

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83 (1965)
Heft: 9

Artikel: Mittlere Temperaturdifferenz für Chlorverflüssiger: A. Ostertag zu seinem 70. Geburtstag in Verehrung gewidmet
Autor: Özvegyi, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-68107>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Mittlere Temperaturdifferenz für Chlorverflüssiger

DK 621.593:661.416

A. Ostertag zu seinem 70. Geburtstag in Verehrung gewidmet von F. Özvegyi, dipl. Ing., Zürich

Ingenieur Ostertag war 12 Jahre bei der Firma Escher Wyss AG tätig, und zwar als Konstruktionschef der Kälteanlagen-Abteilung in den Jahren 1933 bis 1945. Es waren bewegte Jahre. Sie führten aus der schweren Krisenzeiten der dreissiger Jahre in eine neue Konjunktur, aber auch durch den zweiten Weltkrieg. Die Technik trat damals in eine intensive Entwicklungsperiode, in der sie sich in ihrer Anwendung gewaltig ausweiten sollte. Am Bau von Kälteanlagen nahm Escher Wyss aktiv teil. Ostertag hat mit seinen Mitarbeitern manches Problem aufgegriffen, und viele davon wurden in guter Weise gelöst. In den Jahren seiner Tätigkeit wurde der Rotasco, der interessante Kältekompessor mit rotierendem Drehkolben, für die industrielle Anwendung durchgebildet, und daneben erfuhr der Frigotrop, ein Kolbenkompressor, mancherlei Verbesserungen. Im Anlagebau bearbeitete die Firma mit Erfolg die Installationen für Chlorverflüssigung, wobei die Kühlung durch Direktverdampfung von Freon vor sich ging. Dazu kamen kriegstechnisch bedingte Klimaanlagen für Stollen und Festungsbauten der Armee. Diese betreute Kollege Ostertag als Fachmann und Offizier. Die bedenkliche Brennstoffverknappung im Kriege brachte recht eigentlich die Einführung der Heizungswärmepumpe. Hier war unser Jubilar sehr aktiv mitbeteiligt, so auch bei der ersten, sozusagen historischen Anlage im Zürcher Rathaus, ferner beim Bau vieler anderer Anlagen für die verschiedensten Anwendungen wie z. B. Schwimmbäder, Abwärmeverwertungen, usw.

Zusammenfassung

Zur Bemessung der Verflüssiger für Dampf-Inertgas-Gemische werden außer den Methoden für streckenweise Berechnung verschiedene Näherungsverfahren angewendet. Eines dieser Verfahren wird im Zusammenhang mit der Berechnung von Chlorverflüssigern skizziert. Bei diesem Verfahren, das auf der Auswertung von Versuchsergebnissen aus dem Betrieb beruht, wird eine den Kondensationsvorgang umfassende mittlere Wärmedurchgangszahl für geometrisch und thermodynamisch ähnliche Wärmeaustauscher benutzt. Mit Rücksicht auf die Berechnung wird als mittlere Temperaturdifferenz der «Integral-Mittelwert» empfohlen, das heißt ein über die Kälteleistung (nicht über die Kälteübertragungsfläche) integriertes Mittel der Temperatur-Reziprokwerte. Gemäß einem schon lange eingebürgerten Vorgehen werden die Temperaturen des Dampf-Inertgas-Gemisches zur Bestimmung des Verlaufs der Temperaturdifferenzen den jeweiligen Partialdruck-Sättigungstemperaturen des Dampfteiles gleichgesetzt [4].

Ein Zahlenbeispiel illustriert die Ermittlung des Integral-Mittelwertes bei der Auswertung einer Betriebsmessung an einem Chlorverflüssiger. Weitere, mit einem Digital-Computer berechnete Kurven zeigen den Charakter des Mittelwertes für Chlor-Luftgemische in Abhängigkeit der Eintrittskonzentration φ_1 des Gemisches und der anzustrebenden Ausbeute φ_2 .

Einleitung

Die Verflüssigung von elektrolytisch gewonnenem Chlor wird durch beigemischte Inertgase wesentlich beeinflusst. Sie erfolgt nicht bei konstanter Temperatur, wie dies bei Wasserdampf- oder Kältemittelkondensation allgemein der Fall ist (Bild 1), sondern bei sinkender Gemischttemperatur, deren Verlauf abhängig ist von der Zusammensetzung des Gasgemisches am Anfang des Vorganges, der angestrebten Chlorausbeute und dem Totaldruck des Gemisches selbst [2, 3].

Der Kälteanlagenbau ist durch seine Vielseitigkeit bekannt und er benötigt ausgezeichnete technische Fachleute. Ostertag fühlte sich im Element. Das beweisen auch die mancherlei Veröffentlichungen, wobei hier nur einige aus den Escher Wyss-Mitteilungen erwähnt seien: «Die Verwendung von Kohlensäure-Kompressoren in der Kälte-Industrie und der Trockeneisfabrikation», «Das Heizen mit Wärmepumpen», «Schnellgefrieranlagen», usw.

Kollege Ostertag war schon während seiner Tätigkeit bei Escher Wyss weit über die von ihm geliebte Technik hinaus kulturell tätig. Sein Einsatz war auch hier vorbildlich, und mitzutun war ihm Herzens- und Gewissenssache. Ende der Kriegszeit entschloss er sich daher zu einer Gewissensverlagerung in seinem Tun. Er traf die Entscheidung, die ihm den noch größeren und viel wichtigeren Einflusskreis ermöglichte, er wurde Redaktor der Schweizerischen Bauzeitung. Damit brauchte er sich nicht von der Technik zu lösen. Wohl aber wurde er einer der Brückenbauer zwischen Technik und Kultur. Escher Wyss und die Neumüller verloren jedoch den von ihnen geachteten und geschätzten Mitarbeiter und Kollegen nicht gänzlich. Ingenieur Ostertag behielt gute Verbindung, indem er hin und wieder beratend tätig war und immer auch waches Interesse für technische Entwicklungen zeigte, für deren Bekanntheit er gerne den Weg in die Bauzeitung öffnete. Hilfe zu leisten, dem Menschen zu dienen, dazu ist Adolf Ostertag zutiefst berufen.

R. Peter, a. Direktor der Escher Wyss AG, Zürich

Aber nicht nur die Kondensationstemperatur ändert sich mit fortschreitender Verflüssigung, sondern auch ihr Temperaturbild weicht vom gewohnten Verlauf bei Film- und Tropfkondensation in Funktion des Kondensationsweges ab, indem sich eine merkliche Temperaturdifferenz (bzw. Partialdruck-Differenz) zwischen der momentanen Gemischttemperatur und der Oberflächentemperatur des Kondensates ausbildet, hervorgerufen durch den Diffusionswiderstand einer dampfarmen und an Inertgas reichen Grenzschicht (Bild 2).

Das Bemessen von Kondensatoren für Dampf-Inertgas-Gemische

Der schwer erfassbare Verlauf der Gemischttemperatur im Verflüssiger und der unabhängigen Änderung der Wärmedurchgangszahl in Funktion des Kondensationsweges schliessen bei der Berechnung der erforderlichen Wärmeübertragungsfläche die Anwendung einfacher Mittelwerte im allgemeinen aus. Auf der Suche nach brauchbaren und praktischen Berechnungsmethoden zeigen sich zwei Möglichkeiten:

A) Dimensionierung eines Kondensators mit Hilfe der allgemeinen Ähnlichkeitstheorie, das heißt rechnerische Größenbestimmung unter Berücksichtigung der physikalischen Stoffwerte des beteiligten Dampfes und der beigemischten Inertgase.

B) Dimensionierung eines Kondensators auf Grund von Messwerten, die an konstruktiv ähnlichen Wärmeaustauschern industrieller Grösse gewonnen wurden.

Zu A)

Die erstmalige Bemessung eines Kondensators für Dampf-Inertgas-Gemisch muss sinngemäss nach «A» erfolgen. Hierfür empfahlen Colburn und Hougen [4] seinerzeit die «streckenweise» Berechnung, bei der die Zustandsänderung sowohl des zu kührenden Gemisches als auch des Kühlmediums laufend zu berücksichtigen ist. Nach Berechnung der Verflüssigungsleistung für jede einzelne Strecke und für jeden m^2 Wärmeaustauscherfläche

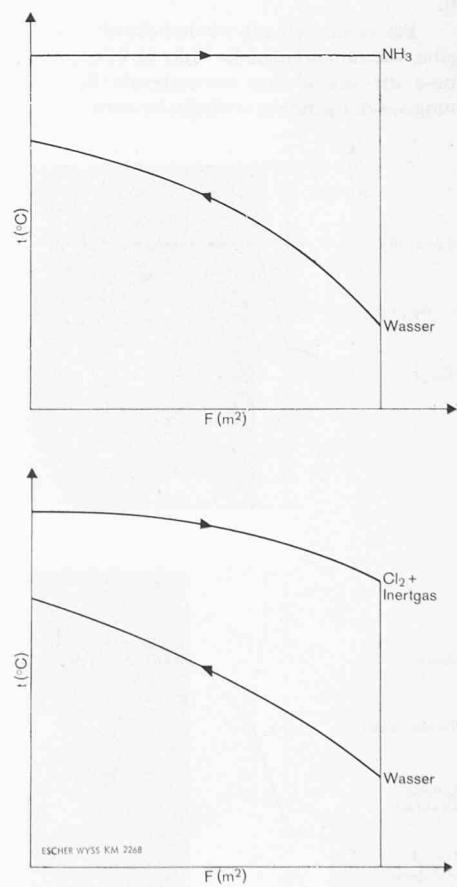


Bild 1. Die dampfseitige Sättigungstemperatur ist in einem Verflüssiger für reine Dämpfe konstant (oberes Diagramm: Temperaturbild eines wassergekühlten NH_3 -Kondensators), dagegen ändert sie sich entlang der Wärmeübertragungsfläche mit fortschreitender Kondensation in Verflüssigern für Dampf-Inertgas-Gemische (unteres Diagramm)

ergibt die Summe der Teilleistungen die gesamthaft verflüssigte Menge.

Dieses Berechnungsverfahren ist eine sogenannte Iteration und setzt eine Annahme von Grösse und Konstruktion des Verflüssigers voraus, deren Richtigkeit durch die nachträglich streckenweise erfolgte Berechnung bestätigt werden muss. Diese Berechnung wird meistens mehrmals wiederholt, bis man zum Schlussergebnis gelangt. Dabei verlangt die Ermittlung eines jeden Streckenleistungswertes meistens mehrere Berechnungen mit verschiedenen Annahmen, denn für jede Strecke muss zunächst die Oberflächentemperatur des Kondensatfilms geschätzt werden, und erst anschliessend lässt sich anhand einer Kontrollrechnung feststellen, ob die Bilanzen des Wärme- und Stoffüberganges stimmen.

Die Bestimmung der Wärme- und Stofftransport-Widerstände ist mit der Genauigkeit der bekannten Berechnungsunterlagen (zum Beispiel nach dem VDI-Wärmeatlas) möglich. Es sei hier auf die Analogie zwischen Wärme- und Stoff-Transport hingewiesen, welche gestattet, die Gleichungen und Nomogramme des konvektiven Wärmeüberganges auf die Probleme des Stoffüberganges zu erweitern [5, 6, 10]. Die rechnerische Lösung eines neuen Problems kann um so mehr mit Aussicht auf Erfolg versucht werden, als die Grundlagenforschung immer häufiger Versuchsergebnisse mit verschiedenen Stoffpaaren und Apparaturen veröffentlicht [7, 8, 9].

Bei einer sich oft wiederholenden Aufgabe, wie zum Beispiel der Chlorverflüssigung, muss die geschilderte zeitraubende Berechnungsweise irgendwie vereinfacht werden.

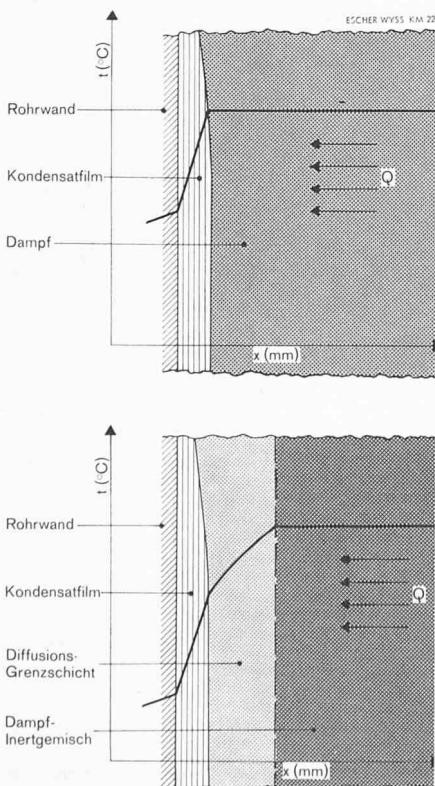


Bild 2. Parallele Darstellung des Temperaturverlaufes in der Grenzschicht bei reinen Dämpfen (oben) bzw. bei Dampf-Inertgas-Gemisch (unten). Bei letzterem erhöht die inertgasreiche Diffusions-Grenzschicht den Widerstand des Wärme- bzw. Stoffüberganges

Eine Näherungsmethode für die Berechnung von Kondensatoren für Dampf-Inertgas-Gemische wurde von Hofmann aus seinem Berechnungsverfahren für Nassluftkühler weiter entwickelt [10]. Nach seinem Vorschlag, einer ebenfalls rechnerischen Dimensionierung anhand der Stoffwerte, wird aus den effektiven Anfangs- und Endtemperaturen des mehr oder weniger überhitzen Gemisches die mittlere, logarithmische Temperaturdifferenz gebildet. Im übrigen beruht dieses Verfahren auf dem «trockenen Wärmeübergang».

Man wird sich nun fragen, ob durch eine im vorliegenden Fall sehr einfache Transformation der «trockenen Wärmeübergangszahl» die Stofftransportvorgänge befriedigend berücksichtigt werden können, insbesondere bei Chlorkondensatoren, in denen immerhin etwa 90% der übertragenen Wärmemenge aus Kondensation und nur etwa 10% aus Abkühlung des Gemisches stammen. Ist der Diffusionswiderstand der dampfarmen Grenzschicht wirklich vernachlässigbar, wie aus den Ausführungen und Beispielen von Hofmann gefolgt werden kann? [10, S. 336, 352 u. f.]

Zu B)

Das Berechnungsverfahren von Escher Wyss für Chlorverflüssiger folgt dem Weg B «Dimensionierung anhand von Versuchswerten», da die vielen einander ähnlich gebauten Escher-Wyss-Verflüssiger, die seit Jahren im Betrieb stehen, eine reiche Sammlung von Erfahrungswerten ermöglicht haben.

Bei diesem Näherungsverfahren wird angestrebt, die massgebende mittlere Temperaturdifferenz möglichst wahrheitsgetreu zu erfassen, um die Unsicherheit auf die heute noch mehr oder weniger fehlerbehafteten Wärmedurchgangszahlen zu beschränken.

Das nachstehend beschriebene Verfahren eignet sich ebenso für die umfassende Auswertung von Betriebsversuchen an Grossapparaten wie auch für die Dimensionierung geometrisch ähnlicher Wärmeaustauscher.

Die mittlere Wärmedurchgangszahl für Chlorverflüssiger

Die mittlere, über die ganze Austauscherfläche eines Verflüssigers gültige Wärmedurchgangszahl wird definiert mit:

$$(1) \quad k_m = \frac{Q}{F \Delta t_m} \text{ [kcal/m}^2 \text{, h, } {}^\circ\text{C]}$$

Q = gesamte, im Chlorverflüssiger übertragene Wärmemenge in kcal/h

F = Oberfläche des Chlorverflüssigers in m^2

Δt_m = mittlere Temperaturdifferenz zwischen dem zu kühlenden Chlordampf-Inertgas-Gemisch und dem Kühlmedium in °C.

Die in zahlreichen Versuchen ermittelten Werte von k_m , berechnet mittels der nachstehend beschriebenen mittleren Temperaturdifferenzen, ergaben mit Hilfe der massgebenden Parameter wie Flächenbelastung, Geschwindigkeit des Dampf-Inertgas-Gemisches usw. die gewünschten Berechnungsunterlagen.

Die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz

$$(2) \quad \Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_{\text{ein}} - \Delta t_{\text{aus}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{ein}}}{\Delta t_{\text{aus}}}} \text{ [} {}^\circ\text{C} \text{]}$$

gilt nur für Wärmeaustauschvorgänge, bei denen die Wasserwerte der beteiligten Stoffe während des Prozesses konstant bleiben. Sie ist somit für den Fall der Verflüssigung eines Stoffes aus einem Dampf-Inertgas-Gemisch nicht anwendbar.

Die massgebenden Temperaturen

Die Überhitzung eines Chlordampf-Inertgas-Gemisches ist am Eintritt in den Verflüssiger meistens gering und kann gegenüber der Kondensationswärme vernachlässigt werden. Daher kann die Gemischttemperatur der mittels des Partialdruckes ermittelten Sättigungstemperatur gleichgesetzt werden [4]. Als Kühlmedium kann Wasser, Sole oder (wie nachfolgend angenommen) verdampfendes Kältemittel verwendet werden. Es wird vorausgesetzt, dass die für den vollständigen Prozess einer Chlorverflüssigung massgebenden – gemessenen oder berechneten – Daten bekannt sind:

p_{tot} = Gesamtdruck des Chlor-Inertgas-Gemisches (ata)

ψ_1 = Dampfanteil am Eintritt des Verflüssigers in Molanteilen = Volumenannteilen; in anderen Arbeiten oft mit φ bezeichnet.

ψ_2 = Dampfanteil am Austritt des Verflüssigers in Molanteilen

t_o = Verdampfungstemperatur des Kältemittels in °C.

Als dampfseitige Eintrittstemperatur gilt die Sättigungstemperatur bei

$$(3a) \quad p_1 = \psi_1 p_{\text{tot}} \text{ [ata]}$$

und als Austrittstemperatur die Sättigungs temperatur bei

$$(3b) \quad p_2 = \psi_2 p_{\text{tot}} \text{ [ata]}$$

Die Ausbeute wird definiert mit:

$$(4a) \quad y_i = \frac{G_i}{G} \text{ [Gewichtsanteil]}$$

G_i = bis zur Stelle «i» verflüssigte Chlor menge in kg/h

G = totale, in den Verflüssiger eintretende Chlormenge in kg/h.

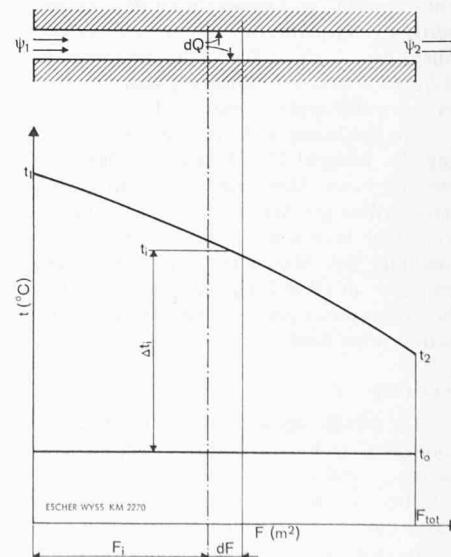


Bild 3. Interpretation der örtlichen Temperaturdifferenz Δt_i in einem Kondensator für Dämpfe in Gemischen mit Inertgas. Übliche Darstellung in Abhängigkeit von der Wärmeübertragungsfläche

Unter der Voraussetzung, dass die trockene Wärmeabgabe des durchströmenden Gemisches und die Kondensationswärme proportional sind, können statt der Chlormengen in Gleichung (4a) direkt die für die Verflüssigung erforderlichen Kältemengen Q eingesetzt werden, das heisst

$$(4b) \quad y_1 = \frac{Q_i}{Q} \quad [\text{Kühlleistungsanteil}]$$

Anderseits besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen y_i und ψ_i nach einer für ideale Gasgemische gültigen Formel [1]:

$$(5) \quad y_2 = \frac{\psi_1 - \psi_2}{\psi_1 (1 - \psi_2)} \quad [\text{Gewichtsanteil}]$$

bzw. nach Umformung für einen Verflüssigerteil von $1-i$:

$$(6) \quad \psi_1 = \psi_1 \frac{1 - y_1}{1 - y_1 y_2} \quad [\text{Molanteil}]$$

Bei Vernachlässigung des chlorseitigen Strömungsverlustes, also $p_{\text{tot}} = \text{konstant}$, ergibt sich die jeweilige Verflüssigungstemperatur

$$(7) \quad t_1 = f(p_{\text{tot}} \cdot \psi_1) \quad [{}^{\circ}\text{C}]$$

(Chlordampftabelle siehe [11])

Mit Hilfe der Gleichungen (6) und (7) lässt sich also ausser der Ein- und Austrittstemperatur t_1 bzw. t_2 auch der ganze Verlauf der örtlichen Gemischtemperatur t_1 in Abhängigkeit von der Ausbeute bzw. dem Kühlleistungsanteil bestimmen.

Der Integral-Mittelwert Δt_m

Die Bestimmung der massgebenden mittleren Temperaturdifferenz setzt somit die Kenntnis der chlor- und kühlmittelseitigen Temperaturverläufe in Abhängigkeit von Kälteleistung bzw. Kühlleistungs-Anteil voraus.

Bild 3 zeigt den Temperaturverlauf in einem Chlorverflüssiger. An der Stelle F_1 (m_2) herrscht dampfseitig die Temperatur t_1 (${}^{\circ}\text{C}$) und kältemittelseitig die konstante Verdampfungstemperatur t_0 (${}^{\circ}\text{C}$).

Für die durch $dF(m_2)$ strömende Wärmemenge dQ gilt:

$$(8a) \quad dQ = k_m (t_1 - t_0) dF \quad (\text{kcal/h})$$

Bezeichnet man

$$(8b) \quad \Delta t_1 = t_1 - t_0$$

und nimmt an, dass der Wärmedurchgangsmittelwert k_m konstant sei, so ergibt sich für die Variablen folgender Zusammenhang:

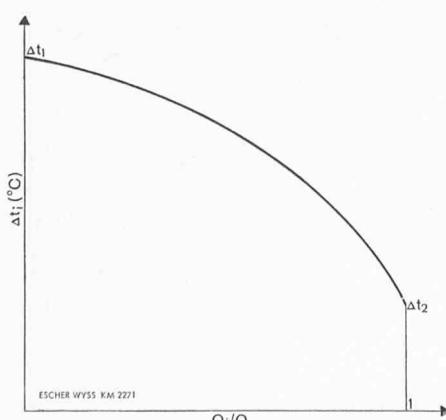


Bild 4. Verlauf der Temperaturdifferenz zwischen den dampfseitigen und kältemittelseitigen Sättigungstemperaturen, dargestellt in Abhängigkeit von der übertragenen Wärmemenge

Tabelle zur Berechnung der Werte $1/\Delta t_i = f(Q_i)$

Q_i/Q	y_i	$1 - y_i$	$\psi_1 y_i$	ψ_1	p_i	t_1	Δt_i	$1/\Delta t_i$
0				0,880	2,02	-17,8	39,2	0,0255
1/10	0,0965	0,9035	0,085	0,869	2,00	-18,0	39,0	0,0256
2/10	0,193	0,807	0,170	0,855	1,96	-18,6	38,4	0,0260
4/10	0,386	0,614	0,340	0,818	1,88	-19,8	37,2	0,0269
6/10	0,579	0,421	0,509	0,755	1,73	-21,9	35,1	0,0285
8/10	0,772	0,228	0,680	0,627	1,44	-26,3	30,7	0,0326
9/10	0,8685	0,1315	0,764	0,490	1,13	-32,0	25,0	0,0400
95/100	0,9167	0,0833	0,807	0,380	0,87	-38,0	19,0	0,0527
99/100	0,9554	0,0446	0,841	0,247	0,57	-46,8	10,2	0,0980
10/10	0,965	0,035	0,849	0,204	0,47	-50,7	6,3	0,1590

$$(8c) \quad \frac{dQ}{\Delta t_i} = k_m dF$$

Die Integration

$$(8d) \quad \int_0^Q \frac{dQ}{\Delta t_i} = k_m \int_0^{F_{\text{tot}}} dF$$

liefert nach Einführung des Mittelwertes der Temperaturdifferenz Δt_m :

$$(8e) \quad \frac{Q}{\Delta t_m} = k_m F_{\text{tot}}$$

oder für den Integral-Mittelwert

$$(9) \quad \frac{1}{\Delta t_m} = \frac{1}{Q} \int_0^Q \frac{1}{\Delta t_i} dQ \quad [1/{}^{\circ}\text{C}]$$

Dieser Integral-Mittelwert Δt_m ergibt sich also durch einfachen Flächen-Ausgleich der Funktion $1/\Delta t_i = f(Q_i)$ bzw. unter Anwendung der Gleichung (4b) $1/\Delta t_i = f(y_i)$ (Bilder 4 und 5).

Auch wenn die Kondensatorkühlung nicht durch verdampfendes Kältemittel, sondern durch Kühlsalz oder Wasser erfolgt, bewahrt dieses Verfahren seinen Vorteil, weil die Temperaturänderung einer Kühlsalz konstanten Wasserwertes in Abhängigkeit der übernommenen Wärmemenge bekannt ist (Bild 6).

Zahlenbeispiel

Durch Messungen an einer Chlorverflüssigungsanlage wurde festgestellt:

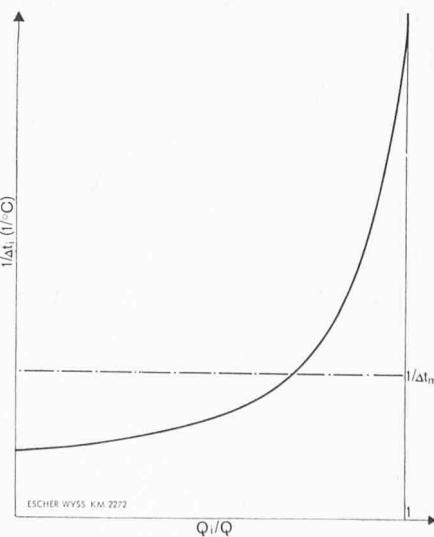


Bild 5. Verlauf der Reziprokwerte der Temperaturdifferenz gemäß Bild 4. Die Planimetrie dieser Kurve dient zur Ermittlung des «Integral-Mittelwertes» der Temperaturdifferenzen

$p_{\text{tot}} = 2,3 \text{ ata}$ (Gesamtdruck des Rohgases)

$\psi_1 = 0,88$ Vol.-% (Cl₂-Anteil am Eintritt)

$\psi_2 = 0,204$ Vol.-% (Cl₂-Anteil am Austritt)

$t_0 = -57,0 {}^{\circ}\text{C}$ (Verdampfungstemperatur des Kältemittels)

Nach Gleichung (5) ergibt sich:

$y_2 = 0,965$ Gew.-% (Ausbeute)

nach Gleichung (3a):

$p_1 = 2,02 \text{ ata}$ (Chlor-Partialdruck am Eintritt)

nach Gleichung (3b):

$p_2 = 0,47 \text{ ata}$ (Chlor-Partialdruck am Austritt)

nach Dampftabelle für Chlor [10]:

$t_1 = -17,8 {}^{\circ}\text{C}$ (Chlor-Verflüssigungstemperatur am Eintritt)

$t_2 = -50,7 {}^{\circ}\text{C}$ (Chlor-Verflüssigungstemperatur am Austritt)

Der arithmet. Mittelwert beträgt:

$$\Delta t_{\text{ar}} = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_0 = 22,75 {}^{\circ}\text{C}$$

Der logarithm. Mittelwert beträgt:

$$\Delta t_{\text{log}} = \frac{(t_1 - t_0) - (t_2 - t_0)}{\ln \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}} = 18 {}^{\circ}\text{C}$$

Die in der obenstehenden Tabelle berechneten Werte $1/\Delta t_i$ sind in Bild 7 über dem Kühlleistungs-Anteil Q_i/Q aufgetragen.

Durch Planimetrieren erhält man $1/\Delta t_m = 0,0318$ und schliesslich den Integral-Mittelwert $\Delta t_m = 31,4 {}^{\circ}\text{C}$.

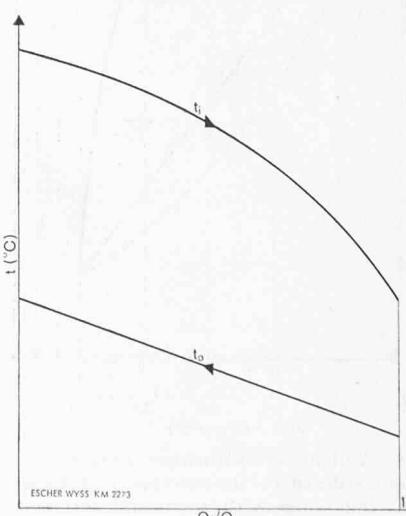


Bild 6. Verlauf der dampfseitigen und kältemittelseitigen Temperaturen in Abhängigkeit von der übertragenen Wärmemenge bei Solekühlung

In Bild 8 zeigt die dick ausgezogene Linie den tatsächlichen Verlauf der Sättigungs-temperatur t_s , der als Grundlage zur Bestim-mung des Integral-Mittelwertes Δt_m diente. Die langgestrichelte Gerade ergibt den arith-metischen, die kurzgestrichelte Kurve den logaritmischen Mittelwert von t_s .

Der Unterschied zwischen dem Integral-Mittelwert und den beiden anderen Mittel-werten kann bei einem Chlorverflüssiger hoher Ausbeute, wie im vorliegenden Beispiel, beträchtlich sein. In diesen Fällen führt die Auswertung von Betriebsversuchen unter der Voraussetzung des arithmetischen oder loga-

rithmischen Mittelwertes zu Fehlrechnungen, welche die Beurteilung der Wärmeübertragung verfälschen.

Die Bestimmung der mittleren Temperatur-differenz mit Rechenmaschine

Um die zeitraubende Arbeit der tabellari-schen Integration zu vermeiden, wurde die Berechnung für die am häufigsten vorkom-menden Fälle bei Escher Wyss mit konstanter Kühlmitteltemperatur im Fortran-System

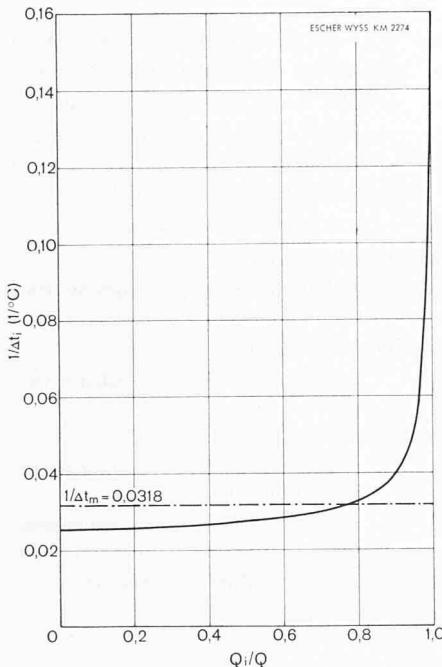


Bild 7. Numerisches Beispiel für die Ermittlung des Integral-Mittelwertes gemäß Bild 5

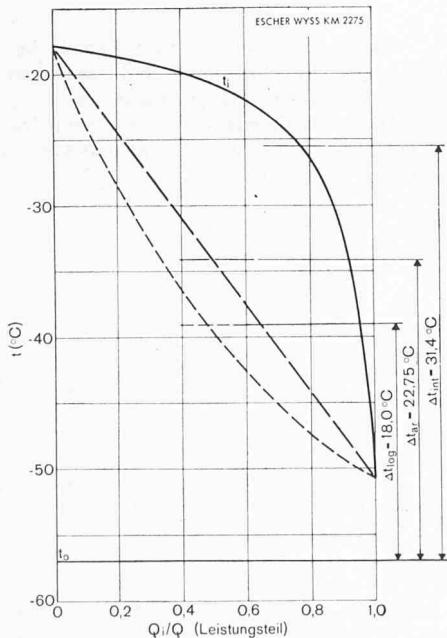


Bild 8. Verlauf der chlorseitigen Temperaturen bei verschiedenen Voraussetzungen: dick ausge-zogen: chlorseitige Sättigungstemperatur; lang gestrichelt: Voraussetzung bei der Bildung des arithmetischen Mittelwertes; kurz gestrichelt: Voraussetzung bei der Bildung des logarith-mischen Mittelwertes

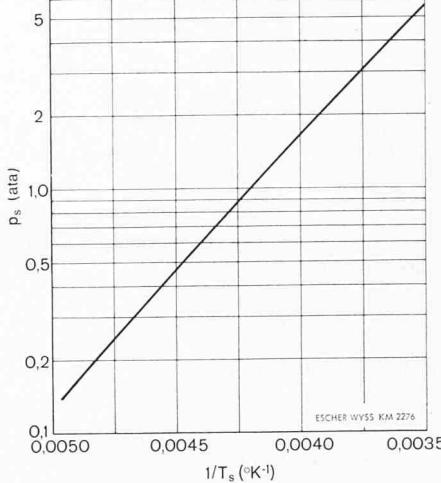


Bild 9. Chlor-Dampfdruckkurve, dargestellt als Funktion $\ln p_s = f(1/T_s)$ zwecks einfacher Pro-grammierung

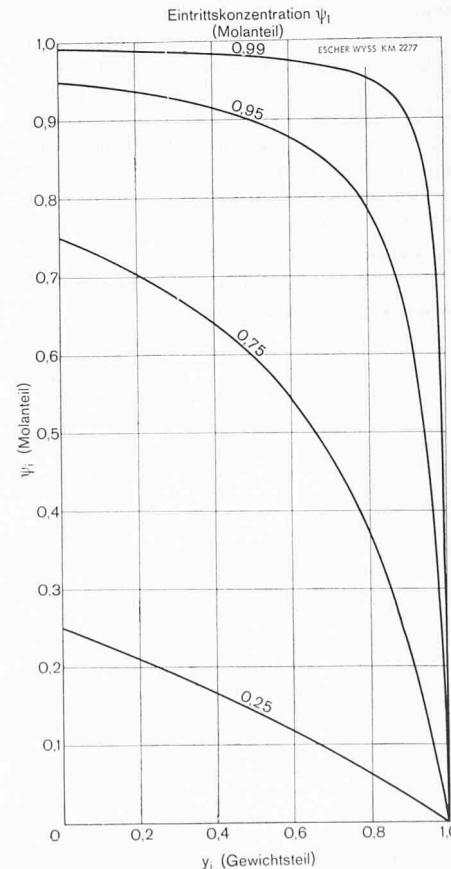


Bild 10. Verlauf der momentanen Gemischkon-zentration ψ_i in Abhängigkeit vom schon er-reichten Verflüssigungsgrad y_i bei verschiedenen Eintrittskonzentrationen ψ_1

programmiert, so dass pro Auswertung – bzw. pro Auslegungspunkt – zur Berechnung der Integral-Mittelwerte mit einem Rechen-automat nur ein Bruchteil von einer Minute benötigt wird¹⁾.

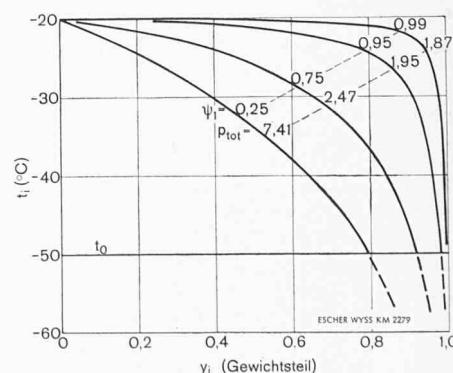
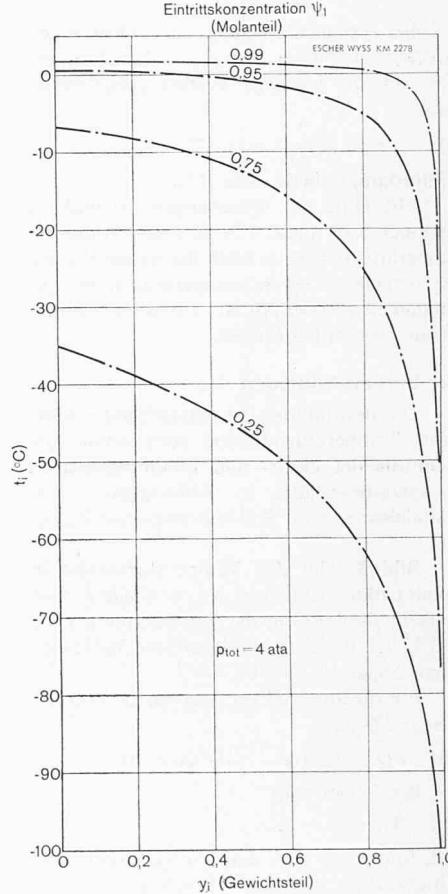
Zur Eingabe der Dampfdruckkurve des Chlors (nach Ziegler [11] in die Rechenma-schine wurde die Kurve in $p_s = f(1/T_s)$ (Bild 9) durch 2 Gerade ersetzt, nämlich:

(10) für $p < 1,2$ ata: $\text{Inp} = A - B/T$

(11) für $p > 1,2$ ata: $\text{Inp} = C - D/T$

wobei unter Berücksichtigung der Wertpaare $t = -65^\circ\text{C}$; $p = 0,2104$ ata
 $t = -40^\circ\text{C}$; $p = 0,7925$ ata

¹⁾ Die mühsame Arbeit des Programmierens wurde von Ing. R. Besson geleistet, dem an dieser Stelle besonders gedankt sei.



Bilder 11 und 12. Temperaturverlauf bei eini-gen möglichen Chlorverflüssigungs-Betriebsfällen. Erst nach der Verflüssigung der überwiegen-den Menge des Chlors, das heißt bei höheren Wer-ten für y_i , tritt bei hoher Eintrittskonzentra-tion ein merklicher Temperaturabfall ein

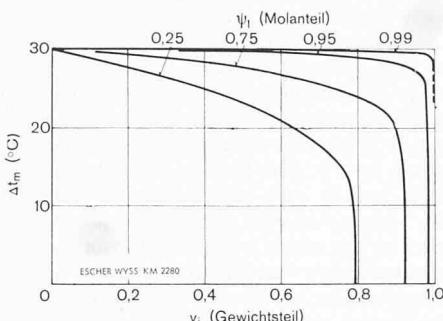


Bild 13. Integral-Mittelwert der Temperaturdifferenz, Δt_m zu Bild 12, in Abhängigkeit vom fortschreitenden Verflüssigungsgrad y_i bei einer Kältemitteltemperatur von -50°C . Der Mittelwert weicht bei kleinen Ausbeuten von der Temperaturdifferenz am Eintritt Δt_1 kaum ab. Erst wenn die zu erreichende Ausbeute der Chlorverflüssigung ($y_i = y_2$) einen bestimmten Wert überschreitet, tritt ein starker Abfall ein.

$$t = -20^\circ\text{C}; p = 1,852 \text{ ata}$$

$$t = +5^\circ\text{C}; p = 4,412 \text{ ata}$$

folgende Konstanten eingesetzt wurden:

$$\begin{aligned} A &= 10,8094 \\ B &= 2575,1^\circ\text{K} \\ C &= 10,2748 \\ D &= 2445,2^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Mittlere Temperaturdifferenz bei verschiedenen Betriebsbedingungen

Der Verlauf der chlorseitigen Sättigungs temperatur in Abhängigkeit der Ausbeute wird nachstehend für einige Betriebsfälle dargestellt.

Bild 10 veranschaulicht zunächst den allgemein gültigen Verlauf des Molanteils ψ_1 in Funktion der Ausbeute y_i für verschiedene Werte des Dampfanteils am Eintritt ψ_1 gemäss Gleichung (6).

Die Bilder 11 bis 13 zeigen einige typische Chlorverflüssiger-Betriebsfälle.

Die Transformation der Kurve $t_1 = f(y_i)$ (zum Beispiel aus Bild 11 oder 12) auf das Feld $t_1 = f(F_i)$ unter Berücksichtigung der Änderung der Wärmedurchgangszahl in Funktion von F_i ruft sicher eine weitere Verzerrung der entsprechenden Kurve in Bild 10 hervor.

Der Temperaturverlauf gemäss Bild 3 wird trotzdem für die Fälle hoher Eintrittskonzentrationen ψ_1 und hoher Ausbeute y_2 , das heisst für die meisten Chlorverflüssiger, konvex sein. Der Integral-Mittelwert entspricht also eher der Wirklichkeit als zum Beispiel der logarithmische Mittelwert (Bild 8).

Literaturverzeichnis

- [1] Hoeftle, A.: Über Chlorverflüssigung, «Angew. Chemie» B 8/1948, S. 206–208.
- [2] Nürnberg-Kubli: Chlorverflüssigung durch Tiefkühlung, «Escher Wyss Mitteilungen» 3/1956, S. 20–23.

[3] Ostertag, A.: Zum Problem der Chlorverflüssigung, «Schweiz. Bauzeitung» 40 und 41/1962, S. 677–680 und 704–707.

[4] Colburn and Hougen: Design of Cooler Condensers for Mixtures of Vapors with Noncondensing Gases, «Ind. Eng. Chem.», Nov. 1934, S. 1178–1182.

[5] Gröber-Erk-Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, Springer-Verlag Berlin, 1961 III. Auflage.

[6] Grassmann, P.: Physikalische Grundlagen der Chemie-Ingenieur-Technik, Sauerländer-Verlag, Aarau, 1961.

[7] Chilton-Colburn: Mass Transfer-Coefficients, «Ind. Eng. Chem.», Nov. 1934, S. 1183–1187.

[8] Renker, W.: Die Wärmeübertragung bei der Kondensation von Dämpfen in Anwesenheit nicht kondensierender Gase, «Chem. Techn.» 8/1955, S. 451–461.

[9] Kirschbaum-Tröster: Untersuchungen zum Stoffübergang bei der Teilkondensation von Gemischdämpfen, «Chem. Ing. Techn.» 6/1960, S. 395–400.

[10] Hofmann, W.: Wärme und Stoffübergang in Gas-Dampfgemischen, Plank: Handbuch der Kältetechnik, Band III, Springer-Verlag, Berlin 1959.

[11] Ziegler, L.: Thermische Eigenschaften von Chlor, «Chem. Ing. Techn.» 11/1950, S. 229–248.

Adresse des Verfassers: F. Özvegyi, dipl. Ing., Escher Wyss AG, 8023 Zürich, Postfach.

DK 167:001.891

Remarques sur la méthodologie de la recherche

Les principes de technicité et de solidarité

A Adolf Ostertag pour son 70ème anniversaire

Par F. Gonseth, Dr, Professeur honoraire de l'Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne

1. Pourquoi une méthodologie de la recherche?

On peut s'étonner de la réserve avec laquelle les milieux qui pratiquent la recherche accueillent les études qui prétendent porter sur une méthodologie de la recherche. Certes, dès qu'on prétend s'élever à des considérations générales, on court le risque de s'égarter. Mais la recherche méthodologique n'est pas la seule à courir ce risque. Il en est de même de toute recherche qui ne trouverait pas à mettre ses résultats à l'épreuve dans un horizon de réalité qui puisse lui servir de champ de garantie. Or, il faut bien en convenir, le champ de garantie des recherches méthodologiques ne se découvre pas du premier coup. Pour le dégager et l'avoir à sa disposition, il faut se livrer à certaines réflexions, à certaines études préalables. Celles-ci éveillent souvent le doute parce qu'elles portent moins sur les résultats de telles ou telles recherches particulières que sur les méthodes, grâce auxquelles ces résultats ont été obtenus. Ces réflexions, dira-t-on, ne sont-elles pas toutes proches des réflexions philosophiques dont il a fallu que la recherche se garde pour accéder à l'objectivité? Quels moyens avons-nous d'en juger avec quelque sécurité? C'est là précisément poser la question du champ de garantie. Mais il est bien clair que celui-ci ne peut s'offrir qu'à celui qui entreprend de le découvrir. Il y a là un certain obstacle à franchir qui n'est pas d'ordre scientifique et qu'on ne franchira pas sans une certaine bonne volonté.

Faut-il faire un reproche au praticien qui reste sourd aux explications du méthodologiste lorsque celui-ci entreprend de lui expliquer quelles garanties il entend mettre de son côté? Le praticien serait certainement sans reproche s'il se gardait vraiment de toute idée préconçue, de toute idée en particulier dont en fin de compte une certaine tradition est la seule garantie. Or, tel n'est pas le cas. Lorsqu'un astronome affirme par exemple que «le temps mathématique est la limite du temps des physiciens», il y a là un emploi audacieux (pour ne pas dire arbitraire) du mot limite qui n'est garanti ni par la pratique du mathématicien, ni par celle du physicien, ni par celle de l'application des mathématiques à la physique. Il s'agit là somme toute

d'une opinion méthodologique toute personnelle dont on ne sait comment le champ de garantie pourrait être découvert. Peut-être trouvera-t-on que cet exemple est trop singulier pour être convaincant. Qu'à cela ne tienne. Bien des physiciens coupent court à toute analyse méthodologique de quelque ampleur par une profession de foi opérationnaliste. «Le temps du physicien, diront-ils, est tout simplement défini par les opérations qui concourent à le mesurer, la fabrication de l'instrument y comprise.» Il est clair que la doctrine opérationnaliste est extrêmement commode. Elle ferme toutes les avenues au bout desquelles pourraient se poser de dangereuses questions méthodologiques ou philosophiques et sauvegardent l'autonomie du physicien. Mais est-elle juste? Pour qu'on puisse en décider, il ne suffit pas que certains aient tendance à en faire un lieu commun. Si commode soit-elle, elle n'a rien d'évident. Pourquoi ne se préoccupe-t-on pas davantage d'en éprouver la justesse? Car, j'ai tout lieu de le penser, cette doctrine est fausse.

Il convient, pour ne pas se perdre en de stériles controverses, d'observer ici une discipline rigoureuse. A titre d'hypothèse, chacun a le droit d'avancer ses propres vues méthodologiques, pourvu qu'on ne puisse pas invoquer contre elles le témoignage de certains faits indubitables. Mais tant que ces vues restent sans garanties objectives, personne n'est en droit de leur conférer un autre statut méthodologique: ce ne sont encore que des hypothèses dont la justesse reste encore en suspens. Chacun est en droit de les mettre en doute et même de n'en pas tenir compte. Mais personne n'a celui d'en affirmer la fausseté sans produire ses propres raisons. — Ce sont là d'ailleurs des «banalités méthodologiques» sur lesquelles je n'insiste que pour les appliquer à moi-même. Je viens en effet d'écrire que j'ai tout lieu de penser que l'opérationnalisme est une doctrine fausse. Il me faut donc me plier à la discipline dont je viens de rappeler les règles élémentaires et fournir mes raisons. En voici l'essentiel:

La thèse opérationnaliste peut-elle être mise à l'épreuve? Est-il possible, par exemple dans les cas du temps envisagé comme une grandeur physique, d'en ramener la mesure (fabrication de l'instrument y comprise) à une suite d'opérations bien délimitées et de n'employer