

Die Kältemaschine

Grundlagen, Berechnung, Ausführung
Betrieb und Untersuchung von
Kälteanlagen

von

Dipl.-Ing. M. Hirsch

Beratender Ingenieur V. B. I.

Mit 261 Abbildungen
im Text



Dipl.-Ing. Paul Rhotert
Stuttgart S, Mörikestraße 5/L

Berlin
Verlag von Julius Springer
1924

**HKK Dokumentation
überlassen durch:**

Helmut Körber

Vorwort.

Die Zeit verlangt, auch in technischer Hinsicht, Vertiefung der Anschauung und Erweiterung des Blicks. Von diesem Gesichtspunkt geleitet, ist die vorliegende neue Arbeit über das vielfach und erfolgreich behandelte Gebiet der Kältemaschine entstanden. Sie setzt allgemeine wissenschaftliche Schulung voraus und verfolgt vor allem praktische Ziele, indem sie einschlägige Forschung auswertet, für unmittelbare Anwendung umformt und eine klare Antwort auf alle Fragen sucht, die bei der Anwendung, dem Entwurf und der Betriebsführung von Kälteanlagen auftreten. Dabei schien es nützlich, neben den Früchten deutschen Geistes die Erfolge ausländischer, insbesondere amerikanischer Fachgenossen gebührend zu würdigen, um zu einem erschöpfenden Bilde zu gelangen. In dieser Erweiterung des untersuchten Gebiets und der Unterordnung von Einzelheiten unter den möglichst klar herausgeschälten Kern der leitenden Gedanken liegt der Unterschied gegenüber anderen Schriften über das gleiche Gebiet.

Die Arbeit gliedert sich in vier Abschnitte: Grundlagen, Berechnung, Ausführung und Betriebsführung. Darüber hinaus ist die Unterteilung möglichst weit getrieben, um, nach dem notwendigen erstmaligen Durchlesen des gesamten Stoffs, die Vorteile eines Nachschlagebuches zu erhalten.

Bei der Erörterung der Grundlagen von Kälteerzeugung und Kälteanwendung sind — wohl erstmalig — ganz allgemeine Gesichtspunkte in den Vordergrund gestellt, um den Leser von der Form abzulenken und in das Wesen einzuführen. Diesem Vorteil gegenüber durfte die Gefahr in Kauf genommen werden, den einen oder anderen Punkt bei der späteren Sonderbehandlung nochmals zu streifen.

Um die Forschungsergebnisse der letzten Jahre für die Berechnung verwertbar zu machen, war es nötig, weit auszugreifen und die in Betracht kommenden Sondergebiete ausführlich zu behandeln. Das Ergebnis stellen Formeln und Festwerte dar, die zwar nach Lage der Dinge nicht als abgeschlossen anzusehen sind, gegenüber den bisher angewandten, vielfach willkürlichen „Erfahrungs“-Zahlen indes als Verbesserung empfunden werden dürften. Auch hier ist in erster Linie den praktischen Wünschen Rechnung getragen und durch Beispiele das Wesentliche beleuchtet. Die Zahlenwerte erfahren absichtlich grobe Abrundungen in den Grenzen, in denen Genauigkeit der Rechnung Zweck hat.

Die Untersuchungen über Ausführung der Kältemaschine wollen vor allem Anweisung für die richtige Bauweise, erst in zweiter Linie

Beschreibung bieten. Durch das dankenswerte Entgegenkommen zahlreicher deutscher Maschinenbauanstalten ist es möglich geworden, bezeichnende Formen zu bringen. Daneben konnten Schöpfungen des Auslandes dank vielfacher rückhaltloser Unterstützung von dieser Seite in reichlichem Maße Verwertung finden. Auf die Beschreibung von ausgeführten Gesamtanlagen wurde verzichtet mit Rücksicht auf den reichlichen Stoff, den Fachzeitschriften hierüber bieten.

Ebenso wie bei der Entwicklung der für die Ausführung geltenden Grundsätze sind auch im letzten Abschnitt über Betriebsführung eigene Erfahrungen verwertet. Für die Untersuchung von Kälteanlagen liegen in den „Regeln für Leistungsversuche an Kältemaschinen und Kühlanlagen“ anerkannte Festlegungen vor, so daß von allgemeiner Erörterung abgesehen werden konnte. Diese „Regeln“ mitsamt den darin aufgenommenen, auf den neuesten Forschungen beruhenden Zahlentafeln stellen ebenso wie die allgemeinen Zahlentafeln der „Hütte“ ein unentbehrliches Arbeitsmittel für den Fachmann dar und haben daher, ohne ausdrücklich wiederholt zu sein, als Voraussetzung der Arbeit zu gelten.

Dank schulde ich allen, die mir bereitwillig mit Unterlagen über ihre Erzeugnisse an Hand gingen, in besonderem Maße dem für die Ausstattung verantwortlichen Verlag, der ohne Rücksicht auf Kosten allen Anregungen in freigebigster Weise entsprach, und, als unermüdlichem kameradschaftlichen Mitarbeiter, meiner Frau.

Frankfurt a. M., im Januar 1924.

M. Hirsch.

Inhaltsverzeichnis.

A. Grundlagen.

Text

I. Die physikalischen Grundlagen der Kälteerzeugung	1
1. Kaltdampfanlage	1
a) Kaltdampfanlage mit Verdichter und Ausdehnungszylinder	2
b) Kaltdampfanlage mit Verdichter und Regler	3
c) Wasserdampfkühlanlage mit Dampfstrahlgebläse	4
d) Kaltdampfanlage mit Aufsauger und Austreiber (Absorptionsanlage)	4
2. Kaltluftanlage ...	6
II. Der Vorgang der Kälteerzeugung im Sankey-Bild	6
1. Kaltdampfanlage mit Verdichter und Regler	6
2. Kaltdampfanlage mit Aufsauger und Austreiber	8
III. Der Vorgang der Kälteerzeugung im T-S-Bild	9
(1) Kaltdampfanlage	11
(2) Kaltluftanlage	12
IV. Die Arbeitsstoffe der Kaltdampfanlage	17
1. Sättigungsdruck	17
2. Kälteleistung	19
3. Verdichterhubraum	22
4. Arbeitsbedarf	25
5. Absorptionsanlage	30
V. Das Wärmebild als rechnerische Grundlage des Kühlvorganges	34
VI. Grundlagen der Überhitzung im Verdichter und der Überflutung im Verdampfer	36
1. Überhitzung	36
2. Überflutung	38
VII. Verbundverdichtung	39
VIII. Grundlagen der Kälteanwendung	46
A. Einfluß der absoluten Höhe der Kühltemperatur auf die Eigenschaften des Kühlgutes	47
1. Die physikalischen Eigenschaften	47
a) feste Körper 47,- b) Flüssigkeiten 48,- c) gasförmige Körper 60	
2. Die chemischen Eigenschaften	66
a) Feste Körper 66;- b) Flüssigkeiten 66,- c) gasförmige Körper 67	
3. Die biologischen Eigenschaften	67
B. Einfluß der Kühlgeschwindigkeit auf die Eigenschaften des Kühlgutes	76
C. Einfluß der Kälteträgerbeschaffenheit auf die Eigenschaften des Kühlgutes	83
1. Die physikalischen Eigenschaften	84
a) Flüssigkeiten als Kälteträger 84,- b) Gase als Kälteträger 85	
2. Die chemischen Eigenschaften	99
a) Flüssigkeiten als Kälteträger 99,- b) Gase als Kälteträger 100	
3. Die biologischen Eigenschaften	100
a) Flüssigkeiten als Kälteträger 100,- b) Gase als Kälteträger 100	

IX. Grundlagen der mittelbaren Kühlung	102
1. Feste Körper als Kälte­träger	102
2. Flüssigkeiten als Kälte­träger	104
3. Luft als Kälte­träger	105
a) Natürlicher Luftumlauf 109, - b) verstärkter natürlicher Umlauf 111, - c) künstlicher Luftumlauf 111	
B. Berechnung.	
	Text
I. Wetter-, Wasser- und Bodenverhältnisse als Voraussetzungen bei Kühlanlagen	117
1. Wetterverhältnisse	117
2. Wasser- und Bodenverhältnisse	119
II. Berechnung der erforderlichen Kälteleistung	120
1. Temperaturerniedrigung des Kühlgutes ohne Gewichts- und Aggregatsänderung	121
2. Temperaturerniedrigung des Kühlgutes unter Gewichtsänderung, ohne Aggregatsänderung des Kühlgutes	125
3. Zustandsänderung des Kühlgutes ohne Temperaturänderung .	128
4... Temperaturerniedrigung und Aggregatsänderung des Kühlgutes, ohne Gewichtsänderung	129
5. Temperaturerniedrigung und Aggregatsänderung des Kühlgutes unter Gewichtsänderung	140
6. Verluste	142
III. Berechnung der bei wärme­geschützten Flächen durchgehenden Wärmemenge	147
1. Wärmeübergangszahlen a und a_0	149
a) Umfassungswände, Decken und Böden der Kühlräume	149.
b) Umfassungswände, Decken und Böden der Kühlerkammern von Außenluftkühlern und Gaskühlern 152. - c) Gefäßwände und Böden von Verdampfern und allgemeinen Flüssigkeitskühlern in Gefäßform, Abdeckungen und Flüssigkeitsspiegel 153. - d) Oberfläche von Leitungen für Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten 153.	
2. Wärmeleit­zahl λ	154
a) Metallwände von Flüssigkeitskühlern und Rohrleitungen	154
b) Baustoffe der Kühlraumumfassung, Kühlerkammern und Luftkanäle	154
c) Wärmeschutzstoffe	158
3. Gleichwertige Wärmeleit­zahl λ' für Luftschichten	160
4. Wärmedurchgangszahl k	162
5. Luftdurchlässigkeit	165
6. Wärmeinhalt	169
7. Veränderungsträgheit	172
IV. Berechnung der Speicherwirkung	172
V. Kritische Geschwindigkeit	177
VI. Berechnung der Wärmeübertragung durch Metallwände	181
1. Wärmeübertragungszahl a und a_0	183
a) Vollkommene Gase und überhitzte Dämpfe an Metallwand und umgekehrt	188
1. Kühlräume mit natürlichem Luftumlauf 188. – 2. Luftkühler mit künstlich verstärktem Luftumlauf 192, - 3. Luftgekühlte Verflüssiger 195 - 4. Druckleitungen 195, - 5. Überhitzungsgebiet des Verflüssigers 195 - 6. Überhitzungsgebiet des Verdampfers 198	
b) Tropfbare Flüssigkeit an Metallwand und umgekehrt	199
1. Flüssigkeitskühler mit natürlichem Umlauf 199, - 2. Flüssigkeitskühler mit künstlich verstärktem Umlauf 200, - 3. Unterkühlungsgebiet des Verflüssigers 202, - 4. Temperaturwechsler 202, - 5. Wasserweg des Verflüssigers 202, - 6. Mittelbare Kühler mit Wasser oder Sole als Kälte­träger 203, - 7. Aufsauger von Absorptionsanlagen, Lösungsseite 203, - 8. Austreiber von Absorptionsanlagen, Lösungsseite 203.	

c) Gesättigte Dämpfe an Metallwand und Metallwand an siedende Flüssigkeit	204
1. Austreiber von Absorptionsanlagen, Dampfseite 204.	
2. Verflüssiger, Sättigungsgebiet 205.	
3. Verdampfer, Sättigungsgebiet 205.	
2. Wärmeleitfähigkeit λ	206
3. Wärmedurchgangszahl k	209
VII. Berechnung der Wärmeübertragung zwischen feuchten Gasen und tropfbaren Flüssigkeiten	217
1. Naßluftkühler	221
2. Mischverflüssiger	224
3. Aufsauger von Absorptionsanlagen	225
4. Austreiber von Absorptionsanlagen	226
5. Berieseler und Rückkühlvorrichtungen	226
VIII. Berechnung des Druckverlustes	229
1. Rohrleitungen, die den Arbeitsstoff führen	231
a) In unterkühltem, flüssigem Zustande 231. - b) In überhitztem, gasförmigem Zustande 233. - c) In gemischtem Zustande, Dampf neben siedender Flüssigkeit 234. - d) als Lösung 236.	
2. Rohrleitungen, die den Kälteüberträger führen	236
a) In unterkühltem, flüssigem Zustande 236. - b) in gasförmigem Zustande	236
3. Rohrleitungen, die das Kühlwasser führen	237
4. Wärmeaustauschvorrichtungen, die den Arbeitsstoff führen	237
a) In unterkühltem, flüssigem Zustande 237. - b) In überhitztem, gasförmigem Zustande 237. - c) In gemischtem Zustande, Dampf neben siedender Flüssigkeit 238. - d.) In gemischter Zustande, Dampf neben Lösung 239.	
e) Als Lösung 239.	
IX. Vorausberechnung der Betriebszahlen bei feststehenden Abmessungen der Kühlanlage	243
C. Ausführung.	
I. Ausführung der Verdichter	246
1. Arbeitsventile	246
2. Ventilanordnung	256
3. Zylinderkühlung	260
4. Anschlussstutzen	261
5. Kolben	266
6. Stopfbuchse	269
7. Zylinderschmierung	273
8. Ölabscheider	274
9. Schädlicher Raum	275
10. Hilfseinspritzung	275
11. Zylinderverkleidung	276
12. Indikatorstutzen	276
13. Gestell	276
14. Triebwerk	276
15. Drehzahl	278
16. Antrieb	280
17. Leistungsregelung	284
18. Verbundverdichtung	286
19. Kreiselerdichter	291
20. Kapselverdichter	291
II. Ausführung der Verflüssiger	292
III. Ausführung der Verdampfer	307
IV. Ausführung der Überhitzungs- und Überflutungsvorrichtungen	315
V. Ausführung der künstlichen Eiserzeugung	320
VI. Ausführung der Luftkühlvorrichtungen	337

VII. Ausführung der Ammoniakabsorptionsanlage	346
VIII. Ausführung der Wasserdampfkältemaschine	349
IX. Ausführung der Kaltluftmaschine	352
X. Ausführung der Rohrleitung	354
1. Rohre	354
2. Flanschen	354
3. Flanschdichtungen	355
4. Formstücke	356
5. Absperrungen	356
6. Regelstelle	359
7. Ausgleichbehälter	363
8. Leitungsführung	363
XI. Ausführung des Wärmeschutzes	371
1. Wärmeleitfähigkeit	372
2. Raumgewicht	373
3. Wärmehalt	373
4. Verarbeitungsfähigkeit	374
5. Festigkeit	374
6. Beständigkeit	375
7. Luftdurchlässigkeit	376
8. Unschädlichkeit	378
9. Feuersicherheit	378
10. Wirtschaftlichkeit	378
11. Schutz gegen Tauwasserbildung	379
XII. Das Gesamtbild der angewandten Kälte	Text 382
1. Fleisch	382
2. Fisch	395
3. Milch und Butter	398
4. Kunstbutter	400
5. Eier	405
6. Obst	402
7. Bier	405
8. Wein	409
9. Trinkwasser	409
10. Schokolade	410
11. Speiseeis	412
12. Öl	413
13. Leichen	413
14. Eisbahn	413
15. Schachtabteufung	414
16. Hochofenwindtrocknung	415
17. Wohnraumkühlung	416
18. Munition	416
19. Kühlhaus	417
20. Schiffskühlung	424
21. Eisenbahnwagenkühlung	428
22. Fernkühlanlagen	429
23. Nährwarenhäuser	431
24. Haushaltskühlanlagen	431
A. Betrieb und Untersuchung. Text	
I. Vorbereitung vor der erstmaligen Inbetriebsetzung	438
II. Aufgaben der Bedienung während des regelmäßigen Betriebs	443
III. Maßnahmen bei längerem Stillstand	455
IV. Unregelmäßigkeiten während des Betriebs	460
V. Veränderungen der Betriebsverhältnisse durch Fremdkörper auf den Kühlflächen	468

Inhaltsverzeichnis

IX

1. Steinbelag	469
2. Salz	470
3. Öl	470
4. Tau	471
5. Reif	471
6. Eis	472
7. Anstrich	472
VI. Der Wasserbedarf des Tauch- und Doppelrohrverflüssigers	473
VII. Wissenschaftliche Untersuchung	478
Anhang (Tafeln)	Text 490
1. Strahlzahl	490
2. Wärmeübergangszahl bei wärmegeschützten Flächen	490
3. Wärmeleitfähigkeit von Metallen	491
4. Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen	492
5. Wärmeleitfähigkeit von Wärmeschutzstoffen	494
6. Zähigkeit, Massendichte und kritische Geschwindigkeit	496
7. Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten	496
8. Wärmeleitfähigkeit von Gasen und Dämpfen	497
9. Wärmeleitfähigkeit von Ablagerungen auf Metallwänden	498
10. Wärmeleitwiderstand durch Fremdkörperbelag	498
11. Wärmehalt von Wärmeschutz- und Baustoffen	498
Sachverzeichnis	Text 500
Namensverzeichnis	508
Firmenverzeichnis	510
Formelzeichen	XI
Index	XII
Abkürzung bei den Quellenangaben	XII
Druckfehlerberichtigung	XII