

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 63/64 (1914)
Heft: 15

Artikel: Fahrbare Kälteerzeugungsanlage für Versuchszwecke
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-31537>

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: 18.02.2026

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

Nichtsdestoweniger hat es ein Interesse, die molekularen Vorgänge während der Kondensation unter dem Gesichtspunkt zu untersuchen, dass nicht, wie wir ursprünglich im Einverständnis mit Einstein voraussetzten, alle auf einen Tropfen treffende Moleküle von diesem verschluckt werden. Dabei kommt für den Energieaustausch derjenigen Moleküle, die zurückprallen, die sehr interessante Arbeit von Knudsen¹⁾ in Betracht. Ein Molekül mit einer gegebenen Geschwindigkeit, die einer bestimmten Temperatur der Dampf-atmosphäre entspricht, prallt von einer wärmeleitenden Oberfläche (hier derjenigen des Tropfens) nicht mit derjenigen Geschwindigkeit zurück, die der Temperatur der Oberfläche entspricht, sondern mit einer geringeren. Ist seine innere Energie, auf 1 kg Gewicht bezogen, vor dem Anprall u'' und ist die theoretische Energie, die der Flüssigkeitstemperatur entspricht u''^* , so ist die Energie des zurückprallenden Moleküls nicht u''^* , sondern

$$(u''^* - u'') \varepsilon + u''$$

worin ε kleiner als 1 ist und der „Akkommodationskoeffizient“ heisst. Knudsen findet bei Stoss gegen blankes oder stark platinirtes Platinband für H_2 : $\varepsilon = 0,32$ und $0,59$, für O_2 : $\varepsilon = 0,81$ und $0,93$, für CO_2 : $\varepsilon = 0,84$ und $0,96$. Die Einführung dieser neuen Betrachtungsweise bedingt folgende Aenderungen an meiner in der zitierten Abhandlung entwickelten Theorie der Kondensation. Das Gewicht der im Zeitelement dz auf einen Tropfen treffenden Dampf-moleküle bleibt unverändert²⁾ und ist in der dort benutzten Bezeichnungsweise

$$dG' = \pi r^2 \beta \frac{p}{V_T} dz \quad \text{mit } \beta = \sqrt{\frac{3g}{R}} \dots (6)$$

Im thermischen Gleichgewicht wird bloss der Teilbetrag $\lambda dG'$ verschluckt; ein ebenso grosser Betrag muss dann durch die innere Bewegung vom Tropfen abgeschleudert werden. Ist aber die Temperatur des Tropfens T' grösser als die Gleichgewichtstemperatur T , dann ist der zu T' und dem Tropfenhalbmesser r gehörende Gleichgewichtsdruck p'_{sr} zu ermitteln und die vom Tropfen abgeschleuderte Menge ist gleich

$$dG'' = \lambda \pi r^2 \beta \frac{p'_{sr}}{V_{T'}} dz \dots (7)$$

Die Zunahme des Tropfengewichtes während des Zeitelementes dz ist

$$dG_0 = \lambda dG' - dG'' = \lambda \pi r^2 \beta \left[\frac{p}{V_T} - \frac{p'_{sr}}{V_{T'}} \right] dz \dots (8)$$

Diese Beziehung nannten wir die Stetigkeitsgleichung. Für die Energiegleichung des Tropfens gilt sinngemäss die Formel

$$dG' u'' = (1 - \lambda) dG' (u''^* - u'') \varepsilon + u'' + dG'' u''^* + d(G_0 u''^*) \dots (9)$$

Aehnlich wäre die Gleichung der Gesamtenergie zu bilden.

Wir behalten uns die Diskussion dieser Gleichungen für eine andere Gelegenheit vor und beschränken uns auf folgende Bemerkungen. Die zweckmässigste Vergleichsgrundlage ist, wie wir a. a. O. ausführten, die zum gegebenen Druck p und dem Halbmesser des Tropfens r gehörende Gleichgewichtstemperatur, die wir mit T_{spr} bezeichnet haben. Für die Unterschiede der Dampf- und der Tropfentemperatur gegenüber T_{spr} führen wir hier die Zeichen

$$\tau = T - T_{spr}; \quad \tau' = T' - T_{spr}$$

ein, sodass hiernach verglichen mit der alten Bezeichnung $\Delta T = -\tau$; $\delta T' = \tau'$ ist. Nach den kleinen Differenzen τ , τ' können die Grundgleichungen entwickelt werden und wir erhalten

$$\left. \begin{aligned} \frac{dr}{dz} &= -\lambda C (\varphi \tau + \tau') \\ r \frac{dT'}{dz} &= -\lambda C' (\psi \tau + \tau') \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

¹⁾ Ann. d. Physik 4 F. 34, 1911. S. 608.

²⁾ Wollte man die Maxwell'sche Verteilung der Geschwindigkeiten berücksichtigen, so wäre nur die Beizahl 0,92 vorzusetzen und C müsste die Wurzel ' aus dem quadratischen Mittel der Geschwindigkeiten bedeuten.

wobei C, C' die gleichen Werte bedeuten, wie in der Abhandlung¹⁾, hingegen ψ angenähert durch den Ausdruck

$$\psi = \left[\frac{1}{2 T_{spr}} - \left\{ 1 + \varepsilon \left(\frac{1}{\lambda} - 1 \right) \frac{C_v}{\Delta u_s} \right\} \right] \frac{p}{a} \dots (11)$$

dargestellt wird. Je nach der verhältnismässigen Grösse von ε und λ kann mithin ψ Null oder auch negativ werden. Ersteres würde eine Unempfindlichkeit der Tropfentemperatur von derjenigen der Dampf-umgebung bedeuten; es bliebe aber die äusserst energische Reaktion auf jede Abweichung von der zu r und p gehörenden Gleichgewichtstemperatur T_{spr} bestehen. Der Tropfen würde praktisch stets diese Temperatur haben. Ein Negativwerden von ψ führt auf keine physikalischen Widersprüche, und beeinflusst in interessanter Weise den Temperatenausgleich nach einer eingetretenen Störung. Ist nämlich ψ positiv, so wird bei positivem τ , d. h. zu heisser Dampf-atmosphäre, T' anfänglich sinken — ist ψ negativ, steigen. Das letztere ist der Anschauung eigentlich genehmer, und die Werte der λ und ε nach Marcelin und Knudsen lassen diese Möglichkeit zu. Ob es sich so oder so verhält, die Zahl λ , d. h. das Verhältnis der eindringenden Moleküle zur Gesamtzahl der aufprallenden, kann kaum unter den Wert $1/10$ sinken (der kleinste Wert, den Marcelin fand, den wir aber, wie erwähnt, nicht anerkennen, ist $1/26$) und so wird die Raschheit des Temperatenausgleiches am Tropfen, wie wir in der Abhandlung auseinandersetzen, nach wie vor eine ausserordentlich grosse bleiben gegenüber der Expansionsgeschwindigkeit des Dampfes.

Bei diesem Anlass sei noch auf den grossen Gegensatz zwischen der gewöhnlichen und der molekularen Wärmeleitung hingewiesen. Letztere wird wirksam, wenn die Tropfengrösse klein ist gegenüber der mittleren Weglänge der Moleküle. Da unsere Versuche selbst bei kleineren Unterkühlungen auf Tropfenhalbmesser von der Grössenordnung 10^{-9} bis 10^{-8} m führen, so dürfte diese Voraussetzung nahe erfüllt sein. Sobald grosse Tropfen auftauchen, hat man mit dem gewöhnlichen „Leitungsvermögen“ des Dampfes und den bekannten Wärmeleitungsgleichungen zu operieren. Der Wärmeaustausch ist dann ein *unendlich viel langsamerer*. Insbesondere bei Verdampfungsvorgängen bildet der neu entstehende Dampf eine schwer durchdringliche Isolationshülle, da doch beispielsweise bei 1 at Druck die Verdampfung einer Wasserlamelle von 1 mm Dicke über ebenem Wasserspiegel eine Schichte von 1,7 m Mächtigkeit erzeugt. Dies erklärt, warum trotz kräftiger mechanischer Mischung kalte Tropfen in überhitztem Dampf lange bestehen können, wie beispielsweise von Knoblauch und Jakob bei ihrer Bestimmung der spezifischen Wärmen beobachtet worden ist.

Die Versuche gestatten endlich die Zahl der gebildeten Tropfen zu berechnen. Man findet, dass ein Tropfen auf etwa 30 000 Moleküle des trockenen Dampfes entfällt. Sollte jeder Tropfen einen festen Kern besitzen, so müssten bei Atmosphärendruck in 1 cm³ trockenen Dampfes mehr als 10^{14} Kerne enthalten sein, was ausgeschlossen ist. Auch in dieser Hinsicht bilden also die neuen Versuche eine Bestätigung meiner frühern Folgerungen.

Fahrbare Kälteerzeugungsanlage für Versuchszwecke.

Gestützt auf die guten Erfahrungen, die in den Vereinigten Staaten von Nordamerika seit vielen Jahren in Bezug auf die Verbreitung der Gefrier- bzw. Kühlmethode zur Frischhaltung von leicht verderblichen Lebensmitteln durch entsprechende Vorführungen in den interessierten Kreisen gemacht worden sind, hat sich die „Association française du Froid“ entschlossen, ihrerseits durch ähnliche Vorführungen zu einer möglichst allgemeinen Einführung dieses Verfahrens in Frankreich beizutragen. Sie hat zu diesem Zweck in

¹⁾ Hinsichtlich a ist zu bemerken, dass in der Abhandlung auf der linken Seite der Gleichung (35) die Ableitung $+\frac{\partial p_{sr}}{\partial T'}$ vergessen worden ist, dass deren Grösse neben dem ersten Glied indessen praktisch vernachlässigt werden kann.

einem gedeckten Güterwagen eine fahrbare, mit einem Gefrier- und einem Kühlraum verbundene Kälteerzeugungsanlage eingerichtet, mit der der Reihe nach, in den dafür in Betracht kommenden Produktionszentren, Versuche über die Konservierung von Obst, Gemüse, Fleisch, Fisch, Geflügel, Bier usw. angestellt werden sollen. Die Gesellschaft hofft auf diese Weise die Produzenten von den bedeutenden Vorteilen der künstlichen Kühlhaltung leicht verderblicher Waren überzeugen zu können und sie zu deren Anwendung in Form von Gefrier- und Kühlanlagen oder Kühlwagen anzu-spornen. Ferner soll der Wagen auch den interessierten Genossenschaften zur Anstellung von Versuchen über Konservierung, Verpackung und Transport der betreffenden Lebensmittel zur Verfügung gestellt werden.

Die Anordnung des Wagens ist aus der beigegebenen, dem „Génie Civil“ entnommenen Abbildung ersichtlich. Durch zwei Isolierwände ist der Wagen in drei Räume geteilt worden, wovon der mittlere A als Maschinenraum, von den beiden äussern der kleinere B als Gefrier- oder Kühlraum der grössere C als Kühlraum dienen. Die Abmessungen der verschiedenen Abteilungen sind in der Abbildung angegeben. Das Gewicht des vollständig ausgerüsteten Wagens beträgt 17,5 t, wovon 7,2 t auf die Ausrüstung entfallen.

Im *Maschinenraum* sind die Kältemaschine, der Antriebsmotor, die Kühlflüssigkeitspumpe und ein Ventilator aufgestellt. Der Kälteerzeuger F ist eine rotierende Kompressions-Maschine mit einer stündlichen Leistung von 1500 Cal. Durch einen Kühlwasser-Sparer wird der Verbrauch an Kühlwasser auf 5 l in der Stunde beschränkt. Der Antriebsmotor D macht bei 4 PS Leistung 400 Uml./min und wird mit Benzol betrieben. Für die Rückkühlung des Kühlwassers sorgt der Ventilator-Kühler E. Eine Pumpe G für eine stündliche Fördermenge von 1500 l dient zur Förderung der Kühlflüssigkeit, ein Ventilator K mit einer Leistung von 200 m³ bei 20 mm Wassersäule zur Förderung der Kühlluft.

Die beiden *Kühlkammern* sind genau gleich ausgerüstet. Beide können entweder mittels der Kühlflüssigkeit oder mittelst Kühlluft oder mit beiden gleichzeitig gekühlt werden. Die drei aus 100 mm Rohr bestehenden Kälteakkumulatoren I in jeder Kammer, mit zusammen je 350 l Inhalt, genügen, um bei Stillstand der Maschine die Kammern mehrere Stunden lang kühl zu halten. Zur Kühlung der Luft dienen die in der Doppeldecke untergebrachten Röhrensysteme J, umfassend je 54 m Rohr von 40 mm Durchmesser. Die zur Kühlung der Kammern bestimmte Luft wird mittels des Ventilators durch die Leitungen M an diese Röhrenkörper vorbei gedrückt und sinkt infolge ihrer grösseren Dichte auf den Boden der Kammer, während die obere Luftschichten durch die Leitungen L wieder angesaugt werden.

Da der Wagen, seiner Bestimmung gemäss, oft unter sehr ungünstigen Temperaturverhältnissen zu arbeiten hat, wurde auf die Isolierung besondere Sorgfalt gelegt. Als Beispiel dafür sei die Isolierung der Aussenwände angeführt. Diese besteht, von innen nach aussen gerechnet, aus einer 15 mm starken Holzlage, einer

Lage Isolierpappe, einer 15 mm starken Holzlage, einer Lage Isolierpappe, einer Korklage von 100 mm Dicke, einer 25 mm starken Holzlage, einer Lage Isolierpappe, einer 30 mm starken Korklage mit darauffolgender Lage Isolierpappe und wiederum einer Lage Holz von 20 mm Stärke. Die Isolierung des Wagens wurde unter Zugrundlegung einer Kälteverlustes von 0,5 Cal. pro m² und Stunde berechnet. Die die Kühlflüssigkeit führenden Leitungen sind durch eine 40 cm dicke Korksicht isoliert.

Die Kühleinrichtungen gestatten, beide Kammern gleichzeitig auf einer Temperatur von 0 bis +5° C zu halten, oder, bei Ausschaltung der Kammer C, in der Gefrierkammer B eine Temperatur von etwa -10° zu erzeugen.

Der Wagen ist anfangs Juni dieses Jahres dem Betriebe übergeben worden.

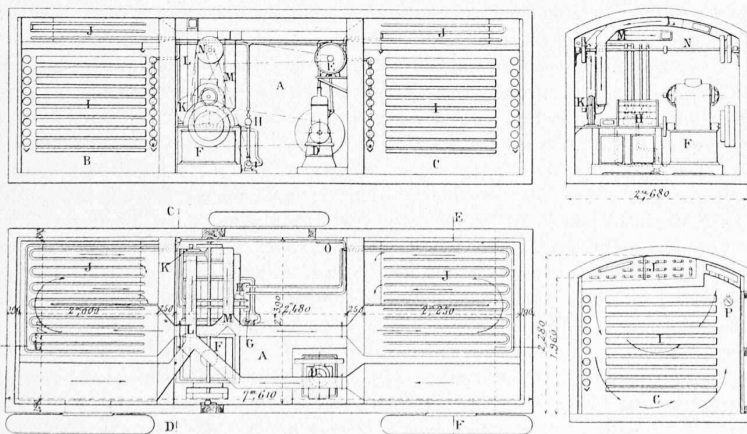
Miscellanea.

Die Einphasen-Lokalbahnen bei Belfort. Im Laufe des letzten Jahres sind im Kreis Belfort die etwa 70 km Streckenlänge umfassenden, meterspurigen „Chemins de Fer électriques du Haut-Rhin“ in Betrieb genommen worden. Wie für die „Chemins de Fer du Sud de la France“ ist hier der kompensierte Einphasen-Repulsionsmotor der „Société Alsacienne de Constructions mécaniques, Belfort“ zur Anwendung gelangt.¹⁾ Nach dem „Génie Civil“ sind die mit zwei Drehgestellen versehenen Motorwagen mit je vier solcher Motoren von 35 bis 40 PS Stundenleistung bei 550 Volt und 25 Perioden ausgerüstet, die von einem 140 KVA Transformator gespeist werden. Die Motoren treiben die Achsen mittels eines Zahnradvor-geleges von 1:4,93 an; einer Umlaufzahl der Motoren von 750 in der Minute entspricht eine Fahrgeschwindigkeit von 32 km/h. Obwohl die normale Zugskomposition mit etwa 50 t Zugsgewicht nur einen Triebwagen vorsieht, sind die Wagen doch mit Vielfach-Schützensteuerung ausgerüstet worden. Die Fahrdrahtspannung beträgt 6600 Volt, und zwar wurde diese mit Rücksicht auf die genügende Sicherheit bietende Vielfach-Aufhängung, auf die gewählte sorgfältige Isolierung und die sinnreiche Anordnung von Erdungs-leitungen auch für die in der Stadt Belfort liegenden Teilstrecken zugelassen.

Nordostschweiz. Kraftwerke A.-G. In der Verteilung der Aktien des neuen Unternehmens²⁾, das zunächst vom „Motor“ die *Beznau-Löntscherwerke* erworben hat, unter die Kantone ist eine leichte Verschiebung eingetreten dadurch, dass St. Gallen und Appenzell A.-Rh. dem Konsortium nicht beigetreten sind, sondern vorzogen, ein eigenes Unternehmen zu gründen bzw. das bereits im Besitz des Kantons St. Gallen befindliche Kubelwerk zu einem solchen auszubilden.

Die Delegierten der Kantone Zürich, Aargau, Thurgau, Schaffhausen und Zug (zu denen noch Glarus kommen wird) sind am 2. Oktober in Basel mit den Vertretern des „Motor“ zusammengetreten zur definitiven Uebernahme der „Beznau-Löntscherwerke“, deren Kaufpreis mit 24840000 Fr. festgestellt ist, zahlbar in sieben Terminen vom 1. Oktober 1914 bis 1. Oktober 1915. Die A.-G. der Nordostschweiz. Kraftwerke wurde konstituiert und deren Verwaltungsrat gewählt. Dessen Präsidium wurde Reg.-Rat Dr. G. Keller in Zürich übertragen; das Sekretariat führt Dr. E. Fehr in Zürich. Das jetzige Personal der Beznau-Löntscherwerke tritt mit wenigen Ausnahmen in die Dienste der neuen Gesellschaft.

Neue Brücke über die Elbe in Hamburg. Zur Vermittlung des Fussgänger- und Wagenverkehrs zwischen den beiden Elbufern dient zur Zeit ausser dem Elbtunnel die im Jahre 1887 eröffnete Strassenbrücke über die Nordelbe. Ausserdem ist die Eisenbahn-Elbbrücke mit Fusswegen für den Personenverkehr versehen. Da diese Verbindungen dem Verkehr nicht mehr genügen, soll nach der „Deutschen Bauzeitung“ im Freihafengebiet, 30 m unterhalb der Eisenbahnbrücke, eine neue Brücke erbaut werden. Diese wird zwei übereinander liegende Fahrbahnen erhalten, von denen die untere zur Aufnahme der Fahrstrasse und eines Eisenbahngleises, die obere zur Aufnahme von



Fahrbare Kälteerzeugungsanlage für Versuchszwecke der „Association française du Froid“. Längsschnitt, Querschnitt und Horizontalschnitt. — 1:100.

LEGENDE: A Maschinenraum — B und C Gefrier- bzw. Kühlräume — D Verbrennungsmotor — E Ventilator-Kühler zum Motor — F Kältemaschine — G Kälteflüssigkeits-Pumpe — H Verteilungsgefäss mit Hähnen — I Röhrensystem für direkte Kühlung der Kammern — J Röhrensystem für die Kühlung des Luftstroms — K Ventilator — L Luft-Saugleitung — M Luft-Druckleitung — N Transmissionswelle — O Thermometer — P Hygrometer.

¹⁾ Siehe Bd. LVII, S. 320.

²⁾ Siehe Band LXIV, Seite 54.