



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Alex Busenius

Vergleich Bremswirkungsmessung bei HU

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

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

Alex Busenius



Vergleich Bremswirkungsmessung bei HU

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 GmbH & Co. KG
Mobilität



Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. J. Finke
Zweitprüfer/in: Ing. C. Taschendorf

Abgabedatum: 28.07.2021

Zusammenfassung

Alex Busenius

Vergleich Bremswirkungsmessung bei HU

Vergleich der Messmethoden bezüglich der Bremswirkung bei der HU nach §29 StVZO

Stichworte

Bremse, Bremswirkung, Bremsprüfung, Bremsprüfstand, HU, Messung, §29 StVZO, TÜV, Fahrzeug

Kurzzusammenfassung

Bei Fahrzeugen muss in der Prüfung nach §29 StVZO die Wirkung der Bremse festgestellt bzw. gemessen werden. Dies erfolgt üblicherweise mit dem Rollen- oder Plattenbremsprüfstand. Kann das Fahrzeug nicht auf diesem Prüfstand geprüft werden, ist die Anwendung eines schreibenden Messgerätes zum Beispiel der HU Adapter im Fahrversuch zulässig.

Alex Busenius

Comparison of braking effect measurement at HU

Comparison of the measuring methods regarding the braking effect at the HU according to §29 StVZO

Keywords

Brake, brake effect, brake test, braking test station, HU, measurement, §29 StVZO, vehicle

Abstract

In the case of vehicles, the effect of the brake must be determined or measured in the test according to §29 StVZO. This is usually done with the roller or plate test stand, it is permissible to use a writing measuring instrument, such as the HU Adapter, in the driving test.

Inhalt

1	Einleitung	8
2	TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG	9
3	Grundlagen	10
3.1	Bremsanlage	10
3.1.1	Betriebsbremsanlage	10
3.1.2	Feststellbremsanlage	11
3.1.3	Hilfsbremsanlage	11
3.1.4	Dauerbremsanlage.....	11
3.2	Komponenten der Bremsanlage im Pkw	12
3.2.1	Betätigungseinrichtung	12
3.2.2	Übertragungseinrichtung	15
3.2.3	Bremskreisaufteilung.....	17
3.3	Radbremsen.....	19
3.3.1	Trommelbremsen	20
3.3.2	Scheibenbremsen	23
3.4	Fahrsicherheitssysteme	25
3.4.1	Anti-Blockier-Verhinderer (ABV).....	25
3.4.2	Antriebsschlupfregelung (ASR)	25
3.4.3	Elektronisches-Stabilisierungs-Programm (ESP)	26
3.5	Bremsvorgang	27
3.6	Rechtliche Grundlagen	28
3.6.1	Der § 65 der StVZO.....	28
3.6.2	Der § 41 der StVZO.....	29
3.6.3	Der § 29 StVZO.....	30
3.6.4	HU-Bremsenrichtlinie	30
3.7	Zulässige Bremsenprüfmethoden	32
3.7.1	Verzögerungsmessung	32
3.7.2	Rollenbremsprüfstand	33
3.7.3	Plattenbremsprüfstand	35
3.8	Mängeleinstufung bei HU	36
4	Versuchsbremsmessungen	37
4.1	Prüffahrzeug.....	37
4.2	Versuchsdurchführung	39
4.3	Versuchsauswertung.....	41
4.3.1	Versuch 1	41
4.3.2	Versuch 2	46
4.3.3	Versuch 3	48
4.3.4	Feststellbremsanlage	51
4.4	Versuchsergebnis	52
4.5	Vergleichbarkeit der Bremsenprüfungen	53
5	Zusammenfassung	55
6	Fazit	56
7	Quellenverzeichnis	57

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Leitbild TÜV NORD GROUP	9
Abb. 2: Komponenten einer Bremsanlage im Pkw	12
Abb. 3: Vakuum-Bremskraftverstärker.....	13
Abb. 4: Tandemhauptbremszylinder.....	14
Abb. 5: Korrodierte Bremsleitung mit Ausfallgefahr	15
Abb. 6: Verdrehter Bremsschlauch.....	16
Abb. 7: Bremskreisaufteilungen.....	17
Abb. 8: Lastabhängiger Bremskraftregler	18
Abb. 9: Aufbau einer Trommelbremse	20
Abb. 10: Selbstverstärkung - C*-Kennwerte	21
Abb. 11: Simplexbremse	21
Abb. 12: Duplexbremse	22
Abb. 13: Duo-Duplexbremse	22
Abb. 14: Servobremse.....	22
Abb. 15: Duo-Servobremse	22
Abb. 16: Vollbrems Scheibe (links) und innenbelüftete Brems Scheibe (rechts) mit Bremsbelägen	23
Abb. 17: Bremssattelausführungen	24
Abb. 18: Über- und Untersteuern.....	26
Abb. 19: Bremsverzögerungsdiagramm	27
Abb. 20: Mindestabbremmung und zulässige Betätigungskräfte	31
Abb. 21: Betriebsbremsanlage - VZM.....	32
Abb. 22: Einachs-Rollenbremsprüfstand	34
Abb. 23: Einachs-Plattenbremsprüfstand	35
Abb. 24: Prüffahrzeug.....	38
Abb. 25: Mobile TÜV 2	40
Abb. 26: HU-Adapter	40

Abb. 27: Auswertungsdiagramm Versuch 1 - VA.....	41
Abb. 28: Auswertungsdiagramm Versuch 1 - HA	43
Abb. 29: Auswertungsdiagramm Versuch 2 - VA.....	46
Abb. 30: Auswertungsdiagramm Versuch 2 - HA	47
Abb. 31: Auswertungsdiagramm Versuch 3 - VA.....	49
Abb. 32: Auswertungsdiagramm Versuch 3 - HA	49
Abb. 33: Abbremsung FBA.....	51
Abb. 34: Vergleichbarkeit der Bremskräfte	54
Abb. 35: Vergleichbarkeit der Abweichung.....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bremsengegenüberstellung	19
Tabelle 2: Prüffahrzeugdaten	37
Tabelle 3: Achsanteile Versuch 1	44
Tabelle 4: Gesamtabbremsung - Versuch 1	45
Tabelle 5: Abweichung der VA vom Versuch 1 zu Versuch 2.....	46
Tabelle 6: Abweichung der HA von Versuch 2 zu Versuch 1.....	47
Tabelle 7: Gesamtabbremsung - Versuch 2	48
Tabelle 8: Gesamtabbremsung - Versuch 3	50
Tabelle 9: Abweichung Versuch 3 zu Versuch 1	50
Tabelle 10: Vergleichbarkeit der Bremsprüfungen.....	54

Abkürzungsverzeichnis

HU	Hauptuntersuchung
AU	Abgasuntersuchung
TÜV	Technischer Überwachungsverein
DÜV	Dampfkesselüberwachungsverein
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
VZM	Verzögerungsmessung
Pkw	Personenkraftwagen
Kfz	Kraftfahrzeug
z.B.	zum Beispiel
ABS	Anti-Blockier-System
ASR	Antriebsschlupfregelung
ESP	Elektronisches-Stabilisierungs-Programm
BBA	Betriebsbremsanlage
zGM	zulässige Gesamtmasse
FBA	Feststellbremsanlage
BKV	Bremskraftverstärker
VA	Vorderachse
HA	Hinterachse

1 Einleitung

Durch die stetige Weiterentwicklung der Technik im Kraftfahrzeugbereich und dem Drang nach immer größerer Sicherheit, ist es unumgänglich, dass sich Gesetze und Richtlinien weiterentwickeln müssen.

Grundsätzlich müssen Kraftfahrzeuge alle zwei Jahre (je nach Fahrzeugklasse) zur Hauptuntersuchung (HU). Bestandteil der HU ist die Untersuchung des Motormanagement-/Abgasreinigungssystems (UMA). Dies ist eine vom Gesetzgeber in Deutschland vorgeschriebene wiederkehrende Prüfung. Erstmalig zugelassene Kraftfahrzeuge unterliegen einer Ausnahme und müssen nach 36 Monaten zur ersten HU und UMA. Bei der HU wird das Kraftfahrzeug auf einen technisch einwandfreien Zustand untersucht, damit es sich sicher im Straßenverkehr fortbewegen kann und keine Gefahr für den Fahrzeugführer oder andere Verkehrsteilnehmer darstellt. Um die Vorschriften des Gesetzgebers gerecht zu werden, bedarf es vor allem geschultem Personal und einer Ausrüstung, die den aktuellen Gesetzmäßigkeiten entspricht. Für die fristgerechte Vorstellung des Fahrzeugs ist der Fahrzeughalter selbst verantwortlich.

Eine wichtige Prüfung im Rahmen der HU ist die Bremswirkungsprüfung nach §29 StVZO. Die Bremse ist einer der wichtigsten Bauteile am Kfz. Sind Bauteile an der Bremsanlage beschädigt, verschlissen oder die Übertragungseinrichtung undicht somit ist keine Sicherheit für das Fahrzeug gegeben. Um die Funktion und Wirkung der Bremsanlage festzustellen und zu dokumentieren, erfolgt üblicherweise die Bremswirkungsprüfung auf einem Rollen- oder Plattenprüfstand. Kann das Fahrzeug nicht in den beiden Prüfständen geprüft werden, ist eine Verzögerungsmessung mit einem schreibenden Messgerät erlaubt.

Es wird eine umfangreiche Recherche zu allgemeinen Bremsprüfungen und deren Richtlinien durchgeführt. Ebenfalls ist eine Recherche zu etablierten Möglichkeiten, um Bremsprüfungen auf unterschiedlichen Prüfeinrichtungen miteinander zu vergleichen zu erfolgen. Des Weiteren wird ein Vorgehen entwickelt, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Bremsprüfungen abbilden zu können.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Vergleichbarkeit der Bremswirkungsmessung zwischen einem Platten- und Rollenprüfstand herzustellen. Durch ein festgelegtes Prüffahrzeug werden Bremswirkungsmessungen auf den beiden Prüfständen durchgeführt und mögliche Einflussgrößen auf die Bremskräfte diskutiert und miteinander verglichen. Es erfolgen mehrere Versuche auf den Prüfständen um die Bremsdrücke mit den dazugehörigen Bremskräften darzustellen.

Zuvor wird der Stand der Technik einer Bremsanlage im Pkw vermittelt. Hierfür werden die wichtigsten Komponenten sowie elektronischen Sicherheitseinrichtungen näher erläutert. Das Prüffahrzeug mit seiner Ausgestatteten Bremsanlage wird vorgestellt.

2 TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG

Im Jahr 1869 überwachte der Dampfkesselüberwachungsverein (DÜV) unabhängig die Betriebssicherheit von Dampfkesseln. Immer mehr sicherheitsrelevante Aufgaben wurden der DÜV übertragen, wie die Erstmalige Prüfung von Automobilen und Aufzügen im Jahr 1902. Die Umbenennung zum TÜV (Technischer Überwachungsverein) geschah 1938. Die TÜV NORD GROUP entwickelte sich nach mehr als 150 Jahren aus dem traditionellen DÜV zu einem internationalen Technologie- und Sicherheitsdienstleister mit mehr als 10000 Mitarbeitern weltweit. Das Unternehmen besteht aus den Bereichen Mobilität, Energie, Umwelt, Bildung, Gesundheit, Rohstoffe, IT und Aerospace.

Der Bereich Mobilität beschäftigt sich mit der Sicherheit auf den Straßen. An Prüfstützpunkten zählt die Hauptuntersuchung, sowie die Abgasuntersuchung von verschiedenen Fahrzeugfabrikaten wie Pkw, Lkw, Motorrad sowie Land- und Forstwirtschaftliche Fahrzeuge zur täglichen Arbeit eines Prüfers oder Prüfsingenieurs. Die Beurteilung und Abnahme von Fahrzeugveränderungen und -umbauten gehören ebenfalls dazu. Die Fahrtauglichkeitsprüfungen sind feste Bestandteile der Aufgaben von Prüfsingenieuren.

Das Leitbild (Abb. 1) zeigt die industrielle, revolutionäre Entwicklung des Unternehmens. Über die Jahrzehnte erfolgreich gewonnene Erfahrung und der Anspruch an höchste Sicherheit und Qualität, wird der TÜV mit einem hohen Sicherheitsstandard verbunden.

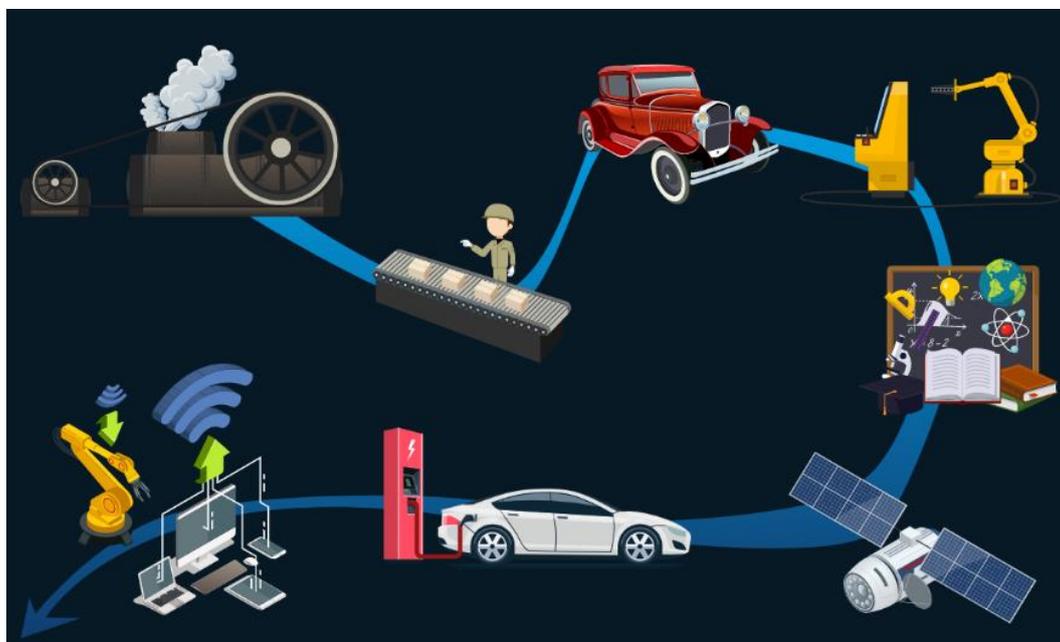


Abb. 1: Leitbild TÜV NORD GROUP [12]

3 Grundlagen

Die Grundlagen beschäftigen sich mit dem Stand der Technik der Bremsanlagen mit deren Sicherheitseinrichtungen in Kraftfahrzeugen, den rechtlichen Grundlagen der StVZO für Bremsen, sowie den zulässigen Prüfmethode für Bremssysteme.

3.1 Bremsanlage

Die Bremsanlage ist eine äußerst relevante Vorrichtung, um ein bewegtes Kraftfahrzeug zu verlangsamen oder zum Stillstand zu bringen und gegen das Wegrollen zu sichern. Die Einleitung des Bremsvorgangs erfolgt bei einem Pkw mittels einer Betätigungskraft auf das Bremspedal. Die hierbei entstehende Kraft dient als Eingangsgröße. Heutzutage wird diese Kraft durch z.B. Vakuum-Bremskraftverstärker gesteigert und wirkt auf den Tandem-Hauptzylinder. Eine spezielle Bremsflüssigkeit wird durch die Bremsleitungen verdichtet und presst mit einem Druck auf die Radbremszylinder. Dabei werden die Bremsbeläge an die Bremsscheibe gedrückt und durch die entstehende Reibung wird das Fahrzeug verzögert oder im Stillstand gehalten. Die einzelnen Komponenten werden nachfolgend näher erläutert.

Die Bremsanlage kann in folgende vier verschiedene Bereiche eingeteilt werden:

- Betriebsbremsanlage
- Feststellbremsanlage
- Hilfsbremsanlage
- Dauerbremsanlage

3.1.1 Betriebsbremsanlage

Die Betriebsbremsanlage (BBA) wird aktiv vom Fahrzeugführer während des normalen Betriebes im Straßenverkehr betätigt und hat die Aufgabe, die Geschwindigkeit zu reduzieren, das Kfz zum Stillstand zu bringen oder es im Stillstand zu halten. Die Verzögerung eines Kraftfahrzeugs muss abstufbar erfolgen. Abstufbar bedeutet, dass die Bremskraft durch Einwirken der Betätigungseinrichtung zu jedem Zeitpunkt erhöht sowie verringert werden kann. Die Komponenten der Betriebsbremse sind hoch beansprucht und unterliegen dem Verschleiß. Die Radbremsen wandeln die Bewegungsenergie des Fahrzeugs in Reibwärme um. Beim Betätigen des Bremspedals beginnt die Einleitung des Bremsvorgangs und die Bremskraft richtet sich nach der Kraftaufwendung auf das Bremspedal. Hierbei sollen alle Radbremsen gleichzeitig angesprochen werden, um eine vorschriftsmäßige Abbremsung zu gewährleisten.

3.1.2 Feststellbremsanlage

Die Feststellbremsanlage (FBA) hat die Aufgabe das Fahrzeug gegen das ungewollte Wegrollen zu sichern. Es kommen zwei verschiedene Ausführungen zum Einsatz: Eine rein mechanische Feststellbremse ist über einen Hebel (Handbremshebel) und über einen Seilzug mit der Radbremse verbunden. Eine weitere Möglichkeit die Feststellbremse zu betätigen ist die elektronische Ausführung. Diese Ausführung kommt lediglich bei Scheibenbremsanlagen an der Hinterachse zum Einsatz. Dabei wird beim Betätigen ein Signal an die Stellmotoren gesendet, die den Kolben ausfahren und somit eine Druckkraft entsteht.

3.1.3 Hilfsbremsanlage

Die Hilfsbremsanlage soll bei einer Störung der Betriebsbremsanlage mit verringerter Wirkung das Fahrzeug verzögern bzw. zum Stillstand bewegen. Dabei bedarf es keines weiteren Bremssystems, sondern zwei unabhängige Bremskreise für z.B. die Vorder- und Hinterachse. Im Falle einer Beschädigung oder Leckage am ersten oder zweiten Kreis fällt nicht die ganze Bremsanlage aus. Diese unabhängigen Bremskreise sind für Fahrzeuge nach §41 StVZO vorgeschrieben.

3.1.4 Dauerbremsanlage

Die Dauerbremsanlage kommt überwiegend bei Nutzfahrzeugen oder Fahrzeugen mit hohen Gesamtgewichten zum Einsatz. Bei z.B. Kraftomnibussen mit mehr als 5,5t oder Zugmaschinen ab 9t ist die Dauerbremsanlage vorgeschrieben. Diese sogenannte „dritte Bremse“ ist eine verschleißfreie Dauerbremse. Ein nicht zu vernachlässigendes System, um bei Gefällen die Radbremsen zu unterstützen, da bei permanenter Benutzung diese überhitzen und ausfallen können.

3.2 Komponenten der Bremsanlage im Pkw

Ein Bremssystem im Pkw besteht aus mehreren Baugruppen:

- Betätigungseinrichtung
- Übertragungseinrichtung
- Randbremsen
- Elektronische Fahrsicherheitssysteme

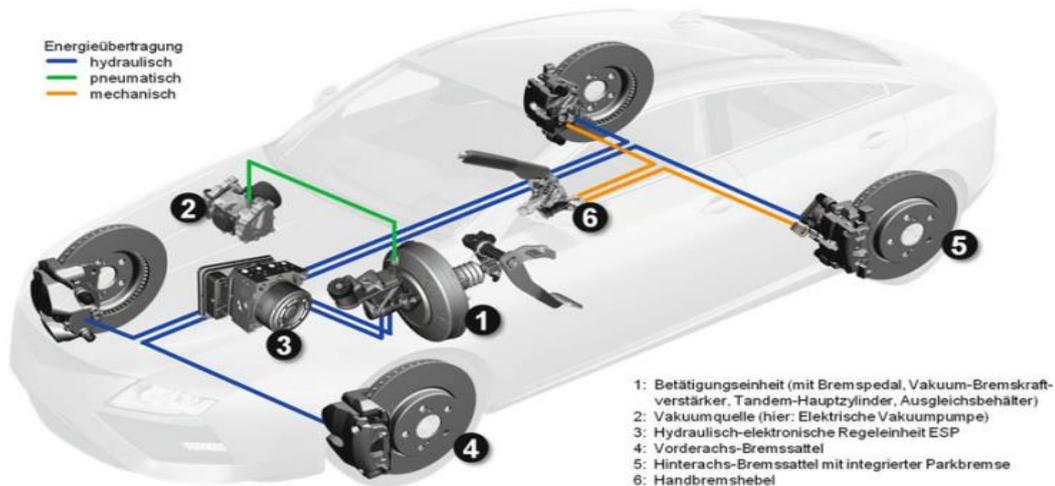


Abb. 2: Komponenten einer Bremsanlage im Pkw [3, S. 128]

3.2.1 Betätigungseinrichtung

Die Betätigungseinrichtung setzt sich aus dem Bremspedal, dem Bremskraftverstärker und Tandem-Hauptzylinder mit Ausgleichsbehälter zusammen. Die Betätigungseinrichtung beginnt unmittelbar nach der Krafteinleitung auf das Bremspedal oder dem Handbremshebel.

3.2.1.1 Bremskraftverstärker

Der Bremskraftverstärker (BKV) hat die Aufgabe die am Bremspedal aufgebrachte Kraft zu unterstützen und somit den Komfort und die Sicherheit zu erhöhen. Die Sicherheit spielt hier eine bedeutende Rolle, da bei einer Gefahrensituation schneller ein höherer Bremsdruck aufgebaut und somit das Fahrzeug schneller verzögert wird, um mögliche Unfälle zu vermeiden.

Es gibt zwei hauptsächliche Bauarten des Bremskraftverstärkers im Pkw:

- Vakuum-Bremskraftverstärker
- Hydraulik-Bremskraftverstärker

Obwohl diese zwei Bauarten nach unterschiedlichen Prinzipien arbeiten, haben sie dieselbe Hauptaufgabe. Sie sollen die Fußkraft beim Betätigen des Bremspedals unterstützen.

Die Vakuum-Bremskraftverstärker haben sich durchgesetzt, aufgrund kostengünstigerer Bauweise und durch die schon vorhandene Vakuumenergie, die bei Ottomotoren im Ansaugtrakt entsteht. Bei Dieselmotoren ist eine zusätzliche Vakuumpumpe verbaut, da diese über ein niedriges Unterdruckniveau im Saugrohrkanal verfügen. Die Druckdifferenz zwischen Luftdruck und Saugrohrdruck wirkt auf einen Arbeitskolben im Bremskraftverstärker, welcher die Druckstangenkraft z.B. auf das Vierfache verstärkt.

Die Abb. 3 zeigt einen an der Spritzwand befestigten Vakuum-Bremskraftverstärker (1). Über den Vakuumschlauch (2) gelangt die Energie zum BKV. Zu erkennen ist auch, dass der Hauptbremszylinder mit dem Ausgleichsbehälter (3) direkt an den BKV gekoppelt ist.



Abb. 3: Vakuum-Bremskraftverstärker

Bei der hydraulischen Bremskraftverstärkung fördert eine Hochdruckpumpe Öl in den Hydrospeicher und der darin befindliche Stickstoff wird über eine Membran zusammengepresst und lädt den Speicher mit einem Druck von 150 bar auf.

Bei der hydraulischen Unterstützung tragen viele Komponenten dazu bei, dass die Betätigungskraft verstärkt wird. Es ergeben sich somit mehrere Störfaktoren für die Unterstützungsanlage, was auch ein wesentlicher Nachteil gegenüber der Vakuum-Bremskraftverstärkung ist.

3.2.1.2 Tandem-Hauptzylinder

Der Tandem-Hauptbremszylinder (Abb. 4) ist an den Bremskraftverstärker gekoppelt und ist das Bindeglied zwischen mechanischer und hydraulischer Betätigungskraft. Es kommen ausschließlich Tandem-Hauptzylinder zum Einsatz, da laut §41 StVZO zwei voneinander unabhängige Bremskreise vorgeschrieben sind. Es sind zwei Kolben im inneren verbaut und jeder Kolben ist für einen Kreis zuständig. Fällt ein Kreis durch z.B. Leckage aus, ist der andere Kreis noch in eingeschränktem Umfang intakt.

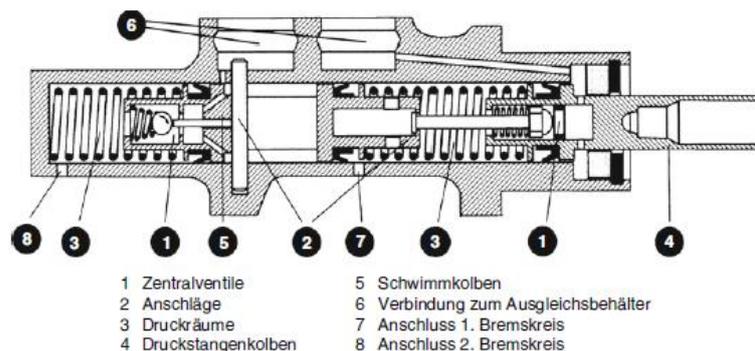


Abb. 4: Tandemhauptbremszylinder [3. S. 8]

Zu seinen Hauptaufgaben gehört, dass er die verstärkte Betätigungskraft von dem Bremskraftverstärker aufnimmt und diese in hydraulischen Druck umwandelt. Er sorgt für einen schnellen Druckaufbau in jedem Bremskreis beim Bremsen und einen raschen Druckabbau beim Lösen der Bremse, um die Freigängigkeit der Radbremsen zu gewährleisten. Mit dem darauf befindlichen Ausgleichsbehälter sorgt er für einen Volumenausgleich bei Temperaturschwankungen oder Verschleiß der Bremsbeläge. Gegen das Eindringen von Luft ins Bremssystem muss die Anlage dafür ausgelegt sein, denn Luft ist im Gegensatz zur Bremsflüssigkeit (Hydraulikflüssigkeit) kompressibel. Durch die Inkompressibilität der Bremsflüssigkeit wird der Druck im Bremssystem nahezu konstant gehalten. [3]

3.2.2 Übertragungseinrichtung

Die Übertragungseinrichtung setzt sich aus den Bremsleitungen und Bremsschläuchen zusammen. Mithilfe dieser zwei Bauteile kann die umgewandelte hydraulische Kraft mittels Bremsflüssigkeit an die Radzylinder befördert werden. Die Bremsleitungen und Bremsschläuche müssen mehreren Anforderungen standhalten. Hierzu zählen die Druckfestigkeit, mechanische Belastbarkeit und chemische Beständigkeit wie z.B. gegen Öl, Kraftstoffe und Salzwasser [3]. Die Bremsleitungen verlaufen aus dem Motorraum unter dem Unterboden des Fahrzeugs zu den Radbremszylindern. Dadurch sind sie Steinschlägen oder anderen Beschädigungen ausgesetzt. Die Bremsleitungen bestehen aus Stahl mit einer ummantelten Kunststoffschicht. Bremsschläuche bestehen aus einem speziellen Gummigemisch. Diese können sich bei Temperaturschwankungen etwas ausdehnen [8].

Da die Übertragungseinrichtung eine tragende Rolle der Sicherheit einnimmt, dürfen die Schläuche und Leitungen keine Beschädigungen, Korrosion oder falsche Einbaulage aufweisen.

Die Abb. 5 zeigt eine korrodierte Bremsleitung mit Ausfallgefahr am Unterboden eines Fahrzeugs. Die Kunststoffummantelung ist abgelöst und die darunter befindliche Stahlbremsleitung ist angegriffen und geschwächt. Eine Beschädigung der Schutzhülle kann z.B. durch Steinschläge oder Vibration der Befestigungsclips entstehen. Solche Korrosionen der Bremsleitungen stellen ein schweres Sicherheitsrisiko dar, da sie beim Druckaufbau in den Leitungen zu platzen drohen. Ein Austausch der Bremsleitung ist unvermeidbar.

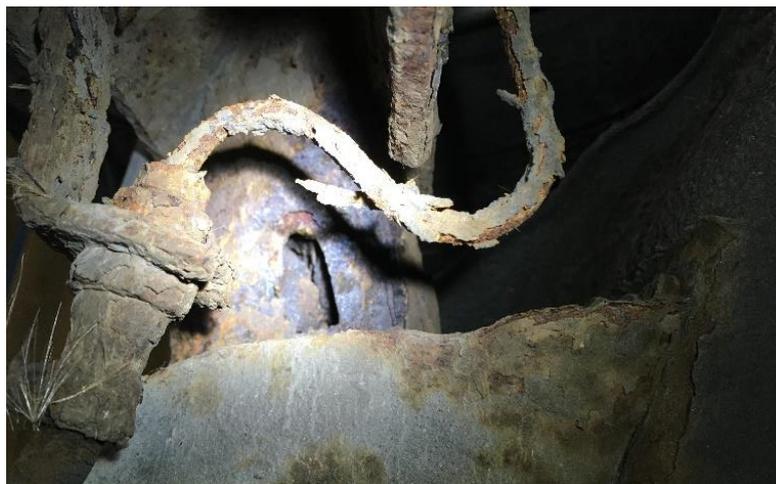


Abb. 5: Korrodierte Bremsleitung mit Ausfallgefahr

Die Bremsschläuche stellen eine flexible Verbindung der Übertragungseinrichtung zur Radbremse her. Sie sind ständigen Bewegungen ausgesetzt, wie der Einfederung oder dem Lenkeinschlag. Auch diese Komponenten tragen eine enorme Rolle zur Sicherheit bei. Um Ausfallerscheinungen der Bremsschläuche entgegenzuwirken, ist eine regelmäßige Überprüfung notwendig [7].

Auch eine richtige Montage trägt zur Sicherheit des Bremssystems bei. Nach Lösen der Radbremse, für z.B. einen Wechsel der Bremskomponenten, kann es bei dem Wiederaufbau zum Verdrehen des Bremsschlauches führen, wie es in der Abb. 6 dargestellt ist. Es kann zum Abdrücken des Schlauches kommen, die Folge ist eine Bremskraftreduzierung. Beim falsch sitzenden Bremsschlauch ist die Länge verkürzt, was bei einem Lenkeinschlag zum Abriss führen kann. Um ein Scheuern des Bremsschlauches an anderen Fahrzeugteilen zu vermeiden, ist auf eine ordnungsgemäße Verlegung zu achten.

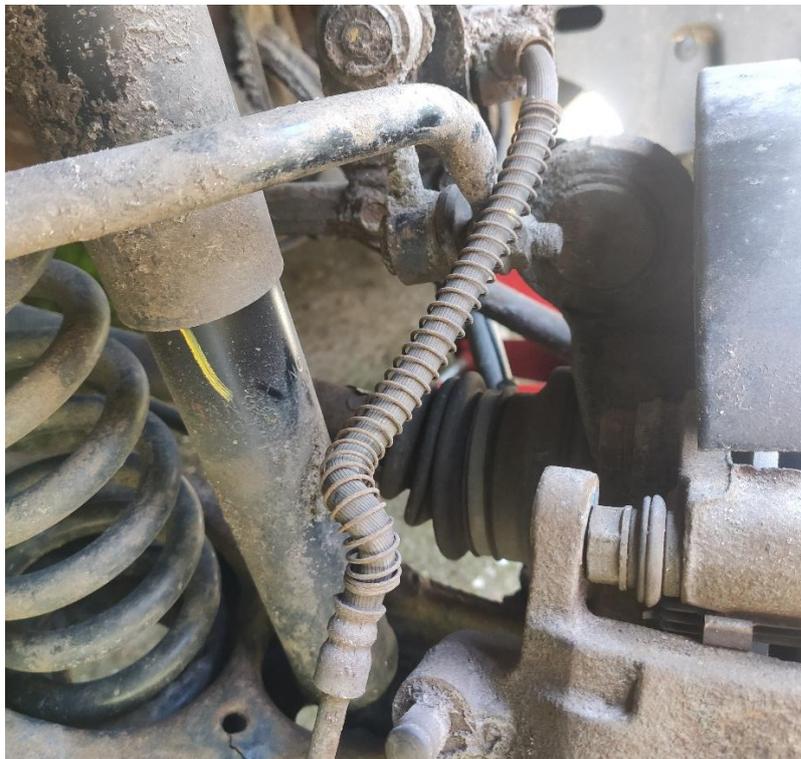


Abb. 6: Verdrehter Bremsschlauch

In der Übertragungseinrichtung ist eine spezielle hydraulische Flüssigkeit, die sogenannte Bremsflüssigkeit, enthalten. Diese hat die Aufgabe, die vom Hauptzylinder umgewandelte, mechanische Betätigungskraft in hydraulischen Druck an die Radbremszylinder zu übertragen. Ebenso muss diese eine hohe Siedetemperatur aufweisen, damit es bei thermischer Belastung zu keiner Dampfblasenbildung kommt. Da Dampfblasen den Bremsdruck nicht weiterleiten, kommt es zum Ausfall der Bremse. Auch bei tiefen Temperaturen (bis zu -40°C) muss eine zuverlässige Fließeigenschaft der Bremsflüssigkeit sichergestellt werden. Da die Bremsflüssigkeit durch verschiedene Materialien fließt, wie Stahl und Gummi, muss diese denen gegenüber chemisch neutral sein. Durch Bremschläuche wird Wasser in das Bremssystem aufgenommen und die Bremsflüssigkeit ist nach Herstellervorgaben regelmäßig zu überprüfen und ggf. zu wechseln.

3.2.3 Bremskreisaufteilung

Um den gesetzlichen Vorschriften gerecht zu werden, müssen Kraftfahrzeuge zwei voneinander unabhängige Bremsanlagen oder Bremskreise aufweisen. Bei Ausfall eines Bremskreises wird dadurch sichergestellt, dass das Fahrzeug sicher abgebremst werden kann. Es gibt mehrere Bremskreisaufteilungen nach DIN 74000. In Abb. 7 sind die fünf Möglichen Aufteilungen der Bremskreise dargestellt.

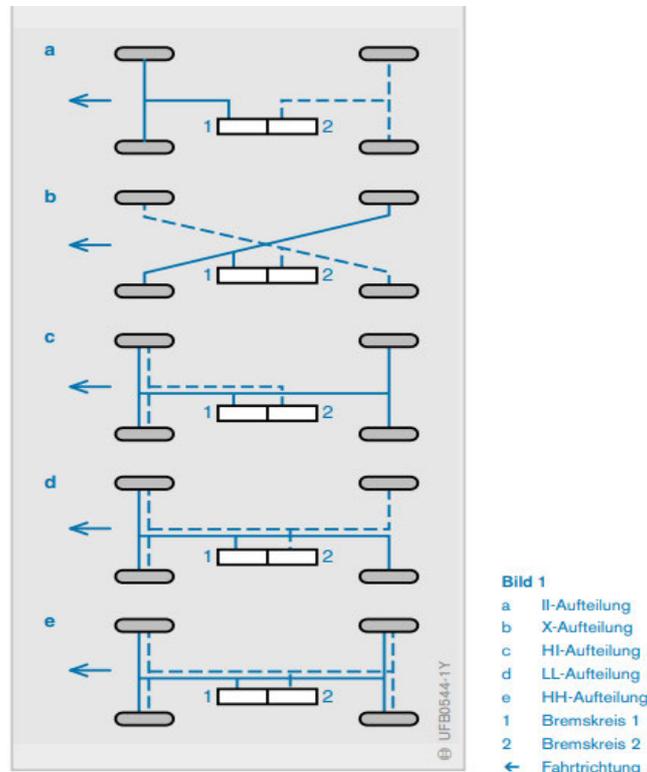


Abb. 7: Bremskreisaufteilungen [9, S. 47]

Bei der II-Aufteilung ist jeweils ein Bremskreis an die Vorderachse, sowie Hinterachse angeschlossen. Bei Ausfall eines Kreises ist somit eine ausreichende Bremswirkung sichergestellt. Diese Aufteilung ist konstruktiv einfach zu realisieren und ist eine kostengünstige Lösung. Eine weit verbreitete Aufteilung ist die Diagonal-Aufteilung bzw. X-Aufteilung und kann bei vielen Fahrzeugtypen eingesetzt werden. Hier wirkt ein Kreis beispielsweise vom linken Vorderrad zum rechten Hinterrad. Durch Wegfall eines Bremskreises kann es zu einem Giermoment führen, da die Vorderachse einen höheren Bremskraftanteil besitzt [3]. Die HI-, LL-, und HH-Aufteilungen haben sich im Pkw aus Kostengründen nicht durchsetzen können. Diese Aufteilungen kommen bei anderen Fahrzeugtypen zum Einsatz. Bei der HI-Aufteilung wirkt ein Bremskreis an die Vorder- sowie Hinterachse und der zweite Kreis nur auf die Vorderachse. Durch Ausfall des ersten Bremskreises, wird das Fahrzeug nur über die Vorderradbremse verzögert. Die LL-Aufteilung verbindet den ersten Kreis mit der Vorderachse und dem linken Hinterrad, wobei der zweite Kreis die Vorderachse und das rechte Hinterrad verbindet. Die Besonderheit bei dieser Aufteilung ist, dass bei Ausfall eines Kreises immer die Vorderachse und ein Teil der Hinterachse gebremst werden. Die teuerste, aber sicherste Variante ist die HH-Aufteilung. Hier werden beide Achsen mit der Hälfte der Bremskraft beim Ausfall eines Kreises abgebremst. Somit gibt es kein Giermoment und es bleibt spurstabil [9].

Da beim Bremsvorgang eine dynamische Gewichtsverlagerung stattfindet, werden Bremskraftregelsysteme eingesetzt. Diese haben die Aufgabe, dass das Kfz lenkbar und in der Spur stabil bleibt, sowie einen kurzen Bremsweg zu ermöglichen. Durch Bremsdruckminderer wird ein Blockieren der Hinterachse vermieden. Somit kommt es nicht zum Ausbrechen der Hinterachse des Fahrzeugs. Um den Bremsdruck zu regulieren, kommen beispielsweise lastabhängige Bremskraftregler (Abb. 8) an der Hinterachse oder elektronische Bremskraftverteilung zum Einsatz [6]. Ist ein lastabhängiger Bremskraftregler verbaut, wird die Bremskraft über eine Feder, die mit der Hinterachse verbunden ist, über Ventile gesteuert. Einfluss auf die Bremskraft nimmt der Beladungszustand, sowie die dynamische Achslastverteilung. Die elektronische Bremskraftregelung wird über das Anti-Blockier-System Hydroaggregat geregelt. Hierbei wird der Drehzahlunterschied zwischen der Vorder- und Hinterachse gemessen und dementsprechend die Bremskraft der jeweiligen Achse angepasst.



Abb. 8: Lastabhängiger Bremskraftregler

3.3 Radbremsen

Es gibt verschiedene Bremssystemkonstellationen in Kraftfahrzeugen. Eine renommierte Aufteilung beinhaltet die Scheibenbremse verbunden mit der Trommelbremse. Wobei die Scheibenbremse heutzutage immer an der Vorderachse und die Trommelbremse an der Hinterachse anzutreffen ist, da Scheibenbremsen eine größere Bremskraft erzielen können. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Scheibenbremsen an Vorder- sowie Hinterachse anzubringen, da Scheibenbremsen eine höhere Bremsleistung erzielen und damit die Gesamtabbremmung verbessert wird.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Vor- und Nachteile der Trommel- und Scheibenbremsen gegenübergestellt.

Tabelle 1: Bremsengegenüberstellung

	Scheibenbremse	Trommelbremse
Preis	Hoch	Gering
Wartung	Einfach	Aufwendig
Schutz vor Korrosion/ Verschmutzung	Gering	Hoch
Bremsleistung	Hoch	Gering
Hitzeabfuhr	Hoch	Gering
Gewicht	Gering	Hoch
Feststellbremse integrieren	Aufwendig	Einfach

Um ein Fahrzeug so kostengünstig wie möglich herstellen zu können, kommen Fahrzeuge, bei denen eine Trommelbremse an der Hinterachse ausreichend ist, zum Einsatz. Dies können Kleinfahrzeuge mit einem niedrigen zGM sein, da die Gesamtabbremmung laut den Richtlinien eingehalten werden kann. Ein weiterer Punkt, wo die Trommelbremsen eingesetzt werden, ist bei Baufahrzeugen oder Offroad-Fahrzeugen, um diese gegen Verschmutzungen zu schützen, da diese innenliegend sind. Durch das innenliegende System ist die Wartung der Trommelbremse aufwendiger als bei der Scheibenbremse. Dadurch, dass die Scheibenbremsen „frei“ liegen und in der Mitte geschlitzt eingearbeitet sind, ist die Wärmeabfuhr besser als bei der innenliegenden Trommelbremse.

3.3.1 Trommelbremsen

Trommelbremsen werden heutzutage an der Hinterachse bei Pkw oder im Nutzfahrzeugbereich aufgrund der zuvor erläuterten Kriterien verwendet. Die Trommelbremse (Abb. 9) sitzt festverschraubt auf der Radnabe. In der Bremsleitung wird über die Bremsflüssigkeit der hydraulische Druck an den Bremszylinder übertragen. Dieser fährt jeweils einen Kolben mit einer daran gekoppelten Bremsbacke aus. Die Bremsbacke mit dem darauf befindlichen Bremsbelag wird innen an die Bremstrommel gedrückt und somit entsteht die notwendige Reibung zur Abbremsung. An einer Trommelbremse ist eine Feststellbremse einfach zu realisieren. Die mechanische Spannvorrichtung wird über einen Seilzug, welcher mit dem Handbremshebel verbunden ist, betätigt. Nach Lösen der Betriebsbremse oder der Feststellbremse werden die Bremsbacken über eine Rückholfeder gelöst.

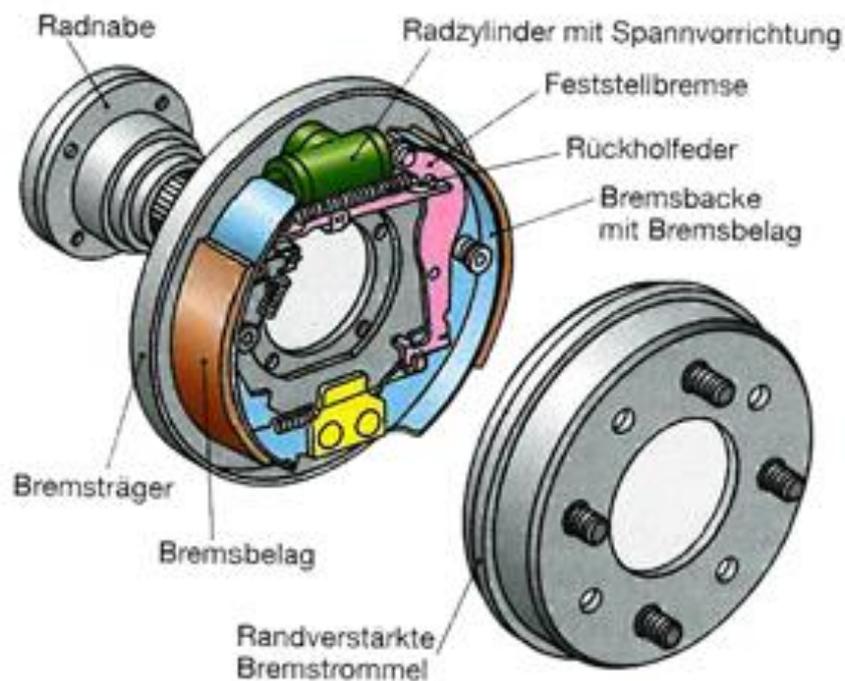
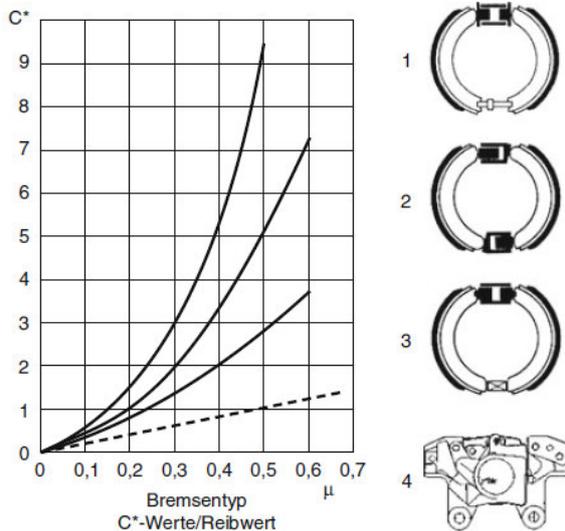


Abb. 9: Aufbau einer Trommelbremse [10]

Eine wichtige Eigenschaft der Trommelbremse ist die Selbstverstärkung. Durch die Reibung wird ein Drehmoment erzeugt, das die auflaufende Backe in die Trommel reinzieht und die Bremswirkung verstärkt. Der Bremsenkennwert C gibt je nach Radbremsart die Größe der Selbstverstärkung an. In der Abb. 10 ist der Bremsenkennwert C^* über dem Bremsbelag-Gleitreibungszahl dargestellt.



Die größte Selbstverstärkung ist bei der Duo-Servobremse (1) zu erkennen. Die Duplexbremse (2) folgt mit dem zweitgrößten Wert. Die Simplexbremse (3) zeigt sich bei den Trommelbremsen am schwächsten mit der Selbstverstärkung. Bauartbedingt hat die Scheibenbremse (4) kaum Selbstverstärkung.

Abb. 10: Selbstverstärkung - C^* -Kennwerte [3, S. 131]

Die einfachste Form der Trommelbremse ist die Simplexbremse (Abb. 11). Durch den doppelwirkenden Bremszylinder werden die Bremsbeläge über ein festes Stützlager (8) an die Bremstrommel gepresst. Die Simplexbremse besitzt eine auflaufende und eine ablaufende Bremsbacke. In Fahrtrichtung (1) wirkt die Selbstverstärkung (2) auf die auflaufende Bremsbacke (6). Dreht sich die Fahrtrichtung um, so wird die zuvor auflaufende Bremsbacke (6) zur ablaufenden. Die Selbstverstärkung wirkt nun auf die auflaufende Bremsbacke (7).

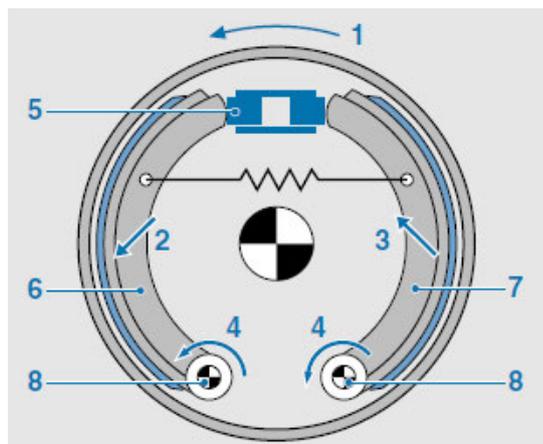


Abb. 11: Simplexbremse [9, S. 68]

Um die Selbstverstärkung bei Vorwärtsfahrt zu erhöhen, werden Duplexbremsen (Abb. 12) eingesetzt. Dort wirken zwei einfachwirkende Bremszylinder auf jeweils eine Bremsbacke, die nun beide auflaufend sind. Bei Rückwärtsfahrt wirken dagegen beide Bremsbacken ablaufend. Es findet keine Selbstverstärkung statt. Eine weitere Variante ist die Duo-Duplexbremse (Abb. 13). Hier fungieren beide Bremsbacken auflaufend, da zwei doppelwirkende Bremszylinder zum Einsatz kommen. Die Selbstverstärkung tritt nun bei Vor- und Rückwärtsfahrt ein.

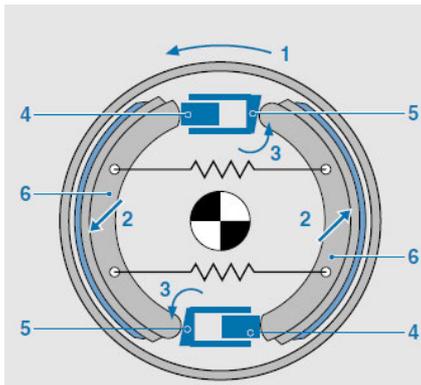


Abb. 12: Duplexbremse [9, S. 69]

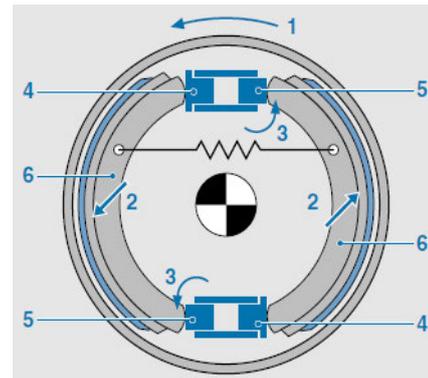


Abb. 13: Duo-Duplexbremse [9, S. 69]

Bei der Servobremse (Abb. 14) werden die Bremsbacken mit einem doppelwirkenden Bremszylinder betätigt. Besonderheit bei dieser Ausführung ist es, dass zu einer Seite ein bewegliches Stützlager verbaut ist. Somit wirken beide Bremsbeläge bei der Vorwärtsfahrt auflaufend. Verzögert man beim Rückwärtsfahren, wirkt eine Bremsbacke auflaufend und eine ablaufend, wie bei der Simplexbremse. Ist das Stützlager in beide Richtungen beweglich, handelt es sich um eine Duo-Servobremse (Abb. 15). Bei Vor- und Rückwärtsfahrt laufen bei Bremsbacken auf.

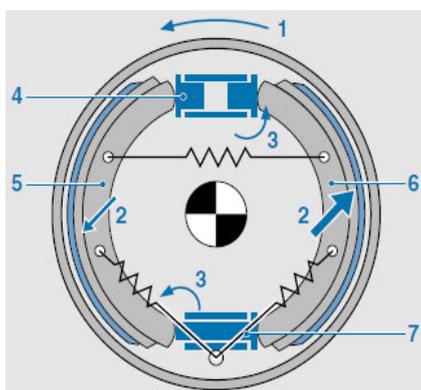


Abb. 14: Servobremse [9, S. 69]

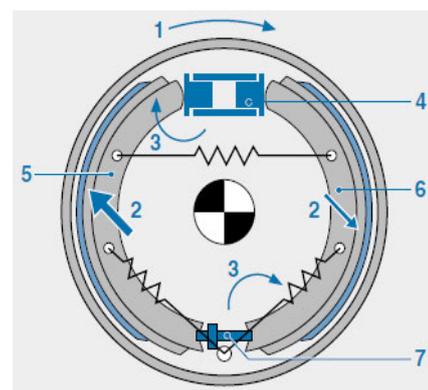


Abb. 15: Duo-Servobremse [9, S.70]

3.3.2 Scheibenbremsen

Im Gegensatz zu Trommelbremsen bestehen Scheibenbremsen (Abb. 16) aus einer Bremsscheibe, einem Bremssattel und den darin eingefassten Bremsbelägen. Hier wird die Bewegungsenergie durch das Anpressen der Bremsbeläge an die Bremsscheibe jeder Seite reduziert. Bei Bremsscheiben unterscheidet man zwischen innenbelüfteten und Vollbremsscheiben. Heutzutage werden an der Vorderachse innenbelüftete Scheiben verwendet, aufgrund deren besserer Wärmeableitung. Durch die bessere Wärmeabfuhr neigen Scheibenbremsen weniger zum Bremskraftverlust (Fading) und sind bei Dauerbeanspruchung den Trommelbremsen überlegen. Aus Kostengründen kommen an der Hinterachse entweder Trommelbremsen oder Vollbremsscheiben zum Einsatz.



Abb. 16: Vollbremsscheibe (links) und innenbelüftete Bremsscheibe (rechts) mit Bremsbelägen [11, S. 335]

Anders als bei der Trommelbremse gibt es keinen selbstverstärkenden Effekt bei der Scheibenbremse, aufgrund der ebenen Bremsflächen. Die Scheibenbremse ist deshalb gut dosierbar und die Bremswirkung ist richtungsunabhängig. Dies wiederum erfordert eine größere Anpresskraft, was mithilfe des Bremskraftverstärkers passiert. Durch die höheren Anpresskräfte unterliegen die Bremsbeläge einem hohen Verschleiß. Das Lösen der Bremskraft ist hier über eine Gummidichtung im Bremssattel gelöst.

Dieser dichtet den Kolben ab und wird beim Ausfahren elastisch verformt. Wird der Bremsdruck abgebaut, so zieht der verformte Dichtring den Kolben in die Ausgangssituation zurück. Bremsättel gibt es in mehreren Ausführungen. Die Abb. 17 zeigt eine Festsattelbremse (a), eine Schwimmrahmenbremse (b) und die Faustsattelbremse (c). Beim Festsattel ist das Gehäuse fest mit dem Bremssattelträger verschraubt. Beim Einleiten der Bremsung werden zwei gegenüberliegende Kolben mit den daran befindlichen Bremsbelägen an die Bremsscheibe gepresst. Im Gegensatz zum Festsattel besitzt die Schwimmrahmenbremse nur einen Kolben und ist „schwimmend“ auf dem Bremssattelträger gelagert. Aufgrund der „schwimmenden“ Lagerung über Führungsbolzen wird das Gehäuse gegen die Kolbenrichtung verschoben und die Kolbenkraft wirkt auf beide Bremsbeläge. Die Faustsattelbremse besitzt die Wirkungsweise der Schwimmrahmenbremse. Die Faustsattelbremse ist eine Weiterentwicklung und zeichnet sich durch wartungsfreundlichere Bauweise aus. Durch die platzsparende Bauweise und das damit resultierende geringe Gewicht, sind diese Art der Bremsättel im Pkw-Sektor weit verbreitet.

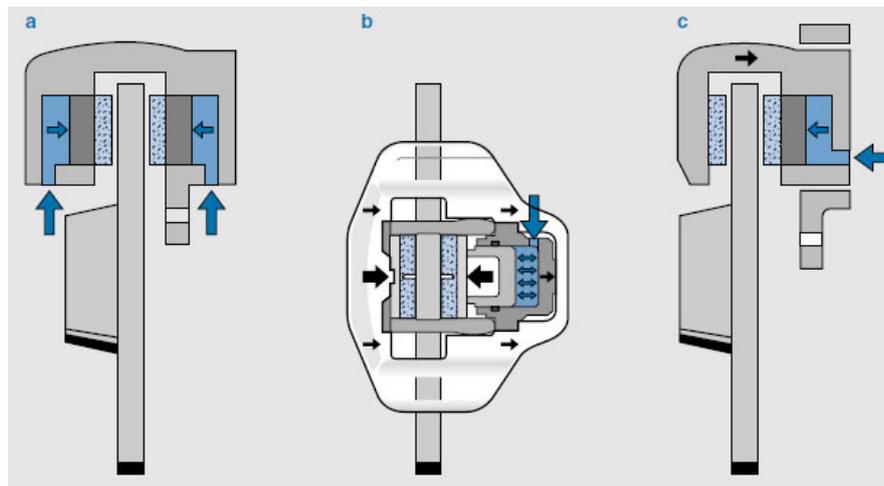


Abb. 17: Bremssattelausführungen [9, S. 72]

Durch Erweiterung einer Spindel im Faustsattel, lässt sich eine Feststellbremse mit geringem Aufwand realisieren. Neue Fahrzeuge besitzen eine elektromechanische Feststellbremse. Diese Ausführung der Feststellbremse bietet weitere Funktionen, wie den adaptiven Anfahrsistenten. Dies ist eine Komfortfunktion, die beim Anfahren an Steigungen den Fahrer unterstützt und das Rückrollen verhindert. Um die Sicherheit das Wegrollen des Fahrzeugs beim Abstellen zu verhindern, warnt das System den Fahrer bzw. wird die Parkfunktion automatisch eingeleitet. [9]

3.4 Fahrsicherheitssysteme

Aktive Sicherheitssysteme tragen dazu bei, dass im Straßenverkehr weniger Unfälle geschehen. Dies sind elektronische Einrichtungen, die auf die Bremsanlage Einfluss nehmen, um das Fahrzeug zu stabilisieren und die Lenkbarkeit zu erhalten. Die folgenden Systeme lauten wie folgt:

- Antiblockiersystem (ABS)
- Antriebsschlupfregelung (ASR)
- Elektronisches-Stabilisierungs-Programm

3.4.1 Anti-Blockier-Verhinderer (ABV)

Für die Bremskraftregelung wird in hydraulischen Bremsanlagen der Anti-Blockier-Verhinderer (ABV) integriert. Ein ABV besteht aus Radsensoren mit den dazugehörigen Impulsringen, einem Steuergerät und dem Hydroaggregat mit Magnetventilen. Dieses System verhindert das Blockieren der Räder beim Bremsvorgang. Die Radsensoren liefern dem Steuergerät die erforderlichen Daten. Das Steuergerät ermittelt daraus die Beschleunigung oder Verzögerung an jedem Rad. Droht ein Rad zu blockieren, greift der ABV ein und steuert dieses gezielt an. Das Hydroaggregat wird mit der entsprechenden Information versorgt und über die internen Ventile wird der Bremsdruck abgesenkt. Durch diese Regelung erhält das Fahrzeug seine Lenkbarkeit und kann weiterhin Seitenführungskräfte übertragen. Durch das gezielte ansteuern eines Rades wird der optimale Kraftschluss zwischen Rad und Fahrbahn ausgenutzt und somit der Bremsweg verkürzt.

3.4.2 Antriebsschlupfregelung (ASR)

Das ASR verhindert ein Durchdrehen der Antriebsräder beim Anfahren und Beschleunigen. Wenn das maximal übertragende Antriebsdrehmoment überschritten wird, kommt es zum sogenannten Schlupf und die Räder drehen als Resultat durch. Dies wiederum kann zu ungünstigem Anfahrverhalten und Instabilität des Fahrzeugs führen. Der Schlupf am Reifen beschreibt die Differenz der Umfangsgeschwindigkeit des Reifens relativ zur Fahrbahngeschwindigkeit. Die Regelung erfolgt über das Motordrehmoment und/oder das Bremsmoment. Das ASR kann als eine Erweiterung des ABS angesehen werden, denn diese nutzen dieselben Komponenten zur Regelung. Wird der Schlupf bei einem Rad überschritten, greift das System ein und bremst dieses gezielt ab.

Beim Ottomotor kann die Steuerung des Motordrehmoments über die Drosselklappe, Zündanlage oder die Einspritzanlage gesteuert werden. Beim Dieselmotor wird die Steuerung über die Einspritzmenge des Kraftstoffes reguliert. Durch ein optimales Zusammenspiel der Motordrehmoment- und Bremsmomentsteuerung lässt sich ein Durchdrehen der Räder vermeiden. [3]

3.4.3 Elektronisches-Stabilisierungs-Programm (ESP)

Das ESP greift dann ein, wenn sich das Fahrzeug anders verhält als vom Fahrer am Lenkrad vorgegeben wird. Es ist eine Weiterentwicklung des ABV. Durch aktives Abbremsen einzelner Räder oder durch Eingriff in den Antriebsstrang erreicht man eine Stabilisierung des Fahrzeugs und verhindert ein Drehen um die Hochachse. Durch alltägliche Situationen im Straßenverkehr wie das Auftauchen eines plötzlichen Hindernisses erfordert ein Ausweichen dessen. Dabei kann das Fahrzeug ins Schleudern geraten. Ebenso kann das Fahrzeug beim Beschleunigen oder Abbremsen in Kurven zum Übersteuern oder Untersteuern führen. Durch ein Zusammenspiel verschiedener Sensoren wie dem Lenkwinkelsensor, Gierratensensor, Querbeschleunigungssensor kann das Steuergerät die Informationen verarbeiten und diese an die Bremshydraulik weiterleiten um gezielt ein Rad abzubremsen. Dieses System kann Unfälle verhindern, die durch Schleudern oder Ausbrechen des Fahrzeugs entstehen. Alle neu zugelassenen Pkw sind ab dem 1. November 2014 laut dem Europäischen Parlament verpflichtet das ESP zu verbauen. [11]

In der Abb. 18 ist zu erkennen, dass das Fahrzeug mit der ESP Regelung bei Geradeausfahrt oder in der Kurve stabil in der Spur bleibt. Frontantriebsfahrzeuge neigen zum Untersteuern. Darunter versteht man ein „Schieben“ über die Vorderräder und somit wird das Fahrzeug in der Kurve nach außen geschoben. Bei Fahrzeugen mit Heckantrieb entsteht ein Übersteuern. Dabei wird das Heck um die Fahrzeug-Hochachse aus der Kurve herausgeschleudert. [9]

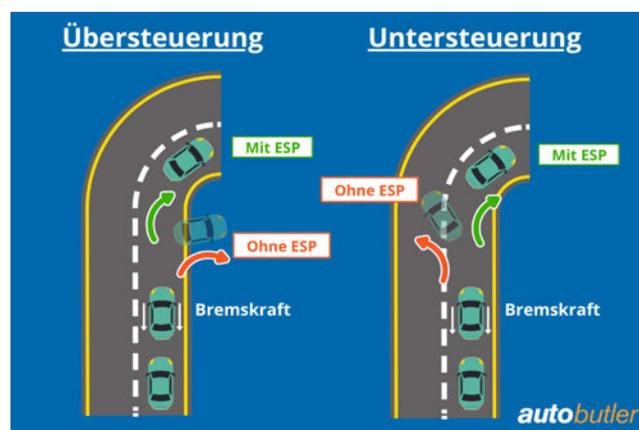


Abb. 18: Über- und Untersteuern [2]

3.5 Bremsvorgang

Der Bremsvorgang setzt nach Erkennen eines Hindernisses verzögert ein. Die Gesamtdauer setzt sich aus mehreren Zeiten zusammen. In der Abb. 19 ist die Geschwindigkeit v , Pedalkraft F und Bremsverzögerung \ddot{x}_B über der Zeit dargestellt.

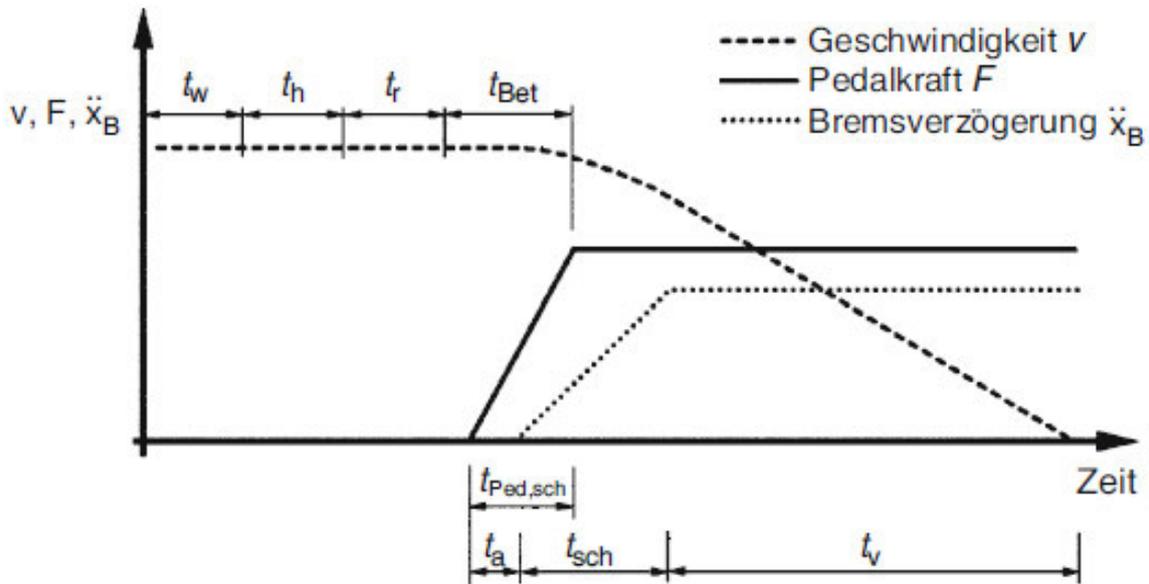


Abb. 19: Bremsverzögerungsdiagramm [3, S. 128]

Um das Fahrzeug in Stillstand zu versetzen, durchläuft es mehrere Phasen beim Bremsvorgang. Bei Erkennung eines Hindernisses durch den Fahrer, vergehen die Wahrnehmungszeit t_w und die Schreckzeit t_h . Nach Erkennung einer Gefahr bis zum Betätigen des Bremspedals ist die sog. Reaktionszeit t_r . Diese ist von der körperlichen und geistigen Substanz des Fahrers abhängig. Diese kann von Alkoholgenuss oder Drogenkonsum stark reduziert werden. Beim Betätigen (Betätigungszeit t_{Bet}) der Bremse werden Luftspiele oder Pedalleerwege überwunden. Zu erkennen ist, dass die Anschwellzeit der Fußkraft $t_{Ped,sch}$, Ansprechzeit der Bremse t_a und Schwelldauer t_{sch} sich mit der Betätigungszeit überschneiden. Bei der Anschwellzeit der Fußkraft wird die Pedalkraft F stetig aufgebaut und beim Maximum gehalten. Nachdem die Bremse angesprochen ist, beginnt die Verzögerung des Fahrzeugs. Während der Schwelldauer steigt der Druck im Bremsystem an und nach Erreichen des Endwertes wird die gewünschte Bremsverzögerung erzielt. Ist die größte Bremsverzögerung erreicht, beginnt die konstante Vollbremszeit t_v bis zum Stillstand des Fahrzeugs.

Die mittlere Verzögerung \ddot{a} ist für viele Betrachtungen des Bremsweges ausreichend. Dieser errechnet sich aus der Anfangsgeschwindigkeit v_0 und dem Bremsweg s .

$$\ddot{a} = \frac{v_0^2}{2 \cdot s} \quad [2]$$

Der Bremsweg ist hauptsächlich von der Geschwindigkeit abhängig. Bei Verdoppelung der Geschwindigkeit entsteht eine Vervielfachung des Bremsweges bei selben Randbedingungen.

Weitere Einflüsse auf den Bremsweg sind:

- Straßenzustand, z.B. vereist, trocken, Unebenheiten
- Reifenzustand, z.B. Profiltiefe, Reifendruck
- Bremsenzustand, z.B. schwergängig, verölt, beschädigt, verschlissen
- Zustand der Stoßdämpfer, um einen optimalen Reifen-Straßen-Kontakt zu ermöglichen [9]

3.6 Rechtliche Grundlagen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den rechtlichen Grundlagen der StVZO für Bremsen. Hier wird die allgemeine Definition von Bremsanlagen festgelegt und welche Fahrzeuge damit ausgestattet werden müssen. Auch die Grenzwerte der Bremsanlagen wird hier näher erläutert.

3.6.1 Der § 65 der StVZO

Der Gesetzgeber regelt im §65 der StVZO die allgemeine Definition der Bremsen an Fahrzeugen. Die Bremsanlage wird als eine feste Einrichtung definiert, die die Fahrzeuggeschwindigkeit reduziert und es im Stillstand gegen das Wegrollen sichert. Sie muss während der Fahrt und in jeder Situation leicht bedienbar sein. Sie soll ihre volle Wirkung erreichen, ohne die Fahrbahn zu beschädigen. Arbeitsmaschinen, die nur im Fahren Arbeit leisten, wie z.B. Pflüge oder Drillmaschinen, benötigen keine Bremse [4]. Für Kraftfahrzeuge und Anhänger die nach EG-Typgenehmigung zugelassen sind, wird die Bremsanlage in der EG-Richtlinie 2007/46/EG festgelegt. Dies ist eine Rahmenrichtlinie für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Anhängern, sowie von Systemen und Bauteilen [14].

3.6.2 Der § 41 der StVZO

Im §41 der StVZO ist die Kraftfahrzeugbremse detailliert formuliert und beschrieben. Da unterschiedliche Bremsanlagen im Kraftfahrzeug zu finden sind, gibt es für die jeweilige Ausführung eine konkrete Festlegung. Zwei voneinander unabhängige Bremsanlagen müssen in Kraftfahrzeugen verbaut sein. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Bedienungseinrichtung der Bremsanlage unabhängig voneinander zu installieren. Dabei muss auf getrennte Übertragungsmittel geachtet werden. Diese Festlegung ist darauf ausgelegt, dass wenn eine Bremsanlage versagt, die andere weiterhin wirken kann. Bei mehr als zwei gebremsten Rädern dürfen auch gemeinsame Übertragungseinrichtungen genutzt werden, jedoch muss es so ausgelegt sein, dass zwei Räder, die nicht auf derselben Seite liegen, beim Bruch gebremst werden können. Da die Bremsen einem erhöhten Verschleiß unterliegen, besagt die Vorschrift, dass alle Bremsen leicht nachstellbar sind oder eine selbsttätige Nachstellvorrichtung besitzen.

Die Betriebsbremse in Kraftfahrzeugen (Krafträder ausgenommen) muss mindestens eine mittlere Verzögerung von $5 \frac{m}{s^2}$ erreichen. Wird die Höchstgeschwindigkeit von $25 \frac{km}{h}$ nicht überschritten, ist eine mittlere Verzögerung von $3,5 \frac{m}{s^2}$ ausreichend. Bei der Feststellbremse setzt der Gesetzgeber eine mittlere Verzögerung von $1,5 \frac{m}{s^2}$ voraus. Diese muss mechanisch feststellbar sein und die vom Fahrzeug größte befahrbare Steigung gegen ein Wegrollen sichern. Bei Kraftfahrzeugen, die mit gespeicherter elektrischer Energie angetrieben werden, darf eine der beiden Bremsanlagen als elektrische Widerstands- oder Kurzschlussbremse fungieren.

Weitere Fahrzeuge und deren Bremsanlage werden im § 41 der StVZO beschrieben. Dazu zählen z.B. Gleiskettenfahrzeuge, Anhänger mit den verschiedenen Gewichtsklassen, Kraftomnibusse mit Druckluft- oder Hydraulischer Bremsanlage. Arbeitsmaschinen, deren zulässiges Gesamtgewicht 250 kg nicht überschreitet, benötigen keine Bremsanlage.[5]

3.6.3 Der § 29 StVZO

Hier ist festgelegt, dass Halter von zulassungspflichtigen Fahrzeugen in regelmäßigen Zeitabständen auf ihre Kosten ihr Fahrzeug untersuchen lassen müssen. Ausnahmen gibt es bei Fahrzeugen der Bundeswehr und Bundespolizei sowie Fahrzeuge mit roten Kennzeichen. Hier ist auch die Regelung der Prüfplaketten beschrieben. Die Prüfplakette muss auf dem hinteren Kennzeichen dauerhaft und gegen Missbrauch angebracht sein. Diese können durch die vom Landesrecht zuständige Behörde, sowie eine berechtigte Person angebracht werden, die die Hauptuntersuchungen durchführen darf. Des Weiteren darf eine Prüfplakette nur zugeteilt werden, wenn die in Anlage VIII Vorschriften eingehalten werden. Ebenfalls wird hier die Sicherheitsprüfung an Fahrzeugen beschrieben.

Die Anlage VIII regelt die Untersuchung der Fahrzeuge. Dort sind die Fahrzeugtypen mit den jeweiligen Zeitabständen und der Art der Untersuchung aufgelistet. Auch die Fristen der Nachuntersuchungen bei nicht bestandener Hauptuntersuchung sind dort geregelt. So hat der Fahrzeughalter einen Monat Zeit, um die Mängel zu beheben und das Fahrzeug der Prüforganisation wieder vorzuführen.

Die Anlage VIIIa beschreibt die Durchführung der Hauptuntersuchung. Hier sind einzelne Untersuchungspunkte Anlage/Einrichtung aufgeführt, die der amtlich anerkannte Sachverständige oder Prüfer, sowie der von einer amtlich anerkannten Überwachungsorganisation betraute Prüfenieur einzuhalten hat.[6]

3.6.4 HU-Bremsenrichtlinie

Dies ist die Richtlinie für die Prüfung der Bremsanlagen von Fahrzeugen bei Hauptuntersuchungen nach § 29 StVZO. Hier wird die genaue Prüfung einer Bremsanlage festgelegt. Hydraulische, sowie Druckluftbremsanlagen und Anhänger-Auflaufbremsanlagen sind Bestandteil dieser Richtlinie. Die Funktion und Wirkung, sowie der Zustand und die Ausführung sind bei Bremsenprüfungen zu kontrollieren. Bei Überprüfung der Bremsanlage bei HU sind auf Beschädigungen mechanischer, sowie elektrischer Bauteile der Bremsanlage zu achten. Veränderungen der Betätigungseinrichtung, sowie eine unsachgemäße Reparatur sind nicht zulässig. Allgemein ist bei der Hauptuntersuchung darauf zu achten, dass keine Beschädigungen, Leckagen oder Montagefehler der Bremsanlage vorliegen. Bei der Bremswirkungsmessung ist ein Nachweis der Mindestabbremung des Fahrzeugs bezogen auf seine zGM zu erfolgen. Vor der Messung ist eine Konditionierungsfahrt vorgesehen. Dadurch soll die Bremsanlage gezielt thermisch belastet werden, um das Messergebnis nicht zu beeinflussen. Bremswirkungsmessungen werden typischerweise in einem Bremsenprüfstand im Geschwindigkeitsbereich von 2,5 bis 7,0 km/h geprüft. Außerdem gibt es Ausnahmen für Fahrzeuge, die bauartbedingt nicht im Bremsprüfstand geprüft werden können.

Hier ist eine Messung im Fahrversuch mit einem schreibenden Messgerät gestattet. Dies gilt ebenfalls für Fahrzeuge, deren Höchstgeschwindigkeit <40 km/h betragen. Bei Kraft-
rädern, die eine fachgerechte Unterbringung des Messgerätes nicht ermöglichen, ist eine
Untersuchung ohne das schreibende Messgerät zu erfolgen.

Bei der BBA darf eine Abweichung der Bremskräfte nicht mehr wie 25% einer Achse
betragen. Bei auflaufgebremsten Anhängern deren BBA über die Feststelleinrichtung be-
tätigt wird, gilt diese Regelung ebenfalls.

Der Wert bei der Feststellbremse ist auf 50% festgelegt. Dies gilt für Anlagen, die wäh-
rend der Fahrt betätigt werden können und auf eine Achse wirken. Bei Feststellbremsan-
lagen mit elektronischer Betätigung sind Abweichungen bis 95% zulässig.

Die Abb. 20 zeigt einen Ausschnitt der Mindestabbremmung mit den dazugehörigen Be-
tätigungskräften. Zu erkennen am Beispiel des PKW ist, dass die Mindestabbremmung z
ab dem 28.07.2010 insgesamt 58% der zGM beträgt. Die dazugehörige Fußkraft F_F
nimmt einen Wert von 50 daN ein. Die Abbremmung der Feststellbremse wurde ab
dem 01.01.1991 um 1% auf insgesamt 16% erhöht. Die Handkraft H_H ist konstant bei 40
daN und die Fußkraft bei 50 daN geblieben. Ein daN (Dekanewton) entspricht 10 N (New-
ton). [13]

Fz.- Klasse	Fahrzeugart	Erstzulassung	Betriebsbremsanlage			Feststellbremsanlage		
			$z \geq$	$F_H \leq$	$F_F \leq$	$z \geq$	$F_H \leq$	$F_F \leq$
			[%]	[daN]	[daN]	[%]	[daN]	[daN]
M ₁	PKW, Wohnmobile $\leq 3,5t$ *1	vor 01.01.91	50	---	50	15	40	50
		ab 01.01.91 und vor 28.07.2010				16		
		ab 28.07.2010	58			16		
M ₂ , M ₃	Kraftomnibus	vor 01.01.91	48	---	70	15	60	70
		ab 01.01.91	50			16		
N ₁	LKW/Zugmaschinen	vor 01.01.91	45 *3	---	70	15	60	70
		ab 01.01.91	50			16		
N ₂ , N ₃	LKW/Zugm./Wohnmob. $> 3,5t$	vor 01.01.91	43 *3	---	70	15	60	70
		ab 01.01.91 und vor 28.07.2010	45			16		
		ab 28.07.2010	50			16		

Abb. 20: Mindestabbremmung und zulässige Betätigungskräfte [13]

3.7 Zulässige Bremsenprüfmethoden

Damit der Prüfer bei der HU die Bremswirkung eines Kraftfahrzeuges nicht nur mittels Sichtprüfung beurteilen kann, kommen verschiedene Bremsenmessmethoden zum Einsatz. Die Überprüfung der Bremsen erfolgt meist auf Bremsenprüfständen. Für jedes Rad werden Bremskräfte, Rollwiderstand und das Eintreten der Blockierneigung gemessen. Auch die Verzögerungsmessung gehört zur täglichen Arbeit eines Prüfers dazu.

3.7.1 Verzögerungsmessung

Die Verzögerungsmessung kommt laut Gesetzgeber zum Einsatz, wenn aus bautechnischer Sicht das Fahrzeug nicht im Prüfstand überprüft werden kann. Bevor die Messung durchgeführt wird, müssen wichtige Punkte eingehalten werden. Eine geeignete Fahrbahn für die Durchführung ist aufzusuchen. Dabei muss diese eben und griffig sein. Der HU-Adapter (Abb. 26) besitzt Sensoren, die bei der Abbremsung die nötige Verzögerung aufnehmen. Dieser muss im Fahrzeug rutschsicher positioniert werden. Da es sich um eine dynamische Messung handelt, muss der Prüfer das Fahrzeug auf >20 km/h beschleunigen und bis zum Stillstand stark abbremsen. Die Messung wird automatisch nach Erkennen des Stillstandes beendet und das Ergebnis angezeigt. Die Abb. 21 zeigt einen Ausschnitt des Protokolls der Verzögerungsmessung. Das Diagramm stellt die Verzögerung [m/s^2] über der Zeit [s] dar. Der grafische Verlauf bildet die Verzögerung nach der Nickwinkelkorrektur ab. Wie im Kapitel 3.5 erläutert, durchläuft die Bremsung mehrere Phasen bis zur konstanten Verzögerung. Die Verzögerung wird über die Zeit größer und ab etwa einer Sekunde nimmt diese linear bis zum Nullpunkt ab. Weitere Daten wie die Abbremsung bezogen auf die Prüfmasse, mittlere und maximale Verzögerung und die Geschwindigkeit vor der Abbremsung sind ablesbar. Die hier aufgezeichneten Daten befinden sich über den geforderten Mindestwerte. Dabei liegt die minimale Abbremsung laut HU-Bremsenrichtlinie bei 50%, da das Prüffahrzeug eine Erstzulassung 03/2009 hat. Die nach § 41 StVZO geforderte mittlere Verzögerung von $5 m/s^2$ wird ebenfalls eingehalten. Im Anhang I ist das Protokoll mit den entsprechenden Fahrzeugdaten sowie das Protokoll für die Feststellbremse zu finden.

Betriebsbremsanlage

Abbremsung Z bezogen auf Prüfmasse:	73 %
Mittlere Vollverzögerung:	7,3 m/s^2
Maximale Verzögerung:	7,8 m/s^2
Geschwindigkeit vor Bremsung:	25 km/h

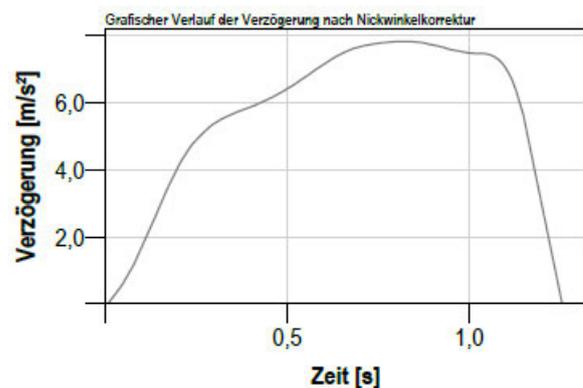


Abb. 21: Betriebsbremsanlage - VZM

Am Beispiel der nachfolgenden Formel kann die Bremskraft des Gesamtfahrzeugs bestimmt werden:

$$a = \frac{F_B}{G} \text{ in } \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

Die Gewichtskraft G des Fahrzeugs ist dem Fahrzeugschein zu entnehmen und durch die Messung ist die Verzögerung a gegeben. Nach umstellen der Formel ergibt sich die Gesamtbremskraft:

$$F_B = a * G = 7,3 \frac{m}{s^2} * 2010 \text{ kg} = 14673 \text{ N} = 1467,3 \text{ daN}$$

Die Verzögerungsmessung stellt lediglich ein Ersatzverfahren, um die Wirkungsprüfung der Bremsanlage festzustellen. Eine fundamentale Aussage der Bremsleistung einzelner Räder kann hierbei nicht gemacht werden, da eine Unterteilung der Achsen bzw. Räder nicht erfolgt. Um detaillierte Messergebnisse zu erhalten, werden moderne Platten-, sowie Rollenbremsprüfstände eingesetzt.

Bestimmung des Bremsweges wird über die nachfolgende Formel erzielt:

$$s = \frac{1}{2} * a * t^2$$

Durch Ableitung des Bremsweges ergibt sich die Geschwindigkeit:

$$v = a * t$$

Nach umstellen der Geschwindigkeit nach der Zeit und das Einsetzen in den Bremsweg, erhält man eine Bremswegformel in Abhängigkeit der gemessenen Verzögerung und Geschwindigkeit (Abb. 21):

$$s = \frac{1}{2} * a * \left(\frac{v}{a}\right)^2 = \frac{1}{2} * 7,3 \frac{m}{s^2} * \left(\frac{6,94 \frac{m}{s}}{7,3 \frac{m}{s^2}}\right)^2 = 3,3 \text{ m}$$

3.7.2 Rollenbremsprüfstand

Um eine fundamentale Aussage der Wirkung einer Bremsanlage treffen zu können, bedarf es einer modernen Prüftechnik. Rollenbremsprüfstände sind in Prüfstützpunkten von Prüforganisationen weit verbreitet. Diese sind in den Boden eingelassen und erfordern eine hohe elektrische Leistung, um die Antriebsrollen des Prüfstandes in Bewegung zu versetzen. Durch das aufwendige Einlassen in den Boden, wird Platz in der Prüfhalle gespart. Für die nachfolgenden Wirkungsmessungen steht ein Einachs-Rollenbremsprüfstand (Abb. 22) der Marke AHS aus dem Jahr 2013 in der Station Stade zur Verfügung.

Der Prüfstand hat zwei gleiche Rollensätze, um die Bremsen einer Achse gleichzeitig prüfen zu können. Jedes Rad wird von einer Rolle angetrieben. Dieser Bremsprüfstand weist eine Besonderheit der Hubfunktion auf. Durch das Anheben der Rollensätze kann z.B. bei einer Tandemachse mehr Gewicht auf eine Achse verlagert werden, dadurch dass die zweite Achse frei hängt. Er weist zudem einen Messbereich von 0-30000 daN auf und ist für Pkw, Lkw und Anhänger gleichermaßen geeignet. Die Bremskräfte werden über die Bremsmomentenrolle mit der Reaktionskraft links und rechts analog in der Anzeigetafel mit der prozentualen Abweichung dargestellt. Diese Rollen sind mit einer speziellen Beschichtung versehen, um hohe Haftreibungszahlen zu gewährleisten. Durch die hohen Bremsbelastungen auf der Rolle sind die Beschichtungen regelmäßig zu kontrollieren und ggf. zu ersetzen. In der Mitte der Rollensätze befindet sich die Tastwalze. Ihre Aufgabe ist es, die Antriebsmotoren erst laufen zu lassen, wenn beide Tastwalzen betätigt sind. Dies ist auch eine weitere Schutzmaßnahme für Personen. Dadurch, dass beide Tastwalzen betätigt sein müssen, um die Antriebsmotoren zu starten, wird ein Hineintreten in eine Tastwalze keine weiteren Verletzungsrisiken durch das Anrollen des Prüfstandes mit sich bringen. Ebenso hat sie die Aufgabe der Blockierschutzüberwachung. Bei der Blockiergrenze des PKW schaltet diese die Antriebsräder ab. Ein großer Vorteil des Rollenbremsprüfstandes ist, dass Bremskräfte bis zur Blockiergrenze nach und nach gesteigert werden und Zwischenwerte nahezu konstant gehalten werden können. Schwankungen der Bremskräfte sind leicht erkennbar und lassen auf eine defekte Bremse hindeuten. Auch beim Anfahren kann der Rollwiderstand indirekt abgelesen werden, indem erhöhte Werte angezeigt werden, ohne die Bremse zu betätigen. Dies lässt auf eine feststehende Bremse schließen. Eine Prüfung von Allradfahrzeugen ist ebenfalls möglich, wenn eine Freigabe des Herstellers vorliegt. Diese kann mittels Fahrzeugsystemdaten (FSD) ausgelesen werden (Anhang II)



Abb. 22: Einachs-Rollenbremsprüfstand

3.7.3 Plattenbremsprüfstand

Plattenbremsprüfstände sind zugelassene Prüfmittel für die Hauptuntersuchung laut § 29 StVZO. Anders als beim Rollenbremsprüfstand ist die Bremsprüfung ein dynamischer Ablauf. Fahrzeuge werden mit einer Geschwindigkeit von 8 bis 12 km/h auf die Bremsplatten gefahren und abgebremst. Die Platten sind in Längsrichtung verschiebbar gelagert und mit einem Dehn-Mess-Streifen (DMS) verbunden. Die Bremsplatten sind mit einer asphaltartigen Schicht überzogen, um die Haftreibung zwischen Reifen und Platte zu erhöhen. Beim Bremsvorgang wird die Platte in Fahrtrichtung verschoben. Das Dehnelement wird verformt und wandelt ein elektrisches Signal entsprechend um und die dazugehörige Bremskraft wird auf der Anzeigetafel dargestellt. Nachteile an diesem Prüfstand sind, dass der Prüfplatz mehr Platz erfordert. Erneute Messungen sind immer mit Anfahrgeschwindigkeiten verbunden. Auch das Erkennen von defekten Bremsanlagen gestaltet sich bei dieser Prüfmethode schwieriger. Aufgrund einer dynamischen Messung kommt es beim Abbremsen auf den Platten zu einer Nickbewegung des Fahrzeugs. Dadurch kommt es zu einer dynamischen Achsverlagerung. Die Hinterachse wird entlastet und die Vorderachse wird mehr belastet. Diese Achslastverlagerung hat einen Einfluss auf die dargestellten Bremskräfte. Dies stellt die Realität im Straßenverkehr dar. [1]

Zur Durchführung der Messungen steht ein Einachs-Plattenprüfstand (Abb. 23) der Marke AHS aus dem Jahr 2020 zur Verfügung. Die Kalibrierung des Prüfstandes ist aktuell und ist ein wichtiger Zyklus, um die Messfehler auf einem geringen Niveau zu halten. Die Anzeigetafel zeigt die Bremskraft auf der linken sowie auf der rechten Seite einer Achse an. In der Mitte wird die Bremskraftdifferenz in Prozent dargestellt.



Abb. 23: Einachs-Plattenbremsprüfstand

3.8 Mängeleinstufung bei HU

Bei der Hauptuntersuchung gibt es mehrere Einstufungen der am Fahrzeug gefundenen Mängel.

Es gibt folgende Mängeleinstufungen bei der HU:

- OM: Ohne Mängel
- GM: Geringer Mangel
- EM: Erheblicher Mangel
- VU: Verkehrsunsicher
- VM: Gefährlicher Mangel

Durchläuft ein Fahrzeug die HU und AU ohne Mängel, so ist die HU bestanden. Weist das Fahrzeug geringe Mängel auf, wie z.B. eine von zwei defekte Kennzeichenleuchte oder einseitiger Ausfall einer Schlussleuchte, so ist HU ebenfalls bestanden, aber der Fahrzeugführer ist dazu verpflichtet, diesen Mangel umgehend zu beseitigen. Wird ein Kfz mit einem erheblichen Mangel eingestuft, so ist die HU nicht bestanden und eine erneute Vorstellung mit den behobenen Mängeln innerhalb der gesetzlichen Frist von 4 Wochen von Nöten. Ein Defekt oder Auffälligkeiten an der Bremsanlage sind immer mindestens als EM zu werten. Als Beispiel um die HU mit einem EM nicht zu bestehen, ist eine verschlissene Bremsscheibe, falsch montierter Bremsschlauch oder Korrosionsgeschwächte Bremsleitungen. Ein Gefährlicher Mangel stellt eine Verkehrsgefährdung oder hohe Umweltbelastung dar. Am Beispiel einer Feststellbremse wird hier bei einer Wirkung von weniger als 50% der geforderten Mindestabbremmung der VM vergeben. Fahrten sind lediglich nach Hause oder zur nächsten Werkstatt gestattet. Eine erneute Vorstellung bei der Prüforganisation ist unumgänglich. Hat eine Bremsanlage keine Wirkung, so ist diese als VU einzustufen. Bei solch einer Einstufung wird das Fahrzeug stillgelegt und die HU-Plakette entfernt, denn es darf in diesem Zustand nicht am Straßenverkehr teilnehmen. Zusätzlich wird die Kraftfahrzeugzulassungsstelle informiert. Typische Mängel der Bremsanlage sind in der Vorauswahl der Prüfsoftware im Anhang IV einzusehen.

4 Versuchsbremsmessungen

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Versuche mit den Randbedingungen und Einflussgrößen beschrieben. Die exakte Durchführung mit dem definierten Prüffahrzeug wird beschrieben. Eine Vergleichbarkeit der Bremsenprüfungen wird erarbeitet und erläutert.

4.1 Prüffahrzeug

Für die nachfolgenden Versuche wurde ein Referenzfahrzeug festgelegt, um die umfangreichen Messungen miteinander zu vergleichen. Für die Versuche werden am Fahrzeug jeweils dieselben Randbedingungen eingestellt. Es ist ein vorderachsgetriebenes Fahrzeug und somit für alle Messmethoden geeignet. In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Daten des Prüffahrzeugs dargestellt. Der vollständige Fahrzeugschein mit Erklärung der einzelnen Datenfeldern ist im Anhang III hinterlegt.

Tabelle 2: Prüffahrzeugdaten

Hersteller	Volkswagen
Typ	Golf V Variant
Baujahr	10/2008
Zul. Gesamtgewicht	2010 kg
Leergewicht	1474 kg
Zul. Max. Achslast – 1. Achse	1060 kg
Zul. Max. Achslast – 2. Achse	1000 kg
Bremsenausführung	4x Hydraulische Scheibenbremsen
Feststellbremse	mechanisch
Sicherheitseinrichtungen	ABS/ESP

Für den durchzuführenden Versuch wurde das Prüffahrzeug (Abb. 24) und insbesondere die Bremsanlage und Reifen auf einen technisch einwandfreien Zustand untersucht. Die Reifen sind in einem optimalen Zustand mit einer Profiltiefe von ca. 6mm und weisen keine Beschädigungen, Verschleiß oder sonstige Auffälligkeiten auf. Die montierte Reifengröße 205/55 R16 91V entspricht den Herstellervorgaben und ist mit einem Fülldruck von 2,2 bar an der Vorder- sowie Hinterachse befüllt. Die Bremsscheiben und Beläge sind in einem neuwertigen Zustand. Zum Zeitpunkt des Versuchs befindet sich das Prüffahrzeug im originalen Zustand und hat eine gültige HU.



Abb. 24: Prüffahrzeug

4.2 Versuchsdurchführung

Bevor die Wirkungsmessungen mit dem Platten- und Rollenprüfstand beginnen, ist auf eine Eichung bzw. aktuelle Kalibrierung zu achten, um Messfehler weitestgehend zu vermeiden. Beschädigungen oder sonstige Auffälligkeiten an den Bremsprüfständen sind zum Zeitpunkt der Messungen nicht ersichtlich. Alle Messungen wurden am selben Tag unter gleichen Randbedingungen durchgeführt. Die Randbedingungen wurden vorab in drei Versuche unterteilt. Bei allen drei Versuchen ist die Fahrbahn bzw. der Prüfplatz sauber und trocken. Eine ebene Prüffläche ist zwingende Voraussetzung und konnte erfüllt werden. Vor den Messungen wird eine Konditionierungsfahrt durchgeführt, um alle Systeme zu aktivieren und die Reifen sowie Bremsen auf Betriebstemperatur zu bringen.

Versuch 1:

- Reifendrucke nach Herstellervorgaben (2,2 bar)
- Prüffahrzeug nur mit Fahrer beladen

Versuch 2:

- Reifendrucke über Herstellervorgaben (4,4 bar)
- Prüffahrzeug nur mit Fahrer beladen

Versuch 3:

- Reifendrucke nach Herstellervorgaben (2,2 bar)
- Prüffahrzeug mit Fahrer und zusätzlicher Beladung

Alle drei Versuche wurden mit denselben Randbedingungen beim Platten- und Rollenprüfstand durchgeführt.

Die drei durchzuführenden Versuche wurden nach verschiedenen Kriterien festgelegt. Da viele Autofahrer allein unterwegs sind z.B. zur Arbeit und den Reifendruck nach Herstellervorgaben eingehalten haben, ist der Versuch 1 eine ideale Prüfsituation. Deshalb stellt der erste Versuch die Grundlage dar und die nachfolgenden Versuche werden mit diesem verglichen. Im zweiten Versuch wird der Reifendruck gegenüber der Vorgabe des Herstellers verdoppelt, um auf Veränderungen der Bremsleistung schließen zu können. Im dritten Versuch wird beim Prüffahrzeug der Beladungszustand erhöht, um die Auswirkungen gegenüber einem unbeladenen Fahrzeug zu analysieren.

Weitere Einflussgrößen wie eine verschlissene oder undichte Bremsanlage, Witterungseinflüsse, Reifenverschleiß sind nicht Teil dieser Arbeit. Aus Erfahrungswerten der Prüfer sind diese Einflussgrößen marginal. Eine verschlissene Bremse erreicht auf dem Prüfstand nahezu ideale Bremswerte, durch den hohen Anpressdruck des Bremssystems. Diese wird bei der Sichtprüfung negativ auffallen.

Die vier Messungen eines Versuchs wurden zuerst auf dem Plattenprüfstand und anschließend auf dem Rollenprüfstand durchgeführt. Dies hat den Hintergrund, dass die gemessenen Drücke auf dem Plattenprüfstand leichter mit dem Rollenprüfstand realisierbar sind. Die Bremskräfte sind stufenlos regulierbar und die gemessenen Drücke auf dem Plattenprüfstand können nahezu exakt angesteuert werden. Die nachfolgende Auswertung gliedert sich in Aufteilung der Vorder- und Hinterachse, um die jeweiligen Bremskräfte mit den dazugehörigen Drücken miteinander vergleichen zu können.

Bei allen Messungen auf dem Plattenprüfstand wurde eine Geschwindigkeit von 10 km/h laut Tachometer angefahren. Um verschiedene Betriebsbremsdrücke zu erhalten, wird das Bremspedal unterschiedlich stark durchgetreten. Da zeigt sich der erste Nachteil eines Plattenprüfstandes. Um einen gewünschten Bremsdruck zu erhalten, sind mehrere Messungen durchzuführen. Insgesamt sind fünf Messungen entstanden mit leicht durchgetretenem Bremspedal bis hin zur Vollbremsung. Auf dem Rollenprüfstand wird das Bremspedal gefühlvoll durchgedrückt, bis der erforderliche Bremsdruck sich einstellt.

Um die Drücke zu erfassen wird mit der Mobile TÜV 2 Prüfsoftware (Abb. 25) gearbeitet. Diese Software ist mit dem HU-Adapter (Abb. 26), der per OBD-Schnittstelle mit dem Prüffahrzeug verbunden ist. Dieser liest die hinterlegten Solldaten des Fahrzeugs aus und zeigt diese auf dem Bildschirm an. Der HU-Adapter ist per Netzwerk mit dem Prüfstand verbunden und überträgt die gemessenen Werte automatisch zur Prüfsoftware.

Berechnungsmasse (BM) in kg		2010		abgelesener km-Stand						
Auswahlmenü		Bezugsbremskraft Hydraulik		Achszahl		2				
Betriebsbremsanlage (Bremswirkungsprüfung mit HU-Adapter)						Feststellbremsanlage				
Achse	Messwerte Bremse		Abweichung in %	Funktionswerte		Σ Funktionswerte Bremse		Bremskraft [daN]	Abweichung in %	
	Links	Rechts		Sensor	Betätigung	Ist	Min			Links
1	151	148	2	20,8	34	299	152	151	134	
						Achsteil [%]				11
						65,4	54			
2	80	100	20	23,7	39	180	64	151	134	
						Achsteil [%]				11
						34,6	18			
Blockiergrenze erreicht		<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>		
zGM Ber FBA		2010		Abbremsung FBA in %		14				
automatisch vorgeschlagene Mängel/Hinweis										

Abb. 25: Mobile TÜV 2



Abb. 26: HU-Adapter

In Mobile TÜV 2 sind nicht nur die gemessenen Werte zu erkennen, sondern auch die Bezugswerte für dieses Fahrzeug. Diese sind Vorgaben der zentralen Stelle und sind einzuhalten. Bezugswerte setzen sich aus Eingabewerten (Radbremszylinderdruck) und der dazugehörigen Bremskraft einer Achse zusammen. In Abb. 25 wurde ein Bremsdruck von 20 bar an der VA gemessen. Die dazugehörige Bremskraft der VA beträgt 299 daN. Der Bezugswert von 152 daN würde für diesen angesteuerten Druck ausreichen, um die gesetzlich vorgeschriebene Mindestabbremmung für die Berechnungsmasse von 2010 kg zu erfüllen. Die Werte für die HA und FBA sind ebenfalls ablesbar. Liegt ein Wert außerhalb des Sollbereichs, wird dieses Feld farbig markiert und eine automatische Fehlermeldung generiert.

4.3 Versuchsauswertung

4.3.1 Versuch 1

Die Abb. 27 zeigt die Auswertung der gemessenen Werte aus Versuch 1 der Vorderachse. Im Diagramm ist die Bremskraft über dem Betriebsbremsdruck dargestellt. Die Balken sind jeweils in die linke und rechte Bremskraft vom Platten- und Bremsenprüfstand unterteilt.

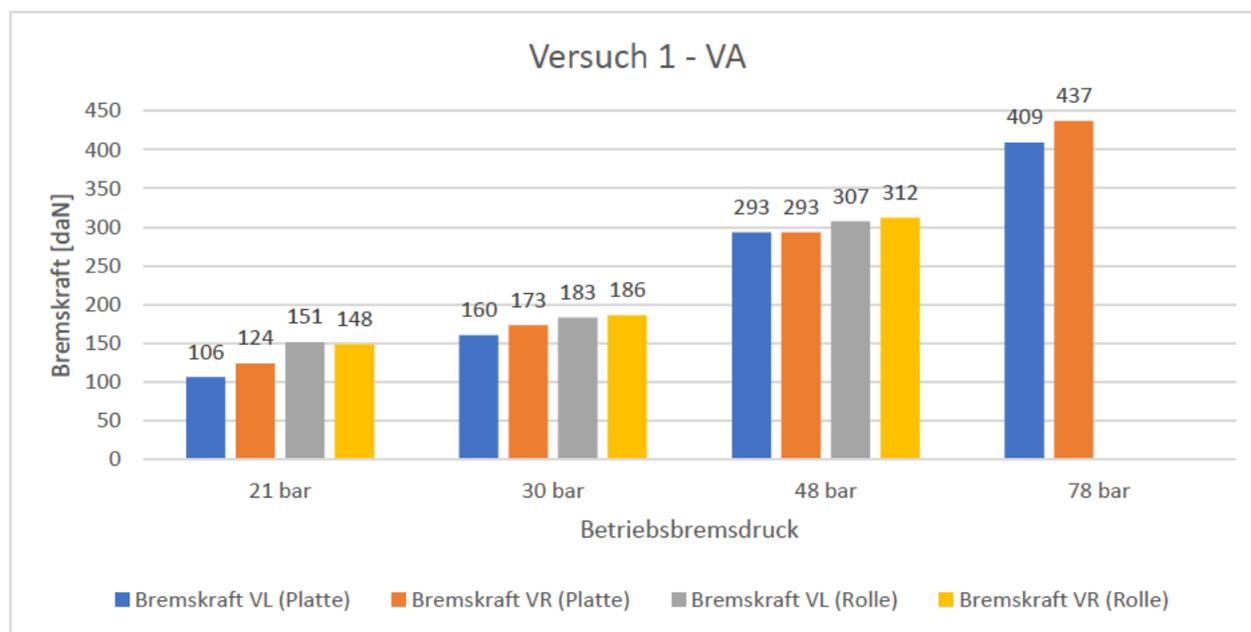


Abb. 27: Auswertungsdiagramm Versuch 1 - VA

Alle Messungen weisen eine prozentuale Abweichung von weniger als 25% von der linken zur rechten Bremse einer Achse auf und erfüllen somit die gesetzlichen Vorgaben. Die größte Abweichung von 14,5% bei 21 bar Betriebsdruck ist bei der ersten Messung des Plattenprüfstands erkennbar.

Die Abweichung lässt sich mit der folgenden Formel bestimmen:

$$\Delta_{\text{zul}} \geq \frac{\text{Differenz der Bremskräfte einer Achse}}{\text{größte Bremskraft}} * 100\% \quad [12]$$

Am Beispiel der größten Abweichung dargestellt:

$$25\% \geq \frac{(124 - 106) \text{ daN}}{124 \text{ daN}} * 100\% = 14,5\%$$

Mit zunehmendem Betriebsdruck erhöhen sich auch die Bremskräfte. Zu erkennen ist, dass die ermittelten Bremskräfte auf dem Rollenprüfstand immer höher als auf dem Plattenprüfstand ausfallen. Die letzte Messung bei 78 bar auf dem Rollenprüfstand konnte nicht realisiert werden, da die Blockiergrenze der drehenden Räder erreicht wurde. Beim Blockieren der Räder schaltet der Rollenprüfstand ab und startet nach wenigen Sekunden automatisch eine neue Messung.

Bei der Abb. 30 sind die Bremsdrücke mit den dazugehörigen Bremskräften der Hinterachse des Versuchs 1 erkennbar. Die Bremsdrücke wurden auf dem Plattenprüfstand ähnlich der Vorderachse anvisiert. Die Bremskräfte sind im Vergleich zur Vorderachse geringer bei höherem Bremsdruck.

Wird die 48 bar Messung aus Abb. 27 mit der 60 bar Messung aus Abb. 28 verglichen, so sind die Bremskräfte an der Vorderachse trotz geringerem Druck deutlich höher. Der direkte Vergleich von VA zu HA auf dem Plattenprüfstand ergibt eine ca. Verdreifachung der Bremskräfte. Der Vergleich des Rollenprüfstandes ergibt eine Verdopplung der Bremskräfte. Wie bei der VA blockiert auch die HA, bevor die 72 bar angesteuert werden konnten.

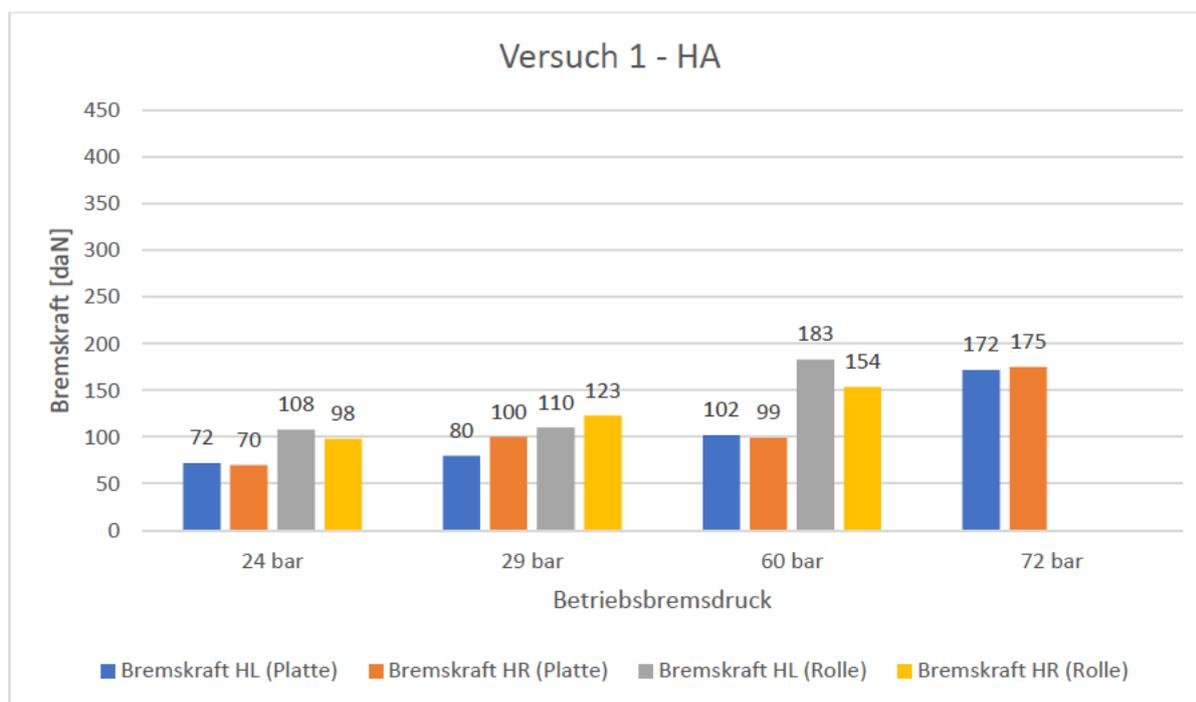


Abb. 28: Auswertungsdigramm Versuch 1 - HA

Wie erwartet, wachsen die Bremskräfte an der VA stetig mit höherem Bremsdruck. Die ermittelten Bremskräfte vom Platten- und Rollenprüfstand sind nahezu gleich groß und es gibt nur geringe Abweichungen. Anders sieht es bei der HA aus. Hier sind größere Abweichungen von beiden Prüfständen ersichtlic. Eine stetige Steigerung der Bremskräfte mit dem Bremsdruck ist nicht erkennbar. Die Bremskraft beim Plattenprüfstand steigt von ca. 70 daN bei 24 bar auf ca. 100 daN bei 60 bar. Dies ist nur eine geringe Steigerung von lediglich 30 daN. Im Vergleich zur VA steigt dort die Bremskraft von ca. 115 daN bei 21 bar auf 293 daN bei 48 bar. Die gemessenen 72 bar auf dem Plattenprüfstand sind geringer als die Bremskräfte bei 60 bar auf dem Rollenprüfstand. Bei der Wirkungsprüfung auf dem Plattenprüfstand kommt es zu einer dynamischen Achsverlagerung. Beim Abbremsen wird die Hinterachse entlastet und somit kommen solche Unterschiede zum Rollenprüfstand zustande.

Beim Rollenprüfstand wird eine statische Messung ausgeführt und somit bleibt das Achsgewicht konstant. Durch die Hubfunktion des Rollenprüfstandes kann eine erhöhte Achslast zusätzlich simuliert werden.

Die dargestellten Achsanteile in Tabelle 3 der Bremsmessungen ist festzustellen, dass der Erforderlicher Achsanteil der VA bei der ersten Messung beim Plattenprüfstand nicht ausreichend ist. Durch die vorgeschriebenen Fahrzeugsystemdaten benötigt das Prüffahrzeug folgende Achsanteile der Abbremsung:

- Achsanteil_{Min} VA: 54%
- Achsanteil_{Min} HA: 18%

Tabelle 3: Achsanteile Versuch 1

Messung	1	2	3	4
Achsanteil _{Ist} VA [%] - Platte	52,7	69,2	78,7	69,3
Achsanteil _{Ist} HA [%] - Platte	47,3	30,8	21,3	30,7
Achsanteil _{Ist} VA [%] - Rolle	65,4	63,6	69,7	-
Achsanteil _{Ist} HA [%] - Rolle	34,6	36,4	30,3	-

Die Achsanteile der restlichen Messungen sind alle im Sollbereich. Die erste Messung zeigt auf, dass die Achsanteile bei geringem Bremsdruck teilweise nicht ausreichend sind und die Messungen gegebenenfalls wegen Messfehler wiederholt werden müssen, um die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten.

Laut der HU-Bremsenrichtlinie wird eine Mindestabbremung für das Prüffahrzeug von 50% vorgeschrieben. Die errechneten Abbremsungen für den ersten Versuch sind der Tabelle 4 zu entnehmen. Die Mindestabbremung wird nur bei dem vierten Versuch des Plattenprüfstands bei Vollbremsung erreicht

Durch die automatische Erfassung der Werte mit der Prüfsoftware wird bei Unterschreitung der geforderten Mindestwerte ein Mangel erkannt und angezeigt. Auffälligkeiten an der Bremsanlage sind immer mindestens als Erhebliche Mängel zu werten und müssen umgehend beseitigt werden.

Die Abbremsung Z ist wie folgt definiert:

$$Z = \frac{\text{Summe der Bremskräfte } F_{ges}}{\text{Gewichtskraft des Fahrzeugs } G} * 100\% \quad [12]$$

Eine Beispielrechnung wird nachfolgend aus der dritten Messung des Rollenprüfstandes veranschaulicht. Die Bremskräfte sind in der Abb. 29 und 30 abzulesen. Die Gewichtskraft des Fahrzeugs von 2010 kg ist der Tabelle 2 oder der Zulassungsbescheinigung Teil I, Feld F2 zu entnehmen.

$$Z = \frac{(307 + 312 + 183 + 154) \text{ daN}}{2010 \text{ kg}} * 100\% = 47,6\%$$

Für eine schnelle Überprüfung der Abbremsung ist diese Formel ausreichend und nachvollziehbar, denn 1 daN sind ungefähr 1 kg (1,02kg). Die Abbremsung ist von den Bremskräften abhängig. Sind die Bremskräfte zu gering, wird die Mindestabbremsung nicht erfüllt.

Tabelle 4: Gesamtabbremsung - Versuch 1

Messung	1	2	3	4
Gesamtabbremsung Z_{Platte} [%]	18,5	25,5	39,2	59,4
Gesamtabbremsung Z_{Rolle} [%]	25,1	30	47,6	-

Erkennbar ist, dass die Abbremsung immer auf das zGM des Fahrzeugs bezogen wird und nicht auf die tatsächliche Gewichtskraft. Tatsache ist, dass es dem Prüfer während der HU nicht möglich ist das Fahrzeug auf die Gesamtmasse voll auszuladen. Ist die Blockiergrenze des Fahrzeugs jedoch erreicht, so ist die Wirkungsprüfung als bestanden zu werten und das entsprechende Kästchen in Abb. 27 der Prüfsoftware zu setzen (Blockiergrenze erreicht). Die Bremswirkungsprüfungen werden bei der HU nahe der Blockiergrenze oder beim Blockieren durchgeführt. Somit ist eine hohe Abbremsung gewährleistet.

4.3.2 Versuch 2

Die Abb. 29 zeigt die Auswertung des zweiten Versuchs der VA mit erhöhtem Luftdruck im Reifen. Im Diagramm ist eine stetig steigende Bremskraft mit Erhöhung des Bremsdruckes erkennbar. Die größte gemessene Abweichung liegt bei 50 bar mit 5,7% beim Rollenprüfstand. Auch hier sind die Bremskräfte auf dem Rollenprüfstand bei jeder Messung höher als auf dem Plattenprüfstand. Wie bei dem Versuch zuvor kann auf der VA im Rollenprüfstand kein Bremsdruck von 81 bar angesteuert werden, da die Räder vorzeitig blockieren.

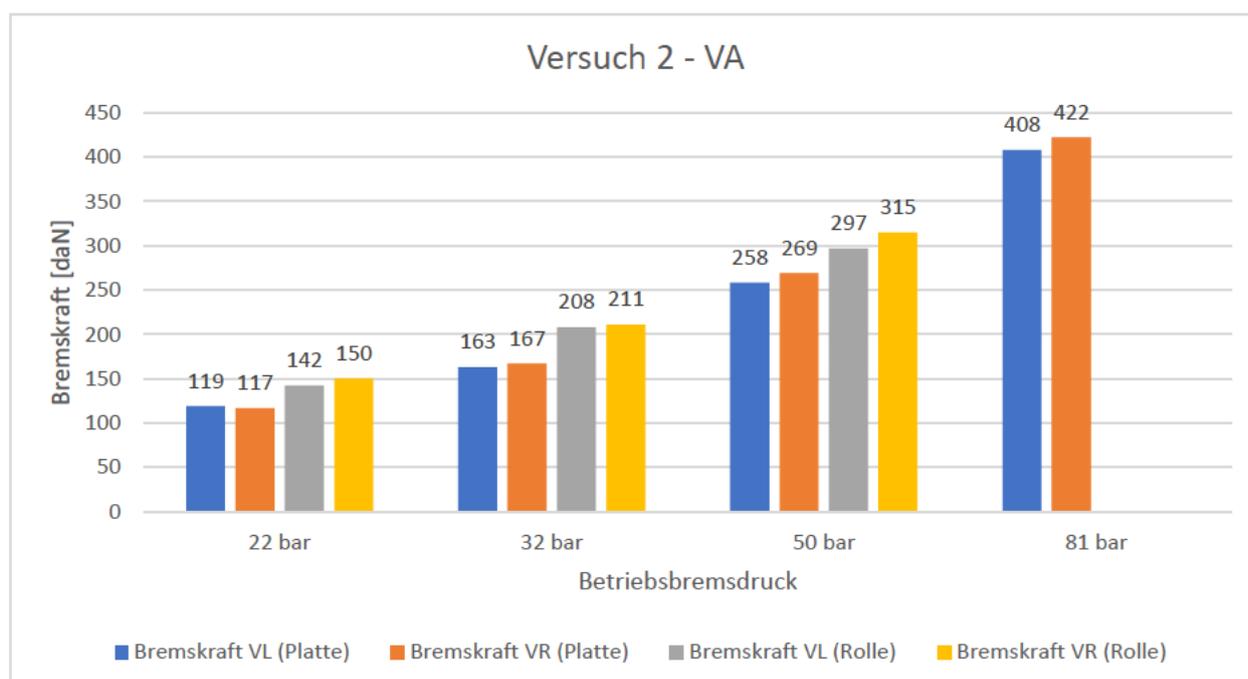


Abb. 29: Auswertungsdigramm Versuch 2 - VA

Die Bremsdrücke sind nahe dem ersten Versuch angesiedelt, um diese miteinander vergleichen zu können. Der Vergleich zwischen Abb. 29 und 31 zeigt, dass die Bremskräfte bei beiden Versuchen nahezu identisch sind. Die Gegenüberstellung der Abweichungen vom ersten zum zweiten Versuch sind in der Tabelle 5 abzulesen. Die zweite Messung auf dem Rollenprüfstand zeigt eine Differenz von 11,9% an und bei der dritten Messung auf dem Plattenprüfstand 10,1%.

Tabelle 5: Abweichung der VA vom Versuch 1 zu Versuch 2

Messung	1	2	3	4
Abweichung VA [%] – Platte	2,5	0,9	10,1	1,9
Abweichung VA [%] - Rolle	2,3	11,9	1,1	-

Die nachfolgende Abb. 30 zeigt die gemessenen Werte des zweiten Versuchs. Ein vergleichbarer Bremsdruck zum ersten Versuch wird hier ebenfalls angenähert, um auch die HA miteinander vergleichen zu können. Erkennbar ist, dass die leicht höheren Bremsdrücke ($\Delta 4$ bar) des ersten Versuchs größere Bremskräfte aufweisen. Ein deutlicher Unterschied ist bei der dritten Messung festzustellen. Hier ist eine Druckdifferenz von 2 bar gegeben und die Bremskräfte auf dem Plattenprüfstand sind bei dem zweiten Versuch deutlich höher.

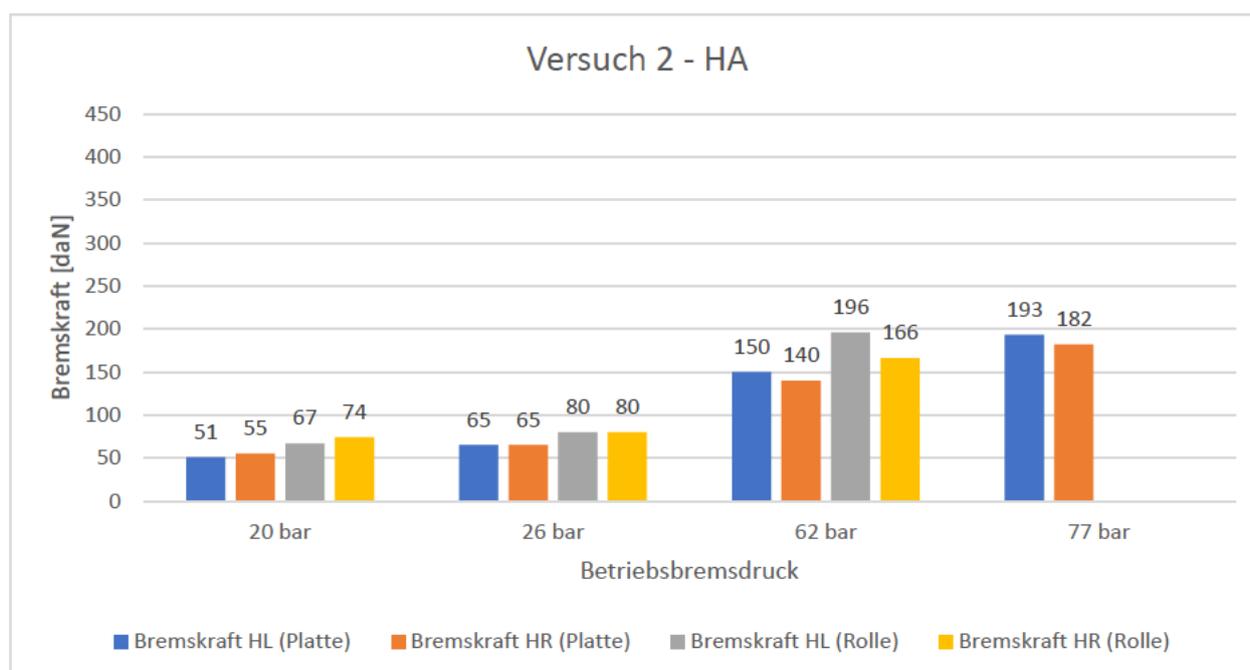


Abb. 30: Auswertungendiagramm Versuch 2 - HA

Die Abweichungen vom ersten zum zweiten Versuch sind an der HA im Vergleich zur Abweichung der VA deutlich erkennbar und in der Tabelle 6 dargestellt. An der VA sind minimale Unterschiede zu erkennen. Deutlicher wird es an der HA. Hier wird die größte Abweichung von 31,6% gemessen. Unter 10% Abweichung liegt nur die dritte Rollenmessung und die vierte Plattenmessung.

Tabelle 6: Abweichung der HA von Versuch 2 zu Versuch 1

Messung	1	2	3	4
Abweichung HA – Platte	25,4	27,7	30,7	7,5
Abweichung HA - Rolle	31,6	31,3	6,6	-

Trotz minimalen Bremsdruckabweichungen bei Erhöhung des Reifenluftdrucks wird kein gravierender Unterschied festgestellt. Durch die ungenaue Erfassung der Bremskraft und Bremsdruck auf dem Plattenprüfstand, kommt es zu minimalen Abweichungen in den darauffolgenden Messungen.

Durch die dynamische Achsverlagerung bei der Plattenprüfstandsmessung wird die Hinterachse entlastet und aufgrund des erhöhten Reifenluftdrucks ist die Aufstandsfläche verringert. Dies führt zu kleineren Ergebnissen, die aber im Sollbereich liegen und die Wirkungsmessung bei HU bestanden ist.

Die Achsanteile dieses Versuchs liegen für die VA alle >60% und alle >30% bei der HA. Die Gesamtabbremmung des zweiten Versuchs (Tabelle 7) wird wie in Kapitel 5.3.1 errechnet. Die Abbremmung wird auf dem Plattenprüfstand bei Vollbremsung (Messung 4) erreicht. Annähernd an die geforderten 50% Mindestabbremmung kommt der Wert der dritten Messung heran. Da die Räder aber blockieren und das entsprechend dokumentiert wird, ist die Abbremmung für die HU als bestanden zu werten. Die Abbremmung zum ersten Versuch (Tabelle 4) stellt eine Ähnlichkeit dar. Die dritte Rollenmessung kommt annähernd an die 50%, bevor die Räder blockieren. Allein die vierte Messung auf dem Plattenprüfstand erreicht einen Wert über den gesetzlich vorgeschriebenen 50%. Bei den jeweiligen Messungen der beiden Versuche sind die Abweichungen der Gesamtabbremmung minimal. Die etwas höheren Werte des ersten Versuchs schließen auf die leicht erhöhten HA-Bremswerte, da die Abbremmung allein von den Bremskräften abhängt.

Tabelle 7: Gesamtabbremmung - Versuch 2

Messung	1	2	3	4
Gesamtabbremmung Z_{Platte} [%]	17	22,9	40,6	60
Gesamtabbremmung Z_{Rolle} [%]	21,5	28,8	48,5	-

4.3.3 Versuch 3

Im dritten Versuch wird ebenfalls derselbe Druck bei allen Messungen aus dem ersten Versuch angesteuert. In Abb. 33 ist das Auswertungsdiagramm mit Erhöhung des Beladungszustandes dargestellt. Das Prüffahrzeug wird mit ca. 250kg auf der Hinterachse zusätzlich beladen. Zu erkennen ist eine stetige Steigerung der Bremskräfte bei höherem Bremsdruck. Die aufgebrauchten Bremskräfte sind beim Rollenprüfstand gegenüber dem Plattenprüfstand bei gleichem Bremsdruck höher. Die Abweichungen der einzelnen Räder einer Achse sind bei beiden Prüfmethode unter 10% angesiedelt. Eine deutliche Verbesserung der Abweichung ist an der HA festzustellen. Im ersten Versuch (Abb. 28) wird eine maximale Abweichung von bis zu 20% gemessen und im beladenen dritten Versuch (Abb. 32) nur noch eine Abweichung von 5%.

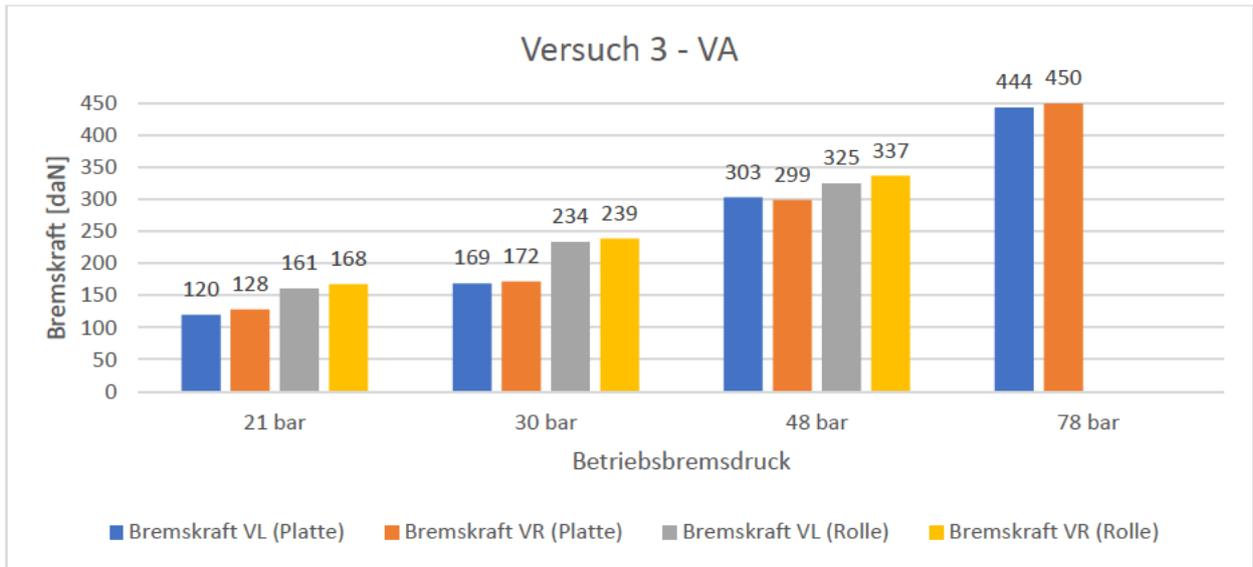


Abb. 31: Auswertungsdiagramm Versuch 3 - VA

Die Bremskräfte an der HA sind durch die Beladung gestiegen und die Abweichung gesunken. Durch die höhere Last auf der Achse, erreicht das Fahrzeug größere Bremskräfte. Durch die Kombination der statischen Prüfung im Rollenprüfstand und höherer Last, kann die Blockiergrenze der Räder gesteigert werden. Trotz einer höheren Last auf der HA kann die Blockiergrenze auf dem Rollenprüfstand nicht so weit ausgeschöpft werden, dass die Bremsdrücke an der VA von 78 bar und an der HA von 72 bar erreicht werden. Die Bremskräfte auf dem Plattenprüfstand sind ebenfalls zum unbeladenen Fahrzeug gestiegen. Aufgrund der dynamischen Achsverlagerung wird die HA durch das zusätzliche Gewicht weniger entlastet.

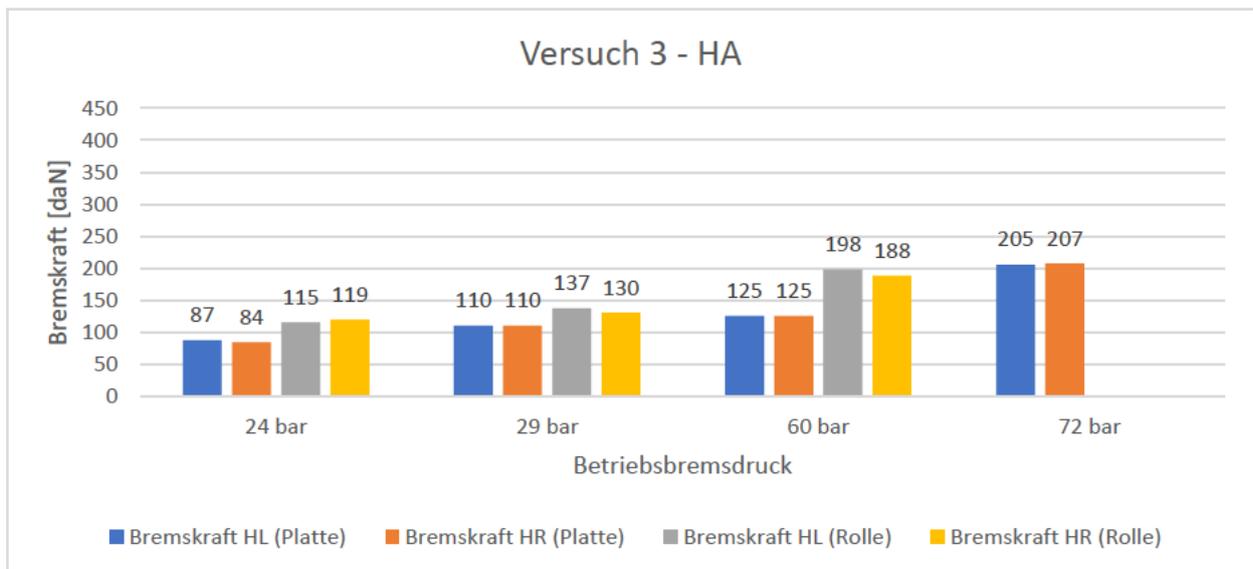


Abb. 32: Auswertungsdiagramm Versuch 3 - HA

Die Gesamtabbremssungen sind im beladenen Zustand höher (siehe Tabelle 8) im Vergleich zum ersten unbeladenen Fahrzeug aus dem ersten Versuch. Hier wird die Abbremsung von über 50% beim Platten- und Rollenprüfstand erreicht. Beim Rollenprüfstand wird die gesetzlich geforderte Mindestabbremssung bei 60 bar erreicht. Der Plattenprüfstand erreicht bei 72 bar eine Abbremsung von 65%. Dieser hohe Wert spiegelt sich in der Vollbremsung und maximalem Kraftaufwand auf das Bremspedal und stellt nicht die Realität bei der Wirkungsmessung bei HU wider. Werden die erforderlichen Achsanteile der beiden Prüfmethode erreicht, so ist die Abbremsung als bestanden zu werten. Die Achsanteile bei dem dritten Versuch liegen alle >60% an der VA und >30% an der HA und erfüllen somit die erforderlichen Referenzwerte. Wie bei den vorherigen Versuchen, blockieren die Räder auf dem Rollenprüfstand bei 60 bar Bremsdruck und somit kann kein Vergleich der Gesamtabbremssungen bei 72 bar gegenübergestellt werden.

Tabelle 8: Gesamtabbremssung - Versuch 3

Messung	1	2	3	4
Gesamtabbremssung Z_{Platte} [%]	20,8	26,6	42,4	65
Gesamtabbremssung Z_{Rolle} [%]	28	36,8	52,1	-

Die Gegenüberstellung der Abweichung von Versuch 3 zu Versuch 1 ist in der nachfolgenden Tabelle 9 ersichtlich. An der VA ist zu erkennen, dass es minimale Abweichungen gibt. Ein Wert sticht mit 22% beim Rollenprüfstand heraus. Bei der HA sind die Abweichungen deutlicher zu erkennen. Durch das höhere Gewicht auf der HA entstehen größere Bremskräfte und somit auch größere Abweichungen. Alle errechneten Abweichungen der beiden Versuche liegen zwischen 10 und 20%.

Tabelle 9: Abweichung Versuch 3 zu Versuch 1

Messung	1	2	3	4
Abweichung VA - Platte	7,3	2,3	2,7	5,4
Abweichung VA - Rolle	9,1	22	7	-
Abweichung HA - Platte	17	18,2	19,6	15,8
Abweichung HA - Rolle	12	12,7	12,7	-

4.3.4 Feststellbremsanlage

Der Gesetzgeber fordert eine Mindestabbremmung der FBA von 16% auf das zGM. In der Abb. 33 sind die Abbremmungen der jeweiligen Versuche vom Platten- und Rollenprüfstand gegenübergestellt. Ersichtlich ist, dass beim ersten und zweiten Versuch die geforderte Mindestabbremmung auf dem Rollenprüfstand nicht erreicht wird. Durch das vorzeitige blockieren der Ränder und dessen ordentliche Dokumentation in der Prüfsoftware durch Setzen des Hakens (Abb. 27) für das Erreichen der Blockiergrenze, ist die Abbremmung erfüllt. Beim beladenen Fahrzeug im dritten Versuch wird die Blockiergrenze erhöht und somit wird die erforderliche Abbremmung erfüllt. Die Abbremmungen auf dem Plattenprüfstand liegen alle über 20% und somit ist die Wirkungsprüfung der FBA gegeben.

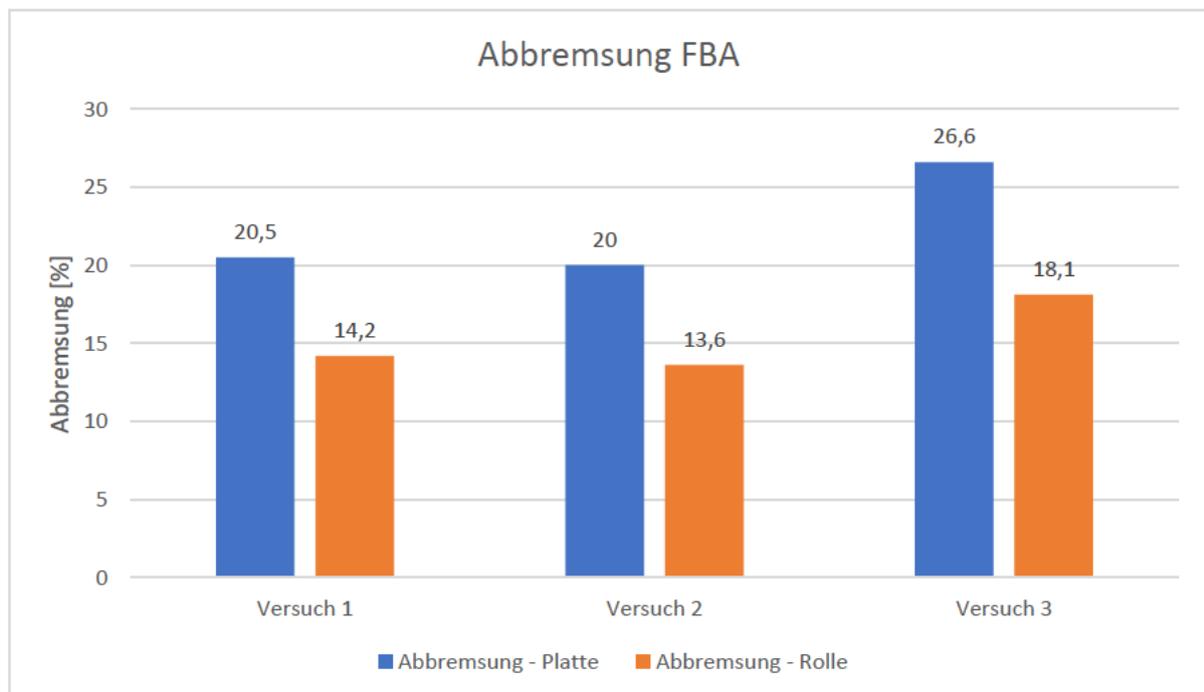


Abb. 33: Abbremsung FBA

4.4 Versuchsergebnis

Die vielen unterschiedlichen Versuchsbremsmessungen haben ergeben, dass jedes Prüfverfahren seine Daseinsberechtigung hat. Bei allen Messungen ist festzustellen, dass die Bremskräfte auf dem Rollenprüfstand bei allen drei Versuchen mit den jeweiligen Messungen höher ausfielen als auf dem Plattenprüfstand. Dies ist an der VA sowie HA feststellbar. Durch niedrige Bremsdrücke, kommt es zu geringen Achsanteilen und damit zur nicht ausreichenden Bremswirkung. Die Achsanteile sind an der VA immer höher als bei der HA. Durch Einleitung der Bremsung bei einer Verteilung von 60/40 (VA/HA) ist eine sichere Verzögerung des Fahrzeugs gewährleistet. Würde die HA stärkere Bremskräfte erfahren, kommt es zum Ausbruch des Fahrzeughecks. Bei dem ersten Versuch auf dem Plattenprüfstand konnte dies nahezu simuliert werden. Wird derselbe Bremsdruck auf dem Rollenprüfstand verglichen, wird ein ausreichender Achsanteil festgestellt. Die Messungen auf dem Plattenprüfstand sind dynamische Versuchsreihen. Hierbei kommt es zu Nickbewegungen und damit zu möglichen Verfälschungen der Krafteinwirkung auf das Bremspedal. Einflussfaktoren des Luftdrucks (Versuch 2) und Beladung (Versuch 3) wurden mit dem ersten Versuch verglichen. Um die Vergleichbarkeit mit dem ersten Versuch herstellen zu können, wurden die Bremsdrücke nahezu identisch gehalten. Wird der Luftdruck um das doppelte der Herstellervorgaben erhöht, sind minimale Abweichungen festzustellen. An der VA sind vergleichbare Verläufe der Bremskräfte erkennbar. Deutliche Unterschiede stellten sich an der HA beim Plattenprüfstand ein. Durch die Kombination der dynamischen Achsverlagerung und der kleineren Aufstandsfläche der Reifen durch den erhöhten Luftdruck sind geringere Bremswerte ersichtlich. Unterschiede auf dem Rollenprüfstand sind nicht wahrnehmbar. Durch die zusätzliche Beladung sind bei allen Messreihen an der VA und HA größere Bremskräfte gemessen worden. Die Werte an der HA sind mit Zunahme des Drucks und durch weniger Entlastung der HA beim Abbremsen gestiegen. Auch die statische Messung auf dem Rollenprüfstand ergab höhere Werte aufgrund der zusätzlichen Last. Trotzdem konnte der Maximaldruck vom Plattenprüfstand nicht erreicht werden und die Blockiergrenze trat vorzeitig ein. Diese Erkenntnis ist ebenfalls bei der Feststellbremse anzutreffen. Hier wurde die erforderliche 16% Mindestabbremmung nur mit zusätzlicher Last auf der HA erreicht. Bei den anderen Messungen trat die Blockiergrenze vorher ein.

Bei Beiden Bremsprüfungen wird eine radbezogene Auswertung ausgegeben. Somit sind Auffälligkeiten leicht identifizierbar. Im Rollenprüfstand können mehr Informationen abgelesen werden, wie z.B., dass Schwanken des Zeigers in der Anzeigetafel. Dies lässt auf eine verzogene Bremsscheibe schließen. Ebenso können festsitzende Bremssättel beim Anfahren im Prüfstand identifiziert werden. In der Anzeigetafel wird eine erhöhte Anfahrkraft ausgegeben.

Eine Vergleichbarkeit der Bremsprüfungen kann nur stattfinden bei demselben Bremsdruck. Abweichungen sind unvermeidbar. Beim Plattenprüfstand wird eine Momentaufnahme beim Abbremsen mit dem dazugehörigen Druck erfasst. Beim Rollenprüfstand kann der erforderliche Bremsdruck angesteuert und dosiert werden. Die Bremskraft steigt an den Rädern einer Achse kontinuierlich an. Dies begründet auch die immer höheren Bremswerte auf dem Rollenprüfstand.

Abschließend betrachtet, muss ein Fahrzeug bei der Bremsenprüfung nicht auf das maximale zGM beladen sein. Da die Werte nahe der Blockiergrenze gemessen werden und nach Blockieren der Räder die Prüfung als bestanden zu werten ist. Die gemessenen Werte aus den Versuchen sind alle positiv ausgefallen. Auch hat ein Prüfer bei der HU nicht die Möglichkeit ein Fahrzeug zu beladen. Nach allen Bremswirkungsprüfungen wird das Fahrzeug einer Sichtprüfung unterzogen, um Auffälligkeiten oder Beschädigungen der Bremsanlage auszuschließen.

4.5 Vergleichbarkeit der Bremsenprüfungen

Ein Teil dieser Arbeit ist es, ein Vorgehen zu entwickeln, damit die Vergleichbarkeit der Bremsenprüfungen dargestellt werden kann. Eine Erweiterung der Prüfsoftware Mobile TÜV 2 mit dem Reiter „Vergleichbarkeit“ ist denkbar. Diese ist mit einer Tabelle Verknüpft, die die Werte automatisch vom Prüfstand über den HU-Adapter aufnimmt und speichert. Durch die Verbindung des HU-Adapters mit dem Prüfstand und dem Fahrzeug, werden alle benötigten Werte schnell erfasst und es sind Ablesefehler oder Schreibfehler des Prüfers nahezu ausgeschlossen. Der Zeitfaktor ist auch eine entscheidende Rolle, denn das manuelle aufschreiben und einpflegen der ermittelten Werte in die entsprechenden Tabellen erfordert Zeit. Dieses Vorgehen setzt voraus, dass der Plattenprüfstand als erstes die Messungen durchläuft, aufgrund das der Rollenprüfstand die ermittelten Drücke auf dem Plattenprüfstand exakt ansteuern, halten und variieren kann. Beide Versuche des jeweiligen Prüfstands sind am selben Tag mit denselben Bedingungen durchzuführen. Das stellt ein Problem dar, denn nicht jede Prüfstation besitzt einen Platten-, sowie Rollenprüfstand. Auch, wie zuvor beschrieben, sind Messfehler und Abweichungen nicht ausgeschlossen. Es kommt durch verschiedene Faktoren immer zu Differenzen. Eine Vergleichbarkeit kann dennoch hergestellt werden, denn durch das Wissen, dass verschiedene Faktoren die Messungen beeinflussen und es zu Abweichungen kommt. Wie in den Versuchen zuvor sind die Abweichungen minimal bei verschiedenen Randbedingungen. Eine Vergleichbarkeit zwischen Bremsprüfständen und der Verzögerungsmessung ist nicht realisierbar. Für beide Prüfungen fließen verschiedene Faktoren in die Bewertung ein. Bei der VZM wird das Fahrzeug auf etwa 20 km/h beschleunigt und stark abgebremst. Beim Plattenprüfstand ist eine Geschwindigkeit von ca. 10 km/h vorgeschrieben.

Der Rollenprüfstand gehört zu den statischen Messungen. Die Räder werden im Prüfstand mit einer Geschwindigkeit von ca. 7 km/h angetrieben und die Bremskraft wird kontinuierlich mit dem entsprechendem Bremsdruck bis zur Blockiergrenze erhöht. Die Prüfstände sind somit nicht mit der VZM-Methode Vergleichbar, da diese keine Bremsdrücke erfasst und die Geschwindigkeiten zu weit auseinander liegen. Aufgrund verschiedener Gegebenheiten hat jede Prüfmethode ihre Vor- und Nachteile.

Die Erfassung der benötigten Werte kann in einer einfachen Tabelle erfolgen. Als wichtigster Parameter dient der Bremsdruck, denn dieser wird auf dem Rollenprüfstand exakt angesteuert. Die Bremskräfte der jeweiligen Prüfstände sind zu dokumentieren. Aus diesen Bremskräften wird die Abweichung einer Achse der beiden Prüfstände errechnet. Die Werte in der Tabelle 10 sind Beispielangaben einer VA um das Verfahren zu veranschaulichen. Aus diesen Werten werden automatisch zwei verschiedene Diagramme erstellt. Die Diagramme sind wie in den Versuchen zuvor aufgebaut. Das erste Diagramm (Abb. 34) stellt die gemessenen Bremskräfte des jeweiligen Drucks der beiden Prüfstände gegenüber. Im zweiten Diagramm (Abb. 35) wird die Abweichung der Prüfstände dargestellt. Nach Abschluss der Messungen wird ein Protokoll wie bei der VMZ Messung erstellt (siehe Anhang I) mit den Fahrzeugdaten und den erstellten Diagrammen. Die gesamten Tabellen inkl. der Diagramme sind der Arbeit als Excel Tabelle (Vergleichbarkeit der Bremsprüfungen) beigelegt.

Tabelle 10: Vergleichbarkeit der Bremsprüfungen

Messung	1	2
Bremsdruck [bar]	50	60
Bremskraft VL (Platte) [daN]	200	190
Bremskraft VR (Platte) [daN]	170	180
Bremskraft VL (Rolle) [daN]	220	240
Bremskraft VR (Rolle) [daN]	210	230
Abweichung	18,60%	21,28%

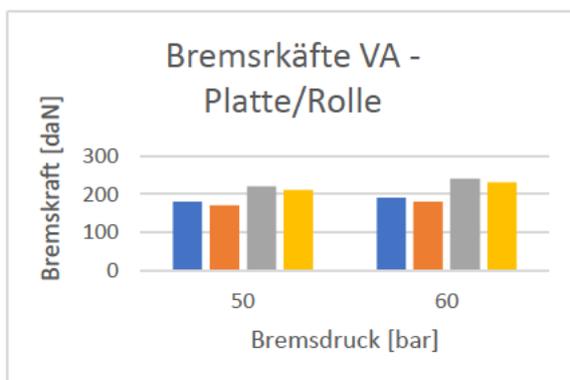


Abb. 34: Vergleichbarkeit der Bremskräfte

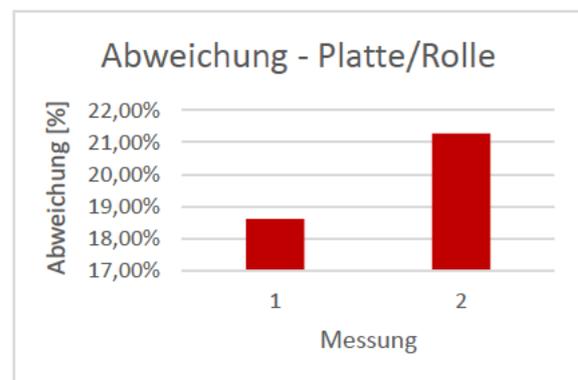


Abb. 35: Vergleichbarkeit der Abweichung

5 Zusammenfassung

Durch die Bearbeitung der Aufgabenstellung sollte verdeutlicht werden, wie die Wirkungsprüfung einer Bremsanlage bei der HU an einem Kraftfahrzeug nach § 29 StVZO abläuft und welche Einflussgrößen bei der Beurteilung einfließen. Zuerst wurden die Grundlagen der gesamten Bremsanlage und speziell des Prüffahrzeugs näher erläutert. Die Recherche der rechtlichen Grundlagen, sowie der zulässigen Bremsenprüfmethoden waren wichtige Bestandteile der Arbeit, um die darauf aufbauenden Versuche durchführen zu können. Die unterschiedlichen Bremsenprüfmethoden wurden mit ihren Stärken und Schwächen aufgezeigt. Aus den drei durchgeführten Prüfverfahren lässt sich ableitend sagen, dass die Wirkungsmessung mit dem Rollenprüfstand am genauesten und schnellsten ist. Bei der Verzögerungsmessung lässt sich durch eine Negativbeschleunigung die Gesamtabbremsung des Fahrzeugs bestimmen, die mit den gesetzlichen Vorgaben verglichen werden. Eine qualitative Aussage über die einzelnen Bremskräfte der einzelnen Räder einer Achse lässt sich mit dem Verfahren nicht darstellen. Anders sieht es beim Plattenprüfstand aus: Hier wird achsweise auf den Prüfplatten abgebremst. Die Anzeigetafel stellt jeweils eine Bremskraft pro Rad dar und eine Ungleichheit kann somit diagnostiziert werden. Ein großer Nachteil dieses Prüfstandes ist der Platzbedarf und bei Fehlmessungen der erneute Start mit der Rückwärtsfahrt, Beschleunigung und Verzögerung verbunden ist. Der Rollenprüfstand ist dagegen platzsparend und benötigt keine Prüffläche. Das Fahrzeug wird achsweise in den Prüfstand gefahren und durch treten des Bremspedals die Wirkung der Bremse bis zur Blockiergrenze geprüft. Beim Anfahren des Bremsprüfstandes lassen sich schon eventuelle Ovalitäten der Bremsscheiben feststellen, sowie festsitzende Bremssättel. Um eine erneute Messung zu starten, bedarf es nur einer Blockierung der Räder und nach kurzer Zeit wird die Messung erneut gestartet. Durch die Zeitersparnis steigt auch die Wirtschaftlichkeit der Prüfungen. Jede Prüfmethode hat ihre Daseinsberechtigung. So kann ein Fahrzeug aufgrund Fahrwerksgeometrie nicht im Rollenprüfstand geprüft werden, dafür eignet sich der Plattenprüfstand oder die Verzögerungsmessung. Die VZM kann an jeder Station mit einem HU-Adapter durchgeführt werden. Somit ist eine Wirkungsprüfung der Bremsanlage für alle Fahrzeuge gewährleistet.

6 Fazit

Durch die drei Versuche mit den unterschiedlichen Randbedingungen wird die Abweichung und Gesamtabbremmung verglichen. Das Ergebnis der Versuche ist, dass die Beladung der größte Einflussfaktor auf die Bremskräfte darstellt. Die Verkleinerung der Aufstandsfläche durch Erhöhung des Luftdrucks ist vernachlässigbar klein. Die Bremskräfte an der VA sind stets höher als auf der HA, um das Fahrzeug spurstabil bei der Abbremsung zu halten. Aufgrund der dynamischen Achsverlagerung beim Plattenprüfstand sind die Bremswerte an der HA kleiner als auf dem Rollenprüfstand. Im beladenen Zustand steigen die Werte auf beiden Prüfständen wie erwartet an der VA und HA. Durch die qualitativ mindere Aussage über einzelne Bremskräfte eines Rades, ist die VZM-Methode nur zu verwenden, wenn es keine anderen Möglichkeiten gibt. Eine Vergleichbarkeit der Bremsmessungen auf dem Platten- und Rollenprüfstand kann nur erfolgen, wenn die Bremsdrücke exakt gleich sind. Ein Vergleich mit der VMZ-Methode ist nicht möglich. Aufgrund der Zeitersparnis, des Platzbedarfs, der Wirtschaftlichkeit und der Informationsbereitstellung ist der Rollenbremsprüfstand den anderen Methoden vorzuziehen. Durch Verwendung des HU-Adapters und deren automatischer Erfassung kommt es zu keinem Ablese- oder Abschreibfehler durch den Prüfer. Die gesetzlich vorgeschriebenen Bezugswerte sind durch die Vernetzung des Hu-Adapters und der ständigen Weiterentwicklung der Prüfsoftware immer aktuell. In dieser Arbeit wurden Einflussfaktoren, wie eine defekte oder beschädigte Bremsanlage, unterschiedliche Witterungsverhältnisse oder der Zustand des Bremsmediums, nicht untersucht. Diese Versuchsreihen stellen die Grundlage für weitere Messungen dar. Eine Recherche zu etablierten möglichen Bremsprüfungen ergab keinen Erfolg. Die in dieser Arbeit beschriebene Möglichkeit mit Tabellen und Diagrammen automatisch die Bremsprüfungen zu vergleichen stellt ein mögliches Verfahren dar. Die Erweiterung ins Prüfprogramm stellt die Voraussetzung.

7 Quellenverzeichnis

- [1] **Ahs-Prüftechnik 2020** Ahs-Prüftechnik, 2020, <https://www.xn--ahs-prftechnik-lsb.de/technisches-praktisches/technische-informationen/rolle-oder-platte/> (26.06.2021)
- [2] **Autobutler 2021** Autobutler, 2021, ESP und ABS, <https://www.autobutler.de/auftraege/brems-reparaturen-und-arbeiten/esp-abs> (19.06.2021)
- [3] **Bert Breuer 2017** Bert Breuer, K.H. Bill (Hrsg.), Bremsenhandbuch, Berlin, 5. Auflage, Springer Vieweg, 2017, ISBN 978-3-658-15488-2
- [4] **BJV 2012** Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz, Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), §65 Bremsen, 2012, https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__65.html (19.06.2021)
- [5] **BJV 2012** Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz, Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), §41 Bremsen und Unterlegkeile, 2012, https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__41.html (19.06.2021)
- [6] **BJV 2012** Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz, Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), §29 Untersuchung der Kraftfahrzeuge und Anhänger, 2012, https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__29.html (19.06.2021)
- [7] **Hella 2021** Hella, 2021, Bremsleitungen, <https://www.hella.com/techworld/de/ti/Bremsschlaeu-che-und-Bremsleitungen-10818/> (09.06.2021)
- [8] **KFZ-Tech 2016** KFZ-Tech, 2016, Bremsleitungen, https://www.kfz-tech.de/Biblio/Hydraulische_Bremse/Bremsleitungen.htm (09.06.2021)
- [9] **Konrad Reif 2010** Konrad Reif (Hrsg.), Bremsen und Bremsregelsysteme, Plochingen, 1. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, 2010, ISBN 978-3-8348-1311-4
- [10] **Mahr 2014** Mahr, 2014, Trommelbremse, https://www.mahr.de/en/Services/Production-metrology/The-news-and-practice-blog/?BlogContentID=20839&Blog_action=comment# (18.06.2021)

- [11] Metin Ersoy 2017** Metin Ersoy, Stefan Gies (Hrsg.), Fahrwerkhandbuch, Wiesbaden, 5. Auflage, Springer Vieweg, 2017, ISBN 978-3-658-15467-7
- [12] TÜV Nord 2021** TÜV Nord, 2021, Leitbild, <https://www.tuev-nord-group.com/leitbild/> (17.06.2021)
- [13] Umwelt Online 2012** Umwelt Online, 2012, HU Bremsenrichtlinie, <https://www.umwelt-online.de/regelwerk/cgi-bin/suchausgabe.cgi?pfad=/gefahr.gut/strasse/stvzo/hub-remsrl.htm&such=SCHILD> (25.06.2021)
- [14] Amtsblatt d. E. U. 2007** Amtsblatt der Europäischen Union, RICHTLINIE 2007/46/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, 2007, https://verkehrslexikon.de/PDF/RiLi_2007-46-EG_Rahmenrichtlinie_Kfz_und_Anhaenger.pdf (19.07.2021)

Anhang I

Verzögerungsmessung

Messprotokoll

Datum: 24.06.2021 um 14:43 Uhr | Version: FSD.HU21 4.20.2 | HU-Adapter: D0077476

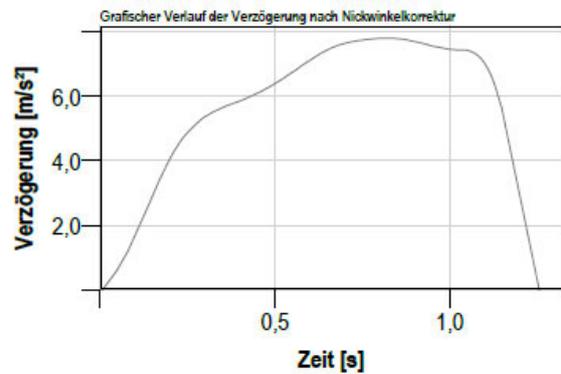
Fahrzeugdaten

Amtl. Kennzeichen: STD AC413
 Fz-Ident-Nr.: WVVZZZ1KZ9M318895
 Erstzulassung: 03/2009
 Zul. Gesamtmasse (kg): 2010

Hersteller: 0603 (VOLKSWAGEN-VW)
 Typ: ALE00051 (1KM)
 Fahrzeugklasse: M1

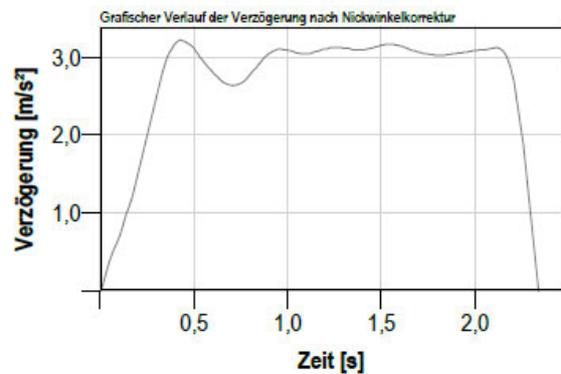
Betriebsbremsanlage

Abbremsung Z bezogen auf Prüfmasse: 73 %
 Mittlere Vollverzögerung: 7,3 m/s²
 Maximale Verzögerung: 7,8 m/s²
 Geschwindigkeit vor Bremsung: 25 km/h



Feststellbremsanlage

Abbremsung Z bezogen auf Prüfmasse: 30 %
 Mittlere Vollverzögerung: 3 m/s²
 Maximale Verzögerung: 3,2 m/s²
 Geschwindigkeit vor Bremsung: 23 km/h



.....
 Stempel, Datum, Unterschrift

Anhang II

Allradfahrzeug im Einachs-Rollenbremsprüfstand

Hinweis vom AKE

Prüfhinweis

Achtung! Kritischer Prüfhinweis

Prüfbar: ja

Voraussetzung: Rollenlauf manuell einschaltbar

Das Ausfahren aus dem Prüfstand sollte bei stehenden Rollen erfolgen!

Prüfablauf:

- automatischen Rollenlauf deaktivieren
- Einfahren in den Prüfstand
- Motor ausschalten, 2 Sek. warten
- Zündung einschalten
- Rollenlauf einschalten
- Prüfung durchführen

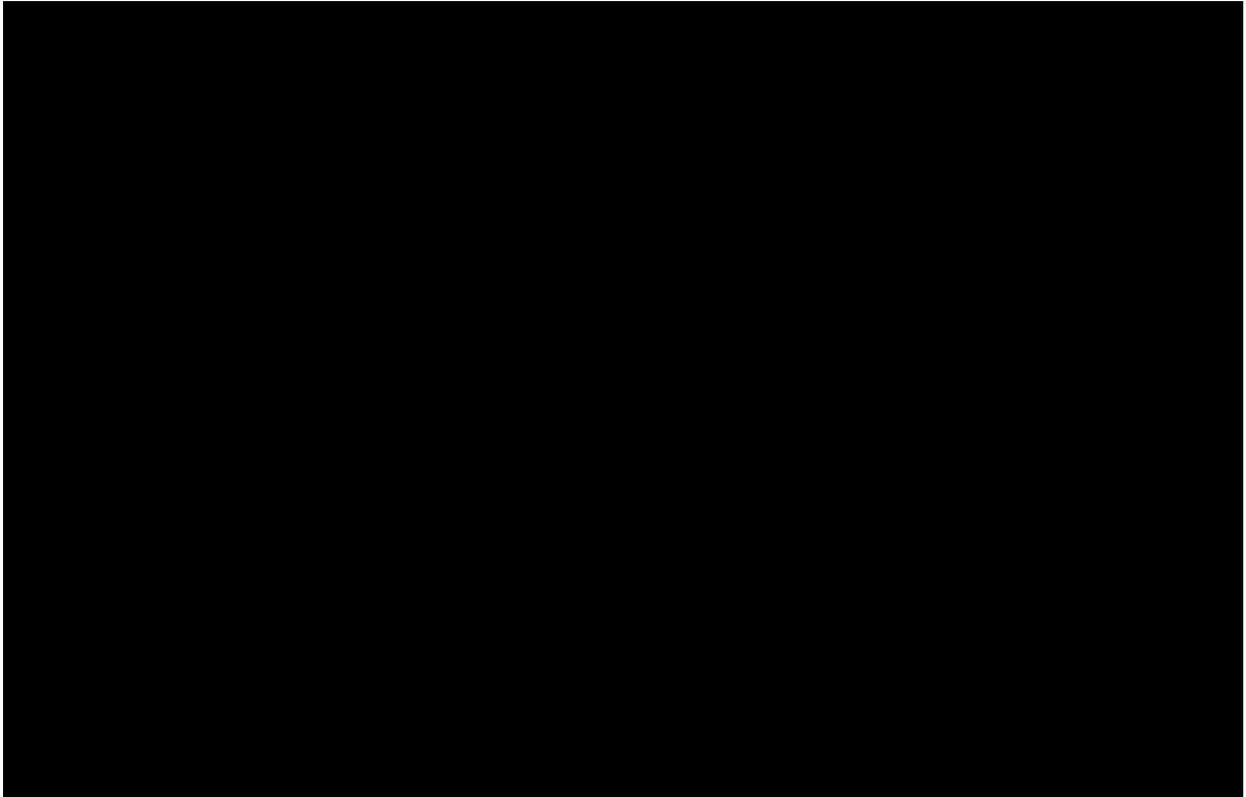
Spalt Pendelstützhülse im Vorderachs-Hilfsrahmen

Überprüfung der Scheinwerfereinstellung (möglicher Reisemodus)

Wirkungsprüfung der elektromechanischen Feststellbremse auf dem Plattenprüfstand

⚠ Allgemein

Anhang III



B	Datum der 1. Zulassung	2.1	Code zu 2.2.2	Code zu D.2	L	Anzahl Achsen	9	Anz.Antr. Achsen	P.2 P.4	Nennleistung in kw / Nenn Drehzahl bei 1/min	T	Höchstgeschw. in km/h
J	Fahrzeugklasse	4	Art des Aufbaus		18	Länge in mm	19	Breite in mm				
E	Fahrzeug-Identifizierungsnummer	3	Prüfziff.zu E		20	Höhe in mm	G	Leermasse				
D.1	Marke (Handelsname/Name des Herstellers)				12	Tank-Rauminhalt (Tankfz.) in m ³	13	Stützlast in kg	Q	Leistungsgewicht in kW/kg		
	Typ				V.7	CO ₂ in g/km	F.1	techn. zulässige Gesamtmasse in kg	F.2	zul. Gesamtmasse im Zul.-mitgliedstaat in kg		
D.2	Variante				7.1	techn.zul. Achs- last A1 in kg	7.2	techn.zulässige Achslast A2 in kg	7.3	techn.zulässige Achslast A3 in kg		
	Version				8.1	zul. max. Achs- last A1 in kg	8.2	zul. max. Achslast A2 in kg	8.3	zul. max. Achslast im Zul.-mitgliedstaat A3 in kg		
					U.1	Standgeräusch in db(A)	U.2	Drehzahl in 1/min zu U.1	U.3	Fahrgeräusch in dB(A)		
D.3	Handelsbezeichnung(en)				O.1	Anhängelast gebremst in kg	O.2	Anhängelast ungebr. in kg	S.1	Sitzplätze	S.2	Stehplätze
2	Hersteller-Kurzbezeichnung				15.1	Bereifung - Achse 1						
5	Bezeichnung der Fahrzeugklasse und des Aufbaus bzw. Fahrzeug- und Aufbauart				15.2	Bereifung - Achse 2						
V.9	für die EG-Typgenehmigung maßgebliche Schadstoffklasse				15.3	Bereifung - Achse 3						
14	Bezeichnung der nationalen Emissionsklasse				R	Farbe des Fahrzeugs					11	Code zu R
P.3	Kraftstoffart oder Energiequelle				K	Nummer der EG-Typgenehmigung oder ABE						
10	Code zu P.3	14.1	Code V.9 oder 14	P.1	Hubraum in cm ³	6	Datum zu K	17	Merkm- mal	16	Nummer der Zulassungs- bescheinigung Teil II	
22	Bemerkungen und Ausnahmen											

Anhang IV

Betriebsbremse:

Kataloge	§29 Mängel	Bremsanlage	Betriebsbrens...	Betriebsbremse
				löst nicht E >
				Wirkung nicht ausreichend E >
				Wirkung einseitig M >
				Wirkung nicht vorhanden V >
				Bremskraftanstieg zu langsam E >
				Wirkung zu groß E >
				Mindestachsanteil Bremswirkung nicht ausreichend E >
				Starke Schwankung der Bremskraft während voller Radumdrehung E >
				ungleichmäßig (Grenzwert 25% überschritten) E >
				ungleichmäßig an der gelenkten Achse (Grenzwert 50% überschritten) M

Feststellbremse:

Kataloge	§29 Mängel	Bremsanlage	Feststellbrens...	Feststellbremse
				ungleichmäßig (Grenzwert überschritten) E
				Wirkung nicht ausreichend E
				löst nicht E
				signalisiert Fehlfunktion E
				ungleichmäßig (Grenzwert überschritten) und weniger als 50% Mindestabbremung M
				Wirkung weniger als 50% der geforderten Mindestabbremung M
				Freitext E

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich,

Name: Busenius

Vorname: Alex

Dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten teile der Arbeit – mit dem Thema:

Vergleich Bremswirkungsmessung bei HU

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

Ort

Datum

Unterschrift