
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

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 Tätigkeitsfeldern der Kfz-Branche hat eine derart vereinfachende Sichtweise heute kaum noch Zukunft. Qualifizierte Fachkräfte wissen um die enorme Komplexität der Materie, die höchste Ansprüche stellt an Fachwissen und Analysefähigkeit. Die digitale (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 Leistungs- und Abgasprüfverfahren gesagt werden. Die gegenwärtige Prüfstandstechnik hat die Grenzen rein elektromechanischer Anlagen früherer Zeiten längst überschritten. Ihre elektronischen Steuerungs- und Regelsysteme bedienen sich hoch spezialisierter Technik, die unter Einbeziehung verschiedenster Parameter jederzeit exakte und reproduzierbare Testergebnisse 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 Verschiedenheit der Einsatzgebiete und Verwendungszwecke kann hier jedoch naturgemäß keine erschöpfende Darstellung des Titelthemas geleistet werden – und soll es auch nicht. Ziel ist vielmehr, interessier-

ten Fachleuten einen Überblick über moderne 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 erreichen, doch soll der Fokus auf praktisch verwertbarer Information liegen: ein Buch also aus der Werkstatt – für die Werkstatt.

2. Die Geschichte der Leistungsmessung – ein historischer Abriss

Die Anfänge der modernen Leistungsmessung sind schon in der Entwicklung der Dampfmaschine zu suchen. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts konnte James Watt die Effizienz der bisher existierenden Konstruktionen enorm steigern. Mit einem Wirkungsgrad von drei Prozent erreichte die revolutionäre Watt'sche Dampfmaschine immerhin ein Vielfaches früherer

Patente. Sie wurde in der Folge zum Motor der Industrialisierung – und Motoren mussten bereits damals messbare Leistung erbringen.

Dazu waren jedoch zunächst brauchbare Maßeinheiten erforderlich. Die ursprüngliche Definition der Einheit Pferdestärke (PS) geht folglich auch auf James Watt zurück.

Pferdestärke und Watt

Die alte Einheit PS beziehungsweise horsepower (hp) war ursprünglich gewissermaßen ein Marketinginstrument von James Watt. Er wollte so die Leistung von Arbeitspferden und seinen Dampfmaschinen vergleichbar machen. Dazu beobachtete er, dass ein Mühlrad mit zwölf Fuß Radius von einem Pferd 144 mal in einer Stunde oder 2,4 mal in einer Minute gedreht werden konnte. Weiterhin rechnete Watt mit einer Zugkraft des Pferdes von 180 Pfund. Über die Gleichung

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{Kraft} \cdot \text{Weg}}{\text{Zeit}}$$

kam er so auf rund

$$33.000 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{n}}$$

(foot-pound force per minute).

Andere zeitgenössische Definitionen der Pferdestärke kommen unter ähnlichen Annahmen ebenfalls auf diesen Wert. Bis heute besteht weltweit eine Vielzahl unterschiedlicher Maßeinheiten für die Leistung von Maschinen nebeneinander. Zur besseren Vergleichbarkeit muss also die zu Grunde liegende Einheit beziehungsweise ihre Normung ebenso bekannt sein wie das verwendete Messverfahren.

Mit Einführung des SI-Systems (Système international d'unités – internationales Einheitensystem) wurde ein PS zu 735,49875 W (also $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$) umgerechnet. Ein kW entspricht folglich exakt 1,35962162 PS.

Die DIN 70020 wie auch die ISO 1585 schreiben in der Hauptsache vor, die Nutzleistung „an der Kupplung des

in allen Teilen einschließlich der Ansaug- und Auspuffanlage reihenmäßigen Motors unter normalen Betriebsbedingungen“ zu messen. Wasser-, Kraftstoff- und Einspritzpumpe sowie Kühlluftgebläse und (unbelasteter) Generator müssen vom Motor angetrieben sein.

Obleich diese wie auch alle anderen einschlägigen Normen und Vorschriften (seit dem Jahr 2000 sind EU-beziehungsweise EWG-Normen maß-

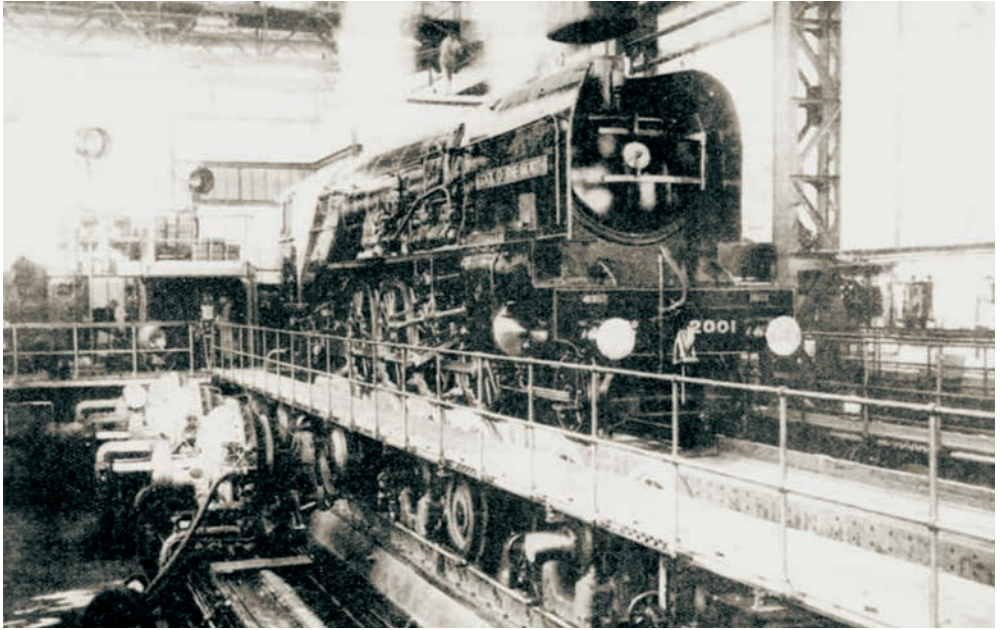
geblich) im Laufe der Zeit immer wieder im Detail verändert und angepasst wurden, stellen die Fortschritte der fahrzeugtechnischen Entwicklung an die Leistungsprüfung von modernen Kraftfahrzeugen hohe Ansprüche: Längst werden nicht mehr alle Nebenaggregate direkt vom Motor angetrieben und die elektrischen Hilfskraftleitungen, Wasserpumpen und dergleichen belasten Generator und Bordnetz je nach Bedarf ungleichmäßig.

200 Jahre später wurde eine neue Leistungseinheit nach dem Namen des PS-Erfinders benannt: Das ‚Watt‘ ist nunmehr die einzige offizielle Einheit für Leistung. Die gute alte Pferdestärke hat mit Einführung des SI-Systems ausgedient und ist nach amtlicher Verordnung nur noch als ergänzende Zusatzangabe gestattet.

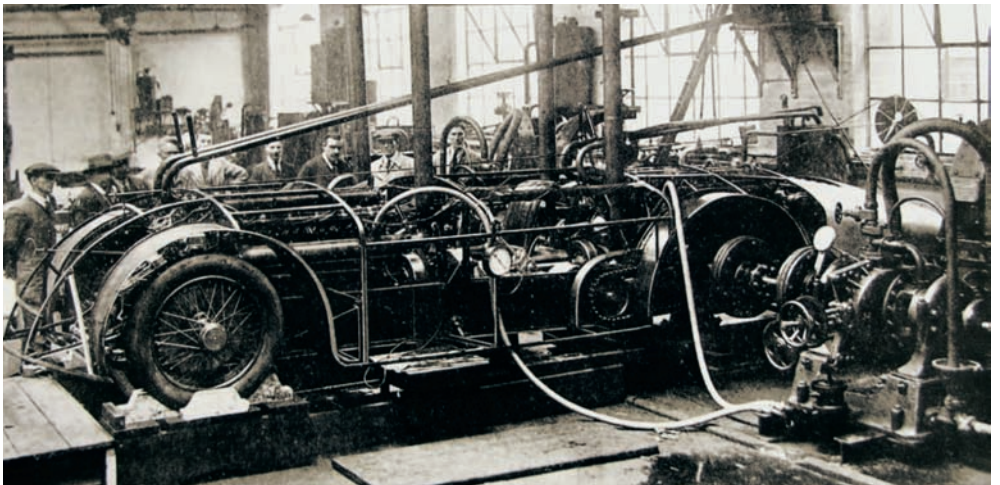
Mit dem Siegeszug der Dampfmaschine wurde der Fortschritt auf das richtige Gleis gesetzt: Die Eisenbahn mit ihren Dampflokomotiven gilt als weitere epochale Entwicklung auf dem Weg in die moderne Industriegesellschaft. Bereits 80 Jahre vor den ersten automobilen Straßenfahrzeugen in den späten 1880ern fuhr die erste Dampflokomotive, und die neue Anwendung entwickelte sich rasant. Die Lokomotiven wurden schneller, schwerer – und auch teurer. Um die immensen Betriebskosten dieser Ungetüme kontrollieren und senken zu können, musste unter anderem ihre Leistungsfähigkeit gemessen werden. Dazu wurden spezielle Messwaggons eingesetzt, die von den Lokomotiven gezogen

wurden. Hydromechanische Messanordnungen und Federn übertrugen die Kräfte an den Deichseln dieser rollenden Laboratorien auf automatische Rechenapparate im Wageninneren. Zusammen mit weiteren Messeinrichtungen konnten so fortlaufend Zugkraft, Arbeit, Leistung, Geschwindigkeit und andere Parameter mit einer Auflösung von bis zu 0,1 s gemessen beziehungsweise berechnet werden. Diese Messwaggons bildeten also eine wichtige Grundlage für den wirtschaftlich sinnvollen Ausbau und Betrieb des weltweiten Schienenverkehrs.

Um aber die immer engmaschigeren Fahrpläne nicht mit den ausgedehnten Messfahrten zu beeinträchtigen und auch um die Messungen von den wechselhaften Umweltbedingungen zu entkoppeln, wurden stationäre Testanlagen errichtet: Riesige Hallen, in denen die Lokomotiven auf imposanten Rollenprüfständen unter allen Betriebszuständen und zeitlich prinzipiell unbegrenzt den verschiedensten Tests unterzogen werden konnten. Auch Abgas-



2.1 *Mit Vollampf voraus:* Rollenprüfstände zur Leistungs- und Abgasmessung gibt es schon seit den Tagen der Dampflokomotive. Bild: Krafthand-Archiv



2.2 *Wasser marsch:* Der ‚1.000 hp Sunbeam‘ wird 1927 für Rekordversuche vorbereitet. Die Motoren leisteten jeweils hydraulisch gebremste 500 bhp bei 2.000/min. Bild: Krafthand-Archiv

2 Die Geschichte der Leistungsmessung – ein historischer Abriss

untersuchungen und Verbrauchsmessungen nach Maßgabe der damals verfügbaren Technik wurden bereits durchgeführt, um so die Effizienz des Gesamtsystems Dampflokomotive zu optimieren. Diese Lokomotivenprüfstände bedienten sich zur Erzeugung variabler Lasteinträge noch großer, relativ einfacher Wasserbremsen unter jedem der angetriebenen Räder. Solche hydraulischen Dynamometer nach der Erfindung von William Froude standen für die kommerzielle Nutzung ab 1881 zur Verfügung.

Die Pioniere der Automobiltechnik konnten zur Erprobung ihrer Motoren und Fahrzeuge also auf die Erfahrung und das Fachwissen aus dem Eisenbahnwesen zurückgreifen. Allerdings standen ähnlich aufwändige Prüfverfahren für die gerade entstehende Automobilwirtschaft nicht flächendeckend zur Verfügung, galt es doch zunächst noch, die Kinderkrankheiten der neuartigen Kfz-Technik zu überwinden und ihre Akzeptanz in der Bevölkerung zu stärken. Vor diesem Hintergrund war es bis 1928 der deutschen Steuergesetzgebung geschuldet, dass die Angabe der sogenannten ‚Steuer-PS‘ für den Kunden wichtiger und aussagekräftiger war als Angaben zur tatsächlichen Leistung eines Kraftfahrzeuges. Die realen Leistungswerte waren nämlich für die festen Unterhaltskosten bedeutungslos und wurden daher von den Herstellern oft ungenau, wenn nicht willkürlich veranschlagt. Da ein Steuer-PS bei Viertaktmotoren 261,8 cm³ Hubraum entsprach, ging aus einer Typbezeichnung wie ‚Audi 18/70 PS‘ (Typ M, 1924 bis 1927) hervor, dass der Wagen mit 18 Steuer-PS einen Motor von etwa 4,5 l Hubraum hatte, und vom Her-

steller mit 70 ‚Brems-PS‘ angegeben wurde. Ob und wie diese 70 PS tatsächlich zustande kamen, lag eher in der Verantwortung der Werbe- als der Technikabteilung – obwohl die Nutzleistung selbstverständlich schon in der Frühzeit des Automobils exakt gemessen werden konnte.

Solange die Produktionszahlen niedrig waren und auch die Fertigungsverfahren noch nicht den späteren industriellen Standards genügten, wurde mitunter sogar jeder einzelne produzierte Motor geprüft und seine Leistung gemessen. Als Dynamometer für solche Anwendungen empfahlen sich in erster Linie die schon erwähnten Wasserbremsen. Alternativ standen damals vor allem ältere, vergleichsweise primitive Kraftmesser wie die simple Bandbremse zur Verfügung. Sie beruhte wie auch ihre Weiterentwicklung, die Backenbremse nach de Prony, auf Festkörperreibung und war damit zumindest im Bereich der Antriebstechnik kaum geeignet für automobiltechnische Anwendungen.

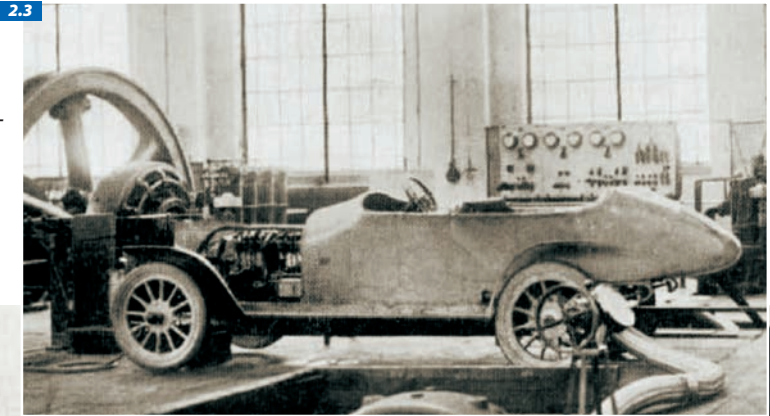
Die Elektrifizierung der Technik um die Jahrhundertwende hatte naturgemäß großen Einfluss auf die aufkeimende Automobilwirtschaft. Der Verbrennungsmotor musste sich anfangs erst gegen den Dampf- und den Elektroantrieb durchsetzen. Die elektrischen Gleich- und Wechselstrommaschinen sowie die elektromagnetische Wirbelstrombremse wurden in der Fahrzeugtechnik jedoch erst relativ spät, nämlich seit den 1930er Jahren, für Prüfvorrichtungen zur Leistungsmessung von Fahrzeugen eingesetzt.

Für automobiltechnische Anwendungen waren solche Prüfstände bis lange

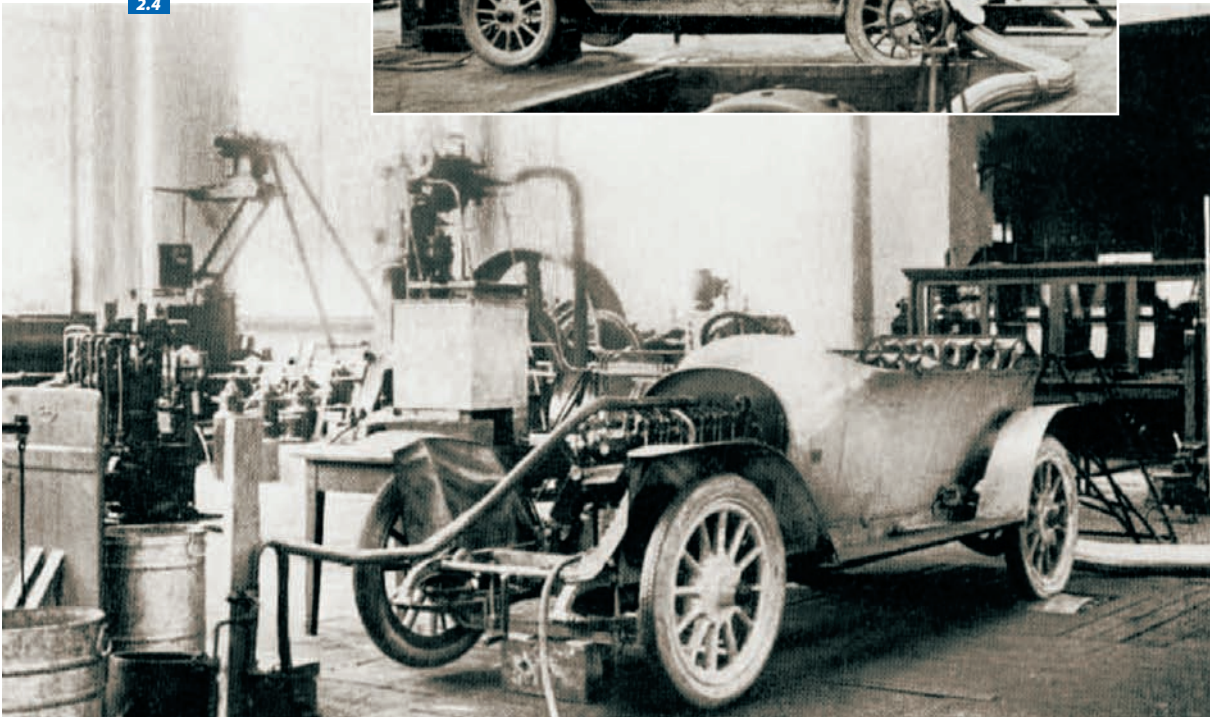
nach dem Zweiten Weltkrieg vor allem der industriellen Forschung und Entwicklung vorbehalten. Außerhalb dieses Umfelds bildet eine motorsport-affine, vornehmlich US-amerikanische Szene begeisterter Hobbybastler eine bedeutende, bis zurück in Vorkriegstage reichende Traditionslinie

der Fahrzeugleistungsmessung. Vor diesem Hintergrund fanden billige Wasserbremsen für einschlägige Tuningschmieden schnell weite Verbreitung auf dem US-Markt. Die populäre Hot-Rod-Bewegung oder auch die schon 1949 ins Leben gerufene NASCAR-Rennserie be-

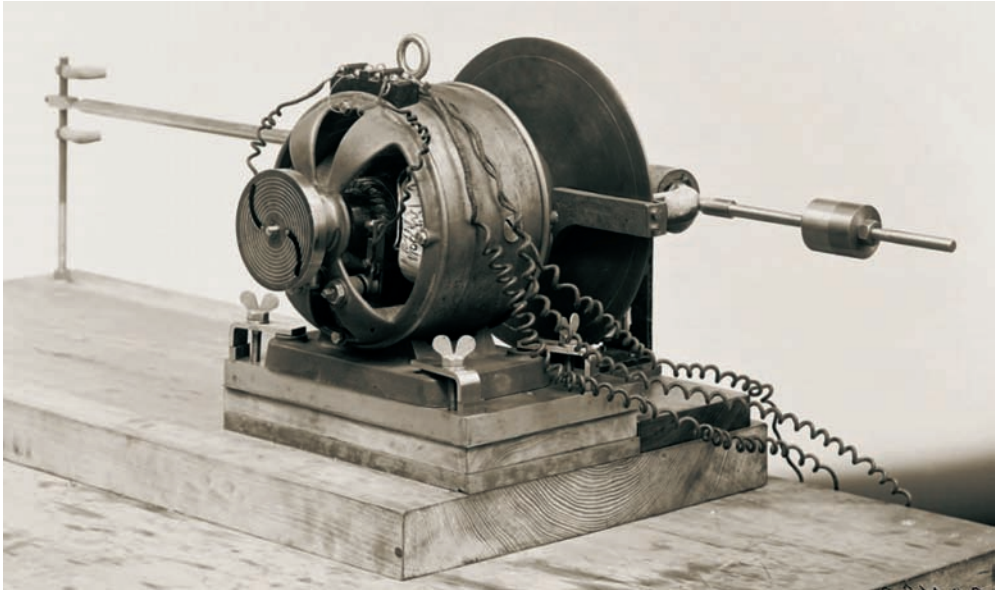
Zurück in die Zukunft: Der ,100 PS Benz' Rennwagen wird 1911 auf dem Scheitelrollenprüfstand eines wissenschaftlichen Laboratoriums detailliert untersucht. Bild: Krafthand-Archiv



2.4



2 Die Geschichte der Leistungsmessung – ein historischer Abriss



2.5 Reibungslos: Die neuartige elektromagnetische Wirbelstrombremse als Kraftmesser (Aufnahme aus dem Jahr 1901). Bild: Siemens Corporate Archives

feuerten das automobilen Leistungsrennen der nordamerikanischen Autohersteller zusätzlich – mit bekannten Auswirkungen auf die zeitgenössischen Leistungsangaben jener Zeit.

Für die ‚normalen‘ Betriebe der Kfz-Branche gab es allerdings jahrzehntelang kaum Anlass, in derartige Ausrüstung zu investieren. Wichtige Impulse in diese Richtung kamen erst Anfang der 1970er Jahre, als in den USA erste Richtlinien zum Abgasverhalten installiert wurden.

Diese Bestimmungen verursachten dann allerdings einen regelrechten Boom im Bereich der Kfz-Funktionsprüfstände, da von nun an auch in vielen anderen Ländern regelmäßige Abgasmessungen unter Last Vorschrift wurden. In Europa blieb die

Leistungs- und Abgasmessung lange Zeit Sache der Hersteller und des professionellen Motorsports, bis auch hier parallel zur einsetzenden US-Abgasgesetzgebung gesetzliche Zwänge die Verbreitung zunächst einfacher Rollenprüfstände beförderten. Seitdem wurden die Emissionsvorschriften weltweit stetig verschärft. Die allfällige Luftverschmutzung, die Ölkrise und das erwachende ökologische Bewusstsein weiterer Bevölkerungskreise setzten neue Imperative an die Entwicklung der Fahrzeugtechnik.

Ob katalytische Abgasreinigung, Allradtechnik oder elektronische Regelsysteme: Leistungs- und Abgasprüfverfahren mussten von jeher mit der (fahrzeug-)technischen Entwicklung Schritt halten.

In Deutschland erfuhr die Abgasprüftechnik 1985 zusätzlich durch die Einführung der Abgassonderuntersuchung (ASU) wichtige Entwicklungsimpulse. Die bis 1993 geltende ASU umfasste nur Benzinfahrzeuge, doch die Testgeräte fanden sich bald in jeder Kfz-Werkstatt zwischen Flensburg und Garmisch-Partenkirchen. Denn wer die turnusmäßige Abgasuntersuchung mangels geeigneter Prüftechnik nicht leisten konnte, geriet im Wettbewerb schnell ins Abseits. Seit Dezember 1993 erfasst die nunmehr ‚AU‘ genannte Abgas-

untersuchung auch Dieselfahrzeuge. Die Technik der dazu notwendigen Opazimeter (ein optisches Rauchgas-Trübungsmessgerät) hat sich bis heute im Grunde nicht geändert. Die Dieseltechnik dagegen durchlief eine geradezu revolutionäre Entwicklung – mit Folgen, von denen in Kapitel 6 noch zu sprechen sein wird.

In jüngster Zeit (seit 1. Dezember 2008) gilt für alle nach dem 1. Januar 2006 erstmalig zugelassenen Fahrzeuge der sogenannte Leitfaden 4 zur Abgasuntersuchung. Die Diskussionen um diesen Leit-

2.6 *Leider immer noch nicht von gestern: Smog in Großstädten. Schon vor über 40 Jahren wurde der Straßenverkehr als Hauptverursacher ausgemacht. Bild: Vierling*

