



Ermittlung der Grundlagen zum Entwurf von mechanischen Verdichtern für Kältemaschinen mit Wasser als Kältemittel im Bereich kleiner Kälteleistungen zwischen 50 kW und 300 kW

Auftraggeber	BMBF/SMWA
Bearbeiter	Dr.-Ing. Bodo Burandt, Dr.-Ing. Alexander Pietsch, Dipl.-Ing. K. Seidel
Deskriptoren	Kälteleistung, Kältemittel, Verdichter, Wasser

Kurzreferat

In dem Vorhaben wurden die Grundlagen für die Entwicklung von Verdichtern für den Einsatz von Wasser als Kältemittel im kleinen Leistungsbereich erarbeitet.

Es wurde die Machbarkeit des Einsatzes eines Verdichters für die Verdichtung von Wasserdampf im kleinen Leistungsbereich nachgewiesen. Hierfür wurden drei ausgewählte Verdichtungsprinzipien (Schraubenverdichter, Axial- und Radialverdichter) untersucht. Es zeigte sich, dass von diesen nur der Radialverdichter für den Einsatz im kleinen Leistungsbereich theoretisch einsetzbar ist. Für den Radialverdichter wurde eine detaillierte Simulation und Auslegung durchgeführt und ein Konstruktionsvorschlag erarbeitet.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Indizes	4
1 Einleitung	6
1.1 Allgemeines	6
1.2 Aufgabenstellung, wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens	7
1.3 Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens	8
1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens	8
1.5 Stand von Wissenschaft und Technik	9
1.6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
2 Definition von Einsatzbedingungen	11
3 Studie zur Einsatzmöglichkeit verschiedener Verdichtungsprinzipien für die Wasserdampfverdichtung	13
3.1 Schraubenverdichter	14
3.1.1 Einleitung	14
3.1.2 Funktionsweise des Schraubenverdichters	14
3.1.3 Besonderheiten der Betriebsweise	17
3.1.4 Der Schraubenverdichter als Wasserdampfverdichter	18
3.1.5 Möglichkeiten der konstruktiven Gestaltung von Schraubenverdichtern für Wasserdampfverdichtung	28
3.2 Axialverdichter	31
3.2.1 Einleitung	31
3.2.2 Funktionsweise eines Axialverdichters	31
3.2.3 Besonderheiten der Betriebsweise eines Axialverdichters	32
3.2.4 Auslegungskriterien	34
3.2.4.1 Wahl der strömungstechnischen Kriterien	35
3.2.4.2 Wahl der geometrischen Parameter	36
3.2.5 Berechnungen	39
3.2.5.1 Kinematischen Verhältnisse	39
3.2.5.2 Geometrische Daten der Schaufel	40
3.2.5.3 Kontrollwerte	40
3.2.6 Einschätzung der Einsatzmöglichkeit eines Axialverdichters	44
3.3 Radialverdichter	52

3.3.1 Einleitung	52
3.3.2 Allgemeiner Aufbau des Radialverdichters	52
3.3.3 Einschätzung der Einsatzmöglichkeiten	53
4 Abschließende Beurteilung der Einsatzmöglichkeit der verschiedenen Verdichtungsprinzipien für Wasserdampfkälteanlagen kleiner Leistung	55
4.1 Schraubenverdichter	55
4.2 Axialverdichter	56
4.3 Radialverdichter	57
4.4 Schlussfolgerung	59
5 Auslegung und Entwurf der Vorzugsvariante – Radialverdichter	60
5.1 Vorleitrad	60
5.2 Laufrad	61
5.3 Nachleiteinrichtung	62
5.4 Zusammenfassung der Auslegungsdaten	63
6 Antrieb der Radialturboverdichter	65
7 Gestaltungskonzeption für Kaltwassersatz mit Wasser als Kältemittel	69
7.1 Direktverdampfer	69
7.2 Zwischenkühler	71
7.3 Direktkondensator	71
8 Entwurf eines Luftprüfstandes	71
8.1 Modell	73
8.2 Ziele	74
8.3 Aufbau des Versuchsstand	74
9 Zusammenfassung	75
10 Literatur	76

Formelzeichen und Indizes

Formelzeichen

Bei mehrfacher Verwendung eines Formelzeichens finden sich im Text entsprechende Erläuterungen.

Bezeichnungen

Symbol	Einheit	Bedeutung
a	m/s	örtliche Schallgeschwindigkeit
A	m^2	Fläche
b	m	Breite
c	m/s	Absolutgeschwindigkeit
c_w		Widerstandsbeiwert
D	m	Durchmesser
\tilde{e}	J/kg	spezifische Laufradarbeit
h	m	Höhe
h	J/kg	Enthalpie
L	m	(Profil) Länge
\dot{m}	kg/s	Massestrom
M		Machzahl
n	min^{-1}	Drehzahl
P	W	mechanische Leistung
\dot{Q}	W	Kälteleistung
q_v	J/m^3	volumetrische Kälteleistung
Re		Reynoldszahl
\tilde{r}		Reaktionsgrad
T	K	absolute Temperatur
T		Teilung
u	m/s	Umfangsgeschwindigkeit
\dot{V}	m^3/s	Volumenstrom
v_i		Volumenverhältnis
w	m/s	Relativgeschwindigkeit
z		Schaufelzahl

Griechische Zeichen

Symbol	Einheit	Bedeutung
α	°	Absolutströmungswinkel
Δ		Differenz
δ	m	Schaufeldicke, Vordrallzahl
η		Wirkungsgrad
φ		Durchflusszahl
μ		Minderumlenkung
ν		Nabenverhältnis
π		Druckverhältnis
ρ	kg/m ³	Dichte
σ		Schnellaufzahl
ω	min ⁻¹	Winkelgeschwindigkeit
ψ		Druckzahl
$\tilde{\psi}$		Energiedifferenzzahl
ζ		Verlustbeiwert

Indizes und Symbole

a	außen
d	dynamisch
E	Eintritt
fa	frei ausblasend
id	ideal
i	innen
k	Kondensation
kr	kritisch
LR	Lauftrad
m	meridionale Richtung
m	mittlere, Meridian
n	Anzahl der Stufen
N	Nabe
NLG	Nachleitgitter
R	Ruhezustand des Gases bei $c = 0$
S	Saugmund, Schaufel, Spalt
st	Stufe
t	total
V	Verdampfer
VL	Vorleitrad
u	Umfangsrichtung
W	Wasser
0	Verdampfung
1	Eintritt
2	Austritt
*	kritisch

Konstante Größen

c_p	= 1865	J / (kgK)	spezifische Wärmekapazität
κ	= 1,33		Isentropenexponent für Wasser
R	= 462	J / (kgK)	spezifische Gaskonstante für Wasser