

Wissenschaftliche Reihe
Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

RESEARCH

Thomas Landwehr

Neue Methoden zur Untersuchung der Sichtfreihaltung an Kraftfahrzeugen



Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

Reihe herausgegeben von

Michael Bargende, Stuttgart, Deutschland

Hans-Christian Reuss, Stuttgart, Deutschland

Jochen Wiedemann, Stuttgart, Deutschland

Das Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) an der Universität Stuttgart erforscht, entwickelt, appliziert und erprobt, in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, Elemente bzw. Technologien aus dem Bereich moderner Fahrzeugkonzepte. Das Institut gliedert sich in die drei Bereiche Kraftfahrwesen, Fahrzeugantriebe und Kraftfahrzeug-Mechatronik. Aufgabe dieser Bereiche ist die Ausarbeitung des Themengebietes im Prüfstandsbetrieb, in Theorie und Simulation. Schwerpunkte des Kraftfahrwesens sind hierbei die Aerodynamik, Akustik (NVH), Fahrdynamik und Fahrermodellierung, Leichtbau, Sicherheit, Kraftübertragung sowie Energie und Thermomanagement – auch in Verbindung mit hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugkonzepten. Der Bereich Fahrzeugantriebe widmet sich den Themen Brennverfahrensentwicklung einschließlich Regelungs- und Steuerungskonzeptionen bei zugleich minimierten Emissionen, komplexe Abgasnachbehandlung, Aufladesysteme und -strategien, Hybridsysteme und Betriebsstrategien sowie mechanisch-akustischen Fragestellungen. Themen der Kraftfahrzeug-Mechatronik sind die Antriebsstrangregelung/Hybride, Elektromobilität, Bordnetz und Energiemanagement, Funktions- und Softwareentwicklung sowie Test und Diagnose. Die Erfüllung dieser Aufgaben wird prüfstandsseitig neben vielem anderen unterstützt durch 19 Motorenprüfstände, zwei Rollenprüfstände, einen 1:1-Fahrsimulator, einen Antriebsstrangprüfstand, einen Thermowindkanal sowie einen 1:1-Aeroakustikwindkanal. Die wissenschaftliche Reihe „Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart“ präsentiert über die am Institut entstandenen Promotionen die hervorragenden Arbeitsergebnisse der Forschungstätigkeiten am IVK.

Reihe herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende
Lehrstuhl Fahrzeugantriebe
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss
Lehrstuhl Kraftfahrzeugmechatronik
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann
Lehrstuhl Kraftfahrwesen
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13535>

Thomas Landwehr

Neue Methoden zur Untersuchung der Sichtfreihaltung an Kraftfahrzeugen

 Springer Vieweg

Thomas Landwehr
IVK, Fakultät 7, Lehrstuhl für
Kraftfahrwesen
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Zugl.: Dissertation Universität Stuttgart, 2019

D93

ISSN 2567-0042 ISSN 2567-0352 (electronic)
Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart
ISBN 978-3-658-29415-1 ISBN 978-3-658-29416-8 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-29416-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) der Universität Stuttgart.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann für die Betreuung, die Unterstützung und die Übernahme des Hauptreferates bedanken. Weiterhin möchte ich Frau Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander für den Mitbericht der vorliegenden Arbeit danken.

Die erfolgreiche Durchführung dieser Arbeit ist zu einem großen Teil durch die freundschaftliche und hilfsbereite Arbeitsatmosphäre am IVK begründet. Daher möchte ich mich bei allen Kollegen des IVK und FKFS bedanken, die mich während meiner Zeit am Institut unterstützt haben und stets für interessante Fachgespräche zur Verfügung standen. Mein spezieller Dank geht an Dr.-Ing. Timo Kuthada, Dipl.-Ing. Nils Widdecke und Dr.-Ing. Felix Wittmeier für die vielen Ratschläge und Diskussionen, sowie für die gute Zusammenarbeit. Ebenso danke ich allen Studentinnen und Studenten, die mich durch ihre engagierte Mitarbeit unterstützt haben. Meinen besonderen Dank gilt dem gesamten Team des Thermowindkanals, das durch seinen Einsatz und auch durch Geduld und Verständnis einen wichtigen Beitrag für ein Gelingen meiner vielen experimentellen Untersuchungen geleistet hat.

Abschließend möchte ich mich bei den Menschen bedanken, die mich auch außerhalb der Arbeit unterstützten, motivierten und mir Rückhalt gaben. Danke an meine Freunde aus Stuttgart und aus der Heimat, sowie vor allem an meine Eltern Christel und Helmut.

Thomas Landwehr

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Formelverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XXI
Zusammenfassung	XXIII
Abstract	XXV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Technik	3
2.1 Quellen der Fahrzeugverschmutzung	3
2.2 Experimentelle Untersuchungen der Sichtfreihaltung	5
2.3 Modellierung der Mehrphasenströmung	8
2.3.1 Tropfen in freier Strömung	8
2.3.2 Tropfenaufprall und Benetzung von Festkörpern	10
2.3.3 Fließverhalten von Flüssigkeiten auf Festkörpern	16
2.3.4 Numerische Untersuchungen der Sichtfreihaltung	17
2.4 Photometrische und optische Grundlagen	21
3 Untersuchungen zur Sichtbeeinträchtigung	23
3.1 Einflussfaktoren auf die Sichtbeeinträchtigung	24
3.1.1 Fahrsituation	24
3.1.2 Wasseransammlungen auf Fahrzeugscheiben	26
3.1.3 Mensch als Empfänger des visuellen Reizes	28
3.2 Aufhellungen durch Lichtbrechung	30
3.2.1 Strahlengang durch eine benetzte Glasscheibe	31

3.2.2	Untersuchungsmethode und -umgebung.....	33
3.2.3	Ergebnisse der Untersuchungen.....	35
3.2.4	Zusammenfassung und Übertrag auf das Fahrzeug	38
3.3	Sichtbehinderung durch Wasseransammlungen	43
3.3.1	Strahlengang durch eine benetzte Glasscheibe	43
3.3.2	Untersuchungsmethode und -umgebung.....	46
3.3.3	Ergebnisse der Untersuchungen.....	47
3.3.4	Zusammenfassung und Auswirkungen auf die Untersuchungen zur Sichtfreihaltung.....	55
4	Untersuchungen zur Sichtfreihaltung	57
4.1	Untersuchungsmethode und -umgebung.....	57
4.2	Einflussfaktoren auf die Auswertung.....	62
4.2.1	Blickwinkel.....	63
4.2.2	Fluoreszenz	66
4.2.3	Beleuchtung	67
4.2.4	Spiegelglasspezifische Faktoren	71
4.2.5	Filterwert.....	73
4.3	Neue Methoden zur Quantifizierung der Fahrzeugverschmutzung	75
4.3.1	Neue Methode zur Quantifizierung der Seitenscheibenverschmutzung	76
4.3.2	Der Filterwert und dessen Auswirkung auf die Detektion der Seitenscheibenverschmutzung.....	78
4.3.3	Auswertung zeitlich schwankender Daten	81
4.3.4	Zusammenfassende Betrachtung.....	82
4.3.5	Neue Methode zur Quantifizierung der Außenspiegelverschmutzung	83
4.4	Untersuchung von Verschmutzungsmechanismen	86
4.4.1	Verschmutzung durch den A-Säulentüberlauf	88

4.4.2	Verschmutzung durch den Außenspiegel.....	91
4.4.3	Verschmutzung beeinflusst durch die Oberflächenspannung.....	93
5	Schlussfolgerung und Ausblick	97
	Literaturverzeichnis	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Quellen der Fahrzeugverschmutzung nach Vollmer [4]	5
Abbildung 2.2:	Zerfallsmechanismen nach Pilch und Erdman [26]	10
Abbildung 2.3:	Aufprallmechanismen nach Bai und Gosman [28, 29].....	11
Abbildung 2.4:	Schematische Darstellung eines Tropfens auf einer ebenen und horizontalen Festkörperoberfläche	12
Abbildung 2.5:	Benetzung einer ebenen und horizontalen Festkörperoberfläche.....	12
Abbildung 2.6:	Tropfenformen für unterschiedliche Tropfenvolumen und Kontaktwinkel	14
Abbildung 2.7:	Schematische Darstellung der Kontaktwinkelhysterese (links) und deren Wirkung auf die Volumenänderung eines Tropfens (rechts) nach Zielke [32]	15
Abbildung 2.8:	Verformung eines statischen Tropfens auf einer schrägen Oberfläche ohne Anströmung (links) und mit Anströmung (rechts) nach Roser [33].....	15
Abbildung 2.9:	Darstellung des Snell'schen Brechungsgesetzes.....	22
Abbildung 3.1:	Lichteinfall auf die Fahrzeugscheibe von einem entgegenkommenden Fahrzeug.....	25
Abbildung 3.2:	Repräsentative Größenverteilung einzelner Tropfen auf der Seitenscheibe bei $v = 110 \text{ km/h}$	26
Abbildung 3.3:	Kontaktwinkel auf der Seitenscheibe von verschiedenen Fahrzeugen	27
Abbildung 3.4:	Aufhellungen auf der Frontscheibe bei Nachtfahrt.....	30
Abbildung 3.5:	Strahlengang durch einen Tropfen auf einer Glasscheibe	31

Abbildung 3.6:	Strahlengang durch einen Tropfen auf einer Glasscheibe für verschiedene Kontaktwinkel und Lichteinfallswinkel	32
Abbildung 3.7:	Schematische Darstellung des Strahler-Tropfen-Kamera-Modells zur Untersuchung der Aufhellung von Wasseransammlungen durch Lichtbrechung	33
Abbildung 3.8:	Auswertung der Aufhellung durch Verwendung des LI-Werts mit Linienauswertung (links) und Flächenauswertung (rechts)	34
Abbildung 3.9:	Aufhellung eines Tropfens für verschiedene Fokusebenen	35
Abbildung 3.10:	Aufhellung eines Tropfens für verschiedene Beleuchtungsintensitäten	36
Abbildung 3.11:	Aufhellung eines Tropfens (unten) mit dazugehörigem Strahlengang (oben) für verschiedene Einfallswinkel und einer Beleuchtungsintensität von $E = 100 \text{ lx}$	37
Abbildung 3.12:	Aufhellung eines Tropfens (unten) mit dazugehörigen Strahlengang (oben) für verschiedene Tropfenformen und einer Beleuchtungsintensität von $E = 100 \text{ lx}$	37
Abbildung 3.13:	Strahlengänge durch eine benetzte Glasscheibe für den direkten Lichteinfall und den Lichteinfall mit maximaler Umlenkung für verschiedene Kontaktwinkel und Scheibenneigungswinkel	40
Abbildung 3.14:	Aufhellungsbereiche bei einem Lichteinfallswinkel $\alpha = 75^\circ$ für Tropfen mit verschiedenen Kontaktwinkeln.....	42
Abbildung 3.15:	Sichtbeeinträchtigung durch eine benetzte Seitenscheibe im direkten Sichtfeld.....	43
Abbildung 3.16:	Strahlengang durch einen Tropfen auf einer Glasscheibe	44
Abbildung 3.17:	Strahlengänge durch eine verschmutzte Glasscheibe.....	45

Abbildung 3.18:	Schematische Darstellung des Objekt-Tropfen-Kamera-Modells zur Untersuchung der Sichtbehinderung aufgrund von Wasseransammlungen im direkten Sichtfeld.....	46
Abbildung 3.19:	Sichtminderung durch einen Tropfen im direkten Sichtfeld mit Auswertelinie (links) und Auswertung durch Verwendung des LI-Werts mit Linienauswertung (rechts).....	47
Abbildung 3.20:	Sichtminderung auf ein Rechteckmuster durch verschiedene Tropfen; der gestrichelte Kreis zeigt die Kontaktlinie des Tropfens	48
Abbildung 3.21:	Sichtminderung auf ein Rechteckmuster durch verschiedene Hindernisse gleichen Durchmessers; Fokus auf das Hindernis (oben); Fokus auf das Rechteckmuster (unten)	49
Abbildung 3.22:	Auswertung der Sichtverdeckung auf eine weiße Objektvorlage unter Verwendung des LI-Wertes mit Linienauswertung.....	50
Abbildung 3.23:	Schematische Darstellung der Sichtverdeckung durch Tropfen für verschiedene Tropfendurchmesser ...	50
Abbildung 3.24:	Auswertung der Sichtverdeckung für verschiedene Tropfendurchmesser	51
Abbildung 3.25:	Schematische Darstellung der Sichtverdeckung durch Tropfen für verschiedene Blendendurchmesser	52
Abbildung 3.26:	Auswertung der Sichtverdeckung für verschiedene Blendendurchmesser bei konstantem Tropfendurchmesser	53
Abbildung 3.27:	Veränderung der Sichtverdeckung durch einen Tropfen im Vergleich zur Referenz (oben) durch Verkleinerung des Tropfens (links) und Vergrößerung der Blende (rechts).....	53
Abbildung 3.28:	Schematische Darstellung der Sichtverdeckung durch Tropfen auf einem Spiegel.....	54

Abbildung 4.1:	Horizontalschnitt durch den FKFS Thermowindkanal [18].....	58
Abbildung 4.2:	Versuchsaufbau der Verschmutzungsuntersuchungen für die Seitenscheibe (links) und den Außenspiegel (rechts)	59
Abbildung 4.3:	Verschmutzte Seitenscheibe unter UV-Beleuchtung (links) mit DiVeAn®-Auswertung (rechts)	60
Abbildung 4.4:	DiVeAn®-Auswertung einer Kalibrierlehre unter UV-Beleuchtung (links) und Kalibrierkurve (rechts) zur Filmhöhenbestimmung	61
Abbildung 4.5:	Gleichmäßiges Punktgitter (links) und verzerrtes Punktgitter (rechts).....	63
Abbildung 4.6:	Kalibrierlehre für die geometrische Entzerrung der Seitenscheibe; Bild vor der Entzerrung (links); Bild nach der Entzerrung (rechts).....	64
Abbildung 4.7:	DiVeAn®-Auswertung einer benetzten Seitenscheibe; Auswertung vor der Entzerrung (links); Auswertung nach der Entzerrung (rechts).....	65
Abbildung 4.8:	Entwicklung der Strahlungsintensität eines UV- Strahlers während der Aufwärmphase	67
Abbildung 4.9:	Ebene Fläche unter ungleichmäßiger Beleuchtung (links) mit DiVeAn®-Auswertung (rechts)	68
Abbildung 4.10:	Kalibrierlehre für die Flachfeldkorrektur (links) unter ungleichmäßiger Beleuchtung und Bereiche (rechts), die durch die Korrektur verstärkt oder abgeschwächt werden	69
Abbildung 4.11:	DiVeAn®-Auswertung einer benetzten Seitenscheibe; Auswertung vor der Flachfeldkorrektur (links); Auswertung nach der Flachfeldkorrektur (rechts)	70
Abbildung 4.12:	Schematische Darstellung der Spiegelung eines Tropfens (oben), von UV-Strahlen (Mitte) und von remittierten Strahlen (unten) im Spiegelglas.....	72

Abbildung 4.13:	DiVeAn®-Auswertung eines verschmutzten Spiegelglases mit unterschiedlichen Filterwerten	74
Abbildung 4.14:	Auswertemethoden für Seitenscheibenverschmutzungsuntersuchungen	77
Abbildung 4.15:	Der neue DiVeAn® Ansatz ermöglicht die Unterscheidung der verschmutzten Bereiche in die Verschmutzungsarten.....	77
Abbildung 4.16:	Verschmutzte Seitenscheibe unter UV-Beleuchtung mit eingezeichnetem Auswertebereich zur Bestimmung des Filterwerts.....	78
Abbildung 4.17:	Auswertung der Untersuchung aus Abbildung 4.14 für verschiedene Filterwerte.....	79
Abbildung 4.18:	VG-Werte für SAT, Tropfen und Rinnsale der Untersuchung aus Abbildung 4.14 für verschiedene Filterwerte	80
Abbildung 4.19:	Beispielhafte Entwicklung des VG auf der Seitenscheibe während einer Untersuchung.....	81
Abbildung 4.20:	Visuelle Auswertung der lokalen Verschmutzungshäufigkeit a) Ausgangsbild des letzten Zeitschritts b) Häufigkeit der lokalen Benetzung aus den Bildern der letzten 30 Sekunden	82
Abbildung 4.21:	DiVeAn®-Auswertung von Tropfen gleicher Größe auf einem spiegelnden Glas (oben) und einem geschwärzten Glas (unten); a) Ursprungsbild des Tropfens b) bisheriger DiVeAn®-Ansatz c) neuer DiVeAn®-Ansatz.....	84
Abbildung 4.22:	Verschmutztes Spiegelglas mit DiVeAn®-Auswertung, bisheriger Ansatz mit handelsüblichem Spiegelglas (oben), neuer Ansatz mit geschwärztem Spiegelglas (unten).....	85
Abbildung 4.23:	Auftretende Verschmutzungsmuster auf einer Seitenscheibe bei einer Anströmungsgeschwindigkeit von a) $v = 50$ km/h; b) $v = 110$ km/h; c) $v = 150$ km/h.....	87