



Aerodynamic Wind Tunnel Investigations on  
Full Scale Vehicles and Vehicle Models (1:1 und 1:5)

Aerodynamische Untersuchungen in Windkanälen an  
Fahrzeugen (1:1) und Fahrzeugmodellen (1:1 und 1:5)

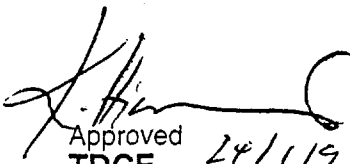
Approved  
GM do Brasil

Approved  
Holden's Automotive

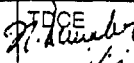
Approved  
Saab

Approved  
Holden's Engine Company

Approved  
ISUZU

  
Approved  
TDCE 24/11/97

Approved  
Delta Motor

|                      |    |      |     |     |       |      |                                                                                            |
|----------------------|----|------|-----|-----|-------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| File name: 45128.DOC |    |      |     |     |       |      |                                                                                            |
| Prepared:            | DM | GMHA | GMB | HEC | ISUZU | SAAB | TDCE  |
| February 1997        |    |      |     |     |       |      | Page 1 of 29                                                                               |

Revisions

| Date  | Paragraph         |
|-------|-------------------|
| 02.97 | new, TDCE release |

Änderungen

| Datum | Abschnitt          |
|-------|--------------------|
| 02.97 | neu, TEZE Freigabe |

| Index                                                   | Page | Inhaltsverzeichnis                                                | Seite |
|---------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>1 Introduction</b>                                   | 6    | <b>1 Einleitung</b>                                               | 6     |
| 1.1 Purpose                                             | 6    | 1.1 Zweck                                                         | 6     |
| 1.2 Foreword                                            | 6    | 1.2 Vorwort                                                       | 6     |
| 1.3 Applicability                                       | 6    | 1.3 Anwendbarkeit                                                 | 6     |
| 1.3.1 Wind Tunnel Investigations of Vehicles and Models | 6    | 1.3.1 Windkanaluntersuchungen von Fahrzeugen und Fahrzeugmodellen | 6     |
| 1.3.2 Area of Appliance                                 | 6    | 1.3.2 Geltungsbereich                                             | 6     |
| <b>1.4 Definitions</b>                                  | 7    | <b>1.4 Definitionen</b>                                           | 7     |
| 1.4.1 Frontal Area „A“                                  | 7    | 1.4.1 Stirnfläche „A“                                             | 7     |
| 1.4.2 CD                                                | 7    | 1.4.2 CW                                                          | 7     |
| 1.4.3 CDxA                                              | 7    | 1.4.3 CWxA                                                        | 7     |
| 1.4.4 CL                                                | 7    | 1.4.4 CA                                                          | 7     |
| 1.4.5 CLF                                               | 8    | 1.4.5 CAV                                                         | 8     |
| 1.4.6 CLR                                               | 8    | 1.4.6 CAH                                                         | 8     |
| 1.4.7 CS                                                | 8    | 1.4.7 CS                                                          | 8     |
| 1.4.8 CPM                                               | 8    | 1.4.8 CPM                                                         | 8     |
| 1.4.9 CYM                                               | 8    | 1.4.9 CYM                                                         | 8     |
| 1.4.10 CRM                                              | 8    | 1.4.10 CRM                                                        | 8     |
| 1.4.11 $\beta$                                          | 8    | 1.4.11 $\beta$                                                    | 8     |
| 1.4.12 YG                                               | 8    | 1.4.12 YG                                                         | 8     |
| 1.4.13 FKFS-Wind Tunnel                                 | 9    | 1.4.13 FKFS-Windkanal                                             | 9     |
| <b>1.5 References</b>                                   | 9    | <b>1.5 Referenzen</b>                                             | 9     |
| 1.5.1 Order of Precedence                               | 9    | 1.5.1 Rangfolge der Dokumente                                     | 9     |
| 1.5.2 Government Documents                              | 9    | 1.5.2 Staatliche Dokumente                                        | 9     |
| 1.5.3 General Motors Documents                          | 10   | 1.5.3 General Motors Dokumente                                    | 10    |
| 1.5.4 Industry Documents                                | 10   | 1.5.4 Industrie Dokumente                                         | 10    |
| 1.5.5 Supplier Documents                                | 10   | 1.5.5 Lieferanten Dokumente                                       | 10    |
| 1.5.6 Other Documents                                   | 10   | 1.5.6 Andere Dokumente                                            | 10    |

|                                           |    |                                           |    |
|-------------------------------------------|----|-------------------------------------------|----|
| <b>2 Resources</b>                        | 10 | <b>2 Geräte und Einrichtungen</b>         | 10 |
| <b>2.1 Facilities</b>                     | 10 | <b>2.1 Einrichtungen</b>                  | 10 |
| 2.1.1 Standard Wind Tunnel                | 10 | 2.1.1 Standard Windkanal                  | 10 |
| <b>2.2 Equipment</b>                      | 10 | <b>2.2 Ausrüstung</b>                     | 10 |
| 2.2.1 Reduced Scale Wind Tunnel           | 10 | 2.2.1 Modellwindkanal                     | 10 |
| 2.2.2 Full Scale Aeroacoustic Wind Tunnel | 11 | 2.2.2 1:1-Aeroakustik-Windkanal           | 11 |
| <b>2.3 Test Vehicle / Test Piece</b>      | 11 | <b>2.3 Versuchsfahrzeug / Probekörper</b> | 11 |
| 2.3.1 Reduced Scale Models                | 11 | 2.3.1 Verkleinerte Modelle                | 11 |
| 2.3.2 Full Scale Models / Vehicles        | 11 | 2.3.2 1:1-Modelle und Fahrzeuge           | 11 |
| 2.3.3 Trim Heights                        | 12 | 2.3.3 Standhöhen                          | 12 |
| <b>3 Procedure</b>                        | 13 | <b>3 Durchführung</b>                     | 13 |
| <b>3.1 Reduced Scale Models</b>           | 13 | <b>3.1 Verkleinerte Modelle</b>           | 13 |
| 3.1.1 Preparation                         | 13 | 3.1.1 Vorbereitung                        | 13 |
| 3.1.2 Conditions                          | 15 | 3.1.2 Prüfbedingungen                     | 15 |
| 3.1.3 Instructions                        | 15 | 3.1.3 Prüfanleitungen                     | 15 |
| 3.1.4 Data                                | 17 | 3.1.4 Ergebnisse                          | 17 |
| <b>3.2 Full Scale Models / Vehicles</b>   | 18 | <b>3.2 1:1-Modelle und Fahrzeuge</b>      | 18 |
| 3.2.1 Preparation                         | 18 | 3.2.1 Vorbereitung                        | 18 |
| 3.2.2 Conditions                          | 20 | 3.2.2 Prüfbedingungen                     | 20 |
| 3.2.3 Instructions                        | 20 | 3.2.3 Prüfanleitungen                     | 20 |
| 3.2.4 Data                                | 23 | 3.2.4 Ergebnisse                          | 20 |
| <b>4 Coding System</b>                    | 23 | <b>4 Angabe in Dokumenten</b>             | 20 |

**Appendices****Appendix 1** 24

Vehicle Coordinate System

**Appendix 2****A 2 Trim Heights and Vehicle Loading** 25**A 2.1 Vehicle Loading according to EADE** 25

(Loading for GME/GMIO-Development Projects)

**A 2.2 Vehicle Loading according to EPA** 26

(Loading for GM-NAO-Development Projects)

**A 2.3 Special Loadings** 26**A 2.3.1 Vehicle Loading according to European Emission of CO<sub>2</sub> and Fuel Consumption Standard (MVEG) 93/116/EEC** 26**A 2.3.2 Vehicle Loading according to European Fuel Consumption Standard 80/1268/EEC** 26**Appendix 3E** 27

Data Sheet „Fixed Points on 5th Scale-Models“

**Deviations** 29**Anhänge****Anhang 1** 23

Fahrzeug-Koordinatensystem

**Anhang 2****A 2 Standhöhen und Beladungszustand** 25**A 2.1 Fahrzeugbeladung nach EADE** 25

(Beladung für GME/GMIO-Entwicklungs-Projekte)

**A 2.2 Fahrzeugbeladung nach EPA** 26

(Beladung für GM-NAO-Entwicklungs-Projekte)

**A 2.3 Besondere Beladungen** 26**A 2.3.1 Beladungszustand entsprechend der europäischen Kohlendioxidemissions- und Kraftstoffverbrauchsnorm (MVEG) 93/116/EG** 26**A 2.3.2 Beladungszustand entsprechend der europäischen Kraftstoffverbrauchsnorm 80/1268/EEG** 26**Anhang 3G** 28

Datenblatt „Festpunkte an 1:5-Modellen“

**Abweichungen** 29

## 1 Introduction

### 1.1 Purpose

Evaluation of aerodynamic coefficients of models and vehicles in wind tunnels.

### 1.2 Foreword

Investigations of aerodynamic properties of vehicles in the wind tunnel are performed to determine the aerodynamic effectiveness of body / vehicle shape in respect to fuel economy as well as to investigate the aerodynamic loads on front and rear axles and to predict the lateral deviation (YG) of a vehicle submitted to side wind loads.

### 1.3 Applicability

#### 1.3.1 Wind Tunnel Investigations of Vehicles and Models

For reduced and full scale models / vehicles of passenger cars.

#### 1.3.2 Area of Appliance

This test procedure is an Opel-standard covering the GME/GMIO-area. In other territories of GM there may be other national standards because of other standards of loading and equipment (see also paragraph 2.3.3, 3.1.1.1, 3.2.1.1 and appendix 2).

## 1 Einleitung

### 1.1 Zweck

Bestimmung der aerodynamischen Beiwerte von Fahrzeugmodellen und Kraftfahrzeugen in Windkanälen.

### 1.2 Vorwort

Die Untersuchung der aerodynamischen Eigenschaften eines Fahrzeugs im Windkanal wird durchgeführt, um die aerodynamische Güte eines Körpers oder eines Fahrzeugs im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch und auf die aerodynamischen Kräfte an der Vorder- und Hinterachse sowie die Seitenabweichung (YG) bei Seitenwind zu bestimmen.

### 1.3 Anwendbarkeit

#### 1.3.1 Windkanaluntersuchungen von Fahrzeugen und Fahrzeugmodellen

Für im Maßstab verkleinerte Fahrzeugmodelle und komplette Fahrzeuge.

#### 1.3.2 Geltungsbereich

Diese Testprozedur ist eine für den GME/GMIO-Bereich geltende Opel-Prozedur. In anderen Bereichen von GM (GM-NAO) kann es wegen anderer nationaler Normen andere Beladungs- und Ausrüstungsstandards geben (siehe auch Abschnitte 2.3.3, 3.1.1.1, 3.2.1.1 und Anhang 2).

## 1.4 Definitions

(The vehicle coordinate system is shown with forces, moments and coefficients in appendix 1).

### 1.4.1 Frontal Area „A“

The frontal area „A (m<sup>2</sup>)“ is the shadow area behind a model / vehicle originated when parallel light is beamed of onto the front of the model / vehicle parallel to the bottom in the direction of the centre plane of the model / vehicle.

The actual frontal area to be used for reduced scale vehicle models corresponds to the full scale value rounded up to two digits behind the decimal point.

The actual frontal area to be used for full scale models / vehicles shall be rounded up to two digits behind the decimal point.

### 1.4.2 CD

Acronym for coefficient of drag

The coefficient of drag is a synonym for the aerodynamic fineness of a model / vehicle.

CD equals to tangential force coefficient CT at yaw angle  $\beta = 0^\circ$ .

$$CT(\beta) = \{T(\beta) / [(p/2) \cdot v_\infty^2 \cdot A]\}$$

T tangential force

p air density

$v_\infty$  wind speed (= vehicle velocity)

$$CD = \{FW / [(p/2) \cdot v_\infty^2 \cdot A]\}$$

FW tangential force at  $\beta = 0^\circ$

### 1.4.3 CDxA (m<sup>2</sup>)

Acronym for drag area

The drag area CDxA is the competent product to define the fuel consumption of a vehicle, seen from the aerodynamics.

### 1.4.4 CL

Acronym for coefficient of total lift

$$CL = \{L / [(p/2) \cdot v_\infty^2 \cdot A]\}$$

L Lift Force

## 1.4 Definitionen

(Das Fahrzeugkoordinaten-System ist mit Kräften, Momenten und Koeffizienten im Anhang 1 dargestellt).

### 1.4.1 Stirnfläche „A“

Die Stirnfläche „A (m<sup>2</sup>)“ ist die Schattenfläche, die hinter einem Modell oder Fahrzeug erzeugt wird, wenn dieses bodenparallel in Richtung der Fahrzeugmittelebene mit parallelem Licht angestrahlt wird.

Die aktuelle Stirnfläche, die für im Maßstab reduzierte Fahrzeuge benutzt wird, entspricht der von 1:1-Fahrzeugen auf-/abgerundet auf zwei Dezimalstellen hinter dem Komma.

Die aktuelle Stirnfläche von Fahrzeugen wird auf zwei Stellen hinter dem Komma auf-/abgerundet.

### 1.4.2 CW

Abkürzung für den Luftwiderstandsbeiwert

Der Luftwiderstandsbeiwert kennzeichnet die aerodynamische Güte eines Modells / Fahrzeugs.

CW entspricht dem Tangentialkraftbeiwert CT bei Anströmwinkel  $\beta = 0^\circ$ .

$$CT(\beta) = \{T(\beta) / [(p/2) \cdot v_\infty^2 \cdot A]\}$$

T Tangentialkraft

p Luftdichte

$v_\infty$  Windgeschwindigkeit (= Fahrgeschwindigkeit)

$$CW = \{FW / [(p/2) \cdot v_\infty^2 \cdot A]\}$$

FW Tangentialkraft bei  $\beta = 0^\circ$

### 1.4.3 CDxA (m<sup>2</sup>)

Abkürzung für die Luftwiderstandsfläche

Die Luftwiderstandsfläche CWxA ist aerodynamisch gesehen das maßgebliche Produkt, welches den Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs beeinflusst.

### 1.4.4 CA

Abkürzung für den Gesamtauftriebsbeiwert

$$CA = \{FA / [(p/2) \cdot v_\infty^2 \cdot A]\}$$

FA Auftriebskraft

1.4.5 CLF

Acronym for coefficient of front axle lift

$$CLF = \{LF / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A]\}$$

LF Lift Force Front Axle

1.4.6 CLR

Acronym for coefficient of rear axle lift

$$CLR = \{LR / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A]\}$$

LR Lift Force rear Axle

1.4.7 CS

Acronym for coefficient of side force

$$CS = \{S / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A]\}$$

S Side Force

1.4.8 CPM

Acronym for coefficient of pitching moment

$$CPM = \{PM / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A \cdot a]\}$$

PM Pitching Moment

a Wheel Base

1.4.9 CYM

Acronym for coefficient of yawing moment

$$CYM = \{YM / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A \cdot a]\}$$

YM Yawing Moment

1.4.10 CRM

Acronym for coefficient of rolling moment

$$CRM = \{RM / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A \cdot a]\}$$

RM Rolling Moment

1.4.11  $\beta$  (°)

Acronym for yaw angle

1.4.12 YG

Acronym for lateral deviation,

see W.-H. Hucho, "Aerodynamics of Road Vehicles",  
Butterworth-Heinemann, London 1986

1.4.5 CAV

Abkürzung für den Auftriebsbeiwert an der Vorderachse

$$CAV = \{FAV / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A]\}$$

FAV Auftriebskraft an der Vorderachse

1.4.6 CAH

Abkürzung für den Auftriebsbeiwert an der Hinterachse

$$CAH = \{FAH / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A]\}$$

FAH Auftriebskraft an der Hinterachse

1.4.7 CS

Abkürzung für den Seitenkraftbeiwert

$$CS = \{S / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A]\}$$

S Seitenkraft

1.4.8 CPM

Abkürzung für den Luftkraftmomentbeiwert um die Fahrzeugquerachse (Nickmomentbeiwert)

$$CPM = \{PM / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A \cdot a]\}$$

PM Nickmoment

a Radstand

1.4.9 CYM

Abkürzung für den Luftkraftmomentbeiwert um die Fahrzeughochachse (Giermomentbeiwert)

$$CYM = \{YM / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A \cdot a]\}$$

YM Giermoment

1.4.10 CRM

Abkürzung für den Luftkraftmomentbeiwert um die Fahrzeuglängsachse (Rollmomentbeiwert)

$$CRM = \{RM / [(p/2) \cdot v_{\infty}^2 \cdot A \cdot a]\}$$

RM Rollmoment

1.4.11  $\beta$  (°)

Abkürzung für den Anströmwinkel

1.4.12 YG

Abkürzung für die Seitenwindabweichung,

siehe W.-H. Hucho, "Aerodynamics of Road Vehicles",  
Butterworth-Heinemann, London 1986

#### 1.4.13 FKFS-Wind Tunnel

Wind tunnel facility for full scale vehicles and reduced scale models for evaluating aerodynamic and aeroacoustic coefficients, University of Stuttgart, Germany

### 1.5 References

#### 1.5.1 Order of Precedence

In the event of a conflict between the text of the test procedure and the documents cited herein, the text of the test procedure takes precedence. Nothing in the test procedure, however, supersedes applicable laws and regulations unless a specific exemption has been obtained.

Remark: In the event of a conflict between the English and the domestic language, the English language shall take precedence.

#### 1.5.2 Government Documents

##### 1.5.2.1 Legal Documents

N. a.

##### 1.5.2.2 Standards

###### 1.5.2.2.1 Internationale

N. a.

###### 1.5.2.2.2. Regionale

95/48/EC; 09.95

Commission Directive adapting to technical progress Council Directive 92/21/EEC relating to the „masses and dimensions of motor vehicles of category M“, appendix: Method for verifying the masses and axle loads of motor vehicles of category M

93/116/EEC; 12.93

Council Directive „On the Approximation of the Laws of Member States Relating to Emission of CO<sub>2</sub> and Fuel Consumption of Motor Vehicles“

80/1268/EEC; 12.80

Council Directive „On the Approximation of the Laws of Member States Relating to Fuel Consumption of Motor Vehicles“

###### 1.5.2.2.3 National

DIN 70030, Part 1; 03.90

Road Vehicles; Methods of measuring the Fuel Consumption; Passenger Cars

#### 1.4.13 FKFS-Windkanal

Windkanal-Anlage zum Ermitteln von aerodynamischen und aeroakustischen Kennwerten von Fahrzeugen und Fahrzeugmodellen an der Universität Stuttgart, Deutschland

### 1.5 Referenzen

#### 1.5.1 Rangfolge der Dokumente

Im Falle eines Widerspruchs vom Text dieses Prüfverfahrens und den Dokumenten, die in dem Prüfverfahren enthalten sind, hat der Text des Prüfverfahrens Vorrang. Falls keine Ausnahmen vereinbart wurden, darf das Prüfverfahren keine anzuwendenden Gesetze und Regelungen außer Kraft setzen.

Hinweis: Im Falle von Unstimmigkeiten zwischen dem englischen und dem landessprachlichen Text, ist der englische Text ausschlaggebend.

#### 1.5.2 Staatliche Dokumente

##### 1.5.2.1 Gesetzliche Dokumente

N. a.

##### 1.5.2.2 Normen

###### 1.5.2.2.1 Internationale

N. a.

###### 1.5.2.2.2. Regionale

95/48/EC; 09.95

Richtlinie zur Anpassung des technischen Fortschrittes der Richtlinie 92/21/EEC bzgl. der „Massen und Dimensionen von Kraftfahrzeugen der Kategorie M“

Anhang: Methode, um die Massen und Achslasten von Motorfahrzeugen der Kategorie M zu berechnen

93/116/EEC; 12.93

Richtlinie des Rates „Zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Kohlendioxidemissionen und den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen“

80/1268/EWG; 12.80

Richtlinie des Rates „Zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen“

###### 1.5.2.2.3 Nationale

DIN 70030, Teil 1; 03.90

Kraftfahrzeuge; Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs; Personenkraftwagen