

Krafthand-Technik

Moderne Leistungs- und Abgasprüfverfahren



Grundlagen, Technik, Anwendung

Florian Vierling



Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH

ISBN 978-3-87441-102-8

Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliographie
Detaillierte bibliographische Daten sind im Internet
über <http://www.dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-87441-102-8

1. Auflage, November 2010

Autor: Florian Vierling

Realisierung/Lektorat: Georg Blenk

Titelgestaltung/Layout: Martin Dörfler, Evelyn Adler

Titelbild: ABT-Sportsline GmbH

Bilder/Grafiken*: ABT-Sportsline, Georg Blenk, Alexander Bockenheimer,
Olaf Herrmann, MAHA, Florian Vierling

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Holzmann Druck, Bad Wörishofen

Printed in Germany

Alle Rechte vorbehalten

© Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH, Bad Wörishofen 2010

www.krafthand-verlag.de

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

*Bild- und Grafikmaterial – insbesondere grafische Darstellungen –, welches nicht gesondert mit einem Quellverweis versehen ist, ist der Firma MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG© zuzuordnen.

Inhalt

1. Einleitung	9
2. Die Geschichte der Leistungsmessung – ein historischer Abriss	11
3. Technischer Überblick	19
3.1. Bremsen	20
3.1.1. Hydrokinetische Systeme	20
3.1.2. Inertialsysteme	22
3.1.3. Wirbelstrombremsen und E-Maschinen	24
3.2. Rollenprüfstände	27
3.2.1. Maßgebliche Einflussgrößen	27
3.2.2. Konstruktive Hauptmerkmale	29
3.2.2.1. Rollensatz	29
3.2.2.2. Achskoppelung	31
3.3. Grundlagen der Fahrsimulation	33
4. Rahmenbedingungen	39
4.1. Belüftung	43
4.2. Abgasabsaugung	48
4.3. Schallschutz	50
4.4. Fahrzeugsicherung	51
5. Messung	55
5.1. Theorie	57
5.1.1. Rad- oder Antriebsleistung	57
5.1.2. Schlepp- oder Verlustleistung	58
5.1.3. Nutzleistung	60
5.1.4. Motordrehmoment	60
5.1.5. Vereinfachte Messung bei Pkw	62
5.2. Praxis	62

6.	Anwendungsbeispiele	75
6.1.	Leistungsoptimierung	75
6.2.	Optimierung des Abgasverhaltens	84
6.2.1.	Otto-Motor	85
6.2.2.	Diesel-Motor	87
6.2.3.	Alternative Kraftstoffe	89
6.3.	Verbrauchsoptimierung	91
6.4.	Instandhaltung und Instandsetzung	95
6.5.	Sonderanwendungen	99
7.	Ausblick	107
8.	Anhang	113
8.1.	Kurzporträt MAHA	113
8.2.	Kurzporträt ABT-Sportsline	115
8.3.	Der Autor	117

1. Einleitung

Wohl jeder Kfz-Profi weiß mit herkömmlichen Abgastestern umzugehen, und manch einer hat vielleicht auch schon Erfahrungen ‚auf der Rolle‘ gesammelt. Doch Rollenprüfstände zur Leistungsmessung sind längst nicht in jeder Werkstatt anzutreffen. Das Wissen um die Möglichkeiten moderner Leistungs- und Abgasprüfverfahren ist daher oft lückenhaft. Entsprechend kompetente Anwender können jedoch von dem vielfältigen Zusatznutzen solcher Messtechnik in vielerlei Hinsicht profitieren. Die notwendigen Grundlagen dazu soll dieses Buch vermitteln.

Zunächst zeichnet Kapitel 2 in groben Zügen die Geschichte der modernen Leistungs- und Abgasmessung nach. Auf die historische Entwicklung der Automobiltechnik muss dabei nicht gesondert eingegangen werden. Sie folgte stets nicht nur dem technischen Fortschritt, sondern auch den wechselnden Anforderungen des Gesetzgebers. Besonders die Vorschriften zur Untersuchung des Emissionsverhaltens unterliegen bis heute international einem ständigen Wandel.

Insofern können moderne Leistungs- und Abgasprüfverfahren keineswegs sinnvoll als isolierte, in sich geschlossene oder gar unveränderliche Systeme betrachtet werden. Vielmehr erfordert die wechselseitige Verschränkung des Leistungs- und des Abgasaspektes neben hoher automobiltechnischer Fachkompetenz auch fundierte Kenntnisse über Technik und An-

wendung der Prüfstände und Messverfahren. Die Kapitel 3, 4 und 5 geben dazu einen grundlegenden Überblick. Kapitel 6 stellt anschließend einige praktische Anwendungsbeispiele vor.

Zeitgemäße Leistungs- und Abgasprüfverfahren können und dürfen in ihrer Komplexität den entsprechenden Teilsystemen moderner Kraftfahrzeuge in nichts nachstehen. Sie sollen dabei sowohl den Kfz-Mechatroniker im Betrieb durch hinreichenden Bedienkomfort bei notwendigen Arbeitsroutinen unterstützen, als auch dem Fachingenieur alle in einer Entwicklungsabteilung erforderlichen Funktionsumfänge bieten – ein Zielkonflikt für Hersteller integrierter Premium-Prüftechnik, den Marktführer MAHA beispielhaft löst. Für jede denkbare Anwendung kann aus kompatiblen Einzelmodulen der individuell passende Prüfstand zusammengestellt werden. Damit wird die Anschaffung der hier vorgestellten hochwertigen Werkstatt-ausrüstung auch für kleinere Betriebe möglich und wirtschaftlich sinnvoll.

Doch wozu dieser Aufwand? Wird hier nicht unnötig verkompliziert, was im Grunde recht simpel ist? Genügt es nicht, ein Fahrzeug zur Leistungsmessung einfach auf den Prüfstand zu stellen und die angezeigten Werte abzulesen? Es dann solange zu optimieren, bis Leistung und Drehmoment ‚gut‘ oder gar ‚besser‘ sind? Und genügt es zur Beurteilung des Abgasverhaltens nicht, einen Blick auf den

1 Einleitung

vom Dieseltester errechneten Trübungs-koeffizienten zu werfen oder auf CO- und Lambdawerte bei Benzinmotoren? Schließlich verfügen neuere Fahrzeuge doch ausnahmslos über wirksame Eigen-diagnosefähigkeiten – Das Auto wird schon melden, wenn dem Auto etwas fehlt...?

In den technischen Berufen und Tätig-keitsfeldern der Kfz-Branche hat eine der-art vereinfachende Sichtweise heute kaum noch Zukunft. Qualifizierte Fachkräfte wissen um die enorme Komplexität der Materie, die höchste Ansprüche stellt an Fachwissen und Analysefähigkeit. Die dig-itale (R)Evolution in der Fahrzeugtechnik ist unumkehrbar. Ihrer immanenten Logik nach wird sie weiter voranschreiten und sie nimmt dabei keine Gefangenen: Der Mechaniker ist tot, es lebe der Mechatroniker.

Gleiches kann von modernen Leis-tungs- und Abgasprüfverfahren gesagt werden. Die gegenwärtige Prüfstandtech-nik hat die Grenzen rein elektromechani-scher Anlagen früherer Zeiten längst über-schritten. Ihre elektronischen Steuerungs- und Regelsysteme bedienen sich hoch spe-zialisierter Technik, die unter Einbezie-hung verschiedenster Parameter jederzeit exakte und reproduzierbare Testergeb-nisse liefert. Die divergierenden Forderungen nach immer mehr Leistung bei immer weniger Abgasschadstoffen wären ohne ein solch umfassendes Instrumentarium ohnehin nicht zu erfüllen.

Aufgrund der Vielzahl und Verschie-denheit der Einsatzgebiete und Verwen-dungszwecke kann hier jedoch natur-gemäß keine erschöpfende Darstellung des Titelthemas geleistet werden – und soll es auch nicht. Ziel ist vielmehr, interessier-

ten Fachleuten einen Überblick über mo-derne Leistungs- und Abgasprüfverfahren zu verschaffen und sie bekannt zu machen mit immer wichtiger werdenden Aspekten zeitgemäßer Kfz-Prüftechnik.

Ohne ein Mindestmaß an theoretischer Unterlegung lässt sich dies nicht errei-chen, doch soll der Fokus auf praktisch verwertbarer Information liegen: ein Buch also aus der Werkstatt – für die Werkstatt.

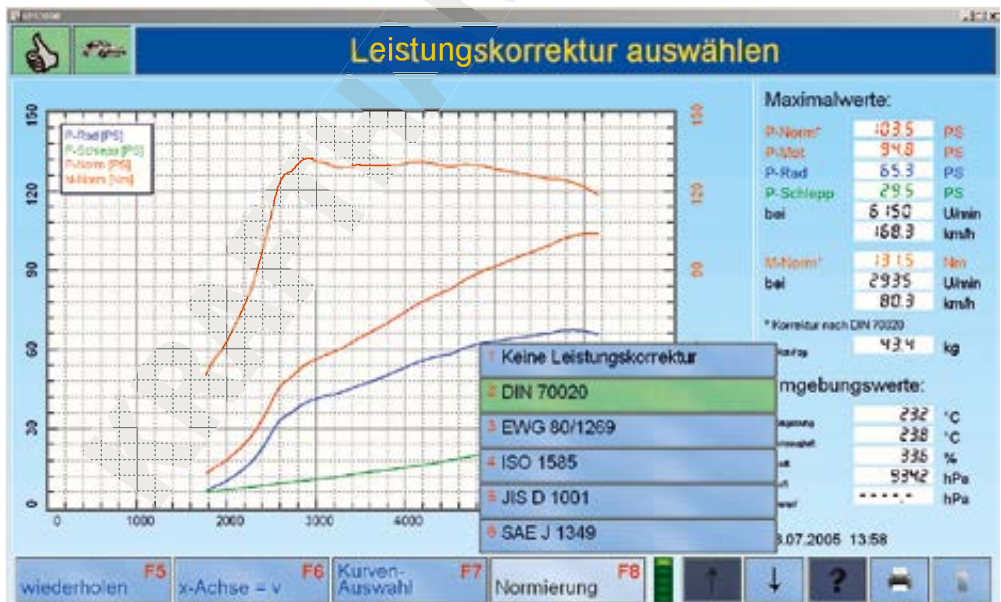
5. Messung

Wenn im allgemeinen Sprachgebrauch von der Leistung eines Autos die Rede ist, bezieht sich das meist auf die effektive Nutzleistung eines Verbrennungsmotors. Anhand dieser Leistungsangabe werden Fahrzeuge miteinander verglichen.

Auf einem (Motor-)Prüfstand wird die Leistung nicht direkt gemessen, sondern aus den Messgrößen Drehmoment und Drehzahl multipliziert. Das Drehmoment (also die Drehkraft an der Kupplung) ist das Produkt aus Kolbenkraft und Kurbel-

wellen-Hebelarm. Die Kolbenkraft wiederum ergibt sich aus Verbrennungsdruck und Kolbenbodenfläche – und hängt insofern in hohem Maße von der Verbrennung und damit auch von deren veränderlichen Rahmenbedingungen ab.

Diese Rahmenbedingungen sind in Normen hinterlegt, die unter anderem zum Beispiel einen Luftdruck von 1.013 hPa und eine Lufttemperatur von 20 °C vorschreiben. Ein Prüfstand muss diese Rahmenbedingungen messen und rechnerisch



5.1 Leistungskorrektur nach Norm: Die Umgebungswerte rechts unten im Bild bestimmen die Messung ganz wesentlich. Normierte Werte für Leistung (P-Norm) und Drehmoment (M-Norm) errechnet die Software.

5 Messung

skalieren können, um vergleichbare Ergebnisse zu erbringen (siehe auch Kapitel 2, Kasten).

Beispielsweise sinkt die Nutzleistung allein bei einer Höhenzunahme um 100 m um etwa ein Prozent. Das mag angesichts einer Gesamtmesstoleranz hochwertiger Leistungsprüfstände von maximal zwei Prozent nicht viel erscheinen. In der Praxis macht es jedoch einen erheblichen Unterschied, ob der Leistungsprüfstand im Allgäu (circa 900 m über Meereshöhe) oder in Hamburg (circa Meereshöhe) steht – wenn diese Abweichung nicht rechnerisch korrigiert wird. Gleiches gilt für andere Einflussfaktoren, die sich auf die Messung auswirken, und die daher genormt sind.

Ein Rollenprüfstand ermittelt die Nutz- beziehungsweise Normleistung des Motors nicht an der Kraftabgabe der Kurbelwelle, sondern an den angetriebenen Rädern. Er misst dazu zunächst lediglich die so genannte Rad- oder auch Antriebsleistung. Auf dem Leistungsprüfstand ist der Rollwiderstand jedoch wesentlich

höher als auf der Straße. Zusätzliche Leistungsverluste entstehen durch den Prüfstand selbst, der ja vom Motor ebenfalls angetrieben werden muss. Auch im Antriebsstrang des Fahrzeuges fallen Verluste an. Insgesamt ist die Verlust- oder auch Schleppleistung auf der Straße wesentlich geringer als auf dem Rollenprüfstand. Aus Rad- und Verlustleistung errechnet der Prüfstand die Normleistung. Herkömmliche Prüfstände bedienen sich dazu häufig schlicht pauschaler, meist empirisch ermittelter Korrekturfaktoren, da sie lediglich die Rad-, nicht aber die Verlustleistung messen können. Für ein bestimmtes Fahrzeug wird bei der Leistungsmessung in einer bestimmten Gangstufe und mit bestimmter Radgröße et cetera ein entsprechender Faktor oder fester Zahlenwert zu der gemessenen Radleistung hinzugefügt. Einige wenige Leistungsprüfstände hingegen können die gesamten Verluste tatsächlich exakt und jederzeit reproduzierbar messen. Wie das funktionieren kann, zeigen die folgenden Abschnitte in Kapitel 5.1. Diese Theorie ist für das Verständnis

Leistung auf der Straße versus Leistung auf der Rolle

Ein modernes Allradfahrzeug, das vom Hersteller mit 294 kW (400 PS) angegeben ist, zeigt auf einem Rollenprüfstand vielleicht nur 184 kW (250 PS) Leistung ‚an den Rädern‘. Wo sind die fehlenden 110 kW (150 PS)? Die Antwort: Ein großer Teil dieser 110 kW muss zur Überwindung der Verluste aufgebracht werden, die ab der Kurbelwelle im Fahrzeugantrieb sowie vor allem auch zwischen Fahrzeug und Prüfstand (Reifen/Rollen) und im Prüfstand selbst anfallen. Auf der Straße steht also deutlich mehr Leistung ‚an den Rädern‘ zur Verfügung, weil hier die Verluste zum Beispiel durch die Walkarbeit der Reifen kleiner sind als auf dem Prüfstand.

und die angemessene Bewertung moderner Prüfstandskonzepte unerlässlich. Die praktischen Aspekte einer Leistungsmessung auf dem Rollenprüfstand schildert dann Kapitel 5.2.

5.1. Theorie

5.1.1. Rad- oder Antriebsleistung

Der Motor treibt die Räder an und diese wiederum treiben mit der Antriebskraft F_A die Rollen des Leistungsprüfstandes an. Dabei ist die Umfangsgeschwindigkeit der Räder und der Prüfstandsrollen gleich. Sie kann über die gemessene Rollendrehzahl berechnet werden und entspricht der Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Änderung dieser Umfangsgeschwindigkeit, die durch die Änderung der Rollendrehzahl erfasst wird, ist gleich der Fahrzeugbeschleunigung:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Die Antriebskraft F_A übt auf die drehenden Teile des Rollenprüfstandes ein Drehmoment M_A aus, das die rotierenden Massen, auch Trägheitsmomente oder Drehmassen genannt, beschleunigt und in eine Drehbewegung versetzt.

Zum Abbremsen dieser sich beschleunigenden Drehung kann je nach Bedarf zusätzlich als Last ein Gegendrehmoment M_B durch eine Wirbelstrombremse an den Rollen aufgebracht werden. Die Größe dieses Bremsmomentes wird an der pendelnd gelagerten Wirbelstrombremse durch einen Dehnungsmessstreifen bestimmt. Es gilt der Zusammenhang:

$$M_A = J_{LPS} \dot{\omega} + M_B$$

M_A = Antriebsdrehmoment, das durch die Antriebskraft der Räder auf die rotierenden Prüfstandsmassen wirkt

J_{LPS} = Trägheitsmomente der rotierenden Teile des Leistungsprüfstandes

$\dot{\omega}$ = Winkelbeschleunigung der rotierenden Teile des LPS

M_B = zuschaltbares Bremsdrehmoment der Wirbelstrombremse

Werden alle Drehmomente und rotierenden Prüfstandsmassen auf den Rollenumfang beziehungsweise auf den Aufstandspunkt der Fahrzeugräder bezogen, so gilt:

$$F_A = (m_{LPS} + m_{Rot})a + F_B$$

m_{LPS} = die auf den Rollenumfang bezogene rotierende Prüfstandsmasse (= dem Trägheitsmoment J_{LPS} entsprechende Translationsmasse)

m_{Rot} = Translationsmasse der rotierenden Teile des Antriebsstranges

a = Beschleunigung des Rollenumfanges (= Räderabroll- oder auch Fahrzeugbeschleunigung)

F_B = zuschaltbare Gegenkraft der Wirbelstrombremse

Mit bekanntem m_{LPS} des Prüfstandes, der einstellbaren und über den Dehnungsmessstreifen gemessenen Kraft F_B sowie den zu jeder Zeit aus den Rollendrehzahlen und ihren Veränderungen gemessenen und errechneten Bewegungsgrößen v und a lässt sich die Antriebskraft F_A und somit die Antriebsleistung P_A ermitteln:

$$P_A(t) = F_A(t) \cdot v(t)$$

5.1.2. Schlepp- oder Verlustleistung

Im Antriebsstrang entstehen Verluste. Die Motorleistung P_M setzt sich also aus der Verlustleistung P_V und der Antriebsleistung P_A zusammen. Zur Bestimmung der Motorleistung muss diese Verlust- oder auch Schleppleistung bekannt sein. Um sie messtechnisch erfassen zu können, wird bei der höchsten Geschwindigkeit im jeweiligen Prüfgang, mithin also bei der größten erreichten Rollendrehzahl, der Motor vom Antriebsstrang getrennt. Bei Schaltgetrieben wird also ausgekuppelt, bei Automatikfahrzeugen die Fahrstufe N eingelegt. Alle rotierenden Teile rollen nun aus. Diese drehenden Teile sind die des Prüfstandes und die des Fahrzeugantriebsstranges einschließlich der Räder. Ihr Ausrollen beziehungsweise Abbremsen wird durch die Widerstands- und Reibungskräfte von Antriebsstrang und Prüfstand bewirkt.

Unter der Annahme, dass dazu im Wesentlichen die Reibungen des Antriebsstranges beitragen und somit die Prüfstandsrollen durch das Mitschleppen dieser Fahrzeugmassen gebremst werden, folgt – wiederum auf den Rollenumfang bezogen – nachstehende Gleichung (1):

$$(m_{LPS} + m_{Rot}) \cdot a_1 = F_V$$

F_V = Widerstands- und Reibungskräfte des Antriebsstranges

Die negative, weil verzögernde Beschleunigung a_1 kann wiederum aus den jeweiligen Geschwindigkeits- beziehungsweise Drehzahländerungen bestimmt werden. Die Größen m_{Rot} und F_V hingegen sind bei-

de unbekannt. Um sie bestimmen zu können, bedarf es in der Regel eines zweiten Ausrollversuches. Dabei wird wieder auf die höchste Geschwindigkeit beschleunigt und dann ausgekuppelt. Die Besonderheit dieses erneuten Ausrollens besteht darin, dass nun zusätzlich eine konstante Bremskraft F_W mit der Wirbelstrombremse zugeschaltet wird. Es gilt nun (2):

$$(m_{LPS} + m_{Rot}) \cdot a_2 = F_V + F_W$$

Die zusätzliche Bremskraft bewirkt ein schnelleres Ausrollen. Die negative Beschleunigung a_2 ist nun größer und der Geschwindigkeitsabfall erfolgt schneller.

$$a_2 = \frac{\Delta v}{\Delta t_2} > a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t_1}$$

Daraus folgt für die rotierenden Massen von Prüfstand und Antriebsstrang mit den Gleichungen (1) und (2) die Gleichung (3):

$$m_{LPS} + m_{Rot} = \frac{(F_V + F_W)}{a_2} = \frac{F_V}{a_1}$$

Aufgelöst nach der Reibungskraft F_V des Antriebsstranges ergibt sich (4):

$$F_V = F_{Rot} = \frac{F_W \cdot a_1}{(a_1 - a_2)}$$

Für die Schlepp- oder Verlustleistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit heißt das (5):

$$P_V(v) = P_X(v) = F_V \cdot v = F_{Rot} \cdot v$$

In der Praxis berücksichtigen manche Leistungsprüfstände bereits beim ersten Ausrollversuch sogar noch jene Bremskraft, die bei der stromlosen Wirbelstrombremse von Restmagnetisierungen hervorgerufen wird. Diese so genannten parasitären Verluste werden über die Widerstandskraft F_1

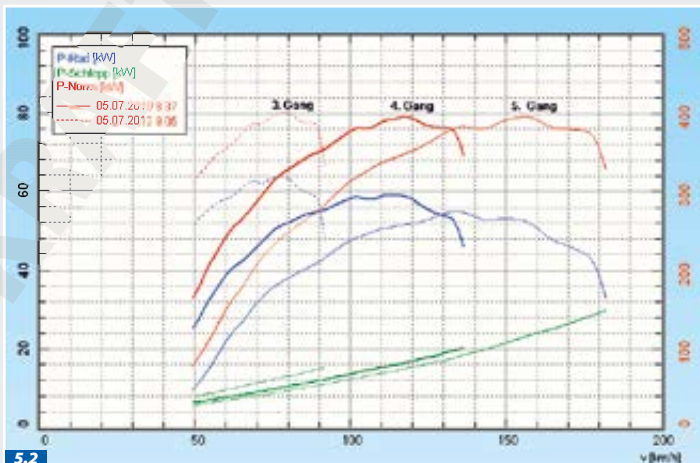
an der Wirbelstrombremse gemessen. Die Widerstandskraft F_1 addiert sich in der Gleichung (1) zu F_V beziehungsweise F_{Rot} .

Damit ergibt sich nun anstelle der Gleichung (1) die Beziehung (1*):
 $(m_{LPS} + m_{Rot}) \cdot a_1 = F_V + F_1$

Messung der Schleppleistung

Das Diagramm zeigt die Leistungsmessung eines Pkw im dritten, vierten und fünften Gang. Das Besondere daran: Herkömmliche Prüfstände messen die Schleppleistung (grün) nicht oder ermitteln sie schlicht mit Hilfe von empirischen Korrekturfaktoren. Ergebnis: Wird die Messung in einem anderen als dem vorgeschriebenen Prüfungsgang gefahren oder ändert sich die Gesamtübersetzung etwa durch andere Räder, stimmen diese Faktoren und damit die angenommene Schleppleistung nicht mehr. Wird diese dann zu der gemessenen Radleistung (blau) addiert, ergibt sich zwangsläufig eine andere (ungenauere oder falsche) Normleistung (rot).

Für das abgebildete Diagramm wurde die Schleppleistung in den drei Gangstufen nach dem in Kapitel 5.1.2 skizzierten Prinzip tatsächlich gemessen. Mit der jeweils anderen Gesamtübersetzung ändert sich dabei naturgemäß die Radleistung. Die Normleistung als Summe aus Schlepp- und Radleistung ist bei diesem Messprinzip jedoch stets gleich! Minimale Unterschiede wie im Diagramm sichtbar ergeben sich in der Praxis aus unterschiedlichen Reibverlusten der eingelegten Gangstufen im Getriebe. Kapitel 6 gibt einen Überblick, wie diese sehr exakte Messung der Schleppleistung praktisch genutzt werden kann.



5 Messung

Um die im zweiten Ausrollversuch zugeschaltete Wirbelstrombremskraft F_W unterscheiden zu können von der Widerstandskraft F_1 der stromlosen Wirbelstrombremse des ersten Ausrollversuches, gilt $F_W = F_2$. Damit wird die Gleichung (4) zu (4*):

$$F_v = F_{Rot} = \frac{(F_2 \cdot a_1 - F_1 \cdot a_2)}{(a_2 - a_1)}$$

Bei bekannter rotierender Masse m_{LPS} des Prüfstandes lassen sich so die rotierenden Massen des Fahrzeugantriebsstranges m_{Rot} aus den Gleichungen (1) beziehungsweise (1*) oder (2) berechnen.

5.1.3. Nutzleistung

Bei bekannter Antriebs- (P_A) und Schleppleistung (P_X) ergibt sich für die Nutzleistung:

$$P_M(v) = P_A(v) + P_X(v)$$

Antriebs- Schlepp- und Nutzleistung werden nun zusammen auf dem Monitor angezeigt.

5.1.4. Motordrehmoment

Für die Motor- beziehungsweise Nutzleistung gilt:

$$P_M = M_M \cdot \omega = M_M \cdot 2\pi \cdot n$$

- M_M = Motordrehmoment
- n = Motordrehzahl
- ω = Winkelgeschwindigkeit

Wird die Motordrehzahl in jeder Fahrphase geeignet gemessen, kann das Drehmoment bei jeder Geschwindigkeit berechnet werden:

$$M_M[Nm] = \frac{9.549 \cdot P_M[kW]}{n[\frac{1}{min}]}$$

Konstanten und Schnittpunkte: James Watt in modernen Messdiagrammen

Bei den Leistungs- und Drehmomentlinien von Leistungsprüfständen, die nach angelsächsischer beziehungsweise US-amerikanischer Normung rechnen, fällt auf, dass sie sich stets bei 5.252/min schneiden. Die Werte von Leistung (in hp) und Drehmoment sind bei dieser Drehzahl exakt gleich. Unter 5.252/min sind die Drehmomentwerte höher als die Leistungswerte, über 5.252/min ist es umgekehrt.

Diese Konstante geht auf die Definition der Leistung des James Watt zurück (siehe Kapitel 2):

$$P[hp] = 33.000 \frac{ft \cdot lb_f}{n}$$

Aus $M[hp] = F[N] \cdot r[m]$ ergibt sich (a)

$$F[N] = \frac{M[Nm]}{r[m]}$$

Aus $\frac{s[m]}{n[\frac{1}{min}]} = \frac{r[m]}{2\pi}$ ergibt sich (b)

$$\frac{s[m]}{t[s]} = \frac{r[m] \cdot 2\pi}{n[m]}$$

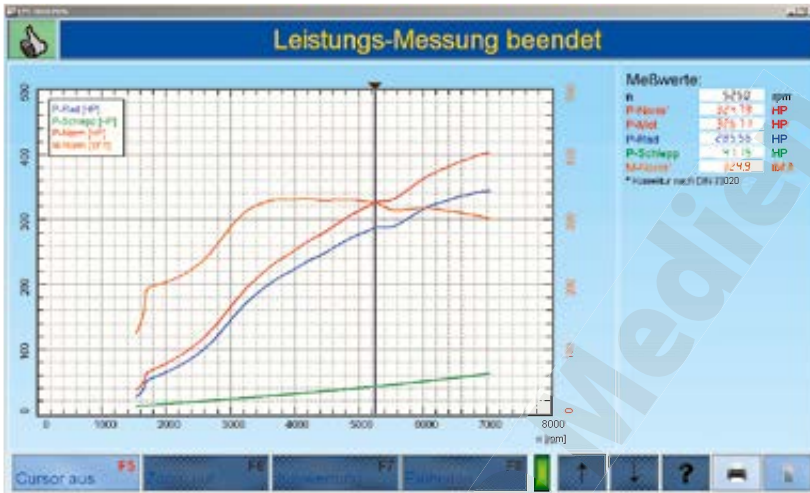
Bekannt ist (c) $P[hp] = \frac{F[N] \cdot s[m]}{t[s]}$

(a) und (b) eingesetzt in (c) ergibt:

$$P[hp] = \frac{M[Nm]}{r[m]} \cdot \frac{r[m] \cdot 2\pi}{n[m]}$$

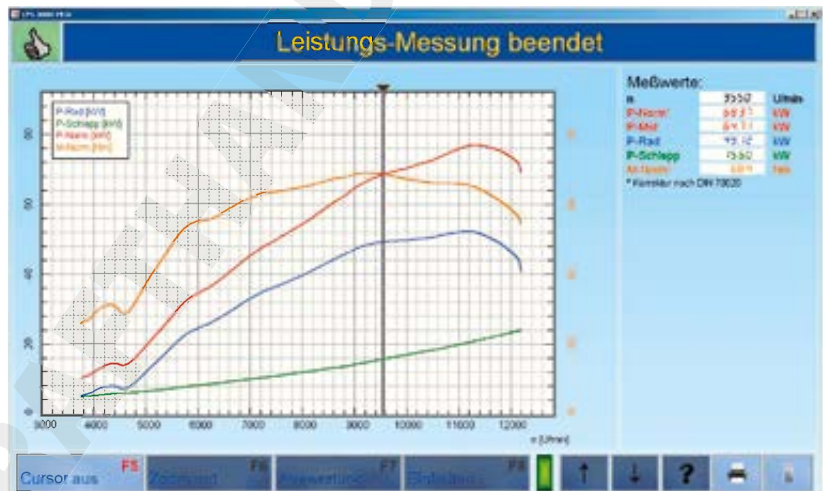
Zur Ermittlung einer Leistungsangabe wird diese Gleichung durch 33.000 geteilt. Mit 2π gerundet auf 6,2832 ergibt sich:

$$P[hp] = \frac{M[Nm] \cdot n[\frac{1}{min}]}{5.252}$$



5.3
Angelsächsische Norm: Bei gleicher Skalierung schneiden sich Leistungs- und Drehmomentlinie stets bei 5.252/min.

5.4
Andere Norm, anderer Schnittpunkt: Im SI-System schneiden sich die Linien stets bei 9.549/min.



Das oben beschriebene Phänomen bei der Leistungs- und Drehmomentsmessung tritt auch bei 9.549/min auf, dann allerdings bei Messungen nach SI-Normung (kW).

Die Herleitung erfolgt aus der Leistungsformel aus Abschnitt 5.1.4:

$$P_M = M_M \omega = M_M \cdot 2\pi \cdot n$$

- M_M = Motordrehmoment
- n = Motordrehzahl
- ω = Winkelgeschwindigkeit

Die Konstante 9.549 (für Leistung in W) ergibt sich folglich aus dem Teilterm $\frac{60}{2\pi}$.

5 Messung

5.1.5. Vereinfachte Messung bei Pkw

Reihenuntersuchungen an Pkw haben gezeigt, dass für einen durchschnittlichen Pkw die rotierende translatorische Masse des Antriebsstranges nicht stark fahrzeugabhängig ist. Es gilt ein üblicher Durchschnittswert von 60 kg pro Rollensatz bei Radgrößen bis 17 Zoll. Bei 18 Zoll- und 19 Zoll-Bereifung sind 70 kg zu veranschlagen, bei 20 Zoll und mehr 80 kg. Schwere Geländewagen oder Transporter können mit 100 kg angegeben werden. Mit diesen empirischen Daten als Eingabewert für die rotierenden Massen (vergleiche Kapitel 5.2) kann auf den zweiten Ausrollversuch verzichtet werden.

Bei Lkw und anderen Nutzfahrzeugen hingegen sind die rotierenden Massen

deutlich größer und auch stark fahrzeugabhängig. Hier kann auf den zweiten Ausrollversuch aus Gründen der Messgenauigkeit keinesfalls verzichtet werden. Bei schweren Fahrzeugen wird die Antriebsleistung zudem punktuell bei jeweils konstant gehaltenen Geschwindigkeiten, also statisch beziehungsweise ‚diskret‘ gemessen.

5.2. Praxis

Die Leistungsmessung auf einem Rollenprüfstand birgt potentielle Gefahren sowohl für das zu prüfende Fahrzeug als auch für die Gesundheit des Bedienpersonals und anderer anwesender Personen.

Im Vorfeld einer Messung ist daher zunächst das Fahrzeug auf seinen Gesamtzustand hin zu untersuchen: Handelt es



5.5 Die Masse macht's: Die rotierenden Massen eines schweren Nutzfahrzeuges müssen eigens gemessen werden, um die Leistungsmessung nicht zu verfälschen.



5.6 *Erst die Arbeit ...:* Vor einer Leistungsmessung wird das Fahrzeug auf eventuell vorhandene Sicherheitsrisiken hin untersucht. Bild: Blenk

sich um ein gepflegtes, offensichtlich technisch serienmäßiges Fahrzeug oder lassen etwa unsachgemäße Umbauten und Reparaturen Komplikationen erwarten?

Während der Messung wird der Antriebsstrang unter Vollast und mitunter bis an die erreichbare Endgeschwindigkeit ge-

fahren. Technische Modifikationen oder zweifelhafter Zustand der betroffenen Baugruppen erzwingen daher den Abbruch der Vorbereitungen. Erst wenn die beanstandeten Mängel fach- und sachgerecht instand gesetzt sind, kann das Fahrzeug erneut zur Leistungsmessung vorbereitet werden. Achsen, Radaufhängung, Lenkung und Kraftübertragung stehen hier besonders im Fokus der Aufmerksamkeit, doch auch Zahnriementriebe werden durch die Beschleunigung stark belastet. Sehr wichtig sind Zustand und Dichtheit von Öl- und Kraftstoffleitungen sowie deren Schutz vor übermäßiger Wärmeeinwirkung während der Leistungsmessung.



5.7 *Geht auf die Ohren:* Der Lärm-Emissionswert, der durch die Leistungsprüfung verursacht wird, beträgt im Bereich der Arbeitsplätze des Bedienungspersonals über 100 dB (A). Entsprechender Gehörschutz ist Pflicht! Bild: Blenk

Rollen und Bereifung

Im Zusammenhang mit Rollenprüfständen zur Leistungsmessung ist das Thema Reifen besonders kritisch zu sehen. Sie müssen selbstverständlich in tadellosem Zustand sein, dürfen weder zu alt (DOT-Kennzeichnung beachten) noch ladenneu sein, keine Beschädigungen an Flanken und Lauffläche und nur minimalen und vor allem gleichmäßigen Verschleiß aufweisen. Die kleinste Reifengröße, die auf einem gängigen Doppelrollenprüfstand sicher gefahren werden kann, ist 13 Zoll bei einem üblichen Höhenverhältnis von 75 oder 80. Bei kleineren Raddurchmessern ist der Wärmeeintrag durch die Walkarbeit zwischen den Rollen zu groß. Slick- und Semi-Slickreifen, runderneuerte sowie

Winterreifen müssen aus demselben Grund vor dem Versuch gegen prüfstandtaugliche Standardbereifung ausgetauscht werden.

Auch bei ansonsten ordnungsgemäßer Bereifung ist unbedingt auf richtigen Reifenluftdruck nach Herstellerangabe zu achten. Wuchtgewichte müssen fest sitzen und Fremdkörper sollten aus dem Reifenprofil entfernt werden. Kleine Steine und andere Partikel können sonst bei bis zu 300 km/h Prüfgeschwindigkeit zu gefährlichen Geschossen werden. Auf dem Leistungsprüfstand darf stets höchstens so schnell gefahren werden, wie es der Geschwindigkeitsindex der Reifen erlaubt.



5.8 Zeitbomben: Manche Reifen (das Bild zeigt einen Motorradreifen) erwärmen sich auf der Rolle sehr stark. Schäden wie diese Blasen auf der Lauffläche können sich auch von außen nicht sichtbar im Reifeninnern bilden.
Bild: Vierling

Erst nach dieser vorbereitenden Inspektion wird das Fahrzeug auf den Prüfstand gefahren und gegebenenfalls dessen Hebeschwelle (bei Doppelrollensätzen) abgesenkt. Ein Allradprüfstand ist immer dann erforderlich, wenn die Fahrdynamikregelsysteme eines Fahrzeuges mit nur einer angetriebenen Achse die Raddrehzahlen beider Achsen benötigen. In diesem Fall ermöglicht der Einsatz von E-Maschinen zum Antrieb der Rollen in Kombination mit leistungsstarken, geregelten Wirbelstrombremsen perfekten Synchronlauf der vorderen und hinteren Achse. Mit solchen elektronisch gekoppelten Mehrachs-

prüfständen können Allradssysteme verschiedenster Bauarten problemlos und effektiv gemessen werden. Zur Anpassung an den Radstand des Fahrzeuges wird der Prüfstand per Fernbedienung elektrohydraulisch in der Länge verstellt. Dazu muss die Handbremse gelöst und das Getriebe ausgekuppelt sein.

Bei Fahrzeugen mit Fahrwerkstieferlegungen oder solchen mit raumgreifender Nachrüst-Frontschürze kann die Wärme der Abgasanlage am Unterboden ein Problem darstellen. Mobile Kühlgebläse wie in Kapitel 4.1 beschrieben können eventuell durch Unterlegstücke leicht angestellt

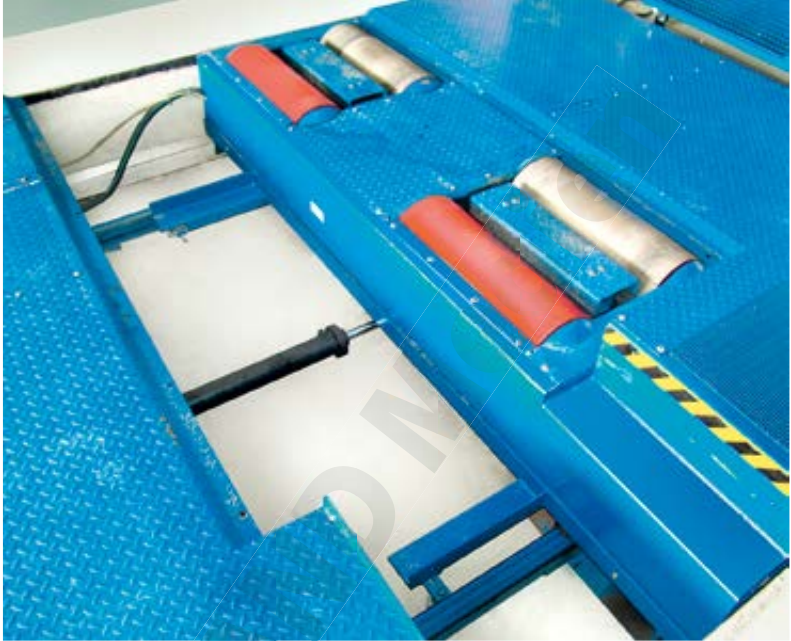


5.9 Einstellungssache: Allradprüfstände müssen an den Radstand des Fahrzeuges angepasst werden. Im Einachsbetrieb wird die nicht mitlaufende Achse außerhalb des Rollensatzes fixiert. Bild: Vierling

5 Messung

5.10

Variabler Achsabstand: Hydraulische Verstellung der Rollenabstände.



werden, um den Luftstrom auch unter das Fahrzeug zu bringen. Zusätzliche Bauteilgebläse und andere Vorrichtungen sorgen im Einzelfall für den nötigen künstlichen Fahrtwind auch am Unterboden. Grundsätzlich sind die in den Abschnitten 4.1 und 4.2 genannten Anforderungen zu beachten.

Ist der Radstand richtig eingestellt und das oder die Gebläse positioniert, richtet sich das Fahrzeug auf den Rollen selbsttätig aus, wenn es ohne Last und langsam kurzzeitig eingefahren wird. Falsche Achs-

5.11 Kann teuer werden: Kunststoffteile wie etwa Stoßfängerverkleidungen können durch die hohen Abgastemperaturen bei der Leistungsmessung beschädigt werden. Deshalb: Absaugtrichter auf Abstand halten! Bild: Vierling

und Lenkgeometrie macht sich jetzt durch mangelhaften Geradeauslauf bemerkbar. Im nächsten Schritt kann das Fahrzeug mit Gurten und Abspannbändern an den Bodenankern gesichert werden (siehe Kapitel 4.4).

Nun werden die für die Messung relevanten Signale abgenommen.

Dazu bieten moderne Serienfahrzeuge die OBD- und OBD2-Schnittstellen an,

über die alle erforderlichen Fahrzeugparameter ausgelesen werden können. Da aber bei der Leistungsmessung auf einem Rollenprüfstand neben fahrzeugspezifischen auch umgebungsbezogene Faktoren Einfluss auf das Messergebnis nehmen, ist es zusätzlich erforderlich, über eine gesonderte Schnittstellenbox Daten wie etwa Umgebungstemperatur und -luftdruck aufzunehmen.



5.12 Strippen ziehen:
Alle Kabel müssen
sicher verlegt
sein – auch bei akti-
vem Hauptgebläse.
Bild: Vierling

5 Messung



5.13 *Beliebig erweiterbar:* Schnittstellenmodule bieten vielfältige Möglichkeiten zum Anschluss analoger und digitaler Signalquellen. Integrierte Sensoren messen zudem wichtige Umweltbedingungen.

In der Regel stehen zur Ermittlung von Messgrößen wie etwa der Motordrehzahl verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

Außer mit verschiedenen externen Drehzahlsensoren kann die Drehzahl auch über das OBD-Signal oder im Fahrversuch durch die Prüfstandsrollen ermittelt werden. Bei Automatikfahrzeugen ohne Wandler-Überbrückungskupplung verfälscht allerdings der Wandlerschlupf diese Messung. Prüfstände, die nach dem in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Messprinzip arbeiten, können den Wandlerschlupf allerdings separat messen (vergleiche auch Kapitel 6).

Die bei modernen Motoren sehr kritische Temperatur der Ansaugluft bedarf ebenfalls gründlicher Messung: Woher stammt das entsprechende OBD-Signal? Aus dem Luftmassenmesser? Oder von einem separaten Sensor am Saugluftereinlass?

5.14 *Messung der Drehzahl:* Zur Messung der Motordrehzahl steht eine Palette an Möglichkeiten bereit.



Live-Daten versus OBD-Daten

Nicht immer bilden die OBD-Signalverläufe auch das tatsächliche Geschehen ab. So kann beispielsweise die Meldung einer zu 100 Prozent geöffneten Drosselklappe in Wirklichkeit von einem Sensor am Gaspedal stammen oder auch von einem Potentiometer, für das Einbautoleranzen vorgesehen sind und das deshalb bereits bei 80 Prozent interner Aussteuerung volle Drosselklappenöffnung signalisiert. Solche und ähnliche Fälle sind nicht selten. Die zeitlich ohnehin verzögerten OBD-

Signale sind also im Einzelfall durchaus kritisch zu hinterfragen. Im Zweifel ist es meist besser, die benötigten Signale individuell an geeigneter Stelle abzugreifen und über gesonderte Schnittstellenboxen in die Prüfstandssoftware einzuspeisen.

Diese zusätzlichen Module erlauben den Anschluss mehrerer analoger und digitaler Signalquellen zur Überwachung von Fahrzeug- und Umgebungsparametern.



5.15 OBD-Signale: Mitunter kritisch zu hinterfragen. Bild: Blenk

5 Messung

Im Zweifel ist ein externer Temperaturregeber circa 20 cm vor der Ansaugöffnung im Luftstrom anzubringen. Bei aufgeladenen Motoren ist es ohnehin empfehlenswert, die Saugrohrtemperatur über eine zusätzliche Temperaturmessstelle im Saugrohr oder aber direkt aus dem CAN-Bus mit aufzunehmen. Die Dichtheit des Saugrohres muss dabei selbstredend gewährleistet sein.

Weiterhin sind vor der Leistungsmessung die Fehlerspeicher von Motor- und Getriebesteuergeräten auszulesen und Eintragungen gegebenenfalls zu löschen. Alle elektrischen Verbraucher sollten ausgeschaltet werden und die Batterie zu mindestens 90 Prozent geladen sein (siehe auch Kapitel 2, Kasten). Antriebsschlupf-Regelsysteme und Fahrzeug-Stabilisierungsprogramme müssen deaktiviert werden.

Manche Fabrikate bieten dazu einen speziellen Rollenprüfstandsmodus an, der nach Herstellervorgabe aufgerufen wird.

Vor der Erstmessung muss das Fahrzeug konditioniert werden. Das heißt: Alle Betriebsstoffe und Lagerstellen sowie auch die Reifen müssen betriebswarm sein. Dazu kann in der Betriebsart Lastsimulation eine Zugkraft von etwa 500 N, eine Geschwindigkeit von beispielsweise 100 km/h oder ein anderer, individueller Grenzwert gesetzt werden. Das Fahrzeug wird nun in einer Aufwärmphase von einigen Minuten konditioniert, sprich: eingefahren. Bei Erreichen des eingestellten Grenzwertes regelt der Prüfstand die Bremskraft derart, dass ein Überschreiten dieser Marke durch den Fahrer nicht möglich ist. Hat das Motoröl dann etwa 60 °C erreicht, ist das Fahrzeug bis hin zu den Radlagern ausreichend konditioniert für die Messung.

Nach der Vorbereitung des Fahrzeuges müssen nun lediglich noch einige Prüfstandsparameter eingestellt werden: Der Geschwindigkeitsindex der Reifen sowie



5.16 Die Ausnahme: Fahrzeug-Stabilisierungsprogramme und Fahrwerksregelsysteme sind nicht immer einfach zu deaktivieren. Nur die wenigsten Hersteller bieten gar einen speziellen Prüfstandsmodus. Bild: Vierling

die maximale gewünschte Motordrehzahl und -temperatur schützen beispielsweise vor ungewollter Überlastung des Fahrzeuges, während die Angabe der rotierenden Massen (vergleiche Kapitel 5.1.2) der exakten Ermittlung der Rad- und Schleppleistung dient.

Sind alle Vorbereitungen abgeschlossen, wird das Fahrzeug beschleunigt und in den Prüfgang gebracht, bevor 50 km/h erreicht sind. Der Prüfgang ist in der Regel der vorletzte Gang, da er der idealen Übersetzung von eins zu eins meist am nächsten kommt. Bei Sechsganggetrieben kann auch der vierte Gang als Prüfgang in Frage kommen. Bei 50 km/h beginnt standardmäßig die grafische Darstellung der Messwertaufzeichnung. Nun wird Vollgas gegeben und der Motor so lange beschleunigt bis die am Monitor erscheinende Leistungskennlinie ihren Maximalwert überschritten hat. Der Fahrer nimmt nun Gas weg und kuppelt aus, um das Fahrzeug bei weiterhin eingelegtem Gang ausrollen zu lassen. An diesem Lastwechsel erkennt die Prüfstandssoftware, dass nun mit der Aufzeichnung der Schleppleistung begonnen werden muss. Die entsprechende Kennlinie wird während des Ausrollvorganges kontinuierlich aufgezeichnet.

Während der Leistungsmessung darf sich die Übersetzung im Antriebsstrang nicht ändern. Für Fahrzeuge mit automatischen Getrieben bedeutet das: Der Fahrer muss beim Beschleunigen mit Vollgas unbedingt darauf achten, dass weder der Kickdown noch eine Wandlerüberbrückungskupplung aktiviert wird und dass zudem das Getriebe nicht selbsttätig die Gangstufe wechselt. Je nach Fahrzeug- und Getriebetyp empfiehlt es sich, die

Testen von Allradfahrzeugen/ Antriebskraftverteilung

Moderne Antriebskonzepte machen es dem Anwender auf dem Rollenprüfstand mitunter nicht leicht: Ist das Fahrzeug nun als Allrad- oder als Einachsfahrzeug zu prüfen? Besteht vielleicht die Gefahr, ein Sperrdifferential oder ähnliches bei der unbedachten Fahrt auf dem Prüfstand zu zerstören? Letzteres verhindert bei entsprechend aufgebauten Prüfständen die elektronische Koppelung der beiden Rollensätze zuverlässig.

Um die Antriebskraftverteilung eines unbekanntes Antriebssystems herauszufinden, kann gefahrlos ein langsamer Probelauf ohne Last auf beiden Rollensätzen gefahren werden. Manche Systeme verteilen die Antriebskraft mehr oder weniger voll variabel. Auf herkömmlichen Prüfständen können solche Fahrzeuge schlicht nicht getestet werden. Um die fahrzeugeigenen Regelsysteme nicht künstlich zu provozieren, können hochwertige Prüfstände durch den Einsatz von Wirbelstrombremsen und E-Maschinen eine definierte und harmonische Regelung der Antriebskraftverteilung herbeiführen. Modernste, aus der Industrie entlehnte Prüfstandstechnik ermöglicht so die Prüfung zukunftsweisender Antriebskonzepte auf dem Rollenprüfstand.

5 Messung



5.17 Wenn möglich: Das Getriebe sollte im Zweifel immer im manuellen Modus gefahren werden (oben). Im Automatik-Modus (unten) besteht die Gefahr, dass sich die Übersetzung während der Leistungsmessung ändert.
 Bilder: Vierling

Leistungsmessung nach Möglichkeit im manuellen Getriebemodus zu fahren, um so eine bestimmte Übersetzung bis zur Abregeldrehzahl festzulegen.

Unter Umständen muss der Fahrer erst in mehreren Versuchen ‚erfahren‘, wie sich das jeweilige Getriebe verhält, bevor eine ordnungsgemäße Leistungsmessung ohne unerwünschte Übersetzungsänderungen beziehungsweise Lastwechsel möglich ist.

In der Anzeige sind nun neben Antriebs-, Schlepp- und Nutzleistung sowie dem Drehmoment auch alle anderen Messwerte, die vorher ausgewählt wurden, grafisch und tabellarisch dargestellt.

Nach länger andauerndem Betrieb beziehungsweise nach Fahrten unter hoher

Last sollten die Rollen des Prüfstandes durch den Fahrzeugantrieb einige Minuten ohne Last abgekühlt werden. Wird das versäumt, kann die Wirbelstrombremse durch Überhitzung Schaden nehmen.

Gefahr für den Prüfstand wie auch für Leib und Leben anwesender Personen besteht auch immer dann, wenn ungewollt oder mit Vorsatz beispielsweise die maximal erlaubte Geschwindigkeit des Prüfstandes überschritten wird. Denn der Betrieb der Wirbelstrombremse ist nur bis zu einer bestimmten Grenzdrehzahl sicher. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten können die Rotoren aus Gusseisen bersten.

Darüber hinaus stellen die Rollen des Prüfstandes nicht nur im Betrieb eine

nicht zu unterschätzende Unfallgefahr dar. Ohne Fahrzeug oder Sicherheitsabdeckung können Personen leicht versehentlich auf den Rollen ausgleiten oder sich im Rollenprisma verletzen. Dass sich während eines Prüflaufes niemand im Bereich der Rollensätze aufhalten und der Fahrer auf keinen Fall das Fahrzeug verlassen darf, sollte sich von selbst verstehen.

Im Spritzbereich der Räder darf sich während einer Fahrt auf dem Prüfstand niemand aufhalten. Wo dies nicht zu vermeiden ist, sollte mit robusten mobilen Stellwänden für Schutz vor umherschleudernden Kleinteilen und Partikeln gesorgt werden. Zu Schulungszwecken empfiehlt sich ohnehin ein vom Leistungsprüfstand abgetrennter verglaste Raum, von dem aus der Prüfstandslauf geschützt beobachtet werden kann. Die Monitoranzeige des Prüfstandes kann zusätzlich zum Beispiel über einen Beamer in diesen separaten Raum gebracht werden.

Moderne Leistungs- und Abgasprüfverfahren

Grundlagen, Technik, Anwendung

Das Thema Leistungsmessung, ergänzt durch die Darstellung moderner Abgasprüfverfahren, wird in dem vorliegenden Werk erstmals in gebotemem Umfang und bewusst gekoppelt behandelt. So ist beispielsweise die aussagekräftige Messung des CO₂-Ausstoßes eines Fahrzeuges nur bei vollständiger Abbildung des Drehzahlbandes sinnvoll. Andererseits kann ein Leistungsprüfstand und die entsprechende betriebliche Infrastruktur in Verbindung mit einer modernen Abgasprüfeinheit ein überaus wertvolles Diagnosetool sein.

Nach einer kurzen Einführung beschreibt Autor Florian Vierling die historischen Anfänge von Leistungsprüfständen, um danach einen umfangreichen Überblick über verschiedenste Konstruktions- und Ausführungsvarianten sowie die physikalischen Hintergründe zu geben. Im Nachgang geht Vierling auf bauliche und werkstatttechnische Rahmenbedingungen ein. Die eigentliche Leistungsmessung beschreibt er im nächsten Kapitel. Im Detail beleuchtet Vierling unter anderem die Wechselwirkung zwischen Rollen und Fahrzeugbereifung, die korrekte Sicherung des Fahrzeuges, die Schalldämmung, die Thematik ‚Automatikfahrzeug oder Allrad‘ sowie mögliche Unterschiede zwischen Live- und OBD-Daten. Ergänzt wird das Buch durch Anwendungsbeispiele zu Themen wie



Leistungsoptimierung (u. a. am Beispiel ABT-Sportsline), Optimierung des Abgasverhaltens oder des Verbrauchs. Abgerundet wird das Werk durch einen Ausblick auf zukünftige Herausforderungen.

Florian Vierling

„Erstmals hat sich ein Autor aus dem deutschsprachigen Raum im Detail mit dem Thema ‚Leistungsmessung‘ bei Pkw/Lkw auseinandergesetzt. In Verbindung mit der Abgasprüfung ist es ein einmaliges Werk und sollte in keinem Kfz-Betrieb fehlen.“

Holger Boemanns,

Geschäftsführer Boemanns Motorsport GmbH

„Aufgrund der detaillierten und praxisrelevanten Ausarbeitung gelang es dem Autor in dem vorliegenden Fachbuch das Thema ‚Leistungs- und Abgasprüfverfahren‘ einfach und umfassend auszuarbeiten. Das Werk ist für jeden Kfz-Profi, der sich mit dem Thema beschäftigen möchte, eine Pflichtlektüre.“

Torsten Osterhaus,

Geschäftsführer MTO-Engineering