



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Matthias Bednorz

Vergleichende Prüfungen einer Auflaufbremsanlage an zweiachsigen Anhängern der Klasse O2 im Rahmen einer Hauptuntersuchung nach §29 StVZO

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

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

Matthias Bednorz



**Vergleichende Prüfungen einer
Auflaufbremsanlage an zweiachsigen
Anhängern der Klasse O2 im Rahmen einer
Hauptuntersuchung nach §29 StVZO**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

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

in Zusammenarbeit mit:
TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG



Erstprüfer/in: Prof. Dipl.-Ing. P. Seyfried
Zweitprüfer/in: Ing. C. Taschendorf

Abgabedatum: 28.07.2021

Zusammenfassung

Matthias Bednorz

Thema der Bachelorthesis

Vergleichende Prüfungen einer Auflaufbremsanlage an zweiachsigen Anhängern der Klasse O2 im Rahmen einer Hauptuntersuchung nach §29 StVZO

Stichworte

Hauptuntersuchung, §29 StVZO, zweiachsige Anhänger, Auflaufbremsanlage, Trommelbremse, Rollenbremsprüfstand, 2-Platten-Bremsprüfstand, Fahrversuch, Messungen, neues Konzept

Kurzzusammenfassung

Die Überprüfung der Wirkung der Bremsanlage von zweiachsigen Anhängern der Fahrzeugklasse O2 im Rahmen der Hauptuntersuchung nach §29 StVZO lässt sich nicht immer mit einem Rollenbremsprüfstand durchführen. Mit weiteren vergleichbaren Prüfungen durch einen 2-Platten-Bremsprüfstand und anhand eines Fahrversuches sind Messreihen durchzuführen und die Ergebnisse zu vergleichen. Des Weiteren ist die Aufgabe dieser Bachelorarbeit ein Konzept zu entwerfen und es theoretisch vorzustellen.

Matthias Bednorz

Title of the paper

Comparative tests of an overrun brake system on two-axle trailers of class O2 as part of a general inspection according to §29 StVZO

Keywords

General inspection, §29 StVZO, two-axle trailer, overrun brake system, drum brake, roller brake tester, 2-plate brake tester, test drive, measurements, new concept

Abstract

Checking the effectiveness of the braking system of two-axle trailers of vehicle class O2 as part of the general inspection according to §29 StVZO cannot always be carried out with a roller brake tester. With further comparable tests using a 2-plate brake tester and a driving test, series of measurements must be carried out and the results compared. Furthermore, the task of this bachelor thesis is to design a new concept and to present it theoretically.

Danksagung

Die vorliegende Bachelorarbeit habe ich in Zusammenarbeit mit dem TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG erstellt.

An dieser Stelle möchte ich all jenen meinen Dank aussprechen, die mich während der Bearbeitung meiner Abschlussarbeit begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank geht daher an Herrn Prof. Dipl.-Ing. Seyfried seitens der Fachhochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg und Herrn Taschendorf seitens der Firma, die mich fachlich und persönlich unterstützt haben.

Darüber hinaus möchte ich meinen Eltern danken, die mich nicht nur finanziell, aber auch seelisch von Beginn des Studiums unterstützt und mir bei Seite gestanden haben.

Zudem danke ich meinem Bruder Peter, meiner Freundin Julia und meinem sehr guten Freund Alex. Durch deren Tipps und Anregungen wurde meine Bachelorarbeit verbessert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Vorstellung des Unternehmens	2
2	Stand der Technik	3
2.1	Fahrzeugklassen.....	3
2.1.1	Klassische Arten	4
2.1.2	Zweckbestimmte Arten.....	6
2.1.3	Abmessungen von Anhängern.....	9
2.2	Kopplung zwischen Zugfahrzeug und Anhänger.....	10
2.3	Hauptuntersuchung nach §29 StVZO	11
2.4	Bremsenrichtlinien.....	14
3	Auflaufbremsanlage	17
3.1	Aufbau und Wirkungsweise.....	17
3.2	Bauarten der Trommelbremse	20
3.2.1	Simplex-Trommelbremse	21
3.2.2	Weitere Arten	23
3.3	Mögliche Fehlerquellen an der Bremsanlage.....	25
4	Prüfmittel	27
4.1	Rollenbremsprüfstand	27
4.2	Fahrversuch	29
4.3	2-Platten-Bremsprüfstand	30
4.4	Neues Konzept	31
4.4.1	Aufbau.....	31
4.4.2	Durchführung	32
4.4.3	Vor- und Nachteile	32
5	Versuchsreihen	34
5.1	Vorstellung des Prüfanhängers	34
5.2	Durchführung	35
5.3	Beobachtung und Messergebnis.....	38
5.3.1	Versuch 1	38
5.3.2	Versuch 2.....	40
5.3.3	Versuch 3.....	42
5.3.4	Versuch 4.....	44
5.3.5	Versuch mit Beladung	46
5.4	Auswertung	46
5.4.1	Rollenbremsprüfstand	47
5.4.2	Fahrversuch	50
5.4.3	2-Platten-Bremsprüfstand	53
5.4.4	Vergleich Rolle - Platte - Fahrversuch.....	54
5.4.5	Zeitfaktor und Fehler in der Handhabung.....	56
6	Zusammenfassung	58
6.1	Fazit	59
6.2	Ausblick.....	60
7	Quellenverzeichnis	61
	Anhang: Fahrzeugschein	64
	Selbstständigkeitserklärung	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: TÜV Nord Firmenlogo [22]	2
Abbildung 2: Klassischer Sattelzug [18].....	5
Abbildung 3: Gelenkdeichselanhänger [12]	5
Abbildung 4: Zentralachsanhänger [10].....	6
Abbildung 5: Zweiachsiger Wohnanhänger [15]	7
Abbildung 6: Zweiachsiger Tankanhänger mit Gelenkdeichsel [21]	7
Abbildung 7: Einachsiger Dolly [19]	8
Abbildung 8: Schwertransport [7].....	9
Abbildung 9: Kugelkopfkupplung	10
Abbildung 10: Königszapfen [6].....	10
Abbildung 11: Maulkupplung [13]	11
Abbildung 12: Bolzenkupplung [20]	11
Abbildung 13: Prüfplakette.....	12
Abbildung 14: Schematische Darstellung einer mechanischen Auflaufbremsanlage [1, S. 314].....	17
Abbildung 15: Mechanische Auflaufbremsanlage [1, S. 315].....	19
Abbildung 16: Aufbau einer Trommelbremse [17]	20
Abbildung 17: Mechanische Radbremse mit Rückfahrautomatik und automatischer Nachstellung [1, S. 317]	22
Abbildung 18: Schematische Darstellung der verschiedenen Bauarten der Trommelbremse [11, S. 42].....	24
Abbildung 19: Bremsenkennwert [8].....	25
Abbildung 20: Rollenbremsprüfstand.....	28
Abbildung 21: 2-Platten-Bremsprüfstand.....	30
Abbildung 22: Konzeptidee.....	32
Abbildung 23: 2-achsiger Pferdeanhänger der Firma Böckmann	35
Abbildung 24: Screenshot Bremsenprüfung „Mobile TÜV 2“ am Rechner.....	36
Abbildung 25: HU-Adapter als Messgerät.....	37

Abbildung 26: Ansicht Bremse von der Innenseite	38
Abbildung 27: Versuch 1: Messdaten im Fahrversuch.....	39
Abbildung 28: Versuch 2: Messdaten im Fahrversuch.....	41
Abbildung 29: Versuch 3: Messdaten im Fahrversuch.....	43
Abbildung 30: Versuch 4: Messdaten im Fahrversuch.....	45
Abbildung 31: Messungen am Rollenbremsprüfstand der 1ten Achse	48
Abbildung 32: Vergleich Rollenbremsprüfstand mit Beladung	49
Abbildung 33: Messungen im Fahrversuch.....	51
Abbildung 34: Messungen am 2-Platten-Bremsprüfstand der 1ten Achse	53
Abbildung 35: Vergleich 2-Platten-Bremsprüfstand mit Beladung	54
Abbildung 36: Vergleich Prüfstände	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Fahrzeugklassen in Deutschland bzw. Europa.....	3
Tabelle 2: Gesetzliche Mindestabbremungen.....	15
Tabelle 3: Versuch 1: Messwerte am Rollenbremsprüfstand.....	38
Tabelle 4: Versuch 1: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand.....	40
Tabelle 5: Versuch 2: Messwerte am Rollenbremsprüfstand.....	40
Tabelle 6: Versuch 2: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand.....	41
Tabelle 7: Versuch 3: Messwerte am Rollenbremsprüfstand.....	42
Tabelle 8: Versuch 3: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand.....	43
Tabelle 9: Versuch 4: Messwerte am Rollenbremsprüfstand.....	44
Tabelle 10: Versuch 4: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand.....	45
Tabelle 11: Versuch mit Beladung: Messwerte am Rollenbremsprüfstand.....	46
Tabelle 12: Versuch mit Beladung: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand.....	46
Tabelle 13: Abbremsung FBA am Rollenbremsprüfstand.....	50
Tabelle 14: Ergebnisse der Abbremsungen des Anhängers.....	52
Tabelle 15: Beurteilung der Bremswirkung.....	56

Kürzelverzeichnis

Abkürzung

Bedeutung

StVZO	Straßenverkehrszulassungsordnung
DÜV	Dampfkesselüberwachungs- und Revisions-Verein
TÜV	Technischer Überwachungsverein
KFZ	Kraftfahrzeug
EG	Europäische Gemeinschaft
SDAH	Starrdeichselanhänger
zGG	zulässiges Gesamtgewicht
FZV	Fahrzeugzulassungsverordnung
BBA	Betriebsbremsanlage
FBA	Feststellbremsanlage
ISO	Internationale Organisation für Normung
PKW	Personenkraftwagen
LKW	Lastkraftwagen

1 Einleitung

Anhänger dienen zum Transport unterschiedlichster Güter. Es gibt sie von klein bis groß, kurz bis lang und schmal bis breit. Der Aufbau kann offen oder geschlossen sein. Sie verfügen für den Transport eine Ladefläche, haben keinen eignen Antrieb und sind mit dem Zugfahrzeug mechanisch verbunden. Beim Kauf eines neuen Anhängers ist dieser in einem einwandfreien technischen Zustand. Durch die Nutzung verschleißt der eine oder andere unterschiedlich stark ab. Damit auf den Straßen eine Gefährdung aufgrund technischer Mängel verhindert werden soll, muss jede Art von Anhänger zur regelmäßigen Überprüfung. In Abhängigkeit vom Gewicht erfolgt dies jedes oder alle zwei Jahre nach der ersten Inbetriebnahme.

Diese technische Überprüfung wird Hauptuntersuchung genannt und ist in der Straßenverkehrszulassungsordnung (kurz StVZO) im §29 „Untersuchung der Kraftfahrzeuge und Anhänger“ niedergeschrieben. Bei der Hauptuntersuchung wird der Anhänger genauso inspiziert. Bei gefundenen Mängeln müssen diese behoben werden. Ein wichtiger Bestandteil der Hauptuntersuchung ist die Überprüfung der Wirkung der Bremsanlage, sofern eine verbaut ist. Das ist mithilfe eines Bremsenprüfstandes möglich. In der Regel ist es ein Rollenbremsprüfstand. Neben ihm gibt es weitere Möglichkeiten.

1.1 Aufgabenstellung

Anhänger müssen regelmäßig zur Hauptuntersuchung vorgestellt werden. Es wird der Ablauf einer Hauptuntersuchung an zweiachsigen Anhängern nach §29 StVZO beschrieben mit dem Fokus auf der Überprüfung der Wirkung der Bremse. Die Bremsanlage muss besonderen Richtlinien entsprechen. Diese werden recherchiert und entsprechend wiedergegeben.

Der Aufbau der Bremsanlage eines auflaufgebremsten Anhängers wird dargestellt. Die Funktionsweise der gängigsten Arten der Trommelbremse wird erklärt. Hierzu zählt die sogenannte Simplex-Bremse. Auf weitere Arten wird oberflächlich eingegangen.

Bremsenprüfstände müssen bestimmte Anforderungen erfüllen, um eine Zulassung zu erhalten und um sie bei einer Hauptuntersuchung nutzen. Diese werden zusammen mit der Bedienung und Zuverlässigkeit erarbeitet und dargestellt. Es werden der Rollenbremsprüfstand und 2-Platten-Bremsprüfstand vorgestellt, welche im späteren Versuch getestet werden. Eine weitere Möglichkeit die Bremsanlage zu beurteilen bietet die Messung in einem Fahrversuch mit einem dazugehörigen Messgerät. Der Ablauf dieser Messung wird beschrieben und ebenfalls in einem Versuch durchgeführt.

In dieser Abschlussarbeit wird auch ein neues Konzept entwickelt und theoretisch vorgestellt.

Ein großer Teil der Abschlussarbeit wird neben dem theoretischen Teil ein experimenteller Teil sein. Zunächst wird der Prüfanhänger vorgestellt. Der Versuchsaufbau und die -

durchführung werden beschrieben. Es werden mehrere Prüfungen sowie an den Prüfmesständen als auch im Fahrversuch durchgeführt. Mit Einbau verschiedener Fehler an der Bremsanlage des Prüfanhängers sollen so Gemeinsamkeiten oder auch Unterschiede nachgewiesen werden, um Alternativen zum Rollenbremsprüfstand aufzuzeigen.

1.2 Vorstellung des Unternehmens

Aufgrund zahlreicher Unfälle durch Fehlhandhabung dampfbetriebener Kessel, wird 1869 ein Verein gegründet – die „Dampfkessel-Überwachungs- und Revisions-Vereine“ (DÜV). Das eigentliche Ziel ist es durch Inspektionen und Überprüfungen der Dampfkessel die Zahl der Unfälle zu minimieren. Durch die fortlaufende Technik erhält das Unternehmen stetig wachsende Aufgaben vom Staat, wodurch der Name zur „Technischen Überwachungsvereine“ (TÜV) umbenannt wird. Heutzutage bietet das Unternehmen Dienstleistungen international an und teilt diese in sechs verschiedene Geschäftsbereiche. Der größte Bereich deckt Durchführungen von Sicherheitsprüfungen und Zertifizierungen in der Industrie, Infrastruktur und Umwelt ab. Weitere Dienstleistungsangebote sind Fahrzeug- und Fahrerlaubnisprüfungen, das Ausstellen von Fahrzeuggutachten aber auch das Begutachten durch Ärzte und Psychologen für Menschen, die Ihre Fahrerlaubnis verloren haben und wieder im Straßenverkehr teilnehmen wollen. Auch im Bereich Raumfahrt beteiligt sich das Unternehmen mit verschiedenen Dienstleistungen wie Beschaffenheit, Modifizierung und Prüfungen. Der TÜV Nord ist seit 2004 eine Aktiengesellschaft, beschäftigt über 11500 Mitarbeitern und erzielt einen Umsatz von 1,27 Milliarden Euro in über 50 Staaten weltweit. Das Unternehmen ist neben dem TÜV Rheinland und dem TÜV Süd einer der drei TÜV-Gruppen in Deutschland. Das aktuelle Firmenlogo ist in der Abbildung 1 zu sehen. [22]



Abbildung 1: TÜV Nord Firmenlogo [22]

2 Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die aktuellen Fahrzeugklassen auf dem deutschen Markt beschrieben. Wie in der Einleitung erwähnt, müssen alle Anhänger zur regelmäßigen Hauptuntersuchung. Der Ablauf einer solchen Untersuchung wird dargestellt, insbesondere das Bewerten der Bremsanlage. Die Bremsen müssen bestimmte Richtlinien erfüllen. Aufgezeigt wird der neuste Stand der Richtlinien.

2.1 Fahrzeugklassen

Fahrzeuge werden in verschiedenen Klassen unterteilt. Es wird unterschieden zwischen Fahrzeugen, die zur Personen- oder Gütebeförderung dienen und land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge sowie deren Anhängern. Des Weiteren gibt es eine Klasse für leicht ein- und zweispurige Kraftfahrzeuge. Die folgende Tabelle 1 schafft einen Überblick der verschiedenen Klassen mit Beispielen ohne deren detaillierte Unterklasse.

Tabelle 1: Übersicht der Fahrzeugklassen in Deutschland bzw. Europa

EG-Fahrzeugklasse	KFZ
L	Leichte Kraftfahrzeuge mit zwei, drei oder vier Rädern, z.B. Moped, Motorrad, Quad
M	KFZ zum Zweck der Personenbeförderung, z.B. PKW, Wohnmobil, Bus (mindestens vier Räder)
N	KFZ zur Gütebeförderung, z.B. LKW, Lieferwagen
O	(Sattel-) Anhänger
R	Anhänger für die Nutzung der Land- und Forstwirtschaft
S	Gezogene Maschinen für die Land- und Forstwirtschaft
T	Zugmaschinen für die Land- und Forstwirtschaft, z.B. Traktor
C	Zugmaschinen der Land- und Forstwirtschaft auf Gleisketten, z.B. Bagger

Quelle: In Anlehnung an <https://www.bussgeldkatalog.org/fahrzeugklassen>

Jede Klasse hat mehrere weitere Unterklassen, die abhängig vom Gewicht und Art des Fahrzeugs sind. Im Folgenden wird nur die Klasse O der Anhänger genauer beschrieben. Diese teilt sich in vier weitere Klassen, die vom Gewicht abhängig sind. Es wird unterschieden zwischen:

- Klasse O1: Anhänger mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis 0,75t
- Klasse O2: Anhänger mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 0,75t–3,5t
- Klasse O3: Anhänger mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5t-10t
- Klasse O4: Anhänger mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 10t

Des Weiteren werden Anhänger in der Art des Aufbaus unterschieden. Es gibt klassische und zweckbestimmte Arten. [14]

2.1.1 Klassische Arten

Bei den klassischen Aufbauarten gibt es vier weitere Klassen. Man unterscheidet zwischen:

- DA für Sattelanhänger
- DB für Deichselanhänger
- DC für Zentralachsenanhänger und
- DE für Anhänger mit starrer Zugeinrichtung

Sattelanhänger

Sattelanhänger sind besser bekannt als Sattelaufleger und kommen üblicherweise im Gebrauch bei Lastkraftwagen (LKW) vor. Die untere Abbildung 2 zeigt einen sogenannten Sattelzug. Dieser besteht aus der vorderen Zugmaschine und dem klassischen Sattelaufleger. Die Verbindung erfolgt über eine Kupplung. In der Regel sind sie mehrachsig, besitzen keine Vorderachse und liegen vorne auf der Zugmaschine auf einer Sattelplatte auf. Die Kupplung verbindet den Anhänger mit seinem Königszapfen und der Platte am Zugfahrzeug. Die Verbindungsarten sind im Kapitel 2.2 näher erläutert.



Abbildung 2: Klassischer Sattelzug [18]

Deichselanhänger

Die folgende Abbildung 3 zeigt einen Deichselanhänger. Man unterscheidet zwischen Starrdeichsel- (SDAH) und gelenkten Deichselanhängern. Entscheidend ist der vordere Teil des Anhängers – die Deichsel.

Bei SDAH ist die Deichsel starr mit dem Anhängerrahmen verbunden. In der Regel besitzt der Anhänger eine oder zwei Achsen, die ebenfalls starr angebaut sind. Bei Anhängern mit einem zGG von 750kg und einer Starrdeichsel, werden diese als „leichte Anhänger“ betitelt. Die meisten PKW-Anhänger sind Starrdeichselanhänger. Haben die beiden Achsen einen Abstand von weniger als 1m, sind es sogenannte Tandemanhänger. Das Verhalten ist ähnlich einem einachsigen Anhänger.

Der Gelenkdeichselanhänger besitzt den Unterschied, dass die vordere Achse lenkbar ist. Das ermöglicht ein Drehschemel. Dieser ist mit der Deichsel fest verbaut. Diese Bauarten haben zwei oder mehr Achsen.



Abbildung 3: Gelenkdeichselanhänger [12]

Zentralachsanhänger

Der Zentralachsanhänger weist gegenüber einem Deichselanhänger einen anderen vorderen Aufbau auf (siehe Abbildung 4). Der Anhänger kann mehrere Achsen haben. Diese sind nahe dem Schwerpunkt des Fahrzeugs extra so angeordnet, dass nur eine geringe

Stützlast von maximal 10% der Masse des Anhängers oder nicht mehr wie 1000daN übersteigt, auf das Zugfahrzeug übertragen wird.



Abbildung 4: Zentralachsanhänger [10]

Anhänger mit starrer Zugeinrichtung

Anhänger mit einer starren Zugeinrichtung haben eine Achse bzw. eine Achsgruppe, die eine Deichsel besitzen und nicht unter den Begriff eines Zentralachsanhängers fallen. Aufgrund der Konstruktion dürfen sie im Ruhestand nicht mehr wie 4000daN auf das Zugfahrzeug übertragen. Die Verwendung eines Zugsattelzapfen zur Verbindung an das Zugfahrzeug ist nicht erlaubt.

2.1.2 Zweckbestimmte Arten

Bei den zweckbestimmten Bauarten gibt es fünf verschiedene Unterklassen. Sie sind nur für bestimmte Zwecke gedacht. Es wird unterscheiden zwischen:

- SB Beschussgeschützt
- SE Wohnanhänger
- SG Sonstige
- SJ Untersetzachse (Dolly) und
- SK Schwertransport

Beschussgeschützt

Beschussgeschützte Anhänger dienen dem Schutz von Eindringen ungewollter Gegenstände von außen. Besser bekannt bei Fahrzeugen von der Bundeswehr oder auch bei Fahrzeugen in denen wichtige Personen mitfahren, für die eine hohe Sicherheit ausgesprochen ist.

Wohnanhänger

Der Wohnanhänger ist ein typisches Beispiel für ein Starrdeichselanhänger mit einer oder zwei Achsen (siehe Abbildung 5). Sie besitzen eine Bremsanlage, die beim Auflaufen auf das Zugfahrzeug wirkt. Es befindet sich eine Wohneinrichtung im Inneren des Anhängers. Die meisten Wohnanhänger haben einen Herd, Kühlschrank und eine Heizung, die mit einer Gasanlage betrieben werden.



Abbildung 5: Zweiachsiger Wohnanhänger [15]

Sonstige

Unter der Klasse der sonstigen Anhänger fallen alle Aufbauarten, die für bestimmte Zwecke entworfen und genutzt werden. So gibt es z.B. Tankanhänger, Pferdeanhänger, Bootstrailer, Anhänger für Baumstämme, etc. In der Abbildung 6 ist ein Beispiel eines Tankanhängers dargestellt. Die Aufbauart und die Anzahl der Achsen können je nach Verwendung variieren.



Abbildung 6: Zweiachsiger Tankanhänger mit Gelenkdeichsel [21]

Untersetzachse (Dolly)

Dollys sind speziell entwickelte Untersetzachsen, die ein Zugfahrzeug, welches keine Sattelplatte hat, z.B. ein Traktor, mit einem LKW-Auflieger verbinden. Sie werden in der Fahrzeug-Zulassungsverordnung (kurz FZV) als Starrdeichselanhänger eingestuft und besitzen ein bis drei Achsen. In der Abbildung 7 ist ein Beispiel für einen einachsigen Dolly zu sehen. Über der Achse befindet sich die Sattelplatte mit Kupplung, um Sattelanhänger mitführen zu können. Der Traktor kann also trotzdem diese Art von Anhängern mitführen, ohne eine eigene Sattelkupplung verbaut zu haben. Zusätzlich ist ein großer Vorteil, dass man dadurch die Gesamtlänge von Fahrzeug und Anhänger auf das gesetzliche erlaubte Maximum von 18,75m ausweiten kann¹.



Abbildung 7: Einachsiger Dolly [19]

Schwertransport

Diese Unterklasse gilt nur für Anhänger der Klasse O4 aufgrund des Gewichts. Das sind speziell entwickelte Anhänger für den Transport von Fracht, die über die maximal zulässigen Maße hinausragt. Dafür müssen Sondergenehmigungen erteilt werden und je nach der Gegebenheit der Infrastruktur nur auf bestimmten Straßen und zur bestimmten Uhrzeiten gefahren werden. Der gesamte Transport muss vorher genauestens geplant werden. Beispiele für solche Fracht sind Silos, Flügel von Windkraftanlagen, Flugzeugteile, Tanks, etc. In der folgenden Abbildung 8 ist ein Schwertransport dargestellt. Der Anhänger besitzt 2x10 Achsen, welche jeweils 12t tragen kann. Damit ergibt sich ein zGG vom Anhänger von 240t. [14]

¹In Deutschland ist seit dem 01.01.2017 das Fahren mit sogenannten Lang-LKWs erlaubt. Diese haben eine maximale Länge von 25,25m und dürfen nur auf bestimmten Straßen und Bundesländern befahren werden. Das zulässige Gesamtgewicht darf dennoch nicht über 40t sein. [5]



Abbildung 8: Schwertransport [7]

2.1.3 Abmessungen von Anhängern

Die Abmaße eines Anhängers sind in Deutschland im §32 „Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen“ der StVZO fest geregelt. Sie werden in Breite, Höhe und Länge unterteilt und werden von Sinn und Zweck des Fahrzeugs unterschieden. Für die maximale Breite eines Fahrzeugs bzw. Anhängers gilt:

- Allgemein maximal 2,55m
- Bei land- und forstwirtschaftliche Zwecke maximal 3m
- Bei Anhängern hinter Krafträder maximal 1m
- Bei klimatisierten Aufbauten maximal 2,60m, wenn die Wandstärke min. 45mm beträgt

Für alle weiteren Anhänger, die über die Maximalbreite ragen, muss eine Sondergenehmigung erteilt werden. Ansonsten ist es verboten auf öffentlichen Straßen innerhalb Deutschlands zu fahren.

Die Fahrzeughöhe ist mit einem maximalen Wert von 4m fest definiert. Für land- und forstwirtschaftliche Zwecke gelten abweichende Regelungen. Für Abweichungen im Straßenverkehr muss zuerst das Erteilen einer Sondergenehmigung erfolgen.

Die Länge eines Anhängers ausgenommen von Sattelanhängern beträgt maximal 12m. Für Sattelanhänger gelten die 12m vom Königszapfen bis zum hinteren Ende. In der Regel ist die Gesamtlänge 13,6m.

Die Gesamtlängen von Zugfahrzeug und Anhänger sind ebenfalls im §32 geregelt. Es wird zwischen einem Gliederzug und einem Sattelzug unterschieden. Als Gliederzug gelten LKWs mit Auflieger und einem Anhänger. Deren maximale Länge darf 18,75m betragen. Ein Sattelzug hingegen ist eine reine Zugmaschine mit einem Sattelanhänger. Deren gesamte Länge darf maximal 16,50m betragen. Auch hier gelten für abweichende Längen Sondergenehmigungen. [2, S.21-25]

2.2 Kopplung zwischen Zugfahrzeug und Anhänger

Ein Anhänger muss mit dem Fahrzeug verbunden werden, damit dieser ihn sicher über die Straßen ziehen kann. Dies erfolgt auf unterschiedlicher Weise. Es gibt vier verschiedene Möglichkeiten, welche im Folgenden abgebildet und erklärt werden.

Die Kugelkopfkupplung findet hauptsächlich bei PKWs Verwendung und ist bei gebremsten oder ungebremsten Anhängern bis 3,5t verbaut. Die folgende Abbildung 9 zeigt von links die Kugelkopfkupplung, die am Anhänger fest verbunden ist. Am Zugfahrzeug ist das passende Gegenstück. Der Kugelkopf ist fest am Hilfsrahmen verbunden. Eine Arretierung durch einen Hebel verhindert das Lösen der Kupplung.



Abbildung 9: Kugelkopfkupplung

Der Kugelkopf am PKW kann fest oder abnehmbar verbaut sein. Es besteht die Möglichkeit diesen frisch vom Werk mit zu bestellen oder durch eine Fachwerkstatt nachrüsten zu lassen.

Bei Sattelzügen sind Sattelkupplungen am Zugfahrzeug und der dazugehörige Königszapfen am Anhänger verbaut. Die Abbildung 2 im Kapitel 2.1.1 zeigt ein Beispiel für einen verbundenen Sattelzug. Das Beispiel für eine Sattelkupplung ist in der Abbildung 7 bei einem Dolly zu sehen. Das Gegenstück, der Königszapfen, ist fest am Rahmen des Anhängers verbaut (siehe Abbildung 10). Dieser wird fest durch die Kupplung gehalten.



Abbildung 10: Königszapfen [6]

Eine weitere Anwendung bei LKWs und auch Traktoren ist die Maulkupplung. Der Vorgang des Schließens funktioniert automatisch. Das Zugfahrzeug fährt rückwärts gegen den Anhänger, an dem eine Zugöse verbaut ist. Die Kupplung schließt automatisch, sobald die Öse des Anhängers gegen eine Sicherung am Ende des Mauls drückt. Dadurch wird das schlagartige Herunterfahren eines Bolzens durch die Öse ermöglicht und somit ist der Anhänger fest verbunden. Die Abbildung 11 zeigt ein Beispiel für eine Maulkupplung. Das Prinzip ist von der Firma Rockinger 1932 patentiert.



Abbildung 11: Maulkupplung [13]

In der Land- und Forstwirtschaft finden Bolzenkupplungen Verwendung. Auf der Seite des Anhängers ist auch eine Zugöse verbaut. Gesichert wird der Anhänger mit einem Bolzen, der durch die Öse gelangt. Dies geschieht nicht selbsttätig. Das System ist eines der ersten auf dem Markt vorhandenen und ist einfach aufgebaut. Zu sehen ist eine solche Verbindung in der unteren Abbildung 12.



Abbildung 12: Bolzenkupplung [20]

2.3 Hauptuntersuchung nach §29 StVZO

Nach §29 StVZO müssen „die Halter von zulassungspflichtigen Fahrzeugen [...] ihre Fahrzeuge auf ihre Kosten [...] in regelmäßigen Zeitabständen untersuchen [...] lassen.“ (BMJV et.al, 2012, S. 16). Darunter fallen auch Anhänger jeglicher Unterklassen.

Anhand der Zulassungsbescheinigung Teil 1, umgangssprachlich auch Fahrzeugschein genannt, oder der Prüfplakette am Kennzeichen ist zu erkennen in welchem Monat und Jahr die Hauptuntersuchung fällig ist. Die Prüfplaketten haben für jedes Jahr eine andere Farbe. Es gibt sie in blau, braun, grün, orange, gelb und rosa und kehren alle sechs Jahre wiederholt wieder. Die oberste Zahl der Prüfplakette (auf „12 Uhr“) kennzeichnet den

Monat, die Zahl in der Mitte das Jahr. In der Abbildung 13 ist eine gelbe Prüfplakette zu sehen. Die nächste Hauptuntersuchung ist im November 2021 fällig.



Abbildung 13: Prüfplakette

Im Folgenden wird der grobe Ablauf einer Hauptuntersuchung von auflaufgebremsten Anhängern der Klasse O2 beschrieben.

Ist die Hauptuntersuchung fällig, führt kein Weg zu einer anerkannten zugelassenen Überwachungsorganisation dran vorbei. Sie sind für die regelmäßige Kontrolle nach §29 zuständig. Dort wird der Anhänger auf Mängel untersucht. Für die Untersuchung benötigt der Prüfer den Fahrzeugschein. In diesem ist der genaue Typ des Anhängers identifiziert. Um festzustellen, dass genau dieser Anhänger vorliegt, wird die Fahrzeugidentifikationsnummer überprüft. Diese muss an einer zugänglichen Stelle am vorderen Teil der rechten Seite gut leserlich am Rahmen des Anhängers eingestanzt sein und mit der Nummer im Fahrzeugschein übereinstimmen. Bei Gleichheit kann die Prüfung fortgesetzt werden. Einen weiteren vorgeschriebenen Ablauf gibt es nicht. Wichtig ist, dass alles was überprüft werden muss, überprüft wird unabhängig von der Reihenfolge. Nichtsdestotrotz ergibt sich eine bestimmte Reihenfolge des Ablaufs, um Zeit zu sparen. Ein wichtiger Punkt ist die Überprüfung der Wirkung der Bremse. Das erfolgt in der Regel mit einem Bremsenprüfstand. Der Aufbau und die Funktion zwei verschiedener Systeme werden im Kapitel 4 näher erläutert. Mit dem kann festgestellt werden, ob die Bremse einer Achse links und rechts gleich oder ungleich wirkt und ob ein festgelegter Mindestwert beim Abbremsen erzielt wird. Des Weiteren wird der Auflaufweg des Anhängers beurteilt. Der darf nicht zu lang sein, da sonst die Bremse zu spät oder nur gering, bis gar nicht wirkt. Zusätzlich erfolgt eine Sichtprobe der Bremsanlage.

Neben der genauen Überprüfung der Bremse, werden auch alle anderen Komponenten wie die elektrische Lichtanlage, der Aufbau des Anhängers, Zustand der Reifen und Räder, die Aufhängung der Achsen und Federung überprüft.

Wird ein Mangel festgestellt, so ist dieser zu beheben. Die Mängel werden je nach Härte unterschiedlich eingestuft. Es gibt folgende Stufen:

- Ohne Mangel (OM)
- Geringer Mangel (GM)
- Erheblicher Mangel (EM)
- Gefährlicher Mangel (VM) und
- Verkehrsunsicher (VU)

An einem Anhänger ohne Mangel ist selbstverständlich nichts zu beheben. Die Prüfplakette wird zugeteilt. Bei geringen Mängeln müssen diese unverzüglich behoben werden. Es besteht keine Pflicht der Widervorführung und die Prüfplakette wird vergeben. Werden erhebliche Mängel bei der Hauptuntersuchung festgestellt, müssen diese binnen vier Wochen behoben werden und zur Nachkontrolle erneut vorgestellt werden. Dann kontrolliert der Prüfer lediglich die behobenen Mängel. Erst bei der Nachprüfung wird die Prüfplakette vergeben. Werden gefährliche Mängel festgestellt, so darf der Fahrer lediglich die Fahrt bis zur Werkstatt oder nach Hause antreten, da eine Verkehrsgefährdung besteht. Auch hier hat der Halter vier Wochen Zeit und muss zur Nachprüfung. Ein verkehrsunsicherer Mangel liegt vor, wenn eine akute Gefährdung im Straßenverkehr besteht und der Anhänger vor Ort stillgelegt werden muss. Es folgt das Entfernen der Prüfplakette und eine Benachrichtigung an die Zulassungsbehörde. Der Anhänger muss abgeschleppt werden. Auch hier ist die Frist für die Reparatur und Widervorführung bei vier Wochen. Erst dann wird die neue Prüfplakette vergeben. Schafft es der Fahrer bzw. Halter nicht innerhalb der Frist zur Widervorstellung, so wird eine komplett neue Hauptuntersuchung durchgeführt. Neben den Mängeln gibt es auch Hinweise (HW). Dies sind keine Mängel und beeinflussen auch nicht die Vergabe der Prüfplakette. Sie sollen den Fahrer auf zukünftige Mängel hinweisen, welche zum Zeitpunkt der Prüfung aber nicht sicherheitsrelevant sind.

Bei einer Neuanschaffung eines Anhängers der Klasse O1 muss man diesen das erste Mal nach Inbetriebnahme nach drei Jahren zur Hauptuntersuchung vorführen. Die fortlaufenden Hauptuntersuchungen finden alle zwei Jahre statt. Bei der Klasse O2 ist nach der ersten Inbetriebnahme nach zwei Jahren die erste Hauptuntersuchung fällig. Der regelmäßige fortlaufende Abstand bleibt bei zwei Jahren bestehen. Alle weiteren höheren Klassen müssen jährlich zur Hauptuntersuchung vorgeführt werden. Zusätzlich müssen alle Anhänger die mehr als 10t wiegen zu einer Sicherheitsprüfung. Die erste Sicherheitsprüfung ist 30 Monate nach der ersten Inbetriebnahme fällig und dann alle sechs Monate nach der letzten Hauptuntersuchung. Die Sicherheitsprüfung ist ähnlich einer Hauptuntersuchung, außer dass die Lichtanlage nicht mit überprüft wird.

Wird die Hauptuntersuchung überzogen, drohen einem abhängig von der Höhe der Monate bei einer Verkehrskontrolle Strafen. Das sind auf jedenfall Geldstrafen und können sogar bis zu einem Punkt in Flensburg reichen. Zusätzlich muss eine sogenannte vertiefte Hauptuntersuchung von der Prüforganisation durchgeführt werden. Diese ist umfangreicher und demnach um rund 20% teurer. Bei der Vergabe der Prüfplakette wird die nächste Hauptuntersuchung auf den aktuellen Monat bezogen. Ist die Hauptuntersuchung z.B. im Mai 2021 fällig, lässt sein Anhänger aber erst im Juli überprüfen, so ist die nächste Überprüfung, sofern die als bestanden gilt, auch erst im Juli 2023 fällig. Eine Rückdatierung war bis 2012 per Gesetz vorgeschrieben. [2]

2.4 Bremsenrichtlinien

Bei der Durchführung einer Hauptuntersuchung nach §29 an einem auflaufgebremsten zweiachsigen Anhänger der Klasse O2 gibt es Richtlinien für die Überprüfung der Bremsanlage. Diese sind in der Verordnung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften niedergeschrieben. Die allgemeine Prüfung umfasst neben Zustand und Ausführung auch die Funktion und Wirkung. Der Zustand muss funktionssicher und einwandfrei sein. In diesem Unterkapitel beziehen sich die Vorgaben und Richtlinien lediglich auf die anfangs beschriebene Anhängerklasse O2.

Eine Auflaufbremsanlage an Anhängern ist nur dann zulässig, wenn

- das zGG nicht mehr wie 8t und bauartbedingt die Höchstgeschwindigkeit 25km/h beträgt
- das zGG nicht mehr wie 8t und bauartbedingt die Höchstgeschwindigkeit 40km/h beträgt, sofern die Bremse auf alle Räder wirkt oder
- das zGG nicht mehr wie 3,5t beträgt und die Bremse auf alle Räder wirkt.

Da die Klasse O2 nur Anhänger mit einem zGG von 0,75-3,5t berücksichtigt, ist der letzte Punkt von Bedeutung. Ein auflaufgebremster zweiachsiger Anhänger der Klasse O2 ist mit einer Auflaufbremsanlage nur dann erlaubt, sofern die Bremsanlage auf alle Räder wirkt. Die Bremsanlage muss leicht nachstellbar sein oder sich selbsttätig nachstellen. Die Übertragungseinrichtungen und die Rückfahrautomatik der Auflaufbremsanlage ist auf Gängigkeit zu überprüfen. Die Zugstange darf höchstens 2/3 des Auflaufweges einfahren. Beim Rückwärtsfahren gilt dies nicht.

Beim Abbremsen wird von Verzögerung oder negativer Beschleunigung gesprochen. Je höher der Wert, umso stärker wird der Anhänger gebremst. Die Einheit ist $\frac{m}{s^2}$ und ist von der Geschwindigkeit und dem Bremsweg abhängig. Bei einer mittleren Vollverzögerung muss ein Wert von mindestens $5,0 \frac{m}{s^2}$ erreicht werden.

Neben der Funktion der Bremsanlage im normalen Fahrbetrieb (Betriebsbremse), muss auch eine Feststellbremse vorhanden sein. Das heißt, beim Abstellen des Anhängers muss dieser durch eine mechanische Betätigung fest abstellbar sein. Das Abrollen muss bei einer Steigung und einem Gefälle von 18% durch die Feststellbremse verhindert werden. Eine zusätzliche Sicherung durch einen gesetzlich vorgeschriebene Unterlegkeil am Anhänger kann anschließend vorgenommen werden.

Die Messung der Bremswirkung kann mit Hilfe eines Bremsprüfstandes durchgeführt werden. Dafür ist vor der Messung eine Konditionierungsfahrt erforderlich. Durch die gezielte kurzzeitige thermische Belastung der Bremsanlage sind Einflüsse auf das Messergebnis zu verhindern. Anschließend muss bei der Messung mit einem Bremsprüfstand die vorgegebene Mindestabbremmung oder das Blockieren der Räder erreicht werden. Die Mindestabbremmung ist bezogen auf die Fahrzeugmasse und für alle Anhänger vorgeschrieben. Die Abbremsung Z kann man wie folgt berechnen:

$$Z = \frac{\text{Summe aller Bremskräfte } F_{ges}}{\text{Fahrzeuggesamtwichtskraft } G} * 100\%$$

Die Bremskräfte werden durch den Bremsenprüfstand ermittelt. Die Summe ergibt die Bremskräfte beider Achsen jeweils links und rechts. Die Fahrzeuggesamtwichtskraft lässt sich mit dem Gesamtgewicht m des Anhängers und der Erdbeschleunigung g errechnen:

$$G = m * g$$

Für die Erdbeschleunigung wird der Wert $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ angenommen.

Der Wert der Abbremsung muss höher sein wie der vorgegebene Wert der Mindestabbremung. Die Werte der Tabelle 2 gelten nur für Anhänger der Klasse O2 und einer Geschwindigkeit >25km/h. Sie sind abhängig vom Baujahr und gliedern sich wie folgt:

Tabelle 2: Gesetzliche Mindestabbremungen

Erstzulassung	BBA [%]	FBA [%]
Vor 01.01.1991	40	15
Ab 01.01.1991 und vor 28.07.2010	43	16
Ab 28.07.2010	50	16

Quelle: In Anlehnung an: http://www.tgabathuler.ch/Lernprogramme/FSD/EBS_PW/wbt/files/EBS_PKW/HU-Bremsen-Rili.pdf, S.16

Anhand der Bremskräfte, der Gesamtwichtskraft und der Erdbeschleunigung kann auch die Bremsverzögerung a errechnet werden:

$$a = \frac{F_{ges} * g}{G}$$

Weiter gilt, dass die Bremskräfte links zu rechts einer Achse bei der BBA nicht mehr wie 25% und bei der FBA nicht mehr wie 50% voneinander abweichen dürfen. Bei auflaufgebremsten Anhänger wird die Wirkung der BBA in der Regel über die Betätigungseinrichtung der Feststellbremsanlage geprüft. Dafür gilt dann auch eine maximale Abweichung von 25%.

Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der Bremswirkung bei nicht verwertbaren Messungen an einem Bremsenprüfstand bietet die Prüfung durch einen Fahrversuch. Dabei ist die Verwendung eines Messgeräts nicht zwingend erforderlich. Der Fahrversuch wird zusammen mit einem Zugfahrzeug durchgeführt, wobei nur der Anhänger abgebremst wird. Die Gleichmäßigkeit der Bremswirkung (Einhaltung der Spur, Blockierverhalten) kann so durch einen Prüfer kontrolliert werden.

Die Abbremsung beim Anhänger im Fahrversuch lässt sich folgend berechnen:

$$Z_R = (Z_{R+M} - R) * \frac{P_M + P_R}{P_R} + R$$

- Z_R : Abbremsung des Anhängers [%]
- Z_{R+M} : Abbremsung der Fahrzeugkombination nur mit der Bremsanlage des Anhängers [%]
- R : Rollwiderstand [%], kann näherungsweise 1,5% angenommen werden
- P_M : stat. Normalkraft des ziehenden Fahrzeugs
- P_R : stat. Normalkraft des Anhängers [2][4]

3 Auflaufbremsanlage

Bei Anhängern der Klasse O2 sind Auflaufbremsanlagen verbaut. Diese müssen den in Kapitel 2.4 beschriebenen Richtlinien entsprechen. Die Anlage soll den Anhänger durch das Auflaufen auf das Zugfahrzeug abbremsen, beim Rückwärtsfahren einen Freilauf ermöglichen und beim Abstellen ein Wegrollen verhindern. In diesem Kapitel werden der Aufbau und die Wirkung einer solchen Anlage dargestellt, beschrieben und erklärt.

3.1 Aufbau und Wirkungsweise

Die Auflaufbremsanlage besteht aus mehreren Komponenten. Mit einigen Ausnahmen sind alle Anhänger mit einer mechanischen Auflaufeinrichtung verbaut. Die Abbildung 14 zeigt den schematischen Aufbau. Diese z-förmige Konstruktion ermöglicht das Umwandeln von Druck auf Zug.

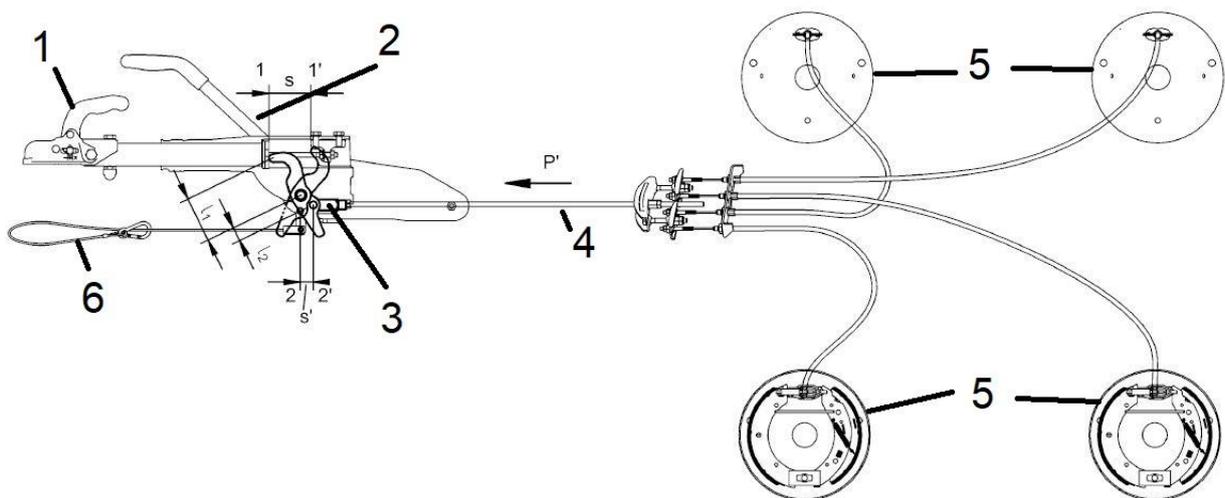


Abbildung 14: Schematische Darstellung einer mechanischen Auflaufbremsanlage [1, S. 314]

Links im Bild befindet sich die Anhängerkupplung (1). Diese wird an das Zugfahrzeug gekoppelt und ist somit durch die Arretierung der Anhänger fest verbunden. Im Punkt (2) ist die Auflaufeinheit abgebildet. Der lange Hebel ist für die Betätigung der Feststellbremse. Beim Abstellen des Anhängers und Betätigen des Hebels wird der Anhänger gegen Wegrollen gesichert. Weiter befindet sich unter einer Manschette eine Schubstange und ein Auflaufdämpfer. Beim Bremsvorgang bewegt sich die Schubstange entgegengesetzt der Fahrtrichtung und überträgt die Kraft auf den Umlenkhebel (3). Der Dämpfer sorgt für ein ruckfreieres Bremsen. Über das Bremsgestänge (4) wird die Kraft auf die Radbremsen (5) verteilt. Zu sehen sind vier Radbremsen an zwei Achsen. An jedem Rad wird bei richtiger Einstellung gleich stark gebremst. Eine Sicherung (6) soll beim Verlieren des Anhängers dafür sorgen, dass dieser abrupt von selbst gebremst wird und zum Stehen kommt.

Die auflaufgebremsten Anhänger haben den Vorteil, dass sie an jedes Zugfahrzeug, die eine Anhängerkupplung verbaut haben, angehängen werden können. Das Bremssystem des Zugfahrzeugs spielt dabei keine Rolle. Zudem wirkt die Bremse selbsttätig und ist von der Last abhängig. Wie man in der schematischen Abbildung erkennen kann, gibt es aber auch einige Nachteile, die das System mit sich führt. Verschleiß an der Bremse führt zu einem erhöhten Spiel in der Einheit. Dadurch setzt die Wirkung der Bremse erst später ein, was zu einem längeren Bremsweg führt. Eine regelmäßige Wartung ist also dringend erforderlich.

Seit 1991 ist an auflaufgebremsten Anhänger eine Rückfahrautomatik Pflicht. Erste Einführungen gibt es seit 1970. Diese ermöglicht ein Rückwärtsfahren, ohne dass der Anhänger dabei bremst.

Bremsvorgang

Beim Bremsen des Zugfahrzeugs läuft der Anhänger auf. Dabei entsteht zwischen Anhänger und Zugfahrzeug eine Kraft, die entgegengesetzt der Auflaufrichtung wirkt. Durch das Auffahren fährt die Zugstange in der Abbildung 15 nach rechts ein und drückt gegen den Übersetzungshebel. Diese Kraft ist abhängig von der Abbremsung des Zugfahrzeugs und der Beladung des Anhängers. Je höher die Gesamtmasse, umso mehr drückt der Anhänger aufgrund der höheren Trägheit auf die Auflaufeinheit. Durch ein bestimmtes Übersetzungsverhältnis des Hebels wird die Kraft zusätzlich verstärkt. Diese Kraft wird über das Bremsgestänge weitergeleitet und liegt nahezu verlustfrei und bei exakter Einstellung der Anlage an den Radbremsen an.

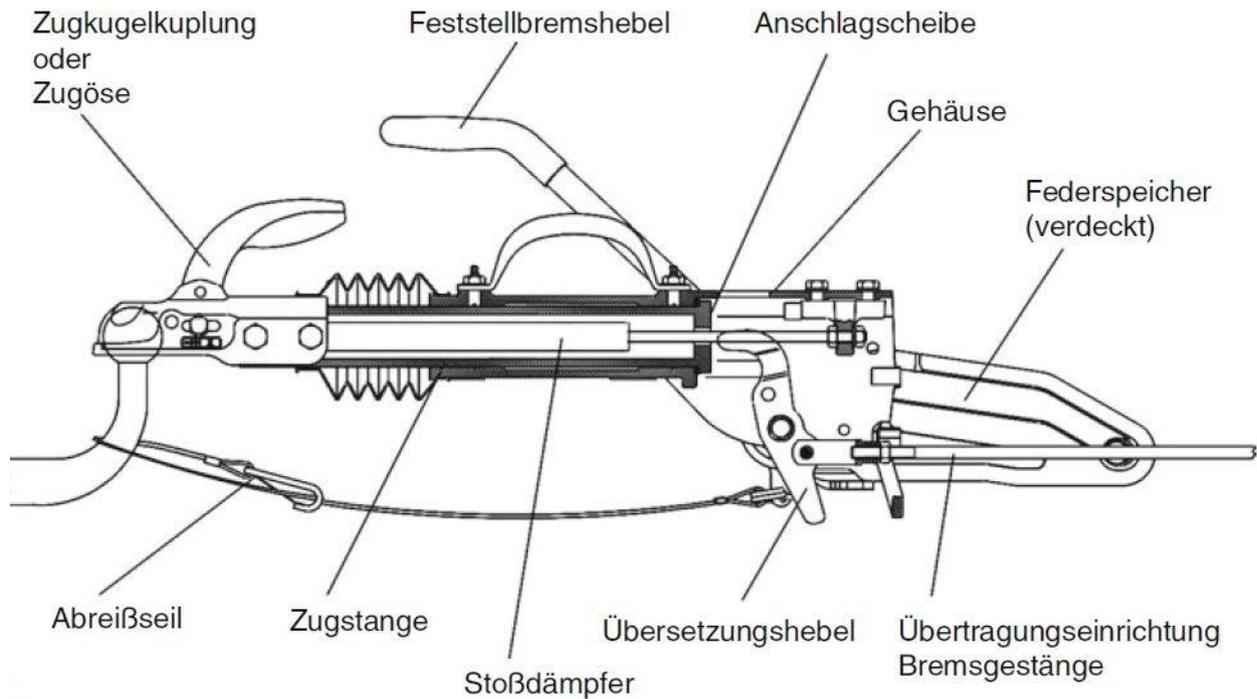


Abbildung 15: Mechanische Auflaufbremsanlage [1, S. 315]

Am jeweiligen Rad ist eine Trommelbremse verbaut. Darin sind Bremsbeläge verbaut, die durch das Ziehen des Bremsgestänges gegen die Trommel drücken. Das entstehende Bremsmoment durch die Reibung bringt den Anhänger zum Stehen. Beim Anfahren des Zugfahrzeugs wird die Zugstange zurückgeschoben, es liegt keine Kraft mehr an der Bremse an und der Anhänger rollt frei. Dieses System kann auch in hydraulischer Ausführung verbaut sein. Die Funktion ist ähnlich der mechanischen Auflaufbremsanlage. Das Gespann führt zu einem angenehmeren und verbessertem Bremsverhalten. Die Kosten dieser Ausführung sind deutlich höher.

Das Bremsen durch das Auflaufen des Anhängers im normalen Fahrbetrieb wird auch Betriebsbremse genannt. Ein Anhänger muss auch eine Feststellbremse verbaut haben. Diese muss hingegen rein mechanisch wirken. Durch Anziehen des Feststellbremshebels wird die Kraft über das Bremsgestänge zur Radbremse weitergeleitet. Der Federspeicher verhindert ein eigenständiges Lösen des Hebels.

Das Abreißseil soll seinen Zweck beim ungewollten Verlieren des Anhängers vom Zugfahrzeug erfüllen. Es ist zu einem am Zugfahrzeug und zum anderen am Anhänger befestigt. Beim Verlieren des Anhängers löst das Seil das Betätigen des Feststellbremshebels aus. Bei einer definierten Kraft oberhalb von 5000N reißt das Seil an einer Sollbruchstelle vom Zugfahrzeug ab. Durch das Auslösen des Hebels kommt es zur sofortigen Notbremsung des Anhängers. Damit in einem solchen Notfall das Abreißseil einwandfrei funktioniert, muss es beim Anhängen des Anhängers richtig verlegt sein.

3.2 Bauarten der Trommelbremse

Es gibt unterschiedliche Arten der Trommelbremse. Sie alle haben den gleichen Zweck. Eine möglichst große Reibung zwischen Bremsbelag und Bremstrommel soll erzeugt werden, damit das Fahrzeug schnell zum Stehen gebracht werden kann. Auch bei Kleinwagen werden heutzutage noch Trommelbremsen verbaut. Weitere Anwendungen findet man bei schweren Nutzfahrzeugen und Anhängern. Durch die geschlossene Bauweise ist die Bremse von Dreck von außen geschützt. Dadurch gelangt der Bremsstaub auch nicht heraus. Die Feststellbremse ist einfach integriert. Das System ist langlebig und preisgünstig. Die Trommelbremse weist aber auch einige Nachteile auf. Sie ist thermisch nur gering belastbar und durch die kompakt geschlossene Bauart kann die Wärme nicht optimal abgeführt werden. Die Wartung ist zeitaufwendig und demnach teuer.

Das Vorhandensein der Bauteile einer Trommelbremse ist bei den verschiedenen Arten gleich. Die Bremstrommel ist auf der Radnabe des Anhängers befestigt. Sobald der Anhänger rollt, dreht sich die Bremstrommel mit gleicher Geschwindigkeit mit. Unter der Bremstrommel befinden sich Bremsbacken, auf denen die Bremsbeläge sitzen. Auf einem Bremsträger sind weitere Kleinteile verbaut, welche auf der Seite der Radaufhängung befestigt sind. Dieser dreht sich demnach nicht beim Rollen des Anhängers. Beim Auflaufen des Anhängers wird eine Zugkraft erzeugt, die ein Anpressen der Bremsbacken durch einen Spreizschloss gegen die rotierende Bremstrommel erzeugt. Ist der Aufbau hydraulisch so befindet sich anstelle des Spreizschloss ein Radbremszylinder. Die Abbildung 16 zeigt die Trommelbremse mit hydraulischer Betätigung.

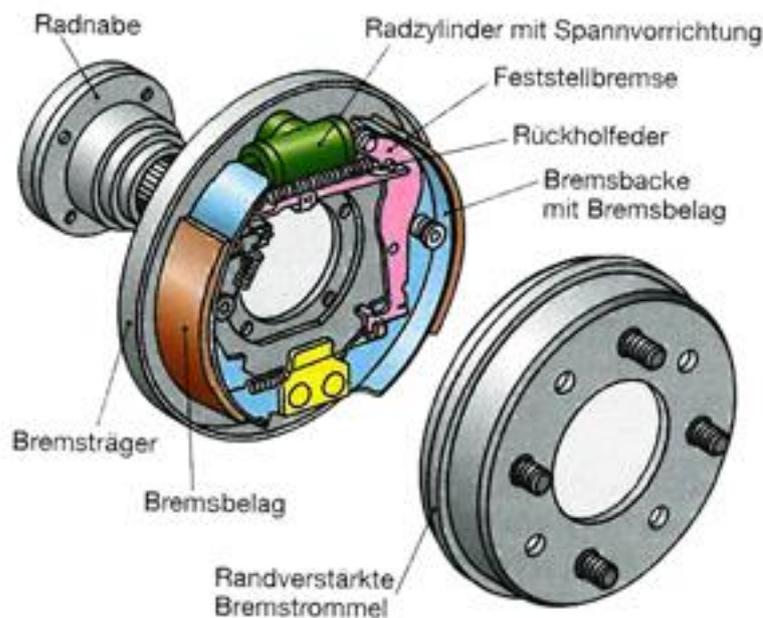


Abbildung 16: Aufbau einer Trommelbremse [17]

Die Selbstverstärkung ist bei der Trommelbremse ein wichtiger Begriff. Das, durch die Reibung zwischen Bremsbelag und der inneren Oberfläche der Bremstrommel erzeugte

Drehmoment bewirkt, dass die auflaufende Backe in die Trommel hineingezogen wird. Es kommt an dieser Stelle zu einer Verstärkung der Bremswirkung und wird mit dem Bremskennwert C ausgedrückt. Dieser ist bei den verschiedenen Bauweisen unterschiedlich.

Ein großer Nachteil der Trommelbremse ist die schlechte thermische Belastbarkeit. Bei einer Dauerbremsung, z.B. bei Gefälle, kommt es durch die Überhitzung zum Nachlassen der Bremswirkung (Fading). Dadurch verringert sich die Reibung zwischen Belag und Trommel. Außerdem kann sich die Trommel verformen, wodurch sich die Bremsfläche verringert.

Die häufigste verwendete Bauweise ist die sogenannte Simplex-Trommelbremse. Neben ihr gibt es vier weitere Bauweisen, die sich nach Art der Betätigung und Abstützung der Bremsbacken unterscheiden. Dadurch können verschiedene Vor- und Nachteile realisiert werden. Es folgt ein detaillierter Aufbau der Simplex-Bauweise und eine grobe Darstellung der anderen Bauarten.

3.2.1 Simplex-Trommelbremse

Der Aufbau der mechanischen Simplex-Trommelbremse ist in der folgenden Abbildung 17 dargestellt. Auf einer Achse ist jeweils links und rechts die Radbremse verbaut. Es gibt eine auf- und eine ablaufende Bremsbacke. Beim Vorwärtsfahren (hier im Bild gegen den Uhrzeigersinn) ist die linke Bremsbacke die auflaufende und die rechte die ablaufende. Beim Bremsvorgang wird das Spreizschloss über das Bremsgestänge betätigt, sodass eine Kraft die Bremsbacken mit den Belägen an der oberen Stelle gegen die Bremstrommel drücken. Die Bremsbacken sind unten um einen Drehpunkt gelagert. Die Druckfedern halten die Bremsbacken an dem Bremsbackenträger fest.

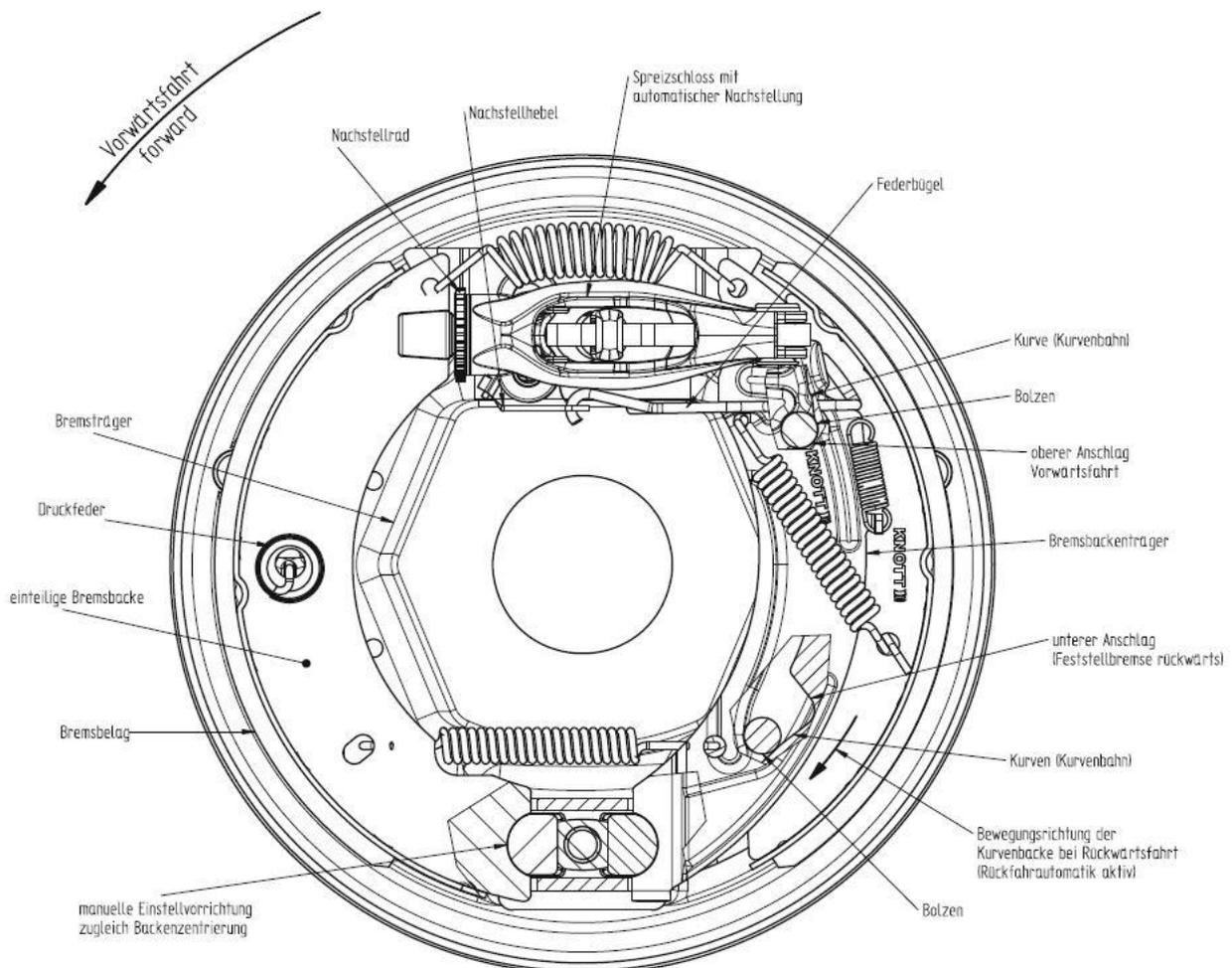


Abbildung 17: Mechanische Radbremse mit Rückfahrautomatik und automatischer Nachstellung [1, S. 317]

Diese Ausführung ist mit einer automatischen Nachstellung verbaut. Durch den ständigen Verschleiß der Bremsbeläge beim Bremsen kommt es zu einem immer größer werdenden Luftspalt zwischen Bremsbelag und Bremstrommel. Die automatische Nachstellung sorgt dafür, dass die Bremsbeläge dauerhaft und von allein nachgestellt werden und es so zu keinem wachsendem Luftspalt führt. Besitzen Trommelbremsen nicht diese Ausführung, so setzt die Wirkung der Bremse immer später ein. Durch regelmäßige Wartung und manueller Einstellung der Bremse kann der Luftspalt am Nachstellrad angepasst werden. Ein Vorteil dieser Simplex-Bauweise ist die gleichmäßige Wirkung beim Vorwärts- und Rückwärtsfahren. Die anfangs beschriebene Selbstverstärkung ist hingegen nur gering.

Beim Rückwärtsfahren muss ebenfalls eine Automatik dafür sorgen, dass der Anhänger nicht dauerhaft gebremst wird. Ohne einen dafür vorgesehenen Mechanismus würde die Trommelbremse nicht wissen, ob man nach vorne oder hinten fährt. In beiden Fällen würden die Räder stark bremsen bzw. blockieren. Die Automatik erkennt ein Rückwärtsfahren und verhindert durch das Abgleiten der Bremsbeläge nach Innen ein volles Anlegen der Bremsbeläge an der Bremstrommel. Konstruktiv bedingt liegen 10-20% Bremsleistung immer an. Erst nach Überwinden des Punktes greift die Rückfahrautomatik ein.

Beim Ändern der Drehrichtung (Vorwärtsfahrt) werden die Bremsbacken wieder in die Ursprungsform zurück geschwenkt. Das normale vollständige Bremsen im Betrieb ist wieder möglich. Die Rückfahrautomatik ist seit 1991 Pflicht. [1]

3.2.2 Weitere Arten

Im Laufe der Entwicklung sind mehrere Bauweisen der Trommelbremse entstanden. Neben der Simplex-Bauweise gibt es vier weitere, die aber weniger Verwendung heutzutage finden. Sie unterscheiden sich in der Art der Betätigung und Lagerung der Bremsbacken.

Duplex-Trommelbremse

Bei der Duplex-Bauweise hat jede Bremsbacke an einer Seite eine Krafteinleitung und ist auf der jeweils anderen Seite fest gelagert. Das hat den Vorteil, dass beide Bremsbeläge auflaufend sind und damit auch bis Faktor 7 selbstverstärkend wirkt. Bei gleicher Bremskraft kann eine 50% höhere Bremswirkung erreicht werden als bei der Simplex-Bauweise. Aufgrund zwei auflaufender Bremsbacken bewirkt man eine Selbstverstärkung nur in eine Drehrichtung. Beim Rückwärtsfahren ist die Bremswirkung deutlich kleiner, da beim Wechseln der Drehrichtung zwei ablaufende Bremsbacken vorliegen.

Duo-Duplex-Trommelbremse

Die Duo-Duplex-Bauweise ist eine Erweiterung der Duplex-Bauweise. Es wirkt eine Kraft an jeweils beiden Seiten einer Bremsbacke. Ermöglicht wird es durch zweifach wirkende Radzylinder. Damit umgeht man das Problem der geringeren Bremswirkung einer Drehrichtung. Es gibt weder eine ab- noch eine auflaufende Seite. Dadurch entfällt die Selbstverstärkung, hat aber unabhängig von der Drehrichtung eine gleich hohe Bremskraft. Der Bremskennwert liegt bei 7 in beiden Richtungen.

Servo-Trommelbremse

Der Aufbau ähnelt dem der Simplex-Bauweise. Durch eine Krafteinleitung eines doppelseitigen Radzylinders auf die Bremsbacken einer Seite wird Bremswirkung erzeugt. Der Unterschied liegt in der Lagerung der Backen. Diese sind bei dieser Variante im unteren Punkt schwimmend gelagert. Ein einseitig wirkender Druckbolzen zwischen den Backen überträgt die Kraft von der auflaufenden auf die ablaufende Backe. Es kommt zu einer noch höheren Selbstverstärkung in eine Drehrichtung. Der Bremskennwert kann auf 9

steigen. Beim Rückwärtsfahren kann die Selbstverstärkung nicht erreicht werden. Sie verhält sich wie bei der Simplex-Bauweise.

Duo-Servo-Trommelbremse

Diese Bauweise ist eine Optimierung der Servo-Trommelbremse. Die schwimmende Lagerung im unteren Bereich bleibt bestehen. Ein doppelwirkender Radzylinder erzeugt eine Krafteinleitung auf beide Bremsbacken auf eine Seite. Der Druckbolzen kann im Vergleich beidseitig bewegt werden. Dadurch wird das Problem beim Rückwärtsfahren gelöst. Diese Bauweise ermöglicht eine Selbstverstärkung um das 9fache in beide Drehrichtungen und ist die höchstmögliche aller Bauweisen.

In der Abbildung 18 sind alle Ausführungen mit Ausnahme der Servo-Bauweise in einem einfachen Schema dargestellt. Alle haben eine außenliegende Trommel, in der von innen Bremsbacken mit ihren Belegen durch eine Krafteinleitung gedrückt werden. Der Darstellung sind die Art der Lagerung der Bremsbacken und die jeweilige Krafteinleitung zu entnehmen.

Die Servo-Trommelbremse gleicht dem Aufbau der Duo-Servo, weshalb dieser in der Darstellung nicht abgebildet ist. Lediglich der unten liegende Bolzen weist in seiner Ausführung Unterschiede auf.

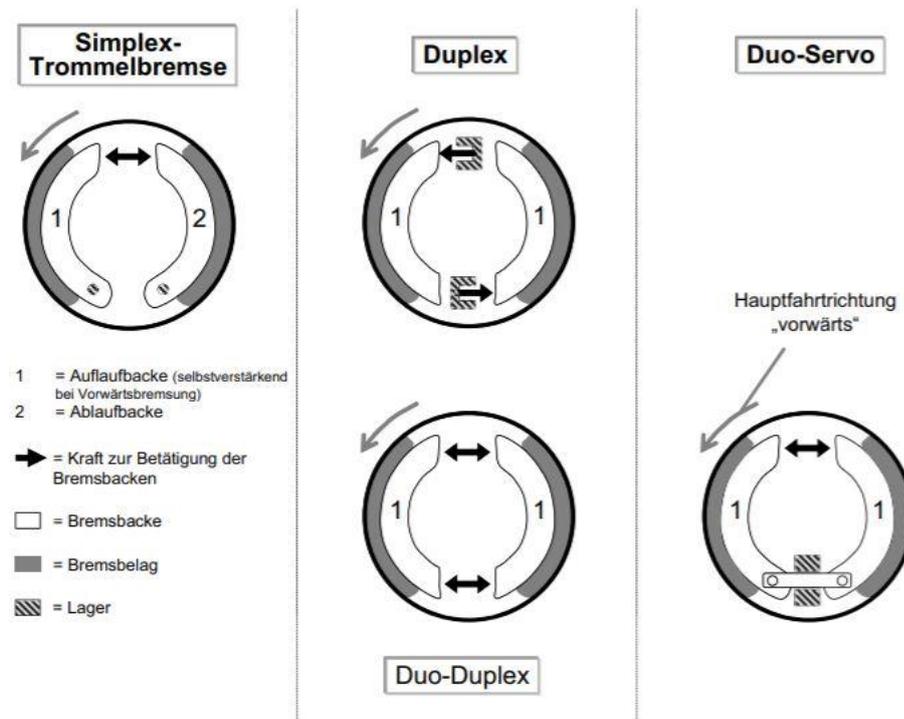


Abbildung 18: Schematische Darstellung der verschiedenen Bauarten der Trommelbremse [11, S. 42]

Aufgrund der einfachen und preiswerteren Bauweise der Simplex-Trommelbremse, kommt diese überwiegend in den heutigen Fahrzeugen vor. Die abschließende Abbildung 19 zeigt den Vergleich der Selbstverstärkung aller Bauweisen.

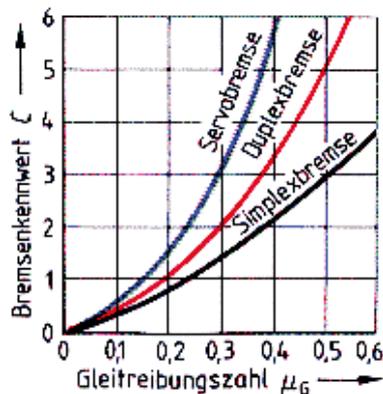


Abbildung 19: Bremsenkennwert [8]

Auf der y-Achse ist der Bremsenkennwert C abgebildet. Auf der horizontalen x-Achse ist die Reibungszahl μ_G abgetragen. Dies ist ein Wert, der abhängig vom Zustand der Bremsbeläge und -trommel ist. Zu erkennen ist ein steigender Bremsenkennwert bei einer steigender Reibungszahl. Dargestellt sind drei verschiedene Bauarten der Trommelbremse. Die beiden anderen Bauweisen, Duo-Servo und Duo-Duplex sind nicht zu sehen, da der Faktor gleich der Servo- bzw. der Duplex-Bauweise entspricht. Die Selbstverstärkung der Servo- bzw. Duo-Servo-Bauweise ist am größten, aber auch stark von der Reibungszahl abhängig. Durch die erhöhte Gefahr des Fadings schwanken die Bremsenkennwerte erheblich. Ähnlich verläuft die Kennlinie der Duplex-Bauweise. Die Simplex-Bauweise hat im Vergleich zu allen anderen die geringste Selbstverstärkung. Die Werte variieren beim Verringern der Reibungszahl nicht so stark. Die einfache und kostengünstige Bauweise hat sich am heutigen Markt durchgesetzt. Zudem benötigt der Fahrer beim Rückwärtsfahren eines Anhängers keine Selbstverstärkung. Die Geschwindigkeiten sind so gering, dass der Sinn und Zweck nicht erfüllt wird. [16]

3.3 Mögliche Fehlerquellen an der Bremsanlage

Die Bremsanlage eines auflaufgebremsten Anhängers besteht aus mehreren beweglichen und festen Bauteilen. Durch die Benutzung verschleiben Bauteile, werden beschädigt oder gehen kaputt. In dem Kapitel werden mögliche Fehler einer solchen Bremsanlage aufgezählt und beschrieben.

Der wohl häufigste Fehler ist der Verschleiß der Bremsbeläge. Bei jedem Bremsvorgang schleifen die Beläge an der Innenseite der Bremstrommel. Nach einer gewissen Zeit sind die Beläge verschlissen. Die Wirkung der Bremsanlage lässt stark nach. Es ist ein metallisches Geräusch zu hören. Die Trommel verschleißt von innen ebenfalls. Eine Erneuerung der Beläge und Trommel und Grundeinstellung der Bremse ist zu erfolgen. Da die

Bauteile sich ständig unter mechanischer Bewegung befinden, kann es selten auch zum Ermüdungsbruch der Kleinteile kommen. Die Funktion der Bremse ist dann nicht mehr gegeben.

Besitzt die Bremse keine automatische Nachstellfunktion der Bremsbeläge, erhöht sich der Luftspalt zwischen Bremsbelag und Bremstrommel. Das hat zur Folge, dass der Anhänger auf das Zugfahrzeug aufläuft und erst später gebremst wird. Das zusätzliche Gewicht drückt auf das Zugfahrzeug. Der Bremsweg des Gespanns wird größer. Ist der Luftspalt so groß, fährt der Anhänger voll auf. Es kommt zum Knall in der Auflaufeinheit, welche dadurch zusätzlich Schaden nehmen kann.

Seltener können die Bremsseile beschädigt werden, welche beim Abriss die einleitende Kraft nicht an die Radbremse weiterleiten kann. Der Anhänger würde in diesem Fall ohne Bremswirkung an einem oder mehreren Rädern mitfahren.

Durch ungleichmäßigem Verschleiß der Bremsbeläge, kommt es zur Fehleinstellung der gesamten Anlage. Dadurch wird der Anhänger unterschiedlich stark abgebremst. Diese Fehleinstellung wird im späteren Verlauf der Bachelorarbeit anhand von Versuchen nachgestellt und durch Prüfungen bemessen.

4 Prüfmittel

Prüfstände sind Anlagen, mit denen technische Gegenstände mittels Messgeräte überprüft werden können. Bei der Durchführung einer Hauptuntersuchung an einem Anhänger werden Prüfstände zur Überprüfung der Wirkung der Bremsanlage verwendet. Klassisch erfolgt es mit einem sogenannten Rollenbremsprüfstand. Wie in den Bremsenrichtlinien im Kapitel 2.4 beschrieben, ist eine Überprüfung mit einem Fahrversuch eine weitere Möglichkeit. Einige Werkstätten besitzen anstatt des Rollen- einen Patten-Bremsprüfstand. Diese drei Varianten werden im Folgenden in ihrem Aufbau, Funktion und Handhabung dargestellt und erklärt. Die Aufgabe dieser Abschlussarbeit ist es unter anderem ein weiteres Konzept vorzustellen, welches im Anschluss der drei Prüfmittel erfolgt.

4.1 Rollenbremsprüfstand

Die gängigste Methode die Wirkung einer Bremsanlage zu bewerten, erfolgt mit einem Rollenbremsprüfstand. In fast jeder Prüfstation oder Werkstatt ist eine solche Anlage verbaut. Mit ihr kann jegliche Art von Fahrzeugen überprüft werden. Ein klassischer Bremsenprüfstand ist in der Abbildung 20 dargestellt. Er besteht aus mehreren Rollen, Elektromotoren, Sensoren und einer Anzeige. Der Prüfstand ist im Boden tief und fest verankert, wodurch nur die Rollen und die Anzeige von außen zu sehen sind. Beim Einfahren eines Fahrzeugs fangen die Walzen an zu drehen. Es gibt jeweils zwei Walzen pro Achse, die mit entsprechenden Elektromotoren angetrieben werden. Das hat den Vorteil, dass die Bremskräfte beider Seiten einer Achse gemessen werden können. Die Walzen werden bis zu einer Geschwindigkeit von min. 4km/h bei den Fahrzeugklassen M und N und min. 2km/h bei allen anderen Fahrzeugklassen beschleunigt. Beim Betätigen der Bremse wird die Geschwindigkeit der Walzen bis zu einem bestimmten Punkt aufrecht gehalten. Die dafür notwendige Antriebskraft der Elektromotoren ist der Bremskraft gleichgestellt und erzeugt ein Stützmoment in den Lagern der Elektromotoren. Die wird anhand von Sensoren gemessen und an der Anzeige abgebildet. Die computerunterstützte Technik zeigt nicht nur die Bremskräfte beider Seiten einer Achse direkt an, sondern auch um wie viel Prozent die Werte voneinander abweichen. Mit Hilfe eines geeigneten Rechners kann eine Verbindung zum Prüfstand hergestellt werden und so direkt die Werte übertragen und der Vergleich mit der Mindestabbremung gezogen werden.

Es gibt sie in unterschiedlichen Ausführungen und Größen, damit alle Fahrzeugklassen überprüft werden können.



Abbildung 20: Rollenbremsprüfstand

Die Prüfstände müssen den Bremsprüfstandsrichtlinien entsprechen. Seit dem 1ten Januar 2020 gelten einige neue Anforderungen, welche eingehalten werden müssen. Eine standardisierte Datenschnittstelle ermöglicht dem Prüfer ein Übertragen der Bremswerte in Echtzeit auf einen Rechner. So werden Ablesefehler von der Anzeige vermieden. Des Weiteren gelten neben vielen weiteren folgende wichtigste technische Anforderungen:

- Die Rollendurchmesser müssen $\geq 200\text{mm}$ sein
- Bei einem Schlupf² von $27 \pm 3\%$ muss der Prüfstand automatisch abschalten
- Es muss eine bestimmte Reibung zwischen Reifen und Rolle vorliegen (Reibungskoeffizient im trockenen Zustand min 0,7 und im nassen Zustand min. 0,6)

Die Prüfstände müssen einen gerätebezogenen Eichnachweis oder Messmittelzertifikat besitzen. Eine regelmäßige erweiterte Stückprüfung und Kalibrierung müssen von zertifizierten Prüfern durchgeführt werden. Der Nachweis gilt für 24 Monate. Neben einer Sichtprüfung auf Intaktheit der Anlage erfolgt bei der Kalibrierung ein zusätzlicher Abgleich von Messungen. Der Toleranzwert der Messergebnisse liegt bei nur 1%. Ein aktueller Eichnachweis muss vorliegen, da sonst die Bremsenprüfung für die Hauptuntersuchung ungültig ist. Weitere Vorteile dieser Anlage sind:

- Der Prüfstand kann im freien verbaut werden
- Wenig Platzbedarf
- Schnelle Überprüfung der Wirkung der Bremsanlage
- Abhängig von der Ausführung können alle Fahrzeugklassen geprüft werden
- Mehrfache Prüfung unter gleichen Bedingungen realisierbar

²Der Schlupf ist das Abweichen von Drehzahlen zweier in Kontakt stehender Gegenstände, hier die Walzen des Prüfstands und die Räder des Anhängers [9, S. 491]

- Einfache Handhabung

Ein großer Nachteil ist die Beurteilung der Achslastverteilung im dynamischen Zustand. Das Fahrzeug verhält sich bei der Bremsenprüfung bis zum Blockieren der Räder ruhig (statisch). Beim Fahren auf der Straße ändert sich die Verlagerung der Trägheit des Fahrzeugs beim Beschleunigen und Abbremsen. Die Achsen werden aufgrund der hinzukommenden Dynamik unterschiedlich belastet. Dies kann bei der Prüfung in einem Rollenbremsprüfstand nicht berücksichtigt werden. [2][3]

4.2 Fahrversuch

Eine andere Möglichkeit die Wirkung der Bremsanlage zu beurteilen ist anhand eines Fahrversuchs. Dafür wird ein Zugfahrzeug benötigt, um das Gespann auf eine Geschwindigkeit zu bringen. Diese Alternative wird eher weniger angewandt, da man die Wirkung mit keinen Zahlen belegen kann. Nach der Bremsenrichtlinie kann die Überprüfung in einem Fahrversuch erfolgen, wenn kein Rollenbremsprüfstand vorhanden ist, einer vorhanden, aber defekt ist oder wenn keine verwertbaren Messungen angezeigt werden.

Für den Fahrversuch wird neben einem passenden Zugfahrzeug ein größeres Gelände benötigt, auf dem man die Messungen durchführen kann. Ein passendes Messgerät ist nicht zwingend vorgeschrieben. Das Gespann wird auf eine Geschwindigkeit von 10-20km/h beschleunigt. Beim Bremsen des Zugfahrzeugs, läuft der Anhänger auf diesen auf und beginnt aufgrund der Auflaufbremsanlage zu bremsen. Der Prüfer muss bei diesem Vorgang den Anhänger genaustens beobachten. Es dürfen keine Ungleichmäßigkeiten in der Abbremsung erfolgen, der Anhänger sollte eine grade Spur beibehalten und idealerweise beide Räder einer Achse zum Blockieren bringen.

Um aussagekräftige Messergebnisse vorzuweisen, kann die Prüfung mit einem Messgerät unterstützt werden. Das Messgerät muss neben der Geschwindigkeit auch die Beschleunigung messen und aufnehmen können. Rutschsicher muss es am Anhänger angebracht werden, um verfälschte Ergebnisse zu minimieren. Das Abbremsen des Gespanns erfolgt lediglich durch den Anhänger, indem die Feststellbremse während der Fahrt gezogen wird. Mit den gemessenen Werten kann die Abbremsung berechnet und mit der Mindestabbremsung verglichen werden.

Der Fahrversuch ist im Vergleich zum Rollenbremsprüfstand nicht nur weniger aussagekräftig, es kann zudem z.B. nicht festgestellt werden, ob eine mangelhafte Bremswirkung auf einer Seite einer Achse besteht. Das heißt, dass eventuell vorhandene Mängel im Fahrversuch unentdeckt bleiben, und die Bewertung der Bremswirkung trotzdem als positiv abgeschlossen wird. Ein weiterer Nachteil ist der Zeitaufwand und der Platzbedarf. [2]

4.3 2-Platten-Bremsprüfstand

Der 2-Platten-Bremsprüfstand ist eine weitere Anlage, mit der die Wirkung einer Bremsanlage überprüft werden kann. Er besteht aus Platten, Sensoren und einer Anzeige (siehe Abbildung 21). Das zu prüfende Fahrzeug muss auf eine Geschwindigkeit zwischen 8-12km/h beschleunigt und auf den Platten voll abgebremst werden. Die Platten bestehen aus einem Ober- und einem Unterteil. Das Oberteil ist mit einer besonderen Beschichtung versehen, um die Reibung beim Bremsen zwischen den Rädern und der Platte zu erhöhen. Sie ist in Längsrichtung beweglich gelagert und mit der Unterplatte mit einem Messelement verbunden. Die Unterplatte ist mit dem Untergrund befestigt. Beim Bremsvorgang verschiebt sich die obere Platte in Längsrichtung um einige Millimeter. Mittels Sensoren wird die Verschiebung gemessen, das elektrische Signal verarbeitet und als Bremskraft an der Anzeige ausgegeben. Neben den einzelnen Bremskräften einer Achse wird die Abweichung zueinander auch eingezeigt. Ein Radar misst anfangs die genaue Geschwindigkeit des Fahrzeugs.



Abbildung 21: 2-Platten-Bremsprüfstand

Auch für diese Anlage gelten vorgeschriebene Richtlinien. Seit dem 1ten Januar 2020 sind folgende zusätzliche Vorgaben in Kraft getreten:

- Standardisierte Schnittstelle zur Übertragung der Messdaten in Echtzeit
- Die Länge der Prüfplatten muss mindestens 1,5m betragen
- Inkorrekte Messungen dürfen nicht angezeigt werden

Der Nachteil des Rollenbremsprüfstands ist bei dem 2-Platten-Bremsprüfstand ein Vorteil. Durch das Bewegen und abrupte Abbremsen wird die dynamische Achslastverteilung berücksichtigt. Der Bremsvorgang ähnelt einem realen im Straßenverkehr. Eine Erweiterung um zwei weitere Platten (4-Platten-Bremsprüfstand) ermöglichen das Messen aller Bremskräfte bei einem Messvorgang. Die Kosten des Prüfstands sind geringer, aufgrund des einfacheren Fundaments. Der Rollenbremsprüfstand ist deutlich tiefer verbaut.

Ein Nachteil dieser Anlage ist im Vergleich zum Rollenbremsprüfstand der erhöhte Platzbedarf. Zudem benötigt es Übung die Platten genau zu treffen und im passenden Moment abzubremesen. Bei einer falschen Messung muss das Fahrzeug wieder zurückgefahren und anschließend erneut beschleunigt werden. Das beaufschlägt mehr Zeit. Zudem kann nicht jede Fahrzeugklasse überprüft werden. Für schwere Fahrzeuge ist die Anlage nicht geeignet. Die Platten würden beschädigt werden. [2][3]

4.4 Neues Konzept

Eine Aufgabe dieser Abschlussarbeit ist es unter anderem ein neues Konzept zu erstellen, um die Bremsanlage zu beurteilen. Bremsenprüfstände sind ein alt bewehrtes Mittel, welches in Laufe der Jahren nur verbesserte Messtechniken vorweist. Ein neuen Prüfstand nur für auflaufgebremste Anhänger zu entwickeln gestaltet sich daher als unwirtschaftlich. Die Idee des Konzepts ist, durch eine Messeinheit Aufschlüsse über eine intakte Auflaufbremse zu erhalten.

4.4.1 Aufbau

Sie besteht aus einem verstellbarem Gestell für die Befestigung am Anhänger und einer Messeinheit, die Kräfte, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Verschiebung in Fahrzeuglängsrichtung erfassen kann. Dafür wird die Messeinheit mit dem Gestell auf der einen Seite auf der Deichsel und auf der anderen Seite auf der Anhängerkupplung befestigt. Beim Bremsvorgang fährt der Anhänger auf das Zugfahrzeug auf. Eine Kraft wird durch das Einfahren der Zugstange eingeleitet. Die Größe der Kraft wird dabei gemessen. Zusätzlich wird die Verschiebung der Zugstange gemessen. Diese beiden Werte in Abhängigkeit von der Beschleunigung und Geschwindigkeit sind für die Beurteilung von besonderer Wichtigkeit. Sie müssen gleich oder größer als sogenannte Vergleichswerte sein. Die Vergleichswerte sind ebenfalls Kräfte und Verschiebungen bei bestimmten Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, die der Anhänger mindestens erreichen muss, um eine positive Bewertung der Bremsanlage im Rahmen einer Hauptuntersuchung zu erlangen. Dafür müssten mehrere hunderte oder sogar tausende Messungen mit sämtlichen eingebauten Fehlern an allen möglichen auflaufgebremsten Anhängern durchgeführt werden. So erreicht man aussagekräftige Vergleichswerte, auf die Bezug genommen werden kann. Je verschlissener oder falsch eingestellter die Bremse, so ändert sich

die Kraft und Verschiebung. In der Abbildung 22 ist das Konzept auf einem Anhänger gezeichnet. Links im Bild ist die Deichsel. Verbunden an einem Zugfahrzeug mit der Anhängerkupplung (rechts). Über der Auflaufeinheit befindet sich die Messeinheit, befestigt mit einem Gestell am Anhänger. Sie ist zunächst einfach als Blackbox angenommen. Es wäre ein erster Entwurf für eine mögliche Umsetzung.

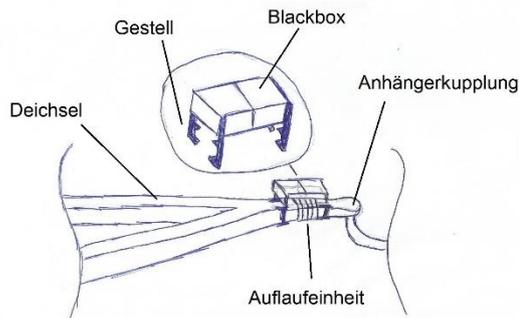


Abbildung 22: Konzeptidee

4.4.2 Durchführung

Der Ablauf der Messung ist recht einfach gehalten. Es wird die Messeinheit mit dem Gestell wie zuvor beschrieben am Anhänger befestigt. Durch das variable Gestell passt es sich an jeden Anhängertyp an. Zu beachten ist, dass es vor und nach der Auflaufeinheit befestigt wird, damit Kräfte und Wege gemessen werden können. Anschließend wird das Gespann auf eine bestimmte Geschwindigkeit gebracht und voll abgebremst. Die dadurch gemessene Kraft und Verschiebung durch die Messeinheit müssen gleich oder größer als die Vergleichswerte sein.

4.4.3 Vor- und Nachteile

Durch diesen Versuch werden keine Rückschlüsse auf die einzelnen Radbremsen und die Abweichung einer Achse gezogen. Durch die gemessenen Werte kann aber beurteilt werden, dass die Wirkung der Bremsanlage ausreichend ist. Ein weiterer Vorteil des Konzepts ist, dass man einen direkten Wert für die gesamte Verschiebung der Zugstange hat. Diese darf nach den aktuellen Richtlinien nicht mehr wie $2/3$ des gesamten Auflaufweges einfahren. Somit wird eine weitere Fehlerquelle beseitigt. Durch den genauen Wert der Verschiebung können zumindest grobe Rückschlüsse auf die Einstellung der Bremsanlage gefallen werden. Ein weiterer positiver Aspekt des Konzepts ist, die Möglichkeit der alleinigen Durchführung. Wie oben im Fahrversuch beschrieben oder auch bei der allgemeinen Überprüfung der Auflaufeinheit wird ein Helfer benötigt. Der fährt mit

dem Gespann, und der Prüfer beobachtet die Anlage beim Bremsvorgang. Durch die Messeinheit entfällt dieser Schritt. Der Prüfer kann die Messung völlig allein durchführen und erhält genaue Werte.

Die Messergebnisse könnten auf ein dafür geeigneten Rechner direkt wie bei den Prüfständen und dem Fahrversuch übermittelt werden. Dafür ist lediglich ein Programm nötig, dass die Vergleichswerte und die gemessenen Werte anzeigt. Dazu könnte eine sofortige positive oder negative Beurteilung dargestellt werden.

Ein Nachteil dieser Idee ist, dass keine genauen Ergebnisse der einzelnen Radbremsen ermittelt werden können.

Des Weiteren wird für diesen Versuch eine geeignete große Fläche benötigt, um auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu kommen – ähnlich wie im zuvor beschriebenen Fahrversuch.

Der letzte Nachteil ist das Erproben der Vergleichswerte durch etliche vorherige Fahrversuche. Das kostet neben der Zeit auch viel Geld.

In Kombination mit einem Rollenbremsprüfstand ergibt es ein vollständige Prüfung eines auflaufgebremsten Anhängers. Zu einem kann die einleitende Kraft und Verschiebung der Auflaufeinheit gemessen werden und zum anderen erhält der Prüfer durch den Prüfstand Informationen über die Höhe der einzelnen Bremskräfte an den Rädern.

5 Versuchsreihen

Der praktische und damit zweitgrößte Teil der Abschlussarbeit ist, anhand von mehreren Versuchsreihen aufzuzeigen, welche anderen Möglichkeiten neben dem Rollenbremsprüfstand vorliegen, die Wirkung der Auflaufbremsanlage in einer Hauptuntersuchung zu überprüfen. Wie zuvor theoretisch beschrieben gibt es neben dem Rollenbremsprüfstand zwei weitere Prüfmittel. Die insgesamt drei Möglichkeiten werden in diesem Kapitel praktisch umgesetzt, Ergebnisse miteinander verglichen und Gemeinsamkeiten oder auch Unterschiede aufgezeigt. Abschließend werden Berechnungen der Abbremsung und Abweichungen die ermessenen Ergebnisse untermauern.

5.1 Vorstellung des Prüfanhängers

Der Versuch wird mit einem zweiachsigen auflaufgebremsten Anhänger der Klasse O2 durchgeführt. Ausgewählt ist dafür der in der Abbildung 23 dargestellte Pferdeanhänger der Firma Böckmann. Es ist ein Zentralachsenanhänger (DC) mit zwei Achsen und ist mit der Kugelkopfkupplung für die Verbindung mit einem Zugfahrzeug ausgestattet. Aufgrund der eng beieinander liegenden Achsen wird er auch als Tandemanhänger bezeichnet. Der Achsabstand darf nicht über einem Meter liegen. Aufgrund dessen verhält er sich wie ein einachsiger Anhänger. Der Geradeauslauf wird durch die bessere Gewichtsverteilung auf beide Achsen gestärkt. In Kurvenfahrten kommt es zu einem höheren Reifenabrieb.



Abbildung 23: 2-achsiger Pferdeanhänger der Firma Böckmann

Der Anhänger ist speziell für den Transport von Pferden entwickelt und gebaut. Mit einem Leergewicht von nur 903kg und einem zulässigen Gesamtgewicht von 2400kg ist mit einer maximalen Zuladung von 1497kg für zwei Pferde Platz. Die Zuladung ergibt sich aus der Differenz des zGG und des Leergewichts. Die Bodenplatte besteht aus Aluminium zur Gewichts- und die spitze Form verhilft aus aerodynamischer Sicht zur Luftwiderstandsreduzierung. Die weiteren technischen Daten des Anhängers sind dem Fahrzeugschein im Anhang zu entnehmen.

5.2 Durchführung

Der Versuch gliedert sich in vier Versuchsreihen mit je drei Messungen mit den verschiedenen Prüfmitteln. Vor der Prüfung erfolgt eine Konditionierungsfahrt, um verfälschte Messergebnisse zu minimieren. Beginnend mit dem Rollenbremsprüfstand wird die erste Achse des Pferdeanhängers reingefahren. Um zusätzlich Kraft auf die Achse wirken zu lassen, wird der Prüfstand um einige Zentimeter hochgefahren. Das erzielt genauere und höhere Ergebnisse. Nach dem automatischen Anlaufen der Rollen kann die Wirkung der Bremse überprüft werden. Die Betriebsbremse wird durch ein langsames

Rückwärtsfahren des Zugfahrzeugs simuliert. Die Zugstange wird langsam eingedrückt und erzeugt dadurch eine Bremskraft an den Rädern. Die Messung ist beendet, sobald die Rollen des Prüfstandes blockieren oder der Anhänger aus den Rollen gedrückt wird. Ein erneutes Reinfahren in den Prüfstand ist für die Überprüfung der Feststellbremseanlage zu tätigen. Nach dem Anlaufen der Rollen wird der Hebel langsam angezogen bis auch hier die Rollen blockieren. Wichtig bei dieser Messung ist, dass das Zugfahrzeug gegen ein Mitziehen nach hinten gesichert ist. Dies kann durch das Anziehen der Handbremse oder ein dauerhaftes Betätigen der Bremse durch eine zweite Person im Zugfahrzeug erfolgen. Mit Hilfe eines Rechners und dem Programm „Mobile TÜV 2“ wird eine Verbindung zum Prüfstand hergestellt. Die direkt übertragenen Messwerte reduzieren das fehlerhafte Ablesen der Anzeige. In der Abbildung 24 ist ein Screenshot mit dem geöffnetem Programm und der Messung der Bremse dargestellt. Zunächst ist der richtige Prüfstand im oberen Bereich auszuwählen und eine Verbindung herzustellen. Je nach Achse (A1 oder A2) und Bremsanlage (BBA oder FBA) ist die richtige Prüfung zu starten. Die Bremskräfte F_B links (li) und rechts (re) und die Differenz (Diff) werden vom Prüfstand direkt übertragen.

Wählen Sie den Bremsprüfstand aus: <input checked="" type="radio"/> Rollenbremsprüfstand <input type="radio"/> 2-Plattenbremsprüfstand <input type="radio"/> 4-Plattenbremsprüfstand								
▶ Mindestabbremmung								
A1	BBA	<input type="text"/>	BBA Prüfung starten	FBA Prüfung starten				
	FBA	<input type="text"/>						
A2	BBA	<input type="text"/>	BBA Prüfung starten	FBA Prüfung starten				
	FBA	<input type="text"/>						

Abbildung 24: Screenshot Bremsenprüfung „Mobile TÜV 2“ am Rechner

Die zweite Messung erfolgt im Fahrversuch. Die Bremsanlage ist unverändert in einem einwandfreien Zustand. Hierfür wird das Gespann auf eine Geschwindigkeit zwischen 10-20km/h gebracht. Das Zugfahrzeug wird nun voll abgebremst. Dabei ist das Verhalten des Anhängers und die Auflaufbremseinheit zu beobachten.

Um die Bremsanlage mit einem Messgerät zu überprüfen, muss ein zweiter Prüfer während der Fahrt die Feststellbremse über den Hebel betätigen. Für diesen Versuch wird ein Messgerät, der HU-Adapter, benutzt (siehe Abbildung 25). Dieser kann unter anderem die Geschwindigkeit und Beschleunigung des Anhängers messen. Das Messgerät wird rutschfest im Anhänger verbaut und mit dem Rechner per Bluetooth verbunden. Es ist nur die Bremse des Anhängers zu betätigen, welcher das Gespann zum Stehen bringt. Die gemessenen Werte reichen für die Überprüfung aus, da sowohl die

Betriebsbremsanlage als auch die Feststellbremsanlage über ein und denselben Mechanismus greifen. Die Auswertung wird automatisch am Rechner angezeigt.



Abbildung 25: HU-Adapter als Messgerät

Die dritte Messung wird mithilfe des 2-Platten-Bremsprüfstand durchgeführt. Auch hier ist die Bremsanlage in der ersten Durchführung in einem optimal eingestellten unveränderten Zustand. Aus Platz- und Umsetzungsgründen wird das Gespann nicht auf eine bestimmte Geschwindigkeit und direkt auf den Platten zum Abbremsen gebracht. Sondern der Anhänger wird mit der ersten Achse auf den Prüfstand positioniert. Der Hebel für die Feststellbremse wird voll angezogen. Nun wird mit dem Zugfahrzeug angefahren. An der Anzeige und am Rechner werden nun die Bremskräfte der ersten Achse und die Abweichung zueinander angezeigt. Dieselbe Überprüfung erfolgt mit der zweiten Achse.

Für die weiteren Messungen werden an der Bremsanlage Fehler eingebaut und anschließend mit den beiden Prüfständen und im Fahrversuch erneut überprüft. Die Fehler sind unterschiedlich starke Abweichungen der Bremskräfte auf einer Seite beider Achsen (hier die rechte Seite):

- Versuch 1: keine Abweichung
- Versuch 2: ~25% Abweichung
- Versuch 3: ~50% Abweichung
- Versuch 4: 100% Abweichung

Für einen Vergleich des Beladungszustandes wird der Anhänger abschließend mit zwei Traktorreifen mit einem Gewicht von insgesamt 340kg beladen und Messungen auf den beiden Prüfständen mit einer optimal eingestellten Bremsanlage durchgeführt. Die Messung im Fahrversuch bleibt aus Sicherheitsgründen aus.

Ein Versuch besteht aus den drei oben beschriebenen Messungen. Die Abweichung ist durch das Drehen der Einstellschraube an der Trommelbremse zu realisieren (siehe Abbildung 26). Das Lösen um eine halbe Umdrehung entspricht bei diesem Anhänger eine Abweichung um ca. 25% und um 1,5 Umdrehungen um ca. 50%. Das Aushaken der

Bremsseile auf der rechten Seite beider Achsen bewirkt eine Abweichung von 100%. Insgesamt ergeben sich so zwölf Messungen plus zwei weitere mit Beladung.

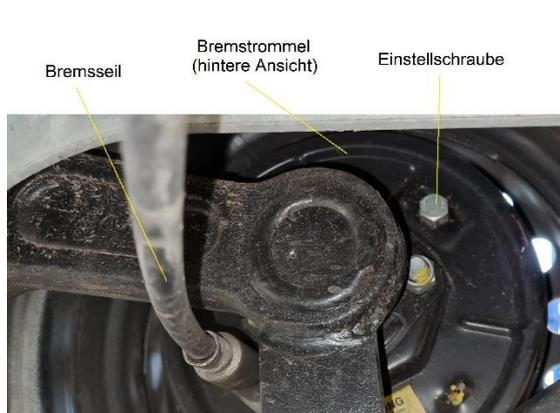


Abbildung 26: Ansicht Bremse von der Innenseite

5.3 Beobachtung und Messergebnis

In dem Kapitel werden Beobachtungen aller Versuche beschrieben. Zudem werden die Messergebnisse, die am Rechner angezeigt werden, dargestellt.

5.3.1 Versuch 1

Rollenbremsprüfstand

Die erste Messung am Rollenbremsprüfstand hat zu folgenden Ergebnissen geführt (siehe Tabelle 3):

Tabelle 3: Versuch 1: Messwerte am Rollenbremsprüfstand

	BBA [daN]		FBA [daN]		Abweichung [%]	
	Links	Rechts	Links	Rechts	BBA	FBA
1te Achse	75	72	183	175	4	4
2te Achse	49	53	127	135	8	6

Zu beobachten ist, dass grundlegend die Werte links zu rechts einer Achse sowohl bei der BBA als auch bei der FBA sich wenig unterscheiden. Eine geringe Abweichung ist abzulesen. Eine größere Differenz liegt zu der ersten und zweiten Achse und der BBA zur FBA vor. Die Rollen bei der Betätigung der Feststellbremse haben blockiert. Die Wirkung der Bremsanlage ist für das Bestehen der Hauptuntersuchung ausreichend.

Fahrversuch

Im Fahrversuch ist beim Abbremsen des Gespanns keine Veränderung der Spur oder sonstiges Fehlverhalten zu beobachten. Alle Räder haben sogar zum Blockieren geführt. Die Messung hat zu folgendem Ergebnis geführt (siehe Abbildung 27).

Fz-Ident-Nr.: WB0PHAAAA00262340
Erstzulassung: 06/2020
Zul. Gesamtmasse (kg): 2400

Hersteller: 6115 (SONST. ANH. HERSTELLER)
Typ: ADV00347 (PHA)
Fahrzeugklasse: O2

Abbremsung Z bezogen auf Prüfmasse: 23 %
 Mittlere Vollverzögerung: 2,3 m/s²
 Maximale Verzögerung: 2,5 m/s²
 Geschwindigkeit vor Bremsung: 14 km/h

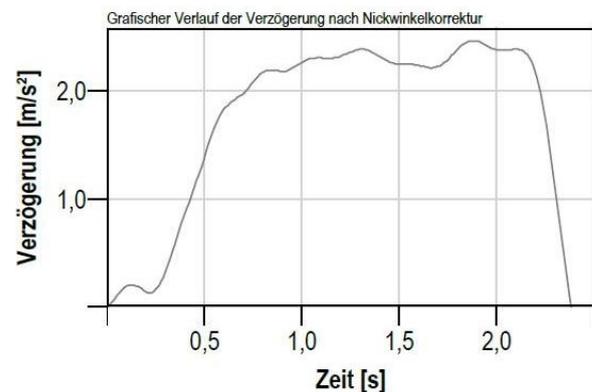


Abbildung 27: Versuch 1: Messdaten im Fahrversuch

Das Gespann ist auf eine Geschwindigkeit von 14km/h beschleunigt und anschließend durch das Betätigen des Hebels der Feststellbremse voll abgebremst. Der grafische Verlauf ist rechts im Diagramm dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit in Sekunden s und auf der y-Achse die Verzögerung in $\frac{m}{s^2}$ abgebildet. Kurz nach der zweiten Sekunde ist zu sehen, dass der Hebel für die Feststellbremse gezogen wird. Es wird eine Abbremsung bezogen auf das zulässige Gesamtgewicht von 2400kg von 23% bei einer mittleren Vollverzögerung von $2,3 \frac{m}{s^2}$ ermittelt. Die einzelnen Bremskräfte an den Rädern können nicht ermittelt werden. Da laut der Richtlinie ein Messgerät nicht zwingend notwendig ist, wird durch den Fahrversuch ein positiver Abschluss für die ausreichende Bremswirkung erzielt. Die gemessene Abbremsung entspricht nicht der genauen Abbremsung des Anhängers, da zusätzlich das Gewicht des Zugfahrzeugs mitwirkt. Diese wird im späteren Verlauf berechnet und mit der Mindestabbremsung verglichen.

2-Platten-Bremsprüfstand

Auf dem 2-Platten-Bremsprüfstand ist nichts Unerwartetes zu beobachten. Eine Verschiebung der Platten ist optisch nicht zu erkennen. In der Tabelle 4 werden die abzulesenden Werte dargestellt.

Tabelle 4: Versuch 1: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand

	FBA [daN]		Abweichung [%]
	Links	Rechts	
1te Achse	124	118	5
2te Achse	111	108	3

Die Messwerte der ersten Achse sind etwas höher als die der zweiten. Bei beiden Achsen kommt es nur zu einer geringen Abweichung von maximal 5%. Der Prüfstand ermittelt die optimal eingestellte Bremse erfolgreich.

5.3.2 Versuch 2

Rollenbremsprüfstand

Die zweite Versuchsreihe ist mit einem Fehler an der Bremsanlage durchgeführt. Die Bremse der rechten Seite des Anhängers an beiden Achsen ist auf eine Abweichung zur linken Seite um ca. 25% manipuliert. Das ist für die Prüfung innerhalb der Hauptuntersuchung nach §29 StVZO die maximale Obergrenze. Die Tabelle 5 beinhaltet die dazugehörigen Werte auf dem Rollenbremsprüfstand.

Tabelle 5: Versuch 2: Messwerte am Rollenbremsprüfstand

	BBA [daN]		FBA [daN]		Abweichung [%]	
	Links	Rechts	Links	Rechts	BBA	FBA
1te Achse	72	51	192	140	29	27
2te Achse	53	40	169	122	25	28

Deutlich zu erkennen ist ein niedrigerer Wert der gemessenen Bremskraft auf der rechten Seite sowie an der ersten als auch an der zweiten Achse und das bei der BBA und FBA. Die Rollen haben beim Betätigen der FBA blockiert. Die Abweichungen liegen alle oberhalb der gesetzlichen Maximalabweichung. Die Wirkung der Bremsanlage würde für ein Bestehen der Hauptuntersuchung nicht ausreichen. Eine ungleichmäßige Bremswirkung ist ein erheblicher Mangel (EM) und führt zu einer Widervorführung des Anhängers binnen vier Wochen.

Fahrversuch

Im Fahrversuch ist von außen hingegen kaum ein Unterschied zum vorherigen Fahrversuch zu erkennen. Das Gespann bleibt seiner Spur treu. Die Räder kommen zum Blockieren. Damit gilt, dass die Mindestabbremmung erreicht ist. Wie in der Abbildung 28 zu sehen, ist die Abbremmung auf 20% und die mittlere Vollverzögerung auf $2 \frac{m}{s^2}$ gesunken. Der Fehler an der Bremsanlage ist durch das Messgerät erkannt.

Fz-Ident-Nr.: WB0PHAAAA00262340
Erstzulassung: 06/2020
Zul. Gesamtmasse (kg): 2400

Hersteller: 6115 (SONST. ANH. HERSTELLER)
Typ: ADV00347 (PHA)
Fahrzeugklasse: O2

Abbremsung Z bezogen auf Prüfmasse: 20 %
 Mittlere Vollverzögerung: 2 m/s^2
 Maximale Verzögerung: $2,2 \text{ m/s}^2$
 Geschwindigkeit vor Bremsung: 14 km/h

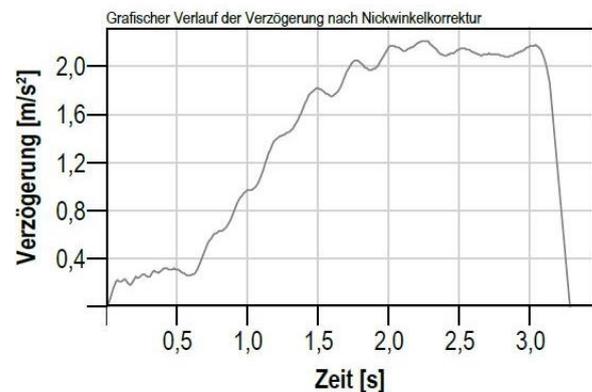


Abbildung 28: Versuch 2: Messdaten im Fahrversuch

2-Platten-Bremsprüfstand

Die Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand sind in der Tabelle 6 dargestellt. Zu erkennen ist, dass der Prüfstand die veränderte Abweichung der Bremskräfte feststellt. Die Werte der rechten Seite werden geringer.

Tabelle 6: Versuch 2: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand

	FBA [daN]		Abweichung [%]
	Links	Rechts	
1te Achse	116	88	24
2te Achse	112	81	28

Für die Beurteilung der Bremswirkung im Rahmen einer Hauptuntersuchung wäre der Wert der zweiten Achse über der Obergrenze. Eine richtige Einstellung an der Bremsanlage wäre notwendig. Die erste Achse ist so grad mit 24% unter der Obergrenze. Hier wäre es auch sinnvoll eine richtige Einstellung vorzunehmen.

5.3.3 Versuch 3

Rollenbremsprüfstand

Der Fehler im dritten Versuch soll eine Abweichung von ca. 50% aufweisen. Die Ergebnisse in der Tabelle 7 zeigen die Werte der Anzeige des Rollenbremsprüfstand. Zu beobachten ist eine passende gemessene Abweichung der BBA und FBA um die 50%. Weiter ist zu sehen, dass die Bremskräfte der rechten Seite der ersten und zweiten Achse sowohl bei der BBA als auch bei der FBA weiter sinken. Die Rollen blockieren beim Betätigen der FBA. Da der Wert der Abweichung in allen Fällen deutlich über dem gesetzlich festgelegten maximalen Wert von 25% liegt, würde im Falle einer Hauptuntersuchung der Pferdeanhänger aufgrund des Mangels durchfallen.

Tabelle 7: Versuch 3: Messwerte am Rollenbremsprüfstand

	BBA [daN]		FBA [daN]		Abweichung [%]	
	Links	Rechts	Links	Rechts	BBA	FBA
1te Achse	64	29	211	108	55	49
2te Achse	53	25	127	72	53	43

Fahrversuch

Beim Beobachten des Gespanns beim Abbremsen ist bei dieser Messung ein erster Unterschied deutlich erkennbar. Die Reifen blockieren leicht nur auf der linken Seite beider Achsen. Zudem zieht der Anhänger minimal, aber erkennbar nach links. Der Anhänger läuft zudem zu weit auf. Aufgrund des Verhaltens käme es auch bei dieser Messung zu keinem positivem Abschluss. Der Anhänger müsste widervorgeführt werden. Die optischen Mängel werden durch das schreibende Messgerät bestätigt. Wie in der Abbildung 29 zu sehen, ist der Wert der Abbremsung auf 17% und der mittleren Vollverzögerung auf $1,7 \frac{m}{s^2}$ bei einer Geschwindigkeit von 10km/h weiter gesunken.

Fz-Ident-Nr.: WB0PHAAAA00262340
Erstzulassung: 06/2020
Zul. Gesamtmasse (kg): 2400

Hersteller: 6115 (SONST. ANH. HERSTELLER)
Typ: ADV00347 (PHA)
Fahrzeugklasse: O2

Abbremsung Z bezogen auf Prüfmasse: 17 %
 Mittlere Vollverzögerung: 1,7 m/s²
 Maximale Verzögerung: 1,9 m/s²
 Geschwindigkeit vor Bremsung: 10 km/h

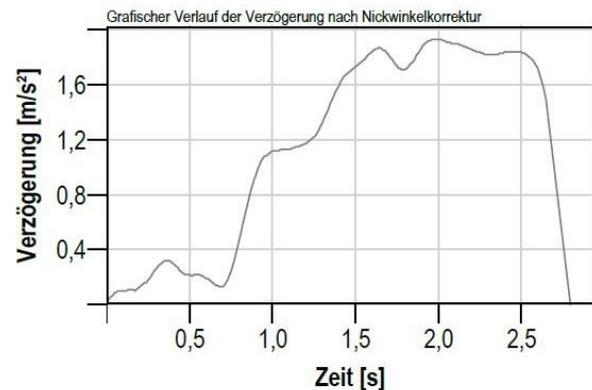


Abbildung 29: Versuch 3: Messdaten im Fahrversuch

2-Platten-Bremsprüfstand

Die Messwerte im dritten Versuch vom 2-Platten-Bremsprüfstand sind in der Tabelle 8 aufgezeigt. Die Werte der linken Seite sowie an der ersten als auch an der zweiten Achse sind weiterhin nahezu unverändert geblieben. Dafür sinken die Werte der rechten Seite weiter ab, so dass eine Abweichung von 46% bzw. 42% gemessen wird. Mit so einer stark verstellten Einstellung der Bremse muss der Anhänger binnen vier Wochen mit einer richtigen Einstellung zur Nachprüfung. Weiter ist ein immer größer werdender Hebelweg der Feststellbremse zu beobachten.

Tabelle 8: Versuch 3: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand

	FBA [daN]		Abweichung [%]
	Links	Rechts	
1te Achse	119	64	46
2te Achse	100	58	42

5.3.4 Versuch 4

Rollenbremsprüfstand

Im letzten Versuch ist das Bremsseil auf der rechten Seite beider Achsen ausgegangen. Die abgelesenen Messergebnisse des Rollenbremsprüfstandes sind in der Tabelle 9 dargestellt. Die linke Seite ist wie zu erwarten nahezu unverändert. Auf der rechten Seite wird trotz dem Aushaken der Seile eine Bremskraft angezeigt. Die Abweichungen sind weit über 80%. Mit dieser unzureichenden Bremswirkung und Abweichung ist ein Bestehen der Hauptuntersuchung unmöglich. Der Mangel wird sogar als ein gefährlicher Mangel eingestuft und muss umgehend behoben werden.

Weiter kann beobachtet werden, dass beim Rückwärtsfahren die Zugstange fast bis zum Anschlag eingefahren ist. Der Anhänger wird aus der Rolle rausgedrückt. Beim Betätigen des Hebels für die Feststellbremse ist ebenfalls ein verlängerter Hub zu erkennen. Es kommt nicht zum Blockieren der Rollen vom Prüfstand.

Tabelle 9: Versuch 4: Messwerte am Rollenbremsprüfstand

	BBA [daN]		FBA [daN]		Abweichung [%]	
	Links	Rechts	Links	Rechts	BBA	FBA
1te Achse	61	8	187	11	87	94
2te Achse	52	9	117	9	83	92

Fahrversuch

Im Fahrversuch ist der Mangel an der Bremsanlage deutlich zu erkennen. Das Gespann zieht stark nach links. Auch der Bremsweg wirkt im Vergleich zur ersten Messung deutlich länger. Der Auflaufweg ist so groß, dass ein Aufprall beim Auflaufen des Anhängers auf das Zugfahrzeug zu hören ist. Für die Hauptuntersuchung ist die Wirkung der Bremsanlage nicht ausreichend.

Auch in dieser Messung ist wie zu erwarten der Wert der Abbremsung und der mittleren Vollverzögerung weiter gesunken (siehe Abbildung 30). Mit einer Geschwindigkeit von 15km/h wird das Gespann mit $1,6 \frac{m}{s^2}$ verzögert und erreicht dadurch eine Abbremsung von 16%.

Fz-Ident-Nr.: WB0PHAAAA00262340
Erstzulassung: 06/2020
Zul. Gesamtmasse (kg): 2400

Hersteller: 6115 (SONST. ANH. HERSTELLER)
Typ: ADV00347 (PHA)
Fahrzeugklasse: O2

Abbremsung Z bezogen auf Prüfmasse: 16 %
 Mittlere Vollverzögerung: 1,6 m/s²
 Maximale Verzögerung: 1,8 m/s²
 Geschwindigkeit vor Bremsung: 15 km/h

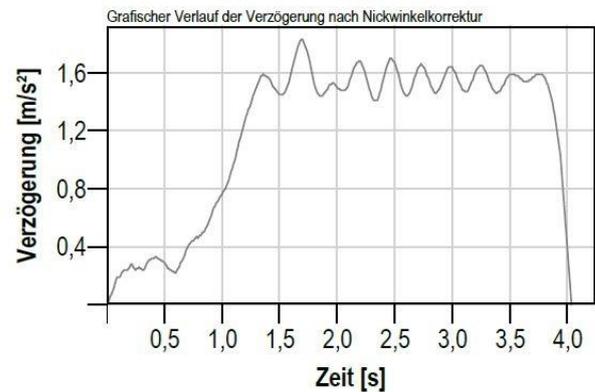


Abbildung 30: Versuch 4: Messdaten im Fahrversuch

2-Platten-Bremsprüfstand

Auch im letzten Versuch werden die Fehler durch den 2-Platten-Bremsprüfstand erkannt. Trotz keiner möglichen Bremswirkung werden kleine Werte auf der rechten Seite angezeigt, sodass eine Abweichung von 94% erzielt wird (siehe Tabelle 10). Der Hebelweg ist nun voll angeschlagen und greift erst im letzten Moment. Bei dieser Messung fällt auf, dass sich das Rad der rechten Seite minimal in Fahrtrichtung bewegt.

Bei diesem Ergebnis wird auch hier der Mangel als gefährlich eingestuft. Es ist lediglich eine Weiterfahrt zur Werkstatt oder auf dem direktem Weg nach Hause möglich. Der Anhänger muss binnen vier Wochen erneut mit richtiger Wirkung vorgestellt werden.

Tabelle 10: Versuch 4: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand

	FBA [daN]		Abweichung [%]
	Links	Rechts	
1te Achse	122	7	94
2te Achse	109	7	94

5.3.5 Versuch mit Beladung

Rollenbremsprüfstand

Bei der Prüfung der Bremsanlage am Rollenbremsprüfstand ist kein unerwartetes Verhalten zu beobachten. Die Abweichungen liegen zwar nicht bei 0%, sind aber gering und im Rahmen einer optimalen Einstellung. Die Werte durch die Betätigung der FBA sind höher als die der BBA und das bei beiden Achsen, wie in der Tabelle 11 zu sehen ist. Die Rollen blockieren bei allen Prüfungen.

Tabelle 11: Versuch mit Beladung: Messwerte am Rollenbremsprüfstand

	BBA [daN]		FBA [daN]		Abweichung [%]	
	Links	Rechts	Links	Rechts	BBA	FBA
1te Achse	121	113	223	210	7	6
2te Achse	92	100	117	125	8	6

2-Platten-Bremsprüfstand

Auch bei diesem Prüfstand sind die zu erwartenden Abweichungen gemessen. Die Werte der hinteren Achse sind höher. Erstmals sind sogar 0% Abweichung auf der 2ten Achse erreicht (siehe Tabelle 12). Beide Messungen sind unterhalb der Obergrenze.

Tabelle 12: Versuch mit Beladung: Messwerte am 2-Platten-Bremsprüfstand

	FBA [daN]		Abweichung [%]
	Links	Rechts	
1te Achse	126	114	10
2te Achse	158	158	0

5.4 Auswertung

Im folgendem Kapitel werden die Beobachtungen und Messergebnisse ausgewertet. Die Werte werden untereinander und miteinander verglichen. Ein wichtiger Faktor im Ablauf

der Bremsenprüfung ist die Handhabung. Es sollte so einfach wie möglich gestaltet sein. Zudem spielt die Zeit auch eine wichtige Rolle. Der Ablauf sollte nicht zu lange dauern. Auf die beiden Faktoren wird bei jeder Prüfung eingegangen und den anderen gegenübergestellt.

5.4.1 Rollenbremsprüfstand

Der Rollenbremsprüfstand wird in den meisten Werkstätten und Prüfhallen verbaut und für die Hauptuntersuchung benutzt. Er ist sehr zuverlässig und durch ihn kann direkt ein Mangel an der Bremse erkannt werden. In der folgenden Abbildung 31 sind die Ergebnisse der vier Versuchsreihen der ersten Achse der FBA in einem Säulendiagramm dargestellt. In blau jeweils die gemessenen Bremskräfte der linken Seite und in orange die der rechten. In grau dargelegt ist die prozentuale Abweichung der Werte zueinander. Grundlegend ist festzustellen, dass die Bremskräfte der linken Seite in jedem Versuch annähernd gleichbleiben. Das sollte so sein, denn an dieser Seite ist die Bremseinstellung unverändert. Der Wert schwankt zwischen 183-211daN. Weiter zu sehen ist, dass die Bremskräfte der linken Seite immer schwächer werden. Der Prüfstand erkennt die manipulierte Seite sofort. Die Abweichung steigt hingegen von 4% auf maximal 94%. Das ist rein rechnerisch begründet und damit abhängig von den Bremskräften. Die Abweichung A berechnet sich laut Bremsrichtlinien wie folgt:

$$A = \frac{\text{Differenz der Bremskräfte}}{\text{Größte Bremskraft}} * 100\% = \frac{\Delta F_B}{F_{B,max}} * 100\%$$

Eine Beispielrechnung für den ersten Versuch ergibt folgende Abweichung.

$$A = \frac{183daN - 175daN}{183daN} * 100\% = \mathbf{4,37\%}$$

Die weiteren Abweichung lassen sich analog berechnen. Die Werte entsprechen gerundet den der Anzeige am Prüfstand.

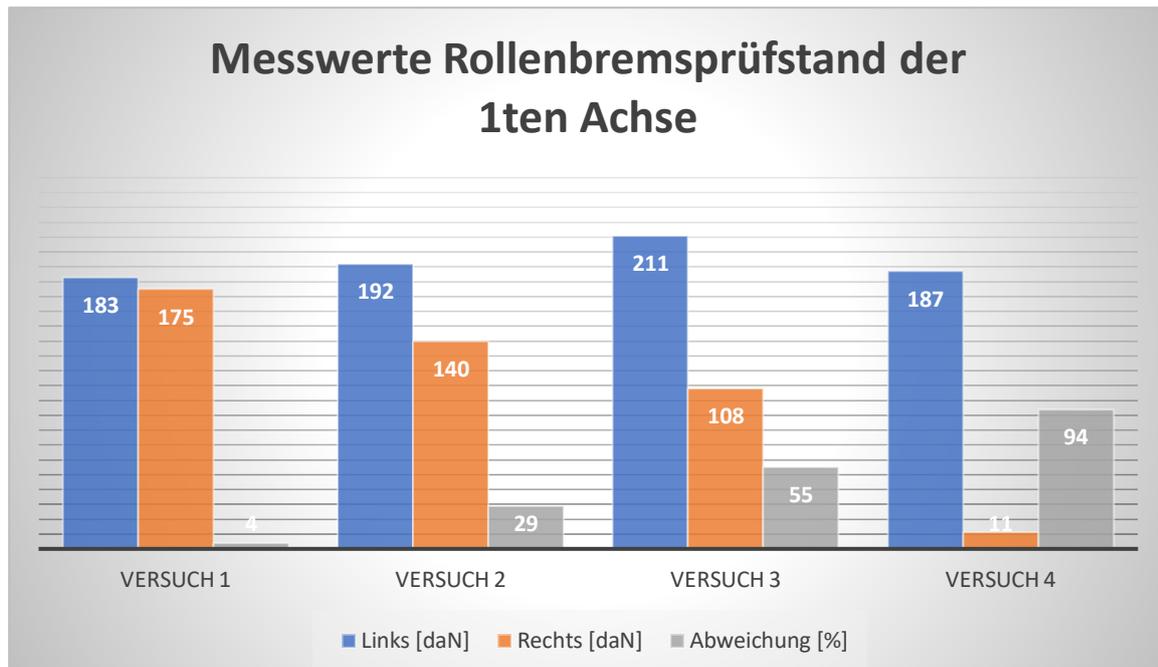


Abbildung 31: Messungen am Rollenbrensprüfstand der 1ten Achse

Auffällig ist, dass der Wert einer optimal eingestellten Bremse nicht genau bei 0% Abweichung liegt und dass ein Aushaken des Seils keine 100% Abweichung ergeben. Keine Abweichung ist nur schwer realisierbar. Eine Bremse ist nie genau so gleich gut eingestellt, dass eine Abweichung von 0% gemessen werden kann. Und wenn, dann ist es ein Zufall in der Momentaufnahme.

Am Rollenbrensprüfstand kann ebenfalls keine 100% Abweichung angezeigt werden. Der Grund liegt am Prüfstand selbst. Allein durch das Drehen der Rollen am Prüfstand und der Räder am Anhänger müssen Widerstands- und Reibungskräfte überwunden werden und die werden von den Sensoren miterfasst. Die Anzeige zeigt folglich immer einen kleinen Wert an, auch wenn nicht gebremst wird oder die Bremse wie im letzten Versuch ausgehakt ist. Folglich kommt zwar eine sehr hoch Abweichung zu Stande aber keine 100%.

Ein Diagramm für die zweite Achse und die Messwerte der BBA werden nicht aufgezeigt, da die Verläufe nahezu identisch sind. Die Bremskräfte der rechten Seite werden kleiner, die Abweichung immer größer. Die exakt gleichen Bremskräfte sind nicht zu realisieren, da Faktoren wie Einstellung und Verschleiß nie zum gleichen Ergebnis führen können. Ein auffälliger Unterschied ist auch anhand der Tabellen festzustellen. Die Bremskräfte der zweiten Achse sind alle kleiner als die der ersten. Das liegt an der Einstellung der Bremsanlage und der Gewichtsverteilung des Anhängers. Auch die Kräfte der BBA sind deutlich kleiner. Das Fahrzeug drückt den Anhänger eher aus dem Prüfstand, bevor ähnlich hohe Werte wie bei der FBA erreicht werden. Da die BBA und die FBA über denselben Mechanismus die Kräfte an die Bremsen ans Rad leiten, langt der Vergleich der FBA. Ein zusätzlicher Versuch mit einer Beladung von zwei Traktorreifen soll aufzeigen, ob und inwiefern sich die Bremskräfte beider Achsen ändern. Die Abbildung 32 stellt ein

Diagramm dar, in der die Bremskräfte und die Abweichung beider Achsen in einem optimal eingestelltem Zustand mit und ohne Beladung zu sehen sind. Die blauen Säulen sind wieder die Bremskräfte der linken Seite und die orangenen die der rechten. Die Abweichung sind in den grauen Balken zu sehen.

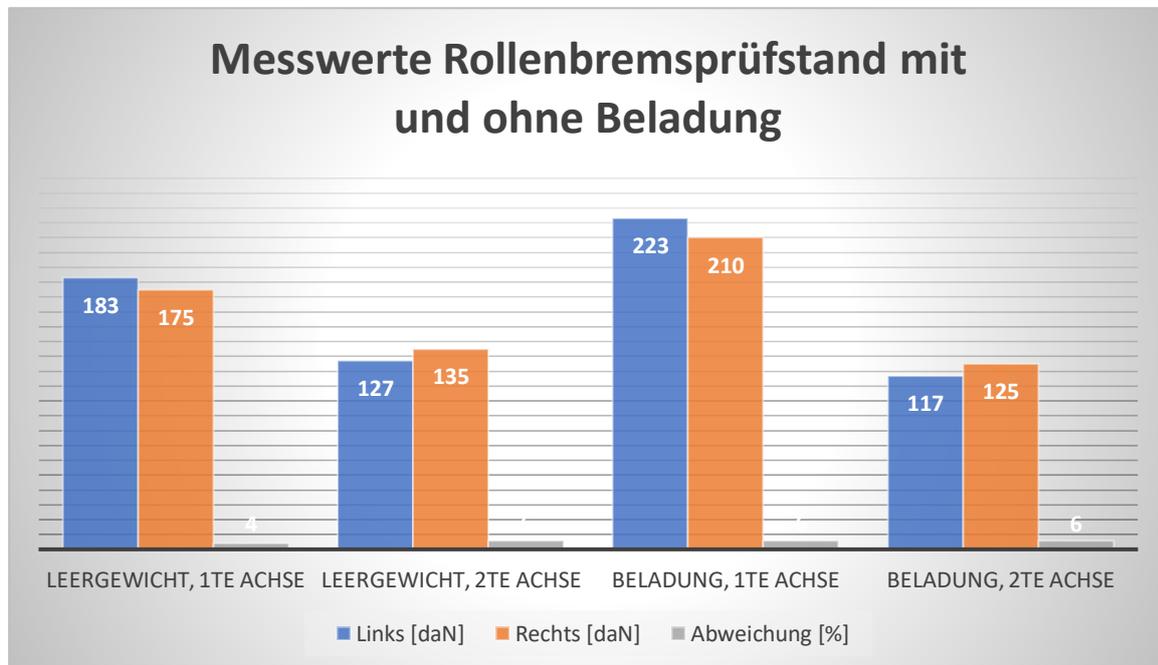


Abbildung 32: Vergleich Rollenbrensprüfstand mit Beladung

In beiden Fällen wird eine fast gleiche Abweichung angezeigt. Die Beladung bewirkt erhöhte Bremskräfte auf der ersten Achsen um ca. 40daN. Auf der zweiten Achse werden sogar geringere Kräfte gemessen. Der Versuch zeigt, dass es bei einer Beladung auf jedenfall zu höheren Bremskräften führt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass diese symmetrisch und über beiden Achsen sicher verstaut ist. Die Traktorreifen sind bei der Messung nicht mittig verladen, sodass es zu kleineren Kräften auf der zweiten Achse führt.

Wie in den Bremsenrichtlinien beschrieben, muss bei der Prüfung an diesem Pferdeanhänger eine Abbremsung von 50% bei der BBA und 16% bei der FBA erreicht werden. Zudem darf die Abweichung der einzelnen Achsen nicht über 25% liegen. Ein Blockieren der Rollen gilt auch als ausreichend. Die Abbremsung kann man wie folgt berechnen.

$$Z = \frac{\text{Summe aller Bremskräfte } F_{ges}}{\text{Fahrzeuggesamtgewichtskraft } G} * 100\%$$

Beispielhaft wird die Abbremsung des ersten Versuchs vorgerechnet. Die restlichen Werte werden analog berechnet.

$$Z = \frac{1830N + 1750N + 1270N + 1350N}{2400kg * 9,81 \frac{m}{s^2}} * 100\% = 26,33\%$$

Die Tabelle 13 zeigt die Abbremsungen der anderen Versuche. Die Werte liegen alle bis auf den vierten Versuch oberhalb von 16%. Das zusätzliche Blockieren der Rollen vom Prüfstand gilt als ausreichend sofern die Abweichung auch im Rahmen des gesetzlich Möglichen liegt. Die Abbremsung muss also nicht zwingend erforderlich oberhalb der Mindestgrenze liegen. Verglichen mit dem Wert für die BBA, wird dieser auch nicht erreicht. Bei der Berechnung wird das zulässige Gesamtgewicht betrachtet. Mit dem leeren bzw. nur teilbeladenem Anhänger können keine so großen Bremskräfte erreicht werden. Betrachtet man das aktuelle Prüfgewicht von 903kg, würden Abbremsungen von 70% erreicht werden. Per Gesetz wird die Abbremsung aber bewusst auf das zulässige Gesamtgewicht bezogen, auch wenn das Prüffahrzeug nicht voll beladen ist. Erreicht das Fahrzeug im leeren Zustand die Abbremsung, so erreicht es sie im vollen Zustand erst recht und gilt damit als ausreichend. Kommt es vorher zum Blockieren der Rollen des Prüfstands, gilt der Nachweis auch als bestätigt.

Tabelle 13: Abbremsung FBA am Rollenbremsprüfstand

Versuch	Abbremsung [%]
2	26,46
3	22,00
4	13,76
Mit Beladung	28,67

5.4.2 Fahrversuch

Die Abbildung 33 fasst die vier Fahrversuche in ein Diagramm zusammen. Eine sinkende Abweichung sowie Verzögerung ist mit steigendem Fehler sehr gut zu erkennen. Genaue Fehler der Bremsanlage können allerdings nicht festgestellt werden. So gibt es keinen Aufschluss an welcher Achse oder an welchem Rad die Fehlerquelle liegt. Gemessen wird nur, dass die Abbremsung nicht den Vorgaben entspricht.

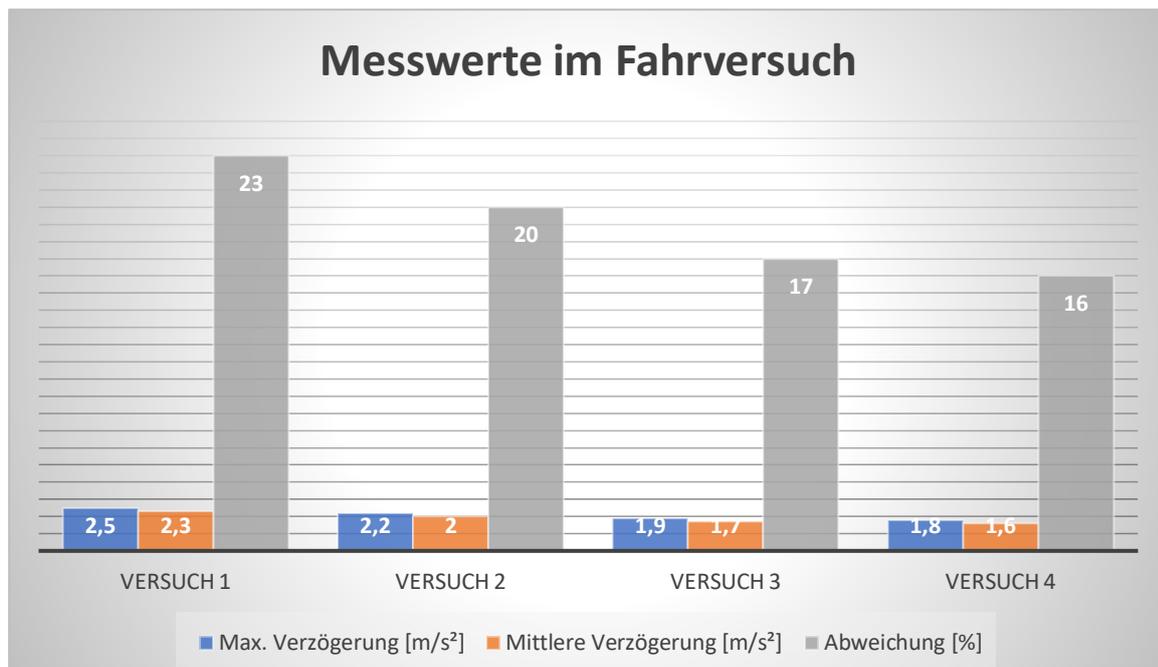


Abbildung 33: Messungen im Fahrversuch

Die abzulesende Abbremsung ist von der gemessenen mittleren Vollverzögerung abhängig und sinkt bei einer kleiner werdenden Verzögerung. Die Formel aus den Bremsrichtlinien lautet:

$$a = \frac{F_{ges} * g}{G}$$

In dieser Formel sind alle Parameter außer der gesamten Bremskraft F_{ges} bekannt. Das Umstellen nach der Bremskraft ergibt folgende Formel:

$$F_{ges} = \frac{a * G}{g} = \frac{a * m * g}{g} = a * m$$

Folglich sind für die Berechnung der Abbremsung Z_{Z+A} alle Werte gegeben. Die Formel lautet:

$$Z_{Z+A} = \frac{F_{ges}}{G} * 100\%$$

Durch Einsetzen der umgestellten Formel der gesamten Bremskraft ergibt sich:

$$Z_{Z+A} = \frac{a * m}{G} * 100\% = \frac{a * m}{m * g} * 100\% = \frac{a}{g} * 100\%$$

Die Abbremsung ist also nur von der gemessenen mittleren Vollverzögerung und der auf der Erde gleichbleibenden Erdbeschleunigung. Für den ersten Versuch ergibt sich eine Abbremsung von:

$$Z_{Z+A} = \frac{2,3 \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2}} * 100\% = \mathbf{23,45\%}$$

Das entspricht jedoch nicht der richtigen Abbremsung, denn das Gewicht des Zugfahrzeugs fließt in das Ergebnis noch mit ein. Die richtige Abbremsung allein des Anhängers berechnet sich mit folgender Formel:

$$Z_R = (Z_{R+M} - R) * \frac{P_M + P_R}{P_R} + R$$

Die Beispielrechnung zeigt das Vorgehen für den ersten Versuch. Die statischen Normalkräfte des Zugfahrzeugs P_M und des Anhängers P_R sind das Produkt aus der jeweiligen aktuellen Masse und der Erdbeschleunigung. Der Anhänger hat ein Leergewicht von 903kg und das Zugfahrzeug 1474kg. Eine Zuladung von 100kg werden für den zweiten Helfer und des fehlenden Tankinhalts angenommen. Das Leergewicht wird definiert mit einer 90% Füllung des Tanks und einem Gewicht des Fahrers von 75kg.

$$Z_R = (23,45\% - 1,5\%) * \frac{(1474kg + 100kg + 903kg) * 9,81 \frac{m}{s^2}}{903kg * 9,81 \frac{m}{s^2}} + 1,5\% = \mathbf{61,71\%}$$

Analog erfolgt die Berechnung der Abbremsungen für die restlichen Versuche. In der Tabelle 13 sind die Ergebnisse gelistet.

Tabelle 14: Ergebnisse der Abbremsungen des Anhängers

	Abbremsung Z_{Z+A} [%]	Abbremsung Z_R [%]
Versuch 2	20,39	53,32
Versuch 3	17,33	44,92
Versuch 4	16,31	42,13

Da das Baujahr des Anhängers nach dem 28.07.2010 ist, gilt für ihn eine Mindestabbremsung von 50%. Das heißt, dass die ersten beiden Versuche eine ausreichende Abbremsung erlangen, und dass trotz einer Abweichung im zweiten Versuch von rund 25%. Die beiden anderen Versuche zeigen, dass eine stark abweichende Bremse an beiden Achsen die Mindestabbremsung nicht erreichen.

5.4.3 2-Platten-Bremsprüfstand

Für den Vergleich der Messungen aller Versuche innerhalb des 2-Platten-Bremsprüfstands sind alle Messwerte der ersten Achse auch in ein Säulendiagramm zusammengefügt (siehe Abbildung 34). Die blauen Säulen kennzeichnen die Bremskräfte der linken Seite und die orangenen die der rechten Seite. Die grauen Säulen sind die Abweichungen der jeweiligen Bremskräfte zueinander pro Versuch. Auch hier ist eine ähnliche Tendenz wie am Rollenbremsprüfstand zu erkennen. Die Kräfte der unveränderten linken Seite bleiben bei allen Versuchen fast gleich. Die rechte Seite hingegen baut von Versuch zu Versuch ab. Die Abbremsung steigt dagegen immer mehr an. Sie berechnet sich analog zu den Abweichungen wie im Kapitel 5.4.1.

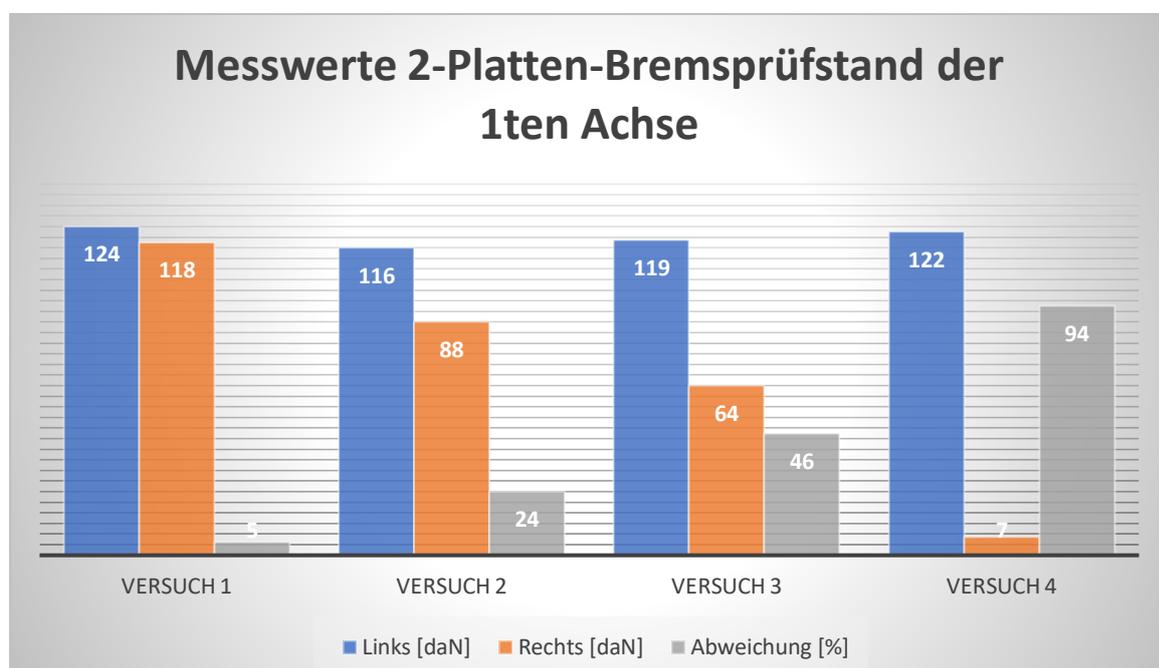


Abbildung 34: Messungen am 2-Platten-Bremsprüfstand der 1ten Achse

Auffällig ist, dass eine optimal eingestellte Bremsanlage eine Abweichung von 0% nicht erreicht. Es ist unmöglich das in der Realität umzusetzen. Der Prüfstand kann auch keine Abweichung von 100% anzeigen. Selbst kleinste Bewegungen der Räder führen zu einer Verschiebung der Platten zueinander. Beim Aushaken des Bremsseils rollt das rechte Rad bei der Prüfung minimal los. Diese Bewegung äußert sich durch eine kleine Kraft, die am Prüfstand angezeigt wird. Die Bremskräfte der zweiten Achse haben zum Vergleich einen ähnlichen Verlauf, sodass auf das Diagramm verzichtet wird. Die Werte sind lediglich kleiner, was aufgrund der Gewichtsverteilung zustande kommt.

Der zusätzliche Versuch mit einer Beladung von rund 340kg schweren Traktorreifen wird auf dem Prüfstand durchgeführt und verglichen. Die Einstellung der Bremsanlage befindet sich in einem optimalen Zustand. Das folgende Säulendiagramm in der Abbildung 35 zeigt beide Versuche mit und ohne Beladung. Dargestellt sind die Bremskräfte links und rechts beider Achsen und deren Abweichung. Grundlegend ist zu erkennen, dass die

Kräfte aufgrund der Zuladung steigen. Auf der zweiten Achse steigen die Werte sogar um rund 50daN und sind damit höher als die der ersten Achse. Am Rollenbremsprüfstand ist es genau andersrum. Der Grund liegt in der Art der Prüfung. Auf dem 2-Platten-Bremsprüfstand wird mit dem Zugfahrzeug angefahren, währenddessen der Anhänger über den Hebel der FBA gebremst wird. Das verursacht ein Verlagern der Gewichte auf die hintere Achse. Die Werte steigen an.

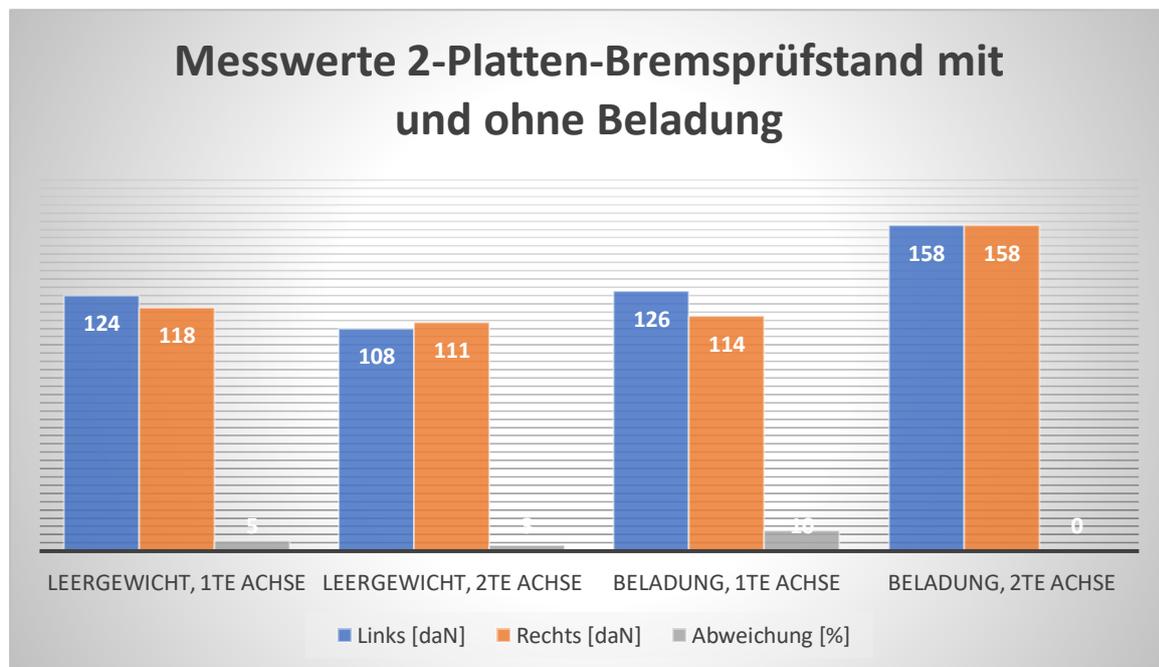


Abbildung 35: Vergleich 2-Platten-Bremsprüfstand mit Beladung

5.4.4 Vergleich Rolle - Platte - Fahrversuch

Die Fehler werden besonders gut von den beiden Prüfständen erfasst. Sowohl wird eine ähnliche Abweichung als auch der Ort des Fehlers erkannt. Dennoch gibt es in der Höhe der Bremskraft Unterschiede. In der Abbildung 36 ist ein weiteres letztes Säulendiagramm abgebildet. Zu sehen sind die gemessenen Bremskräfte der vier Versuche auf beiden Prüfständen der ersten Achse. Zusätzlich dargestellt sind die letzten Versuche mit der Beladung der Traktorräder. Dafür sind die Messwerte beider Achsen verwendet, da bei diesem Versuch ein besonderer Unterschied festzustellen ist. Die blau gefärbten Säulen sind die Bremskräfte der linken Seite vom Rollenbremsprüfstand und die orange gefärbten zeigen die rechte Seite. Die grauen Säulen sind die Bremskräfte der linken Seite und in gelb die der rechten Seite vom 2-Platten-Bremsprüfstand. Vergleicht man die Werte beider Prüfstände der vier Versuch miteinander, stellt sich heraus, dass die Werte vom 2-Platten-Bremsprüfstand immer kleiner sind. Beim Abbremsen auf dem Rollenbremsprüfstand wird das Maximum bis kurz vor der Blockiergrenze gemessen. Auf dem

2-Platten-Bremsprüfstand ist es eine Momentaufnahme. Höhere Werte könnten auch erreicht werden, indem stärker am Anhänger gezogen wird.

Im beladenen Zustand des Anhängers sind jedoch Unterschiede festzustellen. Die Bremskräfte der ersten Achse zeigen zunächst das gewohnte Bild. Auf dem Rollenbremsprüfstand sind höhere Werte zu erkennen. Betrachtet man die zweite Achse, fällt auf, dass die Werte vom 2-Platten-Bremsprüfstand erstmals größer sind. Das liegt wie vorher beschrieben im Zustand der Prüfung. Während die Prüfung mit dem Rollenbremsprüfstand sich im anzunehmenden statischen Zustand befindet, ist es auf dem 2-Platten-Bremsprüfstand ein dynamischer Ablauf. Dadurch verschiebt sich die Achslast nach hinten und die Bremskräfte steigen und sind daher größer. Die Abweichungen sind nahezu gleich.

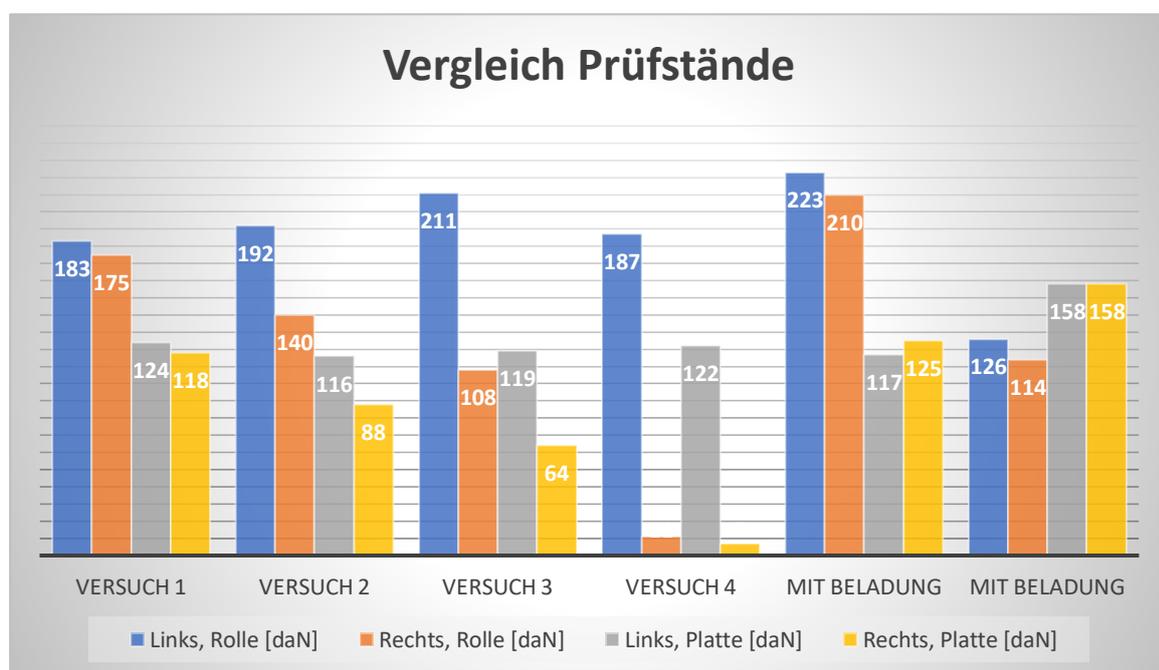


Abbildung 36: Vergleich Prüfstände

Im Fahrversuch werden andere Messwerte ermittelt, womit ein Vergleich zu den Prüfständen in diesem Punkt keinen Sinn ergibt. Letztendlich kann man aber die positive oder negative Beurteilung der Wirkung der Bremsanlage im Rahmen der Hauptuntersuchung nach §29 StVZO miteinander vergleichen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 15 zusammengetragen. Die Beurteilung der beiden Prüfstände ist in jedem Versuch gleich. Der erste Versuch ist positiv beurteilt. Bei allen anderen Versuchen fällt das Ergebnis negativ auf. Der Bremse des Anhängers müsste in diesen Fällen richtig eingestellt und anschließend einer Nachprüfung erneut vorgestellt werden. Im Fahrversuch hingegen sind die ersten beiden Versuche positiv beurteilt. Die restlichen Ergebnisse gelten als nicht bestanden.

Tabelle 15: Beurteilung der Bremswirkung

	Rollenbremsprüfstand	Fahrversuch	2-Plattenbremsprüfstand
Versuch 1	Bestanden	Bestanden	Bestanden
Versuch 2	Nicht bestanden	Bestanden	Nicht bestanden
Versuch 3	Nicht bestanden	Nicht bestanden	Nicht bestanden
Versuch 4	Nicht bestanden	Nicht bestanden	Nicht bestanden

Damit kristallisiert sich der erste Unterschied zum Fahrversuch heraus. Trotz eines Fehlers von einer Abweichung von ca. 25% in der Bremsanlage an der ersten und zweiten Achse wird die Anlage als positiv beurteilt. Sowohl optisch als auch mit dem Messgerät stellt sich zwar heraus, dass die Bremsanlage nicht zu 100% eingestellt ist, für die Überprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung langt die Wirkung allerdings aus.

5.4.5 Zeitfaktor und Fehler in der Handhabung

Die Zeit ist im Ablauf einer Hauptuntersuchung ein wichtiger Faktor. Benötigt der Prüfer wenig Zeit für eine vollständige Prüfung, könnten Mängel übersehen werden. Bei einem langem Zeitablauf, würden sicherlich alle vorhandenen Mängel gefunden werden, aber ab einem gewissen Punkt rentiert sich der Aufwand wirtschaftlich nicht. Beispielsweise kostet ein Prüfer der Organisation 100€ pro Stunde. Die Hauptuntersuchungskosten eines auflaufgebremsten Anhänger belaufen sich abhängig vom Bundesland und der Fälligkeit der HU um rund 60€. Benötigt der Prüfer nun eine Stunde, so steigt der wirtschaftliche Aspekt schnell ins Negative.

Daher ist es wichtig, dass die Abläufe zügig aber mit hoher Qualität erfolgen. Die Überprüfung der Bremsanlage benötigt einen Großteil der Zeit. Die vorhandenen Messmittel sollten daher einen reibungsfreien, zügigen Ablauf gewähren, mit denen trotzdem mögliche Fehler an der Wirkung der Bremsanlage erkannt werden. Wie schon im Kapitel 4 genauer beschrieben ist die gängigste Art der Überprüfung ein Rollenbremsprüfstand. Der Ablauf erfolgt zügig und wie die Versuche zeigen ist das Urteil präzise. Man kann die Prüfung eigenständig durchführen. Bei einem zweiachsigen auflaufgebremsten Anhänger dauert der komplette Vorgang bei alleiniger Durchführung keine fünf Minuten. Dazu zählt die vorherige Konditionierungsfahrt und das Abbremsen der BBA und FBA am Rollenbremsprüfstand an beiden Achsen. Der Vorteil an diesem Prüfstand ist das genaue sofortige Ergebnis. Eine unzureichende Bremskraft und die Abweichung einer Achse werden genau identifiziert. Die Bremse kann beliebig oft überprüft werden und es kommt zum immer gleichem Resultat. Fehler in der recht einfachen Bedienung können hier ausgeschlossen werden.

Ist kein Rollenbremsprüfstand vorhanden oder ein Defekt liegt vor, ist eine andere Möglichkeit die Überprüfung im Fahrversuch. Die Ergebnisse zeigen, dass mit einem schreibendem Messgerät die Wirkung auch überprüft werden kann. Es kann jedoch kein genauer Fehler ermittelt werden, sondern lediglich, dass die gesamte Anlage in Ordnung oder nicht in Ordnung ist. Eine Abweichung von ca. 25% werden auf der Rolle erkannt, für schlecht befunden und im Fahrversuch wiederum als ausreichend. Nicht nur die schlechte Beurteilung sind vom Nachteil, sondern auch die benötigte Zeit. Im Fahrversuch können viele leichte Fehler in der Umsetzung das Ergebnis beeinflussen. Zunächst muss das Messgerät rutschfest positioniert werden, da sonst das Messergebnis verfälscht wird. Zudem muss eine passende Geschwindigkeit angefahren werden, bevor die Feststellbremse gezogen wird. Für die Überprüfung werden außerdem eine zweite Person und ein genügend ebener trockener Platz benötigt. Regen, Eis oder Schnee beeinflussen den Kontakt beim Bremsen zwischen Rad und Boden sehr. Bei einem nicht verwertbarem Messergebnis muss die Messung wiederholt werden. Das kostet vor allem viel Zeit. Die Überprüfung der Wirkung der Bremsanlage im Fahrversuch benötigt im Vergleich zu den anderen Mitteln die meiste Zeit, ungefähr 8-10 Minuten.

Der 2-Plattenbremsprüfstand zeigt sich als eine gute Alternative zum Rollenbremsprüfstand. Die Ergebnisse werden direkt angezeigt und mögliche Fehler an einer Seite einer Achse werden sofort erkannt. Die Durchführung ist durch einen einzigen Prüfer umsetzbar. Der zeitliche Ablauf ähnelt dem des Rollenbremsprüfstandes. Will man die BBA durch Anfahren und ein direktes Abbremsen auf den Platten durchführen, käme es zu mehreren Nachteilen. Für das Anfahren auf den Prüfstand muss unmittelbar vor dem Bremsen eine Geschwindigkeit zwischen 8-12km/h erreicht werden. Dafür wird wiederum mehr Platz benötigt. Zudem ist das genau Abbremsen auf den Platten mit einem Anhänger und achsweise sehr schwer bis kaum umsetzbar. Das ständige Vor- und Zurückfahren, nicht genaue Erreichen der Geschwindigkeit und unpassende genaue Abbremsen auf den Platten würde die Zeit der Messung sprengen und damit deutlich höher als im Fahrversuch sein.

6 Zusammenfassung

Anhänger aller Art, die auf den Straßen geführt werden, müssen zu einer regelmäßigen Hauptuntersuchung, bei der ein Prüfer das komplette Fahrzeug überprüft. Ein wichtiger Bestandteil der Untersuchung ist die Überprüfung der Wirkung der Bremsanlage. Dafür wird in den meisten Fällen ein Rollenbremsprüfstand verwendet. Anhänger, die in eine Gewichtsklasse von 750kg bis 3500kg fallen, besitzen eine auflaufgebremste Anlage. Beim Bremsvorgang des ziehenden Fahrzeugs, läuft der Anhänger auf und wird durch einen speziellen Mechanismus gebremst. Damit trägt das Zugfahrzeug beim Bremsen nicht zusätzlich das Gewicht des Anhängers. Beim Auffahren wird die Kraft über eine Zugstange und Bremsseile bis an die Radbremse geleitet. Ein Verteiler sorgt für ein Aufteilen der Kräfte auf jedes Rad. Durch die Kraft werden Bremsbacken mit den darauf befestigten Bremsbelägen gegen die Innenfläche der sich drehenden Bremstrommel gedrückt. Der Anhänger wird gebremst. Wichtig ist eine optimal eingestellte Bremse, damit die Bremskräfte an jedem Rad annähernd gleich groß sind. Um sicher zu stellen, dass auf den Straßen verkehrsfähige Fahrzeuge gefahren werden, sind Richtlinien erstellt, die eingehalten werden müssen. Bei der regelmäßigen Hauptuntersuchung muss die Bremse eines Anhängers voll funktionsfähig sein. Eine geregelte Mindestabbremmung muss erreicht werden und eine maximale Abweichung pro Achse darf nicht überschritten werden. Andernfalls liegt ein Mangel vor, der zuerst behoben werden muss, bevor die Hauptuntersuchung als bestanden abgeschlossen wird.

Ein Rollenbremsprüfstand ist in der Lage die einzelnen Bremskräfte pro Rad zu messen und auf einen geeigneten Rechner direkt zu übertragen. Automatisch erfolgt die Berechnung der Abbremsung und Abweichung. Nicht immer ist am Prüfungsort ein solcher Prüfstand vorhanden oder ein Defekt liegt vor. In solchen Fällen ist gesetzlich geregelt, dass die Überprüfung der Wirkung in einem Fahrversuch durch eine Bremsprobe erfolgen kann. Dafür wird der Anhänger samt Zugfahrzeug auf eine Geschwindigkeit gebracht und voll abgebremst. Beobachtungen des Prüfers beim Bremsvorgang führen zu einer Beurteilung der Wirkung. Bewertet wird das Spurverhalten, die Eigenlenkbewegung und das Blockierverhalten.

Für ausschlaggebende Messwerte wird zusätzlich bei erneuter Anfahrt nur die Bremse vom Anhänger gezogen. Mit einem schreibenden Messgerät werden Daten wie Geschwindigkeit und Beschleunigung aufgenommen und verwertet.

Einige Werkstätten besitzen statt dem Rollen- einen Plattenprüfstand. Er ist auch in der Lage Bremskräfte pro Rad und Achse und deren Abweichung zu messen. Mit einer festgelegten Mindestgeschwindigkeit ist das Fahrzeug auf den minimal verschiebbaren Platten abzubremsen. Die kleine Verschiebung wird gemessen und in Bremskräften wiedergegeben.

Mit diesen drei Mitteln wurden vergleichende Prüfungen durchgeführt. Durch Einbau verschieden starker Fehler in die Bremsanlage wurde aufgezeigt inwiefern diese erkannt wurden und ob die Alternativen geeignet sind.

6.1 Fazit

Ziel der Abschlussarbeit ist es, anhand von mehreren vergleichenden Prüfungen die Wirkung einer Auflaufbremsanlage eines Anhängers zu beurteilen. Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die klassische Variante ein solides Prüfmittel darstellt. Das war auch so zu erwarten, denn ein solcher Prüfstand wird in den meisten Fällen verbaut und gebraucht. Damit lassen sich bis auf wenige Ausnahmen die Wirkung der Bremse aller Fahrzeuge überprüfen. Der recht einfache Aufbau und Handhabung bekräftigen die häufige Verwendung. Jede Veränderung der Bremsanlage durch Manipulation wurde vom Prüfstand direkt erfasst und angegeben. Dabei spielt der Beladungszustand keine große Rolle.

Neben dem Klassiker wurde im Versuch der 2-Platten-Bremsprüfstand mit eingebunden. Auch bei diesen Versuchsreihen konnten ähnliche positive Ergebnisse erzielt werden. Jede Art von Fehler sind erkannt und angezeigt. Der Aufbau und die Handhabung für die Prüfung auflaufgebremster zweiachsiger Anhänger sind bei diesem Prüfstand ebenfalls simpel gehalten. Die Umsetzung bei drei oder mehr eng aneinander liegenden Achsen oder Anhänger, die eine Druckluftbremsanlage verbaut haben, gestaltet sich dagegen schwer bis unmöglich. Dennoch ist es für den verwendeten Anhänger eine gut funktionierende Alternative.

Per Gesetz ist das Mitführen eines schreibenden Messgerätes bei der Prüfung im Fahrversuch nicht zwingend vorgeschrieben. Die Beurteilung findet im Ermessen eines Prüfers statt. Die Beobachtungen zeigten, dass das Erkennen von Fehler nicht hundertprozentig funktioniert. Es ist nur das gesamte Bremsverhalten zu bewerten und es können keine Aussagen über die einzelnen Radbremsen gefallen werden und demnach auch nicht entsprechend über die Abweichung der einzelnen Achsen.

Das schreibende Messgerät hingegen hat Beweise in Form von Messungen geliefert. Damit konnte die jeweilige Beurteilung unterstützt werden. Zwar liefert das Messgerät keine Daten über die Einzelradabbremmung, allerdings konnte eine ausreichende bzw. keine ausreichende Abbremmung des Anhängers bewiesen werden. Eine Abweichung der Achsen um den Grenzwert bei 25% wurden im Fahrversuch als dennoch positiv beurteilt mit der Bemerkung die Einstellung der Bremsanlage trotzdem bei Gelegenheit überprüfen zu lassen. Die Genauigkeit im Vergleich zu den beiden Prüfständen ist nicht zu vergleichen.

Es gibt neben dem Rollenbremsprüfstand zwei Möglichkeiten, mit denen man die Wirkung der Bremsanlage bewerten kann. Der 2-Platten-Bremsprüfstand ist die genauere

Variante. Beide Prüfstände werden im Normalfall allerdings nicht in einer Werkstatt verbaut. Einer von beiden muss jedoch verbaut sein, um eine Hauptuntersuchung an einem Fahrzeug durchführen zu können. Beim Ausfall des Prüfstands vor Ort bietet der Fahrversuch eine ausreichende Möglichkeit, um dennoch die Hauptuntersuchung fortzusetzen.

6.2 Ausblick

Die in der Abschlussarbeit umgesetzten vergleichbaren Prüfungen der Auflaufbremse eines zweiachsigen Anhängers im Rahmen einer Hauptuntersuchung nach §29 zeigen, dass es mehrere Optionen gibt, die Wirkung der Anlage zu beurteilen. Es ist ratsam im Fahrversuch ein schreibendes Messgerät zu verwenden, um den Entscheid mit Messergebnissen zu untermauern. Das wirkt sich nicht nur positiv auf den Kunden aus, sondern viel wichtiger es festigt zusätzlich darüber hinaus die Beurteilung des Prüfers.

Rollenbremsprüfstände gibt es schon seit den 30er Jahren. Das Prinzip ist gleichgeblieben, lediglich die Messtechnik hat sich in Laufe der Jahren verbessert. Daran wird sich mit Blick in die Zukunft wenig ändern. Der einfache Aufbau, der einfache Ablauf bei einer Prüfung und die sicheren Ergebnisse führen zur häufigen Verwendung. Nicht nur die Bremsanlage von Anhängern sondern auch von PKWs und LKWs lassen sich problemlos überprüfen. Das Entwickeln eines neuen Prüfstands, welches fast auch alle Fahrzeugklassen abdecken kann und dabei verlässliche Ergebnisse liefert ist zwar nicht ausgeschlossen aber tendenziell schwer vorstellbar. Sicherlich steigen mit der Zeit die Anforderungen an Prüfstände, so wie zuletzt Anfang des Jahres 2020. Die Kosten für die Entwicklung neuer Prüfstände, für die wiederum auch neue Anforderungen erprobt werden müssten sind einfach zu hoch, sodass der Sinn schwindet.

Zudem sind Ausfälle von Rollen- oder Plattenbremsprüfständen selten. Durch die regelmäßige Wartung und Kalibrierung der technischen Anlagen wird ein Defekt minimiert und falls einer vorliegt wird die Anlage aufgrund der hohen Wichtigkeit schnellstens repariert. Das oben beschriebene Konzept wäre eine Idee eine Ersatzprüfung oder aber auch eine erweiterte Prüfung mit einem vorhandenen Prüfstand durchzuführen.

7 Quellenverzeichnis

- [1] Breuer et al. 2017 Breuer, B; Bill, K. H. (Hrsg.): *Bremsenhandbuch*. Berlin: 5te Auflage, Springer Vieweg, 2017, S. 312-320, ISBN 978-3-658-15489-9
- [2] BMJV et al. 2012 Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz; Bundesamt für Justiz: *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)*. 2012, www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/StVZO.pdf (02.06.2021)
- [3] BMVI 2011 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Verkehrsblatt*, Dortmund, Verkehrsblatt-Verlag, 2011, S. 354, www.cartesy.de/assets/richtlinie_2011.pdf (02.06.2021)
- [4] BMVI 2012 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Verkehrsblatt*, Dortmund: 47te Verordnung, Verkehrsblatt-Verlag, 2012, S.432, www.tga-bathuler.ch/Lernprogramme/FSD/EBS_PW/wbt/files/EBS_PKW/HU-Bremsen-Rili.pdf (02.06.2021)
- [5] BMVI 2021 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Lang-LKW: Streckennetz erweitert*, Berlin, 10te Verordnung, 2021, www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Gueterverkehr-Logistik/Lang-Lkw/lang-lkw.html#:~:text=Herk%C3%B6mmliche%20Lkw%20mit%20Anh%C3%A4nger%20d%C3%BCrfen,Tonnen%20im%20Kombinierten%20Verkehr%20betragen (27.05.2021)
- [6] BROSHUIS 2021 BROSHUIS Holland, 2021, <https://webshop.bros-huis.com/konigszapfen-3-5-gf.html> (27.05.2021)
- [7] Bögel 2017 Bögel, M; *Rechtliche Leitplanken für die Titanen der Straße*, 2017, September, www.lto.de/recht/hintergruende/h/schwertransporte-rechtliche-leitplanken-fuer-die-titanen-der-strasse/ (21.05.2021)
- [8] Felder 2002 Felder, H: *Autoelektrik*, Wuppertal, 2002, S. 47, <https://www.fahrzeug-elektrik.de/fs/47.htm>, (15.07.2021)
- [9] Fischer et al. 2009 Fischer, R; Gscheidle, R; Heider, U; Hohmann, B; Keil, W; Mann, J; Schlögl, B; Wimmer, A; Wormer, G: *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik*, Haan-Gruiten, 29te Auflage, Europa Lehrmittel, 2009, S. 480-482, ISBN 978-3-8085-2239-4
- [10] Göbel Fahrzeugbau 2021 Göbel Fahrzeugbau, 2021, <https://www.goebel-fahrzeugbau.de/produkte/lkw-anhaenger/tandemanhaenger> (21.05.2021)

- [11] Hilgers 2016 Hilgers, M: *Elektrik und Mechatronik*, Weinstadt, Springer Vieweg, 2016, August, S. 41-44, ISBN 078-3-658-12748-0
- [12] HUMER 2021 HUMER Anhänger, 2021, www.humer.com/de/neuanhaenger/anhaenger/drehschemelanhaenger (21.05.2021)
- [13] Jacobs Fahrzeugteile 2021 Jacobs Fahrzeugteile, 2021, <https://www.jacobsfahrzeugteile.de/anhaengerkupplung/> (21.05.2021)
- [14] KBA 2021 Kraftfahrt-Bundesamt: *Verzeichnis zur Systematisierung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern*, 2021, Januar, https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/SV/sv1_2021_01_pdf.pdf;jsessionid=F8958B508859FAE07FF92066E979DA35.live11293?__blob=publicationFile&v=4, S. 28-32 (19.07.2021)
- [15] Marx 2020 Marx, G: *3 neue Modelle, Heckbad und 2-Zonen-Heizung*, 2020, September, www.caravaning.de/neuheiten/neuheiten-2021-kabe-drei-neue-classic-grundrisse/ (21.05.2021)
- [16] Reif 2010 Reif, K (Hrsg.): *Bremsen und Bremsregelsysteme*, Friedrichshafen, 1te Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, 2010, Juni, S. 66-71, ISBN 978-3-8348-1311-4
- [17] Reilly 2014 Reilly, K: *Application: 100% control of drum brakes in production*, 2014, September, www.mahr.de/en/Services/Production-metrology/The-news-and-practice-blog/?BlogContentID=20839&Blog_action=comment# (04.06.2021)
- [18] Riedler Fahrzeugbau 2021 Riedler Fahrzeugbau, 2021, www.riedler.com/de/produkte/schubbodenfahrzeuge/sattelanhaenger.html (21.05.2021)
- [19] Schranz 2016 Schranz, K.: *LKW-Aufflieger für Traktoren: Vorteile und Grenzen von Dollyachsen*, 2016, Juli, <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/lkw-aufflieger-fuer-traktoren-vorteile-grenzen-dollyachsen-525226> (24.05.2021)
- [20] THWiki 2017 THWiki, Benutzer Schwab: *Anhänger 2 Achs 7to*, 2017, März, https://thwiki.org/t=Anh%C3%A4nger_2-Achs_7to (21.05.2021)
- [21] TRUCK1.EU 2021 TRUCK1.EU, 2021, <https://www.alle-lkw.de/anhaenger/tanks-anhaenger/schwarzmueller-zwei-achs-tank-anhaenger-a3083566.html> (24.05.2021)

[22] TÜV Nord 2021

TÜV Nord in Deutschland, 2021, www.tuev-nord.de/de/unternehmen/tuev-nord-in-deutschland/
(17.05.2021)

Selbstständigkeitserklärung

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Bednorz

Vorname: Matthias

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema:

Vergleichende Prüfungen einer Auflaufbremsanlage an zweiachsigen Anhängern der Klasse O2 im Rahmen einer Hauptuntersuchung nach §29 StVZO

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

Ort

Datum

Unterschrift im Original