
Die kältetechnische Ausstattung von Windkanälen und Klimakammern

Dr.-Ing. Alfred Erhard
Axima Refrigeration GmbH, Lindau



Windkanäle wozu ?

- **Simulation von Umweltbedingungen unter Fahrbedingungen**
- **Test von Systemen und Komponenten**
 - Motor, Klimaanlage (Heizen und Kühlen)
 - Bremsen, Türverriegelung, Scheibenwischer....
- **Fahrtwind wird simuliert**
 - Windgeschwindigkeit wird über Rollenprüfstand geregelt
 - stehendes Fahrzeug mit leichter Luftbewegung (Parken, Stau)
- **Komfortuntersuchungen**
 - Bestimmung des k-Wertes
- **Weniger Feldversuche erforderlich**
- **Reproduzierbare Bedingungen**



Kälte und Wärme im Windkanal

- **Konditionierung des Kanals**
 - Temperatur
 - Feuchte
 - Regelung konstante Temperatur

Kälte und Wärme im Windkanal

- **Wärmequellen**
 - **Antriebsenergie des Gebläses**
 - **Abwärme des Testfahrzeuges**
 - **Abwärme des Rollenprüfstandes**
 - **Pumpenleistung**
 - **Wärmeeintrag aus der Umgebung**
 - **Abkühlung des Kanals**
 - **Sonnensimulation**

Kälte und Wärme im Windkanal

- **Weitere Verbraucher die versorgt werden**
 - Frischluftentfeuchtung und Konditionierung
 - Klimatisierung von Vorbereitungsräumen
 - Wasserkühlung zur Schneeerzeugung
 - Druckluftkühlung
 - Kühlung des Gebläseantriebes
 -

Kälteerzeugung und -Verteilung

- **Hauptwärmeübertrager (im Kanal)**
 - **wesentliche Komponente**
 - **entscheidend für Temperaturschichtung**
 - **geringer Druckverlust - wesentlich für Antriebsleistung**
 - **entscheidend für Strömungsqualität (Konstruktion)**

Kälteerzeugung und -Verteilung

- **Kälteerzeugung**
 - flexible Kälteanlage für alle Bedingungen
 - gute Regelbarkeit
 - Null-Last
- **Kälteverteilung**
 - hauptsächlich Kälteträgersysteme

Eigenschaften von Kälteträgern

- **Betriebstemperaturen von - 60 °C bis +80 °C**
- **Keine Einfriergefahr**
- **Synthetischer Kälteträger oder auf Wasserbasis**
- **Möglichst nicht brennbar**
- **Gute Stoffwerte (z.B. $\rho \cdot c_p$, Viskosität)**
- **Preis**
- **Geringe Umweltbelastung (Wasser-Gefährdungsklasse)**
- **Ungiftig**

Anforderungen an die Kälteanlage

- **Enge Toleranzen**

- in der Luft – Temperatur
 - zeitliche und
 - räumliche Abweichungen z. B. $\pm 0,5K$
- in der Feuchte (Taupunkt Unterschreitung)

- **Unabhängige Systeme**

- keine Störungen bei mehreren Verbrauchern durch strenge hydraulische Entkopplung



Anforderungen an die Kälte

- **Teilweise schnelle Änderungen der Leistung**
 - Stop and Go
 - Beschleunigung / Verzögerung
- **Kontrollierte Änderungen der Temperatur**
 - Temperatur-Rampen mit vorgegebenem, konstanten Gradienten

Anforderungen an die Kälte

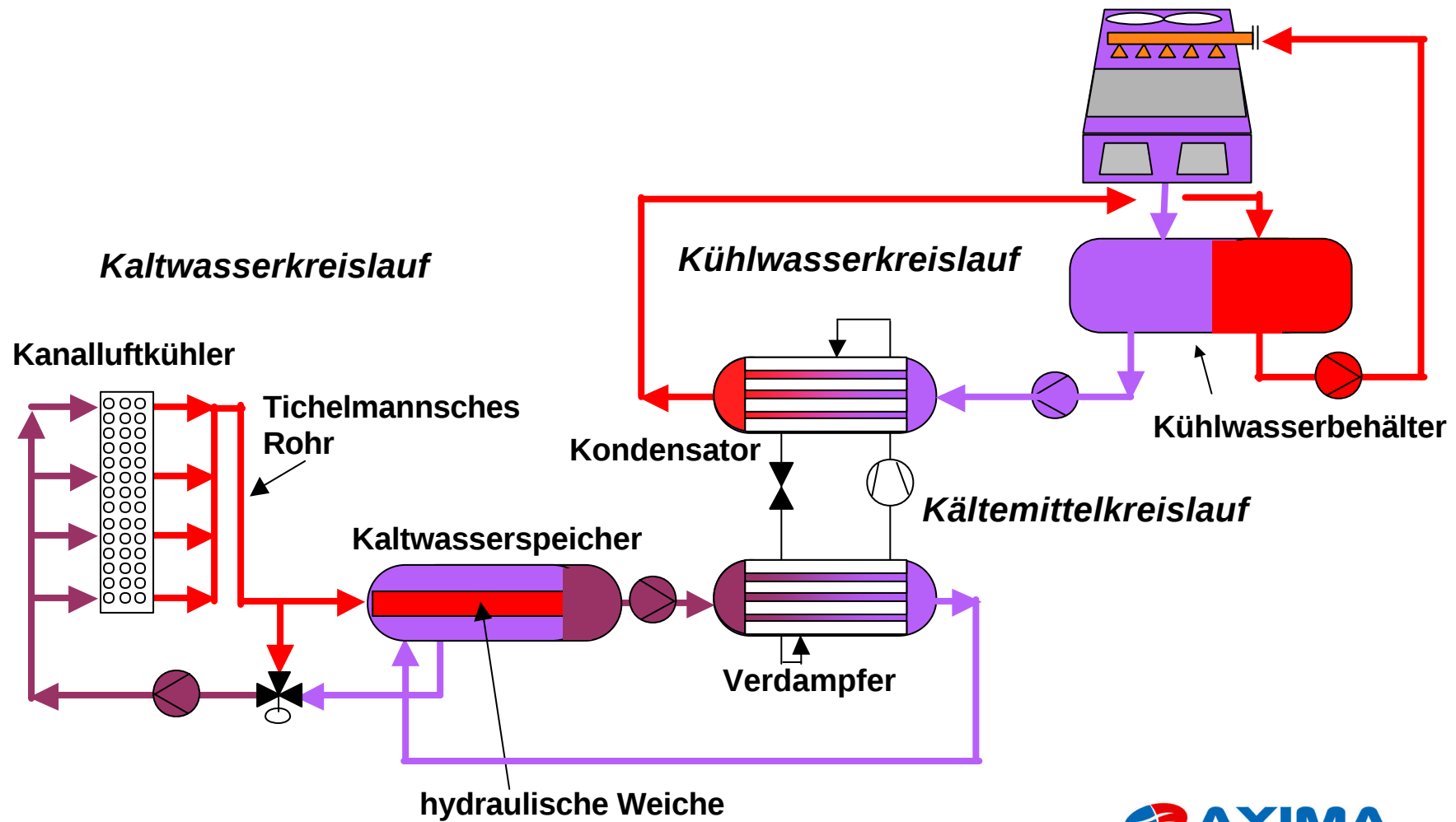
- **Hochwertige Regelung und Steuerung (Komponenten und Software)**
 - Schnell (pneumatik), spezielle Stellgeräte
 - Zuverlässig
 - Gut modifizierbar

Ausstattungsmerkmale

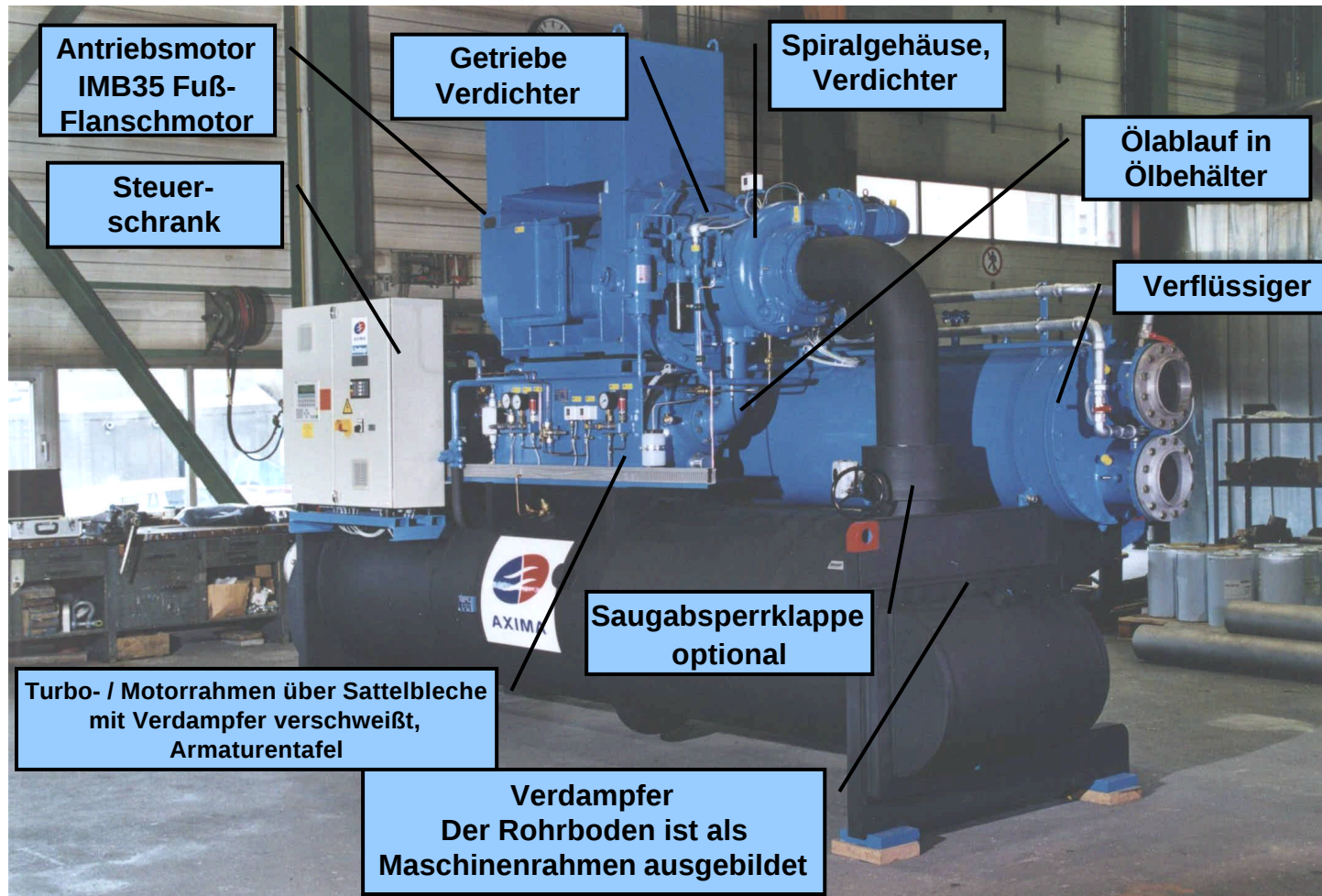
- **Aerodynamik Wind – Kanäle**
 - Konstante Lufttemperatur $\gg 0^{\circ}\text{C}$
 - Wasser als Kälte Träger
 - bei konstanter Temperatur
 - Schnelle Lastwechsel
 - Turboverdichter gut geeignet wegen konstanten Bedingungen und großen Leistungen
 - Hochleistungs Rohrbündelverdampfer
 - Kältemittel R134a
 - Rückkühlung wassergekühlt (Rohrbündel)



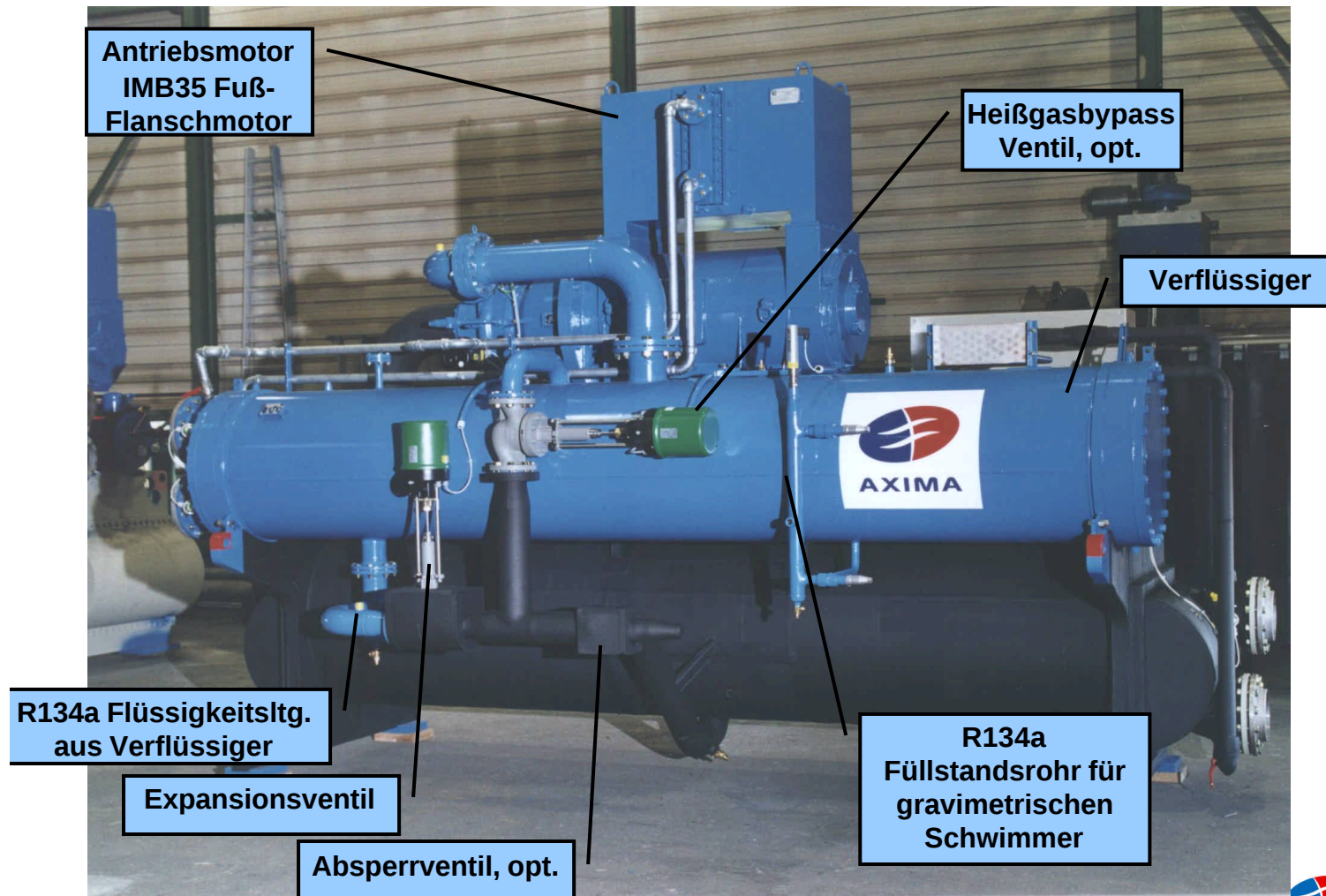
Verfahrensschema



Kälteaggregat mit Turboverdichter



Kälteaggregat mit Turboverdichter



Ausstattungsmerkmale

- **Klima – Wind – Kanäle**
 - **Extrem unterschiedliche Temperaturen (-50°C - +60°C)**
 - **Werkstoffauswahl**
 - **Schnelle Lastwechsel**
 - **Große Leistungen auch transiente Vorgänge**
 - **Schraubenverdichter gut geeignet**
 - **hohe Druckverhältnisse in einer Stufe möglich (Vorteil gegenüber 2-stufigen Anlagen)**
 - **gute Regelbarkeit**
 - **Variables Vi**



Ausstattungsmerkmale

- **Klima – Wind – Kanäle**
 - vorzugsweise vollverschweißte Plattenverdampfer
 - Kältemittel:
 - R717 (Ammoniak)
 - R507
 - Rückkühlung angepaßt
 - energetische Optimierung
 - Zweistufige Entspannung (offener Eco)
 - Variables Vi
 - angepasste Temperaturen



Blick in Maschinenraum



Economizer



R507 Sammler



Hydraulische Weichen



AXIMA
Refrigeration
SVEZ

Ausstattung

- **Weitere Komponenten**
 - **Pumpen**
 - **Regelventile**
 - **El. Heizungen**
 - **Dampf-Heizungen**
 - **Frischluftversorgung**
 - **Befeuchtung**
 - **Automatische Entlüfter bei tiefen Temperaturen**

Zusammenfassung

- Integriertes Gesamtdesign von Kanal, Kühler und Kälteanlage
- Aerodynamische Vorgaben
- Konstruktive Vorgaben
- Energetische Vorgaben
- Luftverteilung, Luftschichtung
- Temperaturverteilung, Temperaturschichtung
- Be-/Entfeuchtung
- Frischluftkonditionierung
- Dynamische Änderungen bei Lastwechseln
(Auswirkung auf Temperatur, Feuchte etc.)

Kälte für Windkanäle - Referenzen

Denso, Eching / München D	-30/+70°C	PKW
Ferrari, Maranello I	+20°C	Formel 1
Benetton, Estone UK	+25°C	Formel 1
Sanden, Bad Nauheim D	-40/+50°C	PKW
Volvo, Göteborg S	+10 / +50 °C	LKW
RTA Winkanal, Wien A	-50 / +50 °C	Bahn
Sauber, Hinwil Ch	+20 °C	Formel 1
Visteon, Kerpen D	-40°C / +60°C	PKW