

**Auto & Motor**  
**TECHNIEK**

© **WWW.AMT.NL** - Dé internetsite voor de Automotive Professional

## Turbotechniek blijft evolueren

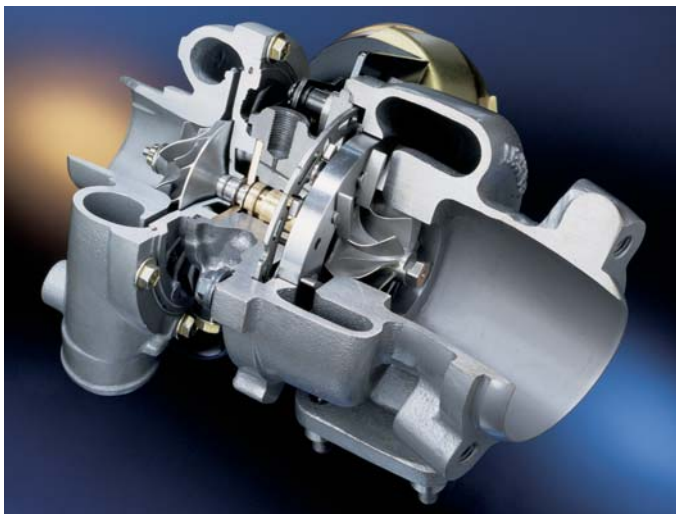
# Vullen onder druk

Drukvlulling, met turbo of compressor, is inmiddels niet meer voorbehouden aan ultra-sportieve motoren. Het onder druk toevoeren van lucht heeft legio voordelen. Na de turbo met verstelbare leidschoepen maken we binnenkort kennis met elektrische turbo's. Een lesje turbotechniek in theorie en praktijk.

Sinds bijna een eeuw worden compressoren gebruikt om extra lucht in motoren te krijgen. Dat zorgt voor hogere druk dan de atmosferische in het inlaatsysteem, vandaar het woord: drukvlulling.

Het Engelse vakjargon onderscheidt 'supercharging' en 'turbocharging'. Met een 'supercharger' wordt een mechanisch aangedreven compressor bedoeld, met een 'turbocharger' een door de uitlaatgassen aangedreven compressor. De oudste en ook meest toegepaste supercharger is de naar de gebroeders Roots genoemde 'Roots-blower'. Tegenwoordig levert Eaton dit type compressor aan Jaguar en Mercedes-Benz. Het was de Zwitser Büchli die rond 1910 met een turbo-compressor experimenteerde, maar het duurde tot ongeveer 1950 voordat de serieproductie pas echt op gang kwam.

Grenzen aan vermogen  
Eigenlijk is de benzinemotor niet zo geschikt voor drukvlulling als de

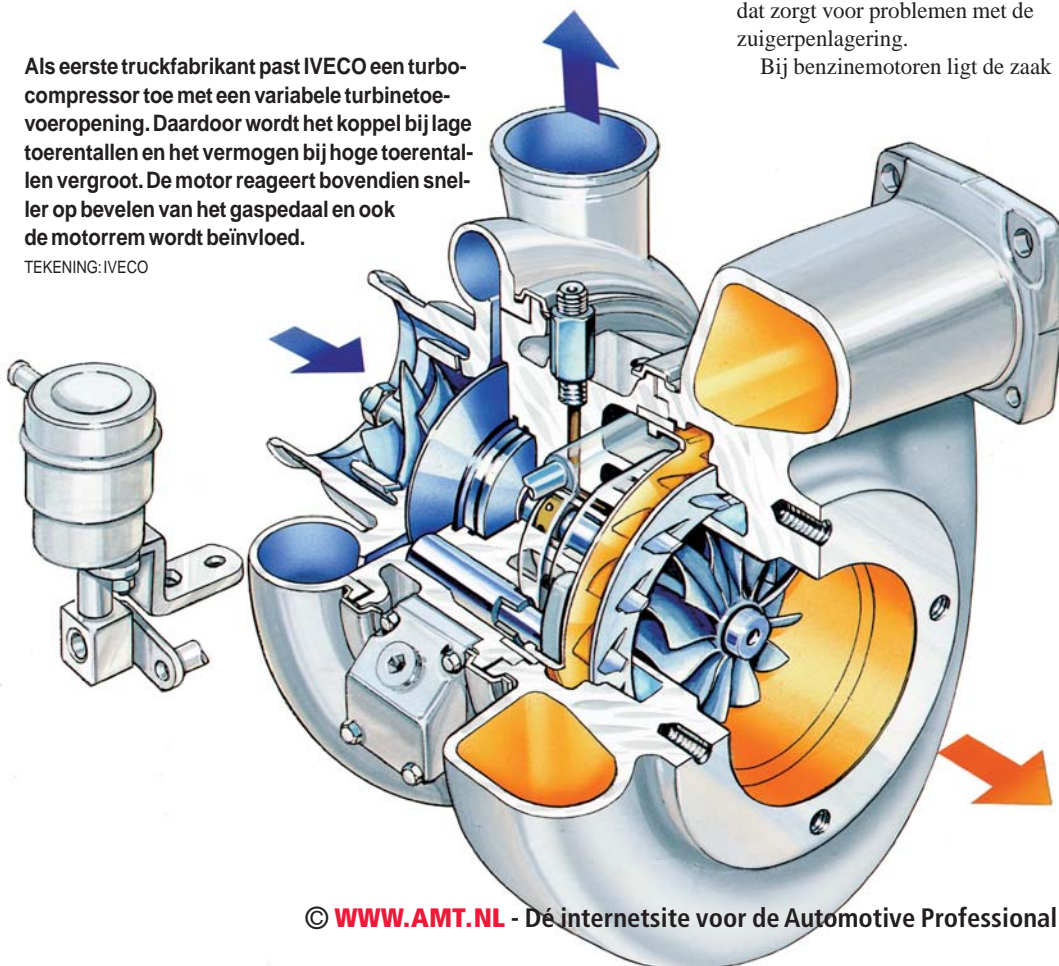


**Bij de BMW 3-liter zescilinder diesel wordt een turbine met mechanisch verstelbare leidschoepen toegepast. De olietoevoer en zwevende lagerbussen zijn goed zichtbaar, evenals het axiaallager. Let op de wijze van balanceren bij de rechtermoer op de turbine-as.**

FOTO: BMW

**Als eerste truckfabrikant past IVECO een turbo-compressor toe met een variabele turbinetoevoeropening. Daardoor wordt het koppel bij lage toerentallen en het vermogen bij hoge toerentallen vergroot. De motor reageert bovendien sneller op bevelen van het gaspedaal en ook de motorrem wordt beïnvloed.**

TEKENING: IVECO



dieselmotor. Bij een dieselmotor kan er een onbeperkte hoeveelheid lucht in de cilinders worden geblazen, de achteraf ingespoten brandstof bepaalt het vermogen. Bij een benzinemotor (meer correct een ottomotor) wordt aan de lucht brandstof toegevoegd en als een mengsel gecompriëerd. Bij hoge belastingen en lage toerentallen ontstaat de kans op detoneren (pingelen of kloppen) omdat een deel van het mengsel spontaan gaat verbranden. Naarmate het toerental stijgt, daalt de kans op detoneren. Maar als het onder die omstandigheden toch gebeurt, is er meestal een ernstige motorschade.

Uit het bovenstaande volgt dat de Direct Ingespoten DI dieselmotor al bij een laag toerental een hoge gemiddelde effectieve druk (pe) kan leveren. Er draaien al testmotoren met een pe waarde van 25 bar bij 800 t/min! De verbranding stelt een bovengrens aan het toerental van ongeveer 4.000 t/min. Het is de maximale verbrandingsdruk die bepalend is voor wat het drijfwerk kan hebben. De nieuwste turbodieselmotoren halen 170 bar, dat zorgt voor problemen met de zuigerpenlagering.

Bij benzinemotoren ligt de zaak



Ford gebruikt bij de nieuwste dieselmotor een uitlaatspruitstuk dat één geheel vormt met het turbinehuis van de turbocompressor.

FOTO:FORD



De V8 BMW diesel heeft twee turbo's met elektrisch verstelbare leidschoepen. Door het elektronisch aansturen van de elektromotor worden de leidschoepen nauwkeurig en snel vermeld afhankelijk van de motorbelasting en het toerental.

FOTO:BMW

andere. Zo lang het toerental maar hoog genoeg is, zal er geen high-speed knock optreden. Onder die condities kan er bijna geen grens worden vastgesteld voor het vermogen. Bij Formule 1 turbo-motoren is meer dan 1.000 pk (736 kW) uit 1.5 liter slagvolume gehaald. Een benzinemotor kan verbrandingstechnisch meer dan 20.000 t/min draaien. Mechanisch zijn het de traagheidskrachten die bepalend zijn voor wat het drijfwerk kan hebben. Ook hier is het de zuigerpenlaging die zorgen baart.

Voor benzinemotoren in auto's

die in dagelijks verkeer dienstdoen moet het toereengebied beperkt blijven in verband met geluid en trillingen. Dat betekent dat 'gewone' motoren bij 6.000-6.500 t/min hun maximum vermogen leveren en sportmotoren bij 7.500-8.000 t/min. Druk toepassen om het koppel bij een laag toerental flink te vergroten stuit op het probleem van detonen.

Vandaar dat Saab komt met een variabele compressie, maar dat maakt de zeer goedkope en ook eenvoudig te produceren benzine-motor plotsklaps erg duur.

## Turbo in de werkplaats

Als er met een thermisch stabiele motorolie wordt gewerkt, kan er maar weinig misgaan met (turbo) compressoren. Uiteraard moeten ook de lucht- en oliefilters op tijd vervangen worden omdat vuil nu eenmaal grote slijtage veroorzaakt. Let ook op de carterventilatie en het uitlaatrecurculatie, EGR-systeem. Beide moeten goed functioneren om vervuiling te voorkomen. Kijk naar de toestand van alle rubber slangen en vervang deze tijdig. Zorg er voor dat alle zeefjes en klepjes schoon zijn. Als aan al deze voorwaarden is voldaan en er ontstaan toch problemen, dan is wellicht het rijgedrag de oorzaak. Bij koeriersdiensten worden de motoren heel vaak gestopt en weer gestart. Het is zeer wel mogelijk dat op den duur de lagers van de turbo te weinig olie krijgen. Er zijn inbouwsmeerapparaten (Turbo-lube) die na het stilzetten van de motor de nog draaiende turbine-as van olie voorzien.

Als een turbo-compressor vervangen wordt, ga dan zorgvuldig te werk. Controleer alle luchttoevoerleidingen op scheuren, hetzelfde geldt voor het uitlaatspruitstuk. Let er ook speciaal op dat er absoluut geen vuil in de spruitstukken zit.

Zorg dat de oorzaak van de storing verholpen is voordat de nieuwe turbo wordt geplaatst. Loop alle adviezen die hierboven vermeld staan door.

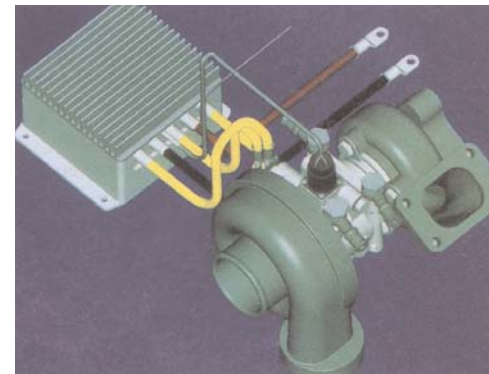
Gebruik altijd nieuwe pakkingen, klemmen en afdichtingen. Vloeibare pakking kan in de lagers terechtkomen, dus gebruik het niet. Smeer de turbolagers met schone olie en controleer de olie toe- en afvoer zodra de motor loopt.

Voor al benzinemotoren met turbo geldt de één minuut regel: zowel na het starten als voor het afzetten de motor één minuut stationair laten draaien. Dit is nodig om de smering op gang te brengen en de temperatuur van de turbine te doen dalen.

### Variabele geometrie

De laatste 15 jaar zijn er tal van motoren met drukvulling verschenen. Daarbij ging het om: 'Rootsblowers', 'Comprex-en', 'G-laders', 'Lysholms', centrifugaal compressoren en turbo-compressoren. Gebleven zijn alleen de Rootsblowers bij enkele benzine-motoren en de turbo's bij benzine-motoren en alle turbodiesels. Dat zegt veel over de kwaliteiten van het turbo-compressor systeem, dat in de loop der jaren verregaand is geëvolueerd. In 1954 woog een turbo-compressor die 17 tot 22 kg lucht per minuut bij een drukverhouding van 1,8 kon leveren, 45 kg en bestond uit 182 onderdelen. In 1998 woog een turbo die hetzelfde presteerde slechts 9 kg en had nog maar 50 onderdelen. Door het turbinehuis en het uitlaatspruitstuk samen te voegen, neemt het gewicht nog verder af en vermindert ook het aantal onderdelen.

In 1964 verscheen op de markt de eerste Garrett met variabele leidschoepen, het VNT type, die voor 25% vermogenstoename en een 20% hoger koppel zorgt ten opzichte van een turbo met vaste geometrie. Zo'n 'goedkope' turbo is namelijk een moeilijk compromis. Een motor verpompt als zuigermachine ongeveer een met het toerental variërende hoeveelheid lucht. Een turbo-compressor heeft



De jongste ontwikkeling betreft turbo-compressoren met een elektromotor die de turbine-as aandrijft. Deze Garrett Dynacharger kan op toeren worden gebracht voordat de motor loopt en als dynamo werken als het turbinetoerental moet worden afgeremd.

FOTO:GARRETT

een kwadratisch met het oplopen van het turbine-astoeental verlopende luchtopbrengst. Dat past niet echt bij de door de motor gevraagde luchtleverantie.

Een kleine turbo-compressor zal het goed doen in het lage toereengebied van de motor, maar te weinig lucht leveren om een hoog toerental te halen. Met een grote turbo is de zaak net andersom. Variabele leidschoepen zijn dus geen overbodige luxe.

Als er teveel lucht is, kan een overdruk beveiliging ervoor zorgen dat er uitlaatgas buiten de turbine

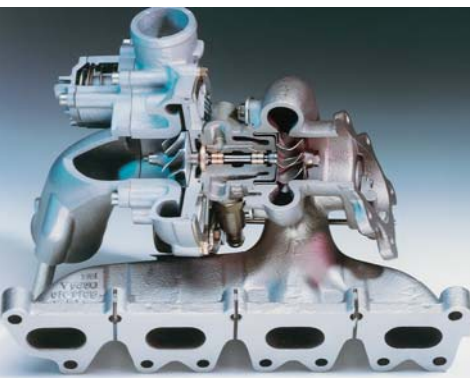
### Leren van schades

Turboschades komen gelukkig niet meer zo frequent voor als bij de eerste exemplaren. Toch hebben de turbo-specialisten hun handen vol aan het reviseren van beschadigde exemplaren. Hier ziet u een collage van een aantal typische turboschades.

**Tekort aan smering**  
Goede smering is een absolute vereiste voor een probleemloze turbowerking. Door een tekort aan smering komen de lagers koeling te kort en ontstaan er te hoge temperaturen. Dat is slecht voor het lagermateriaal en voor de smeeroilie.

om wordt geleid. Zo'n 'by-pass' wordt door een klep (een wastegate, vrij vertaald: afvalpoort) geopend en gesloten. Dat gebeurt pneumatisch of elektrisch. Als het met een elektromotor gebeurt, kan die vanaf het motormanagement worden aangestuurd.

Bij personenautodiesels zijn de elektrisch verstelbare leidschoepen inmiddels ook ingeburgerd zodat een bijna optimale aanpassing aan de motorwensen mogelijk is. Bij bedrijfsautodiesels was IVECO de



Sinds ongeveer tien jaar zijn bepaalde Opel turbomotoren voorzien van een uitlaatspruitstuk met een geïntegreerd turbinehuis. Daardoor vervalt de afdichting met flenzen, wordt er gewicht bespaard en komt er meer en sneller energie beschikbaar voor de turbine.

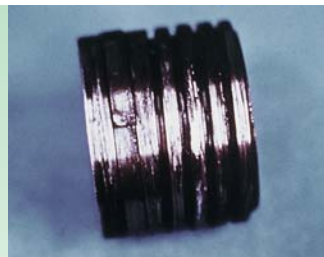
FOTO: OPEL/DELTA PRESS



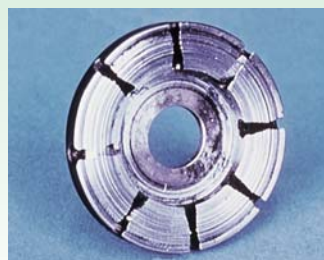
De astemperatuur kan tot 400°C oplopen, de smeeroilie oxydeert



Het turbinewiel raakt het huis



De afdichtzuigerveertjes verliezen hun voorspanning



Het axiaallager wordt beschadigd



De schoepen van het compressorwiel lopen aan



Aluminium lagers smelten

eerste die een Holset met verstelbare ring bij de turbine toepaste om het koppel bij lage toerentallen te verhogen.

**Elektrische aandrijving**  
Op komst zijn op dit moment de elektrisch aangedreven turbocompressoren. Een elektromotor drijft daarbij de turbine-as aan zodat de compressor al lucht levert voordat de motor loopt. Gedurende enkele duizendsten van een seconde haalt de elektromotor 1,8 tot 2,4 kW uit de accu. De samengeperste lucht is warm zodat de verbranding bij het starten en opwarmen optimaal verloopt. Er is vrijwel onmiddellijk een hoog koppel beschikbaar zodat de motor snel het stationair toerental bereikt. Zelfs 42 V startgeneratoren leveren minder gunstige resultaten en vragen gedurende langere tijd tot 14 kW vermogen, hetgeen de accu's zeer hoog belast. Uit tal van publicaties blijkt dat er hard gewerkt wordt aan dit type elektrische turbo-compressor, kortweg e-turbo genoemd.

En de benzine-motor? Met een uitlaatgastemperatuur tot 1.000°C (tegen 650°C bij de diesel) is het heel moeilijk om verstelbare turbine leidschoepen te gebruiken. Zelfs Honda heeft het geprobeerd en het is niet goed gegaan. De e-turbo is een (veel) betere oplossing.

**Op tijd verversen**

Door vervuilde of geoxydeerde smeeroilie ontstaan er de nodige problemen met turbocompressoren. Ververs turbomotoren dus tijdig en gebruik de voorgeschreven oliesoort!



Het laagje tin is weggesleten



Het axiaallager is versleten



De turbine-as is door vuil in de olie diep gegroefd



De ingedikte olie zet zich vast in het lagerhuis en blokkeert de olie-afdichtingen



Bij aluminium lagers bedt het vuil zich in

FOTO'S: DELTA PRESS



Ernstige vervuiling op het turbinewiel afkomstig van verbrande smeeroilie.

# Turbo-revisie is een specialisme

Turbo World uit Hoevelaken is één van de turbospecialisten die ons land rijk is. Men heeft zich gespecialiseerd in onderhoud en reparatie van turbo's van hoofdzakelijk personenauto's. Uiteraard hoort daar ook revisie bij. Het is een vak apart, zo blijkt.

De ervaring van Turbo World is dat de meeste werkplaatsen de turbo als een complex onderdeel ervaren. Op zich niet zo vreemd omdat de turbo in de loop der jaren steeds compacter

is geworden, de toerentallen aanzienlijk zijn gestegen en het onderdeel steeds meer geïntegreerd wordt in het motormanagement.

Turboschades zijn over het algemeen altijd gevolgschades; het domweg uitwisselen met een nieuw exemplaar is daarom vaak een oplossing voor de korte termijn. Probeer dus altijd te achterhalen waarom de turbo kapot gegaan is.

De grote kracht van Turbo World is, naast hun grote kennis, de goede equipment om moderne turbo's te kunnen reviseren. Onlangs hebben ze een nieuwe balancemachine in gebruik genomen. Met deze Vibration Sorting Rig (VSR) machine is het mogelijk om de turbo te testen bij toerentallen tot 200.000 toeren per minuut. In de testcyclus wordt de motorconditie zoveel mogelijk nagebootst: men werkt met een constante oliedruk en gebruikt het originele compressorhuis dat bij de desbetreffende turbo past. Zeker dat laatste is belangrijk omdat hiermee gegarandeerd is dat de luchtstroom langs het compressorwiel dezelfde is als in de echte motorsituatie.

De machine geeft in gewicht en in graden aan waar zich de onbalans bevindt. Vervolgens slijpt men iets van de bevestigingsmoer van het compressorwiel weg om zo de onbalans te compenseren. Deze actie herhaalt zich net zolang totdat de onbalans zich binnen de tolerantie bevindt. U moet zich hierbij voorstellen



Met de nieuwe VSR machine zijn testtoerentallen tot 200.000 toeren mogelijk. Een constante oliedruk en het originele compressorhuis komen overeen met de werkelijke motorconditie.

FOTO'S: TURBO WORLD

dat voor een maximale efficiëntie van de turbo de ruimte tussen de beide wielen en de bijbehorende huizen zeer klein moet zijn. Praktisch gezien betekent dit dat de beweging van de turbine-as door onbalans niet groter mag zijn dan 0,22 mm.

De VSR machine van Turbo World is in nauw overleg aangeschaft met Garrett. Deze turbo-fabrikant gebruikt een soortgelijke machine in de eigen productielijn.

Onlangs heeft Turbo World een contract afgesloten met Kühne Automotive om de turbo's via hun groothandel (ruilsysteem) aan te bieden.

Uiteraard kunt u zich u ook rechtstreeks wenden tot Turbo World (033-257 06 07). Groot voordeel daarvan

is dat zij direct in hun computer-informatiesysteem kunnen zien welke onderdelen uitgewisseld kunnen worden. Veel autofabrikanten gebruiken namelijk dezelfde chargers of gebruiken chargers die opgebouwd zijn uit dezelfde componenten. Daarnaast heeft Turbo World via het computersysteem toegang tot alle fabrieksgegevens en kan zo met een druk op de knop boven water halen welk type er is gebruikt in een bepaald voertuig. Een vakkundig gereviseerde turbo doet overigens niet onder voor een nieuw exemplaar en is doorgaans zo'n 30 procent goedkoper.

Hans Doornbos



Met deze machine wordt de turbo 'voor' gebalanceerd. Het toerental bedraagt hier tussen de 1.000 en 30.000 toeren per minuut. Duidelijk is dat er getest wordt zonder het compressorhuis.

Mercedes-Benz gebruikt al sedert enkele jaren een door Eaton gemoderniseerde 'Roots-blower'. Er is veel werk gaan zitten in de smering, geluiddemping en de aandrijving van de compressor. Het grote voordeel van deze vorm van drukvulling is dat er ook bij lage toerentallen een hoog koppel wordt ontwikkeld.

FOTO: MERCEDES

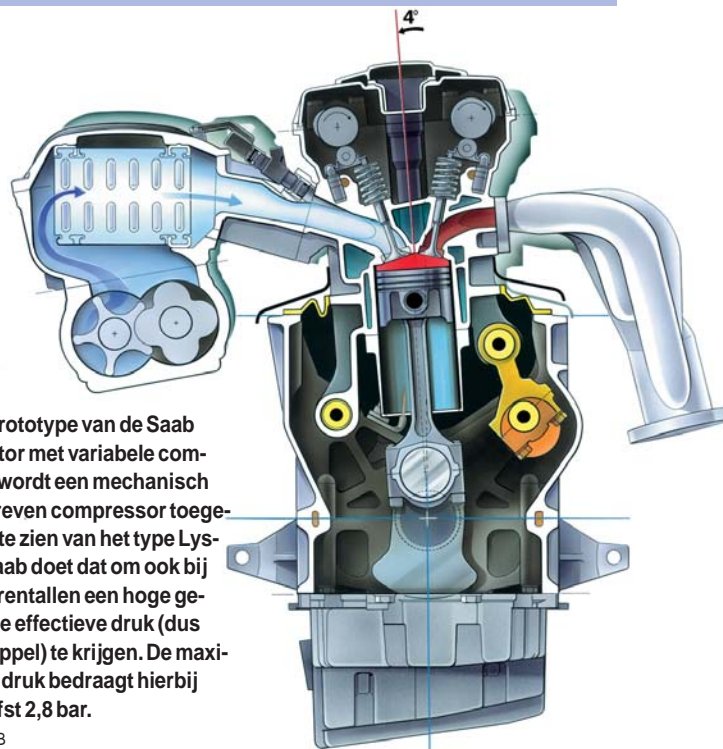


ing, maar of die de hoge toerentallen van meer dan 175.000 t/min van de kleinere turbo's overleeft, is nog een vraag waarop lange duurtesten het antwoord moeten geven. Zeker is wel dat de mechanisch aangedreven compressor bij lage toerentallen veel aandrijfvermogen vraagt omdat de lekverliezen dan relatief groot zijn.

Tijdsvertraging bij wisselende belastingen (het bekende turbo-

lag) is bij de e-turbo verleden tijd. De e-turbo is zelfs via de elektromotor af te remmen door deze elektriciteit te laten leveren. Kortom de e-turbo kan via het motormanagement optimaal aan de behoefte van de motor worden aangepast. Er komen ongetwijfeld nog zeer interessante motoren met compressor op ons af.

Paul Klaver



Bij het prototype van de Saab SVC motor met variabele compressie wordt een mechanisch aangedreven compressor toegepast, zo te zien van het type Lysholm. Saab doet dat om ook bij lage toerentallen een hoge gemiddelde effectieve druk (dus hoog koppel) te krijgen. De maximale vuldruk bedraagt hierbij maar liefst 2,8 bar.

FOTO: SAAB