

Neueste Testentwicklungen in Klimawindkanälen



Troy Tarnutzer
Projektleiter
Jacobs Sverdrup: Köln
Troy.Tarnutzer@jacobs.com

7. Karlsruher Fahrzeugklima-Symposium
Karlsruhe Deutschland
26. Januar 2006

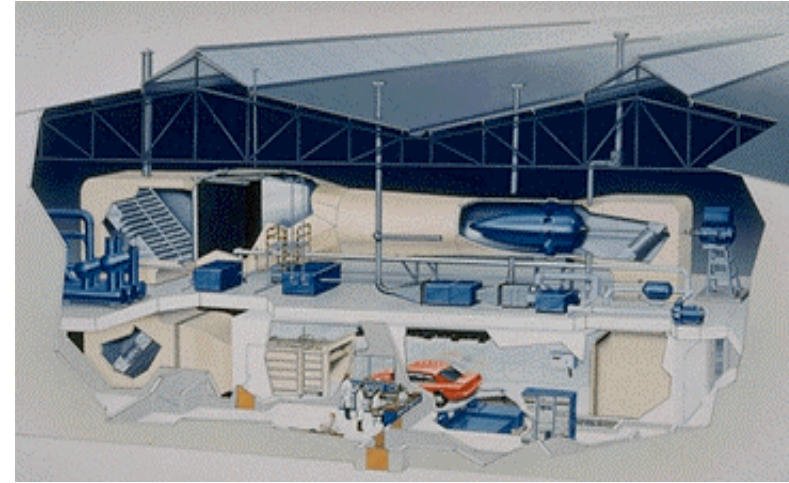
Edward Duell, Ph.D.
Senior Aeroacoustician and
Engineering Branch Manager, Advanced Technology
Jacobs Sverdrup: Tennessee, USA
Ed.Duell@jacobs.com

Themen

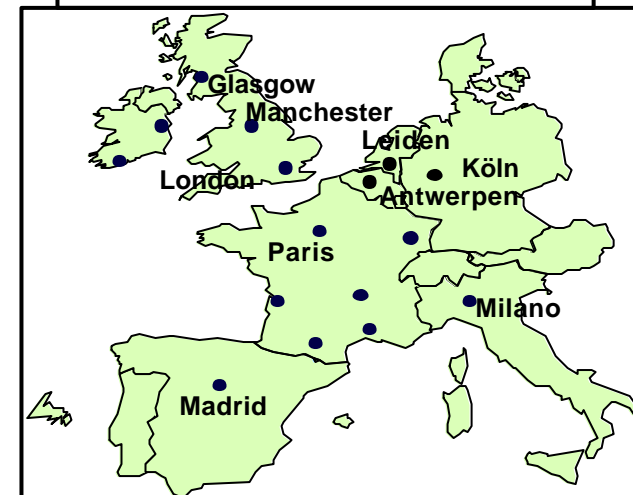
- **Vorstellung von Jacobs Sverdrup**
 - Darstellung unserer Erfahrung mit Klimawindkanälen
 - Deutsche Jacobs Sverdrup Büros
 - **Köln**
 - **München**
 - **Kerpen**
 - Neue Testentwicklungen bei KWK
 - Akustische Tests in KWK
 - Schlussfolgerungen
 - Entwicklung von Korrekturfaktoren für Blockierung in KWK
 - Schlussfolgerungen

JE Referenzen in KWK

- Behr GmbH, Germany
- Behr America, Michigan, USA
- **Visteon***, Germany
- Modine, USA
- **Ford Driveability Test Facility*** (3)
- General Motors HFF, Michigan (2)
- General Motors, Luxembourg (2)
- Chrysler STF, USA (3)
- Ford ETC, USA
- Confidential OEM Client in USA (3)
- Denso, USA
- Hyundai Motor Co., Korea (3)
- Doowon, Korea
- Mando, Korea
- Halla Climate Control Corporation, Korea
- Samsung Motors, Korea
- Daewoo, Korea
- **Blau sind Anlagen, die JE auch betreibt**
- **Grün (#) = Anzahl der KWK**



Jacobs Engineering,
Europäische Büros



Betreiben von Testanlagen durch Jacobs Sverdrup

Betreiben von Testanlagen

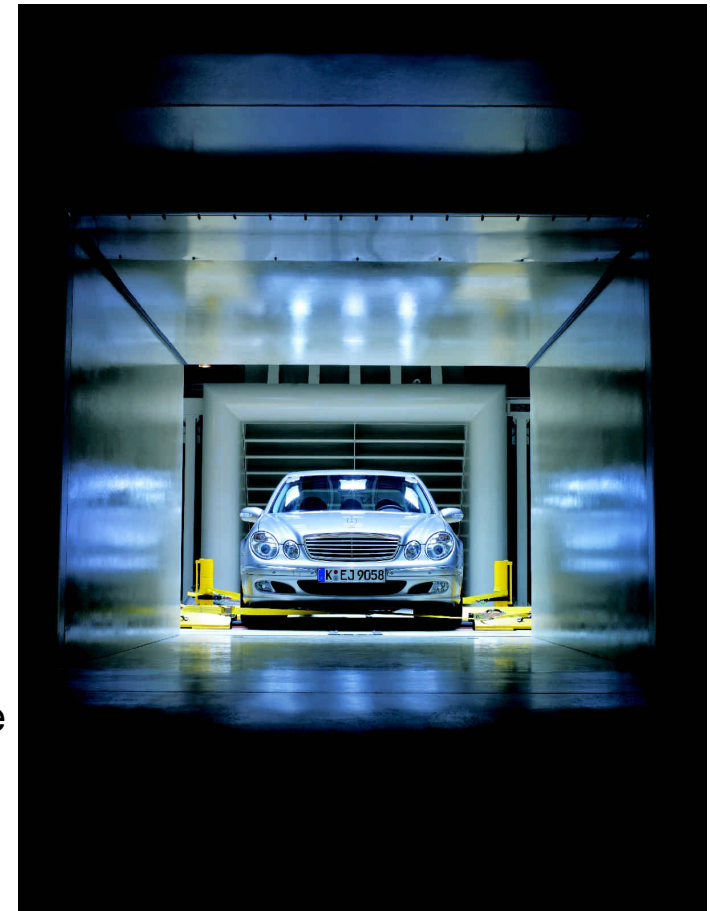
- Ford Motor Company
 - Jacobs Sverdrup betreibt alle Windkanäle für Ford in Nordamerika
- Visteon
 - CWT in Kerpen, Deutschland
- General Motors
 - EMC (EMV) Testkammer

Expertise im Betrieb von Testeinrichtungen

- Strategische Planung und Facility Management
- Technische Prüfverfahren
- Untersuchungen und Forschung für WK Technologie
- Instandhaltung und Wartung von Testanlagen
- Makler für nicht ausgelastete Testeinrichtungen

Übernahme von Teilaufgaben beim Betrieb

- **Autoindustrie:** Windkanäle, Klimakammern, EMV Kammern, Höhenkammern, Dyno-Kammern
- **Luftfahrtindustrie:** Windkanäle, Antriebsprüfstände
- **Raumfahrt:** Einrichtungen für die NASA



Themen

- Vorstellung von Jacobs Sverdrup
 - Darstellung unserer Erfahrung mit Klimawindkanälen
- **Neue Testentwicklungen bei KWK**
 - Akustische Tests in KWK
 - Schlussfolgerungen
 - Entwicklung von Korrekturfaktoren für Blockierung in KWK
 - Schlussfolgerungen

Akustische Tests bei KWK

- KWK liefern gute Simulationen ausschließlich für:
 - Windgeschwindigkeit
 - Temperatur
 - Luftfeuchtigkeit
 - Sonnensimulation
 - Antriebskraft
- Jüngst werden KWK entwickelt und gebaut, die ebenfalls Simulationen ermöglichen für:
 - [Akustische Tests](#)
 - Höhensimulation
 - Verbesserte Bodensimulation



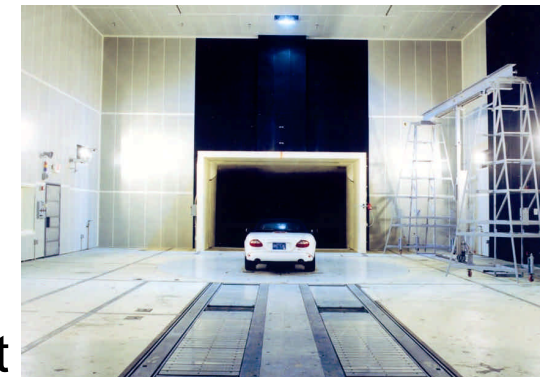
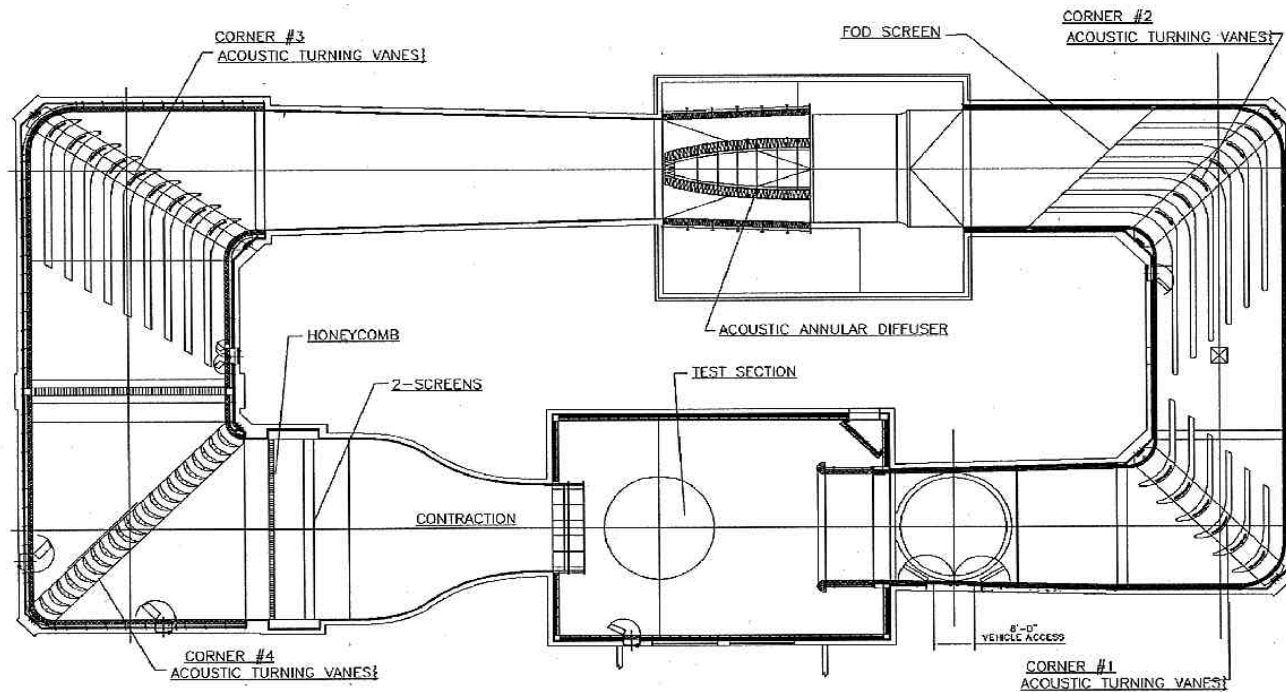
Akustische Tests bei KWK

- Verbesserung der Leistungsfähigkeit des KWK durch akustische Eigenschaften
 - Verbesserte Testumgebung für die Entwicklung (Reduzierung) von Klimakompressoren-, Expansionsventil- & Kühlergeräuschen.
 - Schalldämmung im WK Kreislauf, um die Geräusche des Hauptgebläses zu reduzieren.
 - Aktuelle Beispiele aus KWK
 - 65 – 70 dBA bei 50 km/h (eingeschränkte Schalldämmung im Kreislauf)
 - 85 dBA bei 140 km/h (mehr Schalldämmung im Kreislauf)

Akustische Tests bei KWK

- Erweitertere Möglichkeiten der KWK für akustische Tests:
 - Windgeräuschkmessungen des gesamten Fahrzeugs in einer sorgfältig überwachten, klimatischen Testumgebung:
 - In Abhängigkeit von unterschiedlichen Temperaturen erlauben die Testergebnisse genaue Rückschlüsse auf Geräusche im Fahrzeuginnern, die sich aufgrund der temperaturbedingten Materialeigenschaften der einzelnen Fahrzeugbauteile einstellen.
 - Die Reproduzierbarkeit der akustischen Daten hat sich entscheidend verbessert. Dies führt zu verbesserten Testdaten, die detailliertere Entscheidungen bei der Entwicklung von Fahrzeugen zulassen.
 - Schalldämmung im WK-Kreislauf, um die Geräusche des Hauptgebläses zu reduzieren (Wandverkleidung, Umlenkschaufeln, etc).
 - Echofreie Testumgebung in der Meßstrecke
 - Beispiel eines **KWK mit vollständiger aero-akustischer Test-Leistungsfähigkeit**
 - DTF #8 WK für Ford Motor Company: Michigan, USA
 - 64 dBA bei 140 km/h

Ford / JS DTF Windkanal #8



- Z.Zt. einziger aero-akustischer Windkanal auf der Welt
Klimasimulationsfähigkeit :
 - 18.5 m² Düse (offene Meßstrecke)
 - 200 km/h max. Geschwindigkeit
 - 64 dBA bei 140 km/h (außerhalb des Luftstrahls)
 - 0 °C bis +55 °C
- Betreiber: Jacobs Sverdrup für Ford und weitere Kunden

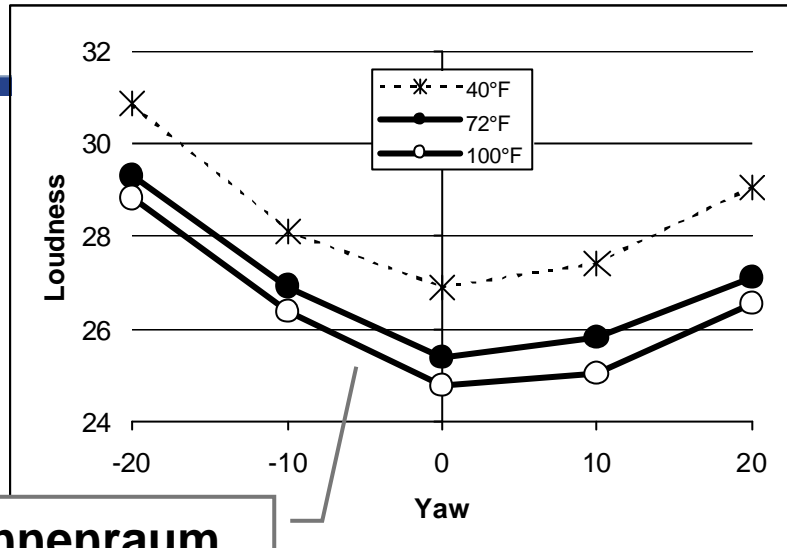
Auswirkungen von Temperaturunterschiede auf Windgeräusche

- Windgeräusch Testprogramm bei DTF #8
 - Messung der Fahrzeuginnengeräusche bei 3 Temperaturen
 - Temperaturen: 5°C (40°F), 22°C (72°F), 38°C (100°F)
 - Luftfeuchte = 40%
 - Testfahrzeug: Sedan / Saloon
 - Geschwindigkeit: 128 und 160 km/h
 - Gierwinkel: 0°, +/-10°, und +/-20°
 - Ergebnisse angezeigt in “sones”, nicht dB oder dBA
 - “sone” ist ein Maß für das menschliche Empfinden von Lautstärke
 - 1 sone hat eine Lautstärke von einem 40 dB Ton bei 1kHz
 - 2 sones = jedes Geräusch, ist doppelt so laut wie 40 dB bei 1 kHz

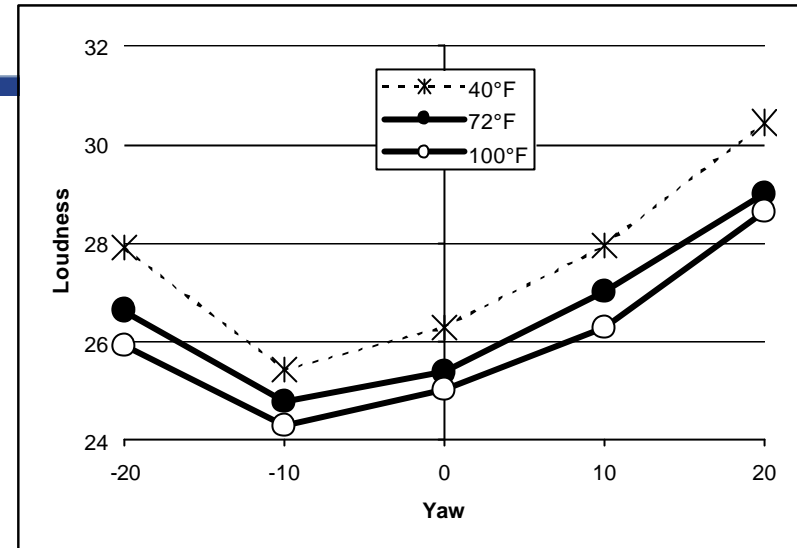


Front Seats

Driver Side Outboard



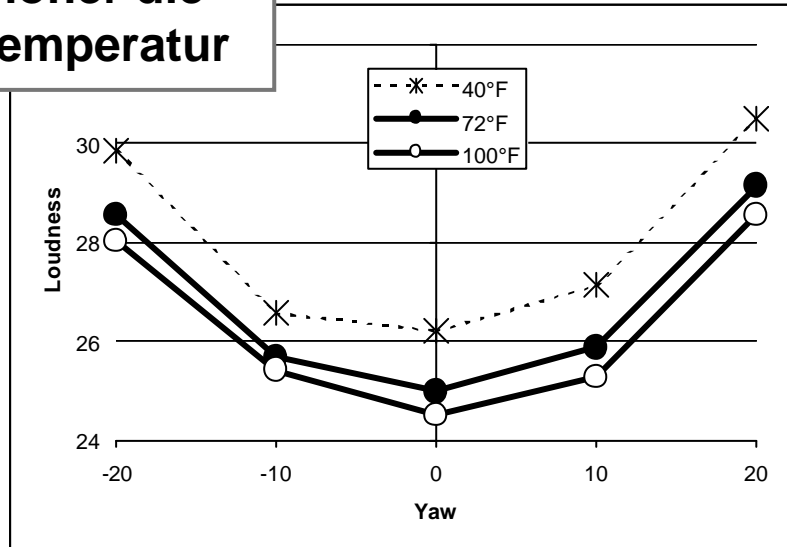
Passenger Side Outboard



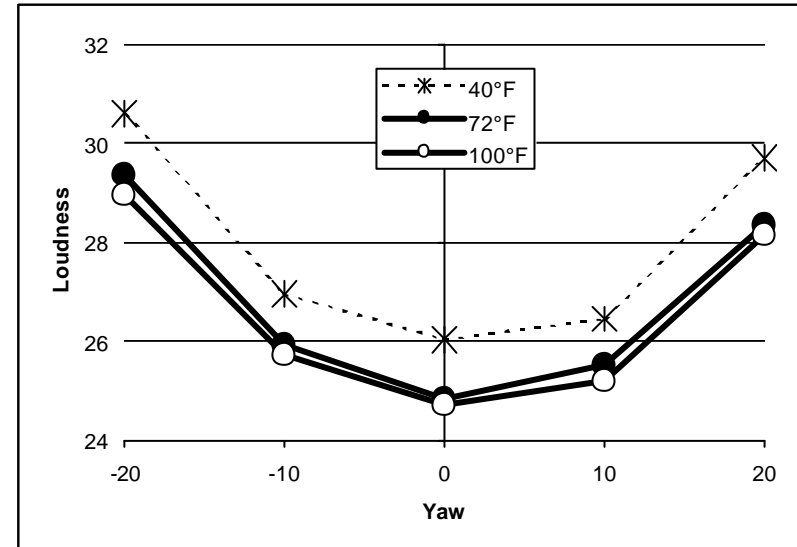
**Innenraum
leiser, je
höher die
Temperatur**

Rear Seats

Driver Side Outboard

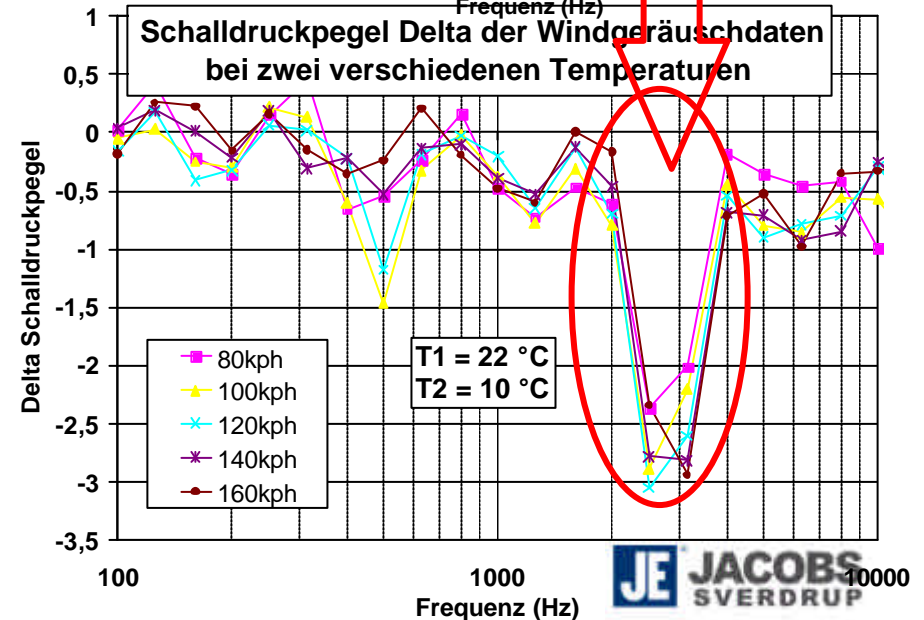
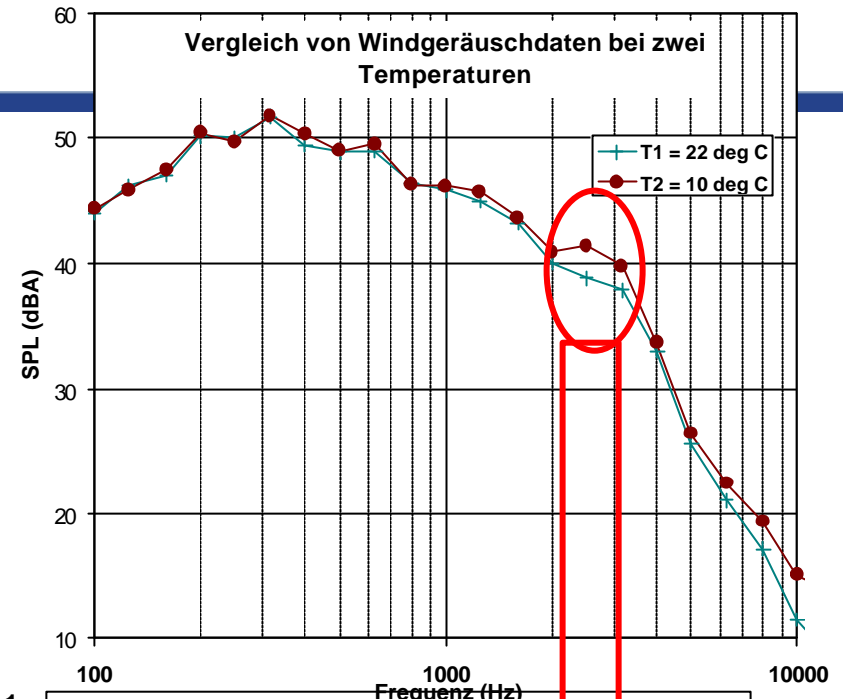


Passenger Side Outboard



Auswirkungen von Temperaturunterschieden auf Windgeräusche

- Ausführliche Tests wurden in DTF#8 durchgeführt, um die Windgeräuschunterschiede eingehend zu untersuchen.
 - Temperaturen: 10°C & 22°C
 - Geschwindigkeiten: 80, 100, 120, 140, 160 km/h
 - Ergebnisse angezeigt in Terz-Band Spektrum
- Bis zu 3 dB SPL Unterschied wurden in 2.5 und 3.1 kHz Terz-Bändern gemessen.
 - Höherer SPL für 10°C gemessen
- Der Unterschied des SPL (Schalldrucks) ist zurückzuführen auf Schall-Durchgangsverluste der Windschutzscheibe aufgrund der Temperatur.



Zusammenfassung der Akustische-KWK Untersuchung

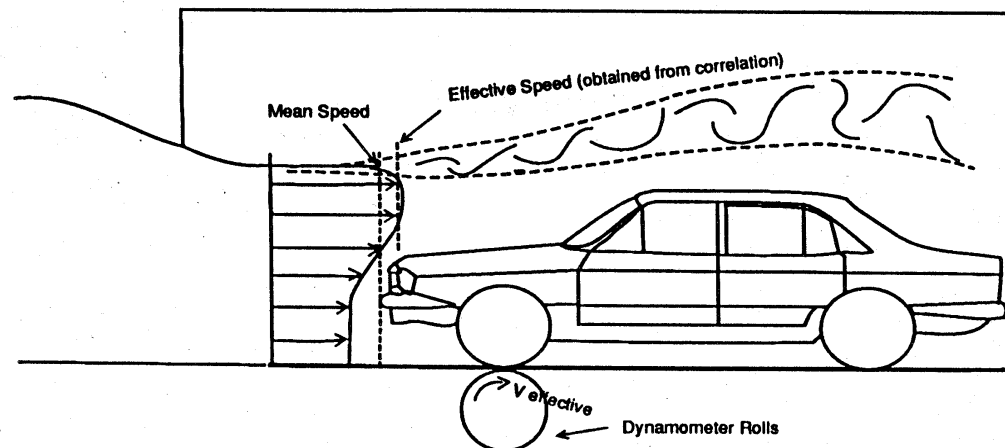
- Die Änderungen der Temperatur haben signifikante Auswirkungen auf die Lautstärke im Fahrzeuginnern
 - 1.5 - 2.5 sones für $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ bis 38°C
 - 2.5 – 3 dBA für $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ bis 22°C
- Die Temperatur soll konstant für Aero-akustiktests gehalten werden
 - Die Temperatur beeinflusst unter anderem:
 - Schall-Durchgangsverluste der Windschutzscheibe (Glas-Laminat-Glas)
 - Steifigkeit der Türdichtungen
 - Materialeigenschaften anderer Komponenten
- Um die Reproduzierbarkeit der akustischen Daten zu gewährleisten, sollten aero-akustische WK Wärmetauscher zur Beibehaltung einer bestimmten Temperatur haben
- Zur bestmöglichen Windgeräuschsimulation sollte die Möglichkeit gegeben sein, bei verschiedenen Temperaturen testen zu können
- In Betracht ziehen der Temperatureinflüsse beim Vergleich der Daten des WK Windgeräusches mit denen der Windgeräusche auf offener Straße.

Themen

- Vorstellung von Jacobs Sverdrup
 - Darstellung unserer Erfahrung mit Klimawindkanälen
- Neue Testentwicklungen bei KWK
 - Akustische Tests in KWK
 - Schlussfolgerungen
 - Entwicklung von Korrekturfaktoren für Blockierung in KWK
 - Schlussfolgerungen

KWK Blockierung - Hintergrund

- Die Umgebungsbedingungen in einem Windkanal sind anders als auf offener Straße (z.B. die größe der Düse, die ruhige Luft im Plenum, die entstehende Scherschicht und die Grenzschicht am Boden). Dies sind alles Faktoren, die in einer störungsfreien Umgebung (offene Straße) nicht existieren.
- In einem KWK sind die Geschwindigkeit von diese Faktoren verändert
- Unterschiedliche Effekte der KWK-Blockierung im Vergleich mit einem aerodynamischen WK
 - Größer Anteil Blockiert ($A_{\text{Fahrzeug}} / A_{\text{Düse}}$)
 - Geringer Testabstand zwischen Fahrzeug und Düse
- Es gibt nur begrenzte Ansätze in der Fachliteratur für Korrekturfaktoren der Blockierung in KWK



Ermittlung von Korrekturfaktoren für Blockierung

- Definition eines “Korrekturfaktors”:

$$K_v = \frac{V_{ref}}{V_\infty}$$

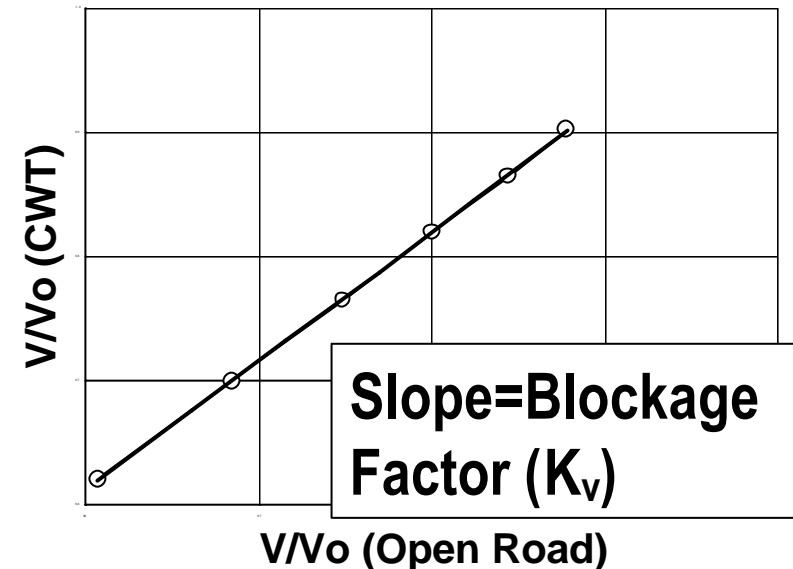
V_∞ : “äquivalent” zu Geschwindigkeit auf offener Straße

V_{ref} : (nicht berichtigt) Vom WK gemessene Geschwindigkeit

- Festlegung K_v für einen Bereich von Fahrzeugen, Korrektur der WK-Geschwindigkeit vor Testbeginn

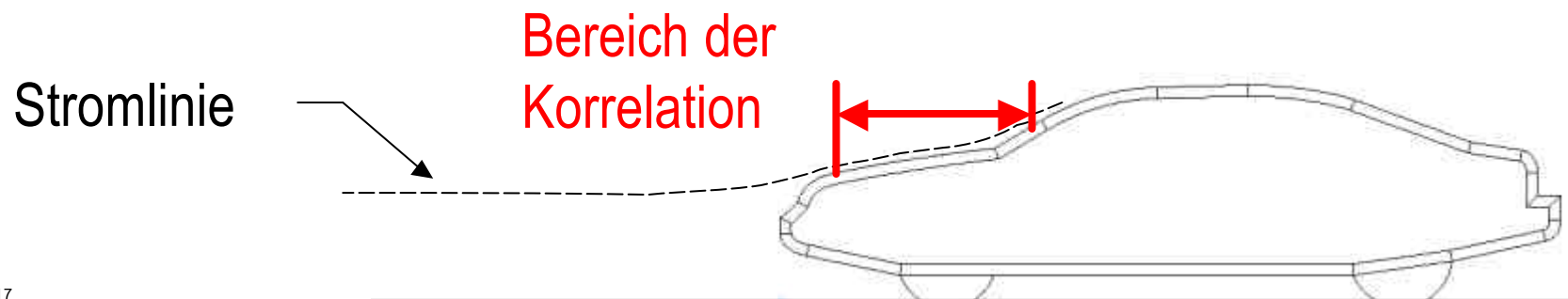
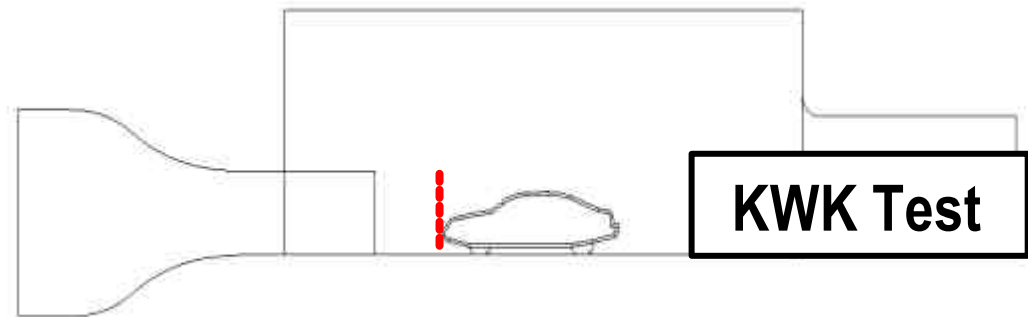
- K_v hängt ab von:

- der Distanz des Düsenausgangs zum Fahrzeug
- der Düsengröße
- dem Frontfläche des Fahrzeugs und dessen allgemeine Form (C_d)
- der Methode der Messung der WK-Geschwindigkeit

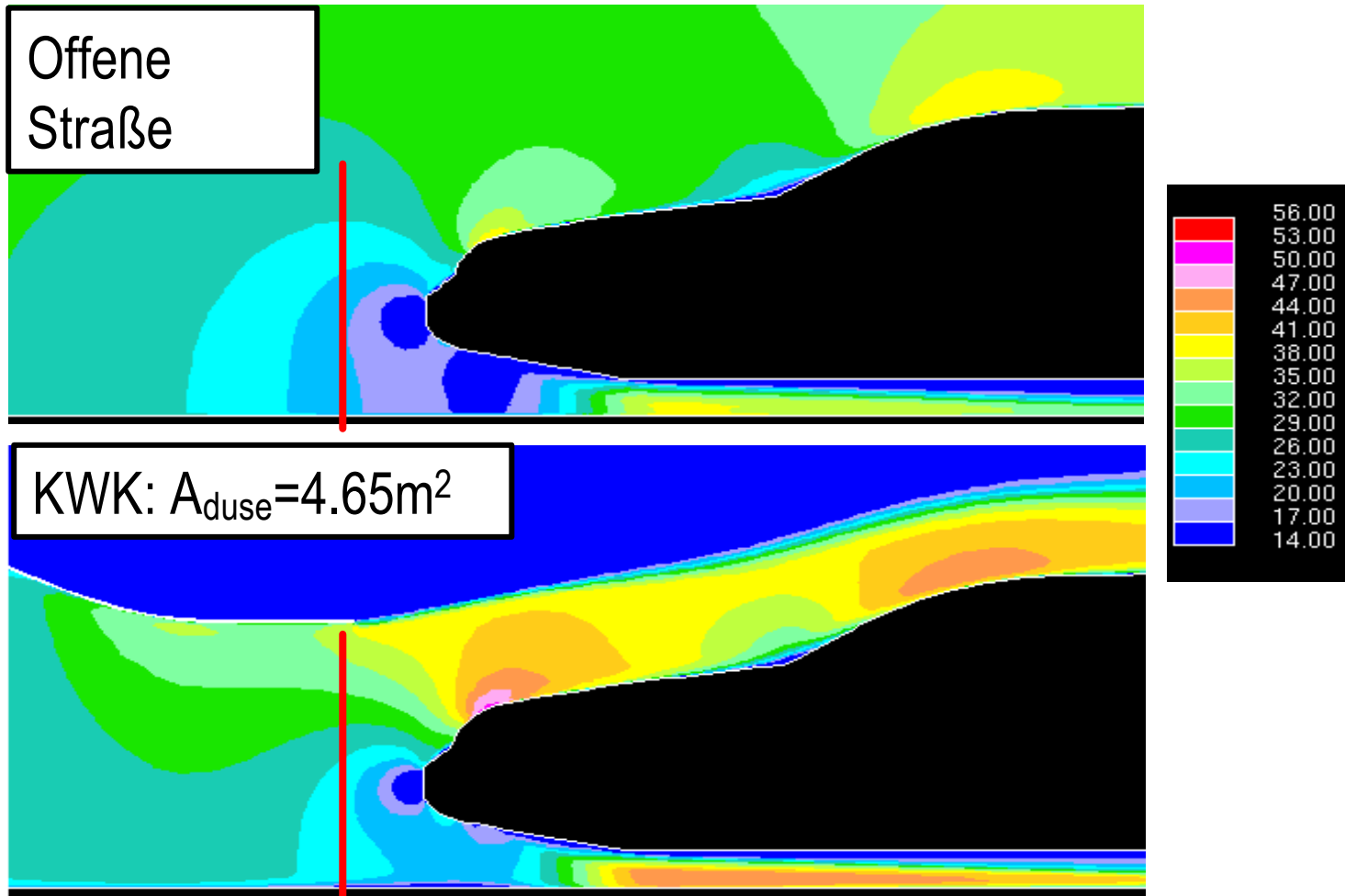


Methoden der Korrektur von Blockierungseffekte

- Korrekturen von Blockierungseffekten werden mittels CFD entwickelt und untersucht. Danach werden die Ergebnisse in einem KWK verifiziert
- Frontales Geschwindigkeitsprofil des Fahrzeugs
 - Ausreichend für Kühlerentwicklung
- Druckverteilung auf der oberen Fahrzeugoberfläche
 - Ausreichend, um das Klima im Fahrzeuginnern zu testen

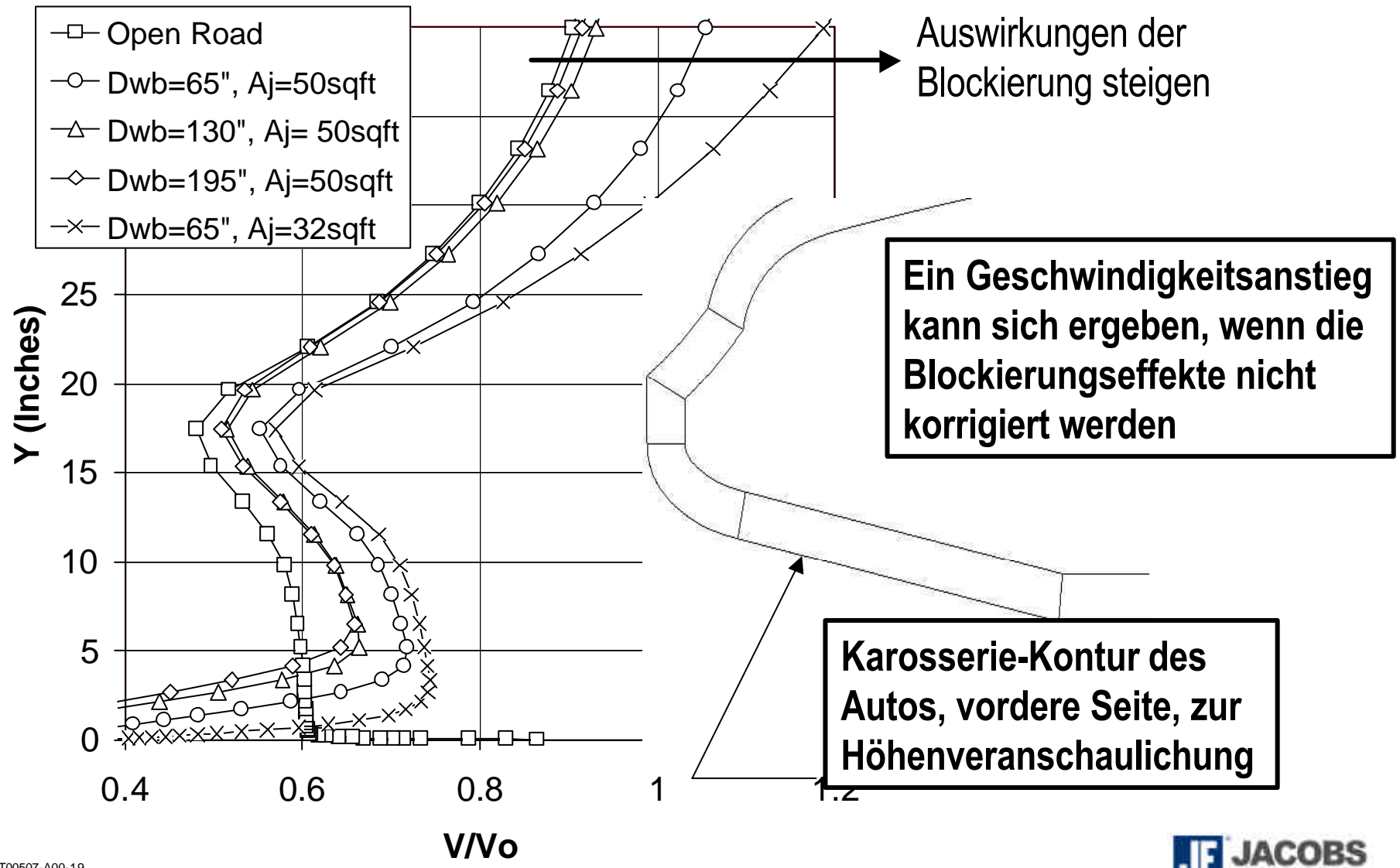


Offene Straße gegen KWK: CFD Ergebnisse



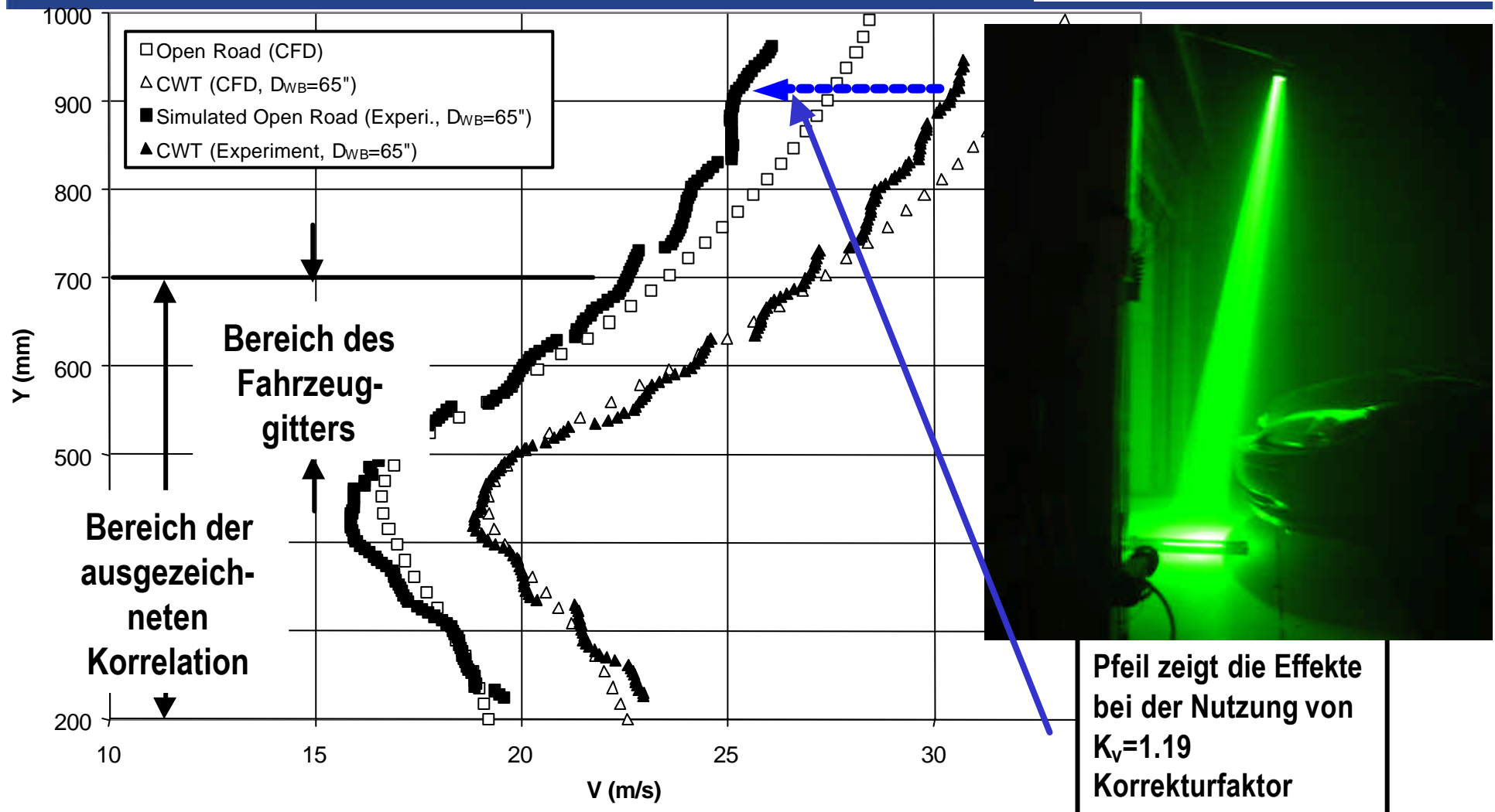
Simulationsgeschwindigkeit ist größer, wenn keine Korrektur der Blockierung berücksichtigt wird

Frontales Geschwindigkeitsprofil CFD Ergebnisse



Verifizierung der Geschwindigkeitsprofil (PIV)

Verifizierung der Faktoren Tests durchgeführt in DTF #7 in Zusammenarbeit mit Ford Motor Company



Straßenverhältnisse wurden erreicht durch die Verwendung des auf CFD-basierenden Faktors

Zusammenfassung des Blockierungseffekte Untersuchung

- Blockierungseffekte in KWK werden von anderen Parameter als in aerodynamischen Windkanälen beeinflusst.
- Die Luftgeschwindigkeiten in KWK müssen korrigiert werden, um eine offene Straße Test zu simulieren
- Die Geschwindigkeitskorrektur in KWK sollte den verschiedenen Testobjekten angepasst werden
- Jacobs Sverdrup hat Blockierungskorrekturen für KWK mit CFD entwickelt, die durch Tests in von uns betriebene Windkanälen verifiziert wurden

Quellen

- Rout, R.K., “Unique Correlation Technique for Real-World Flow Simulation in the Wind Tunnel,” SAE 980033
- Yen, J.C. *et al.*, “Determining Blockage Corrections in Climatic Wind Tunnels Using CFD,” SAE 2003-01-0936
- Yen, J.C. *et al.*, “The Plenum Method Versus Blockage Corrected Nozzle Method for Determining Climatic Wind Tunnel Airspeed,” SAE 2004-01-0668
- Hucho, W.-H., *Aerodynamics of Road Vehicles*, 4th Ed., 1998, SAE.
- Gulker, B., “Wind Tunnel #8 Temperature and Humidity Effects on Wind Noise, 10-29-02