

Bernburg  
Dessau  
Köthen



**Hochschule Anhalt**  
Anhalt University of Applied Sciences

**emw**

Fachbereich  
Elektrotechnik, Maschinenbau  
und Wirtschaftsingenieurwesen

## Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Toni Jecht

---

Vorname Nachname

Maschinenbau, 2010, 4052091

---

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema:

**Analyse der Wirkungsprüfung von  
Bremsanlagen im Rahmen der gesetzlich  
vorgeschriebenen Hauptuntersuchung  
nach §29 StVZO**

Prof. Dr. Jürgen Pohl

---

Vorsitzende(r) der Bachelorprüfungskommission/1. Prüfer(in)

Prof. Hansjörg Leser

---

2. Prüfer(in)

17.03.2014

---

Abgabe am

## **Kurzzusammenfassung**

Aufgabe dieser Arbeit ist die Analyse der Wirkungsprüfung von Bremsanlagen im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Hauptuntersuchung nach §29 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung. Dieses Thema wurde für die TÜV NORD Mobilität an der TÜV NORD Station Dessau-Roßlau bearbeitet. Es werden Grundlagen über Bremsanlagen vermittelt sowie gesetzliche Vorschriften zur Wirkungsprüfung von Bremsanlagen aufgeführt und deren zulässige Bremsprüfmethoden verglichen. Schwerpunkt der Arbeit ist die Analyse und Bewertung des Prüfvorganges bei der Wirkungsprüfung von Bremsanlagen, um auftretende Einflussgrößen und Auswirkungen aufzuzeigen. Um die Bedeutung der Wirkungsprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung zu verdeutlichen, ist es unerlässlich, Schäden an Bremsanlagen im Zusammenhang mit der Wirkung der Bremse zu vergleichen. Autor dieser Arbeit ist Toni Jecht, Maschinenbaustudent der Fachhochschule Köthen.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	I
Tabellenverzeichnis .....	II
Abkürzungsverzeichnis .....	III
1 Einleitung .....	1
2 Geschichte und Entwicklung der Kraftfahrzeugbremse .....	2
3 Aufgabe und Wirkungsweise der Bremse .....	4
4 Komponenten hydraulischer PKW-Bremsanlagen .....	9
5 Rechtliche Grundlagen .....	15
5.1 §65 StVZO .....	15
5.2 §41 StVZO .....	15
5.3 §29 StVZO .....	16
5.4 71/320 EWG .....	17
6 Zulässige Bremsenprüfmethoden .....	17
6.1 Der Rollenbremsprüfstand .....	17
6.2 Der Plattenbremsprüfstand .....	19
6.3 Das Verzögerungsmessgerät .....	20
7 Analyse der Wirkungsprüfung von Bremsanlagen .....	21
8 Entwürfe zur Verbesserung der Wirkungsprüfverfahren und der Komponenten von Bremsanlagen .....	41
9 Zusammenfassung und Ausblick .....	43
Anlagenverzeichnis .....	IV
Literaturverzeichnis .....	XII
Internetquellen .....	XII
Selbstständigkeitserklärung .....	XIII

## Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Klotzbremse.....	2
Abb.2: Wirkende Kräfte beim Bremsen.....	5
Abb.3: „Schwarz-weiß-Aufteilung“.....	6
Abb.4: „Diagonal-Aufteilung“.....	7
Abb.5: „Dreieck-Aufteilung“.....	7
Abb.6: „Vier-Zwei-Aufteilung“.....	8
Abb.7: „Vier-Vier-Aufteilung“.....	8
Abb.8: Unterdruck- Bremskraftverstärker.....	9
Abb.9: Bremsenkennwert C* bei Radbremsen.....	10
Abb.10: Trommelbremse (Simplex).....	11
Abb.11: Trommelbremse (Duplex).....	11
Abb.12: Trommelbremse (Servo).....	12
Abb.13 Trommelbremse (Duo-Servo).....	12
Abb.14: Festsattel.....	12
Abb.15: Schwimmrahmensattel.....	13
Abb.16: Faustsattel.....	13
Abb.17: EMF.....	14
Abb.18: Aktuator.....	14
Abb.19: Antriebsrollen und Tastrolle des Rollenbremsprüfstandes.....	18
Abb.20: Aufbau Rollenbremsprüfstand.....	18
Abb.21: Einachs-Plattenbremsprüfstand.....	20
Abb.22: Ausdruck VZM(1).....	21
Abb.23: Auswertung der verbauten Radbremsarten.....	22
Abb.24: Auswertung der verbauten Feststellbremsen.....	22
Abb.25: Auswertung der Mängel an Bremsanlagen.....	23
Abb.26: Auswertung Bremskraft Plattenbremsprüfstand.....	26
Abb.27: Auswertung Bremskraft Rollenbremsprüfstand.....	27
Abb.28: Ausdruck VZM(2).....	28
Abb.29: Berechnung der Abbremsung in Mobile TÜV 2.....	29
Abb.30: Ungleichmäßig verschlissene Bremsscheibe/Bremsbelag.....	30
Abb.31: Bremsbelag mit Verschleißanzeige.....	31
Abb.32: beanstandetes Tragbild“ einer Bremsscheibe.....	32
Abb.33: Trägerplatte ohne Bremsbelag.....	32
Abb.34: Messskala Rollenbremsprüfstand.....	39

## Tabellenverzeichnis

Tab.1: Haftreibungszahlen von Luftreifen auf Straßendecken.....	4
Tab.2: Auswertung Einflussfaktor Profiltiefe-Rollenbremsprüfstand.....	34
Tab.3:Auswertung Einflussfaktor Profiltiefe am Plattenbremsprüfstand.....	34
Tab.4: Auswertung Reproduzierbarkeit der Messverfahren.....	35
Tab.5: Einflussfaktor Luftdruck.....	36
Tab.6: Auswertung Einflussfaktor Nasssiedepunkt Bremsflüssigkeit.....	37
Tab.7: Auswertung Einflussfaktor Bremsscheibentemperatur.....	38
Tab.8: Auswertung Einflussfaktor Schnee-VZM.....	38
Tab.9: Auswertung Einflussfaktor Prüfgeschwindigkeit-Plattenbremsprüfstand.....	39
Tab.10: Auswertung Wirkungsprüfverfahren Einflussfaktoren.....	40

## Abkürzungsverzeichnis

<u>Abkürzung</u>	<u>Bedeutung</u>
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
PKW	Personenkraftwagen
ABS	Anti-Blockier-System
ESP	Elektronischen-Stabilitäts-Programm
BBA	Betriebsbremsanlage
VA	Vorderachse
HA	Hinterachse
FSD	Fahrzeug-Systemdaten
VZM	Verzögerungsmessgerät
EZ	Erstzulassung
FBA	Feststellbremsanlage
BA	Bremsanlage
EMF	elektromechanische Feststellbremse
ABV	Anti-Blockier-Verhinderer
OBD	On-Board-Diagnose
Stg	Steuergerät
HU	Hauptuntersuchung

## 1 Einleitung

Das Kraftfahrzeug zählt in der Bundesrepublik Deutschland zu den beliebtesten Verkehrsmitteln mit über 43,4 Millionen zugelassenen Personenkraftwagen<sup>1</sup>. Um die Verkehrssicherheit von Kraftfahrzeugen zu überprüfen, wurde am 01.12.1951 die Hauptuntersuchung eingeführt<sup>2</sup>. Dank dieser gesetzlichen Vorschrift sind Kraftfahrer in Deutschland gesetzlich verpflichtet, alle 1 bzw. 2 Jahre zu einer Prüforganisation ihrer Wahl zu fahren, um ihr Fahrzeug von einem Sachverständigen auf Verkehrssicherheit überprüfen zu lassen. Einer der wichtigsten Bestandteile der Hauptuntersuchung ist die Überprüfung der Bremsanlage. Selbst geringe Mängel an Bremsanlagen führen zu fatalen Auswirkungen, wie zum Beispiel einseitiger Bremswirkung bis hin zum Totalausfall der kompletten Bremsanlage. Aufgabe dieser Arbeit ist es, die Wirkungsprüfung von Bremsanlagen bei der Hauptuntersuchung zu analysieren und auszuwerten. Es sollen Einflussfaktoren auf die Bremswirkung der verschiedenen Bremsprüfmethoden aufgezeigt sowie ausgewertet und ein geeigneter Entwurf zur Verbesserung vorgestellt werden. Um den Leser in die Thematik einzuführen, ist es unumgänglich, Bauteile, Funktion und Arten von Bremsanlagen näher zu erläutern und einen geschichtlichen Rückblick aufzuführen. Die Aufgabenstellung wurde für die TÜV NORD Mobilität GmbH & Co KG in der TÜV NORD Station Dessau bearbeitet. In dieser Prüfstation befinden sich ein Rollenbremsprüfstand und ein Verzögerungsmessgerät, um die Wirkung der Bremse zu überprüfen. Durch die baulichen Abmaße des Prüfstandes können nur PKW und Kleintransporter der Klasse M1 mit geringer Spurweite geprüft werden. Aufgrund der Tatsache, dass fast alle PKW mit hydraulischen Bremsanlagen ausgestattet sind, erfolgt die Eingrenzung der Thematik auf hydraulische PKW-Bremsanlagen. Hauptaufgabe ist es, Versuchswerte mit den verschiedenen Bremsprüfmethoden aufzunehmen und Einflussfaktoren auf die Bremswirkung zu untersuchen, um die Wirkungsprüfverfahren vergleichen zu können und eine geeignete Optimierung des Prüfungsvorganges und deren Einflussfaktoren zu erreichen.

---

<sup>1</sup>[http://www.kba.de/clin\\_031/nn\\_125264/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true#rechts](http://www.kba.de/clin_031/nn_125264/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand__node.html?__nnn=true#rechts) (18.01.2014,16.32Uhr)

<sup>2</sup><http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/der-grosse-check-60-jahre-hauptuntersuchung/5898686.html> (18.01.2014,18.44Uhr)

## 2 Geschichte und Entwicklung der Kraftfahrzeugbremse

Als Bremse wird eine Einrichtung bezeichnet, die der Verzögerung dient. Physikalischer Hintergrund ist, dass Bewegungsenergie mittels Reibung in Wärme umgewandelt wird. Die Entstehung einer solchen Verzögerungseinrichtung, die wir heute Bremse nennen, reicht bis in das 18. Jahrhundert zurück. Damals wurden Bremskeile und Ketten genutzt, um Kutschen gegen das Wegrollen zu sichern sowie zu verzögern. Mit der beginnenden Entwicklung der Fahrzeugindustrie Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Bremsanlagen weiterentwickelt. Die ersten Bremsen wurden Band-, Klotz- oder Keilbremsen genannt<sup>3</sup>.

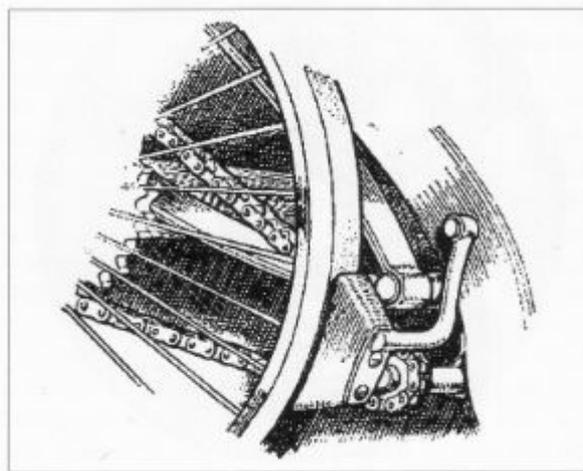


Abb.1: Klotzbremse

Quelle: Breuer, B.; Bill, K.H. [Hrsg.]: Bremsenhandbuch  
2.Aufl., Vieweg Verlag, 2004,S.1

Das Hauptaugenmerk wurde jedoch nicht auf die Bremse, sondern auf den Verbrennungsmotor gerichtet. Im Laufe der Zeit wurden die Verbrennungsmotoren jedoch immer leistungsfähiger und somit steigerten sich auch die Höchstgeschwindigkeiten von Kraftfahrzeugen. Dies veranlasste die damaligen Ingenieure, mehr Forschungsarbeit in die Entstehung neuer Bremsanlagen zu stecken. 1902 wurde die mechanisch betätigte Radbremse erfunden. Nach der Außenbandbremse und Innenbackenbremse wurde als Meilenstein von F.W. Lanchester die Scheibenbremse erfunden<sup>4</sup>. Die hydraulisch betätigte Vierradbremse erfand 1917 Malcolm Loughead, welche erstmals in Serie mit dem Chrysler 70 im Jahre 1924 ihren Einsatz fand<sup>5</sup>. Die gleichmäßige Bremskraftverteilung auf alle vier Räder wurde mittels dem Pascal'schen Gesetz erreicht<sup>6</sup>.

<sup>3</sup>Breuer, B.; Bill, K.H. [Hrsg.]: Bremsenhandbuch, a.a.O., S.1

<sup>4</sup>Breuer, B.; Bill, K.H. [Hrsg.]: Bremsenhandbuch, a.a.O.,S.2ff

<sup>5</sup><http://www.linzing.de/von-der-bandbremse-zum-esp/> (20.01.2014,12.44Uhr)

<sup>6</sup><http://www.linzing.de/von-der-bandbremse-zum-esp/> (20.01.2014,14.34Uhr)

Meilenstein in der Bremsenentwicklung ist die 1927/1928 erfundene ATE-Reynold Bremse, welche eine innere Verstärkung aufweist. Besonderheit bei dieser Trommelbremse war, dass der erste Radbremszylinder über die Bremsbacken auf den zweiten Radbremszylinder wirkte und somit die Bremskraft erhöhte<sup>7</sup>. Zur damaligen Zeit wurden Einkreissysteme bei hydraulischen Bremsen verbaut, welche das Problem der Dampfblasenbildung mit sich brachten. Bis zum Jahre 1950 wurden meist Trommelbremsen an Vorder- sowie Hinterachsen, wie zum Beispiel die Simplexbremse in Kraftfahrzeugen, verbaut. Diese Art von Radbremse findet bis heute an der hinteren Achse von PKW Verwendung. Die Simplexbremse wurde stetig weiterentwickelt und so entstanden durch verschiedene Anordnungen der Radbremszylinder in der Bremstrommel neue Trommelbremsarten. Ab den 60er Jahren wurden Scheibenbremsen als vordere Radbremse eingesetzt, da nun auch das Gewicht der Fahrzeuge immer größer wurde und eine größere Bremswirkung erforderte. Durch die ansteigenden Betätigungskräfte wurden erste Bremskraftverstärker verbaut. Die hydraulisch betätigte Scheibenbremse hat sich bis heute etabliert und wird bei den meisten Fahrzeugen an beiden Achsen eingesetzt. Bei leichteren Fahrzeugen sind aus Kostengründen an den Hinterachsen meist Trommelbremsen verbaut. Durch verschiedenste aktive Fahrsicherheitssysteme, wie zum Beispiel ABS und ESP, konnte die Fahrsicherheit in den letzten Jahren enorm verbessert werden. Heutige Bremsanlagen in Hybridfahrzeugen haben nicht nur die Aufgabe, das Fahrzeug sicher zu verzögern, sondern nutzen die entstehende Energie beim Bremsen, um diese in Form von elektrischer Energie wieder in die Fahrzeugbatterie zu speisen. Tritt der Fahrer beispielsweise mit geringer Betätigungskraft das Bremspedal, so werden Generatoren angesteuert, welche eine leichte Verzögerung hervorrufen. Dieser Vorgang, der Rekuperation genannt wird, kann den Sprit- und Stromverbrauch bis zu 20 Prozent senken<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup>Breuer, B.; Bill, K.H. [Hrsg.]: Bremsenhandbuch, a.a.O.,S.4

<sup>8</sup>[http://www.t-online.de/auto/technik/id\\_56437650/auto-technik-so-funktioniert-die-rekuperation.html](http://www.t-online.de/auto/technik/id_56437650/auto-technik-so-funktioniert-die-rekuperation.html)  
(20.01.2014,17.34Uhr)

### 3 Aufgabe und Wirkungsweise der Bremse

Bremsanlagen an Kraftfahrzeugen haben die Aufgabe, die Geschwindigkeit des Fahrzeuges zu verringern oder es zum Stillstand zu bringen und je nach Fahrerwunsch, das Kraftfahrzeug auch gegen das Wegrollen zu sichern. Die Einleitung des Bremsvorganges im Fahrbetrieb erfolgt bei einem PKW mittels einer Betätigungskraft auf das Bremspedal. Die hierbei entstehende Kraft dient als Eingangsgröße. Heutzutage schon alltäglich, wird diese Kraft durch den Bremskraftverstärker gesteigert und wirkt auf den Kolben im Hauptbremszylinder. Der nun erzeugte Druck der Bremsflüssigkeit wird über Bremsleitungen und Bremsschläuche zu den einzelnen Radbremszylindern bzw. Kolben der Radbremse geführt und presst die Bremsbeläge an die Bremsscheibe bzw. Bremstrommel. Diese Spannkraft ist die Gesamtkraft, die auf die Bremsbeläge in Reibungsbremsen ausgeübt wird und durch die entstehende Reibung die Bremskraft bewirkt. Multipliziert man die durch die Spannkraft hervorgerufenen Reibkräfte mit dem Abstand der Angriffspunkte dieser Kräfte von der Drehachse, erhält man das Bremsmoment.<sup>9</sup> Die dadurch entstehende Reibung mindert die Bewegungsenergie des sich drehenden Rades. Die entstehende Differenzgeschwindigkeit, geteilt durch die Fahrzeuggeschwindigkeit, nennt man Schlupf<sup>10</sup>. Durch den Schlupf, der sich beim Bremsen zwischen Fahrbahn und Reifen entwickelt, entsteht der Bremskraftbeiwert. Die Größe des Bremskraftbeiwertes ist abhängig von der Fahrbahnoberfläche, dem Fahrbahnzustand sowie Reifenzustand, der Reifenkonstruktion und dem Bremsschlupf<sup>11</sup>.

Fahrge- schwin- digkeit	Reifen- zustand	Straße trocken	Straße naß (Wasser- höhe 0,2 mm)	Starker Regen (Wasser- höhe 1 mm)	Wasser- pfützen (Wasser- höhe 2 mm)	Vereist (Glatt- eis)
km/h		$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$	$\mu_{HF}$
50	neu	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 und kleiner
	abgenützt	1	0,5	0,4	0,25	
90	neu	0,8	0,6	0,3	0,05	
	abgenützt	0,95	0,2	0,1	0,05	
130	neu	0,75	0,55	0,2	0	
	abgenützt	0,9	0,2	0,1	0	

Tab.1: Haftreibungszahle von Luftreifen auf Straßendecken

Quelle: Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge,

1.Ausgabe, VDI Verlag ,1994, S.20

<sup>9</sup>Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, a.a.O., S.9

<sup>10</sup>Leiter, R.; Mißbach: Bremsanlagen. 1.Aufl., Vogel Buchverlag,2004, S.53

<sup>11</sup>Staudt, W.; et al.: Handbuch Fahrzeugtechnik Band 3,1.Aufl.,Bildungsverlag Eins,S.129

Multipliziert man den Bremskraftbeiwert mit der Spannkraft ergibt sich die Größe der Bremskraft an diesem Rad<sup>12</sup>.

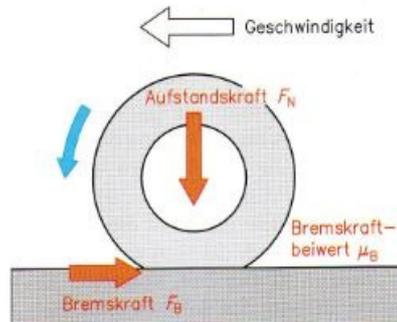


Abb.2: Wirkende Kräfte beim Bremsen

Quelle: Staudt, W.; et al.: Handbuch Fahrzeugtechnik Band 3, a.a.O., S.128

Bremsschlupf tritt also auf, sobald das Rad sich langsamer dreht als es der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit entspricht<sup>13</sup>. Das Maximum erreicht die Haftreibungszahl zwischen 10% und 40% Bremsschlupf. Bei einem Fahrzeug ohne ABS bedeutet dies im Falle einer Vollbremsung, dass der Schlupf 100% beträgt und somit das Rad blockiert. Dieser Zustand ist besonders im Kurvenfahren sehr gefährlich, da aufgrund mangelnder Seitenführungskräfte am Rad, das Fahrzeug nicht mehr lenkbar ist. Sollte dieser Zustand eintreten, besteht Lebensgefahr für Fahrzeugführer sowie andere Verkehrsteilnehmer. Fahrzeuge, welche mit ABS ausgestattet sind, ermöglichen das Lenken in Gefahrensituationen bei einer durch den Fahrer eingeleiteten Vollbremsung. Wie man deutlich erkennen kann, ist eine Hauptaufgabe des Reifens, Seitenführungskräfte zu übertragen. Dazu muss die Seitenwand des Reifens eine hohe Steifigkeit aufweisen, um Brems- und Seitenführungskräfte aufnehmen zu können. Bremsanlagen werden nach der Art der Anforderung durch den Gesetzgeber in der Richtlinie 71/320/EWG Anhang 1 eingeteilt<sup>14</sup>. Man unterscheidet die Betriebsbremsanlage, die Hilfsbremsanlage, die Feststellbremsanlage und die Dauerbremsanlage. Unter der BBA versteht man die Gesamtheit der Bauteile, mit denen ein Kraftfahrzeug im normalen Fahrbetrieb „abstufbar“ verzögert werden kann bis hin zum Stillstand.

<sup>12</sup>Leiter, R.; Mißbach, S.:Bremsanlagen, a.a.O., S. 53ff

<sup>13</sup>Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, a.a.O., S.29

<sup>14</sup><http://www.tuevdekra.de/sachvip/index.php?queryString=startTypTeile%3Dtrue&praefix=&permanentlogin=1> (23.01.2014,14.35Uhr)

Unter „abstufbar“ versteht man, dass die Bremskraft durch Einwirken der Betätigungseinrichtung zu jedem beliebigen Zeitpunkt erhöht sowie verringert werden kann. Die BBA muss dem Fahrzeugführer eine hinreichende Feinabstufung der Bremskraft ermöglichen. Unter der Feststell-Bremsanlage versteht man die Gesamtheit der Bauteile, die das Fahrzeug im Stand festhalten sowie bei geneigter Fahrbahn gegen das Wegrollen sichern, auch bei Abwesenheit des Fahrzeugführers. Dieser Vorgang kann zum einen durch die klassische Handbremse oder durch eine elektromechanische Feststellbremse erfolgen. Dauerbremsanlagen haben die Aufgabe, die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zu verringern bzw. beizubehalten, ohne kritische Wärmeentwicklung entstehen zu lassen. Gerade bei langen Bergabfahrten und ständigem Bremsen werden die Bremsscheiben und Bremsbeläge extrem heiß und können nicht die gewünschte Verzögerung bieten. Im PKW-Sektor sind Dauerbremsanlagen nicht verbreitet. Hier nutzt man vielmehr den Effekt der Motorbremse, um ein Fahrzeug unterstützend bei einer Talfahrt zu verzögern. Unter der Hilfs-Bremsanlage versteht man eine vom Gesetzgeber vorgeschriebene Bremse, wenn die Betriebsbremsanlage versagt. Dies kann zum einen der jeweils intakte Kreis einer Betriebsbremsanlage sein oder die Feststellbremse. Der §41 der StVZO sieht vor, dass Kraftfahrzeuge zwei voneinander unabhängige Bremsanlagen haben oder eine Bremsanlage, mit der Besonderheit, dass diese zwei voneinander unabhängige Bedienungseinrichtungen hat<sup>15</sup>. Dies soll sicherstellen, dass beim Ausfall eines Bremskreises der zweite Bremskreis noch intakt ist und das Fahrzeug sicher abgebremst werden kann. Realisiert wird die Zweikreisbremsanlage durch verschiedene Anordnungen der Bremskreise nach DIN 74000<sup>16</sup>. Bei der „Schwarz-weiß-Aufteilung“(TT) wirkt der 1. Kreis auf die Vorderachse und der 2. Kreis auf die Hinterachse.

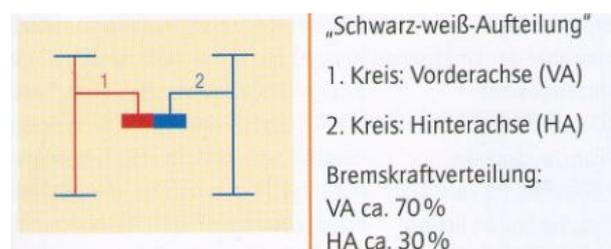


Abb.3: „Schwarz-weiß-Aufteilung“

Quelle: (vgl.) Döringer, H.-D. et al., Kraftfahrzeug-Technologie, 4.Aufl.,Holland + Josenhans, 2009, S.443

<sup>15</sup>Beck, C.H.; Beck`sche Textausgaben Straßenverkehrsrecht, 82.Ergänzungslieferung 2013,Verlag C.H. Beck oHG, S.51 StVZO

<sup>16</sup><http://www.patent-de.com/20011122/DE10024848A1.html> (23.01.2014,09.34Uhr)

Diese Art der Aufteilung ist konstruktiv einfach zu bewerkstelligen und gilt daher als kostengünstige und einfache Lösung. Beim Ausfall eines Bremskreises besteht durch den 2. Kreis noch eine gute Bremswirkung. Eine weitere Möglichkeit für die Anordnung bietet die „Diagonal-Aufteilung“(X).



Abb.4: „Diagonal-Aufteilung“

Quelle: (vgl.) Döringer, H.-D. et al., Kraftfahrzeug-Technologie, a.a.O., S.443

Hier wirkt der 1. Kreis beispielsweise vom rechten Vorderrad zum linken Hinterrad und der 2. Kreis vom linken Vorderrad zum rechten Hinterrad. Dies hat den Nachteil, dass beim Ausfall eines Bremskreises nur ein Vorderrad mit dem gegenüberliegenden Hinterrad abgebremst wird. Dieses Bremsverhalten kann im Ernstfall bedeuten, dass das Fahrzeug um die Hochachse giert. Bei der „Dreieck-Aufteilung“(LL) versorgen der 1. und 2. Kreis beide Radbremszylinder der VA und jeweils einen Radbremszylinder der gegenüberliegenden Achse.

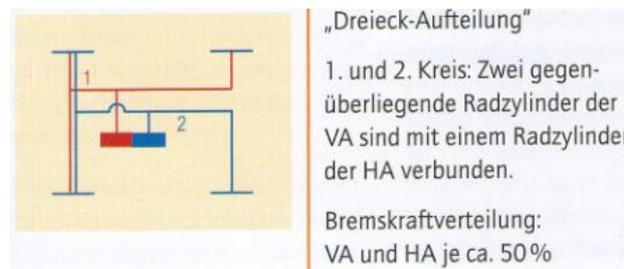


Abb.5: „Dreieck-Aufteilung“

Quelle: (vgl.) Döringer, H.-D. et al., Kraftfahrzeug-Technologie, a.a.O., S.443

Besonderheit ist bei dieser Aufteilungsart, dass immer beide Vorderräder mit halber Bremskraft und ein Hinterrad beim Ausfall eines Bremskreises abgebremst werden. Diese Aufteilung ist relativ teuer und führt wie bei der „Diagonalaufteilung“ zu unterschiedlichen Bremskräften der einzelnen Achsen. Um einen Bremskreis auf alle 4 Radbremsen wirken zu lassen, ist die „Vier-Zwei-Aufteilung“ (HT) erforderlich.



Abb.6: „Vier-Zwei-Aufteilung“

Quelle: (vgl.) Döringer, H.-D. et al., Kraftfahrzeug-Technologie, a.a.O., S.443

Hierfür wirkt der 1. Kreis auf alle vier Radbremszylinder und der 2. Kreis auf beide Radbremszylinder der Vorderachse. Die HT-Bremskreisaufteilung ist in Kraftfahrzeugen relativ selten zu finden, da die Hinterradbremse bei Ausfall des 2. Bremskreises zum Überbremsen neigt und dadurch die Fahrstabilität verloren geht. Eine Aufteilung, bei der jeder Kreis auf alle vier Radbremsen wirkt, nennt man die „Vier-Vier-Aufteilung“(HH).

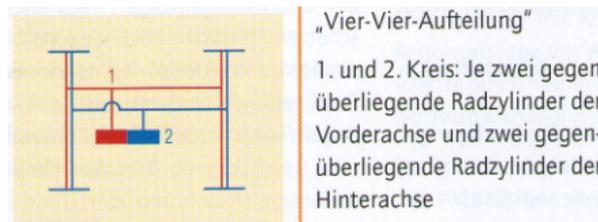


Abb.7: „Vier-Vier-Aufteilung“

Quelle: (vgl.) Döringer, H.-D. et al., Kraftfahrzeug-Technologie, a.a.O., S.443

Vorteil ist, dass beim Ausfall eines Bremskreises beide Achsen mit der Hälfte der Bremskraft abgebremst werden können und das Fahrzeug dadurch spurstabil bleibt. Eine Regelung der Bremskraft an der HA ist bei allen Bremskreisen notwendig, da durch die Nickbewegung beim Bremsen die hintere Achse entlastet wird und zum Blockieren neigt. Die Belastung der Achsen ändert sich beim Bremsen aufgrund dynamischer Gewichtsverlagerung auf bis zu 70% für die Vorderachse und circa 30% für die Hinterachse<sup>17</sup>. Um dem entgegenzuwirken, sind bei einigen Fahrzeugen Bremsdruckminderer an der Hinterachse verbaut, die bei Überschreiten eines definierten Bremsdruckes einen Druckanstieg durch Sperrung verhindern. Eine weitere Art den Bremsdruck zu regulieren, ist der lastabhängige Bremskraftregler sowie die elektronische Bremskraftverteilung. Ist ein lastabhängiger Bremskraftregler verbaut, wird der Beladungszustand über eine Feder zwischen Achse und Karosserie erfasst und der Bremsdruck an der Hinterachse über Ventile verringert. Bei der elektronischen Bremskraftregelung wird beim Bremsen der Schlupfunterschied zwischen VA und HA durch Drehzahlsensoren erkannt und durch das Hydroaggregat geregelt.

<sup>17</sup>Gieger, W.; et al.: Meisterwissen im Kfz-Handwerk, 2.Aufl., Vogel Buchverlag, 2004, S.794

## 4 Komponenten hydraulischer PKW-Bremsanlagen

Grundlegend ist zu sagen, dass die einzelnen Komponenten der Bremsanlage in vier Kategorien klassifiziert werden. Man unterscheidet zwischen Betätigungseinrichtungen, Energieversorgungseinrichtungen, Übertragungseinrichtungen und Radbremsen. Unter Betätigungseinrichtungen versteht man die Teile einer Bremsanlage, die die Wirkung steuern und einleiten. Eine Betätigungseinrichtung beginnt dort, wo die Betätigungskraft unmittelbar wirkt. Diese Einleitung der Kraft kann durch den Fahrer über das Bremspedal oder den Handbremshebel geschehen. Eine Verwendung von Hilfs- oder Fremdenergie ist möglich, um das Betätigungssignal innerhalb der Bremsanlage zu übertragen. Neben Bremspedal und Handbremshebel, gehören Bremskraftverstärker und Hauptbremszylinder zu den Betätigungseinrichtungen einer PKW-Bremsanlage. Da der Bremspedalhebel meistens am oberen Ende angelenkt wird, entsteht ein Übersetzungsverhältnis durch den Hebel vom Bremspedal zum Drehpunkt. Dieser Bremshebel besteht meistens aus Kunststoff und die Pedalauflagen aus abrutschsicheren Gummiauflagen. Um dem Fahrer die Krafteinwirkung zu erleichtern, wird diese Betätigungskraft beispielsweise durch einen Unterdruck-Bremskraftverstärker erhöht.

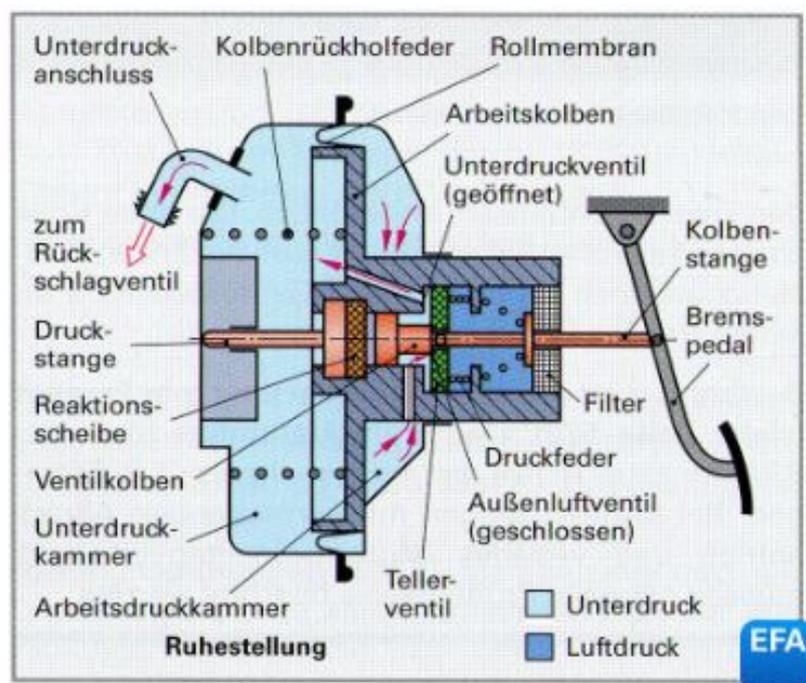


Abb.8: Unterdruck- Bremskraftverstärker

Quelle: Fischer, R.; et al.: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik,30.Aufl.

Europa Lehrmittel, 2013, S.542

Dazu wird bei Ottomotoren der Unterdruck dem Ansaugrohr entnommen und bei Dieselmotoren über eine Vakuumpumpe erzeugt. Die Druckdifferenz zwischen Luftdruck und Saugrohrdruck wirkt auf einen Arbeitskolben im Bremskraftverstärker, welcher die Druckstangenkraft auf das 4-fache verstärkt<sup>18</sup>. Bei hydraulischen Bremskraftverstärkern fördert eine Pumpe Öl in den Hydrospeicher. Über einen Membran wird der Stickstoff darin zusammengepresst und lädt dadurch den Speicher mit einem Druck von circa 150 bar<sup>19</sup>. Die durch den Bremskraftverstärker erhöhte Kraft wirkt auf einen Tandem-Hauptzylinder. Er sorgt für einen schnellen Druckaufbau in jedem Bremskreis beim Bremsen. Sollte sich das Lüftspiel durch Bremsbelagabnutzung erhöhen, oder der Bremsflüssigkeitsstand durch Temperaturschwankungen ändern, sorgt der Hauptzylinder für Volumenausgleich<sup>20</sup>. Durch den Tandem-Hauptzylinder wird die Bremsflüssigkeit auf die zwei voneinander unabhängigen Bremskreise verteilt. Über Übertragungseinrichtungen, wie hochdruckfeste Bremsschläuche und Bremsleitungen, wird die Bremsflüssigkeit zu den einzelnen Radbremsen geführt. Vorwiegend werden heute Trommelbremsen an den Hinterachsen von Kleinwagen eingesetzt. Sie bieten durch ihren Aufbau Schutz vor Schmutz und weisen die Eigenschaft der Selbstverstärkung auf. Der Bremsenkennwert  $C^*$  gibt je nach Radbremsart die Größe der Selbstverstärkung an.

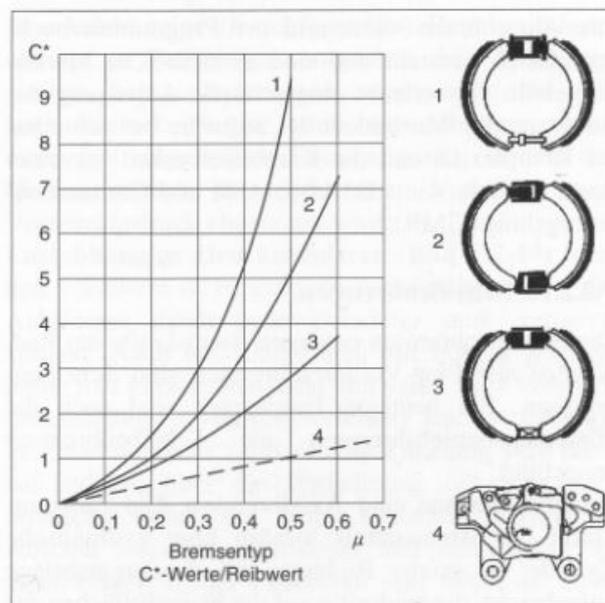


Abb.9: Bremsenkennwert  $C^*$  bei Radbremsen

Quelle: Braess, H.H.; Seiffert, U.[Hrsg]: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 5.Aufl.,Vieweg Verlag,2007, S.498

<sup>18</sup>Fischer, R.; et al.: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, a.a.O., 2013, S.542

<sup>19</sup>Fischer, R.; et al.: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, a.a.O., 2013, S.543

<sup>20</sup>Fischer, R.; et al.: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, a.a.O., 2013, S.532

Anforderungen an Radbremsen sind gute Dosierbarkeit, Verschleißfestigkeit, Standfestigkeit, hohe Zuverlässigkeit, geringer Wartungsaufwand, Unempfindlichkeit gegen Schmutz und Korrosion, gleichmäßige Wirkung, gute Dosierbarkeit, kurze Ansprechzeit, kurzer Bremsweg und ein kurzer Anschwellwert der Bremswirkung. Beim Bremsen werden die zwei gegenüberliegenden Bremsbacken über einen Radzylinder gegen die Bremstrommel gepresst. Sollte der Fahrer die Betätigungskraft verringern, werden die Bremsbeläge über Rückholfedern gelöst. Betrachtet man den Aufbau von verschiedenen Trommelbremsarten, erkennt man den Unterschied bei der Anordnung der Bremszylinder und Stützlager(Anlage1). Die einfachste Form der Trommelbremse ist die Simplexbremse. Durch die zwei Kolben der Radbremszylinder werden die Bremsbeläge über ein festes Stützlager an die Trommel gepresst. Bei der Vorwärts- und Rückwärtsfahrt besitzt diese Trommelbremsart eine auflaufende und ablaufende Bremsbacke. Durch die Kombination eines weiteren Radzylinders erhält man die Duplex-Bremse. Hier besitzt jeder Radzylinder nur einen Kolben. Bei der Vorwärtsfahrt wirken die zwei Bremsbacken auflaufend. Sollte man beim Rückwärtsfahren bremsen, wirken die Bremsbacken ablaufend.

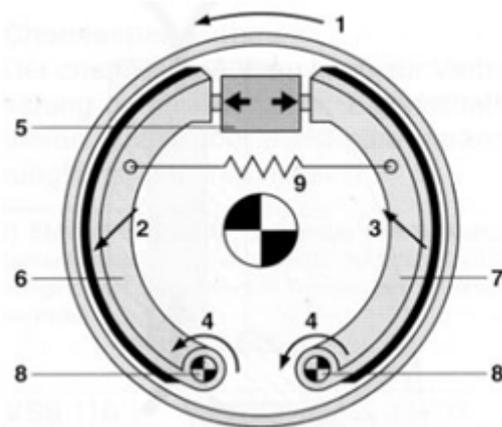


Abb.10: Trommelbremse (Simplex)

Quelle: Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, a.a.O., S.35

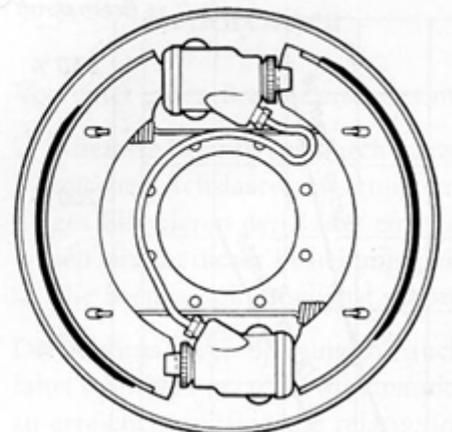


Abb.11: Trommelbremse (Duplex)

Quelle: Gieger, W.; et al.: Meisterwissen im Kfz-Handwerk, a.a.O., S.766

Bei der Duo-Duplexbremse wirken 2 Radzylinder mit jeweils 2 Kolben auf die Bremsbacken. Bei diesem System hat die Fahrtrichtung keinen Einfluss. Die Bremsbeläge wirken immer auflaufend. Bei der Servo-Bremse werden die Bremsbacken von einem Radzylinder mit zwei Kolben gespannt. Besonderheit bei dieser Trommelbremsart ist das in eine Richtung bewegliche Stützlager. Bei der Vorwärtsfahrt wirken die Bremsbeläge auflaufend. Verzögert man beim Rückwärtsfahren, wirkt eine Bremsbacke auflaufend und eine ablaufend.

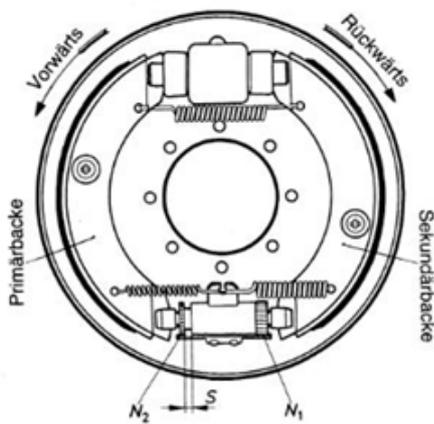


Abb.12: Trommelbremse (Servo)

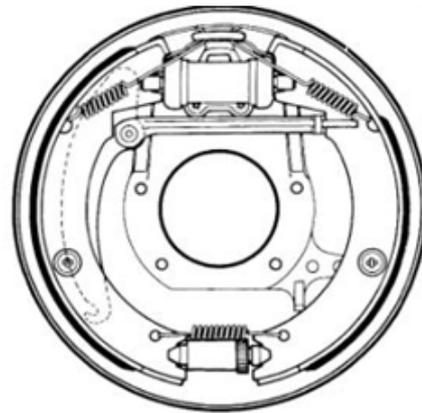


Abb.13: Trommelbremse (Duo-Servo)

Quelle: Gieger, W.; et al.: Meisterwissen im Kfz-Handwerk, a.a.O., S.767

Ist das Stützlager in beide Richtungen beweglich, handelt es sich um eine Duo-Servo-Bremse. Bei Vorwärts- und Rückwärtsfahrt laufen beide Bremsbacken auf. Im Gegensatz zu Trommelbremsen bestehen Scheibenbremsen aus einem Bremssattel und einer Bremsscheibe. Je nach Anforderung unterscheidet man in Vollscheiben oder innenbelüftete Bremsscheiben. Aufgrund der besseren Wärmeableitung werden innenbelüftete Bremsscheiben bei fast allen Fahrzeugen an der Vorderachse verbaut. Aus Kostengründen sind bei Kleinwagen an der Hinterachse Trommelbremsen oder Scheibenbremsen mit Vollscheiben verbaut. Scheibenbremsen unterscheiden sich vorwiegend durch die Konstruktion des Bremssattels. Beim Festsattel wirken die Kolben und Bremszylinder auf beiden Seiten der Bremsscheibe. Der Festsattel ist fest am Bremssattelträger montiert.

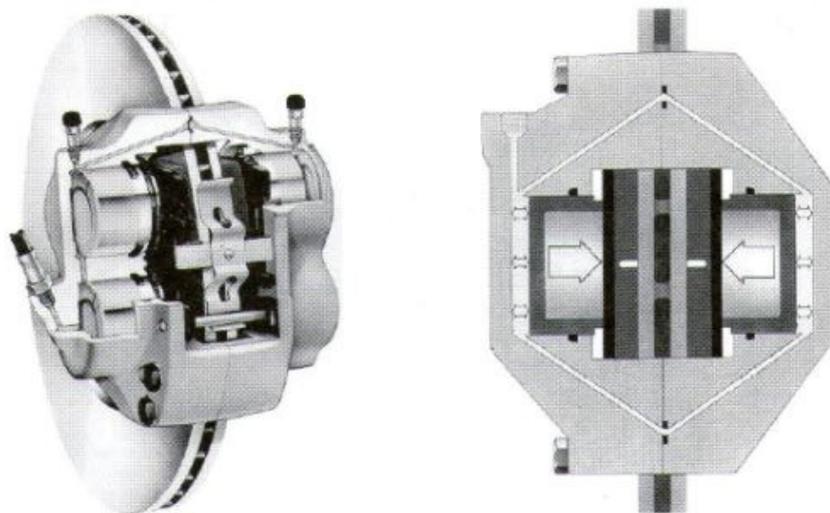


Abb.14: Festsattel

Quelle: Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, a.a.O., S.103

Im Gegensatz zum Festsattel besitzt der Schwimmsattel einen Kolben auf der „inneren“ Seite des Bremssattels. Der Kolben wirkt direkt „einseitig“ auf die Bremsbeläge. Da der Sattel über Führungsbolzen schwimmend gelagert ist, wirkt die Kolbenkraft auch auf die „äußeren“ Bremsbeläge.

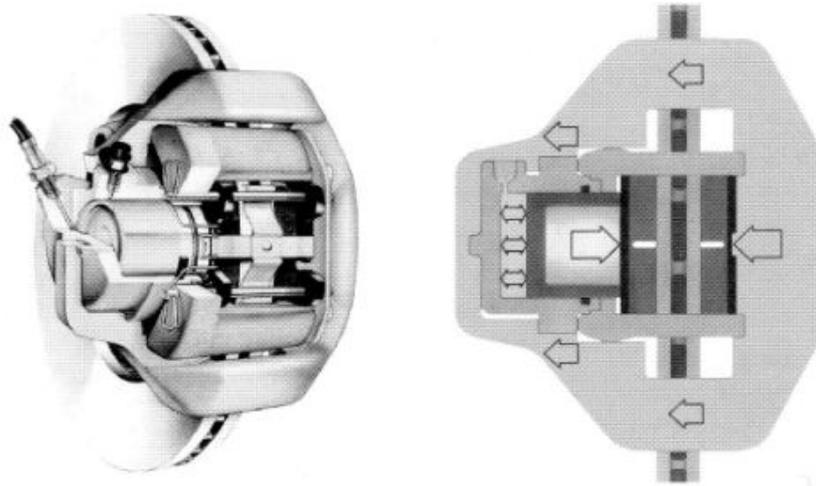


Abb.15: Schwimmrahmensattel

Quelle: Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, a.a.O., S.103

Faustsättel bieten ähnliche Vorteile wie Schwimmrahmensättel. Durch ihre platzsparende Baugröße resultiert das geringe Gewicht. Es können großflächige Bremsbeläge mit optimaler Belagform eingebaut werden.

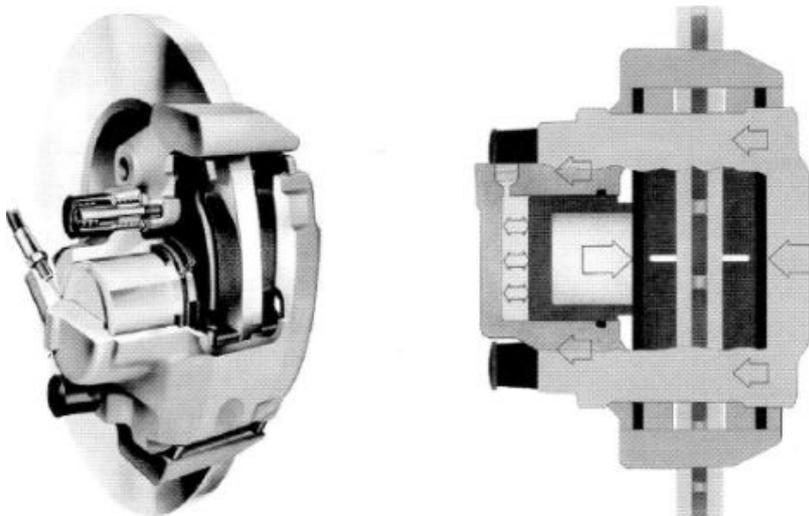


Abb.16: Faustsattel

Quelle: Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, a.a.O., S.103

Diese Art von Bremsätteln sind im Pkw-Sektor weit verbreitet. Durch Erweiterung mit einer Spindel und weiteren Bauteilen, lässt sich eine integrierte Feststellbremse realisieren. Neue Fahrzeuge besitzen eine elektromechanische Feststellbremse. Sie bietet den Vorteil sich selbstständig zu aktivieren bzw. zu lösen, falls das Fahrzeug an einer Straße mit Gefälle oder Steigung anfährt. EMF besitzen keine Bowdenzüge, sondern Elektromotoren, welche die gewünschte Bremskraft zum festhalten des Fahrzeuges erzeugen.

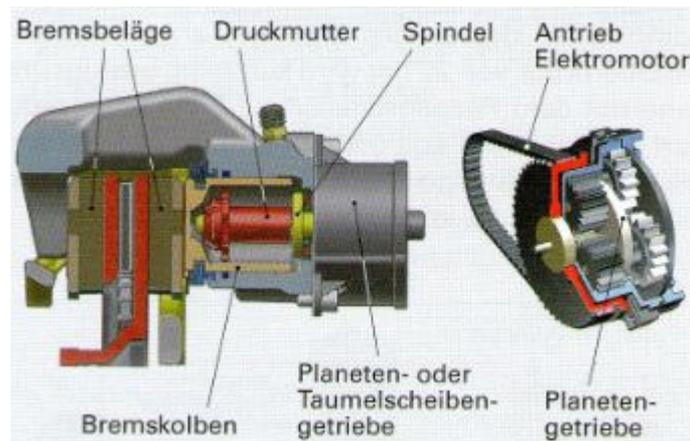


Abb.17: EMF

Quelle: Fischer, R.; et al.: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, a.a.O., S.539

Fahrzeuge mit Trommelbremsen oder Scheibenbremsen, welche Bowdenzüge zum Betätigen der EMF verbaut haben, besitzen einen Aktuator um eine elektromechanische Feststellbremse zu realisieren.



Abb.18: Aktuator

Quelle: Fischer, R.; et al.: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, a.a.O., S.540

Aufgrund der Komplexität des Gesamthemas Bremsanlagen und Bremsregelsysteme, verweise ich auf die weiterführende Literatur.

## **5 Rechtliche Grundlagen**

### **5.1 Der Paragraph 65 der StVZO**

Im § 65 der StVZO regelt der Gesetzgeber die allgemeine Definition der Bremse an Fahrzeugen, die der StVZO unterliegen. Hier wird eindeutig festgelegt, dass alle Fahrzeuge, die der StVZO unterliegen, mit einer ausreichenden Bremse ausgerüstet sein müssen. Die Bremse muss während der Fahrt und in jeder Situation leicht bedienbar sein. Sie soll ihre volle Wirksamkeit erreichen, ohne die Fahrbahn dabei zu beschädigen. Auch was als Bremse gilt, hat der Gesetzgeber eindeutig definiert. Er legt hier fest, dass die Bremse eine am Fahrzeug festangebrachte Einrichtung ist, welche die Aufgabe hat, die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges zu reduzieren und das Fahrzeug im Stillstand festzustellen.

### **5.2 Der Paragraph 41 der StVZO**

Im § 41 der StVZO wird die Bremse an Kraftfahrzeugen detailliert erläutert und festgelegt. Hier gibt es auf der Grundlage von verschiedenen Bremsanlagen auch unterschiedliche Festlegungen, die zu beachten sind. Zwei voneinander unabhängige Bremsanlagen müssen in jedem Kraftfahrzeug verbaut sein. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass auch eine Bremsanlage mit zwei voneinander unabhängigen Bedienungseinrichtungen installiert sein kann. Jede der Bremsanlagen muss auch dann wirken, wenn die andere versagt. Hier ist es entscheidend, dass die Bedienung der voneinander unabhängigen Bedienungseinrichtungen von getrennten Übertragungsmitteln erfolgen muss. Die Kräfte müssen auf verschiedene Bremsflächen wirken und können jedoch in oder auf derselben Radbremse liegen. Sind mehr als zwei Räder zum Bremsen vorgesehen, so dürfen gemeinsame mechanische Übertragungsflächen und Bremsflächen (ganz oder teilweise) verwendet werden. Die Bremse muss jedoch so gebaut sein, dass beim Bruch eines Teils noch mindestens zwei Räder, die nicht auf der gleichen Seite liegen, gebremst werden können. Alle zwangsläufig mit den Rädern verbundenen Bremsflächen müssen auf nicht auskuppelbare Teile wirken. Mit den Rädern verbundene Bremsflächen müssen unmittelbar mit den Rädern verbunden sein. Das Bremsen hat ohne die Zwischenschaltung von Ketten oder Getrieben zu erfolgen. Die Vorschrift besagt weiterhin, dass alle Bremsen leicht nachstellbar sind oder sie eine selbsttätige Nachstelleinrichtung besitzen.

Kraftfahrzeuge müssen mit der Betriebsbremse eine mittlere Vollverzögerung von mindestens  $5,0\text{m/s}^2$  erreichen<sup>21</sup>. Ausgenommen hiervon sind Motorräder. Die Bedienungseinrichtung einer der beiden Bremsanlagen muss bei Kraftfahrzeugen feststellbar sein. Von dieser Regelung sind ebenfalls Krafträder ausgeschlossen. Ausschließlich durch mechanische Mittel muss die festgestellte Bremse das Abrollen des Fahrzeuges auf der größten von ihm befahrbaren Steigung verhindern. Dabei darf die Bremswirkung des Motors nicht zu Hilfe genommen werden. Eine mittlere Verzögerung von  $1,5\text{m/s}^2$  muss mit der Feststellbremse mindestens erreicht werden<sup>22</sup>. Bei Kraftfahrzeugen, die mit gespeicherter elektrischer Energie angetrieben werden, kann eine der beiden Bremsanlagen eine elektrische Widerstands- oder Kurzschlussbremse sein. Die vorgeschriebenen Bremsverzögerungen müssen unter bestimmten Voraussetzungen erreicht werden. Man hat dabei festgelegt, dass ein Kraftfahrzeug mit gewöhnlichem Kraftaufwand und bei voll belastetem Fahrzeug die Werte erreichen muss. Das Fahrzeug darf die Spur dabei nicht verlassen und die Straße muss trocken und eben sein.

### 5.3 Der Paragraph 29 der StVZO

Mit dem §29 der StVZO wurde festgelegt, dass Halter von zulassungspflichtigen Fahrzeugen auf ihre Kosten und in regelmäßigen Zeitabständen ihr Fahrzeug untersuchen lassen müssen. In der Anlage VIIIa sind die einzelnen Untersuchungspunkte aufgeführt, nach denen der Sachverständige arbeitet. Hier ist genau beschrieben welche Pflichtuntersuchungspunkte an Bremsanlagen im Rahmen der Hauptuntersuchung durchgeführt werden. Durch die 47. Änderungsverordnung der StVZO, die am 01.07.2012 in Kraft trat, sind massive Änderungen bei der Hauptuntersuchung eingetreten<sup>23</sup>. Fahrzeuge, die nach dem 28.07.2010 zugelassen wurden, können sofern Referenzwerte vorhanden sind, nach dem Bezugswertverfahren auf ihre Bremswirkung geprüft werden. So fließen in die Bewertung neben der Bremsverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse auch die achsbezogenen Mindestbremskräfte mit ein<sup>24</sup>. Die Wirkungsprüfung mit dem HU-Adapter befindet sich bis zum heutigen Zeitpunkt in der Testphase und soll bis 2016 einsatzfähig sein.

---

<sup>21</sup> Beck, C.H.; Beck`sche Textausgaben Straßenverkehrsrecht ,a.a.O., S.52 StVZO

<sup>22</sup> Beck, C.H.; Beck`sche Textausgaben Straßenverkehrsrecht ,a.a.O., S.52 StVZO

<sup>23</sup> <http://www.diekkel.de/aktuelles/47.-aenderungsverordnung-stvzo.html> (28.01.2014,11.55Uhr)

<sup>24</sup> <http://www.linzing.de/hu-2012-groses-reformpaket/> (28.01.2014,13.25Uhr)

## **5.4 Richtlinie 71/320/EWG**

Da Deutschland der Europäischen Union beigetreten ist, gelten für viele Kraftfahrzeuge nicht nur die nationalen Gesetze, sondern die internationalen Gesetzesvorschriften. Für Bremsanlagen an Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern wurde dazu eine 170 Seiten umfassende Richtlinie geschaffen, die im Einzelnen genau vorschreibt, welche Vorschriften nach Internationalem Recht einzuhalten sind. Dabei werden einzelne Begriffe sowie Anforderungen von Bremsanlagen und deren Komponenten erläutert, die sich mit Bremsanlagen an Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern befassen. In den nächsten Jahren wird eine Vereinfachung der einzelnen Rechtsvorschriften erfolgen. Da Deutschland bei fast allen ECE-Regelungen zugestimmt hat, wird in Zukunft für Bremsanlagen nur noch eine zu beachtende Gesetzesvorschrift, die ECE-R 13, gültig sein. Dies hat den Vorteil, dass eine internationale einheitliche Regelung für die Genehmigung von PKW hinsichtlich der Bremsen Anwendung findet.

## **6 Zulässige Bremsenprüfmethoden**

### **6.1 Der Rollenbremsprüfstand**

Um die Abbremsung im Rahmen der Hauptuntersuchung nach §29 StVZO zu ermitteln, werden verschiedene Prüfstände für die Wirkungsprüfung von Bremsanlagen angeboten. Einer der am meisten eingesetzten Prüfstände ist der Rollenbremsprüfstand. Er ist vom Kostenfaktor der teuerste Prüfstand, muss aufwendig im Boden eingelassen werden und wird mit einer hohen elektrischen Anschlussleistung betrieben. Betrachtet man den Aufbau eines Einachs-Rollenbremsprüfstandes erkennt man, dass pro Rad ein Antriebsmotor über eine Kette zwei Rollen antreibt. Diese Rollen sind mit einer speziellen Beschichtung versehen, um gute Haftreibungszahlen zwischen Reifen und Rolle zu erzielen. Da die Antriebsrollen hohen Belastungen ausgesetzt sind, müssen die Beschichtungen regelmäßig erneuert werden, um eine vorschriftsmäßige Wirkungsprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung durchführen zu können. Je nach Verwendungszweck unterscheiden sich die Beschichtungen in Haltbarkeit, Haftreibungskoeffizient und Kostenfaktor.



Abb.19: Antriebsrollen und Tastrolle des Rollenbremsprüfstandes

Zwischen diesen beiden Rollen sitzt auf jeder Seite eine Tastrolle, welche die Aufgabe hat, den Antriebsmotor erst anlaufen zu lassen, wenn durch die Gewichtskraft vom Rad die Tastrollen gleichzeitig niedergehalten werden. Diese Schutzfunktion bietet den Vorteil, dass der Antriebsmotor nicht angesteuert wird, falls eine Person auf eine Tastrolle tritt. Da der Antriebsmotor drehbar gelagert ist, wird durch das entgegengesetzt wirkende Bremsmoment der Antriebsmotor verdreht. Diese Verdrehung wird über einen Drehmomenthebel auf ein am Rahmen befestigtes Messelement weitergegeben. Dieses Signal kann in ein elektrisches Signal weiterverarbeitet und am Anzeigekasten wiedergegeben werden. Eine Vielzahl von Rollenbremsprüfständen bieten die Möglichkeit, den kompletten Verlauf der Wirkungsprüfung über einen beliebigen Zeitraum grafisch darzustellen (Anlage II).

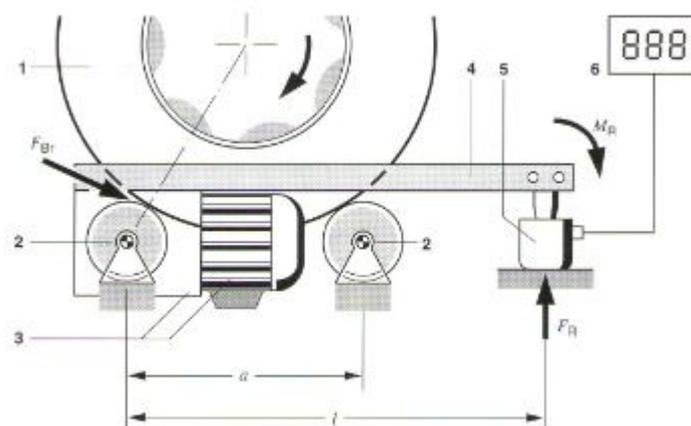


Abb.20: Aufbau Rollenbremsprüfstand

Quelle: Robert Bosch GmbH [Hrsg.]: Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge, a.a.O., S.189

Da die Wirkungsprüfung auf dem Rollenbremsprüfstand zu den statischen Prüfverfahren zählt, wird die Fahrgeschwindigkeit von etwa 2,5-7km/h simuliert und bietet den großen Vorteil, dass sich die Bremskraft bis zum Blockierpunkt steigern sowie auf Zwischenwerten halten lässt. Nur bei dieser Art der Wirkungsprüfung lassen sich eventuelle Ovalitäten der Bremsscheibe durch Schwanken der Messzeiger erkennen. Durch die aktive Darstellung des Bremsverlaufes kann man ein verspätetes Lösen von Bremssätteln bzw. von Bremsbelägen erkennen<sup>25</sup>. Mit diesem Verfahren lässt sich die „Abstufbarkeit“ der Bremse am besten überprüfen, da man die Betätigungskraft zeitunabhängig beliebig erhöhen sowie verringern kann. Die Antriebsrollen drehen sich solange, bis die Blockiergrenze zwischen Reifen und Rollen überschritten wird. Sollte das Rad einer Achse durch Steigern der Bremswirkung blockieren, so wird der Antriebsmotor sofort deaktiviert und die maximalen Bremskräfte mit Bremskraftdifferenz am Anzeigekasten dargestellt. Gefahrenpotential bieten die sich im Betrieb drehenden Rollen, da zum einen das drehende Rad bei Lenkbewegungen gegen den Rahmen scheuern kann und zum anderen die hohe Verletzungsgefahr, falls eine Person in die drehenden Rollen greift bzw. hineintritt. Eine Prüfung von Allradfahrzeugen ist möglich, jedoch sind dabei unbedingt die vom Hersteller angegebenen Hinweise in den FSD-Daten zu beachten (Anlage III). Für Fahrzeuge mit zwei angetriebenen Achsen werden 2-Achs-Rollenbremsprüfstände angeboten. Hier spielt die Art des verbauten Allradsystems keine Rolle, da die Antriebsrollen gegenläufig angesteuert werden können. Der extern verbaute Anzeigekasten ist kompatibel mit anderen Prüfständen, wie zum Beispiel dem Stoßdämpfertest. Hierbei werden die einzelnen Radlasten sowie die Wirkung in Prozent im Anzeigekasten des Rollenbremsprüfstandes angezeigt.

## **6.2 Der Plattenbremsprüfstand**

Die zweite Art, die Wirkung einer Bremse zu überprüfen, ist mit einem Plattenbremsprüfstand möglich. Hier werden, wie beim Rollenbremsprüfstand, die Werte an einer externen Anzeige meist digital dargestellt. Durch das Abbremsen mit circa 5-8km/h auf den in Längsrichtung beweglich gelagerten Prüfplatten, wird über die mit den Unterplatten verbundenen Dehnmessstreifen die Längenänderung in ein elektronisches Signal umgewandelt und angezeigt<sup>26</sup>.

---

<sup>25</sup> AHS: Technischer Bericht Nr.2: Rolle oder Platte; <http://www.ahs-prueftechnik.de/techbericht02.html> (02.02.2014, 12:24 Uhr) in

<sup>26</sup> AHS: Technischer Bericht Nr.2: Rolle oder Platte; <http://www.ahs-prueftechnik.de/techbericht02.html> (02.02.2014, 12:28 Uhr)



Abb.21: Einachs-Plattenbremsprüfstand

Vorteil ist, dass die Anzahl der angetriebenen Achsen keinen Einfluss auf den Prüfablauf hat. Im Gegensatz zum Rollenbremsprüfstand lassen sich Ovalitäten der Bremsscheiben sowie der Bremsverlauf über einen Zeitraum nicht darstellen. Es werden nur die jeweiligen Bremskräfte mit der dazugehörigen Bremskraftdifferenz einer Achse bei einem 2-Platten-Bremsprüfstand angezeigt. Besonderheit ist, da es sich um eine dynamische Messung handelt, dass die dynamische Achslastverteilung mit berücksichtigt wird. Dies bedeutet, dass eine Veränderung der Achslasten beim Bremsen in den dargestellten Bremskräften mit einfließt. Durch die Nickbewegung wird die Hinterachse entlastet und die Vorderachse belastet. In den nächsten Jahren werden Rollenbremsprüfstände die Plattenprüfstände verdrängen, da elektromechanische Feststellbremsen nicht ausreichend auf ihre Wirkung überprüft werden können. Auch hier sind die fahrzeugspezifischen Prüfhinweise der Fahrzeug-Systemdatenbank unbedingt zu beachten (Anlage IV).

### 6.3 Das Verzögerungsmessgerät

Für Kraftfahrzeuge, die bauartbedingt nicht auf einem Platten- und Rollenbremsprüfstand geprüft werden können, schreibt der Gesetzgeber vor, eine Fahrprobe durchzuführen, um die Wirkung der Bremse nachzuweisen. Fahrzeuge, die sehr tief sind bzw. aufgrund ihrer kleinen Spurweite nicht mit den beiden Wirkungsprüfverfahren begutachtet werden können, müssen mittels Verzögerungsmessgerät die in §41 StVZO vorgeschriebene mittlere Vollverzögerung von  $5\text{m/s}^{-2}$  nachweisen<sup>27</sup>. Dazu wird das VZM im Beifahrerfußraum in Waage ausgerichtet und kalibriert. Da es sich um eine dynamische Messung handelt, muss der Sachverständige das Fahrzeug auf etwa 20km/h beschleunigen und mit einer Betätigungskraft auf das Bremspedal von maximal 50kg verzögern.

<sup>27</sup> Beck, C.H.; Beck`sche Textausgaben Straßenverkehrsrecht, a.a.O., S.52 StVZO

Um die vorgeschriebene Kraft nicht zu überschreiten, wird an das VZM eine Kraftmessdose angeschlossen und am Bremspedal mittels Klettstreifen befestigt. Es besteht die Möglichkeit, sich das Messergebnis grafisch darstellen zu lassen bzw. die gemessenen Werte direkt am VZM abzulesen.

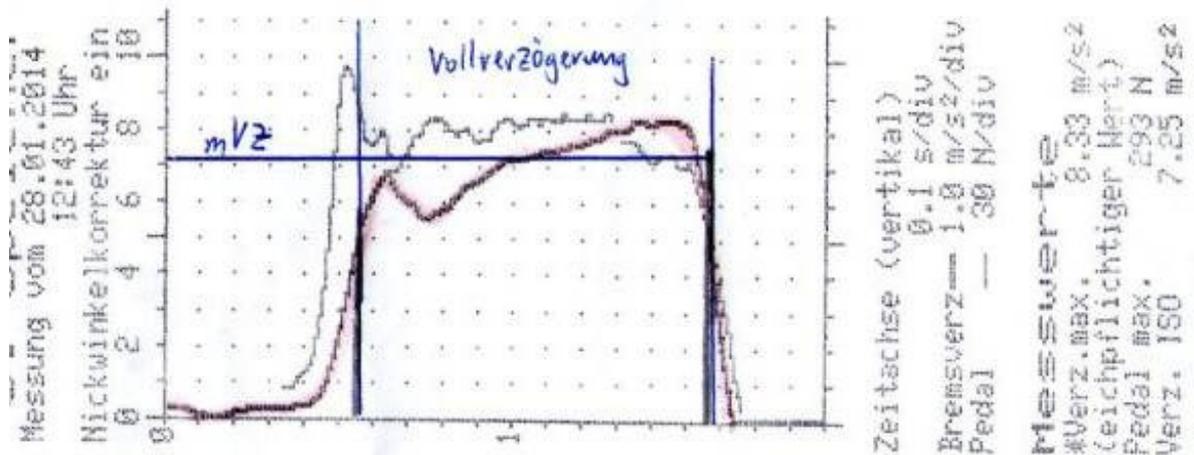


Abb.22: Ausdruck VZM (1)

Man erkennt an diesem Beispiel, dass die Pedalkraft mit 293N eingehalten wurde und die mittlere Vollverzögerung mit  $7,25\text{m/s}^2$  den gesetzlich vorgeschriebenen Wert deutlich übertrifft. Auch bei dieser Art der Wirkungsprüfung können keine Rückschlüsse auf eventuelle Beschädigungen gemacht werden, da eine Unterteilung der Achsen bzw. der einzelnen Räder nicht erfolgt. Diese Methode gilt im PKW-Sektor als Ersatzverfahren, um die Bremswirkung nachzuweisen. Um detaillierte Messergebnisse zu erhalten, sollte ein Rollenbremsprüfstand bevorzugt werden.

## 7 Analyse der Wirkungsprüfung von Bremsanlagen

Im Laufe des Bearbeitungszeitraumes der Arbeit wurden insgesamt 508 Kraftfahrzeuge im Rahmen der Hauptuntersuchung geprüft. Da eine eindeutige Identifizierung der Bremsanlage im Prüfrhythmus fast unmöglich ist, erfolgte zunächst eine Einteilung der untersuchten Bremsanlage in die Art der Radbremsen. Dabei waren bei fast allen Fahrzeugen Scheibenbremsen an der Vorderachse verbaut. An der Hinterachse waren insgesamt 122-mal eine Trommelbremse sowie 386-mal eine Scheibenbremse als Radbremse verbaut. Im Rahmen der Hauptuntersuchung wurden 5 Oldtimer mit einer Trommelbremse an der Vorderachse geprüft. Um eine genauere Einteilung zu erhalten, erfolgte für die Feststellbremse eine Unterteilung nach der Art der Betätigung.

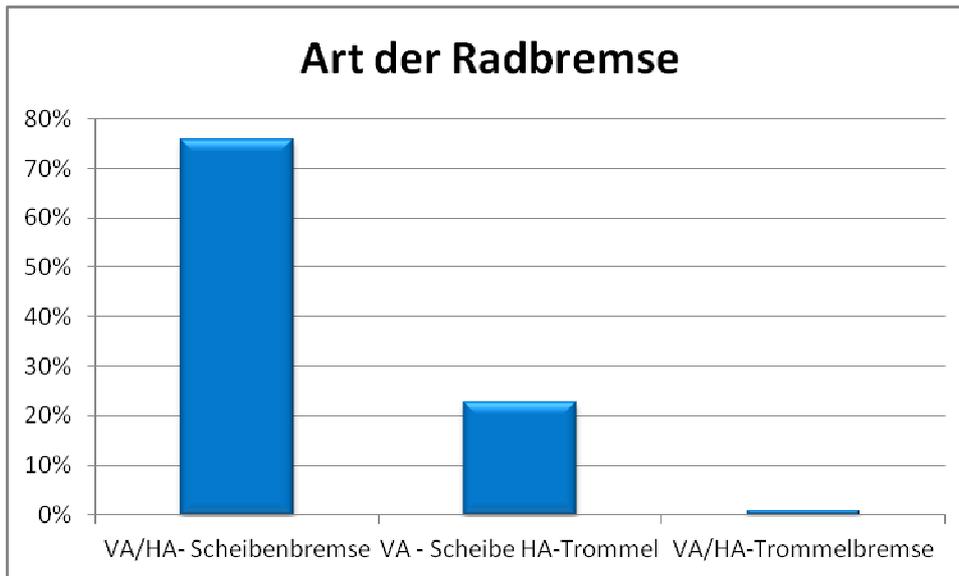


Abb.23: Auswertung der verbauten Radbremsarten

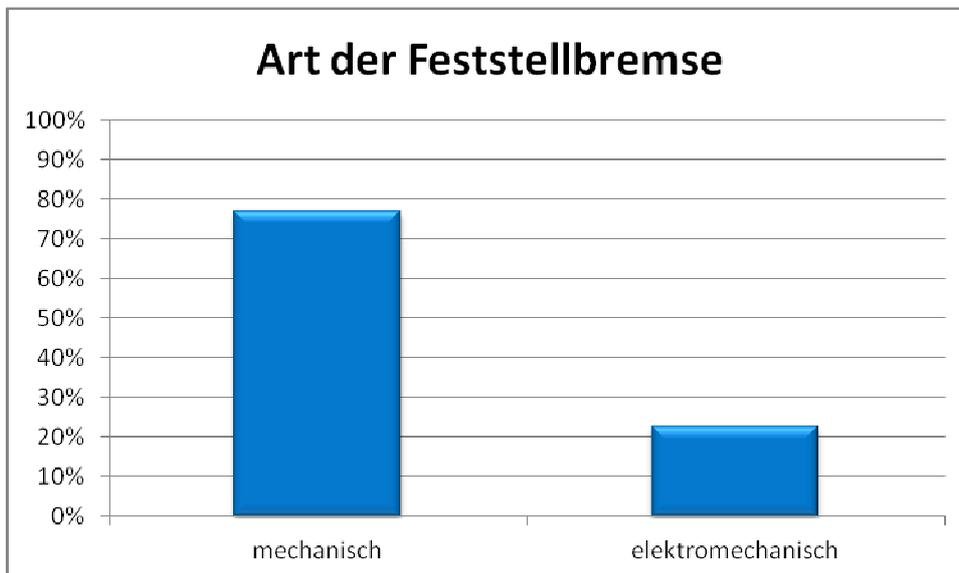


Abb.24: Auswertung der verbauten Feststellbremsen

Bei den insgesamt 508 untersuchten Fahrzeugen wurden 163-mal Mängel an der Bremsanlage festgestellt, wobei 76-mal die Bremsbeläge beanstandet wurden. Zum Großteil war das Verschleißmaß von unter 2mm der Beläge erreicht, oder es wurde eine ungleichmäßige Abnutzung der Reibfläche festgestellt. An 23 PKW wurden die Bremsscheiben beanstandet und an 16 die Bremsschläuche. Relativ selten waren Mängel an lastabhängigen Bremskraftreglern zu sehen.

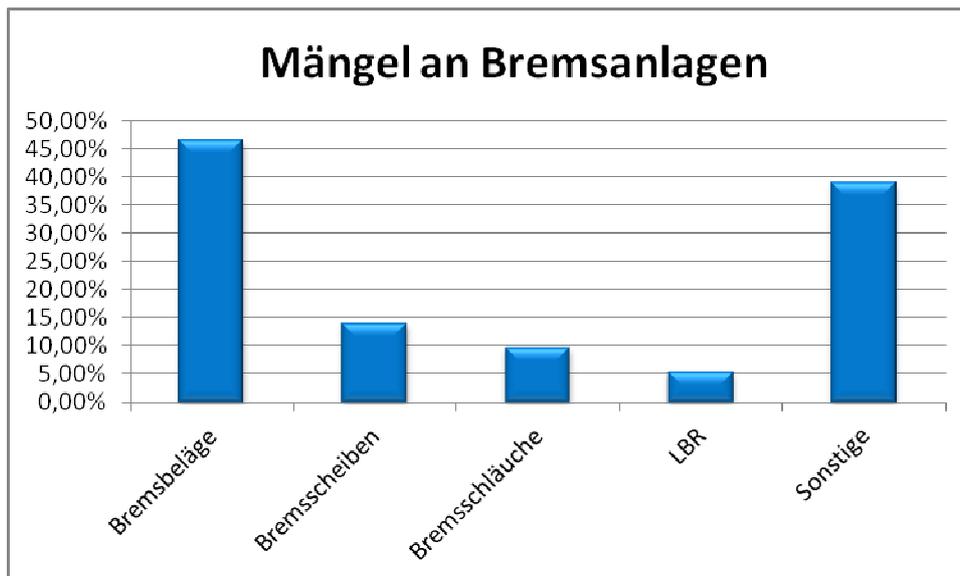


Abb.25: Auswertung der Mängel an Bremsanlagen

Die in der Abbildung geschilderten Mängel wurden jedoch nicht alle bei der Wirkungsprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung festgestellt, sondern zum Großteil bei der Sichtprüfung.

Die Wirkungsprüfung der Bremsanlage findet meist am Anfang der Hauptuntersuchung statt, indem der Sachverständige das Kraftfahrzeug auf einem Platten- bzw. Rollenbrensprüfstand abbremst. In der TÜV-Station Dessau befindet sich ein Einachs-Rollenbrensprüfstand der Marke Hoffman aus dem Jahre 2008. Bei diesem Prüfstand kann jeweils eine Achse des Fahrzeuges auf ihre Bremswirkung überprüft werden. Dabei wird neben der Bremskraft der einzelnen Räder auch die Bremskraftdifferenz in Prozent angezeigt. Bevor das Fahrzeug geprüft werden kann, ist es über die Fahrzeugidentifikationsnummer zu identifizieren und zu prüfen, ob es sich um ein allradbetriebenes Fahrzeug handelt. Sollte dies der Fall sein, sind unbedingt die Herstellerangaben zu beachten, ob diese Fahrzeuge auf einem nicht für allradbetriebenen Rollenbrensprüfstand gebremst werden dürfen. Es besteht außerdem die Möglichkeit, in den internen Fahrzeugsystemdaten zu recherchieren, ob es Besonderheiten in Bezug auf die Überprüfung der Bremsanlage gibt.

Die Prüfung beginnt mit dem Einfahren der Vorderachse in den Rollenprüfstand. Hierbei wird die Tastrolle des Prüfstandes durch die Gewichtskraft des Fahrzeuges nach unten gedrückt und der Rollenprüfstand beginnt im Automatikmodus mit einer simulierten Geschwindigkeit von circa 7 km/h anzulaufen. Der Fahrzeugführer muss das Fahrzeug mit dem Lenkrad gerade halten, der Leerlauf muss eingelegt bzw. muss die Kupplung bei eingelegtem Gang getreten sein. Sollte das Fahrzeug nach links bzw. rechts pendeln, sind diese Bewegungen auszugleichen, da sonst Schäden an den Reifenflanken auftreten können.

Da der Gesetzgeber eine Bremsanlage vorschreibt, die „abstufbar“ sein muss, ist die Bremsanlage gefühlvoll zu bedienen, um zu sehen, wie mit erhöhter Betätigungskraft die Bremskraft steigt bzw. bei verringerter Betätigungskraft die Bremskraft sinkt. Hierbei ist die vorgeschriebene Betätigungskraft von maximal 50kg unbedingt einzuhalten. Um die Krafteinwirkung auf das Pedal besser kontrollieren zu können, besteht die Möglichkeit, einen Pedalkraftmesser am Bremspedal anzubringen. Der Prüfer erkennt bei einer funktionsfähigen Bremsanlage, dass mit zunehmender Betätigungskraft die Zeiger der Bremskraft am Anzeigekasten gleichmäßig ansteigen. Dieses Ansteigen der Bremskraft sollte langsam und nicht ruckartig geschehen. Der Prüfer tritt das Bremspedal solange weiter gefühlvoll durch, bis entweder die maximal zulässige Betätigungskraft von 50kg am Pedal anliegt, die „Blockiergrenze“ der drehenden Räder erreicht wird, oder die Bremskraft konstant bleibt. Sollte die Bremskraft groß genug sein, dass ein Blockieren des einzelnen Rades entsteht, beendet der Prüfstand den Durchlauf und gibt dem Prüfer die maximal erreichte Bremskraft und die Bremskraftdifferenz am Anzeigekasten aus. Sollten keine Beanstandungen bei der Überprüfung in Bezug auf die Bremskraft auftreten, ist mit der Wirkungsprüfung der Hinterachse fortzufahren. Hierbei gilt, wie bei der Vorderachse, dass bei heckangetriebenen Fahrzeugen kein Gang eingelegt ist. Da in der Regel die meisten PKW keine gelenkte Hinterachse haben, zieht sich aufgrund der rollenden Antriebsräder des Prüfstandes das Fahrzeug automatisch gerade. Als zweite Messung wird nun die Bremskraft der Betriebsbremsanlage an der 2. Achse gemessen. Hierbei gilt die gleiche Verfahrensweise wie bei der 1. Achse. Gibt es keine Beanstandungen in Bezug auf die Bremskraft sowie das Rechts-Links-Bremskraftverhältnis, kann mit der Wirkungsprüfung der Feststellbremse begonnen werden. Hierbei ist es wichtig, falls es sich um eine mechanische Feststellbremse handelt, dass der Handbremshebel nicht ruckartig hochgezogen wird. Man sollte ihn langsam hochziehen, um die „Abstufbarkeit“ zu überprüfen und sich an die „Blockiergrenze“ herantasten. Für die Hauptuntersuchung nach §29 StVZO fordert der Gesetzgeber für Fahrzeuge mit EZ vor dem 28.07.2010 der Klasse M1 eine Abbremsung von 50% der BBA in Bezug auf das zulässige Gesamtgewicht. Für Kraftfahrzeuge der Klasse M1 mit einer EZ nach dem 28.07.2010 gilt es, eine Mindestabbremsung von 58% der BBA nachzuweisen. Bei der Feststellbremse fordert der Gesetzgeber eine Mindestabbremsung von 16% für Fahrzeuge der Klasse M1 mit einer EZ nach dem 01.01.1991. Um eine Gleichmäßigkeit der Bremswirkung von der BBA zu gewährleisten, müssen in den oberen 2/3 des Prüfbereiches weniger als 25% Bremskraftdifferenz vom höchsten Messwert an den Rädern einer Achse auftreten. Im oberen Bereich, unmittelbar vor der Blockiergrenze, darf die Abweichung der FBA einer Achse maximal 50% betragen, ausgenommen davon sind elektromechanische Feststellbremsen.

Hierbei dürfen Bremskraftunterschiede von maximal 95% auftreten, da bei einigen Herstellern die Elektromotoren der Feststellbremse kurzzeitig einseitig wirken. Im Rahmen der Wirkungsprüfung müssen diese Mindestwerte erreicht werden, außer das Fahrzeug erreicht aufgrund einer Blockierneigung auf dem Rollenbrensprüfstand nicht die erforderliche Mindestabbremmung. Um Einflussfaktoren und Abweichungen festzustellen, wurden umfangreiche Versuche mit den verschiedenen Wirkungsprüfverfahren durchgeführt. Um eine Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten, wurde ein Referenzfahrzeug mit folgender Ausstattung gewählt:

- Hersteller: Volkswagen
- Typ: Golf 4
- Baujahr 2002
- Leergewicht: 1278kg
- Zul. Gesamtmasse: 1730kg
- Angetriebene Achsen: 1
- Reifengröße Winter: 195/65 R15 91T
- Profiltiefe: 7mm
- Bremsanlage: 4 hydraulische Scheibenbremsen (Faustsattel)  
VA- Ø 288x25 HA- Ø 256x22
- Feststellbremse - mechanisch
- ABS/ESP

Zunächst wurden die einzelnen Wirkungsprüfverfahren verglichen. Dazu wurde unter konstanten Bedingungen auf dem Platten- und Rollenprüfstand und mittels Verzögerungsmessgerät eine Vielzahl von Bremsvorgängen durchgeführt. Um keine Einflüsse auf die Bremswirkung zu erhalten, wurde das Fahrzeug am gleichen Tag unter konstanten Bedingungen betrieben. Bei den Messversuchen waren neuwertige Winterreifen der Größe 195/65R15 91T montiert, welche mit einem Luftdruck von 2,1 bar an der Vorderachse und 1,9 bar an der Hinterachse gefüllt wurden. Die verbaute Bremsanlage befindet sich in einem technisch einwandfreien Zustand und weist das zulässige Bremsscheibenverschleißmaß an der Vorderachse von mindestens 22mm mit 24mm und an der Hinterachse von mindestens 20mm mit 22mm nach. Die Bremsbeläge sind an beiden Achsen gleichmäßig abgenutzt und haben eine Bremsbelagstärke von circa 7mm vorne und 6mm hinten. Bei den einzelnen Bremstests wurde unter Beachtung der gesetzlich vorgeschriebenen maximalen Betätigungskraft von 50kg versucht, so nah wie möglich an die Blockiergrenze zu kommen.

Um optimale Testbedingungen zu erhalten, wurde der Plattenprüfstand vor Prüfbeginn gereinigt und auf das Eichsiegel geachtet sowie ein Pedalkraftmesser angeschlossen. Beim Bremsen auf dem Plattenprüfstand wurde mit einer Geschwindigkeit von circa 8km/h verzögert.

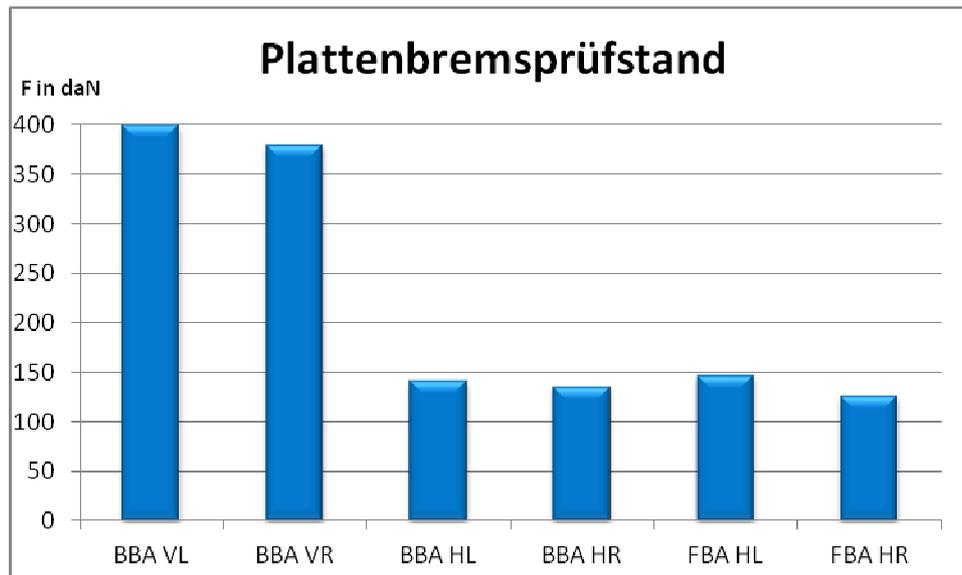


Abb.26: Auswertung Bremskraft Plattenbremsprüfstand

Die Differenzen der gemessenen Bremskräfte betragen 1,8daN an der Vorderachse und 0,7daN an der Hinterachse. Bei der Feststellbremse wurde eine Differenz vom linken zum rechten Hinterrad von 2,0daN gemessen. Der Plattenprüfstand zeigt außer den am höchsten gemessenen Bremskräften die Differenz zwischen den beiden Rädern in Prozent an. Diese beträgt bei der BBA an der VA 5% und an der HA 5% sowie 16% bei der Feststellbremsanlage. Bei der Wirkungsprüfung mit einem Plattenprüfstand kann die Bremswirkung nicht in verschiedenen Bereichen für einen gewünschten Zeitraum gehalten werden. Diese Eigenschaft vom Plattenprüfstand ist besonders verheerend, wenn Reibwertschwankungen der Bremse auftreten. So kann der Verzug einer Bremsscheibe oder Bremstrommel nur auf einem Rollenbremsprüfstand eindeutig identifiziert werden. Das Referenzfahrzeug weist laut Zulassungsbescheinigung Teil 1 ein zulässiges Gesamtgewicht von 1730kg auf. Aus den gemessenen einzelnen Bremskräften ergibt sich somit eine Abbremsung von 61 % der BBA und 16% der FBA. Unter selben Bedingungen wurde dem Fahrzeug eine Wirkungsprüfung auf dem Rollenprüfstand unterzogen. Hierbei betrug die simulierte Fahrgeschwindigkeit rund 7 km/h. Am Beschichtungsbelag der einzelnen Antriebsrollen zeigten sich normale Gebrauchsspuren. Bei der Prüfung der Bremswirkung wurde ein Pedalkraftmesser angeschlossen, um sicherzustellen, dass die zulässige Betätigungskraft nicht überschritten wird.

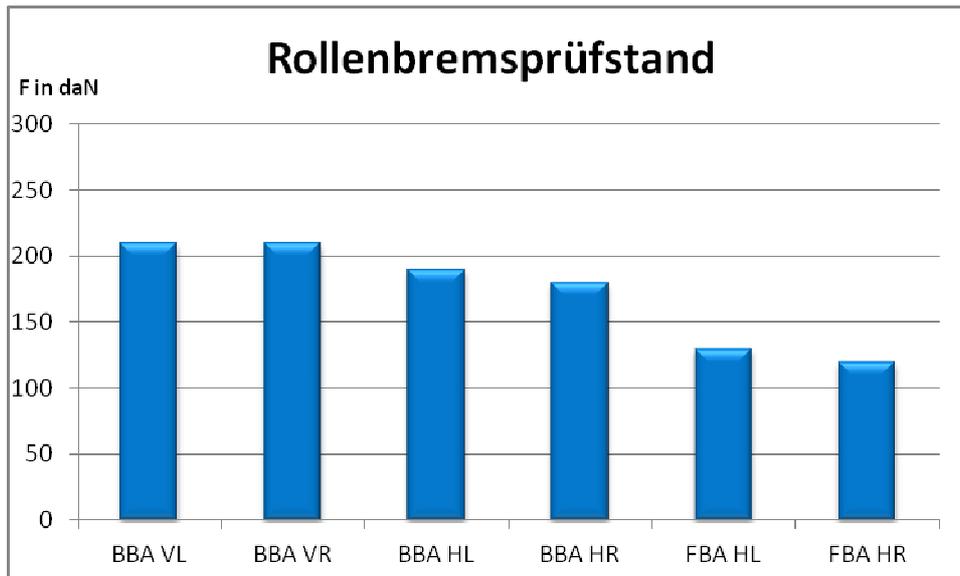


Abb.27: Auswertung Bremskraft Rollenbremsprüfstand

Hierbei wurde eine Abbremsung von 46% für die Betriebsbremsanlage und 15% für die FBA erreicht. Bei der Wirkungsprüfung der Feststellbremse wurde die Blockiergrenze erreicht. Im Vergleich zum Plattenprüfstand lässt sich beim Rollenbremsprüfstand die Bremswirkung in verschiedenen Belastungszuständen prüfen und dadurch ein Bremsverlauf nachvollziehen. Dies bietet den Vorteil, dass die Bremse auf eine entsprechende Betriebstemperatur von etwa 100C° gebracht werden kann, bevor der Sachverständige durch das Steigern der Betätigungskraft die Bremswirkungen bis kurz vor die Blockiergrenze ansteigen lässt. Auch machen sich durch diesen Vorgang Reibwertschwankungen oder Scheibenschläge durch stetiges Wandern der Zeiger bemerkbar. Um einen Vergleich von allen gesetzlich zugelassenen Wirkungsprüfungen zu erhalten, wurde im letzten Versuch mittels VZM verzögert. Bei dem verwendeten Gerät handelt es sich um ein VZM 100 der Marke MAHA. Da beim VZM die Pedalkraft sowie eine Verzögerungsmesskurve aufgezeichnet werden, lässt es sich in Bezug auf die Bremskraft nicht direkt mit dem Rollen- und Plattenprüfstand vergleichen. Nach korrekter Einstellung und Ausrichtung wurde mit einer Prüfgeschwindigkeit von circa 30km/h und einer Betätigungskraft von unter 50kg verzögert.

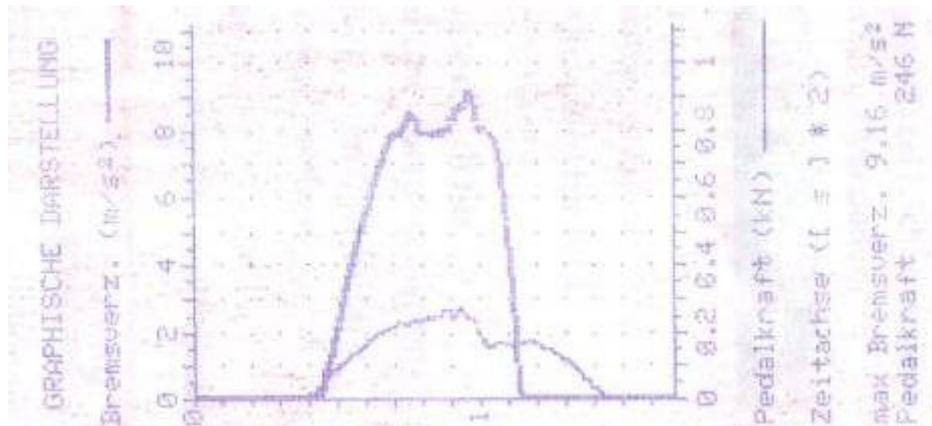


Abb.28: Ausdruck VZM (2)

Anhand des Ausdrucks des VZM 100 lassen sich die maximale Vollverzögerung und die maximale Pedalkraft ablesen. Liegt der Pedalkraftwert über 500N, so ist die Wirkungsprüfung erneut durchzuführen. Die in der Abbildung gezeigte Messkurve wurde auf trockener, ebener, mit Asphalt bedeckter Straße durchgeführt. Der laut §41 StVZO vorgeschriebene Mindestverzögerungswert von  $5\text{m/s}^{-2}$  wurde mit einer mittleren Vollverzögerung von  $8,1\text{m/s}^{-2}$  deutlich überschritten. Die maximal erreichte Verzögerung überschreitet bei einer kurzzeitigen Bremspedalbelastung von 246N mit  $9,16\text{m/s}^{-2}$  den gesetzlichen Mindestwert fast um das Doppelte. Zusammenfassend ist zu sagen, dass das Fahrzeug mit allen drei Methoden die Wirkungsprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung bestanden hat. Problem bei der Messung mit dem Rollenbrensprüfstand ist, dass bei der Auswertung der Abbremsung der gesetzliche Wert von 50% nicht erreicht wurde. Betrachtet man die Formel, mit der die Abbremsung in den Brensprüfständen ermittelt wird

$$Z = \frac{\text{Summe der Bremskräfte am Radumfang in daN}}{\text{statische Normalkraft zwischen den Rädern des Fahrzeugs und der Aufstandsfläche in daN}} \times 100 \text{ in } \%$$

mit dem Berechnungsgewicht der zulässigen Gesamtmasse anstatt des real existierenden Gewichtes zum Prüfzeitpunkt, wird deutlich, dass die tatsächliche Mindestabbremsung deutlich höher ausfallen würde, wenn man das Fahrzeug bis zur maximal zulässigen Gesamtmasse ausladen würde. Um die Auswirkungen nachzuweisen, wurde das Referenzfahrzeug mit 4 zusätzlichen erwachsenen Personen auf die zulässige Gesamtmasse von circa 1730kg ausgeladen und erneut auf dem Rollen- sowie Plattenprüfstand einer Wirkungsprüfung unterzogen. Durch die Erhöhung der Masse folgte eine Steigerung der Mindestabbremsung von vorher 46% auf 51%.

Betrachtet man die einzelnen Mindestabbremungen, stellt man fest, dass das Fahrzeug in Bezug auf die Wirkungsprüfung beim 1. Versuch den gesetzlichen Mindestwert von 50% nicht erreicht hat.

KFZ DE-XS69 WVWZZZ1JZ2W577620 Toni Jecht

HU § 29 StVZO - Hauptuntersuchung weitere Prüfung(en):

Auswahlmenü  gebremste Achsen   
 Berechnungsmasse (BM) in kg:

Achse	Betriebsbremsanlage			Feststellbremsanlage		
	Bremskraft in daN		Abweichung in %	Bremskraft in daN		Abweichung in %
	Links	Rechts		Links	Rechts	
1	210	210	0			
2	190	180	5	130	120	8
Blockiergrenze erreicht			<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
Abbremsung in %			46			15

Abb.29: Berechnung der Abbremsung in Mobile TÜV 2

Tatsache ist, dass nicht immer die Möglichkeit besteht, ein Fahrzeug bis zur maximal zulässigen Gesamtmasse auszuladen. Deshalb bietet die Prüfsoftware Mobile TÜV II einen Button, mit dessen Aktivierung der Sachverständige bestätigt, dass trotz fehlender Mindestabbremung die Wirkungsprüfung als bestanden gilt, da beispielsweise die Blockiergrenze vorzeitig erreicht wurde bzw. die Bremskraft sich durch Zuladung erhöhen würde. Als wichtiger Einflussfaktor ist die Anzahl der angetriebenen Achsen zu nennen. Bevor der Sachverständige mit der Wirkungsprüfung der Bremsanlage beginnt, hat er sich in Feld 9 der Zulassungsbescheinigung Teil 1 zu versichern, ob es sich um eine oder um zwei angetriebene Achsen handelt. Werden beide Achsen des Fahrzeuges angetrieben, so können eventuell Schwierigkeiten bei der Wirkungsprüfung auf einem Einachs-Rollenbremsprüfstand auftreten. Wie in Kapitel 6.1 beschrieben, werden Einachs-Rollenbremsprüfstände fast ausschließlich gleichläufig betrieben. Da viele Geländewagen sowie SUV einen permanenten Allradantrieb besitzen, kann dies zu erheblichen Schäden im Differential führen. Die Prüfsoftware TÜV Mobile II bietet eine Möglichkeit der Recherche in der Fahrzeug-Systemdatenbank. Hier findet der Sachverständige Angaben über die Verfahrensweise bei der Wirkungsprüfung von allradangetriebenen Fahrzeugen der einzelnen Hersteller. Sollte der Hersteller vorschreiben, dass das Fahrzeug nicht auf einem Rollenbremsprüfstand betrieben werden darf, so ist die Wirkungsprüfung auf einem Plattenprüfstand bzw. mit dem Verzögerungsmessgerät nachzuweisen.

Hier zeigt sich der Vorteil vom Plattenprüfstand und VZM, da die Anzahl der angetriebenen Achsen keinen Einfluss auf die Bremswirkung hat. Die einzelnen Bremswerte können wie bei einem Fahrzeug mit einer angetriebenen Achse aufgenommen werden. Bei einem Einachs-Rollenbremsprüfstand zeigt sich die Besonderheit, dass die Zeiger im Anzeigekasten auf eine gewisse Bremskraft ansteigen, obwohl der Fahrer die Bremse noch nicht betätigt hat, da durch den Allradantrieb ein Gegenmoment auf die Antriebsrollen des Prüfstandes wirkt. Um dies zu veranschaulichen, wurde ein Ford Kuga mit 2 angetriebenen Achsen mit den drei verschiedenen Wirkungsprüfmethoden getestet. Mit dem VZM wurde eine mittlere Vollverzögerung auf ebener trockener Asphaltdecke von  $8,4 \text{ m/s}^2$  erreicht. Die mit dem Plattenbremsprüfstand ermittelten Werte ergaben nach Auswertung eine Abbremsung von 64%. Auf dem Rollenbremsprüfstand wurde nach dem Einfahren, ohne Betätigen der Bremse, kurzzeitig ein Rollwiderstand von rund  $3,0 \text{ daN}$  aufgrund der durch den Allradantrieb hervorgerufenen Antriebskräfte gemessen. Nach Auswertung der einzelnen maximalen Bremskräfte ergab sich eine Abbremsung von 57%. Darüber hinaus wurde bei den Untersuchungen festgestellt, dass sich eine Vielzahl von Bremsbelägen ungleichmäßig abgenutzt hat. Dies hat zur Folge, dass die Bremsscheiben und Bremsbeläge von der Außenseite beispielsweise als technisch in Ordnung erkannt und von der Innenseite her dennoch beanstandet werden.



Abb.30: Ungleichmäßig verschlissene Bremsscheibe/Bremsbelag

Die Bremsleistung der BA ist bei einseitig abgenutzten Bremsbelägen deutlich geringer, da die Bremsbeläge nicht mit ihrer vollen Reibungsfläche anliegen. Sollten die Bremsbeläge bis auf das von dem Hersteller vorgeschriebene Verschleißmaß abgenutzt sein, wird dies bei den meisten neueren Fahrzeugen durch eine gelbe Kontrolllampe angezeigt.

Die gelbe Kontrolllampe leuchtet auf, sobald der Schleifkontakt der Verschleißanzeige Kontakt mit der Bremsscheibe bekommt.



Abb.31: Bremsbelag mit Verschleißanzeige

Problem ist, dass bei fast allen Fahrzeugen, die eine Verschleißanzeige besitzen, die Verschleißkontakte nur an den inneren bzw. nur an den äußeren Bremsbelägen sitzen. Dadurch können Bremsbeläge, die einseitig abgenutzt sind, nicht eindeutig dem Fahrzeugführer angezeigt werden. Dies kann fatale Auswirkungen haben, da selbst bis auf die Trägerplatte abgenutzte Bremsbeläge kurzzeitig sehr gute Bremsleistungen aufgrund der enormen Reibung aufweisen. Im Gegensatz zu Scheibenbremsen besitzen Trommelbremsen keine Verschleißkontakte, sondern teilweise Schaulöcher, die zur Überprüfung des Verschleißmaßes dienen. Auf allen drei Bremsprüfständen kann man nicht erkennen, wenn Bremsbeläge ohne Verschleißanzeige bis unter das Mindestmaß gebremst wurden. Meist signalisieren sich diese Schadensbilder durch schleifende metallische Geräusche. Bremsbeläge sollten nach dem Erneuern eine gewisse Zeit eingefahren und nicht voll belastet werden. Wird eine Bremsanlage ständig unter hoher Belastung beansprucht, so können aufgrund der auftretenden hohen Temperatur die Bremsbeläge verglasen und die Bremsscheiben ausglühen. Bei zu hohen Temperaturen treten Gase und Harze aus dem Material der Bremsbeläge aus und eine glasartige Schicht auf dem Bremsbelag entsteht, welche fast keinen Reibwert aufweist.<sup>28</sup> Diese sich dadurch verschlechternde Bremswirkung führt zu starker Beeinträchtigung der Bremsanlage. Als wichtiger Einflussfaktor auf die Bremswirkung ist das Tragbild der Bremsscheiben zu erwähnen. Diese Beeinträchtigung, meist durch Korrosion hervorgerufen, ist bei der Wirkungsprüfung nicht eindeutig zu erkennen. Für die Feststellung ist eine Sichtprüfung unerlässlich. Diese gestaltet sich bei vielen Fahrzeugen als aufwendig, da durch das Staublech der Bremsscheibe sowie durch die Bauweise der Felgen eine Sicht auf die Bremsscheibe relativ schwer ermöglicht wird.

<sup>28</sup>[http://www.at-rs.de/Verglaste\\_Bremsbel%C3%A4ge.html](http://www.at-rs.de/Verglaste_Bremsbel%C3%A4ge.html) (13.02.2014,21.44Uhr)



Abb.32: „beanstandetes Tragbild“ einer Bremsscheibe

Meist hat dieses Schadensbild direkten Einfluss auf die Bremswirkung. Ist das Tragbild der Bremsscheiben einer Achse gleichmäßig „schlecht“, so ist die Bremsleistung der Achse in Bezug auf eine technisch einwandfreie BA wesentlich geringer. Ursache für ein „schlechtes“ Tragbild sind meist Bremsbeläge, die nicht gleichmäßig mit ihrer kompletten Reibfläche auf die Bremsscheibe wirken. Oft hängen die Bremsbeläge auf dem Bremssattelträger fest oder der Sattel hängt auf den Führungsbolzen des Schwimmsattels fest. Bei der Montage der Bremsbeläge ist unbedingt darauf zu achten, dass der Bremssattelträger an den Führungen der Bremsbeläge keine Beschädigungen aufweist. Die Bremsbeläge sollten an den Auflagepunkten mit einer speziellen temperaturfesten Montagepaste benetzt werden, um ein Festkorrodieren zu vermeiden. Im schlimmsten Fall kann sich der Bremsbelag vom Träger ablösen und sich in der Bremsanlage „verkeilen“. Dadurch wirkt dauerhaft eine sehr hohe Temperaturbeanspruchung auf die Bremse, bis hin zum Ausglühen der betroffenen Bremsscheiben. Das Ablösen des Bremsbelages tritt bei Scheiben- und Trommelbremsen gleichermaßen auf.



Abb.33: Trägerplatte ohne Bremsbelag

Um den Einfluss von einem schlechten Tragbild auf die Bremswirkung zu veranschaulichen, wurde ein Fahrzeug vom Typ Mitsubishi Colt mit allen drei Prüfmethode gebremst. Mit dem Verzögerungsmessgerät und dem Plattenbremsprüfstand waren keine Beanstandungen in Bezug auf die Abbremsung festzustellen. Nur auf dem Rollenbremsprüfstand konnten beim Bremsverlauf Bremskraftschwankungen zwischen 170 und 180daN der BBA an der Vorderachse festgestellt werden. In diesem Fall wurde durch eine Sichtprüfung festgestellt, dass die Bremsscheiben der Vorderachse ein „schlechtes“ Tragbild haben. Als Ursache für das schlechte Tragbild der Bremsscheibe zeigten sich festkorrodierte Bremsbeläge an den Bremssattelträgern. Laut der internen Fachinformation 33/08 ist das Tragbild zu beanstanden, wenn mehr als 20% der Ringflächenbreite der Bremsscheibenfläche Korrosion besitzen (Anlage V). Korrosion an Bremsscheiben tritt häufig bei Gebrauchtwagen mit einer hohen Standzeit auf. Hier bietet der Rollenbremsprüfstand den Vorteil der statischen Messung, indem die Betätigungskraft beliebig lange erhöht bzw. verringert werden kann, um ein „Freibremsen“ der Bremsscheiben zu ermöglichen. Einen ähnlichen Effekt erhält man bei der Verzögerungsmessung mit dem VZM, da man vor der ersten Messung das Kraftfahrzeug im Fahrbetrieb aus unterschiedlichen Geschwindigkeiten beliebig oft verzögern kann. Hierbei ist unbedingt darauf zu achten, dass der nachfolgende Verkehr durch die Abbremsungen nicht behindert wird. Hier ist der Plattenprüfstand eindeutig im Nachteil, da das Fahrzeug mit einer relativ kleinen Prüfgeschwindigkeit auf den Bremsplatten verzögert wird. Der Verlauf der Wirkungsprüfung von Bremsanlagen kann nur mit dem Rollenprüfstand eindeutig nachvollzogen werden, da bei der Prüfung mit VZM bzw. Plattenprüfstand nur die Maximalwerte angezeigt werden. Oft treten diese Reibwertschwankungen nur sporadisch, in Abhängigkeit von der Betätigungskraft, auf. Da der Reifen beim Bremsen die Bremskraft auf die Fahrbahnoberfläche überträgt, wurde in einem Selbstversuch mit dem Referenzfahrzeug der Einflussfaktor Profiltiefe überprüft. Dazu wurden Sommerreifen mit einer Profiltiefe von 1,2mm für die Wirkungsprüfung montiert. Auf dem Rollenprüfstand ergaben sich ähnliche Bremswerte, wie mit den fast neuen Winterreifen, jedoch wurde die Blockiergrenze der Feststellbremse an der Hinterachse früher erreicht. Bei der Betriebsbremsanlage wurden nur minimale Unterschiede bei der Abbremsung festgestellt.

<b>Wintereifen (7mm)</b>			
	Bremskraft in daN	Bremskraftdifferenz	Abbremsung
VL/VR	210/210	0%	BBA 46%
HL/HR	190/180	5%	
FFB HL/HR	130/120	8%	FBA 15%
<b>Sommerreifen(1,2mm)</b>			
	Bremskraft in daN	Bremskraftdifferenz	Abbremsung
VL/VR	210/200	5%	BBA 45%
HL/HR	180/180	0%	
FFB HL/HR	120/110	8%	FBA 13%

Tab.2: Auswertung Einflussfaktor Profiltiefe-Rollenbremsprüfstand

Da bei der Feststellbremse die Blockiergrenze in beiden Fällen erreicht wurde, sind die möglicherweise unterschiedlich auftretenden Betätigungskräfte zu vernachlässigen. Bei der Prüfung mit dem Rollenbremsprüfstand ist unbedingt darauf zu achten, dass die Antriebsrollen keine Beschädigungen aufweisen (Anlage VI). Findet trotz beschädigter Rollen die Wirkungsprüfung statt, sind sehr niedrige Bremskraftwerte zu erwarten, da die Blockiergrenze aufgrund mangelnder Haftreibung schon bei niedrigen Betätigungskräften erreicht wird. Dieser Effekt würde sich bei abgefahrenen Reifen noch verstärken, da noch niedrigere Haftreibungszahlen auftreten. Auf dem Plattenbremsprüfstand konnten größere Unterschiede bei der Abbremsung zwischen neuwertigen und abgefahrenen Reifen festgestellt werden.

<b>Wintereifen (7mm)</b>			
	Bremskraft in daN	Bremskraftdifferenz	Abbremsung
VL/VR	427/400	6%	BBA 63%
HL/HR	130/127	2%	
FFB HL/HR	177/175	1%	FBA 20%
<b>Sommerreifen(1,2mm)</b>			
	Bremskraft in daN	Bremskraftdifferenz	Abbremsung
VL/VR	352/342	3%	BBA 55%
HL/HR	122/126	3%	
FFB HL/HR	172/180	4%	FBA 20%

Tab.3: Auswertung Einflussfaktor Profiltiefe am Plattenbremsprüfstand

Da sich die unterschiedlichen Abbremsungen nicht eindeutig auf die Profiltiefe schließen lassen, sondern möglicherweise auf die Reproduzierbarkeit des Messverfahrens, wurden erneut Versuche zur Wiederholgenauigkeit durchgeführt. Hierbei zeigte sich deutlich, dass der Rollenbremsprüfstand als Wirkungsprüfverfahren der genaueste ist.

Unter konstanten Testbedingungen wurden bei zehn Messversuchen nur geringfügige Abweichungen bei den einzelnen Bremskräften festgestellt. Die Streuung der einzelnen Messergebnisse ist beim Plattenbremsprüfstand weitaus größer. Bei der Abbremsung der Betriebsbremsanlage zeigen sich Abweichungen von 11% von der kleinsten Abbremsung mit 53% bis hin zum höchsten Messwert mit 64% Abbremsung.

	VZM	Plattenbremsprüfstand	Rollenbremsprüfstand
1.Messung	7,9	63% BBA/ 20% FBA	46% BBA/ 16% FBA
2.Messung	7,5	55% BBA/ 20% FBA	45% BBA/ 17% FBA
3.Messung	7,4	58% BBA/ 19% FBA	45% BBA/ 15% FBA
4.Messung	7,2	61% BBA/ 21% FBA	45% BBA/ 17% FBA
5.Messung	7,7	58% BBA/ 18% FBA	44% BBA/ 16% FBA
6.Messung	8,6	59% BBA/ 20% FBA	46% BBA/ 15% FBA
7.Messung	8,1	61% BBA/ 18% FBA	45% BBA/ 16% FBA
8.Messung	7,7	53% BBA/ 16% FBA	43% BBA/ 17% FBA
9.Messung	7,9	64% BBA/ 17% FBA	45% BBA/ 16% FBA
10.Messung	7,6	61% BBA/ 18% FBA	47% BBA/ 17% FBA
Mittelwert BBA	7,72	59,3	45,1
Standardabw. BBA		3,257299495	1,044030651

Tab.4: Auswertung Reproduzierbarkeit der Messverfahren

Betrachtet man die relativ kurzen Bremsplatten am Plattenprüfstand, zeigt sich, dass die hohen Bremskräfte durch eine schnelle stoßartige Belastung zu Stande kommen. Bei allen Wirkungsprüfverfahren ist zu beanstanden, dass eine Reproduzierbarkeit der Pedalkraft nicht möglich ist. Um den Einfluss von Bremsregelsystemen wie ABS zu prüfen, wurden Bremsversuche mit und ohne ABS durchgeführt. Zum Deaktivieren des Systems wurde die entsprechende Sicherung gezogen. Auf dem Rollenbremsprüfstand konnten keine nennenswerten Unterschiede festgestellt werden, da die Blockiergrenze vor dem Regeleingriff des ABS erreicht war. Ähnlich verlief die Verzögerung auf dem Plattenprüfstand. Unter Einhaltung der vorgeschriebenen Prüfgeschwindigkeit, ist kein Unterschied im Bezug auf die Abbremsung feststellbar. Nur beim VZM, konnte eine minimale Steigerung der mittleren Vollverzögerung von  $0,6\text{m/s}^{-2}$  festgestellt werden. Viele Fahrzeuge besitzen einen lastabhängigen Bremsdruckregler für die Hinterachse. Er hat die Aufgabe, den Bremsdruck an der hinteren Achse des Fahrzeuges je nach Beladungszustand zu erhöhen, bzw. zu verringern. Dadurch hat er direkten Einfluss auf die Bremskraft, was beispielsweise durch eine Tieferlegung des Fahrzeuges fatale Auswirkungen haben kann. Durch die Reduzierung der Bodenfreiheit wird die Feder teilweise auf Zug beansprucht, wodurch ein erhöhter Bremsdruck auf die Hinterachse wirkt.

Dies hat zur Folge, dass das Fahrzeug an der Hinterachse überbremst und dadurch gefährliche Situationen entstehen können. Hier zeigt das VZM als einziges Verfahren einen Nachteil, da eine Klassifizierung in 2-Achsen nicht möglich ist. Um den Einfluss eines unterschiedlichen Luftdruckes aufzuzeigen, wurden Bremsversuche mit unterschiedlichen Luftdrücken durchgeführt. Dazu wurden Messungen mit 3 verschiedenen Luftdrücken ermittelt.

Luftdruck	„Platte“	VZM	„Rolle“
VL 2,1 VR 2,1	389/407daN	8,23 m/s*s	220/220daN
VL 1,5 VR 2,1	396/377daN	8,42 m/s*s	225/220daN
VL 1,0 VR 2,1	368/381daN	8,33 m/s*s	230/215daN

Tab.5: Einflussfaktor Luftdruck

Beim verzögern mit dem VZM wurden annähernd die gleichen Verzögerungswerte gemessen, jedoch verzog das Fahrzeug beim Bremsen leicht nach links. Auf dem Rollenbrensprüfstand zeigte sich eine leichte Erhöhung der Bremskraft durch die größere Aufstandsfläche des Reifens. Die gemessenen Werte auf dem Plattenbrensprüfstand sind nicht zu berücksichtigen, da aufgrund der schlechten Reproduzierbarkeit keine Rückschlüsse auf den Luftdruck gegeben werden können. Als weiterer Einflussfaktor bei der Wirkungsprüfung ist die Art der Feststellbremse zu erwähnen. Sollte sie mechanisch über Hand- bzw. Fußkraft zu betätigen sein, können ohne Beeinträchtigungen alle Verfahren zur Wirkungsprüfung verwendet werden jedoch mit der Einschränkung, dass die „Abstufbarkeit“ der Feststellbremse nur auf dem Rollenbrensprüfstand eindeutig überprüft werden kann. Ist eine EMF verbaut, sind unbedingt die von der FSD vorgegebenen Prüfhinweise zu beachten. Ähnlich wie bei der mechanischen Feststellbremse, sollte die elektromechanische Version mit einem Rollenbrensprüfstand geprüft werden. Hier zeigt sich jedoch, dass ein Großteil der elektromechanischen Feststellbremsen nicht in den sogenannten Prüfmodus wechselt. Aktiviert nun der Sachverständige die Betätigungstaste für die EMV, werden die Elektromotoren innerhalb von wenigen Millisekunden angesteuert und verursachen dadurch die gewünschte Wirkung an der Hinterachse. Der Prüfer kann durch diesen Vorgang keine „Abstufbarkeit“ der FBA prüfen. Erkennt die Elektronik des Fahrzeuges, dass die VA eindeutig steht und die Hinterräder sich drehen, wechselt die Software der EMF in einen Prüfmodus für die Wirkungsprüfung. Hierbei lassen sich durch mehrfaches Betätigen des Schalters verschiedene Betätigungskräfte simulieren und ein Bremskraftverlauf darstellen.

Als weiterer möglicher Einflussfaktor auf die Bremswirkung wurde die Bremsflüssigkeit an mehreren Fahrzeugen untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass kein direkter Zusammenhang zwischen der Bremskraft und dem Nasssiedepunkt der Bremsflüssigkeit besteht. Der gemessene Nasssiedepunkt der 1,5 Jahre alten Bremsflüssigkeit lag bei 204 °C. Da es sich um eine DOT (Class6) Bremsflüssigkeit handelt, muss der Nasssiedepunkt laut Hersteller mindestens 175 °C aufweisen. Nach Auswechseln der Bremsflüssigkeit ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede auf dem Rollenbremsprüfstand.

<b>DOT4 gemessener Nasssiedepunkt 204°C</b>			
	Bremskraft in daN	Bremskraftdifferenz	Abbremsung
VL/VR	210/210	0%	BBA 46%
HL/HR	190/180	5%	
FFB HL/HR	130/130	0%	FBA 15%
<b>DOT4 angegebener Siedepunkt 265°C</b>			
	Bremskraft in daN	Bremskraftdifferenz	Abbremsung
VL/VR	220/210	5%	BBA 46%
HL/HR	180/180	0%	
FFB HL/HR	130/120	8%	FBA 15%

Tab.6: Auswertung Einflussfaktor Nasssiedepunkt Bremsflüssigkeit

Von den 508 untersuchten Fahrzeugen wurde an 3 Fahrzeugen ein unterschrittener Nasssiedepunkt von unter 175 °C festgestellt. Im Rahmen der Hauptuntersuchung ist die Prüfung des Siedepunktes kein Pflichtprüfpunkt, daher wird nur bei Verdacht eine Prüfung mit einem Siedepunktmessgerät durchgeführt. Bei den beanstandeten Fahrzeugen zeigten sich der Bremsverlauf und die gemessenen Abbremsungen ohne Beanstandungen. Leider konnte bei den geprüften 508 Fahrzeugen nicht eindeutig festgestellt werden, ob es sich um originale bzw. aus dem Zubehör verbaute Bremsscheiben sowie Bremsbeläge handelt. In den Medien wird immer wieder auf die Fälschung von Ersatzteilen aufmerksam gemacht. Sollten solche „Piratenteile“ als Austausch für die Originalteile verbaut werden, ist eine ordnungsgemäße Bremswirkung kaum noch zu erwarten<sup>29</sup>.

Da bei Bremsanlagen hohe Temperaturschwankungen auftreten, wurde versucht, den Einflussfaktor der Bremsentemperatur zu verdeutlichen. Bei der Wirkungsprüfung mit dem Plattenprüfstand tritt kaum thermische Beanspruchung auf, da die Prüfgeschwindigkeit mit 5-8km/h sehr gering ist. Ähnlich verhält sich die Verzögerung mit dem VZM. Da es sich um eine dynamische Prüfung handelt, wird die Bremsanlage vom Fahrtwind relativ gut gekühlt.

<sup>29</sup> <http://www.autobild.de/artikel/gefaehrliche-ersatzteile-43175.html> (02.02.2014,10.34Uhr)

Auf dem Rollenbremsprüfstand findet die höchste Beanspruchung der Bremsanlage statt, da der Sachverständige beliebig lange das Fahrzeug verzögern kann. Da es sich um eine statische Messung handelt, wird die Bremsanlage thermisch hoch belastet.

	Rollenbremsprüfstand	Plattenbremsprüfstand	VZM
Bremsscheibentemperatur vor Prüfung	8,6°C	9,3°C	9.8°C
Bremsscheibentemperatur nach Prüfung	121.4°C	17.3°C	76,3°C
Abbremsung/Verzögerung	46%	52%	8,2m/s*s

Tab.7: Auswertung Einflussfaktor Bremsscheibentemperatur

Wie man aus der Tabelle erkennen kann, steigt die Bremstemperatur deutlich bei der Prüfung mit dem Rollenbremsprüfstand. Im Rahmen der Wirkungsprüfungen hat die Bremstemperatur jedoch keinen großen Einfluss, da in der Regel nach einer Messung die Prüfung beendet wird. In der Realität spielt die Temperatur eine entscheidende Rolle, da beispielsweise bei langen Passabfahrten die Bremse bis an ihre Grenzen beansprucht wird. Das Nachlassen der Bremswirkung unter thermischer Belastung wird Fading genannt<sup>30</sup>. Da die meisten Prüfstände in beheizten Werkstätten untergebracht sind, hat die Umgebungstemperatur keinen entscheidenden Einfluss bei der Wirkungsprüfung. Es ist allerdings zu beachten, dass bei Minusgraden die Fahrbahnoberfläche andere Haftreibungszahlen aufweist, als bei trockener griffiger Fahrbahn. Um dies zu verdeutlichen, wurden bei Schnee mit dem VZM drei Messungen durchgeführt. Laut §41 StVZO sind Messungen mit dem VZM auf trockener ebener Fahrbahn durchzuführen. Die Messungen zeigen deutlich, dass aufgrund der schlechten Haftreibungszahlen, trotz ABV, eine nicht ausreichende Mindestabbremung gewährleistet ist. Sollte die Fahrbahn vereist bzw. schneebedeckt sein, ist von einer Messung mit dem VZM unbedingt abzuraten. Ist die Fahrbahn aufgrund von Regen mit Nässe versehen, kann die Messung, wie auf trockener Fahrbahn, durchgeführt werden. Dabei würden mit dem VZM folgende mittlere Vollverzögerungen erreicht:

	Pedalkraft	max. Vollverz.	mittl. Vollverz.
Messung 1 20km/h	106N	3,43 m/s*s	ca. 3,1 m/s*s
Messung 2 20km/h	89N	3,55 m/s*s	ca. 3,1 m/s*s
Messung 3 20km/h	96N	3,21 m/s*s	ca. 3,0 m/s*s

Tab.8: Auswertung Einflussfaktor Schnee-VZM

<sup>30</sup><http://www.seat.de/content/de/brand/de/service---zubehor/technik-lexikon/b/bremsenfading.html>  
(02.02.2014,11.34Uhr)

Aufgrund der Beschichtung der Antriebsrollen beim Rollenbremsprüfstand sowie der Struktur der Bremsplatten beim Plattenprüfstand, haben Nässe/Schnee keinen entscheidenden Einfluss. Hierbei ist unbedingt darauf zu achten, dass die Antriebsrollen keine Beschädigungen aufweisen. Sollte der Plattenprüfstand im Freien verbaut sein, muss vor der Wirkungsprüfung sichergestellt sein, dass die Bremsplatten frei von Eis, Schnee sowie Verschmutzungen sind, da bei der Messung mit dem VZM und dem Plattenprüfstand eine Gewährleistung der konstanten Prüfgeschwindigkeit nicht gegeben ist. Um verwertbare Messergebnisse zu erhalten, sind unbedingt die vom Prüfmittelhersteller vorgegebenen Geschwindigkeiten einzuhalten. Bei Abweichung der Prüfgeschwindigkeit nach oben, ist auf dem Plattenbremsprüfstand eine starke Erhöhung der Bremskräfte festzustellen.

	Bremskraft VA	Bremskraft HA	Bremskraft FBA
Messung 1- mit 3km/h	352/342daN	122/126daN	172/180daN
Messung 2- mit 6km/h	400/382daN	142/135daN	147/127daN
Messung 3- mit 15km/h	427/400daN	130/127daN	177/175daN

Tab.9: Auswertung Einflussfaktor Prüfgeschwindigkeit-Plattenbremsprüfstand

Fehler beim Notieren der Bremswerte durch den Sachverständigen sind bei Messungen mit dem VZM und dem Plattenprüfstand fast ausgeschlossen.

Bei neueren Verzögerungsmessgeräten wird die mittlere Vollverzögerung direkt digital angezeigt. Gleiches gilt für die Bremskraftdifferenz/Bremskraft bei aktuellen Plattenprüfständen. Auch hier wird die Bremskraft mit zwei Dezimalstellen angezeigt. Da die Einteilung der Messskala beim Rollenbremsprüfstand in Zehnerschritten erfolgt, ist die eindeutige Ablesung eines Bremskraftwertes nicht gegeben.



Abb.34: Messskala Rollenbremsprüfstand

Auffallend war, dass falls die Blockiergrenze bei der BBA an der HA erreicht wurde, immer die gemessenen maximalen Bremskräfte von der BBA der HA an der Messskala angezeigt wurden. Bei der Feststellbremse war dies jedoch nicht der Fall. Diese Fehlerquelle kann dazu führen, dass der Sachverständige im Gespräch mit dem Kunden bei der Wirkungsprüfung fälschlicherweise die gemessenen Bremskräfte der BBA für die FBA notiert. Der Rollenbremsprüfstand ist dennoch das beste Verfahren um die Wirkung einer Bremsanlage zu prüfen. Nur bei diesen Verfahren lassen sich eine Vielzahl von Einflussfaktoren bei der Überprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung erkennen.

Um unterschiedliche Einflussfaktoren und Merkmale der einzelnen Wirkungsprüfverfahren darzustellen, wurde eine Tabelle angefertigt.

<b>Einflussfaktor/ Merkmal</b>	<b>VZM</b>	<b>Rollenbremsprüfst.</b>	<b>Plattenbremsprüfst.</b>
Allradprüfung	möglich	bedingt prüfbar	möglich
Freibremsen bei Korrosion	möglich	möglich	nicht möglich
Mechan. Feststellbremse	möglich	möglich	möglich
Bremstemperatur	gering	hoch	sehr gering
Profiltiefe	hoch	sehr gering	gering
Verschlissene Bremsbeläge	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich
Verschlissene Bremsscheiben	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich
EMF	nicht möglich	möglich	bedingt möglich
Unrundheiten Trommel/Scheibe	nicht möglich	möglich	nicht möglich
Bremsverlauf	bedingt möglich	möglich	nicht möglich
Bremskraftdifferenz	nicht möglich	möglich	möglich
Gewichtserfassung	nicht möglich	möglich	möglich
Reifenauflegepunkte	Straßengleich-1	Straßenabw. -2	Straßengleich-1
Warmbremsen	möglich	möglich	nicht möglich
Gefahr bei Anwendung	hoch (Verkehr)	hoch(rot. Teile)	gering
Prüfdauer	gering	beliebig	sehr gering
Installationsaufwand	sehr gering	hoch	gering
Wiederholgenauigkeit	gering	hoch	gering
Kostenfaktor	sehr gering	hoch	gering
Anwendung	jede ÜO/TP	sehr verbreitet	verbreitet
Elektr. Anschlussleistung	12V bzw. Akku	hoch ( da 2 E-Motoren)	gering (230V)
Ablesefehler	möglich	möglich	kaum möglich
Prüfgeschwindigkeit	ca. 20km/h	5-7km/h	7-10km/h
Messart	dynamisch	statisch	dynamisch
Umwelteinflüsse	hoch	sehr gering	gering
Rollwiderstandsmessung	nicht möglich	möglich	nicht möglich
Verschleiß des Prüfmittels	sehr gering	hoch	gering
Bremskraft d. einzelnen Achsen	nicht möglich	möglich	möglich
Dynamische-Achslast	möglich	nicht möglich	möglich

Tab.10: Auswertung Wirkungsprüfung Einflussfaktoren

Versuche auf unterschiedlichen Steigungen bzw. Gefällen wurden nicht durchgeführt, da Prüfmittel ausgerichtet sind und die Prüfstrecken keine relevanten Steigungen besitzen.

## **8 Entwurf zur Verbesserung der Wirkungsprüfverfahren und der Komponenten von Bremsanlagen**

Tatsache ist, dass der Plattenbremsprüfstand immer mehr dem Rollenbremsprüfstand weichen muss. Aus diesem Grund wurde versucht, die Wirkungsprüfung auf dem Rollenprüfstand zu optimieren. Die Auswertung der einzelnen Messergebnisse zeigt deutlich, dass die Mindestabbremmung bei vielen Fahrzeugen aufgrund des Beladungszustandes nicht erreicht wurde. Besonders aufgefallen ist, dass Fahrzeuge mit einem hohen Last-Leer-Verhältnis davon betroffen sind. Eine Verbesserung würde erreicht werden, wenn Bezugswerte der einzelnen Fahrzeughersteller bezüglich ihrer Bremswirkung bei verschiedenen Beladungszuständen vorliegen würden. Dazu müssten Rollenbremsprüfstände ohne Gewichtserfassung umgerüstet werden, um das tatsächliche Gewicht des Fahrzeuges zu messen bzw. müsste der Rollenbremsprüfstand ausfahrbar sein, um eine Beladung zu simulieren. Mit der Einführung der neuen Bezugswertmethode durch den HU-Adapter bei der Hauptuntersuchung, wird dieses Verfahren ähnlich eingesetzt. Unterschied ist, dass bei der neuen Methode die Bremskraft bei bestimmtem Bremsdrücken ermittelt und mit Bezugswerten verglichen wird. Mit dem neuen HU-Adapter besteht leider nicht die Möglichkeit, ältere Fahrzeuge ohne OBD-Schnittstelle zu prüfen. Aus diesem Grund ist es ratsam, Bezugsbremskraftwerte in die Software des Prüfers zu implementieren und mittels Pedalkraftmesser bei älteren Fahrzeugen zu vergleichen. Wie schon im Kapitel 7 erwähnt, können Fehler beim Ablesen der Bremswerte für die Feststellbremse beim Rollenbremsprüfstand auftreten. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, da größtenteils noch aktuelle verwendete Prüfstände davon betroffen sind. Sollte bei der Prüfung der Feststellbremse die Blockiergrenze nicht erreicht werden, so werden die maximal erreichten Bremswerte der BBA der HA angezeigt. Ähnlich verhält es sich bei Reibwertschwankungen. Auch hier werden die höchsten Werte als Ergebnis angezeigt. Allerdings ist zu erwähnen, dass aktuelle Rollenbremsprüfstände unter anderem digitale Auswertungsprogramme besitzen. Hier werden zum Beispiel Reibwertschwankungen bzw. Ovalitäten durch Messwertschwankungen farblich dem Sachverständigen angezeigt. Ähnlich könnte man die Blockiergrenze und Reibwertschwankungen durch eine Signallampe im Anzeigekasten von älteren Rollenbremsprüfständen aufleuchten lassen. Darüber hinaus wäre es möglich, den erhöhten Rollwiderstand bei allradangetriebenen Achsen optisch dem Prüfer zu signalisieren.

Im Laufe der Bremsversuche mit dem VZM konnte beobachtet werden, dass eine einseitige Bremswirkung nicht nachvollziehbar ist. Mein Vorschlag zur Optimierung ist, dass die Hersteller einen Gierratensensor im VZM implantieren. Sollte sich das Fahrzeug auch nur minimal beim Verzögern um die Hochachse drehen, so könnte das VZM dies akustisch bzw. grafisch wiedergeben. Denkbar wäre auch, den bordeigenen Gierratensensor durch den HU-Adapter auszulesen und den Adapter als VZM zu verwenden. Da bei der Versuchsauswertung festgestellt wurde, dass EMF sich nicht immer auf ihre „Abstufbarkeit“ prüfen lassen, wurde versucht, die Funktionsweise der elektromechanischen Feststellbremse zu analysieren. Ein Aktivieren des Betätigungsschalters ist jederzeit möglich. Durch die einzelnen Raddrehzahlsensoren werden Signale zum Steuergerät gesendet. Dieses erkennt, dass sich das Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von über bzw. unter 7-10km/h befindet. Sollte der Fahrer aufgrund eines Defektes seiner BBA die EMV als „Notbremsanlage“ betätigen, muss die elektromechanische Feststellbremse bei einer Geschwindigkeit von über 10km/h die Verzögerung „abstufbar“ einleiten. Hauptproblem bei der Wirkungsprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung nach §29 StVZO ist, dass die Antriebsrollen am Rollenbremsprüfstand mit einer simulierten Geschwindigkeit von circa 6km/h arbeiten. Da der Gesetzgeber vorschreibt, dass die Feststellbremse in verschiedenen Zuständen zu prüfen ist, haben die Automobilhersteller einen speziellen Prüfmodus entwickelt. Bei der Wirkungsprüfung der Feststellbremse auf einem Einachs-Rollenbremsprüfstand werden die hinteren Räder durch die Antriebsrollen beschleunigt, während die vorderen Räder stehen. Hierbei werden die Raddrehzahlen der Hinter- und Vorderachse an das Steuergerät gesendet. Da von den vorderen Rädern keine Signale an das Stg. gesendet werden, schaltet sich der gewünschte Prüfmodus ein. Durch mehrfaches Betätigen des Schalters für die EMF, können verschiedene Betätigungszustände simuliert werden. Nach intensiven Untersuchungen wurde festgestellt, dass die EMF nicht in den Prüfmodus wechselt, wenn sich die Vorderräder durch leichtes Aufschaukeln drehen. Problem ist, dass aktive Drehzahlsensoren minimale Drehbewegungen wahrnehmen und Drehzahlsignale an das Steuergerät senden. Die Antriebsrollen laufen innerhalb kürzester Zeit nach dem Einfahren der Hinterachse in den Prüfstand an und verursachen teilweise ein Aufschaukeln um die Nickachse des Fahrzeuges. Der Prüfmodus der EMF lässt sich optimieren, indem die Referenzwerte im Programm des EMF-Steuergerätes geändert werden. Der Prüfmodus sollte aktiviert werden, wenn die Drehzahlsignale der Hinterachse größer 4km/h und die der Vorderachse zwischen 0-2km/h liegen. Auch wäre denkbar, dass speziell für den Rollenbremsprüfstand eine Tastenkombination des Betätigungsschalters, mit einem weiteren Schalter die Prüfmodusfunktion einleitet.

Sollten die Hersteller den Prüfmodus verbessern, ist in Bezug auf die Wirkungsprüfung der EMF nichts einzuwenden. Angesichts der häufig zu beanstandenden Bremsbeläge, insbesondere der ungleichmäßig abgenutzten, sollten die Hersteller ebenfalls die Verschleißanzeigen in allen Bremsbelägen verbauen. So kann auch bei einseitig abgenutzten Bremsbelägen dem Fahrer über die Kontrolllampe angezeigt werden, dass ein Austausch der Bremsbeläge zwingend erforderlich ist.

## **9 Zusammenfassung und Ausblick**

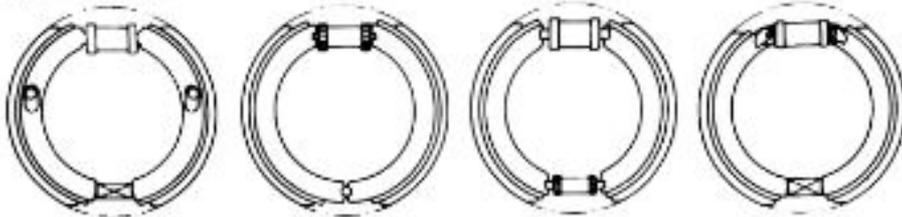
Mit der Bearbeitung der Aufgabenstellung sollte verdeutlicht werden, wie die Wirkungsprüfung an hydraulischen Bremsanlagen verläuft, welche Unterschiede die Verfahren besitzen und welchen Einfluss Schäden an Bremsanlagen in Bezug auf die Bremswirkung haben. Mit allen drei Verfahren lässt sich die Wirkung der Bremse messen und beurteilen, jedoch unterscheidet sich die Aussagekraft deutlich. Betrachtet man die relativ geringen Auswirkungen von Einflussfaktoren auf die Wirkungsprüfung, ist zusammenfassend zu sagen, dass die Prüfung mit dem Rollenbremsprüfstand die genaueste ist. Mit dem Verzögerungsmessgerät lässt sich eine Negativbeschleunigung messen und anhand eines gesetzlich vorgeschriebenen Mindestverzögerungswertes vergleichen. Negativ ist anzumerken, dass keine konkrete Bewertung von radbezogenen Bremskräften möglich ist. Der Plattenbremsprüfstand bietet den großen Vorteil, dass die Anzahl der angetriebenen Achsen keinen Einfluss auf den Ablauf der Prüfung hat und dass die dynamische Achslastverteilung mit in die Auswertung geht. Aufgrund der Tatsache, dass elektromechanische Feststellbremsen nur bedingt auf dem Plattenprüfstand messbar sind, ist der Rollenbremsprüfstand seit Jahren auf den Vormarsch. Da es sich um eine statische Prüfung handelt, ist eine zeitliche Begrenzung für die Wirkungsprüfung auf der „Rolle“ nicht gegeben. Durch den Verlauf der Bremsprüfung auf dem Rollenbremsprüfstand lässt sich eine qualitativ hochwertige Aussage über die Wirkung der Bremse fabrizieren. Über die stufenweise Einführung des HU-Adapters wird die Wirkungsprüfung in den nächsten Jahren erheblich verbessert werden. Dank der Bezugswertmethode entfällt die aktuelle Bremsenhochrechnung und eine noch genauere Beurteilung über die Bremswirkung wird erreicht. Sollten die Automobilhersteller das von mir geschilderte Problem mit der elektromechanischen Feststellbremse verbessern, steht einer optimalen Wirkungsprüfung im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Hauptuntersuchung nichts im Wege. Da sich im Moment der HU-Adapter in einer Testphase befindet ist abzuwarten, welche Verbesserungsvorschläge durch Sachverständige mit in die Entwicklung einfließen, um die Wirkungsprüfung dauerhaft zu verbessern.

## Anlagenverzeichnis

Anlage I: Trommelbremsarten .....	V
Anlage II: Grafische Auswertung d. Rollenbremsprüfstand .....	VI
Anlage III: FSD-Hinweis Allradfahrzeug .....	VII
Anlage IV: FSD-Hinweis EMF Plattenbremsprüfstand .....	VIII
Anlage V: Auszug aus der Fachinformation 33/08 .....	IX
Anlage VI: „Beschädigungen“ Rollenbremsprüfstand .....	X

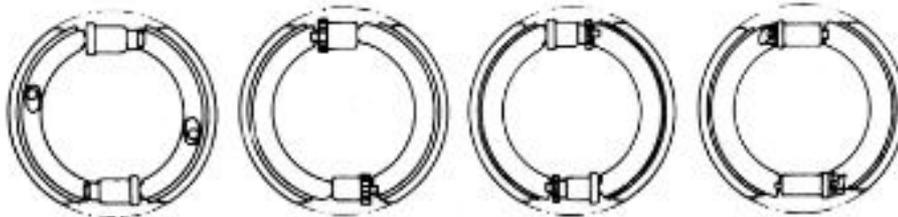
# Anlage I

## Simplex-Bremsen



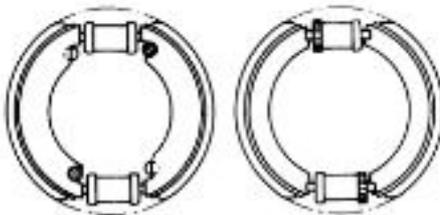
a) Exzenter-Nachstellung    b) Nachstellung am Zylinder    c) Nachstellung am Stützlager    d) Exzenter-Nachstellung am Zylinder

## Duplex-Bremsen



a) Exzenter-Nachstellung    b) Nachstellung am Zylinder (Betätigungsseite)    c) Nachstellung am Zylinder (Abslützseite)    d) Exzenter-Nachstellung am Zylinder

## Duo-Duplex-Bremsen



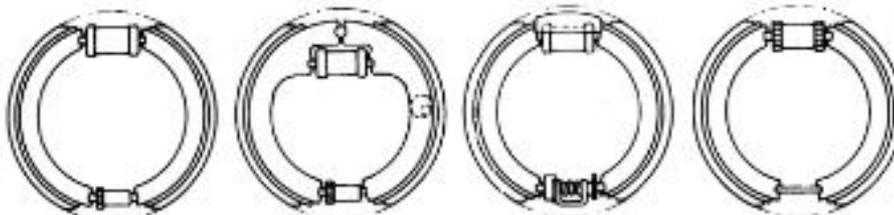
a) Exzenter-Nachstellung    b) Nachstellung an Zylindern

## Servo-Bremse



a) Nachstellung am Stützlager

## Duo-Servo-Bremsen

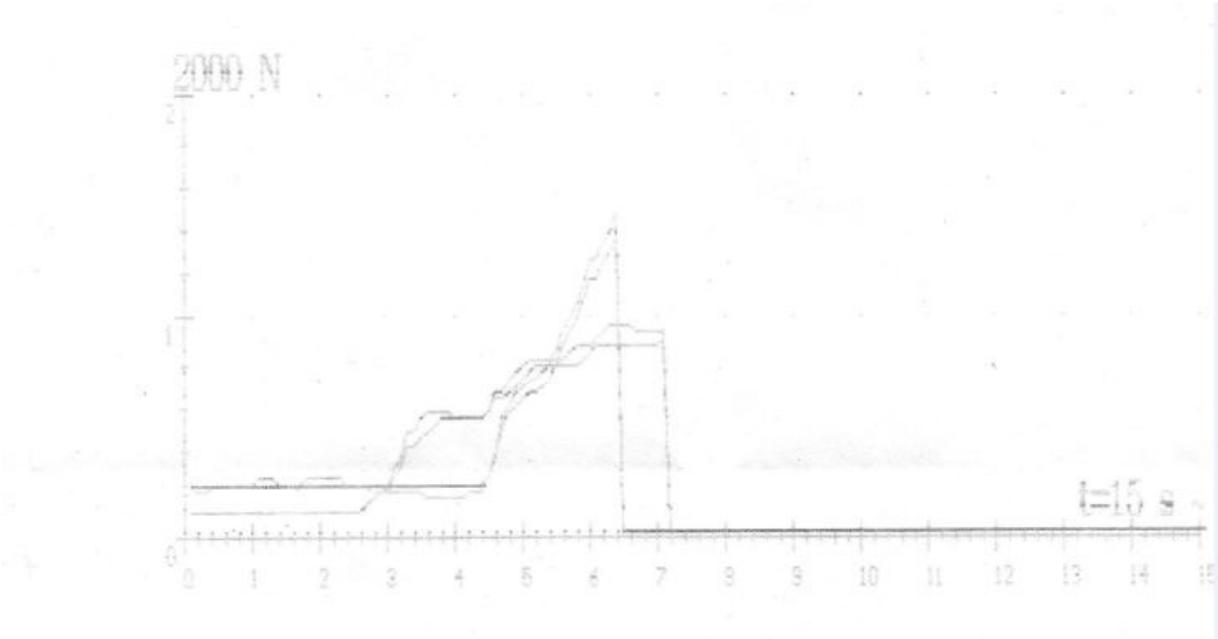


a) Schwimmende Nachstellung    b) Schwimmende Nachstellung, Exzenter an Sekundärbacke    c) Nachstellung mit Zentrierung    d) Nachstellung am Zylinder

Anl.I: Trommelbremsarten

Quelle: Gieger, W.; et al.: Meisterwissen im Kfz-Handwerk, a.a.O., S.775

Anlage II



Anl.II.: Grafische Auswertung d. Rollenbremsprüfstand

## Anlage III

FSD.HU 21

HSN 8566 TSN ATO

Prüfhinweise 3 Zusatzinfos 2 Lageinfos 3 Techn. Daten mehr...

### Allradfahrzeug im Einachs-Rollenbremsprüfstand

<b>Prüfhinweis</b>	<b>Prüfbar:</b> ja <b>Voraussetzung:</b> --- - Prüfgeschwindigkeit max. 5 km/h - Zündung aus - Prüfdauer max. 60s
--------------------	---

Allradfahrzeug im Einachs-Rollenbremsprüfstand

Sicherung gegen unbefugte Benutzung

Wirkungsprüfung der elektromechanischen Feststellbremse auf dem Plattenprüfstand

Anl.III: FSD-Hinweis Allradfahrzeug

## Anlage IV

FSD.HU 21  
HSN 8566 TSN ATO

Prüfhinweise 3 Zusatzinfos 2 Lageinfos 3 Techn. Daten mehr...

Allradfahrzeug im Einachs-Rollenbremsprüfstand  
Sicherung gegen unbefugte Benutzung  
Wirkungsprüfung der elektromechanischen Feststellbremse auf dem Plattenprüfstand

### Wirkungsprüfung der elektromechanischen Feststellbremse auf dem Plattenprüfstand

**Prüfhinweis**      **Prüfbarkeit:** ja, statisch

Voraussetzung:

- Anfahren bei aktivierter EMF

Festhaltewirkung  $\geq 16\%$  zGG, Abweichung li/re  $\leq 50\%$

Anl.IV: FSD-Hinweis EMF Plattenbremsprüfstand

## Anlage V

Seite 2 von 7 Stand: 15.08.2008 (Auszug der Fachinformation)

---

**Tragbild** Regelmäßig auftretende Tragbildmängel sind:

a) **Riefen** Hinweise zur Riefenbildung und deren Beurteilung sind Punkt 2 dieser Fach-Information zu entnehmen. Eine unzulässig starke Riefenbildung ist in Mobile TÜV unter Mangel 128d/128j (Riefen) und nicht unter 128f/128l (Tragbild) zu dokumentieren, auch um eine aussagekräftige Auswertung der HU-Berichte zu ermöglichen.

b) **Korrosion im Bereich der eigentlichen Reibfläche** Bei einigen Fahrzeugtypen kommt es an der Innenseite der Bremsscheiben zur Korrosion im Bereich der eigentlichen Tragfläche. Dies gilt vermehrt auch für die Innen- und Außenseite der hinteren Bremsscheiben von frontgetriebenen Fahrzeugen, die hauptsächlich teilbeladen und Innerorts betrieben werden (Bild 4). Vergleichsmessungen der Volkswagen AG zwischen voll tragenden Bremsscheiben und Bremsscheiben mit teilweise korrodierter Reibfläche haben gezeigt, dass die maximale Verzögerung eines Fahrzeugs mit kalter\* und warmer\*\* Bremsanlage sich nicht unzulässig verschlechtert, sofern höchstens 20 % der Ringflächenbreite der Bremsscheiben-Reibfläche nicht korrekt trägt (Bild 5).

Korrosion im Bereich der eigentlichen Bremsscheiben-Reibfläche ist daher nur zu bemängeln, wenn davon auszugehen ist, dass **über** 20 % der Ringflächenbreite der Bremsscheiben-Reibfläche auch nach kräftigem „Freibremsen“ nicht tragen wird.

Anl. V: Auszug aus der internen Fachinformation 33/08

Anlage VI



Anl.VI: „Beschädigungen“ Rollenbremsprüfstand

## **Literaturverzeichnis**

Breuer, B.; Bill, K.H. [Hrsg.]: Bremsenhandbuch, 2.Aufl.,Vieweg Verlag, 2004

Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Bremsanlagen für Kraftfahrzeuge,1.Ausgabe, VDI Verlag,1994

Leiter, R.; Mißbach: Bremsanlagen. 1.Aufl., Vogel Buchverlag,2004

Staudt, W.; et al.: Handbuch Fahrzeugtechnik Band 3.1.Aufl.,Bildungsverlag Eins

Döringer, H.-D; et al., Kraftfahrzeug-Technologie, 4.Aufl.,Holland + Josenhans Verlag, 2009

Beck, C.H.; Beck`sche Textausgaben Straßenverkehrsrecht, 82.Ergänzungslieferung 2013,Verlag C.H. Beck oHG,

Gieger, W.; et al.: Meisterwissen im Kfz-Handwerk, 2.Aufl., Vogel Buchverlag, 2004

Fischer, R.; et al.: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, 30.Aufl.,Europa Lehrmittel, 2013

Interne Fachinformationen zum Thema Bremsanlagen

## **Weiterführende Literatur**

Breuer, B.; Bill, K.H. [Hrsg.]: Bremsenhandbuch, Vieweg Verlag

Robert Bosch GmbH [Hrsg.]:Autoelektrik Autoelektronik, Vieweg Verlag

## **Verwendete Software**

**TÜV Mobile 2**

## Internetquellen

[http://www.kba.de/clin\\_031/nn\\_125264/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=tr ue#rechts](http://www.kba.de/clin_031/nn_125264/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand__node.html?__nnn=tr ue#rechts) (18.01.2014, 16.32Uhr)

<http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/der-grosse-check-60-jahre-hauptuntersuchung/5898686.html> (18.01.2014, 18.44Uhr)

<http://www.linzing.de/von-der-bandbremse-zum-esp/> (20.01.2014, 12.44Uhr)

[http://www.t-online.de/auto/technik/id\\_56437650/auto-technik-so-funktioniert-die-rekuperation.html](http://www.t-online.de/auto/technik/id_56437650/auto-technik-so-funktioniert-die-rekuperation.html) (20.01.2014, 17.34Uhr)

<http://www.tuevdekra.de/sachvip/index.php?queryString=startTypTeile%3Dtrue&praefix=&permanentlogin=1> (23.01.2014, 14.35Uhr)

<http://www.patent-de.com/20011122/DE10024848A1.html> (23.01.2014, 09.34Uhr)

<http://www.diekell.de/aktuelles/47.-aenderungsverordnung-stvzo.html> (28.01.2014, 11.55Uhr)

<http://www.linzing.de/hu-2012-groses-reformpaket/> (28.01.2014, 13.25Uhr)

AHS: Technischer Bericht Nr.2: Rolle oder Platte; <http://www.ahs-prueftechnik.de/techbericht02.html> (02.02.2014, 12:24 Uhr)

[http://www.at-rs.de/Verglaste\\_Bremsbel%C3%A4ge.html](http://www.at-rs.de/Verglaste_Bremsbel%C3%A4ge.html) (13.02.2014, 21.44Uhr)

<http://www.autobild.de/artikel/gefaehrliche-ersatzteile-43175.html> (02.02.2014, 10.34Uhr)

<http://www.seat.de/content/de/brand/de/service---zubehor/technik-lexikon/b/bremsenfading.html> (02.02.2014, 11.34Uhr)

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Ort, Datum, Unterschrift

**Dessau-Roßlau, den 12.03.2014,.....**