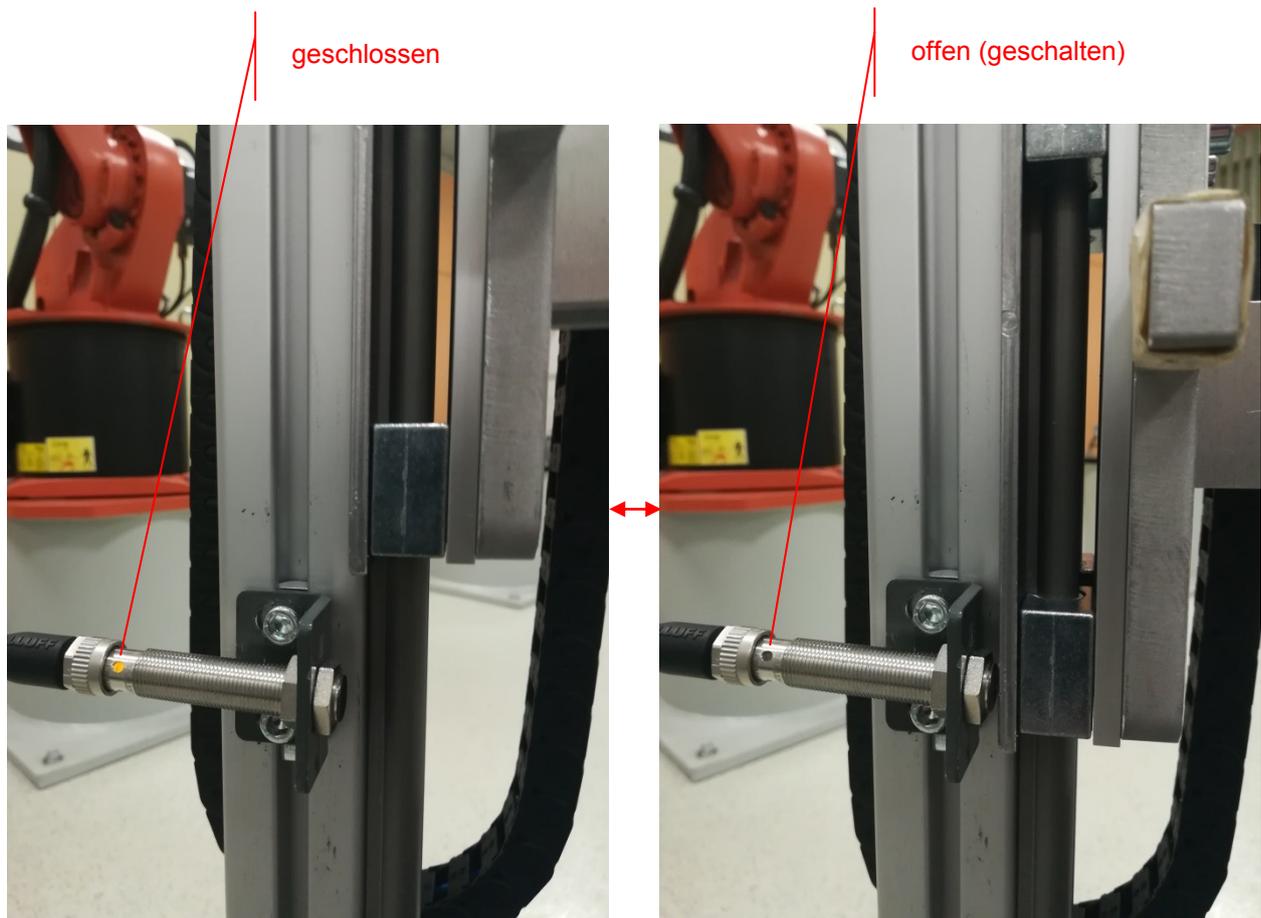


Abb. 46: Am Sensor vorbeifahrender Führungsschlitten. Quelle: Eigene Darstellung

Da die Schaltung in die beschriebene Selbsthaltung geht, kann der Führungsschlitten den Sensor ganz passieren. Er muss nicht im geschalteten (offenen) Zustand bleiben und das montierte Blech erfassen. So ist der Sensor unabhängig in seiner Höhe positionierbar, sollte z.B.: ein Versuch gewünscht sein indem das Produkt einen definierten Weg frei fallen gelassen werden soll. Die optimale Höhe um den Fall Weg so gering wie möglich zu halten, ist allerdings erst durch Versuche mit Hochgeschwindigkeitsaufnahmen festzustellen.

6.5.3 Anpassen des Dämpfers und des Befestigungsbleches

Das Halterblech, welches als Befestigung für den Stoßdämpfer konstruiert ist, ist mit zwei Schrauben in der Nut des Profilstehers angeschraubt. Die durch die Auflagefläche entstehende Flächenpressung reicht, wie aus dem Versuch hervor ging, nicht aus, um diesen Halter in der eingestellten Position bzw. der gewünschten Höhe zu halten.

Dieses Problem ist durch eine konstruktive Maßnahme beseitigt worden. In Abbildung 47 sind das erst konstruierte und das angepasste Halterblech für den Stoßdämpfer dargestellt.

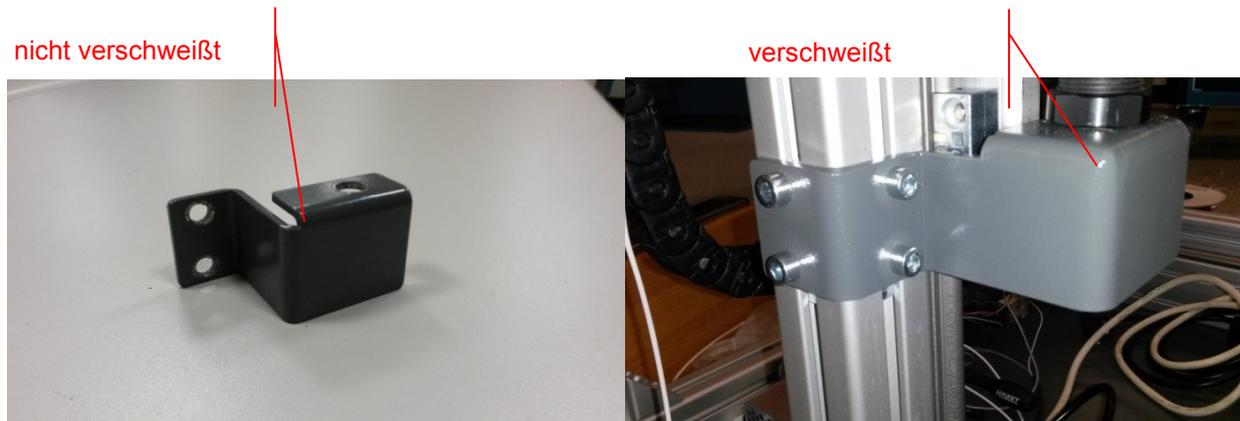


Abb. 47: Befestigungsbleche des Stoßdämpfers. Beide Ausführungen im Vergleich. Quelle: Eigene Darstellung

Der Halter wird durch die zusätzliche Lasche und dessen Bohrungen, an der Rückseite des Profilstehers befestigt. Somit lässt sich in die Stoßrichtung ein großes Trägheitsmoment erreichen, welches von der Kraft des fallenden Führungsschlittens nicht überwunden werden kann.

Das Halteblech ist, nach der konstruktiven Anpassung, somit an zwei Nuten des Profilstehers verschraubt und verringert die Freiheitsgrade. Zudem ist die Stärke des Bleches um 1 mm, von 3 mm Stärke auf 4 mm Stärke, erhöht. Um die Stabilität des Bleches zusätzlich zu erhöhen, ist die Lasche um eine Schweißung ergänzt. (Abbildung 47)

Der Stoßdämpfer selbst ist gegen ein Modell der Firma ACE getauscht. Um die Anpassung des Dämpfungsvorganges vorzunehmen, ist das zur Verfügung stehende Berechnungsprogramm der Firma ACE mit den gleichen Daten, wie jene des Programmes der Firma Festo zuvor, ausgeführt.

Das Ergebnis weist ähnliche Kennwerte des darin vorgeschlagenen Produktes auf. Da aus dem ersten Test allerdings hervor ging, dass ein Stoßdämpfer dieser Bauart für die dynamischen Anforderungen des Prüfgerätes nicht geeignet ist, ist ein Modell größerer Bauart als Ersatz für die folgenden Tests gewählt und montiert.

Um einen Vergleich der beiden Dämpfer herzustellen, sind diese in Abbildung 48 abgebildet. Dabei ist links das 3D-Modell des Dämpfers der Firma Festo, montiert an der neuen Halterung dargestellt. Rechts ist das Bild des neu integrierten Stoßdämpfers der Firma ACE dargestellt, montiert am Aufbau im Labor.

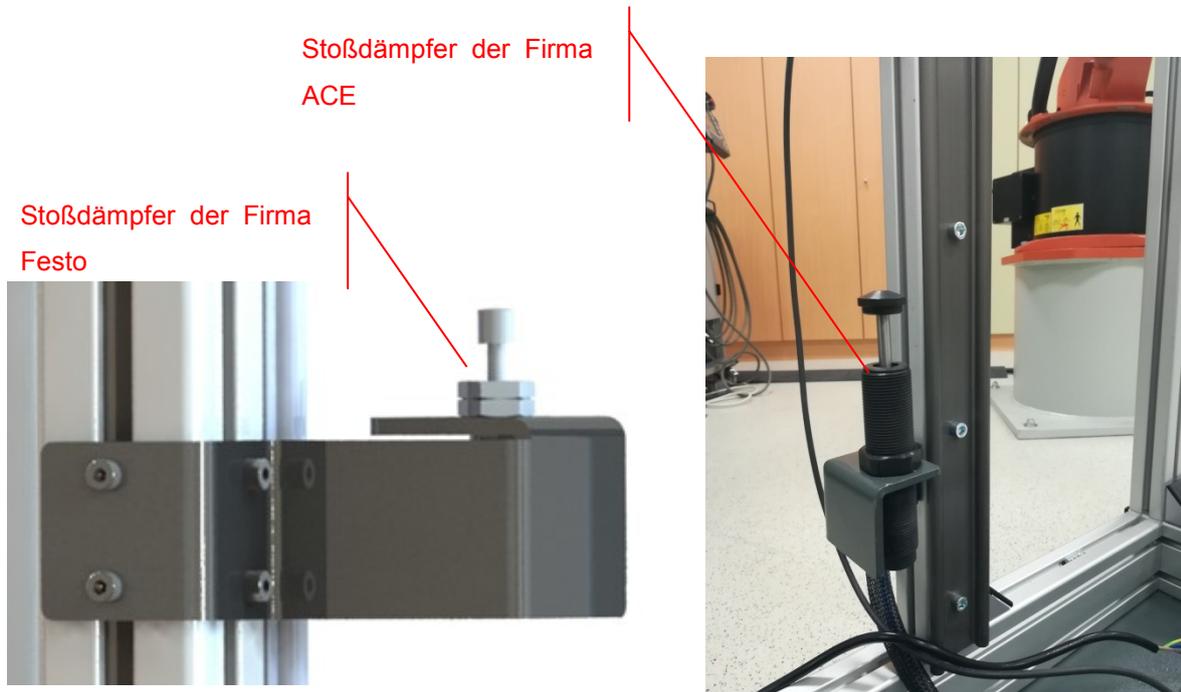


Abb. 48: Die getesteten Stoßdämpfer im Vergleich. Quelle: Eigene Darstellung

Das Tauschen der Stoßdämpfer und des Befestigungsbleches hat die gewünschten Ergebnisse erbracht. Das Blech verrutscht beim Auftreffen des Führungsschlittens nicht und der Stoß wird durch größeren Hub und der Stärke des Dämpfers abgefangen. Durch die größere Bauart des Stoßdämpfers ist kein Nachteil bei der Höhenpositionierung entstanden.

6.6 Spannen und lösen der Produkte

Eine wichtige Funktion des Prüfgerätes ist der Spann- bzw. Haltemechanismus durch die Hubmagnete. Es ist sicherzustellen das die Klemmbacke früh genug vom Produkt entfernt ist. Auch, dass das Lösen der Klemmbacken keinerlei Bewegung am Produkt hervorruft.

In Abbildung 49 ist ein Drahtmodell eines der Produkte abgebildet. An der Vorderseite des Displays befindet sich eine Ausprägung. Die Klemmbacken der Hubmagnete müssen weit genug geöffnet sein, damit diese Ausprägung beim Vorbeifallen nicht hängen bleibt. Dabei spielt der Abstand des Näherungsschalters zum Stoßdämpfer eine Rolle. Es ist möglich beide so knapp übereinander zu positionieren, um den Auslösemechanismus nur wenige Zentimeter über der Aufprallplatte stattfinden zu lassen.

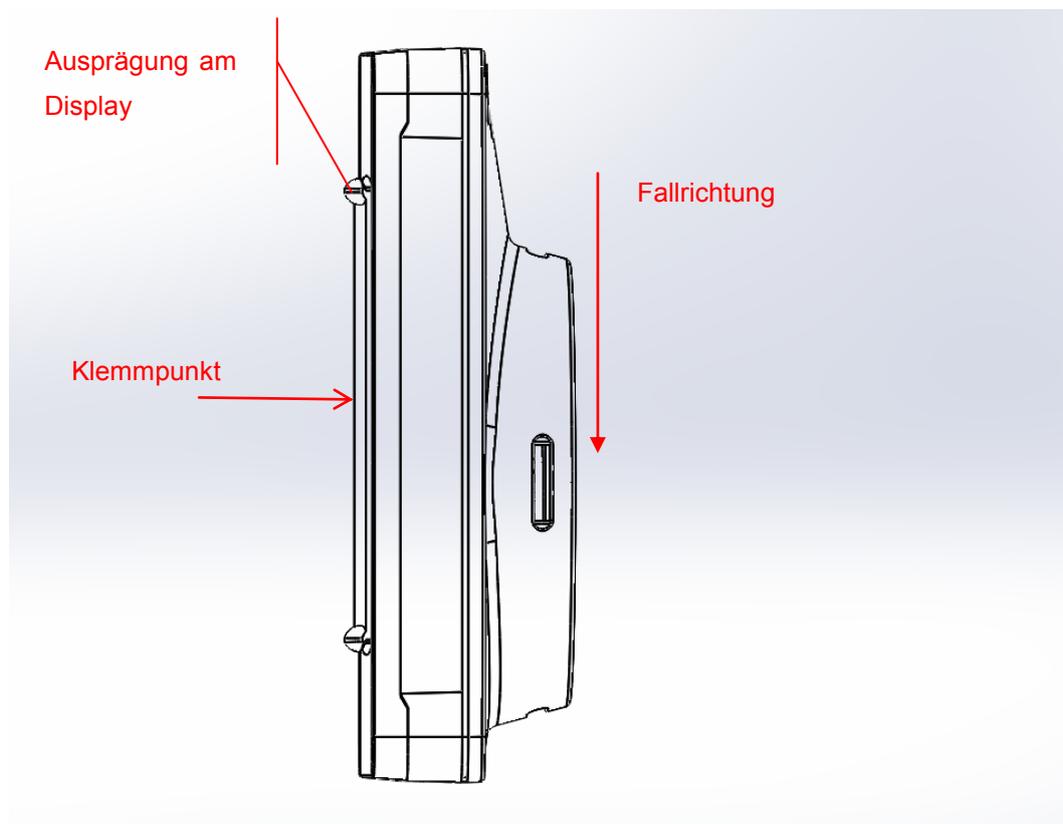


Abb. 49: 3D-Modell eines elektronischen Preisschildes. Quelle: Eigene Darstellung

Mehrere Tests mit unterschiedlichen Produkttypen zeigen durch ein beobachten der Versuche, dass die Hubmagnete optisch schnell genug öffnen und keines der Produkte hängen bleibt. Auch die Position der Preisschilder bleibt nach dem lösen der Hubmagnete einige Zentimeter im freien Fall die gleiche. Erst nach ca. 20 cm verdrehen sich die Preisschilder aufgrund ihres Schwerpunktes. Ein genaues Urteil ist aber nur durch die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zu treffen.

Die verbauten Hubmagnete der Firma Kendrion mit der Seriennummer LCL030035 besitzen lt. dem Hersteller eine Haltekraft von 10 N (Kennlinie des verbauten Hubmagneten in Abbildung 50). Anhand der Kennlinie ist bei einer Einschaltdauer von 100% bei einem Hub von ca. 12 mm nur noch eine Haltekraft 5 N zu erwarten (der volle von 15 mm Hub wird aufgrund des Abzuges der Breite des Produkts nicht genutzt).

Zusätzlich wirkt die Rückstellfeder entgegen dieser Kraft. Dies ergibt, dass die großen Bauformen der elektronischen Preisschilder nicht mehr stark genug gehalten werden, da der Hubmagnet für diese im Konzept zu schwach ausgelegt ist.

Durch Ersetzen dieser Hubmagnete, durch eine Serie mit 20 N Haltekraft bei 100% Einschaltdauer, ist dieses Problem behoben. Die Displays an den Preisschildern halten diesem Druck stand und erleiden keinen Schaden durch das Spannen. Ebenso ist ein Verrutschen durch diese Maßnahme verhindert. (Die Kennlinie des 20N Hubmagneten ist dieselbe wie die in Abbildung 50 gezeigte, nur hat diese 100 % ED an der Stelle der 20 N Kraft)

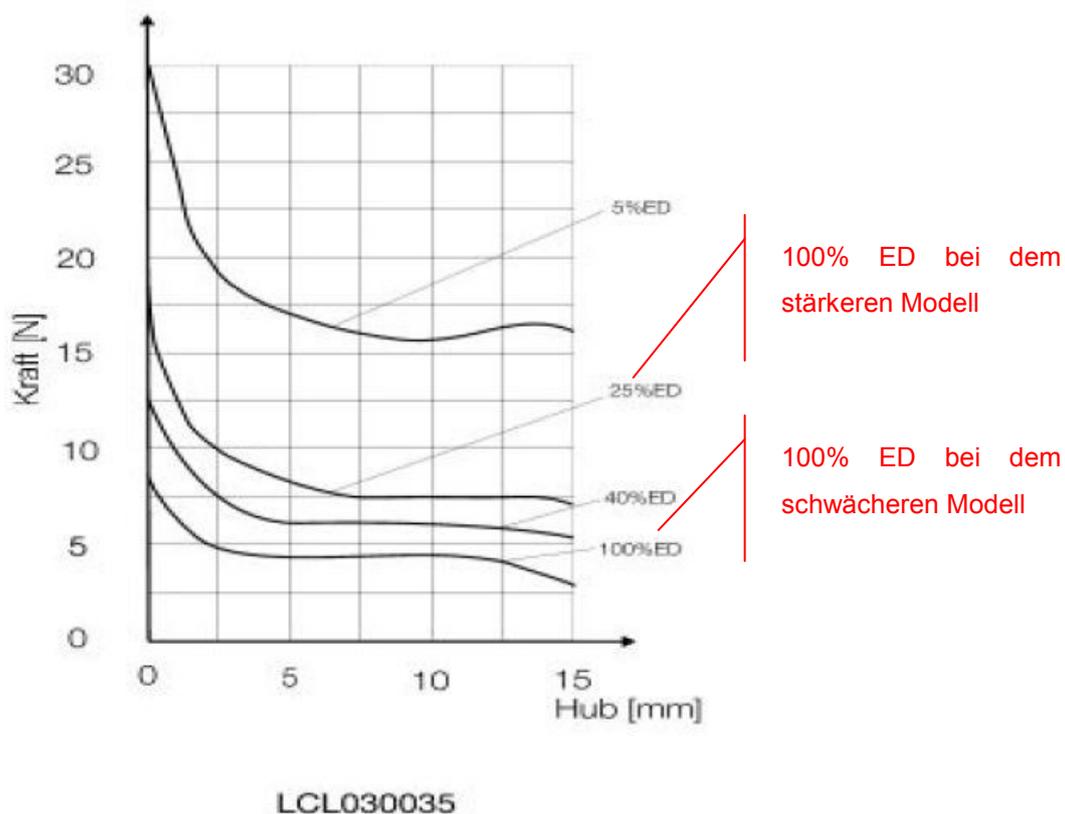


Abb. 50: Kennlinie der Hubmagnete Serie LCL030035 von der Firma Kendrion. Quelle: (kendrion, 2017)

Das nachfolgende Bild in Abbildung 51 zeigt eines der Produkte in dem eingespannten Zustand. Die obere Kante des elektronischen Preisschildes liegt am oberen Anschlag an. Die dabei verwendeten Klemmbacken bestehen aus Kunststoff (PAS).

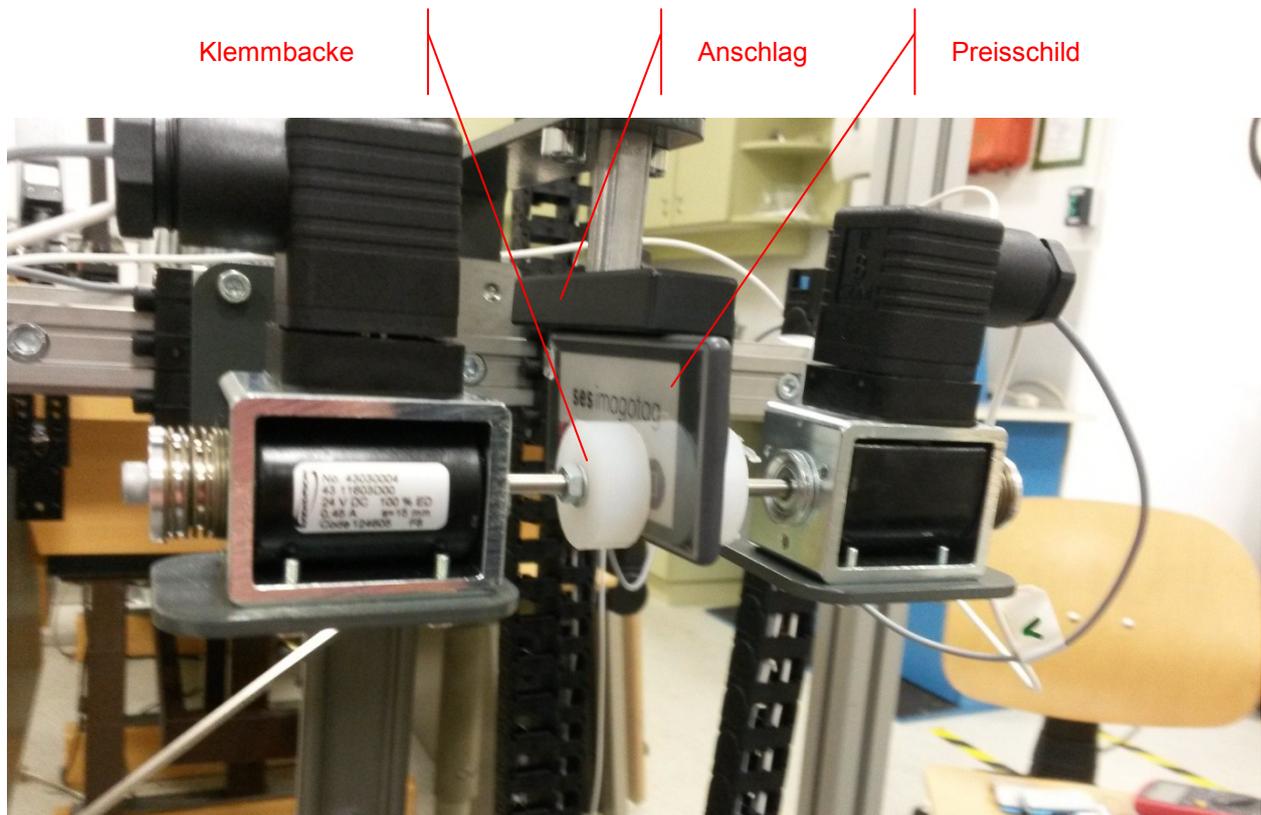


Abb. 51: geklemmtes Produkt der Firma SES-Imagotag. Quelle: Eigene Darstellung

Durch Auslösen der Hubmagnete, das Öffnen der Klemmbacken, ist zu beobachten, dass im stillstehenden Zustand die Beschleunigung des Produktes nicht ausreicht um an den Klemmbacken hängen zu bleiben. Im fallenden Zustand besitzen beide dieselbe Geschwindigkeit und der Öffnungszeitpunkt kann mit der Befestigungshöhe des Näherungsschalters manipuliert werden. Der Vorteil ist, dass das Öffnen der Klemmbacken zeitlich kein Problem darstellt, der Nachteil die freie Fallhöhe des Produktes wenn der Abstand zu groß wird. Durch die Versuche mit der Hochgeschwindigkeitskamera soll festgestellt werden, welcher Abstand für diesen Vorgang notwendig ist.

7 VERSUCHE UND ERGEBNISSE IM TESTLABOR

In diesem Kapitel wird der Falltest mit dem Prüfgerät unter dem Einsatz der Produkte beschrieben. Um die Prüfmaschine auf ihre Funktionalität zu testen, wird der Falltest einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme unterzogen.

Dabei sind folgende Werte zu untersuchen und zu dokumentieren:

- Lösen des Produktes beim Öffnen der Hubmagnete. (Verhalten)
Das Produkt soll seine Orientierung beim Öffnen nicht verändern. (Zustand gleicht dem des Einspannens)

Erwartetes Ergebnis:

- Keine Bewegung am Produkt
- Klemmbacken entfernen sich sofort vom Produkt
- Abstand zum Boden beim Lösen und das Verhalten des gelösten Produktes (Bewegung, verdrehen, verschiedene Höhen). Aufprall auf der Bodenplatte mit definierte Fläche / Kante.

Erwartetes Ergebnis:

- Produkt fällt geringe Distanz frei zu Boden
- Flächen und Kanten werden gezielt getroffen
- Keine unerwartete Bewegung am frei fallenden Produkt
- Errechnen der Geschwindigkeit mit Hilfe der Fall Zeit und des zurückgelegten Weges

Erwartetes Ergebnis:

- Berechnung der Beschleunigung und Einschätzung der Verluste im Vergleich zur Theorie
- Falltest mit großem Abstand zum Boden um einen Vergleich zu dem Verhalten zu generieren.
- Verhalten der verbauten Komponenten am Führungsschlitten beim Aufprall auf den Dämpfer

Erwartetes Ergebnis:

- Produkte werden durch Vibrationen und Schwingungen der Bleche etc. Nicht Beeinträchtigt

Dabei sind die eingestellte Höhe und der Abstand vom Dämpfer zum Näherungssensor festgehalten. Der Abstand soll so kurz wie möglich sein um unnötige freie Falldistanz einzusparen. Die Hubmagnete müssen bis zum Aufprall nicht ganz offen sein. Es reicht aus, vom Produkt weit genug weg zu sein um durch die entstehenden Bewegungen durch den Dämpfungsvorgang die Preisschilder nicht mehr zu beeinflussen.

Als Testobjekte wurden Preisschilder aus der aktuellen Produktserie der Firma SES-Imagotag zur Verfügung gestellt. Im Bild der Abbildung 52 sind diese dargestellt.



Abb. 52: Verschiedene Typen der elektronischen Preisschilder der Firma SES-Imagotag. Quelle: Eigene Darstellung

In dieser Abbildung ist der Größenunterschied der einzelnen Produkte gut zu erkennen. Für den Versuch mit der Hochgeschwindigkeitskamera sind zwei der kleineren Preisschilder herangenommen worden. Der induktive Näherungssensor ist im ersten Schritt des Testvorganges auf eine geringe Höhe eingestellt um den Fall-Weg zu reduzieren. Die Abbildung 53 zeigt den Aufbau mit der Hochgeschwindigkeitskamera.



Abb. 53: Aufbau der Hochgeschwindigkeitskamera. Quelle: Eigene Darstellung

Der induktive Näherungssensor ist im ersten Schritt des Testvorganges auf eine geringe Höhe eingestellt um den Fall-Weg zu reduzieren. Dabei stellte sich heraus, dass der minimalste Abstand vom Sensor zu der Oberkante des Dämpfers 70 mm beträgt, um die Magnete vor dem Aufprall weit genug öffnen zu können. In Abbildung 54 ist die Einstellung dokumentiert. Diese Höhe ist allerdings nur für die kleineren Produkte (1.6“, 2.2“, 2.6“, 2.7“, 4.2“, 4.4“, 4.5“) geeignet. Die Erkenntnis des Abstandes lässt aber jede weitere Höheneinstellung bei gleicher Öffnungszeit zu. Für die Winkeleinstellung am Führungsschlitten (45°), muss der Abstand um 50 mm auf 120 mm erhöht werden. Dies ging aus den Tests dieser Einstellung hervor.

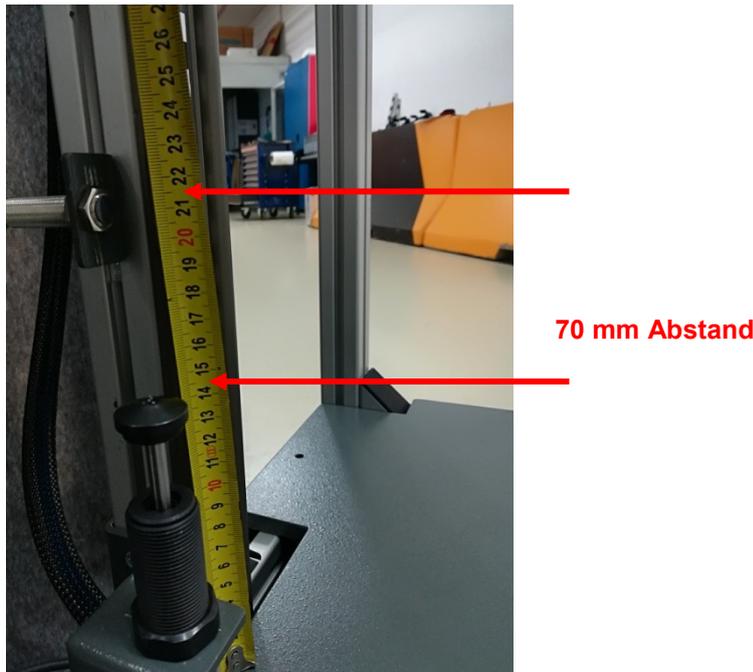


Abb. 54: Abstand des Sensors zum Dämpfer. Quelle: Eigene Darstellung

Der Halteschlitten ist in einer Höhe (gemessen an der Unterseite des Elektromagneten) von 1200 mm befestigt (Abbildung 55). Die Unterseite des Magneten bzw. die Lage des Bleches entspricht der eingestellten Höhe des Anschlages am Führungsschlitten und somit der Oberkante des Produktes.



Abb. 55: Höhe des Halteschlittens für die Testversuche im Labor. Quelle: Eigene Darstellung

Beim Spannen des Produktes ist die Lage zur Bodenplatte überprüft worden. Der Winkel von 90° ist dabei nicht genau eingehalten. Grund ist die nicht exakt horizontale Lage des Anschlags. Mit Hilfe eines Messmittels ist dies ausgeglichen worden. Danach sind die ersten Fallversuche mit Produkt erfolgt (Abbildung 56). Die Lage wurde für jeden Versuch exakt auf den gleichen Winkel eingestellt um die Parallelität zur Bodenplatte herzustellen.

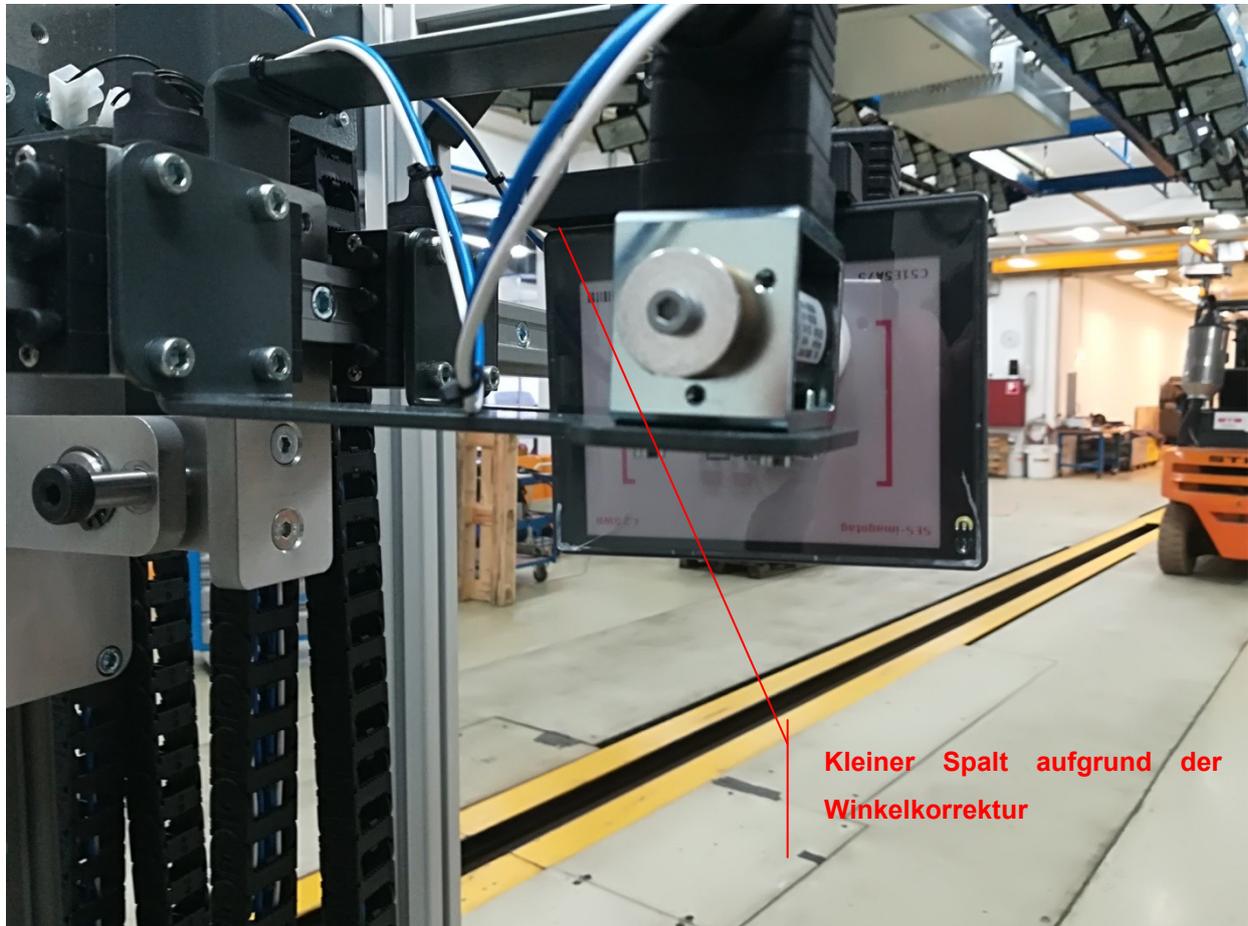


Abb. 56: Winkelkorrektur des Produktes vor dem Falltest. Quelle: Eigene Darstellung

Das Ergebnis der Aufnahme (Abbildung 57, Seite 67) zeigt, dass das Produkt gerade, ohne sich um die vertikale Achse zu verdrehen auf die Aufprallplatte zubewegt. Beim Aufprall selbst ist keine Bewegung, wie sie durch schräges Auffallen entstehen würde, zu erkennen. Die Haltebleche der Magnete und dass des Anschlags neigen beim Aufprall stark zu schwingen. Dieser Test wurde 5-mal wiederholt. Jede der Aufnahmen zeigte einen exakten Fall auf die gewünschte Fläche. Dabei ist die Vorderseite bzw. die Aufgesetzte Scheibe am Display gebrochen.

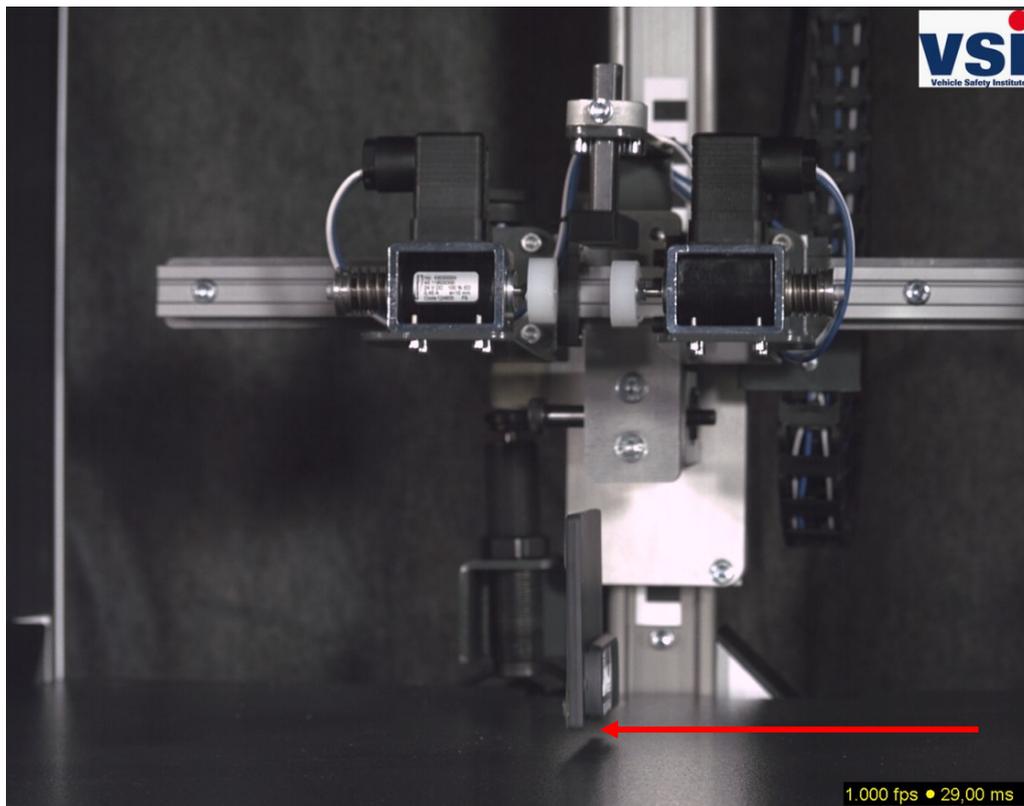


Abb. 57: Produkt kurz vor dem Aufprall. Quelle: Eigene Darstellung

Die Abbildungen 57 und 58 zeigen die Hochgeschwindigkeitsaufnahme des Tests. Dabei ist der ausgerichtete Fall zu erkennen. Das Produkt trifft exakt auf der gewünschten Fläche auf.

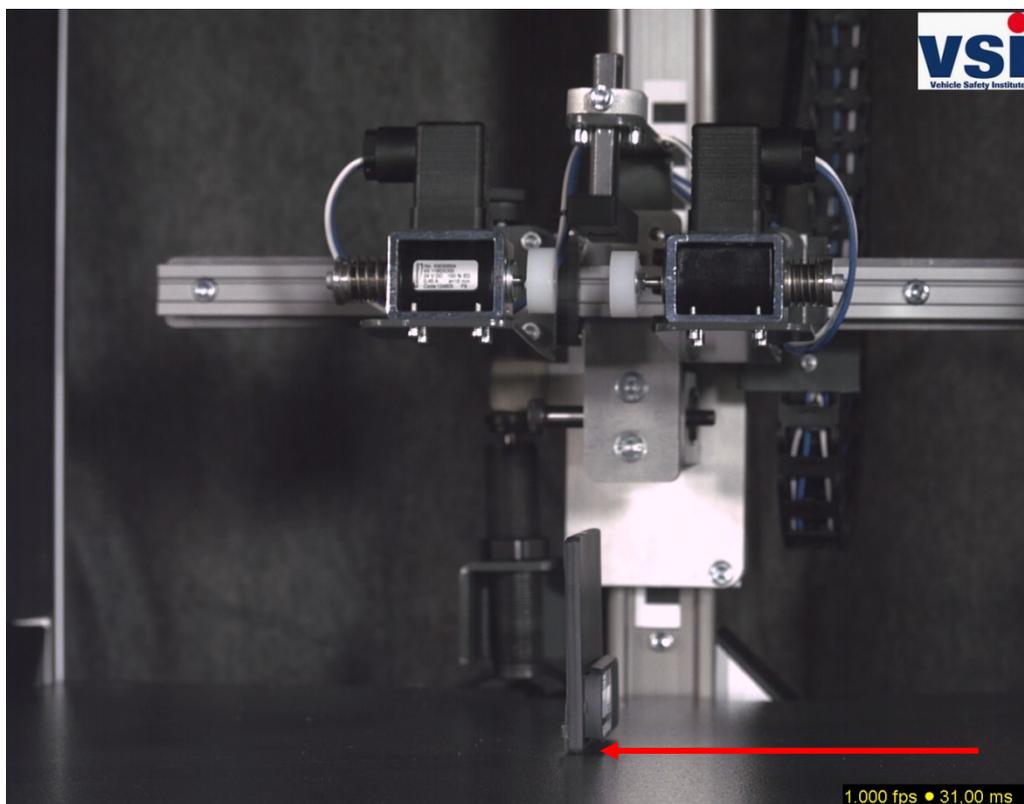


Abb. 58: Produkt direkt beim Aufprall. Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 59 sieht man den exakten Aufprall der Ecke im Winkel von 45°. Das getestete Produkt fällt die Distanz frei ohne sich zu verdrehen, wie es aus dem erstellten Video der Hochgeschwindigkeitsaufnahme hervorgeht.

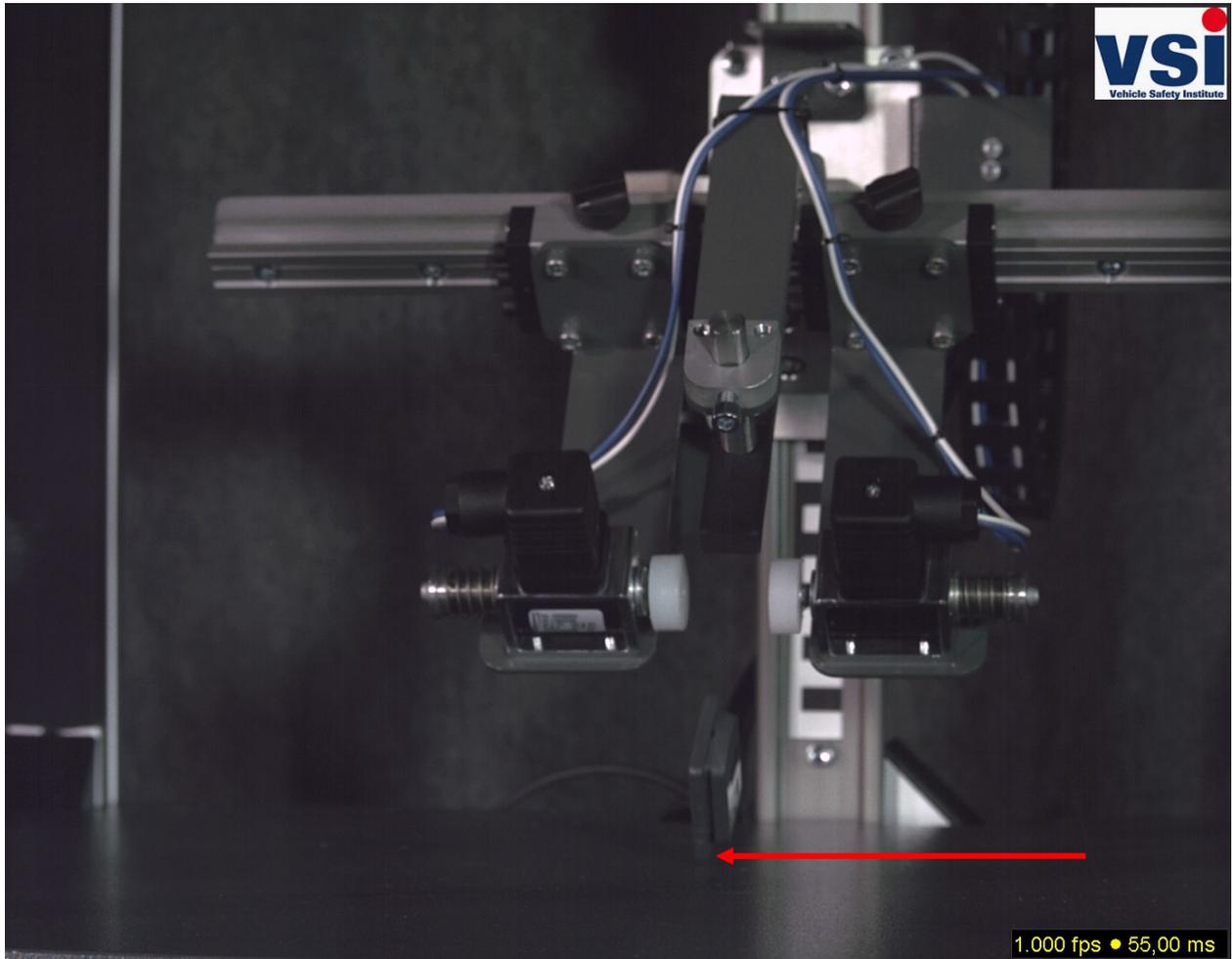


Abb. 59: Test im Winkel von 45°. Quelle: Eigene Darstellung

In der Abbildung 59 ist der geneigte Führungsschlitten zu erkennen. Die Passschraube wurde in der 45° versetzten Bohrung eingesetzt. Die Höhe des Anschlages ist gleich der vorherigen des größeren Produktes. Der Prüfling ist mit Hilfe eines Messhilfsmittels ausgerichtet worden um diesen Test im exakten Winkel durchzuführen.

Das Ergebnis ist, die Abdeckung an der Vorderseite des Produktes hielt diesem Falltest nicht stand. An den Ecken ist die Verglasung gebrochen, wie in Abbildung 60 dokumentiert. Da an beiden Seiten ein Schaden entstanden ist, muss das Preisschild mit der gesamten Fläche aufgeschlagen sein.



Abb. 60: Gebrochene Abdeckung nach 5 Testvorgängen aus 1200 mm Höhe. Quelle: Eigene Darstellung

Zusätzlich löst sich die Batterieabdeckung an der Rückseite und die verbauten Batterien kommen zum Vorschein. Das kleinste Preisschild hingegen erlitt durch seine kompakte und robuste Bauweise keinerlei Schäden. Auch nicht durch das Aufprallen an den Ecken. (Abbildung 61).

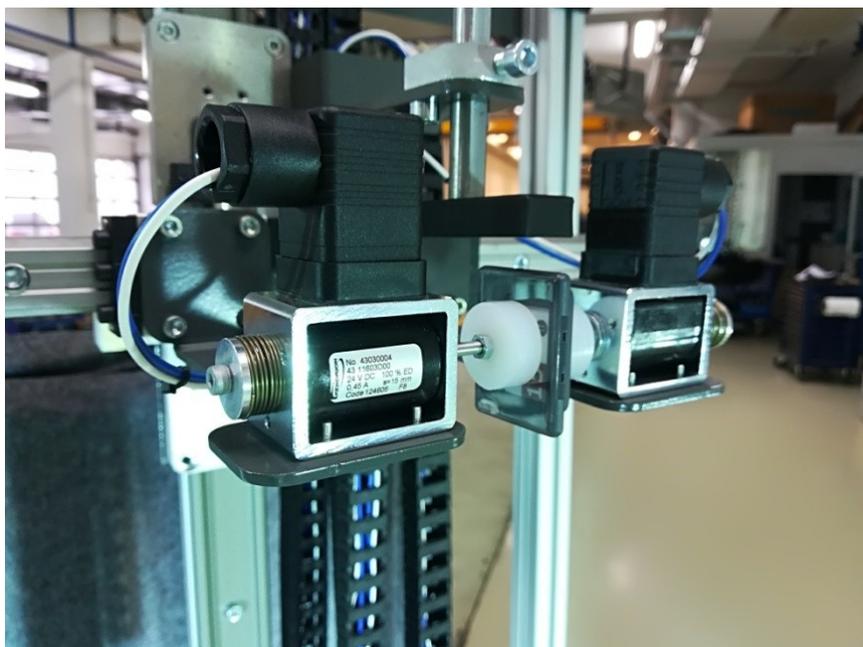


Abb. 61: Kleines Preisschild im gespannten und ausgerichteten Zustand. Quelle: Eigene Darstellung

Die Aufnahmen der Kamera lassen das Errechnen der Geschwindigkeit zu. An der rechten Unterseite der Bilder ist die Zeit eingeblendet. An der Führungsschiene ist ein Messstreifen angebracht, um den zurückgelegten Weg (1 cm pro Streifen) aus den Bildern zu erkennen. (Abbildung 62)

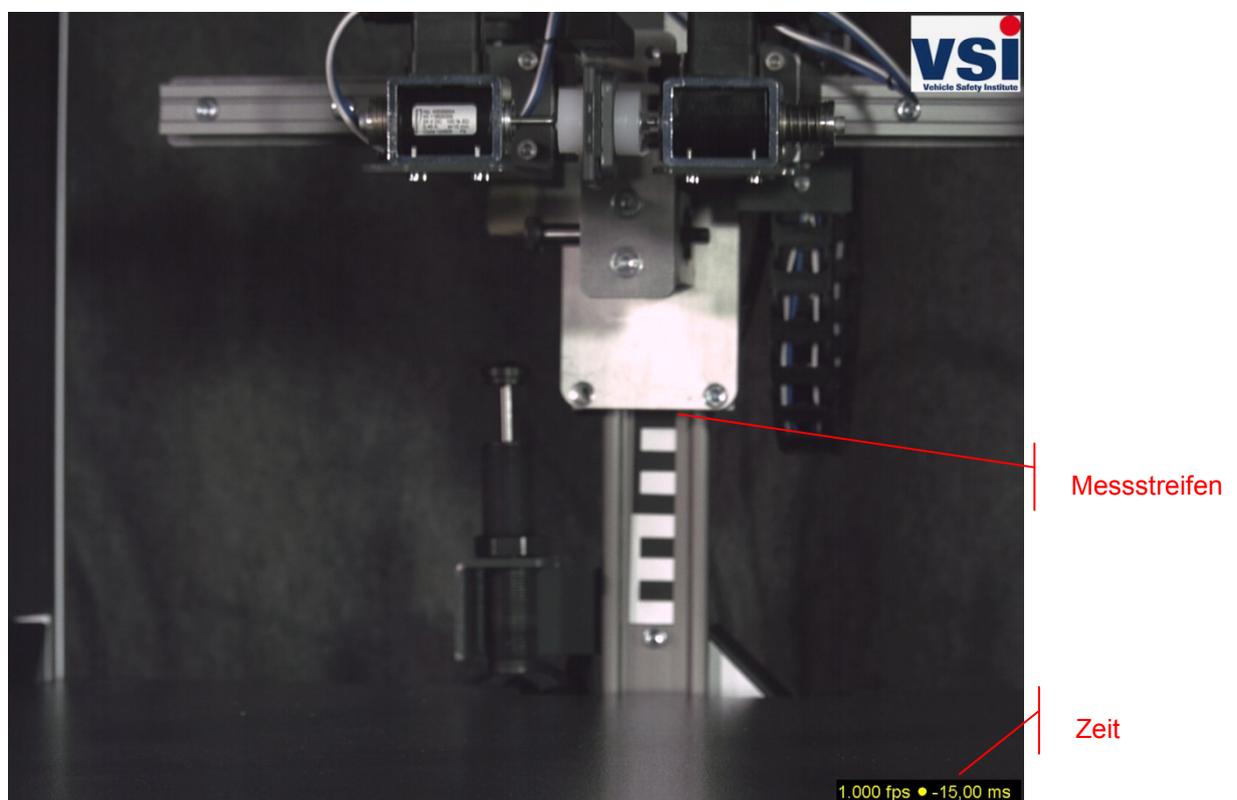
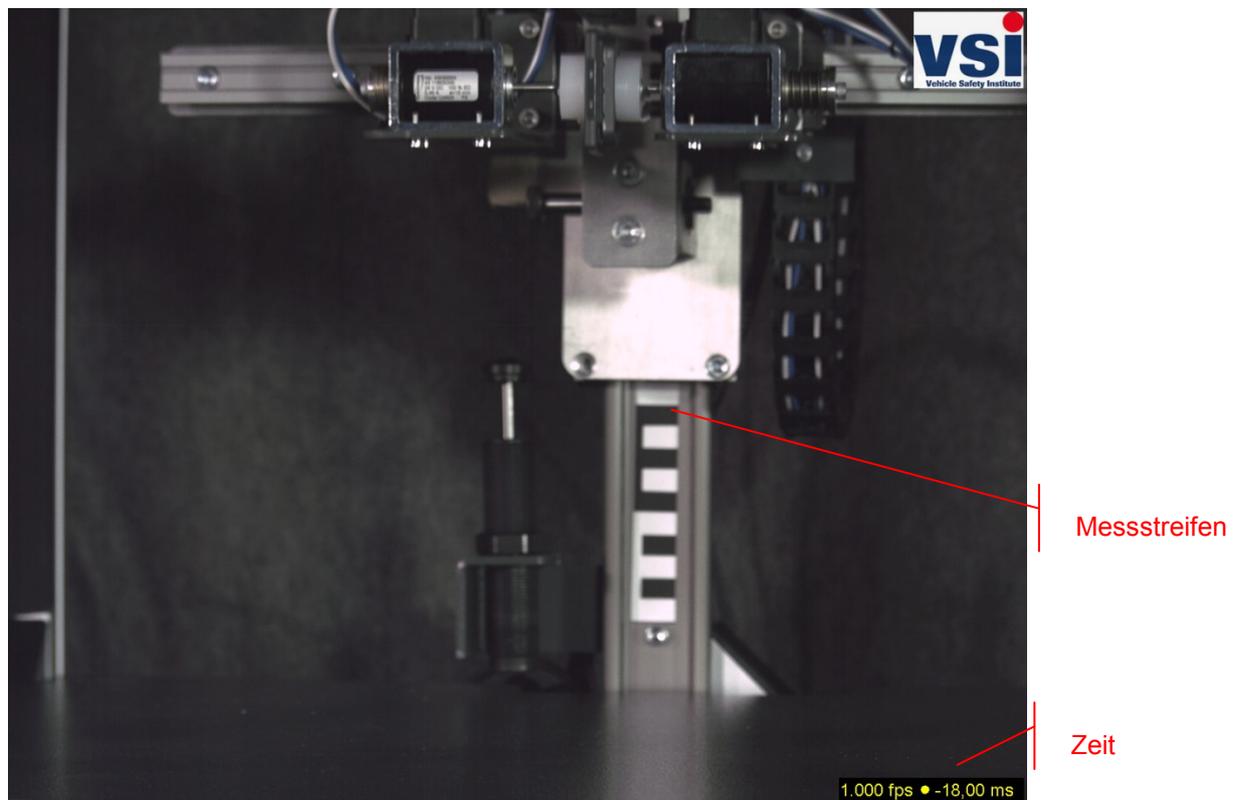


Abb. 62: Messstreifen und Zeit der Aufnahme. Quelle: Eigene Darstellung

Daraus ergibt sich (aus den Bildern der Abbildung 62 gemessen) eine Zeit von 3 ms bei einem Weg von 1 cm.

Eingesetzt in die Formeln des Kapitels 3 ergibt sich eine theoretische Geschwindigkeit von:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 * 9,81 * 1,2} = 4,85 \frac{m}{s}$$

Die tatsächliche, gemessene Geschwindigkeit beträgt:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0,01}{0,003} = 3,33 \frac{m}{s}$$

Somit beträgt der Verlust durch die Widerstände des Systems kurz vor dem Aufprall 1,52 m/s bei einer Fallhöhe von 1,2 m. Dies ist aufgrund der beschriebenen Reibung zu erwarten. Soll der Verlust ausgeglichen werden, muss der Test von einer höheren Startposition stattfinden. Durch Versuche unter Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera kann ein Einstellwert der Höhe des Halteschlittens für das jeweilige Produkt bestimmt werden.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

8.1 Zusammenfassung

Nach Durchführung der notwendigen, im Zuge der Inbetriebnahme entstandenen Änderungen an mechanischen und elektronischen Bauteilen, sind erfolgreich Falltests mit den Produkten durchgeführt worden. Die Prüfmaschine ist betriebsbereit und funktioniert.

Die Umsetzung des Konzeptes zum fertigen Aufbau erforderte kleine Änderungen der Bauteile und eine Anpassung der elektrischen Komponenten. Im Zuge des Aufbaus sind, um Sicherheit und Ergonomie zu verbessern, Sicherheitsscheiben und Heberollen bzw. Standfüße für das Prüfgerät hinzugefügt worden.

Die Tests mit den Produkten verliefen mit den optimierten Einstellungen, welche aus den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen hervorgingen, einwandfrei. Es sind Testdurchläufe in einer Höhe von 1,2 m durchgeführt worden, mit zwei unterschiedlichen Baugrößen der elektronischen Preisschilder. Es stellte sich heraus, dass durch mehrfaches Fallen aus dieser Höhe auf einen massiven Untergrund (Stahlplatte) ein Schaden an einem der Produkte entsteht.

8.2 Verbesserungsvorschläge

Durch die Erkenntnis aus den Fallversuchen sind folgende Verbesserungsvorschläge bezüglich des Aufbaus und der Bauteile an dem Prüfgerät zu empfehlen:

Rahmen:

- Der Unterteil des Rahmens ist mit einer Bodenplatte bereits schwer genug und sicher genug um ein Kippen durch eine Person zu vermeiden. Die Stellrollen erschweren eine unsachgemäße Handhabung ebenfalls. Anstelle der untern Bodenplatte wird eine Blechverkleidung empfohlen, um die verbaute Elektronik zu schützen und das Gewicht zu reduzieren.
- Die Schnapper Magnete der Schutztüren (2Stk. Pro Tür) sind für die entstehende Vibration durch den Aufprall des Führungsschlittens auf den Dämpfer zu schwach. Ein dritter Magnet oder eine stärkere Version (die nicht von der Firma Item angeboten wird), schafft Abhilfe und verhindert ein eventuelles aufspringen der Türen. Anderenfalls muss ein Schließmechanismus integriert werden.
- Ein Kabelkanal an der Rückseite des Profilstehers der Führungsschiene ist eine Lösung um die Leitungen sachgemäß zu verlegen. Dieser kann z.B.: von dem in der Produktserie des Lieferanten der Profile (Item) ergänzt werden.
- Eine Halterung für die Befestigung der Schaltbox kann ergänzt werden um diese am Rahmen ablegen oder aufhängen zu können (z.B.: Magnet).
- Eine Ablage für Prüfprotokolle kann am Rahmen befestigt werden.

Führungsschlitten:

- Der Aufbau des Führungsschlittens kragt sehr weit aus. Da durch die Wucht des Aufpralls die Gelenke der verbauten Aluminiumteile beansprucht werden, ist der Abstand so weit wie möglich zu reduzieren.
- Die Bleche an denen die Hubmagnete verbaut sind, schwingen beim Aufprall. Durch versteifen bzw. erzeugen eines höheren Trägheitsmomentes durch konstruktives anbringen einer senkrechten Lasche würde sich dies stabilisieren. Zudem kann die Stärke der Bleche von 3 mm auf 4mm erhöht werden. (verschweißen der Lasche)
- Der vorherige Punkt trifft auch auf den Anschlag zu. Eine stabilere Version des Haltebleches ist eine Verbesserung.
- Eine Verkleidung am oberen Teil des Führungsschlittens (Anschlag bis Führungswagen) würde den Aufbau in seinem Design ansprechender erscheinen lassen. Zusätzlich würde dies die Möglichkeit eröffnen, die Leitungen der Hubmagnete unterbringen zu können.
- Um die Klemmfunktion zu optimieren, wären weitere Tests mit verschiedenen Klemmbacken notwendig. Diese können im 3D-Druckverfahren kostengünstig und schnell hergestellt werden. Dabei sind diese Klemmbacken mit unterschiedlichen Materialien (Filamenten) zu drucken um die Reibung und Haltekraft zu optimieren.
- Die Ausprägung an der linken Seite, welche dem Stoßdämpfer als Aufprallfläche dient, sollte mit einem Gummielement (Gummipuffer) ausgestattet werden um den Schlag besser zu dämpfen und die Bauteile nicht unnötig zu beanspruchen.
- Der Anschlag oben am Führungsschlitten kann in seiner Kontur besser an die Produkte angepasst werden. Zusätzlich ist das Ausrichten des 90° Winkels zur Bodenplatte notwendig. Eine Stellmöglichkeit des Winkels wäre eine einfache Möglichkeit den Winkel für jeden neu gefertigten Anschlag zu erlauben.

Elektrische Komponenten:

- Der Elektromagnet am Halteschlitten kann gegen ein Industrieprodukt ausgetauscht werden. Dies wäre bei einem Dauerbetrieb der Prüfmaschine und einer Abnahme für eine Industrieanwendung notwendig. Das verbaute Produkt ist Handelsüblich erhältlich und weist keine Konformitätskennzeichnung für eine Industrieanwendung auf.
- Die Hubmagnete können, um deren Haltekraft anzupassen mit zusätzlichen Rückstellfedern ausgestattet werden. Tauschsätze der Federn würden ein individuelles Anpassen ermöglichen.
- Der Induktive Näherungssensor kann durch eine kleinere Baugröße ersetzt werden. Dies bringt optische Vorteile sowie eine ansprechendere Verkabelung. Die Funktionalität bleibt lt. recherchierten Datenblättern die gleiche.
- Das Öffnen der Hubmagnete kann durch einen dritten Taster an der Schaltbox erfolgen. Somit muss dieser Vorgang nicht zwingend durch den Näherungsschalter

geschehen. Man kann die Produkte zwar im geschlossenen Zustand noch positionieren, ein einlegen ist aber bei geschlossenen Klemmbacken umständlich.

8.3 Ausblick

Da der Prüfaufbau ein Prototyp ist, der für Folgeprojekte als Vorlage dient, ist eine Automatisierung der Abläufe an diesem Gerät denkbar. Da die Komponenten, wie z.B.: der Rahmen bewusst von Herstellern gewählt wurden, welche auch angetriebene Linearsysteme anbieten, können einzelne Teile ohne großen Aufwand getauscht werden.

Denkbar ist, im ersten Schritt das Rücksetzen des Führungsschlittens mit Hilfe eines Antriebes oder eines Linearschlittens zu realisieren. Das würde eine Positioniergenauigkeit mit sich bringen und den Halteschlitten ersetzen. Weiteres kann durch Ausrichten des Produktes auf der Aufprallplatte ein automatisiertes wiederaufnahmen stattfinden. Somit ließe sich die gewünschte Anzahl an Testläufen automatisch durchführen.

Um dieses Prüfgerät in der Produktion zu integrieren wäre auch ein Greifen und Einlegen der Produkte durch einen Industrieroboter denkbar. Ein Messsystem zur Höhenbestimmung würde die Genauigkeit bzw. Wiederholgenauigkeit steigern. Zudem lässt sich eine vordefinierte Höhe für alle Produkttypen automatisiert einstellen bzw. definieren.

Um den Ablauf des Fallens besser nachvollziehen zu können, sowie das Resultat zu dokumentieren ist ein Anbringen einer Kamera zur Schadensdetektion und Hochgeschwindigkeitsaufnahmen denkbar.

Da durch diesen Prüfaufbau ein Testen der elektronischen Preisschilder möglich ist, kann die interne Richtlinie der Firma SES-Imagotag erstellt bzw. ergänzt werden. Ein erarbeiten einer Norm für diese Art Produkt wird dadurch unterstützt.

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Elektronische Preisauszeichnung der Firma SES-Imagotag, Quelle: (ses-imagotag, 2017)	3
Abb. 2: Prüfprotokoll der Firma SES-Imagotag. Quelle: (SES-Imagotag, 2017)	5
Abb. 3: Anforderung der Testflächen und Ecken der Firma SES-Imagotag. Quelle: (SES-Imagotag, 2017)	10
Abb. 4:Entwicklungszyklus /Produktentwicklung; Quelle: (evo-tech, 2017).....	12
Abb. 5: Entwurf eines Falltestvorgangs. Spannen, Fallen, Aufprall in einem geführten System. Quelle: Eigene Darstellung	14
Abb. 6: Falltestversuch an einem Mobilfunkgerät. Quelle: (Test.de, 2017)	15
Abb. 7: Beschleunigung eines Körpers im Freien Fall. Quelle: (schulen.eduhi, 2017).....	16
Abb. 8: Schematische Darstellung der verdrängten Luft. Quelle: (geogebra, 2017)	19
Abb. 9: Eigenschaften von Gleitlagerwerkstoffen. Quelle: (Dieter Muhs, 2007), S.532	21
Abb. 10: Aufbau eines Hubmagneten. Quelle: (elektrotechnik-fachbuch, 2017)	22
Abb. 11: Darstellung der Federkräfte abhängig vom Federweg. Quelle: (Gomeringer, 2014) S.246.....	24
Abb. 12: Verschiedene Ausführungen von Elektromagneten. Quelle: (magnetbasics, 2017)	25
Abb. 13: Konzept eines Falltest der Normenevaluierung. Quelle: (SES-Imagotag, 2017)	27
Abb. 14: Umgesetztes Konzept des Prüfaufbaus für den Falltest. Quelle: Eigene Darstellung	29
Abb. 15: Pneumatische Halter der durch einen Vakuumsauger das Produkt hält. Quelle: eigene Darstellung	30
Abb. 16: Konzept des Prüfgerätes mit Linearkugelgelagertem Schlitten. Quelle: Eigene Darstellung.....	31
Abb. 17: Rahmenaufbau des Prüfgerätes mit Detailansicht der Stoßverbinder. Quelle: Eigene Darstellung	32
Abb. 18: Sicherheitsscheiben zum Schutz des Bedieners. Quelle: Eigene Darstellung	33
Abb. 19: Stoßverbindung der Führungsschiene. Quelle: Eigene Darstellung.....	34
Abb. 20:Grundplatte des Aufbaus. Quelle: Eigene Darstellung	35
Abb. 21: Zwischenraum für die Befestigung der Elektronik. Quelle: Eigene Darstellung	35
Abb. 22: Schlitten mit Magnete und Verstell Funktionen. Quelle: Eigene Darstellung	36
Abb. 23:Verstellfunktion des Halters für eine Neigung von 45°. Quelle: Eigene Darstellung	37
Abb. 24: Führungswagen der Hubmagnete mit T-Schienensystem. Quelle: Eigene Darstellung	37
Abb. 25: Führungswagen der Hubmagnete mit T-Schiene. Quelle: Eigene Darstellung	38
Abb. 26: 3-D gedruckte Klemm und Anschlagteile. Quelle: Eigene Darstellung.....	39

Abb. 27: Kraft-Weg-Diagramm eines Hubmagneten. Quelle: (magnetbasics, 2017)	39
Abb. 28: Modelle der 3D-gedruckten Klemmbacken. Quelle: Eigene Darstellung.....	40
Abb. 29: Oberer Klemm mit 3D- gedrucktem Anschlag. Quelle: Eigene Darstellung	41
Abb. 30: Oberer Schlitten mit Elektromagnet (grün). Quelle: Eigene Darstellung	42
Abb. 31: Halteblech mit Sensor. Am Rahmen seitlich der Führungsschiene montiert. Quelle: Eigene Darstellung	43
Abb. 32: Adapterplatte mit Ausprägung für den Stoßdämpfer. Quelle: Eigene Darstellung	44
Abb. 33: Schaltbild der Selbsthalteschaltung des Aufbaus. Quelle: Eigene Darstellung.....	45
Abb. 34: Kurze Falldistanz des Produktes durch spätes Auslösen. Quelle: Eigene Darstellung.....	46
Abb. 35: Schaltbox des Prüfaufbaus. Quelle: Eigene Darstellung	46
Abb. 36: Aufbau des Prüfgerätes an der FH-Campu02 Graz. Quelle: Eigene Darstellung	47
Abb. 37: Zusätzliche Profile um die Stabilität zu erhöhen. Quelle: Eigene Darstellung.....	48
Abb. 38: Bearbeitete Stoßstelle der beiden Führungsschienenteile. Quelle: Eigene Darstellung	48
Abb. 39: Führungsschlitten mit Gussteilen in denen sich Gleitleisten befinden. Quelle: Eigene Darstellung	49
Abb. 40: Darstellung des errechneten Schwerpunktes des Führungsschlittens. Quelle: Eigene Darstellung	50
Abb. 41: CAD-Modell des Rastbolzens, montiert am Führungsschlitten. Quelle: Eigene Darstellung	51
Abb. 42: Darstellung der E-Kette während der Inbetriebnahme. Quelle: Eigene Darstellung	52
Abb. 43: Elektronik des Prüfgerätes. Quelle: Eigene Darstellung	53
Abb. 44: Modelle der Elektromagnete am Halteschlitten. Quelle: Eigene Darstellung	55
Abb. 45: Stahlblech, befestigt an der Rückseite des Führungsschlittens. Quelle: Eigene Darstellung	56
Abb. 46: Am Sensor vorbeifahrender Führungsschlitten. Quelle: Eigene Darstellung	57
Abb. 47: Befestigungsbleche des Stoßdämpfers. Beide Ausführungen im Vergleich. Quelle: Eigene Darstellung	58
Abb. 48: Die getesteten Stoßdämpfer im Vergleich. Quelle: Eigene Darstellung	59
Abb. 49: 3D-Modell eines elektronischen Preisschildes. Quelle: Eigene Darstellung	60
Abb. 50: Kennlinie der Hubmagnete Serie LCL030035 von der Firma Kendrion. Quelle: (kendrion, 2017)	61
Abb. 51: geklemmtes Produkt der Firma SES-Imagotag. Quelle: Eigene Darstellung	62
Abb. 52: Verschiedene Typen der elektronischen Preisschilder der Firma SES-Imagotag. Quelle: Eigene Darstellung	64

Abb. 53: Aufbau der Hochgeschwindigkeitskamera. Quelle: Eigene Darstellung.....	64
Abb. 54: Abstand des Sensors zum Dämpfer. Quelle: Eigene Darstellung	65
Abb. 55: Höhe des Halteschlittens für die Testversuche im Labor. Quelle: Eigene Darstellung	65
Abb. 56: Winkelkorrektur des Produktes vor dem Falltest. Quelle: Eigene Darstellung	66
Abb. 57: Produkt kurz vor dem Aufprall. Quelle: Eigene Darstellung	67
Abb. 58: Produkt direkt beim Aufprall. Quelle: Eigene Darstellung.....	67
Abb. 59: Test im Winkel von 45°. Quelle: Eigene Darstellung	68
Abb. 60: Gebrochene Abdeckung nach 5 Testvorgängen aus 1200 mm Höhe. Quelle: Eigene Darstellung	69
Abb. 61: Kleines Preisschild im gespannten und ausgerichteten Zustand. Quelle: Eigene Darstellung ...	69
Abb. 62: Messstreifen und Zeit der Aufnahme. Quelle: Eigene Darstellung	70

10 LITERATURVERZEICHNIS

- austrian-standards. (21. 11 2017). Abgerufen am 21. 11 2017 von <https://www.austrian-standards.at/produkte-leistungen/kostenlose-services/register-normen/>: <https://www.austrian-standards.at>
- beuth. (06. 12 2017). Abgerufen am 06. 23 2017 von <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-22248/2044762>.
- Böge, A. (2013). *Technische Mechanik_ Statik - Reibung - Dynamik - Festigkeitslehre - Fluidmechanik*. Vieweg.
- Boswirth, L. (2009). *Technische Stromungslehre_ Lehr- und Übungsbuch*. Vieweg.
- Dieter Muhs, H. W. (2007). *Roloff Matek Maschinenelemente. Lehrbuch und Tabellenbuch. Normung, Berechnung, Gestaltung*. Vieweg.
- elektrotechnik-fachbuch. (14. 10 2017). Abgerufen am 14. 10 2017 von http://www.elektrotechnik-fachbuch.de/e_grundlagen_kap_07_2v2.html.
- evo-tech. (18. 08 2017). Abgerufen am 18. 08 2017 von <http://evo-tech.eu/de/kleinserien>.
- geogebra. (11. 10 2017). Abgerufen am 11. 10 2017 von <https://www.geogebra.org/m/dRRBJtA>.
- Gomeringer, R. (2014). *Tabellenbuch Metall-Europa-Lehrmittel (2014)*. Europa-Lehrmittel.
- Harten, U. (2014). *Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Springer Vieweg.
- Igus. (21. 11 2017). Abgerufen am 21. 11 2017 von https://www.igus.at/wpck/1877/iglidur_J_Werkstoffdaten:
https://www.igus.at/wpck/1877/iglidur_J_Werkstoffdaten
- Jürgen Dankert, H. D. (2006). *Technische Mechanik, Statik, Festigkeitslehre, Kinematik_Kinetik*. Teubner.
- kendrion. (01. 12 2017). Abgerufen am 01. 12 2017 von <http://www.kendrion.com/industrial/ims/de/>.
- magnetbasics. (21. 11 2017). Abgerufen am 21. 11 2017 von <http://www.magnetbasics.de/hubmagnete/kraftwegdiagramm.htm>.
- red-magnetics.com. (15. 10 2017). <http://www.red-magnetics.com/de/produkte/>. Abgerufen am 15. 10 2017
- schulen.eduhi. (10. 10 2017). Abgerufen am 10. 10 2017 von http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/9/freie_fall/der_freie_fall.htm.
- ses-imagotag. (15. 10 2017). Abgerufen am 15. 10 2017 von <http://www.ses-imagotag.com/de/produkte/>.
- SES-Imagotag. (2017). *Projektbericht Normenevaluierung_170331*. Graz: SES-Imagotag.
- Test.de. (28. 11 2017). (S. Warentest, Herausgeber) Abgerufen am 28. 11 2017 von <https://www.test.de/unternehmen/testablauf-5017344-0/>.
- t-online. (10. 10 2017). http://www.t-online.de/digital/handy/id_81025102/samsung-galaxy-s8-blamage-im-falltest-der-stiftung-warentest.html. Abgerufen am 10. 10 2017

weltderphysik. (11. 10 2017). <http://www.weltderphysik.de/gebiet/leben/fussball/flug-ohne-luftwiderstand/>.
Abgerufen am 11. 10 2017

wko. (17. 12 2017). Abgerufen am 17. 12 2017 von <https://www.wko.at/service/innovation-technologie-digitalisierung/ce-kennzeichnung-normen.html>.

www.precifast.de. (24.10.2017). <https://www.precifast.de/induktiver-naeherungsschalter/>.

www.vcb.de. (20. 10 2017). <http://www.vcb.de/vcb-contentb/mechatronik/basiswissen/gsps/gsps01q01/15100.html>. Abgerufen am 20. 10 2017