

Alles over lagers



Het vonnis

Keramische lagers, stalen kogels, industriellagers, kogelbaan, naaldlagers of cup-conus, als leek duizelt het je. Moet je nu keramische kogels gebruiken of niet? En hoe onderhoud je een industriellager? Het antwoord op al je vragen over lagering.

Als je marketeers mag geloven, ben je een *loser* als je geen keramische lagers in je fiets hebt. En SKF wekt de indruk dat je de wrijving door het toepassen van keramische kogels in plaats van stalen kogels met 90 procent verlaagd, terwijl Ceramicspeed claimt dat keramiek 3,5 watt zou schelen bij 30 kilometer per uur. In *Fiets* nr. 3-2008 schreven we over keramische lagers dat het volgens de importeur 15 watt voor de wielen en 6 watt voor de trapas zou sche-

len. Dit is overigens een gegeven dat zinloos is zonder een aangegeven snelheid. In dat verhaal plaatsten wij al kanttekeningen bij deze waarden. De literatuur gaat uit van maximaal 3 watt die verloren gaat in fietsslagers. Het is dan ook onmogelijk om daar 21 watt op te winnen! Nog even voor de duidelijkheid: een racefietser die op een vlakke asfaltweg zonder wind

Tekst: **Ernie Frieke i.s.m. Fontys Hogescholen Engineering**
Foto's: **Edwin Haan, Ernie Frieke**

40 kilometer per uur rijdt, levert ongeveer 300 watt waarvan 40 watt verdwijnt via de banden. De rest, 260 watt, gaat verloren aan de luchtweerstand. De enkele watts die door wrijving in de lagers worden opgesnoept worden zelden genoemd, maar dit kan hooguit 2 à 3 watt zijn. Omdat de theorie niet altijd overeenkomt met de praktijk, hebben wij in samenwerking met BikeBoosting.nl, dat gespecialiseerd is in handgespaakte wielen en lagerrevisie, en Fontys Hogescholen Engineering te Eindhoven geprobeerd de waarheid over keramische lagers boven tafel te krijgen. Om een volledig beeld over de lagering van je fiets te geven, bespreken we ook de verschillende lagers die je kunt tegenkomen in je fiets, welke van deze lagers eventueel te vervangen zijn door keramische lagers, het onderhoud dat je moet (laten) doen aan je lagers en uiteraard hoe je de lagerweerstand zo laag mogelijk houdt.

Soorten lagers

Een lager zorgt ervoor dat wrijving wordt verminderd wanneer twee onderdelen ten opzichte van elkaar bewegen of draaien. Zo draait je trapas ten opzichte van je frame rond met behulp van lagers. Een type lager dat je veel tegenkomt in een fiets is het kogellager. In dit lager worden de binnen- en buitenring op afstand gehouden door kogels. De industriekogellagers zijn grofweg te verdelen in groefkogellagers en hoekcontactlagers. Groefkogellagers zijn prima geschikt voor radiale krachten (krachten loodrecht op de as) en hoekcontactlagers worden ingezet bij een combinatie van radiale en axiale krachten. Beide lagers worden ingezet bij naven. Shimano en Campagnolo gebruiken de hoekcontactlagers in de vorm van een afneembaar lager zodat de naven zijn af te stellen. Deze afneembare hoekcontactlagers worden cup-conuslagers genoemd. Een voordeel van deze cup-conuslagers is dat zij af te stellen zijn. Bovendien zijn ze te reinigen en je kunt ze voorzien van nieuwe kogels. Groefkogellagers komen, behalve in naven, ook voor in dure derailleurwielletjes, pedalen en trapassen. Naast kogellagers zijn er ook naaldlagers, waarbij de rollichamen geen kogels maar cilinders zijn. Deze kunnen veel zwaarder worden belast, omdat zij veel meer contact maken met de binnen- en buitenring. Er is sprake van een lijncontact in plaats van een puntcontact. Daartegenover staat wel dat de rolweerstand hoger is. Naaldlagers komen voor in



Een naaldlager zoals je deze kunt tegenkomen in een balhoofd

balhoofdstellen, pedalen, remhendels en sommige naven.

De laatste grote groep lagers die je in de fiets tegenkomt, hebben geen rollichamen. Hierbij glijdt de buitenring direct over de binnenring. Vandaar dat deze lagers glijlagers heten. Glijlagers zitten in pedalen, derailleurwielletjes, hendels, remmen, derailleurs en niet te vergeten de ketting, die meer dan 200 glijlagers heeft. Hiermee is het glijlager het meest voorkomende lager in de fiets.

Onderhoud

Industriellagers zijn meestal voor het leven gesmeerd. Maar omdat vocht en vuil toch binnendringt, is het goed deze lagers eens per jaar te verschoneren en te smeren. Bij dit type lager is de afdichting te verwijderen met een naald of een scherp mes. Doe dit wel voorzichtig, zodat je de afdichting niet beschadigt. Die moet tenslotte straks water en vuil buiten houden. Na het verwijderen kun je de kogels van nieuw lagervet voorzien. Ook glijlagers kunnen worden voorzien van nieuw vet of olie. De cup-conuslagers kun je helemaal uit elkaar halen. Daardoor zijn ze goed schoon te maken en te voorzien van nieuwe kogels en lagervet. Zorg er bij het vervangen van de kogels voor dat je de juiste maat kogels gebruikt. Bij de verkeerde maat kogels slijt de kogelbaan te hard.

Cup-conus-, glij- en industriellagers dien je met enige speling te monteren. Bij te veel speling op de lagers kunnen deze echter onherstelbaar beschadigd raken. Draai de lagers aan, maar niet te strak, want helemaal geen speling is nog erger. Vooral de lagers in je naaf zul je eens per jaar moeten afstellen. Gebruik hiervoor het juiste gereedschap, ieder type naaf heeft namelijk zijn eigen gereedschap. Bij cup-conus zijn twee conussleutels in een bepaald formaat vaak voldoende. Daarnaast heb je nog nodig: een inbussleutel, een steeksleutel of een speciale sleutel die wordt bijgeleverd door de fabrikant. Het afstellen van een cup-conuslager hebben we al eens besproken in *Fiets* nr. 2-2008.

Als een cup-conuslager is versleten, is het lager is niet meer goed af te stellen, en is de naaf in het algemeen



Industriellagers zoals toegepast in een naaf



Meetopstelling 2: Het meten van de weerstand van het lager in onbelaste toestand

niet meer te herstellen. Wil je zo lang mogelijk met je naven doen, vervang dan eens per jaar de kogels en het vet. Bij sommige lagers (Campagnolo) zijn naast de kogels ook de schalen en de cups te vervangen. Heeft een industriellager of glijlager te veel speling gekregen, dan moet het gehele lager worden vervangen. Hiervoor is vaak speciaal persgereedschap nodig met persbussen die op de binnen- en buitenring van het lager drukken om ze goed in het onderdeel te kunnen persen.

Bij het vervangen van een industrie- of cup-conuslager kun je ervoor kiezen om keramische lagering toe te passen. Zo zijn de groefkogellagers van naven, trapassen en derailleurwielletjes meestal te vervangen

door hybride lagers waarbij de kogels uit keramiek bestaan en de binnen- en buitenring uit staal. Ook bij de cup-conuslagers zijn de kogels te vervangen door keramische kogels.

Nieuwe meetmethode

Elk lager op de fiets draait onder belasting. Hierdoor treedt energieverlies op die we kunnen onderscheiden in grofweg drie soorten. Bij vervormingsenergie worden door belasting de kogels en kogelbanen vervormd, wat wrijving geeft bij het rollen. Wrijvingsenergie ontstaat doordat wrijving optreedt omdat de afdichting draait op en om de binnenring. Bij het bewegen van de kogels door het vet en het plakken aan het vet ontstaat stromingsenergie. Deze simplistische weergave hebben we nodig om te kunnen begrijpen wat de verschillende manieren zijn om vermogensverlies via de lagers te beperken. Om dit vermogensverlies in een fiets te meten wordt vaak met een vermogensmeter in de crank (SRM) het vermogen of vermogensverschil gemeten. Ook wordt er een constructie van een heuvel afgerold, waarbij wordt gekeken naar de eindsnelheid en looptijd bij het gebruik van verschillende typen lagers. Nadeel van deze methodes is dat ze te veel variabelen hebben. Reden waarom Fontys Hogescholen Engineering en BikeBoosting hebben gezocht naar een nieuwe meetmethode. Uiteindelijk zijn twee eenvoudige meetopstellingen ontwikkeld; één meetopstelling waarbij twee lagers zijn belast met 490 newton (= 50 kilo) en één



Shimano gebruikt vaak cup-conuslagers in de naven

waarbij de lagers nagenoeg onbelast zijn (6 newton). De belaste meetopstelling bestaat uit een massief stalen wiel van 50 kilo dat roteert om en op een speciale naaf waar de te onderzoeken lagers in worden geplaatst. Als het massieve wiel 300 omwentelingen per minuut maakt, dan komt dat overeen met 38 kilometer per uur bij 28" wielen. Wil je van lager A met afdichting B het vermogensverlies weten dat door de afdichting bij 300 omwentelingen per minuut wordt veroorzaakt, dan meet je van dat lager in de meest lichtlopende conditie het verlies (hoeveel snelheid verliest het wiel in een bepaalde tijd) bij 300 omwentelingen per minuut. Deze meting herhaal je

Bij een aandrijving van 300 watt levert keramiek dus een winst van slechts 0,003 procent op

bij hetzelfde toerental met afdichting. Het verschil is nu de toename door de afdichting. De luchtweerstand is natuurlijk bij beide gelijk. Daarna kun je hetzelfde doen met als extra toevoeging vet. Het verschil in vermogen is nu te wijten aan het vet. De tweede meetopstelling werkt in onbelaste toestand. Deze meting wordt alleen uitgevoerd ter referentie bij het bepalen van het verschil bij gebruik van lagerafdichtingen omdat deze onafhankelijk zijn van de belasting. Bij deze meting heeft een boormachine een doorn ingeklemd waar een lager op geperst is. Over het lager wordt een touw gelegd met aan de ene kant een massa van 100 gram en aan de andere kant een massa van 500 gram die op een nauwkeurige



Berekeningen
Zie berekeningen en slijtage op www.fiets.nl, intikken in het zoekvenster: 090826



Een naaldlager gecombineerd met een industriellager toegepast in een achternaaf

weegschaal staat. Zou het lager geen wrijving hebben, dan zou de weegschaal 400 (500-100) gram moeten aangeven) Als de boormachine nu wordt aanzet, dan trekt het lager door de wrijving de 500 gram massa iets omhoog, waardoor de weegschaal minder aangeeft. Op de foto is te zien dat bij 300 omwentelingen per minuut dit lager het gewicht 400-281=119 gram omhoog trekt. Zonder de afdichtingen was dit slechts 2 gram). Dus door de afdichtingen kost het 117 gram per lager met 2 afdichtingen. Dit geeft bij een straal van 18 millimeter een vermogen bij 300 omwentelingen per minuut van 0,65 watt. Dus bij één naaf en twee lagers veroorzaakten de afdichtingen 1,3 watt vermogensverlies.

De metingen

Om de vergelijking zo praktisch mogelijk te houden, onderzoeken we verschillende samenstellingen van

Tabel 1: Meetwaarden voor lagers zonder vet en afdichtingen gemeten bij twee lagers in een met 50 kilo belast wiel bij 300 omw/min

	Staal-staal lager	Hybride lager	Hybride lager
Type	61803 merkloos	61803 SKF	61803 Ceramic Speed
Kogels materiaal	staal	keramiek	keramiek
Kogels afmeting	3/32"	3/32"	3/32"
Kogels aantal	15	16	16
Kooi	staal	staal	nylon
Vermogenverlies (watt)	0.13	0.10	0.13
		keramische kogels vervangen door stalen kogels	
Toename door vervangende stalen kogels i.p.v. keramische kogels		0,01	0,01

een lager dat in de fietswereld veel wordt toegepast, bijvoorbeeld in de voornaaf van DT 240s. Het gaat hierbij om het type 61803 groefkogellagers. Van dit type zijn hybride lagers getest, een SKF met stalen kooi en een Ceramicspeed met kunststof kooi. Deze zijn vergeleken met een stalen lager. De eerste meting is met zo soepel mogelijk lopende lagers, dus zonder vet, gedaan. De lagers zijn in het meetwiel gemonteerd en het wiel is op toeren gebracht waarna de rotatieafname is gemeten. Deze test is



Een derailleur-wielletje uitgevoerd met een glijlager

uitgevoerd met drie setjes willekeurig gekozen lagers van één type die telkens drie keer zijn gemeten. Het verschil tussen de stalen lager en de meest lichtdraaiende hybride lager (SKF) is slechts 0,03 watt. Omdat het aantal kogels in de hybride en stalen lagers niet gelijk is, hebben we een tweede proef gedaan waarbij de keramische kogels uit de hybride lagers zijn vervangen door stalen. Dit gaf een toename bij beide lagers van slechts 0,01 watt. Dit is dus gemeten voor een naaf met twee lagers en 50 kilo belasting! Bij een aandrijving van 300 watt levert keramiek dus een winst van slechts 0,003 procent op.

Eenzelfde meting kunnen we uitvoeren met cup-conuslagers, die veel worden toegepast door Shimano en Campagnolo. In deze lagers kunnen bovendien de standaard kogels worden vervangen door keramische. Uit de meting blijkt dat het vermogensgebruik van Shimano XTR-lagers 0,20 watt is bij een belasting van 50 kilo en met 300 omwentelingen per minuut. Deze 0,20 watt is 0,07 watt meer dan bij de industriellagers. Wanneer de stalen kogels worden vervangen door keramische kogels wordt de rolweerstand 0,02 watt lager.

Dat cup-conuslagers (hoekcontactlagers) iets zwaarder lopen dan groefkogellagers is ook uit de literatuur en rekenprogramma's bekend. De rolweerstandcoëfficiënt van hoekcontactlagers is 1/3 hoger dan van groefkogellagers. Dat komt redelijk overeen met onze meting van 0,20 en 0,13 watt. Er moet wel worden opgemerkt dat de afmetingen van de lagers niet gelijk zijn en dat de kogels minder in aantal zijn en groter in diameter.

Invloed van afdichtingen

Lagers op fietsen worden voorzien van afdichtingen om vuil en vocht te weren en vet binnen te houden. Deze afdichtingen zijn slepend of niet-slepend. De niet-slepende afdichtingen zijn van staal of rubber. Ze zorgen in geringe mate dat het vet in het lager

Tabel 2: Meetwaarden voor cup-conuslagers zonder vet gemeten bij twee lagers in een met 50 kilo belast wiel bij 300 omw/min

	Staal-staal lager
Lager (voornaaf)	Shimano XTR
Kogels materiaal	staal
Kogels afmeting	3/16"
Kogels aantal	10
Kooi	geen
Vermogenverlies (watt)	0,20
Vermogenverlies met keramische kogels	0,18 (-0,02 watt)

blijft en ze dichten nauwelijks af tegen vocht. Een positief punt is dat ze geen extra wrijving geven.

De slepende rubber afdichting (aanduiding RS) geeft wel extra wrijving. Dat kost bij deze lagers tussen de 0,2 en 0,3 watt. Bovendien geeft de afdichting meer wrijving op de sleepband als deze helemaal droog, zonder olie of vet, is gemonteerd. Het verlies gaat dan zelfs richting de 0,7 watt. Dat is een factor 70 meer dan stalen kogels ten opzichte van keramische kogels extra kosten!

De variatie in vermogenverlies heeft er onder andere mee te maken hoe strak de afdichting om de binnenring klemt. Hoe strakker, hoe meer wrijving er optreedt. Ook geldt dat een binnenring met een grotere diameter meer wrijving geeft. Uit de meting kunnen we concluderen dat een 'natte' afdichting voor minimaal een verdubbeling van de rolweerstand zorgt. Een 'droge' afdichting kan zorgen voor een verzesvoudiging van de rolweerstand van de lager.

Invloed van vet

Zonder vet loopt de lager erg licht; dit kost nauwelijks vermogen. Met vet wordt het een ander verhaal. De kogels moeten zich een weg banen door het vet. En die weerstand is zelfs kwadratisch met de snelheid: loop maar eens door water. Dat kost weinig kracht, maar hard rennen kan niet. Bovendien plakt het vet aan alle kogels wat kracht om los te breken kost. Toch moeten lagers worden gesmeerd om roest en slijtage te voorkomen. Alleen geheel keramische lagers kunnen niet roesten en daardoor ook niet na een week stilstand een vastgeroest deeltje lagermateriaal uitrukken. Keramische lagers hoeven dus niet te worden gesmeerd, hybride lagers slechts heel licht.

In de belaste meetopstelling zijn drie soorten vet onderzocht: High Speed Grease van SKF en allround vet van Pedro's en Motorex. De



Meetopstelling 1:

De weerstands-
meting van lagers
onder belasting

maal 0,1 watt minder wrijving. Wel is het zo dat keramische kogels niet kunnen roesten en dus minder vet of olie nodig hebben. Bij stalen kogels kan het bij te weinig smering gebeuren dat de kogels na een korte stilstand vastroesten. Bij de eerstvolgende rit wordt een stukje metaal losgerukt en de slijtage is ingezet! Goed onderhoud bij stalen lagers kan dit voorkomen.

De dure keramische kogels hebben verder geen nut bij gebruik in fietsen! Het beste dat je kunt doen als je geen honderden euro's wilt uitgeven voor keramische kogels is het kopen van normale industriële lagers met zoveel mogelijk kleine stalen kogels en met aan één kant een slepende afdichting en aan de andere kant een niet-slepende afdichting. De slepende afdichting moet dan aan de buitenkant van het onderdeel komen. Smeer bij slecht weer met Highspeed-vet van SKF en bij droog weer met Highspeed-olie van SKF.



Tabel 3: Meetwaarden voor lagers met verschillende typen vet en vulgraden

		Lager	Lager	Lager
typenummer		61803	61803	61803
afdichting		2 x slepend	2 x niet slepend	2 x slepend
kogels		16 x 3/32"	16 x 3/32"	13 x 7/64"
Toename van vermogen in watt door smering				
Vet	vulgraad			
SKF Highspeed Grease	25 %	0.1	0.1	0.1
	100 %	0.4	0.3	0.4
Pedro's Velo Grease	25 %	0.6	0.3	0.6
	100 %	1.4	0.4	0.8
Motorex Bike Grease 2000	25 %	1.9	1.2	2.3
	100 %	3.0	1.6	4.6

Tabel 4: Totaaloverzicht

Toename door	Toename in watt	Toename als factor
Stalen kogels i.p.v. keramische kogels	0.01	1
Afdichting 'nat'	0.2 tot 0.3	20 tot 30
Afdichting 'droog'	0.4 tot 0.7	40 tot 70
SKF Highspeed Grease	0.1 tot 0.4	10 tot 40
Pedro's Velo Grease	0.3 tot 1.4	30 tot 140
Motorex Bike Grease 2000	1.2 tot 4.6	120 tot 460

De toename van stalen kogels ten opzichte van keramische kogels staat bovenaan met als factor 1 = 0,01 watt toename. De andere invloedsfactoren staan daar met toenemende weerstand onder. De vermelde toenamen gelden voor één met 50 kilo belast wiel waarin twee lagers van het type 61803 zitten waarmee een snelheid van 38 kilometer per uur wordt gereden.

Koop industriële lagers met zoveel mogelijk kleine stalen kogels en met een slepende en niet-slepende afdichting

weerstand van deze vetten zijn gemeten bij een vulgraad van 25 en 100 procent. In tabel 3 is te zien dat SKF Highspeed vet het beste is qua rolweerstand. Pedro's kost wat meer energie en Motorex geeft nog meer wrijving. Motorex is dan ook het plakkerigste vet. Het lager met de open afdichting rolt het makkelijkst doordat het vet iets naar buiten wordt gedrukt. Als extra hebben we ook een lager met grotere kogels gemeten, omdat deze in principe moeilijker bewegen door een vloeistof. De meting wijst dit inderdaad uit.

Conclusie

De 21 watt die vorig jaar in het artikel over keramische lagers werd genoemd, kan dus waar zijn als je lagers neemt met grote kogels, met zeer strakke afdichting en met veel dik plakkend vet. Maar het komt zeker niet door de keramische kogels. Die geven voor een complete fiets maxi-