

7. Karlsruher Fahrzeugklima-Symposium

# Windkanäle und Klimakammern zur Untersuchung von Kfz-Klimaanlagen

Am 26. 1. 2006 hatten sich etwa 100 Fachleute der Kfz-Klimatisierung, der Kältetechnik für Windkanäle sowie der Errichter und Betreiber von Windkanälen in Karlsruhe versammelt, um beim inzwischen traditionsreichen Fahrzeugklimasymposium des TWK zu erfahren, was die 11 Referenten über den Entwicklungsstand sowohl bei den Windkanälen selbst als auch bei der Untersuchungstechnik zur Entwicklung von Kfz-Klimaanlagen zu berichten hatten. Dabei kam es zu einem angeregten Gedankenaustausch, der für alle Teilnehmer zu einem Erkenntnisgewinn führte. Prof. Johannes Reichelt als Organisator und Moderator der Veranstaltung trug mit seiner Kompetenz und seiner Erfahrung wesentlich zum Erfolg des Symposiums bei.

Schon am Vorabend hatten sich viele Teilnehmer eingefunden, um die Möglichkeit zur Besichtigung der Prüfeinrichtungen des Test- und Weiterbildungszentrums für Wärmepumpen und Kältetechnik TWK gGmbH zu nutzen. Dabei war die Zusammenkunft überschattet vom tödlichen Unfall des TWK-Geschäftsführers Manfred Petz nur wenige Tage zuvor. Prof. Reichelt gedachte seiner Leistungen für das TWK und würdigte sein langjähriges und fruchtbares Wirken für die Entwicklung des TWK von den Anfängen im Rahmen der Fachhochschule und der Steinbeis-Stiftung bis zur Gegenwart, in der das TWK in der Valerius-Füner-Stiftung der Hoch-

schule Karlsruhe seine Heimat gefunden hat.

Prof. Reichelt konnte auch die Neubesetzung der Geschäftsführung mit den bewährten Mitarbeitern Michael Stalter für den Technikbereich und Rainer Burger für den Weiterbildungsbereich bekannt geben.

Die Vorstellung der Räumlichkeiten und Einrichtungen des TWK war für alle Teilnehmer ein Gewinn. Im vergangenen Jahr konnten die Testmöglichkeiten, insbesondere für die mobile Klimatechnik für Kraftfahrzeuge und Schienenfahrzeuge, durch eine neue Versuchshalle deutlich verbessert werden. Die Entwicklungen der CO<sub>2</sub>-Technologie in diesen Anwendungen kön-

nen damit umfassend mit modernster Mess- und Prüftechnik unterstützt werden.

Ferner wurde sehr deutlich, mit welcher umfassender praktischer Unterstützung die Seminare im Bereich der Weiterbildung vom Grundkurs A bis zum Bahnprojektierungskurs durchgeführt werden.

Das gut organisierte und mit interessanten Themen gefüllte Symposium startete am nächsten Tag.

In seinen einführenden Worten machte Prof. Reichelt deutlich, dass Windkanäle heute längst über die Göttinger Grundauführung, ursprünglich als Instrumente der Strömungsforschung, hinausgewachsen sind. Die Klimatisierung der Kraftfahrzeuge mit dem Ziel, eine möglichst gute Behaglichkeit zu erreichen, erfordert die Erprobung der Klimaanlagen im realen Fahrzeug unter realen Fahrbedingungen. Um diese realen Fahrbedingungen verwirklichen zu können, müssen sie in den Windkanälen geschaffen werden. Das zu klimatisierende Fahrzeug wird vom Rollensystem des Windkanals und von der anströmenden Luft quasi den Fahrgeschwindigkeiten ausgesetzt; durch die Klimatisierung der strömenden Luft werden die sommerlichen bzw. winterlichen Umgebungsbedingungen geschaffen. Dafür sind wärme- und kältetechnische sowie entsprechende strömungstechnische Ein-



Die Teilnehmer bei der Besichtigung des TWK



Die Besucher interessieren sich sehr für den großen Leistungsprüfstand

|  |  |
|--|--|
| <b>J. Herrmann, BEHR</b>               | <i>Simulationmöglichkeiten in den Klimawindkanälen von BEHR; ein Vergleich zwischen Straße/Windkanal</i>                       |
| <b>T. Györög, DENSO</b>                | <i>Klimakomfortmessung im DENSO-Klimawindkanal mit „Thermal Mannequin“</i>   |
| <b>M. Ehlers, MODINE</b>               | <i>Bestimmung und Einstellung der Windgeschwindigkeit im Windkanal der Firma MODINE</i>  |
| <b>B. Zeitvogel, SANDEN</b>            | <i>Der SANDEN-Klimawindkanal – Technische Details und Inbetriebnahme</i>   |
| <b>B. Schütt, VISTEON</b>              | <i>Umsetzung von Markttrends und Kundenwünschen in einer modernen Klimawindkanalanlage VCWT - Visteon Climatic Wind Tunnel</i> |
| <b>G. Haller, RTA Rail Tec Arsenal</b> | <i>Klima- und Funktionstests an Straßenfahrzeugen</i>  |
| <b>D. Holzdepppe, TLT-TURBO</b>        | <i>Klimawindkanaltechnologie insbesondere für den Einsatz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen</i>                            |
| <b>T. Tarnutzer, E. Duell, JACOBS</b>  | <i>Neueste Testentwicklungen in Klimawindkanälen/Windkanäle und Klimakammern</i>   |
| <b>J. Danger, GÜNTNER</b>              | <i>Besonderheiten von Wärmeaustauschern für Windkanäle und Klimakammern</i>  |
| <b>A. Erhard, AXIMA Refrigeration</b>  | <i>Die kältetechnische Ausstattung von Windkanälen und Klimakammern</i>  |
| <b>D. Schwabe, VW</b>                  | <i>Aufgaben und Bedeutung von CAWA Climatic Automotive Windtunnel Association</i>  |

Referenten und Themen des Fahrzeugklima-Symposiums

richtungen so zu gestalten, dass man den realen Bedingungen möglichst nahe kommt.

Vertreter aus allen Bereichen, die dafür einen Beitrag leisten, kamen zu Wort:

- Hersteller von Kfz-Klimaanlagen, die die Windkanäle betreiben,
- Errichter von Windkanälen und
- Komponentenlieferanten.

Den Vortragsreigen eröffnete Dr. Jürgen Herrmann von der Fa. BEHR in Stuttgart. Er stellte den BEHR-Windkanal für die Entwicklung von Fahrzeugklimaanlagen vor, mit dem die Umgebungsbedingungen so vollkommen simuliert werden können, dass das gesamte Spektrum der Fahrzeugklimatisierung abgedeckt ist. Der Vergleich der Abkühl- und Aufheizkurven nach dem Einsteigen des Fahrers und der Mitfahrer bei einer realen Fahrt auf der Straße und bei der Windkanalsimulation zeigt eine überzeugende Übereinstimmung, so dass man im Kopfbereich eine maximale Abwei-

chung von 0,5 K und im Fußbereich von 1 K feststellen kann. Das Solarium für die Nachbildung der Strahlungswärme berücksichtigt das reale Spektrum des Sonnenlichtes und kann über entsprechende Programme die Bewölkung gut nachbilden.

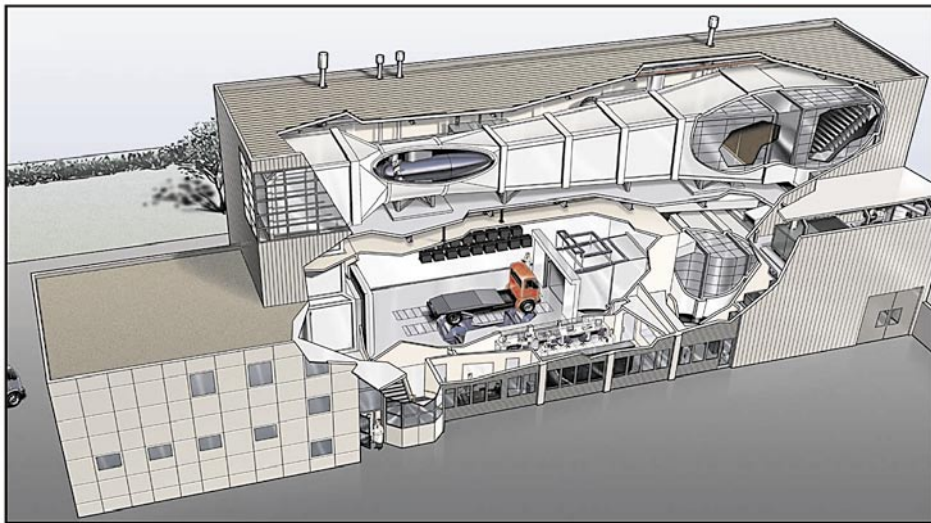
Dr.-Ing. Tibor Györög von Denso widmete sich den Wohlfühlbedingungen der Fahrgäste im Kraftfahrzeug bei Heiz- bzw. Kühlbetrieb. Dem ging die Erforschung der Nicht-Wohlfühlbedingungen voraus. Dabei wird die gesamte Palette von Temperatur, Feuchte und Strahlung einbezogen. Die Beurteilung erfolgt mittels eines „Thermal Mannequin“, das die thermischen Empfindungseigenschaften der Fahrgäste nachbildet; die Messungen an seiner Oberfläche kann man dazu benutzen, die Güte der Heiz- bzw. Klimaanlage zu beurteilen. Wichtiges Kriterium ist die Temperaturstabilität bei Geschwindigkeitsveränderungen des Fahrzeuges, bei Richtungsänderungen und bei Änderung der Umgebungsbedingungen.

All das lässt sich nur mittels eines Klimawindkanals erforschen, der eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung fortschrittlicher Klimasysteme für Kraftfahrzeuge darstellt.

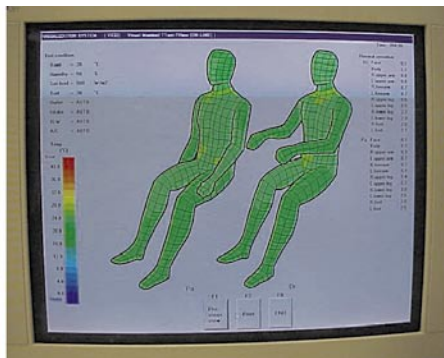
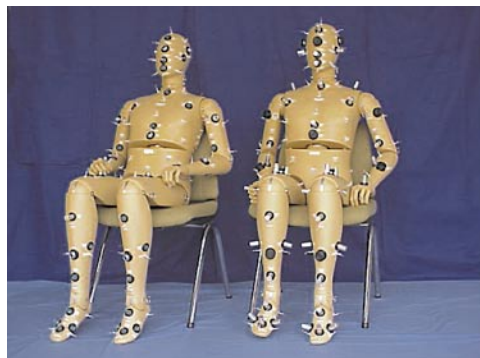
Der Modine Klimawindkanal ist mit seinem Leistungsspektrum sowohl für PKW als auch für LKW geeignet; er wurde von Michael Ehlers vorgestellt. Am Düsenaustritt herrscht eine gleichmäßige Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung; diese wird jedoch durch die Rückwirkung des Fahrzeuges im räumlich begrenzten Windkanal anders beeinflusst als auf der Straße mit unbegrenztem Raum an den Seiten und nach oben. Die Anpassung an die Realität erfolgt mittels Kalibrierung, deren Werte aus Korrelationsmessungen zwischen einer Teststrecke und dem Windkanal gewonnen werden. Diese Korrelation findet in einem Düsenfaktor ihren Niederschlag und ist für jedes Fahrzeug individuell zu ermitteln.

Mit der Thematik der Strömungsbeeinflussung im Windkanal durch die Verdrängungswirkung des zu untersuchenden Objektes, in diesem Fall des Fahrzeuges, befasste sich auch Dr. Edward Duell von der Windkanal-Bau- und Betreiberfirma Jacobs Sverdrup Technology Group. Mittels Korrekturfaktoren (CFD-basiert, computational fluid dynamics) werden die Windkanalverhältnisse auf die Bedingungen der offenen Straße übertragen. Dabei sind die Korrekturfaktoren für die Frontpartie des Fahrzeuges mit Kühler und Verflüssiger anders anzusetzen als für die Fahrgastzelle, da sich die Strömungskorrelationen mit der Umströmung des Fahrzeuges verändern. Darüber liegen inzwischen sehr umfassende Ergebnisse vor.

Von den Tücken der täglichen Arbeit bei der Inbetriebnahme eines neuen Windkanals berichtete sehr praxisbezogen Bernd Zeitvogel von der Fa. Sanden. Die besondere Schwierigkeit bestand am Standort Bad Nauheim, einem Kurort, in den erhöhten Umweltanforderungen. Nicht nur, dass



Schematische Darstellung des BEHR-Windkanals



Messung und Darstellung der Temperaturverteilung des „Thermal Mannequin“

zum Schutz der Heilquellen vor Havarien das gesamte Gebäude in eine Wanne gestellt werden musste, es musste auch auf Schallemission und andere Umwelteinflüsse geachtet werden. Die installierte Kälteleistung beträgt 1 MW. Umfangreiche Sicherheitstechnik (Flammen- und Gassensoren, Ammoniak-Alarm für die Kälteanlage, Löschanlage und Not-Aus bei Reifenpannen) erforderte Anpassungen nach der Inbetriebnahme, da z. B. simulierte Nebelschwaden zu Fehlalarmen führten.

Über den Neubau eines Windkanals für die Entwicklung der Visteon-Kfz-Klimaanlagen berichtete Bernd Schütt. Er machte auf die Tatsache aufmerksam, dass zum Zeitpunkt der Errichtung die voraussehbaren Trends in der Automobiltechnik eine vorausdenkende Konzeption erfordern. So erwartet man wachsende Märkte in extremen Klimazonen mit Umgebungstemperaturen von  $-40$  bis  $+55$  °C. Ebenso ist die steigende Funktionalität der Klimaanlagen, wie z. B. die aktive Regelung und die neuen Klimatechnologien, wie z. B.  $\text{CO}_2$  als Kältemittel oder Wärmepumpenschaltung zu betrachten. Der unter diesen Gesichts-

punkten errichtete Windkanal ist seit kurzem in Betrieb und es werden erste Erfahrungen gesammelt.

Den wohl bekanntesten Windkanal in Europa stellte Gabriel Haller von der RTA Rail Tec Arsenal Wien vor. Dieser Windkanal besteht nun schon in der zweiten Generation und ist vorrangig für die Klimauntersuchungen an Schienenfahrzeugen konzipiert. Extreme Umgebungstemperaturen von  $-50$  bis  $+60$  °C sind realisierbar. Er ist für Schienenfahrzeuge bis 300 m Länge geeignet und es können Wind- bzw. Fahrgeschwindigkeiten bis 300 km/h verwirklicht werden. Bei den Klimatests werden Klimakomfort, Aufheiz- und Abkühlvorgänge sowie Feuchtebeschlag und Vereisung untersucht. Daneben sind Funktionstests für alle Klimakomponenten, für Scheibenwischer, für Wasser- und Schneeabscheidung, für Luftansaugöffnungen und die gesamte Palette der Verschmutzungseinflüsse durchführbar. Hauptkunden sind die Hersteller und Betreiber von Schienenfahrzeugen, es werden aber auch Busse und große Kraftfahrzeuge untersucht. Der Kundennutzen besteht in der Gewährleistung der Auslegungsparameter,

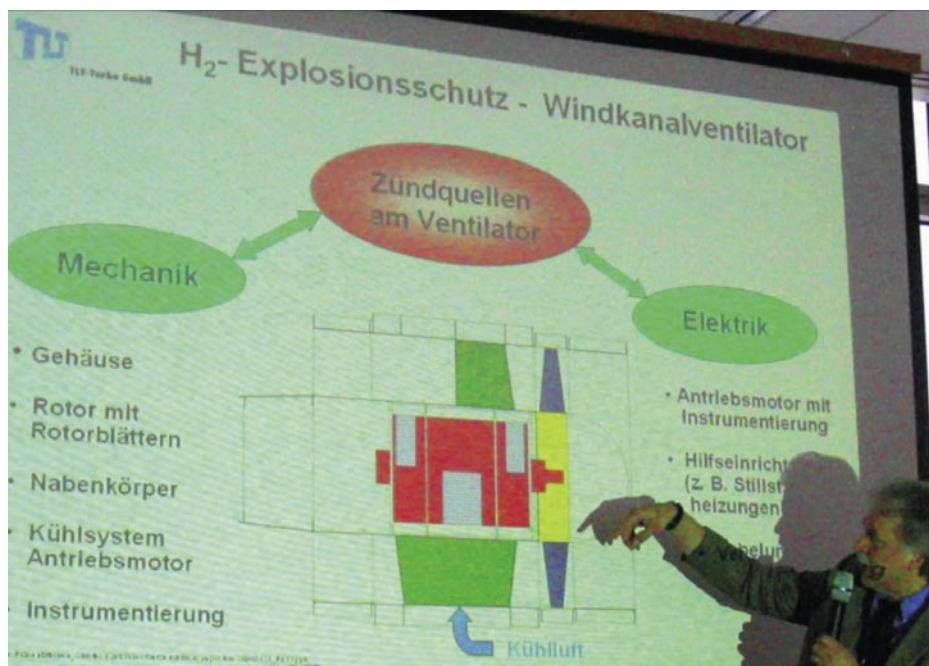
der Sicherheit, Zuverlässigkeit und Behaglichkeit.

Eine spezielle Sicherheitsfrage sprach Dieter Holzdeppe von der Herstellerfirma für Windkanäle TLT-Turbo an. Sie beschäftigte sich mit den Bedingungen, die sich beim Test von Fahrzeugen ergeben, welche mit wasserstoffgetriebenen Motoren ausgerüstet sind, denn auch diese Fahrzeuge müssen in Windkanälen getestet werden. Dabei ist grundsätzlich die europäische ATEX-Richtlinie 94/9/EC einzuhalten, die die Bedingungen für den Explosionsschutz definiert. Gefahr kann durch unkontrolliert austretenden Wasserstoff entstehen. Am Beispiel des Ventilatorbetriebes wurden die Überwachung des Wasserstoffanteils in der Luft, das ausreichend schnelle Abschalten und das Zuführen von Spülluft erläutert.

Im abschließenden Vortragsblock meldeten sich Komponentenlieferanten aus der Kältebranche zu Wort. Jan Danger sprach für die Firma Güntner über Wärmeübertrager für Windkanäle. Er bezeichnete diese als der Formel 1 der Automobilhersteller äquivalente Produkte. Das betrifft sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Abmessungen. Für einen großen Windkanal werden schon 16 km Rohre und  $7500 \text{ m}^2$  Oberfläche verarbeitet. Die Anforderungen an turbulenzarme gut gleichgerichtete Strömung der Luft nach dem Verlassen des Wärmeübertragers gehören zu den besonderen aerodynamischen Eigenschaften und die tragenden Bauteile sind ebenso festigkeitsmäßig wie auch aerodynamisch zu optimieren.

Der Kälteversorgung von Windkanälen widmete sich Dr.-Ing. Alfred Erhard von der AXIMA Refrigeration. Mit der Kältemaschine, für die vorzugsweise Turboverdichter zum Einsatz kommt, ist die gesamte Wärmelast des Windkanals abzuführen und die geforderten Bedingungen für Temperatur, Temperaturdifferenz und Feuchte sind in engen Toleranzen zu gewährleisten. Es ist eine flexible Kälteanlage zu gestalten, die von Vollast bis Nullast das gesamte Spektrum gut regelbar abdeckt. Als Kältemittel wird Ammoniak verwendet und der Kälte Träger muss für einen Temperaturbereich von  $-60$  bis  $+80$  °C geeignet sein. Schnelle Laständerungen müssen schnell kompensiert werden können. Bei mehreren Kühlstellen haben diese unabhängig voneinander zu funktionieren, wozu eine hydraulische Entkopplung der Systeme erforderlich ist.

Schließlich sprach noch Detlev Schwabe von VW über die Organisation der europäischen Windkanalbetreiber CAWA



Dieter Holzdeppe erläutert die Gefahren des Ventilatorbetriebes bei Testes mit wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen im Windkanal

(Climatic Automotive Windtunnel Association), der Vereinigung der Betreiber von Klimawindkanälen in Europa. 1990 mit 12 Mitgliedern gegründet, gehören der Organisation inzwischen 28 Firmen an, die insgesamt 39 Klimawindkanäle betreiben. Es handelt sich um eine nichtkommerzielle Vereinigung ohne Budget, die sich dem vertraulichen Erfahrungsaustausch widmet. Das Hauptgebiet der Arbeit sind der Vergleich der Technik und Organisation beim Betrieb der Kanäle, die Verfahrensweise bei der Kalibrierung der Messtechnik und die Qualitätssicherung. Es sind nur die Betreiber der Windkanäle für die Mitgliedschaft zugelassen. Firmen, die an der Planung und Errichtung arbeiten, werden aus Wettbewerbsgründen von der Mitgliedschaft ausgeschlossen. Als Arbeitsmethode werden jährliche Konferenzen durchgeführt und spezielle Fragen in Arbeitsgruppen behandelt.

Schließlich zog Prof. Reichelt, der das Symposium souverän moderiert hatte, die abschließende Bilanz, der auch der Bericht-

erstatte uneingeschränkt zustimmen kann: Es war eine effektive Veranstaltung mit hervorragender Besetzung der Vortragenden und einem konzentrierten Wissenstransfer. Der Berichtersteller ist überzeugt, dass das Symposium noch für eine viel größere Teilnehmerzahl von Nutzen gewesen wäre. Die Vorträge wurden den Teilnehmern im Original auf einer CD nachgereicht, was die Möglichkeit eröffnet, nachträglich an der Tagung „teilzunehmen“. Das Akademie-Hotel war als Veranstaltungsort eine gute Wahl mit passenden Randbedingungen für die Veranstaltung selbst, für die Übernachtung und für die Versorgung und Entspannung in den Pausen. Prof. Reichelt und der TWK-Mannschaft gebühren dafür entsprechende Anerkennung und gute Wünsche für einen ähnlichen Erfolg bei den beiden weiteren, noch dieses Jahr anstehenden Symposien zur Messtechnik und zu Fragen der Verbindungsleitungen bei CO<sub>2</sub>-Kfz-Klimaanlagen.

U. A.



*Das 7. Karlsruher Fahrzeugklima-Symposium war mit ca. 100 Teilnehmern gut besucht*