

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 18

Artikel: Die Bestimmung der geodätischen Höhendifferenz H durch Messung der Pressung p mit Gewichtsmanometer und Beobachtung des atmosphärischen Druckes p_a
Autor: Dubs, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061594>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 25 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXV. Jahrgang

N^o 18

Mittwoch, 6. September 1944

Die Bestimmung der geodätischen Höhendifferenz H durch Messung der Pressung p mit Gewichtsmanometer und Beobachtung des atmosphärischen Druckes p_a

Aus einem Bericht an das Fachkollegium 4 (Wasserturbinen) des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES) von R. Dubs, Zürich

526.941 : 531.787 : 621.311.21

Professor R. Dubs, Präsident des Fachkollegiums 4 des CES, Vorstand des Institutes für Hydraulik und hydraulische Maschinen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule, gibt im folgenden einen Auszug aus Berichten, die er dem FK 4 über Untersuchungen erstattete, die von ihm zur Abklärung der Unterschiede durchgeführt worden sind, die bei der Messung der statischen Druckhöhe vermittels Gewichtsmanometern und der geodätischen Höhe beobachtet wurden. Der Einfluss der Kompressibilität des Wassers sowie der barometrischen Druckdifferenz zwischen Oberwasserspiegel und Aufstellungsort des Gewichtsmanometers und die Abweichung des wirklichen Stempeldurchmessers vom Sollmesser auf die Anzeige des Manometers wird theoretisch abgeleitet. Versuche in den Kraftwerken Amsteg, Ritom, Sernf-Niedererbach und Dixence bestätigen die Ergebnisse der Theorie weitgehend. Es lässt sich schliessen, dass die beobachtete Differenz zwischen der geodätischen Höhe und der Anzeige des Gewichtsmanometers sich zum grössten Teil durch die Kompressibilität des Wassers erklären lässt.

M. le professeur R. Dubs, président du Comité Technique 4 du CES et directeur de l'Institut d'hydraulique et des machines hydrauliques de l'Ecole Polytechnique Fédérale, présente un extrait des rapports adressés au CT 4 à propos des recherches qu'il a entreprises en vue d'éclaircir la cause des écarts constatés entre la mesure de la hauteur de chute statique à l'aide de manomètres à contrepoids et la hauteur géodésique nivelée. Il détermine théoriquement l'influence de la compressibilité de l'eau, ainsi que de la différence des pressions barométriques entre le plan d'eau amont et l'emplacement du manomètre à contrepoids et de l'écart entre le diamètre réel du piston et le diamètre théorique, sur les indications du manomètre. Des essais entrepris aux usines d'Amsteg, de Ritom, de Sernf-Niedererbach et de la Dixence ont amplement confirmé cette théorie. M. le professeur Dubs en conclut que les écarts constatés entre la hauteur nivelée et les indications du manomètre à contrepoids s'expliquent en grande partie par la compressibilité de l'eau.

Unter dem Titel die «Eichung von Gewichtsmanometern» wies H. Gerber im Bull. SEV 1944, Nr. 2, darauf hin, dass von ihm systematische Differenzen zwischen der geodätischen Höhendifferenz und den Angaben eines Gewichtsmanometers festgestellt worden seien, die sich nur bei rd. 2000 m Gefälle durch die Kompressibilität des Wassers erklären liessen. Das Fachkollegium 4 des CES beauftragte deshalb den Berichterstatter mit der genauen theoretischen und experimentellen Abklärung des beobachteten Phänomens.

Theorie

Es sei

- p'_a die atmosphärische Pressung auf dem Oberwasserspiegel,
- p''_a die atmosphärische Pressung beim Gewichtsmanometer,
- G das totale Gewicht auf der Kolbenfläche des Gewichtsmanometers,
- A die Kolbenfläche des Gewichtsmanometers,
- y der senkrechte Abstand vom Oberwasserspiegel bis zu einer beliebigen Stelle der Druckleitung,
- H die geodätische Höhendifferenz zwischen Oberwasserspiegel und unterer Stempelfläche des Gewichtsmanometers (siehe Fig. 1 und 2).

Ist γ das spezifische Gewicht des Wassers, so ist der unendlich kleine Pressungszuwachs, der bei einer unendlich kleinen Vergrösserung von y eintritt, gegeben durch:

$$dp = \gamma \cdot dy$$

oder

$$\frac{dp}{\gamma} = dy$$

und

$$y = \int \frac{dp}{\gamma} + K \quad (1)$$

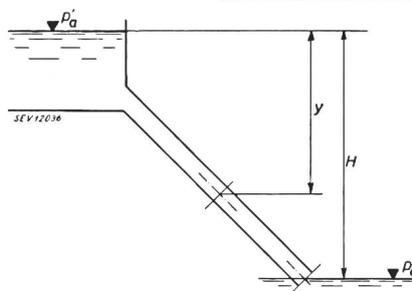


Fig. 1.
Definitions-Skizze für Gefälle und Drücke

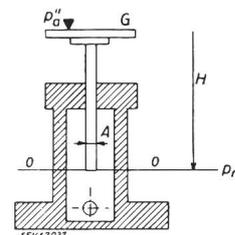


Fig. 2.
Definitions-Skizze für das Gewichtsmanometer

Es lässt sich ferner ohne weiteres folgende Gleichgewichtsbedingung anschreiben:

$$p'_a + \int_0^H \gamma \cdot dy = \frac{G}{A} + p''_a \quad (2)$$

Wenn nun $\gamma = \gamma_0$ mit variablem y konstant wäre, so könnte man leicht integrieren und erhielte:

$$p'_a + \gamma_0 \cdot H = \frac{G}{A} + p''_a$$

und daraus

$$H = \frac{\frac{G}{A} + p''_a - p'_a}{\gamma_0} \quad (3)$$

Wenn ferner $p''_a = p'_a$ wäre (was bei gestörter Atmosphäre möglich ist), so erhält man:

$$H = \frac{\frac{G}{A}}{\gamma_0} \quad (3a)$$

Es ist dies eine bekannte Beziehung, die aber, wie aus ihrer Ableitung hervorgeht, nur gilt, wenn man die Kompressibilität des Wassers vernachlässigt, ebenso die Luftdruckdifferenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel.

Da nun das Wasser streng genommen nicht inkompressibel und bei ungestörter Atmosphäre der Luftdruck oben und unten nicht gleich ist, so können die Gl. 3 und 3a nicht die genauen Werte für H ergeben.

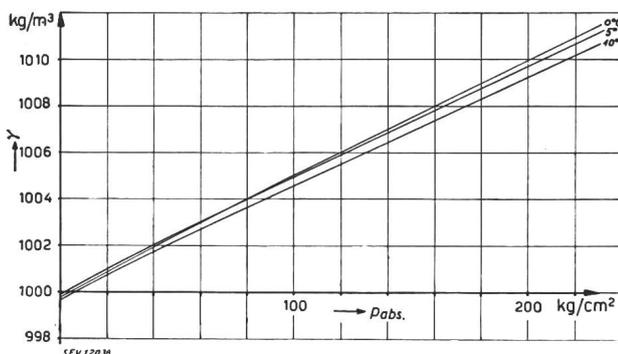


Fig. 3.

Das spezifische Gewicht von Wasser (γ) in Funktion des absoluten Druckes p_{abs} und der Temperatur

In Fig. 3 ist nun γ in Funktion des absoluten Druckes dargestellt. Man erkennt, dass in ziemlich weitem Bereich γ mit dem Druck fast genau linear variiert. Wir setzen deshalb

$$\gamma = \gamma_0 \cdot (1 + k \cdot p)$$

wo p den Ueberdruck über den atmosphärischen Druck und k die Kompressibilität des Wassers bedeutet. Wie die Versuchsergebnisse von Amagat zeigen, variiert k mit p von $56,0 \cdot 10^{-6}$ bis $47,5 \cdot 10^{-6}$ cm^2/kg für Ueberdrücke p von $0 \dots 200$ kg/cm^2 und einer Wassertemperatur von 5°C . Für den am meisten in Betracht kommenden Druckbereich darf man mit sehr guter Annäherung mit einem mittlere-

ren Wert von $k = 50 \cdot 10^{-6}$ cm^2/kg rechnen. An Stelle der Kompressibilität k kann man auch den reziproken Wert von k nehmen und diesen als Elastizitätsmodul E bezeichnen. Dann würde E von $18\,000 \dots 21\,000$ kg/cm^2 variieren, und man kann im Mittel mit $E = 20\,000$ kg/cm^2 rechnen. Alle diese Werte gelten für eine Wassertemperatur von 5°C , und sie variieren sehr wenig für die in Betracht kommenden Abweichungen von dieser Temperatur.

Setzt man nun den obigen Wert von γ in die Gl. (1) ein, so folgt:

$$y = \int \frac{dp}{\gamma_0 \cdot (1 + k \cdot p)} + K \text{ oder auch}$$

$$y = \int \frac{dp}{\gamma_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{E}\right)} + K$$

integriert

$$y = \frac{E}{\gamma_0} \ln \left(1 + \frac{p}{E}\right) + K$$

Die Integrationskonstante K bestimmt sich aus den Grenzbedingungen.

Es ist für $y = 0$ auch $p = 0$ damit folgt dann $K = 0$ und man erhält

$$y = \frac{E}{\gamma_0} \ln \left(1 + \frac{p}{E}\right)$$

Der maximale Wert von y ist H , und dafür wird $p = p_m$ auch ein Maximum. Wir können also schreiben:

$$H = \frac{E}{\gamma_0} \ln \left(1 + \frac{p_m}{E}\right) \quad (4)$$

Da nun aber p_m/E gegenüber der Einheit stets sehr klein ist, so empfiehlt sich, den Logarithmus naturalis in eine Reihe zu entwickeln, da man dann genauere Resultate erhält.

Es ist:

$$\ln \left(1 + \frac{p_m}{E}\right) = \frac{p_m}{E} - \frac{1}{2} \left(\frac{p_m}{E}\right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{p_m}{E}\right)^3 - \dots$$

und eingesetzt

$$H = \frac{E}{\gamma_0} \left\{ \frac{p_m}{E} - \frac{1}{2} \left(\frac{p_m}{E}\right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{p_m}{E}\right)^3 \dots \right\}$$

oder

$$\gamma_0 \cdot H = p_m - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m^2}{E} + \frac{1}{3} \cdot \frac{p_m^3}{E^2} \dots$$

und schliesslich

$$\gamma_0 \cdot H = p_m \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{p_m}{E}\right)^2 - \dots \right\} \quad (5)$$

Setzt man nun z. B. $p_m = 200$ kg/cm^2 entsprechend $H \sim 2000$ m, so folgt:

$$\gamma_0 \cdot H = 200 \left\{ 1 - \frac{1}{2} \frac{200}{20000} + \frac{1}{3} \left(\frac{200}{20000}\right)^2 - \dots \right\}$$

und man erkennt, dass man mit sehr guter Annäherung die Glieder mit höheren Potenzen vernachlässigen und schreiben darf

$$\gamma_0 \cdot H = p_m \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E}\right)$$

oder

$$\underline{\gamma_0 \cdot H = p_m - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m^2}{E}} \quad (5a)$$

Wie man aus dieser Beziehung erkennt, muss, wegen dem nach unten grösser werdenden spezifischen Gewicht, zur Ermittlung der geodätischen Höhendifferenz H die gemessene spezifische Pressung p_m um den Betrag

$$\underline{\Delta_G = \frac{1}{\gamma_0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m^2}{E}} \quad (6)$$

korrigiert werden.

Bei dieser Berechnung von H wurde vorausgesetzt, dass die atmosphärische Pressungsdifferenz vernachlässigt werden dürfe. Diese soll nun auch noch berücksichtigt werden.

Nach Gl. (2) hat man:

$$\int_0^H \gamma \cdot dy = p_m$$

und wenn man ferner der Kürze halber

$$\frac{G}{A} = p'$$

setzt, so folgt:

$$p'_a + p_m = p' + p''_a$$

woraus sich dann wieder ergibt, dass nur dann $p_m = p'$ ist, wenn man $p'_a = p''_a$ setzen dürfte.

Wir setzen nun nach den früheren Ableitungen

$$p_m = \frac{\gamma_0 \cdot H}{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E}}$$

und erhalten

$$p'_a + \frac{\gamma_0 \cdot H}{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E}} = p' + p''_a$$

oder

$$\frac{\gamma_0 \cdot H}{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E}} = p' + p''_a - p'_a$$

oder

$$\gamma_0 \cdot H = p' \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E}\right) + (p''_a - p'_a) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E}\right)$$

Da, wie bereits gezeigt wurde, $\frac{1}{2} \cdot p_m/E$ gegenüber der Einheit sehr klein ist, darf man $\frac{1}{2} \cdot p_m/E \cdot (p''_a - p'_a)$ gegenüber den andern Gliedern vernachlässigen und schreiben:

$$\gamma_0 \cdot H = p' \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E}\right) + (p''_a - p'_a)$$

oder auch

$$\gamma_0 \cdot H = p' - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E} \cdot p' - (p''_a - p'_a)\right)$$

und schliesslich erhält man

$$\underline{H = \frac{p'}{\gamma_0} - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E} \cdot \frac{p'}{\gamma_0} - \frac{p''_a - p'_a}{\gamma_0}\right)} \quad (7)$$

Die Klammergrösse stellt nun die totale Korrektur dar, wobei wir, infolge der Kompressibilität des Wassers, die Korrektur

$$\underline{\Delta_G = \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E} \cdot \frac{p'}{\gamma_0}}$$

und infolge der atmosphärischen Druckdifferenz die Korrektur

$$\underline{\Delta_B = \frac{p''_a - p'_a}{\gamma_0}}$$

haben. In der Gl. (7) ist allerdings die Pressung p_m unbekannt; aber man darf nun, da es sich um eine Korrektur handelt und $p_m \sim p'$ ist¹⁾, den Wert von p_m durch den gemessenen Wert p' ersetzen. Man erhält dann:

$$\underline{H = \frac{p'}{\gamma_0} - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{p'}{E} \cdot \frac{p'}{\gamma_0} - \frac{p''_a - p'_a}{\gamma_0}\right)} \quad (7a)$$

und damit:

$$\underline{\Delta_G = \frac{1}{2} \cdot \frac{p'}{E} \cdot \frac{p'}{\gamma_0}}$$

Nimmt man nun $E = 20\,000 \text{ kg/cm}^2$ an und $\gamma_0 = 0,001 \text{ kg/cm}^3$, so folgt:

$$\underline{\Delta_G = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{p'}{2}\right)^2 \text{ in cm}} \quad (8)$$

als Korrektur zur Berechnung der geodätischen Höhendifferenz, sofern die Wassertemperatur zwischen 0 und 5° C liegt. Bei 10° C ist die Korrektur Δ_G rd. 10% kleiner.

Bei ungestörter Atmosphäre ist bei 2000 m Höhendifferenz die Luftdruckdifferenz $p''_a - p'_a = 2,20 \text{ m}$ Wassersäule. Da der Luftdruck in diesem Bereich annähernd linear mit der Höhe variiert, so kann man schreiben:

$$\Delta_B = 0,110 \cdot H$$

wo H in Metern und Δ_B in Zentimetern. An Stelle von H kann man auch mit sehr guter Annäherung p' setzen und erhält

$$\underline{\Delta_B = 1,10 \cdot p'} \quad (9)$$

¹⁾ Es ist

$$p_m = p' + p''_a - p'_a = p' \cdot \left(1 + \frac{p''_a - p'_a}{p'}\right)$$

und bei ungestörter Atmosphäre kann man setzen

$$\frac{p''_a - p'_a}{p'} = \frac{1,1}{1000}$$

womit man erhält

$$p_m = p' \cdot \left(1 + \frac{1,1}{1000}\right)$$

wo nun p' in kg/cm^2 einzusetzen ist, um ΔB in cm zu erhalten.

Aus den Gl. (7a) sowie (8) und (9) erhält man dann

$$H = \frac{p'}{\gamma_0} - \left[\frac{1}{10} \cdot \left(\frac{p'}{2} \right)^2 - 1,10 \cdot p' \right] \quad (10)$$

wobei zu beachten ist, dass die Klammergrösse die totale Korrektur in cm Wassersäule angibt. Soll alles in m Wassersäule ausgedrückt werden, so ergibt sich:

$$H = 10 \cdot p' - \frac{1}{100} \left[\frac{1}{10} \left(\frac{p'}{2} \right)^2 - 1,10 \cdot p' \right] \quad (10a)$$

wo p' in kg/cm^2 einzusetzen ist.

Der Einfluss von Abweichungen Δd im Kolbendurchmesser des Gewichtsmanometers gegenüber dem Solldurchmesser d_0 auf seine Anzeige.

Damit der Kolben des Gewichtsmanometers genau die Fläche $A_0 = 1 \text{ cm}^2$ hat, müsste sein Durchmesser $d_0 = 11,2838 \text{ mm}$ sein. Die Nachmessungen ergaben nun für die beiden bei den Versuchen benützten, sonst genau gleichen Apparate, in drei verschiedenen Höhenlagen des Kolbens gemessen, folgende Werte:

Gewichtsmanometer	Nr. 1	Nr. 2
	$d_1 = 11,283$	$d_2 = 11,280$
	11,285	11,280
	11,281	11,280

Daraus erhält man als Mittelwert $d_1 = 11,283$ und $d_2 = 11,280 \text{ mm}$. Diese Messungen wurden bei einer Raumtemperatur von $t_R = 20^\circ \text{C}$ ausgeführt. Es ergibt sich somit eine Abweichung Δd vom Solldurchmesser von

$$\Delta d_1 = 11,2838 - 11,2830 = 0,00080 \text{ mm} \quad \text{und} \\ \Delta d_2 = 11,2838 - 11,2800 = 0,00380 \text{ mm}$$

Der Einfluss dieser Abweichungen auf die Druckanzeige soll nun untersucht werden.

Es ist

$$A_0 = \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \quad \text{und allgemein} \quad A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

somit

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{d}{d_0} \right)^2$$

Setzt man nun

$$d = d_0 - \Delta d \quad (\text{in unserem Falle})$$

so folgt

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{d_0 - \Delta d}{d_0} \right)^2 = \left(1 - \frac{\Delta d}{d_0} \right)^2$$

und ferner

$$\frac{A}{A_0} = 1 - 2 \cdot \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2$$

Es sei nun der Kürze halber

$$\frac{\Delta d}{d_0} = \varphi_d$$

womit man erhält

$$\frac{A}{A_0} = 1 - 2 \cdot \varphi_d + \varphi_d^2$$

Setzt man nun die für die beiden Apparate gefundenen Werte ein, so folgt:

$$\varphi_{d1} = \frac{0,0008}{11,2838} = 7,1 \cdot 10^{-5} \quad \text{und} \quad \varphi_{d1}^2 = 5,04 \cdot 10^{-9}$$

Ferner:

$$\varphi_{d2} = \frac{0,00380}{11,2838} = 33,6 \cdot 10^{-5} \quad \text{und} \quad \varphi_{d2}^2 = 11,30 \cdot 10^{-8}$$

Damit ergibt sich:

$$2 \cdot \varphi_{d1} = 1,420 \cdot 10^{-4} \quad \text{und} \quad 2 \cdot \varphi_{d2} = 6,720 \cdot 10^{-4}$$

Aus den obigen Zahlen ersieht man, dass es ohne weiteres zulässig ist, φ_{d1}^2 und φ_{d2}^2 gegenüber $2 \cdot \varphi_{d1}$ und $2 \cdot \varphi_{d2}$ zu vernachlässigen. Wir erhalten dann:

$$\frac{A}{A_0} = 1 - 2 \cdot \varphi_d$$

und

$$A = A_0 \cdot (1 - 2 \cdot \varphi_d)$$

oder

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} \cdot \frac{1}{1 - 2 \cdot \varphi_d} = \frac{1}{A_0} \cdot \frac{1 + 2 \cdot \varphi_d}{1 - 4 \cdot \varphi_d^2}$$

und da nun auch wieder $4 \cdot \varphi_d^2$ gegenüber 1 sehr klein ist, so kann man schreiben

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} \cdot (1 + 2 \cdot \varphi_d)$$

In Anwendung auf unsern Fall erhält man dann:

Für Gewichtsmanometer 1:

$$\frac{1}{A_1} = \frac{1}{A_0} \cdot (1 + 1,420 \cdot 10^{-4})$$

Für Gewichtsmanometer 2:

$$\frac{1}{A_2} = \frac{1}{A_0} \cdot (1 + 6,720 \cdot 10^{-4})$$

Bei der Berechnung der spezifischen Pressungen p' wird dann von diesen Beziehungen Gebrauch gemacht werden.

Der Einfluss einer Abweichung von $1/1000 \text{ mm}$ im Kolbendurchmesser des Gewichtsmanometers vom Solldurchmesser d_0 auf die Messgrösse ΔG .

Es bedeute:

$\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0}$ die spezifische Pressung bei korrektem Stempeldurchmesser,

$\frac{G}{A \cdot \gamma_0}$ die spezifische Pressung bei abweichendem Stempeldurchmesser.

Wir definieren nun die Differenz zwischen der Gefällskorrektur Δ_{G_0} bei korrektem Stempeldurchmesser und der Gefällskorrektur Δ_G bei abweichendem Stempeldurchmesser bezogen auf Δ_{G_0} als eine Grösse ψ .

Es ist somit

$$\psi = \frac{\Delta_G - \Delta_{G_0}}{\Delta_{G_0}}$$

und die betreffenden Werte eingesetzt

$$\psi = \frac{\left(\frac{G}{A \cdot \gamma_0} - H\right) - \left(\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0} - H\right)}{\left(\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0} - H\right)}$$

Setzt man nun für A den früher berechneten Wert ein, so folgt:

$$\psi = \frac{\left(\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0} \cdot (1 + 2 \varphi_d) - H\right) - \left(\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0} - H\right)}{\left(\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0} - H\right)}$$

gekürzt

$$\psi = \frac{2 \cdot \varphi_d \cdot \frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0}}{\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0} - H}$$

Es ist nun $G/A_0 = p_0$, und dieser Wert entspricht mit sehr guter Annäherung dem Wert p_m der Gl. (5) und (5a). Wir können deshalb schreiben:

$$\frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0} - H = \frac{p_0}{\gamma_0} - H = \frac{p_m}{\gamma_0} - H = \frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E} \cdot \frac{p_m}{\gamma_0}$$

Damit folgt dann

$$\psi = \frac{2 \cdot \varphi_d \cdot \frac{G}{A_0 \cdot \gamma_0}}{\frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E} \cdot \frac{p_m}{\gamma_0}} = \frac{2 \cdot \varphi_d \cdot \frac{p_m}{\gamma_0}}{\frac{1}{2} \cdot \frac{p_m}{E} \cdot \frac{p_m}{\gamma_0}}$$

Gekürzt, und für $p_m = p'$ geschrieben, erhält man dann

$$\psi = \frac{4 \cdot \varphi_d}{\left(\frac{p'}{E}\right)}$$

Setzt man jetzt $\Delta d = 1/1000$ mm, so folgt

$$\varphi_d = \frac{1}{1000 \cdot 11,2838} = 0,886 \cdot 10^{-4}$$

und wenn man noch $E = 20\,000$ kg/cm² einsetzt, so ergibt sich schliesslich

$$\psi = \frac{709}{p'}$$

wenn ψ in Prozenten ausgedrückt werden soll. Wenn die Abweichung vom Solldurchmesser $2/1000$ mm beträgt, so erhält man

$$\psi = \frac{1418}{p'} \quad \text{usw.}$$

In Fig. 4 ist die ψ -Kurve in Funktion der Pressung p' , d. h. des Gefälles H dargestellt, und man er-

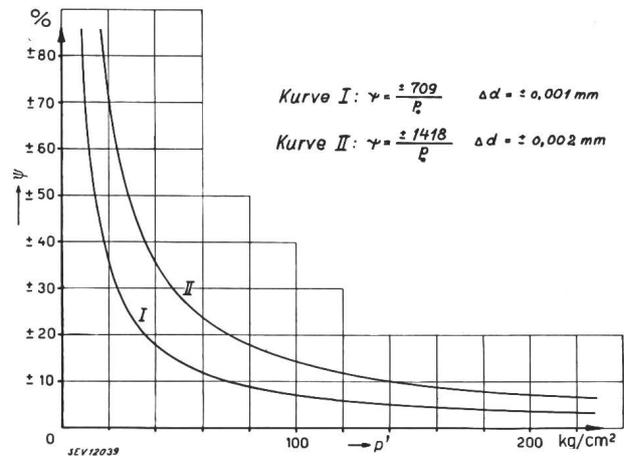


Fig. 4. ψ -Werte in Funktion der Pressung p' , d. h. des Gefälles H

kennt, wie stark schon eine Differenz von $1/1000$ mm vom Solldurchmesser (insbesondere bei kleinen Drücken) das Messergebnis Δ_G beeinflusst.

Versuche

Dank des Entgegenkommens und der Unterstützung der Betriebsleitung der Kraftwerke Amsteg und Ritom der SBB sowie der Betriebsleitungen der Kraftwerke Sernf-Niedererbach und Dixence war es möglich, in diesen Werken Druckmessungen mit Gewichtsmanometern bei vollständigem Stillstand aller Maschinen durchzuführen. Diesen Betriebsleitungen sei auch an dieser Stelle für ihre Unterstützung bestens gedankt.

Für die Druckmessungen wurden zwei genau gleiche, besonders für diesen Zweck angefertigte Gewichtsmanometer (der Firma Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G. in Zürich gehörend) verwendet. Als Belastung dienten geeichte Gewichte. Die Messungen wurden vorgenommen von H. Gerber, Oberingenieur der Firma Escher Wyss, unter Kontrolle durch den Berichterstatter.

Die Fixpunkthöhen, welche zur Bestimmung der geodätischen Höhendifferenz dienten, waren im Kraftwerk Amsteg durch Nivellement (Genauigkeit ± 1 mm) und in den drei andern Kraftwerken durch Triangulation (Genauigkeit ± 2 cm) bestimmt worden. Die Feststellung der Höhenlage des Oberwasserspiegels während der Druckmessungen erfolgte zum Teil durch direkten Abstich von einem Fixpunkt aus und durch Fernwasserstandsmelder (Schaltung alle ± 2 cm).

Es bedeutet:

- t_w die Temperatur des Wassers in Grad Celsius,
- t_R die Raumtemperatur bei den Gewichtsmannometern,

H_a die atmosphärische Pressungshöhe in mm Quecksilbersäule bei den Gewichtsmannometern,
 H die geodätische Höhendifferenz in Metern,

$$\Delta G = \frac{1}{2} \cdot \frac{P'}{E} \cdot \frac{P'}{\gamma_0} = \frac{1}{\gamma_0} \int \gamma_0 dy - H$$

Einfluss der Kompressibilität des Wassers,

$\frac{P'_0}{\gamma_0}$ die Pressungshöhe, bezogen auf den Sollquerschnitt bei Stempel 1,

$\frac{P''_0}{\gamma_0}$ dasselbe bei Stempel 2,

$\frac{P_1}{\gamma_0}$ die effektive Pressungshöhe bei Stempel 1,

$\frac{P_2}{\gamma_0}$ dasselbe bei Stempel 2,

$$\Delta G'_0 = \frac{P'_0}{\gamma_0} - H \text{ für Stempel 1,}$$

$$\Delta G''_0 = \frac{\gamma_0 P''_0}{\gamma_0} - H \text{ für Stempel 2,}$$

$$\Delta G_0 = \frac{\Delta G'_0 + \Delta G''_0}{2} \text{ Mittelwert,}$$

$$\Delta G_1 = \frac{P_1}{\gamma_0} - H \text{ (korrigiert für Stempel 1),}$$

$$\Delta G_2 = \frac{P_2}{\gamma_0} - H \text{ (korrigiert für Stempel 2),}$$

$$\Delta G = \frac{\Delta G_1 + \Delta G_2}{2} \text{ Mittelwert, korrigiert,}$$

Solldurchmesser $d_0 = 11,2838$ mm, damit $A_0 = 1,000$ cm²,

Wirklicher Durchmesser $d_1 = 11,2830$ mm,

$$\text{Somit } \frac{1}{A_1} = \frac{1}{A_0} \cdot (1 + 1,420 \cdot 10^{-4}),$$

Wirklicher Durchmesser $d_2 = 11,2800$ mm,

$$\text{Somit } \frac{1}{A_2} = \frac{1}{A_0} \cdot (1 + 6,720 \cdot 10^{-4}).$$

Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

Kraftwerk Sernf-Niedererebach. Datum: 21. Januar 1944.

$$t_w = 2,8 \text{ Grad; } t_R = 16 \text{ Grad; } H = 1074,511 \text{ m}$$

$$\frac{P'_0}{\gamma_0} = 1077,100 \text{ m} \quad \frac{P''_0}{\gamma_0} = 1077,000 \text{ m}$$

$$\Delta G'_0 = 2,589 \text{ m} \quad \Delta G''_0 = 2,489 \text{ m}$$

$$\Delta G_0 = 2,539 \text{ m}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_0} = 1077,253 \text{ m} \quad \frac{P_2}{\gamma_0} = 1077,724 \text{ m}$$

$$\Delta G_1 = 2,742 \text{ m} \quad \Delta G_2 = 3,213 \text{ m}$$

$$\Delta G = 2,977_5 \text{ m}$$

Kraftwerk Amsteg. Datum: 8. Februar 1944, 22 bis 24 Uhr.

$$t_w = 1,8 \text{ Grad; } t_R = 20,0 \text{ Grad; } H_a = 718 \text{ mm}$$

H	$\frac{P'_0}{\gamma_0}$	$\Delta G'_0$	$\frac{P_1}{\gamma_0}$	ΔG_1
280,825	281,050	0,225	281,090	0,265 m
280,885	281,050	0,165	281,090	0,205 m
280,925	281,100	0,175	281,140	0,215 m

H	$\frac{P''_0}{\gamma_0}$	$\Delta G''_0$	$\frac{P_2}{\gamma_0}$	ΔG_2
280,975	281,070	0,095	281,258	0,283 m
280,995	281,080	0,085	281,268	0,273 m
281,125	281,180	0,055	281,369	0,244 m

Damit wird:

$$\Delta G'_0 = 0,1883 \text{ m} \quad \text{und} \quad \Delta G''_0 = 0,0784 \text{ m}$$

$$\text{Somit } \Delta G_0 = 0,133_3 \text{ m}$$

Korrigiert:

$$\Delta G_1 = 0,2283 \text{ m} \quad \Delta G_2 = 0,2666 \text{ m}$$

$$\text{Somit } \Delta G = 0,2475 \text{ m}$$

Kraftwerk Ritom. Datum: 9. Februar 1944, 22 bis 24 Uhr.

$$t_w = 4 \text{ Grad; } t_R = 20 \text{ Grad; } H_a = 675 \text{ mm; } H = 812,245 \text{ m}$$

$\frac{P'_0}{\gamma_0}$	$\Delta G'_0$	$\frac{P''_0}{\gamma_0}$	$\Delta G''_0$
814,100	1,855	813,900	1,655 m
814,100	1,855	813,900	1,655 m

Damit wird:

$$\Delta G_0 = 1,755 \text{ m}$$

Korrigiert

$\frac{P_1}{\gamma_0}$	ΔG_1	$\frac{P_2}{\gamma_0}$	ΔG_2
814,215	1,970	814,446	2,201 m
814,215	1,970	814,446	2,201 m

$$\text{Somit } \Delta G = 2,083 \text{ m}$$

Kraftwerk Dixence. Datum: 20. April 1944, 17.30 bis 18.50 Uhr.

$t_w = 10,5$ Grad (die Druckleitung ist seit längerer Zeit ohne Durchfluss)

$$t_R = 16,6 \text{ Grad; } H_a = 722,2 \text{ mm; } H = 1693,910 \text{ m}$$

$\frac{P'_0}{\gamma_0}$	$\Delta G'_0$	$\frac{P''_0}{\gamma_0}$	$\Delta G''_0$
1700,800	6,890	1700,600	6,690 m
1700,800	6,890	1700,600	6,690 m

$$\text{Daraus } \Delta G_0 = 6,790 \text{ m}$$

Korrigiert

$\frac{P_1}{\gamma_0}$	ΔG_1	$\frac{P_2}{\gamma_0}$	ΔG_2
1701,041	7,131	1701,740	7,830 m
1701,041	7,131	1701,740	7,830 m

$$\text{Daraus } \Delta G = 7,480 \text{ m}$$

Alle Versuche konnten vollständig störungslos durchgeführt werden.

In Fig. 5 ist die normale Luftdruckkurve bei ungestörter Atmosphäre dargestellt, und man erkennt, dass der in den verschiedenen Kraftwerken gemessene Luftdruck sich gut in diese Kurve einfügt. In Fig. 6 ist die für eine angenommene Kompressibilität ($k = 50 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kg}$, d. h. $E = 20\,000 \text{ kg/cm}^2$)

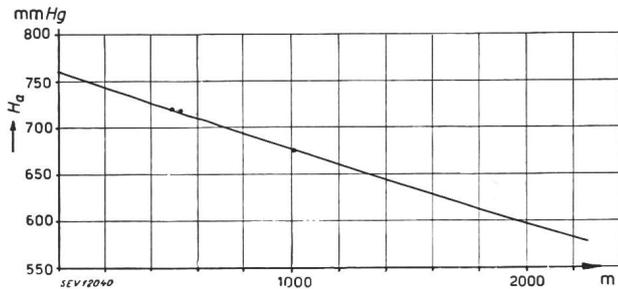


Fig. 5.
Normaler Barometerdruck (H_a) in Funktion der Höhe über Meer

berechnete Kurve ΔG dargestellt, und es sind auch die gemessenen Punkte eingetragen. Man erkennt, dass die Versuchspunkte ziemlich gut auf die voraus berechnete Kurve zu liegen kommen, so dass

wohl gesagt werden darf, dass die eingangs erwähnte Differenz zwischen geodätischer Höhe H und Druck p sich restlos durch die Kompressibilität des Wassers erklären lässt. Die Gleichungen (10) und (10a)

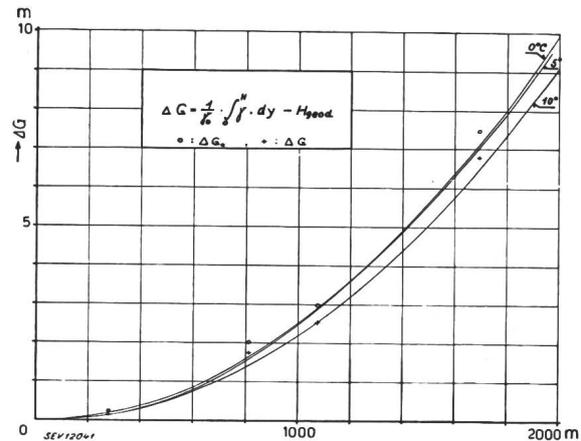


Fig. 6.
Berechnete Kurve ΔG mit Messpunkten

geben den Zusammenhang zwischen der spezifischen Pressung p' und der geodätischen Höhe H an. Der Einfluss der Luftdruckdifferenz $p'' - p'$ konnte allerdings nicht festgestellt werden.

Die Einwirkung der Bombardierung vom 1. April 1944 auf die Elektrizitätsversorgung der Stadt Schaffhausen

Von A. Zeindler, Schaffhausen.

699.85

Der Direktor des EW der Stadt Schaffhausen gibt einen Ueberblick über die Organisation des Werkluftschutzes des EW Schaffhausen. Das Unglück der Bombardierung Schaffhausens am 1. April 1944 unterzog diese Vorbereitungen leider einer unvorhergesehenen Bewährungsprobe. Vorgänge, Schäden und die getroffenen Massnahmen werden beschrieben und das Eingreifen des Werkluftschutzes wird dargestellt. Schliesslich werden rückblickend Lehren für die Verbesserung der Luftschutzmassnahmen gezogen. Im grossen ganzen hat die Organisation sehr gut gespielt und jeder Beteiligte hat sich mit Aufopferung und Tatkraft eingesetzt, so dass grosse Schäden verhütet und die Energieversorgungsanlagen rasch wieder in Gang gesetzt werden konnten.

M. A. Zeindler, directeur du Service de l'électricité de la Ville de Schaffhouse, présente un aperçu de l'organisation de la protection aérienne industrielle de cette entreprise électrique, que le terrible bombardement de Schaffhouse du 1^{er} avril 1944 a mise brusquement à l'épreuve. L'auteur décrit le bombardement, ses effets et les mesures qui furent prises, ainsi que la mise en action des dispositifs de protection. Il en tire des conclusions visant à perfectionner les mesures de protection. D'une façon générale, l'organisation prévue a joué parfaitement et chacun a agi avec discernement et promptitude, ce qui a permis d'éviter de plus grands dégâts et de remettre rapidement en état les installations de distribution.

1. Organisation des Werkluftschutzes des Elektrizitätswerkes der Stadt Schaffhausen

Auf Grund der «Verordnung über die Organisation des Industrieluftschutzes» vom 29. Dezember 1936 wurde gemäss den Ausführungsbestimmungen für den Luftschutz der Elektrizitätswerke auch für das Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen eine Luftschutztruppe aus dem im Mobilmachungsfalle verbleibenden Personal gebildet.

Das LS-Detachement der ILO des städtischen Elektrizitätswerkes steht unter dem Kommando des Betriebsassistenten Oblt. Rutishauser als Luftschutzleiter und Dienstzweigchef für Kraftwerke sowie ABV (Alarm, Beobachtungs- und Verbindungsdienst) und Betriebsassistent Lt. Hagger als Stellvertreter des Luftschutzleiters und Dienstzweigchef für den Netztrupp. Im Kraftwerktrupp ist das Schichtdienstpersonal eingeteilt, während der Netztrupp grösstenteils aus Monteuren besteht. Der

ABV-Dienst wird durch männliches und weibliches Bureaupersonal besorgt.

Die gesamte Luftschutzmannschaft wurde im technischen Dienst, Sanitätsübungen, Feuerwehr- und Verbindungsdienst ausgebildet, wobei stets auch auf soldatische Disziplin grösster Nachdruck gelegt wurde.

Die Luftschutztruppe des Werkes ist selbständig und von der örtlichen Luftschutzorganisation unabhängig. Selbstverständlich wurden periodisch kombinierte Uebungen durchgeführt, da ja trotz der Verschiedenheit der Aufgaben nur eine ständige und gute Fühlungnahme mit der Leitung des Ortsluftschutzes die nötige Zusammenarbeit im Ernstfalle ermöglichen konnte.

2. Technische Vorbereitungen

Da damit gerechnet werden musste, dass in der Folge von kriegerischen Ereignissen die bestehen-