

**Zeitschrift:** Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche

**Herausgeber:** Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

**Band:** 3 (1947-1948)

**Heft:** 2-3

**Artikel:** An improved electric manometer for measuring the intra-arterial, intra-venous and intra-cardial pressure, with a general theory of manometers

**Autor:** Hansen, Anders Tybjærg / Warburg, Erik

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-306885>

### **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:** 30.04.2026

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

From the Medical Department B of the "Rikshospital" Copenhagen  
 Director: Prof. Erik Warburg, M.D.

## An Improved Electric Manometer for Measuring the Intra-Arterial, Intra-Venous and Intra-Cardial Pressure, with a General Theory of Manometers\*

By Anders Tybjærg Hansen and Erik Warburg

### Summary

Buchthal and Warburg's Condenser Manometer has been redesigned by *Tybjærg Hansen* to the effect that the manometer in its present design yields the maximum attainable for manometers intended for blood pressure measurements by means of arterial punctures and catheterization of the heart.

The manometer is shown in fig. 1 (with text).

Owing to the small, very rigid phosphor bronze plate (thickness 0,4 mm, surface area 1 cm<sup>2</sup>) forming the yielding component of the manometer the system is very rigid, displacements being only 0,1 mm<sup>3</sup> at 300 mm Hg pressure. The movements of the plate are transmitted electrically, the said plate forming, together with a block of brass from which it is separated by a space of the width of 15  $\mu$  a condenser, the capacity variations of which are caused to work in an oscillograph by means of a high frequency arrangement and a direct current amplifier.

The modulus of elasticity ( $E'$ ) of the manometer is  $4,0 \times 10^9$  dyn/cm<sup>5</sup>.

The compressibility of the water at this rigidity produces 20 per cent of the total change in volume (the manometer contains 1,0 ccm). Sterilization and air free liquid filling by boiling.

A general theory of manometers has been evolved, the damping term having been introduced into Frank's equation of manometers.

The manometer equation of free oscillations is thus:—

$$\frac{L}{\pi r^2} \frac{d^2v}{dt^2} + \frac{8\eta L}{\pi r^4} \frac{dv}{dt} + E' \cdot v = 0$$

Only the modulus of elasticity, the syringe needle used (probe, catheter) and the viscosity of the liquid are decisive to the dynamic constants of the manometer.

---

\* Erscheint in extenso in "Acta physiologica scandinavica".

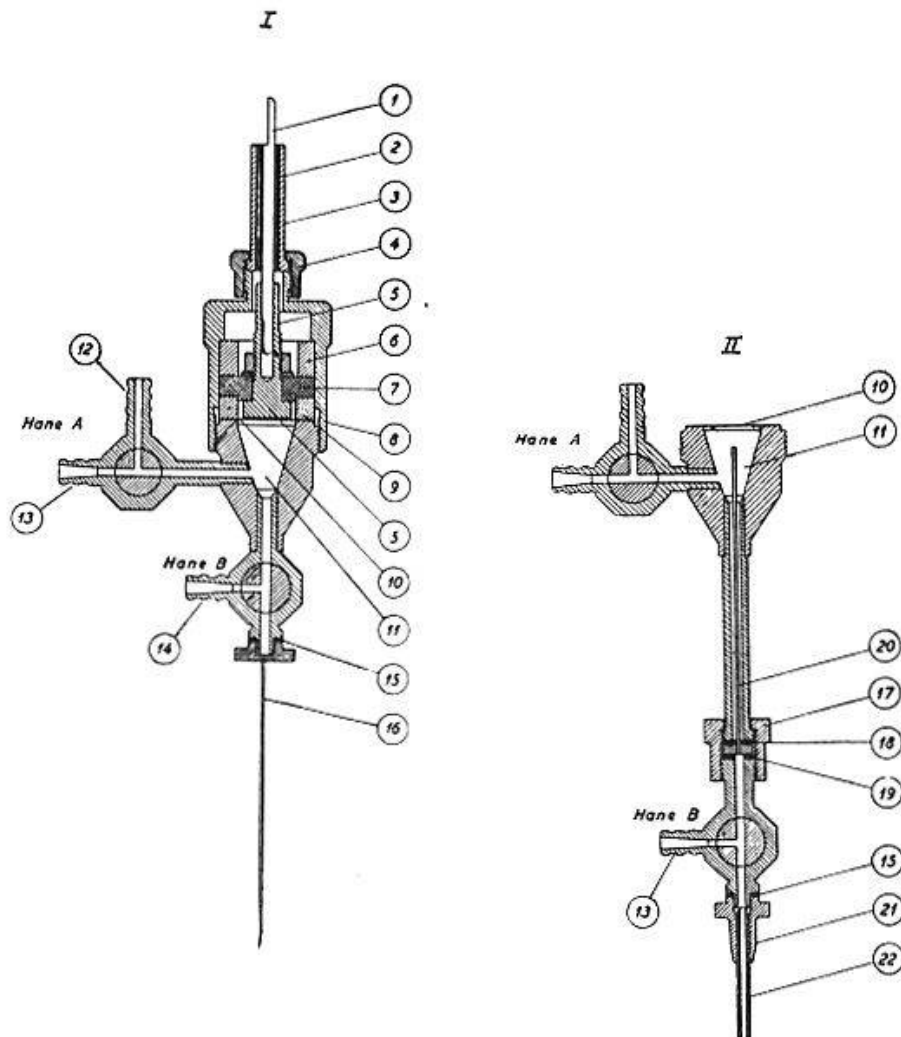


Fig. 1

1. Core of cable – Kabelseele – Ame du câble
2. Insulating material – Isolierstoff – Matériel isolant
3. Shield of cable – Kabelmantel – Manteau du câble
4. Nut for fixation – Überwurfmutter – Ecrrou à chapeau
5. Jack and rear electrode – Kontaktstelle (hintere Elektrode) – Commutateur (arrière électrode)
6. Cylinder jacket – Zylinderhülse – Douille
7. Insulating material – Isolierstoff – Matériel isolant
8. Outer jacket – Äußere Hülse – Douille extérieure
9. Cylinder jacket – Zylinderhülse – Douille
10. Phosphor bronze plate, thickness 0.4 mm – Phosphor-Bronze-Membran, Dicke 0,4 mm – Plaque à bronze phosphoré, épaisseur 0,4 mm
11. Pressure chamber – Druckraum – Chambre de pression
12. 13. 14. Tubes – Anschlüsse – Connexions
15. Washer – Unterlagsscheibe – Rondelle
16. Needle: length 6,5 cm – Nadel: Länge 6,5 cm – Aiguille: longueur 6,5 cm  
bore 0.22 mm                      Bohrung 0,22 mm                      ouverture 0,22 mm
17. Nut – Mutter – Ecrrou
18. 19. Washers – Unterlagsscheiben – Rondelles
20. Damping needle – Dämpfungsnadel – Aiguille d'amortissement
21. Adapter – Verbindungsmuffe – Pièce de rapport
22. Catheter – Katheter – Cathéter

A. B. Three way T cocks – Dreiwegehahn – Robinet à trois voies

The cock B is connected to the catheter and not to the other part of the manometer until the catheter lies in the pulmonary artery. – Bis der Katheter in die Pulmonararterie eingeführt ist, bleibt Hahn B nur mit dem Katheter und nicht mit dem übrigen Manometer verbunden. – Jusqu'à ce que le cathéter soit introduit dans la pulmonaire, le robinet B ne reste relié qu'avec le cathéter et non avec les autres parties du manomètre.

- $L$  = length of the needle
- $r$  = radius of the tube
- $\eta$  = viscosity of liquid in poise
- $v$  = volume change
- $E'$  = modulus of elasticity of the manometer.

Formulas are given for determining the natural undamped and damped frequency as well as the degree of damping of the manometer + needle and it is shown that a needle, having a length of 6,5 cm and a bore of 0,22 mm gives an undamped natural frequency of approx. 80 and a damping degree of approx. 0,7, which are the appropriate magnitudes for recording pulse curves. The relation between degree of damping and amplitude is demonstrated. In the case of a probe having a length of 60 cm and a bore of 1 mm the undamped natural frequency is approx. 100 and the damping degree is 0,02. An extra damping should be introduced into such a system. A capillary tube of a length of 2,5 mm and with a bore of 0,1 mm will give an undamped natural frequency of 86, the damping degree being 0,7 which is the optimum.

An easy method has been described for determining the undamped natural frequency and damping degree of the system by means of sudden and sustained variations in pressure. On the basis of the formula of the transitorials of an oscillating system it has been shown to be convenient that the manometer has an overshoot between 5 and 10 per cent.

Puls curves recorded by means of the manometer are demonstrated.

### *Zusammenfassung*

Das Buchthal- und Warburg-Kondensermanometer wurde von *A. Tybjærg Hansen* neu entworfen; mit der vorliegenden neuen Ausführung erreicht man das Maximum, das mit einem Manometer, das zur Messung des Blutdruckes mittels Arterienpunktion und Katheterisierung des Herzens gebraucht wird, überhaupt erzielt werden kann.

Das Manometer ist in Fig. 1 mit Text zu sehen.

Dank einer kleinen, sehr steifen Phosphor-Bronze-Membran (0,4 mm dick und 1 cm<sup>2</sup> Oberfläche), die den nachgebenden Teil des Manometers darstellt, ist das System sehr steif; die Verschiebungen betragen nur 0,1 mm<sup>3</sup> bei einem Druck von 300 mm Quecksilber. Die Bewegungen der Membran werden elektrisch übertragen. Diese Membran bildet zusammen mit einem Messingblock – der 15  $\mu$  hinter der Platte liegt – einen Kondensator; die Kapazitätsveränderungen steuern durch eine Hochfrequenzanordnung und einen Gleichstromverstärker einen Oszillographen.

Der Elastizitätsmodul ( $E'$ ) des Manometers ist  $4,0 \times 10^9$  dyn/cm<sup>5</sup>.

Die Zusammendrückbarkeit des Wassers ergibt bei dieser Starrheit 20% der totalen Volumenänderung (das Manometer enthält 1 cm). Sterilisation und luftfreie Flüssigkeitsfüllung werden durch Kochen erzielt.

Eine allgemeine Theorie der Manometer wird entwickelt; ein Dämpfungswert wird in die Franksche Manometergleichung eingeführt. So lautet die Manometergleichung bei freier Oszillation wie folgt:

$$\frac{L}{\pi r^2} \frac{d^2v}{dt^2} + \frac{8 \eta L}{\pi r^4} \frac{dv}{dt} + E' \cdot v = 0$$

Nur der Elastizitätsmodul des Manometers, die angewandte Spritzennadel (Sonde, Katheter) und die Viskosität der Flüssigkeit sind für die dynamische Konstante des Manometers bestimmend.

- $L$  = Länge der Nadel
- $r$  = Radius der Röhre
- $\eta$  = Viskosität der Flüssigkeit in Poise
- $v$  = Volumenänderung
- $E'$  = Elastizitätsmodul des Manometers.

Es werden Formeln angegeben, um sowohl die natürliche ungedämpfte und die gedämpfte Frequenz als auch den Dämpfungsgrad des Manometers in Verbindung mit der Nadel zu bestimmen, und es wird gezeigt, daß eine Nadel mit der Länge von 6,5 cm und der Bohrung von 0,22 mm eine ungedämpfte natürliche Frequenz von ungefähr 80 und einen Dämpfungsgrad von ca. 0,7 gibt, welches die geeigneten Größen für die Aufzeichnung von Pulscurven sind. Die Beziehung zwischen dem Dämpfungsgrad und der Amplitude wird gezeigt. Falls die Sonde eine Länge von 60 cm und eine Bohrung von 1 mm hat, so ist die ungedämpfte natürliche Frequenz ungefähr 100 und der Dämpfungsgrad 0,02. Eine Extra-dämpfung sollte in einem solchen System eingeführt werden. Ein Kapillarrohr von 2,5 mm Länge und 0,1 mm Bohrung würde eine ungedämpfte natürliche Frequenz von 86 geben, in welchem Falle ein Dämpfungsgrad von 0,7 entstände, was dem Optimum entspräche.

Eine leichte Methode für die Bestimmung der ungedämpften natürlichen Frequenz und des Dämpfungsgrades des Systems mittels plötzlich einsetzenden und anhaltenden Druckveränderungen wird beschrieben. Auf der Basis der Formel für den Einschwingungsvorgang eines oszillierenden Systems wird gezeigt, daß es günstig ist, wenn das Manometer zwischen 5 und 10% überschießt. Pulscurven, die mittels des Manometers aufgenommen wurden, werden gezeigt.

#### *Résumé*

Le manomètre-condensateur de Buchthal et Warburg a été modifié par *Tybjærg Hansen*. Il présente maintenant le maximum de ce que peut

donner un manomètre utilisé pour la mesure de la pression sanguine au moyen de l'artério-ponction et de la cathétérisation cardiaque.

Voir manomètre fig. 1 (avec texte).

Grâce à la petite plaque de bronze phosphoré, très rigide (épaisseur 0,4 mm, surface 1 cm<sup>2</sup>), qui représente l'élément flexible du manomètre, le système est très rigide, les déplacements n'étant que de 0,1 mm<sup>3</sup> à 300 mm Hg de pression. Les mouvements de cette plaque sont transmis électriquement. Cette plaque forme avec un bloc de laiton – éloigné de 15 μ de la plaque – un condensateur; les variations de la capacité commandent, à l'aide d'un dispositif à haute fréquence et d'un amplificateur de courant continu, un oscillographe.

Le module d'élasticité ( $E'$ ) du manomètre est de  $4 \times 10^9$  dynes/cm<sup>5</sup>.

La compressibilité de l'eau donne 20% du changement de volume total (le manomètre contient 1 ccm).

Par ébullition, on obtient un liquide de remplissage stérilisé et exempt d'air.

L'auteur expose une théorie générale des manomètres en introduisant, dans l'équation des manomètres de Frank, le coefficient d'amortissement.

Voici l'équation du manomètre pour des oscillations libres :

$$\frac{L}{\pi r^2} \frac{d^2v}{dt^2} + \frac{8\eta L}{\pi r^4} \frac{dv}{dt} + E' \cdot v = 0$$

Seul le module d'élasticité du manomètre, l'aiguille de la seringue utilisée (sonde, cathéter) et la viscosité du liquide entrent en ligne de compte pour les constantes dynamiques du manomètre.

$L$  = longueur de l'aiguille

$r$  = rayon du tube

$\eta$  = viscosité du liquide en poises

$v$  = changement du volume

$E'$  = module d'élasticité du manomètre.

On trouve des formules pour déterminer la fréquence naturelle non amortie et amortie, ainsi que le degré d'amortissement du manomètre pourvu de l'aiguille, et on montre qu'une aiguille de 6,5 cm de longueur (calibre de 0,22 mm) donne une fréquence naturelle non amortie d'environ 80 et un degré d'amortissement d'environ 0,7. Ce sont les dimensions requises pour enregistrer des courbes de pouls. On trouve le rapport existant entre le degré d'amortissement et l'amplitude. Dans le cas d'une sonde de 60 cm et d'un calibre de 1 mm, la fréquence naturelle non amortie est approximativement de 100 et le degré d'amortissement d'environ 0,02. Dans un système de cette espèce, il faut introduire un amortissement supplémentaire. Un tube capillaire de 2,5 mm de longueur (calibre

de 0,1 mm) donnera une fréquence naturelle non amortie de 86 avec un degré d'amortissement de 0,7 qui est l'optimum.

Les auteurs ont décrit une méthode facile pour déterminer la fréquence naturelle non amortie et le degré d'amortissement du système, au moyen de variations de la pression, qui apparaissent subitement et se maintiennent. En prenant pour base la formule du démarrage d'un système oscillant, on a pu montrer qu'il est utile que le manomètre excède de 5 à 10%.

Les auteurs présentent les courbes de pouls enregistrées au moyen du manomètre.

### *Riassunto*

Il manometro condensatore di Buchthal e Warburg è stato modificato da *Tybjærg Hansen*. Con questo manometro si può ottenere il massimo di rendimento possibile per un manometro utilizzato per la determinazione della pressione sanguigna secondo il metodo della puntura arteriosa e la cateterizzazione cardiaca.

Il manometro con relative istruzioni è visibile nella fig. 1 (col testo).

Grazie alla placca di bronzo fosforato, piccola e molto rigida dello spessore di 0,4 mm e della superficie di 1 cm<sup>2</sup>, che rappresenta la parte flessibile del manometro, il sistema è molto rigido dato che gli spostamenti consecutivi ad una pressione di 300 mm di Hg. sono soltanto dell'ordine di 0,1 mm<sup>3</sup>.

Gli spostamenti di questa placca sono ritrasmessi elettricamente. Questa placca forma, insieme con un blocco di ottone da cui è separata da 15  $\mu$ , un condensatore. Le variazioni della capacità si riflettono in un oscillografo, composto da un dispositivo ad alta frequenza e da un amplificatore a corrente continua.

Il coefficiente di elasticità del manometro è di  $4,0 \times 10^9$  dine/cm<sup>5</sup>.

La compressibilità dell'acqua in questo sistema rigido rappresenta il 20% del cambiamento totale del volume (il manometro contiene 1 ccm).

Con l'ebollizione si ottiene un liquido sterile e privo di aria.

Gli autori sviluppano una teoria generale sui manometri, introducendo nell'equazione di Frank sui manometri il coefficiente di ammortizzamento.

Ecco l'equazione del manometro per le oscillazioni libere:

$$\frac{L}{\pi r^2} \frac{d^2v}{dt^2} + \frac{8\eta L}{\pi r^4} \frac{dv}{dt} + E' \cdot v = 0$$

Per la determinazione delle costanti dinamiche del manometro hanno importanza soltanto il coefficiente di elasticità, l'ago della siringa utilizzata, e la viscosità del liquido.

- $L$  = lunghezza dell'ago
- $r$  = raggio del tubo
- $\eta$  = viscosità del liquido in «Poise»
- $v$  = cambiamento di volume
- $E'$  = coefficiente di elasticità del manometro.

Si indicano delle formule per determinare la frequenza naturale, ammortizzata e non ammortizzata, così come il grado di ammortizzamento del manometro e dell'ago. Si vede così che per un ago della lunghezza di 6,5 cm e del calibro di 0,22 mm si ha una frequenza naturale non ammortizzata di circa 80 e un grado di ammortizzamento di circa 0,7, che sono i valori indicati per la determinazione delle curve del polso.

Si indica il rapporto esistente tra il grado di ammortizzamento e l'ampiezza. Nel caso di una sonda di 60 cm di lunghezza e del calibro di 1 mm la frequenza naturale non ammortizzata è di 100 approssimativamente e il grado di ammortizzamento di 0,02. In un sistema siffatto occorre aggiungere un ammortizzamento supplementare. Un tubo capillare di 2,5 mm di lunghezza e del calibro di 0,1 mm darà una frequenza naturale non ammortizzata di 86 con un grado di ammortizzamento di 0,7, il che corrisponde all'optimum.

Gli autori hanno descritto un metodo facile per la determinazione della frequenza naturale non ammortizzata e del grado di ammortizzamento del sistema tramite variazioni della pressione che intervengono rapidamente e che si mantengono per un certo tempo a un determinato livello. Prendendo per base la formula del assalto di un sistema oscillante, si è potuto dimostrare che è utile che il manometro eccede di 5-10%.

Gli autori presentano le curve del polso registrate con il manometro.