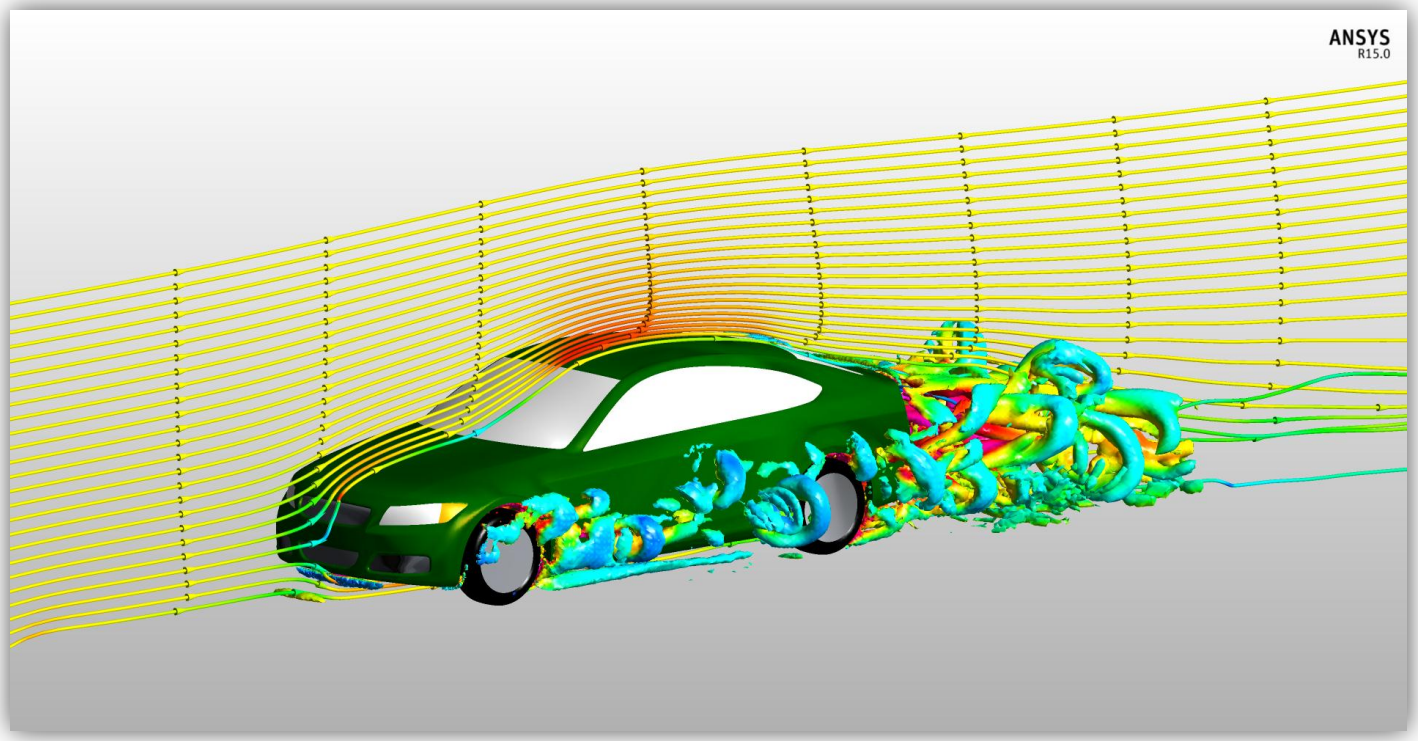
Experimentelle und numerische Untersuchungen von aerodynamischen Kenngrößen an generischen Fahrzeugmodellen

Zbigniew Michalek
Beuth Hochschule Berlin
zbigniewmichalek@gmail.com

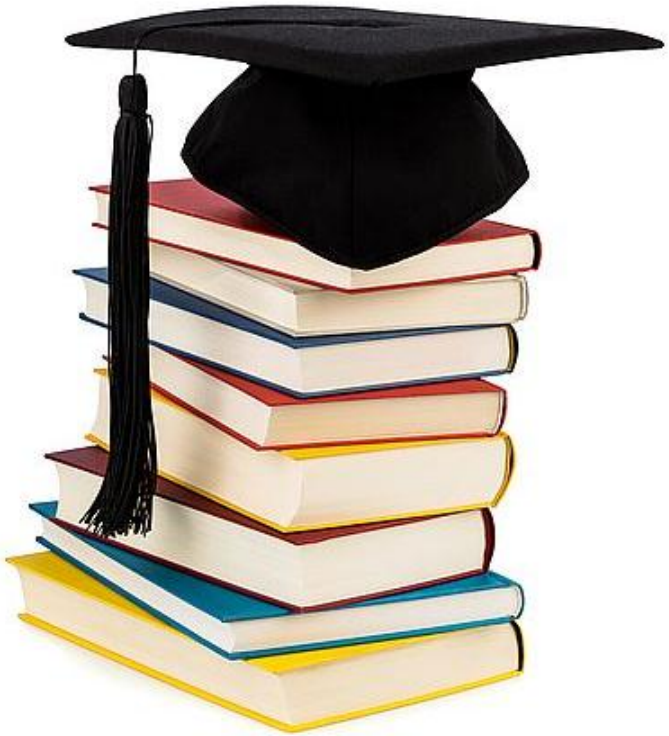
Dr. Andreas Spille-Kohoff
CFX Berlin Software GmbH
andreas.spille@cfx-berlin.de



ANSYS Conference & 32nd CADFEM Users' Meeting 2014
June 04-06, 2014 – Nürnberg

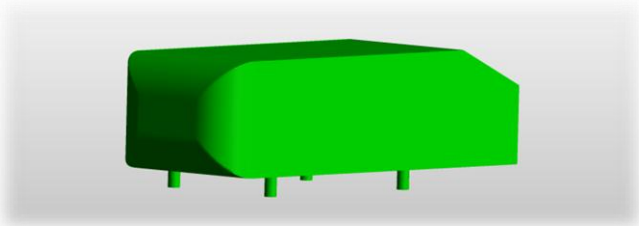
Experimentelle und numerische Untersuchungen von aerodynamischen Kenngrößen an generischen Fahrzeugmodellen

BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN
University of Applied Sciences

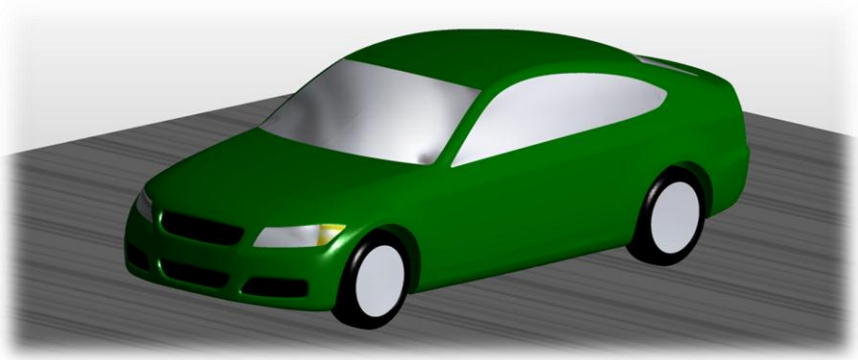


Inhalt

- Aerodynamische Kenngrößen in der Fahrzeugumströmung
- Generische Fahrzeugmodelle
  - Ahmed Körper

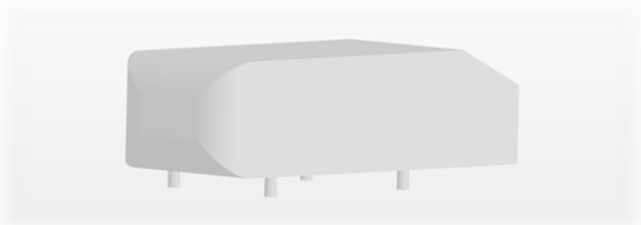


  - DrivAer

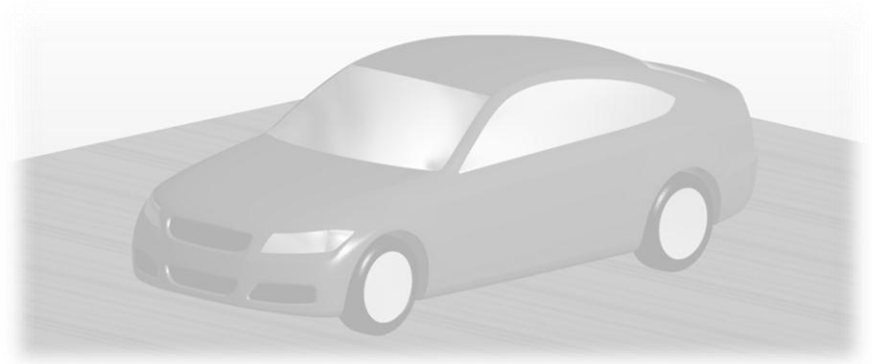


Inhalt

- Aerodynamische Kenngrößen in der Fahrzeugumströmung
- Generische Fahrzeugmodelle
  - Ahmed Körper



  - DrivAer



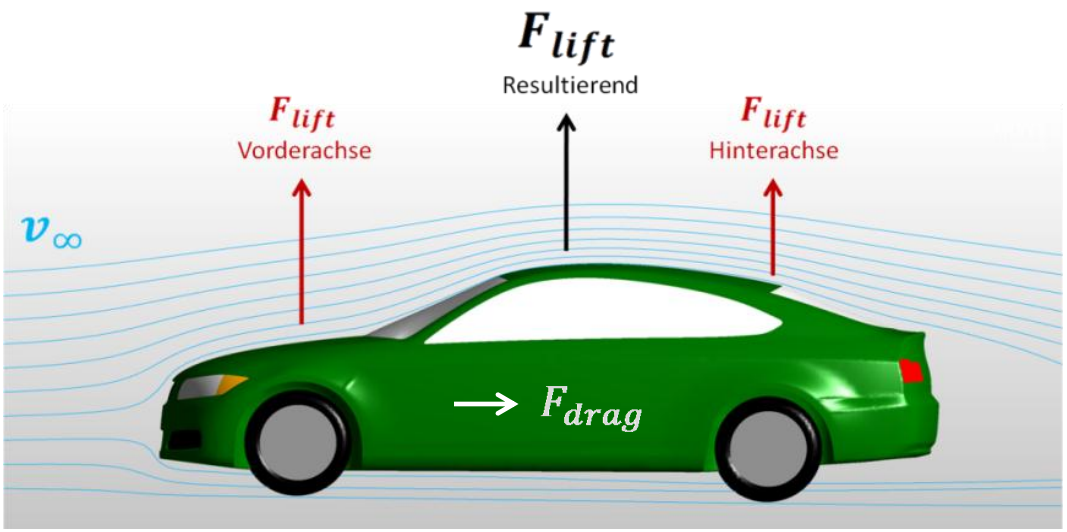
Aerodynamische Kenngrößen in der Fahrzeugumströmung

CFX Berlin

Staudruck: $$q = \frac{\rho}{2} v_\infty^2$$

Auftriebskoeffizient: $$c_{lift} = \frac{F_{lift}}{q \cdot A_{Stirn}}$$

Widerstandskoeffizient: $$c_{drag} = \frac{F_{drag}}{q \cdot A_{Stirn}}$$



Aerodynamische Kenngrößen in der Fahrzeugumströmung

CFX Berlin

- Überblick der Widerstandskoeffizienten bei Beispielfahrzeugen

Quelle:
http://www.grueneautos.com

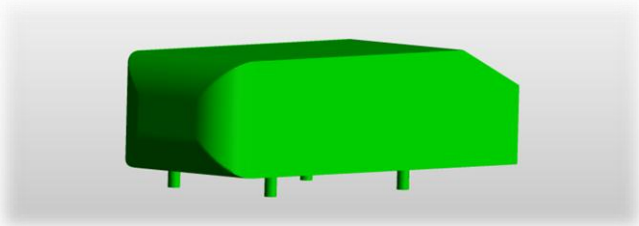
Hersteller	Typ	c_{drag}	A_{Stirn} in m²	$A_{Stirn} \times c_{drag}$
VW	1 Liter Auto (2002)	0,156	1,00	0,16
Toyota	Prius III (US Version)	0,250	2,33	0,58
Porsche	987 Boxster	0,290	1,96	0,57
Mercedes	SLS AMG (2010-heute)	0,360	2,13	0,77
Lamborghini	Gallardo (2003-2008)	0,370	1,90	0,70
Mercedes	GL-Klasse (2006-heute)	0,380	2,90	1,10
Land Rover	Discovery (2010)	0,400	3,15	1,26
Renault	Formel 1 Bolide	~1,2	~1,152	~1,38
Mercedes	Arctros	~0,81	~10	~8,10

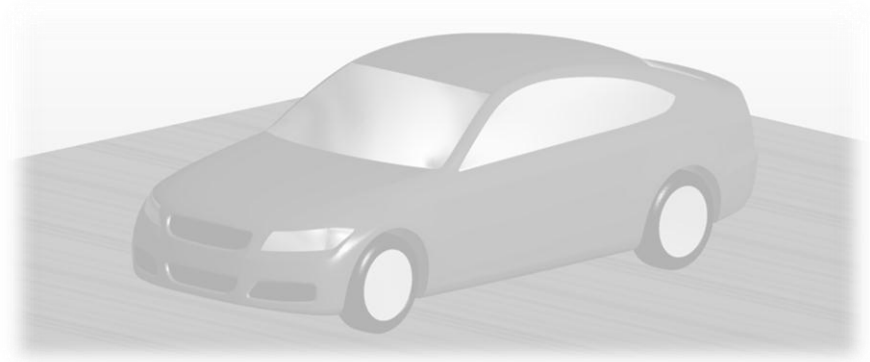
Quelle: http://www.hdwpapers.com

Quelle: http://www.mercedes-benz.de

Inhalt

- Aerodynamische Kenngrößen in der Fahrzeugumströmung
- Generische Fahrzeugmodelle
  - Ahmed Körper
  - DrivAer

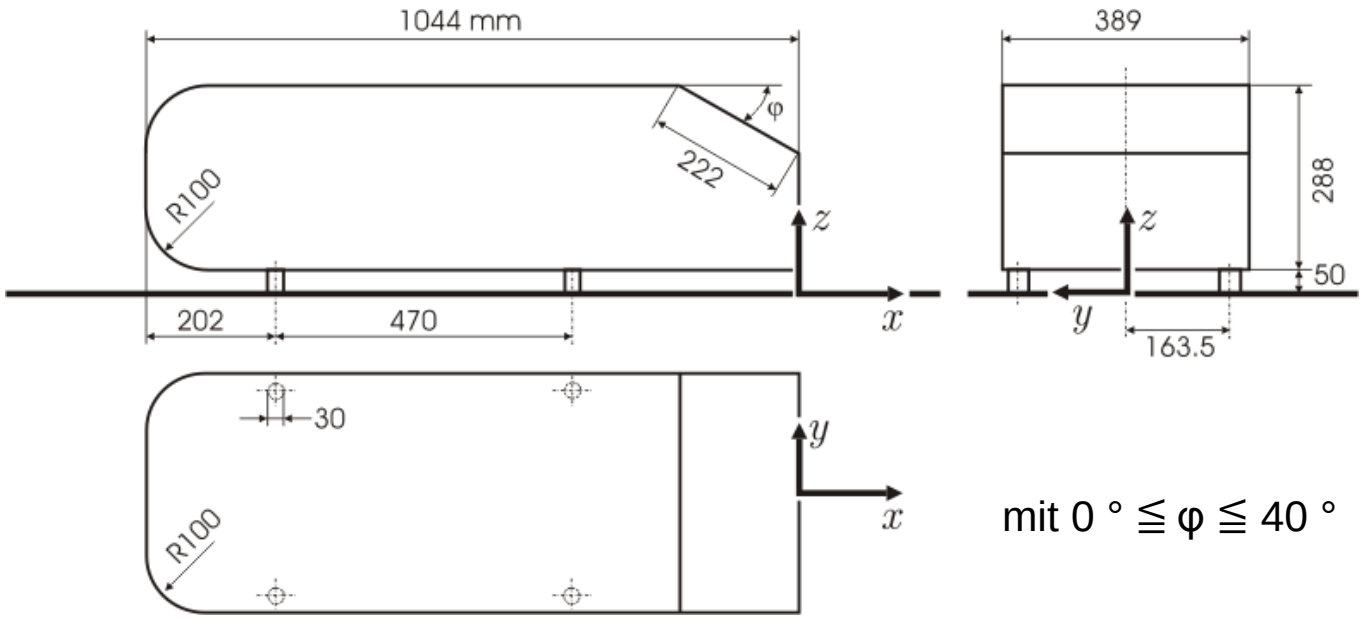




Ahmed Körper

- Geometrie - Definition des Ahmed Körpers
  - Quelle:

    Ahmed, S.R., G. Ramm, G. Faltin (1984) Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake, SAE paper 840300



mit 0 ° ≦ φ ≦ 40 °

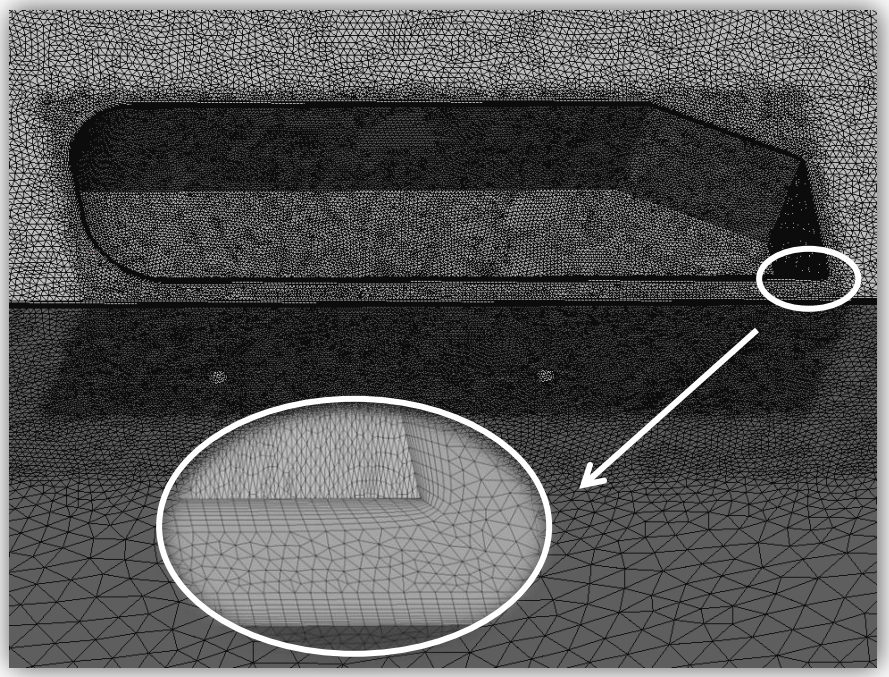
Ahmed Körper

- Geometrie: ANSYS DesignModeler
  - Parametrisierung des Fließheckwinkels
  - Generierung und Spiegelung eines Halbmodells

Ahmed Körper

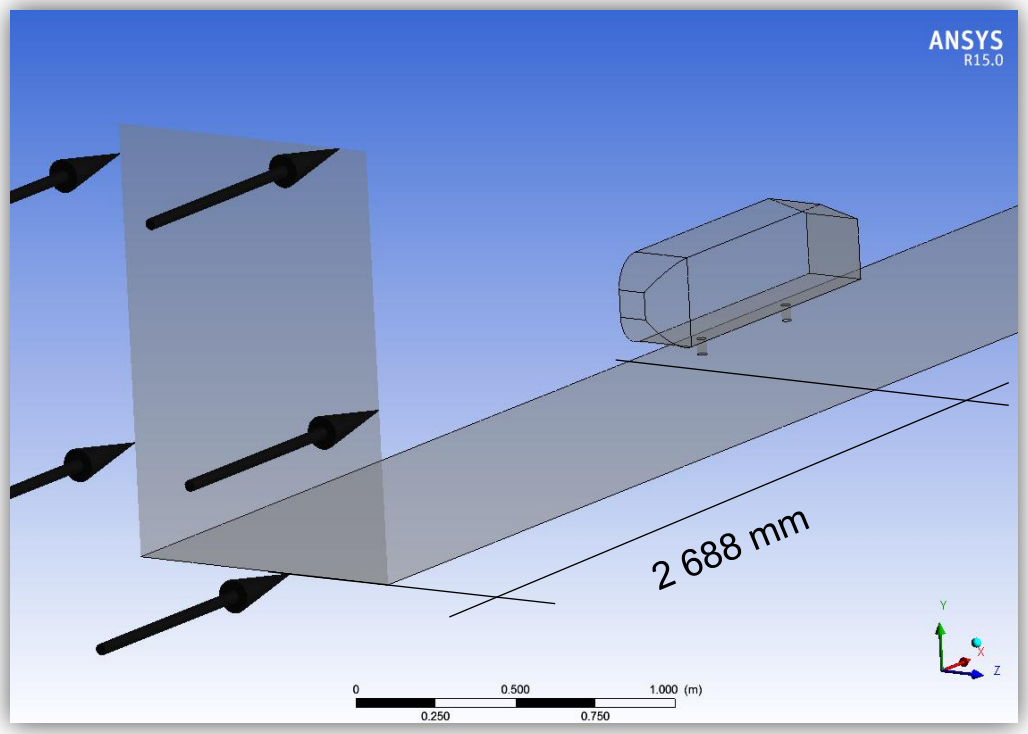
CFX Berlin

- Vernetzung: ANSYS Meshing
  - Vernetzungsstrategie:
    - Unstrukturiert mit Tetraeder
    - Randschicht mit Prismen
  - Elementstatistik:
    - Randschicht
      - Erste Schicht mit 0,5 mm
      - Wachstumsrate 1,2
      - 10 Schichten
    - ~ 16,4 Mio. Elemente
      - ~ 15 Mio. Tetraeder
      - ~ 1,4 Mio. Prismen
    - ~ 3,3 Mio. Knoten



Ahmed Körper

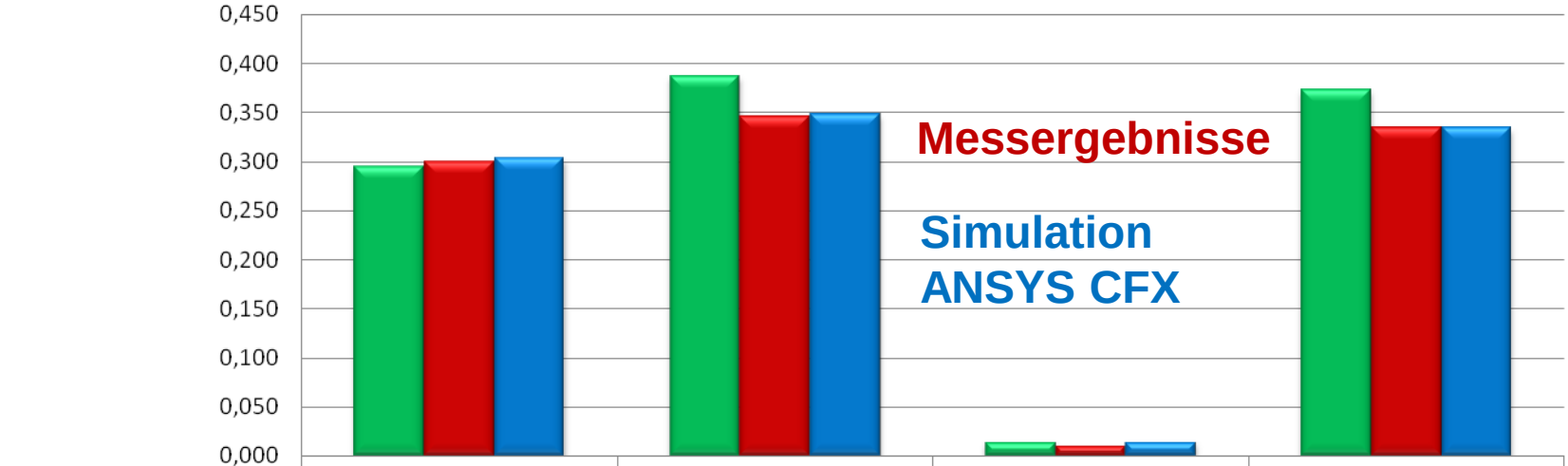
- Simulationsbedingungen der stationären Berechnung
  - Umgebungsdruck 1 atm
  - Luft bei 25 °C
  - Anströmgeschwindigkeit:
    - Blockprofil 40 m/s
  - Reynolds-Zahl: $2{,}8 \cdot 10^6$
  - SST-Turbulenzmodell
  - Fahrzeugfläche und Boden:
    - glatte Wände mit Haftbedingungen
  - Konvergenzkriterium: RMS < 10^{-4}



Ahmed Körper

CFX Berlin

- Vergleich mit Paper:
  „Experiments and numerical simulations on the aerodynamics of the Ahmed Body“, TU Graz aus 2011

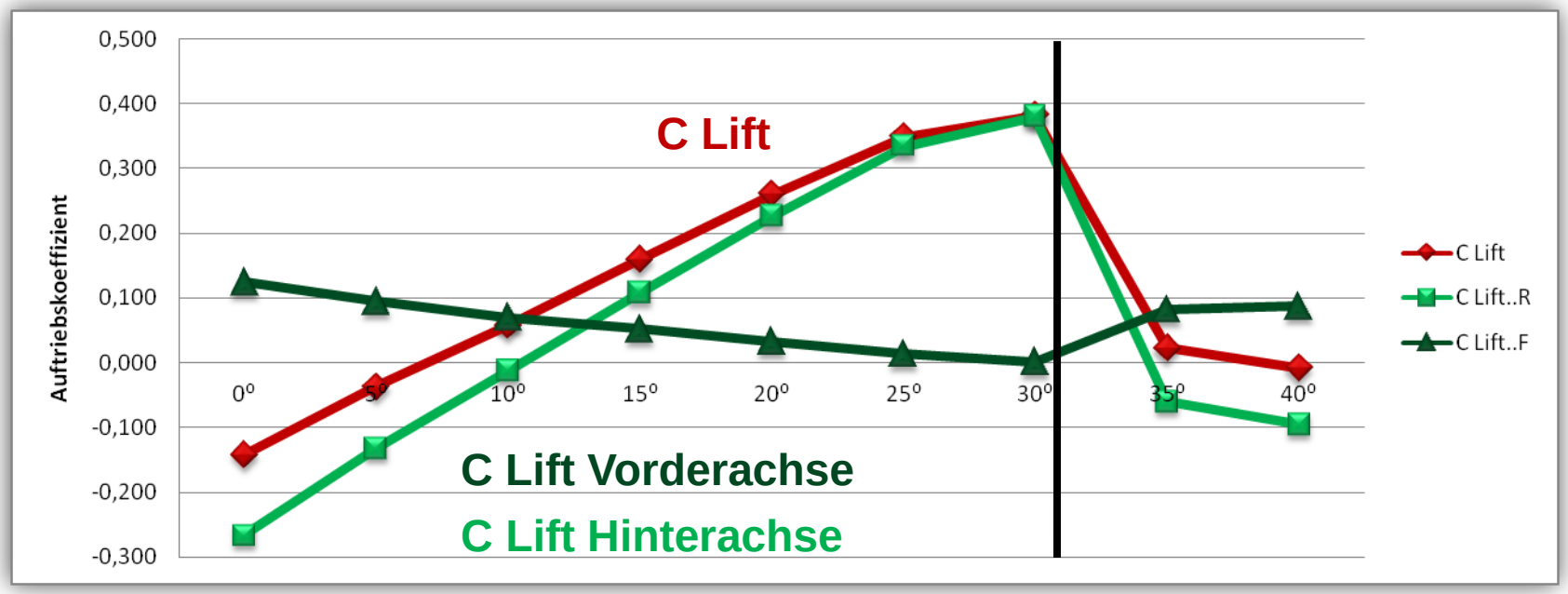


	C Drag	C Lift	C Lift Front	C Lift Rear
SimulationPaper	0,295	0,387	0,014	0,373
Messergebnisse Paper	0,299	0,345	0,010	0,335
CFX SST Turbulenzmodell	0,303	0,348	0,014	0,334

Ahmed Körper

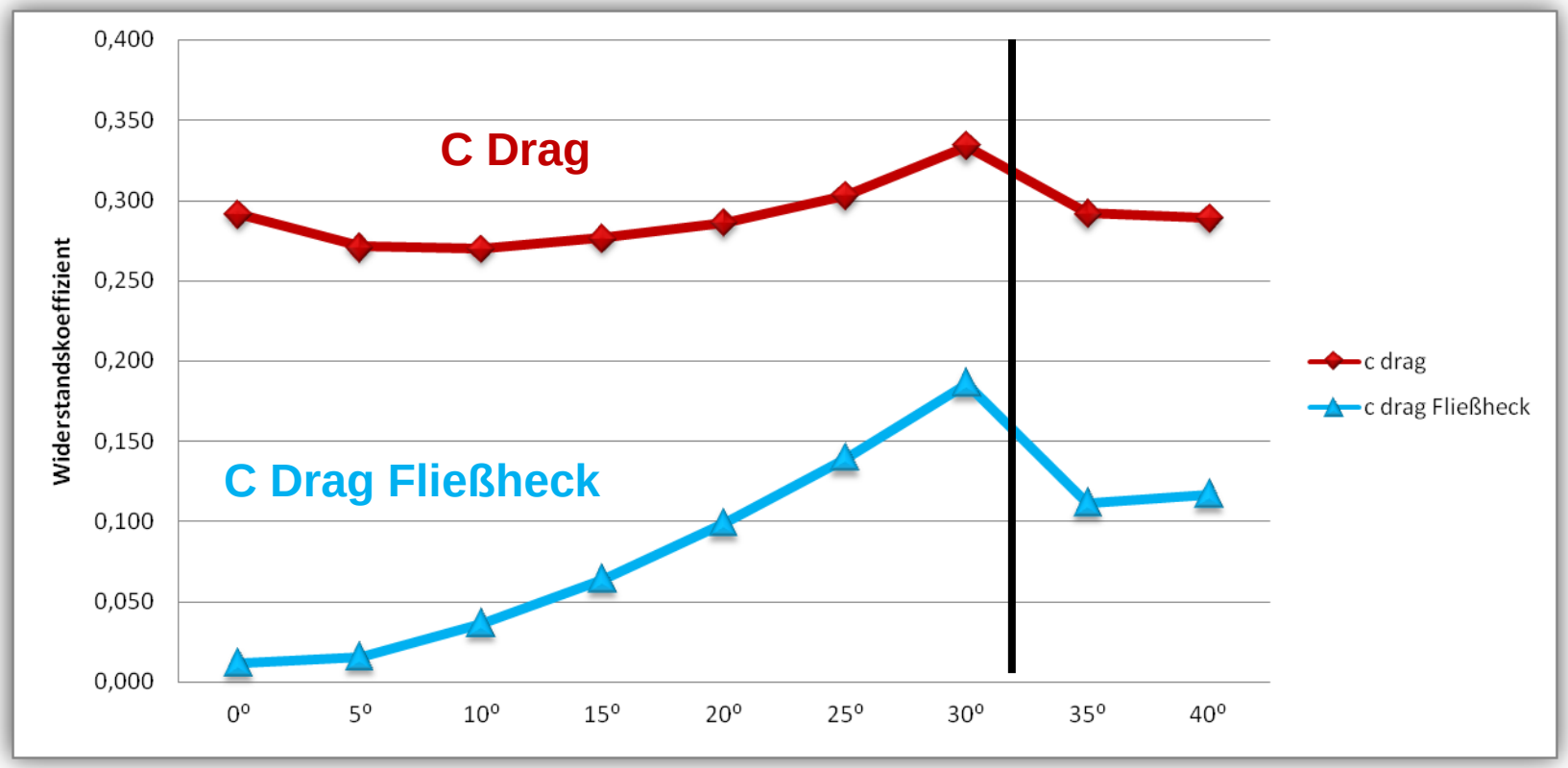
CFX Berlin

- Ergebnisse - Darstellung der Auftriebskoeffizienten mit der Parametrisierung des Fließheckwinkels φ, mit 0 ° ≦ φ ≦ 40 °



Ahmed Körper

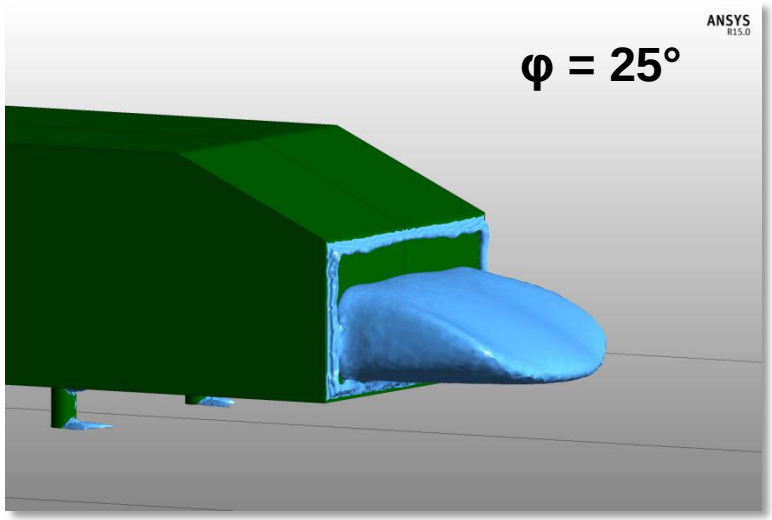
- Ergebnisse - Darstellung der Widerstandskoeffizienten mit Parametrisierung des Fließheckwinkels φ, mit 0 ° ≦ φ ≦ 40 °

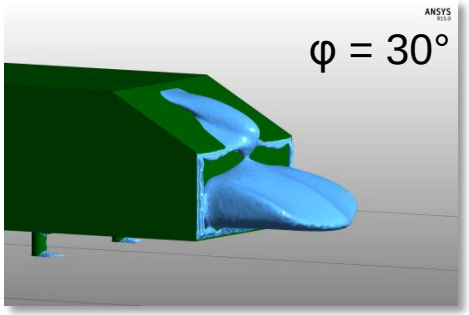


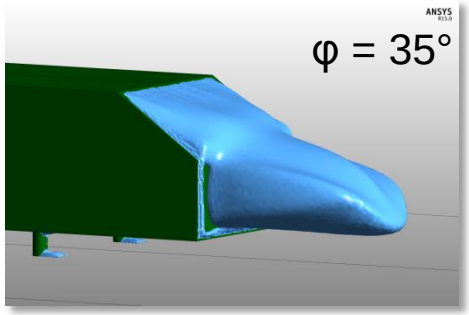
Ahmed Körper

CFX Berlin

- Ergebnisse - Strömungsablösung bei Variation des Winkels φ mit 25 ° ≦ φ ≦ 35 °



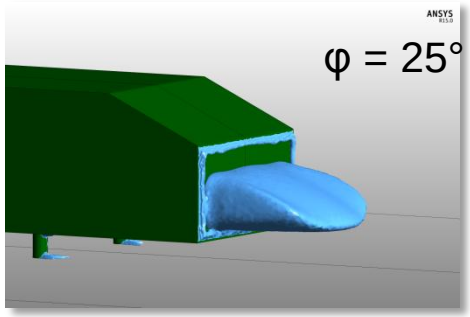


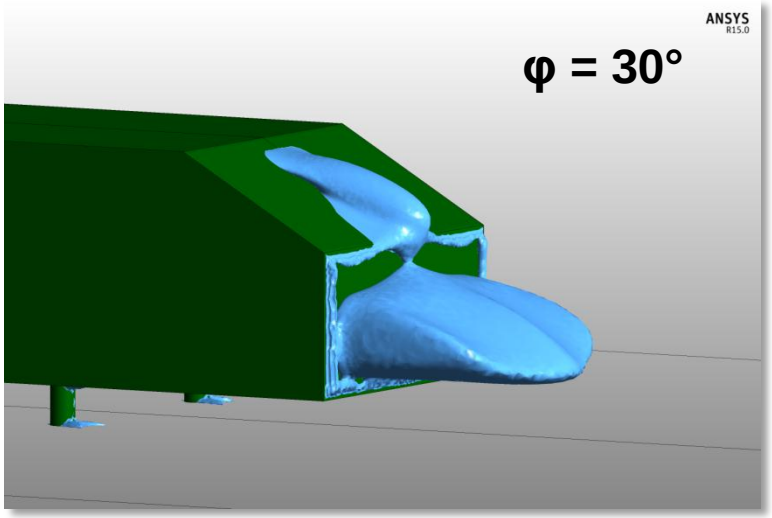


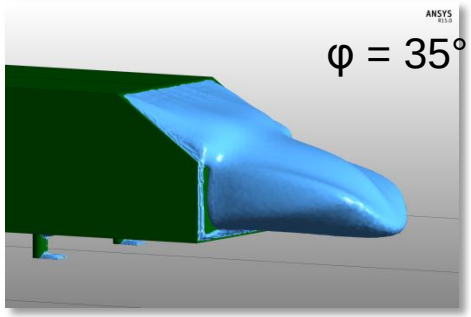
Ahmed Körper

CFX Berlin

- Ergebnisse - Strömungsablösung bei Variation des Winkels φ mit 25 ° ≦ φ ≦ 35 °



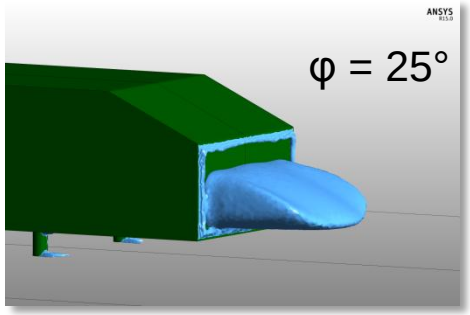


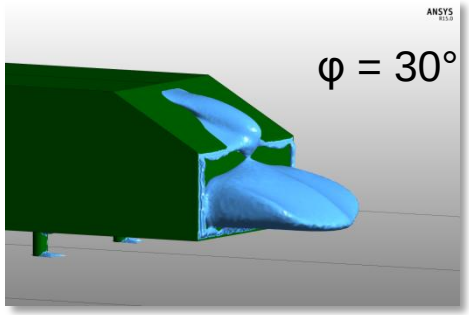


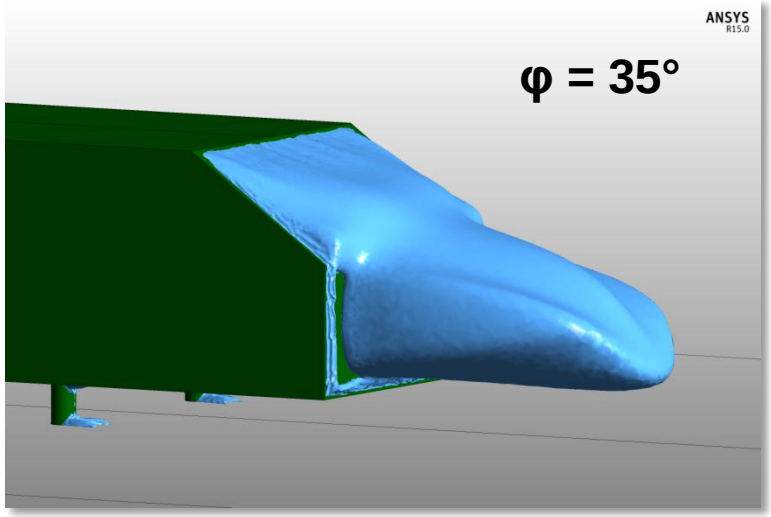
Ahmed Körper

CFX Berlin

- Ergebnisse - Strömungsablösung bei Variation des Winkels φ mit 25 ° ≦ φ ≦ 35 °

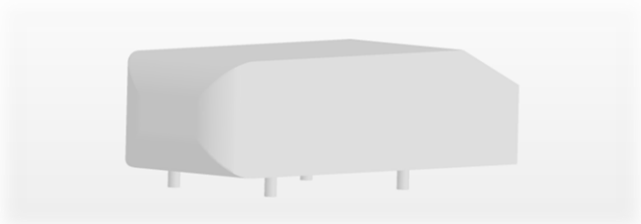




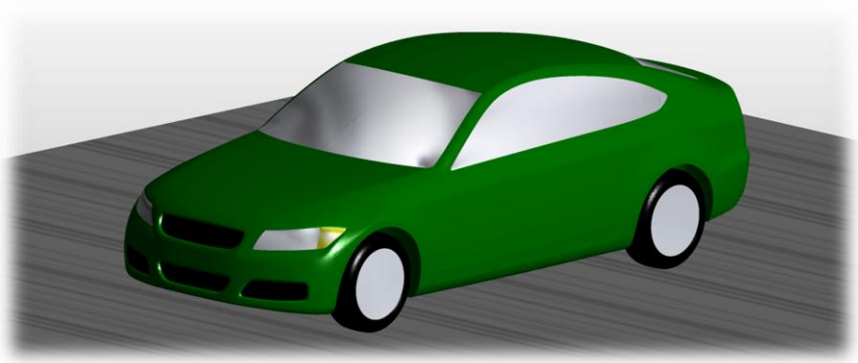


Inhalt

- Relevante aerodynamische Kenngrößen in der Fahrzeugumströmung
- Generische Fahrzeugmodelle
  - Ahmed Körper



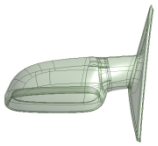
  - DrivAer



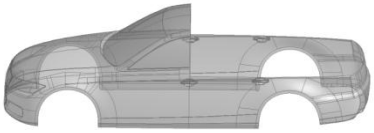
- Geometrie – Konfigurationselemente
  - Quelle: Technische Universität München

    Entstanden in Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Aerodynamik der TU München, der Audi AG und der BMW Group.

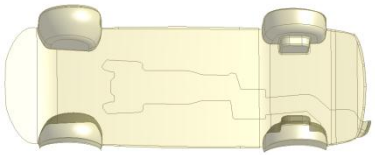
Außenspiegel



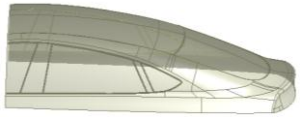
Grundkörper mit Radkasten



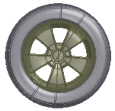
Glatter Unterboden



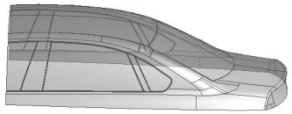
Fließheck



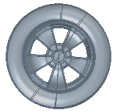
Offene Räder mit Reifenprofil



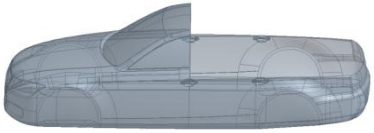
Stufenheck



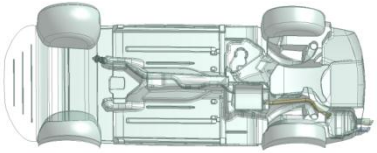
Offene Räder



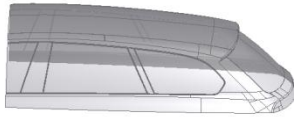
Grundkörper mit Unterboden ohne Radkasten



Detaillierter Unterboden mit Anbauteilen

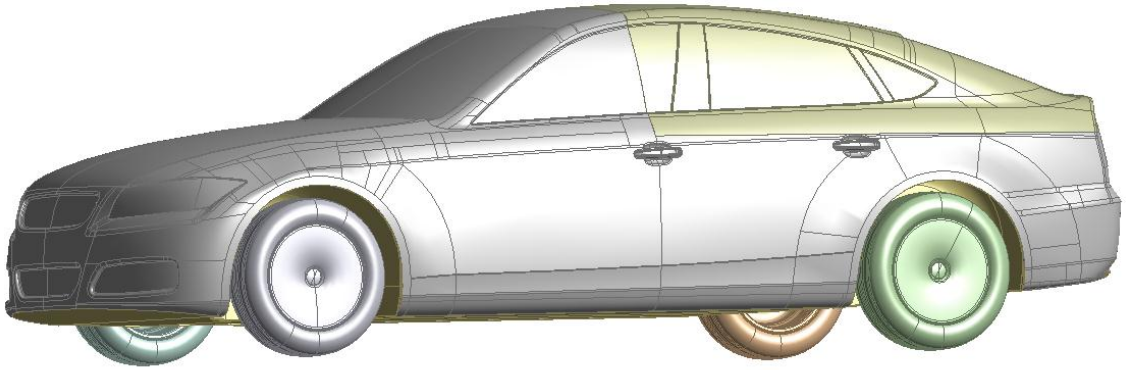


Kombi

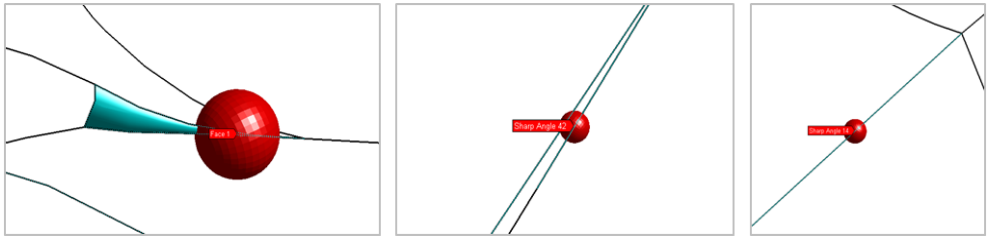


Geschlossene Räder

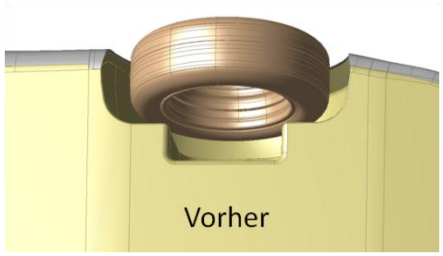
- Geometrie – Ausgewählte Konfiguration
  - Konfigurationselemente:
    - Grundkörper mit Radkästen
    - Glatter Unterboden
    - Fließheck
    - Geschlossene Räder

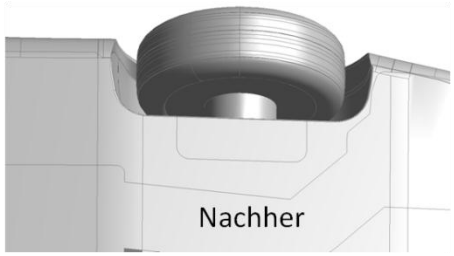


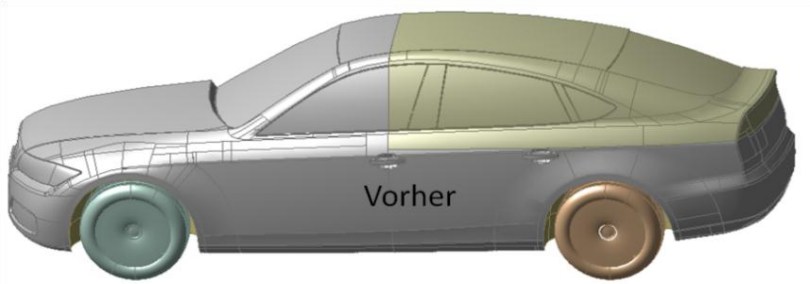
  - Geometrie aus STEP-Dateien:
    - 2 622 Flächen
    - Viele Flächen mit spitzen Winkel

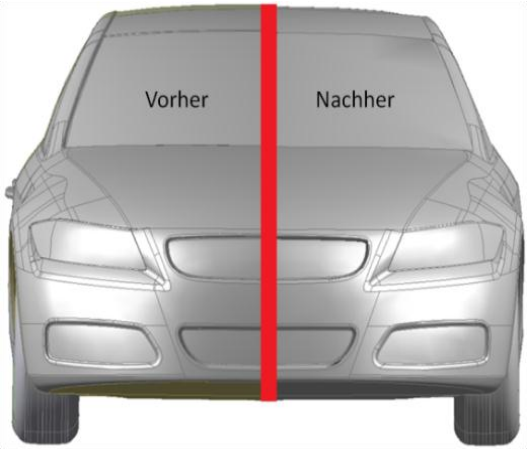


- Geometrieaufbereitung – SpaceClaim und DesignModeler
  - Ergebnis:
    - 1 128 Flächen







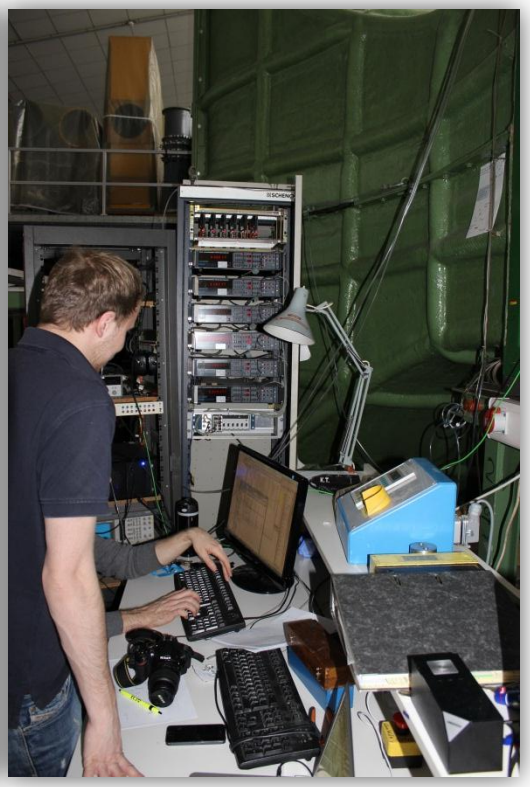


- Messkampagne des ISTA der Technischen Universität Berlin
  - Rapid-Prototyping-Modell
    - aktuell das größte und komplexeste Rapid-Prototyping-Modell der TU Berlin im Maßstab von 1:4
  - Gemessen wird
    - Auftriebskraft
    - Widerstandskraft

    zu den Reynolds-Zahlen:
    - $3{,}2 \cdot 10^6$
    - $3{,}0 \cdot 10^6$
    - $2{,}8 \cdot 10^6$

- Messungen im GroWiKa der TU Berlin

Messkammer

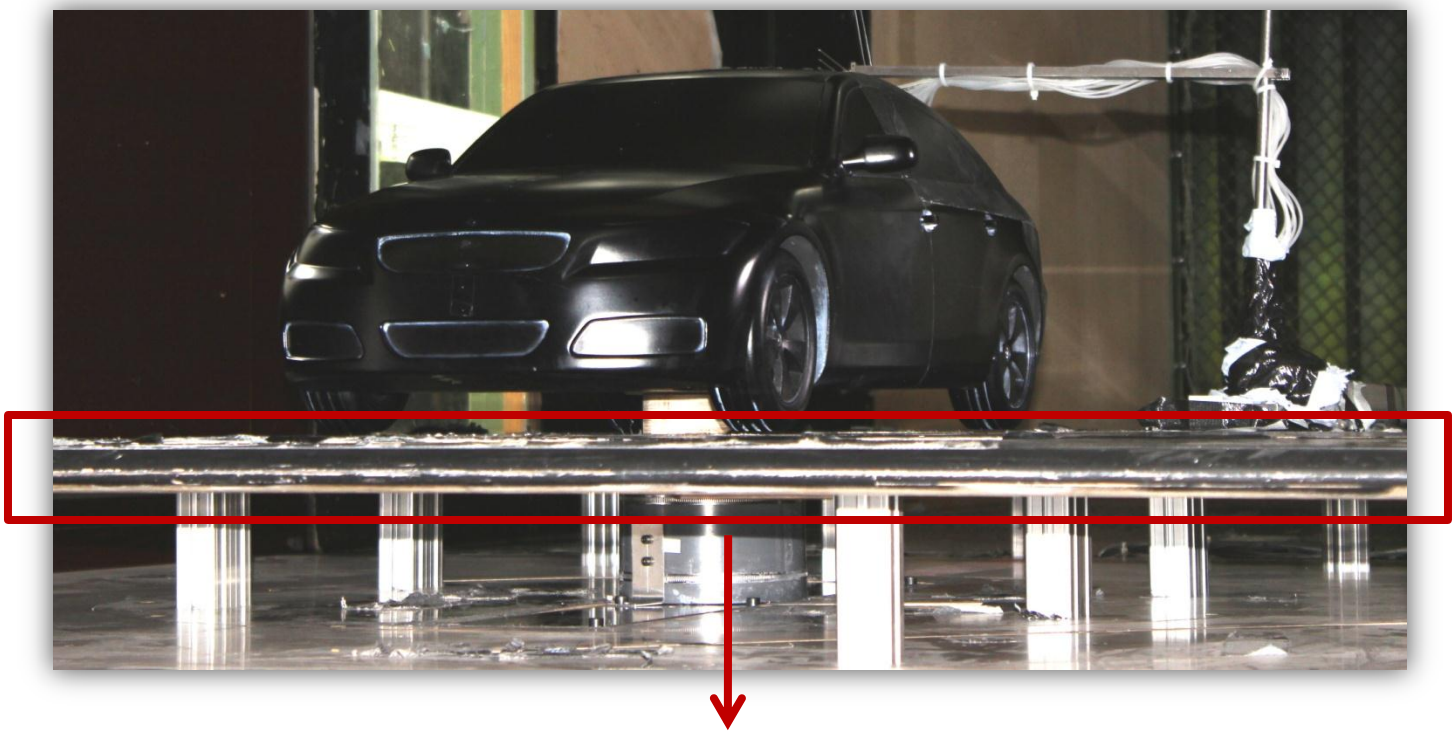


Messstation

DrivAer

- DrivAer im GroWiKa der TU Berlin

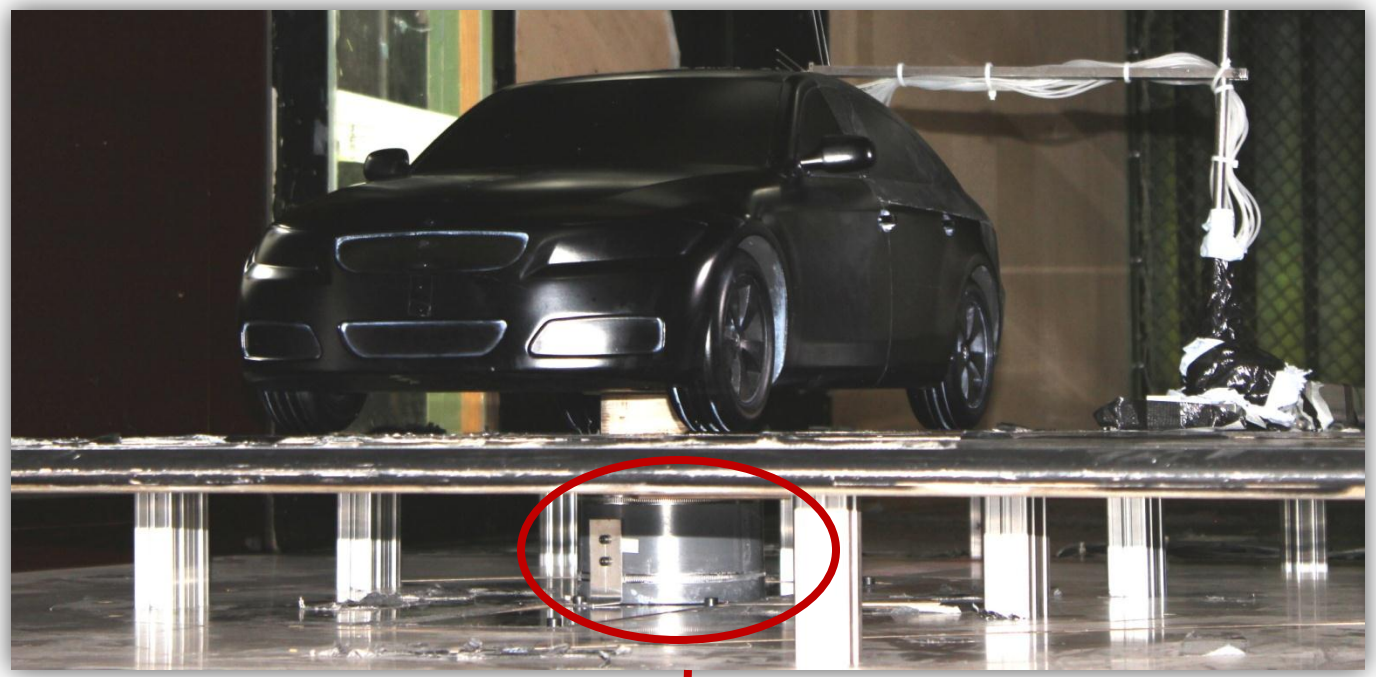
- DrivAer im GroWiKa der TU Berlin



Zwischenplatte

DrivAer

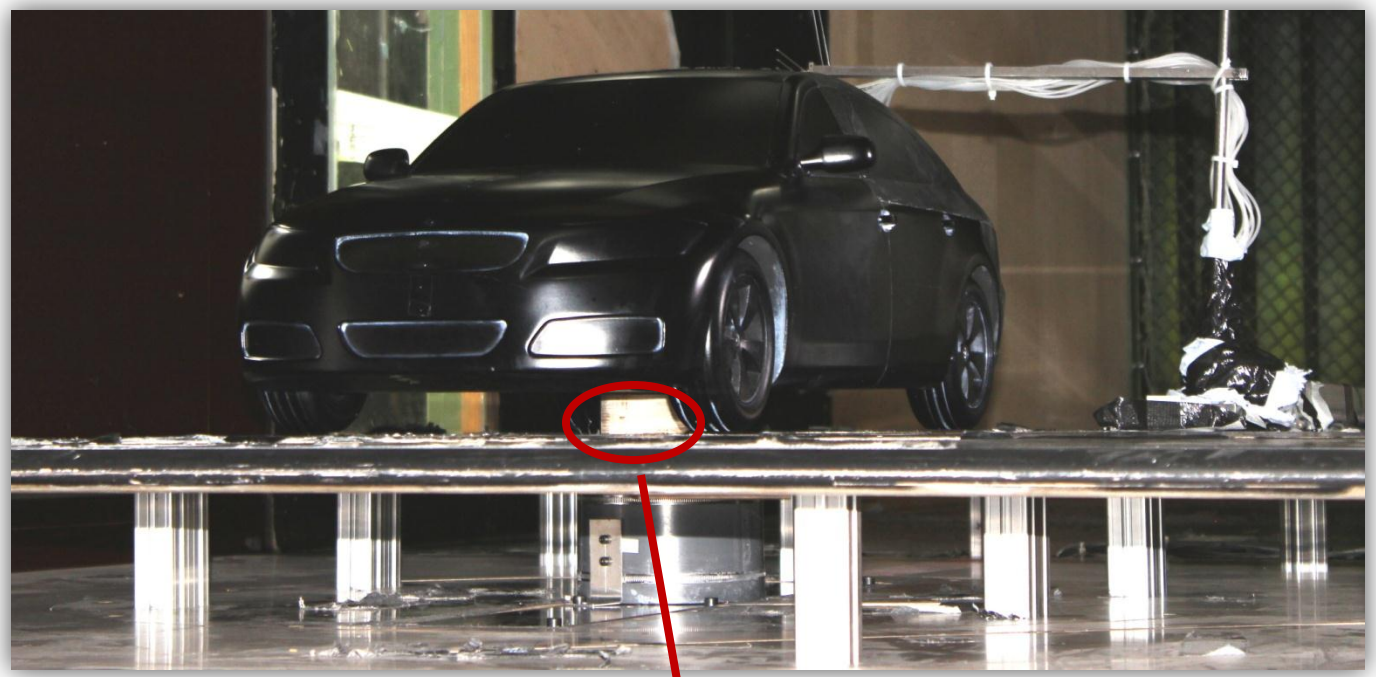
- DrivAer im GroWiKa der TU Berlin



Sechs-Komponenten-Waage

DrivAer

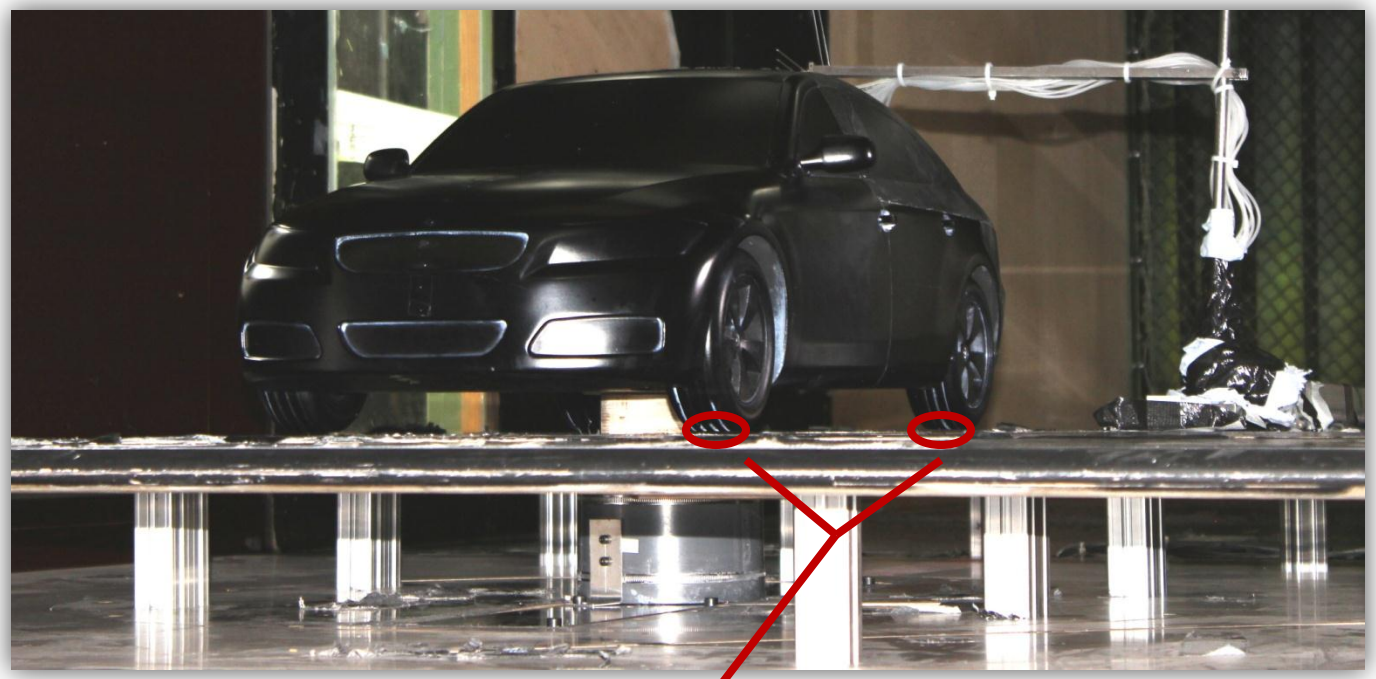
- DrivAer im GroWiKa der TU Berlin



NACA 0024

DrivAer

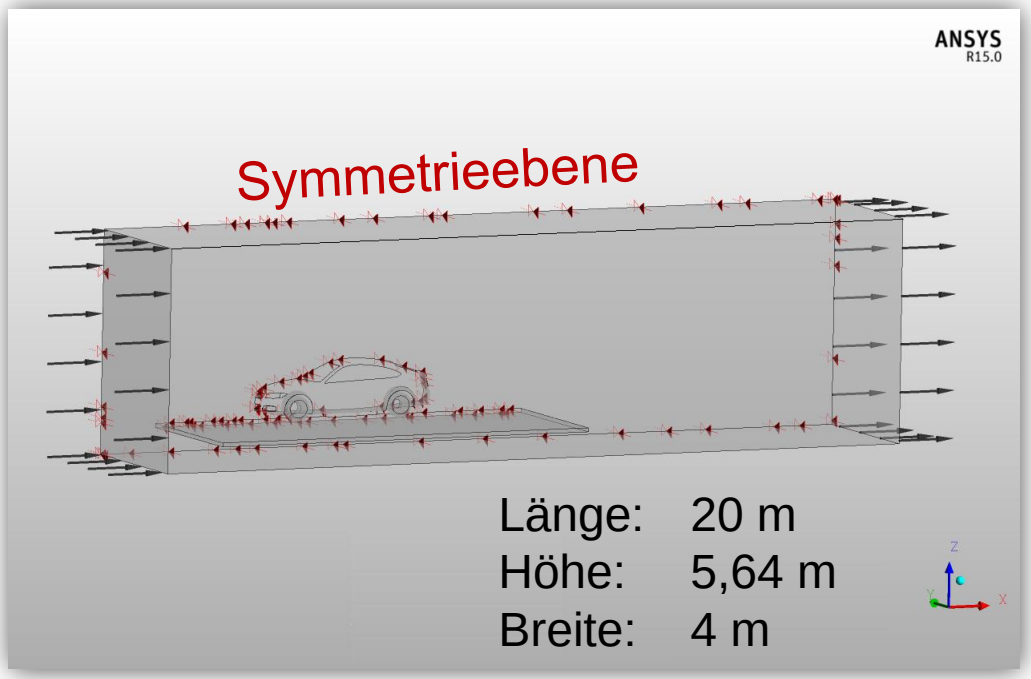
- DrivAer im GroWiKa der TU Berlin



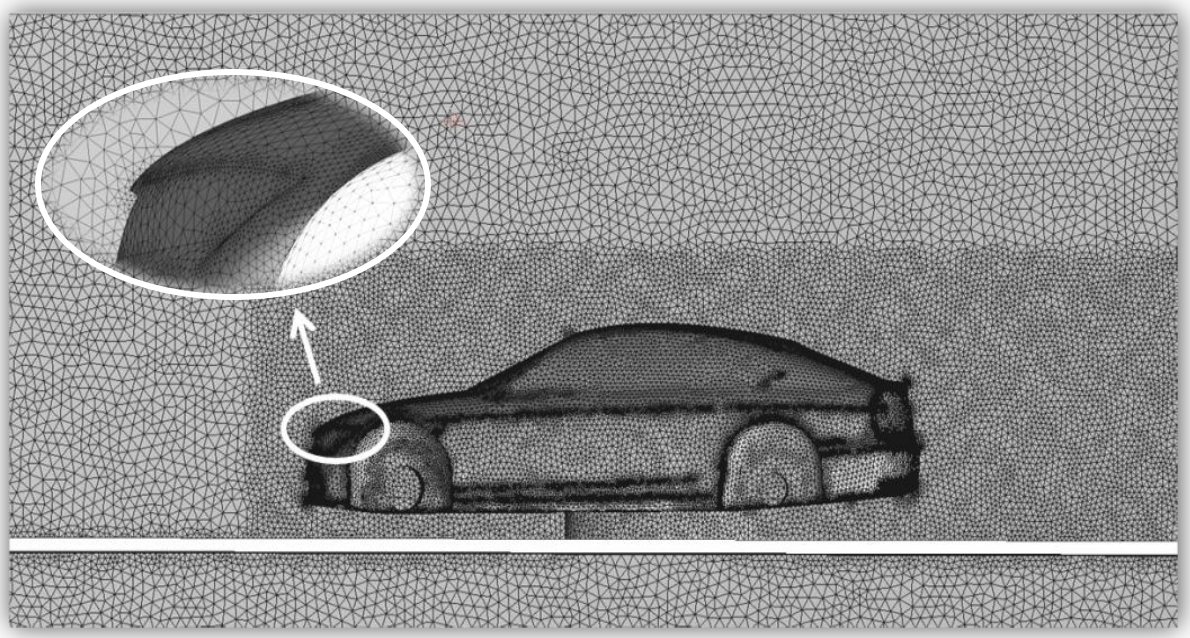
4 mm Abstand zur Zwischenplatte

DrivAer

- Simulationsbedingungen der transienten Berechnung im Maßstab 1:1
  - Umgebungsdruck 1 atm
  - Luft bei 25 °C
  - Anströmgeschwindigkeit:
    - Blockprofil 12,7 m/s
  - Reynolds-Zahl: $3{,}2 \cdot 10^6$
  - SAS-SST-Turbulenzmodell
  - Fahrzeug und Windkanalwände:
    - glatte Wände mit Haftbedingungen
  - Konvergenzkriterium: RMS < 10^{-5}

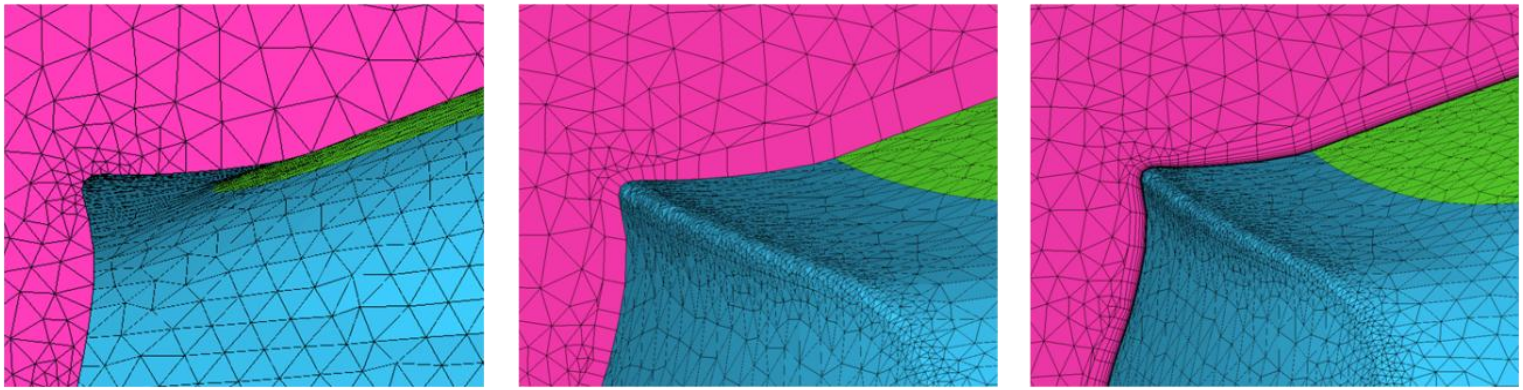


- Vernetzung: ANSYS Meshing
  - Vernetzungsstrategie:
    - Unstrukturiert
    - Geometrieunabhängig
    - Body of Influence
  - Elementstatistik:
    - ~ 18,5 Mio. Tetraederelemente
    - ~ 3,2 Mio. Knoten

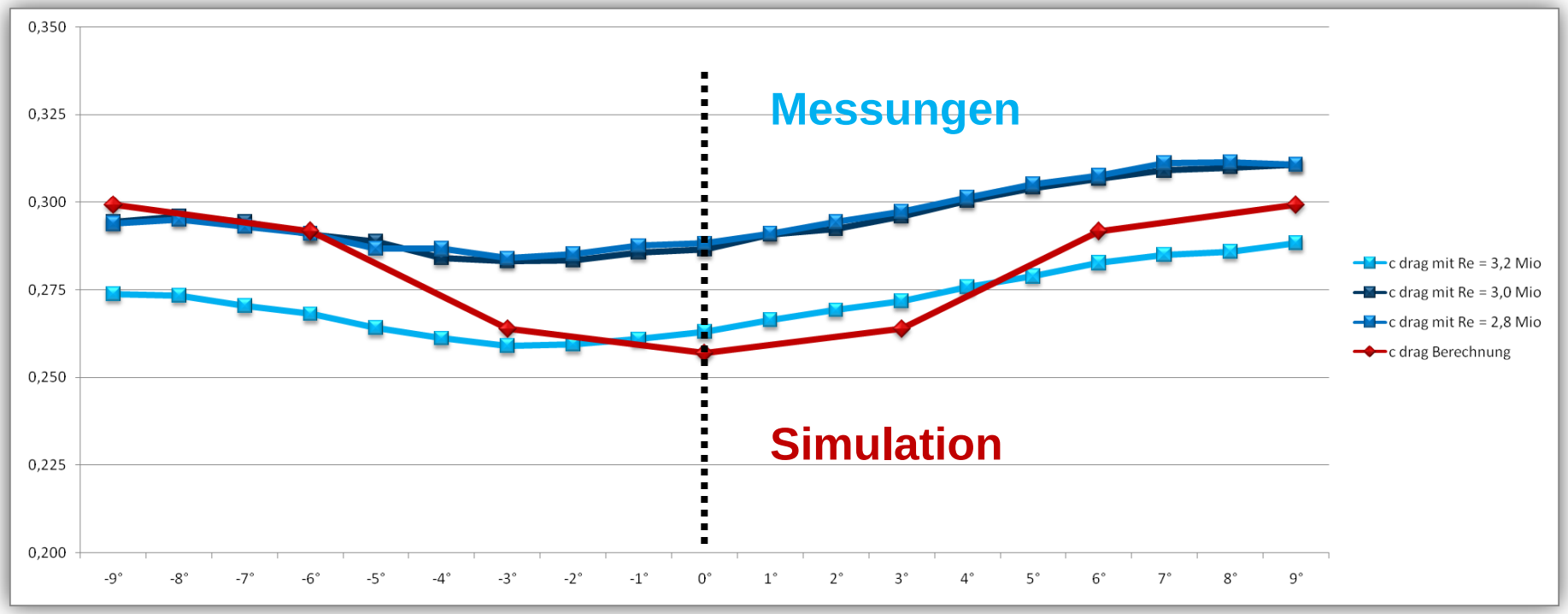


- Vernetzung: ANSYS ICEM CFD
  - Elementstatistik:
    - ~ 19,8 Mio. Elemente
      - ~ 16,7 Mio. Tetraeder
      - ~ 3,1 Mio. Prismen
    - ~ 4,5 Mio. Knoten
  - Wandauflösende Randschicht
    - 10 Schichten
    - Wachstumsrate 1,5
    - $Y^+ < 1$

Rechengitter ⟫ Definition der Randschicht ⟫ Aufspalten der Randschicht in Lagen

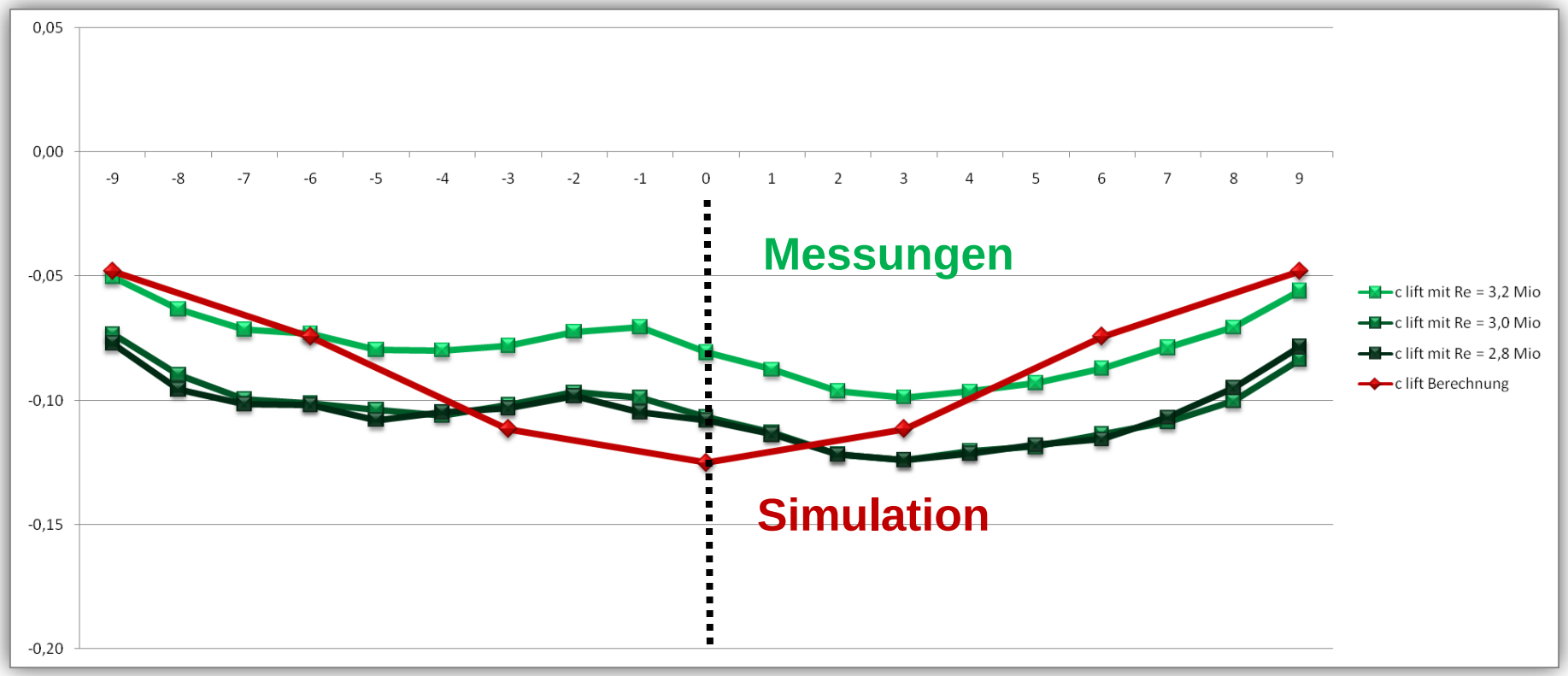


- Vergleich der Messergebnisse mit der numerischen Berechnung des Widerstandskoeffizienten



Anströmung im Experiment offensichtlich nicht symmetrisch!

- Vergleich der Messergebnisse mit der numerischen Berechnung des Auftriebskoeffizienten

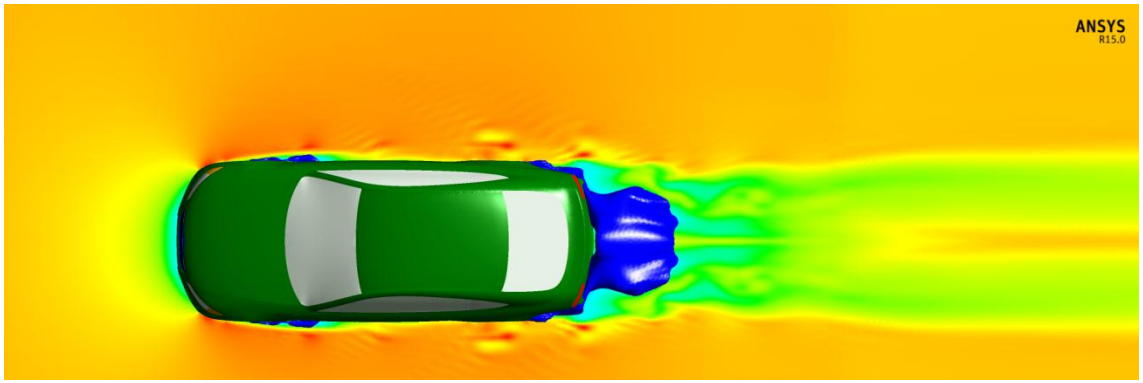


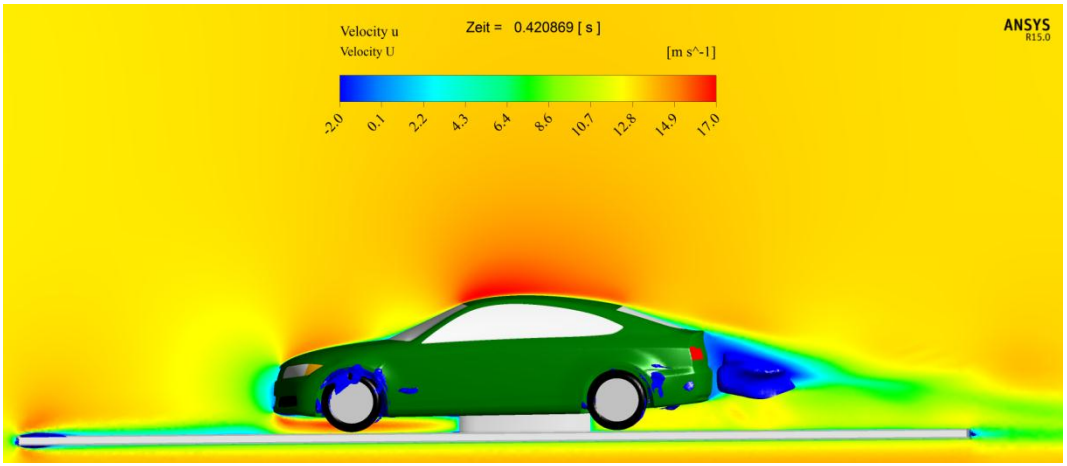
Anströmung im Experiment offensichtlich nicht symmetrisch!

DrivAer

- Geschwindigkeit in Anströmrichtung bei einem Anströmwinkel von 0°

Anströmung 0°

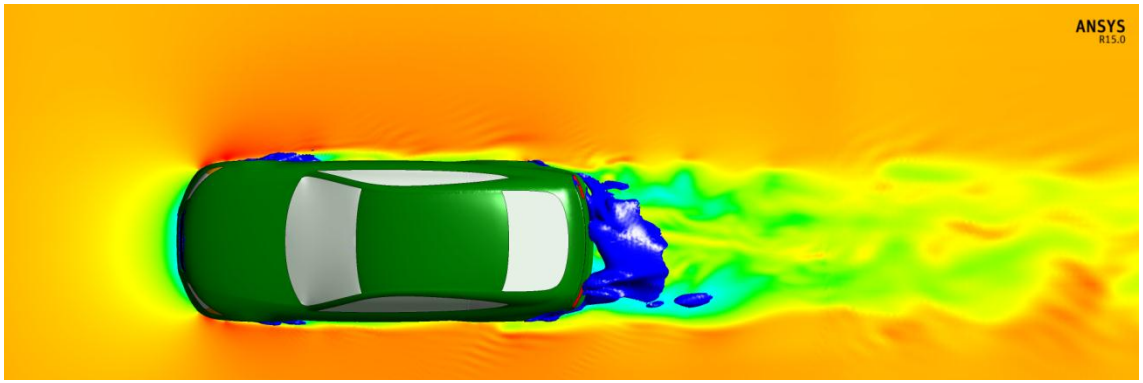


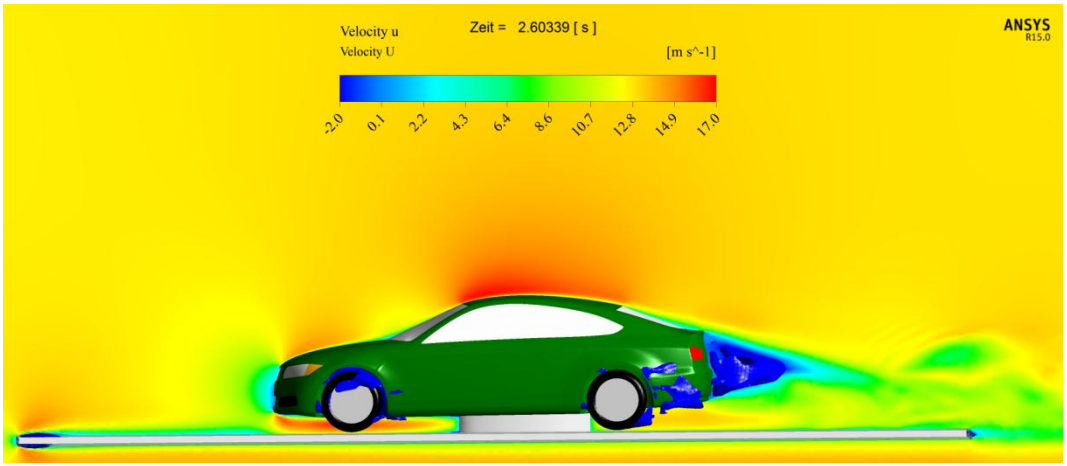


DrivAer

- Geschwindigkeit in Anströmrichtung bei einem Anströmwinkel von 3°

Anströmung 3°

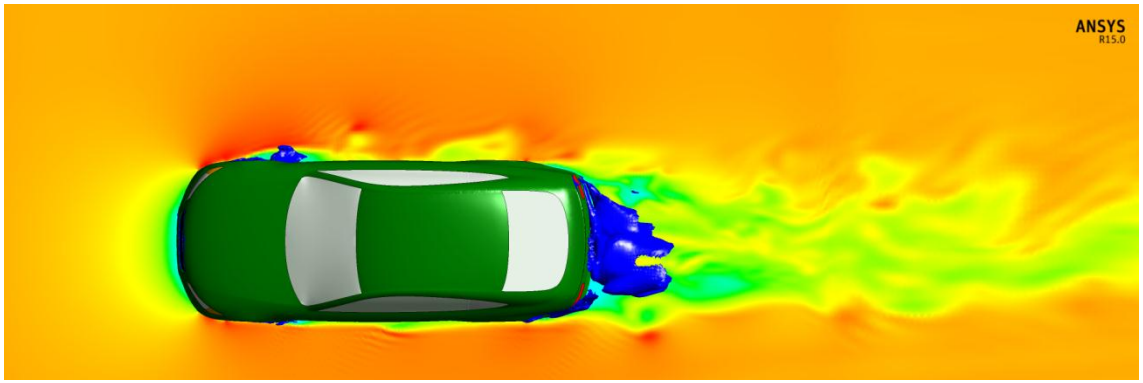


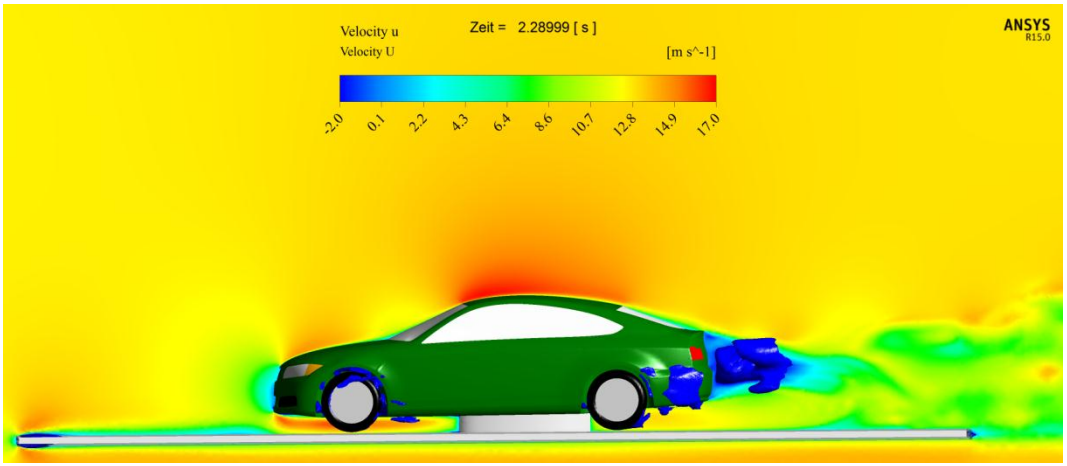


DrivAer

- Geschwindigkeit in Anströmrichtung bei einem Anströmwinkel von 6°

Anströmung 6°

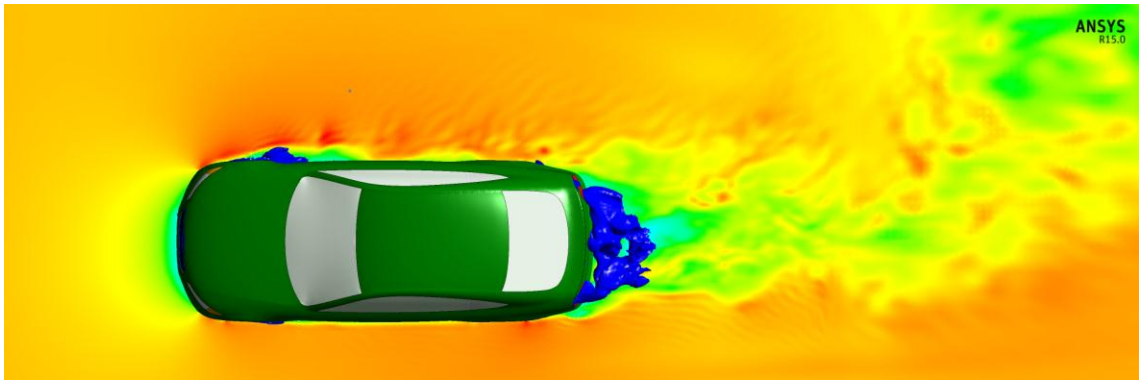


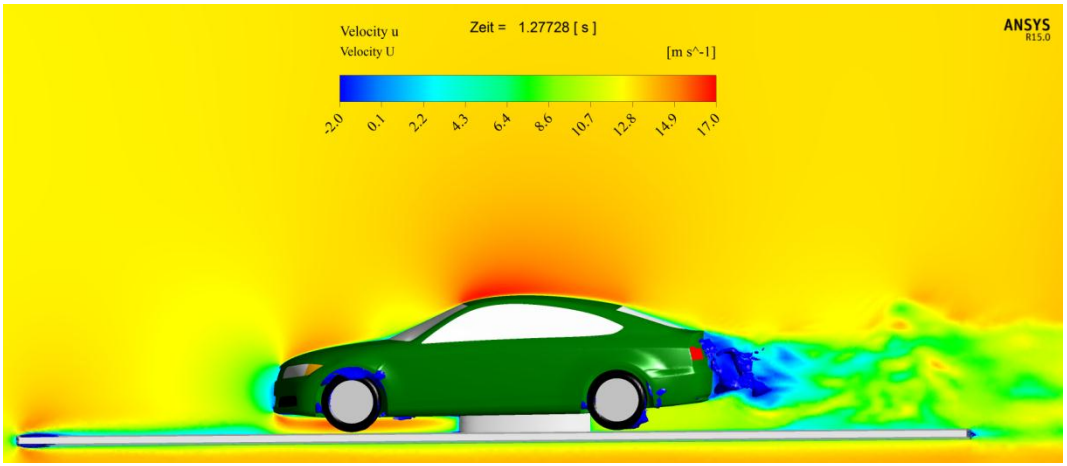


DrivAer

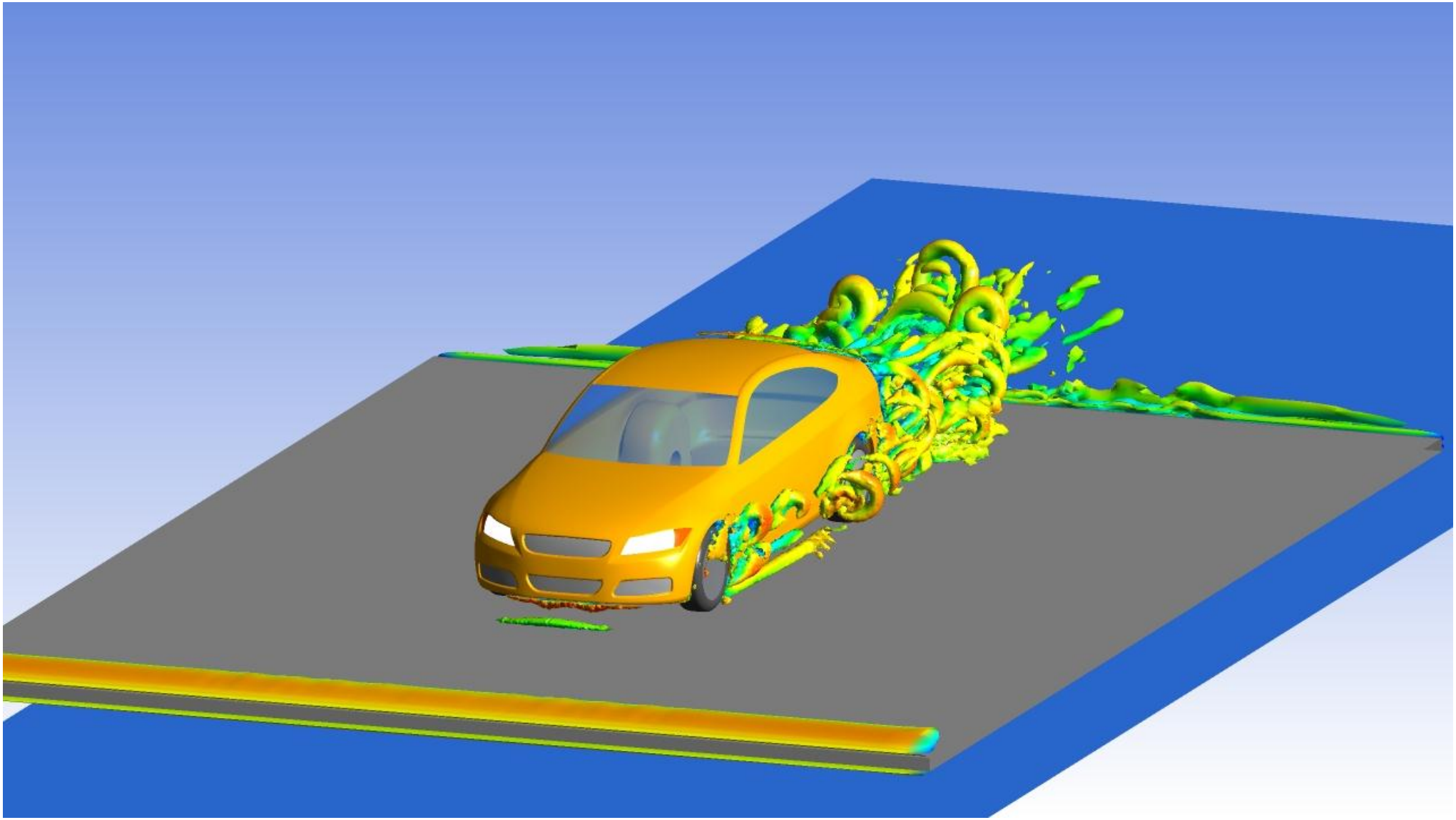
- Geschwindigkeit in Anströmrichtung bei einem Anströmwinkel von 9°

Anströmung 9°





DrivAer

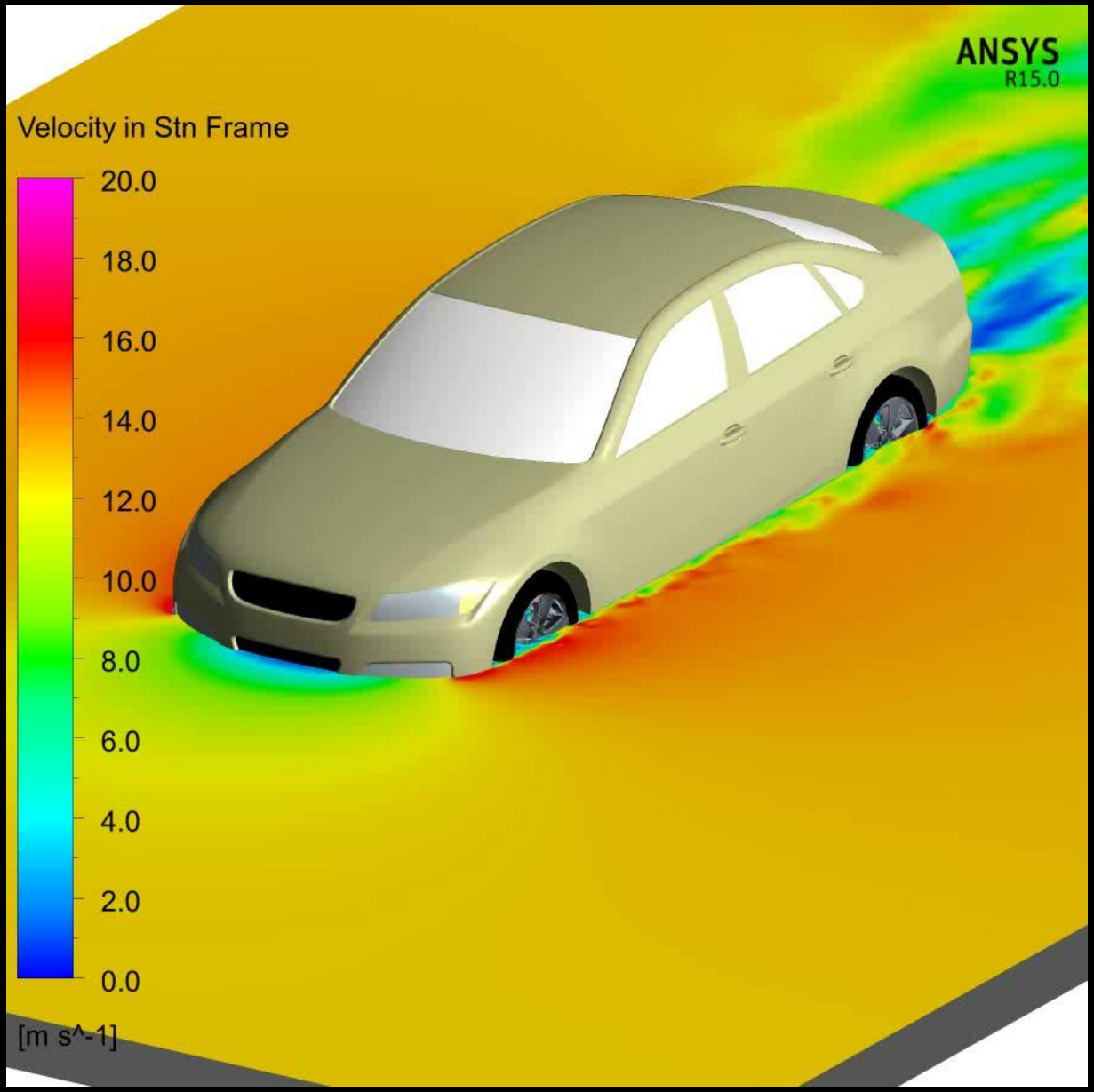


DrivAer

CFX Berlin

- Fazit
  - Gute Ergebnisse im Widerstandskoeffizienten
  - Zufriedenstellende Ergebnisse im Auftriebskoeffizienten speziell bei schräger Anströmung
  - Längere Simulationsdauer für statistisch belastbarere Ergebnisse notwendig
- Ausblick
  - Untersuchungen des Modells mit einem höheren Detaillierungsgrad
  - Untersuchungen eines Modells mit drehenden Rädern

    ➔ Kompaktseminar CAD-TO-MESH WORKFLOW Freitag 9-12 Uhr


ANSYS
R15.0
Velocity in Stn Frame
20.0
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
[m s^-1]