

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 121/122 (1943)
Heft: 26

Artikel: Wirkungsgrad und relative Feuchtigkeit bei der Lufttrocknung
Autor: Höhn, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-53235>

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: 21.02.2026

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

nimum il faut lui donner. Le calcul de contrôle des oscillations est toujours très long et il serait décevant de devoir le recommencer plusieurs fois, afin de trouver par tâtonnements les dimensions utiles de la chambre.

Il y aurait donc tout intérêt à aborder le premier des problèmes, c'est-à-dire la recherche de n^* , par la voie analytique et à trouver pour n^* des expressions simples, grâce auxquelles on pourrait procéder immédiatement au choix approximatif des dimensions de la chambre en prenant $n > n^*$.

Dès qu'on aura dessiné la chambre, l'on procédera au contrôle, par calcul direct, à la fois de l'amplitude et de la stabilité des oscillations. Nous recommandons d'effectuer ces calculs à l'aide de procédés graphiques.

La contribution du présent travail consiste à avoir cherché des expressions simples de n^* dans les deux cas suivants: 1^o cas de grandes oscillations dans une chambre cylindrique, 2^o cas d'oscillations de faible amplitude dans un système de chambres séparées par une turbine Francis, et d'avoir vérifié la validité des expressions trouvées en procédant à des calculs de contrôle direct.

Il nous a fallu tout d'abord reconnaître qu'il n'existe point de méthode mathématique générale permettant de résoudre et de discuter les équations différentielles des oscillations dans les chambres d'équilibre, dès qu'on abandonne les restrictions faites par Thoma. Certains procédés de calcul usuels en pareil cas nous ont bien donné quelques indications de détail intéressantes, mais sans portée générale.

Wirkungsgrad und relative Feuchtigkeit bei der Lufttrocknung

Von E. HÖHN, alt Oberingenieur, Rüschlikon

Zur Trocknung von Gütern der Landwirtschaft und Industrie wird heute zur Hauptsache *Luft* verwendet.

Nur wenige Stoffe werden im *Vacuum* getrocknet, allgemein hat sich dieses Verfahren nicht durchzusetzen vermocht. Die Gründe hierfür liegen in den erhöhten Kosten zur Anschaffung der Apparate und besonders auch derjenigen des Betriebes infolge grösserer Umständlichkeit. Es ist auch nicht erwiesen, dass das Trocknen im *Vacuum* für Stoffe mit Zellenaufbau (Holz, Obst, Gemüse) rascher vor sich geht als in der Luft, und es scheint namentlich, dass der Wassernachschub aus dem Innern solcher Stoffe im luftverdünnten Raum nicht beschleunigt werden kann, so wie man es gerne annehmen möchte.

Ganz neu ist das Trocknen durch *Wärmestrahlung* im infraroten Bereich¹⁾ durch Anwendung von Lampen, während die Trocknungswirkung von Wärmestrahlung, ausgehend von glühenden oder schwarzen Körpern altbekannt ist; die Theorie der Wärmestrahlung ist ja auch weitgehend ausgebaut. Auch auf diesem Gebiet gilt das physikalische Gesetz von der Wärmeäquivalenz ($1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$). Sollte die Strahlungstrocknung den Wassernachschub aus dem Innern der zu trocknenden Körper beschleunigen können, so wäre sie des Erfolges sicher; zur Zeit fehlt jedoch dieser Beweis.

Über die im Titel genannten Begriffe bestehen vielfach Unklarheiten, auch bei Technikern.

1. Der Wirkungsgrad

Als Wirkungsgrad wird allgemein der Quotient aus Nutzwärme und zugeführter Wärme bezeichnet,

$$\eta = Q_n / Q_{\text{tot}} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Als Nutzwärme Q_n können wir blos jene des aus dem Gut herausgedampften Wassers anerkennen. Bezogen auf 1 kg ist diese Wärme

$$Q_n = i''_2 - t_1 = 595 + 0,46 t_2 - t_1 \quad \text{kcal} \quad \dots \quad (2)$$

worin die Zeiger 2 und 1 sich auf den Zustand des entweichenden Dampfes bzw. auf den des zugeführten Gutes (Wassers) beziehen; wir können auch sagen der Abluft bzw. der Zuluft. Den Wärmeinhalt i'' von Sattdampf kann man nach Mollier für gewöhnlichen Druck (Barometerstand von 760 mm) anschreiben so wie angegeben.

Die hineingesteckte Wärme ist

$$Q_{\text{tot}} = Q_n + Q_L + Q_G + Q_V \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Die Grössen Q_L und Q_G werden zur Erwärmung der Trocknungsluft von t_1 auf t_2 , und Q_V derjenigen des Gutes gebraucht, Q_V bedeutet den Wärmeverlust.

Von den drei Verlustpunkten rechts ist Q_L für die Erwärmung der Trocknungsluft in der Regel der grösste; wir wollen ihn etwas näher betrachten. Beschränken wir uns dabei auf den idealen Trocknungsprozess mit $Q_V = 0$. Auch Q_G kann man

¹⁾ Vgl. SBZ Bd. 120, S. 32 und Bd. 121, S. 216.

C'est en suivant la «méthode estimative» de Schüller-Karas que l'on arrive le plus près du but. Les premiers essais d'employer cette méthode de calcul avaient conduit à des résultats pour le moins douteux. Il fallut rechercher quels étaient les points faibles de la méthode et la manier avec prudence pour arriver à exprimer n^* en fonction des principales données du problème dans les deux cas que nous avons mentionnés sous 1^o et 2^o. La formule (20) précise que, dans le cas d'une chambre cylindrique, n^* est un peu supérieur à l'unité (et non point égal à 2 ou 3 comme on le croit, fig. 4). Tout au contraire, dans un système de deux chambres, il faut très fortement majorer les sections par rapport à la formule de Thoma. En utilisant, en outre, certains résultats de Frank, nous avons pu donner quelques indications sur les conditions qui limitent la puissance des usines et sur les elongations maxima auxquelles il faut s'attendre (fig. 5).

Toute cette partie théorique de notre travail a dû être contrôlée par des calculs point par point. Ceux-ci permettent de se faire, en outre, une opinion sur la valeur de $n > n^*$ qu'il convient d'admettre afin que les oscillations soient non point à la limite de la stabilité, mais réellement amorties.

Il y aurait encore lieu de donner quelques détails sur les méthodes de calcul direct utilisées. Ne pouvant le faire ici, nous nous contentons d'indiquer que ces méthodes sont déduites du principe de calcul graphique indiqué par Schoklitsch.

ohne grossen Fehler vernachlässigen. Diesen Wirkungsgrad wollen wir den theoretischen nennen:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_n}{Q_n + Q_L} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

Wir halten uns vor Augen, dass η_{th} einen optimalen Wert bedeutet. — Anderseits kann der Anteil der Lufterwärmung geschrieben werden

$$\eta_L = \frac{Q_L}{Q_n + Q_L} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

Vorerst muss zur Bestimmung von Q_L die zur Verdunstung von 1 kg Wasser benötigte Menge an trockener Luft bekannt gegeben werden; sie folgt aus $l_{\text{tr}} (x_2 - x_1) = 1 \text{ kg}$ Wasser, daher ist

$$l_{\text{tr}} = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad \text{kg} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

Die Buchstaben x bedeuten den Wassergehalt der Zuluft (1) bzw. der Abluft (2), enthalten in 1 kg trockener Luft. Die Menge von 1 kg ist ihrerseits enthalten in $(1 + x)$ kg Außenluft (Zuluft). Für die Erwärmung der Luftmenge l_{tr} von t_1 auf t_2 braucht es die Wärmemenge Q_L . Mit den spezif. Wärmen 0,24 für Luft und 0,46 für Dampf wird

$$Q_L = l_{\text{tr}} 0,24 (t_2 - t_1) + l_{\text{tr}} x_1 0,46 (t_2 - t_1) = \frac{(t_2 - t_1) (0,24 + 0,46 x_1)}{x_2 - x_1} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

Damit wird Gl. (4)

$$\eta_{\text{th}} = \frac{(x - x_1) (595 + 0,46 t_2 - t_1)}{(x_2 - x_1) (595 + 0,46 t_2 - t_1) + (0,24 + 0,46 x_1) (t_2 - t_1)} \quad (8)$$

Die Grösse x kann bestimmt werden aus der im Trocknungs-wesen bekannten Gleichung²⁾

$$x = 0,622 \frac{\varphi h_{D_s}}{h - \varphi h_{D_s}} \quad \text{kg} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

Durch Formel (9) eröffnet sich der Weg, den Feuchtigkeitsgehalt x aus leicht erfassbaren Grössen zu bestimmen, denn h ist der Barometerstand, (mm QS), h_{D_s} der zu der betreffenden Temperatur t gehörige Sättigungsdruck des Dampfes (mm QS) aus der Dampftafel, $\varphi (\%)$ die rel. Feuchtigkeit (der Sättigungsgrad) der Luft, diese feststellbar mittels des Hygrometers oder besser des Psychrometers (genaue Werte sind nur durch Anwendung des Aspirationspsychrometers oder elektrischer Messmethoden erhältlich).

2. Grössenordnung der Lufterwärmungsverluste

Die Auswertung der Gl. (8) in Kurven ergibt sich aus mehrfach unendlich vielen Möglichkeiten. Um einen raschen Einblick in die Grössenordnung der Wärmeverluste durch die Lufterwärmung zu nehmen, genügt es, einige Beispiele zu errechnen. Wir wählen hierfür die gebräuchliche Trocknungstemperatur $t_2 = 80^\circ$ und die der Zuluft $t_1 = 15^\circ$; dann wird zunächst x_1 , der Wassergehalt der Zuluft, enthalten in 1 kg trockener Luft,

²⁾ E. Höhn, Das Trocknen unter besonderer Berücksichtigung von Obst, Gemüse und Gras. Rüschlikon 1943, Selbstverlag (vergl. Seite 200 laufenden Bandes).

0,0084 kg, für eine mittlere rel. Feuchtigkeit $\varphi_1 = 75\%$ (gemäss meteorologischen Feststellungen), alles bezogen auf 720 mm Barometerstand. Wie diese Zahl zeigt, könnte x_1 in Gl. (8) ohne grossen Fehler vernachlässigt werden. — Die rel. Feuchtigkeit φ_2 der Abluft können wir erfahrungsgemäss 40 bis 60% einschätzen. Dann wird gemäss Gl. (8)

$$\eta_{th} = 85\% \text{ für } \varphi_2 = 40\% \text{ und } \eta_{th} = 91\% \text{ für } \varphi_2 = 60\%$$

Wird die nämliche Untersuchung für die Temperatur $t_2 = 40^\circ$ durchgeführt, wobei die rel. Feuchtigkeitsziffern, $\varphi_2 = 40$ bzw. 60%, obwohl etwas hoch, beibehalten werden sollen, so ergibt sich

$$\eta_{th} = 53\% \text{ für } \varphi_2 = 40\% \text{ und } \eta_{th} = 68\% \text{ für } \varphi_2 = 60\%$$

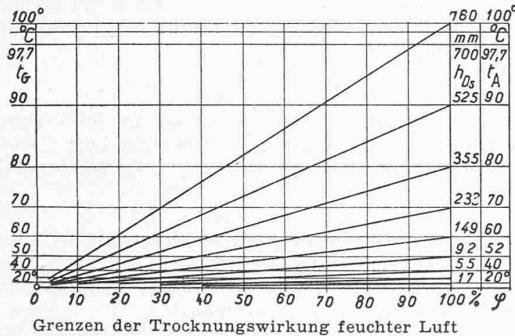
Bei geringer Trocknungstemperatur ergeben sich also Verluste für die Luftherwärmung allein bis zu 50%, die sich bei hoher Trocknungstemperatur und hohem Sättigungsgrad allerdings bis auf rd. 10% vermindern. — Die errechneten Zahlen stimmen befriedigend überein mit den Ergebnissen von Trocknungsversuchen, wonach die Gesamtwirkungsgrade η_{tot} für einfache Apparate sich in der Höhe von rd. 50% bewegen.

Ein weiterer Komplex unklarer Anschauungen bezieht sich auf

3. Die relative Feuchtigkeit

Wichtig ist diejenige der Abluft. Die Werte φ_2 werden nicht selten zu hoch eingeschätzt, wie dies aus den Prospekten hervorgeht.

Die Trocknungsluft kann bloss dann Feuchtigkeit aus dem Gut aufnehmen, wenn eine Potentialdifferenz besteht, wen also der Dampfdruck der Luft (φh_{D_s}) unter dem des Gutes ($h_{D,G}$) liegt, und zwar hinsichtlich seiner Oberfläche. Würde dem Gut eine höhere Temperatur als der Trocknungsluft innewohnen, so wäre damit eine natürliche Differenz geschaffen. Das Schwierige liegt aber darin, dass das Gut stets kühler ist als die Trocknungsluft, nicht nur bei dessen Anwärmen, sondern auch beim Trocknen, weil ein Teil der zur Verdunstung benötigten Wärmemenge dem Gut selber entnommen wird. Soll bestehen $h_{D,G} > \varphi h_{D_s}$, so muss die rel. Feuchtigkeit der Trocknungsluft entsprechend klein sein.



Diese Verhältnisse lassen sich an Hand unseres Diagramms überblicken. Auf der Ordinatenaxe rechts sind die Sättigungsdampfdrücke h_{D_s} in mm QS aufgetragen, rechts davon die zugehörigen Temperaturen $t_{D_s} = t_2$, oder, weil dies auch die Temperatur im Apparat ist, $= t_A$ der Abb. Aus dem Schnitt der Diagonalen mit den Ordinaten über φ ergeben sich die Drücke φh_{D_s} . Die Ordinatenaxe links mit den nämlichen Temperaturen dient zum Abgreifen der Temperatur des Gutes t_G . Die Waagerechte aus einer solchen Temperatur schneidet auf der Diagonalen zu t_A einen Punkt ab, dessen Abszisse den gesuchten Wert der rel. Feuchtigkeit φ angibt. Je tiefer die Temperatur des Gutes, desto geringer wird φ .

Der Wert von φ , der nach dieser Methode ermittelt wird, stellt die Grenze dar, bei der die Potentialdifferenz $= 0$ wird. In Wirklichkeit muss jedoch eine solche bestehen, um eine Trocknungswirkung zu erzielen; der wirkliche Wert von φ liegt also darunter.

In diesen Verhältnissen liegt der Hauptgrund, dass die rel. Feuchtigkeit der Luft φ_2 oft nur sehr geringe Werte, bei kleinen Apparaten mit natürlicher Belüftung nicht einmal 30% erreicht. Ein anderer Grund kann darin liegen, dass das Gut das ihm innewohnende Wasser nur langsam abgibt. Der Wert von φ wird erhöht durch starke künstliche Belüftung und Anwendung des Umluftprinzips, wobei mechanisch die nämliche Luft mehrfach mit dem Gut in Berührung kommt.

Die einzelnen Vorgänge im Trocknungswesen rechnerisch zu erfassen, ist einfach, das ganze Problem wird aber durch das vielfache Ineinanderreihen der Vorgänge verwickelt. Der Fortschritt im Trocknungswesen ist von der Lösung von zwei Aufgaben abhängig: Wärmerekuperation und Verbesserung des Wassernachsches aus dem Innern des Gutes an die Oberfläche.

Während in der Richtung, die dem Ingenieur ohne weiteres zugänglich ist, in der Wärmerekuperation, Fortschritte zu verzeichnen sind (z. B. BBC-Trockner), herrscht in der andern ziemliches Dunkel. Hier werden Ingenieur und Physiologe zusammenarbeiten müssen.

MITTEILUNGEN

Die Bedeutung der Schweiz. Verkehrspolitik vom Standpunkt der Eisenbahnen ist an der Zürcher Verkehrstagung vom 5./6. Nov. d. J. von Dr. W. Meile, Präsident der Generaldirektion SBB behandelt worden. Er gliedert die Verkehrspolitik in Eisenbahngesetzgebung, Eisenbahnbetrieb, Technik, Tarif, Finanzen und bezeichnete dabei als oberste Aufgabe der Bahnen Dienst an Land und Volk (auch kulturell). Der ganze Fragenkomplex bedarf einer wissenschaftlichen Durchdringung. Die wichtigste Aufgabe der Eisenbahngesetze besteht in der Herstellung des Gleichgewichtes zwischen den einzelnen Verkehrsmitteln auf Schiene, Strasse, in der Luft und auf dem Wasser. Die Revision dieser Gesetzgebung ist ebenso notwendig, wie die Sanierung der Verkehrsanstalten. Der Eisenbahnbetrieb der Nachkriegszeit wird auf Ausbau der Doppelspur, Lockerung der Fahrpläne durch leichtere Züge und häufigere Kurse ausgehen müssen, was schon im Vortrag von Prof. Sachs unterstrichen worden war. Die Elektrifikation muss vollständig durchgeführt werden, die Linien werden moderne Sicherungsanlagen erhalten, Bahnhofsbauten, Aufhebung von Niveauübergängen und Brückenverstärkungen werden nötig sein. Zur Erneuerung des Fahrparks und zur Modernisierung der Anlagen fehlt es vielfach an den nötigen Finanzmitteln. Es ergibt sich daraus die Forderung nach grössten Mitteln für die Bauvorhaben der Nachkriegszeit. Tarifpolitisch werden auch in Zukunft Tragbarkeit und regionaler Tarifausgleich berücksichtigt werden müssen. Vom Lastwagen her erwächst der Bahn deshalb eine Gefahr, weil dieser besonders die hochtarifierten Güter zu befördern sucht. Eine kommende Verkehrsordnung wird dafür zu sorgen haben, dass die volkswirtschaftliche Funktion des Tarifs gewahrt bleibt. Bei der Sanierung darf der technische Fortschritt nicht gehindert werden, er muss vielmehr allgemeinen, höhern Zielen dienstbar gemacht werden. Da die Bahnen eine Vorrechtstellung für sich beanspruchen können, ist zu untersuchen, wo ein Ersatz oder eine Zusammenlegung möglich ist. Die Lösung soll lauten: Nicht nur planen, sondern auch rechnen. Für die Lösung der Probleme der Verkehrsteilung wird jedoch ein gewaltiger Aufwand an Kräften nötig werden.

Einheimische Brennstoffe in Zentralheizungskesseln zu verfeuern, bedingt nach Ausführungen von Obering. E. Wirth in den «Schweiz. Blättern für Heizung und Lüftung» Nr. 4, 1943 keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, sondern höchstens einige kleine Anlageänderungen und mehr Bedienungsarbeit. Die für gasarme, nicht flammende Brennstoffe (Koks und Anthrazit) gebauten Heizungsfüllkessel mit langem Dauerbrand und halbautomatischer Bedienung können auch mit gasreichen, langflamigen Inlandbrennstoffen ordentlich betrieben werden, wenn durch richtige Oberluftzufuhr (ohne teure Einbauten) die vollständige Verbrennung der flüchtigen Bestandteile erzwungen und durch eine hohe Kesseltemperatur — erreichbar durch Rücklaufbeimischung — Kondensationen, Teer- und Schwefelniederschlag hintangehalten werden. In einem gelben «Merkblatt über Kohlen schweizerischer Herkunft», herausgegeben vom KIAA im Aug. 1943, sind die Eigenschaften und Verwendung unserer Ersatzbrennstoffe klar und übersichtlich dargelegt. E. Wirth ergänzt dieses durch eine noch übersichtlichere Tabelle mit graphischen Vergleichen. Da die spezifische Heizflächenleistung wesentlich geringer ist als bei den hochwertigen Brennstoffen, werden die einheimischen Brennstoffe vorteilhaft in den Übergangszeiten oder dort verwendet, wo ohnehin eine entsprechende Minderleistung infolge abgesperrter Heizkörper vorliegt. Leider liegen noch keine systematischen Versuche über die günstigsten Mischungsverhältnisse vor. Es scheint aber, dass, wider Erwartungen, auch gute Kombinationen gasarmer, langsam brennender mit gasreichen, rasch brennenden Brennstoffen, wie z. B. Walliser Anthrazit und Torf, möglich sind. Ein Erfahrungsaustausch, mit brauchbaren Unterlagen natürlich, wird angeregt.

Ein Baurechtsvertrag in Schaffhausen. Wie «Hoch- und Tiefbau» berichtet, unterbreite kürzlich der Stadtrat dem Grossen Stadtrat den mit der Baugenossenschaft «Allmend» vereinbarten Vertrag über die Abtretung von Bauland im Baurecht zur Genehmigung. Darin wird den Genossenschaftern das Recht eingeräumt, für die Dauer von 40 Jahren auf dem ihnen zugesetzten Grundstück Wohnhäuser zu errichten, die nach den vom Stadtrat genehmigten Bauplänen auszuführen sind. Der Stadt