

Verschillend gedrag van hydraulische en pneumatische energiedagers

Citation for published version (APA):

Witt, K. (1979). Verschillend gedrag van hydraulische en pneumatische energiedagers. *Aandrijftechniek*, (5 november), 598-601.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1979

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.

Verschillend gedrag van hydraulische en pneumatische energiedragers

Dr.-Ing. K. Witt

Bij de berekening van hydraulische en pneumatische installaties is het voor de constructeur belangrijk te weten, dat de beide energiedragers zich verschillend gedragen. Dit gedrag van de energiedragers gedurende bedrijf vraagt tijdens het ontwerpen van de installaties en de afzonderlijke componenten om een afwijkende conceptie. De laatste tijd werd getracht de hydrauliek en de pneumatiek onder een verzamelbegrip, bijv. fluidica, samen te vatten. Het doel hiervan was aan te tonen, dat beide energiedragers een zo verschillend gedrag hebben, dat een combinatie van beide gebieden ondoelmatig schijnt. Dit is in de praktijk ook merkbaar, want het verschillende gedrag van de energiedragers is zo duidelijk, dat als gevolg daarvan verschillende takken van industrie zijn ontstaan.

Voor de hiernavolgende vergelijking van de psychische wetenschappen van de beide energiedragers werd minerale olie (normale olie voor hydraulische doeleinden) en lucht met een ideaal gasgedrag gekozen.

Dichtheid

Voor de berekening van de dichtheid ρ van minerale oliën werd met behulp van literatuurverwijzing [1] op basis van de uitgevoerde metingen een toestandsvergelijking opgesteld. Deze toestandsvergelijking (1) is weergegeven in afbeelding 1, waarbij $\rho_{0(0)}$ de dichtheid is bij atmosferische druk en een temperatuur van 0°C. De constanten E_0, E_1, E_2, C, B en D zijn vloeistofgebonden grootheden. Met deze vergelijking als basis, werden dichtheidskrommen voor een constante temperatuur t bepaald als functie van de druk p (afb. 2).

Voor de isotherme toestandsverandering van de lucht (voor een ideaal gas) geldt de bekende betrekking uit de kinetische gastheorie [2]:

$$(p \cdot v)_T = \text{constant}$$

of:

$$\left(p \frac{1}{\rho}\right)_T = \text{constant} \quad (2)$$

De grootheid T geeft de absolute temperatuur en v het specifieke volume van de lucht aan.

Compressiemodulus

Met behulp van de gegeven toestandsver-

gelijking (1) kan volgens de bekende betrekking:

$$K_T = -v \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T$$

of:

$$K_T = \rho \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_T \quad (3)$$

de isotherme compressiemodulus K_T (afb. 3) worden bepaald. De adiabatische compressiemodulus K_S wordt met de factor van de verhouding tussen de specifieke warmten c_p/c_v vermenigvuldigd en wordt dan weergegeven door:

$$K_S = (c_p/c_v) \cdot K_T \quad (4)$$

De isotherme compressiemodulus K_T is voor de lucht (ideaal gas) gelijk aan de gasdruk p (afb. 3):

$$K_T = p \quad (5)$$

De adiabatische compressiemodulus K_S is een factor, gelijk aan de verhouding van de specifieke warmten c_p/c_v , groter dan de isotherme compressiemodulus van het gas:

$$K_S = (c_p/c_v) \cdot p \quad (6)$$

In tegenstelling met minerale oliën is de compressiemodulus van lucht niet afhankelijk van de temperatuur.

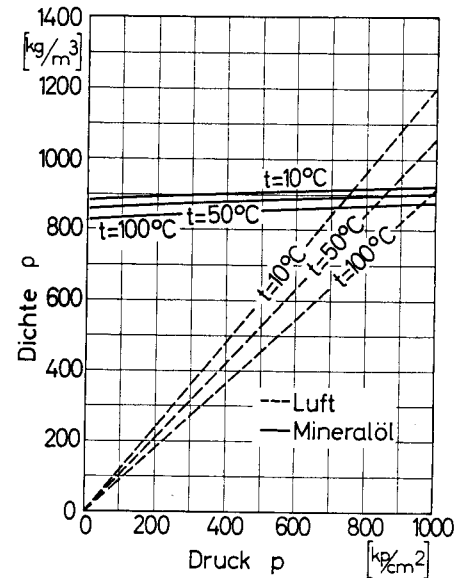
Volumetrische uitzettingscoëfficiënt

De volumetrische uitzettingscoëfficiënt α_p wordt als volgt weergegeven:

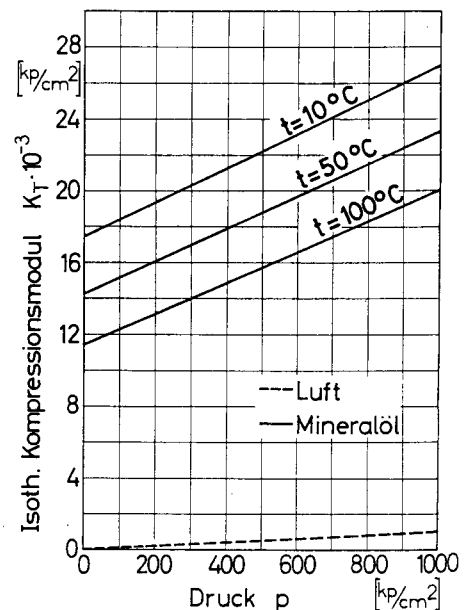
$$\alpha_p = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p$$

$$\rho = \left\{ E_0 \left[1 - \left\{ \exp \left[- \frac{(p-1)}{E_1} \right] + E_2(p-1) \right\} \right] + D \right\} t + \frac{\rho_{0(0)}}{1 - C \log \frac{B+(p-1)}{B}} \quad (1)$$

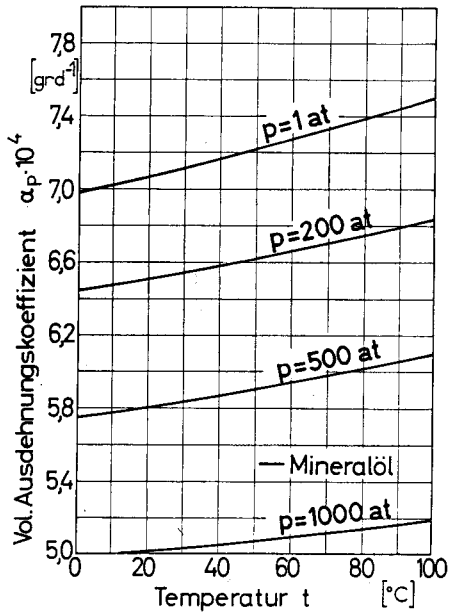
Afb. 1. Toestandsvergelijking (1).



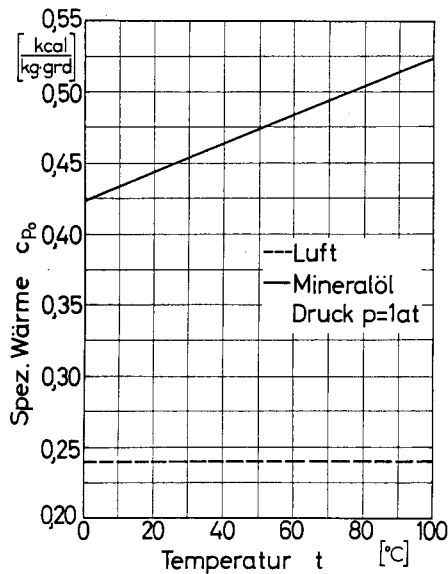
Afb. 2. Verloop van de dichtheidskrommen bij constante temperatuur van minerale olie en lucht als functie van de druk.



Afb. 3. Verloop van de isotherme compressiemodulussen van een mineralie olie en lucht als ideaal gas.



Afb. 4. Volumetrische uitzettingscoëfficiënt van een minerale olie als functie van druk en temperatuur.



Afb. 5. De specifieke warmte van een minerale olie en de lucht als functie van de temperatuur.

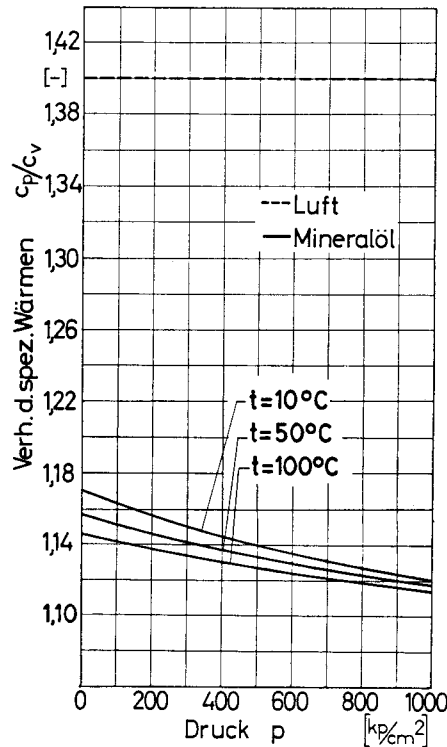
of:

$$\alpha_p = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (7)$$

Met behulp van de gegeven toestandsvergelijking (1) en vergelijking (7) kan de afhankelijkheid van temperatuur en druk worden bepaald (afb. 4). Voor lucht wordt de volumetrische uitzettingscoëfficiënt α_p als onafhankelijk van temperatuur en druk gegeven door:

$$\alpha_p = 3,675 \cdot 10^{-3} \text{ (graad}^{-1}\text{)}$$

tussen 0° en 100°C [2].



Afb. 6. Gedrag van de specifieke warmte van een minerale olie en van lucht als functie van druk en temperatuur.

Specifieke warmte

De specifieke warmte c_p bij constante druk wordt volgens de betrekking uit de thermodynamica gegeven door:

$$c^p = \int -T \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p dp + c_{p0} \quad (8)$$

en toont een geringe en daarom verwaarloosbare afhankelijkheid van de druk. De temperatuursafhankelijkheid van de specifieke warmte c_{p0} bij atmosferische druk (afb. 5) werd uit een tabel [3] gehaald. Bij lucht (ideaal gas) bestaat geen afhankelijkheid van de temperatuur noch van de druk voor de specifieke warmte c_p . De waarde van c_p wordt gegeven door $c_p = 0,24$ [kcal./kg. grad.] [2].

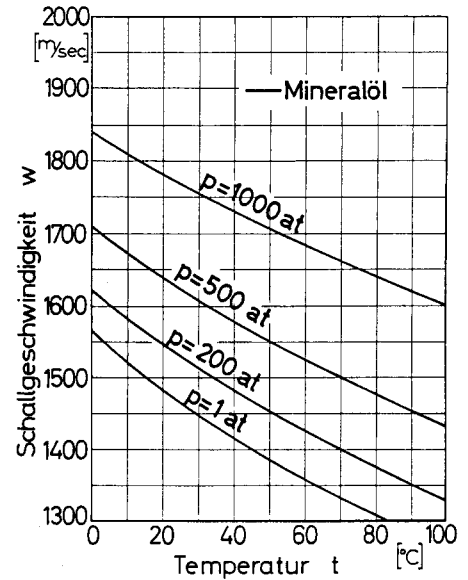
Verhouding van de specifieke warmten

Met behulp van de thermodynamische betrekkingen kan de verhouding tussen de specifieke warmten c_p/c_v op de volgende manier worden weergegeven:

$$\frac{c_p}{c_v} = - \frac{\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_s}{\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v}$$

of:

$$\frac{c_p}{c_v} = \frac{\left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_s}{\left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T} \quad (9)$$



Afb. 7. Geluidssnelheid in een minerale olie als functie van druk en temperatuur.

Hiermede wordt de afhankelijkheid van temperatuur en druk van c_p/c_v voor minerale oliën getoond (afb. 6). Deze afhankelijkheid beïnvloedt de adiabatische compressiemodulus K_s en daardoor ook het gedrag van de geluidssnelheid w in minerale oliën. In tegenstelling tot minerale oliën wordt bij lucht (ideaal gas) voor alle drukken en temperaturen een constante waarde van $c_p/c_v = 1,4$ verkregen.

Geluidssnelheid

De geluidssnelheid w in een minerale olie wordt beïnvloed door het adiabatische druk-dichtheid-quotient $(\partial p / \partial \rho)_s$ omdat deze afhankelijk is van de temperatuur en de druk (afb. 7).

De geluidssnelheid in minerale oliën is een functie van de druk en de temperatuur.

$$w = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_s}$$

of:

$$w = \sqrt{-v^2 \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_s} \quad (10)$$

De geluidssnelheid is in een ideaal gas (lucht) onafhankelijk van de druk en dus slechts een functie van de temperatuur (afb. 8). De volgende vergelijking brengt deze onafhankelijkheid van de druk duidelijk tot uiting:

$$w = \sqrt{\frac{c_p}{c_v}} R F \quad (11)$$

PV-diagram

Vergelijking van de beide energiedragers in een p - v -diagram toont het verschillend compressiegedrag in hydraulische en pneumatische systemen aan (afb. 9). Stelt men bijv. de noodzakelijke isotherme arbeid voor het verdichten L_t tegenover elkaar (tabel 1),



dan wordt zeer duidelijk aangetoond dat hieruit constructieve consequenties moeten voortvloeien:

$$L_t = \int p \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \cdot dp \quad (12)$$

Dynamische viscositeit

Het gedrag van de dynamische viscositeit η van een minerale olie wordt in belangrijke mate beïnvloed door de temperatuur en de druk (afb. 10). Kuss [4] toont aan, dat niet alleen de temperatuursinvloed maar ook de invloed van de druk bij de bepaling van de viscositeit in overweging moet worden genomen. De invloed van de temperatuur is vanaf 80°C echter nog gering, waartegenover een belangrijke invloed van de temperatuur merkbaar is bij lagere temperaturen. Bij temperaturen boven 80°C behoeft bij matige druk nog slechts rekening te worden

gehouden met de invloed van de druk (afb. 10). Op grond van de kinetische gastheorie [2] is de dynamische viscositeit η voor gasen onafhankelijk van de druk; een toename van de viscositeit wordt alleen waargenomen bij stijgende temperatuur [3] (afb. 11). Hierdoor verschillen gasen principieel van vloeistoffen.

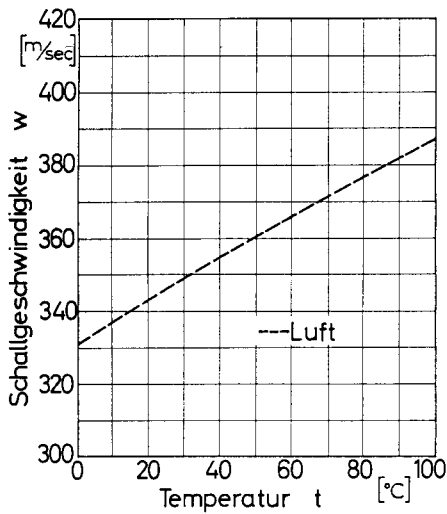
Warmtegeleidbaarheid

De warmtegeleidbaarheid λ_0 bij atmosferi-

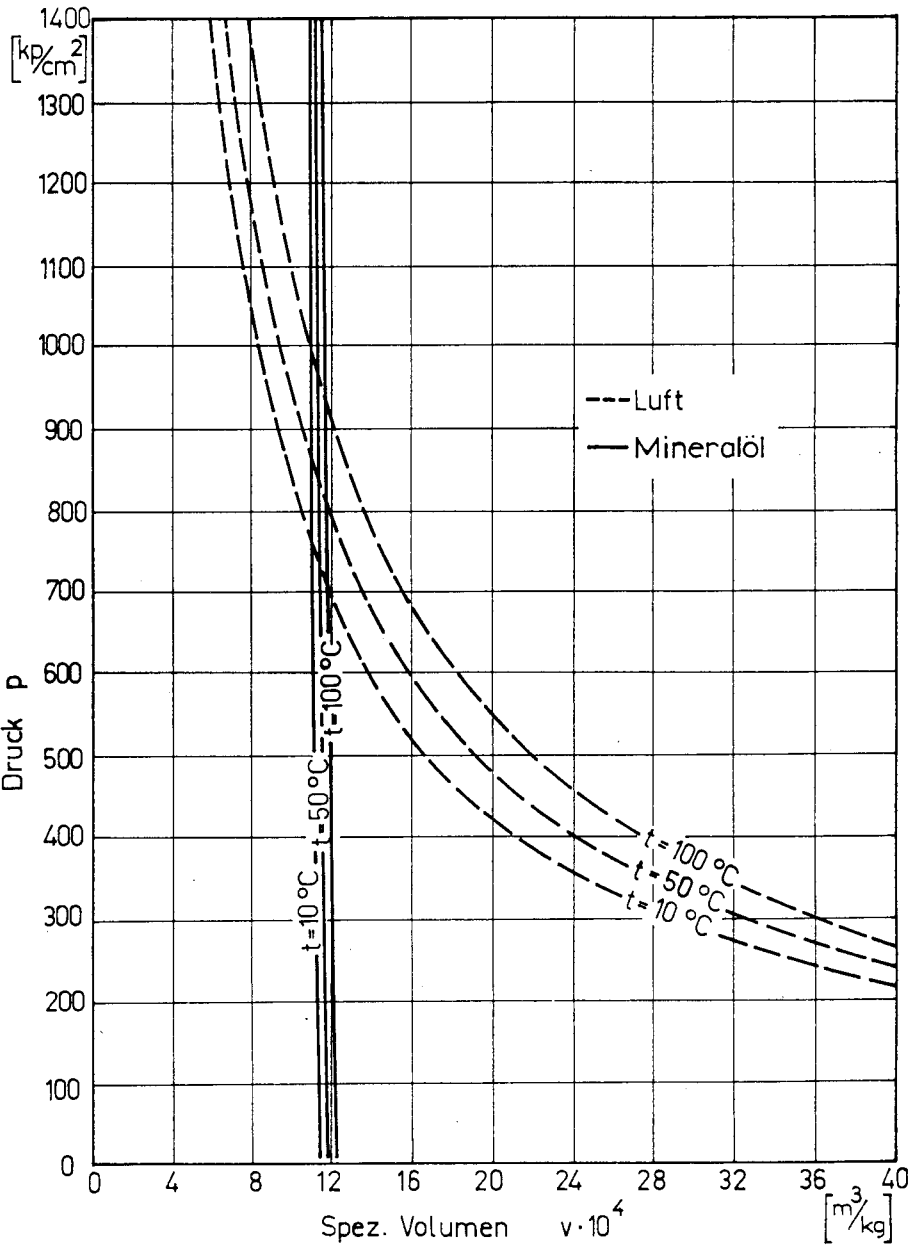
sche druk is bij minerale oliën en lucht slechts in geringe mate afhankelijk van de temperatuur. De warmtegeleidbaarheid λ van vloeistoffen neemt volgens Bridgman [5] bij een druk van 1000 bar toe met een factor 1,09 bij een temperatuur $t = 30^\circ\text{C}$ en met een factor 1,125 bij een temperatuur $t = 70^\circ\text{C}$, in vergelijking met de waarde λ_0 bij atmosferische druk. Volgens de kinetische gastheorie [2] geldt, dat de warmtegeleidbaarheid λ en de viscositeit η van een

Tabel 1: Arbeid voor isotherm verdichten van minerale olie en lucht

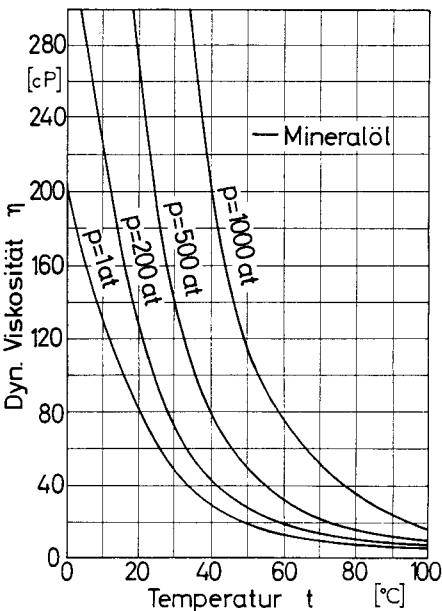
$t = 50^\circ\text{C}$	$L_{tp} = 1-150 \text{ at}$	$L_{tp} = 1-200 \text{ at}$
Minerale olie	1157,1 mkp	2318,5 mkp
Lucht	36813,7 mkp	42354,7 mkp
L_t lucht / L_t olie	31,82	18,27



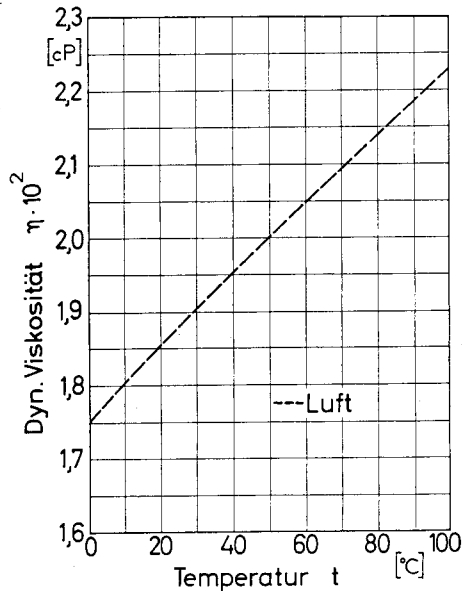
Afb. 8. Gehuidssnelheid in lucht als functie van de temperatuur.



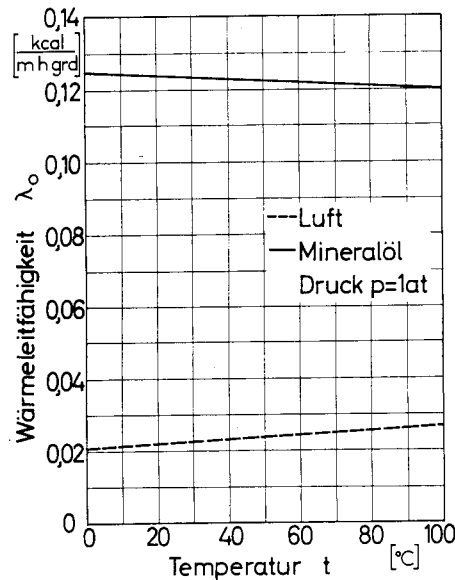
Afb. 9. pv-diagram van een minerale olie en lucht.



Afb. 10. Viscositeitsgedrag van een minerale olie als functie van druk en temperatuur.



Afb. 11. Het druk-onafhankelijk viscositeitsgedrag van lucht als functie van de temperatuur.



Afb. 12. Warmtegeleidbaarheid bij atmosferische druk voor minerale olie en lucht als functie van de temperatuur.

Lijst van gebruikte symbolen

Grootheid	Benaming	Dim
α_p	Volumetrische uitzettingscoëfficiënt	$[\theta^{-1}]$
$\rho_{0(0)}$	Dichtheid van een minerale olie bij atmosferische druk en een temperatuur $t=0^\circ\text{C}$	$[\text{FL}^{-4}\text{T}^2]$
ρ	Dichtheid van een minerale olie bij druk p en temperatuur t	$[\text{FL}^{-4}\text{T}^2]$
η	Dynamische viscositeit	$[\text{FL}^{-2}\text{T}]$
λ_0	Warmtegeleidbaarheid bij atmosferische druk	$[\text{FT}^{-1}\theta^{-1}]$
λ	Warmtegeleidbaarheid bij druk p	$[\text{FT}^{-1}\theta^{-1}]$
c_{p0}	Specifieke warmte bij atmosferische druk	$[\text{L}^2\text{T}^{-2}\theta^{-1}]$
c_p	Specifieke warmte bij constante druk	$[\text{L}^2\text{T}^{-2}\theta^{-1}]$
c_v	Specifieke warmte bij constant volume	$[\text{L}^2\text{T}^{-2}\theta^{-1}]$
K_s	Adiabatische compressiemodulus	$[\text{FL}^{-2}]$
K_T	Isotherme compressiemodulus	$[\text{FL}]$
L_T	Benodigde arbeid voor isotherme verdichting	$[\text{FL}]$
p	Absolute druk	$[\text{FL}^{-2}]$
t	Temperatuur	$[\theta]$
T	Absolute temperatuur	$[\theta]$
v	Specifiek volume	$[\text{F}^{-1}\text{L}^4\text{T}^{-2}]$
w	Geluidssnelheid	$[\text{LT}^{-1}]$

gas evenredig met elkaar zijn en daardoor onafhankelijk van de druk.

Samenvatting

De verschillen tonen duidelijk aan, dat de beide energiedragers afzonderlijk moeten worden beschouwd. De verhouding van de isotherme compressiemodulus minerale olie/lucht bedraagt ongeveer 40:1; die van de volumetrische uitzettingscoëfficiënt minerale olie/lucht ca. 1:5 en die van de dynamische viscositeit minerale olie/lucht ca. 1000:1. Akoestische signalen planten zich in een hydraulische energiedrager ongeveer drie keer zo snel voort als in een pneumatische energiedrager. De verhouding van de specifieke warmte bij constante druk van minerale olie/lucht wordt geraamd op 2:1 en die van de warmtegeleidbaarheid van minerale olie/lucht op ca. 6:1. Vergelijkt men de benodigde arbeid voor het verdichten van minerale olie/lucht, dan verhoudt dit zich bij een compressie van 1 bar tot 100 bar langs een isotherme lijn van 50°C als 1:31,8. Dit toont aan, dat bij gebruik van een pneumatische energiedrager, vragen met betrekking tot de toelaatbare maximale belastingen van componenten en de toelaatbare veiligheid belangrijk zijn.

Literatuur:

- (1) K. Witt, *Druckflüssigkeiten und thermodynamisches Messen*; Ingenieur Digest Verlag - Frankfurt, Survey Febr. 1974.
- (2) C. Gerthsen, *Physik, Kapitel I (Grundzüge der kinetischen Gastheorie; Innere Reibung von Flüssigkeiten; Schallwellen). Kapitel II (Temperatur und Wärmemenge: kinetische Theorie der Wärme; Wärmeleitung und Diffusion)*, 8. Auflage. Springer Verlag 1964.
- (3) Dubbel Taschenbuch 1 für den Maschinenbau: Zahlentafeln, kennzeichnende Stoffwerte für die Wärmeübertragung, 12. Auflage 1961.
- (4) E. Kuss, *The Viscosities of 50 lubricating oils under pressure upto 2000 atmospheres*. Report No. 17 on Sponsored Research (Germany), Department of Scientific and Industrial Research, London/England, 1951.
- (5) Bridgman in Kowalczyk, L.S., *Thermal conductivity and its variability with temperature and pressure*. ASME Transactions Vo. 77, 1956, pp. 1021.