

Dipl.-Ing. Stephan Wild, Neuenbürg

# **Untersuchung ein- und zwei- stufiger Pulsrohrkühler**

Reihe **19**: Wärmetechnik/  
Kältetechnik

Nr. **105**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	Funktionsprinzip des Pulsrohrkühlers . . . . .	4
2.2	Historische Entwicklung . . . . .	6
2.3	Thermodynamische Beschreibung . . . . .	11
2.4	Regeneratoren für Kleinkühler . . . . .	16
2.4.1	Charakterisierung von Regeneratoren mit Drahtgewebe- packungen . . . . .	17
2.4.2	Auslegung von Regeneratoren für Kleinkühler . . . . .	19
2.5	Darstellung von Kühlprozessen im p,V-Diagramm . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Beschreibung der Versuchseinrichtungen</b>	<b>22</b>
3.1	Gesamtübersicht . . . . .	22
3.2	Darstellung der untersuchten Kühlerarten . . . . .	25
3.3	Beschreibung des Kaltteils . . . . .	27
3.4	Wärmeübertrager . . . . .	29
3.5	Messtechnik . . . . .	30
3.5.1	Temperaturmessung . . . . .	30
3.5.2	Druckmessung . . . . .	31
3.6	Druckwellenerzeugung . . . . .	32
3.6.1	Ventileinheit . . . . .	32
3.6.2	Ansteuerung der Magnetventile . . . . .	38
	Ansteuerung durch PC . . . . .	38
	Speicherprogrammierbare Steuerung . . . . .	38
3.7	Versuchsdurchführung . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Messungen mit einstufigen Pulsrohrkühlern</b>	<b>41</b>
4.1	Doppeleinlaß-Pulsrohrkühler . . . . .	41
4.1.1	Verbindungsleitung zwischen Regenerator und Pulsrohr . . . . .	41
4.1.2	Vergleich zweier Regeneratoren mit 200mesh Drahtgewebe- packungen . . . . .	43
4.1.3	Einfluß der Regulierventile auf die Kälteleistung . . . . .	45
4.1.4	Aspektverhältnis von Regeneratoren . . . . .	48
4.1.5	Bewertung der Messungen mit Pulsrohrkühlern im Doppelein- laßbetrieb . . . . .	49

4.2	Regenerator in Parallelstrombauweise . . . . .	51
4.2.1	Herstellung des Parallelstrom-Regenerators . . . . .	53
4.2.2	Meßergebnisse und Diskussion . . . . .	54
4.3	Vierventiltechnik . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Messungen mit zweistufigen Pulsrohrkühlern</b>	<b>62</b>
5.1	Pulsrohrkühler mit kaltem Phasenschieber . . . . .	63
5.1.1	Messungen mit kaltem Phasenschieber . . . . .	64
5.1.2	Vergleich der Regeneratoren . . . . .	70
5.2	Pulsrohrkühler mit warmen Phasenschiebern . . . . .	74
5.2.1	Kompakter zweistufiger Kühler in Vierventilbetrieb . . . . .	75
5.2.2	Doppeleinlaßbetrieb . . . . .	80
5.2.3	Betrachtung des 6K-Pulsrohrkühlers . . . . .	81
<b>6</b>	<b>Modellierung des Pulsrohrprozesses</b>	<b>86</b>
6.1	Berechnungsmodell . . . . .	86
6.2	Anwendung des Rechenmodells . . . . .	89
6.2.1	Verlustmechanismen beim Pulsrohrprozeß . . . . .	92
6.2.2	Ergebnisse der Modellrechnungen . . . . .	93
	Darstellung der Rechnung im p,x-Diagramm . . . . .	94
	Darstellung der Rechnung im T,x-Diagramm . . . . .	95
6.2.3	Berechnung einstufiger Vierventil- und Doppeleinlaß-Puls- rohrkühler . . . . .	97
6.2.4	Betrachtung eines 8K-Pulsrohres . . . . .	101
6.2.5	Vorschlag eines kompakten Kühlers . . . . .	104
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>106</b>
	<b>Anhang</b>	<b>108</b>
<b>A</b>	<b>Wärmeübergang in Packungen</b>	<b>109</b>
A.1	Drahtgewebepackungen . . . . .	109
A.2	Kugelpackungen . . . . .	111
<b>B</b>	<b>Simulation des Druckverlaufs in Pulsrohren</b>	<b>112</b>
<b>C</b>	<b>Variation der Pulsfrequenz</b>	<b>116</b>
<b>D</b>	<b>Einstellungen der Versuchsanlage</b>	<b>118</b>
D.1	Messungen mit einstufigen Pulsrohrkühlern . . . . .	118
D.2	Messungen mit zweistufigen Pulsrohrkühlern . . . . .	122
D.2.1	Pulsrohrkühler mit kaltem Phasenschieber . . . . .	122
D.2.2	Pulsrohrkühler mit warmen Phasenschiebern . . . . .	124
	Vierventilbetrieb . . . . .	124
	Doppeleinlaßbetrieb . . . . .	125
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>125</b>