

Analyse von Regelparametern hinsichtlich der Wärmerückgewinnung einer industriellen Großkälteanlage

## **Analyse von Regelparametern hinsichtlich der Wärmerückgewinnung einer industriellen Großkälteanlage**

Die „Energie Food Town“ (EFT) betreibt an ihrem Standort in Duisburg eine Energiezentrale, wobei eine industrielle Großkälteanlage das Herzstück bildet. Hierbei handelt es sich um eine mit Ammoniak betriebene zweistufige Kompressionskälteanlage mit einer installierten Kälteleistung von insgesamt ca. 6 MW. Zum einen werden durch die Anlage direktverdampfende Verbraucher auf Normal- und Tiefkälteniveau und zum anderen ein SolekälteNetz versorgt. Weiterhin wird sowohl aus der Kältemittelkondensation als auch aus der Maschinenölkühlung die Abwärme zurückgewonnen. Die Wärmerückgewinnung (WRG) der Kältemittelkondensation erfolgt über die Hochdruckverdichter. Im Hochdruckbereich auf Normalkälteniveau (-10 °C) werden fünf Schraubenverdichter eingesetzt. Außerdem sind für den Niederdruckbereich auf Tiefkälteniveau (-35 °C) weitere fünf Schraubenverdichter installiert. Die Wärme wird in einen Sprinklertank eingespeist, welcher als Pufferspeicher dient.

Im Rahmen dieser Projektarbeit soll anhand verschiedener Regelparameter festgestellt werden, inwieweit die WRG sinnvoll ist und ab wann es besser ist, den Sprinklertank durch einen Gaskessel nachzuheizen. Betrachtet werden nur die Schraubenverdichter im Normalkälteniveau. Da es sich um nahezu baugleiche Verdichter handelt, kann der Fokus auf einen Verdichter gerichtet werden.

Betrachtete Regelparameter sind hierbei Schieberstellung und Stromaufnahme des Schraubenverdichters sowie der Kondensationsdruck des Kältemittels. Die Schieberstellung regelt das Lastverhalten des Verdichters. Somit wird bei Teillast ein Teil der Abwärme über den Verdunsterverflüssiger, welcher als Kühlturm dient, an die Umgebung abgegeben. Weitere relevante Einflussparameter sind unter anderem der Ansaugdruck, die Verdichterdrehzahl, interne Verdichtungsverhältnisse sowie die Zwischendruckansaugung aus dem Economiser. Diese werden bei dem Anlagenbetrieb konstant gehalten.

Für die Betrachtung werden Messungen bei einer Betriebsweise einerseits mit und andererseits ohne WRG durchgeführt. Hierbei wird die Stromaufnahme in Abhängigkeit des Kondensationsdruckes bei konstanter Schieberstellung analysiert. Dadurch soll die Mehrleistung des Schraubenverdichters durch WRG bestimmt werden. Weiterhin wird eine Messung durchgeführt, in der die Stromaufnahme abhängig von der Schieberstellung bei einem konstanten Kondensationsdruck gemessen wird.

Analyse von Regelparametern hinsichtlich der Wärmerückgewinnung einer industriellen Großkälteanlage

Basierend auf diesen Messdaten wird die Wirtschaftlichkeit der WRG betrachtet. Dazu werden anfallende Kosten durch die WRG den Einsparungen durch die Nichtnutzung des Kühlturms gegenübergestellt.

<b>Kosten WRG</b>	<b>Einsparungen Kühlturm</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Strom Verdichter</li><li>• Strom Kondensatorpumpen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Strom Ventilatoren</li><li>• Strom Pumpen</li><li>• Frischwasser und Chemikalien</li><li>• Abwasser</li></ul>

Die Kosten durch WRG sind abhängig von dem Lastverhalten des Verdichters. Zuerst wird der Stromverbrauch abhängig von der Schieberstellung und des Kondensationsdrucks durch eine Näherungsformel berechnet. Dies wird jeweils für den Betrieb mit und ohne WRG durchgeführt. Die Differenz ergibt den Stromverbrauch für den Mehraufwand des Verdichters, den dieser für die WRG zu leisten hat. Weiterhin ist der Stromverbrauch der Kondensatorpumpen bei WRG durch Messdaten gegeben.

Als nächstes wird die zurückgewonnene Wärmeleistung abhängig von der Schieberstellung über eine weitere Näherungsformel ausgewertet. Der Quotient ergibt den Stromverbrauch je zurückgewonnener Wärmeleistung.

Die Verbräuche durch den Kühlturm sind von der Außen- bzw. Feuchtkugeltemperatur<sup>1</sup> abhängig. Damit die Abhängigkeit visualisiert werden kann, werden Kennzahlen gebildet, welche die Strom- und Wasserverbräuche je abgeführte Wärme über den Kühlturm abbilden. In einem Diagramm kann die Kennzahl in Abhängigkeit zu der Feuchtkugeltemperatur aufgetragen werden. Hieraus ergibt sich wieder eine Näherungsformel, über die der Verbrauch je abgeführte Wärmeleistung berechnet werden kann.

---

<sup>1</sup> Die Kühlgrenztemperatur, gemessen als Feuchtkugeltemperatur, ist die tiefste mögliche Temperatur, die sich beim Wärmeaustausch zwischen Luft und Wasser einstellen kann, wenn die zur Verdunstung kommende Wärme ausschließlich von der Luft kommt. Hierbei steht die Wasserabgabe einer feuchten Oberfläche mit dem Wasseraufnahmevermögen der umgebenen Atmosphäre im Gleichgewicht.

## Analyse von Regelparametern hinsichtlich der Wärmerückgewinnung einer industriellen Großkälteanlage

Die jeweiligen Kosten und Einsparungen ergeben sich über die Preise.

<b>Strom [€/kWh]</b>	0,1278
<b>Frischwasser [€/m<sup>3</sup>]</b>	1,37
<b>Chemikalien [€/m<sup>3</sup>]</b>	3,14
<b>Abwasser [€/m<sup>3</sup>]</b>	2,23

Um das Ergebnis auswerten zu können, wird eine Matrix erstellt, aus der hervorgeht, wie viel gezahlt werden muss bzw. wie viel eingespart werden kann, wenn eine MWh Abwärme zurückgewonnen wird. Das Ergebnis wird in der Tabelle im Anhang dargestellt. Aufgezeigt werden Kosten und Einsparungen im Voll- bzw. Teillastbereich in Abhängigkeit von der Außenluft- bzw. Feuchtkugeltemperatur.

Aus der Tabelle im Anhang geht hervor, dass durch Nutzung der WRG Einsparungen erreicht werden. Bei sehr niedrigen Außenluft- bzw. Feuchtkugeltemperaturen entstehen im Teillastbereich jedoch Mehrkosten. Bei Teillastbetrieb unter ca. 50 % kann der Energiebedarf typenabhängig unverhältnismäßig stark zur Verdichterleistung ansteigen. Aus diesem Grund werden die Verdichter im Regelbereich zwischen 60 und 100 % betrieben. Somit werden für eine MWh zurückgewonnene Wärme stets Einsparungen erzielt, was bedeutet, dass eine Nacherhitzung des Sprinklertanks zur Aufrechterhaltung der Temperatur durch den Gaskessel nicht sinnvoll ist.

# Analyse von Regelparametern hinsichtlich der Wärmerückgewinnung einer industriellen Großkälteanlage

t_wet bulb [°C]	t_condensation [°C]	p_condensation [bar]	Energy saving by heat recovery [€/MWh]									
			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
-10	36,3	13	3,5055	3,6304	3,3210	2,5000	1,3080	-0,0142	-1,2407	-2,2059	-2,8006	-2,9542
-8	36,3	13	2,9255	3,0504	2,7410	1,9200	0,7280	-0,5942	-1,8207	-2,7859	-3,3806	-3,5342
-6	36,3	13	2,3455	2,4704	2,1610	1,3400	0,1481	-1,1741	-2,4007	-3,3659	-3,9606	-4,1142
-4	36,3	13	1,7655	1,8904	1,5811	0,7600	-0,4319	-1,7541	-2,9807	-3,9458	-4,5406	-4,6942
-2	36,3	13	1,1855	1,3104	1,0011	0,1801	-1,0119	-2,3341	-3,5607	-4,5258	-5,1206	-5,2742
0	36,3	13	0,6055	0,7305	0,4211	-0,3999	-1,5919	-2,9141	-4,1407	-5,1058	-5,7006	-5,8541
2	36,3	13	0,0255	0,1505	-0,1589	-0,9799	-2,1719	-3,4941	-4,7206	-5,6858	-6,2806	-6,4341
4	36,3	13	-0,5545	-0,4295	-0,7389	-1,5599	-2,7519	-4,0741	-5,3006	-6,2658	-6,8606	-7,0141
6	36,3	13	-1,1345	-1,0095	-1,3189	-2,1399	-3,3319	-4,6541	-5,8806	-6,8458	-7,4406	-7,5941
8	36,3	13	-1,7144	-1,5895	-1,8989	-2,7199	-3,9119	-5,2341	-6,4606	-7,4258	-8,0205	-8,1741
10	36,3	13	-2,2944	-2,1695	-2,4789	-3,2999	-4,4919	-5,8141	-7,0406	-8,0058	-8,6005	-8,7541
12	36,3	13	-2,8744	-2,7495	-3,0589	-3,8799	-5,0719	-6,3941	-7,6206	-8,5858	-9,1805	-9,3341
14	36,3	13	-3,4544	-3,3295	-3,6389	-4,4599	-5,6518	-6,9740	-8,2006	-9,1658	-9,7605	-9,9141
16	36,3	13	-4,0344	-3,9095	-4,2188	-5,0398	-6,2318	-7,5540	-8,7806	-9,7457	-10,3405	-10,4941
18	36,3	13	-4,6144	-4,4894	-4,7988	-5,6198	-6,8118	-8,1340	-9,3606	-10,3257	-10,9205	-11,0741
20	36,3	13	-5,1944	-5,0694	-5,3788	-6,1998	-7,3918	-8,7140	-9,9406	-10,9057	-11,5005	-11,6540
22	36,3	13	-6,6591	-6,5394	-6,8396	-7,6177	-8,7347	-9,9661	-11,1067	-12,0086	-12,5764	-12,7495
24	36,3	13	-9,1143	-9,0055	-9,2864	-9,9736	-10,9315	-11,9706	-12,9290	-13,6967	-14,2075	-14,4218
26	36,3	13	-11,6487	-11,5514	-11,8120	-12,4045	-13,1967	-14,0353	-14,8038	-15,4317	-15,8830	-16,1404
28	36,3	13	-14,2623	-14,1770	-14,4165	-14,9105	-15,5301	-16,1602	-16,7311	-17,2136	-17,6029	-17,9051
30	36,3	13	-16,9816	-16,9088	-17,1262	-17,5164	-17,9547	-18,3654	-18,7283	-19,0578	-19,3820	-19,7313