

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 127/128 (1946)
Heft: 5

Artikel: Das Diffusionshygrometer
Autor: Greinacher, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83789>

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: 15.01.2026

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

Da die Temperaturgefälle beibehalten und die Durchmesser nicht geändert werden sollen, kann auch gesetzt werden:

$$L \sim m \frac{1}{\sqrt{m}} \frac{1}{m} = \frac{1}{\sqrt{m}}$$

Eine Verkleinerung des Molekulargewichtes um den oben genannten Faktor 9 würde also die Leistungsfähigkeit der Austauschflächen verdreifachen. Die Rohrlängen würden um rd. 25% kleiner. Da die Drücke und Temperaturen gleich sind und damit die Wandstärken nicht geändert zu werden brauchen, verringert sich das Gewicht der wirksamen Rohrfläche je PS auf den vierten Teil.

Die Vergrösserung der Leistung kann physikalisch auch folgendermassen eingesehen werden: Nach dem Gesetz von Avogadro enthält die Volumeneinheit bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleichviele Moleküle, d. h. aber auch (bei gleicher Atomzahl) gleichviele molekulare Freiheitsgrade. Jeder davon transportiert gleichviel Energie und kann auch gleichviel davon nutzbar abgeben. Da wir aber das $\frac{1}{\sqrt{m}}$ -fache Volumen je Zeiteinheit transportieren, folgt eine Erhöhung der Leistung um den selben Faktor.

Der grösste Nutzen ist vorhanden beim Wärmeaustauscher und bei den Vor- und Zwischenkühlern des Kompressors, die wasserseitig ja grosse Wärmeübergangszahlen aufweisen. Bei den Gaserhitzern tritt innenseitig eine grosse Verbesserung auf. Aussenseitig wird dadurch eine schärfere Ausnutzung der Wärmestrahlung ermöglicht. Bei Druckfeuerung, wo aussenseitig der Wärmeübergang vergrössert ist, kommen natürlich die Vorteile leichter Gase stärker zur Geltung. Rohrleitungen brauchen im Durchmesser nicht vergrössert zu werden, da sie bei den kleineren Apparatedimensionen auch etwas kürzer ausfallen dürften; auf alle Fälle aber dürfte ihr Gewicht je Leistungseinheit mit \sqrt{m} zurückgehen.

Die Turbomaschinen würden in den Abmessungen trotz grösserer Leistung gleich bleiben, wenn es möglich wäre, auch die Umfangsgeschwindigkeiten entsprechend $\frac{1}{\sqrt{m}}$ zu steigern.

Aerodynamisch würde dadurch keine Verschlechterung entstehen, da die hauptsächlich massgebenden Mach'schen Zahlen ja unverändert sind; allein die Festigkeit erlaubt nur bei den Axialverdichtern noch eine Steigerung, nicht aber bei den Turbinen. Das bedingt eine Vergrösserung der Stufenzahl. Für den Verdichter ist die Stufenzahl bei einem adiabatischen Temperaturverhältnis ϑ und einer Druckziffer ψ durch

$$n_v = \frac{2}{\vartheta - 1} \frac{\ln \vartheta}{\psi M^2}$$

gegeben; sie würde also wie $\frac{1}{M^2} \propto \frac{1}{m}$ zunehmen; es sei denn,

dass die Umfangsgeschwindigkeit noch gesteigert wird. Im schlimmsten Fall würde also die Länge der Maschine im Verhältnis der Werte $1/m$ zunehmen, ohne dass der Durchmesser wesentlich geändert zu werden braucht. Die grösseren Werte $\varphi = c_m/u$ in der Maschine würden sich für den Wirkungsgrad eher günstig auswirken, Kompressibilität würde keine Schwierigkeiten ergeben.

Als leichteste Gase stehen zur Verfügung: Wasserstoff H_2 ($m = 2$) und Helium He ($m = 4$). Es scheint, dass die Anwendung von H_2 bei hohen Temperaturen für das heute gebräuchliche Material Schwierigkeiten ergeben würde. Mischungen von H_2 und Luft sind wegen Explosionsgefahr, solche von H_2 und Stickstoff N_2 wohl wegen Ammoniakbildung (NH_3) ausgeschlossen. Es bleibt also praktisch nur He , das in den U.S.A. in industriell ausmass zu vernünftigen Kosten genommen wird. Als Mischgas wird ein relativ schweres Gas, vielleicht CO_2 , Vorteile haben, das leicht verflüssigt werden kann und das damit eine gute Möglichkeit der Aenderung des Mischungsverhältnisses bietet.

Es ist klar, dass nur ein sehr eingehendes konstruktives Studium imstande ist, abzuklären, wie weit von den hier erwähnten physikalischen Möglichkeiten praktischer Gebrauch gemacht werden kann. Die grossen Erfahrungen der Kälteindustrie und der chemischen Grossindustrie, wo man ja auch vor teureren und chemisch weit weniger harmlosen Stoffen nicht zurückschreckt, könnten dabei von erheblichem Nutzen sein.

Legt man weniger Gewicht auf Steigerung der Leistung, lässt also die Apparatedimensionen und die Leistung wenig verändert, so resultiert, wie man leicht übersieht, eine spürbare Erhöhung des Wirkungsgrades, da dieser ja stark von den Verlusten in den Apparaten abhängt. Man kann dann mit Druck- und Temperaturverhältnissen nahe an eins arbeiten und nähert

sich so weitgehend dem Carnot-Wirkungsgrad. Wahrscheinlich bringt eine Kombination beider Tendenzen den grössten Gesamt-nutzen.

Eine interessante Anwendung solcher Gemische ergibt sich möglicherweise bei den vor kurzem noch utopischen, heute aber doch ernsthaft erwogenen Atomkraftwerken. Soviel man sehen kann, wird die bei der Kernspaltung gelöste Energie in erster Linie als Wärme frei; direkte Elektrizitätserzeugung erscheint vorläufig noch unmöglich. Somit erhebt sich die Frage, welche Art von Wärmekraftmaschinen für solche Anlagen vor allem in Frage kommt. Da die Wärmeleitung in relativ grossen Massen erfolgt, scheiden Kolbenmaschinen offenbar aus; es kommt nur Beheizung, also Uebertragung an ein flüssiges oder gasförmiges Medium und Turbinenantrieb in Frage. Es trifft sich nun recht merkwürdig, dass die aus anderen Gründen oben empfohlene Mischung von Helium und CO_2 auch für die «Atomkessel» geeignet erscheint, insofern, als sie nur Elemente enthält, deren Atomgewicht durch vier teilbar ist ($He = 4$, $C = 12$, $O = 16$). Diese sind alle befähigt, die schnellen Neutronen ohne Einfangen zu verlangsamen. Auf alle Fälle wird es auch bei den Atomkraftwerken von Anfang an auf guten Wirkungsgrad ankommen. Die Gewinnung und chemische Vorbereitung des «Brennstoffes» ist kostspielig und erfordert besondere Anlagen; die nachfolgende Umwandlung der Kernenergie in elektrische Energie wird man deshalb unter Vermeidung jeglicher Verschwendungen vornehmen müssen. Für den Maschineningenieur ergeben sich da ohne Zweifel sehr interessante Aufgaben.

Das Diffusionshygrometer

Von Prof. Dr. H. GREINACHER, Bern

Die gebräuchlichsten Hygrometertypen sind bekanntlich das Psychrometer, das Taupunktihgrometer und das Haarhygrometer. Da das Erstgenannte in der Form des Aspirationshygrometers zu genaueren Messungen verwendet wird, hat es mit dem Zweitgenannten den Nachteil, dass zu jeder Messung ein Versuch ausgeführt werden muss. Das direkt zeigende Haar-Hygrometer, das die von der Temperatur unabhängige Ausdehnung von Haaren mit der Feuchtigkeit verwendet, ist zwar bequem, aber seine Angaben können, wenn gewisse Voraussetzungen nicht erfüllt sind, sehr ungenau sein. Man sollte den Feuchtigkeitsgrad unmittelbar und mit genügender Genauigkeit ablesen können. Hierzu eignet sich das Diffusionshygrometer, bei dem zur Anzeige die verschiedenen Diffusionsgeschwindigkeiten von Luft und Wasserdampf durch poröse Schichten ausgenutzt werden. Eine Tonplatte P (Bild 1) von genügend feiner Porosität ist auf den seitlichen Ansatz eines Glasgefäßes aufgekittet, das mit dem Flüssigkeitsmanometer M (Füllflüssigkeit: Paraffinöl) verbunden ist. Wird nun in den untern Teil, der beim eingeschlossenen Verschluss S dicht anschliesst, ein Trockenmittel (KOH u. dgl.), eingeführt, durch das die Luft innen absolut trocken wird, so stellt sich von selbst ein gewisser Unterdruck Δp_A ein, der umso grösser ist, je feuchter die umgebende Luft ist. Der Vorgang kommt folgendermassen zustande. Innen und aussen sei nach Einsetzen des Schliffes S der Gasdruck derselbe (Manometerstellung 0). Innen haben wir nur Luft, aussen Luft + Wasserdampf. Der Partialdruck der Luft ist also aussen kleiner als innen, wodurch eine stärkere Luftdiffusion von innen nach aussen stattfindet. Der Druck im Innern sinkt, bis die Luftdiffusion in beiden Richtungen gleich gross geworden ist. Er ist umso kleiner, je grösser der Unterschied des Partialdruckes der Luft innen und aussen, d. h. je höher der Partialdruck des Wasserdampfes ist. In einer ausführlichen Veröffentlichung¹⁾ sind die Verhältnisse genauer dargestellt; dort ist auch bewiesen, dass man Proportionalität ansetzen kann:

$$\Delta p_A = kp \quad \dots \quad (1)$$

wo p den Partialdruck des Wasserdampfes in mm Hg bedeutet. Δp_A kann in beliebigen Einheiten gemessen sein. Die Apparaturkonstante k lässt sich ein für alle Male bestimmen. Man macht sich von dieser in einfacher Weise unabhängig, indem man ein zweites Diffusionshygrometer mitverwendet und dieses statt mit einem Trockenmittel mit Wasser beschickt. Dann stellt sich ein Ueberdruck Δp_B ein, der dem Unterschied des Dampfdruckes zwischen innen und aussen proportional ist. Da die Luft innen mit Wasserdampf gesättigt ist, also der Dampfdruck p_s herrscht, hat man:

$$\Delta p_B = kp_s - p \quad \dots \quad (2)$$

Δp_A und Δp_B , die beide positiv gerechnet seien, hängen nach Gleichungen (1) und (2) so zusammen:

$$\Delta p_A + \Delta p_B = kp_s \quad \dots \quad (3)$$

¹⁾ Helv. Phys. Acta, Bd. 17, S. 437, 1944.

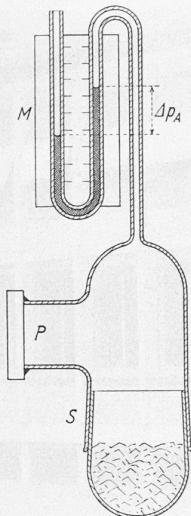


Bild 1. Diffusionshygrometer

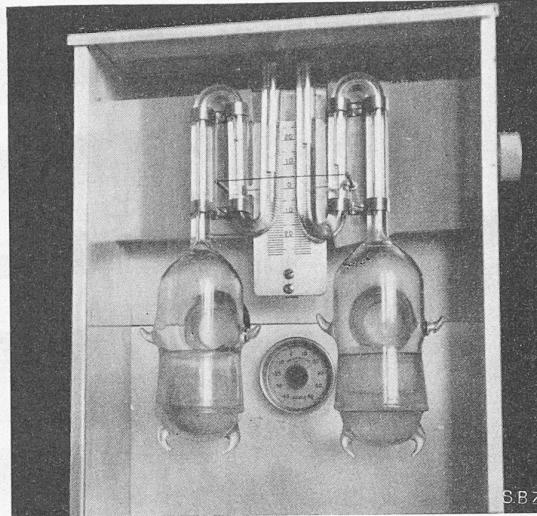


Bild 2. Zweiteiliger Apparat mit Flüssigkeitsmanometern

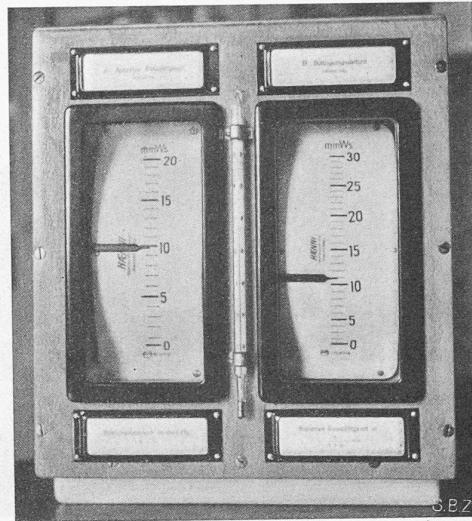


Bild 3. Apparat mit Zeigermanometern

Unter Benützung einer Dampfdrucktabelle für p_s findet man hieraus sofort die Apparatzkonstante k . Man kann aber auch k zwischen (1), (2) und (3) eliminieren und hat dann

$$\text{für die absolute Feuchtigkeit: } p = p_s \frac{\Delta p_A}{\Delta p_A + \Delta p_B} \quad (4)$$

$$\text{und für das Sättigungsdefizit: } p_s - p = p_s \frac{\Delta p_B}{\Delta p_A + \Delta p_B}$$

Es ist klar, dass die Benützung der Beziehung (4) von der Voraussetzung befreit, dass die Diffusionswirkung von Temperatur, Barometerstand, vom Alter der Tonplatte usw. unabhängig sei. Vorausgesetzt ist nur, dass die Platten der beiden Hygrometerteile gleiche Eigenschaften (gleiches k) besitzen.

Ueber die Eigenschaften des neuen Diffusionshygrometers (Konstanz der Angaben, Proportionalität, Einstelldauer usw.) ist bereits eingehend berichtet worden¹⁾. Hier seien nur noch zwei Ausführungen des neuen Instrumentes beschrieben. Bild 2 zeigt ein zweiteiliges Diffusionshygrometer mit Flüssigkeitsmanometer, montiert in Metallgehäuse. Die seitlichen Glasansätze ragen aus zwei entsprechenden Öffnungen in der Rückwand heraus, sodass die Tonplättchen unbehindert von der Luft umspült und durch die Nähe des Beobachters nicht beeinflusst sind. Einen entsprechenden Schutz vor unerwünschter Erwärmung bildet die als Vorderwand eingelassene Glasscheibe. Der Hygrometerteil links ist mit (blauem) Silicagel beschickt, der rechte mit destilliertem Wasser. Eine in Millimeter geteilte Skala kann mit der rechts aus dem Gehäuse herausragenden Schraube auf und ab bewegt werden. Fest damit verbunden ist ein feiner horizontal ausgespannter Draht, den man auf den äusseren Meniskus des Manometers einstellt. Die Druckdifferenz lässt sich dann am inneren Meniskus ablesen. Ein Thermometer ergänzt die Ausrüstung. Um jede Rechnung zu vermeiden, ist dem Instrument noch eine Tabelle beigegeben, aus der für jede Ablesung p_A und p_B die relative Feuchtigkeit zu ersehen ist. In Bild 3 ist ein Diffusionshygrometer mit Zeigerablesung wiedergegeben. Die verwendeten Feindruckmanometer besitzen einen Messbereich von 0 bis 20 mm, bzw. 0 bis 30 mm Wassersäule. An diese sind mit einer Verschraubung je ein Glasgefäß nach Art von Bild 1 angeschlossen. Die Instrumente sind in die Vorderseite eines Holzgehäuses eingelassen, dessen Rückseite offen ist. In vier ober- und unterhalb der Skala angebrachten Rähmchen sind die nötigen Angaben verzeichnet. Das Instrument zeichnet sich durch direkte und bequeme Ablesbarkeit aus, besitzt indessen, solange es nicht mit kleineren Manometern ausgeführt werden kann, infolge der grossen Metallmassen eine etwas lange Einstelldauer.

Die Ledo-Burma-Strasse

Unter den vielen Ingenieur-Bauwerken, die während des zweiten Weltkrieges errichtet wurden, nimmt die Ledo-Burma-Strasse einen besonderen Platz ein, weil bei ihrer Ausführung ungewöhnlich viel unvorhergesehene Schwierigkeiten zu überwinden waren. Ihre Länge beträgt 672 km, 432 km davon führen durch unberührten Urwald und 164 km durch ein Gebirge, zu dessen Überwindung die Strasse bis auf 1350 m Höhe steigen muss. Zehn Hauptströme sowie 155 Flüsse zweiter Ordnung werden überquert. Zu diesen landschaftsbedingten kamen beim Bau noch klimatische Schwierigkeiten hinzu.

Die neue Strasse (Bild 1) verbindet Ledo in Assam mit zwei Punkten der eigentlichen Burmastrasse, die 1939 eröffnet wurden und die einzige Landverbindung (Rangoon-Mandalay-Lashio-Tschungking) zwischen China und seinen Alliierten darstellte, nachdem die Japaner die gesamte chinesische Küste unter ihre Kontrolle gebracht hatten. Nach dem Einfall der japanischen Truppen in Burma und nach der Eroberung von Rangoon am 8. März 1942 war es für China eine Lebensfrage, dass möglichst schnell eine neue Verbindung hergestellt wurde. Die einzige, praktisch in Frage kommende Möglichkeit für die Fortsetzung der Versorgung Chinas bot sich auf dem Wege über Kalkutta - Ledo - Shingbwyang - Warazup - Mogaung - Myitkyina - Bhamo. Die britischen Streitkräfte in Indien übernahmen den Auftrag, die neue Strasse zu bauen. Das Patkai-Gebirge, das die Grenze zwischen der indischen Provinz Assam und Burma bildet, war noch völlig unerforscht und von dichtem Dschungel bedeckt. Welche Gefahren dieses Gelände barg, geht wohl am besten daraus hervor, dass von 30 000 Burmesen (Eingeborenen), die vor den anrückenden Japanern nach Indien zu fliehen versuchten, etwa 20 000 in diesen Wäldern umkamen.

An sorgfältige Vermessungsarbeiten konnte nicht gedacht werden. Die Trassierung war, abgesehen von einer bescheidenen «Luftaufklärung», nur eine Frage des Gefüls und der Geschicklichkeit der betreffenden Ingenieure. Da auf schnelle Fertigstellung grösster Wert gelegt wurde, musste jeweils die leichteste Variante gewählt werden. Auch die Qualität spielte bei der Gebirgsstrecke zunächst nur eine untergeordnete Rolle. Später, als die Talstrecke im Bau war, wurde der durch das Gebirge führende Teil der Strecke verbessert, schlechte Kurven wurden begradigt, Verbesserungen im Längenprofil vorgenommen und ein Drainagesystem gebaut. Im Zuge dieser Arbeiten wurde die Teilstrecke zwischen Ledo und Shingbwyang von 187 auf 163 km verkürzt.

Die aus Indien importierten Arbeitskräfte mussten zeitweise von Hand arbeiten, weil nicht genügend Baugeräte verfügbar waren. Die meisten von ihnen waren diese Art der Arbeit nicht gewöhnt und kehrten wieder heim. Jede Religion und jede Kaste Indiens war vertreten, und durch die Verschiedenheit der Sprache — die Lagerleitung registrierte 200 verschiedene indische Dialekte — entstanden zusätzliche Verwaltungstechnische und auch andere Schwierigkeiten. Der Monsumregen verwan-

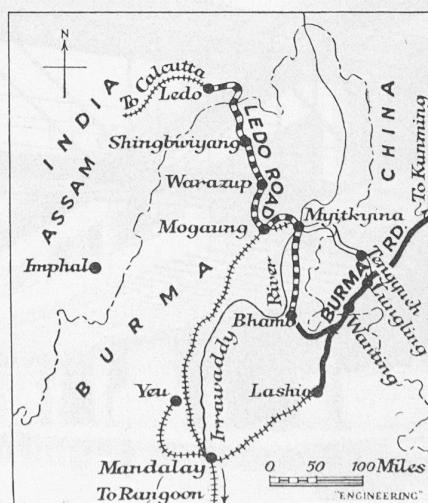


Bild 1. Ledo-Burma-Strasse, 1 : 12 000 000