



WHZ Westsächsische
Hochschule Zwickau
Hochschule für Mobilität

D i p l o m a r b e i t

Betrachtung von verschiedenen Einflüssen auf das Ergebnis bei der Wirkungsprüfung der Bremsanlage (Pkw) zur HU nach §29 StVZO

eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
am 19.05.2025

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

Vorgelegt von: cand. Ing. **L e N g o , H o a n g** Geb. am: 24.11.1999
T h o n g

Im Studiengang Kraftfahrzeugtechnik
Mit dem Studienschwerpunkt Instandhaltung und Unfallanalyse

Erstbetreuer WHZ: Prof. Dr.-Ing. Jan Schubert
Zweitbetreuer: Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Brösdorf
Auftraggeber: FSP – Fahrzeug – Sicherheitsprüfung GmbH & Co KG

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form in noch keiner anderen Prüfung vorgelegen hat. Mir ist bewusst, dass ich Autor/in der vorliegenden Arbeit bin und volle Verantwortung für den Text trage.

Ich erkläre, dass ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken – dazu gehören auch Internetquellen – übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht und die entsprechenden Quellen angegeben habe.

Mir ist bewusst, dass meine Arbeit auf Plagiate überprüft werden kann. Mir ist bekannt, dass es sich bei der Abgabe eines Plagiats um ein schweres akademisches Fehlverhalten handelt und dass Täuschungen nach der für mich gültigen Prüfungsordnung geahndet werden.

Zusätzlich versichere ich, dass ich auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Werkzeuge nur in Absprache mit den Prüfern verwendet habe. Dabei stand meine eigene geistige Leistung im Vordergrund, und ich habe jederzeit den Prozess steuernd bearbeitet.

Diese Werkzeuge habe ich im Quellenverzeichnis in der Rubrik „Übersicht“ verwendeter Hilfsmittel“ mit ihrem Produktnamen und einer Übersicht des im Rahmen dieser Prüfungs-/Studienarbeit genutzten Funktionsumfangs unter Angabe der Textstelle in der Arbeit vollständig aufgeführt.

Ich versichere, dass ich keine KI-basierten Tools verwendet habe, deren Nutzung die Prüfer explizit schriftlich ausgeschlossen haben. Ich bin mir bewusst, dass die Verwendung von Texten oder anderen Inhalten und Produkten, die durch KI-basierte Tools generiert wurden, keine Garantie für deren Qualität darstellt.

Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage die Verantwortung für eventuell durch die KI generierte fehlerhafte oder verzerrte Inhalte, fehlerhafte Referenzen, Verstöße gegen das Datenschutz- und Urheberrecht oder Plagiate.

Zwickau, den 19.05.2025



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Thema, Ziel und Aufgabenstellung.....	1
2 Aufgabe und Wirkungsweise, der Bremse.....	3
3 Hydraulische Bremsanlagen.....	4
3.1 Arten hydraulischer Bremsanlagen.....	4
3.2 Bremskreisaufteilungen	5
3.3 Aufbau hydraulischer Pkw-Bremsanlagen	7
3.4 Radbremsen	8
3.4.1 Trommelbremse	8
3.4.2 Scheibenbremse	10
4 Gesetzliche Grundlagen.....	14
5 Umfang der Prüfung von Bremsanlagen	18
6 Bremsprüfmethoden.....	19
6.1 Plattenbremsenprüfstand.....	19
6.2 Rollenbremsenprüfstand.....	20
6.3 Bezugsbremskräfte bei der Bremsenprüfung.....	23
6.4 Ablauf am Rollenbremsenprüfstand.....	25
7 Zeitaufwand der Bremswerterfassung.....	30
8 Kategorisierung Mängel einer HU.....	33
9 Betrachtung potenzieller Fehlerquellen.....	38
10 Versuchsplanung und Durchführung.....	40
10.1 Planung und Überlegung.....	40
10.2 Fahrzeugbedingte Einflüsse.....	44

10.2.1 Bereifung.....	44
10.2.2 Reifenfülldruck.....	45
10.2.3 Kalte Bremse und warme Bremse.....	49
10.2.4 Lastverteilung.....	52
10.2.5 Verschmutzungen.....	54
10.2.6 Korrosion	56
10.3 Prüfstandsbedingte Fehlerquellen.....	57
10.4 Umgebungsbedingte Einflüsse.....	60
10.4.1 Trocken und warm.....	60
10.4.2 Regenbedingungen.....	63
10.4.3 Schnee.....	66
11. Auswertung der Ergebnisse.....	67
11.1 Auswertung Fahrzeugbedingte Einflüsse	
11.1.1 Bereifung.....	68
11.1.2 Reifenfülldruck.....	69
11.1.3 Kalte Bremse und warme Bremse.....	71
11.1.4 Lastverteilung.....	72
11.1.5 Verschmutzungen.....	73
11.1.6 Korrosion.....	74
11.2 Auswertung Prüfstandsbedingte Fehlerquellen.....	75
11.3 Auswertung Wetterbedingte Einflüsse.....	76
12. Zusammenfassung und Ausblick.....	79
13. Literaturverzeichnis.....	80
Anlagenverzeichnis	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis Abbildung 2.1: Aufbau einer Bremsanlage	3
Abbildung 3.1: Betätigungsmechanismus Feststellbremse (hier Handbremse)	5
Abbildung 3.2: "Schwarz-Weiß-Aufteilung"	5
Abbildung 3.3: "X-Split"	6
Abbildung 3.4: "HT-Aufteilung"	6
Abbildung 3.5: "HH-Aufteilung"	6
Abbildung 3.6: Unterdruck-Bremskraftverstärker	8
Abbildung 3.7: Bauteile der Trommelbremse	9
Abbildung 3.8: Arten der Trommelbremse	10
Abbildung 3.9: Festsattel-Scheibenbremse	11
Abbildung 3.10: Schwimmrahmensattel	12
Abbildung 3.11: Faustsattel	13
Abbildung 6.1: Plattenbremsprüfstand Autohaus Kürschner	20
Abbildung 6.2: Aufbau des Rollenbremsprüfstandes	21
Abbildung 6.3: Rollenbremsprüfstand der FSP-Prüfstelle	22
Abbildung 6.4: Anzeigegerät der FSP-Prüfstelle	22
Abbildung 6.5: Schaubild Bremskraft über Bezugsgröße	23
Abbildung 6.6: HU-Adapter	24
Abbildung 6.7: OBD-Anschluss des HU-Adapters	24
Abbildung 6.8: OBD-Schnittstelle eines Audi A4 (Erstzulassung 2005)	25
Abbildung 6.9: Bestandene Bremsenprüfung mittels Bezugsbremskräften	26
Abbildung 6.10: Nicht bestandene Bremsenprüfung mittels ZGM-Methode	28
Abbildung 6.11: Bestandene Bremsenprüfung mittels Verzögerungsmessung	29
Abbildung 7.1: ASA-Schnittstelle mit mobilem WLAN-Router	30

Abbildung 8.1: Beispiel 1 für „Ohne Mängel“	35
Abbildung 8.2: Beispiel 2 für „Erhebliche Mängel“	36
Abbildung 8.3: Beispiel 1 für "Hinweis"	37
Abbildung 10.1: Rollenbremsprüfstand Prüfstelle Plauen	41
Abbildung 10.2: Anzeigemessgerät MAHA-Rollenbremsprüfstand.....	42
Abbildung 10.3: Zweiplattenbremsprüfstand Kürschner.....	43
Abbildung 10.4: Anzeigemessgerät vom Zweiplattenbremsprüfstand.....	43
Abbildung 10.5: Veruschsfahrzeug mit niedrigem Reifendruck.....	48
Abbildung 10.6: Reifen +0,2 bar über Werksdruck.....	49
Abbildung 10.7: Temperatur Rad vorne links.....	50
Abbildung 10.8: Temperatur Rad vorne rechts.....	50
Abbildung 10.9: Temperatur Rad vorne links.....	51
Abbildung 10.10: Temperatur Rad vorne links.....	51
Abbildung 10.11: Temperatur Rad vorne links.....	51
Abbildung 10.12: Temperatur Rad vorne links.....	51
Abbildung 10.13: Zusatzlast auf Hinterachse.....	53
Abbildung 10.14: Salz-Wasser Gemisch Bremse vorne links.....	54
Abbildung 10.15: Bestandene Bremsenprüfung mittels Bezugsbremskräfte.....	55
Abbildung 10.16: Rad vorne rechts.....	56
Abbildung 10.17: Regenpfütze vor Prüfhalle.....	59
Abbildung 10.18: Feucht durchfahrener Rollenbremsprüfstand	59
Abbildung 10.19: Messung Vorderachse.....	62
Abbildung 10.20: Messung Hinterachse.....	63
Abbildung 10.21: Rad hinten links vor Versuch.....	64
Abbildung 10.22: Rad hinten links nach Versuch.....	64
Abbildung 10.23: Wetter Hinfahrt Plauen.....	65

Abbildung 10.24: Wetter Ankunft Plauen.....	65
Abbildung 10.25: Versuch bei Schnee.....	66
Abbildung 11.1: Vergleich Maximalwerte Beriefung.....	68
Abbildung 11.2: erster Versuch Veränderung Fülldruck.....	68
Abbildung 11.3: zweiter Versuch Veränderung Fülldruck.....	70
Abbildung 11.4: Warme und Kalte Bremse.....	71
Abbildung 11.5: Veränderte Lastverteilung.	72
Abbildung 11.6: Diagramm Salz-Wasser-Gemisch.....	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Bauelemente zu Abbildung 3.9.....	11
Tabelle 3.2: Bauelemente zu Abbildung 3.10.....	12
Tabelle 3.3: Bauelemente zu Abbildung 3.11.....	13
Tabelle 6.1: Bauelemente zu Abbildung 6.2.	14
Tabelle 7.1: Messzeiten herkömmliche Vorgehensweise.....	31
Tabelle 7.2: Messzeiten beim Einsatz des HU-Adapters.....	31
Tabelle 7.3: Messzeiten bei der Nutzung der ASA-Schnittstelle	32
Tabelle 8.1: Fahrzeugdaten zu Abbildung 8.1.....	35
Tabelle 8.2: Fahrzeugdaten zu Abbildung 8.2.....	36
Tabelle 8.3: Fahrzeugdaten zu Abbildung 8.3.....	37
Tabelle 10.1: Bremskraftwerte Bereifung 1.....	44
Tabelle 10.2: Bremskraftwerte Bereifung 2.....	45
Tabelle 10.3: Bremskraftwerte -0,6 bar „Werksdruck“	46
Tabelle 10.4: Bremskraftwerte -0,3 bar „Werksdruck“	46
Tabelle 10.5: Bremskraftwerte +0,3 bar „Werksdruck“	46
Tabelle 10.6: Bremskraftwerte +0,6 bar „Werksdruck“	47
Tabelle 10.7: Bremskraftwerte -0,8 bar „Werksdruck“	48
Tabelle 10.8: Bremskraftwerte +0,8 bar „Werksdruck“	48
Tabelle 10.9: Bremskraftwerte +0,2 bar „Werksdruck“	49
Tabelle 10.10: Bremskraftwerte warme Bremse.....	50
Tabelle 10.11: Bremskraftwerte kalte Bremse.....	52
Tabelle 10.12: Bremskraftwerte Lastveränderung.....	54
Tabelle 10.13: Bremskraftwerte Schmutz.....	55
Tabelle 10.14: Bremskraftwerte feuchter Rollenbremsprüfstand.....	60
Tabelle 10.15: Bremskraftwerte ideal Bedingungen Rollenbremsprüfstand.....	61

Tabelle 10.16: Bremskraftwerte ideal Bedingungen Zweiplatten.....	62
Tabelle 10.17: Bremskraftwerte unter Regen Bedingungen.....	64
Tabelle 10.18: Bremskraftwerte bei Schneeregen.....	66
Tabelle 10.19: Bremskraftwerte bei Schnee.....	67
Abbildung 11.7: Bremskraftwerte Vergleich Feuchte Prüfstandsrolle.....	72

Abkürzungsverzeichnis

aaSoP	amtlich anerkannte Sachverständige oder Prüfer
BBA	Betriebsbremsanlage
EHB	elektrohydraulische Park-Bremse
EPB	elektrische Park-Bremse FBA Feststellbremsanlage
FSD	Fahrzeugsystemdaten GmbH FSP Fahrzeug-Sicherheitsprüfung GmbH & Co KG
HBA	Hilfsbremsanlage
HU	Hauptuntersuchung
OBD	On-Board-Diagnose
PI	Prüfingenieur
Pkw	Personenkraftwagen
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
°C	Grad Celsius
kg	Kilogramm
mm	Millimeter
L	Links
R	Rechts
km/h	Kilometer pro Stunde
m/s ²	Meter pro Sekunde
VZM	Verzögerungsmessung

1. Einleitung

1.1 Thema, Ziel und Aufgabenstellung

„Mit Sicherheit mehr erreichen.“, mit diesem Spruch wirbt die FSP – Fahrzeug-Sicherheitsprüfung GmbH & Co KG, Partnerunternehmen der Prüforganisation TÜV Rheinland. In diesem Unternehmen erfolgte die Bearbeitung der Diplomarbeit. Die dazugehörigen Versuche und Betrachtungen fanden dann hauptsächlich in den jeweiligen FSP-Prüfstellen in Dresden statt.

Die Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung von verschiedenen Einflüssen auf die Wirkungsprüfung der Bremsanlage von PKW's und den Grundlagen der Bremsenprüfung bei der HU nach §29 StVZO (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung).

Die Hauptuntersuchung (HU) nach §29 StVZO stellt sicher, dass Kraftfahrzeuge die notwendigen technischen Anforderungen erfüllen, um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten. Ein essenzieller Bestandteil dieser Untersuchung ist die Überprüfung der Bremsanlage, da eine unzureichende Bremswirkung ein erhebliches Unfallrisiko darstellt und im schlimmsten Szenario eine unvermeidbare Kollision als Folge hat. Es soll untersucht werden, inwiefern die Bremskraftwerte durch äußere Fremdeinwirkungen verfälscht werden und die Bremsleistung beeinträchtigen, denn Einflüsse wie beispielsweise Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit oder die Beschaffenheit der Reifen, können die Messergebnisse der Bremskraftprüfung erheblich beeinflussen. Dies kann dazu führen, dass ein Fahrzeug entweder fälschlicherweise als verkehrssicher eingestuft oder unangemessen beanstandet wird. Daher ist es von großer Bedeutung, die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Bremskraftwerte systematisch zu untersuchen, um Fehldiagnosen und ungenaue Prüfergebnisse zu vermeiden. Eine präzise Analyse dieser Einflüsse ermöglicht eine objektivere Bewertung der Bremsleistung und trägt dazu bei, eine einheitliche und zuverlässige Prüfmethodik zu gewährleisten. Zudem können die gewonnenen Erkenntnisse langfristig zur Optimierung der Prüfverfahren beitragen und gegebenenfalls eine Anpassung gesetzlicher Vorschriften unterstützen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die verschiedenen äußeren Einflussgrößen auf das Prüfergebnis der Bremsanlage zu identifizieren, deren Auswirkungen zu analysieren und mögliche Lösungsansätze zur Minimierung von Messabweichungen aufzuzeigen. Auf diese Weise soll eine Grundlage für eine verbesserte und standardisierte Bewertung der Bremsleistung im Rahmen der HU geschaffen werden.

Durch die eingeschränkten Abmaße der Prüfstelle, können nur PKW (Personenkraftwagen) der Klasse M1 untersucht werden. Aufgrund dieser Tatsache erfolgt die Eingrenzung der Diplomarbeit auf hydraulische Pkw-Bremsanlagen. Ebenfalls werden die verschiedenen Einflüsse hauptsächlich an einem Versuchsfahrzeug getestet, da der Zugang zu vielen verschiedenen Testfahrzeugen nur eingeschränkt möglich ist. Zwar stehen ein paar Fahrzeuge zur Verfügung, jedoch kann ein einzelnes Fahrzeug nicht immer für mehrere Testszenarien herangezogen werden, da ein kontinuierlicher Zugriff auf die Testfahrzeuge nicht gewährleistet werden kann. Dadurch ist es nicht möglich, verschiedene Einflussfaktoren unter identischen Bedingungen an einem Fahrzeug zu untersuchen. Trotz dieser Einschränkungen soll die Arbeit wertvolle Erkenntnisse zur Beurteilung der Einflussgrößen liefern und mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von Messabweichungen aufzeigen.

Um einen besseren Einstieg in die Thematik zu erreichen, wird am Anfang Arten, Bauteile und Funktion von Bremsanlagen im Detail erläutert. Schließlich wird der aktuelle Stand der Technik hinsichtlich der Bremsenprüfstände betrachtet. Dabei werden die grundlegenden Funktionsweisen sowie die Prüfmethodik und -abläufe erläutert, insbesondere im Zusammenhang mit der Wirkungsprüfung und der Verwendung von Bezugswerten.

Anschließend erfolgt eine detaillierte Betrachtung potenzieller Fehlerquellen, die die Messergebnisse beeinflussen können. Basierend auf diesen Einflussfaktoren wird eine Versuchsmethodik entwickelt, um deren Auswirkungen auf die Bremskraftmessung zu untersuchen. In diesem Zusammenhang wird auch die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse analysiert.

Daraufhin folgt die Durchführung der Versuche sowie eine umfassende Auswertung der gewonnenen Daten. Abschließend werden die erzielten Erkenntnisse systematisch dargelegt, um mögliche Maßnahmen zur Minimierung der Einflussfaktoren aufzuzeigen und so die Genauigkeit der Bremsenprüfung weiter zu verbessern.

2. Aufbau, Aufgaben und Wirkungsweise der Bremse

Allgemein dienen Bremsen bei einem Kraftfahrzeug zum Verzögern der Fahrzeuggeschwindigkeit, zum Abbremsen bis zum Stillstand und zum Sichern gegen Wegrollen. Dabei wird Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt. (Bsp. Sichtbar bei Motorsport, abruptes Bremsen führt zum Glühen der Bremsscheiben)

Um eines dieser Funktionen auszuführen, bedarf es einer vom Fahrer mittels Fuß oder Hand betätigte Kraft auf den dafür bestimmten Hebel. Diese Kraft kann mithilfe eines Bremskraftverstärkers um das Vielfache verstärkt werden. Im Hauptbremszylinder resultiert durch die erzeugte Kolbenkraft ein hydraulischer Druck, der über Bremsleitungen und Bremsschläuche an die Bremssättel zu den einzelnen Kolben oder Radbremszylinder übertragen wird. Aufgrund der wirkenden Spannkraft legen sich die in den Sätteln befindlichen Bremsbeläge an die Bremsscheibe bzw. die Bremsbacken an die Bremsstrommeln. Die durch die Spannkraft hervorgerufene Reibkraft erzeugt ein Bremsmoment im Rad. Dieses Moment verursacht in Folge eine Verringerung der Drehgeschwindigkeit des betroffenen Rades, also dessen Winkelgeschwindigkeit (ω). Bei gleichbleibender Fahrzeuggeschwindigkeit entsteht durch diese Verringerung eine Differenzgeschwindigkeit, was dividiert durch die Fahrzeuggeschwindigkeit, den Schlupf ergibt. Er ist Voraussetzung für das Zustandekommen eines Bremskraftbeiwertes (μ) zwischen Reifen und Fahrbahn. Wird dieser Beiwert mit der senkrecht wirkenden Normalkraft multipliziert, ergibt es die Bremskraft an diesem Rad, die zum Abbremsen des Fahrzeugs führt. ([1] Seite 53 f.)

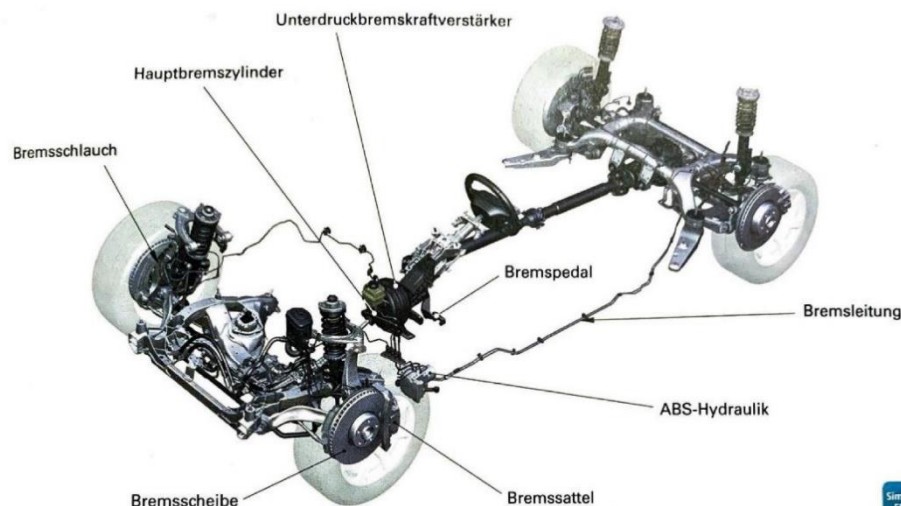


Abbildung 2.1: Aufbau einer Bremsanlage ([4] Seite 5)

3. Hydraulische Bremsanlagen

3.1 Arten hydraulischer Bremsanlagen

Laut §41 der StVZO müssen Bremsen und Unterlegkeile von Kraftfahrzeugen zwei voneinander unabhängige Bremsanlagen oder ein Bremsanlage mit zwei voneinander unabhängigen Bedienungseinrichtungen besitzen, von denen jede dann wirken kann, wenn die andere versagt. Dabei werden sie hinsichtlich ihrer Funktion unterschieden.

Grundsätzlich lassen sich Hydraulische Bremsanlagen bei Kraftfahrzeugen in 3 Arten Unterscheiden:

- **Betriebsbremsanlage (BBA):** Die BBA soll ein schnelles, wirksames Anhalten des Fahrzeugs bei beliebigen Beladungszuständen und beliebiger Steigung/Gefälle ermöglichen. Die Betätigung erfolgt durch den Fahrer von seinem Sitz aus, ohne die Hände von der Lenkanlage nehmen zu müssen und Sie sollte eine Abstufbare Wirkung vorweisen. Die sinnvolle Wirkungsverteilung auf alle Achsen und Räder ist erforderlich.
- **Feststellbremsanlage (FBA):** Die FBA dient zum Halten des Fahrzeuges im Stillstand gegen das unerwünschte Wegrollen (ggf. in Abwesenheit des Fahrers) in der Steigung und im Gefälle. Sie sollte rein mechanisch konstruiert werden und die Bedienungsmöglichkeit ist vom Fahrersitz aus vorgeschrieben. [Quelle: Vorlesung MBK 06410 – Fahrwerk]
- **Hilfsbremsanlage (HBA):** Sie ermöglicht das Anhalten des Fahrzeugs, falls eine Störung der BBA vorhanden ist (sprich eine verminderte Wirkung ist vorhanden). Realisiert wird dies dann durch getrennte Bremskreise oder die Nutzung der FBA. Die Betätigung muss vom Fahrersitz aus mit dem Fuß oder der Hand möglich sein und auch hier muss die Wirkung abstufbar sein.

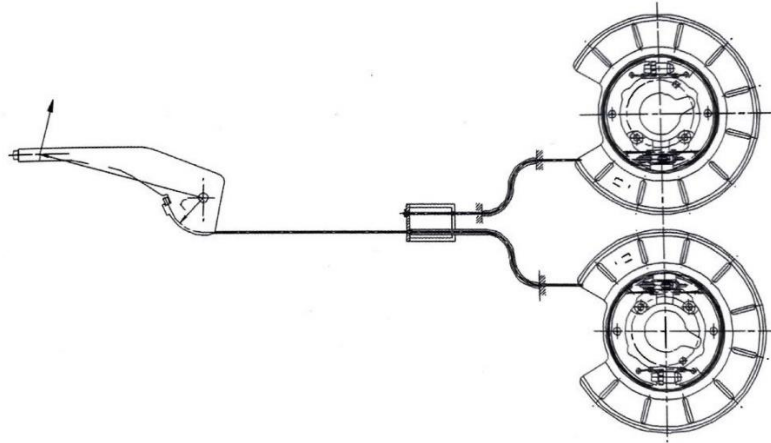


Abbildung 3.1: Betätigungsmechanismus Feststellbremse (hier Bsp. Handbremse)

Quelle: [3] Breuer/Bill 2017, Seite 145

3.2 Bremskreisaufteilungen

Vorder-/Hinterachs-Bremskreisaufteilung („Schwarz-Weiß-Aufteilung“; neues Kurzzeichen: II)

Bei dieser Aufteilung werden die Bremsen der Vorder- und Hinterachse jeweils von einem separaten Hydraulikkreis versorgt. Hierbei wird ein Schiefziehen des Fahrzeugs bei Kreisausfall vermieden. Dieser Bremskreis wird überwiegend für Fahrzeuge mit hoher Hinterachslast verwendet.

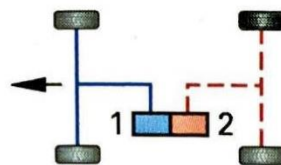


Abbildung 3.2: „Schwarz-Weiß-Aufteilung“ ([4], Seite 537)

Diagonale Bremsaufteilung („X-Split“; neues Kurzzeichen: X)

Dabei werden jeweils die Bremsen, die sich diagonal gegenüber liegen von einem Bremskreis versorgt. Im Falle eines Kreisausfalls kann es zur Beeinträchtigung der Fahrstabilität führen, aufgrund der unsymmetrischen Bremskraftverteilung. Es entsteht ein Moment um die Hochachse des Fahrzeugs, welches fachlich als Giermoment benannt wird.

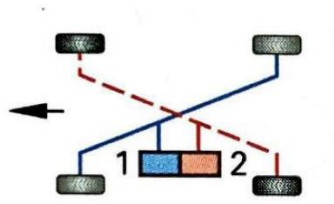


Abbildung 3.3: „X-Split“ ([4], Seite 537)

Vierrad-/Zweiradaufteilung der Bremskreise („HT-Aufteilung“)

Einer der beiden Bremskreise wirkt sowohl auf die Hinterachse als auch auf je eine „halbe“ Vorderradbremse. Der andere Kreis ist für die andere „Hälfte“ der Vorderachse zuständig. Der Begriff der „HT-Aufteilung“ folgt aus der Leistungsführung der Bremskreise in der Fahrzeugdraufsicht. Sollte der T-Bremskreis nicht funktionieren, so neigt die Hinterachse zum Überbremsen, was zum Verlust der Fahrstabilität führt. Bei Ausfall des H-Kreises, erzeugt der T-Kreis wenigstens die halbe Vorderachsbremskraft

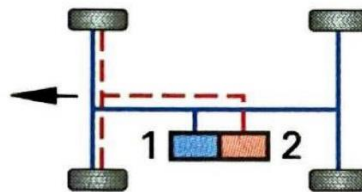


Abbildung 3.4: „HT-Aufteilung“ ([4], Seite 537)

Doppelte Vierradaufteilung der Bremskreise („HH-Aufteilung“)

Bei dieser Bremskreisaufteilung sind zwei Bremskreise vorhanden, die jeweils alle Räder ansteuern. Bei Ausfall eines Kreises werden Vorder- und Hinterachse noch durch den anderen Kreis gebremst. ([1], Seite 117 f.)

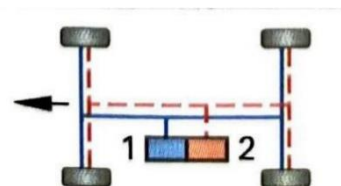


Abbildung 3.5: „HH-Aufteilung“ ([4], Seite 537)

3.3 Aufbau hydraulischer Pkw-Bremsanlagen

Grundsätzlich werden die einzelnen Komponenten der Bremsanlagen in vier Funktionsbaugruppen klassifiziert. Es wird zwischen Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl. HMI = Human Machine Interface), Bremsbetätigung, Bremsenergie-übertragung und Bremskraftgenerierung unterschieden. ([3], Seite 129)

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle muss eine situationsgerechte und sichere Betätigung des Bremssystems gewährleisten. Durch das Bremspedal wird mithilfe einer Druckstange die Fußkraft des Fahrers auf das Bremsgerät übertragen. Die mechanische Betätigung der Hinterachsbremsen durch die Feststellbremse erfolgt gegenwärtig größtenteils über mechanische Hand- oder Fußhebel.

Neben Bremspedal und Handbremshebel, gehören Bremskraftverstärker und Hauptbremszylinder zu den Betätigungseinrichtungen der Pkw-Bremsanlage. Eine Hilfskraft verstärkt die aufgebrachte Fahrerfußkraft.

Zur Erzeugung dieser Kraft wird dem Hauptzylinder zu den Betätigungseinrichtungen der Pkw-Bremsanlage. Eine Hilfskraft verstärkt die aufgebrachte Fahrerfußkraft. Zur Erzeugung dieser Kraft wird dem Hauptzylinder ein Unterdruck-Bremskraftverstärker vorgeschaltet. Bei Ottomotoren kann der Unterdruck dem Ansaugrohr entnommen werden und bei Dieselmotoren wiederum über eine Vakuumpumpe erzeugt werden.

Im Falle des hydraulischen Bremskraftverstärkers fördert eine Hochdruckölpumpe Öl in den Hydraulische Speicher. Somit verschiebt sich der Steuerkolben des Bremskraftverstärkers, wenn die Bremse betätigt wird, was zum Verschließen der Rücklaufbohrung und gleichzeitig Freiwerden der Zulaufbohrung führt. Am Arbeitskolben wird dann eine Hilfskraft mit maximal 150 bar verursacht. Der sich verschiebende Kolben verschließt die Zulaufbohrung und lässt eine stufenlose Verstärkung abhängig der Pedalkraft zu ([4], Seite 549)

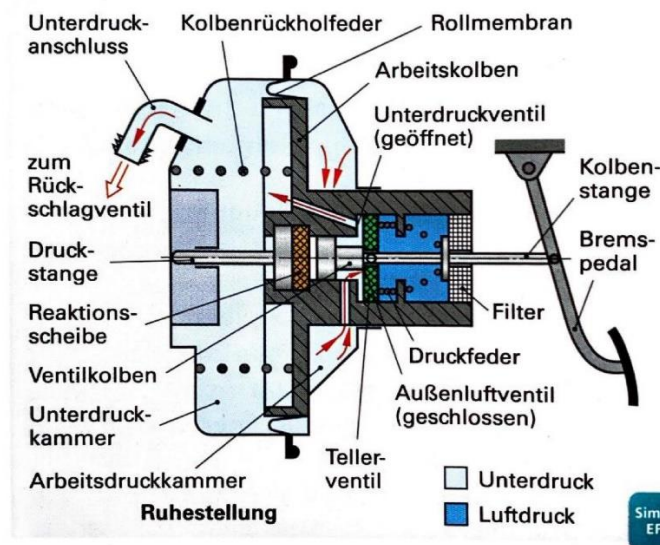


Abbildung 3.6: Unterdruck-Bremskraftverstärker ([4], Seite 548)

Die durch den Bremsverstärker erhöhte Kraft wirkt schließlich auf einen Tandem Hauptzylinder, der für einen raschen Druckaufbau und Druckabbau in jedem Bremskreis sorgt. Die Bremsflüssigkeit zählt als Medium für die hydraulische Energieübertragung und wird durch Bremsleitungen und Bremsschläuche vom Hauptzylinder zu den jeweiligen Radbremsen übertragen ([4], Seite 548 f.)

Vorwiegend kommen beim Pkw Reibungsbremsen zur Bremskraftgenerierung zum Einsatz. Die hervorgerufenen Bremsmomente wandeln die kinetische Energie in Wärme um. Konstruktiv werden die Bremsen in Trommelbremsen oder Scheibenbremsen unterschieden ([3], Seite 131)

3.4 Radbremsen

3.4.1 Trommelbremse

Der Einsatz der Trommelbremse als betriebs- und Feststellbremse für die Hinterachse ist heutzutage weitestgehend verbreitet. Grund dafür ist der schmutzgeschützte Aufbau sowie die hohe Selbstverstärkung und die damit verbundene kostengünstige Nutzung. Die Bremsstrommel sitzt fest auf der Radnabe. Die Bremsbacken mitsamt Belägen und die Teile zur Erzeugung der Spannkraft befinden sich auf dem Bremsträger. Bei der BBA werden die Backen hydraulisch mittels Radbremszylinder gegen die Trommel gedrückt. Mechanisch durch Seilzug und Spreizhebel wird bei der FBA die Spannkraft auf die Backen bewirkt. ([4], Seite 539)

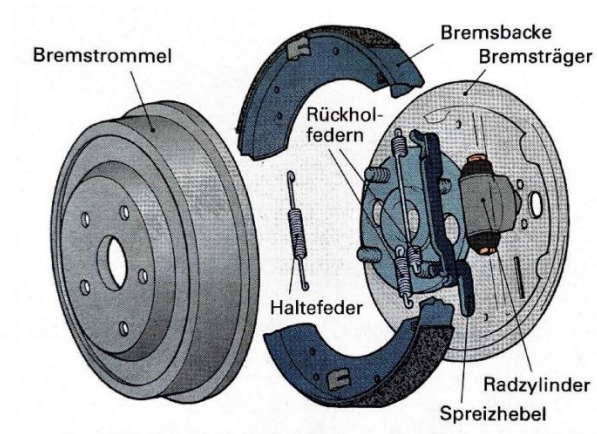


Abbildung 3.7: Bauteile der Trommelbremse ([4], Seite 539)

Allgemein wird die Trommelbremse nach Betätigungsart und Abstützung der Bremsbacken unterteilt.

Simplex-Trommelbremse (in Abbildung 3.8 a)

Die Simplex-Bremse ist die konstruktiv einfachste Form, welche durch einen doppelt wirkenden Radbremszylinder eine auflaufende und eine ablaufende Bremsbacke besitzt. Die Backen üben Druck auf das Trommelgehäuse aus. Dabei erzeugt die Reibkraft der auflaufenden Backe eine Selbstverstärkungskraft. Sowohl bei Vorwärts- und Rückwärtsfahrten weist sie eine gleichmäßige Wirkung auf. Bei einigen Pkw wird diese Bauart an der Hinterachse eingesetzt.

Duplex- und Duo-Duplex-Trommelbremse (in Abbildung 3.8 b und c)

Durch Kombination zwei gegenüber, einseitig wirkender Zylinder entsteht die Duplex-Bremse. Aufgrund der zwei sich selbst verstärkenden Bremsbacken verfügt sie in Fahrtrichtung eine stärkere Bremswirkung als entgegen. Es ist möglich diesen Nachteil mit der Duo-Duplex-Bremse auszugleichen, indem zwei beidseitig wirkende Bremszylinder zum Einsatz kommen. Somit stehen in beiden Richtungen jeweils auflaufende Bremsbacken zur Verfügung.

Servo-und Duo-Servo-Trommelbremse (in Abbildung 3.8 d und e)

Die Servo-Bremse weist wie die Simplex-Bremse einen zweiseitig wirkenden Radbremszylinder auf. Die Selberverstärkung der auflaufenden Backe presst auch die andere Backe an, weil sie über ein Gleitlager miteinander verbunden sind. Es resultiert eine zweite auflaufende Backe mit einer höheren Zuspaukraft, als sie der Zylinder aufbringen kann. Beim Rückwärtsfahren blockiert das Gleitlager in der Gegen-drehrichtung, somit leitet die Bremse eine geringere Bremswirkung ein. Eine Duo-Servo-Bremse wirkt in beide Fahrtrichtungen gleich, da das Lager sich in beide Richtungen bewegen kann. Sie werden häufig, aufgrund des hohen erzeugbaren Bremsmoments, in Fahrzeugen mit hoher Nutzlast verbaut ([1], Seite 71 ff.)

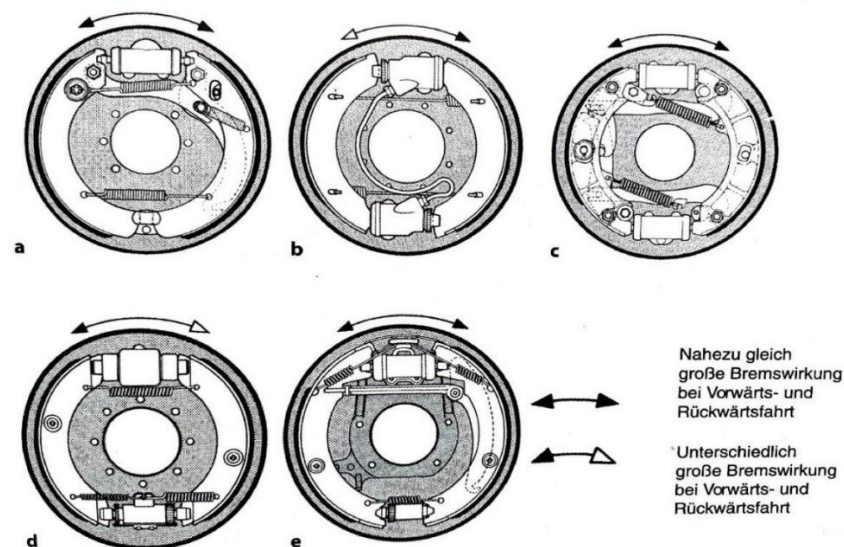


Abbildung 3.8: Arten der Trommelbremse ([3] Seite 143)

3.4.2 Scheibenbremse

Die Scheibenbremse ist eine Kombination aus einem Bremssattel und einer Brems-scheibe. Je nach Anforderung werden sie als Vollscheiben oder innenbelüftete Brems-scheiben verbaut. Wegen ihrer guten Bremskraftdosierbarkeit, Selbstreini-gung, Wartungsfreundlichkeit sowie der höheren thermischen Belastbarkeit wird sie nahezu bei allen Pkws als Vorderachsbremse verwendet. Auch als Hinterachsbe-triebsbremse wird sie zunehmend ausgeführt. Scheibenbremsen unterscheiden sich vorwiegend durch die Konstruktion des Bremssattels. ([1], Seite 77)

Festsattel-Scheibenbremse

Bei dieser Bauart wirken jeweils die gegenüberliegenden Kolben und Bremszylinder auf beiden Seiten der Bremsscheibe. Meist kommen Zwei- und Vierzylinder-Scheibenbremsen zum Einsatz. Zwischen Kolben und Scheibe liegen die Bremsbeläge.

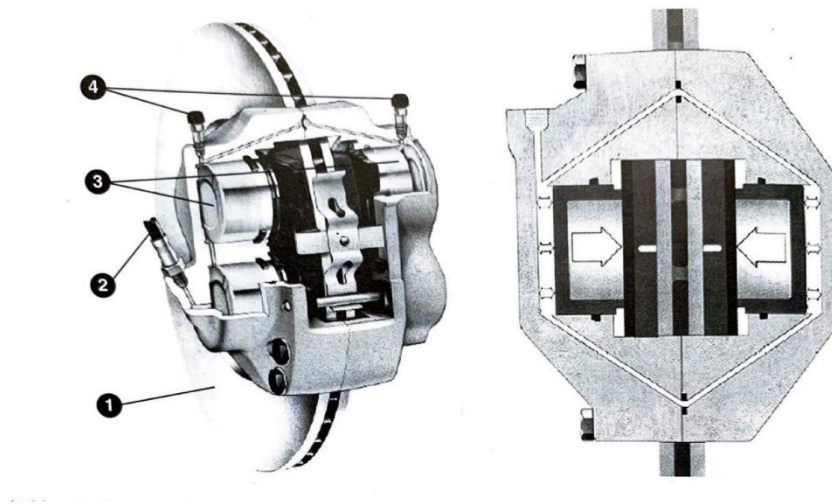


Abbildung 3.9: Festsattel-Scheibenbremse ([3], Seite 136)

Nummer	Bauelement
1	Bremsscheibe
2	Hydraulischer Anschluss
3	Bremskolben
4	Entlüftungsschrauben

Schwimmrahmen-Scheibenbremse

Im Gegensatz zum Festsattel besitzt der Schwimmrahmensattel nur einen auf der Scheibeninnenseite angeordneten Kolben. Er presst den Belag direkt gegen die Scheibe, was gleichzeitig zum Andrücken des felseitigen Bremsbelages führt, da der Sattel über Führungsbolzen schwimmend gelagert ist. Eine platzsparende Baugröße und geringere Bremsflüssigkeitstemperatur sind die wesentlichen Vorteile dieser Bauart.

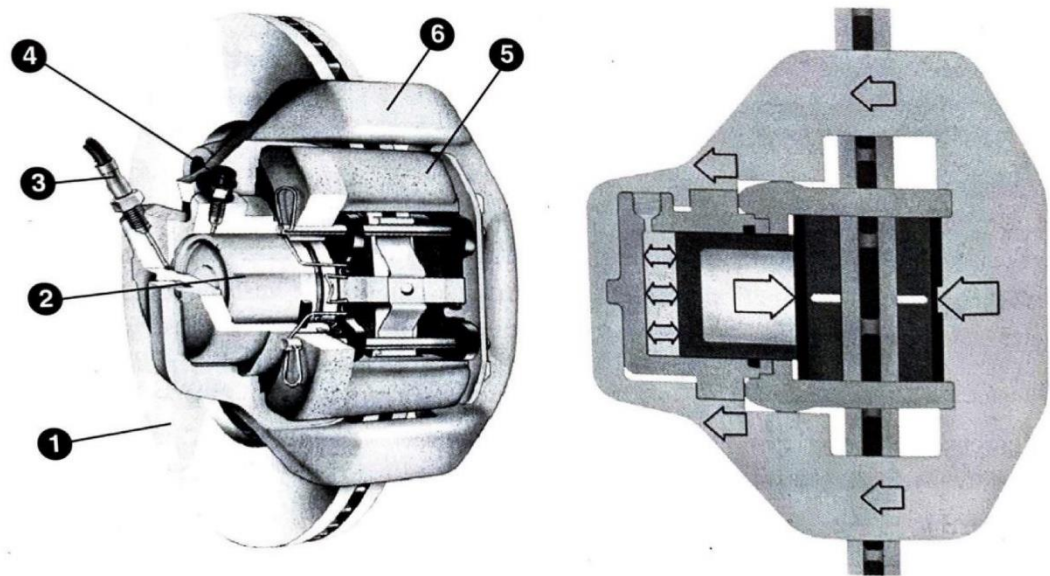


Abbildung 3.10: Schwimmrahmensattel ([3], Seite 136)

Tabelle 3.2: Bauelemente zu Abbildung 3.10

Nummer	Bauelement
1	Bremsscheibe
2	Bremskolben
3	Hydraulischer Anschluss
4	Entlüftungsschraube
5	Halter
6	Rahmen

Faustsattel-Scheibenbremse

Die Faustsattel-Bremse bietet ähnliche Vorteile wie die Schwimmrahmensattel-Bremse. Kraftfahrzeuge mit beengten Raumverhältnissen und den damit resultierenden geringen Einbauabmessungen benötigen diese Art. Es können großflächige Bremsbeläge mit optimaler Belagform eingebaut werden. ([1], Seite 77 ff.)

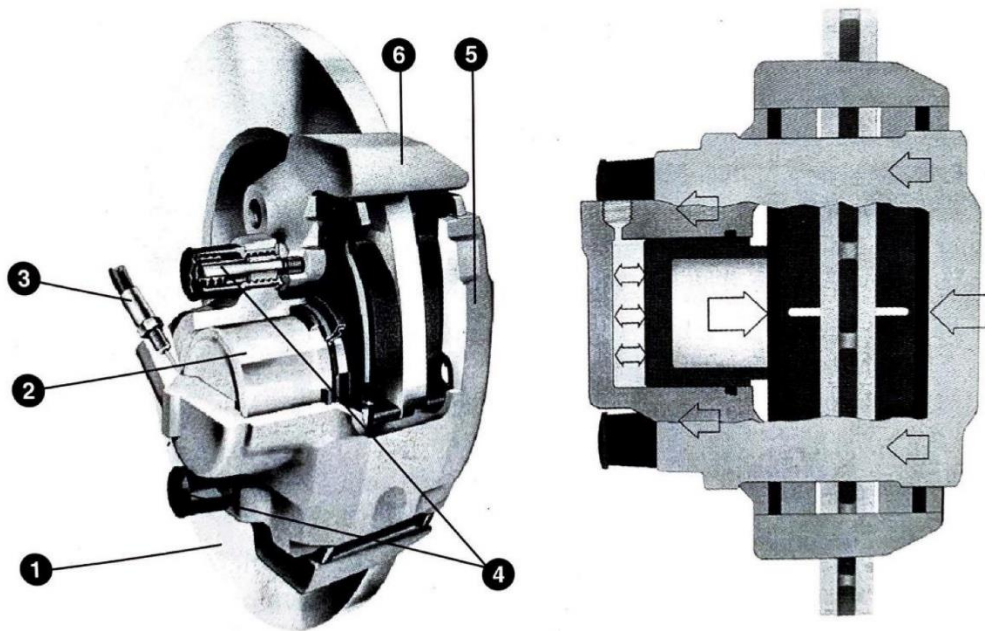


Abbildung 3.11: Faustsattel-Scheibenbremse ([3], Seite 137)

Tabelle 3.3: Bauelemente zu Abbildung 3.11

Nummer	Bauelement
1	Bremsscheibe
2	Bremskolben
3	Hydraulischer Anschluss
4	Dämpfungshülsen
5	Halter
6	Rahmen

4. Gesetzliche Grundlagen

Die gesetzlichen Anforderungen an die Bremsenprüfung sind in Deutschland in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) sowie in zugehörigen Richtlinien verankert. Diese Vorschriften definieren nicht nur die technischen Mindeststandards für Bremsanlagen, sondern legen auch die Prüfmethoden und Bewertungskriterien fest, die bei der HU anzuwenden sind. Diese sind von wichtiger Bedeutung, denn durch das Einhalten dieser Vorschriften kann die Betriebssicherheit von Bremsanlagen gewährleistet werden und ein somit die Unfallgefahr aufgrund eines technischen Defekts im öffentlichen Verkehr gemindert werden.

Im Folgenden werden die relevanten Paragraphen der StVZO (§§ 29, 41, 65) sowie die HU-Bremsenrichtlinie näher betrachtet.

§65 der StVZO

Die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) stellt in §65 die wesentliche rechtliche Rahmenbedingung für die Funktionsfähigkeit von Bremsanlagen in Kraftfahrzeugen dar.

Die Bremsanlage soll ein fest verbautes System darstellen, dessen Hauptaufgaben es ist, zum einem die Fahrzeuggeschwindigkeit zu reduzieren sowie die Verhinderung des Wegrollens bei Stillstand. Sie sollte in jeglicher Fahrsituation leicht bedienbar sein und keine Schäden, bei voller Wirkung, auf der Fahrbahn verursachen. Arbeitsmaschinen, wie beispielsweise Pflüge, Drillmaschinen, Mähmaschinen, die nur im Fahren Arbeit leisten können, erfordern keine Bremse. [2]

§41 der StVZO

§41 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) regelt detailliert die technischen Anforderungen an Bremsanlagen in Kraftfahrzeugen. Die Vorschrift unterscheidet zwischen verschiedenen Bremssystemen und definiert für jede Bauart spezifische Vorgaben. Grundsätzlich schreibt der Gesetzgeber vor, dass jedes Kraftfahrzeug mit zwei unabhängig voneinander wirkenden Bremssystemen ausgestattet sein muss. [5]

Alternativ kann die Bedienungseinrichtung auch unabhängig voneinander installiert sein. Diese Auslegung dient der Fahrsicherheit und stellt sicher, dass bei Ausfall eines Systems die Bremsfunktion zumindest teilweise erhalten bleibt. [5]

Für Fahrzeuge mit mehr als zwei gebremsten Rädern ist eine gemeinsame Übertragungseinrichtungen zulässig, sofern das System so konzipiert ist, dass bei einem Bruch der Bremsleitung mindestens zwei diagonal gegenüberliegende Räder weiterhin gebremst werden können. Da Bremskomponenten besonders verschleißanfällig sind, verlangt die Vorschrift zudem, dass alle Bremsen einfach nachstellbar sein müssen oder über eine automatische Nachstellvorrichtung verfügen.

Für die Betriebsbremse wird eine Mindestverzögerung von $5,0 \text{ m/s}^2$ bei Pkw unter standardisierten Bedingungen gefordert (abgesehen von Krafträdern), während die Feststellbremse eine Verzögerung von mindestens $1,5 \text{ m/s}^2$ erreichen muss. Zusätzlich wird vorgeschrieben, dass die Feststellbremse mechanisch feststellbar sein muss, um das Fahrzeug auf der maximal befahrbaren Steigung gegen Wegrollen sicherzustellen. Bei Elektrofahrzeugen ist es zulässig, eines der beiden Bremssysteme als elektrische Widerstands- oder Kurzschlussbremse auszuführen. [5]

Fortführend beschreibt der §41 weitere Fahrzeugkategorien und ihre Bremsanlage wie Gleiskettenfahrzeuge, Anhänger unterschiedlicher Gewichtsklassen sowie Kraftomnibusse mit Druckluft- oder hydraulischen Bremsanlagen. Arbeitsmaschinen mit einem zulässigen Gesamtgewicht unter 250kg sind von der Bremsenpflicht ausgenommen. [5]

§29 StVZO

§29 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) verpflichtet Haltern von zulassungspflichtigen Fahrzeugen in Deutschland dazu, eine Hauptuntersuchung in regelmäßigen Intervallen durchzuführen. Dabei trägt der Halter die Kosten für die Fahrzeugprüfung selbst. Ausgeschlossen von dieser Regelung, sind Fahrzeuge der Bundeswehr und Bundespolizei, sowie Fahrzeuge mit rotem Kennzeichen. Weiterhin wird in diesem Paragraphen die Regelung zur Anbringung der Prüfplakette beschrieben. Diese darf nur von der nach Landesrecht zuständigen Behörde oder einer berechtigten Person angebracht werden, welche eine Hauptuntersuchung ausführen darf. Um eine Prüfplakette anzubringen und zu erteilen, muss Sie die Vorschriften der Anlage VIII

einhalten. Die Prüfplakette ist schließlich auf dem hinteren Kennzeichen dauerhaft anzubringen und sollte sicher gegen einen Missbrauch sein. Zusätzlich schreibt der Paragraph auch vor, welchen Umfang die Sicherheitsprüfung an Fahrzeugen umfasst. [6]

Bei festgestellten Mängeln sieht die Regelung abgestufte Maßnahmen vor: Während geringfügige Mängel innerhalb einer Frist behoben werden müssen, führen schwerwiegende Sicherheitsdefizite unmittelbar zu einem Betriebsverbot. Die Frist zur Behebung von festgestellten Mängeln beträgt in der Regel ein Monat, wo der Fahrzeughalter mit dem behobenen Problem das Fahrzeug der Prüforganisation wieder vorzuführen hat. [6]

Wie die Hauptuntersuchung durchzuführen ist, wird in der Anlage VIIIa genauer definiert und vorgeschrieben. Sämtliche Vorschriften für die zu kontrollierenden Fahrzeugkomponenten und Ausrüstungsteilen werden ebenfalls in dieser Anlage aufgelistet, welche ein amtlich anerkannter Sachverständiger oder Prüfsachverständiger autorisierter Überwachungsorganisationen zu beachten hat. [6]

HU-Bremsenrichtlinie

Die HU-Bremsenrichtlinie ist das zentrale Regelwerk für die Überprüfung von Fahrzeugbremsen im Rahmen der deutschen Hauptuntersuchung (HU). Sie stellt eine Verallgemeinerung der gesetzlichen Vorgaben aus der StVZO (§§ 29, 41, 65) dar und definiert einheitliche Prüfverfahren und Bewertungskriterien für Bremsanlagen. Genauere Details und Vorgehensweisen zur Überprüfung von Hydraulischer, sowie Druckluftbremsanlagen und Anhänger-Auflaufbremsanlagen sind ebenfalls aufgelistet.

Besondere Sorgfalt gilt der visuellen Inspektion aller mechanischen und elektrischen Komponenten der Bremsanlage.

Auf die Identifikation von Beschädigungen, Leckagen oder Montagefehlern; Überprüfung auf unsachgemäße Reparaturen oder nicht zulässige Veränderungen der Betätigungseinrichtung und die Kontrolle des allgemeinen Zustands aller Bauteile ist besonders zu achten.

Die Richtlinie unterscheidet zwischen zwei wesentlichen Prüfmethoden: Zum einen die präzise Messung der Radbremskräfte auf dem Bremsprüfstand im Geschwindigkeitsbereich von 2,5 bis 7,0 km/h, zum anderen die dynamische Ermittlung der Fahrzeugverzögerung durch praktische Bremsversuche. Die Anforderungen an das geprüfte Fahrzeug werden in der Richtlinie klar definiert. So müssen Betriebsbremsen mindestens eine Verzögerung von $5,0 \text{ m/s}^2$ erreichen, während für die Feststellbremse eine Haltekraft von 16 Prozent der Fahrzeugmasse nachgewiesen werden muss (siehe Anlage 6.1). Die Abbremsung ist dabei stets auf das zulässige Gesamtgewicht (zGM) des Fahrzeugs zu beziehen. Natürlich kann nicht jede Bremse genau diese festgelegten Werte erzielen, weshalb bei der BBA eine Abweichung der Bremskräfte von nicht mehr als 25% einer Achse toleriert wird. Bei der Feststellbremse ist diese Abweichung auf 50% festgelegt. Feststellbremsen, die eine elektronische Betätigung benötigen, ist eine zulässige Abweichung von 95% vorgeschrieben.

Zusätzlich ist zu jeder Messung eine Konditionierungsfahrt durchzuführen, die gezielt eine thermische Belastung der Bremsanlage herbeiführt, um realistische und reproduzierbare Messergebnisse zu gewährleisten.

Die Richtlinie definiert weiterhin für bestimmte Fahrzeuge eine Ausnahme. Dazu zählen Fahrzeuge, die aufgrund ihrer Bauart nicht auf dem Bremsprüfstand geprüft werden können, Kraftfahrzeuge mit einer Höchstgeschwindigkeit unter 40 km/h und Krafträder, die keine fachgerechte Unterbringung des Messgerätes ermöglichen. In diesen Fällen ist eine Untersuchung im Fahrversuch mit schreibendem Messgerät zulässig, bei Motorrädern gegebenenfalls sogar ohne solches Gerät. [23]

5. Umfang der Prüfung von Bremsanlagen

Prüfung auf Zustand und Ausführung

Die Untersuchung auf Zustand und Ausführung beinhaltet die sicherheitsrelevanten Bauteile von Bremsanlagen, die ohne Verwendung von Werkzeugen und ohne Demontagen zugänglich sind. Alle Teile, einschließlich Warneinrichtungen, müssen sich in einem funktionssicheren Zustand befinden und dürfen keine Schäden bzw. unzulässige Veränderungen oder Verschleißerscheinungen aufweisen. ([7], Seite 6)

Funktionsprüfung

Betriebsbremsanlage

Die Kontrolleinrichtungen und Bremsleuchten müssen beim Betätigen funktionsgerecht aufleuchten. Fahrzeuge mit elektronischem Bremssystem oder Automatischem Blockier-Verhinderer sind in Anlehnung an Systemdaten für vergleichbare Fahrzeuge und Fahrzeugsysteme zu überprüfen, wenn aufgrund des Erstzulassungsdatums keine Systemdaten vorliegen sollten. ([7], Seite 7 ff.)

Feststellbremsanlage

Im Fall der Feststellbremsanlage wird die Funktion der Betätigungseinrichtungen, Sperren oder Halteinrichtungen kontrolliert. ([7], Seite 7 ff.)

Dauerbremsanlage

Überprüfung der Dichtheit und im Zweifelsfall muss die Anlage im fahrversuch mit einem schreibenden Bremsmessgerät nachgewiesen werden. ([7], Seite 7 ff.)

Wirkungsprüfung

Die exaktesten Messresultate werden durch messtechnische Untersuchungen im öffentlichen Verkehr erzielt. Für diese Messungen wird jedoch eine sehr aufwendige Messtechnik benötigt. Aufgrund der engen Platzverhältnisse sowie des Defizits an Messequipment sind diese Messungen in Werkstätten weniger von Bedeutung. Aus diesen Gründen wurden Bremsprüfstände entwickelt, um hinreichend reale Bedingungen und genaue Messwerte in der Werkstatt zu gewährleisten. ([2], Seite 260)

Die gemessenen Bremskräfte am Rad dienen als Grundlage für die Bewertung von Funktionsfähigkeit und Wirkung der BBA. Im folgenden Abschnitt werden werkstatt-typische Prüfstände beschrieben. ([2], Seite 260)

6. Bremsprüfmethoden

6.1 Plattenbremsprüfstand

Auf einer ausreichend langen beweglichen, am Boden gelagerten Platte wird das Fahrzeug verzögert. Die Beurteilung des Bremssystems eines Fahrzeugs erfolgt dann durch die Ermittlung der wirkenden Längst- und Querkräfte am Prüfstand. Es gibt sowohl Zweiplatten- als auch Vierplatten-Prüfstände. Mit der Vierplattenbauart sind gleichzeitige Messungen an den vier Rädern unter Wirkung der dynamischen Achslast möglich, wenn sich jedes Rad auf der zugehörigen Platte befindet. Für die Prüfung der EPB (elektrische Park-Bremse) und der EHB (elektrohydraulischen Bremse) ist der Plattenbremsprüfstand ungeeignet. Im Fall EPB liegt das einerseits an der Schwierigkeit die kurzen Prüfplatten im Moment der Schalterbestätigung zu treffen und andererseits kann ein Zeitverzug beim Schließen beider Parkbremsen entstehen, was zu einer Verfälschung der Messwertdifferenz des rechten und linken Rades führt. Die Nichteignung für EHB begründet sich mit der randindividuellen Bremskraftregelung des Systems. Sie kann bei unterschiedlichen Reibwerten, beispielsweise durch Nässe entstehen. Dies kann ebenso zu unterschiedlichen Messwerten auf beiden Seiten führen. Treten solche Messwertdifferenzen auf, so ist es nicht eindeutig zu entscheiden, ob ein Bremsdefekt oder eine reibwertbedingte, randindividuelle Bremskraftregelung vorliegt.

Durch einen längeren Beobachtungszeitraum und der reibwertoptimierten Prüfflächenbeschichtung werden die randindividuellen Bremskraftregelungen herausgefiltert. ([2] Leiter Mißbach 2004, 260 f.)



Abbildung 6.1: Zweiplattenbremsprüfstand Autohaus Kürschner, Rodewisch

6.2 Rollenbremsprüfstand

In ihrer einfachsten Form treibt jeweils ein Elektromotor zwei Rollenpaare an, so dass beide Räder einer Achse gemessen werden können. Die Steuerung der Motoren erfolgt im Geschwindigkeitsbereich von 2,5 bis $\leq 7,0$ km/h. ([7], Seite 11) Drehstrommotor und Getriebe für die Antriebsrolle sind pendelnd montiert und stützen sich über einen Hebel am Rahmen ab. Die Messung der Bremskraft beruht auf der Messung des Reaktionsmoments. Bei Betätigung der Hebel auf die Kraftmesseinrichtung übertragen wird. Kraftmesseinrichtung wirkt direkt auf ein Manometer.

Fährt ein Fahrzeug auf den Prüfstand ein, so werden die frei drehenden zwischen jedem Rollensatz liegenden Tastrollen nach unten gedrückt, was zum Einschalten der Antriebsmotoren führt. Der Prüfstand schaltet sich automatisch aus, wenn die Rollen entlastet sind.

Beim Abbremsen entsteht Schlupf zwischen Reifen und den Prüfrollen. Die „automatische Schlupfabuschaltung“ verhindert eine mögliche Beschädigung des Reifenprofils. Diese Funktion erfasst den Schlupf über die Drehzahl der Rolle schaltet den Prüfstand ab, wenn ein festgelegter Maximalwert überschritten wird. Zum Zeitpunkt des Abschaltens zeigt ein Anzeigegerät den maximalen Bremskraftwerk in Newton an. ([8], Seite 188)

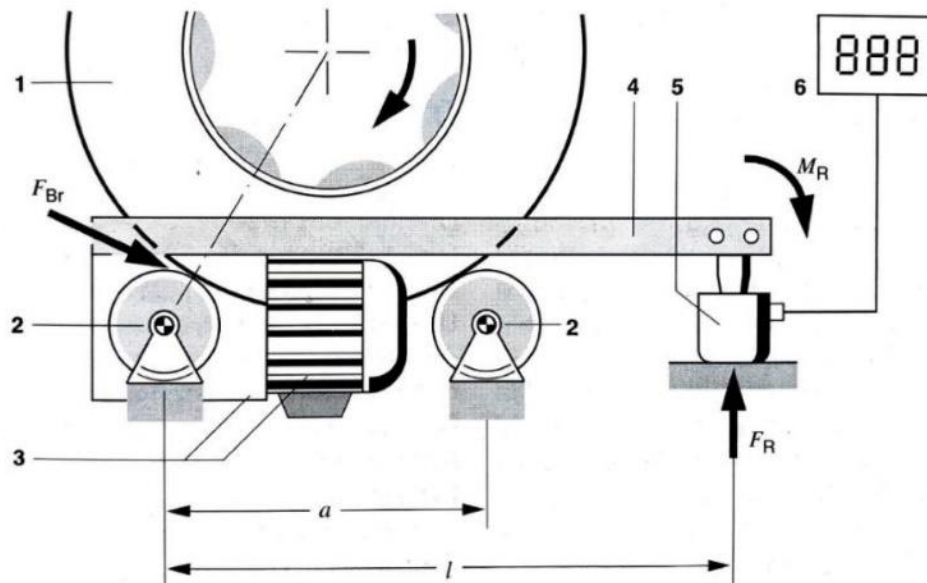


Abbildung 6.2: Aufbau des Rollenbremsprüfstandes ([8], Seite 188)

Tabelle 6.1 Bauelemente zu Abbildung 6.2

Nummer	Bauelement
1	Fahrzeugrad
2	Rollenpaar
3	Motor mit Getriebe
4	Drehmomenthebel
5	Messwertsensor
6	Anzeigegerät



Abbildung 6.3: Rollenbrensprüfstand der FSP-Prüfstelle



Abbildung 6.4: Anzeigegerät der FSP-Prüfstelle Dresden-Laubegast

6.4 Bezugsbremskräfte bei der Bremsenprüfung

Jede Bezugsbremskraft setzt sich aus einer Bezugsgröße (z.B. der eingesteuerte Bremsdruck) und der zugehörigen Bremskraft der Achse zusammen. Durch die achs-weise Überprüfung und Bewertung der Bremsanlage ist nun eine Aussage über die Bremskraftverteilung an den einzelnen Achsen möglich. Die Mindestabbremung und die korrekte Bremskraftverteilung kann unterhalb der Blockiergrenze nachgewiesen werden, weil der eingesteuerte Druck und die Bremskraft nahezu linear zueinander sind. Der Bremsdruck wird durch Verbindung des HU-Adapters über die OBD-Schnittstelle (On-Board-Diagnose) aus dem im Hydroaggregat befindlichen Bremsdruck-sensor erfasst und ausgelesen.

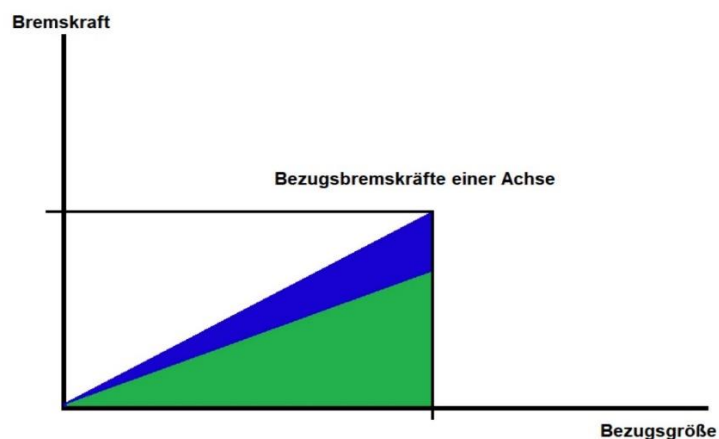


Abbildung 6.7: Schaubild Bremskraft über Bezugsgröße



Abbildung 6.8: HU-Adapter



Abbildung 6.9: OBD-Anschluss des HU-Adapters



Abbildung 6.10: OBD-Schnittstelle vom Audi A4 (Erstzulassung 2005)

6.4 Ablauf der Bremswerterfassung am Rollenbremsprüfstand

Vor Durchführung der Bremskraftmessung erfolgt die systematische Erfassung der Fahrzeugkennwerte. Dabei werden die relevanten Daten aus dem Fahrzeugschein in das Prüfsoftware-System "Zeus" eingegeben, wodurch eine eindeutige Identifizierung des Fahrzeugs gewährleistet wird. Das System greift auf die von der Fahrzeugsystemdaten GmbH (FSD) bereitgestellten Referenzdatenbank zu. Dabei sind die zwei folgenden Prüfmethoden zu beachten. Bei Vorliegen von FSD-gelieferten Bezugsbremskräften für das jeweilige Fahrzeugmodell, erfolgt eine direkte Messung über den Rollenbremsprüfstand. Falls diese Referenzwerte jedoch fehlen, ist eine alternative Prüfmethodik anzuwenden. In diesem Fall wird der hydraulische Bremsdruck mittels eines speziellen HU-Adapters gemessen. Die Datenübertragung zwischen Messadapter und Prüfgerät (Laptop oder Smartphone) erfolgt drahtlos über die WLAN-Schnittstelle.

Nun werden sowohl die Betriebsbremsanlage als auch die Feststellbremsanlage des Fahrzeugs geprüft. Zunächst wird die Vorderachse auf den Bremsenprüfstand befahren. Der PI prüft das Fahrzeug bei kontinuierlich ansteigender Bremskraft bis kurz vor der Blockiergrenze. In der Prüfersoftware drückt er „Erfassen“ zum Betätigen der Bremswerterfassung. Die angezeigten Bremskräfte gibt er anschließend in das jeweilige Gerät ein. Die Prüfung der BBA und FBA erfolgt mit der gleichen Vorgehensweise.

Wenn eine standardisierte Schnittstelle (ASA Livestream) am Bremsenprüfstand zur Verfügung steht, ist der Ablauf einfacher. Die Bremskräfte werden mittels HU-Adapter über die Bremsdrücke erfasst, und automatisch durch ASA-Livestream zum Laptop oder Smartphone in „Zeus“ übertragen.

Sind die Bremskräfte in Bezug auf den jeweiligen Bremsdruck größer oder gleich den vorgegeben Werten der FSD, so gilt das Erreichen der Mindestabbremung als nachgewiesen.

Bremsenwirkung

Art der Bremswerterfassung: **Bezugsbremskräfte** **zGM** **2.100 kg** Achsen BBA: **2** Achsen FBA: **1**

Betriebsbremse (BBA)

Achse	linkes Rad (daN)	rechtes Rad (daN)	Differenz (%)	Sum (daN)	Bremskraftvorgabe (daN)	Brems. Anf.	entsp. Pedalkraft (N)	Achsenanteil (%)	Vorgabe Achsenanteil (%)
1	380	370	2,7	750	570	60,775	119	70,99689806 3964	52
2	300	280	6,7	580	462	115,05	267	29,00310193 60359	19

Feststellbremse (FBA)

Achse	linkes Rad (daN)	rechtes Rad (daN)	Differenz (%)	Sum (daN)	blockiert
1	190	180	5,3	370	☒

Abbremmung FBA: 17,6 % ✓

Prüfhinweis:
Die Abbremmung des Fahrzeugs wurde mittels Bezugsbremskraftverfahren nachgewiesen

Abbildung 6.11: Bestandene Bremsenprüfung mittels Bezugsbremskräften

Sollte aufgrund der technischen Ausführung des Fahrzeugs oder der Bremsanlage oder der Ausführung des Bremsenprüfstandes die Prüfung mittels Bezugsbremskräften nicht möglich sein bzw. liegen keine Bezugsbremskräfte im System der FSD vor, so sind die Bremskräfte nachzuweisen, die für das Erreichen der auf die zGM (zulässige Gesamtmasse) bezogenen Mindestabbremmung nach Anlage 6.1 aus der HU-Bremsenrichtlinie benötigt werden. Bei der sogenannten ZGM-Methode ist das Verwenden des HU-Adapters nicht notwendig. Der Prüfer bremst das Auto bis zur Blockiergrenze ab und gibt die angezeigten Werte anschließend in die Prüfsoftware ein. Es berechnet die Abbremmung aus den Bremskräften und der zGM in Prozent aus und vergleicht sie anschließend mit den geforderten Werten. Dabei haben die Witterungsbedingungen, die Rollenbeschaffenheit sowie die Beladung des Fahrzeuges einen Einfluss auf das Messergebnis.

Die in Anlage 6.1 angegebenen Mindestabbremmungen müssen von den jeweiligen Fahrzeugklassen erreicht werden und darüber hinaus die Radbremsen der einzelnen Achsen hinreichend wirksam sein. Dabei hängt die zulässige Abbremmung von der Erstzulassung des Fahrzeugs ab.

Die gesetzlichen Anforderungen an die Mindestabbremmung von Pkw unterliegen einer historischen Entwicklung, die sich an den Erstzulassungsdaten der Fahrzeuge orientiert. Für vor dem 01.01.1991 zugelassene Personenkraftwagen gilt eine Mindestabbremmung von $Z = 50\%$, wobei alternativ bei Unterschreitung dieses Werts das vollständige Blockieren mindestens einer Achse als Prüfkriterium akzeptiert wird. Diese Ausnahmeregelung findet ebenfalls Anwendung bei Fahrzeugen mit

Erstzulassung zwischen Januar 1991 und Juli 2010, die ebenfalls die 50%-Marke erreichen müssen.

Mit fortschreitender technischer Entwicklung wurden die Anforderungen verschärft: Für ab Juli 2012 neu zugelassene Fahrzeuge gilt eine erhöhte Mindestabbremmung von $Z = 58\%$, deren Unterschreitung als erheblicher Mangel gewertet wird. In Fällen, in denen keine spezifischen Bezugsbremskräfte vorliegen, jedoch die 58%-Marke auf dem Bremsprüfstand erreicht wird, schreibt der Gesetzgeber eine zusätzliche Verzögerungsmessung (VZM) vor. Bei diesem Verfahren beschleunigt der Prüfenieur das Fahrzeug auf mindestens 10 km/h und führt eine Vollbremsung durch, wobei die Verzögerung mittels eines HU-Adapters mit integriertem dreiachsigem Beschleunigungs- und Drehratensensor gemessen wird. Dieses zweistufige Prüfverfahren gewährleistet eine umfassende Bewertung der Bremsleistung moderner Fahrzeuge.

Bremswirkung

Art der Bremswertfassung: ZGM-Methode **ZGM** **2.385** kg Achsen BBA: **2** Achsen FBA: **1**

☒ FBA nicht während der Fahrt zu betätigen

Betriebsbremse (BBA)

Achse	linkes Rad (daN)	rechtes Rad (daN)	Differenz (%)	Sum (daN)	blockiert
1	300	300	0	600	☒
2	250	250	0	500	☒

Abbremsung BBA: 46,1 % !

Feststellbremse (FBA)

Achse	linkes Rad (daN)	rechtes Rad (daN)	Differenz (%)	Sum (daN)	blockiert
1	200	180	10	380	☒

Abbremsung FBA: 15,9 % !

Prüfhinweis:

☐ Bremswirkung gem. Pkt 8 der HU Bremsrichtlinie ohne Beanspruchung

☐ Die Prüfung der Bremswirkung erfolgte auf einem Plattenprüfstand

☒ Zur Kontrierung der Bremswirkungsprüfung wurde zusätzlich ein Fährversuch mit Verzögerungsmessgerät durchgeführt

☒ Die ermittelte Abbremsung beträgt (in %): **67**

Abbildung 6.12: Nicht bestandene Bremsenprüfung mittels ZGM-Methode, aber Nachweis mit Verzögerungsmessgerät → bestanden

Durch die Eingabe der im Fahrversuch ermittelten Abbremsung, bezogen auf die Prüfmasse (Z=80 %), berechnet das „Zeus“ Programm anschließend die Abbremsung der Bremsanlage in Bezug auf die zGM (Z=67 %).

Bremsenwirkung

Art der Bremsverfässung: Fahrer, hydr/mech, Bre ☒ ZGM ☒ 2.385 kg Achsen BBA: 2 Achsen FBA: 1

☐ FBA nicht während der Fahrt zu betätigen

Prüfgewichtskraft: 2.000 daN

Betriebsbremse (BBA)

Erm. Verzögerung: m/s² ☐ blockiert

Erm. Abbremsung: 80 % ☒ Abbremsung BBA: 67 % ✓

Feststellbremse (FBA)

Erm. Verzögerung: m/s² ☐ blockiert

Erm. Abbremsung: % Abbremsung FBA: - !

Prüfhinweis:

- ☐ Bremswirkung gem. Pkt.8 der HU Bremsenrichtlinie ohne Beanspruchung
- ☐ Fahrversuch, Prüfung auf dem Bremsenprüfstand lieferte keine verwertbaren Ergebnisse
- ☐ Fahrversuch, Prüfung auf dem Bremsenprüfstand aus fahrzeugtechnischen Gründen nicht möglich
- ☐ Die Ermittlung der Bremswirkung erfolgte im Fahrversuch, die Verwendung eines Verzögerungsmessgerätes war wegen der Fahrzeugbauart nicht möglich
- ☐ Die Bremsmessung erfolgte im Fahrversuch mit Verzögerungsmessgerät
- ☐ Zur Konkreisierung der Bremswirkungsprüfung wurde zusätzlich ein Fahrversuch mit Verzögerungsmessgerät durchgeführt
- ☐ Die ermittelte Abbremsung beträgt (in %):

Abbildung 6.13: Bestandene Bremsenprüfung mittels Verzögerungsmessung

7. Zeitaufwand der Bremswerterfassung

Eine Neuauffassung der Bremsenprüfstandsrichtlinie „Richtlinie für die Anwendung, Beschaffenheit und Prüfung von Bremsprüfständen“, vom 12.04.2011, zwingt sowohl die Werkstätten als auch die Überwachungsorganisationen zur technischen Angleichung ihrer Bremsenprüfstandsausrüstung. Ab dem 01.01.2020 müssen alle Prüfstände die Bestimmungen der Richtlinie erfüllen, um die zum Jahresanfang 2020 verpflichtete Anwendung einer standardisierten Ethernet-Schnittstelle (ASA-Schnittstelle) zu garantieren. Sollte bis zu diesem Zeitpunkt der Bremsenprüfstand der Richtlinie nicht entsprechen, so dürfen keine Hauptuntersuchungen durchgeführt werden.

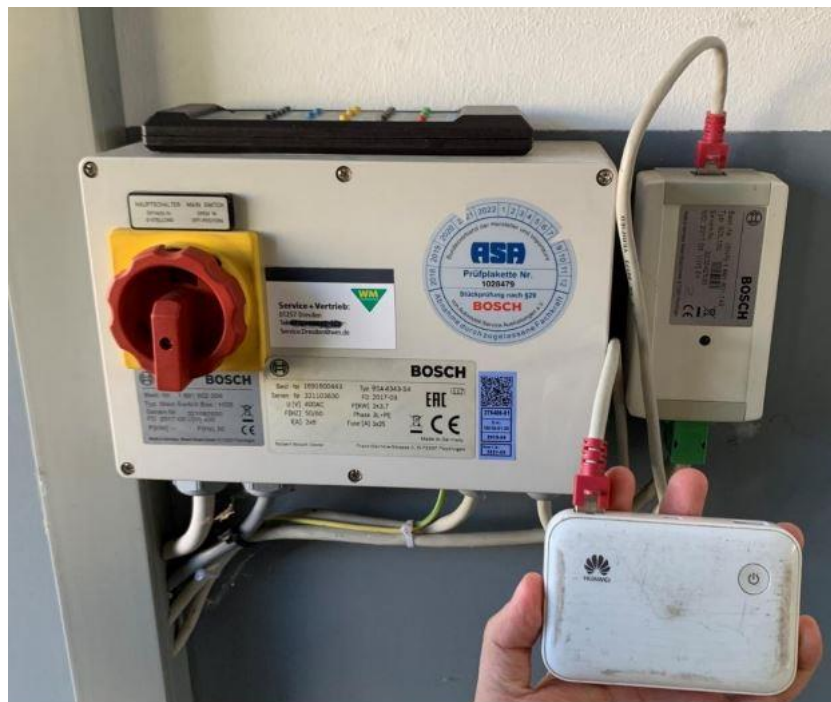


Abbildung 7.1: ASA-Schnittstelle mit mobilem WLAN-Router

Im Rahmen der Diplomarbeit, wurde der zeitliche Mehr- bzw. Minderaufwand beim Einsatz des HU-Adapters sowie bei der Nutzung der ASA-Schnittstelle vergleichsweise zur herkömmlichen Vorgehensweise ermittelt. Dabei beginnt das Zeitstoppen, wenn der PI den Weg zum Kraftfahrzeug ansetzt, nachdem Fahrzeugdaten in die Prüfersoftware eingegeben wurden. Die Zeitmessungen beinhalten also zusätzlich neben dem Bremsen, den Laufweg zum PKW und, falls notwendig, das Suchen der OBD-Schnittstelle und das Anstecken des Adapters.

Herkömmliche Vorgehensweise: Für dieses Verfahren wird kein HU-Adapter oder eine ASA-Schnittstelle benötigt. Der Prüfer liest die Bremskräfte von der Anzeige des Bremsenprüfstandes ab und gibt sie danach manuell ins „Zeus“ ein. Die Kräfte können während des Bremsvorgangs oder auch danach eingegeben werden, wenn man sich Kräfte merkt oder auf einem Blatt Papier notiert.

Tabelle 7.1: Messzeiten herkömmliche Vorgehensweise

Hersteller	Modell	Erstzulassung	Kilometerstand	Zeit [t/min]
Mercedes-Benz	C180	2000	170221 km	1:07,58 min
Ford	Kuga	2014	52718 km	1:05,78 min
BMW	218d	2016	106457 km	1:08,03 min
				$\bar{t} = 1:07,22 \text{ min}$

Einsatz mit HU – Adapter: Bevor das Fahrzeug auf die Rolle gefahren wird, steckt der PI den OBD-Anschluss des Adapters an die OBD-Buchse an. Beim Abbremsen drückt er dann jeweils am Laptop oder Smartphone die „Erfassen“ Fläche, womit die Bremsdruckmessung betätigt wird. Die angezeigten Bremskräfte müssen anschließend in das Prüfgerät eingegeben werden.

Tabelle 7.2: Messzeiten beim Einsatz des HU-Adapters

Hersteller	Modell	Erstzulassung	Kilometerstand	Zeit [t/min]
Ford	Ranger	2015	103832 km	2:01,38 min
Audi	A4 Avant B7	2008	126859 km	1:33,12 min
Suzuki	Swift	2014	53168 km	1:28,89 min
VW	Touran TDI	2007	202813 km	1:38,64 min
				$\bar{t} = 1:40,51 \text{ min}$

Nutzung der ASA-Schnittstelle: Bei dieser Methode ist es ebenfalls notwendig den HU Adapter an den OBD-Anschluss anzustecken, jedoch fällt hierbei die manuelle Eingabe der Bremskräfte weg. Mithilfe der ASA-Schnittstelle werden die gemessenen Bremskräfte über eine WLAN-Verbindung automatisch in „Zeus“ übertragen. Dadurch

soll das Manipulieren der Bremskräfte vermieden werden und ein schnelleres, genaueres Erfassen der Werte zu Stande kommen.

Tabelle 7.3: Messzeiten bei der Nutzung der ASA-Schnittstelle

Hersteller	Modell	Erstzulassung	Kilometerstand	Zeit [t/min]
VW	Passat B5	2004	205667 km	3:18,64 min
Seat	Altea XL	2011	125956 km	2:01,34 min
Skoda	Rapid	2016	106584 km	1:18,62 min
Opel	Insignia	2015	132924 km	1:40,19 min
Audi	A4 Avant B8	2014	153526 km	1:28,80 min
Mercedes Benz	C-Klasse W203	2008	108387 km	1:50,45 min
VW	Touran	2010	59899 km	2:02,39 min
Skoda	Fabia	2018	78994 km	3:02,74 min
Ford	S-Max	2012	156384 km	1:15,06 min
				$\bar{t} = 1:58,69 \text{ min}$

Anhand meiner ausgeführten Versuche zeigt das Ergebnis, dass momentan die herkömmliche Vorgehensweise der Bremswerterfassung, mit durchschnittlich 1:07:22 Minuten, die schnellste Variante im Vergleich zum HU-Adapter ($\bar{t} = 1:40,51 \text{ min}$) und zur ASA-Schnittstelle ($\bar{t} = 1:58,69 \text{ min}$) ist.

Dabei gibt es verschiedene Gründe, warum die Zeitwerte so stark voneinander abweichen. Beim Einsatz des HU-Adapters geht beispielsweise ein Teil der Zeit für das Suchen und Finden der OBD-Schnittstelle verloren, da diese beim jeden Fahrzeughersteller wo anders lokalisiert ist. So kann sich der OBD-Anschluss entweder Fußraum (Bsp.: Audi A4), in der Mittelkonsole (Bsp.: Opel Meriva) oder auch im Handschuhfach (Bsp. Dacia Sandero) befinden.

Die durchschnittlich längste Zeit für die Bremswerterfassung beanspruchte das Verfahren der ASA-Schnittstelle. Dabei sind die auffällig langen Zeiten des VW Passat B5 mit 3:18,64 Minuten und des Skoda Fabia mit 3:02,74 Minuten. Grund beim VW hierfür ist eine fehlgeschlagene Verbindung zur Benutzeroberfläche der ASA-Schnittstelle,

trotz mehrmaligen Verbindungsversuchen. Beim Skoda war die Ursache das erfolglose Erfassen der Bremskraftwerte ins „Zeus“, obwohl eine Verbindung zur Schnittstelle erfolgreich hergestellt wurde.

Dadurch erfolgte, nach den Fehlersuchen mittels ASA-Schnittstelle, die zwangsmäßige manuelle Eingabe der abgelesenen Bremskräfte, von der Anzeige des Bremsenprüfstandes, in das Programm. So ist das Funktionieren der Schnittstelle bei vereinzelten zufälligen Personenkraftfahrzeugen nicht gewährleistet.

8. Kategorisierung der Mängel einer HU

Die HU hat folgende Mängeleinstufungen:

HW – Hinweise

Hinweise gelten nicht als Mängel und können vom aaSoP oder PI im Prüfprotokoll notiert werden. Sie dienen dem Fahrzeughalter als Information für die zukünftig abzeichnenden Mängel durch Verschleiß, Korrosion oder andere Umstände.

OM – Ohne Mängel

Sollten keine Mängel bei der HU und AU auftreten, so wird dem Kraftfahrzeug eine Prüfplakette zugeteilt.

GM – Geringe Mängel

Diese Art von Mangel weist eine kurzzeitige Abweichung der Bremseinrichtung von Vorschriften und Richtlinie, die hingenommen werden kann. Zum Zeitpunkt der Mängelfeststellung ist keine Verkehrsgefährdung anzunehmen. Die Prüfplakette wird zugeteilt und es wird auf eine Nachprüfung verzichtet. Ein passendes Beispiel dafür wäre eine von zwei defekte Kennzeichenleuchte. Wird ein Geringer Mängel festgestellt, so ist der Fahrzeughalter dazu verpflichtet, den Mangel umgehend zu beheben.

EM – Erhebliche Mängel

Bei EM zählt die Bremsprüfung als durchgefallen. Es sind Mängel, die eine Verkehrsgefährdung zur Folge haben können.

Zudem wird eine Nachprüfung innerhalb von 4 Wochen gefordert, wobei die Mängelteile mit funktionstüchtigen Teilen ausgetauscht sein sollten. Ein Fall für einen EM wäre

beispielsweise eine verschlissene Bremse oder eine Korrosionsgeschwächte Bremsleitung.

VM – Gefährliche Mängel

Gefährliche Mängel stellen eine direkte Verkehrsgefährdung oder auch eine hohe Umweltbelastung dar. Der Fahrzeughalter hat die Pflicht, alle Mängel unverzüglich beheben zu lassen und das Kraftfahrzeug ebenfalls bis spätestens einen Monat zur Nachkontrolle vorzuzeigen. Diese Einstufung tritt ein, wenn beispielsweise die Feststellbremsanlage weniger als 50% der geforderten Mindestbremskraft erbringt. In diesem Fall sind nur noch Fahrten nach Hause oder zur nächsten Werkstatt erlaubt.

VU – Verkehrsunsicher

Verkehrsunsichere Mängel ziehen eine unmittelbare Untersagung des Fahrzeugbetriebes auf öffentlichen Straßen nach sich. Das Entfernen der vorhandenen Prüfplakette sowie die Benachrichtigung der örtlichen Zulassungsbehörde müssen erfolgen. Ein typisches Beispiel wäre in diesem Fall eine Bremsanlage ohne Wirkung. [9]

Die Auflistung der Mängel einer Bremsanlage sind im Anhang 6.2 aufzufinden.

Verschleißbilder an der Radbremse

Wie jedes andere technische Bauteil unterliegt die Radbremse der Abnutzung durch Verschleiß, Korrosion oder Alterung. Trotz beispielsweise einer starken Materialabnutzung der Bremsbeläge oder Rost an den Bremsscheiben besteht die Möglichkeit, dass das Kraftfahrzeug die geforderte Mindestabbremmung erreicht.

Nachdem die BBA und FBA auf dem Prüfstand erfolgreich überprüft wurden, folgt eine visuelle Untersuchung mit anschließender Beurteilung zum Zustand der Bremsanlage. Sollte die Abnutzung einzelner Komponenten der Radbremse so weit fortgeschritten sein, dass in naher Zukunft das verkehrssichere Bremsen nicht gewährleistet ist, so gilt die Bremsenprüfung als mangelhaft und damit die HU als durchgefallen.

Die bei der visuellen Durchsicht festgestellten Mängel müssen im Untersuchungsbericht nach VIII und Nummern 3 und 4 Anlage VIII-a der StVZO bewertet und entsprechend der Mangelklassen eingestuft werden.

Im Folgenden werden verschiedenen Verschleißbilder an der Radbremse von Kraftfahrzeugen aufgezeigt, welche während der Diplomarbeit ermittelt und aufgenommen wurden. Dabei wurden Verschleißarten auf Grundlage der Mangelvorgabe beurteilt und zugeordnet. Es folgen in den nächsten Seiten Beispiele für „Hinweise“, „ohne Mängel“ sowie „erhebliche Mängel“

Tabelle 8.1: Daten Kundenfahrzeug „ohne Mängel“

Datum	26.11.2024
Hersteller	Mercedes-Benz
Modell	Vito
Erstzulassung	2015
Kilometerstand	154471 km
Mängel	ohne (normaler verschleiß)



Abbildung 8.1 Bremse mit normalem Verschleiß, „ohne Mängel“

Tabelle 8.2: Daten Kundenfahrzeug mangelhaftes Bremsscheiben Tragbild

Datum	11.12.2024
Hersteller	Chevrolet
Modell	Orlando
Erstzulassung	2011
Kilometerstand	106230 km
Mängel	Erheblicher Mangel Bremsbeläge verschlissen



Abbildung 8.2: Verschlissene Bremse, „Erheblicher Mangel“

Tabelle 8.3 Daten Kundenfahrzeug Flugrost an der Radbremse

Datum	19.11.2024
Hersteller	Audi
Modell	A3 Sportsback
Erstzulassung	2016
Kilometerstand	59257 km
Mängel	Hinweis: Flugrost an der Radbremse beachten



Abbildung 8.3: Beispiel für Fahrzeug mit „Hinweis“

9. Betrachtung potenzieller Fehlerquellen bei der Messung

Um zuverlässige und reproduzierbare Messergebnisse zu gewährleisten, müssen zahlreiche Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die die Bremskraftmessung verfälschen können. Diese Fehlerquellen lassen sich in fahrzeugbedingte, prüfstandsbedingte und umgebungsbedingte Einflüsse unterteilen.

9.1 Fahrzeugbedingte Fehlerquellen

Zu den fahrzeugbedingten Fehlerquellen zählt zunächst der Zustand der Reifen und Räder. Abgefahrene oder ungleichmäßig abgefahrene Reifen können den Reibwert zwischen Reifen und Prüfstand beeinflussen und so zu verfälschten Messergebnissen führen. Auch der Reifendruck spielt eine entscheidende Rolle: Ein niedriger oder überhöhter Reifendruck verändert die Aufstandsfläche der Reifen auf den Prüffrollen, was die übertragene Bremskraft beeinflusst. Zudem können abgefahrene Reifen oder beschädigte Bremsscheiben zu abweichenden Messergebnissen führen. Eine ungleichmäßige oder veränderte Lastverteilung kann die Achslastverhältnisse zwischen Vorder- und Hinterachse verändern und somit die Bremskraftmessung verfälschen. Zusätzlich haben der Zustand der Bremsbeläge und Bremsscheiben einen direkten Einfluss auf die Messergebnisse. Verschleiß, ungleichmäßige Abnutzung oder Verunreinigungen, wie etwa Öl oder Streusalzrückstände auf der Bremsscheibe, können das Bremsverhalten erheblich beeinflussen.

Auch die Temperatur der Bremsanlage ist nicht zu vernachlässigen. Kalte Bremsen haben oftmals eine geringere Reibung, während überhitzte Bremsanlagen ebenfalls zu abweichenden Bremskräften führen können.

Dies kann insbesondere dann problematisch sein, wenn Fahrzeuge direkt nach einer längeren Fahrt oder einer starken Bremsbeanspruchung geprüft werden.

9.2 Prüfstandsbedingte Fehlerquellen

Neben den fahrzeugbedingten Einflussfaktoren können auch die Eigenschaften des Prüfstands zu Messabweichungen führen. Ein entscheidender Aspekt ist hierbei der Reibwert der Prüffrollen. Abgenutzte oder feuchte Rollen können den Grip zwischen Reifen und Prüfstand verringern, was zu einer geringeren gemessenen Bremskraft

führt. Auch allgemeine Prüfstandbedingungen, wie Verschmutzungen, Öl oder Feuchtigkeit auf den Rollen, können den Reibwert herabsetzen und somit das Messergebnis verfälschen. Eine weitere Fehlerquelle stellt die Messtechnik selbst dar. Defekte oder falsch kalibrierte Sensoren können ungenaue Bremskraftwerte erfassen, was zu einer fehlerhaften Bewertung der Bremsleistung führt.

Daher sind regelmäßige Wartungen und Kalibrierungen der Prüfstände notwendig, um zuverlässige Messergebnisse sicherzustellen. Zusätzlich kann es zu Messungenauigkeiten durch eine fehlerhafte Fahrzeugausrichtung kommen. Steht das Fahrzeug nicht exakt mittig auf dem Prüfstand oder wird es während der Messung nicht richtig positioniert, kann dies zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Kräfte führen und das Ergebnis negativ beeinflussen.

9.3 Umgebungsbedingte Fehlerquellen

Auch äußere Umwelteinflüsse können die Bremskraftmessung erheblich beeinflussen. So haben Temperatur- und Witterungsbedingungen einen direkten Einfluss auf den Reibwert der Reifen auf den Prüfrollen. Niedrige Temperaturen können dazu führen, dass die Bremsbeläge nicht sofort ihre optimale Reibwirkung entfalten, während hohe Temperaturen die Bremsflüssigkeit und damit die gesamte Bremsleistung beeinträchtigen können. Ebenfalls kann Feuchtigkeit in Form von Regen oder hoher Luftfeuchtigkeit den Reibwert zwischen Reifen und Prüfstandrollen reduzieren, was sich auch auf die gemessene Bremskraft auswirken kann. Kritisch kann dies bei Schneefall oder Vereisung sein, da Nässe in Kombination mit Kälte die Bremsleistung zusätzlich verschlechtern kann. Neben diesen physikalischen Einflüssen spielt auch die Handhabung durch den Prüfer eine Rolle. Unterschiedliche Bedienweisen, wie etwa ein variierender Pedaldruck oder eine ungleichmäßige Betätigung der Bremse, können zu Schwankungen in den Messergebnissen führen. Zudem kann eine fehlerhafte Ausrichtung des Fahrzeugs auf dem Prüfstand oder eine inkonsistente Prüfmethodik zu variierenden Ergebnissen führen. Daher ist eine standardisierte Prüfmethodik essenziell, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

10. Versuchsplanung und Durchführung

10.1 Planung und Überlegung

Wie im vorherigen Kapitel dargelegt, existieren diverse Einflussfaktoren, die die Bremskraftwerte beeinflussen können. Um die Veränderung dieser Werte systematisch zu analysieren, wurden realitätsnahe Szenarien konzipiert und geprüft,

in welchem Ausmaß sich die Messwerte tatsächlich verändern lassen. Für jedes Szenario wurden mindestens drei Bremsversuche durchgeführt, um eine ausreichende Datenbasis für zuverlässige Aussagen zu gewährleisten. Es werden dabei hauptsächlich die Bremskraftwerte der BBA genauer betrachtet, da nicht alle Versuche einen direkten Einfluss auf die Feststellbremsanlage haben.

Um die Einflüsse auf die Bremskraftwerte möglichst präzise beurteilen zu können, kamen vorwiegend private Testfahrzeuge zum Einsatz. Diese Wahl ermöglichte eine konsistente Vergleichbarkeit der Referenzwerte, da die Fahrzeuge unter kontrollierten Bedingungen mehrfach getestet werden konnten. Im Gegensatz dazu wären Kundenfahrzeuge, die nur einmalig zur Hauptuntersuchung (HU) vorgeführt werden, für wiederholte Versuche ungeeignet gewesen, da keine reproduzierbaren Rahmenbedingungen vorgelegen hätten.

Ein weiterer relevanter Aspekt betrifft die unterschiedlichen Anfahrtswege zu den Prüfstellen. Während die Fahrt von Dresden zur Prüfstelle in Plauen eine etwa zweistündige Autofahrt erforderte, konnte die Prüfstelle in Dresden bereits nach einer 20-minütigen Stadtfahrt erreicht werden. Zudem umfasste die Strecke von Zwickau nach Plauen eine 25-minütige Autobahnfahrt und 5-minütige Stadtfahrt. Diese variierenden Fahrprofile könnten sich auf die thermischen und mechanischen Vorbedingungen der Bremsanlagen ausgewirkt haben, was bei den Versuchen und der Auswertung der Bremsversuche berücksichtigt wurde.

Die Prüfstände

Bevor es mit der Versuchsbeschreibung weiter geht, muss vorab geklärt werden welche Prüfstände zum Einsatz kamen. Folgende Prüfstellen wurden für die Versuche verwendet: FSP-Prüfstelle Dresden-Laubegast und FSP-Prüfstelle Plauen und ein Zweiplattenbremsprüfstand vom Autohaus Kürschner in Rodewisch.

Bilder vom Rollenbremsprüfstand in Dresden-Laubegast sind aus dem Kapitel „6.2 Rollenbremsprüfstand“ (Abbildung 6.3 und 6.4) zu entnehmen. Beim Rollenbremsprüfstand handelt es sich um den „BSA 4341 S4 livestream“ vom Hersteller Bosch.

Mehr Informationen zu den technischen Daten sind im Anhang 10.1 zu finden.

In Plauen ist ein Rollenbremsprüfstand vom Hersteller MANHA im Einsatz. Hierbei handelt es sich um das Gerät „MBT 2250 EUROSYSYSTEM“. Die Abmessungen und Messgenauigkeit des Produktes sind im Anhang 10.2 zu finden.



Abbildung 10.1: Rollenbremsprüfstand Prüfstelle Plauen



Abbildung 10.2: Anzeigemessgerät vom MAHA-Rollenbremsprüfstand

Der verwendete Zweiplattenbremsprüfstand in Rodewisch vom Autohaus Kürschner ist von der Marke Sherpa Autodiagnostik. Dieser ist schon seit 2013 in Betrieb und beim verwendeten Modell handelt es sich um den Sherpa PPS 101 – ECO-D.

Informationen zu den technischen Daten sind aus der Anlage 10.3 zu entnehmen.



Abbildung 10.3: Zweiplattenbremsprüfstand Autohaus Kürschner



Abbildung 10.4: Anzeigemessgerät vom Zweiplattenbremsprüfstand

10.2 Versuche für fahrzeugbedingte Einflüsse

10.2.1 Bereifung

Um den Einfluss unterschiedlicher Reifeneigenschaften auf die Bremsleistung zu analysieren, wurde das Versuchsfahrzeug an der Vorderachse mit zwei verschiedenen Reifentypen ausgestattet:

- Vorne links: Ein 22 Jahre alter Ersatzradreifen für den Sommer der Marke Kumho mit einer Profiltiefe von 6,5 mm.
- Vorne rechts: Ein 6 Jahre alter Allwetterreifen der Marke mit einer Profiltiefe von 5 mm.

Die Untersuchung konzentrierte sich bewusst auf die Vorderachse, da diese mit Scheibenbremsen ausgerüstet ist, die präzisere und besser vergleichbare Messergebnisse liefern als die Trommelbremsen der Hinterachse. Zudem war ein Wechsel auf Sommerreifen auf die Hinterachse aufgrund der winterlichen Bedingungen sicherheitsbedingt nicht durchführbar, zumal ein Reifenwechsel vor Ort in der Prüfstelle nicht möglich gewesen wäre.

An der Hinterachse blieben die ursprünglichen M+S-Reifen von der Marke Fulda installiert, welche nicht verändert wurden, da gerade für den Winter aus Sicherheitsgründen die Bereifung der Hinterachse nicht auf Sommerreifen gewechselt werden sollte. Sommerreifen aus dem Grund, da kein anderer Reifen mit einer niedrigen Profiltiefe zur Verfügung stand außer die privaten Sommerreifen, die schon etwas abgefahren sind. Zum Versuchstag waren es 4 °C und es herrschte eine Luftfeuchte von 70 %. Der erste Versuch erfolgte in der Prüfstelle in Dresden und folgende Werte wurden aufgenommen.

Tabelle 10.1: Bremskraftwerte mit Sommerreifen (VL) & Allwetterreifen (VR) (Bereifung 1)

	Vorn links	Vorn rechts
1.Versuch	2,2 kN	1,9 kN
2.Versuch	2,1 kN	2,0 kN
3.Versuch	2,1 kN	2,0 kN

Vergleichend wurden beide vorderen Räder nun mit Schneereifen überzogen von der Marke Vredestein und einem Alter von fünf Jahren. Die Profiltiefe beider Reifen betrug 6,5 mm und folgende Werte ergaben sich.

Tabelle 10.2: Bremskraftwerte mit Winterreifen (Bereifung 2)

	Vorn links	Vorn rechts
1.Versuch	2,3 kN	2,1 kN
2.Versuch	2,35 kN	2,15 kN
3.Versuch	2,35 kN	2,1 kN

10.2.2 Reifenfülldruck

Zur Untersuchung der Auswirkungen von Reifendruckvariationen auf die Bremsleistung wurden ein Ford Fiesta (Baujahr 2002) und ein Renault Clio Campus (Baujahr 2011) unter definierten Bedingungen getestet. Die Versuche konzentrierten sich auf systematische Abweichungen von den Werksvorgaben, um reale Fahrbedingungen abzubilden. Beim Ford Fiesta mit Winterreifen (Vredestein vorne) und M+S-Reifen (Sava Trenta hinten) wurden vier Druckstufen untersucht: 0,6 bar unter (1,4/1,2 bar), 0,3 bar unter (1,7/1,5 bar), 0,3 bar über (2,3/2,1 bar) und 0,6 bar über (2,6/2,4 bar) den Herstellerangaben von 2,0 bar (vorne) bzw. 1,8 bar (hinten).

Die Druckstufen wurden gewählt, um typische Fahrpraktiken abzubilden. Während 0,3 bar unter dem Sollwert bereits als kritische Grenze gilt [10], simuliert 0,6 bar Unterdruck eine über mehrere Monate vernachlässigte Wartung - ein relevanter Ansatz, da Studien zeigen, dass 40% der 3104 befragten Fahrer/innen den Reifendruck seltener als halbjährlich kontrollieren. Laut den Sicherheitsempfehlungen des ADAC [11] sollte der Reifendruck in regelmäßigen Intervallen überprüft werden, wobei als optimaler Kontrollrhythmus entweder zweiwöchentlich oder mindestens einmal monatlich vorgehen ist.

Bei der Untersuchung unterschiedlicher Druckstufen resultierten folgende Werte:

Tabelle 10.3: Bremskraftwerte für Druckbedingung -0,6 bar vom „Werksdruck“ (1,4/1,2 bar)

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,4 kN	2,35 kN	1,3 kN	1,3 kN	1,2 (L) – 1,15 kN (R)
2.Versuch	2,4 kN	2,35 kN	1,4 kN	1,4 kN	1,2 kN (L+R)
3.Versuch	2,4 kN	2,35 kN	1,5 kN	1,4 kN	1,2 kN (L) – 1,15 kN (R)

Tabelle 10.4: Bremskraftwerte für Druckbedingung -0,3 bar vom „Werksdruck“ (1,7/1,5 bar)

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2.2 kN	2.2 kN	1.4 kN	1.4 kN	1.2(L) – 1.15 kN(R)
2.Versuch	2.2 kN	2.2 kN	1.4 kN	1.4 kN	1.2 kN (L+R)
3.Versuch	2.3 kN	2.3 kN	1.45 kN	1.45 kN	1.2 kN (L+R)

Tabelle 10.5: Bremskraftwerte für Druckbedingung +0,3 bar vom „Werksdruck“ (2,3/2,1 bar)

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,1 kN	2,0 kN	1,4 kN	1,3 kN	1,2 kN (L) – 1,15 (R)
2.Versuch	2,2 kN	2,2 kN	1,3 kN	1,3 kN	1,1 kN (L) – 1,0 (R)
3.Versuch	2,3 kN	2,2 kN	1,4 kN	1,3 kN	1,2 kN (L) – 1,15 (R)

Tabelle 10.6: Bremskraftwerte für Druckbedingung +0,6 bar vom „Werksdruck“ (2.6/2.4 bar)

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,1 kN	2,0 kN	1,3 kN	1,3 kN	1,15 kN (L+R)
2.Versuch	2,0 kN	2,0 kN	1,3 kN	1,3 kN	1,15 kN (L+R)
3.Versuch	2,1 kN	2,0 kN	1,35 kN	1,35 kN	1,15 kN (L+R)

Anhand der Versuche ist zu erkennen, dass sich mit einem niedrigeren Reifendruck die Bremskraftwerte erhöhen und mit zunehmendem Reifendruck tendenziell die Bremskraftwerte niedriger werden.

Um die bisherigen Erkenntnisse zu vertiefen und die Auswirkungen von Reifendruckänderungen unter extremen Bedingungen zu analysieren, wurde ein weiteres Fahrzeug untersucht. Dabei wurden die Sprünge des Reifendrucks bewusst vergrößert, um mögliche Grenzfälle und nicht lineare Effekte zu identifizieren.

Als neues Untersuchungsobjekt diente ein Renault Clio Campus aus dem Baujahr 2011, ausgestattet mit M+S-Reifen der Marke Fulda. Dieses Fahrzeugmodell wurde gewählt, da es ebenfalls ein leichter kompakter PKW (1 t Leergewicht), wie der Fiesta ist und um zu sehen ob sich die Bremskraftwerte bei einem anderen Fahrzeug ebenfalls so stark ändern, wie beim ersten Versuch. Die vom Hersteller ab Werk empfohlenen Reifendruckwerte liegen bei 2,2 bar für die Vorderräder und 2,0 bar für die Hinterräder. Als Referenzwert soll die Messung „+0,2 bar über Werksdruck“ dienen. Im Rahmen des zweiten Szenarios wurde der Reifendruck gezielt drastischer variiert als in vorherigen Tests, um die Auswirkungen bei stark unter oder über dem Werksdruck eingestellten Reifen zu evaluieren. Durch diese gezielte Extremvariation sollten mögliche Sicherheitsrisiken, Fahrverhaltensänderungen und Verschleißmuster unter kritischen Bedingungen näher betrachtet werden. Für den ersten Versuch wurde der Reifendruck 0.8 bar unter Werksvorgabe eingestellt.



Abbildung 10.5: Versuchsfahrzeug mit niedrigem Reifendruck (0,8 Bar unter Werksvorgabe)

Tabelle 10.7: Bremskraftwerte für Druckbedingung - 0,8 bar vom „Werksdruck“ (1.4/1.2 bar)

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,45 kN	2,5 kN	1,5 kN	1,4 kN	1,3 kN
2.Versuch	2,5 kN	2,5 kN	1,45 kN	1,4 kN	1,3 kN
3.Versuch	2,3 kN	2,45 kN	1,5 kN	1,3 kN	1,2 kN

Für den nächsten Versuch wurde der Reifendruck 0,8 bar über dem Soll eingerichtet, bedeutet also vorne wurden 3 bar eingestellt und hinten 2,8 bar.

Tabelle 10.8: Bremskraftwerte für Druckbedingung +0,8 bar vom „Werksdruck“ (3.0/2.8 bar)

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	1,8 kN	2,2 kN	1,4 kN	1,2 kN	1,2 kN
2.Versuch	1,9 kN	2,1 kN	1,4 kN	1,2 kN	1,25 kN
3.Versuch	2,1 kN	2,1 kN	1,35 kN	1,15 kN	1,25 kN

Und zum abschließenden Vergleich wurde nochmal der Alltagsreifendruck mit 2,4 bar vorn und 2,2 bar hinten eingestellt und die Bremskraftwerte nochmal aufgenommen.

Tabelle 10.9: Bremskraftwerte mit +0,2 bar über dem „Werksdruck“ (2,4/2,2 bar)

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,0 kN	2,2 kN	1,4 kN	1,2 kN	1,1 kN
2.Versuch	2,1 kN	2,1 kN	1,45 kN	1,25 kN	1,15 kN
3.Versuch	2,2 kN	2,2 kN	1,4 kN	1,2 kN	1,1 kN



Abbildung 10.6: Reifen mit +0,2 bar über dem „Werksdruck“

10.2.3 Kalte Bremse und warme Bremse

Um den Einfluss der Betriebstemperatur auf das Bremsverhalten zu untersuchen, wurden zwei Szenarien betrachtet: eine kalt gelaufene Bremse und eine warm gelaufene Bremse. Die Versuchsbedingungen wurden so gewählt, dass ein direkter Vergleich der Bremswirkung bei unterschiedlichen thermischen Zuständen möglich war. Für die Untersuchung der warm gelaufenen Bremse wurde das Testfahrzeug von Zwickau zur

Prüfstelle in Plauen über eine Strecke von 35 km bewegt. Die Fahrt setzte sich aus 10 Minuten Stadtverkehr und 25 Minuten Autobahnfahrt zusammen. Dabei wurde gezielt häufiges Bremsen durchgeführt, um eine gleichmäßige Erwärmung der Bremsscheiben und Beläge zu gewährleisten. Vor der Prüfstelle wurden dann die Temperaturen der vorderen Bremsscheiben mit einem Infrarot Thermometer der Marke Etekcity aufgenommen.

Die Temperatur der linken Bremsscheibe betrug dabei 34,8 °C und von der rechten betrug sie 32,2 °C.



Abbildung 10.7: Temperatur Rad vorne links



Abbildung 10.8: Tempertur Rad vorne rechts

Schließlich ergaben sich folgende Bremskraftwerte bei der Messung.

Tabelle 10.10: Bremskraftwerte warm gelaufener Bremse

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,54 kN	2,41 kN	1,41 kN	1,37 kN	1,1 kN
2.Versuch	2,51 kN	2,38 kN	1,45 kN	1,45 kN	1,05 kN
3.Versuch	2,48 kN	2,37 kN	1,45 kN	1,44 kN	1,14 kN

Im Gegensatz dazu wurde für den kalten Zustand der Bremse das Fahrzeug über Nacht in der Prüfhalle der FSP in Dresden-Laubegast abgestellt. Die Umgebungstemperatur betrug nachts $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei trockenen Bedingungen und einer Luftfeuchtigkeit von 15 %. Am nächsten Morgen um 9 Uhr wurden die Bremsversuche unmittelbar in der Halle durchgeführt, wobei die Außentemperatur zu diesem Zeitpunkt $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ betrug. Auch hier wurden die Temperaturen der Räder mit einem Infrarotthermometer gemessen. Dabei betrug die Temperatur vom Rad vorne links $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, vorne rechts $8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, hinten links $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ und hinten rechts $11,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Abbildung 10.9: Temperatur Rad vorne links



Abbildung 10.10: Temperatur Rad vorne rechts



Abbildung 10.11: Temperatur Rad hinten links

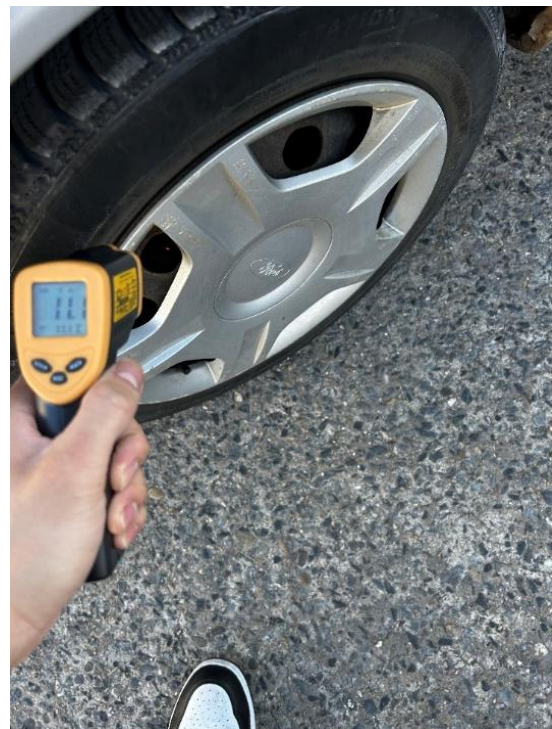


Abbildung 10.12: Temperatur Rad hinten rechts

Folgende Messwerte wurden bei der Bremskraftmessung ermittelt.

Tabelle 10.11: Bremskraftwerte kalte Bremse

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,0 kN	2,0 kN	1,35 kN	1,3 kN	1,0 kN
2.Versuch	2,2 kN	2,15 kN	1,35 kN	1,3 kN	1,0kN
3.Versuch	2,25 kN	2,2 kN	1,3 kN	1,2 kN	1,0kN

10.2.4 Lastverteilung

Um den Einfluss der Lastverteilung auf die Bremskraftmessung zu untersuchen, wurde ein gezieltes Experiment durchgeführt. Dabei wurde ein Zusatzgewicht von 39 kg auf die Hinterachse des Versuchsfahrzeugs platziert. Dieses Gewicht setzte sich aus verschiedenen Komponenten zusammen: Hanteln mit einem Gesamtgewicht von 18 kg, zwei Reifen mit Stahlfelgen (12 kg) sowie 9 kg Wasser. Diese Gewichts zusammensetzung wurde gewählt, um typische Zuladungen bei Fahrzeughändlern zu simulieren, die häufig Wechselreifen und Werkzeugkästen transportieren.

Die Versuchsanordnung beruht auf der Annahme, dass moderne Fahrzeuge durch ihre ausgelegten Bremssysteme derartige Zusatzgewichte problemlos kompensieren können und nur minimale Auswirkungen auf die Bremskraftwerte zeigen. Im Fokus dieser Untersuchung steht jedoch die Frage, inwieweit ältere, leichtere Personenkraftwagen - wie das in diesem Versuch verwendete Fahrzeug - auf solche Lastveränderungen reagieren. Bei Fahrzeugen mit einem Leergewicht von etwa einer Tonne könnte bereits ein vergleichsweise geringes Zusatzgewicht von 39 kg relevante Auswirkungen auf das Bremsverhalten haben.

Die experimentelle Untersuchung verfolgte das Ziel, mögliche Veränderungen in der Bremsleistung durch die veränderte Lastverteilung systematisch zu erfassen. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Frage, ob sich die zusätzliche Belastung der Hinterachse in messbar veränderten Bremskennwerten niederschlägt. Theoretisch könnte die Gewichtsverlagerung zu einer veränderten Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse führen, was sich wiederum auf das Bremsverhalten auswirken



Abbildung 10.13: Versuchsfahrzeug mit Zusatzlast auf der Hinterachse

Dabei wurden folgende Bremskraftwerte aufgenommen.

Tabelle 10.12: Bremskraftwerte bei Lastveränderung der Hinterachse

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,1 kN	1,9 kN	1,5 kN	1,5 kN	1.1kN (L) – 1,05 kN(R)
2.Versuch	2,3 kN	2,05 kN	1,6 kN	1,5 kN	1.2 kN (L) – 1,15 kN(R)
3.Versuch	2,35 kN	2,1 kN	1,7 kN	1,6 kN	1.2 kN (L) – 1,15 kN (R)

10.2.5 Verschmutzungen

Die Simulation einer verschmutzten Bremse gestaltete sich aufgrund praktischer und sicherheitstechnischer Herausforderungen als komplex. Einerseits ist es schwierig, die Bremsscheiben des Testfahrzeugs gezielt und reproduzierbar zu verunreinigen, ohne das Fahrzeug oder die Bremsanlage mit beispielsweise Öl zu beschädigen.

Ein realistischer Ansatz wäre die Untersuchung von Streusalzablagerungen, wie sie im Winterbetrieb auftreten. Allerdings erfordert die Bildung einer relevanten Salzsicht eine sehr lange Versuchsfahrt im Winter, um messbare Auswirkungen auf die Bremsleistung zu erzielen, welches durch die Wetterbedingungen in Deutschland schwer möglich war. Um dennoch den Effekt von Verschmutzung zu analysieren, wurden alternativ ein Versuchsansatz gewählt, wo die Bremse von selbst mit einem Salz-Wasser Gemisch verunreinigt wird.

Verschmutzung durch Salz-Wasser Gemisch

Dieser Versuch stellt eine künstliche Verschmutzung durch ein Salz-Wasser Gemisch dar. Die vorderen Bremsscheiben wurden vor der Prüfung mehrfach mit einer Wasser-Salz-Lösung aus einem Sprühbehälter benetzt, um eine kontrollierte Verschmutzung zu simulieren. Dabei wurden nur die Bremsscheiben auf der Vorderachse mit dem Gemisch angesprüht. Auf eine gezielte Verschmutzung der Trommelbremsen mit dem Salz-Wasser-Gemisch wurde verzichtet, da deren geschlossene Bauweise eine gleichmäßige Benetzung der Reibflächen praktisch unmöglich macht. Im Gegensatz zu Scheibenbremsen, bei denen die Bremsscheibe und Beläge frei zugänglich sind, sind die Reibkomponenten einer Trommelbremse (Bremsbacken und Trommelinnen-seite) durch das äußere Gehäuse vollständig abgeschirmt.



Abbildung 10.14: Salz-Wasser Gemisch auf der Bremsscheibe vorne links

Folgende Werte wurden aufgenommen:

Tabelle 10.13: Bremskraftwerte bei verschmutzter Bremsscheibe

	Vorn links	Vorn rechts
1.Versuch	2,1 kN	2,0 kN
2.Versuch	2,3 kN	2,1 kN
3.Versuch	2,3 kN	2,15 kN

10.2.6 Korrosion

Im Rahmen der systematischen Analyse von Bremskraftbeeinflussung wurde ebenfalls untersucht, inwieweit sichtbarer Flugrost auf den Bremsscheiben die Bremsleistung eines Fahrzeugs beeinträchtigt. Für die Untersuchung wurde ein reales Kundenfahrzeug – ein VW Polo (Baujahr 2018) mit einem Kilometerstand von 125.847 km – im Rahmen der Hauptuntersuchung analysiert. Das Fahrzeug wies deutlich sichtbaren Flugrost auf den Bremsscheiben auf, der sich durch vorherige Standzeiten gebildet hatte. Mit Einverständnis des Fahrzeughalters wurde eine Bremskraftmessungen durchgeführt, um den Einfluss der korrosiven Schicht auf die Bremsperformance zu evaluieren. Dafür wurde ein HU Adapter verwendet, damit die Bremskraftwerte im System hinterlegt werden, und abgeglichen werden können.

Bremsenwirkung

Art der Bremswerterfassung: **Bezugsbremskräfte** zGM: **1.650** kg Achsen BBA: **2** Achsen FBA: **1**

Bremsdaten übernehmen von: ☐ FBA nicht während der Fahrt zu betätigen

Betriebsbremse (BBA)

Achse	linkes Rad (daN)	rechtes Rad (daN)	Differenz (%)	Sum (daN)	Bremskraftvorgabe (daN)	Brems. Anf.	entsp. Pedalkraft (N)	Achsenanteil (%)	Vorgabe Achsenanteil (%)	gelenkt
1	232	244	5	476	229,0	29,1	54	62,45267352 37914	54,0	☒
2	121	139	13	260	69,0	26,4	48	37,54732647 62086	16,0	☐

Feststellbremse (FBA)

Achse	linkes Rad (daN)	rechtes Rad (daN)	Differenz (%)	Sum (daN)	blockiert
1	92	112	17,9	204	☒

Abbremmung FBA: 12,3 % !

Prüfhinweis:

☐ Die Prüfung der Bremswirkung erfolgte auf einem Plattenprüfstand

Abbildung 10.15: Bestandene Bremsenprüfung mittels Bezugsbremskräfte



Abbildung 10.16: Rad vorne rechts

10.3 Prüfstandsbedingte Fehlerquellen

Die Untersuchung prüfstandsbedingter Fehlerquellen erfordert eine systematische Betrachtung der Bremsprüfstände selbst. Wie bereits in Kapitel 9 dargelegt, existieren verschiedene potenzielle Fehlerquellen, die die Messergebnisse beeinflussen können.

Ein kritischer Faktor ist die regelmäßige Kalibrierung der Prüfstände. Der Bremsenprüfstand in Plauen, der seit 2019 in Betrieb ist und somit über modernere Messtechnik verfügt, wurde zuletzt im November 2023 kalibriert; die nächste Kalibrierung ist für November 2025 vorgesehen. Der Prüfstand in Dresden-Laubegast, der seit 2017 genutzt wird, wurde zuletzt im Juni 2023 kalibriert und wird im Juni 2025 erneut kalibriert. Beide Rollenbremsprüfstände sind vom Hersteller Bosch und sind gegenläufig. Da bei beiden Prüfständen bisher keine Auffälligkeiten in den Messungen festgestellt wurden, kann eine fehlerhafte Kalibrierung als Fehlerquelle ausgeschlossen werden. Allerdings zeigt sich in vergleichenden Messungen, dass der Prüfstand in Plauen präzisere und tendenziell höhere Bremswerte (bis zu 0,2 kN) liefert als der Prüfstand in Dresden-Laubegast. Der Grund dabei liegt bei dem technischen Stand der Anlage. Bei beiden Bremsprüfständen wurden die Werte nach der „herkömmlichen Vorgehensweise“ aufgenommen, in Dresden wurden die Werte jedoch von einem Analogen Messgerät abgelesen und in Plauen von einem digitalen Messgerät. Dementsprechend ist die Messgenauigkeit in Plauen höher als in der Prüfstelle Dresden-Laubegast. Dadurch dass in Dresden-Laubegast ein Analoges Messgerät für die „herkömmliche Vorgehensweise“ zur Verfügung steht, können Messfehler und Messungenauigkeiten durch den Prüfer verursacht werden.

Fehlstellung des Prüffahrzeugs

Während der Versuchsreihen traten mehrfach signifikante Abweichungen in den Bremskraftwerten auf, die auf eine Fehlstellung des Versuchsfahrzeugs zurückzuführen waren. Diese Fehlpositionierung äußerte sich durch ein leichtes Abdriften des Fahrzeugs nach links oder rechts während des Bremsvorgangs. Deshalb ist es auch immer von Bedeutung, dass beim Starten der Rollen, der Prüfer immer gegenlenkt, sodass die Reifen zentral auf der jeweiligen Rolle gerichtet sind.

Die physikalischen Auswirkungen einer solchen Fehlstellung sind mehrschichtig:

Bei nicht exakt zentrierter Positionierung lastet mehr Gewicht auf einer Fahrzeugseite oder Achse, was zu asymmetrischen Bremskräften führt. Ebenfalls entstehen durch die schiefe Position seitliche Kräfte zwischen Reifen und Prüfrollen, die zu Energieverlusten durch Reibung an den Rollen führen. Somit verfälscht dies die gemessenen Bremskräfte, da die Prüfstands-Elektronik von einer idealen Kraftübertragung in Normalrichtung ausgeht.

Diese Beobachtungen unterstreichen die Bedeutung einer präzisen Fahrzeugpositionierung auf dem Prüfstand, um verlässliche Messergebnisse zu gewährleisten. Besonders bei vergleichenden Messungen zwischen verschiedenen Prüfständen oder Versuchsreihen muss dieser Fehlerquelle besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Feuchter Rollenbremsprüfstand

Die Untersuchung des Einflusses von Feuchtigkeit auf Rollenbremsprüfstände stellte besondere methodische Anforderungen. Die ursprüngliche Idee, den gesamten Prüfstand künstlich zu befeuchten, erwies sich als praktisch nicht durchführbar, da eine vollständige Benetzung der Rollen einerseits technisch schwer umsetzbar war und andererseits das Risiko von Schäden an der Elektronik oder Mechanik des Prüfstands zu hoch erschien. Insbesondere die Verwendung von Schwämmen oder ähnlichen Hilfsmitteln zur Befeuchtung wurde verworfen, da hierdurch Wasser in sensible Bauteile hätte eindringen können. Als Ansatz wurde deshalb sich folgendes überlegt. Es sollte eine natürliche Befeuchtung der Reifen durch vorherigen Niederschlag erfolgen. So fand am 26.02.2025 ein Versuch in Dresden unter folgenden Bedingungen statt. Es herrschte eine Lufttemperatur von 2 Grad Celsius und es gab eine relative Luftfeuchtigkeit von 78%. In der Zeit zwischen 4 Uhr und 6 Uhr gab es ein Niederschlag von 4,8 l/m². Zum Zeitpunkt des Versuches war es 9:30 Uhr und die Prüfrollen waren noch trocken. Durch Niederschlag am frühen Morgen, hat sich eine Regenpfütze vor der Prüfhalle gebildet, wodurch der Einfall entstand, die Reifen durch die Regenpfütze

vorher zu befeuchten, bevor es auf den Rollenbremsprüfstand geht. Dieser Vorgang wurde für jeden Versuch wiederholt.



Abbildung 10.17: Regenpfütze vor der Prüfhalle



Abbildung 10.18: Feucht durchfahrener Rollenbremsprüfstand

Folgende Bremsenkraftwerte konnten dadurch ermittelt werden

Tabelle 10.14: Bremskraftwerte eines künstlich befeuchteten Rollenbremsprüfstands

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	1,9 kN	1,9 kN	1,0 kN	1,05 kN	0,9 kN
2.Versuch	2,0 kN	1,9 kN	1,1 kN	1,1 kN	1,0 kN
3.Versuch	1,9 kN	2,0 kN	1,1 kN	1,1 kN	0,9 kN

10.4 Umgebungsbedingte Einflüsse

Neben den prüfstandsbedingten Faktoren zeigen auch atmosphärische Bedingungen einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse von Bremskraftmessungen, wie bereits in vorangegangenen Untersuchungen zur Nässebeeinflussung demonstriert wurde. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden drei charakteristische Wetterszenarien genauer untersucht:

1. Trocken-warme Bedingungen
2. Regenbedingungen (nasse Fahrbahn)
3. Schnee- und winterliche Verhältnisse

Die Untersuchung konzentrierte sich dabei auf typische mitteleuropäische Klimaverhältnisse während des Versuchszeitraums. Als methodische Einschränkung ist zu konstatieren, dass extreme Hitzeperioden, wie Hochsommertemperaturen bis zu 30 Grad, nicht berücksichtigt werden konnten, da diese während der Versuchsphase nicht auftraten. Diese klimatische Restriktion begrenzt die Aussagekraft hinsichtlich des Temperatureinflusses auf die Bremsleistung unter maximalen thermischen Belastungen. Als Versuchsfahrzeug wurden für die Trocken – warme Bedingungen ein Renault Clio Campus (Baujahr 2011) verwendet. Für die Regenbedingungen und Schnee-winterlichen Verhältnisse wurde der Ford Fiesta (Baujahr 2002) getestet.

10.4.1 Trocken und warm

Die Wetterbedingung trocken und warm stellt den Referenzfall für Bremskraftmessungen dar, da hierbei keine externen Einflüsse wie Nässe, Schnee oder extreme Temperaturen die Ergebnisse verfälschen. Dennoch wurden gezielt Messungen unter diesen optimalen Bedingungen durchgeführt, um eine Vergleichsbasis zu den wetterbeeinflussten Szenarien (Regen/Nässe, Schnee) zu schaffen. Zusätzlich sollte untersucht werden, inwiefern sich die Messergebnisse zwischen einem Rollenbremsprüfstand und einem Plattenbremsprüfstand unterscheiden, um mögliche systembedingte Abweichungen zu analysieren. Als Versuchsfahrzeug wurde ein Renault Clio Campus (Baujahr 2011) verwendet.

Versuch Rollenbremsprüfstand

Die erste Messreihe unter optimalen trocken-warmen Bedingungen wurde am 02.05.2025 um 12:30 Uhr durchgeführt. Zum Versuchszeitpunkt herrschte eine Temperatur von 25 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 30 %, was eine nahezu ideale Referenzumgebung für Bremskraftmessungen darstellt. Schließlich wurden folgende Werte aufgenommen.

Tabelle 10.15: Bremskraftwerte unter „ideal“ Bedingungen Rollenbremsprüfstand

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	1,7 kN	2,2 kN	1,45 kN	1,25 kN	1,15 kN – 0,95 kN
2.Versuch	1,65 kN	2,2 kN	1,4 kN	1,2 kN	1,1 kN – 0,9 kN
3.Versuch	1,65 kN	2,2 kN	1,4kN	1,2kN	1,2 kN – 0,8 kN

Auffällig hierbei ist die 30-prozentige Abweichung der Bremskraftwerte an der Vorderachse des Fahrzeugs.

Versuch Zweiplattenbremsprüfstand

Die ergänzende Messreihe zur Untersuchung der Bremskräfte unter optimalen Bedingungen erfolgte am 23.04.2025 mit Unterstützung vom Kürschner Autohaus Rodewisch. Da die Prüfhallen der FSP ausschließlich mit Rollenbremsprüfständen ausgestattet sind, wurde die Messung im Rahmen einer Begleitung eines Prüfsingenieurs in einer externen Werkstatt durchgeführt. Zum Versuchszeitpunkt herrschte eine Temperatur von 20 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 45 %, was ebenfalls gute, warme Referenzbedingungen gewährleistete.

Als Prüfsystem stand ein Zweiplatten-Bremsprüfstand von Sherpa Autodiagnostik zur Verfügung. Die Bremskraftmessung für Vorder- und Hinterachse erfolgte nacheinander über die beiden verbliebenen Frontplatten. Zusätzlich war eine Messung der Feststellbremse nicht möglich, da diese Funktionalität des Prüfstands eingeschränkt war.

Die Werte der Bremskraft sind in der folgenden Tabelle zu entnehmen. Auch bei diesem Versuch wurde erneut eine 30-prozentige Abweichung der Bremskraft an der Vorderachse festgestellt.

Tabelle 10.16: Bremskraftwerte unter „ideal“ Bedingungen Zweiplattenbremsprüfstand

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	1,60 kN	2,17 kN	1,35 kN	1,22 kN	Kein Ergebnis
2.Versuch	1,62 kN	2,3 kN	1,4 kN	1,25 kN	Kein Ergebnis
3.Versuch	1,60kN	2,2 kN	1,37 kN	1,2 kN	Kein Ergebnis



Abbildung 10.19: Messung Vorderachse



Abbildung 10.20: Messung Hinterachse

10.3.2 Regenbedingungen (nasse Fahrbahn)

Regen und Nässe

Zuerst wurde normaler Regen bzw. Nässe genauer untersucht. Die Messung wurde am 12.03.2025 in Plauen durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt herrschten eine Luftfeuchtigkeit von 90 % und eine Temperatur von 0 °C.

Am Morgen bis ca. 9:45 Uhr fiel Regen mit einer Niederschlagsmenge von 3,2 l/m². Der Versuch begann um 10:00 Uhr, zu diesem Zeitpunkt hatte der Regen sich schon abgeregt und es gab nur noch einen leichten Regenschauer.



Abbildung 10.21: Rad hinten links vor Versuch



Abbildung 10.22: Rad vorne rechts nach Versuch

Folgende Werte wurden schließlich aufgenommen:

Tabelle 10.17: Bremsenkraftwerte unter Regen Bedingungen

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,04 kN	1,93 kN	1,2 kN	1,0 kN	1,0 kN (L) – 0,9 kN (R)
2.Versuch	2,11 kN	1,9 kN	1,16 kN	1,04 kN	1,0 kN (L) 0,9 kN (R)
3.Versuch	2,20 kN	2,06 kN	1,27 kN	1,22 kN	1,0 kN (L+R)

Schneeregen

Am 14.03.2025 wurde eine Bremskraftmessung auf dem Rollenbremsprüfstand durchgeführt. Zum Versuchszeitpunkt herrschten in Plauen und Zwickau eine Luftfeuchtigkeit von 86 % bei einer Temperatur von 2 °C. In den frühen Morgenstunden (8–9 Uhr) trat in beiden Städten ein Schneeschauer auf.

Während der Fahrt von Zwickau nach Plauen veränderte sich der Niederschlag zunehmend von trockenem Schnee zu einem wässrigen Schneeregen, der schließlich vor Ankunft am Messstandort vollständig aufhörte.

Der Versuch diente der Untersuchung möglicher Einflüsse von Niederschlagsrückständen auf die Bremsscheiben. Insbesondere sollte geprüft werden, ob sich durch die Fahrt unter winterlichen Bedingungen ein Schnee- oder Wasserfilm auf den Bremsscheiben gebildet hatte, der die gemessenen Bremswerte hätte verfälschen können. Die ermittelten Kraftwerte wurden anschließend tabellarisch erfasst.



Abbildung 10.23: Wetter Hinfahrt nach Plauen



Abbildung 10.24: Ankunft in Plauen

Tabelle 10.18 Bremskraftwerte bei Schneeregen

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	2,01 kN	2,16 kN	1,16 kN	0,98 kN	0,94 kN
2.Versuch	2,25 kN	2,21 kN	1,22 kN	1,01 kN	1,0 kN
3.Versuch	2,11 kN	2,08 kN	1,2 kN	1,0 kN	0,99 kN

10.3.4 Schnee- und winterliche Verhältnisse

Die Untersuchung der Bremskräfte unter winterlichen Bedingungen erfolgte am 13.02.2025 in Dresden. Zwischen 9:00 und 10:00 Uhr fiel Schnee bei einer Temperatur von -1 C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 25 %. Der Versuch begann um 10:30 Uhr, zu diesem Zeitpunkt hatte der Niederschlag bereits aufgehört, und es lag eine gleichmäßige Schneedecke von ca. 4 cm auf der Fahrbahn. Auffällig war, dass die gemessenen Bremskraftwerte unter den Referenzwerten trockener Bedingungen lagen. Im Verlauf mehrerer Bremsvorgänge zeigte sich eine schrittweise Annäherung an höheren Bremskraftwerten, jedoch ohne die üblichen Werte zu erreichen.



Abbildung 10.25: Versuch bei Schnee

Tabelle 10.19: Bremskraftwerte bei Schnee-winterlichen Verhältnissen

	Vorn links	Vorn rechts	Hinten links	Hinten rechts	Feststellbremse
1.Versuch	1,9 kN	1,8 kN	0,95 kN	1,0 kN	0,9 kN
2.Versuch	2,0 kN	1,85 kN	1,0 kN	1,0 kN	1,0 kN
3.Versuch	2,0 kN	1,9 kN	1,1 kN	1,0 kN	0,9 kN

11. Auswertung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Bremskraftmessungen systematisch analysiert. Der Fokus liegt dabei auf die Einzelauswertung der verschiedenen Versuchsbedingungen und deren zugehörigen Bremskraftwerte, der Feststellung möglicher Ursachen für Abweichungen der Bremskraftwerte und die verkehrspraktische Relevanz der festgestellten Effekte. Dadurch soll untersucht werden, inwieweit die gemessenen Unterschiede in den Bremskräften auf spezifische Einflussfaktoren zurückzuführen sind und welche Konsequenzen dies für den realen Straßenverkehr hat. Die meisten Einflüsse wurden mit dem Ford Fiesta untersucht und um mögliche Abweichungen für einige Szenarien besser beurteilen zu können, wurde das Testfahrzeug von einem Prüfsingenieur der FSP einer Fachgemäßen HU vollzogen. Die aufgenommenen Bremskraftwerte sind in der Anlage 11.1 einzusehen. Zusätzlich sollte erwähnt werden, dass der Prüfbericht im Testmodus ausgeführt wurde, um die Kosten einer eigentlichen Hauptuntersuchung zu umgehen.

11.1 Auswertung der Fahrzeugbedingten Einflüsse

11.1.1 Bereifung

Für den Einfluss unterschiedlicher Bereifung, wurden 2 Konfigurationen verglichen. Die erste Messung hatte vorne links einen 23 Jahre alten Ersatzreifen, welcher nicht in einem Raum gelagert war, mit einer Profiltiefe von 6,5 mm und vorne rechts einen 6 Jahre alten Allwetterreifen, mit einer Profiltiefe von 5 mm. Bei der zweiten Messung waren beide Reifen jeweils mit einem Winterreifen ausgerüstet, mit einer Profiltiefe von je 7 mm.

Dabei zeigten beide Konfigurationen lediglich eine marginale Differenz von 0,1 kN bis maximal 0,2 kN. Erstmals lässt sich vermuten, dass der 23 Jahre alte Ersatzreifen eine verhärtete Gummimischung aufweist, was die Haftreibung auf dem Prüfstand reduzieren kann [12] Die leicht erhöhte Bremsleistung bei Winterreifen könnte auf deren weichere Gummizusammensetzung zurückzuführen sein, welches eine bessere Kraftübertragung ermöglicht. Die ähnlichen Profiltiefen deuten jedoch

darauf hin, dass die Reifenart (Winter-/Allwetter-/Sommerreifen) einen größeren Einfluss hatte als die reine Profiltiefe. Man erkennt anhand der Messungen, dass die Bremskräfte primär von der mechanischen Bremswirkung bestimmt wird. Reifenbedingte Unterschiede fallen in unserer Untersuchung geringer aus, solange keine extremen Abweichungen, wie glatte im Vergleich zu profilierten Reifen, vorliegen. Um die Ergebnisse besser zu veranschaulichen, wurde im folgenden Diagramm die höchste Messung beider Versuche dargestellt.

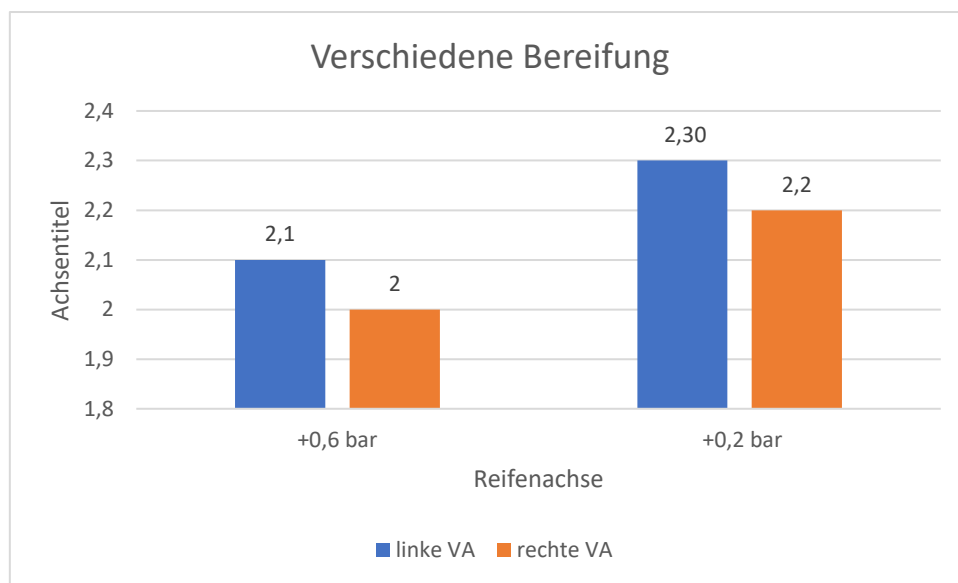


Abbildung 11.1 Vergleich der Maximalwerte

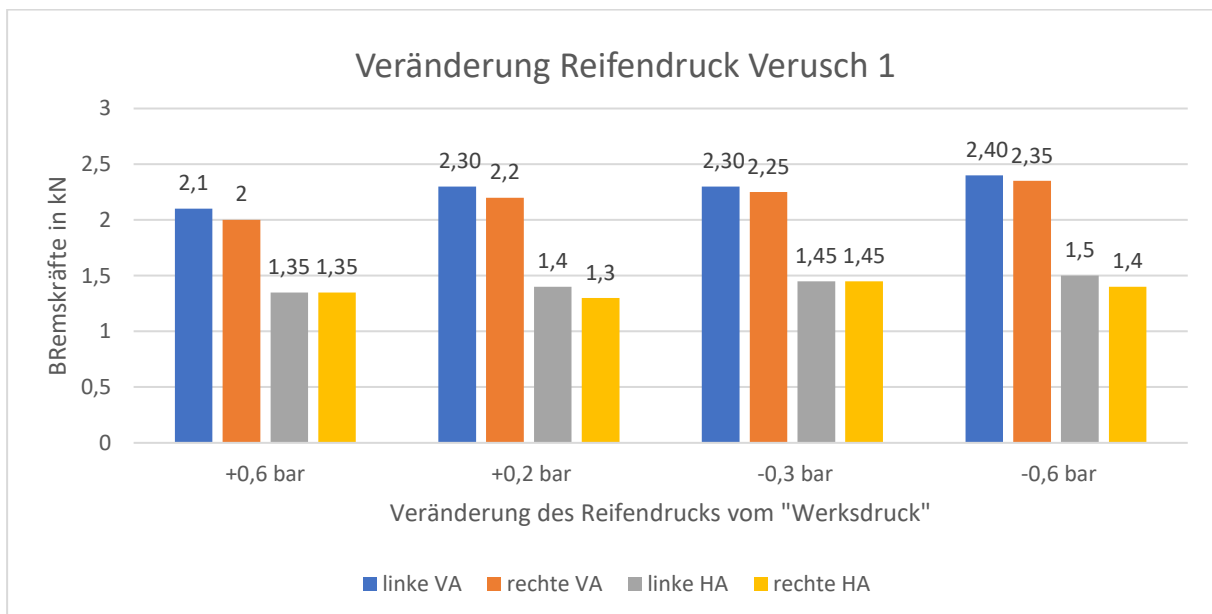
Somit betrug für vorne links die Differenz 6,38% und vorne rechts 6,98%. Die Werte wurden bewusst nicht mit dem Referenzwert verglichen, da der Referenzwert unter optimalen Bedingungen (warmes Wetter und warm gelaufene Bremse) stattfand, während bei diesem Versuch kalte und feuchte Bedingungen herrschten.

11.1.2 Reifenfülldruck

Die Ergebnisse zeigen, dass ein niedrigerer Reifendruck zu höheren Bremskraftwerten führt, während ein hoher Reifendruck niedrigere Bremskraftwerte zur Folge hat. Als Referenzwert wurde hierbei die Bremskraftwerte von „+0,2 Bar“ gewählt, da dies ein geeigneter Reifendruck für Fahrzeuge im öffentlich Verkehr ist.

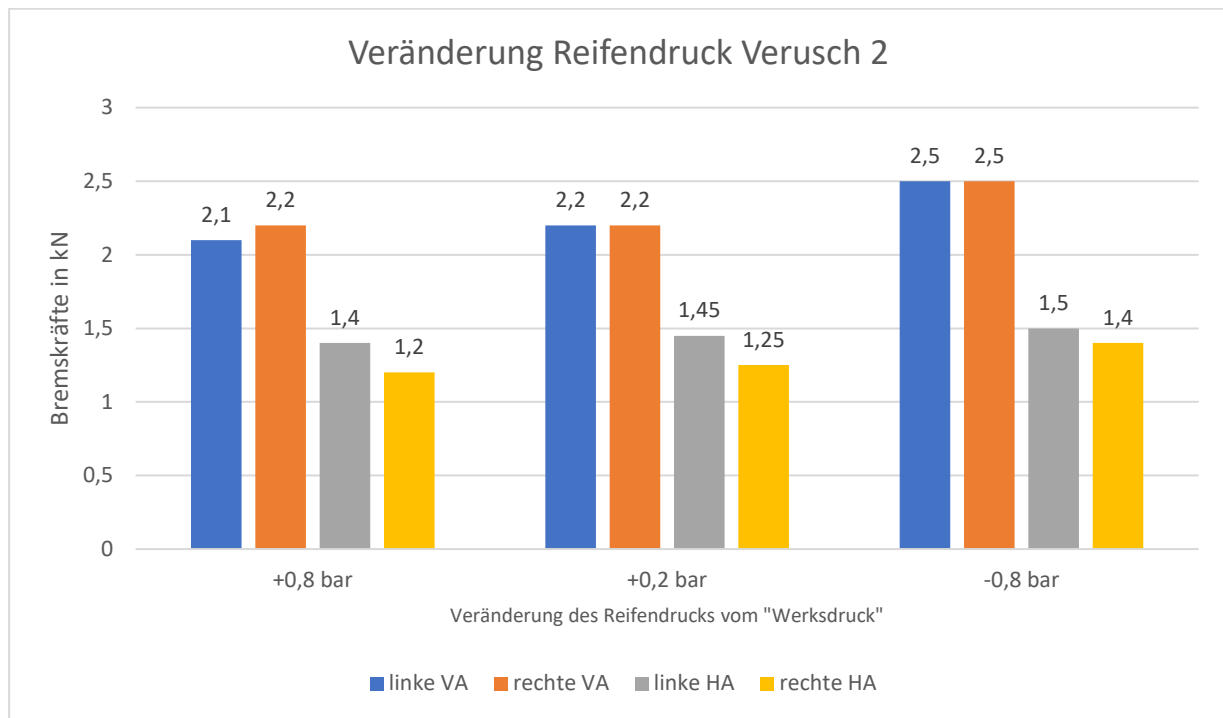
Im ersten Versuch mit dem Fiesta als Versuchsfahrzeug konnte schon, bei einer Veränderung von 0,6 Bar unter dem vorgegebenen „Werksdruck“, eine Steigerung der Bremskraftwerte um 0,1 kN festgestellt werden (Maximalbremswerte betrachtet). Dies trat sowohl für Vorderachse als auch für der Hinterachse ein. Bei einem höheren Reifendruck konnte das Gegenteil festgestellt werden. So sanken die Bremskraftwerte um 0,1 kN. Für die Übersichtlichkeit wurden die Werte im Diagramm zusammengefasst.

Abbildung 11.2: erster Versuch zu Veränderung des Reifendrucks



Mit drastischer Veränderung des Reifendrucks im zweiten Versuch, mit dem Clio Campus, wurden dieselben Phänomene festgestellt. Hier wurden jedoch Steigerungen und Senkungen von bis zu 0,3 kN beobachtet. Auch hier wurde wieder ein Diagramm für die Veranschaulichung angefertigt.

Abbildung 11.3: zweiter Versuch zu Veränderung des Reifendrucks



Diese Beobachtung unterstreicht die Bedeutung des Reifendrucks für die Bremsleistung und bestätigt, dass eine gezielte Druckanpassung die Kraftübertragung zwischen Reifen und Untergrund signifikant beeinflussen kann. Gründe für diese Steigerung

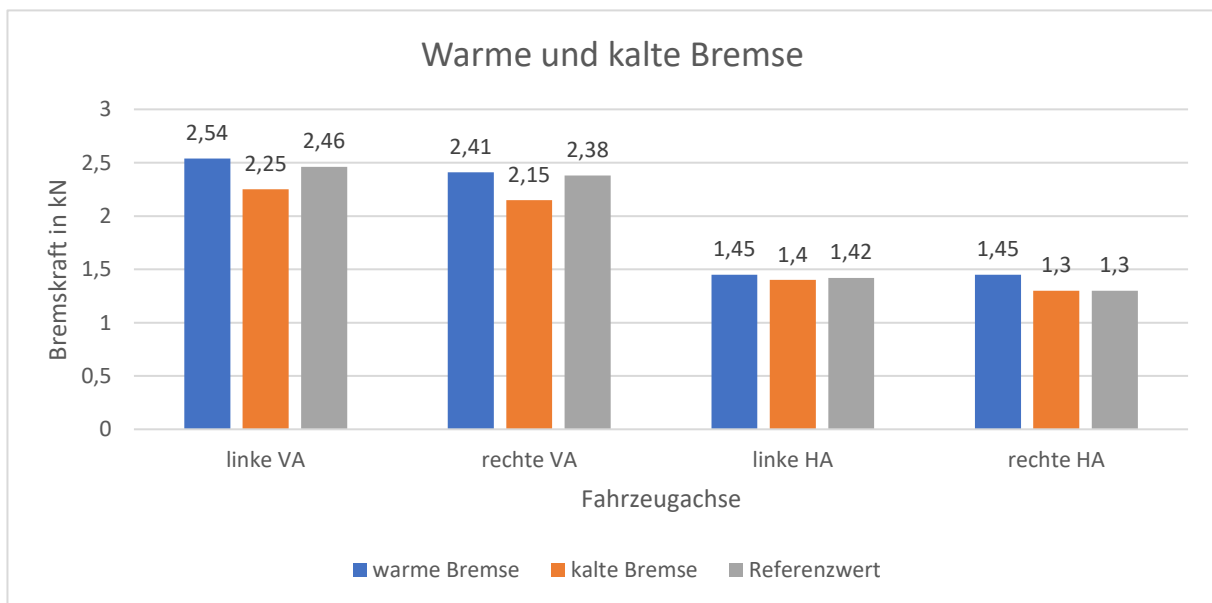
Bei einem niedrigeren Reifendruck verformt sich der Reifen stärker, wodurch sich die Kontaktfläche zwischen Reifen und der geriffelten Oberfläche des Rollenbremsprüfstands vergrößert ([13], Fahrzeugdynamik, Reza N. Jazar, S.25). Die größere Auflagefläche führt zu einer erhöhten Haftreibung und einer stärkeren „Verzahnung“ zwischen Reifen und Rolle. Dadurch kann eine höhere Bremskraft übertragen werden und die Bremswirkung wird weiter verstärkt.

Im Gegensatz dazu ist der Reifen bei einem hohen Druck steifer und starr, weswegen weniger Haftung zwischen Reifenprofil und Kontaktfläche der Rolle ist. Dies reduziert die effektive Kraftübertragung und führt zu geringeren gemessenen Bremskraftwerten. Darüber hinaus kann ein zu hoher Reifendruck lokal zu punktuellen Überlastungen der Reifenlauffläche führen, wodurch der Reifen leichter durchrutscht (Gleitschlupf). [14]

11.1.3 Kalte und warme Bremse

Die Messungen ergaben, dass die warm gelaufene Bremse deutlich höhere Bremswerte aufwies als die kalt gelaufene Variante. Der Unterschied in der Bremswirkung lässt sich auf verschiedene physikalische und materialtechnische Effekte zurückführen. Die gemessenen Werte sind in einem Diagramm dargestellt und werden mit den Referenzwerten von der Anlage 6.5 verglichen.

Abbildung 11.4 Warme und Kalte Bremse



Anhand des Diagrammes ist zu erkennen, dass eine warm gelaufene Bremse definitiv den Sollwert erfüllt und somit eine HU ohne Probleme bestehen würde. Eine kalte Bremse weist eine Abweichung von 9,67% am rechten Vorderrad und am linken 8,54% vom Referenzwert, was noch in einem guten Toleranzbereich ist und auch hier eine HU bestehen würde. Die Gründe für diese Differenzen werden kurz geschildert.

Ein wesentlicher Faktor ist das Reibwertverhalten der Bremsbeläge. Bei kalten Bremsen ist der Reibwert zwischen Belag und Scheibe zunächst geringer, da sich die Materialien noch nicht optimal aneinander angepasst haben ([15], S. 511). Durch Erwärmung verbessert sich der Reibkoeffizient ([13], S.71 f.). Dieser Effekt führt zu einer effizienteren Kraftübertragung und somit zu einer stärkeren Verzögerung.

Zudem spielt die Temperaturabhängigkeit der Materialeigenschaften eine entscheidende Rolle. Stahl beispielsweise, welche im Versuchsfahrzeug verbaut sind, weisen bei niedrigen Temperaturen eine höhere Steifigkeit auf, was die Kraftübertragung beeinträchtigen kann ([17], S.453).

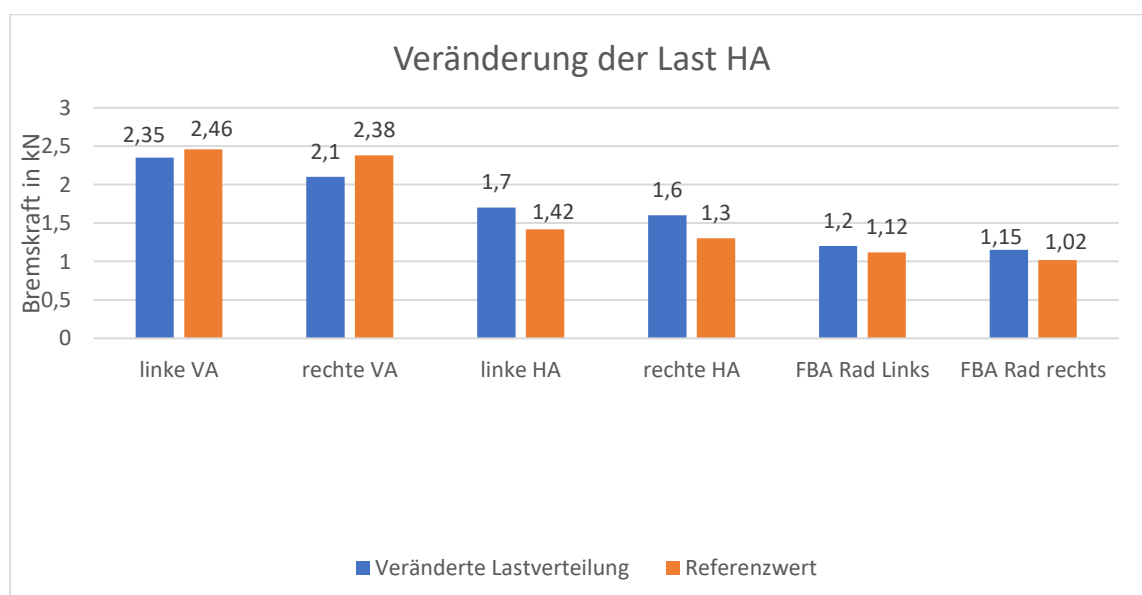
Bei erwärmten Bremsen wird die Reibpaarung zwischen Belag und Scheibe weicher, wodurch der Kontaktflächendruck gleichmäßiger verteilt wird, und die Reibung optimiert wird.

Ein weiterer Aspekt ist das Verhalten der Bremsen im kalten Zustand im Vergleich zu überhitzten Bremsen. Während überhitzte Bremsen unter "Fading" leiden können ([17], S.451), zeigt sich bei kalten Bremsen das gegenteilige Phänomen: Die anfänglich geringere Reibung führt zu einer schwächeren Bremswirkung, bis sich durch wiederholtes Bremsen die optimale Betriebstemperatur einstellt ([15], S. 511). Dieser Effekt war in den Versuchen besonders deutlich, da die Bremsen im kalten Zustand zunächst weniger effektiv waren, während die warm gelaufenen Bremsen sofort ihre volle Leistung entfalteten.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse, dass die Bremstemperatur einen signifikanten Einfluss auf die Bremsperformance hat. Warm gelaufene Bremsen bieten aufgrund der verbesserten Reibung und Materialanpassung eine zuverlässigere Verzögerung als kalte Bremsen. In unserem Fall würde das Versuchsfahrzeug mit einer kalten Bremse trotzdem eine Bremsenprüfung bestehen, trotzdem sollte man den Einfluss der Temperatur sowohl im öffentlichen Straßenverkehr als auch bei der HU nicht vernachlässigen.

11.1.4 Lastverteilung

Abbildung 11.5: Veränderte Last der Hinterachse

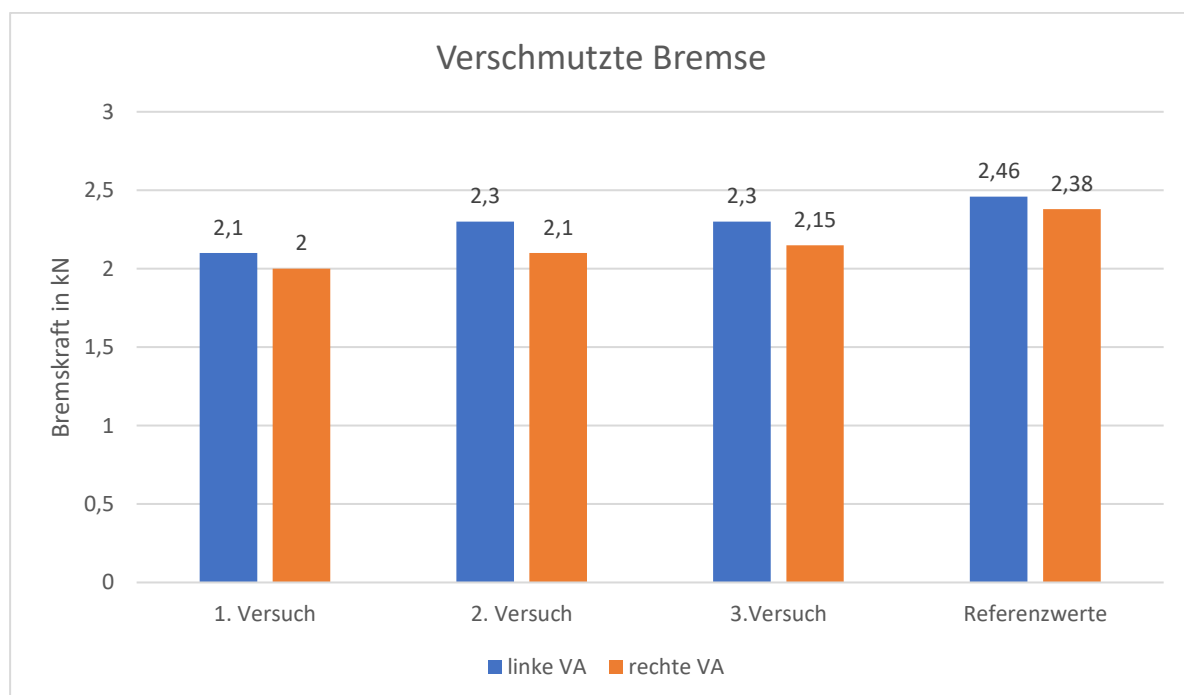


Anhand des maximalen Bremskraftwertes vom Versuch ist eine Veränderung der Bremskräfte durch die zusätzliche Belastung der Hinterachse im Diagramm 10.5 zu erkennen. Konkret erhöhten sich die gemessenen Bremswerte an der Hinterachse links und rechts um ca. 0,3 kN. Bei der Feststellbremsanlage wurde eine minimale Abweichung von nicht mehr als 0,1 kN festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass sich durch das Zusatzgewicht von 39 kg auf der Hinterachse, die sich dort wirkende Normalkraft vergrößert. Da die maximale Bremskraft einer Achse direkt von der Radlast abhängt, mit $F_{Bremse} = \mu * F_N$ ([18] S. 258), führt die erhöhte Belastung zu einer gesteigerten übertragbaren Bremskraft. Dies bestätigt sich in den gemessenen Werten. Bedeutet also je höher die Last, desto höher die dort wirkende Bremskraft. Ebenfalls hat die Radlastverlagerung einen Einfluss, denn beim normalen Bremsvorgang verlagert sich ein Teil der Fahrzeugmasse normalerweise nach vorne (Nickbewegung).

Die Hinterachse wird dadurch entlastet [19]. Dieser Effekt kann durch das Zusatzgewicht teilweise kompensiert werden. Die höhere Ausgangslast der beladenen Hinterachse führt somit zu einer geringeren prozentualen Entlastung während des Bremsvorgangs und daraus resultieren leicht stabilere Bremswerte.

11.1.5 Verschmutzungen

Diagramm 11.6: Bremskraftwerte Versuch mit Salz-Wasser-Gemisch



Die Versuchsergebnisse vom Diagramm 10.6 zeigen, dass die Bremsleistung trotz des simulierten Verschmutzungsszenarios (künstliche Salz-Wasser-Befeuchtung) kaum beeinträchtigt wurde. Die einzig große Abweichung, mit rund 0,35 kN unter dem Referenzwert, ist im ersten Bremsversuch zu sehen. Ab dem zweiten Versuch erhöhten sich die Bremskraftwerte, so dass nur eine geringe Abweichung von 0,1 kN für die rechte Vorderachse und 0,2 kN für die linke Vorderachse entstand. Somit blieben die Bremskraftwerte innerhalb der Soll-Toleranzen, was auf folgende Gründe schließt. Beim Versuch handelte es sich um eine akute oberflächliche Verschmutzung, die keine dauerhaften beziehungsweise langanhaltenden Schmutzfilm bildeten. Es wird vermutet, dass das Salz Wasser Gemisch größtenteils beim ersten Bremsen bereits entfernt wurde. Zumal gab es auch keine nassen Schneebedingungen, wodurch die Salz-Wasser-Mischung nicht gut an der Scheibenbremse haften konnte. Die gemessene Stabilität der Werte deutet darauf hin, dass die untersuchten Verschmutzungen unterhalb der kritischen Schwelle liegen, ab der die Reibung merklich abnimmt. Die Versuche bestätigen, dass alltägliche, kurzzeitige Verschmutzungen (wie Spritzwasser oder leichte Salzbeläge) die Bremsleistung von Pkw kaum beeinträchtigen. Dies spricht für die Robustheit der damaligen Bremssysteme gegenüber typischen Witterungseinflüssen, was auch auf die modernen Bremssysteme zutrifft.

11.1.6 Korrosion

Bei der Bremsenprüfung hat das Fahrzeug keine Auffälligkeiten gezeigt. Das Einzige, was im Zeus System bemängelt wurde, war die Abbremsung der Feststellbremsanlage, da hier nicht die 16% erreicht wurden. Jedoch haben die Räder bei der Abbremsung schon vorher blockiert, weshalb in diesem Falle die 12,3% in Ordnung gehen. Problem ist, dass Fahrzeuge wie der Polo meist zu leicht sind und zu wenig Last auf der Hinterachse ist. Bei Flugrost ist ein Bremskraftverlust praktisch vernachlässigbar, da er nur beim allerersten Bremsvorgang nach längerem Stand auftritt und sich innerhalb weniger Meter Fahrstrecke eliminiert.

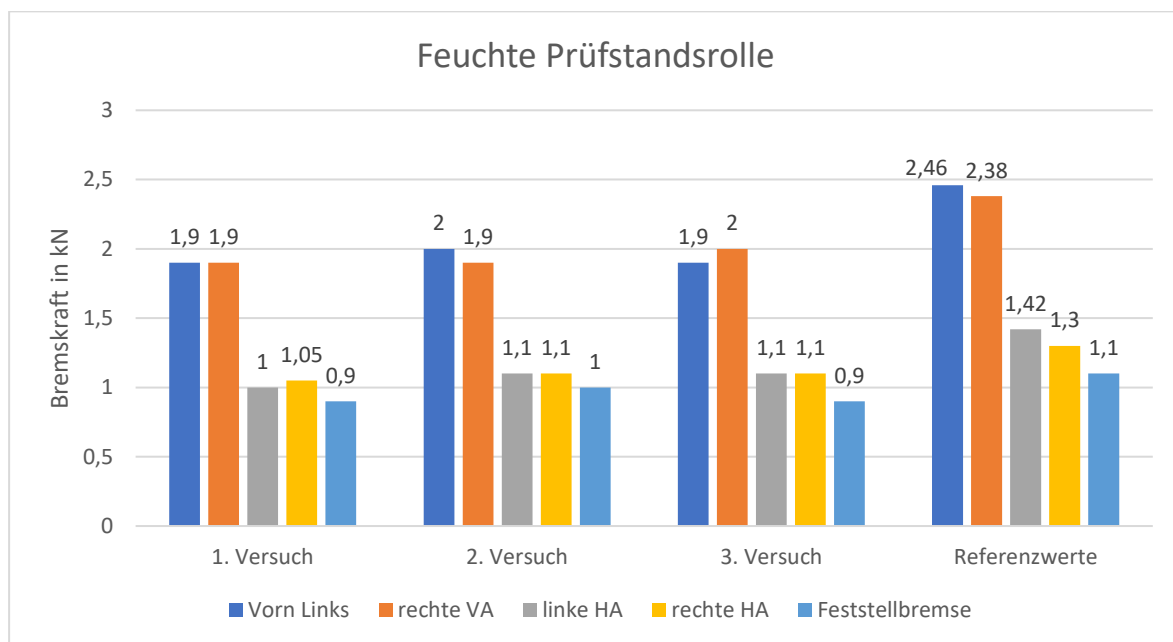
Im Gegensatz zu tiefgreifender Materialkorrosion (z. B. an Bremsbacken in Trommelbremsen) stellt Flugrost auf Scheibenbremsen ein rein optisches Phänomen dar. Bei Fahrzeugen mit Flugrostanzeichen ist keine besondere Wartung erforderlich. Der Effekt baut sich selbsttätig ab. Kritisch wäre ausschließlich starker, langjähriger

Rostbefall, der zu Unrundheiten der Scheibe führen kann (hier: nicht gegeben, da das Testfahrzeug regelmäßig genutzt wurde).

11.2 Auswertung Prüfstandsbedingte Einflüsse

Feuchte Prüfstandsrolle

Abbildung 11.7: Bremskraftwerte Vergleich Feuchte Prüfstandsrolle



Die durchgeführten Messungen in Abbildung 11.7 zeigen, dass die Nässe des Bremsenprüfstands zu minimalen, jedoch signifikanten Veränderungen der Bremskraftwerte führt. Dies bestätigt, dass die Oberflächenbedingungen des Prüfstands einen direkten Einfluss auf die gemessene Bremsleistung haben. Erkennbar ist eine Beeinflussung der Bremskräfte an der Vorderachse von ungefähr 0,5 kN und an der Hinterachse um 0,2 – 0,3 kN. Nur die Feststellbremse war weniger von dieser Bedingung beeinflusst.

Auffällig war, dass der Abbremsvorgang, insbesondere an der Vorderachse, auf dem feuchten Prüfstand deutlich schneller stoppte als unter trockenen Bedingungen. Während bei einem trockenen Rollenbremsprüfstand eine stufenweise Betätigung des Bremspedals bis kurz vor die Vollbremsgrenze möglich war, führte die Nässe zu einem veränderten Pedalgefühl. Es traten Mikrorutschphasen auf, die eine stufenweise Abbremsung erschwerten.

Infolgedessen wurde das Fahrzeug früher abgebremst, als es unter optimalen Haftreibungsbedingungen der Fall gewesen wäre. Dies resultierte in niedrigeren gemessenen Bremskraftwerten im Vergleich zur trockenen Messung.

Der beobachtete Effekt lässt sich auf die verminderte Kraftübertragung zwischen Reifen und Rolle zurückführen. Durch die Nässe wird die Haftreibung reduziert, wodurch die Bremswirkung weniger effizient auf die Rolle übertragen wird ([13], S.82 f.). Anstatt ein optimales „Greifen“ der Reifen und Prüfstandsoberfläche zu erreichen, kommt es zu einem teilweisen Schlupf, der die effektive Bremskraft mindert. Zusätzlich kann die Gummimischung der Reifenlauffläche im nassen Zustand eine geringfügig glattere Oberflächenbeschaffenheit aufweisen, was die Reibungsverluste weiter verstärkt.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse, dass feuchte Bedingungen am Bremsenprüfstand zu einer verringerten Bremskraftübertragung führen. Dies äußert sich sowohl in einer veränderten Pedalrückmeldung als auch in quantitativ niedrigeren Messwerten. Für eine akkurate Bewertung der Bremsleistung eines Fahrzeugs sollten daher stets die Umgebungsbedingungen, insbesondere die Feuchtigkeit der Prüfstandsoberfläche, berücksichtigt werden.

11.3 Auswertung Wetterbedingte Einflüsse

11.3.1 Trocken und warm

Bei dieser Auswertung wird weniger auf die Wetterbedingung an sich eingegangen, da diese üblicherweise die Idealbedingungen für die Bremsenprüfung, sondern eher der Vergleich zwischen den aufgenommenen Werten vom Rollenbremsprüfstand und Zweiplattenbremsprüfstand.

Trotz eines geringfügigen Defekts am Zweiplattenbremsprüfstand zeigten die ermittelten Bremskraftwerte nur minimale Abweichungen von maximal 0,1 kN zwischen den beiden Systemen. Diese geringe Differenz bestätigt, dass beide Prüfmethoden eine zuverlässige und präzise Ermittlung der Bremskraft ermöglichen. Die Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass sowohl der Rollenbremsprüfstand als auch der Zweiplattenbremsprüfstand für die Bremskraftmessung unter Standardbedingungen geeignet sind.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Prüfständen liegt in der Art der Messwertfassung. Während beim Rollenbremsprüfstand in Dresden-Laubegast die Bremskraftwerte manuell von einer analogen Messanzeige abgelesen wurden, erfolgte die Erfassung am Zweiplattenbremsprüfstand in Rodewisch digital mit einer Anzeigegenauigkeit von bis zu zwei Dezimalstellen. Dies könnte erklären, warum der Zweiplattenbremsprüfstand in diesem Versuch als leicht präziser eingeschätzt wurde. Die Abweichungen sind jedoch so marginal, dass sie eher auf die unterschiedliche Messtechnik als auf systematische Fehler der Prüfstände zurückzuführen sind. Zusätzlich muss man erwähnen, dass auch in Plauen ein Rollenbremsprüfstand vorhanden ist, der eine Anzeigegenauigkeit von bis zu zwei Dezimalstellen hat.

Rückschließend lässt sich festhalten, dass beide Prüfsysteme vergleichbare Ergebnisse liefern und sich für die Bremskraftmessung eignen. Die geringfügigen Unterschiede in der Messgenauigkeit sind vor allem auf die technische Ausstattung der jeweiligen Prüfstände zurückzuführen.

11.3.2 Regen und Nässe

Bei Regen und Nässe ist bei allen vier Radbremsen eine Zunahme der Bremskräfte über die drei Versuche zu beobachten. Besonders deutlich zeigt sich das am Rad vorne links, wo der gemessene Bremskraftwert von 2,04 kN auf 2.20 kN ansteigt und an der Hinterachse rechts von 1.00 kN auf 1.22 kN. Eine mögliche Ursache kann hier der Trocknungseffekt sein. Es ist davon auszugehen, dass über die lange Fahrt im Regen sich ein Wasserfilm auf den Bremsscheiben gebildet hat, da die Fahrt an sich hauptsächlich aus einer langen Autobahnfahrt und einer kurzen Stadteinfahrt besteht. Jedenfalls führt dieser Wasserfilm zu einer reduzierten Reibung im ersten Versuch ([20], S.71). Jedoch erwärmen sich durch wiederholtes Bremsen die Scheibe, wodurch die Feuchtigkeit etwas verdampft [21] und sich der Reibwert erhöht. Eine weitere Ursache für die Bremswertsteigerung könnte die Temperaturabhängigkeit der Reibung sein, denn mit steigender Betriebstemperatur der Bremse, erhöht sich auch der Reibwert der Bremsbeläge [13].

Die Versuchsergebnisse zeigen deutlich den Einfluss von Feuchtigkeit auf das Bremsverhalten. Die beobachtete Steigerung der Bremskräfte über die Versuchsdurchgänge lässt sich durch kombinierte thermische und tribologische Effekte erklären.

Schneeregen

Die beobachtete Abweichung im ersten Messwert lässt sich möglicherweise auf eine anfängliche Beschichtung der Bremsscheiben oder eine geringere Reibung aufgrund von Feuchtigkeitsrückständen zurückführen. Der anschließende Anstieg der Bremskraftwerte deutet auf einen Trocknungs- oder Einreibeffekt hin, bei dem durch wiederholtes Bremsen Wasser von den Reibflächen entfernt wurde, wodurch sich die Bremswirkung verbesserte [21].

Dies ist insbesondere bei nassen Bedingungen bekannt und könnte durch die niedrigen Temperaturen (0 °C) zusätzlich beeinflusst worden sein, da eine verzögerte Verdunstung des Wassers nicht ausgeschlossen werden kann. Die gemessenen Bremskraftwerte unter den Schneeregenerischen Bedingungen ähneln stark denen der zuvor untersuchten Bedingung „*Regen*“. Dies deutet darauf hin, dass die Restfeuchte auf der Fahrbahnoberfläche bzw. an den Bremsscheiben auch nach dem Ende des Niederschlags einen vergleichbaren Einfluss auf die Bremswirkung hat wie anhaltender Regen.

Der beobachtete Effekt, die anfänglich reduzierte Bremskraft mit anschließender Steigerung durch wiederholtes Bremsen, bestätigt, dass Nässe unabhängig von der genauen Niederschlagsphase (während oder kurz nach Regen) zu einem temporären Bremswirkungsverlust führen kann.

Schnee

Die durchgeführten Bremskraftmessungen mit dem Ford Fiesta unter winterlichen Bedingungen zeigen im Vergleich zu den Referenzwerten unter trockenen Bedingungen eine signifikante Minderung der Bremskräfte. Bei den vorderen Bremsen lagen die gemessenen Werte zwischen 1,8 kN und 2,0 kN auf der linken Seite sowie zwischen 1,8 kN und 1,9 kN rechts, was einer Reduzierung von etwa 5-10% gegenüber den trockenen Referenzwerten von konstant 2,0-2,1 kN entspricht. An der Hinterachse war der Effekt noch deutlicher ausgeprägt, wo die Bremskräfte von normalerweise 1,3-1,35 kN auf 0,95-1,15 kN absanken. Auch die Feststellbremse wies mit Werten zwischen 1,0 und 1,1 kN eine um 4-13% geringere Leistung als unter trockenen Bedingungen (1,15 kN) auf.

Diese reduzierten Bremskräfte lassen sich hauptsächlich auf zwei physikalische Effekte zurückführen. Erstens wirkt die Schneesicht als Gleitmedium, das die Haftreibung zwischen Reifen und Prüfstandsfläche verringert ([24], S.49). Besonders bei Temperaturen um den Gefrierpunkt kann anhaftender Schnee zu Gleitschlupf führen. Zweitens beeinflusst die Kälte die Materialeigenschaften - die reduzierte Elastizität der Reifenlauffläche verkleinert die effektive Kontaktfläche, und die Bremsbeläge erreichen unterkühlt möglicherweise nicht ihr optimales Reibungsniveau ([24], S. 706).

Bemerkenswert ist, dass auch hier, durch den anhaftenden Schnee am Reifen, entstandene Feuchtigkeit auf dem Prüfstand bereits zu leicht reduzierten Werten führte.

Die Ergebnisse haben praktische Bedeutung für die Fahrsicherheit im Winter, da sie zeigen, dass winterliche Bedingungen die effektive Bremsleistung um bis zu 25% mindern können, was ein kritischer Faktor für die Berechnung von Sicherheitsabständen und Bremswegen sein kann. Allerdings ist zu beachten, dass der Rollenbremsprüfstand keine vollständig realistische Simulation winterlicher Straßenverhältnisse ermöglicht. In der Praxis können zusätzliche Effekte wie Eisglätte oder Schneeverdrängung die Bremswirkung weiter verschlechtern.

12. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Diplomarbeit untersuchte den Einfluss verschiedener externer Faktoren auf die Ergebnisse von Bremskraftmessungen auf Rollenbremsprüfständen. Die umfangreichen Versuchsreihen zeigten deutlich, dass zahlreiche Parameter die Messergebnisse signifikant beeinflussen können. Besonders hervorzuheben sind dabei die Auswirkungen von Bereifung, Reifendruck, Temperatur und Witterungsbedingungen. Als Versuchsfahrzeuge dienten einerseits das eigene Privatauto, Fahrzeuge von Bekannten und ein Fahrzeug eines Kunden. Die Messungen wurden mit der „herkömmlichen Vorgehensweise“ erfasst, da es sich beim Ford Fiesta um ein älteres Fahrzeug handelt, welches ohne einen OBD-Stecker verbaut ist. Beim Renault Clio Campus wurde auch auf eine Messung mit HU-Adapter verzichtet, um Zeit zu sparen und den Arbeitsbetrieb der Prüflingenieure nicht im Wege zu stehen. Nur beim Polo wurde eine Messung mit HU-Adapter durchgeführt, da dies ein Kundenfahrzeug war, welches zu einem regulären HU- und AU-Termin erschien.

Die Untersuchungen zur Bereifung ergaben, dass Winterreifen durch ihre weichere Gummimischung höhere Bremskräfte (um 0,1-0,2 kN) erzielten als Sommer- oder Allwetterreifen [25]. Interessanterweise zeigte sich der Einfluss der Profiltiefe als weniger bedeutend als zunächst angenommen. Jedoch ist hier zu beachten, dass hier kein Reifen mit einer markant niedrigen Profiltiefe von beispielsweise 2 bis 3 mm untersucht werden konnte, weshalb nur in dieser Diplomarbeit eventuell die Profiltiefe keinen großen Einfluss hatte. Die Reifendruckversuche demonstrierten, dass bereits geringe Abweichungen vom Sollwert des Reifendrucks deutliche Auswirkungen haben: Ein um 0,6 bar reduzierter Druck führte zu einer Bremskraftsteigerung von bis zu 0,3 kN, während überhöhter Druck um 0,6 bar die Werte um etwa 0,2 kN verringerte. Diese Effekte lassen sich durch Veränderungen der Kontaktfläche und des Gleitverhaltens erklären.

Besonders markant waren die Temperaturabhängigkeiten. Warme Bremsen erreichten bis zu 25 % höhere Werte als kalte Bremsen. Die Versuche zur Lastverteilung zeigten, dass zusätzliches Gewicht auf der Hinterachse die dortige Bremskraft um 0,1-0,2 kN erhöhte. Hier ist anzumerken, dass dies wahrscheinlich nur auf leichte PKWs eine Auswirkung hat. Überraschenderweise hatten akute Verschmutzungen (Salz-Wasser-Gemisch) keine, und Flugrost nur geringfügige Auswirkungen auf die Messergebnisse.

Die Untersuchung prüfstandsspezifischer Einflüsse zeigen, dass Feuchtigkeit auf den Rollen die Bremskraft um bis zu 0,3 kN reduzieren kann. Ebenso führte eine nicht optimale Fahrzeugpositionierung zu asymmetrischen Messwerten mit Differenzen bis zu 0,4 kN zwischen linken und rechten Rädern.

Die Witterungsversuche bestätigten die erwarteten Effekte: Nasse und schneebedeckte Bedingungen reduzierten die initiale Bremskraft deutlich, wobei sich die Werte durch wiederholtes Bremsen und den daraus resultierenden Trocknungseffekt wieder verbesserten. Basierend auf diesen Erkenntnissen lassen sich mehrere Maßnahmen zur Verbesserung der Messgenauigkeit ableiten. Erstens sollte eine Standardisierung der Prüfbedingungen angestrebt werden, insbesondere durch die Einführung einer Mindest-Bremstemperatur und automatisierten Reifendruckkontrollen. Natürlich sind zu platte Reifen auch optisch sichtbar, aber Abweichungen von 0.3 Bar sind mit bloßem Auge nicht direkt zu erkennen. Zweitens könnten technische Verbesserungen der Prüfstände, wie beheizbare Rollen sowie sensorgestützte Positionierungssysteme, die Ergebnisqualität steigern. Drittens erscheint die Anpassung von Prüfprotokollen

sinnvoll, beispielsweise durch eine Durchführung mehrerer Bremszyklen und die Einführung witterungsabhängiger Toleranzgrenzen.

Für zukünftige Forschungsarbeiten ergeben sich mehrere vielversprechende Ansatzpunkte. Langzeitstudien zur Auswirkung von Streusalz auf die Bremsleistung könnten wichtige Erkenntnisse liefern. Ebenso wäre ein Vergleich zwischen Prüfstands- und Realbedingungen aufschlussreich, da die untersuchten Einflüsse nur ein Bruchteil von dem Widerspiegeln, welche Auswirkungen bestimmte Bedingungen im richtigen Straßenverkehr haben. Auch die Programmierung von KI-gestützter Auswertungsmethoden könnte zudem helfen, Fehlerquellen zu identifizieren und zu minimieren.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Untersuchungen können praktische Relevanz für die Hauptuntersuchung von Fahrzeugen haben. Durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen ließe sich die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Bremskraftmessungen deutlich verbessern, was letztlich einen wichtigen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten würde. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, standardisierte Prüfbedingungen zu etablieren und gleichzeitig die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Einflussfaktoren stärker zu berücksichtigen.

13. Quellenverzeichnis und Literaturverzeichnis

[1] Leiter, Ralf; Mißbach Stefan: Bremsanlagen, 1. Auflage; Würzburg Vogel, 2004

[2]: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__65.html, Abgerufen am 20.03.2025

[3] Breuer, Bert; Bill, Karlheinz H. (Hrsg.): Bremsenhandbuch, 5. Auflage; Springer Vierweg, 2017

[4] Gscheidle, Rolf (Hrsg.); Fischer, Richard: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, 31. Auflage; Haan-Gruiten Verlag EuropaLehrmittel, 2019

[5]: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__41.html, abgerufen am 20.3.2025

[6]: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__29.html, abgerufen am 20.03.2025

- [7] HU-Bremsenrichtlinie: „Richtlinie für die Prüfung der Bremsanlagen von Fahrzeugen bei Hauptuntersuchung nach §29 StVZO“ (10. Mai 2012), unter: http://www.tga-bathuler.ch/Lernprogramme/FSD/EBS_PW/wbt/files/EBS_PK_W/HU-Bremsen-Rili.pdf (abgerufen am 10.01.2021)
- [8] Adler, Ulrich (Red.); Robert Bosch GmbH (Hrsg.): Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, 1. Auflage; Düsseldorf-VDI-Verlag, 1994
- [9] <https://www.tuv.com/germany/de/lp/lp-haupt-und-abgasuntersuchung/distribution-pages/m%C3%A4ngelklassen/> (Abgerufen 18.02.2025)
- [10]: <https://www.presseportal.de/pm/67955/5145846> Stand 2022, Abgerufen am 20.03.2025
- [11]: <https://www.adac.de/news/studie-reifendruck-kontrolle/> Stand 2022, abgerufen am 28.02.2025
- [12] <https://sv-prof-willmerding.de/wp-content/uploads/2020/05/Alterung-von-Pkw-Guertelreifen-April-2000.pdf> - , Stand 2020, Abgerufen am 01.05.2025
- [13] Buch: Fahrzeugdynamik Theorie und Anwendung, Springer Vieweg Verlag, Stand 2024, Abgerufen am 1.05.2025
- [14]: https://riiroo.com/de/blogs/ride-on-toy-guides/key-symptoms-of-over-inflated-tyres?srsId=AfmBOord25uLuVo3QLichDTvysleSN39bLNN7o4oxeZkitP_gsOEU-z4 – Abgerufen am 12.05. 2025
- [15]: Buch: H.S. Qi, A.J. Day, Investigation of disc/pad interface temperatures in friction braking, Wear, Volume 262, Issues 5–6, Pages 505-513, ISSN 0043-1648, 2007
- [16]: Buch M. Borjesson, P. Eriksson, The role of friction films in automotive brakes subjected to low contact forces, in: Proceedings of the Braking of Road Vehicles, IMechE, vol. C444/026, 1993, pp. 259–268
- [17]: Buch: Daniel Thuresson, Influence of material properties on sliding contact braking applications, Wear, Volume 257, Issues 5–6, Pages 451-460, ISSN 0043-1648, 2004
- [18]: Artikel: Jornal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 16, No.4 2009, R. Labuda, E. Toporcer, V. Hlavna, Vehicle Braking Parameters Influencing Factors

[19]: [https://www.at-rs.de/beitrag/items/Kr%C3%A4fte_am_Fahrzeug_beim_Bremsen.html#:~:text=Elektronische%20Bremskraftverteilung%20\(EBD\),mechanische%20Bremskraftregler%20entfiel%20hier%20erstmals](https://www.at-rs.de/beitrag/items/Kr%C3%A4fte_am_Fahrzeug_beim_Bremsen.html#:~:text=Elektronische%20Bremskraftverteilung%20(EBD),mechanische%20Bremskraftregler%20entfiel%20hier%20erstmals), Abgerufen am 28.04.2025

[20]: Artikel: K.R.M. Mahmoud and M.A. Mourad, International Journal of Vehicle Structures & Systems, Influence of Water, Oil and Dust on the Performance of Conventional and Wedge Disc Brakes, Page 71-75, ISSN: 0975-3540, 2014

[21]: <https://www.autoberufe.de/erwuenschte-und-unerwuenschte-reibung>, Unterpunkt: Unten Mitte, abgerufen 21.04.2025

[22]: Artikel: Ali Abdi Kordani, Omid Rahmani, Amir Saman Abdollahzadeh Nasiri, Sid Mohammad Boroomandrad, Civil Engineering Journal, Vol.4, No.1, Effect of Adverse Weather Conditions on Vehicle Braking Distance of Highways,

[23] https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/14792/1/Vergleich%20Bremswirkungsmessung%20bei%20HU_geschwärzt.pdf, abgerufen am 20.03.2025

[24]: Buch: Francis Navin, Michael Macnabb, Connie Nicolletti, Journal of Passenger Cars, Vehicle Traction Experiments on Snow and Ice, Vol. 105, Section 6, pp 707-713, 1996

[25]: <https://www.felgenshop.de/blog/was-ist-der-unterschied-zwischen-sommerreifen-und-winterreifen/> Abgerufen am 09.05.2025

Hilfsmittel

- "ChatGPT" Version 4.0, <https://chatgpt.com/>
 - Kapitel 10: Versuchsplanung und Überlegung
 - Kapitel 11: Auswertung
 - Hilfe bei der Erstellung der Textstruktur

Anlagenverzeichnis

Anlage 6.1: Mindestabbremung und zulässige Betätigungskräfte.....	1
Anlage 8.1: Mängel von BBA und FBA aus Prüfsoftware.....	1
Anlage 10.1: Betriebsanleitung Bosch BSA 4341 S4 livestream.....	530
Anlage 10.2: Betriebsanleitung MAHA MBT 2250 EUROSYSYSTEM.....	108
Anlage 10.3: Betriebsanleitung Sherpa PPS 101 – ECO-D.....	21
Anlage 11.1: Referenzwerte von HU mit Fiesta.....	1

Anlage 6.1

Mindestabbremung und zulässige Betätigungskräfte

Fz.- Klasse	Fahrzeugart	Erstzulassung	Betriebsbremsanlage			Feststellbremsanlage				
			Z ≥	F _H ≤	F _F ≤	Z ≥	F _H ≤	F _F ≤		
			[%]	[daN]	[daN]	[%]	[daN]	[daN]		
M ₁	PKW, Wohnmobile ≤ 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				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				
O	Anhängfahrzeuge ≤ 25 km/h	alle	25	---	---	15	60	---		
	Anhängfahrzeuge > 25 km/h	vor 01.01.91	40			15				
		ab 01.01.91 und vor 28.07.2010	43			16				
	O3 und O4, Drehschemel > 25 km/h	ab 28.07.2010	50 ^{*6}			p ₀ = 6,5 bar (Berechnungsdruck)			16	60
O3 und O4, Sattel > 25 km/h	45 ^{*6}									
T	lof - Zugmaschinen ≤ 40 km/h	alle	35	40	60	15	40	60		
	lof - Zugmaschinen > 40 km/h		40	---	70	16	60	70		
---	übrige Kraftfahrzeuge ≤ 25 km/h	vor 01.01.91	25	---	80	15	60	80		
		ab 01.01.91	25					70	70	
	übrige Kraftfahrzeuge > 25 km/h ^{*2}	vor 01.01.91	40	---	80	15		80		
		ab 01.01.91				70		16	70	
			v ^{*4}	h ^{*4}	v ^u h					
L3, L3e	Krafträder ohne Beiwagen	vor 01.10.98	30	30 ^{*5}	50	20	50	---	---	
		ab 01.10.98	35		50		35			
L4, L4e	Krafträder mit Beiwagen	vor 01.10.98	30	25	40	20	50	---	---	
		ab 01.01.91 und vor 28.07.2010	35	30	45		35			
					ab 28.07.2010					46
L5, L5e	dreirädrige Kfz. (symmetr. Anordnung)	vor 01.10.98	---	---	45	20	50	15	40	50
		ab 01.10.98	---		45		16			
L7, L7e	vierrädrige Kfz.	vor 01.10.98	---	---	45	20	50	15	40	50
		ab 01.10.98	---		16					
			Dauerbremsanlage							
M	Kraftomnibus > 5,5 t	vor 01.01.91	5 % (0,5 m/s ² mittl. Verzögerung) im Fahrversuch bei 30 km/h (gem. Typ II Anh. II RL 71/320/EWG)							
N	LKW/Zugm. > 9t									
M ₂ , N ₃	LKW/Zugm./Kraftomnibus	ab 01.01.91	6 % (0,6 m/s ² mittl. Verzögerung) im Fahrversuch bei 30 km/h (gem. Typ II Anh. II RL 71/320/EWG)							
M ₃	Kraftomnibus Kl. II/III									

Heft 11 - 2012

440

VkBl. Amtlicher Teil

*1	Wohnmobile > 3,5t siehe Fahrzeugklassen N2, N3
*2	Jedoch für Kraftfahrzeuge, die ab dem 01.01.2001 erstmals in Verkehr gekommen sind und deren Baumerkmale den unter die EG-Richtlinien über Bremsanlagen fallenden Fahrzeugen gleichzusetzen sind, gelten die Vorgaben dieser jeweiligen Fahrzeugklasse
*3	40, wenn radstandsbezogene Schwerpunkthöhe h/E ≥ 0,5
*4	anzuwenden, wenn unabhängige Betriebsbremsen vorhanden, die nur auf eine Achse wirken
*5	25, wenn Übertragung der Bremskraft aufgrund blockierender Räder nicht möglich
*6	Jedoch ≥ 43 % für Drehschemel- und ≥ 40 % für Sattel-/Zentralachsanhänger, wenn trotz einwandfreiem Zustand der Bremsanlage auf Grund des Messverfahrens die Mindestwerte von 50 % bzw. 45 % nicht erreicht werden

Hinweise zu den verwendeten Abkürzungen:

FF = Fußkraft FH = Handkraft Z = Abbremsung

Anlage 8.1

Mängel für Betriebsbremse nach §29

Kataloge	§29 Mängel	Bremsanlage	Betriebsbrems...	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

Mängel für Feststellbremse nach §29

Kataloge	§29 Mängel	Bremsanlage	Feststellbrems...	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

Anlage 10.1

18. Technische Daten

18.1 BSA 332

Zul. Achsgewichtskraft	kN	150
Zul. Achsgewicht	t	15
max. Bremskraft je Rad	kN	30
Prüfgeschwindigkeit	km/h	2,5/5
Nennleistung je Antriebsmotor	kW	9
Anschlußwert des Prüfstandes	kW	18
Netzanschluß	3Phasendrehstrom	
Spannung	V	380
Frequenz	Hz	50
Sicherung	AT	63
Meßsystem	elektrisch (DMS)	
Übertragungsfaktor	naß	>0,5
	trocken	>0,7
Differenzanzeige, %-Schwelle einstellbar:		ja
Anzeige der auslösenden Radseite bei Schlupfabstaltung		ja
Getrennte Anzeige für Automatik/Hand		ja
Rahmen und Abdeckungen feuerverzinkt		ja
Meßbereich Anzeigeeinstrumente		
Bremskraft-Anzeige (PKW)	kN	2 x 6
Bremskraft-Anzeige (LKW)	kN	2 x 30
Eingesteuerter Druck, Bremsdruck	bar	2 x 0...10
Skalendurchmesser:		
Bremskraftanzeigen	mm	350
Eingesteuerter Druck	mm	218
Anzeigewert Toleranz d. Skala		2%
Abmessungen und Gewichte		
Bedien- und Anzeigegerät:		
Höhe	mm	1320
Breite	mm	900
Tiefe	mm	400
Gewicht	kg	120
Tragsäule:		
Höhe	mm	700
Durchmesser	mm	324
Gewicht	kg	65
Gesamthöhe		
Bedien- und Anzeigegerät + Tragsäule:	mm	2020
Rollensatz:		
Kleinste nutzbare Achsbreite	mm	600 (800)
Größte nutzbare Achsbreite	mm	2800 (3000)
Rollendurchmesser	mm	282
Rollenlänge	mm	1100
Abstand zwischen den Antriebsrollenmitten		
BSA 332	mm	475
Antriebsrolle erhöht eingebaut um	mm	50
BSA 332 - S100 (bodeneben)	mm	513
Rollenbelag		Kunststoff + SiC
Prüfbare Radgröße		
BSA 332:		
kleinste (ca. 440 mm)	Zoll	5,20-10
größte (1400 mm)	Zoll	14,00-20
BSA 332 - S100:		
kleinste (500 mm)	Zoll	5,00-12
größte (1400 mm)		14,00-20

18.2 BSA 342

Zul. Achsgewichtskraft	kN	160
Zul. Achsgewicht	t	16
max. Bremskraft je Rad	kN	40
Prüfgeschwindigkeit	km/h	2,5/5
Nennleistung je Antriebsmotor	kW	18
Anschlußwert des Prüfstandes	kW	36
Netzanschluß	3Phasendrehstrom	
Spannung	V	380
Frequenz	Hz	50
Sicherung	AT	125
Meßsystem	elektrisch (DMS)	
Übertragungsfaktor	naß	>0,6
	trocken	>0,7
Differenzanzeige, %-Schwelle einstellbar:		ja
Anzeige der auslösenden Radseite bei Schlupfabstaltung		ja
Getrennte Anzeige für Automatik/Hand		ja
Rahmen und Abdeckungen feuerverzinkt		ja
Meßbereich Anzeigen		
Kommunikations-Display		14stellig
Bremskraft-Anzeige (PKW)	kN	2 x 8
Bremskraft-Anzeige (LKW)	kN	2 x 40
Eingesteuerter Druck, Berechnungsdruck	bar	2 x 0...10
Skalendurchmesser:		
Bremskraftanzeigen	mm	350
Abmessungen und Gewichte		
Bedien- und Anzeigegerät:		
Höhe	mm	1320
Breite	mm	900
Tiefe	mm	400
Gewicht	kg	120
Tragsäule:		
Höhe	mm	700
Durchmesser	mm	324
Gewicht	kg	65
Gesamthöhe:		
Bedien- und Anzeigegerät + Tragsäule:	mm	2020
Rollensatz:		
Kleinste nutzbare Achsbreite	mm	600 (800)
Größte nutzbare Achsbreite	mm	2800 (3000)
Rollendurchmesser	mm	282
Rollenlänge	mm	1100
Abstand zwischen den Antriebsrollenmitten		
Antriebsrolle erhöht eingebaut um	mm	514
	mm	50
Rollenbelag		Kunststoff + SiC
Prüfbare Radgröße		
kleinste (530 mm Ø)	Zoll	135R12
größte (1400mmØ)	Zoll	14,00R24

Anlage 10.2

2.5 Technische Daten

IW 2 / MBT 2x00

Anzeige / Steuerung	Kommunikationspult 3000 / EUROSYSYSTEM
Anzeigeeinheit	PC-Bildschirm, optional über TV-Bildschirm oder Simultananzeige
Steuerung	Vollautomatisch durch Kommunikationspult EUROSYSYSTEM od. separaten Schaltschrank
Maße Kommunikationspult (H x B x T)	1400 x 800 x 670 mm
Maße Schaltschrank (H x B x T)	950 x 800 x 250 mm

Bremsprüfstand IW 2		EURO-PROFI	EURO	EURO
Rollensatz		Nr. 2	Nr. 2	Nr. 5
Achslast (überfahrbar)		3500 kg	4000 kg	5000 kg
Antriebsleistung		2 x 3 kW	2 x 4 kW	2 x 4 kW
Prüfgeschwindigkeit		5 km/h		
Messbereich		0...8 kN		
Anzeige <u>genauigkeit</u>		2 % vom Messbereichsendwert 2 % Differenz zwischen linker/rechter Seite		
Spurbreite	min.	780 mm		
	max.	2200 mm		2800 mm
Rollendurchmesser		202 mm		
Abmessungen	Länge	2320 mm		2710 mm
	Breite	680 mm		
	Höhe	280 mm		
Spannungsversorgung / Absicherung		230/400 V, 3 Phasen, 50/ 60 Hz / 25...35 A		

Achsdämpfungsprüfstand	MSD 3000
Achslast prüfbar (normal / verstärkt)	2200 kg
Achslast (überfahrbar)	2500 / 13 500* kg
Antriebsleistung	1,1 kW
Erregerfrequenz	2...10 Hz
Messbereich max.	70 mm Hub
Spurbreite min / max	880 / 2200 mm
Abmessungen (L x B x H)	2320 x 800 x 280 mm
Spannungsversorgung / Absicherung	230 V / 1 Phase, 50/60 Hz / 16 A

Radlauftester	MINC-PROFI	MINC I EURO
Achslast prüfbar	2000 kg	3000 kg
Messbereich	0...20 m/km	
Abmessungen (L x B x H)	1020 x 460 x 80 mm	
Spannungsversorgung / Absicherung	230 V, 50/60 Hz / 10 A	

*Option

Anlage 6.5

1 Wichtige grundlegende Informationen

1.1 Grundausrüstung:

1.1.1 Prüfplatten verzinkt, mit Streckmetall

- Kabelabdeckplatten zwischen den Prüfplatten
- Auffahrrampen oder Fundamentrahmen
- Anzeigegehäuse mit Elektronik und 2 dreistelligen Digitalanzeigen
- Kabelsatz
- Steckernetzteil
- Betriebsanleitung

1.2 Zusatzausrüstung:

- Pedalkraftmesser

1.3 Verantwortlichkeiten des Herstellers nach:

- | | |
|----------------------------------|---|
| - EG-Konformitätserklärung: | Die Erklärung des Herstellers über die Erfüllung nachfolgender Richtlinien liegt vor: |
| - EG-Maschinenrichtlinie: | 2006/42/EG vom 17. Mai 2006 |
| - EMV-Richtlinie: | 2004/108/EG vom 15. Dezember 2004 |
| - RL Elektrische Betriebsmittel: | 2006/95/EG vom 12. Dezember 2006 |

1.4 Verantwortlichkeiten des Betreibers

- Die Installation des Gerätes muss von sachkundigem Fachpersonal durchgeführt werden
- Das Gerät darf nur bestimmungsgemäß verwendet werden
- Vor der Inbetriebnahme des Gerätes ist diese Betriebsanleitung sorgfältig zu lesen. Die Bedienungsanleitung ist jederzeit gut zugänglich bereitzuhalten
- Personenschäden, die durch Nichtbeachtung dieser Betriebsanleitung entstehen, sind durch das Produkthaftungsgesetz nicht abgedeckt
- Für Schäden am Prüfstand bzw. am Fahrzeug, die durch Nichtbeachtung dieser Betriebsanleitung entstehen, übernimmt die Firma Sherpa keine Haftung
- Sicherheitshinweise warnen vor Gefahren und helfen Personen- und Sachschäden zu vermeiden. Zu Ihrer eigenen Sicherheit sind die Sicherheitshinweise dieser Betriebsanleitung unbedingt einzuhalten
- Die jeweils gültigen nationalen und internationalen Sicherheitsvorschriften zum Arbeitsschutz sind einzuhalten. Jeder Bediener ist für die Einhaltung der für ihn geltenden Vorschriften selbst verantwortlich und muss sich selbständig um die jeweils aktuellen Vorschriften bemühen
- Die Betriebsanleitung ist ein Bestandteil der Maschine
- Die Betriebsanleitung muss über die gesamte Lebensdauer der Maschine bewahrt und gepflegt (d.h. aktualisiert) werden
- Die Betriebsanleitung muss an jeden etwaigen nachfolgenden Besitzer der Maschine weitergegeben werden

1.5 Externe Schnittstellen

- ASA-Livestream Schnittstelle
- Externer Radarsensor

5 Technische Daten

5.1 Identifikation:

- Die komplette Ausrüstung des Bremsprüfstands wird durch ein Typschild an der Elektroschaltbox und an den Prüfplatten folgende Angaben gekennzeichnet:
- Hersteller -Typ und Ausführung -Seriennummer -Baujahr
- Spannungsversorgung in V und ACNPE -Stromaufnahme in A

5.2 Technische Daten

5.2.1 Technische Daten Anzeige PPS-Eco und Eco-D:

-	LED-Anzeigegröße	75	mm
-	Mess- / Anzeigebereich	0 – 9,99	kN
-	Maße Anzeigeschrank	(B x H x T) 350 x 180 x 55	mm
-	Versorgungsspannung	230, 50 / 60 Hz	10 A träge
-	Gewicht	3	kg
-	Lackierung Gehäuse, pulverbeschichtet	schwarz	RAL 9011

5.2.2 Technische Daten Prüfplatten PPS-100-Eco:

-	Feuerverzinkte Prüfplatten mit	Streckmetall	
-	Achslast / Prüflast	max. 4	t
-	Plattenlagerung, verschleißarme	Kunststoff-Kugellagerung	
-	Meßsystem, verschleißfreies	elektronisches DMS-Meßsystem	
-	Versorgungsspannung DC	12	V
-	Plattenmaß	(L x B x H) 700 x 610 x 50	mm
-	Gesamtlänge mit Rampen	1.220	mm
-	Empfohlene Aufstellbreite mittig	ca. 820	mm
-	Gewicht Prüfmechanik pro Platte	35	kg

5.2.3 Technische Daten Prüfplatten PPS-101-Eco und Eco-D:

-	Feuerverzinkte Prüfplatten mit	Streckmetall	
-	Achslast / Prüflast	max. 4	t
-	Plattenlagerung, verschleißarme	Kunststoff-Kugellagerung	
-	Meßsystem, verschleißfreies	elektronisches DMS-Meßsystem	
-	Versorgungsspannung DC	12	V
-	Plattenmaß Bremsplatten	(L x B x H) 1.760 x 610 x 50	mm
-	Gesamtlänge mit Rampen	2.280	mm
-	Empfohlene Aufstellbreite mittig	ca. 820	mm
-	Gewicht Prüfmechanik pro Platte	100	kg

6 Anlagenbeschreibung

6.1 Verwendungsbereich

- Bei der vorliegenden Anlage handelt es sich um eine Platten-Bremsenprüfanlage zum Prüfen von Bremsen bei Vierspurigen-, dreispurigen- und einspurigen Fahrzeugen mit einem maximalen Achsgewicht von 4000 kg
- Die Prüfanlage ist für die Prüfung von Fahrzeugen nach Rili 2003 für §29 StvZO zugelassen
- Die Prüfplatten sind mit Streckmetall ausgestattet
- Die Anzeige der Messwerte erfolgt über LED-Anzeigen
- Die Anlage darf nur zum angegebenen Zweck verwendet werden

6.1.1 Sämtliche Allradfahrzeuge sind prüfbar

6.2 Anforderung nach Rili 10/2011

Ab 01. Oktober 2011 sind in Deutschland nur noch Plattenprüfstände nach Richtlinie 10/2011 für Fahrzeuguntersuchung nach § 29 StVZO zugelassen.

6.2.1 Ausstattung:

- Minimale Plattenlänge 1,5 m
- ASA- Livestream Schnittstelle
- Überwachung der Auffahrgeschwindigkeit

6.2.2 Prüfung:

- Auffahrgeschwindigkeit zwischen 8-12 km/h
- Die Bremskraft muss beim Abbremsen integral im Bereich zwischen 5 und 2 km/h ermittelt werden, minimale Messzeit 0,4 sec.
- Diese Vorgaben sind nur für die Betriebsbremsen gültig.
- Bei Feststellbremsen dürfen die Spitzenwerte wie bisher verwendet werden

6.2.3 Anzeige Bremskraft:

- Bei richtiger Prüfung leuchten die Digitalanzeigen
- Bei abweichender Prüfung blinken die Digitalanzeigen

Der Prüfstandstyp: PPS-101-Eco- D ist serienmäßig nach der Richtlinie 10/2011 ausgestattet

Anlage 11.1

21491550

339 651 12/2024 © TÜV, TÜV und TÜV sind eingetragte Marken. Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung.



Fahrzeug-Sicherheitsprüfung GmbH & Co KG

Amtlich anerkannte Überwachungsorganisation

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17020:2012 akkreditierte Inspektionsstelle
Die Akkreditierung gilt nur für den in der Urkundenanlage (D-15-11163-01-00) aufgeführten Akkreditierungsumfang

Hauptuntersuchung (§ 29 StVZO)

Prüfbescheinigung nach Richtlinie 2014/45 EU

Inspection certificate according to directive 2014/45 EU

Ihr Servicebüro:
Thomas-Mann-Str. 16
01219 Dresden
Tel.: 0351/4715643

Untersuchungsbericht:
TESTG12Y-0

Fahrzeughalter:in:
Hoang Thong Le- Ngo

(1) Fahrzeug-Ident-Nr.	WF0BXXGAJB1K39287 -	(2) Amtl. Kennzeichen	Z CP 965 (D)
(3) Prüfort:	0001919940 / Österreichischer Str. 95 / 01279 Dresden	(3) Prüftermin:	16.05.2025, 10.43 Uhr
(4) Stand Wegstreckenzähler:	101365 Km	(5) Fahrzeugklasse:	01 / 0203 / PERSONENKRAFTWAGEN / GESCHLOSSEN
Fahrzeughersteller:	FORD (D) / 0928	Fahrzeugtyp:	JBS / 93004Z
Variante:	DHF1/5C01	Version:	
Zulässige Gesamtmasse:	1420 kg	Erstzulassung / Letzte HU:	19.03.2002 / 05.2023
Handelsname (D.3)	FIESTA	Werkstoff	cgrUr%1h

Sehr geehrte(r) Herr Le- Ngo,

an Ihrem Fahrzeug wurden zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Mängel festgestellt

(7) Ergebnis: Ohne Mängel	HU-Plakette: Zugeteilt	(8) Nächste Untersuchung spätestens bis: 05/2027
---------------------------	------------------------	--

(9) Verantwortliche Person: Dipl.-Ing. (FH) Arne Konneken (90100548)
Fahrzeug-Sicherheitsprüfung GmbH & Co KG

Tel.: 0173 6202154

Stempel und Unterschrift F4.28.1 / Z1.25.5 1. Exemplar

(10) Sonstige Angaben:

Messwerte Betriebsbremse

Achse	Links	Rechts	Diff. (%)	Sum. (daN)	Blockiert
1	246	238	4,7	500	Ja
2	142	130	7,7	300	Ja

Abbr. BBA: 56,3 %

Messwerte Feststellbremse*

Achse	Links	Rechts	Diff. (%)	Sum. (daN)	Blockiert
1	112	102	9,0	277	Ja

Abbr. FBA: 19,5 %

Angaben zu UMA: Datum der Prüfung: 16.05.2025, Kontrollnr./Nachweis: entfällt, Prüforganisation:

Entgeltinformation - berechtigt nicht zum Vorsteuerabzug
Prüfungsentgelt in Euro
Vorgaben nach Nr 1 Anl. VIIIa StVZO

99,81 inkl. USt. 19,00 %
1,19 inkl. USt. 19,00 %

Gesamt

101,00 inkl. USt. 19,00 %