



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Patrick Hansen

Untersuchung von Methoden zur gewichtslosen
Prüfung von hochziehbaren Personenaufnahmemit-
tel

Patrick Hansen

Untersuchung von Methoden zur gewichts- losen Prüfung von hochziehbaren Perso- nenaufnahmemitteln

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. Björn Ingo Lange
Zweitgutachter : Prof. Dr.-Ing. Jochen Maaß
Abgegeben am 05. Dezember 2016

Patrick Hansen

Thema der Bachelorthesis

Untersuchung von Methoden zur gewichtslosen Prüfung von hochziehba-
ren Personenaufnahmemittel

Stichworte

Prüfverfahren, Windenergieanlagen, Aufzugsanlagen

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit werden Methoden untersucht, die eine Prüfung von Auf-
zugsanlagen in Windenergieanlagen ohne Zuhilfenahme von Prüflast er-
möglichen sollen. Zum Einen werden Messungen ohne Prüflast durchge-
führt, zum Anderen werden Messungen mit Hilfe einer Gaszugfeder
durchgeführt. Zur Aufzeichnung der Messdaten wird das TÜV NORD-
Interne Aufzugs Service und Informations System II genutzt.

Patrick Hansen

Title of the paper

Examination of methods for the weightless testing of access equipment

Keywords

Test procedure, wind turbines, lift installation

Abstract

This thesis, methods are investigated which should allow testing of ac-
cess equipment in wind turbines without the aid of testload. On the one
hand, measurements are carried out without a testload, on the other
hand, measurements are carried out with the aid of a gas tension spring.
The TÜV NORD-Internal Aufzugs Service und Informations System II is
used to record the measured data.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich zunächst Herrn Prof. Dr. Björn Ingo Lange und Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Maaß danken, die sich bereit erklärt haben die Rolle des Erst- bzw. Zweitprüfers zu übernehmen.

Auch möchte ich Herrn Baar, Herrn Langer sowie Herrn Stohlmann danken, welche mich im Rahmen dieser Arbeit unterstützt und betreut haben.

Weiterhin danke ich der Herrn Nils Bruhn sowie Herrn Terence Minon-Males der Firma Avanti Windsystems, die mir ihre Schulungsanlage zu Testzwecken zur Verfügung gestellt haben.

Schließlich danke ich meiner Familie und ganz besonders meiner Freundin, die mir immer zur Seite standen und mir während meines Studiums viel Arbeit abgenommen haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Themenumfeld.....	6
1.2	Zielsetzung	9
1.3	Aufzugs Service und Informations System II (ASIS II).....	9
1.3.1	Treibfähigkeit	10
1.3.2	Bremsfang	12
2	Voruntersuchung	14
3	Versuch	17
3.1	Ziel.....	18
3.2	Aufbau.....	18
3.2.1	Prüflast	18
3.2.2	Gaszugfeder	19
3.3	Messungen.....	22
3.3.1	Betriebsmittel	22
3.3.2	Kraftkennlinie der Gaszugfeder	22
3.3.3	Anhalteweg des Fahrkorbes ohne Gaszugfeder	27
3.3.4	Anhalteweg des Fahrkorbes mit Gaszugfeder	33
3.4	Ergebnisse	37
4	Fazit.....	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anbringung der Haltegurte an der Seilführung	14
Abbildung 2: Anbringung der Haltegurte an der Seilbefestigung der Plattform	15
Abbildung 3: Zugkraftmessgerät	16
Abbildung 4: Anlage ohne Prüflast	17
Abbildung 5: Anlage beladen - 350kg	18
Abbildung 6: Aufbau einer Gaszugfeder	19
Abbildung 7: Anlage mit Gaszugfeder	20
Abbildung 8: Anlage mit Gaszugfeder 2	21
Abbildung 9: Kraftsensoren zwischen Träger und Gaszugfeder	21
Abbildung 10: Kennlinie Gaszugfeder komplett	23
Abbildung 11: Kennlinie Gaszugfeder Ausfahren	24
Abbildung 12: Kennlinie Gaszugfeder Ausfahren, maximale Auslenkung	24
Abbildung 13: Kennlinie Gaszugfeder Einfahren, maximale Auslenkung	25
Abbildung 14: Kennlinie Gaszugfeder Einfahren	25
Abbildung 15: Progression einer Gaszugfeder	26
Abbildung 16: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit unbeladener Anlage	27
Abbildung 17: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage ohne Beladung	28
Abbildung 18: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit 200 kg Beladung	29
Abbildung 19: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit 200 kg Beladung	30
Abbildung 20: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit 300 kg Beladung	31
Abbildung 21: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit 300 kg Beladung	32
Abbildung 22: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit Gaszugfeder entsprechend 200 kg	33
Abbildung 23: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit Gaszugfeder entsprechend 200 kg	34
Abbildung 24: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit Gaszugfeder entsprechend 300 kg	35
Abbildung 25: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit Gaszugfeder entsprechend 300 kg	36
Abbildung 26: Mittelwerte der Anhaltewege	37
Abbildung 27: Mittelwerte der Anhaltewege mit Ausgleichsgerade	38
Abbildung 28: Anhaltewege in Bezug auf das Gesamtgewicht	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messergebnisse der Anhaltewege	37
---	----

1 Einleitung

1.1 Themenumfeld

Die Klimaerwärmung ist ein globales Problem, das alle Staaten und Völker der Erde betrifft. Um den Ausstoß des Hauptverursachers, das Kohlenstoffdioxid (CO₂), zu reduzieren hat es sich Deutschland unter anderem zur Aufgabe gemacht, seinen Energiebedarf zu senken, aktuelle Kraftwerke zu modernisieren und auf erneuerbare Energien umzusteigen. Durch das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) ist festgehalten, dass der Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch bis 2050 80 % betragen soll. Den größten Anteil (circa 42,3 %) an erneuerbarer Energie hat in Deutschland die Windenergie. Die vorgesehene Steigerung an installierter Leistung soll jährlich 2500 Megawatt für Anlagen an Land betragen. Für Anlagen auf See ist eine Steigerung auf 6500 Megawatt bis 2020 und 15000 Megawatt bis 2030 vorgesehen. Jedes Jahr werden dafür hunderte Neuanlagen mit bis zu 8 Megawatt Leistung aufgestellt, Altanlagen mit einem niedrigen Wirkungsgrad werden durch modernere Anlagen ersetzt und so die Ausgangsleistung oft mehr als verdoppelt. Für eine hohe Ausgangsleistung ist eine optimale Ausnutzung des Windaufkommens notwendig, welche durch große Rotordurchmesser von bis zu 170 m realisiert werden. Für solche Rotordurchmesser sind Nabenhöhen von 150 m notwendig. Um die Gondel in diesen Höhen mit Personal und Werkzeug komfortabel und zügig erreichen zu können, sind heutige Windenergieanlagen mit Serviceliften ausgestattet.

Der Aufbau eines Serviceliftes bzw. eines Personenaufnahmemittels (PAM) unterscheidet sich stark von einem Aufzug im herkömmlichen Sinne. Herkömmliche Aufzugsanlagen werden nach ihrer Antriebsart in Seilaufzüge und hydraulische Aufzüge unterteilt, wobei bei letzteren noch zwischen direkt und indirekt hydraulisch unterschieden wird. Direkt hydraulische Anlagen werden durch einen Kolben, welcher sich z.B. mittig unter dem Fahrkorb befindet, verfahren. Dadurch sind hohe Lasten, allerdings nur begrenzte Förderhöhen möglich. Der Platzbedarf im Fahrschacht ist bei diesen Anlagen am geringsten, da nur der Fahrkorb Platz finden muss. Indirekt hydraulische Anlagen werden mit Seilen verfahren, welche über eine Heberrolle umgelenkt werden. Dadurch wird die doppelte Förderhöhe gegenüber einer Aufzugsanlage mit direktem hydraulischen Antrieb erreicht. Jedoch wird bei dieser Antriebsart durch den seitlich vom Fahrkorb verfahrenen hydraulischen Kolben mehr Platz im Fahrschacht benötigt. Bei Seilaufzügen wiederum wird zwischen Aufzügen mit Trommelantrieb und Treibscheibenantrieb unterschieden. Bei Aufzügen mit Trommelantrieb werden die Seile, mit denen der Fahrkorb verfahren wird, im Triebwerksraum aufgetrommelt. Es gibt Anlagen, die durch ein zusätzliches Ausgleichsgewicht ihren Wirkungsgrad verbessern. Für diese Bauart wird jedoch im Fahrschacht zusätzlich zum Fahrkorb Raum für das Ausgleichsgewicht benötigt. Treibscheibenantriebe sind mit einem sogenannten Gegengewicht ausgestattet. Dieses ist so schwer, wie der mit halber Nennlast beladene Fahrkorb der Anlage. Bei einem Treibscheibenantrieb wird der Fahrkorb lediglich durch eine kraftschlüssige Verbindung im Fahrschacht verfahren. Allen gemein ist, dass sie in einem Fahrschacht an Führungsschienen mittels mehrerer Seile verfahren werden. Am Fahrkorb befinden sich Fahrkorbabschlusstüren, die ein Verlassen des Fahrkorbes während der Fahrt unterbinden und somit Quetschungen und Abscherungen verhindern sollen. Ebenfalls am Fahrkorb und/oder am Gegengewicht befindet sich

eine Fangvorrichtung, die den Fahrkorb gegen einen Absturz nach unten oder oben absichert und sich an den Führungsschienen festsetzt. Da das Gegengewicht eine höhere Masse, als der leere Fahrkorb aufweist, kann es bei einem Versagen des Antriebes dazu kommen, dass der Fahrkorb durch das Gegengewicht in Aufwärtsrichtung beschleunigt und mit der Fahrschachtkopfdecke kollidiert. Der Antrieb einer Anlage befindet sich bei Neuanlagen häufig im Schachtkopf oder in einem separaten Triebwerksraum und ist direkt mit der Bremseinrichtung gegen ungewollte Bewegungen ausgerüstet.

Die Personenaufnahmemittel in Windenergieanlagen hingegen sind häufig nur für die Beförderung von 2 Personen plus Werkzeug ausgelegt und besitzen deshalb eine geringe Nutzlast sowie eine geringe Eigengewichtsmasse. Die Personenaufnahmemittel befinden sich frei im Turm, sind nicht in einem separaten Fahrschacht untergebracht und besitzen kein Gegen- oder Ausgleichsgewicht. Sie verfahren an einem Fahr- bzw. Tragseil mittels einer Durchlaufwinde mit einer Treibscheibe und sind entweder Seil- oder Leitergeführt. Der Antrieb befindet sich im oberen Teil des Fahrkorbes. Die Betriebsbremse ist realisiert durch eine elektromagnetische Federdruckbremse. Sie ist direkt am Antriebsmotor befestigt und an den Anker gekoppelt. Zusätzlich zum Fahrseil gibt es ein Sicherheitsseil, welches wirksam wird, falls das Fahrseil oder der Antrieb versagen. Am Sicherheitsseil verfährt eine im Fahrkorb angebrachte Fangvorrichtung, welche das Personenaufnahmemittel gegen Übergeschwindigkeit in Abwärtsrichtung schützt.

Eine kraftbetätigte Aufstiegshilfe mit einem Personenaufnahmemittel ist im Sinne der Maschinenrichtlinie eine Maschine zum Heben von Personen mit einer Absturzhöhe von mehr als drei Metern und somit eine überwachungsbedürftige Aufzugsanlage im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes. In der aktuellen novellierten Betriebssicherheitsverordnung vom 01.06.2015 ist geregelt, dass diese Anlagen alle 2 Jahre einer wiederkehrenden Prüfung (Hauptprüfung) unterzogen werden müssen. Zwischen der wiederkehrenden Prüfung (Hauptprüfung) muss vom Betreiber der Aufzugsanlage die Durchführung einer Zwischenprüfung veranlasst werden. Diese Prüfungen sollen unter anderem den sicheren Betrieb der Aufstiegshilfe gewährleisten. Ein Aufzugssachverständiger einer zugelassenen Überwachungsstelle (ZÜS) überprüft dabei unter anderem die Aufhängung des Personenaufnahmemittels, das Fahr-, Sicherheits- sowie die Führungsseile, die Brems- und Fangeinrichtungen, den Antrieb und alle Sicherheitseinrichtungen. Den Prüfumfang der Prüfungen gibt hierbei die TRBS 1201, in welcher die Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen beschrieben wird, vor. Der Teil 4 der TRBS 1201 (Technische Regeln für Betriebssicherheit) konkretisiert die Betriebssicherheitsverordnung hinsichtlich der Prüfmethode und des Prüfumfanges für Prüfungen an Aufzugsanlagen nach §§14, 15 und 16.

In der TRBS 1201-4 ist folgendes für die Prüfung der Bremseinrichtung festgeschrieben:

„(5) Prüfung von mechanischen Bremsen

Die Bremse bzw. Bremseinrichtung am Triebwerk ist eine Betriebsbremse und muss alleine in der Lage sein, den nach der Errichtungsvorschrift beladenen Fahrkorb aus der Nenngeschwindigkeit zu verzögern. Folgende Prüfschritte sind erforderlich:

- a) Prüfung der Wirksamkeit der Bremsen durch Anhalten des beladenen Fahrkorbes in der Abwärtsfahrt aus der Betriebsgeschwindigkeit, und zwar bei Aufzugsanlagen mit Gegengewicht mit Nennlast, bei Aufzugsanlagen ohne Gegengewicht mit 1,25-facher

Nennlast oder entsprechend der Errichtungsvorschrift. Die Prüfung der Bremse bei Aufzügen mit Treibscheibenantrieb und entsprechendem Ausgleich kann auch mit leerem Fahrkorb in Aufwärtsrichtung erfolgen.

- b) Ermittlung, ob der mit Nennlast beladene Fahrkorb in der Abwärtsfahrt mit je einem deaktivierten Bremskreis aus der Betriebsgeschwindigkeit verzögert. Die Prüfung der Bremse bei Aufzügen mit Treibscheibenantrieb und entsprechendem Ausgleich kann auch mit leerem Fahrkorb in Aufwärtsrichtung erfolgen.“

(Ausschuss für Bausicherheit, 2009)

Des Weiteren wird die Prüfung der Treibfähigkeit wie folgt beschrieben:

„(6) Prüfung der Treibfähigkeit

Bei Aufzugsanlagen mit Treibscheibenantrieb sind zu prüfen:

- a) die ausreichende Treibfähigkeit auch bei beladenem Fahrkorb mit entsprechender Überlast nach der Errichtungsvorschrift,
- b) die Aufhebung der Treibfähigkeit durch eine Aufsetzprobe des Gegengewichtes mit unbeladenem Fahrkorb
- c) der Gegengewichtsausgleich

Die Prüfung kann mit Prüflast oder auch mit alternativen, im Hinblick auf die Aussagefähigkeit der Prüfung gleichwertigen Prüfsystemen erfolgen.“

(Ausschuss für Bausicherheit, 2009)

Wobei im Falle des Personenaufnahmemittels in Windenergieanlagen die Teile b) und c) aufgrund des fehlenden Gegengewichtes wegfallen.

Für diese Prüfungen werden dem Prüfer Prüfgewichte (Prüflast) bereitgestellt, mit denen der Fahrkorb beschwert wird, um die notwendige Prüflast zu erreichen. Eine Standardanlage hat eine Nutzlast von 240 kg und somit ist eine Beladung mit 300 kg inklusive der Überlast erforderlich.

Der Zustieg in das Personenaufnahmemittel ist selten auf der untersten Plattform einer Windenergieanlage vorgesehen, da sich in dem Bereich die Transformatoren und andere Schalteinrichtungen befinden. Das Personenaufnahmemittel ist somit häufig nur über die 2. Plattform zu erreichen, die sich ca. 10 – 15 m über der untersten Plattform befindet. Zu erreichen ist diese Plattform nur über eine Leiter.

Die Beurteilung der Bremse sowie des Hubwerkes erfolgt demnach empirisch und ist aufwändig und Personen- sowie Materialermüdend.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein bestehendes Konzept zu untersuchen, das es dem Prüfer erlaubt Aufzugsanlagen in Windenergieanlagen ohne Zuhilfenahme von Prüflast zu prüfen. Ansatz ist dabei die Verwendung eines vorhandenen Prüfsystems, dem ASIS II. Aufgrund der unterschiedlichen Prüfanforderungen und Gegebenheiten der Aufzugsanlagen, ist eine Überarbeitung der Messmethodik notwendig, die hier untersucht werden sollen. Des Weiteren sollen Vorbereitungen für die spätere Erweiterung des Systems um Berechnungen erfolgen. Das ASIS II dient in dieser Arbeit lediglich als Hilfsmittel und wird in seiner aktuellen Form genutzt, aber nicht verändert.

1.3 Aufzugs Service und Informations System II (ASIS II)

In den Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) ist die Möglichkeit vorgesehen, zu einer Beurteilung z.B. der Treibfähigkeit auch mit Hilfe „gleichwertiger Prüfsysteme“ zu gelangen. Im Hause des TÜV NORD wird zur einfacheren und schnelleren Prüfung von herkömmlichen Aufzugsanlagen das Aufzugs Service Informations System II (ASIS II) genutzt. Dieses System besteht aus einem auf LabView basierendem Programm, einer Box zur Verarbeitung der gelieferten Daten und integriertem Beschleunigungssensor. Zusätzlich sind z.B. externe Zug- und Druckkraftsensoren sowie Adapter und Haltegurte mit im System inbegriffen.

Im Folgenden werden 2 Funktionsweisen des ASIS II erläutert, die in dieser Arbeit Verwendung finden sollen.

1.3.1 Treibfähigkeit

Um die Treibfähigkeit einer Treibscheibenantriebes festzustellen, bedient sich das ASIS II der Euler-Eytelwein-Formel auch Seilreibformel genannt. Sie beschreibt das Verhältnis von ziehender Kraft F_1 und haltender Kraft F_2 an Seilenden an einem umschlungenen Rundstück in Bezug auf den Haftreibungskoeffizienten μ_H und des Umschlingungswinkels α in Bogenmaß.

$$\frac{F_1}{F_2} \leq e^{\mu_H * \alpha}$$

Wobei $F_1 > F_2$ gelten muss.

Das ungünstigste Seilspannungsverhältnis im Normalbetrieb erhält man bei einem leeren Fahrkorb:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\text{Gegengewicht } (F_G)}{\text{Fahrkorb } (F_F)} = \frac{F_F + 0,5 * \text{Nutzlast } (F_Q)}{F_F} = 1 + \frac{0,5 * F_Q}{F_F}$$

Ein ungünstigeres Seilspannungsverhältnis lässt sich nun erzielen, wenn der leere Fahrkorb weiter entlastet wird. Bei der ASIS-Prüfung wird der Fahrkorb mit den Haltegurten und Kraftsensoren mittels der Schienenbefestigungsklemmen aufgehoben. Verfährt man nun den Aufzug in Abwärtsrichtung so entlastet man die Seile um eine Kraft F_M , bei der das Seilspannungsverhältnis so ungünstig ist, dass die Seile über die Treibscheibe bzw. die Treibscheibe unter den Seilen durchrutscht. Diese Kraft wird von den Haltegurten aufgenommen und durch die Kraftsensoren aufgezeichnet:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{F_G}{F_F - F_M}$$

Durch ein Überladen des Fahrkorbes mit einer Kraft von $\ddot{u} * F_Q$ kann auch ein Rutschen der Seile bzw. der Treibscheibe erzielt werden, wodurch folgende Gleichung Anwendung findet:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{F_F + \ddot{u} * F_Q}{F_G}$$

Durch Gleichsetzen und Umformen erhält man:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{F_F + \ddot{u} * F_Q}{F_G} = \frac{F_G}{F_F - F_M}$$

$$F_F + \ddot{u} * F_Q = \frac{F_G^2}{F_F - F_M}$$

$$\ddot{u} = \frac{1}{F_Q} \left(\frac{F_G^2}{F_F - F_M} - F_F \right)$$

Mit Hilfe der vorliegenden Aufzugsdaten und den aufgezeichneten Messwerten lässt sich somit der Überlastfaktor \ddot{u} bestimmen.

Zur Beurteilung der Treibfähigkeit eines Treibscheibenantriebes nach TRA 200 muss $\ddot{u} > 1,5$ sein, bei einem Aufzug nach EN 81-1 muss $\ddot{u} > 1,25$ sein. Aufgrund von unvermeidbaren Messtoleranzen und den Ungenauigkeiten, die sich aus den vorliegenden Aufzugsdaten ergeben, wird mit einem Zuschlag von $\delta = 2$ gerechnet.

Durch den hohen Umschlingungswinkel von ca. 270° und zusätzlichen Anpressrollen ist die Reibung zwischen dem Seil und der Treibscheibe bei einer Seildurchlaufwinde so hoch, dass ein Rutschen im Normalfall weder erwünscht noch möglich ist. Somit kann dieses Verfahren in Windenergieanlagen keine Verwendung finden.

1.3.2 Bremsfang

Für die Messung der Bremsfangvorrichtung ist in der ASIS-Messbox ein Beschleunigungssensor verbaut. Die Box wird bei dieser Messung in oder auf den leeren Fahrkorb gelegt und die Messung gestartet. Der Fahrkorb wird dann mittels eines Fahrbefehls in Abwärtsrichtung auf Nenngeschwindigkeit gebracht. Ist die Nenngeschwindigkeit erreicht, wird die Fangvorrichtung ausgelöst. Da die Bremskraft (F_B) der Fangvorrichtung unabhängig vom Beladungszustand des Fahrkorbes ist gilt:

$$F_B = m_F * a_L$$

Und

$$F_B = (m_F + m_N) * a_n$$

Gleichgesetzt erhalten wir somit

$$(m_F + m_N) * a_N = m_F * a_L$$

$$a_N = \frac{m_F}{m_F + m_N} * a_L$$

Die aufgenommenen Daten werden von der Messbox an das Programm weitergeleitet und graphisch dargestellt. Die Fahr- bzw. Fangkurve kann dann mit Cursorsn eingefasst werden und das Programm berechnet den Bremsweg sowie die mittlere Verzögerung und Geschwindigkeit in dem abgesteckten Bereich.

In dieser Arbeit wird die Möglichkeit der Aufzeichnung von Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurven genutzt, um belastbare Rückschlüsse auf das Bremsverhalten mit verschiedenen Lastsystemen ziehen zu können.

Wir nutzen zur Auswertung den Bremsweg.

$$s = \frac{0,5 * v^2}{a}$$

Somit folgt:

$$a = \frac{0,5 * v^2}{s}$$

Eingesetzt in unsere Formel ergibt das:

$$\frac{0,5 * v^2}{s_N} = \frac{m_F}{m_F + m_N} * \frac{0,5 * v^2}{s_L}$$

Umgeformt ergibt sich das zu:

$$s_N = \frac{m_F + m_N}{m_F} * s_L$$

Somit sollten wir in der Lage sein, anhand des Bremsweges ohne Last auf den Bremsweg mit Last schließen zu können.

2 Voruntersuchung

Im Rahmen der Thesis soll untersucht werden, in welchem Maße Anschlagpunkte für die Anbringung von Ersatzsystemen in Windenergieanlagen vorhanden sind.

Für die Anbringung der Gaszugfedern ist es notwendig, dass geeignete Anschlagpunkte sowohl am Fahrkorb als auch an der Plattform als Gegenlager vorhanden sind. Dafür wurden mehrere Prüfungen in Windenergieanlagen der Firma Enercon begleitet.

Die Firma Enercon nutzt für die Einstellung der Überlastabschaltung Zugkraftmessgeräte. Dazu werden Haltegurte an der unteren Seilführung des Fahrkorbes angebracht.



Abbildung 1: Anbringung der Haltegurte an der Seilführung

Als Gegenlager dienen Haltegurte, die an die Seilbefestigungen an der Plattform angebracht sind.

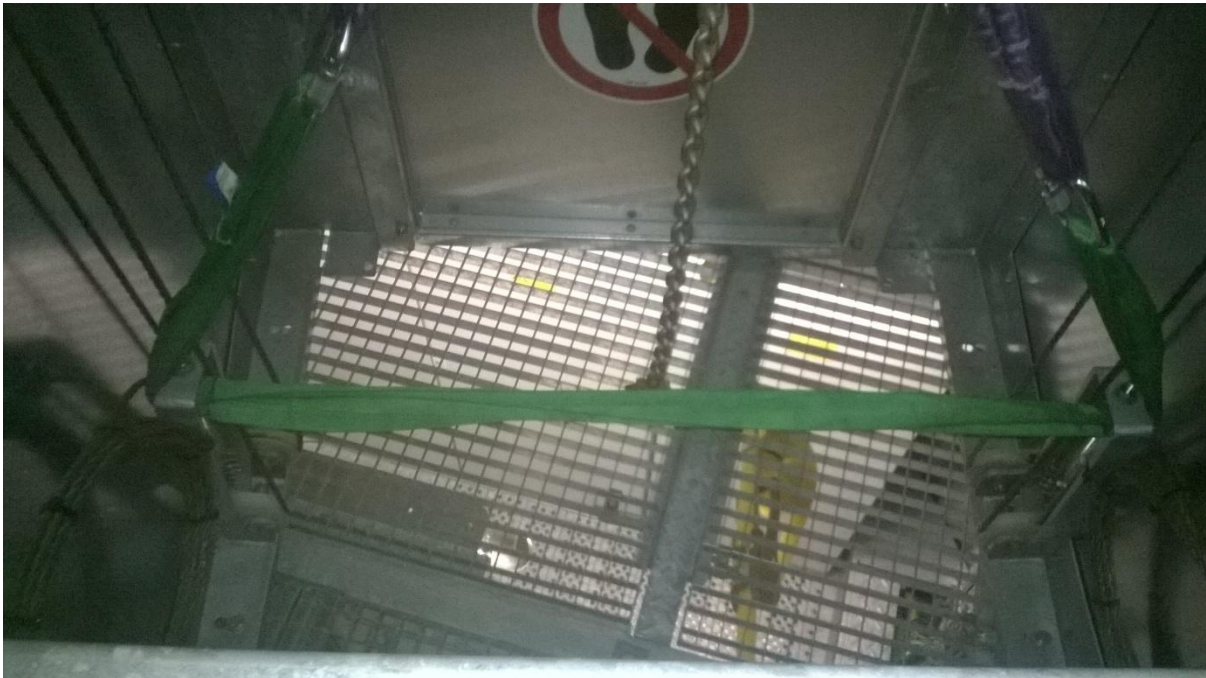


Abbildung 2: Anbringung der Haltegurte an der Seilbefestigung der Plattform

Ein Kettenzug dient nun dazu, die Zugkraft langsam soweit zu erhöhen, bis die gewünschte Zugkraft erreicht ist. Nun wird die Überlast der Anlage so eingestellt, dass sie bei der eingestellten Zugkraft auslöst und das Verfahren der Anlage in Aufwärtsrichtung verhindert und dem Benutzer ein akustisches und optisches Signal liefert.



Abbildung 3: Zugkraftmessgerät

Es ist zu erkennen, dass am unteren Teil des Fahrkorbes nur die Seilführungen und der Fahrkorbboden die Möglichkeit bieten, Haltegurte anzubringen. Einige Fahrkorbböden ermöglichen es, nicht genutzte Bohrlöcher temporär mit Anschlagpunkten auszustatten. Hierzu empfiehlt es sich jedoch, vorab Rücksprache mit dem Hersteller zu halten.

Die Plattform, auf der die Anlage steht bietet ebenso keine ausgewiesenen Anschlagpunkte. Das Grundgerüst der Plattform bestehend aus mehreren Trägern könnte jedoch als Haltepunkt dienen. Auch hierzu ist im Vorfeld der Hersteller hinzuzuziehen.

3 Versuch

Im Zuge der Arbeit wird zu Versuchszwecken eine Schulungsanlage der Firma Avanti Windsystems in ihrem Hause zur Verfügung gestellt. Die Anlage ist eine vollständige Anlage, wie sie von der Firma Avanti Windsystems vertrieben und in Windenergieanlagen installiert wird. Allerdings verfügt die Schulungsanlage nur über eine Förderhöhe von 4 m. Diese geringe Förderhöhe hat den positiven Nebeneffekt, dass mechanische Schwingungen durch Seildehnung gegenüber Anlagen mit großen Förderhöhen weniger stark auftreten.



Abbildung 4: Fahrkorb ohne Prüflast

3.1 Ziel

Das Ziel dieses Versuches ist es festzustellen, ob die erforderliche Prüflast durch Gaszugfedern ersetzt oder gänzlich auf Prüflast verzichtet werden kann, und ob die so unterschiedlich erzeugten Prüflastkräfte zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

Dazu wird der Lift in Abwärtsrichtung auf Nenngeschwindigkeit gebracht. Aus Nenngeschwindigkeit wird der Aufzug dann angehalten und dabei mit Hilfe des ASIS II die Beschleunigungs- sowie die Geschwindigkeitsverläufe aufgezeichnet. Das ASIS II ermöglicht es dann den Anhalteweg zu bestimmen. Dazu wird die ASIS-Messbox in die Anlage gelegt.

3.2 Aufbau

3.2.1 Prüflast

Um die ermittelten Messdaten vergleichen zu können, wird die Anlage zuerst mit Prüflast, wie sie auch bei den Prüfungen im in der Betriebspraxis zum Einsatz kommen, beladen. Die Prüflast setzt sich aus Prüfungsgewichten von je 25 kg zusammen. Zuerst wird die Anlage ohne Prüflast gemessen. Anschließend werden Messungen in 50 kg-Schritten aufgenommen, bis eine Gesamtprüflast von 350 kg erreicht ist.



Abbildung 5: Fahrkorb beladen - 350kg

3.2.2 Gaszugfeder

3.2.2.1 Aufbau

Eine Gaszugfeder ist eine Feder, die durch Komprimierung eines unter Hochdruck stehenden Gases ihre Federkraft erreicht. Die Hauptkomponenten neben dem Gas sind der Zylinder und der sich darin befindliche Kolbenstange.

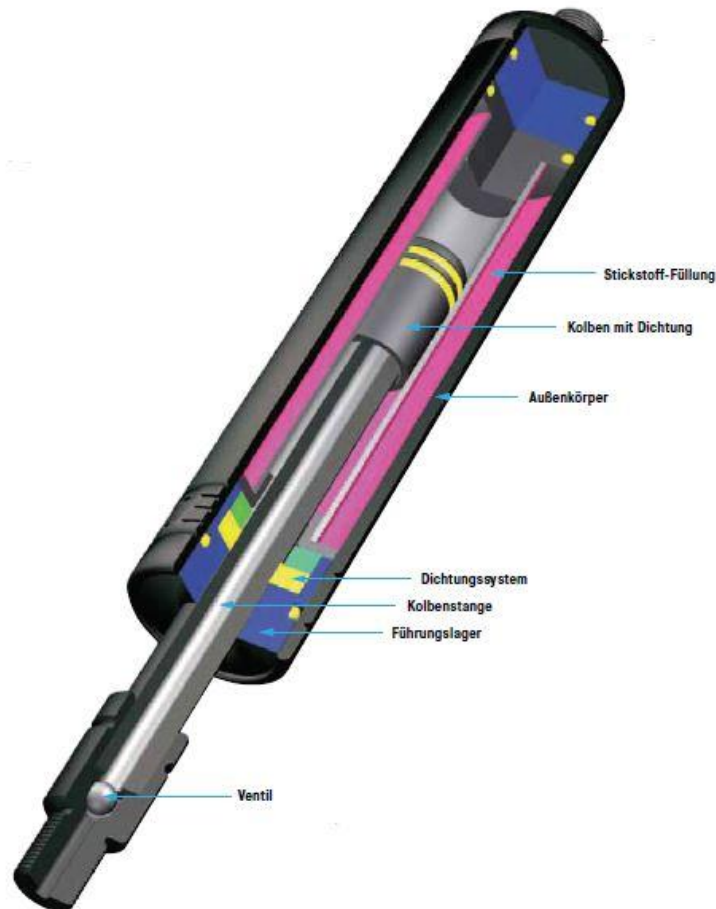


Abbildung 6: Aufbau einer Gaszugfeder¹

Das unter hohem Druck stehende Gas (Stickstoff) besitzt den geringsten Druck bei eingezogener Kolbenstange. Im Unterschied zu einer Gasdruckfeder ist die Gaszugfeder demnach mit eingezogener Kolbenstange in ihrer Ruhelage. Durch das Herausziehen der Kolbenstange, wird der Stickstoff aus dem inneren in den äußeren Zylinder gedrückt. Dabei wird der Stickstoff komprimiert und erhöht dadurch den Druck auf die Kolbenstange. Das resultiert in einen Anstieg der Einzugskraft der Kolbenstange beim Ausziehen. Dieses Verhalten nennt man Progression.

¹ Bildquelle: (RRG Industrietechnik GmbH)

3.2.2.2 Anordnung

Für diesen Versuch wird die Gaszugfeder am Fahrkorbboden montiert. Als Gegenlager dient ein Träger, der an der Plattform verbaut ist. Bei der Aufwärtsfahrt wird die Gaszugfeder nun ausgezogen und wirkt mit einer Kraft F_N in die Gegenrichtung, sodass die Anlage in Abwärtsrichtung gezogen wird. Zur Messung dieser Kraft werden 2 Kraftsensoren zwischen der Gaszugfeder und dem Träger angebracht, welche die Kraftverläufe über die Zeit aufnehmen.



Abbildung 7: Fahrkorb mit Gaszugfeder



Abbildung 8: Fahrkorb mit Gaszugfeder 2

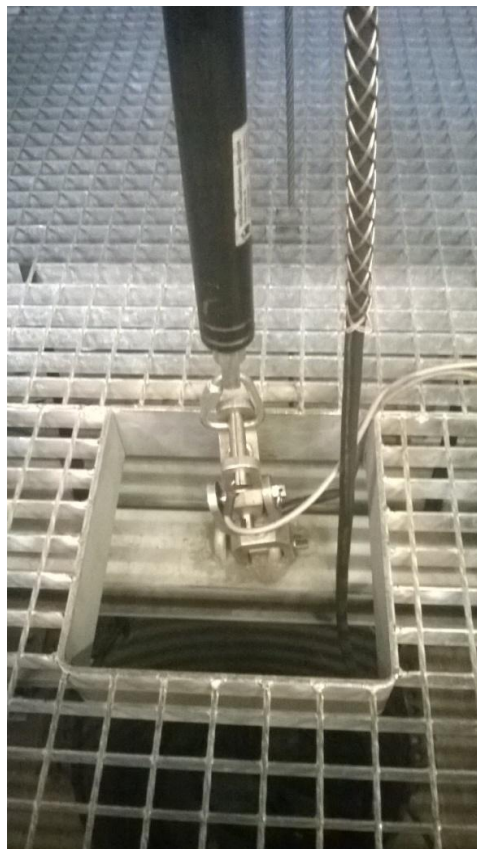


Abbildung 9: Kraftsensoren zwischen Träger und Gaszugfeder

3.3 Messungen

3.3.1 Betriebsmittel

Herstellerangaben der Aufzugsanlage:

Hersteller: Avanti Wind Systems GmbH

Typ: Dolphin

Leergewicht: 165 kg

Zulässige Nennlast: 240 kg

Nenngeschwindigkeit: 0,3 m/s

(Avanti Windsystems GmbH)

Herstellerangaben der Gaszugfeder:

Hersteller: HAHN Gasfedern GmbH

Typ: Z 10-40

Zugkraft: 2000 N

Progression: 78 %

Länge: 73 cm

Hub: 59 cm

3.3.2 Kraftkennlinie der Gaszugfeder

3.3.2.1 Eigene Messung

Der Vorteil einer Gaszugfeder gegenüber einer hydraulischen oder einer Stahlfeder ist die von dem Federweg und die Auszugsgeschwindigkeit nahezu unabhängige Kraft. Der verwendete Stickstoff wird unter hohem Druck in den Kolben gebracht. Dieser Innendruck bestimmt die Kraft, mit der der Kolben einfährt. Durch das Ausfahren des Kolbens wird das Gas komprimiert und die Einzugskraft erhöht sich. Um zu garantieren, dass die Gaszugfeder mit der gewünschten Kraft arbeitet wird der Kraftverlauf aufgezeichnet. Dazu wird die Gaszugfeder mit Hilfe der Anlage ausgefahren und bei Erreichen des maximalen Fahrweges der Feder wieder eingefahren. Der zu erwartende Kraftanstieg,

auch Progression genannt, wird vom Hersteller im Falle dieser Gaszugfeder mit 78 % angegeben. Dies ist verhältnismäßig viel, da die Progression im Durchschnitt lediglich 10 % - 20 % beträgt.

Da das ASIS II nicht die Möglichkeit bietet, die Kraft über den Fahrweg aufzunehmen, werden wir die Kraft über die Zeit aufnehmen.

Beide Kraftsensoren werden hintereinander angeordnet, sodass jeder Kraftsensor die Gesamtkraft der Gaszugfeder aufnimmt. Im Diagramm ist aufgrund technischer Gegebenheiten nur die aufaddierte Kraft beider Sensoren zu entnehmen.

In den folgenden Diagrammen ist die Kraft in daN angegeben. 1 daN (Dekaneutron) entspricht dabei 10 Newton.

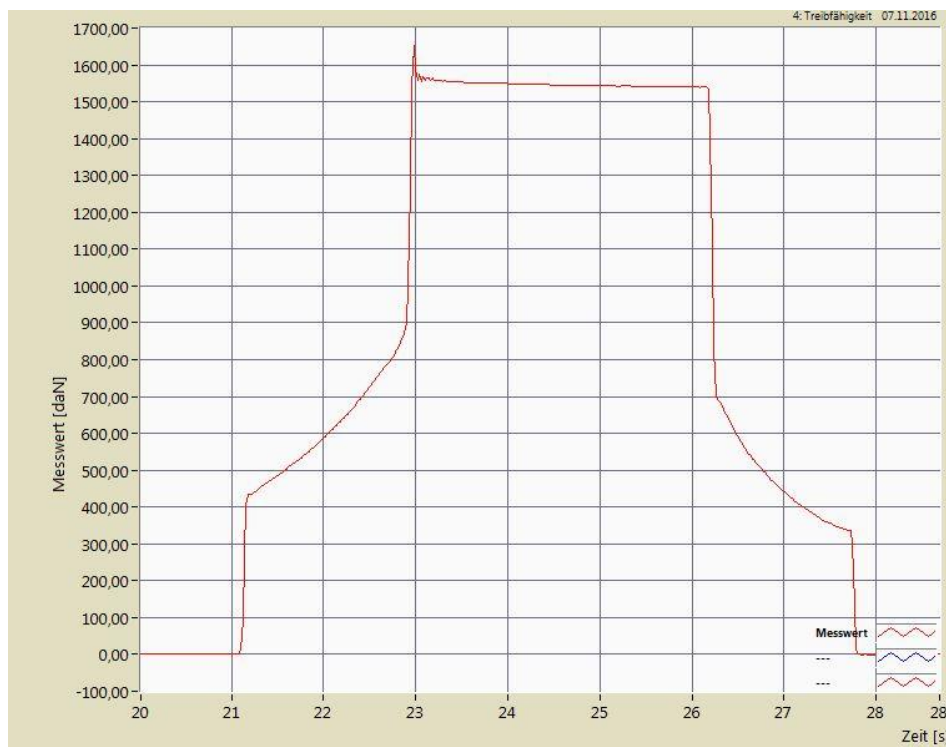


Abbildung 10: Kennlinie Gaszugfeder komplett

Die Gaszugfeder ist mit einer Nennkraft von 2000 N ausgewiesen. Sie hat einen Federweg von 500 mm, der Aufzug eine Nenngeschwindigkeit von 0,3 m/s. Somit ergibt sich eine Auslenkungszeit für die Feder von 1,67 Sekunden.

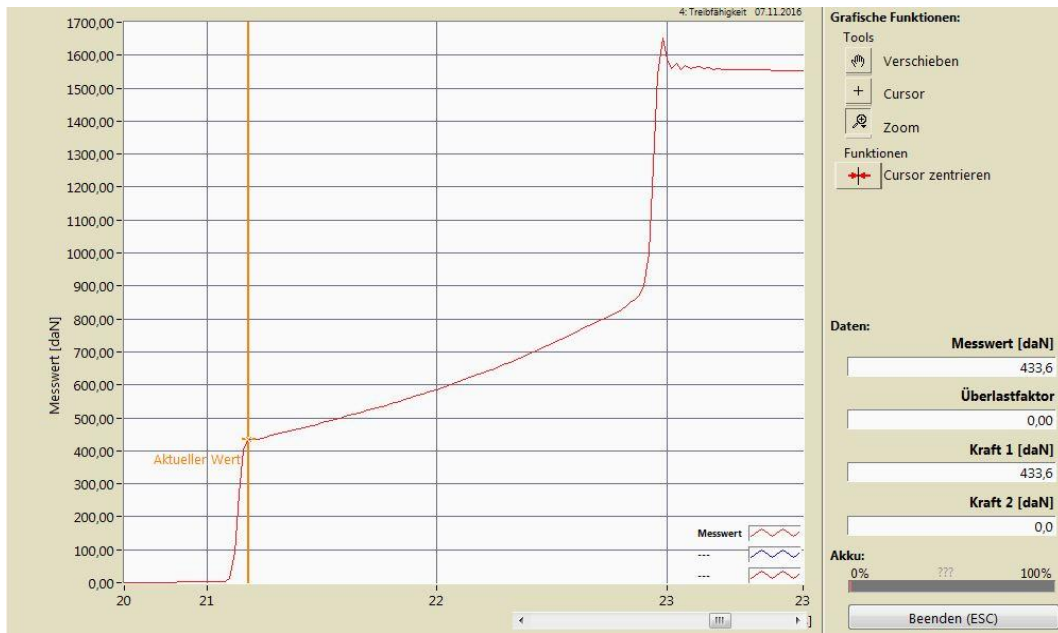


Abbildung 11: Kennlinie Gaszugfeder Ausfahren

Die aufgezeichnete Kennlinie zeigt den Kraftverlauf beim Ausfahren der Gaszugfeder. Es ist zu erkennen, dass die Kraft zu Beginn der Auslenkung der Feder 216,8 daN also 2168 N entspricht. Die Abweichung gegenüber den angegebenen 2000 N des Herstellers ist der Toleranz bei der Befüllung der Gaszugfeder zuzusprechen.

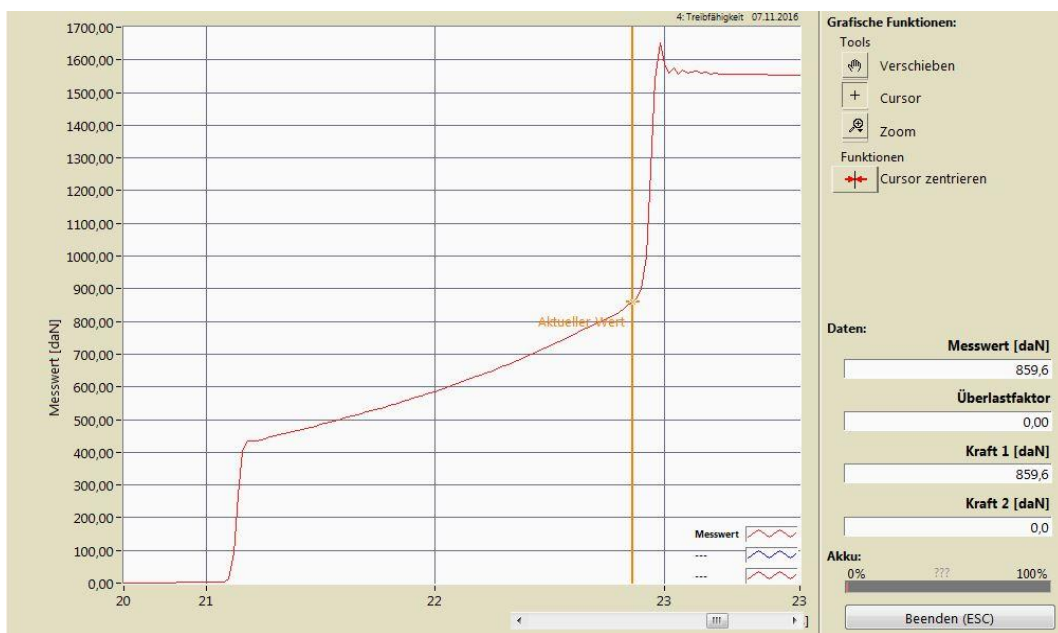


Abbildung 12: Kennlinie Gaszugfeder Ausfahren, maximale Auslenkung

Bei maximaler Auslenkung der Gaszugfeder steigt die Kraft weitestgehend linear auf etwa 4298 N an. Laut Herstellerangaben sollte eine Progression von 78 % bei maximaler Auslenkung erreicht werden. Wir liegen hier allerdings bei einer Progression von rund 115 %. Laut Hersteller ist die lange Lagerung der Federn hierfür verantwortlich.

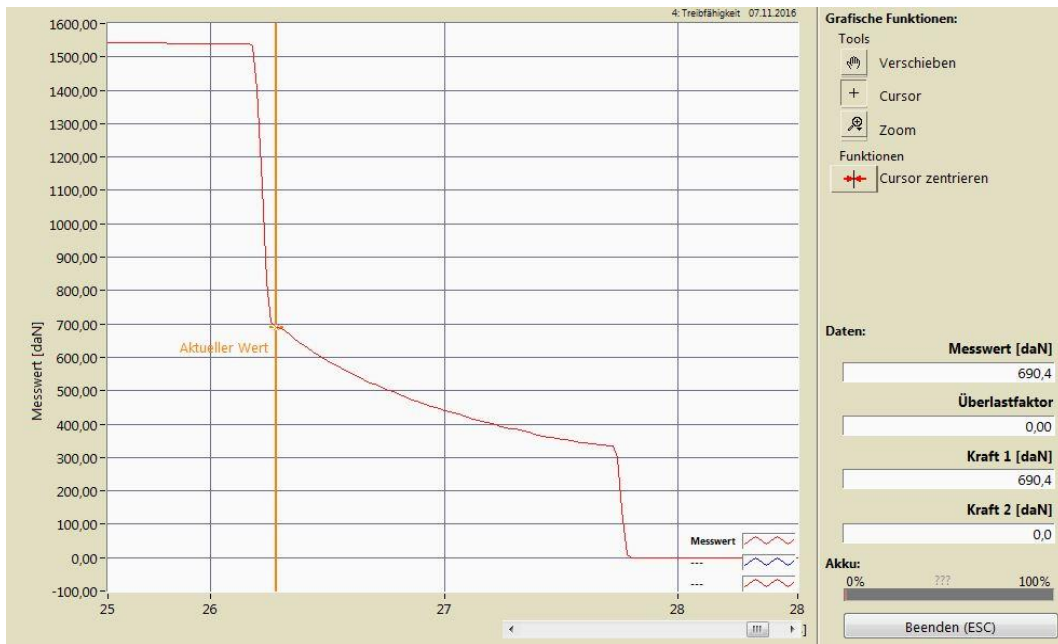


Abbildung 13: Kennlinie Gaszugfeder Einfahren, maximale Auslenkung

Beim Einfahren der Gaszugfeder ist zu erkennen, dass die Kraft mit 3452 N bei voller Auslenkung deutlich geringer ausfällt, als beim Ausfahren.

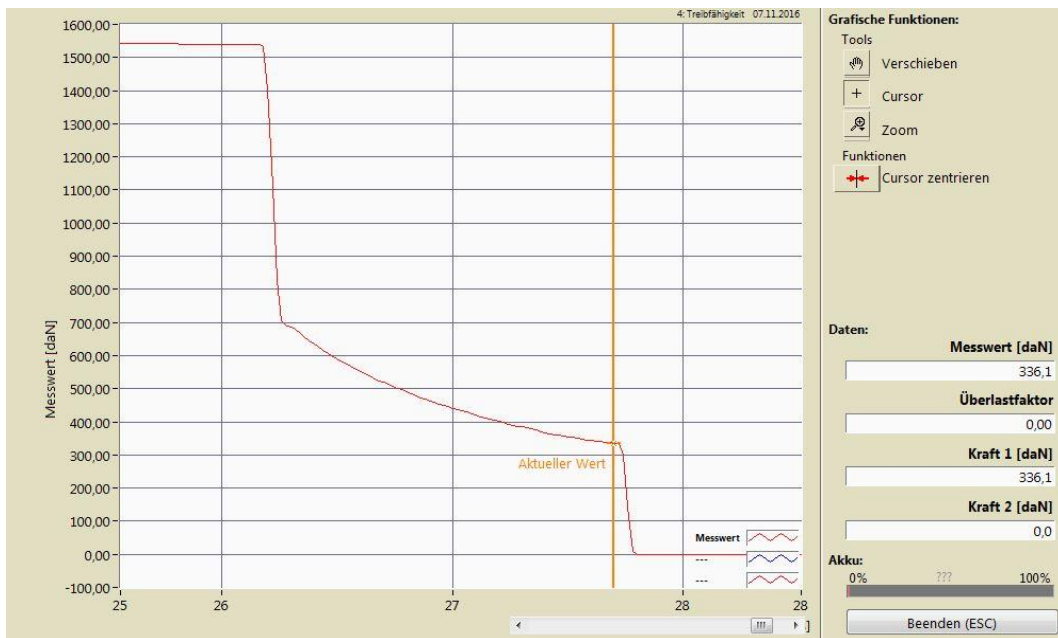


Abbildung 14: Kennlinie Gaszugfeder Einfahren

Die Kraft bei einer nahezu komplett eingefahrenen Gaszugfeder beträgt 1681 N.

Zwischen dem Aus- und dem Einfahren erhalten wir eine Kraftdifferenz von 488 N im Bereich der minimalen Auslenkung, sowie eine Differenz von 846 N bei maximaler Auslenkung.

Die Abweichung der Kräfte zwischen dem Aus- und Einfahren der Feder ist ein Maß für die Reibung des Kolbens am Zylinder innerhalb der Feder. Beim Ausfahren der Gaszugfeder ist die Reibungskraft der Einzugskraft hinzuzurechnen, beim Einfahren ist die Einzugskraft um die Reibungskraft verringert.

3.3.2.2 Angabe laut Hersteller

Die Hersteller geben die Kennlinien als linear an. Da die Komprimierung des Stickstoffes gleichmäßig erfolgt, ist dieses Verhalten auch nachvollziehbar.

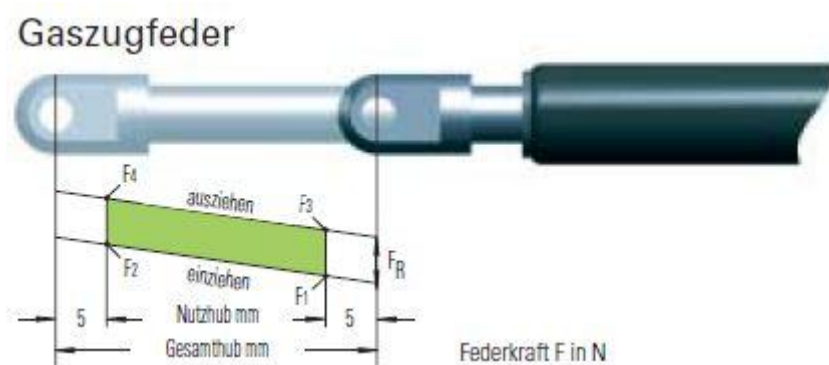


Abbildung 15: Progression einer Gaszugfeder²

Dass die beiden Kurvenverläufe nicht in Gänze identisch sind, liegt an der Idealisierung der Angaben der Hersteller. Auch spielt die erzeugte Wärme aufgrund der Reibung eine Rolle und trägt zu einem Kraftanstieg beim Verfahren bei.

Mit Hilfe der Waage-Funktion des ASIS II wird die Auslenkung bestimmt, bei welcher die Gaszugfeder eine Gewichtskraft entsprechend 200 kg und 300 kg aufweist, sodass die Werte mit denen der Prüflast vergleichbar sind.

² Bildquelle: (RRG Industrietechnik GmbH)

3.3.3 Anhalteweg des Fahrkorbes ohne Gaszugfeder

3.3.3.1 Fahrkorb ohne Prüflast

Der Fahrkorb der Aufzugsanlage wird zu Beginn der Versuchsmessung im leeren Zustand aus Nenngeschwindigkeit angehalten. Dabei werden mit Hilfe der ASIS-Box die Beschleunigung und die Geschwindigkeit aufgezeichnet. Aus diesen Daten lässt sich dann der Anhalteweg des Fahrkorbes bestimmen.

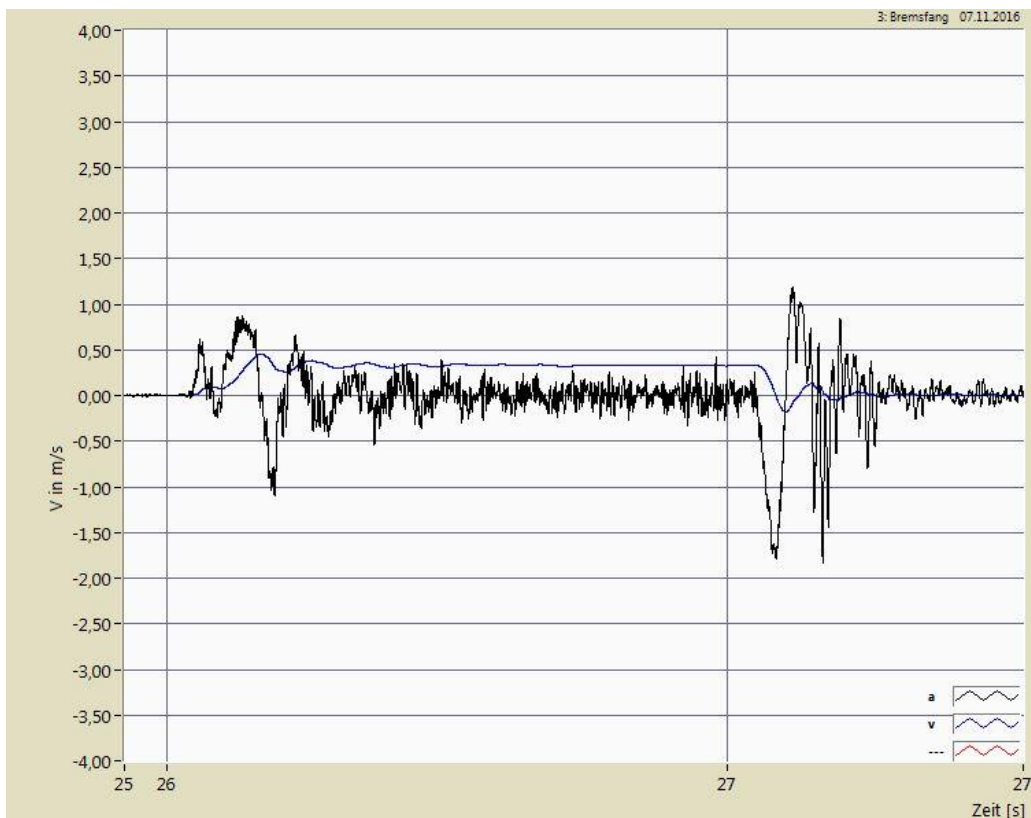


Abbildung 16: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit unbeladener Anlage

Im vorderen Drittel des Graphen ist die Beschleunigung in Abwärtsrichtung zu erkennen. Die Geschwindigkeit schwingt sich dann im Bereich von 0,33 – 0,34 m/s ein. Für die Arbeit jedoch ist nur der hintere Teil, das Anhalten von Interesse.

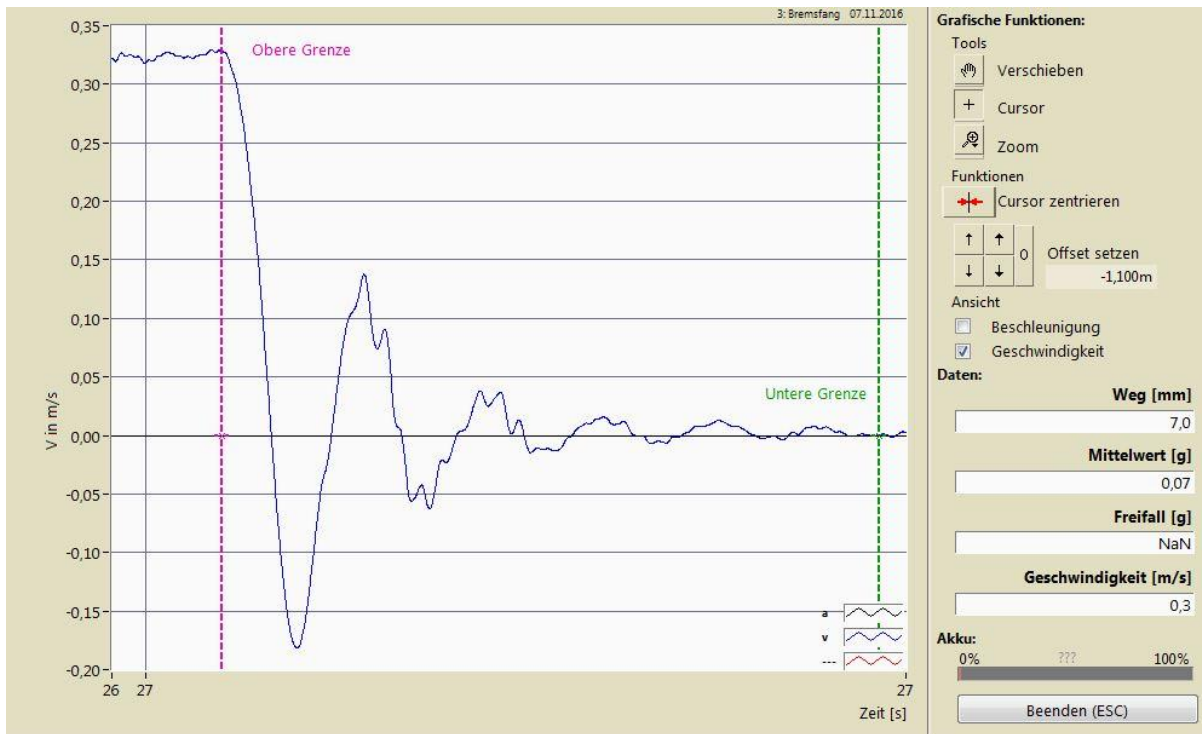


Abbildung 17: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage ohne Beladung

In der Abbildung 17 ist der Geschwindigkeitsverlauf der Anlage noch einmal vergrößert dargestellt. Die Cursor helfen hier, die genauen Daten auszulesen. Der vordere Cursor markiert hierbei den Beginn des Anhaltvorganges, der hintere den Punkt, an dem der Fahrkorb stillsteht.

Es ist abzulesen, dass der Fahrkorb einen Anhalteweg von 7 mm aufweist. Aus 3 Messungen wurde jeweils der Mittelwert gebildet.

3.3.3.2 Beladung mit 200 kg Prüflast

Durch die Kraftangabe und die aufgenommene Kraftkennlinie der Gaszugfeder ist ersichtlich, dass ein Vergleich der Werte erst ab einem Beladungszustand entsprechend einer Prüflast von 200 kg möglich ist.

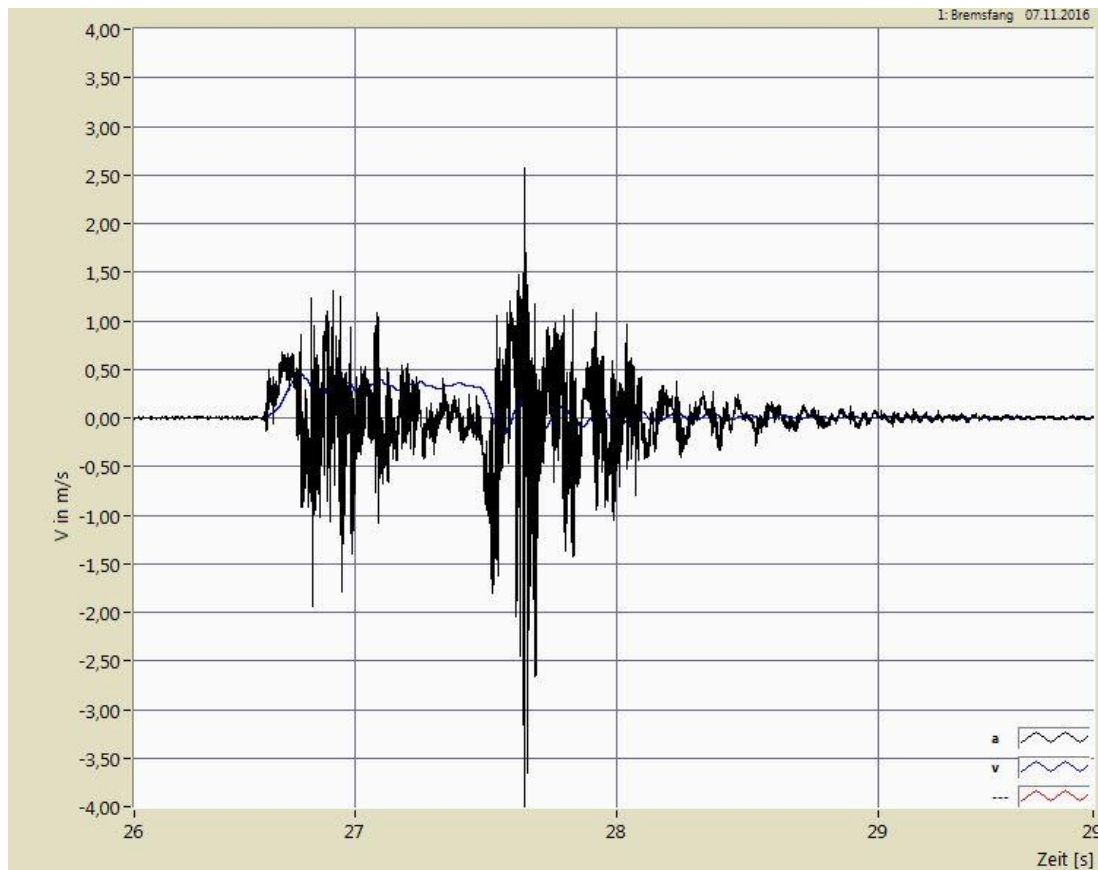


Abbildung 18: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit 200 kg Beladung

Es ist zu erkennen, dass der Fahrkorb durch die höhere Prüflast deutlich mehr schwingt, als im unbeladenen Zustand. Dies ist sowohl bei Fahrtbeginn, als auch beim Anhalten zu erkennen.

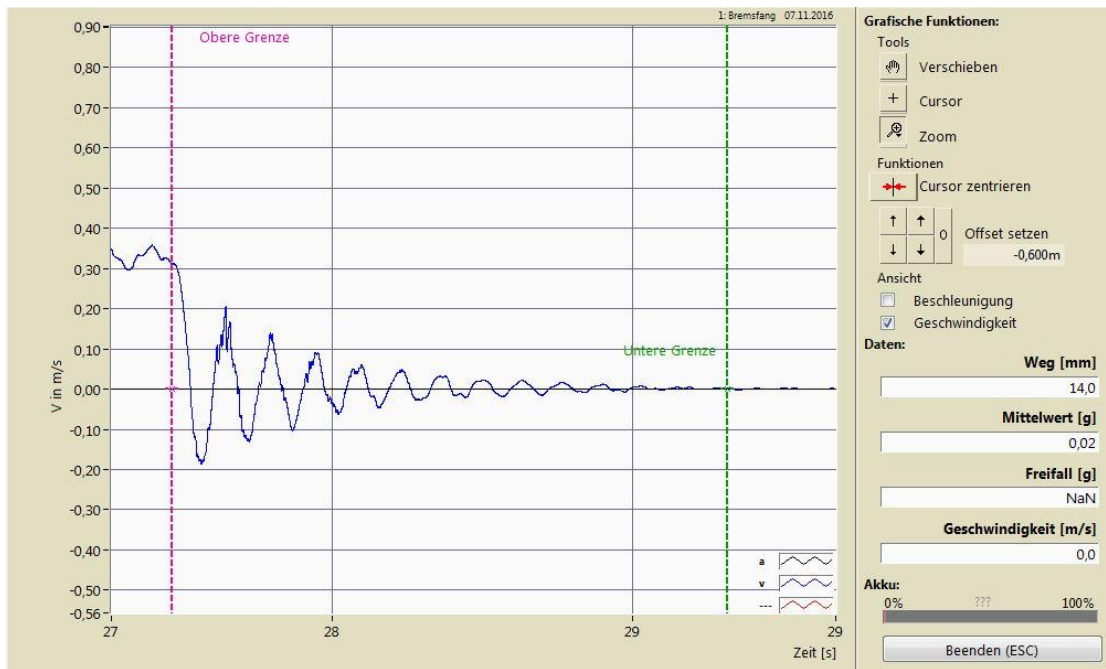


Abbildung 19: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit 200 kg Beladung

Durch die höhere Last ist der Anhalteweg auch deutlich länger. Die 200 kg zusätzliche Prüflast verlängern den Anhalteweg im Mittel um 62,5 %.

3.3.3.3 Beladung mit 300 kg

Als 2. Vergleichspunkt zu den Gaszugfedern nehmen wir die 300 kg-Marke, welche gleichzeitig für diesen Anlagentyp die bereits erwähnten 125 % Nennlast entsprechen. Mit dieser Masse wird die Anlage regelmäßig auf ihre Sicherheit geprüft.

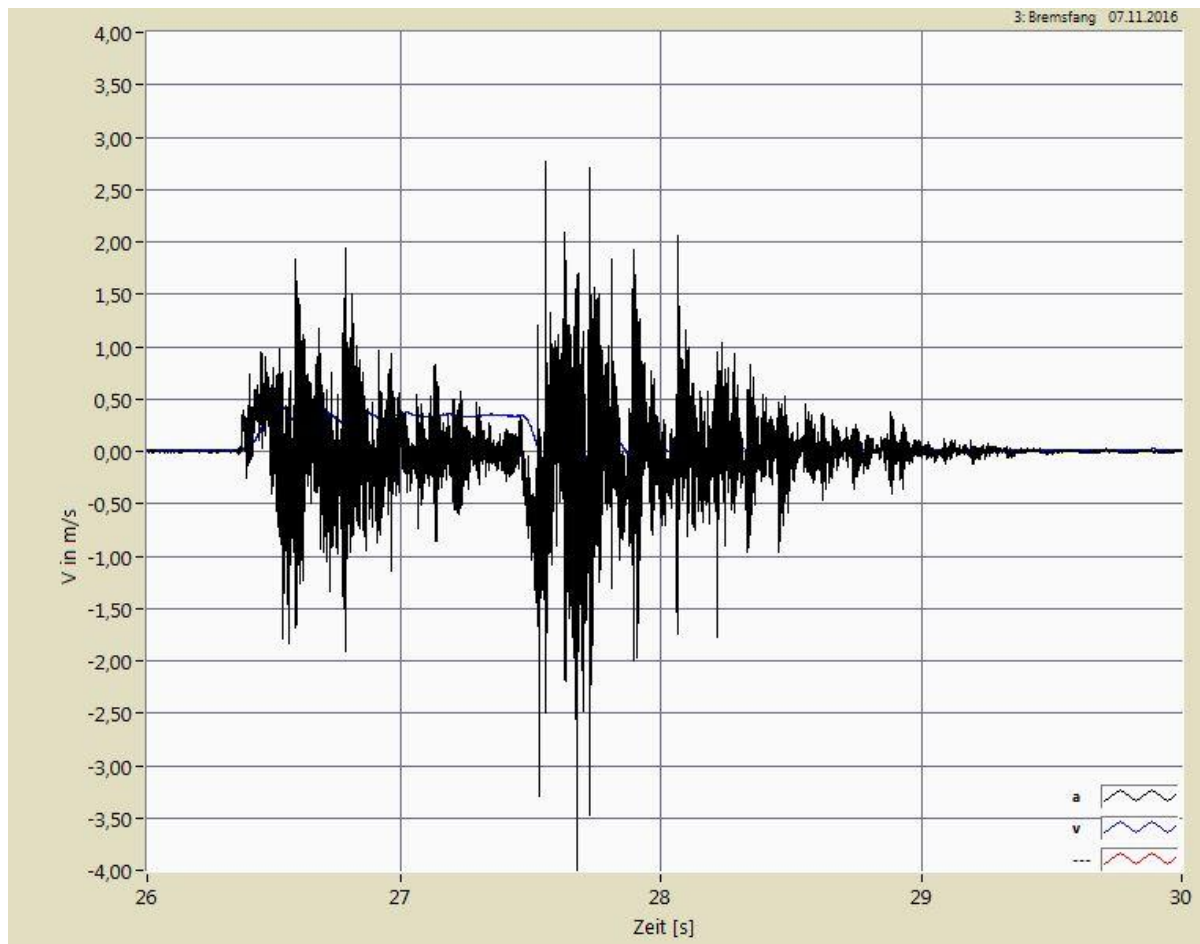


Abbildung 20: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit 300 kg Beladung

Das Schwingverhalten beim Anfahren und Anhalten ist hier stark ausgeprägt. Das Tragseil, welches einen Durchmesser von 8 mm besitzt, längt sich beim Anhalten der 465 kg hierbei um etwa 5 mm.

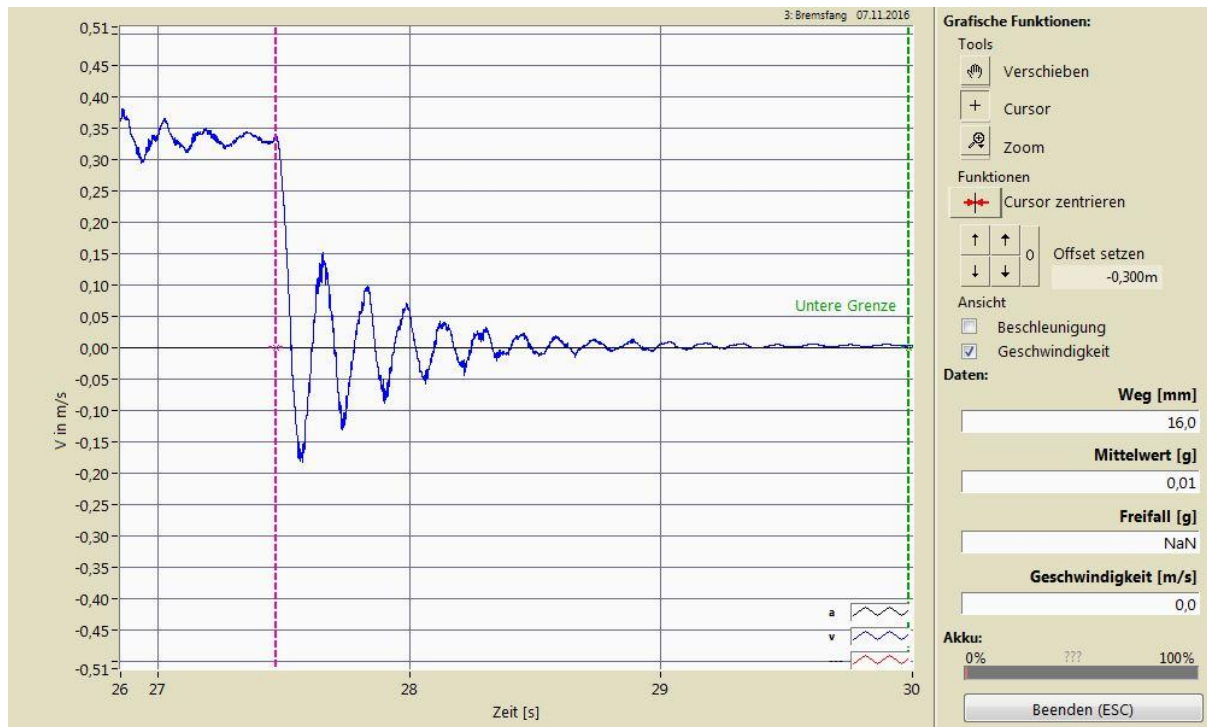


Abbildung 21: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit 300 kg Beladung

Bei einer Beladung von 300 kg beträgt der Anhalteweg im Mittel 15 mm.

3.3.4 Anhalteweg des Fahrkorbes mit Gaszugfeder

3.3.4.1 200 kg Zugkraft

Zuerst wird der Fahrkorb mit einer Zugkraft belastet, die 200 kg entspricht. Dazu wird der Fahrkorb in einer Höhe angehalten, in der die Gaszugfeder die erforderliche Kraft aufweist. Die Höhe wurde mit Hilfe der Waage-Funktion des ASIS II ermittelt.

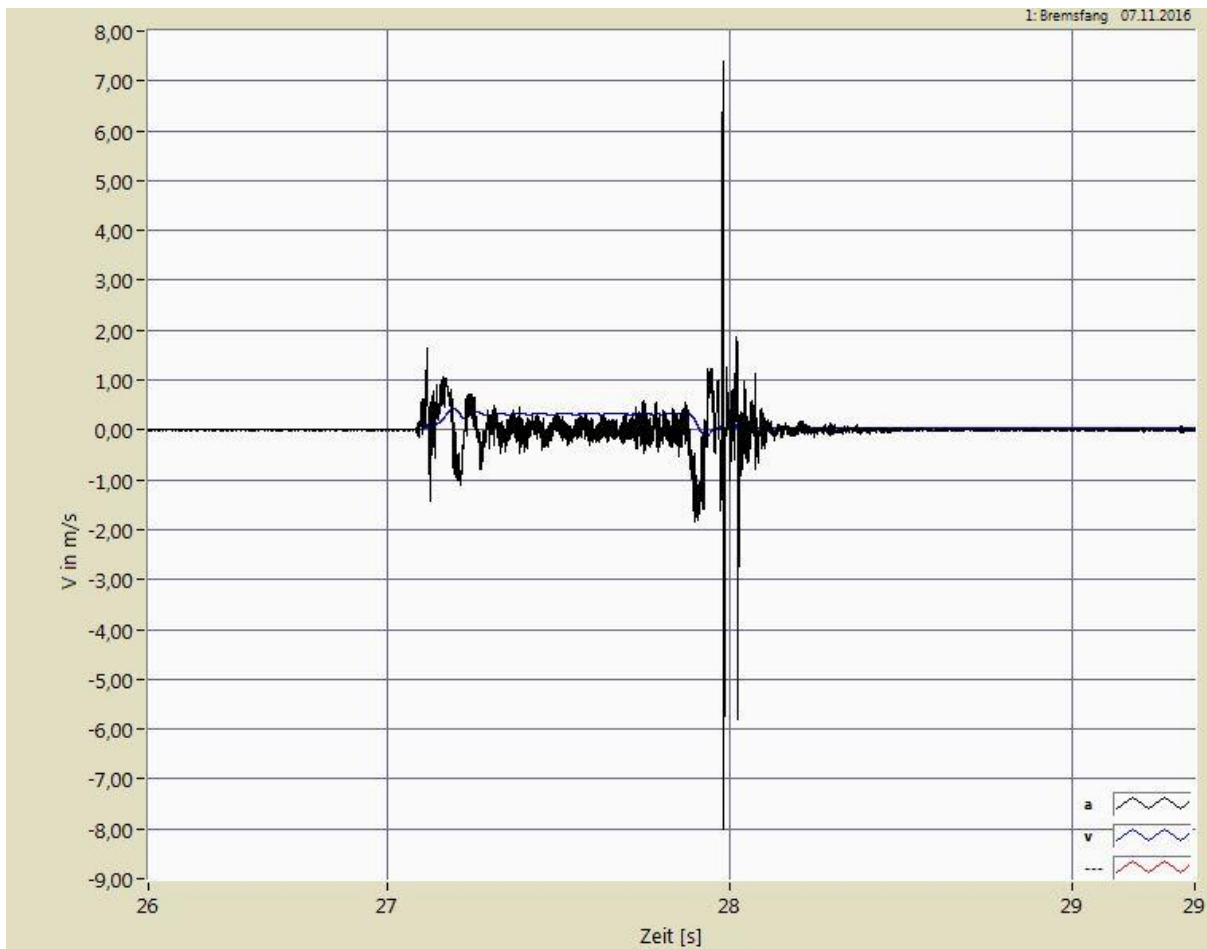


Abbildung 22: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit Gaszugfeder entsprechend 200 kg

Bei der Nutzung der Gaszugfeder ist zu erkennen, dass im Moment des Anhaltens die Beschleunigungskurve kurze und große Ausschläge verzeichnet. Durch die hohe Dämpfung der Gaszugfeder schwingt der Fahrkorb nicht so stark, wie bei der Beladung mit der Prüflast.

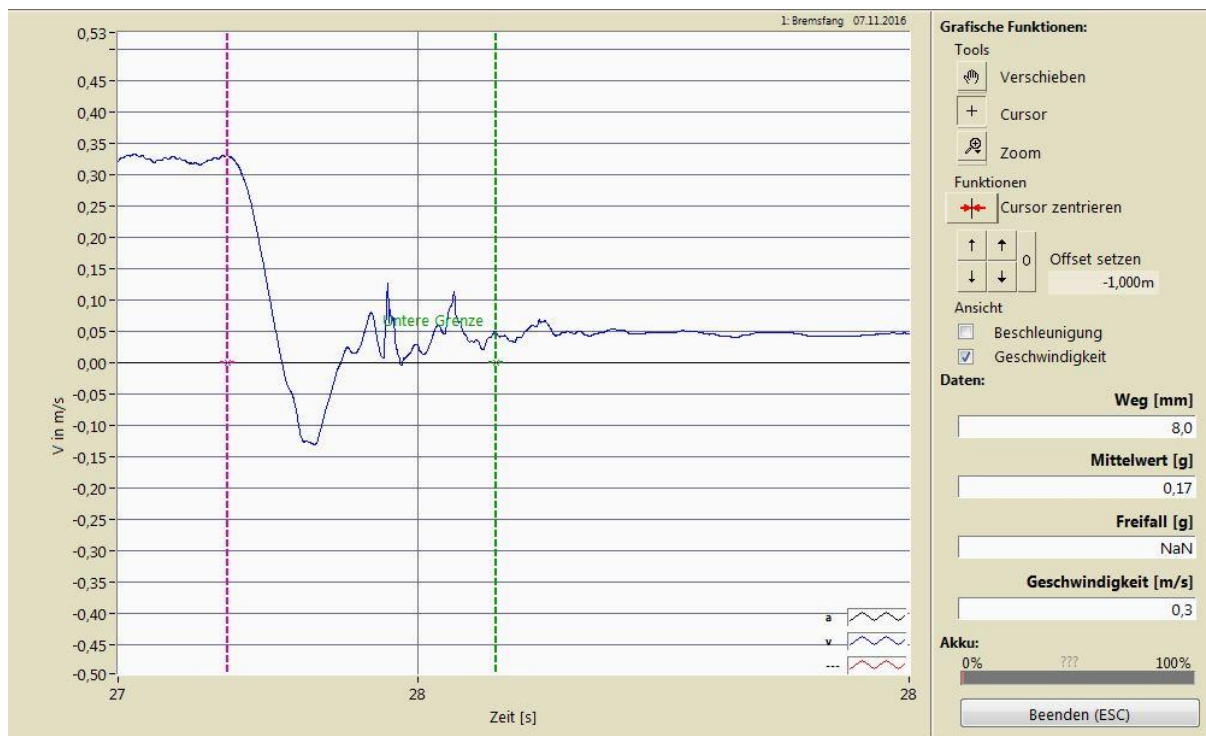


Abbildung 23: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit Gaszugfeder entsprechend 200 kg

Beim Aufzeichnen dieser Kurven ist leider ein technisches Problem aufgetreten, weshalb sich die Endgeschwindigkeit auf 0,05 m/s einpendelt statt bei 0,0 m/s. Für den generellen Verlauf der Kurve ist dies jedoch nicht ausschlaggebend. Bei der Messung mit der Gaszugfeder bei 300 kg wurde dieser Fehler behoben.

Es ist zu erkennen, dass das Einschwingen deutlich verkürzt ist und nicht so ausgeprägt vorhanden ist, wie bei der Prüflast. Das liegt daran, dass die Gaszugfeder nicht der Massenträgheit unterliegt und somit das Tragseil beim Entspannen nur die Anlage mit ihren 165 kg und nicht 365 kg beschleunigt. Zusätzlich ist die Kraft beim Ausfahren der Gaszugfeder höher als beim Einfahren, was ein Schwingen in Aufwärtsrichtung ebenso verkürzt.

Im Mittel wurde ein Anhalteweg von 8 mm gemessen, was einem leeren Fahrkorb entspricht.

3.3.4.2 300 kg Zugkraft

Als nächstes wird eine Anhaltehöhe eingestellt, welche einer Zugkraft von 300 kg entspricht, auch diese wurde mittels der Waage-Funktion des ASIS II ermittelt.

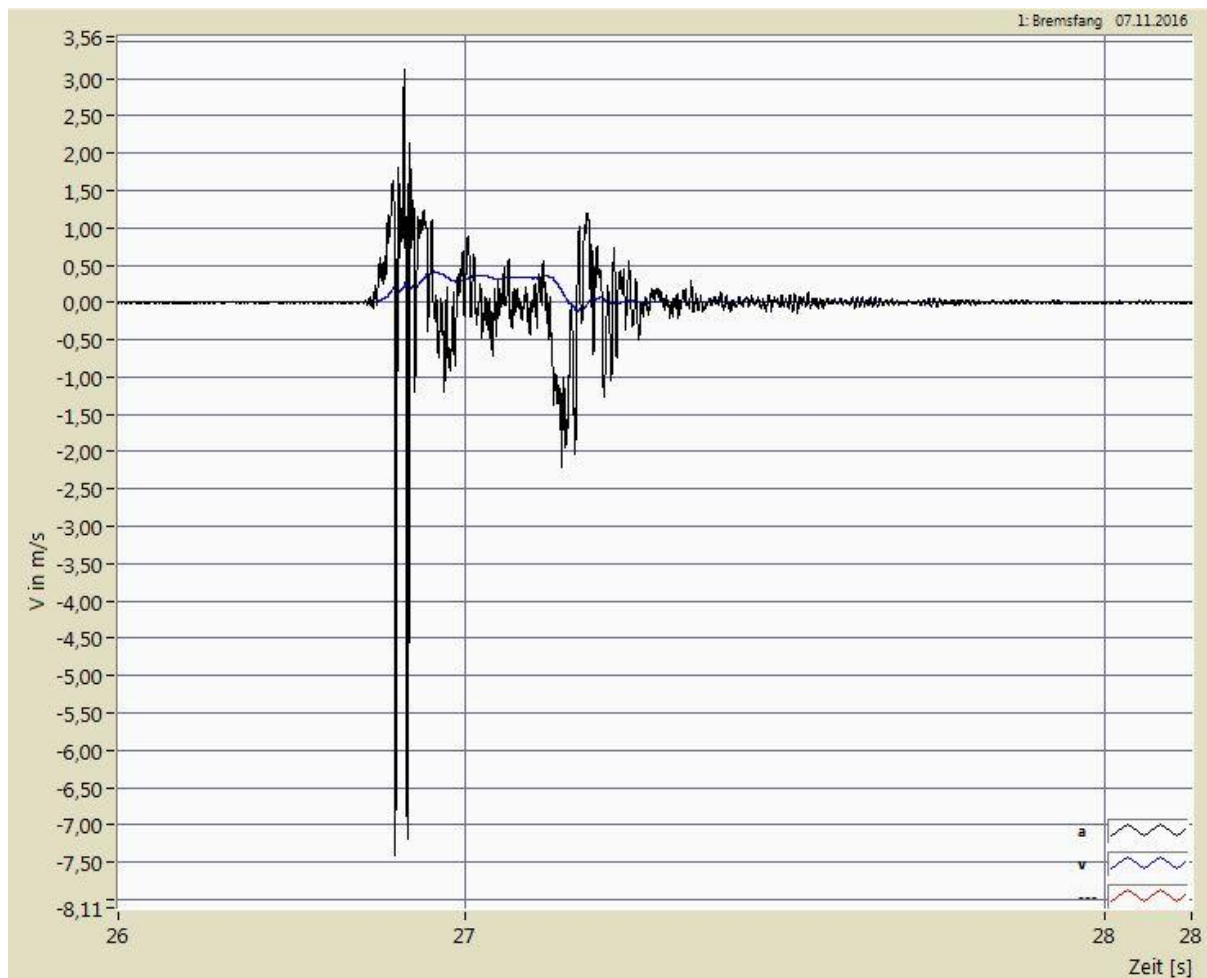


Abbildung 24: Beschleunigungs- & Geschwindigkeitsverlauf mit Gaszugfeder entsprechend 300 kg

Auch hier sind ein schnelles Einschwingen und hohe Beschleunigungsverläufe zu sehen.

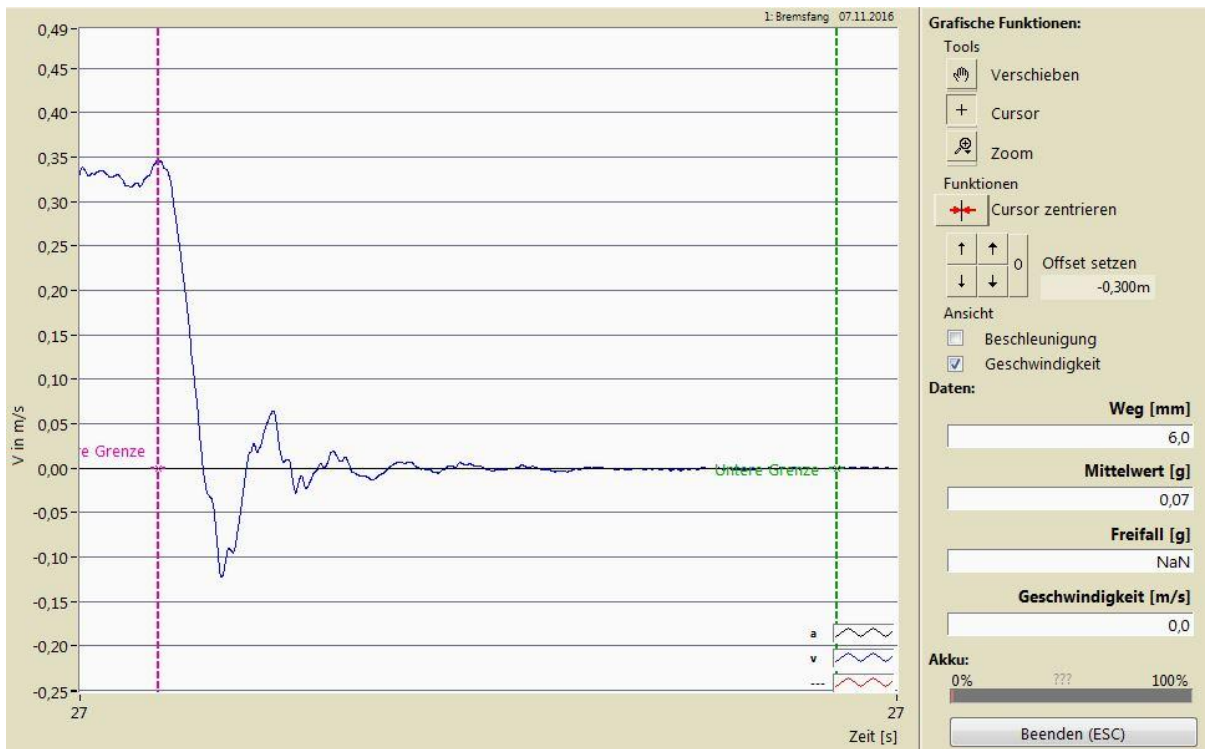


Abbildung 25: Geschwindigkeitsverlauf der Anlage mit Gaszugfeder entsprechend 300 kg

Bei einer Belastung mit einer Kraft, die 300 kg Beladung entspricht erreichen wir einen Anhalteweg von durchschnittlich 7,33 mm. Auch hier liegen wir im Bereich eines Fahrkorbes ohne Prüflast.

3.4 Ergebnisse

Mit Hilfe der Messungen wurden die Anhaltewege des Fahrkorbes bei unterschiedlicher Beladung aufgenommen. Diese Ergebnisse wurden in einer Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 1: Messergebnisse der Anhaltewege

Anhaltewege

Messung	0 kg	50 kg	100 kg	150 kg	200 kg	250 kg	300 kg	350 kg	200 kg GZF*	300 kg GZF*
1	7 mm	6 mm	11 mm	12 mm	14 mm	15 mm	16 mm	15 mm	8 mm	7 mm
2	8 mm	8 mm	9 mm	11 mm	12 mm	14 mm	15 mm	15 mm	8 mm	7 mm
3	9 mm	8 mm	10 mm	11 mm	13 mm	13 mm	14 mm	16 mm	8 mm	8 mm
Mittelwert	8,00 mm	7,33 mm	10,00 mm	11,33 mm	13,00 mm	14,00 mm	15,00 mm	15,33 mm	8,00 mm	7,33 mm

*GZF = Gaszugfeder

Betrachten man die Beladung mit Prüflast, ist eine deutliche Korrelation zwischen Beladung und Anhalteweg zu erkennen. Je höher der Beladungszustand ist, desto länger ist auch der Anhalteweg. Von diesem Verhalten war auch auszugehen.

Für eine bessere Veranschaulichung, sind die Daten in einem Diagramm dargestellt:

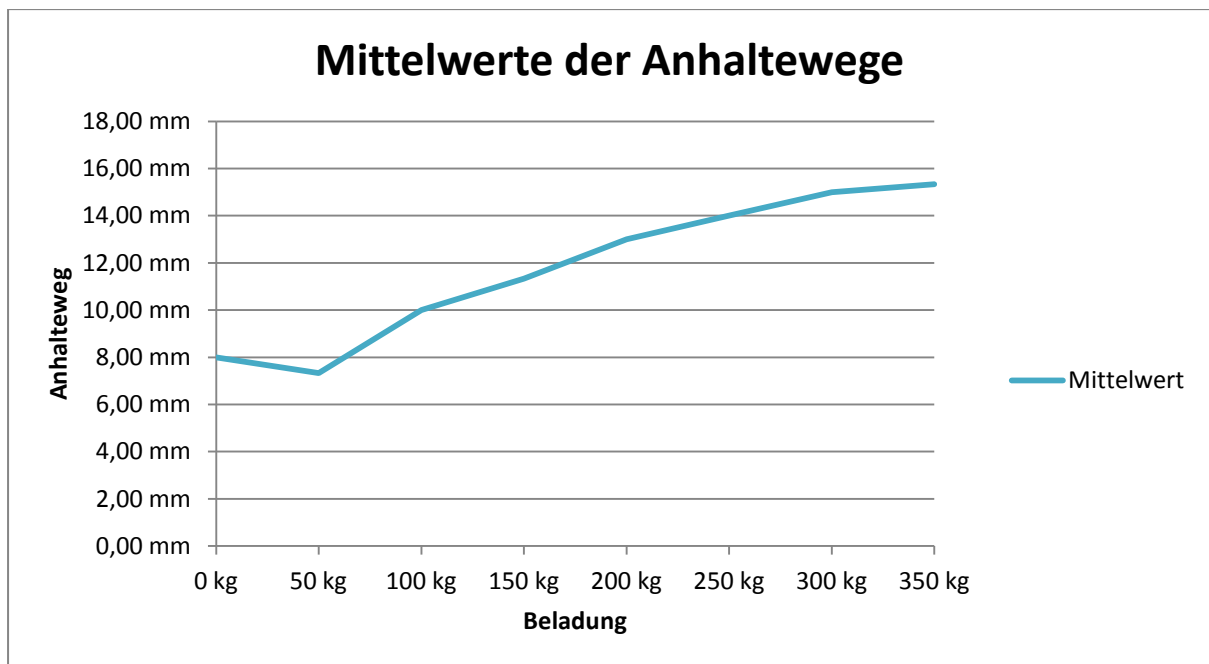


Abbildung 26: Mittelwerte der Anhaltewege

Bis auf die Beladung mit 50 kg ist ein nahezu linearer Anstieg der Anhaltewege mit zunehmender Belastung zu sehen. Dies ist zurückzuführen auf die höhere Energie, die die Bremseinrichtung von einer Bewegungsenergie durch Reibung in Wärmeenergie umsetzen muss.

Mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden wird der Zusammenhang zwischen Beladung und Anhalteweg noch einmal verdeutlicht:

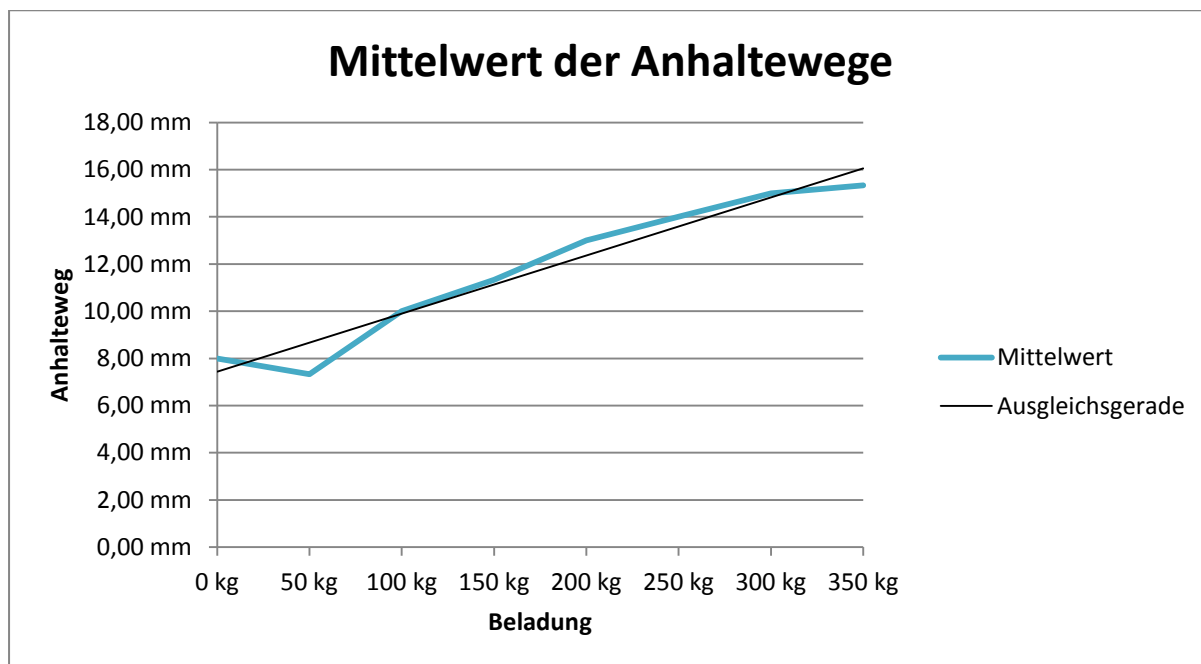


Abbildung 27: Mittelwerte der Anhaltewege mit Ausgleichsgerade

Diese Ausgleichsgerade hat ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,951$. Das Bestimmtheitsmaß spiegelt das Verhältnis der Messpunkte zur Ausgleichsgeraden wieder. Liegen die Messpunkte auf der Ausgleichsgeraden, ist das Bestimmtheitsmaß $R^2 = 1$. Somit ist diese Ausgleichsgerade ein guter Indikator für den Zusammenhang zwischen Beladung und Anhalteweg.

Die Ausgleichsgerade kann mit der Formel $y(x) = 0,024604x + 7,44$ beschrieben werden. Das bedeutet, der Anstieg des Anhalteweges beträgt rund 0,025 mm/kg. Die 7,44 mm Anhalteweg ohne Beladung sind zurückzuführen auf die Eigenmasse des Fahrkorbes und der Rotationsenergie der Bremseinrichtung und des Antriebes.

Wird die Eigenmasse des Fahrkorbes von 165 kg berücksichtigt und verschiebt sich die x-Achse um diesen Wert, so ist daraus der Anhalteweg aufgrund der Rotationsenergie der Bremseinrichtung und des Antriebes als Offset zu entnehmen:

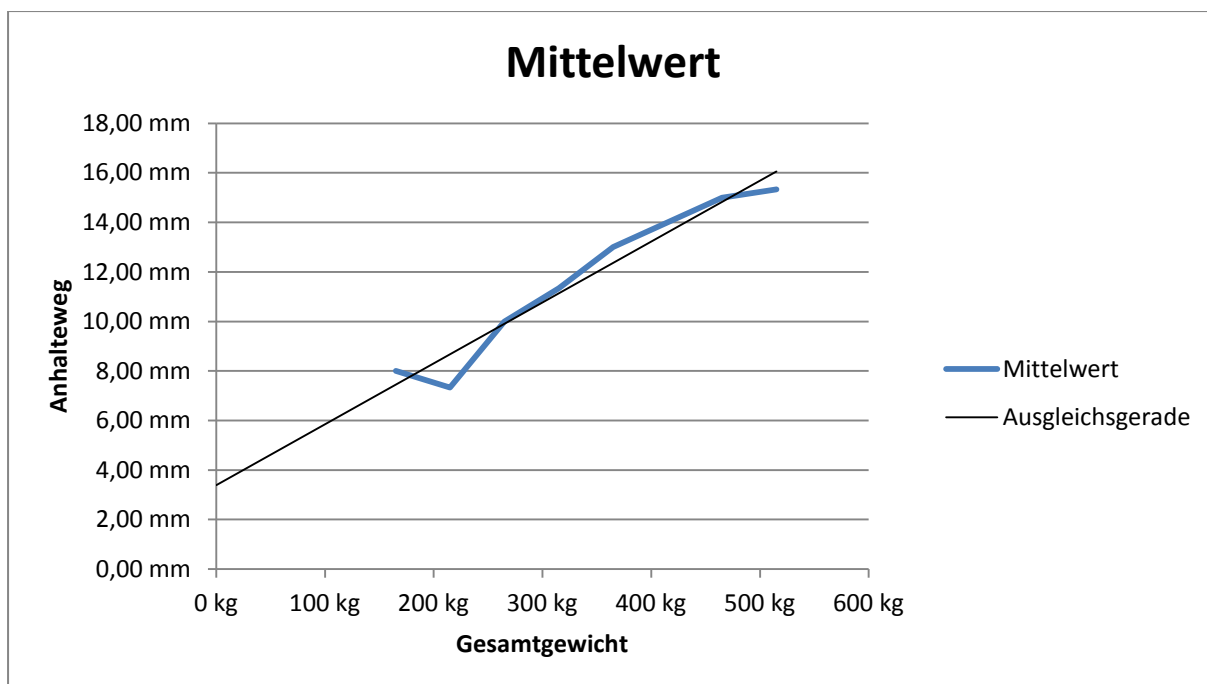


Abbildung 28: Anhaltewege in Bezug auf das Gesamtgewicht

Der Anhalteweg für die reine Rotationsenergie kann mit Hilfe der Ausgleichsgeraden auf 3,38 mm bestimmt werden. Dieser Anhalteweg ist lastunabhängig.

Berücksichtigt man diesen Offset in den vorangestellten Berechnungen so ergibt sich daraus für den mit 350 kg beladenen Fahrkorb

$$s_N = \frac{m_F + m_N}{m_F} * (s_L - s_{Offset}) + s_{Offset}$$

$$s_N = \frac{165 \text{ kg} + 350 \text{ kg}}{165 \text{ kg}} * (8 \text{ mm} - 3,38 \text{ mm}) + 3,38 \text{ mm}$$

$$s_N = 17,8 \text{ mm}$$

Dies stellt eine gute Näherung unter Berücksichtigung der Toleranzen dar. Durch die zusätzlich bei der Reibung entstehenden Wärme, kommt die Erhöhung der Bremswirkung bei hohen Lasten bzw. bei längeren Anhaltewegen mehr zum Tragen, als bei geringer Last und kurzen Anhaltewegen. Dadurch kann die Linearisierung im Überlastbereich von den tatsächlichen Messwerten abweichen.

4 Fazit

Die Bewertung über die Wirksamkeit der Bremseinrichtung und Treibscheibe einer Aufzugsanlage in Windenergieanlagen ist mit Hilfe des ASIS II in der Form möglich, dass Messungen ohne Prüflast als Indikator für einen mit Prüflast beladenen Fahrkorb erhalten können. Der Vorteil hierbei liegt in der verkürzten Prüfzeit sowie der Schonung von Personal und Material. Durch eine genaue Auswertung der Geschwindigkeitskurven ist es auch vorstellbar, dass Verschleiß oder Unregelmäßigkeiten wie z.B. ein Getriebedefekt frühzeitig erkennbar wären. Der Nachteil jedoch liegt in der von der TRBS 1201-4 beschriebene Wirksamkeitsprüfung. Dort ist festgelegt, dass bei dieser Antriebsart eine Wirksamkeitsprüfung durch Anhalten des mit 1,25facher Nennlast beladenen Fahrkorbes aus Nenngeschwindigkeit notwendig ist. Somit ist zu klären, ob bei einer Prüfung ohne Prüflast spezielle Grenzwerte eingehalten werden müssen oder ob diese Art der Prüfung gänzlich unzulässig ist und bleibt.

Die Prüfung mit der Gaszugfeder lieferte in Bezug auf die Geschwindigkeitskurve leider keine vergleichbaren Ergebnisse. Die Messergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Bremseinrichtung und die Treibscheibe durch die Gaszugfeder nicht im gleichen Maße belastet werden, wie mit Prüflast. Auch ist die Anbringung der Gaszugfeder ein Hindernis. Durch das Fehlen von ausgewiesenen Anschlagpunkten an Fahrkorb und Plattform der Windenergieanlage, ist eine vorherige Absprache mit dem Hersteller des Serviceliftes und mit dem Hersteller der Windenergieanlage ratsam.

Literaturverzeichnis

Ausschuss für Bausicherheit. 2009. *Teschnische Regeln für Betriebssicherheit TRBS 1201 Teil 4.* Oktober 2009.

Avanti Windsystems GmbH. Seilgeführte Service Lifts. [Online] <http://de.avanti-online.com/produkte/seilgefuehrte-service-lifts#9519>.

RRG Industrietechnik GmbH. rrg.de. [Online] http://www.rrg.de/fileadmin/kataloge/federungstechnik/05-127B_RRG-Industriegasfedern.pdf.

Inhalt der CD

Die CD enthält sämtliche Datenblätter und Quellen.

Die CD ist bei dem Erst- sowie Zweitprüfer einzusehen.

Versicherung über die Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum

Unterschrift