

## Lager

**Citation for published version (APA):**

Schouten, M. J. W. (1977). Lager. In J. T. Buma, V. H. A. M. Oosterbaan, & A. Wisenberg (editors), *Winkler Prins technische encyclopedie* (Vol. 3, blz. 303-306). Elsevier.

**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](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

maximum wordt ook wel *lippmannpotential* genoemd. Daar deze vrij sterk afhangt van de adsorptie van ionen (specifieke adsorptie) en van neutrale moleculen, is voorgesteld de term ladingsnulpunt van een metaal te reserveren voor de lippmannpotential in een elektrolytoplossing waarin geen enkele adsorptie (behoudens van moleculen van het oplosmiddel) optreedt, en in andere gevallen te spreken van lippmannpotential of van *elektrodepotential van het ongeladen oppervlak*. Men kan het ladingsnulpunt beschouwen als een karakteristieke grootte voor elke combinatie van metaal en oplosmiddel. Doordat de mate van adsorptie van ionen en moleculen mede bepaald wordt door teken en grootte van de overschotlading op het metaal, is de ligging van het ladingsnulpunt van een metaal ten opzichte van de rust- of corrosiepotential daarvan in een bepaald milieu of ten opzichte van de ingestelde elektrodepotential bij een elektrolyseproces van belang voor de werking van grensvlakactieve stoffen, zoals inhibitoren bij corrosiebescherming en diverse stoffen toegevoegd, aan galvanische baden. De toepassing hiervan berust tot nu toe nog grotendeels op experimenten. Het ladingsnulpunt is alleen voor vloeibare metalen (kwik, gallium boven 30 °C) gemakkelijk en nauwkeurig te bepalen door een meting van de grensvlakspanning of met behulp van een druppelende kwikelektrode (die na enige tijd spontaan de lippmannpotential aanneemt). Bij vaste metalen is de grensvlakspanning niet op een eenvoudige wijze te meten. Men is daarvoor aangewezen op de bepaling van het minimum in de capaciteit van de dubbellaag, van het maximum in de hardheid van het metaal, van het minimum in de adsorptie van ionen aan elektroden met groot oppervlak of van het moment waarop de  $\zeta$ -potential van teken omkeert bij elektrokinetische verschijnselen. De resultaten zijn voor vaste metalen doorgaans veel minder goed reproduceerbaar dan voor kwik door de grote gevoeligheid van de lippmannpotential voor de oppervlaktetoestand en voor de adsorptie van ionen, en moleculen, en die van zuurstof- en waterstofatomen, die in waterige oplossingen ontstaan uit de elektrode reacties van het water ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_{\text{ad}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$ , resp.  $\text{H}_2\text{O} + \text{e} \rightarrow \text{H}_{\text{ad}} + \text{OH}^-$ ) en waarvan de adsorptie aan kwik vrijwel nihil is. De nulpunten van enkele metalen in water bij kamertemperatuur ten opzichte van de waterstofschaal zijn:

Deze getalwaarden gelden voor elektrolytoplossingen waarin weinig of geen adsorptie optreedt. Langs theoretische weg is een verband afgeleid tussen het ladingsnulpunt (in engere zin) in water  $\epsilon_N$  en de *uittreedarbeid* der elektronen (*electronic work function*) van het metaal luidende:  $\epsilon_N \approx \Phi/F - 4,7$ , waarin  $F$  de constante van Faraday is en  $\Phi$  wordt uitgedrukt in elektronvolt.

Hoewel bij het ladingsnulpunt (of de lippmannpotential in het algemeen) de overschotladingen in beide fasen nul zijn, is dat niet het geval met het potentialverschil tussen beide fasen (z. Elektrodepotential). Het ladingsnulpunt kan dus niet worden opgevat als een absoluut nulpunt voor een schaal van elektrodepotentialen. **LAGEDRUKGEBIED** of **drukminimum**, in de meteorologie een gebied of een punt waar de luchtdruk lager is dan in de omgeving in hetzelfde horizontale vlak. Lagedrukgebieden kunnen zowel op zeeniveau als in de hogere luchtlagen voorkomen. Daarbij behoort niet steeds boven een lagedrukgebied aan de grond ook in de hogere lagen de luchtdruk relatief laag te zijn. Men kan de gebieden van lage druk aan de grond onderscheiden in thermische en dynamische lagedrukgebieden. Tot de eerste behoren de moessonminima die door de hoge temperaturen 's zomers boven op gematigde breedte of in de subtropen gelegen continenten worden aangetroffen.

Op enige km hoogte is boven een moessonminimum de luchtdruk in het algemeen relatief hoog. Ook boven warm water kan een thermisch drukminimum ontstaan, bijv. in de winter boven de Noordzee. Dergelijke minima zijn gewoonlijk slechts zwak ontwikkeld.

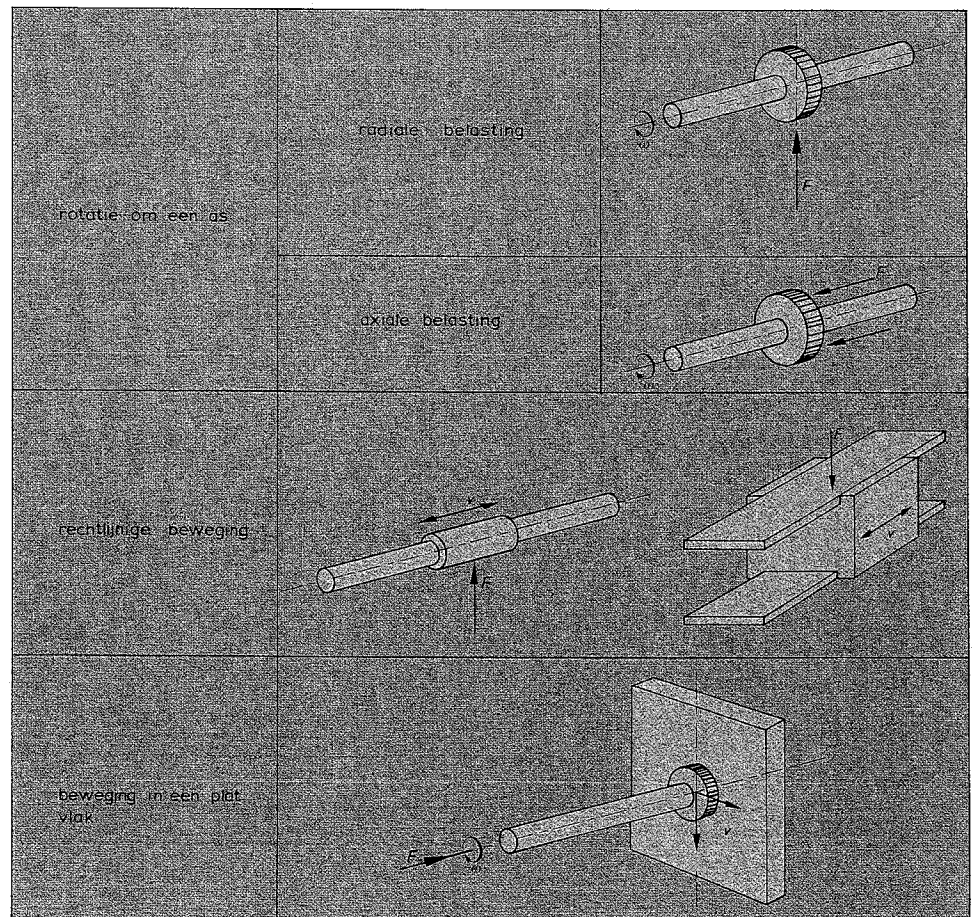
De belangrijkste dynamische lagedrukgebieden zijn de depressies van gematigde breedte en de tropische cyclonen. Zij ontstaan als onstabiele storingen in de algemene circulatie. Bij beide speelt de tijdens condensatie vrij komende warmte een belangrijke rol.

**LAGE-FLUXREACTOR**, z. Kernreactor. **LAGER** (Fr.: *palier*; Du.: *Lager*; Eng.: *bearing*), constructie die tot doel heeft het doorleiden van een kracht tussen een bewegend en een stilstaand werktuigonderdeel. Aangezien aan lagerconstructies zeer verschillende eisen worden gesteld, is een grote verscheidenheid aan uitvoeringsvormen ontstaan; de meeste van deze lagertypen zijn gestandaardiseerd.

Een eerste indeling van de verschillende soorten lagers kan gemaakt worden naar de aard van beweging (afb. 1) die het lager toelaat.

Een groot aantal constructieve uitvoeringsvormen is ontwikkeld om te bewerkstelligen

Lager. Afb. 1 De voor lagers belangrijkste vormen van beweging;  $F$  belastingkracht;  $v$  snelheid;  $\omega$  hoeksnelheid.



	V		V
Ag	-0,7...0	Fe	-0,37
Al	-0,52	Ga	-0,62
C	0...0,2	Hg	-0,19
Cd	-0,7...-0,9	Ni	-0,4...-0,2
Co	-0,5...-0,3	Pb	-0,65
Cr	-0,45	Pt	0,1...0,3
Cu	-0,1...0,1	Zn	-0,65

gen dat, afgezien van bijv. spelingen en vervormingen, een beperkt aantal vrijheidsgraden aanwezig is. Hierbij dient voor een bepaalde waarde van de belastingskracht de wrijving zo laag mogelijk te zijn. De belangrijkste soorten lagers zijn:

1. *Wentellagers*, bestaande uit twee ringen met elk een geslepen loopbaan, waarvan er een met het bewegende en een met het stilstaande onderdeel is verbonden; tussen de loopbanen bevinden zich wentellichamen, zodat ten gevolge van de aanwezigheid van een rollende beweging de wrijving gering is. De wrijvingscoëfficiënt ligt voor de meeste uitvoeringsvormen van 0,001... 0,004.

Wentellagers komen in werktuigkundige constructies het meest voor. Ze zijn verkrijgbaar in een grote diversiteit van standaardafmetingen en belastbaarheden. Vormen van wentellichamen zijn weergegeven in afb. 2; de opbouw van bijv. een groefkogellager in afb. 3. De kooi zorgt voor een constante afstand tussen de wentellichamen zodat deze niet tegen elkaar liggen en geen wrijvingskrachten op elkaar uitoefenen.

Wentellagers (afb. 4.) worden, naar de richting van de kracht die ze kunnen opnemen, verdeeld in *radiale* lagers en

*axiale* lagers; bij sommige typen bestaat de mogelijkheid een combinatie van een radiale en een axiale kracht op te nemen.

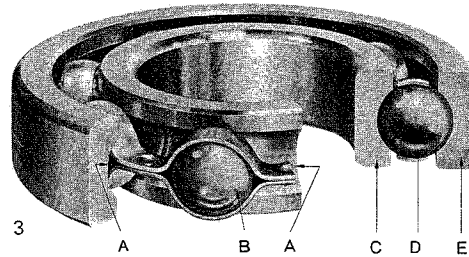
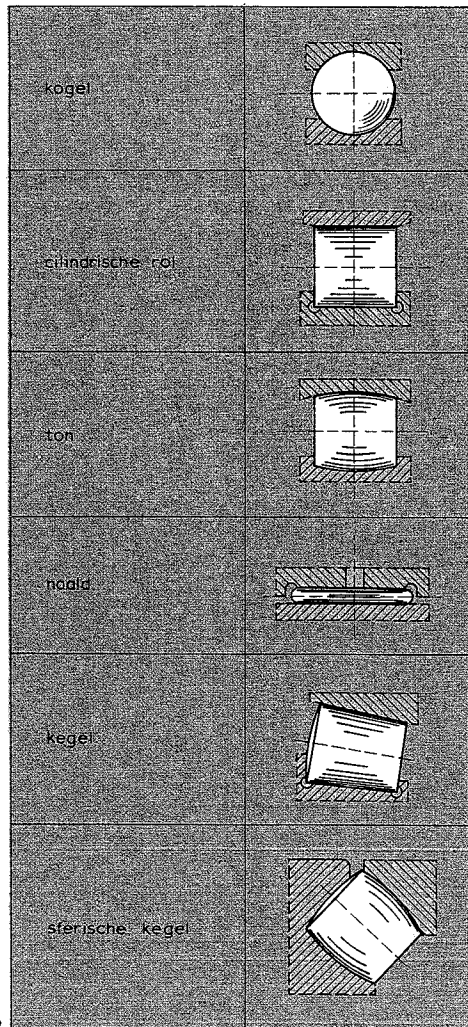
Tijdens belasting van een wentellager kunnen de contactspanningen tussen rollichamen en loopbaan zeer groot zijn, zodat geringe elastische vervormingen van rollichamen en loopbanen optreden, welke na ontlasten weer terugveren. De spanningen in delen van het lager zijn daarbij echter groot, zodat hoge eisen aan de kwaliteit van het materiaal worden gesteld. Gebruikt worden staalsoorten met een grote zuiverheid, en met een grote hardheid en taaierheid. Voor een groot aantal afmetingen wordt voor zowel de ringen als de wentellichamen staal met ca. 1 % C gebruikt en met als legeringselementen: 0,10...0,35 % Si, 0,25...0,40 % Mn, 1,20...1,60 % Cr en minder dan 0,03 % P en minder dan 0,025 % S. De ringen van kleine lagers worden uit rond stafmateriaal of pijp gedraaid. Grote ringen worden warm geperst of gesmeed. Na deze voorbereiding worden deze ringen gehard, ontlaten en geslepen, waarna de loopbanen worden gepolijst. Wentellichamen van de meest voorkomende afmetingen worden warm geperst, voorgeslepen,

gehard, nageslepen en gepolijst. Voor de montage worden de ringen en de wentellichamen gemeten en zodanig samengesteld, dat de juiste lagerspeling wordt verkregen en dat de verschillen in diameter tussen de rollichamen onderling zo klein mogelijk zijn.

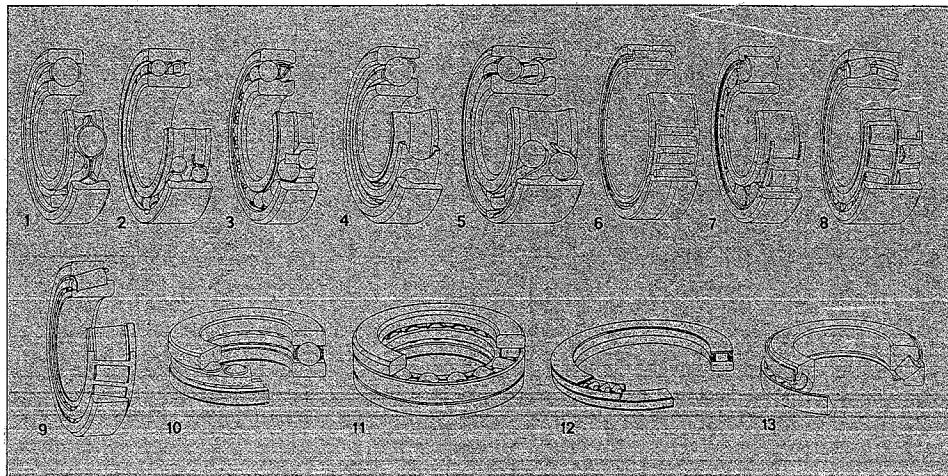
Wentellagers worden gesmeerd met olie of vet. Hierdoor ontstaat tijdens het roteren een uiterst dun laagje smeermiddel tussen de loopbanen en de rollichamen. De dikte hiervan ligt in de orde van grootte van 0,1 µm. Deze vorm van smering wordt *elastohydrodynamische smering* genoemd. In verband met de reeds genoemde elastische vervormingen die ten gevolge van de hoge contactdrukken optreden. Op deze wijze kan in vele gevallen direct contact tussen de metalen oppervlakken worden voorkomen waardoor slijtage sterk wordt verminderd of zelfs wordt voorkomen.

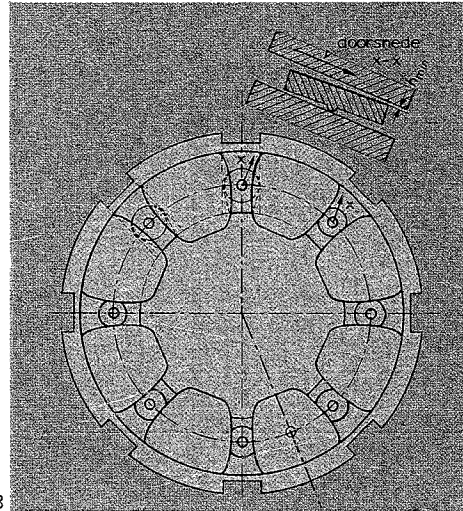
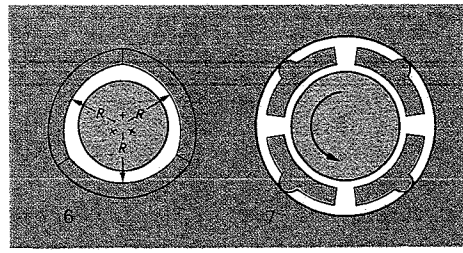
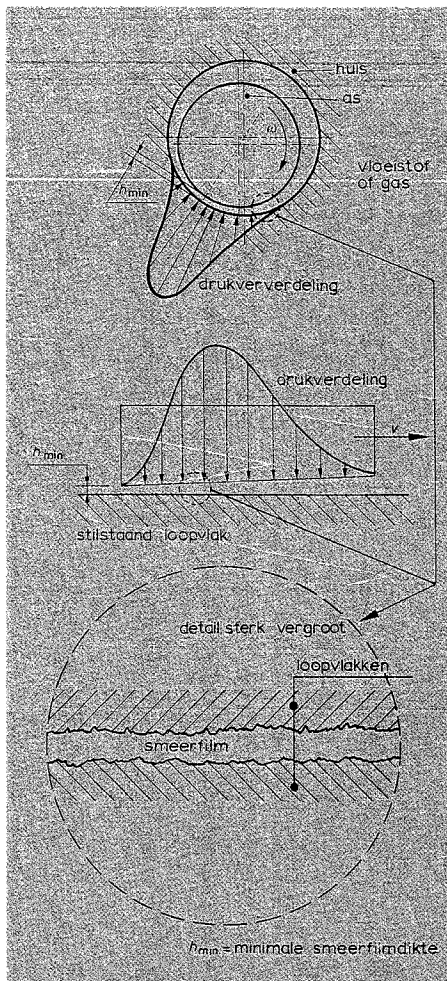
Ten gevolge van het bij elke overroiling belasten en ontlasten van het loopvlakmateriaal kunnen na verloop van tijd vermoeiingsscheuren in het materiaal ontstaan, waarna deeltjes uit de loopbaan breken en het lager onbruikbaar wordt. Het aantal bedrijfsuren waarna dit gebeurt, de levensduur van het lager, neemt af bij toenemende belasting. Bij gegeven belasting kan de levensduur worden berekend, zodat bij het ontwerpen van een lagerconstructie de lagergrootte zodanig kan worden gekozen dat de gewenste levensduur wordt gehaald. Het grote toepassingsgebied van wentellagers blijkt o.a. uit de grote verscheidenheid in afmetingen: van miniaturlagers met een diameter kleiner dan 1mm, tot axiale lagers in draaikransen met een diameter van 20 m en kogeldiameters van meer dan 300 mm

2. *Hydrodynamische en aërodynamische lagers*: tussen het bewegende en het stilstaande vlak bevindt zich een dunne vloeistof- of gasfilm waarin ten gevolge van een wigvorm en hydrodynamische werking druk wordt opgebouwd, waardoor de last wordt gedragen en contact tussen de beide loopvlakmaterialen wordt voorkomen.



Lager. Afb. 2 Mogelijke vormen van wentellichamen voor wentellagers. Afb. 3 Opbouw van een wentellager; in dit voorbeeld een groefkogellager. A. Loopbaan; B. kooi; C. binnenring; D. wentellichaam; E. buitenring. Afb. 4 Overzicht van enkele uitvoeringsvormen van wentellagers. 1. Groefkogellager eenrijig; resp. (2) tweerijig; 3. tweerijig, zich instellend kogellager; 4. en 5. hoekcontactkogellagers; 6. naaldlager; 7. cilinderlager; 8. tweerijig tonlager; 9. kegellager; 10. axiaal kogellager; 11. cilindertaatslager; 12. naaldtaatslager; 13. tontaatslager.





Lager. Afb. 5 Schematische weergave van een radiaal en een axiaal hydrodynamisch lager. Afb. 6 Drielobbig hydrodynamisch lager. Afb. 7 Radiaal hydrodynamisch lager met vier glij-schoenen. Afb. 8 Axiaal hydrodynamisch lager.

In deze lagers wordt een geringe wrijving verkregen door de aanwezigheid van een dun laagje smeermiddel (smeerfilm) tussen het bewegende en het stilstaande vlak. Als smeermiddel voor hydrodynamische lagers wordt gewoonlijk olie gekozen, bij zeer lage snelheden ook wel vet en in speciale gevallen kan water worden toegepast. In aërodynamische lagers is gewoonlijk lucht als smeermiddel aanwezig; in bepaalde gevallen kan ook stoom worden gebruikt. Ook deze zgn. *glijlagers* kunnen ontworpen worden voor het opnemen van radiale of axiale krachten. In de smeerfilm wordt een drukverdeling opgebouwd waarvan de resultante in evenwicht is met de belastingkracht op het lager. De drukopbouw wordt loor hydrodynamische werking verkregen. Hiertoe moet aan de volgende voorwaarden zijn voldaan: a. er dient een relatieve beweging van het ene loopvlak ten opzichte van het andere aanwezig te zijn; b. de afstand tussen de beide loopvlakken moet in de bewegingsrichting afnemen, zodat een zgn. wigvormige spleet ontstaat; c. tussen de vlakken dient een smeermiddel met een bepaalde viscositeit aanwezig te zijn. Afb. 5 toont deze situatie voor radiale en voor axiale lagers, waarbij zowel de minimale dikte van de smeerfilm, als ook de conische vorm van de wig sterk overdreven zijn weergegeven. Uit detailstudies blijkt dat de

loopvlakken een bepaalde ruwheid vertonen, zodat de dikte van de smeerfilm groter dient te zijn dan de som van de beide ruwheden. De dikte van de smeerfilm neemt toe indien de snelheid groter wordt. Hetzelfde gebeurt bij toename van de viscositeit van het smeermiddel en bij afname van de belasting.

Is de snelheid te laag, bijv. tijdens starten of stoppen, of wordt de belasting te hoog dan kan zich de situatie voordoen dat de smeerfilmdikte te gering wordt waardoor de loopvlakken direct met elkaar in contact komen. Dit veroorzaakt temperatuurverhoging en kan tot slijtage en beschadiging van het lager leiden. Om temperatuurverhoging en slijtage beperkt te houden wordt een van de loopvlakken, bij roterende lagers gewoonlijk die in het huis, vervaardigd van een materiaal met goede zgn. 'noodloopeigenschappen'. Enkele voorbeelden hiervan zijn: witmetaal op tinbasis, witmetaal op loodbasis, lood-brons, tin-brons, aluminium-tin en diverse kunststoffen.

Een as in een boring zal een kleine excentriciteit ten opzichte van de hartlijn van deze boring vertonen. De mate van excentriciteit is afhankelijk van het toerental. Om een meer centrische ligging van de as en een grotere stijfheid te verkrijgen kan het lager meerlobbig worden uitgevoerd.

Hierbij worden om de omtrek van de as meerdere drukvelden opgebouwd (afb. 6). Ook kunnen glij-schoenen langs de omtrek worden aangebracht. Deze stellen zich automatisch onder de juiste hoek in, waardoor een stabiel lager wordt verkregen (afb.7). De analoge uitvoering als axiaal lager staat bekend onder de naam michell-lager (afb. 8).

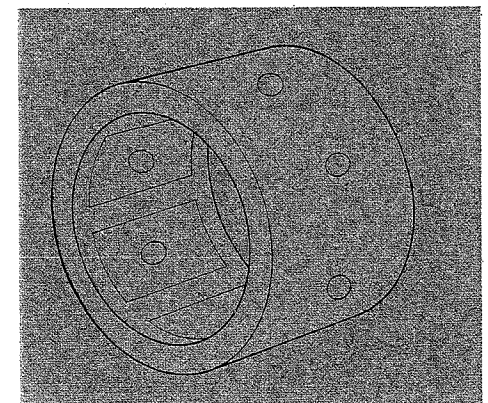
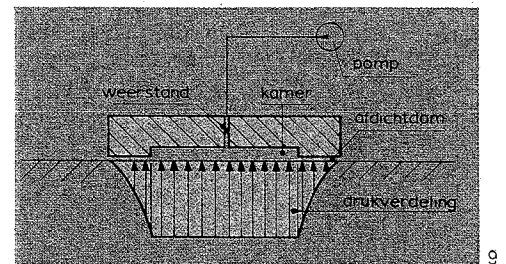
In verband met de viscositeit van lucht, welke een factor 1000 kleiner is dan die van olie is het draagvermogen van aërodynamische lagers vele malen kleiner dan van hydrodynamische lagers. Ten gevolge van de lage viskeuze wrijving zijn luchtlagers echter uitstekend geschikt voor hoge toerentallen.

3. *Hydrostatische en aërostatische lagers:* met behulp van een pomp resp. een compressor wordt olie of gas tussen de twee ten opzichte van elkaar bewegende vlakken gepompt. Hierdoor ontstaat tussen de beide vlakken een drukopbouw waardoor de last wordt gedragen en er geen contact tussen de beide loopvlakmaterialen optreedt; voor het opbouwen van de druk tussen de loopvlakken is dus geen relatieve beweging noodzakelijk.

In tegenstelling tot het mechanisme van drukopbouw in hydrodynamische lagers wordt de drukopbouw niet veroorzaakt door de relatieve beweging, maar wordt olie of lucht vanaf een pomp of een compressor onder druk toegevoerd.

Zodoende kan ook bij stilstand een smeerfilm worden opgebouwd, zodat de loopvlakken van elkaar zijn gescheiden. Ook hier wordt gezorgd voor voldoende noodloopeigenschappen voor de contact-

Lager. Afb. 9 Principe van een axiaal hydrostatisch lager. Afb. 10 Radiaal hydrostatisch lager.



vlakmaterialen, zodat bij overbelasting of bij een eventueel falen van de pomp niet direct beschadiging optreedt. Afb. 9 geeft het principe van een axiaal hydrostatisch lager. In de kamer is de druk constant, over de afdichtingsdam vindt drukafval plaats. In radiale uitvoering zijn om de omtrek drukkamers aangebracht (afb. 10).

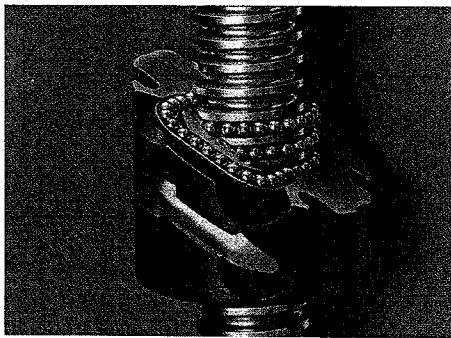
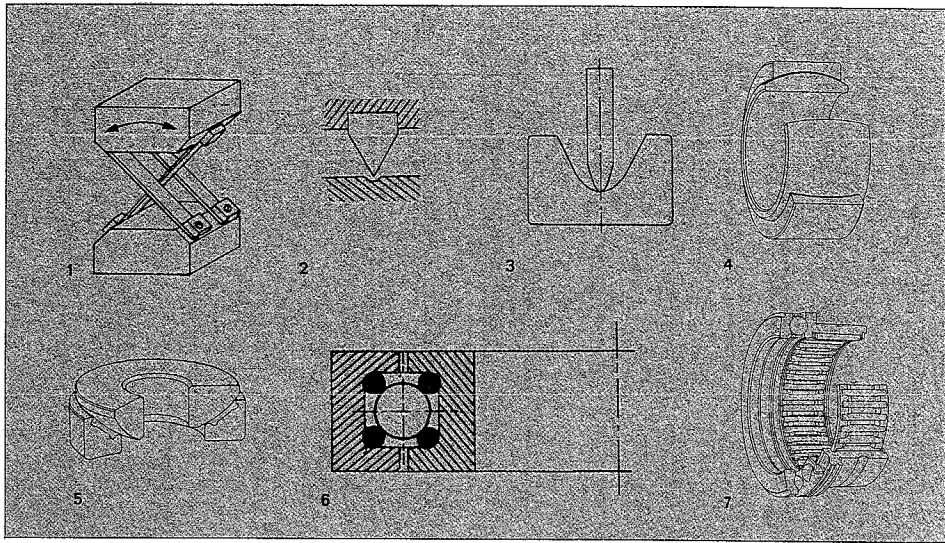
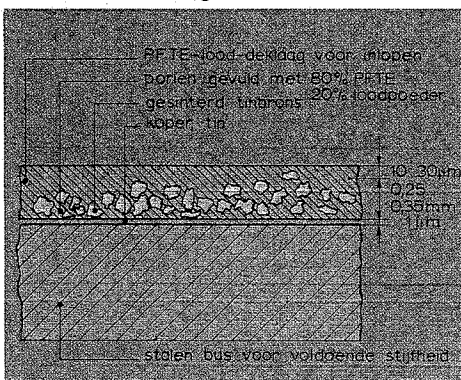
Om de stijfheid van een aërostatisch lager niet nadelig te beïnvloeden zijn de kamers weggelaten en wordt de lucht via een groot aantal weerstanden toegevoerd. Hetzelfde effect wordt hier verkregen indien luchtdruk aan de buitenkant gebracht wordt op een bus van sintermetaal; de poriën in dit materiaal fungeren dan als weerstand waardoor de lucht zich naar de lagerspleet tussen bus en as verplaatst.

Hydrostatische lagers hebben een hoge loopnauwkeurigheid en kunnen met een grote stijfheid worden geconstrueerd. Hierdoor zijn ze bijzonder geschikt voor de lagering van bijv. slijpspindels. Ten gevolge van de bijbehorende olieconditioneringsinstallatie zijn ze echter duurder dan andere soorten lagers met hetzelfde draagvermogen.

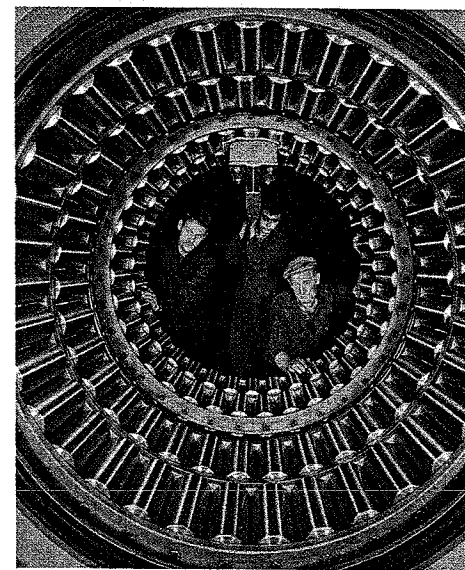
4. *Droog lopende lagers:* tussen de ten opzichte van elkaar bewegende delen is geen smeermiddel aanwezig; een lage wrijving wordt verkregen door middel van een juiste materiaalkeuze voor de loopvlakken, bijv. een stalen as in een kunststof bus.

Bij lagers die zonder smering lopen worden glij-eigenschappen verkregen door een juiste materiaalkeuze voor de loopvlakken. Gewoonlijk loopt een stalen as in een kunststof bus. Diverse soorten al of niet gevulde kunststoffen (bijv. PTFE) worden hiervoor gebruikt. De begrenzing voor de belastbaarheid is de temperatuurstijging; deze wordt bepaald door de  $p,v$ -factor welke het produkt is van vlaktedruk en relatieve snelheid tussen de loopvlakken. Bij constante waarde van de wrijvingscoëfficiënt is de warmteproductie per eenheid van loopvlakoppervlak evenredig met de  $p,v$ -factor. Om de warmteafvoer, de sterkte en de slijtvastheid te verhogen wordt kunststof gevuld met

Lager. Afb. 11 Voorbeeld van een als droog lopend lager te gebruiken gevulde kunststoflaag, zgn. DU-lager.



Lager. Afb. 12 Enkele speciale lagerconstructies. 1. Gekruiste bladveren; 2. meskant oplegging; 3. stalen pen in saffier; 4. kogelgewrichtlager (radiaal); 5. kogelgewrichtlager (axiaal); 6. draadkogellager; 7. gecombineerd radiaal-axiaal wentellager. Afb. 13 Kogelomloopmoer. Afb. 14. Lagers kunnen zeer grote afmetingen vertonen: vierrijig cilinderlager (950 × 1360 × 1000 mm) voor een maalwerktuig.



metaal. Deze samengestelde laag is voor een zgn. DU-lager geschetst in afb. 11. Deze lagers kunnen zowel met oliesmering als ook drooglopend worden gebruikt.

5. *Poreuze lagers:* hier bevindt een as zich in een stilstaande bus van gesinterd metaal, de poriën van het sintermetaal zijn gevuld met smeerolie die in geringe hoeveelheden in het contactvlak aanwezig is; van buiten af kan steeds nieuw smeermiddel in het poreuze materiaal worden toegevoerd.

Bij poreuze lagers is een as gelagerd in een bus van gesinterd metaal, bijv. tin-brons met grafiet. De poriën van het sintermetaal zijn gevuld met olie. Tussen de contactvlakken wordt op deze manier een kleine hoeveelheid smeermiddel verkregen die echter niet voldoende is om een volledige smeerfilm op te bouwen zodat ook nog gedeeltelijk contact tussen de loopvlakken aanwezig blijft waardoor slijtage optreedt. De poreuze bus wordt eenmaal met olie geïmpregneerd voor de hele levensduur van het lager of kan tijdens bedrijf worden nagevuld.

6. *Speciale constructies* (afb. 12 en 13).

Naast de hiervoor genoemde meest voorkomende lagertypen bestaat een groot aantal constructies die een beperkte verdraaiingshoek toelaten zoals: enkele sferische lagers (bijv. de kogelkop) en de meskantoplegging, bladveerconstructies en rubberer blokken. Als speciale constructies voor continue rotatie kunnen verder genoemd worden het spiraalgroeflager, de kogelkop met spiraalgroef, draadkogellagers, de lagertrap in een saffier (zoals toegepast in uurwerken) en magnetische lagers. Verder worden in de techniek diverse soorten rechtgeleidingen gebruikt.

*Toepassingsgebieden.* Afhankelijk van de toe te laten belastingen en toerentallen kan een lager slechts in een bepaald gebied worden toegepast. Voor verschillende soorten lagers zijn de toepassingsgebieden aangegeven in het lagerdiagram van Neale **LAGERSTROMEN**, parasitaire elektrische stromen die door of in de lagers van meestal elektrische machines vloeien. Lagerstromen zijn schadelijk voor de constructie, enerzijds doordat zij gepaard gaan aan vonkvorming, waardoor delen van de