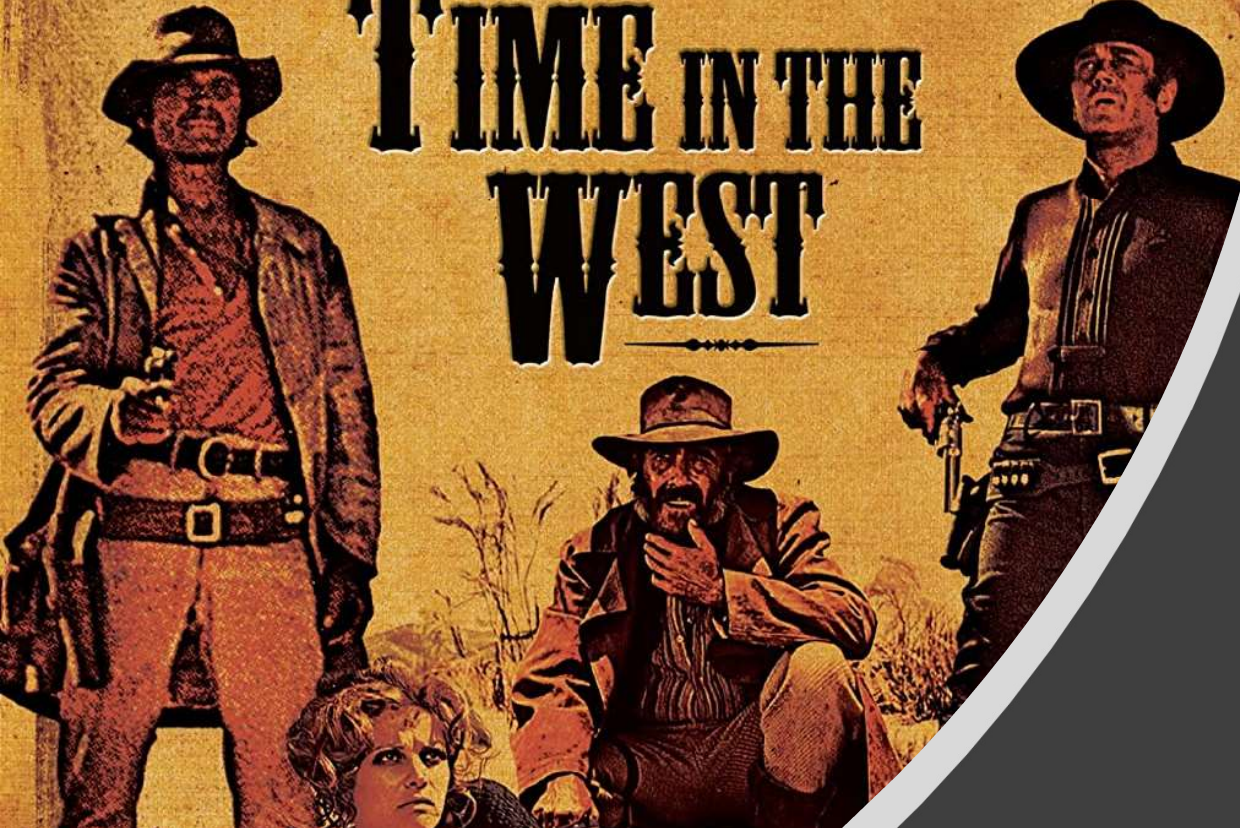


Once upon a  
time ....

A SERGIO LEONE FILM

# ONCE UPON A TIME IN THE WEST



Once upon a  
time ...





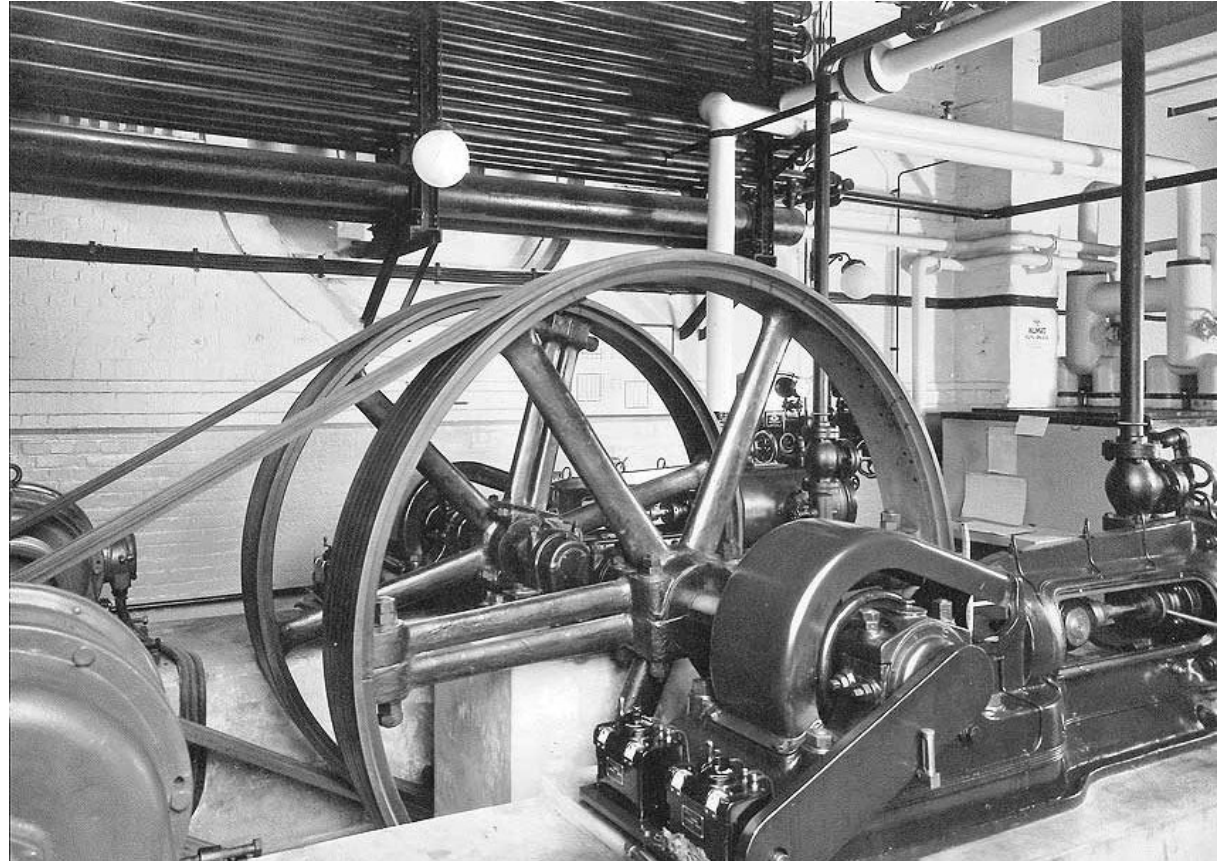
# Refrigeration in the Fishing Vessel, before, now and in the future

Alexander Cohr Pachai  
Senior Product Specialist  
Johnson Controls Denmark

Some slides kindly provided by Professor Dr. Armin Hafner, NTNU, Norway

Once upon a  
time ....

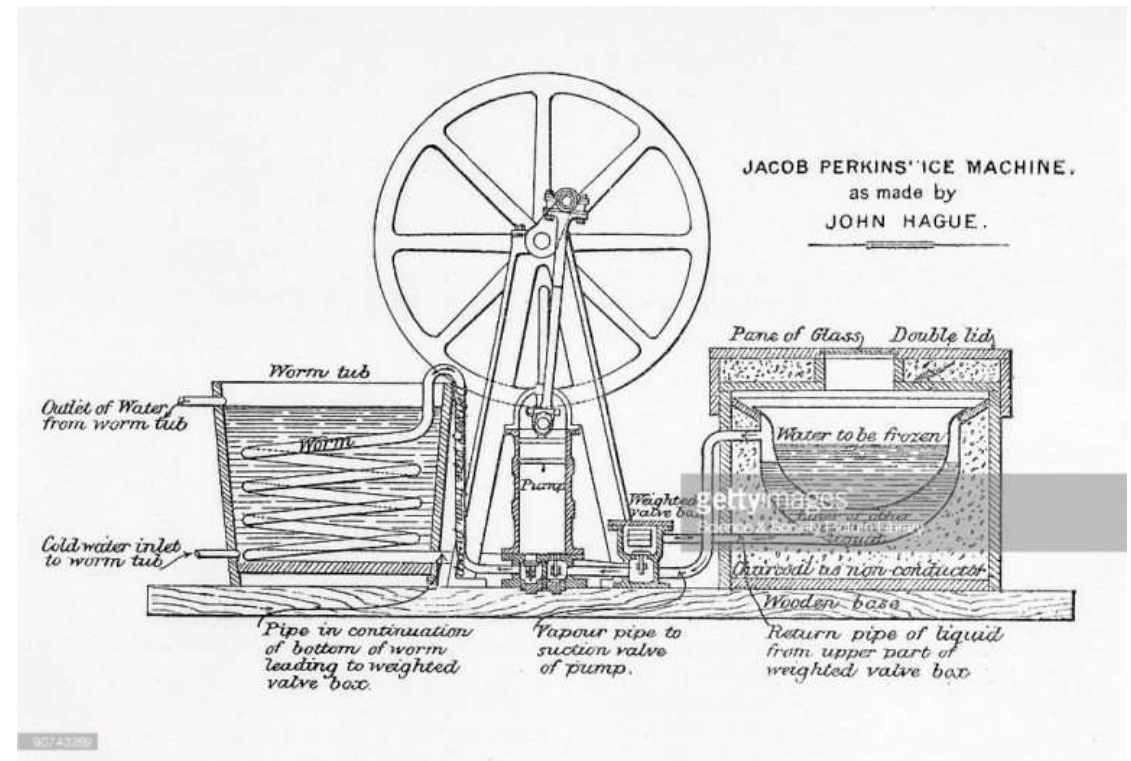
---

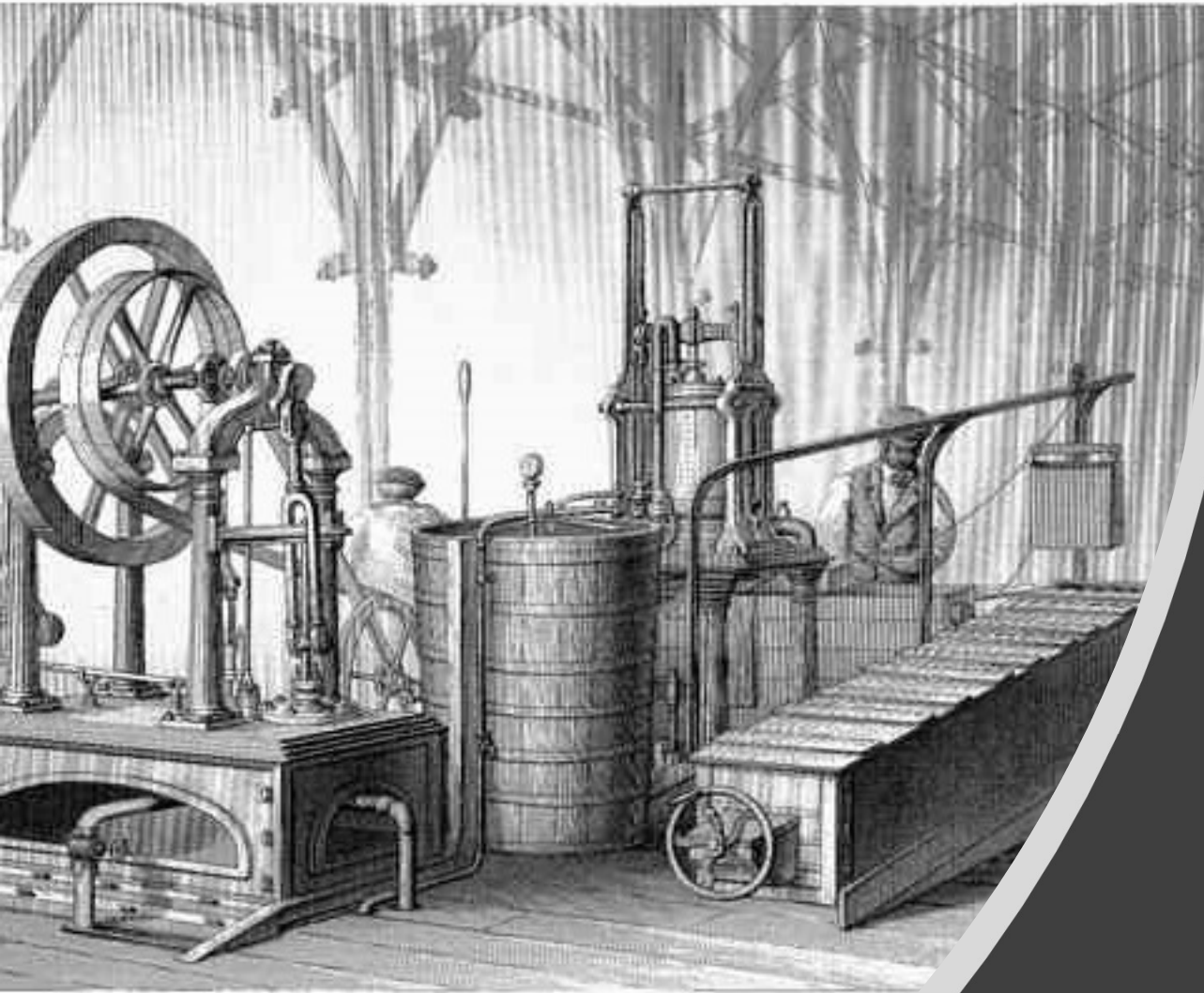




# Jacob Perkins's ice machine 1854

- The ether machine had a bad habit of exploding unexpectedly
- The Irish mathematician and physicist William Thomson in 1852 introduced the idea of a heat pump
- Same William Thomson later became Lord Kelvin and introduced the thermodynamic temperature scale



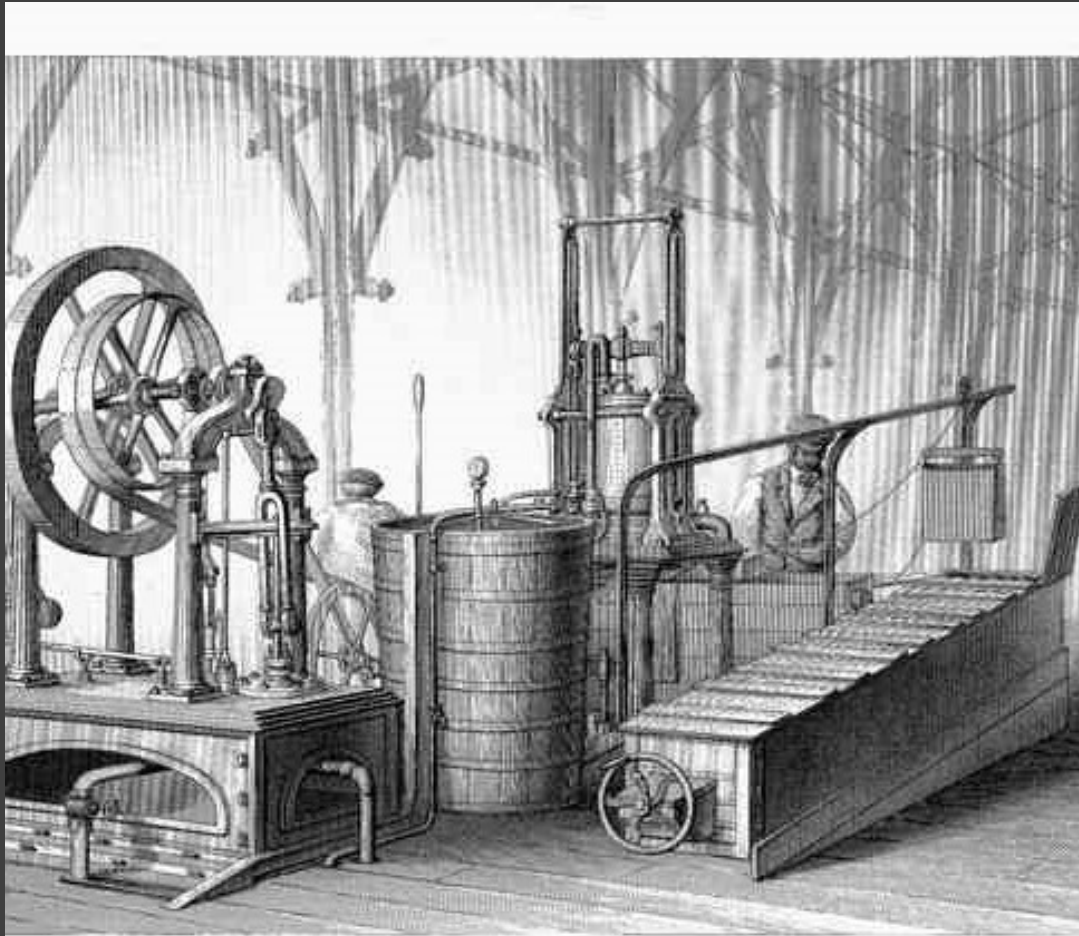


PATENT ICE MAKING MACHINE

THIS MACHINE IS ORDERED BY CONTRACTING THE SAILORS BY THE  
HONORABLE THE SECRETARY OF THE NAVY AND THE HONORABLE THE SECRETARY OF THE  
ADMIRALTY AND THE HONORABLE THE SECRETARY OF THE AIR FORCE AND THE HONORABLE THE SECRETARY OF THE ARMY

James Harrison,  
Australia, and the  
World's First Patented  
Refrigerator in 1854

Working fluid: Methyl  
Ether



PATENT ICE MAKING MACHINE

THIS MACHINE IS CAPABLE OF PRODUCING 200 GALLONS OF PURE ICE  
PER HOUR AND IS SUITABLE FOR HOUSES AND SMALL STORES

James Harrison, Australia, and the  
World's First Patented  
Refrigerator in 1854

Working fluid: Methyl Ether

Harrison actually new of Perkins  
prototype and refined it



# Inventors and pioneers of mechanical refrigeration

Absorption cycle:

- **Ferdinand Carré** (1824-1900), France  
Patent NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O absorption system in 1859

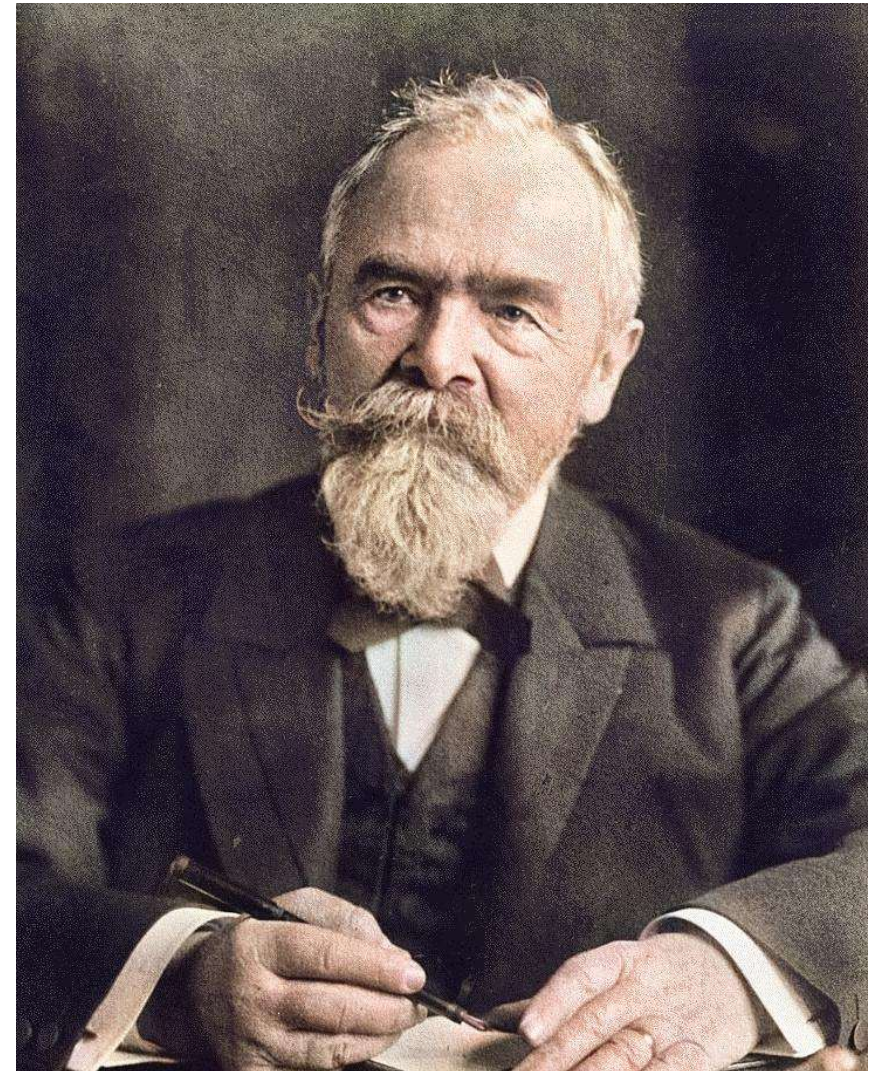






## Carl von Linde

- The first Linde refrigeration machine
- Linde made his first compression refrigerating machine using methyl ether in 1875. That machine, however, was not gas-tight and the leaking methyl ether caused explosions in the engine room, seriously injuring one worker. In 1876, he made his first ammonia compressor with two vertical cylinders, employing glycerin as a sealant.



Source: [First Linde ammonia chiller takes centre stage - Cooling Post](#)



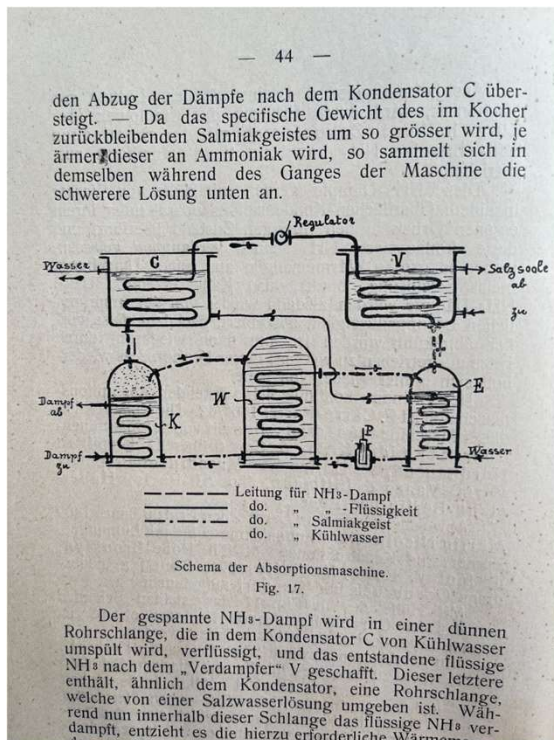
## Harvest of natural ice, Denmark

- After some winters with too little natural ice, both in Denmark and Norway, Carlsberg decided to invest in the first mechanical  $\text{NH}_3$  refrigeration system to control the temperature in his beer production
- The producers of natural ice set up a fierce fight against mechanical refrigeration systems, which is another story





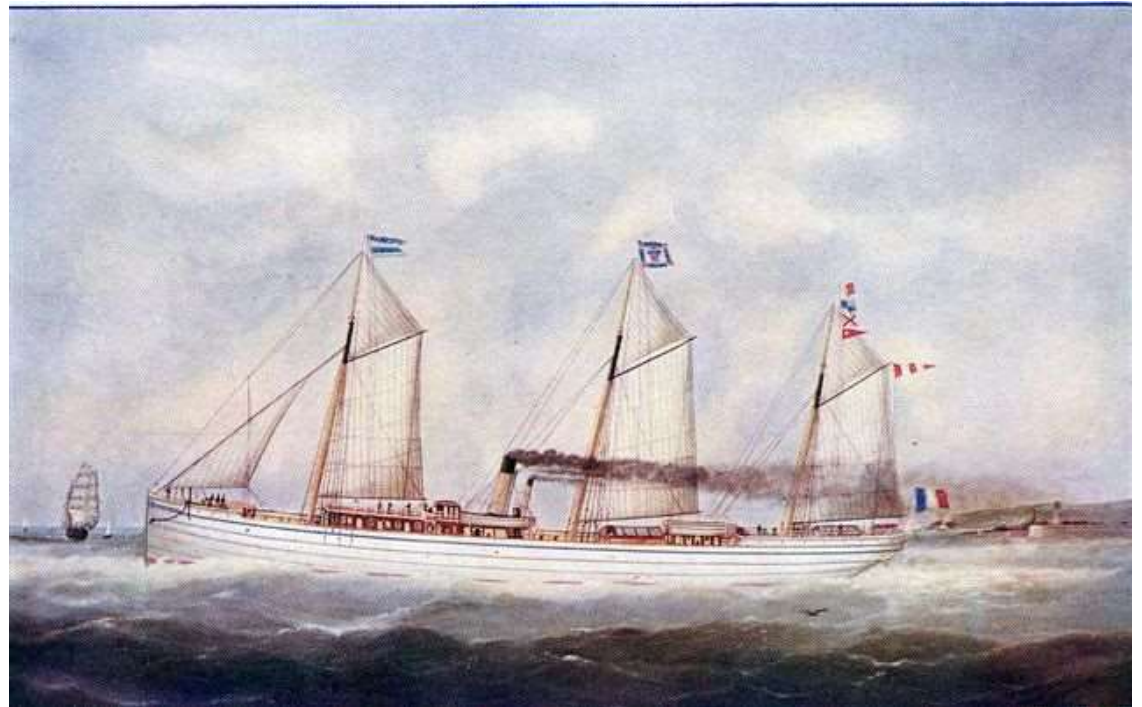
# The first continuous absorption machines



1904

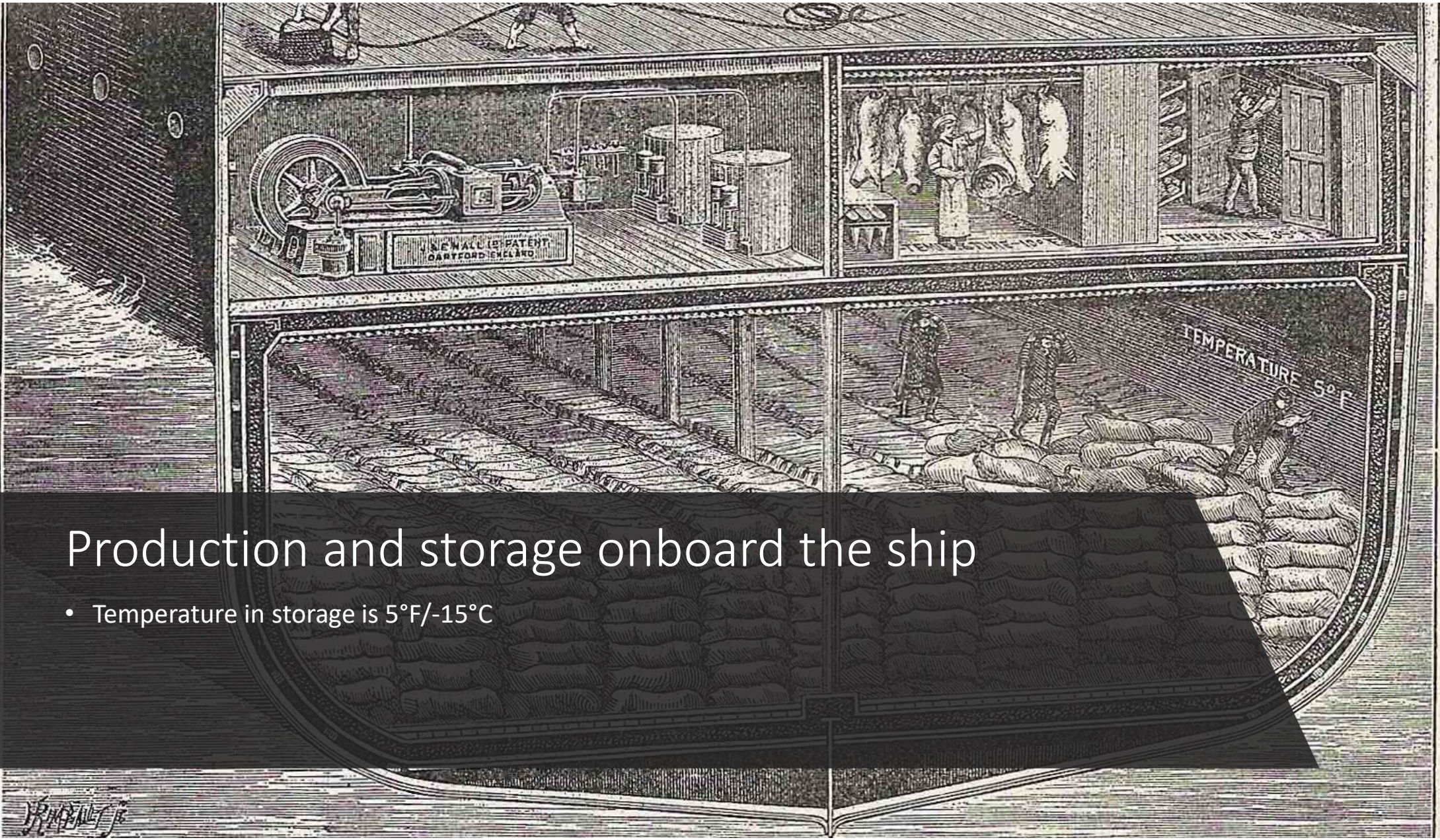
# The first transport of frozen food to the UK

- In the UK the production of meat was not sufficient to feed the population
- The imported meat was salted – and hated
- When the meat arrived in the UK it created big joy because people could see an end to salted meat



Roger Thévenot: A history of refrigeration throughout the world, translated from French by J.C. Fidler, 1979, International Institute of Refrigeration





# Production and storage onboard the ship

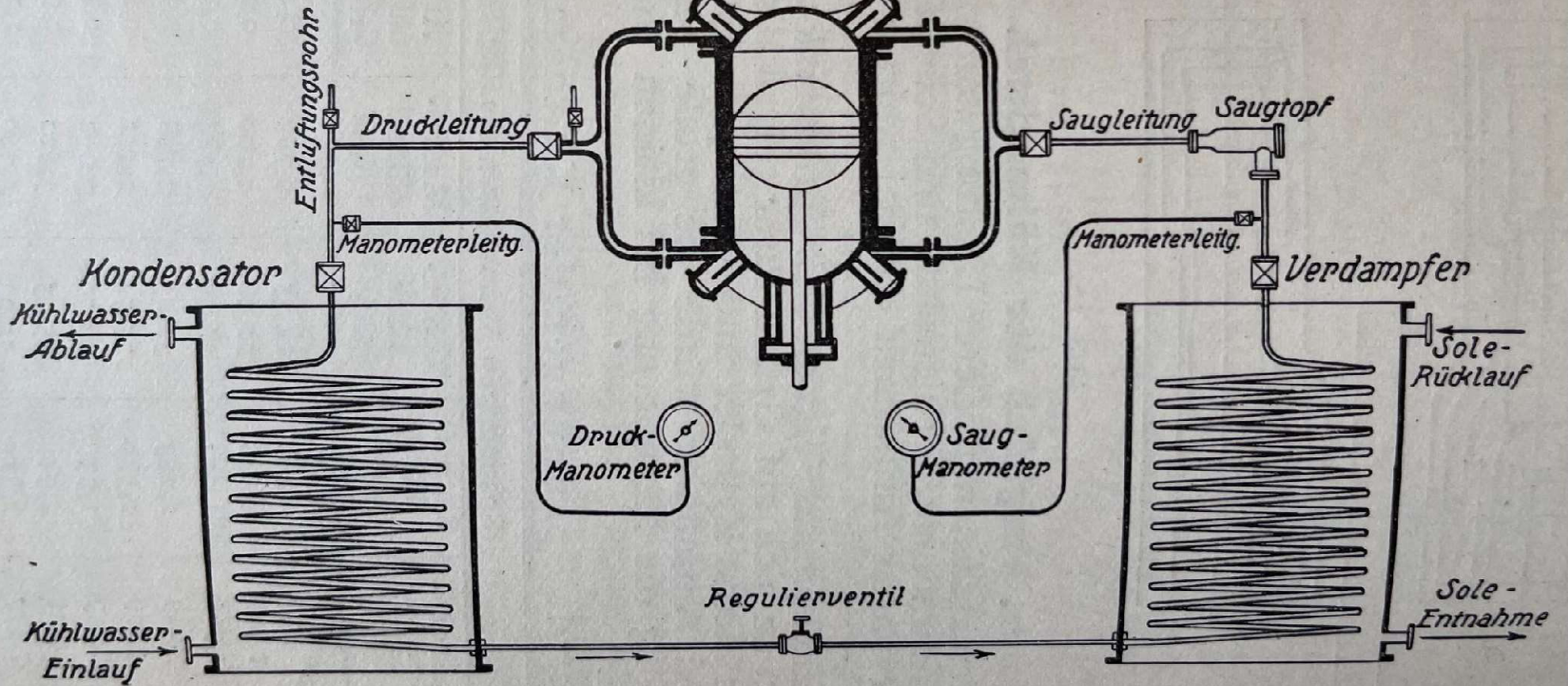
- Temperature in storage is 5°F/-15°C



# Sabroe compressor no. 2 from 1897



Kompressor





# The air cycle machines, 1904

## A. Die Kaltluftmaschinen.

Das Prinzip, auf welchem die Konstruktion der „Kaltluftmaschinen“ beruht, ist kurz folgendes:

Atmosphärische Luft wird von einem mit Ventilen versehenen Cylinder eingesogen und zusammengepresst; die komprimierte und dadurch erwärmte Luft wird mittels Wassers abgekühlt, sodass sie ihre ursprüngliche Temperatur wieder erreicht und alsdann in einen zweiten Cylinderraum geleitet. In letzterem lässt man nun die komprimierte Luft unter Arbeitsleistung expandieren, indem man sie einen Kolben vor sich fortschieben lässt, wobei die Luft auf eine niedrige Temperatur abkühlt.

Der Unterschied zwischen jener Arbeit, welche zur Kompression erforderlich ist und der, die bei der Expansion wieder gewonnen wird, muss durch einen Motor ausgeglichen werden.

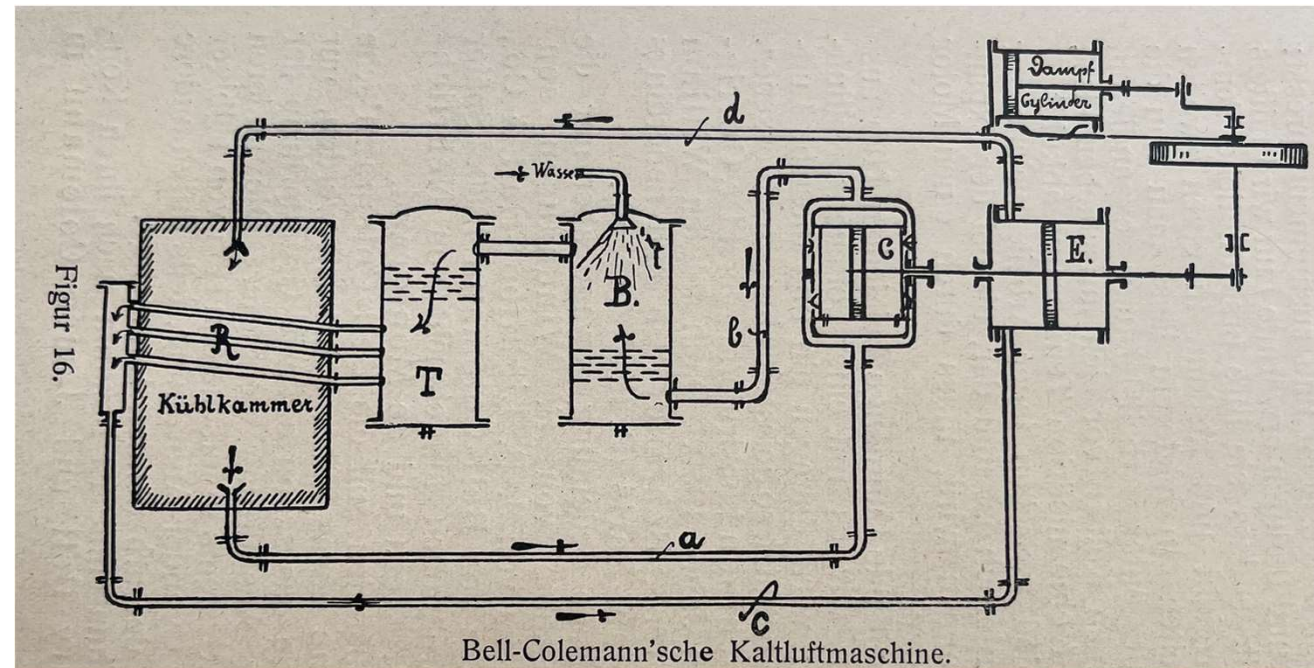
Wird die arbeitende Luftmenge bei jedem Hub ausgepufft, so haben wir es mit einer „offenen“ Kaltluftmaschine zu tun; wird dagegen ein und dieselbe Luftmenge stets wieder benutzt, so heisst sie eine „geschlossene“.

Kaltluftmaschinen konstruierte zuerst Dr. Gorrie-New-Orleans im Jahre 1850. Dann folgten William Siemens, Kirk 1863, Behrend 1866 und neuerdings noch Tellier Comp., Paris (D. R. P. 142560).

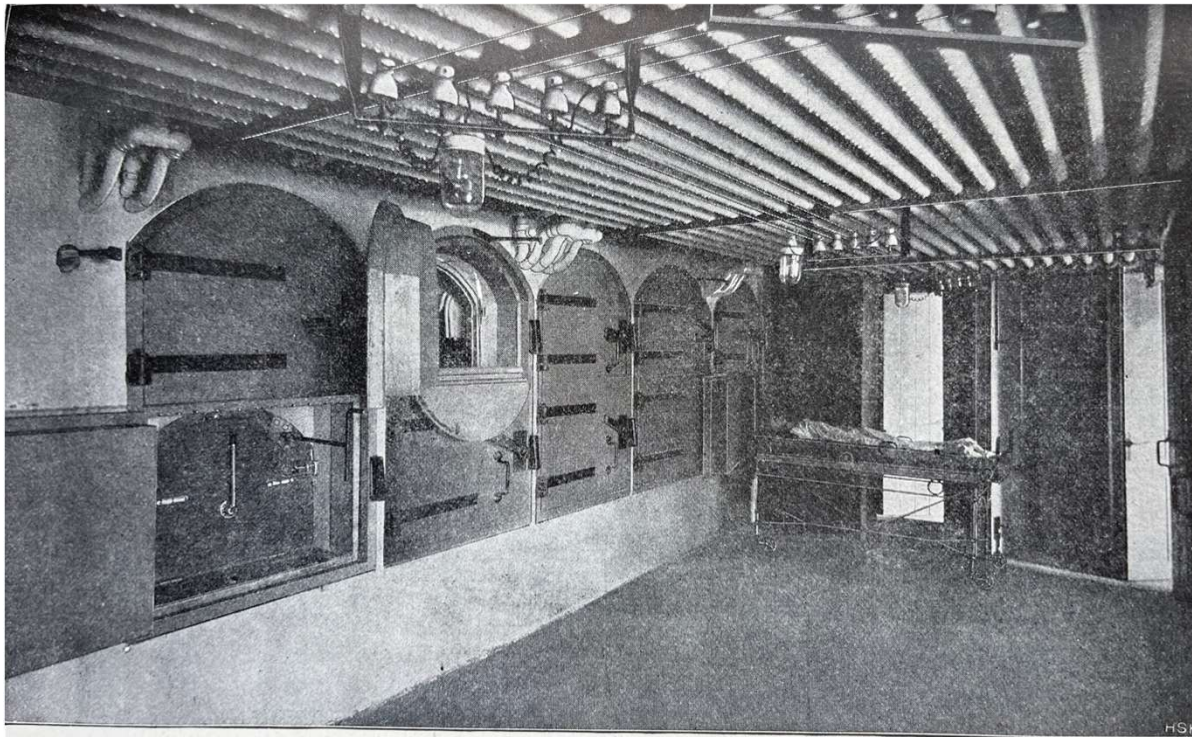
Einige praktische Bedeutung gewann aber nur die Luftexpansionsmaschine von F. Windhausen sen. 1869/72, ferner jene von J. B. Lightfoot-Hall & Co., am meisten aber die von Bell-Colemann 1880. Später sind auch Konstruktionen aufgetaucht von Nehrlich-Leicester Allen, Klein und de Montgrand.

Von den genannten soll die Bell-Colemann'sche Kaltluftmaschine etwas näher behandelt werden, nur um zu zeigen, wie das schon erklärte Grundprinzip der Luftmaschine zur Ausführung gelangte. Die anderen Maschinen dieses Systems unterscheiden sich von selbiger teils durch andere Cylinder-Anordnung, teils durch andere Abkühlungsweise der arbeitenden Luftmenge.

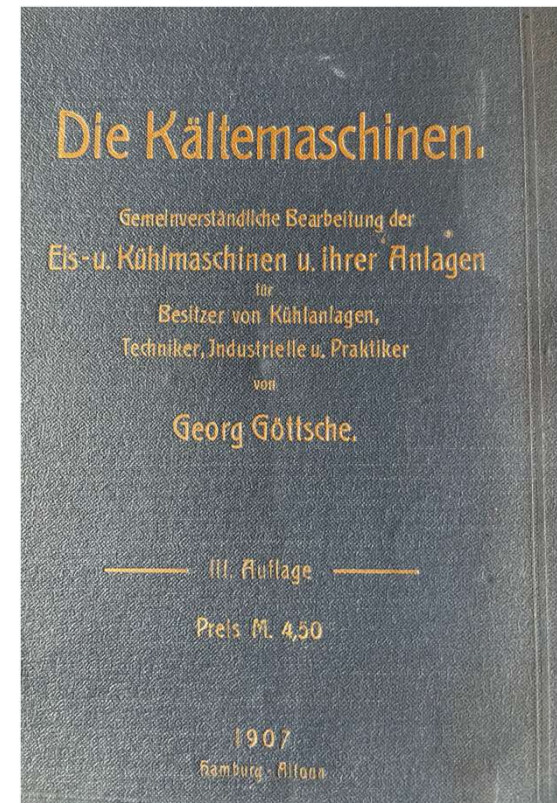
Diese Kaltluftmaschine ist benannt nach ihren Konstrukteuren Henry Bell und James Colemann in



# Progress in 1907



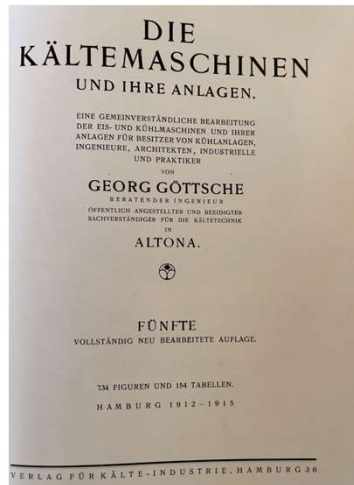
Figur 23. Leichen-Gefrierraum im Hafenkrankenhaus Hamburg (Borsig).







# Modern marine refrigeration anno 1915



Solche Maschine zur Leistung ... 1000 Norma  
 Calorien pro Stunde, zu der die Leistungstabelle CXIII mit gehört, sit  
 in der Fig. 473 abgebildet, Fabrikat der Gesellschaft Linde-Wiesbade

**Tabelle CXIII.**

**Leistungen der CO<sub>2</sub>-Schiffskühlmaschinen (Linde-Atlas)**  
 mit einem Verdichter, Eincylinder-Dampfmaschine und Verflüssiger aus Kupferrohrer

Modell	CVD				CHD				
	150	170	200	230	265	305	350	400	
stehend . . . . .	150	170	200	230	265	305	350	400	
liegend . . . . .	150	170	200	230	265	305	350	400	
Umdrehungen pro min. . . . .	200	190	165	145	125	115	100	90	
Cal./Std.	Temperatur								
	der Sole	des Seewassers							
	+ 10 auf + 4°	18° Cels.	21500	35000	50000	69000	90000	119000	150000
	- 2 auf - 5°	10° Cels.	17000	28000	40000	54000	72000	95000	120000
- 2 auf - 5°	28° Cels.	11400	19000	27000	38000	48000	63500	80000	
Kühlwasser . . . . .	cbm/Std.	5,5	9	12	15	20	28	35	43
Kraftverbrauch:									
PSi der Dampfmaschine	110° Cels.	9	13,5	18	23	29	36,5	44	
in Seewasser von	128° Cels.	14,5	22	30	39	47	59	71	
Gewicht . . . . .	kg	3800	4750	6600	8000	10000	12500	15000	

**Tabelle CXIV.**

**Abmessungen von Eincyl. CO<sub>2</sub>-Schiffskältemaschinen.**

Modell Nr. . . . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Leistung Cal./Std.	9350	13600	18950	24750	34300	41900	47200	75950
bis +30° Was. b. -15° C.	6000	8300	13500	18000	25000	30000	41000	55000
Kompressor	Cyl. Ø . . . . .	60	70	80	90	100	100	110
	Hub . . . . .	140	150	160	160	180	220	330
	Stangen Ø . . . . .	30	35	40	40	45	45	50
n p. min . . . . .	100	100	100	100	100	100	100	100
Dampfcylinder Ø . . . . .	185	215	250	265	315	—	—	—
Hub-Volumen	vorn . . . . .	1,79	2,60	3,62	4,90	6,76	8,27	11,29
	hinten . . . . .	2,37	3,46	4,82	6,11	8,48	10,37	14,14
	gesamt . . . . .	4,16	6,06	8,44	11,01	15,24	18,64	25,43
Kondensator qm für +30° H <sub>2</sub> O	10	14	19	25	35	42	50	78
Verdampfer qm	8	11	15	20	28	33	43	60

anzelne  
 e kleine horizontale Kühlwasserpumpe mit aufgesetztem Windkes  
 rne den langen Handhebel für die Glyzerinpumpe usw.

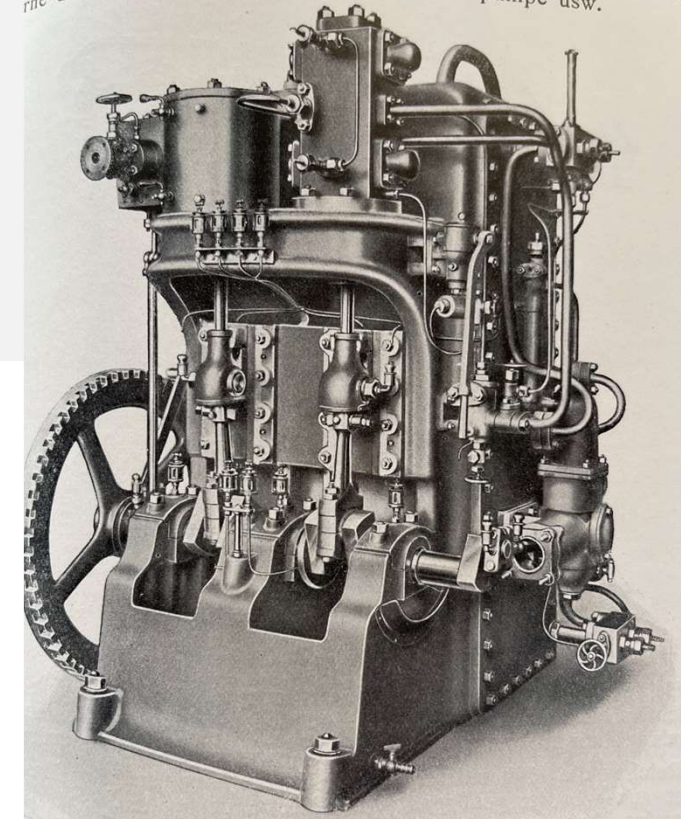


Fig. 474. CO<sub>2</sub>-Schiffskältemaschine mit Dampftrieb (Riedinger).  
 ebliche CO<sub>2</sub>-Kompressorabmessungen der eincylindrischen (Ver  
 e Typ) Marinemaschinen sind in der vorstehenden Tabelle C  
 lten. Sobald noch grössere Leistungen nötig werden, führt  
 ehenden Maschinen mit 2 Kompressoren und 2 Dampfcylind  
 solche A . . . . . oder Duplex-Type

# Freezing of fish (Ottesen, Nekolai Dahls method), 1915

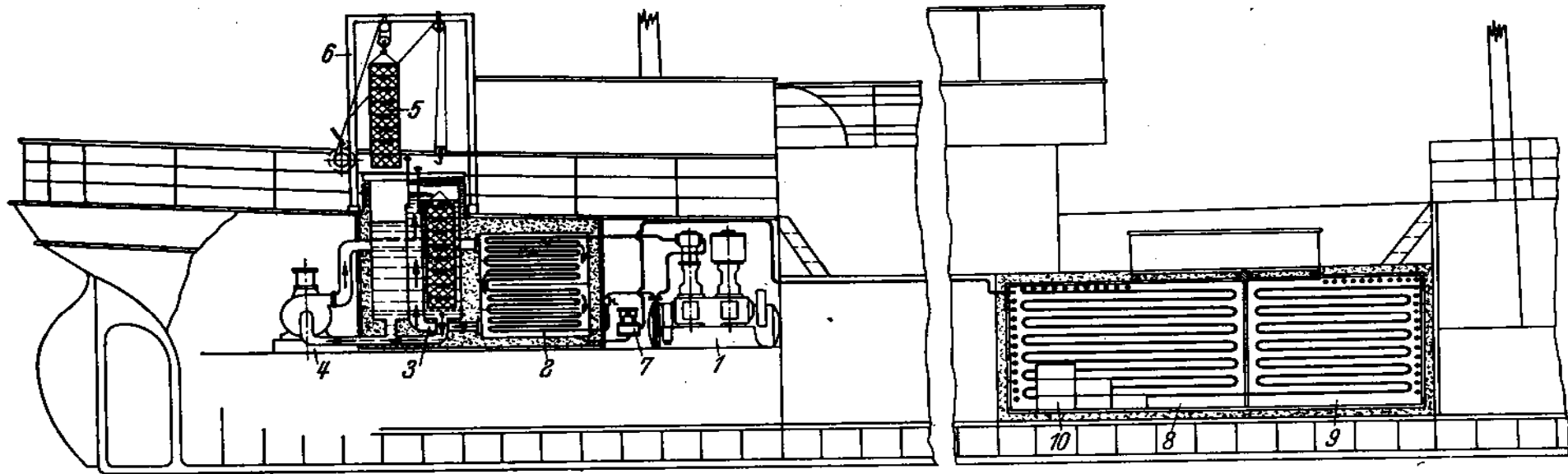


Abb. 102. Einbau einer OTTESEN-Fischgefrieranlage in den Dampfer „Karmøy“  
(Thomas Th. Sabroe, Aarhus, Dänemark).

1 Dampfmaschine und **CO<sub>2</sub>-Kompressor mit Kondensator**, 2 Verdampfer, 3 Gefrierbehälter, 4 Sole-  
zirkulationspumpe, 5 galvanisierte Fischbehälter, 6 Hebevorrichtung für die Fischbehälter, 7 Solepumpe,  
8, 9 Lagerräume, 10 gefrorene Fische versandfertig verpackt.







# Small capacity units

(Göttsche, 1915) (Hubendick, 1921)

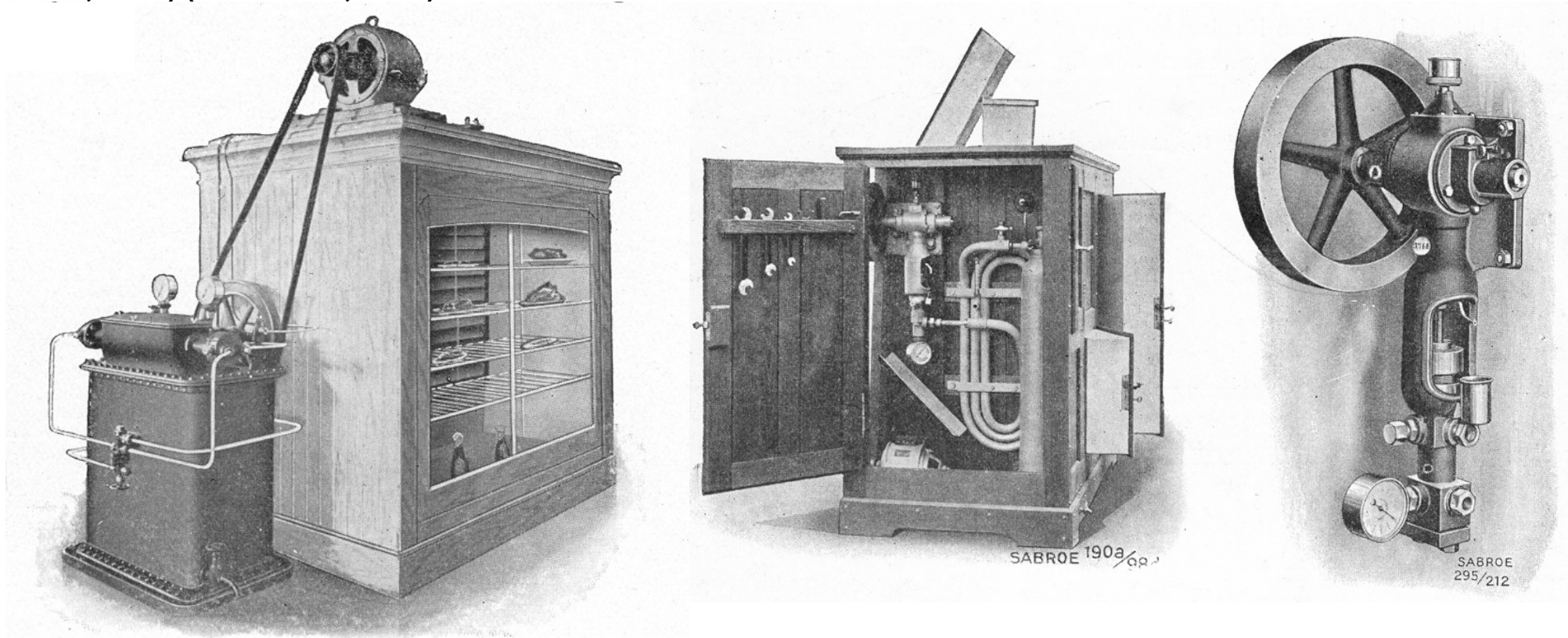
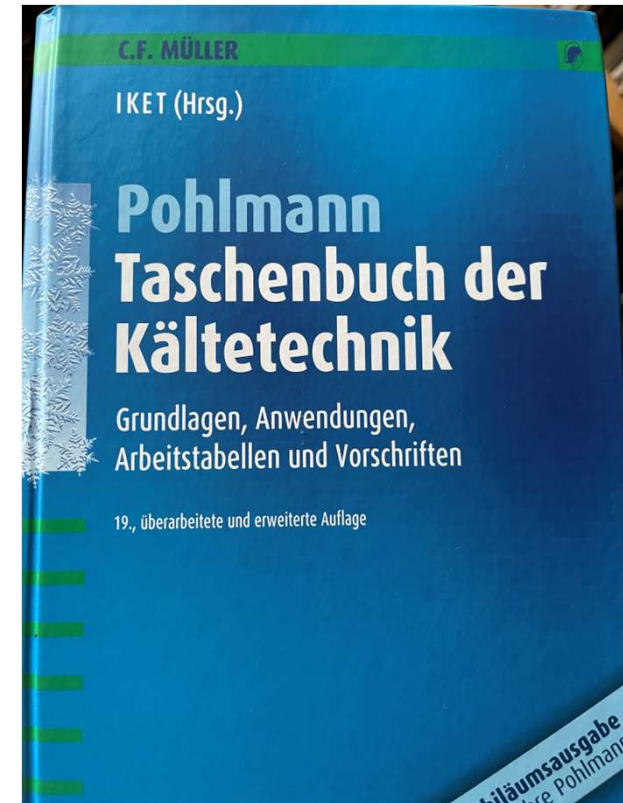
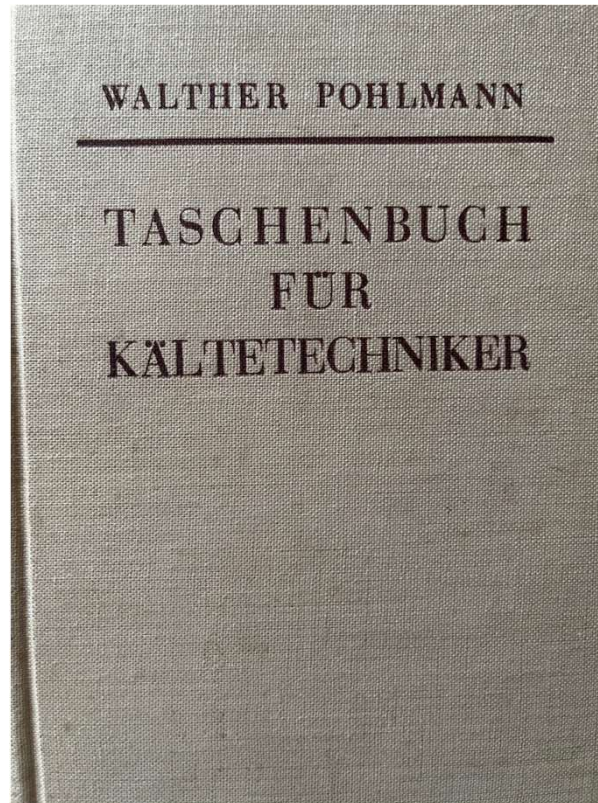
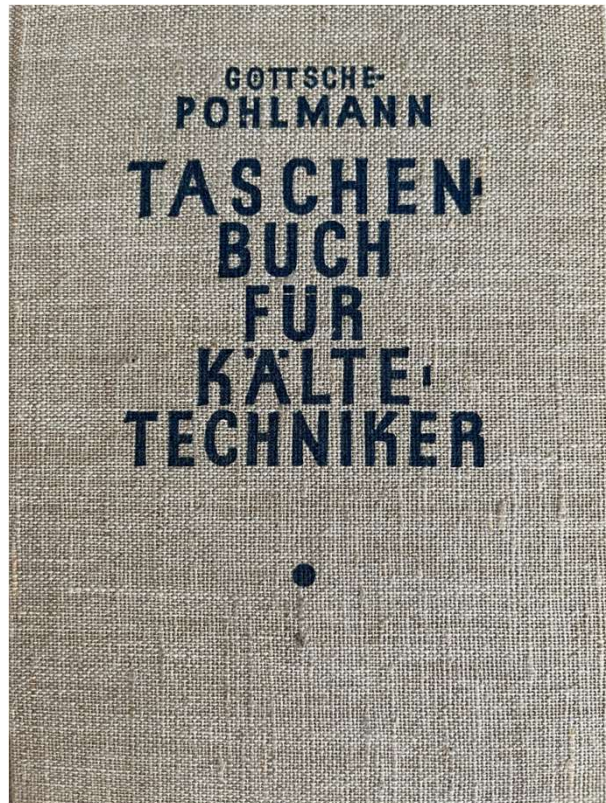


Fig. 455. Kleinkältemaschine „Augutsa,,  
mit Kühlschränk (Riedinger).



# Georg Götttsche and Walther Pohlmann





# Walter Pohlmann, Tachenbuch Für Kältetechniker, 1935

Official date of invention of the "Freon" is 1928 and in 1935 in the US had been sold 8 million Frigadaire fridges

Adoption by Walter Pohlmann in the book from 1935 is therefore a quick adoption

Some qualities of CO<sub>2</sub> came with 1000ppm CO (R. Plank)

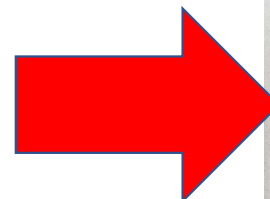
Jährlicher NH<sub>3</sub>-Verbrauch infolge Undichtigkeits-Verlusten.

20000 kcal	Stunden-Leistung	pro Jahr	.....ca.	40 kg
50000	„	„	„	50 „
80000	„	„	„	75 „
120000	„	„	„	100 „
200000	„	„	„	130 „
500000	„	„	„	300 „

Jährlicher CO<sub>2</sub>-Verbrauch infolge Undichtigkeits-Verlusten.

5000 kcal	Stunden-Leistung	.....ca.	80 kg
10000	„	„	120 „
20000	„	„	160 „
50000	„	„	400 „
80000	„	„	600 „
120000	„	„	1000 „

Der hohe Verbrauch an CO<sub>2</sub> hat seinen Grund in dem hohen Druck in dem Kompressor gegenüber der Atmosphäre und in der Geruchlosigkeit der CO<sub>2</sub>.



## Explosionsgrenzen der Kältemittel.

	% Gas in Luft
Aethan .....	3,1 bis 10,7
Aethylchlorid .....	4,3 „ 14,0
Ammoniak .....	13,1 „ 26,8
Butan .....	1,7 „ 5,7
Leuchtgas .....	7,0 „ 21,0
Methylchlorid .....	8,9 „ 15,5
Propan .....	2,4 „ 8,4

Folgende Zahlen geben einen Vergleich der Gewichtsmengen der Gase, die in einem gegebenen Raum die gleichen Wirkungen auf den Organismus haben:

Kohlensäure .....	100
Aethylchlorid .....	80
Methylchlorid .....	70
Ammoniak .....	2
Schwefl. Säure .....	1

Freon (F<sub>12</sub>) ist dem Organismus noch weniger schädlich als Kohlensäure. An offener Flamme bilden sich Spuren von Phosgen, das sehr giftig ist.

Vergleich der Kältemittel in ihrer Wirkung auf den menschlichen Organismus (nach amerikanischen Angaben).

	Menge, die schnell tötet		Ernste Wirkung nach 1/2 bis 1 Std. Einatmen		Leichte Wirkung nach 1/2 bis 1 Std. Einatmen	
	Vol. %	lbs per 1000 cbft	Vol. %	lbs per 1000 cbft	Vol. %	lbs per 1000 cbft
Kohlensäure ...	30	33	6-8	7-9	4-6	4,5-6,8
Methylchlorid ..	15-30	20-40	5-10 <sup>1)</sup>	6-13	2-3	2,6-4,0
Ammoniak ....	0,5-1,0	0,25	0,35	0,15	0,03	0,013
Schwefl. Säure..	0,2	-	0,04	0,08	0,005	0,008
Chloride .....	0,1	0,2	0,005	0,1	0,0004	0,007
Chloroform ....	7	22	1,4-3	4,3-9,3	0,5	1,6
Aethylchlorid ..	15-30	20-40	6	7	2	2,6
Freon (F <sub>12</sub> ) ...	-	-	80	-	28-30	90-95

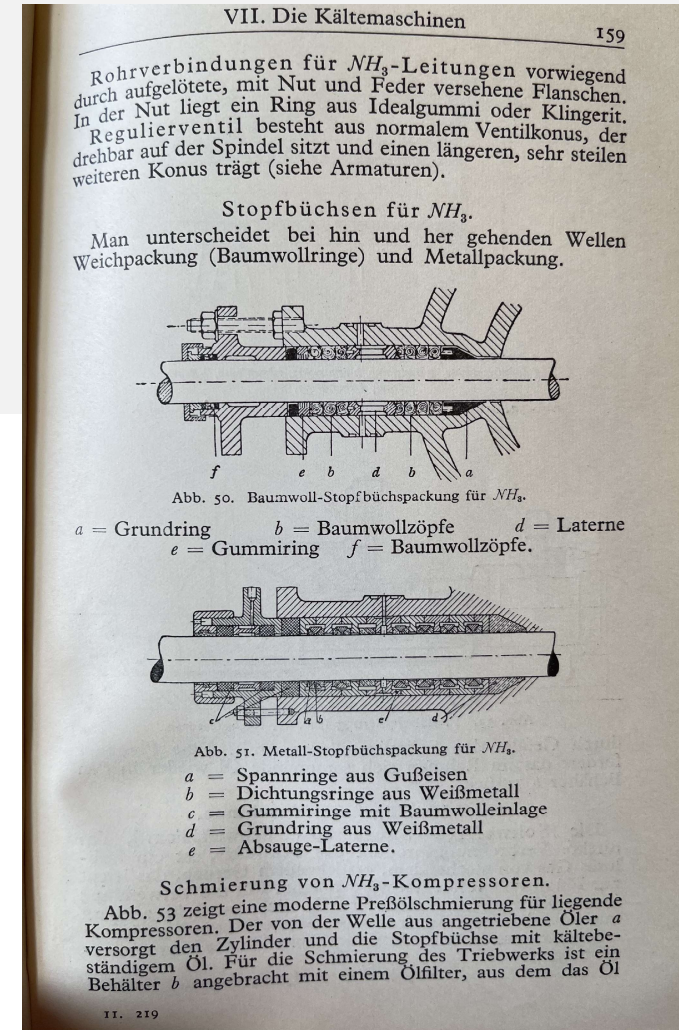
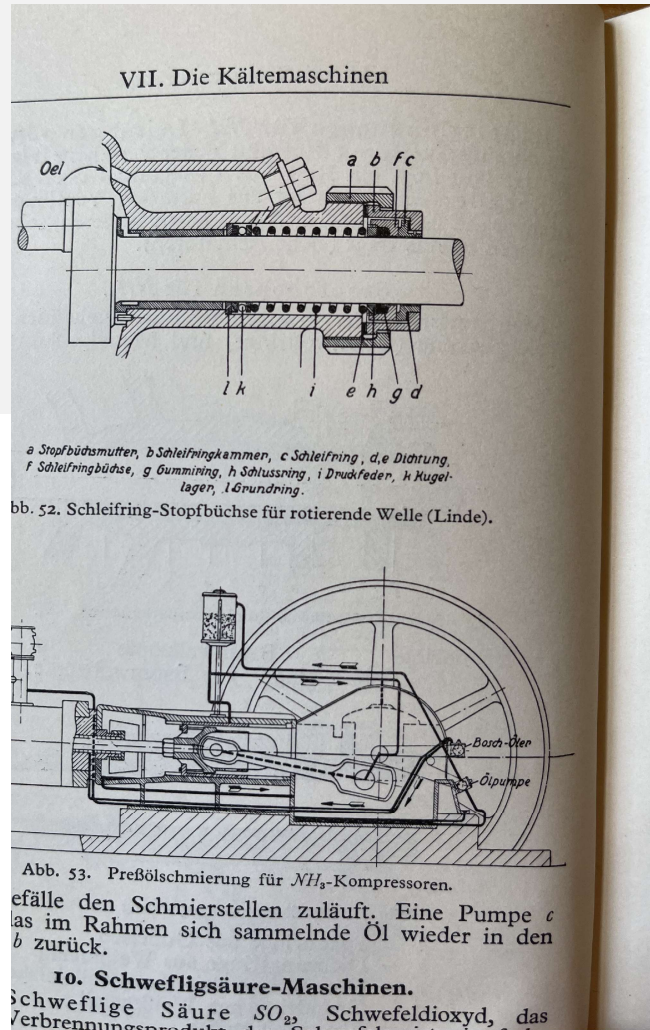
<sup>1)</sup> Nur Bewusstlosigkeit ohne Nachwirkungen.





# State of the technology

- Materials and the state of the technology was not capable of handling the working fluids
- This came with a higher leak rate than in modern refrigeration machines

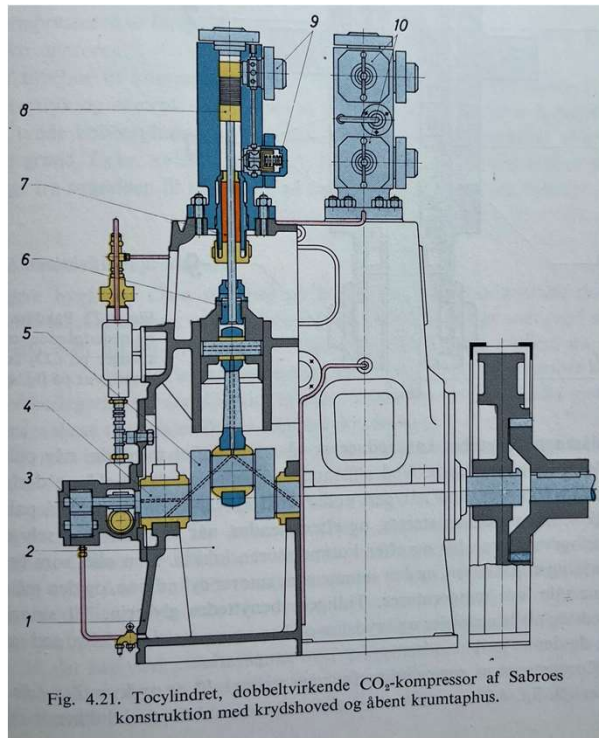


# About Georg Götsche and Walter Pohlmann

- **1905-1916 – Georg Götsche**, Hamburg-Altona  
Beratender Ingenieur, Öffentlich angestellter und beeidigter Sachverständiger für Kältetechnik; Herausgeber „Jahrbuch für Kälte-Techniker“ und die Zeitschrift „Die Kälte-Industrie“
- **1919-1957 – Dipl.- Ing. Walter Pohlmann**, Hamburg-Altona  
Beratender Ingenieur, Beeidigter Sachverständiger für Kältetechnik; Weiterführung des „Taschenbuch für Kälte-Techniker“ und der Zeitschrift „Die Kälte-Industrie“
- **1957-1990 – Dipl.-Ing. Walter Maake und Ing. Hans-Jürgen Eckert**, Hamburg-Altona  
Beratende Ingenieure und unabhängige Sachverständige für Kältetechnik;  
Weiterführung „Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik“



# Modern refrigeration with CO<sub>2</sub> anno 1962



1962

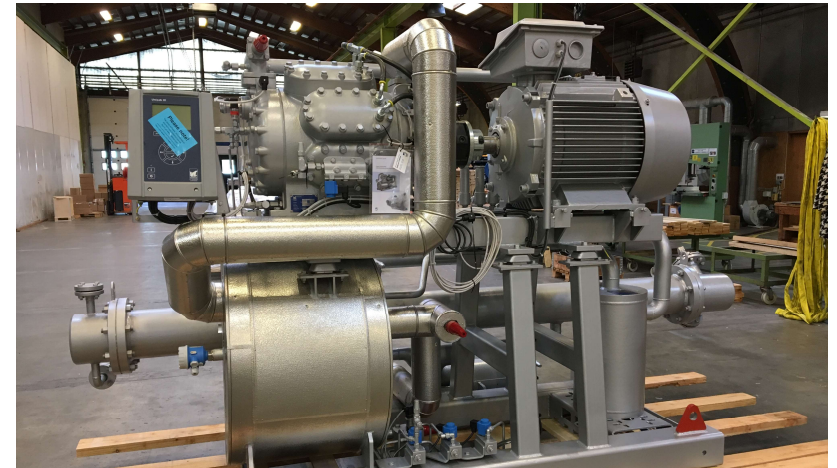


1915

# Onboard the modern fishing vessel

---

- NH<sub>3</sub> for fishing vessels delivered recently
- Heat recovery from these systems is normally not an issue because the main engine provide plenty of hot water
- Acceptance of NH<sub>3</sub> on fishing vessels is easier because of limited and trained crew
- Discussions are ongoing with classification companies to accept this equipment on merchant ships as well







Optimal space  
management today

---

## Future

- Ammonia systems
- Cascade systems (CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>)
- Trans-critical systems (CO<sub>2</sub>)





# Why NH<sub>3</sub>?

- When the last gas is gone – it will take some million years – if we dig sufficient material in to the ground under great pressure to produce new oil, gas or coal
- CO<sub>2</sub> emissions will come from burning biomass and waste
- Hydrogen can be produced from water, a side product will be NH<sub>3</sub>
- Hydrogen is more demanding to store and transport than ammonia
- If needed, NH<sub>3</sub> can be processed to H<sub>2</sub> on site
- This makes NH<sub>3</sub> acceptable in the machine room – especially because the refrigeration circuit is a closed loop

# Markets – latest information

Information from FAO



# Resent new ships

---



## Highlights

- Freezing capacity of 200 tons of fish per 24 hours.
- Cargo holds capacity of 900 tons at -30 degrees Celsius
- NH<sub>3</sub> - Ammonia: Natural refrigerant - no environmental impact
- CO<sub>2</sub> - Carbon Dioxide: Natural refrigerant - no environmental impact
- The plant has high flexibility and high performance levels
- The plant has titanium shell-and-tube chillers and condensers, which ensures long service life and trouble-free operation

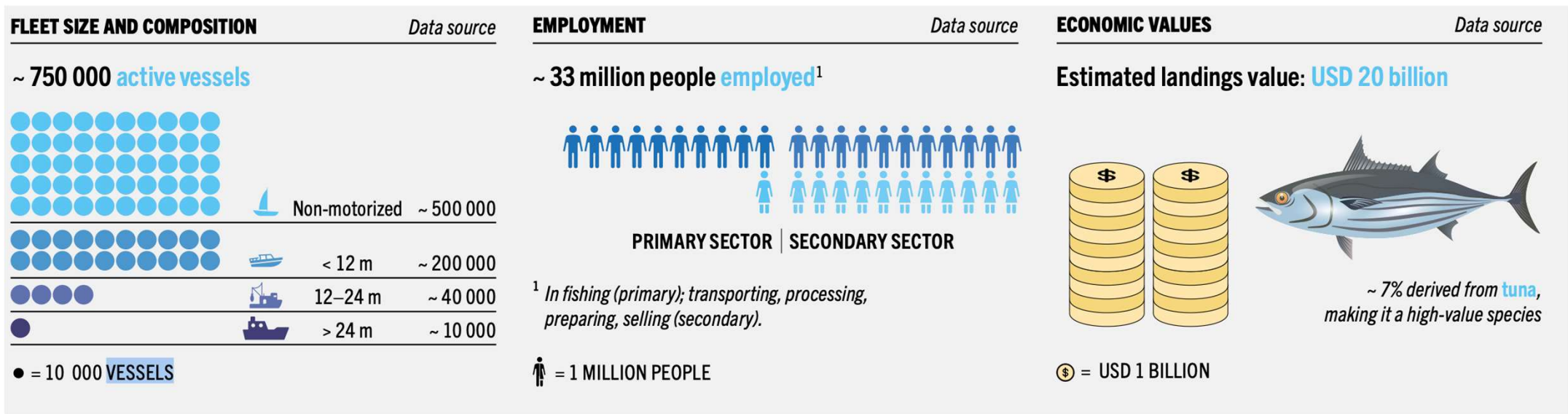
## Closed loop NH<sub>3</sub> chillers

- Closed machine room for chiller
- Ventilation either to motor or to the free



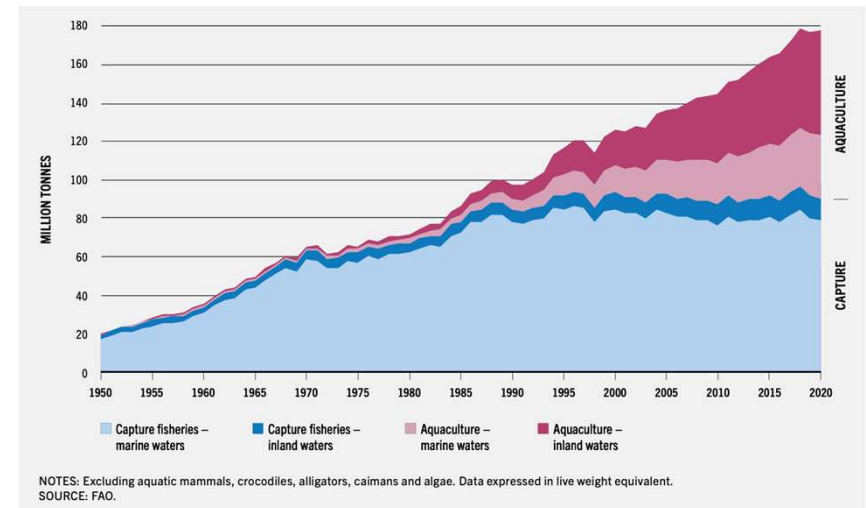


# How many vessels are there out there?



# World fisheries and aquaculture production

- Source: <https://www.fao.org/3/cc0461en/cc0461en.pdf>



	1990s	2000s	2010s	2018	2019	2020
Average per year						
Million tonnes (live weight equivalent)						
<b>Production</b>						
<b>Capture:</b>						
Inland	7.1	9.3	11.3	12.0	12.1	11.5
Marine	81.9	81.6	79.8	84.5	80.1	78.8
<b>Total capture</b>	<b>88.9</b>	<b>90.9</b>	<b>91.0</b>	<b>96.5</b>	<b>92.2</b>	<b>90.3</b>
<b>Aquaculture:</b>						
Inland	12.6	25.6	44.7	51.6	53.3	54.4
Marine	9.2	17.9	26.8	30.9	31.9	33.1
<b>Total aquaculture</b>	<b>21.8</b>	<b>43.4</b>	<b>71.5</b>	<b>82.5</b>	<b>85.2</b>	<b>87.5</b>
<b>Total world fisheries and aquaculture</b>	<b>110.7</b>	<b>134.3</b>	<b>162.6</b>	<b>178.9</b>	<b>177.4</b>	<b>177.8</b>



# The future

It is easy to predict the future, it is harder to make a prediction that ends up being totally correct

# Natural refrigerants are the only long term working fluids

- The price of gases based on natural gas will increase in the coming years
- There are more important uses than just burning gas; e.g. natural refrigerants can also be recycled
- One day there is no more natural gas and it is not likely that it will ever come again
- Pollution and breakdown down products released in to the air and water are a great concern for fluorinated gases





**Thank you for your  
kind attention**

**Questions?**