

Wissenschaftliche Reihe
Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

RESEARCH

Alexander Hennig

Eine erweiterte Methode zur Korrektur von Interferenzeffekten in Freistrahwindkanälen für Automobile



 Springer Vieweg

The Springer Vieweg logo features a stylized chess knight icon to the left of the text 'Springer Vieweg'.

Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

Herausgegeben von

M. Bargende, Stuttgart, Deutschland

H.-C. Reuss, Stuttgart, Deutschland

J. 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.

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende
Lehrstuhl Fahrzeugantriebe,
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

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

Alexander Hennig

Eine erweiterte Methode zur Korrektur von Interferenzeffekten in Freistrahwindkanälen für Automobile

 Springer Vieweg

Alexander Hennig
Stuttgart, Deutschland

Zugl.: Dissertation Universität Stuttgart, 2016

D93

Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart
ISBN 978-3-658-17826-0 ISBN 978-3-658-17827-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-17827-7

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

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 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 dürften.

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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

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

Vorwort

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

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann für das entgegengebrachte Vertrauen. Mit seiner freundlichen Art war er stets zu lehrreichen und motivierenden Diskussionen bereit. Sein reicher Erfahrungsschatz auf dem Gebiet der Fahrzeugaerodynamik trug sehr zum Gelingen dieser Arbeit bei. Seine Initiative zur Arbeit auf dem Gebiet der Interferenzeffekte in Windkanälen bildet die Grundlage dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Andreas Dillmann gebührt Dank für die Übernahme des Mitberichts und die damit verbundenen Mühen.

Herrn Dipl.-Ing. Nils Widdecke, Bereichsleiter Fahrzeugaerodynamik und Thermomanagement am IVK, danke ich für die tiefgehenden Auseinandersetzungen mit der Arbeit und die freundschaftliche Zusammenarbeit während der vergangenen Jahre. Bei Herrn Dr.-Ing. Timo Kuthada, Bereichsleiter Querschnittsprojekte und High Performance Computing am IVK, bedanke ich mich für die kompetente Begleitung der Arbeit und die sehr gute Zusammenarbeit. Ebenso danken möchte ich meinen Kollegen der Abteilung Aerodynamik und Thermodynamik für die ausgezeichnete und überaus angenehme Arbeitsatmosphäre, so dass ich diese Zeit nicht missen möchte.

Herrn Dr.-Ing. Edzard Mercker gebührt ebenso mein aufrichtiger Dank. Die Diskussionen mit ihm bereicherten meine Arbeit ungemein und waren ein wichtiger Bestandteil mancher Entscheidung.

Herrn Dipl.-Ing. Armin Michelbach sowie den Operatoren und Mechanikern des Fahrzeug- und Modellwindkanals möchte ich ebenfalls Dank sagen. Ihr Einsatz machte die Untersuchungen zu dieser Arbeit erst möglich.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und insbesondere bei meiner Frau Nelli für ihren unermüdlichen Beistand und für ihr Verständnis von Herzen bedanken, das sie mir in diesen Jahren entgegengebracht haben.

Alexander Hennig

Inhalt

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis	XVII
Formelzeichen.....	XIX
Abkürzungsverzeichnis.....	XXIII
Kurzfassung	XXV
Abstract	XXIX
1 Einleitung und Zielsetzung.....	1
2 Aerodynamische Grundlagen der Windkanalkorrekturmethode	3
2.1 Windkanaltechnik.....	4
2.1.1 Bauelemente einer Freistrahlmessstrecke	7
2.1.2 Bestimmung der Anströmgeschwindigkeit im Windkanal.....	11
2.1.3 Bestimmung der aerodynamischen Beiwerte im Windkanal.....	14
2.2 Windkanalinterferenzeffekte in Freistrahlmessstrecken.....	16
2.3 Windkanalkorrekturmethode in Freistrahlmessstrecken	20
2.3.1 Grundlagen	21
2.3.2 Historische Entwicklung und Stand der Technik.....	23
2.3.3 Das Mercker-Wiedemann Korrekturverfahren	25
2.3.4 Diskussion des aktuellen Stands der Technik	33
3 Aerodynamische Entwicklungswerkzeuge	37
3.1 Experimentelle Untersuchungen	37
3.1.1 Der 1:1 Aeroakustik-Fahrzeugwindkanal (FWK) der Universität Stuttgart.....	37
3.1.2 Der Modellwindkanal (MWK) der Universität Stuttgart....	39
3.1.3 EADE Correlation Test 2010	41

3.2	Numerische Strömungssimulation	43
3.2.1	EXA PowerFLOW®	43
3.2.2	Der digitale Modellwindkanal (DMWK)	44
4	Studien zu Windkanalinterferenzeffekten	49
4.1	Untersuchungsmethodik	49
4.2	Untersuchungen im Modellwindkanal	53
4.2.1	Studie zum Einfluss der Messstreckenlänge	54
4.2.2	Einfluss der Entlüftungsöffnungen	64
4.3	Numerische Studien im digitalen Modellwindkanal	70
4.3.1	Einfluss unterschiedlicher Kollektorgeometrien	70
4.3.2	Variation der Kollektorfläche	80
4.4	Diskussion der Resultate	84
5	Erweiterung der Korrekturmethode	87
5.1	Virtuelle Verlängerung der Messstrecke	87
5.2	Kontinuierliche Nachlauf Funktion f_{nw}	90
5.3	Anwendung der erweiterten Korrekturmethode	94
5.4	Verifikation anhand des EADE Correlation Tests 2010	103
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	109
7	Literaturverzeichnis	113
A.	Anhang	123
A.1	Fahrzeugmodelle	123
A.1.1	SAE Vollheckmodell	123
A.1.2	Stufenheckmodell	125
A.1.3	EADE Correlation Test 2010: Teilnehmende Fahrzeuge	126
A.2	Anwendung der Korrekturmethode	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Windkanalbauformen: Eiffel Bauart (links) und Göttinger Bauart (rechts) [73].....	4
Abbildung 2.2:	Unterschiedliche Messstreckenarten [73].....	5
Abbildung 2.3:	Hauptabmessungen einer Freistrahlmessstrecke	8
Abbildung 2.4:	Strömung um einen divergenten und konvergenten Windkanalkollektor aufgrund der Zirkulation [73]	11
Abbildung 2.5:	Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit im Windkanal mit der Düsenmethode (links) und der Plenummethode (rechts) [73]	12
Abbildung 2.6:	Koordinatensystem mit Bezugspunkt der Ersatzkräfte und Ersatzmomente für Messungen an Kraftfahrzeugen	14
Abbildung 2.7:	Darstellung der Strahlaufweitung [49].....	17
Abbildung 2.8:	Darstellung der Düsenversperrung für die Düsenmethode [49].....	17
Abbildung 2.9:	Darstellung der Düsenversperrung für die Plenummethode [49].....	18
Abbildung 2.10:	Darstellung der Strahlablenkung [49].....	19
Abbildung 2.11:	Darstellung der Kollektorversperrung [49].....	19
Abbildung 2.12:	Spiegelungsprinzip zur Darstellung einer Freistrahlmessstrecke [80].....	26
Abbildung 2.13:	Ringwirbelmodell für Düse und Kollektor (nach [73]).....	27
Abbildung 2.14:	Grafische Windkanalkorrektur: Bestimmung des korrigierten Luftwiderstandsbeiwerts $c_{W,korrigiert}$ aus zwei Messungen in zwei unterschiedlichen Druckgradienten nach Gl. 2.40. Die Sensitivitätslänge L_{sens} ist hier relativ zur (abgeschätzten) Nachlaufänge L_{wake} aufgetragen.....	33

Abbildung 3.1:	Grundriss des 1:1 Aeroakustik-Fahrzeugwindkanals: Messstrecke (1), Umlenkecken (2), mit Membranabsorbieren ausgekleidete Luftführung (3), Gebläse (4) und Düse (5) [65]	38
Abbildung 3.2:	Layout des Fünfbandsystems mit den Systemen zur Konditionierung der Bodengrenzschicht [5].....	39
Abbildung 3.3:	Messstrecke des Modellwindkanals (MWK) mit Drehscheibe, Centerbelt, Raddreheinheiten, Fesselungssystem und Grenzschichtkonditionierung [61, 65, 87]	40
Abbildung 3.4:	Der digitale Modellwindkanal (DMWK) inkl. Düsengeometrie, Messstrecke, Kollektor und Traversieranlage	45
Abbildung 3.5:	Bodengrenzschichtprofile in der Simulation (DMWK) und im Modellwindkanal (MWK) [13].....	47
Abbildung 3.6:	Vergleich der statischen Druckverteilung in der leeren Messstrecke im MWK ($z = 150 \text{ mm}$) und im DMWK für drei unterschiedliche Konfigurationen [12]	48
Abbildung 4.1:	1:4 Stufenheckmodell im MWK (links; mit 500 mm Kollektoraufsatz) und im DMWK (rechts).....	50
Abbildung 4.2:	SAE Vollheckmodell (links; mit 500 mm Kollektoraufsatz) und im DMWK (rechts)	51
Abbildung 4.3:	Zwei beispielhafte Kollektorkonfigurationen im Modellwindkanal; (a): Standard-Messstrecke des MWK (Breather geöffnet); (b): 500 mm Kollektoraufsatz und geschlossene Entlüftungsöffnungen	54
Abbildung 4.4:	Statischer Druckverlauf in der leeren Messstrecke ($z = 150 \text{ mm}$) bei verschiedenen Kollektoraufsätzen (siehe Tabelle 4.3) mit geöffneten sowie geschlossenen Entlüftungsöffnungen.....	55
Abbildung 4.5:	Unkorrigierte Luftwiderstandsbeiwerte (gemessen nach der Düsenmethode) beider Fahrzeugmodelle für offene sowie für vollständig geschlossene Entlüftungsöffnungen.....	58

- Abbildung 4.6:** Korrekturanteile $\Delta c_{W,korrigiert}$ für das Stufenheckmodell in der Basis-Messstreckenkonfiguration mit geöffneten Breathern.....59
- Abbildung 4.7:** Einfluss der Nachlaufkonstante η_W für das Stufenheckmodell am Beispiel der verkürzten Messstrecke ($X_K = 0,325$) mit geöffneten Breathern60
- Abbildung 4.8:** Grafische Druckgradientenkorrektur der Ergebnisse des Stufenheckmodells für alle betrachteten Kollektorpositionen mit offenen und vollständig geschlossenen Breathern61
- Abbildung 4.9:** Einzelne Korrekturanteile $\Delta c_{W,korrigiert}$ für das SAE Vollheckmodell in der Basis-Messstreckenkonfiguration mit offenen Breathern.....62
- Abbildung 4.10:** Grafische Druckgradientenkorrektur der Ergebnisse des SAE Modells für alle Kollektorpositionen mit offenen und vollständig geschlossenen Breathern.....63
- Abbildung 4.11:** Aufteilung der Entlüftungsöffnungen (Breather) im Kollektor des Modellwindkanals: Vordere Breather (1), oberer Spalt (2) und hinterer Spalt (3).....65
- Abbildung 4.12:** Statischer Druckverlauf in der leeren Messstrecke ($z = 150 \text{ mm}$) bei ausgewählten Breather-Konfigurationen am Beispiel einer dimensionslosen Messstreckenlänge von $\lambda = 1,734$ 66
- Abbildung 4.13:** Unkorrigierte Luftwiderstandsbeiwerte ausgewählter Breather-Konfigurationen und dimensionsloser Kollektorabstände X_K (links: Stufenheckmodell; rechts: SAE Modell); das Quadrat (■) zeigt welche Entlüftungsöffnung in der jeweiligen Konfiguration geschlossen sind67
- Abbildung 4.14:** Grafische Gradientenkorrektur der Ergebnisse des Stufenheckmodells für vier Breather-Konfigurationen und zwei Kollektorpositionen (Basis-Konfiguration mit $X_K = 1,042$ sowie verkürzte Messstrecke mit $X_K = 0,468$)68

- Abbildung 4.15:** Grafische Gradientenkorrektur der Resultate des SAE Vollheckmodells für vier Breather-Konfigurationen und zwei Kollektorpositionen (Basis-Konfiguration mit $X_K = 0,926$ und verkürzte Messstrecke mit $X_K = 0,482$)69
- Abbildung 4.16:** Numerische Modelle des MWK-Kollektors (links) sowie des digitalisierten und anschließend skalierten FWK-Kollektors (rechts)71
- Abbildung 4.17:** Statischer Druckverlauf im leeren DMWK für unterschiedliche Messstreckenlängen (0: $\lambda = 2,051$ (Basis); 1: $\lambda = 1,950$; 2: $\lambda = 1,893$; 3: $\lambda = 1,792$; 4: $\lambda = 1,734$; 5: $\lambda = 1,655$) mit MWK Kollektor (Breather geöffnet) und FWK Kollektor. Dargestellt ist der Kollektor des FWK72
- Abbildung 4.18:** Unkorrigierte Luftwiderstandsbeiwerte des Stufenheckmodells und das SAE Modells für die Simulationen mit dem Basis MWK Kollektor (Breather offen) sowie dem skalierten Kollektor des FWK73
- Abbildung 4.19:** Statische Druckverteilung auf der Heckbasisfläche des Stufenheckmodells für die Simulationen mit MWK Kollektor (Entlüftungsöffnungen offen). Links: Basis-Konfiguration ($X_K = 1,042$); rechts: verkürzte Messstrecke ($X_K = 0,325$).....74
- Abbildung 4.20:** Statische Druckverteilung auf der Heckbasis des Stufenheckmodells für die Simulationen mit skaliertem FWK Kollektor. Links: Basis-Konfig. ($X_K = 1,042$); rechts: verkürzte Messstrecke ($X_K = 0,325$).....74
- Abbildung 4.21:** Grafische Korrektur der Druckgradienten für das Stufenheckmodell im DMWK bei verschiedenen Positionen des MWK Kollektors76
- Abbildung 4.22:** Grafische Korrektur der Druckgradienten für das Stufenheckmodell im DMWK mit skaliertem FWK Kollektor bei verschiedenen Kollektorpositionen76

Abbildung 4.23:	Grafische Korrektur der Druckgradienten für das SAE Vollheckmodell im DMWK bei verschiedenen Kollektorpositionen des MWK Kollektors	78
Abbildung 4.24:	Grafische Korrektur der Druckgradienten für das SAE Vollheckmodell im DMWK mit skaliertem FWK Kollektor bei verschiedenen Kollektorpositionen	79
Abbildung 4.25:	DMWK mit FWK Kollektor; links: $A_{FWK,Kollektor} = A_{MWK,Kollektor}$; rechts: $A_{FWK,Kollektor} = 1,4 \cdot A_{MWK,Kollektor}$	80
Abbildung 4.26:	Statischer Druckverlauf im leeren DMWK für drei Messstreckenlängen (0 (Basis): $\lambda = 2,051$; 2: $\lambda = 1,893$; 4: $\lambda = 1,734$) und zwei unterschiedliche Kollektorgrößen. Abgebildet ist der nicht vergrößerte FWK Kollektor	81
Abbildung 4.27:	Unkorrigierte Luftwiderstandsbeiwerte für das Stufenheckmodell und das SAE Vollheckmodell für den FWK Kollektor in zwei unterschiedlichen Skalierungen	82
Abbildung 4.28:	Grafische Korrektur der Druckgradienten beider Kollektorgrößen für das Stufenheckmodell	83
Abbildung 4.29:	Grafische Korrektur der Druckgradienten beider Kollektorgrößen für das SAE Vollheckmodell	83
Abbildung 5.1:	Virtuelle Messstreckenverlängerung am Beispiel des MWK Kollektors bei stufenweisem Öffnen der Breather und Kollektorspalte	90
Abbildung 5.2:	Logistische Sigmoidfunktion [43]	92
Abbildung 5.3:	Kontinuierliche Nachlauffunktion f_{nw}	94
Abbildung 5.4:	Erweiterte Korrektur des Stufenheckmodells für unterschiedliche Messstreckenlängen bei offenen und geschlossenen Breathern	95
Abbildung 5.5:	Erweiterte Korrektur des SAE Vollheckmodells für unterschiedliche Messstreckenlängen bei offenen und geschlossenen Breathern	96

Abbildung 5.6:	Erweiterte Korrektur des Stufenheckmodells für unterschiedliche Konfigurationen der Entlüftungsöffnungen.....	97
Abbildung 5.7:	Erweiterte Korrektur des SAE Vollheckmodells für unterschiedliche Konfigurationen der Entlüftungsöffnungen.....	97
Abbildung 5.8:	Erweiterte Korrektur des Stufenheckmodells für die DMWK Simulationen mit MWK Kollektor-geometrie und geöffneten Breathern.....	99
Abbildung 5.9:	Erweiterte Korrektur des Stufenheckmodells für die Simulation des digitalen Modellwindkanals mit skaliertes FWK Kollektor-geometrie.....	99
Abbildung 5.10:	Erweiterte Korrektur des SAE Vollheckmodells für die DMWK Simulationen mit dem Standard-Kollektor des Modellwindkanals (Breather offen)	100
Abbildung 5.11:	Erweiterte Korrektur des SAE Vollheckmodells für die DMWK Simulationen mit skaliertes FWK Kollektor-geometrie.....	101
Abbildung 5.12:	Erweiterte Korrektur des Stufenheckmodells für die DMWK Simulationen mit skaliertes FWK Kollektor sowie mit 1,4fach vergrößerter Kollektor-geometrie	102
Abbildung 5.13:	Erweiterte Korrektur des SAE Vollheckmodells für die Simulationen des digitalen Modelwindkanals mit skaliertes FWK Kollektor sowie 1,4fach vergrößerter Kollektor-geometrie.....	102
Abbildung 5.14:	Unkorrigierte und korrigierte Luftwiderstandsbeiwerte (Mercker-Wiedemann Methode) im 1:1 Aeroakustik-Fahrzeugwindkanal (FWK) im Vergleich zum korrigierten EADE Mittelwert (mit Straßenfahrtsimulation): $\Delta c_W = c_{W_{FWK,korrigiert/unkorrigiert}} - c_{W_{EADE,korrigiert}}$ Daten entnommen aus [26]	105

- Abbildung 5.15:** Werte der Nachlauffunktion f_{nw} aller EADE Fahrzeuge im 1:1 Aeroakustik-Fahrzeugwindkanal der Universität Stuttgart; grau gestrichelte Linie: empirischer Nachlaufterm $\eta_W = 0,41$ der klassischen Mercker-Wiedemann Korrekturmethode ..106
- Abbildung 5.16:** Änderung des EADE Mittelwertes durch die erweiterte Korrekturmethode107
- Abbildung 5.17:** Vergleich der unkorrigierter und korrigierter Daten im FWK; Referenz: korrigierter EADE Mittelwert (mit Straßenfahrtsimulation):
 $\Delta c_W = c_{W_{FWK,korr./unkorr.}} - c_{W_{EADE,korr.}}$ 108
- Abbildung A.1:** Geometrische Abmessungen der SAE Referenzkörper (Maße in der Zeichnung im Maßstab 1:1) [6] ...124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Windkanäle im EADE Correlation Test 2010	42
Tabelle 4.1:	Geometrische Abmessungen des MWK / DMWK.....	50
Tabelle 4.2:	Ausgewählte geometrische Daten der Fahrzeugmodelle	51
Tabelle 4.3:	Dimensionslose Messstreckenlängen λ für die verwendeten Kollektoraufsätze.....	55
Tabelle 4.4:	Dimensionslose Kollektorabstände X_K für die betrachteten Fahrzeugmodelle	57
Tabelle A.1:	Technische Spezifikationen des SAE Vollheckmodells.....	123
Tabelle A.2:	Technische Spezifikationen des Stufenheckmodells	125
Tabelle A.3:	Technische Spezifikationen der teilnehmenden Fahrzeuge beim EADE Correlation Test 2010	126