

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

**Artikel:** De la stabilité des chambres d'équilibre et des systèmes de chambres d'équilibre  
**Autor:** Jaeger, Charles  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-53234>

### **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:** 18.04.2026

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

greiflich es ist, dass sie den Bau bei der Einweihung fertig zeigen möchte. Im vorliegenden Fall hat die Ueberanstrengung des in seiner Gesundheit ohnehin geschädigten Künstlers sehr wahrscheinlich seinen Tod beschleunigt; auch muss die erzwungene Uebereilung die Qualität der Arbeit unweigerlich beeinträchtigen. Ein unschwer korrigierbarer Missgriff sind die kuriosen, über Gebühr auffälligen Leuchtkörper des Grossratssaales.

Am meisten problematisch ist für den Besprechenden der Regierungsratssaal (Abb. 16, Tafel 4) und seine Vorhalle. Dieser nicht sehr grosse Saal besitzt eine alte, schöne hölzerne Bälkchen-  
decke in der in der Spätgotik für Privaträume so beliebten Form der Stichbogen-Tonne, wodurch er allerdings für unser heutiges Gefühl eine gewisse kirchliche Note annimmt. Die Auswechslung und Entfernung alter Bauteile im Erdgeschoss gab nun die Möglichkeit, auch noch die Wände dieses Raumes mit altem Eichenholz zu verkleiden; man liess es aber nicht bei einer Veräfelung mit glatten Füllungen zwischen profilierten Leisten bewenden, vielmehr wurden alle Felder sowohl der Schmalseiten wie der Längsseite mit einem Fries von Holzsulpturen spätgotischer Stilhaltung von Theo Wetzlar geschmückt, die nun den Raum erst recht kapellenartig erscheinen lassen (hier Abb. 4 u. 5). Es muss für einen Holzbildhauer eine herrliche Aufgabe sein, so aus dem Vollen, massiven Eichenholz heraus arbeiten zu können, und zweifellos entstehen hier sehr geschickte, materialgerechte Arbeiten: an der Längsseite Symbole der Monate, an der Stirnseite Konsolenfiguren unter gotischen Baldachinen von einer, wie es scheint, etwas vagen Ikonographie, über deren Symbolbedeutung uns der Künstler selbst keine genaue Auskunft geben konnte. Im Mittelalter war es immer der Auftraggeber, der dem Bildhauer ganz genau vorschrieb, was er symbolisiert haben wollte, während man hier offenbar nicht vom Inhaltlichen ausging, sondern vom dekorativen Effekt. Nur so ist es auch erklärlich, wie man darauf kam, den kleinen Vorraum mit einem Farbenfenster von Augusto Giacometti zu verdunkeln: nun ist dieser Raum in eine mystische Finsternis getaucht, aus der geheimnisvolle Farben aufglühen. Das scheint uns hier grundsätzlich verfehlt: Regieren ist in der Schweiz eine Tätigkeit, die im vollen Tageslicht und nicht in mystischem Dämmer vor sich geht. Bei allem Respekt vor der Regierung eines souveränen Kantons ist es gewiss nicht nötig, dass der wartende Besucher in eine Stimmung versetzt wird, als käme er nun ins Allerheiligste oder in eine Folterkammer.

Doch wollen wir uns nicht beim Negativen aufhalten, das sich bei so grossen und komplexen Bauaufgaben nie ganz vermeiden lässt. Das ganze Gebäude ist voll von geschickten Wiederverwendungen alter Bauteile, angefangen von gotischen Türumrahmungen bis zu einzelnen Türfallen, Truhen, Säulenkapitellen (hier Abb. 6 u. 7). Ein positiver Eindruck grossen Stils ist auch der alte, von Einbauten gereinigte Dachstuhl (Bd. 121, S. 91\*), ein riesiges Hängewerk, unter dem man Feste feiern könnte. Grossartig ist die fast fensterlose Westfassade (Abb. 9, Tafel 1) — die ehemalige Brandmauer gegen die früher angrenzende, längst abgebrochene Münz. Ausgezeichnet geglückt ist der Ausbau der ehemaligen Gewölbe des bernischen Staatsschatzes zu Sitzungssälen, Bibliotheken usw., und der flotte Ratskeller im tiefsten Untergeschoss (hier Abb. 7). Die hohe Freitreppe, das Wahrzeichen der Hauptfassade, ist stark und glücklich verändert (Abb. 8, Taf. 1), sodass nun die Fassade

breiter aussieht und sozusagen freier atmen kann. Die schwerfälligen, schräg ansteigenden Pultdächer über den Treppenläufen sind verschwunden, ebenso ein neugotischer Aufbau über der Mitte; nun kommt die kleine baldachinartige Bogenstellung über dem Treppenpodest in ihrer ganzen gotischen Grazie frei zur Geltung (Abb. 17, Tafel 4). An den Kapitellen der Pfeiler finden sich zierliche gotische Skulpturen schwer deutbaren Inhaltes von einem Meister Hariman<sup>2)</sup>. Die Eckfiguren sind neu, desgleichen die Figuren an den kleinen Doggen, die die Masswerkplatten der Treppenbrüstungen unterbrechen (hier Abb. 9 und 10). Die Qualität dieser Arbeiten, sowie der Vespässe zu Seiten der Erdgeschossbögen — alles von Bildhauer Gustav Piguet — ist durchaus erfreulich; doch wäre der Gesamteindruck eindeutiger, wenn diese Skulpturen nicht versuchen würden, eine mehr oder weniger gotische Tonart anzuschlagen, wodurch sie in ein für den Betrachter verwirrendes Verhältnis zu den wirklich gotischen Plastiken geraten. Völlig geglückt ist der zierliche Brunnen von Bildhauer Max Fueter in dem winzig kleinen Renaissance-Höfchen (Abb. 11 und 20, S. 4 und 5, hier Abb. 11); die zierliche Arbeit ist mit feinstem Takt in den beschränkten Raum hineinkomponiert und füllt ihn mit dem leisen Plätschern ihres Wasserspiels. Vom gleichen Bildhauer sind auch die lustigen Masken in den spitzbogigen Fensterlünnetten des Verbindungsbauwerks (Abb. 10, S. 4) — sie gehen mit ihrer gotischen Umgebung aufs beste zusammen, ohne selbst gotisierend zu wirken. Die Eisengitter der Erdgeschossbögen darunter sind vielleicht ein wenig zu reich und zu bunt, wie sich das aus der Freude an so seltenen Aufgaben leicht ergibt.

«Volk von Bern, die Erneuerung dieses Rathauses in schwerer Zeit ist der Ausdruck eines stolzen Willens, 1940—42», verkündet eine gotisch stilisierte Inschriftplatte dieser Vorhalle — darf man das selbst sagen? Sollte man eine solche Feststellung nicht dem Betrachter, dem Fremden überlassen? Gewiss, es ist richtig, und doch ist es dem Besprechenden bei solchen selbstlobenden Inschriften unbehaglich: sie scheinen ihm trotz gotischer Stilisierung unschweizerisch zu sein.

Wir haben uns erlaubt, mit einiger Ausführlichkeit dieses Bauwerk zu betrachten, wie es seine Wichtigkeit verdient. Es ist klar, dass die Notwendigkeit, neue Räume von solchem Ausmass in einem alten Baubestand unterzubringen, von vornherein verbietet, die Umgestaltung einzig unter dem Gesichtspunkt der Wiederherstellung eines historischen Baudenkmals zu betrachten; dafür hat man die Genugtuung, dass ein solches Bauwerk lebendig in das Leben der Gegenwart eingebaut bleibt. Für künftige Aufgaben ähnlicher Art, wie sie sich in unseren alten Städten immer wieder stellen, ist das Rathaus Bern sowohl in seinen weitaus überwiegenden positiven, wie in seinen problematischen Teilen ein Beispiel, das man immer wieder studieren wird, und dem Kanton Bern und seinen Behörden darf man dazu gratulieren.

Peter Meyer

## De la stabilité des chambres d'équilibre et des systèmes de chambres d'équilibre

Par CHARLES JÄGER, Dr. ès sc. techn., Privat-docent à l'E. P. F., Collaborateur du Laboratoire de recherches hydrauliques E. P. F. à Zurich (Suite et fin de la page 317)

4) De quelques résultats et exemples de calcul obtenus par l'application des procédés graphiques (fig. 9)

Nous renonçons à exposer ici le détail de la méthode de calcul graphique employée, qu'il n'est d'ailleurs point difficile de reconstituer à partir de l'exposé de la méthode de Schoklitsch. Les courbes que nous reproduisons à la fig. 9 ne sont que le résultat final du calcul. Les courbes I, II et III (calculées sans tenir compte des pertes de charge dans les conduites forcées) se rapportent à un système de chambres d'équilibre caractérisé par les grandeurs  $L_1 = 6330$  m,  $L_2 = 111$  m,  $f_1 = 7,07$  m,  $H = 253,25$  à  $282,00$  m et  $k = 80$ , le débit, les sections  $F_1$ ,  $F_2$  et  $f_2$  variant d'un cas à l'autre.

Les courbes du diagramme I correspondent aux valeurs  $F_1 = 15,95$  m<sup>2</sup>,  $F_2 = 28,15$  m<sup>2</sup>,  $H = 261,47$  m et  $Q_0 = 11$  m<sup>3</sup>/sec  $n_1 = 1,67$  n<sub>1</sub>\* et  $n_2 = 0,83$  n<sub>2</sub>\*. (Nous avons calculé  $n_1$ \* et  $n_2$ \* en posant  $\lambda(t)_{\max} = 1$ ). On vérifie que conformément aux formules (40) et (42) la courbe  $z_1 = z_1(t)$  est suffisamment amortie, alors que la courbe  $z_2 = z_2(t)$  est entretenue.

<sup>2)</sup> Von der gleichen Hand sind die Figuren an einigen Pfeilern der Erdgeschosshalle, während die anderen ungeschmückt geblieben sind. Ueber diese und weitere Skulpturen und ihren Zusammenhang mit den Werken der Parler-Werkstatt in Prag, Ulm, Augsburg, Freiburg, Esslingen, Gmünd, Basel siehe die interessante Studie «Die Plastik der Hermann-Werkstatt im Berner Rathaus 1410—1414» von Paul Hofer im Jahresbericht 1942 der Gesellschaft für Schweiz. Kunstgeschichte.

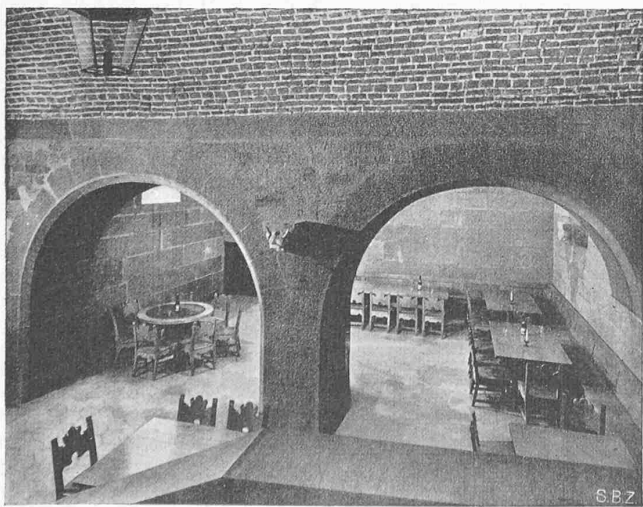


Abb. 8. Der Ratskeller im Rathaus zu Bern

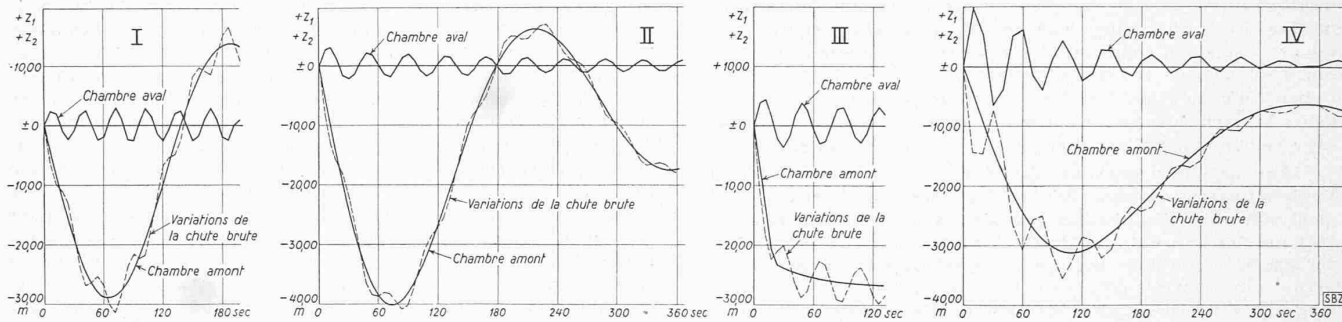


Fig. 9. Oscillations dans un système de deux chambres (Fig. 7). Les données sont résumées dans le tableau de droite

En augmentant sensiblement  $F_2$  ( $F_2 = 35,25 \text{ m}^2$ ) et un peu  $F_1$  ( $F_1 = 19,64 \text{ m}^2$ ), on trouve pour  $H = 273,25$  et  $Q_0 = 16,75 \text{ m}^3/\text{sec}$   $n_1 = 2,12 n_1^*$  et  $n_2 = 1,25 n_2^*$ . On peut estimer que l'amortissement des deux oscillations est satisfaisant.

La troisième courbe est une variante de la seconde avec  $H = 253,25 \text{ m}$ ,  $Q_0 = 24 \text{ m}^3/\text{sec}$  et entrée en jeu du réservoir d'expansion inférieur; on trouve alors  $n_2 = 1,12 n_2^*$ . On peut estimer que l'amortissement de la seconde oscillation est peu efficace, voire même insuffisant. Cette insuffisance serait bien plus marquée encore, si l'on avait tenu compte de l'influence des pertes de charge dans les conduites forcées: On doit conclure qu'il serait utile d'accroître la section horizontale des chambres d'équilibre et plus particulièrement de la chambre inférieure.

L'application de la formule de Thoma nous aurait donné:  $F^*_{Th1} = 5,95$  à  $6,10 \text{ m}^2$  et  $F^*_{Th2} = 10$  à  $12 \text{ m}^2$  (selon la valeur de  $H$ ), valeurs tout à fait insuffisantes.

La courbe IV se rapporte, par contre, à une variante où l'amortissement des oscillations est très efficace. On a, en effet:  $n_1 = 2,12 n_1^*$ ,  $n_2 = 2,56 n_2^*$  pour  $L_1 = 6060$  et  $L_2 = 270 \text{ m}$ ,  $Q = 21 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $H = 261 \text{ m}$ ,  $F_1 = 44 \text{ m}^2$  et  $F_2 = 19,64 \text{ m}^2$ ,  $f = 7,07 \text{ m}^2$ . Nous constatons en outre que, dans le cas le plus défavorable (courbe IV) nous avons:  $P w_{2,0}^2/H = 12,12/261 = 0,046$ .

D'une façon générale, on observe que la durée effective des oscillations est sensiblement supérieure à la période théorique. Ceci est surtout vrai pour la courbe IV.

Ces quatre exemples de calcul montrent l'utilité pratique des formules (40) et (42).

IV. EXAMEN SOMMAIRE DE LA STABILITE DE QUELQUES AUTRES SYSTEMES DE CHAMBRES D'EQUILIBRE

D'autres systèmes de chambres d'équilibre offrent un intérêt au moins égal à celui que nous avons étudié. Nous avons été amenés à en examiner l'un ou l'autre de façon sommaire, sans avoir la possibilité de pousser très loin nos études. Voici à ce sujet quelques indications qui pourraient être utiles.

1. Cas de deux chambres d'équilibre branchées en série sur la galerie principale (fig. 10)

L'étude rigoureuse de ce système serait encore plus difficile que celle, où les deux chambres sont séparées par une turbine, car la symétrie des équations disparaît<sup>25)</sup>.

En abordant le problème par la méthode estimative on peut montrer que, pour de petites oscillations et au cas où les deux chambres de sections  $F_1$  et  $F_2$  sont proches l'une de l'autre, l'on doit avoir  $F_1 + F_2 \geq F_{Th}$ . C'est-à-dire que les deux chambres se

<sup>25)</sup> A. Stucky: Contribution à l'étude expérimentale et analytique des chambres d'équilibre. «Bulletin Techn. de la Suisse Romande», 26 sept. et 24 oct. 1936.

Ch. Jaeger: L'agrandissement des usines hydro-électriques. «La Technique moderne», 15 janvier 1938.

W. Straubel: Zur Theorie gekuppelter Wasserschläsler bei selbsttätig geregelten Turbinenanlagen. «Wasserkraft und Wasserwirtschaft» 15 octobre 1943. Voir aussi: W. Straubel: «Wasserkraft und Wasserwirtschaft» 15 novembre 1943, où l'auteur traite des chambres d'air pour le cas de petites oscillations; mais le résultat serait tout autre pour le cas de grandes oscillations.

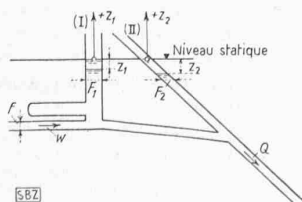


Fig. 10. Chambres d'équilibre branchées en série

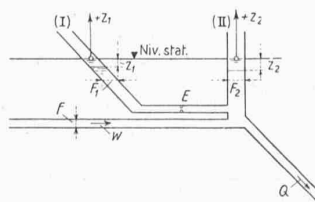


Fig. 11. Chambres d'équilibre reliées directement

Cas	I	II	III	IV	
$L_1$	6330	6330	6330	6060	m
$L_2$	111	111	111	270	m
$f_1$	7,07	7,07	7,07	7,07	$\text{m}^2$
$f_2$	10,75	9,52	9,52	8,55	$\text{m}^2$
$F_1$	15,95	19,64	19,64	44	$\text{m}^2$
$F_2$	28,15	35,25	35,25	19,64	$\text{m}^2$
$H$	261,47	273,25	253,25	261	m
$Q_0$	11	16,75	24	21	$\text{m}^3/\text{sec}$
$n_1/n_1^*$	1,67	2,12	—	1,12	
$n_2/n_2^*$	0,83	1,25	1,12	2,56	

comporter comme s'il n'y en avait qu'une seule, de section  $F = F_1 + F_2$ ; résultat très plausible.

On peut cependant se demander si l'on ne doit pas craindre des oscillations secondaires entre les chambres I et II. A. Stucky a développé une méthode qui permet d'en aborder en principe l'étude: Quelques exemples de chambres de ce type, calculées directement par nous, n'ont pas révélé d'instabilité des oscillations secondaires.

2. Cas de deux chambres d'équilibre reliées directement l'une à l'autre (fig. 11)

Tout autre est le cas de deux chambres reliées directement entre elles, représenté par la fig. 11. Ici nous avons descellé, entre les chambres I et II, d'importantes oscillations secondaires qui n'avaient point l'air de s'amortir, ainsi qu'on le voit en suivant la courbe  $z_2 - z_1$  (fig. 12). Il importe de signaler que ces oscillations secondaires ne proviennent pas du réglage de la turbine et qu'elles persistent même si la hauteur de chute est très grande et la condition de Thoma largement satisfaite. Elles disparaissent presque totalement si l'on introduit un étranglement  $E$  entre les deux chambres (fig. 11 et 12).

V. CONCLUSIONS

Depuis que D. Thoma a résolu le problème de la stabilité des petites oscillations dans une chambre d'équilibre cylindrique en définissant une certaine valeur  $F_{Th}$  qui doit être dépassée par la section horizontale  $F_{min}$  de la chambre pour que les oscillations soient stables, les hydrauliciens se sont préoccupés d'introduire un «coefficient de sécurité  $n$ » et d'écrire  $F_{min} = n F_{Th}$ . Au début, on attribuait arbitrairement à  $n$  les valeurs les plus diverses, allant de 1 à 6 ou 7. Pareille incertitude au sujet de ce coefficient n'est plus tolérable, lorsqu'on doit projeter des chambres d'équilibre pour des installations à gros débits et à chute moyenne ou basse; aussi divers auteurs se sont-ils attachés, ces derniers temps, à préciser cette valeur  $n$ .

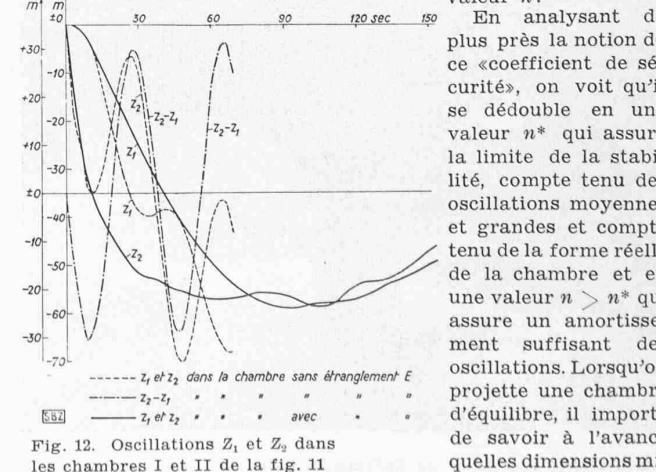


Fig. 12. Oscillations  $Z_1$  et  $Z_2$  dans les chambres I et II de la fig. 11

En analysant de plus près la notion de ce «coefficient de sécurité», on voit qu'il se dédouble en une valeur  $n^*$  qui assure la limite de la stabilité, compte tenu des oscillations moyennes et grandes et compte tenu de la forme réelle de la chambre et en une valeur  $n > n^*$  qui assure un amortissement suffisant des oscillations. Lorsqu'on projette une chambre d'équilibre, il importe de savoir à l'avance quelles dimensions mi-

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° cas de grandes oscillations dans une chambre cylindrique, 2° 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.

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° et 2°. 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 croyait, 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 élongations 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.

## Wirkungsgrad und relative Feuchtigkeit bei der Lufttrocknung

Von E. HÖHN, alt Oberingenieur, Rüslikon

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 Zellaufbau (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 Wärmestrahlen im infraroten Bereich<sup>1)</sup> durch Anwendung von Lampen, während die Trocknungswirkung von Wärmestrahlen, 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 kWh = 860 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.

Ueber 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,

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

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

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

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

$$Q_{tot} = Q_n + Q_L + Q_C + Q_V \dots \dots \dots (3)$$

Die Wärmemenge  $Q_L$  wird zur Erwärmung der Trocknungsluft von  $t_1$  auf  $t_2$ , und  $Q_C$  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  $Q_C$  kann man

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

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

Wir halten uns vor Augen, dass  $\eta_{th}$  einen optimalen Wert bedeutet. — Andererseits kann der Anteil der Lufterwärmung geschrieben werden

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

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  $l_{tr} (x_2 - x_1) = 1$  kg Wasser, daher ist

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

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  $(1 + x_1)$  kg Aussenluft (Zuluft). Für die Erwärmung der Luftmenge  $l_{tr} (1 + x_1)$  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

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

Damit wird Gl. (4)

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

Die Grösse  $x$  kann bestimmt werden aus der im Trocknungs-wesen bekannten Gleichung<sup>2)</sup>

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

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,

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

<sup>1)</sup> Vgl. SBZ Bd. 120, S. 32 und Bd. 121, S. 216.