

Das Versuchs- und Meßwesen auf dem Gebiet des Kraftfahrzeugs

Von

Dr.-Ing. W. Kamm

o. Professor am Lehrstuhl für Kraftfahrwesen und
Fahrzeugmotoren und Leiter des Forschungs-
instituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeug-
motoren an der Technischen Hochschule Stuttgart

und

Dr.-Ing. C. Schmid

Leitender Ingenieur und Stellvertreter des
Institutsleiters am Forschungsinstitut für
Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an
der Technischen Hochschule Stuttgart

Mit 646 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1938

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Copyright 1938 by Julius Springer in Berlin.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1938

ISBN 978-3-642-51259-9 ISBN 978-3-642-51378-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-51378-7

Vorwort.

Im Vorwort zu dem im gleichen Verlag erschienenen Werk „Das Kraftfahrzeug“ vom August 1935 wurde das Erscheinen des vorliegenden Buches über das Meßwesen auf dem Gebiet der Kraftfahrzeuge in Aussicht gestellt. Der Entschluß zur Herausgabe ist bei der Bearbeitung des Buches „Das Kraftfahrzeug“ entstanden, weil die Behandlung des Abschnittes über Versuche an Fahrzeugen und Motoren bei hinreichender Berücksichtigung der vorliegenden Erfahrungen einen zu großen Umfang angenommen hätte.

Das Bedürfnis, die bei den Verfassern und bei dem Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen an der Technischen Hochschule Stuttgart vorliegenden weitreichenden Erfahrungen auf dem Versuchsgebiet und die daraus gewonnenen Erkenntnisse über andere auf dem Fachgebiet angewandte Meßverfahren und über die Meßmöglichkeiten in vollständigerer Form der Fachwelt zur Kenntnis zu bringen, blieb bestehen.

Wohl auf wenigen Gebieten der technischen Arbeit sind die Änderungen und Fortschritte so lebhaft wie im Versuchswesen, weil viele der mit der Herstellung technischer Erzeugnisse zusammenhängenden Rücksichten auf Beibehaltung von Konstruktionen und Anlagen hier zum Wegfall kommen und eine rasche Fortentwicklung der Versuchsverfahren eine der Grundlagen für die Schaffung neuer Erkenntnisse und für die Erzielung weitreichender technischer Fortschritte darstellt. Es ist deshalb schwer, den richtigen Zeitpunkt für die Herausgabe eines solchen Werkes zu bestimmen.

Auch im vorliegenden Fall mußte der Zeitpunkt des Abschlusses der Arbeiten wiederholt verschoben werden, damit wichtigere Ergebnisse, die die Versuchsarbeit gerade lieferte, noch mit aufgenommen werden konnten, und es bedurfte des Entschlusses zur Vornahme eines in gewissem Grad willkürlichen Trennungsstriches, da auch weiterhin Fortschritte in der Erkenntnis über die Versuchsverfahren und Versuchseinrichtungen sich laufend einstellen. Die Verfasser glauben dennoch, mit dem vorliegenden Stoff der Fachwelt einen wertvollen Erfahrungsschatz übermitteln zu können, der geeignet ist, die Neuerarbeitung schon vorliegender Erfahrungen zu vermeiden und als Anregung zur weiteren Entwicklung des Versuchswesens an den Stätten des weiten Kraftfahrzeuggebiets beizutragen.

Das Werk behandelt den Gegenstand in zwei Hauptabschnitten. Der erste erstreckt sich auf die Prüfung der Motoren, der zweite auf die Untersuchung der Fahrzeuge. Im ersten Teil entspricht die Reihenfolge etwa der des Energieumsatzes, womit trotz der Mannigfaltigkeit des Meßwesens und der Randgebiete eine bestimmte Richtung eingehalten werden konnte. Im zweiten Teil folgt den Meßverfahren für die Feststellung der Fahrleistungen aus den verfügbaren Leistungen und den Fahrwiderständen die Untersuchung der aus dem Federungsverhalten, der Straßenlage, der Richtungshaltung und anderen Einflüssen sich ergebenden Fahreigenschaften.

Auch diesem Werk wird der Wunsch der Verfasser mitgegeben, daß ihnen aus dem Kreise der Fachgenossen sachliche Stellungnahmen und Anregungen zu Verbesserungen und Ergänzungen zugehen, damit sie die etwa notwendig werdende Herausgabe einer weiteren Auflage als Gelegenheit benützen können, den Wert des Werkes in der Hand des Versuchsingenieurs und Konstrukteurs zu erhöhen.

Die Verfasser danken an dieser Stelle den Herren Dipl.-Ing. Bruno Eckert, Otto Hoffmeister, Dr.-Ing. Otto Wiedmaier für aufopfernde Mitarbeit am Gelingen des Werkes, sowie den Herren Dipl.-Ing. Erwin Dörr, Dr.-Ing. Alfred Kimmel, Dipl.-Ing. Erich Nöldeke, Ewald Sawatzki, Paul Schmid, sowie dem Lehramtsreferendar Waldemar Schiek für die Durchsicht einzelner Abschnitte und für Vorschläge.

Stuttgart, im Oktober 1937.

W. Kamm. C. Schmid.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Zweck der Arbeiten	1
Untersuchungen an Fahrzeugmotoren.	
Energieverteilung	1
Wirkungsgrade	1
Mechanischer Wirkungsgrad. — Wirkungsgrad der abgegebenen Leistung. — Wirkungsgrad der indizierten Leistung. — Wirkungsgrad der vollkommenen Maschine. — Indizierter Wirkungsgrad. — Lieferungsgrad. — Volumetrischer Wirkungsgrad. — Luftüberschußzahl. — Spülwirkungsgrad. — Verhältnismäßiger Luftaufwand. — Verhältnismäßiger Ladeverlust.	
1. Kraftstoffprüfung	3
A. Untersuchung auf allgemeine Eigenschaften und auf Mischungsbestandteile	3
Geruchsprüfung. — Flammprobe. — Fettprobe. — Reagenspapierprobe. — Probe auf Säuren und Alkalien. — Bestimmung des verhältnigen Gewichtes. — Prüfung des Brennstoffes auf Vorhandensein von Alkohol. — Feststellung des Alkoholanteiles im Gemisch. — Bestimmung des Gehaltes an Aromaten durch die Dimethylsulfatprobe. — Prüfung auf Schwefelgehalt. — Feststellung der Siedekennlinie und der Siedekennziffer. — Verharzungsneigung. — Flammpunkt und Brennpunktwerte. — Der Selbstzündungspunkt.	
B. Heizwertmessung	8
I. Heizwerte von Grundstoffen und Kraftstoffen	8
II. Einzelbestimmungen im Bombenkalorimeter	9
Verbrennungsbombe.	
III. Die fortlaufende Bestimmung	10
Junkers-Kalorimeter. — Berechnung des Heizwertes. — Oberer Heizwert H_o . — Verdampfungswärme des Kondenswassers. — Unterer Heizwert H_u . — Beispiel. — Fehler bei Wärmebestimmungen. — Fortlaufend arbeitendes selbsttätiges Kalorimeter.	
C. Messung der Klopfestigkeit der Brennstoffe	12
I. Zündwertprüfer nach Jentzsch	12
II. Verfahren von Heinze und Marder	13
III. Grundlagen der motorischen Prüfung	14
Die Prüfgeräte. — Das Straßenverfahren.	
D. Prüfung des motorischen Verhaltens von Diesellofen	17
Vergleichskraftstoffe.	
E. Prüfung von Mineralschmierölen	23
I. Physikalische Untersuchungen	23
Das verhältnige Gewicht. — Zähigkeit (Vogel-Ossag-Viskosimeter). — Bestimmung des Fließvermögens in der Kälte. — Stockpunktsbestimmung. — Bestimmung der Verkokungsneigung. (Conradson-Verfahren), (Ramsbotton-Verfahren). — Bestimmung der Brechungszahl. — Bestimmung der Oberflächenspannung.	
II. Chemische Untersuchungen	28
Gehalt an Asche. — Asphalt und feste Fremdstoffe. — Gehalt an Wasser. — Verseifungszahl. — Neutralisationszahl. — Säurezahl.	
2. Messung des Betriebsstoffverbrauchs der Motoren	29
A. Brennstoffverbrauch	29
I. Messung nach Volumen	29
Selbsttätige Messung. — Meßfehler. — Durchflußkraftstoffmesser.	
II. Messung nach Gewicht	32
B. Schmierölverbrauch	33
3. Messung der Ansaugluftmenge	34
I. Volumetrische Messung	34
II. Durchflußmessung	36
Durchflußgleichungen. — Der wahre Volumendurchfluß. — Volumenrechnung. — Das Prandtl'sche Staurohr. — Messung des Wirkdruckes (Flüssigkeitsmanometer, Projektionsmanometer mit Wasserfüllung nach Betz, Zeigerdruckmesser, Gegendruckgeräte, Tauchglocke).	
III. Durchflußmengenmessung bei pulsierender Strömung	45
Beispiel 1. — Beispiel 2.	
IV. Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Ansaugluft	47
Das Taupunktverfahren. — Das Haarhygrometer. — Die psychrometrische Feuchtigkeitsbestimmung.	

	Seite
4. Geräte zur Beobachtung des Verbrennungsverlaufs	51
A. Indiziervorrichtungen	51
I. Die Höchstdruckmesser	52
II. Stroboskopische Indikatoren	54
III. Hochfrequenzindikatoren	57
a) Mikroindikatoren	57
b) Optische Indikatoren	59
c) Elektrische Indikatoren	60
Das kapazitive Meßverfahren. — Das piezoelektrische Meßverfahren. — Der Halbleiterindikator. — Der magnetische Indikator.	
B. Geräte zur Ermittlung der Verbrennungsgeschwindigkeit und Sichtbarmachung der Flammenausbreitung	73
Schnauffersches Ionisationsverfahren. — Bombenversuche. — Unmittelbare Sichtbarmachung der Flammenausbreitung. — Spektralanalytische Untersuchung des Verbrennungsvorganges. — Untersuchung des Verbrennungsvorganges mit der ultrarotempfindlichen Photozelle. — Photographische Aufnahme der Flammenausbreitung bei der Verbrennung.	
C. Aufnahme des Brennstoffeinspritzvorganges bei Dieselmotoren	79
5. Geräte zur Aufzeichnung schnell veränderlicher Vorgänge	81
I. Oszillographen	81
Der Schleifenoszillograph. — Der piezoelektrische Oszillograph. — Der Kathodenstrahl- oszillograph.	
II. Zeitdehngeräte	85
Hochfrequenzlichtbildgeräte. — Die Nägel-Holfeldersche Zeitlupe.	
III. Stroboskope	87
Blendscheibenstroboskope. — Das AEG-Lichtblitzstroboskop.	
IV. Zeitraffergeräte	89
6. Feststellung der Motorleistung	90
A. Leistungsbegriffe	90
B. Wiegetechnische Grundlagen	92
C. Bremsmittel	93
I. Der Pronysche Zaum	93
II. Die Luftwirbelbremse	95
III. Die Wasserwirbelbremse	98
IV. Die elektrischen Bremsen	101
Der Aufbau der elektrischen Pendelmaschine. — Die Ansprechgenauigkeit und Empfindlichkeit von Pendelgeneratoren	107
D. Messung des Drehmomentes	107
I. Drehmomentwaagen	107
II. Einschaltmomentmesser	110
E. Drehzahlmeßeinrichtungen	112
Stichdrehzähler (Der DVL-Stichdrehzähler, Der FKFS-Stichdrehzähler, Drehzähler mit Synchronmotor).	
F. Zeitmesser	118
Die Stoppuhren. — Zeitgeber. — Zeitschreiber.	
7. Die Kühlmittelmessung	122
I. Anordnung der Kühlanlage am Prüfstand	122
II. Die Wärmemenge	123
III. Gewichtsmäßige und volumetrische Meßeinrichtungen	124
a) Gewichtsmäßige Kühlmittelmessung	124
b) Volumetrische Kühlmittelmessung	125
c) Durchflußmengenmessung des Kühlmittels	125
Scheibenmesser. — Trommelzähler.	
IV. Frischwasserzusatzkühlung	127
V. Einfluß des Temperaturgefälles des Kühlmittels auf die Wärmemengenbestimmung	128
8. Temperaturmessungen	128
I. Flüssigkeitsthermometer	129
Fadenkorrektur (Fernthermometer).	
II. Elektrische Thermometer	130
a) Widerstandsthermometer	130
b) Thermolemente	132
Werkstoffe für Thermolemente. — Eichung der Thermolemente. — Herstellung der Thermolemente.	
III. Einbau der Thermolemente	135
IV. Schmelzkegelmessung	137
V. Strahlungs-pyrometer	138

	Seite
9. Untersuchung der Abgase	139
A. Wärmemengenbestimmung	139
B. Abgaszusammensetzung	140
C. Geräte zur Bestimmung der Abgaszusammensetzung	143
I. Chemische Abgasmeßgeräte	143
Orsat-Gerät. — Mono-Duplex „K“.	
II. Elektrische Abgasmeßgeräte	145
a) Elektrische Geräte zur Bestimmung des CO ₂ - und CO + H ₂ -Gehaltes	145
CO ₂ -Geber. — (CO + H ₂)-Geber. — Gesamtanordnung des Abgasmessers mit CO ₂ - und (CO + H ₂)-Geber.	
b) Cambridge-Abgasprüfer	147
c) Abgasprüfung auf Sauerstoff (Siemens)	147
D. Bestimmung der Abgastrübung im Dieselmotor	149
10. Drehschwingungsmeßgeräte	150
I. Allgemeines über Drehschwingungen	150
II. Die Drehschwingungsmeßgeräte	152
Der Geigersche Torsiograph. — Der DVL-Ritz-Torsiograph. — Der optische Schwingungsmesser. — Der elektrische Schwingungsmesser. — Drehschwingungsuntersuchungen mittels Schwingungserreger.	
11. Schreibgeräte für allgemeine Meßzwecke	155
Linienschreiber. — Fallbügelpunktschreiber.	
12. Regeleinrichtungen	158
I. Selbsttätiger Ausgleichschreiber (Kompensograph)	158
II. Fallbügelregler	159
III. Thermische Rückführung	159
13. Einzylinderprüfmotoren	162
I. Prüfmotoren	163
Ricardo-Einzylindermotor. — CFR-Motor. — Armstrong-Motor. — DVL-Einzylindermotor. — FKFS-Einzylindermotor.	
II. Prüfgerät für Dieselmotoren	169
14. Gesamtanordnung von Prüfständen	171

Messung der Fahrleistungen und Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen.

1. Fahrleistungen (Verfügbare Leistung und Fahrwiderstandsleistung)	174
A. Verfügbare Leistungen	175
a) Ermittlung der inneren Triebwerksverluste	175
I. Energiedurchgangsverfahren	175
II. Energiekreislaufverfahren	178
III. Wirkungsgrad des inneren Triebwerkes des Fahrzeugs	178
b) Ermittlung der äußeren Triebwerksverluste	179
I. Lüfterverluste der Räder	179
II. Roll- und Walkverluste	180
Meßtechnische Erfassung des Roll- und Walkwiderstandes.	
III. Schlupf-, Gleitungs- und Kriechverluste	182
IV. Verluste durch Stoß	183
V. Zusätzlicher Widerstand bei Kurvenfahrt	183
VI. Wirkungsgrad des äußeren Triebwerkes	184
c) Meß- und Versuchseinrichtungen zur Aufnahme der verfügbaren Leistungen	184
I. Kraftwagenrollfeld	184
Siemens-Potthof-Prüfstand. — Riedler-Prüfstand. — Schenck-Wagenprüfstand. — Junkers-Wasserbremsenprüfstand.	
II. Kraftwagenbremsstand	191
Froude-Wasserbremsenprüfstand. — Prüfstand von Technorat.	
d) Rechnungsverfahren zur Ermittlung der verfügbaren Leistung	191
Nabenleistung. — Radfelgenleistung. — Lauftrommelleistung. — Zugleistung. — Leistungsverlust durch Schlupf. — Radumfangsleistung. — Zusammenfassung.	
B. Die Fahrwiderstandsleistung	195
I. Widerstand im Fahrwerk	195
II. Der Luftwiderstand und seine Ermittlung am Fahrzeug und am Modell	195
Allgemeines	195
Meßverfahren	198
Messungen am natürlichen Fahrzeug	198
Massenbestimmung. — Auslaufverzögerung. — Widerstands- und Beiwertsermittlung.	

	Seite
Modellversuche in Windkanälen	200
Windkanäle (Göttinger Bauart, Englische Bauart, Eiffelsche Bauart). — Messung der Luftkräfte. — Der Beiwert. — Luftkräfte und Kurshaltung (Seitenwind und resultierender Anblaswind, Allgemeines zur Richtungshaltung.) — Die Bezugsachsen für die am Fahrzeugkörper auftretenden Momente (Längsachse, Querachse, Hochachse). — Einfluß der Reynoldsschen Zahl. — Einfluß der Kanalturbulenz. — Einfluß des Grades der Modellähnlichkeit auf den Luftwiderstand. — Arten der Fahrbahndarstellung. — Erfassung der Bezugsgeschwindigkeit bzw. des Bezugsstaudruckes. — Berücksichtigung des Luftzustandes.	
III. Sichtbarmachung der Strömung	216
Abtasten mittels Fäden. — Rauchgasbildung. — Wasserströmkanal. — Die zweidimensionale Strömung. — Dreidimensionale Strömung. — Druckmessungen an der Oberfläche der Modelle. — Aufnahme der Grenzschicht.	
C. Ermittlung des Steigungs- und Beschleunigungsvermögens aus der verfügbaren Leistung und der Fahrwiderstandsleistung	220
I. Rechnungsverfahren	220
II. Ergebnisse von Fahrleistungsversuchen	224
III. Beschleunigungsprüfstand	225
D. Fahrleistungsversuche auf der Fahrbahn	226
I. Art der vorzunehmenden Fahrversuche	226
II. Versuchsbedingungen	226
III. Gesichtspunkte, die bei der Feststellung der mittleren Geschwindigkeitsänderung zu beachten sind	227
IV. Meßeinrichtungen	228
a) Schießverfahren	229
Allgemeines. — Schumannsches Schießverfahren zur Bestimmung der Bremsverzögerung.	
b) Die Massenträgheitsbeschleunigungsmesser	231
Grundsätzlicher Aufbau der Meßgeräte. — Verzögerungsmesser von Siemens. — Der Tapley-Leistungs- und Bremsprüfer. — Stopmeter. — Wimperis-Beschleunigungsmesser. — Schreibende Beschleunigungsmesser (Geigers-Beschleunigungsmesser, Wimperis-Beschleunigungsschreiber). — Kontaktbeschleunigungsmesser (Grunbachsches Pendel, Langer-Thoméscher Bremsverzögerungsmesser).	
c) Geräte mit Schleppradantrieb	235
1. Peiseler-Prüfrad	236
2. Bewikra-Kraftwagenprüfgerät	237
3. Grundzeitregistriergeräte	238
„Tel“ Anfahr- und Bremsgeschwindigkeitsmesser (Auswertung der Geschwindigkeit, Auswertung der Beschleunigung). — Bruhnscher Geschwindigkeitswegschreiber, (Auswertung der Geschwindigkeit, Auswertung der Beschleunigung). — Elektrischer Beschleunigungsmesser.	
2. Fahreigenschaften	244
A. Bremsung	244
I. Allgemeines	244
a) Der Wärmeumsatz	245
b) Der Bremsweg und die mittlere Verzögerung	246
Ermittlung der Verzögerungszahl.	
II. Die Einteilung des Bremsweges	247
III. Meßtechnische Erfassung der Reibungsbeiwerte und Bremsbeiwerte für Reifen und Fahrbahn	249
IV. Bremsversuche mit Fahrzeugen	250
V. Prüfung des in der Bremsstrommel erzeugten Bremsmomentes	252
Der Bendix-Bremsprüfer. — Fußkraftmesser.	
B. Die Federung	253
I. Allgemeines	253
II. Einzeluntersuchungen	254
a) Bestimmung der Schwingungszahlen des Wagenaufbaues	254
Bestimmung durch Versuch. — Rechnerische Bestimmung der Schwingungszahlen des Wagenkörpers.	
b) Untersuchung der Federkennzahlen	256
Federweichheit der Reifen. — Steifigkeit der Feder (Federschwingungsmaschine, Ausschwingversuche, Prüfstand für Schwingungsdämpfer).	
c) Beschleunigungen und Schwingungsausschläge am Wagenkörper	261
1. Schwingungsschreiber zur Aufnahme der Ausschläge	261
Elektrische Schreibeinrichtung. — Kreiselschwingungsschreiber.	
2. Die mechanisch wirkenden Massenträgheits-Beschleunigungsmesser	264
Vibrograph nach Geiger. — Erschütterungsschreiber von Maihak. — Scheubelscher Beschleunigungsschreiber. — Beschleunigungsmesser von Askania. — Vibrometer von Schenck.	

	Seite
3. Die elektrisch wirkenden Massenbeschleunigungsmesser	269
Piezoquarz-Beschleunigungsmesser. — Kohledruckbeschleunigungsmesser. — Induktions-Beschleunigungsmesser. — Höchstbeschleunigungsmesser.	
d) Kurvensteifigkeit des Fahrzeugs	272
C. Lenkungsuntersuchungen	275
I. Geräte zur Messung der Lenkkräfte	275
II. Lenkungsschwingungen	275
Die meßtechnische Erfassung der Flatter- und Trampelbewegungen	278
Gerät zur Aufnahme der Achs- und Radstellung. — Elektrische Schreibgeräte. — Der Frommsche Schwingungserleger.	
D. Beurteilung der Fahrbequemlichkeit und Fahrannahmlichkeit	280
Federungseinfluß. — Räumliche Abmessungen des Wageninnern.	
E. Schall- und Geräuschemessungen	282
Die Entstehung von Schall. — Schallanalyse. — Lautstärke von Einzeltönen.	
F. Erfassung des Einflusses der am Fahrzeug wirkenden Kräfte auf die Fahrbahnhaltung	288
I. Radumfangs- und Seitenführungskräfte	288
II. Massendrehmoment bei Eigendrehung des Fahrzeugs und Bodenreibmoment im Zusammenhang mit Flieh- und Luftkräften	289
III. Einfluß der Schwerpunktslage und der Antriebsart auf die Fahrbahnhaltung	290
IV. Bestimmung der Seitensteifigkeit und Seitenführungs-kraft von Reifen	291
1. Modellversuche	291
2. Versuche in Kraftwagenrollfeld	292
V. Schwerpunktsbestimmung	293
VI. Aufnahme des Trägheitsmoments	294
G. Modellfahrversuche	295
1. Das Modellfahrzeug	295
2. Der Modellmaßstab	297
3. Versuchsergebnisse	299
4. Vergleich der Ergebnisse aus Modellversuchen mit denen der Wirklichkeit	299
3. Beanspruchung im Fahrzeugaufbau und in sonstigen Bauteilen	301
Messungen am Fahrzeug. — Modellmessungen.	
Schlußbemerkung — Ausblick	303
Schrifttum	305
Sachverzeichnis	310