

Thermodynamisches Messen des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Antrieben : eine Alternative zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf mechanischer Grundlage

Citation for published version (APA):

Schlösser, W. M. J., & Witt, K. (1973). Thermodynamisches Messen des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Antrieben : eine Alternative zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf mechanischer Grundlage. *Oelhydraulik und Pneumatik*, 17(10), 285-287.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1973

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Thermodynamisches Messen des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Antrieben

Eine Alternative zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf mechanischer Grundlage

W. M. J. Schlösser *
K. Witt **

Thermodynamic Measuring of Overall Efficiency on Hydrostatic Drive Systems
An Alternate Method for Determining Overall Efficiency Based on a Mechanical Principle

Measure thermodynamique du rendement global de mécanismes d'entraînement hydrostatiques
Solution de rechange à la détermination du rendement global par des moyens mécaniques

1. Problemstellung

Die Messungen des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Pumpen und Motoren basieren bis jetzt noch immer auf der Bestimmung von mechanischen Größen. Diese mechanische Meßmethode konnte durch die Arbeiten, wie sie unter [1] dargestellt sind, auf ein hohes Niveau entwickelt werden. Zuerst wurden die mechanischen Größen als ein analoges Signal aufgenommen und von Hand ausgewertet. Im Laufe der Entwicklung ging man dann jedoch immer mehr zur Digitalisierung der Meßsignale über, um diese mit Hilfe des Computers automatisch auswerten zu können. Diese Meßmethode ist vor allem für die Auftrennung der Verluste in einzelne Teilkomponenten – wie in [2] [3] [4] gezeigt wird – besonders geeignet und bietet dem Konstrukteur einen größeren Einblick.

Die Kosten für die Messungen des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Antrieben nehmen fortlaufend zu. Diese Tendenz läßt erkennen, daß sich eine derartige Kostensteigerung auf dem Gebiete der Meßtechnik unter Umständen auf die weitere Entwicklung hemmend auswirken könnte. Die thermodynamische Meßmethode zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Antrieben könnte hier eine wirtschaftlichere Lösung oder überhaupt: die Lösung gegenüber der störanfälligeren und sehr teureren mechanischen Meßmethode in diesen Anlagen darstellen.

Die hydrostatischen Antriebe sind heute so weit entwickelt, daß sie den Kern von sehr kapitalintensiven Maschineneinheiten oder ganzen Maschinenanlagen darstellen. Deshalb ist ihre laufende Überwachung unerlässlich, damit diese teuren Anlagen nicht durch einen plötzlichen Ausfall des hydrostatischen Antriebes stillgelegt werden.

2. Thermodynamisches Messen des Gesamtwirkungsgrades

Auf Grund der thermodynamischen Gesetze kann – wie allgemein bekannt ist – der jeweilige Zustand eines Gases oder einer Flüssigkeit bestimmt werden, wenn vorausgesetzt werden darf, daß ein analytischer Zusammenhang bezüglich des Gas- oder Flüssigkeitszustandes zur Verfügung steht, der das tatsächliche Verhalten des Mediums zu beschreiben vermag. Da für diese Betrachtungen nur Flüssigkeiten in Frage kommen, die in der Hydraulik eingesetzt werden, sollen im folgenden die Eigenschaften von Gasen außer acht gelassen und nur Flüssigkeiten, wie Mineralöle und synthetische Druckflüssigkeiten herangezogen werden.

Um die thermodynamischen Grundgesetze in einer vernünftiger Weise anzuwenden, muß das pV -Verhalten und das Verhalten der spezifischen Wärme der betreffenden Druckflüssigkeit auf jeden Fall im Rahmen der bei der Messung dieser Kennwerte erzielten Meßgenauigkeit in analytisch beschreibbarer Form vorliegen.

Zwei Gründe waren bestimmend dafür, daß im Wasserturbinenbau das thermodynamische Messen zuerst angewandt wurde. Der Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf mechanischer Grundlage würden bei den großen zu übertragenden Leistungen bei Wasserturbinen zu große Schwierigkeiten entgegenstehen. Außerdem sind

die thermodynamischen Kennwerte des Wassers schon frühzeitig erforscht und festgelegt worden. Die großen zu übertragenden Leistungen waren jedoch der entscheidende Grund, das thermodynamische Meßverfahren im Wasserturbinenbau weiter auszubauen. Um einen Eindruck zu vermitteln, wie frühzeitig man schon den Vorteil von Temperaturdifferenzmessungen bei der Beurteilung von Wasserturbinen erkannte, sei auf die Arbeit von Barbillion und Poirson [5] aus dem Jahre 1921 hingewiesen. Das thermodynamische Meßverfahren zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an Wasserturbinen wurde in den letzten Jahren weiter ausgebaut und auch z. T. erfolgreich erprobt [6] [7] [8].

Die wesentlich einfachere Meßaufstellung für die Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades nach der thermodynamischen Meßmethode gegenüber der mechanischen Messung führte im Jahre 1955 zu ersten Überlegungen, diese auch in der Hydraulik anzuwenden [9]. Bereits im Jahre 1959 wurde in [1] die Bedeutung der thermodynamischen Meßmethode für die Hydraulik näher beschrieben. Dabei zeigte sich jedoch die Notwendigkeit, geeignete Zustandsgleichungen zur Verfügung zu haben, um die Kennwerte von hydraulischen Druckflüssigkeiten mit hoher Genauigkeit beschreiben zu können. Zunächst glaubte man mit der von Dow und Fink [10] aufgestellten Zustandsgleichung – die jedoch nur für Mineralöle gültig ist – ein geeignetes Rechenmodell gefunden zu haben.

Spätere Untersuchungen ließen aber erkennen, daß diese Zustandsgleichungen nicht den Erfordernissen entsprechen konnten. Es wurde daher eine neue Zustandsgleichung erstellt, die das Verhalten von hydraulischen Druckflüssigkeiten im Rahmen der Meßgenauigkeit beschreiben kann, wobei diese für Mineralöle wie auch für synthetische Druckflüssigkeiten gleichermaßen

* Prof. Dr. ir. W. M. J. Schlösser ist Inhaber des Lehrstuhls für Konstruktion und Maschinenbau der Technischen Hochschule Eindhoven (Holland), sowie Mitglied des Ständigen Technisch-Wissenschaftlichen Beirates (STWB) unserer Zeitschrift

** Dipl.-Ing. K. Witt ist Mitarbeiter desselben Institutes

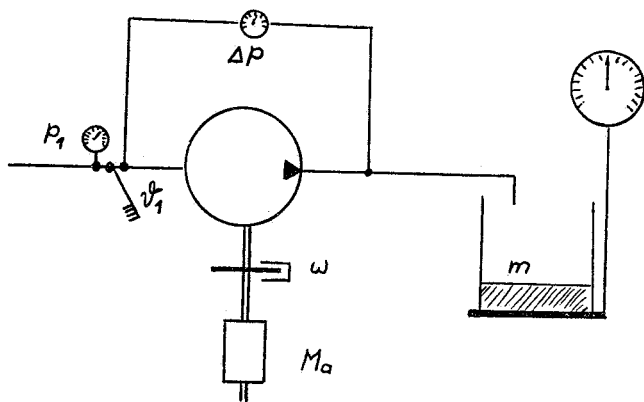


Bild 1: Schematische Darstellung zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf mechanischer Grundlage – Diagrammatic representation for determining the overall efficiency based on the mechanical principle – Représentation schématique de la détermination du rendement global sur des bases mécaniques

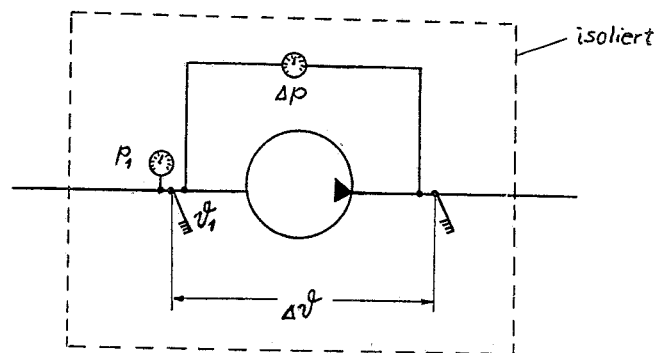


Bild 2: Schematische Darstellung zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf thermodynamischer Grundlage – Diagrammatic representation for determining the overall efficiency based on the thermodynamic principle – Représentation schématique de la détermination du rendement global sur des bases thermodynamiques

erfolgreich überprüft werden konnte. Mit den nun zur Verfügung stehenden Kenntnissen konnten sämtliche notwendigen thermodynamischen Kennwerte berechnet und auch experimentell überprüft werden [11].

3. Meßaufstellung zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an einer hydrostatischen Pumpe

In diesem Rahmen sollen die notwendigen Meßapparaturen für die Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an dem gewählten Beispiel einer Zahradpumpe kurz genannt und ihre prinzipielle Notwendigkeit für die Gesamtwirkungsgradmessung diskutiert werden. Weiterhin wollen wir für beide Anwendungsfälle, der mechanischen und der thermodynamischen Methode den tatsächlichen Fall einer kompressiblen Druckflüssigkeit zu Grunde legen. Eine eingehende Beschreibung der einzelnen Meßgeräte und ihre Arbeitsweise ist in [12] enthalten.

3.1. Mechanische Messung

Bei der Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf mechanischer Grundlage muß das übertragene Drehmoment an der Pumpenwelle gemessen werden. Dies wird mit einer Drehmomentmeßwelle durchgeführt, die mit Dehnmeßstreifen ausgestattet ist, wobei die Verdrehung der Welle in ein der Belastung entsprechendes elektrisches Signal umgewandelt wird. Weiterhin ist der von der Pumpe gelieferte Massenstrom über ein festgelegtes Zeitintervall durch Wägung zu ermitteln. Die Drehzahl der Pumpenwelle wird mittels einer Lichtquelle und einer Photozelle bestimmt. Die Druckdifferenz über der Pumpe wird mit Hilfe einer Druckmeßdose registriert, die ebenfalls über ein elektrisches Signal angegebe wird. Außerdem muß noch eine Temperaturmeßstelle an der Eintrittsseite der Pumpe angebracht werden; sollte der

herrschende Druck an dieser Seite der Pumpe unterschiedlich vom atmosphärischen Druck sein, so muß dieser noch mittels einer Druckmeßstelle auf der Eintrittsseite aufgenommen werden.

Der hohe apparative Aufwand, der bei der Gesamtwirkungsgradmessung auf mechanischer Grundlage notwendig ist, ergibt sich schon allein aus der Anzahl der dabei notwendig zu messenden Größen. Die empfindlichste Stelle bei dieser Meßanordnung ist die Drehmomentmeßwelle, da diese für unzulässige Überbelastungen nicht geeignet ist und nach einer auftretenden Überbelastung erst wieder neu geeicht oder eventuell sogar durch eine neue Meßwelle ersetzt werden muß. **Bild 1** zeigt das prinzipielle Schema, das der mechanischen Messung zu Grunde liegt.

3.2. Thermodynamische Messung

Bei der thermodynamischen Meßmethode zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades lassen sich die zu messenden Größen auf ein absolutes Minimum, nämlich auf die Druck- und Temperaturmessungen, reduzieren. Es ist hier – ebenso wie bei der mechanischen Messung – die Druckdifferenz über der Pumpe zu bestimmen, die Temperaturdifferenzmessung über der Pumpe stellt jedoch eine neu zu ermittelnde Größe dar. Außerdem ist analog zur mechanischen Messung noch die Eintrittstemperatur und der an der Eintrittsseite der Pumpe herrschende Druck zu messen, falls nicht atmosphärischer Druck angenommen werden darf. Folgende Größen konnten gegenüber der mechanischen Messung vollkommen weggelassen:

- Drehmomentmessung
- Drehzahlmessung
- Massenstrom (Durchflußmessung)

Dies bedeutet eine wesentliche Vereinfachung des apparativen Aufwandes, die sich nicht nur kostensparend auswirkt, sondern außerdem noch eine raumsparende

Meßanordnung anbietet, was bei vielen Anlagen in denen hydrostatische Antriebe installiert sind, ein wesentlicher Gesichtspunkt sein kann. **Bild 2** zeigt ein prinzipielles Schema der Meßanordnung der thermodynamischen Messung.

4. Vergleich der Meßresultate zwischen mechanischer und thermodynamischer Messung

Bei einem Vergleich zwischen der mechanischen und der thermodynamischen Meßmethode dürfen sich bei korrekter Durchführung der Messungen keine wesentlichen Unterschiede ergeben. Damit die Meßergebnisse miteinander zu vergleichen sind, müssen unbedingt bei beiden Messungen gleiche Bedingungen herrschen. Aus diesem Grunde wurden die mechanische und die thermodynamische Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an dem Prüfobjekt „Zahradpumpe“ simultan durchgeführt. Die thermodynamische Meßmethode machte nur noch eine zusätzliche Temperaturmeßstelle an der Austrittsseite erforderlich und stellte somit keine besondere Schwierigkeit dar. Außerdem mußte die Pumpe noch isoliert aufgebaut werden, da die abgegebene Wärme von der Pumpe an die Umgebung verhindert werden sollte. In **Bild 3** ist der Verlauf des Gesamtwirkungsgrades in Abhängigkeit von der Druckdifferenz über der Pumpe bei der Temperatur $t = 50^\circ\text{C}$ für die mechanische und für die thermodynamische Meßmethode vergleichend gegenübergestellt. **Bild 4** zeigt den Temperaturanstieg über der Pumpe als Funktion der Druckdifferenz über der Pumpe und des Gesamtwirkungsgrades bei einer Eingangstemperatur $t = 50^\circ\text{C}$. Es darf abschließend gesagt werden, daß durch die Versuche eine sehr gute Übereinstimmung bei der Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades nach der mechanischen und nach der thermodynamischen Meßmethode festgestellt werden konnte.

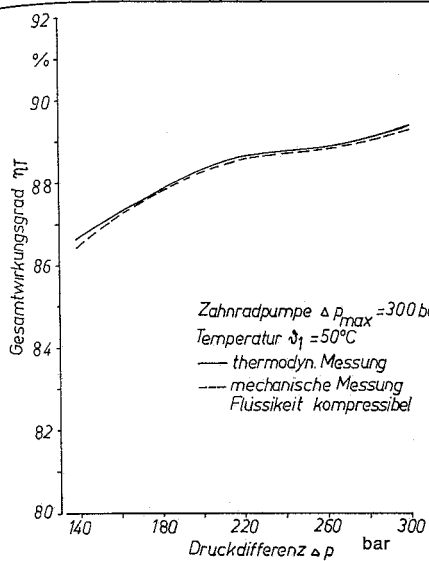


Bild 3: Der Gesamtwirkungsgrad an einer Zahnradpumpe auf mechanischer und auf thermodynamischer Grundlage — The overall efficiency of a gear-type pump based on mechanical and thermodynamic principles — Rendement global d'une pompe à engrenages selon des procédés mécanique et thermodynamique

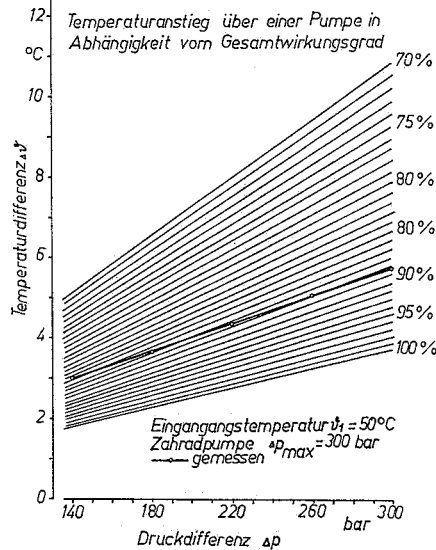


Bild 4: Temperaturanstieg über einer Pumpe in Abhängigkeit von der Druckdifferenz über der Pumpe und dem Gesamtwirkungsgrad — Temperature increase of a pump as a function of the differential pressure of the pump and the overall efficiency — Différence de température avec, en abscisse, la différence de pression, en fonction du rendement total

5. Schlussfolgerungen

Auf Grund der durchgeführten Versuche der Berechnungen konnte bewiesen werden, daß das thermodynamische Messen an hydrostatischen Antrieben durchführbar ist und bei einem Vergleich mit der bisherigen mechanischen Meßmethode gleichwertige Ergebnisse liefert. Damit dürfte für die Anwendungsgebiete in der Hydraulik eine neue Meßmethode zur Verfügung stehen, die mit weitaus geringerem apparativem Aufwand eine Gesamtwirkungsgradmessung an hydrostatischen Antrieben ermöglichen wird.

Die bisherige mechanische Meßmethode eignete sich besonders für Laboruntersuchungen und zur Aufteilung der Verlustkomponenten. Die neuen Anwendungsgebiete für die thermodynamische Meßmethode liegen nicht nur im Laborbereich, sondern vorallem in der laufenden Überwachung des Gesamtwirkungsgrades an

hydrostatischen Antrieben in Maschineneinheiten oder ganzen Maschinenanlagen. Durch die Druckdifferenz- und die Temperaturdifferenzmessung ist eine laufende Überwachungsmöglichkeit geschaffen, ohne daß die räumliche Grundkonzeption der Maschinenanlage beeinflusst wird, wie das durch den Einbau einer mittlaufenden Drehmomentmeßwelle notwendig wäre.

Es können, wie an diesem Beispiel gezeigt wird, die Drehmomentmessung, die Drehzahlmessung und die Durchflußmessung unter Einsparung der entsprechenden Kosten weggelassen werden. Wesentlich erscheint jedoch, daß die Drehmomentmeßwelle als schwächstes Glied bei der mechanischen Meßanordnung wegfallen kann, da diese sehr empfindlich gegen Überbelastungen ist.

Die Vorzüge des thermodynamischen Meßverfahrens liegen somit auch bei Dauerlaufversuchen oder bei Testversuchen mit Prototypen eindeutig auf der Hand. Die

Qualitätsprüfung bei einer Serienfertigung würde sich mit der thermodynamischen Meßmethode wesentlich einfacher gestalten lassen und mittels der Temperaturmessung sofort einen Indikationsmaßstab für die Qualität des Prüfobjektes anzeigen.

Bei Maschinenanlagen wie z. B. bei Walzwerken usw. bietet die thermodynamische Meßmethode zudem ein sogenanntes „early warning-system“, das ungewollte Stillstandzeiten und die damit verbundenen finanziellen Verluste erspart und einen gezielten Ausbau von erneuerungsbedürftigen hydrostatischen Komponenten ermöglicht.

Alles in allem darf gesagt werden, daß die thermodynamische Meßmethode zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Antrieben neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnet und eine neue Epoche in der Meßtechnik der Hydraulik einleiten wird.

Literaturhinweis:

- [1] Schlösser, W. M. J.: Meten aan verdringerpompen, Dissertation TH Delft (1959)
- [2] Schlösser, W. M. J. und W. Hilbrands: Der volumetrische Wirkungsgrad an Verdrängerpumpen; öhydraulik und pneumatik 7 (1963) Nr. 12
- [3] Schlösser, W. M. J. und W. Hilbrands: Über den hydraulisch-mechanischen Wirkungsgrad von Verdrängerpumpen; öhydraulik und pneumatik 9 (1965) Nr. 9
- [4] Toet, G.: Die Bestimmung des theoretischen Hubvolumens von hydrostatischen Verdrängerpumpen und -motoren aus volumetrischen Messungen; öhydraulik und pneumatik 14 (1970) Nr. 5
- [5] Barbillon, L. und A. Poisson: Note sur un nouveau procede de mesure du rendement des turbines hydrauliques (Methode thermometrique); Bull. Rech. sci., industr. et Inventions 2 (1921) 23
- [6] Rögnér, H. und F. Arens-Fischer: Erfahrungen mit dem thermodynamischen Meßverfahren bei Kesselspeisepumpen; VDI-Berichte Nr. 75 (1964)
- [7] Brand, F.: Thermodynamische Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades von hydraulischen Maschinen; Technica Nr. 26 (1968)
- [8] Grunedlek, W. und J. Volkery: Betriebserfahrungen mit der thermodynamischen Meßmethode bei Kesselspeisepumpen; Energie, Jahrg. 21 Nr. 10, Okt. (1969)
- [9] Stern, H.: Measuring performance of hydraulic machines; Product Engineering, Nov. (1955)
- [10] Schlösser, W. M. J. und H. A. Verduyn: Folgerungen aus einer Zustandsgleichung für Mineralöle; öhydraulik und pneumatik 4 (1960) Nr. 2
- [11] Witt, K.: Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Pumpen auf thermodynamischer Grundlage; TH Eindhoven, Institut f. Antriebstechnik, interner Bericht, Juli (1972)
- [12] Schlösser, W. M. J. und G. Toet: Messung stationärer Eigenschaften von Komponenten hydraulischer Übertragungen; Schweizerische Bauzeitung, 87. Jahrg., Heft 10 (1969)

Im November 1973
erscheint der

o+p report- '73

mit ca. 200 Produktbeschreibungen.

o+p

Dieses Sonderheft der Zeitschrift

»öhydraulik und pneumatik« gibt einen Überblick der zur Zeit am Markt angebotenen Elemente, Geräte, Anlagen und Systeme. Kennziffern und Leserdienstkarten, erhöhte Auflage und große Verbreitung, auch im Ausland, sind Gewähr für eine erfolgreiche Werbung.

Anzeigenschluß: äußerster Termin 24. Oktober