

Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik : hydrostatische Energie und Definitionsgleichungen für hydrostatische Energieumsetzer (II)

Citation for published version (APA):

Witt, K. (1977). Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik : hydrostatische Energie und Definitionsgleichungen für hydrostatische Energieumsetzer (II). *Ölhydraulik und Pneumatik*, 21(2), 95-96.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1977

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.

Komponente	Schema	zur Verfügung stehende hydrostatische Energie	verlorengegangene hydrostatische Energie	WIRKUNGSGRAD		Bild
				konventionell mechanische Messung	thermodyn. Temperatur Druckmessungen	
Pumpe mit äusserem Leck		$\Delta h_{Ps} = \zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s$	—	$\eta_{TP} = \frac{m_{eff} \cdot (\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s)}{M_p \cdot \omega_p}$	$\eta_{TP} = \frac{\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s}{\zeta_{2p} - \zeta_{1p} + m_l/m_{eff} \cdot (\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s)}$	13
Pumpe mit innerem Leck		$\Delta h_{Ps} = \zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s$	—	$\eta_{TP} = \frac{m_{eff} \cdot (\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s)}{M_p \cdot \omega_p}$	$\eta_{TP} = \frac{\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s}{\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s}$	14
Hydromotor mit äusserem Leck		$\Delta h_{Ms} = \zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s$	$\Delta h_M = \zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s - \left[\frac{(\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s) - (m_l/m_{eff} \cdot (\zeta_{3M} - \zeta_{2M}^s))}{m_l/m_{eff} \cdot (\zeta_{3M} - \zeta_{2M}^s)} \right]$	$\eta_{TM} = \frac{M_M \cdot \omega_M}{m_{eff} \cdot (\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s)}$	$\eta_{TM} = \frac{\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s}{\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s - m_l/m_{eff} \cdot (\zeta_{3M} - \zeta_{2M}^s)}$	15
Hydromotor mit innerem Leck		$\Delta h_{Ms} = \zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s$	$\Delta h_M = \zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s - (\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s)$	$\eta_{TM} = \frac{M_M \cdot \omega_M}{m_{eff} \cdot (\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s)}$	$\eta_{TM} = \frac{\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s}{\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s}$	16
Hydrozylinder		$\Delta h_{Zs} = \zeta_{1Z} - \zeta_{2Z}^s$	$\Delta h_Z = \zeta_{1Z} - \zeta_{2Z}^s - F_Z \cdot w_Z/m_{eff}$	$\eta_{TZ} = \frac{F_Z \cdot w_Z}{m_{eff} \cdot (\zeta_{1Z} - \zeta_{2Z}^s)}$	—	—
Rohrleitungen		$\Delta h_{Rs} = \zeta_{1R} - \zeta_{2R}^s$	$\Delta h_R = -\sum [\zeta_{1R} - \zeta_{1R}^s - \zeta_{2R} - \zeta_{2R}^s]$	—	$\eta_{TR} = \frac{\Delta h_{Ps} - \Delta h_R}{\Delta h_{Ps}}$	17
Drosselventile		$\Delta h_{Vs} = \zeta_{1V} - \zeta_{2V}^s$	$\Delta h_V = -\sum [\zeta_{1V} - \zeta_{1V}^s - \zeta_{2V} - \zeta_{2V}^s]$	—	$\eta_{TV} = \frac{\Delta h_{Ps} - \Delta h_V}{\Delta h_{Ps}}$	18
absolute Drossel		$\Delta h_{VDs} = \zeta_{1VD} - \zeta_{2VD}^s$	$\Delta h_{VD} = \zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s$	—	$\eta_{TVD} = \frac{0}{\Delta h_{Ps}}$	19
Wärmetauscher		$\Delta h_{Wks} = \zeta_{1WK} - \zeta_{2WK}^s$	$\Delta h_{WK} = \zeta_{1WK} - \zeta_{2WK}^s - (\zeta_{2WK} - \zeta_{2WK}^s)$	—	$\eta_{TWK} = \frac{\Delta h_{Ps} - \Delta h_{WK}}{\Delta h_{Ps}}$	20
hydrost. Antrieb m. äuss. Leck		$\Delta h_{Ps} = \zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s$	$\Delta h_A = \Delta h_M + \Delta h_R + \Delta h_V + \Delta h_{WK}$	$\eta_{TA} = \frac{M_M \cdot \omega_M}{M_p \cdot \omega_p}$	$\eta_{TA} = \frac{\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s - m_l/m_{eff} \cdot (\zeta_{3M} - \zeta_{2M}^s)}{\zeta_{2p} - \zeta_{1p} + m_l/m_{eff} \cdot (\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s)}$	—
hydrost. Antrieb m. inner. Leck		$\Delta h_{Ps} = \zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s$	$\Delta h_A = \Delta h_M + \Delta h_R + \Delta h_V + \Delta h_{WK}$	$\eta_{TA} = \frac{M_M \cdot \omega_M}{M_p \cdot \omega_p}$	$\eta_{TA} = \frac{\zeta_{1M} - \zeta_{2M}^s}{\zeta_{2p} - \zeta_{1p}^s}$	—

Tafel 3: Bestimmung des Wirkungsgrades hydrostatischer Komponenten auf energetischer Grundlage

Energie durch Umsetzung in Wärmeenergie verloren, ohne das mechanische Energie abgegeben wird. Die Bestimmung des Verlustanteiles sowie des Wirkungsgrades kann Tafel 3 entnommen werden.

4.3. Wärmetauscher als Ölkühler

Aufgabe eines Ölkühlers ist, die durch Wärmeentwicklung im System aufgeheizte Druckflüssigkeit zurückzukühlen, um die Systemtemperatur auf ein zulässiges Niveau zu halten. Dies geschieht im allgemeinen über ein Rohrleitungssystem im Gegen- oder Gleichstromprinzip. Gelingt es, die Rohrleitungsverluste entsprechend gering zu halten, so kann in erster Näherung von einem isobaren Wärmeübergang gesprochen werden.

Bei genauer Analyse stotzt sich aber die im Wärmetauscher verlorengegangene hydrostatische Energie aus zwei Termen zusammen. Dies ist zum einen der Verlust von hydrostatischer Energie, bedingt durch den Druckabfall im Leitungssystem des Wärmetauschers und zum anderen der Anteil auf Grund der Divergenz der Isobaren im Enthalpie-Entropie-Diagramm (Bild 20). Der letzte Term entfällt, wenn im Enthalpie-Entropie-Diagramm Parallelität der Isobaren vorliegt [10].

4.4 Hydrostatischer Antrieb

Der Gesamtwirkungsgrad eines hydrostatischen Antriebes errechnet sich aus dem Quotienten der an der Motorwelle abgegebenen mechanischen Energie zu der an der Pumpenwelle zugeführten (Bild 21).

Berücksichtigt man wie [13] die Wirkungsgrade der einzelnen Komponenten, so läßt sich der Gesamtwirkungsgrad für einen hydrostatischen Antrieb, der dem in Bild 21

dargestellten Kreisprozeß entspricht, wie folgt berechnen.

$$\eta_{TA} = \eta_{TP} \cdot \eta_{TR} \cdot \eta_{TV} \cdot \eta_{TWK} \cdot \eta_{TM} \quad (12)$$

Diese Beziehung kann vereinfacht werden, wenn man den Wirkungsgrad des konduktiven Teiles zusammenfaßt.

$$\eta_{TK} = \eta_{TR} \cdot \eta_{TV} \cdot \eta_{TWK} \quad (13)$$

Aus dem Wirkungsgrad des generatorischen, des konduktiven und des motorischen Teiles eines Antriebes ergibt sich dessen Gesamtwirkungsgrad wie folgt zu:

$$\eta_{TA} = \eta_{TP} \cdot \eta_{TK} \cdot \eta_{TM} \quad (14)$$

5. Umsetzung von Wärmeenergie in hydrostatische Energie

Häufig wird in der Hydrostatik Wärmeenergie mit verlорener Energie in Zusammenhang gebracht. Diese Äußerung erscheint nicht ganz unbegründet, wenn dabei berücksichtigt wird, wie gering der Gewinn an hydrostatischer Energie aus Wärmeenergie ist. Zur Umsetzung von Wärmeenergie in hydrostatische Energie gibt es theoretisch die Möglichkeiten der Umsetzung bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen.

Zunächst sei an einen Wärmetauscher zur Aufheizung der Flüssigkeit gedacht, dessen Druckverluste vernachlässigbar klein sind. Der Zugewinn an hydrostatischer Energie wird somit allein durch die Divergenz der Isobaren im Enthalpie-Entropie-Diagramm bestimmt. Voraussetzung ist, daß der im Wärmetauscher herrschende Druck über dem atmosphärischen Druck liegt (Bild 22). Ist dies nicht der Fall, so ist eine Umsetzung in hydrostatische Energie auf diesem Wege nicht möglich. Der Zugewinn errechnet sich zu:

$$\Delta i_{WWp} = (i_{2WWp} - i_{1'WWp})_s - (i_{1WWp} - i_{1'WWp})_s \quad (15)$$

Tatsächlich überlagern sich, bedingt durch die Druckverluste, zwei Effekte. Stellt man den Verlust an hydrostatischer Energie Δi_{WWR} durch den Druckabfall im Wärmetauscher in Rechnung, so ist zu prüfen, wie groß der verbliebene Gewinn aus der zugeführten Wärmeenergie ist.

$$\Delta i_{WWzugew.} = \Delta i_{WWp} - \Delta i_{WWR} \quad (16)$$

Die zweite Möglichkeit, Wärmeenergie in hydrostatische Energie umzusetzen, kann erreicht werden, wenn diese bei konstantem Volumen zugeführt wird. Dabei steigt neben der Temperatur auch der Druck, bedingt durch die Ausdehnung des Mediums.

Der Gesamtwirkungsgrad einer Pumpe bei gleichzeitiger Wärmezufuhr über das Pumpengehäuse (Bild 23) ergäbe sich zu:

$$\eta_{TPW} = \frac{(i_{2PW} - i_{1'PW})_s \cdot m_{eff}}{(M_p \cdot \omega_p + Q_{zu})} \quad (17)$$

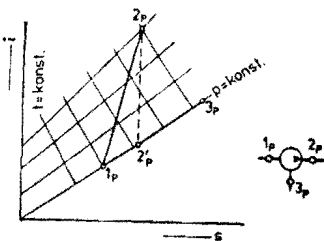
Würde man den der Pumpe aufgesetzten Wärmetauscher weglassen und der Pumpe die gleiche Antriebsleistung zuführen, so erhielte man den Zuwachs an hydrostatischer Energie auf Grund der zugeführten Wärmeenergie aus nachstehender Differenzbildung (Bild 23).

$$\Delta i_{PW} = (i_{2PW} - i_{1'PW})_s - (i_{2p} - i_{1'p})_s \quad (18)$$

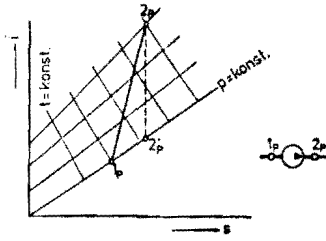
Aus dem Enthalpie-Entropie-Diagramm kann entnommen werden, daß über den Temperaturanstieg auf Grund der Divergenz der Isobaren und aus dem Druckerhöhung hydrostatische Energie gewinnbar ist.

Zum vorhergesagten wird klargestellt, daß es prinzipiell möglich ist, aus Wärmeenergie hydrostatische Energie zu gewinnen, aber im Moment ist der Aufwand durch den technischen Gewinn nicht gerechtfertigt.

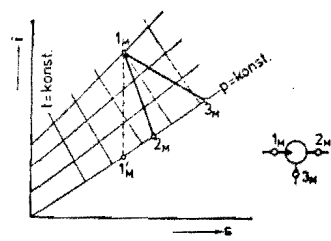
Enthalpie-Entropie-Diagramme



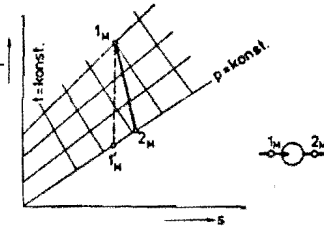
13: Pumpe mit äußeren Leckverlusten



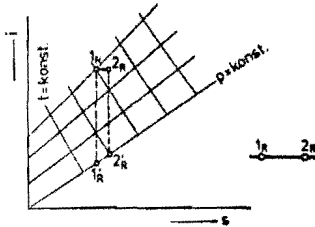
14: Pumpe ohne äußere Leckverluste



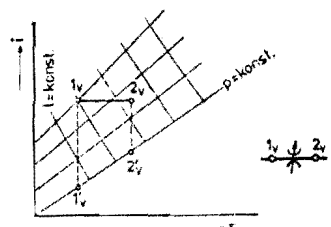
15: Hydromotor mit äußeren Leckverlusten



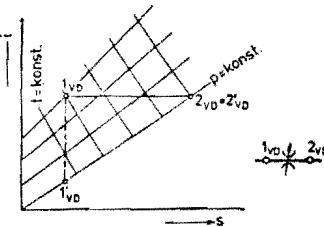
16: Hydromotor ohne äußere Leckverluste



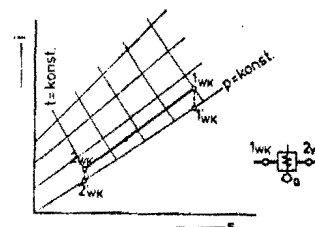
17: Rohrleitungen



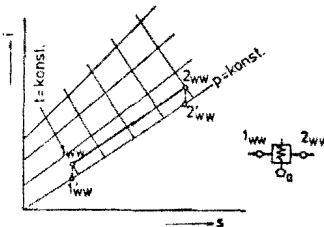
18: Drosselventile



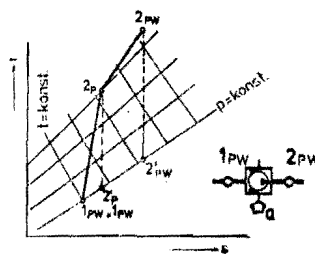
19: Drosselventil Totalentspannung



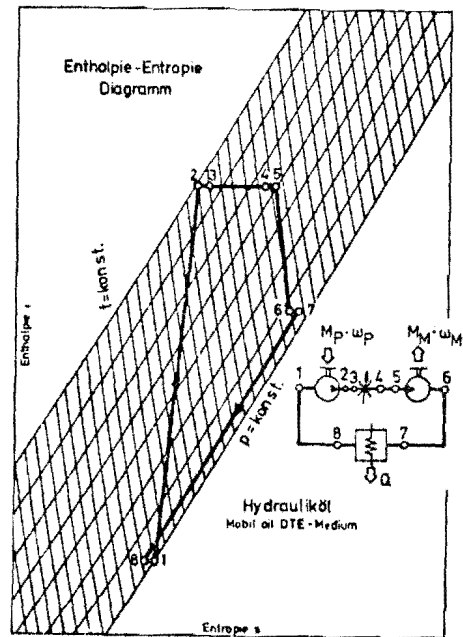
20: Wärmetauscher als Dikühler



22: Wärmetauscher als Wärmequelle



23: Pumpe mit gleichzeitiger Wärmezufuhr über das Pumpengehäuse an die Druckflüssigkeit



21: Hydrostatischer Antrieb

Zusammenfassung

Die Definitionsgleichungen zur Beurteilung hydrostatischer Energieumsetzer wurden auf eine energetische Grundlage gestellt. Prinzipiell ist jeder Definitionsstandpunkt möglich, sofern die Randbedingungen als Bestandteil der Definition dazu ausdrücklich benannt werden.

Der Begriff zur Verfügung stehende hydrostatische Energie konnte geklärt werden, da diese aus der Energiebilanz ableitbar und durch Messungen nachweisbar ist. Sie setzt sich aus der Verschiebearbeit und der adiabaten Expansionsarbeit zusammen. Zur vereinfachten Berechnung der zur Verfügung

stehenden hydrostatischen Energie konnte auf geeignete Berechnungsvorschläge hingewiesen werden.

Die Definitionen auf energetischer Grundlage, die der Energiebilanz eines Kreisprozesses (hydrostatischer Antrieb) nicht widersprechen, bieten eine Referenz zu anderen Definitionen. Gleichzeitig konnte nachgewiesen werden, ob und unter welchen Voraussetzungen aus Wärmeenergie hydrostatische Energie gewinnbar ist.

Bildnachweis: Verfasser

[8] Brand, F.: Die Messung des Wirkungsgrades von hydraulischen Maschinen nach dem thermodynamischen Verfahren; Sonderdruck Voith-Forschung und Konstruktion Heft 7 (1961)
 [9] Rögener, H. und F. Areng-Fischer: Erfahrungen mit dem thermodynamischen Meßverfahren bei Kesselspeisepumpen; VDI-Berichte Nr. 75 (1964) pp. 99
 [10] Witt, K.: Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik — Die Thermodynamik der Druckflüssigkeiten, Ölhydraulik und Pneumatik Nr. 9, Sept. (1976)
 [11] Schmidt, E.: Einführung in die technische Thermodynamik; Springer-Verlag (1960)
 [12] Witt, K.: Druckflüssigkeiten und thermodynamisches Messen; Ingenieur Digest Verlag — Frankfurt, Survey, Febr. 1974
 [13] Schösser, W. M. J.: Grundlagen der Ölhydraulik; Ölhydraulik und Pneumatik 8 (1964), Nr. 7, pp. 280