

**MAHLE**



Fahrzeugkühlung

Kompaktes Wissen  
für die Werkstatt

**BEHR**<sup>®</sup>

# Was ist Thermomanagement?

Thermomanagement umfasst die optimale Motortemperatur in allen Betriebszuständen sowie das Heizen und Kühlen des Fahrzeuginnenraumes. Ein modernes Thermomanagement-System besteht demzufolge aus Bauteilen der Motorkühlung und der Klimaanlage.

Komponenten dieser beiden Baugruppen, die sich gegenseitig beeinflussen, bilden oftmals eine Einheit. In diesem Booklet stellen wir Ihnen moderne Kühlsysteme mit ihrem technischen Hintergrund vor. In diesem Zusammenhang gehen wir auch auf Funktionsweise, Ausfallursachen, Besonderheiten und Diagnosemöglichkeiten ein.



## Haftungsausschluss/Bildnachweis

Die Informationen in dieser Unterlage sind von dem Herausgeber u. a. nach Automobilhersteller- und Importeurangaben zusammengestellt worden. Dabei ist mit großer Sorgfalt vorgegangen worden, um die Richtigkeit der Angaben zu gewährleisten. Der Herausgeber übernimmt jedoch für eventuelle Irrtümer und sich daraus ergebende Folgen keine Haftung. Dies gilt für die Verwendung von Daten und Informationen, die sich als falsch erweisen oder falsch dargestellt wurden, oder Fehler, die versehentlich bei der Zusammenstellung der Daten entstanden sind. Ohne Einschränkung des zuvor genannten, übernimmt der Herausgeber keine Haftung für jeglichen Verlust hinsichtlich des Gewinns, Firmenwertes oder jedweden anderen sich daraus ergebenden, auch wirtschaftlichen, Verlust. Der Herausgeber übernimmt keine Haftung für Schäden oder Betriebsstörungen, die sich aus der Nichtbeachtung der Schulungsunterlage und der besonderen Sicherheitshinweise ergeben. Die in diesem Booklet gezeigten Bilder stammen zum großen Teil von den Firmen MAHLE und MAHLE Service Solutions.

# Inhalt

## Moderne Kühlsysteme

Integriertes System – Pkw	4
Integriertes System – Nkw	5
Aufbau eines modernen Kühlmoduls	5

## Kühlung – ein Blick zurück

Motorkühlung mit Wasser	6
Moderne Motorkühlung	7

## Kühlungssysteme

Das Motorkühlungssystem	8
Kühlmittelkühler	9
Ganz-Aluminium-Kühler	11
Ausgleichsbehälter (Ausdehnungsgefäß)	12
Thermostate	13
Kühlmittelpumpen	14
Elektrische Kühlmittelpumpen	15
Innenraum-Wärmetauscher	16

## Motorlüfter

Visco®-Lüfter	17
Die elektronische Visco®-Kupplung	18
Elektrische Kühlerlüfter	19

## Weitere Kühlungssysteme

Ölkühler für Motor, Getriebe und hydrodynamische Retarder	20
Lenkhilfekühlung	21
Kraftstoffkühlung	21
Direkte Ladeluftkühlung	24
Indirekte Ladeluftkühlung	25
Kühler für Abgasrückführung (AGR)	26

## Ansaugluft und Temperaturmanagement

Temperierung der Luft für den Verbrennungsvorgang im Motor	27
Subsysteme des Ansaugluft-Temperatur-Managements (ATM)	28
Batterie-Temperatur-Management Hybridfahrzeuge	31

## PTC-Zuheizer

Aufbau und Funktionsweise	33
Leistung und Spontaneität	34
Betriebssicherheit	35
Ansteuerung	35
Neuentwicklung	35

## Diagnose, Wartung und Reparatur

Kühlmittel, Frostschutz und Korrosionsschutz	36
Kühler-Wartung	37
Entlüftung des Systems bei Befüllung	38
Typische Schäden	39

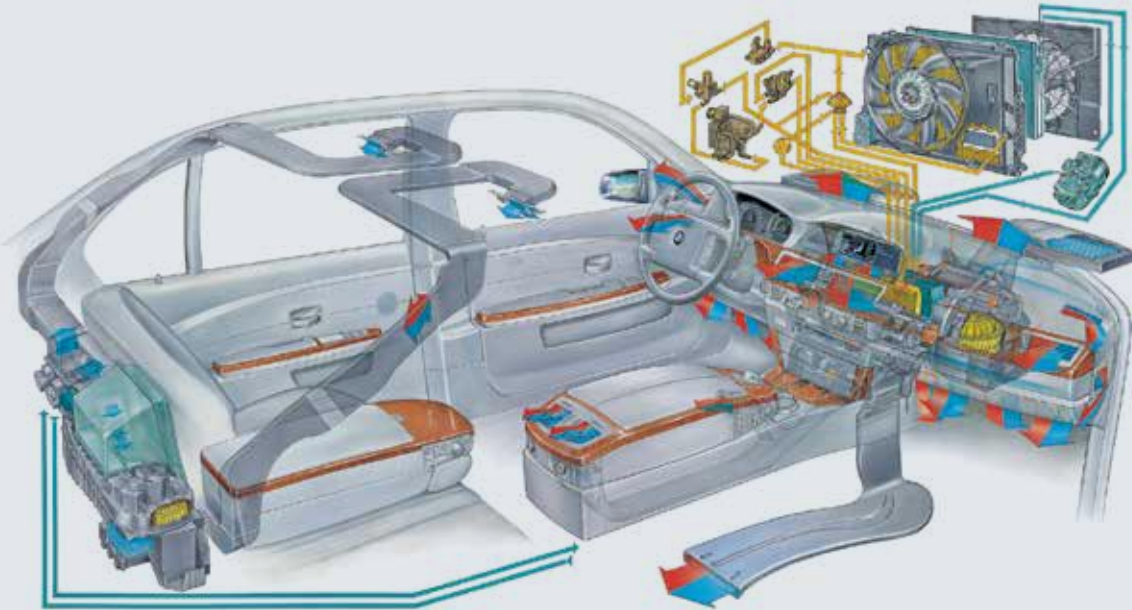
## Elektronisch geregelte Kühlung

Das Kühlmittel-Temperaturniveau	42
Kühlmittel-Verteilergehäuse	43
Kühlmittel-Regeleinheit	44
Elektronische Steuerung: Übersicht	45
Regulierung der Kühlmitteltemperatur bei Heizungswunsch	46
Kennfeldgesteuertes Thermostat	48

## Technische Informationen

50

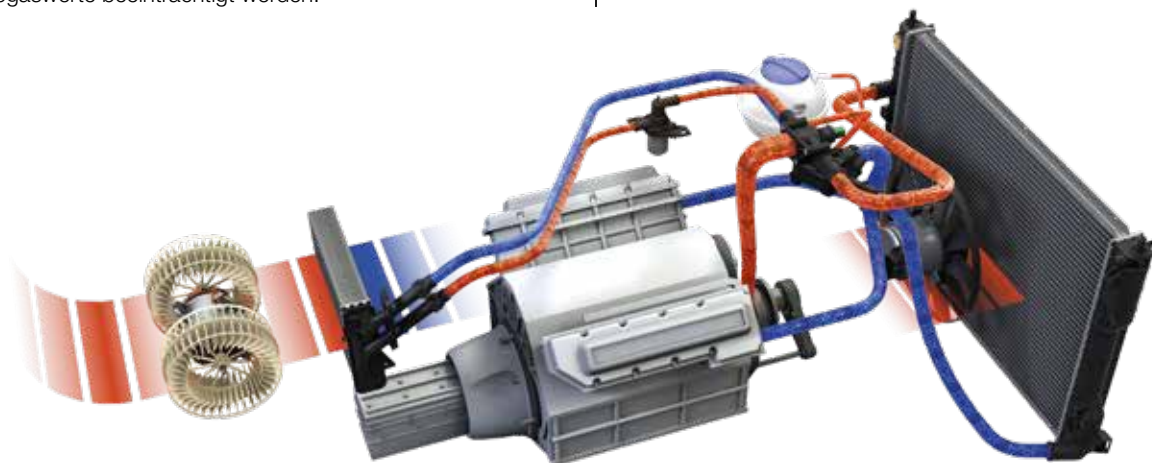
# Moderne Kühlsysteme



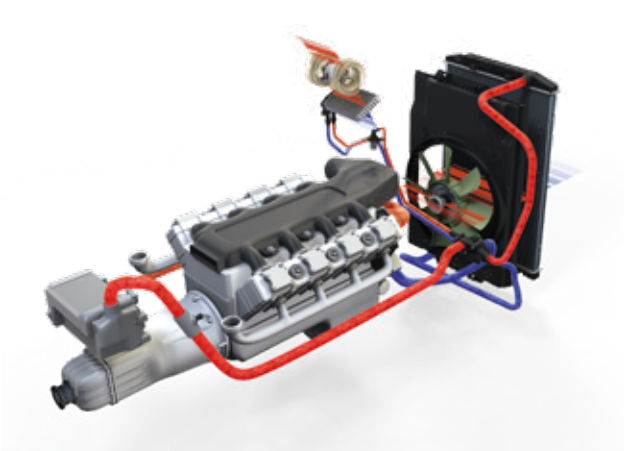
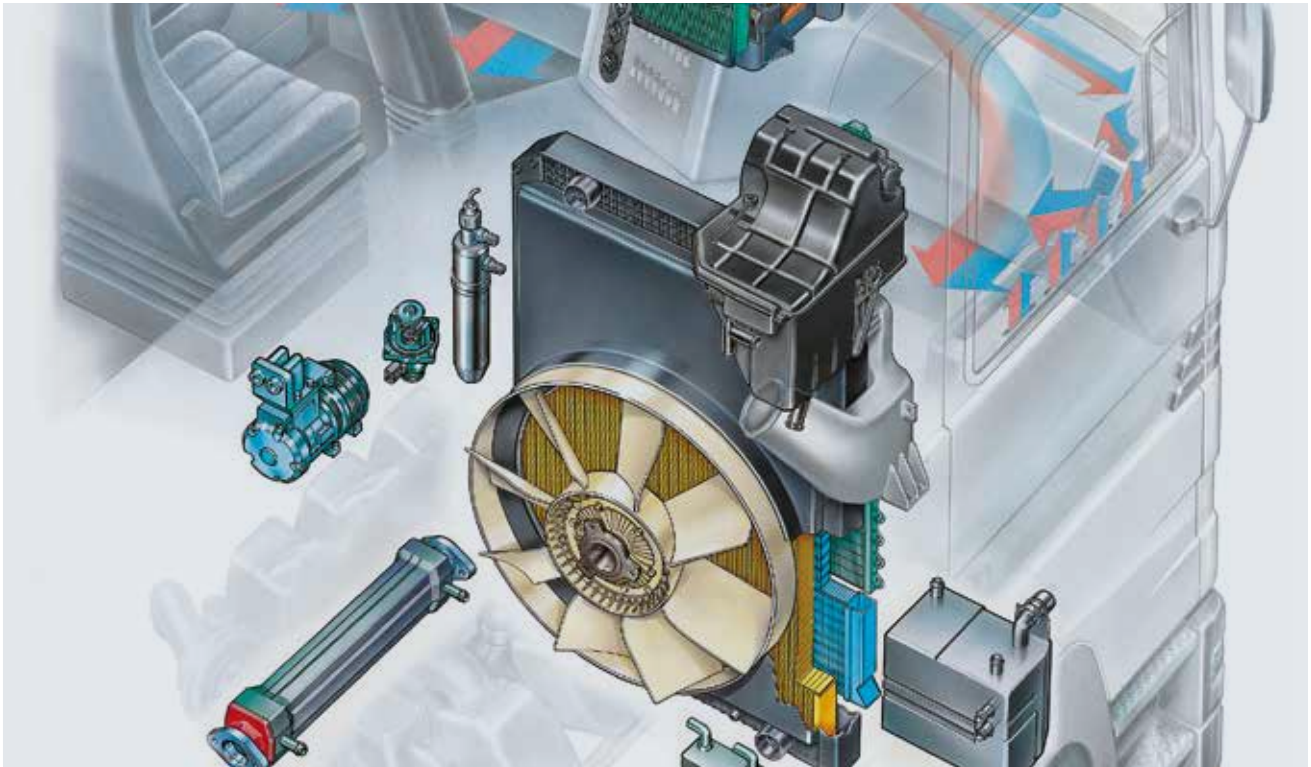
## Integriertes System – Pkw

All die Wärme, die ein Motor und seine abhängigen Systeme erzeugen, muss abgeleitet werden. Die Betriebstemperatur eines Motors darf heute nur eine kleine Toleranz haben, um den Betrieb und die Umgebungstemperatur (Motor und Innenraum) zu kontrollieren. Durch eine erhöhte Betriebstemperatur können die Abgaswerte beeinträchtigt werden.

Dies kann zu einer fehlerhaften Motorsteuerung führen. Außerdem muss ein Kühlsystem bei Motorvarianten wie Direkteinspeisung, Diesel und Benzinern, die wenig Wärme erzeugen, die Insassen des Fahrzeuges im Winter wärmen und im Sommer kühlen. Alle diese Faktoren sind bei der Entwicklung eines Thermomanagement-Systems zu berücksichtigen. Hinzu kommt noch die Anforderung höherer Leistung und Effizienz bei geringerem Bauraum.





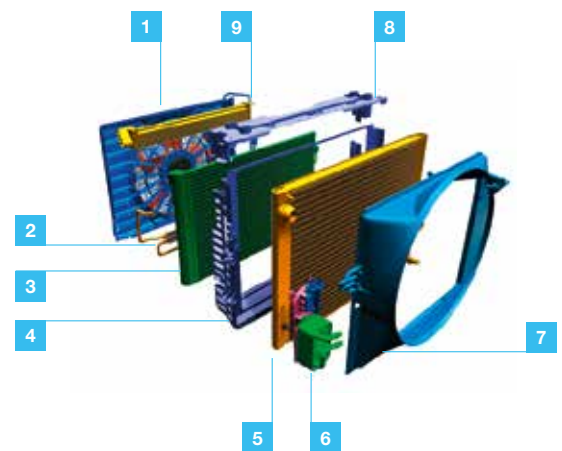


## Integriertes System – Nkw

Ein typisches Beispiel des heutigen Stands von Thermomanagement im Nkw. Im folgenden werden wir beide Bereiche – Pkw und Nkw – vorstellen.

### Aufbau eines modernen Kühlmoduls

Ein typisches Beispiel des heutigen Stands eines Kühlmoduls. Dies besteht aus Kühlmittelkühler, Motorölkühler, Klimakondensator, Getriebeölkühler, Lenkhilfekühler und Kühlmittelkühler-/Klimakondensator-Lüfter.



- 1 Druckzarge mit Elektrolüfter
- 2 Lenkhilfekühler
- 3 Klimakondensatormodul
- 4 Tragrahmen
- 5 Ganz-Aluminium-Kühlmittelkühler
- 6 Getriebeölkühlung
- 7 Saugzarge für Motorlüfter
- 8 Tragrahrendeckel
- 9 Motorölkühler

# Kühlung – ein Blick zurück

## Motorkühlung mit Wasser

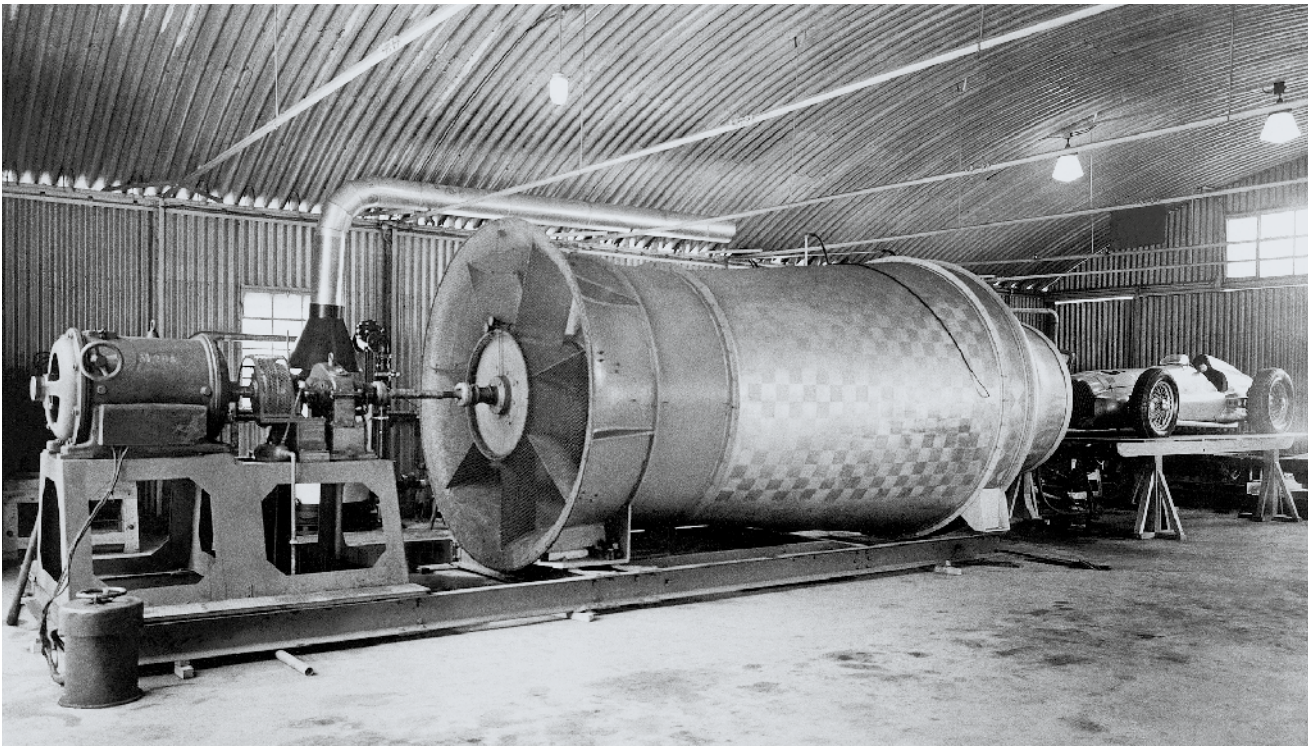
Die bei der Verbrennung des Kraftstoffes erzeugten Temperaturen (bis 2.000 °C) sind für den Betrieb des Motors schädlich. Deshalb wird er auf Betriebstemperatur gekühlt. Die erste Art der Kühlung mittels Wasser war die Thermosyphonkühlung. Das erwärmte leichtere Wasser steigt dabei über ein Sammelrohr in den oberen Teil des Kühlers. Es wird durch den Fahrtwind abgekühlt, sinkt nach unten und fließt dem Motor wieder zu. Solange der Motor in Betrieb ist, läuft dieser Kreislauf. Die Kühlung wurde durch Lüfter unterstützt, eine Regelung war noch nicht möglich. Später wird der Wasserumlauf durch eine Wasserpumpe beschleunigt.

### Schwachpunkte:

- Lange Warmlaufzeit
- Niedrige Motortemperatur während der kalten Jahreszeit

In der weiteren Motorenentwicklung kommt ein Kühlwasserregler bzw. Thermostat zum Einsatz. Der Wasserumlauf über den Kühler wird in Abhängigkeit von der Kühlwassertemperatur geregelt. 1922 wird er wie folgt beschrieben: „Diese Vorrichtungen bezwecken eine schnelle Erwärmung des Motors und Vermeidung von Erkalten desselben“. Wir sprechen hier schon von einer thermostatgeregelten Kühlung mit den Funktionen:

- Kurze Warmlaufzeit
- Betriebstemperatur konstant halten



BEHR Windkanal 1937





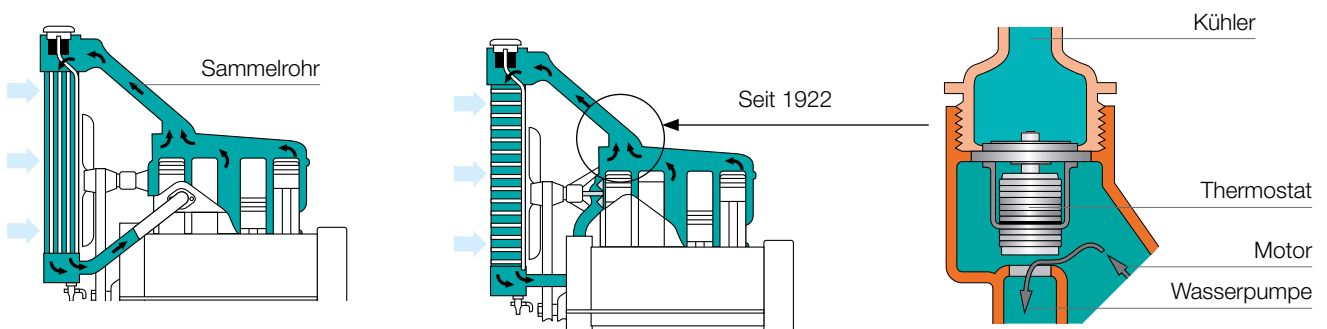
MAHLE Klimawindkanal heute

## Moderne Motorkühlung

Eine entscheidende Verbesserung der Motorkühlung brachte das Thermostat und der dadurch möglich gewordene „kurzgeschlossene“ Kühlmittelkreislauf. Solange die gewünschte Betriebstemperatur des Motors nicht erreicht ist, läuft das Wasser nicht über den Kühler, sondern auf kurzem Wege wieder in den Motor zurück. Erst bei Erreichen der gewünschten Betriebstemperatur öffnet das Thermostat die Verbindung über den Kühler. Diese Regelung ist bei allen Systemen bis heute geblieben.

Die Betriebstemperatur des Motors hat nicht nur für Leistung und Verbrauch, sondern auch für einen niedrigen Schadstoffausstoß große Bedeutung.

Zur Kühlung eines Motors wird nunmehr der Umstand genutzt, dass unter Druck gesetztes Wasser nicht bei 100 °C, sondern erst bei 115–130 °C zu sieden beginnt. Der Kühlkreislauf steht dabei unter einem Druck von 1,0–1,5 bar. Wir sprechen vom geschlossenen Kühlsystem. Die Anlage hat dazu einen Ausgleichsbehälter, der nur etwa zur Hälfte befüllt ist. Als Kühlmedium wird nicht nur Wasser, sondern ein Gemisch aus Wasser und Kühlmittelzusatz verwendet. Wir sprechen nun vom Kühlmittel, das Frostschutz bietet, einen erhöhten Siedepunkt hat und die Bauteile des Motors und Kühlsystems vor Korrosion schützt.



Ca. 1910 mit Wasserpumpe

# Kühlungssysteme

## Das Motorkühlungssystem

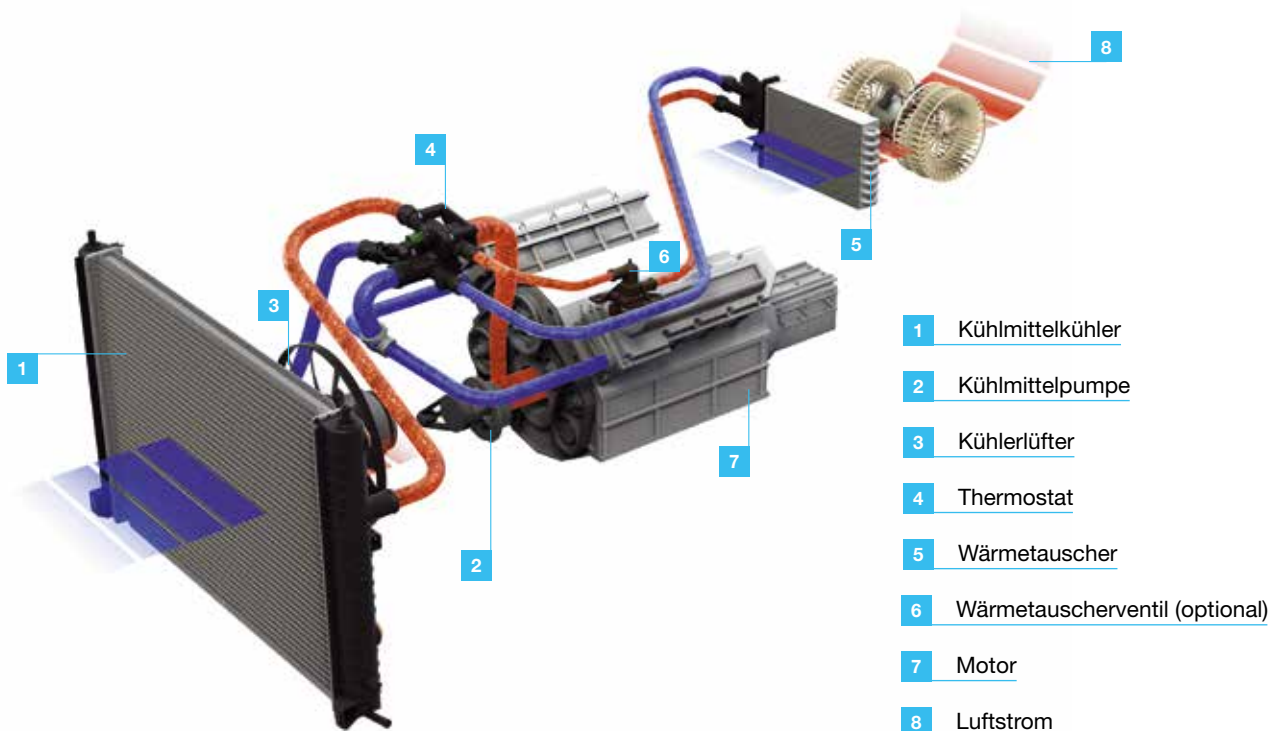
Durch den immer kompakter werdenden Motorraum stellt die Unterbringung der Komponenten und die Ableitung der enormen Wärmemengen eine große Herausforderung dar. Um den Motorraum abzukühlen, werden an moderne Kühlungssysteme hohe Ansprüche gestellt. Dadurch hat es in letzter Zeit große Fortschritte im Bereich Kühlung gegeben.

### Die Anforderung an das Kühlsystem sind:

- Verkürzte Warmlaufphase
- Schnelle Innenraumaufheizung
- Geringer Kraftstoffverbrauch
- Längere Lebensdauer der Komponenten

### Die Basis aller Motorkühlungssysteme besteht aus den folgenden Komponenten:

- Kühlmittelkühler
- Thermostat
- Kühlmittelpumpe (mechanisch oder elektrisch)
- Ausgleichsbehälter (Ausdehnungsbehälter)
- Leitungen
- Motorlüfter (Keilriemenangetrieben oder Visco®)
- Temperatursensor (Motorsteuerung/Anzeige)







Kühlmittelkühler

## Kühlmittelkühler

Ab 1905 beginnt die Kühlung des Motors, die damalige Verbrennungstemperatur im Motor lag bei ca. 600–800 °C. Stahlkühler wurden um die Jahrhundertwende bis ca. 1938 verwendet, danach kamen Buntmetallkühler (Kupfer/Messing). Nachteil: hohes Gewicht und begrenzte Vorräte, dadurch hoher Materialpreis.

### Anforderungen an den Kühler:

- Hohe Leistungsdichte
- Ausreichende Festigkeit
- Dauerhafte Korrosionsbeständigkeit
- Niedrige Herstellkosten
- Umweltverträgliche Herstellung

### Ausführung:

- Wasserkasten aus GFK = glasfaserverstärkter Kunststoff
- Zunehmend aus Aluminium

### Aufgabe:

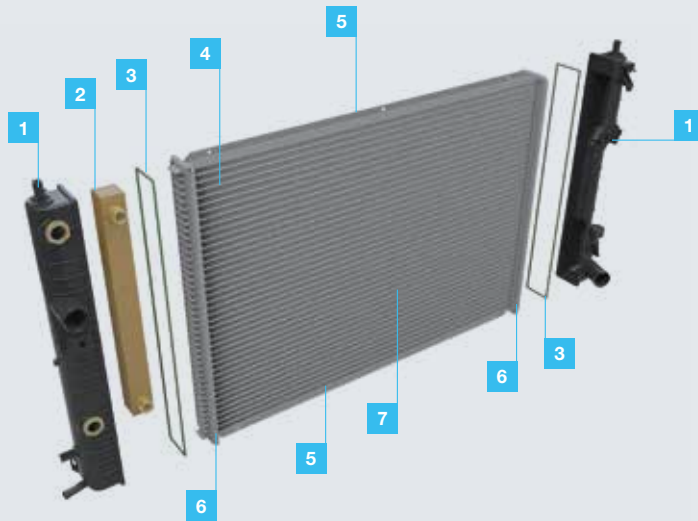
- Kühlmittel im Motorkreislauf kühlen

### Vorteile:

- Passgenauer Einbau zur einfachen Montage
- Optimaler Wirkungsgrad
- Abgestimmt auf Kundenspezifikationen (OEM)

### Typischer Aufbau

Beim Kühlmittelkühler kann der Ölkühler auch eine separate Komponente sein. Die einzelnen Teile werden zusammengebaut. Dadurch erhält der Kühlmittelkühler seine Form. Die Kühlung findet über die Kühlrippen (Netz) statt, die durchströmende Luft entnimmt Wärme aus dem Kühlmittel. Die Strömung des Kühlmittels verläuft von oben nach unten, genannt Fallstrom, oder mit einem Querstrom (von rechts nach links oder umgekehrt). Beide Varianten müssen genügend Zeit und einen ausreichenden Querschnitt haben, damit die Luft eine effektive Kühlung des Kühlmittels erzeugt.



- 1 Wasserkasten
- 2 Ölkühler
- 3 Dichtungen
- 4 Kühlrippen (Netz)
- 5 Seitenbleche
- 6 Boden
- 7 Kühlrohr

## Bauformen

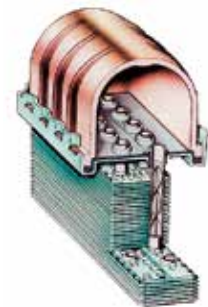
Es gibt zwei typische Bauformen, gelötet und mechanisch gefügt. Beide Arten werden bei Fallstromkühlern angewendet. Die ersten Kühler waren mit Messingwasserkasten, später mit Kunststoffwasserkasten ausgestattet. Querstromkühler sind 40 % kleiner als Fallstromkühler und werden in den jetzigen Pkws benutzt, wo eine flachere Bauart benötigt wird. Der Wasserkasten wird mit einer von MAHLE entwickelten Wellenschlitzbördelung befestigt und versiegelt. Eine andere Befestigungsart ist die Lappenbördelung. Fallstromkühler werden in höheren Pkws (Geländewagen usw.) oder Nkws eingesetzt. Bei der Herstellung werden grundsätzlich zwei verschiedene Produktionsmetho-

den unterschieden: Die Bauteile können entweder mechanisch gefügt oder gelötet sein. Die technischen Leistungsdaten beider Herstellungsverfahren sind annähernd identisch. Die mechanisch gefügte Variante weist lediglich ein geringeres Gewicht auf. Die Fahrzeughersteller entscheiden letztendlich, welches Verfahren in Serie eingesetzt wird.

Die Konstruktion der Rohr-/Rippengeometrie des Kühlers entscheidet über die jeweilige Leistungsfähigkeit. Dabei ist der zur Verfügung stehende Bauraum im Fahrzeug zu beachten.



Gelötet



Mechanisch gefügt



Ganz-Aluminium-Kühler

## Ganz-Aluminium-Kühler

Wie man hier sieht, ist bei der Ganz-Aluminium-Bauweise die Netztiefe wesentlich reduziert. Diese Bauart hilft die Gesamttiefe des Kühlmoduls gering zu halten, z. B. ist der Ganz-Aluminium-Kühler des Audi A8 11 % leichter und hat eine 20 mm geringere Bautiefe.

### Diese Bauart hat folgende Eigenschaften:

- Der obere Boden entfällt
- Netztiefe ist gleich Kühltiefe
- 5–10 % Gewichtsreduzierung
- Höhere Betriebsfestigkeit
- Berstdruck 5 bar

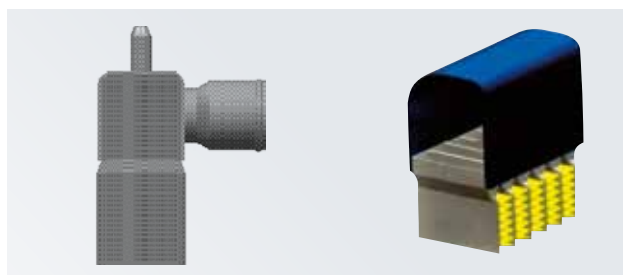
Dieser Vergleich zeigt den Unterschied zwischen einem Kühler mit Standardboden und einem Ganz-Aluminium-Kühlmittelkühler. Deutlich zu sehen ist, dass die Gesamttiefe wesentlich

- Als Ganzes recyclingfähig
- Transportschäden werden reduziert (Überlaufstutzen)
- Verschiedene Rohrarten können genutzt werden
- Rundrohr bei höherer Leistung mit Turbulenzeinlage
- Ovalrohr (bietet mehr Fläche zum Abkühlen)
- Flachrohr, mechanische Fertigung, Kassetierung (noch mehr Fläche und nur einreihig nötig)
- Flachrohr, gelötet, ohne Flussmittel (beste Abkühlung, Lamellen sitzen zu 100 % an), aber kostenintensiv
- Spezielle Alulegierung verwendet (Netz)
- Temperatur 600–650 °C danach Abkühlung auf ca. 130 °C (Spannungen werden ausgeglichen)

reduziert ist. Dies erlaubt einen platzsparenden Einbau innerhalb eines modernen Kühlmoduls.



Netztiefe 40 mm, Gesamttiefe 63,4 mm



Netztiefe 40 mm, Gesamttiefe 40 mm





Ausgleichsbehälter für Nutzfahrzeuge

## Ausgleichsbehälter (Ausdehnungsgefäß)

Zur Vermeidung von örtlicher Überhitzung der Bauteile ist ein blasenfreier Kühlmittelkreislauf erforderlich. Das Kühlmedium tritt mit großer Geschwindigkeit in den Behälter ein und mit niedriger Geschwindigkeit wieder aus (unterschiedliche Stützdurchmesser).

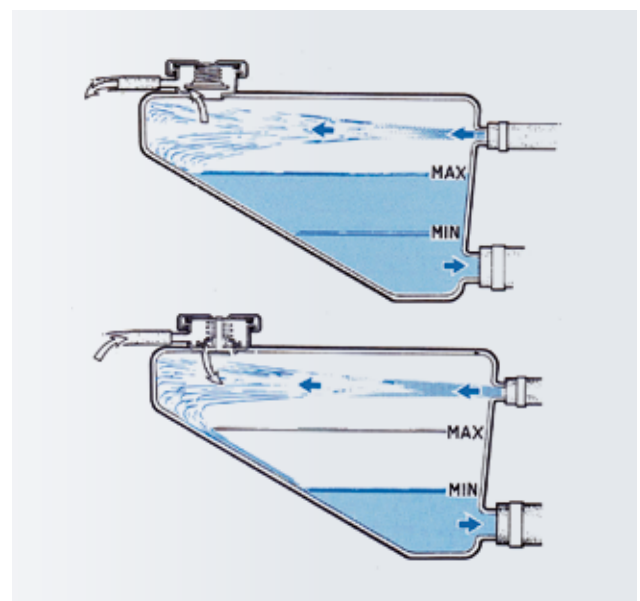
Nkw-Ausgleichsbehälter haben im Vergleich 3 Kammern und eine große Wassermenge, z. B. 8 Liter Kühlmittelvolumen. Der Ausgleichsbehälter dient zur Aufnahme von expandiertem Kühlmittel aus dem Kühlmittelkreislauf. Der Druck wird durch ein Ventil abgebaut und dadurch der Systemdruck auf einen voreingestellten Wert gehalten.



Ausgleichsbehälter für Pkw

### Funktion

Hohe Kühlmitteltemperatur führt zu einem Druckanstieg im Kühlsystem, da sich das Kühlmittel ausdehnt. Das Kühlmittel wird in den Behälter gepresst. Der Druck im Behälter steigt an. Das Überdruckventil im Verschlussdeckel öffnet sich und lässt Luft entweichen. Bei Normalisierung der Kühlmitteltemperatur entsteht ein Unterdruck im Kühlsystem. Kühlmittel wird aus dem Behälter abgesaugt. Hierdurch entsteht im Behälter ebenfalls ein Unterdruck. Als Folge öffnet das Unterdruckausgleichsventil im Verschlussdeckel des Behälters. Luft strömt in den Behälter bis Druckausgleich erreicht ist.



Funktion Ausgleichsbehälter



Elektronisch gesteuertes Thermostat mit Wachselement

## Thermostat

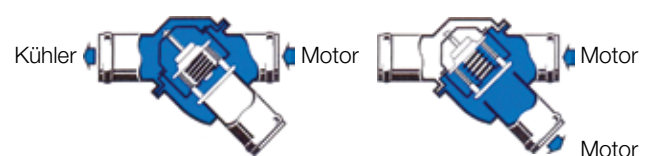
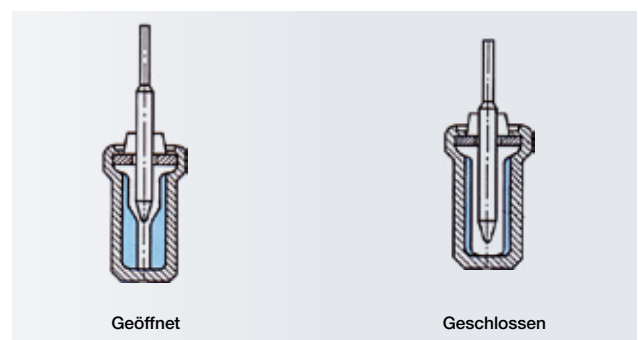
Thermostate kontrollieren die Temperatur des Kühlmittels und dadurch auch die Motortemperatur. Mechanische Thermostate haben sich über die Jahre nicht viel geändert und werden immer noch verbaut. Die Funktion erfolgt durch ein expandierendes Wachselement, das ein Ventil öffnet und das Kühlmittel zum Kühlen an den Kühlmittelkühler zurückführt. Das Thermostat öffnet sich bei einer bestimmten Temperatur, die für das System vorgegeben und nicht zu ändern ist. Elektronisch gesteuerte Thermostate werden von der Motorsteuerung geregelt und öffnen je nach Betriebsverhältnis des Motors. Elektronisch ansteuerbare Temperaturregler tragen durch Verbesserung des mechanischen Motorwirkungsgrades zur Kraftstoffreduzierung und Verminderung von Schadstoffemissionen bei.

### Vorteile:

- Reduzierung des Kraftstoffverbrauches um ca. 4 %
- Reduzierung der Schadstoffemissionen
- Komfortverbesserung (durch Verbesserung der Heizleistung)
- Längere Motorlebensdauer
- Erhaltung der Strömungsverhältnisse und der thermodynamischen Bedingungen
- Bedarfsorientierte Temperaturregelung
- Höchste Temperaturänderungsgeschwindigkeit
- Geringste Bauvolumenzunahme (< 3 %)

### Funktion

Bei einer Erwärmung über 80 °C schmilzt die Wachsfüllung. Durch die Volumenzunahme des Wachses verschiebt sich die Metalldose auf dem Arbeitskolben. Das Thermostat öffnet den Kühlerkreislauf und schließt gleichzeitig den Kurzschlusskreislauf. Bei Temperaturabnahme unter 80 °C erstarrt die Wachsfüllung. Eine Rückstellfeder drückt die Metalldose in die Ausgangsstellung zurück. Das Thermostat schließt den Zufluss zum Kühler. Das Kühlmittel fließt über die Kurzschlussleitung direkt zum Motor zurück.



Thermostat mit Wachselement



Kühlmittelpumpe

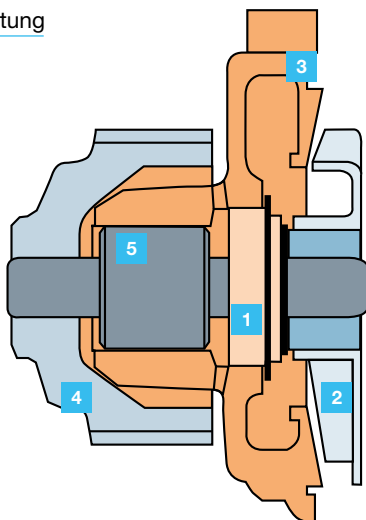
## Kühlmittelpumpen

Kühlmittelpumpen befördern das Kühlmittel durch den Kreislauf und bauen den Druck auf. Die Kühlmittelpumpen unterliegen auch technischen Neuerungen, allerdings sind noch viele Pkws und Nkws mit riemengetriebenen Kühlmittelpumpen im Markt. Elektronisch gesteuerte Kühlmittelpumpen stellen die neue Generation dar. Hier wird die Kühlmittelpumpe nach Bedarf angetrieben, ähnlich wie der Kompressor im Klimakreislauf. Dadurch wird eine optimale Betriebstemperatur erreicht.



Zahnriemenkit mit Kühlmittelpumpe

- 1 Axiale Gleitringdichtung
- 2 Flügelrad
- 3 Gehäuse
- 4 Antriebsrad
- 5 Wälzlager



### Kühlmittelpumpen bestehen aus fünf wesentlichen Baugruppen

Antriebsrad und Flügelrad sitzen auf einer gemeinsam gelagerten Welle. Eine Gleitringdichtung dichtet die Pumpenwelle nach außen ab. Durch die Drehbewegung des Flügelrades wird das Kühlmittel durch das Kühlsystem befördert.

Die Lebensdauer einer Kühlmittelpumpe wird in hohem Maße von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Fachgerechte Montage
- Pflege und Wartung des Kühlsystems
- Kühlmittelqualität
- Zustand und Funktionstüchtigkeit des Antriebsriemens und der verbundenen Nebenaggregate





Elektrische Kühlmittelpumpe

## Elektrische Kühlmittelpumpen

Mechanische Kühlmittelpumpen, die direkt vom Motor angetrieben werden, fördern bei laufendem Motor fortwährend Kühlflüssigkeit, auch wenn kein Bedarf an Kühlung besteht. Elektrische Kühlmittelpumpen mit ihrer integrierten elektronischen Regelung werden hingegen stufenlos, der erforderlichen Kühlleistung entsprechend, zugeschaltet. Sie können als Haupt-, Nebenstrom- oder auch als Umwälzpumpen eingesetzt werden und arbeiten motorunabhängig und bedarfsgerecht.

Bei einem Kaltstart fördert die elektrische Kühlmittelpumpe zunächst keine Kühlflüssigkeit. Der Motor erreicht dadurch schneller seine Betriebstemperatur. Auch im Leerlauf oder nach dem Abstellen des Motors kann die elektrische Kühlmittelpumpe ausreichend Kühlleistung erbringen, da sie nicht an die Drehzahl des Motors gekoppelt ist. Diese bedarfsgerechte Kühlung des Motors reduziert den Leistungsbedarf und verringert damit Reibungsverluste und den Kraftstoffverbrauch. Elektrische Kühlmittelpumpen tragen in modernen Kühlsystemen somit zur Emissionsreduzierung bei.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass elektrische Kühlmittelpumpen individuell, außerhalb des Motors verbaut werden können. Sie sind relativ leicht und durch die bürstenlose Ausführung wartungsfrei. Bei einer Betriebsspannung von 12–360 Volt erreichen sie derzeit eine Leistung von 15–1000 Watt. Der Elektromotor der Kühlmittelpumpe wird durch Kühlmittel gekühlt. Die stufenlose Regelung erfolgt mittels Ansteuerung über

ein pulsweitenmoduliertes (PWM) Signal. So kann das Förder­volumen unabhängig von der Motordrehzahl, dem tatsächlichen Bedarf entsprechend, geregelt und die Kühlmitteltemperatur systemspezifisch konstant gehalten werden. Durch die Einbindung in die Bordnetzelektronik sind elektrische Kühlmittelpumpen diagnosefähig. Je nach Antriebsart (Verbrennungsmotor, Hybrid, Elektro) und System, können im Fahrzeug eine oder auch mehrere Pumpen verbaut sein.



Elektrische Kühlmittelpumpe für BMW

### Elektrische Kühlmittelpumpen haben viele Einsatzbereiche:

- Kühlung des Motors
- Ladeluftkühlung
- Kühlung der Abgasrückführung
- Kühlung von Antrieb und Akku in Hybrid- und Elektrofahrzeugen
- Getriebekühlung
- Kühlung diverser Nebenantriebe



Innenraum-Wärmetauscher

## Innenraum-Wärmetauscher

Der Wärmetauscher liefert Wärme, die mit dem Luftstrom des Gebläses in den Fahrzeuginnenraum befördert wird. Wenn eine Klimaanlage vorhanden ist, was heute meistens der Fall ist, wird eine Mischung aus kalter und warmer Luft von der Klimasteuerung erzeugt. Hier kommen alle 3 Faktoren zusammen: Wärme, Kälte und die entsprechende Steuerung = Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums.

### Eigenschaften eines Ganz-Aluminium-Wärmetauschers:

- Vollständig recyclingfähig
- Sicherstellung der gewünschten Innenraumtemperatur
- Gelötete Wärmetauscher in Ganz-Aluminium-Bauweise
- Geringerer Platzbedarf im Fahrzeuginnenraum
- Hohe Heizleistung
- Endböden gelötet und nicht geklammert
- Im Heizungskasten verbaut
- Rohr-Rippen-System
- Kiemenfelder in den Rippen erhöhen die Leistungsfähigkeit
- Neuester Stand, wie beim Kühlmittelkühler: Ganz-Aluminium



Ganz-Aluminium-Wärmetauscher

# Motorlüfter

*Der Motorlüfter dient zur Beförderung der Umgebungsluft durch den Kühlmittelkühler und über den Motor. Er wird durch den Keilriemen angetrieben oder im Fall eines Elektrolüfters von einem geregelten Elektromotor. Der Visco®-Lüfter wird hauptsächlich im Nkw-Bereich benutzt, ist aber auch im Pkw-Bereich im Einsatz. Der Motorlüfter gewährleistet das Durchströmen einer ausreichenden Luftmenge, um das Kühlmittel abzukühlen. Beim keilriemenangetriebenen Lüfter ist die Luftmenge abhängig von der Motordrehzahl. Er unterscheidet sich vom Kondensatorlüfter, indem er ständig angetrieben wird. Der Visco®-Lüfter wird über die Betriebstemperatur gesteuert.*

## Visco®-Lüfter

### Funktionsweise

Einschaltpunkt voll bei ca. 80 °C. Mit Silikonöl als Antriebsmedium befüllt (30–50 ml), durch Bimetall eingeschaltet und über den Druckstift betätigt.

### Historie

Starr (permanent angetrieben) erfordert er eine hohe Energie (PS), ist laut, bei gleichzeitig hohem Verbrauch. Dagegen sind elektrische Lüfter (Pkw) günstiger im Verbrauch, geräuscharm und haben einen geringeren Energiebedarf. Die Entwicklungsziele waren niedriger Verbrauch und weniger Geräusche, z. B. Lärmreduzierung durch Mantellüfter.

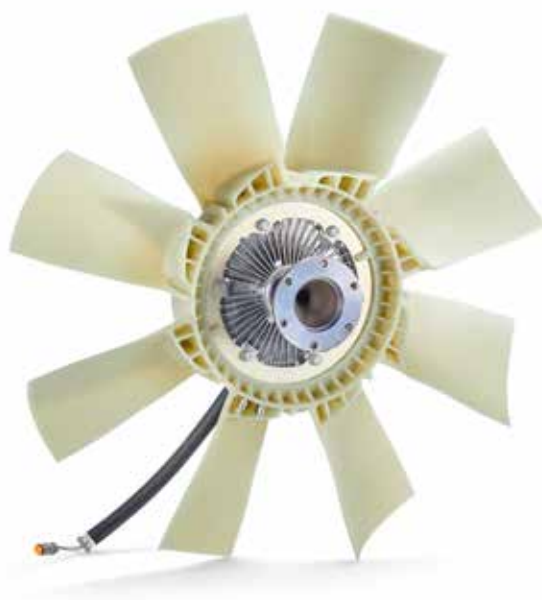
### Die Weiterentwicklung zur elektronischen Visco®-Kupplung ergab:

- Regelung erfolgt stufenlos
- Regelt mittels Sensoren
- Regler verarbeitet Daten, z. B. Kühlmittel, Öl, Ladeluft, Motordrehzahl, Retarder, Klima

Das ergibt eine bedarfsgerechte Kühlung, Verbesserung von Kühlmitteltemperaturniveau, geringeres Geräusch und weniger Kraftstoffverbrauch. Im Pkw-Bereich waren früher die Lüfter 2-teilig, Visco®-Kupplung und Lüfterrad waren geschraubt. Heute sind sie gerollt und somit nicht mehr reparabel.



Vor rund 50 Jahren entwickelte BEHR den Visco®-Lüfter und ließ die Marke Visco® eintragen. Seit der mehrheitlichen Beteiligung von MAHLE an BEHR und der Übertragung der Markenrechte werden die Visco®-Produkte unter MAHLE produziert und vermarktet. Nur von MAHLE produzierte Lüfter und Kupplungen dieser Bauart dürfen mit dem Zusatz Visco® vermarktet werden.



Kompletter Visco®-Lüfter (Kupplung und Lüfterrad)





#### Visco®-Kupplung

## Die elektronische Visco®-Kupplung

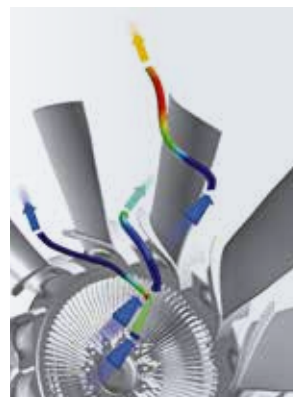
Die Primärscheibe und die Flanschelle übertragen die Kraft des Motors. Mit dieser ist auch der Lüfter fest verbunden. Zirkulierendes Silikonöl bewirkt die Kraftübertragung beider Baugruppen. Durch den Ventilhebel wird der Ölkreislauf zwischen Vorratsraum und Arbeitsraum gesteuert.

Der Fluss des Silikonöls vom Vorratsraum zum Arbeitsraum und zurück erfolgt zwischen zwei Bohrungen, die Rücklauf-Bohrung im Gehäuse und die Zulauf-Bohrung in der Primärscheibe.

Der Ventilhebel steuert das Motormanagement über Impulse an die Magnet-Baugruppe. Der Hall-Sensor ermittelt und informiert das Motormanagement über die aktuelle Drehzahl des Lüfters. Ein Regler leitet einen getakteten Steuerstrom an die Magnet-Baugruppe, die den Ventilhebel steuert, der wiederum den Ölfluss und die Ölmenge kontrolliert. Umso mehr Silikonöl sich im Arbeitsraum befindet, desto höher ist die Drehzahl des Lüfters. Bei leerem Arbeitsraum befindet sich der Lüfter im Leerlauf, beim Antrieb besteht ein Schlupf von etwa 5 %.



#### Visco®-Kupplung



Luftführung Lüfterrad



Elektronisch geregelte Visco®-Kupplung mit Lüfter



Elektrischer Kühlerlüfter mit Zarge

## Elektrische Kühlerlüfter

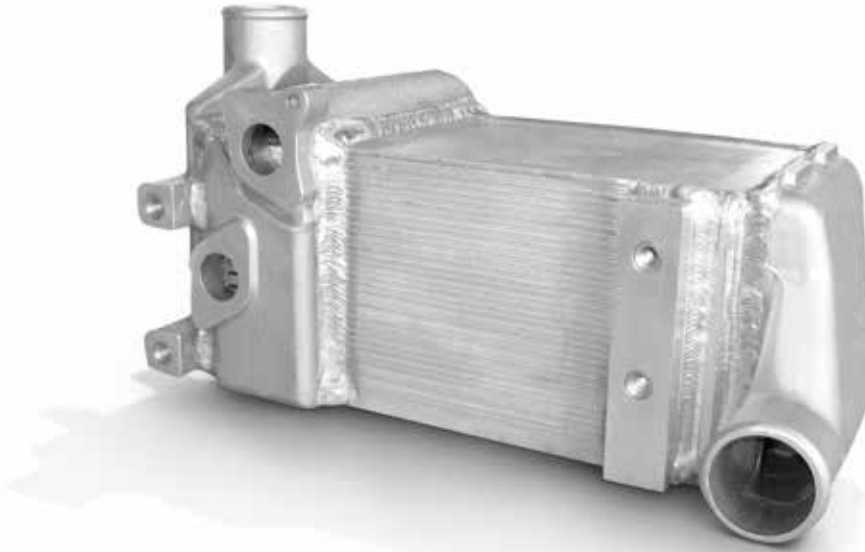
Im Pkw-Bereich kommen meistens elektrische Lüfter zum Einsatz. Sie werden oftmals als Sauglüfter, manchmal aber auch als Drucklüfter eingesetzt. Indem beim Betrieb des Lüfters ein größerer Luftstrom den Motorkühler passiert, wird gewährleistet, dass in jedem Betriebszustand des Fahrzeugs eine optimale Temperierung des Kühlmittels stattfindet. Im Frontbereich des Fahrzeugs sind meistens noch weitere Kühler (z. B. Ladeluft, Lenkung, Kraftstoff, Kondensator) untergebracht, deren Medien (Luft, Öl, Kraftstoff, Kältemittel) ebenfalls durch elektrische Lüfter heruntergekühlt werden.

Die Ansteuerung des oder der Lüfter (Doppellüfter) erfolgt über Druck- bzw. Temperaturschalter oder einem Steuergerät. Somit lässt sich die Lüfterdrehzahl den Betriebsbedingungen entsprechend stufenweise (Schalter) oder auch stufenlos (pulsweiten-gesteuert) regeln. Bei den elektronisch geregelten Lüftern befindet sich das Steuergerät oftmals in der Nähe der Lüftereinheit. Mit Hilfe eines Diagnosegerätes/Oszilloskops lässt sich der Fehler-speicher auslesen bzw. die Ansteuerung überprüfen.

Als Ausfallursachen kommen mechanische Beschädigungen (Crash, Lagerschaden, gebrochene Leitschaufel) und elektrische Fehler (Kontaktfehler, Kurzschluss, defekter Schalter/Steuer-gerät) in Betracht.

Der oder die elektrischen Kühlerlüfter sind meistens an Lüfterzargen montiert. Diese haben die Aufgabe, die durch den Kühler strömende Luft gezielt und möglichst frei von Strömungsverlusten dem Lüfter zuzuleiten. Aus diesem Grund wird die Lüfterzarge auch möglichst nah am Kühler befestigt.

# Weitere Kühlungssysteme



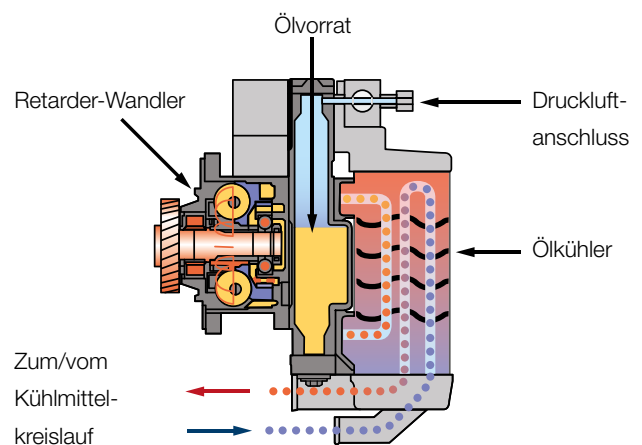
Ganz-Aluminium-Ölkühler für hydrodynamische Retarder

## Ölkühler für Motor, Getriebe und hydrodynamische Retarder

Die Kühlung sowie die schnellere Erwärmung von Motoröl und Getriebeöl (z. B. Automatikgetriebe, Retarder) wird durch ein- oder angebaute Kühler (Motor oder Getriebe) im Wasserkasten gewährleistet. Bauarten sind Rohr- oder Scheibenölkühler in Ganz-Aluminium- oder Stahlbauweise.

### Vorteile:

- Kühlung von thermisch hochbelasteten Ölen
- Ölwechselintervalle verlängern sich, die Lebensdauer des Motors wird erhöht
- Geringer Platz- und Gewichtsbedarf mittels Ganz-Aluminium
- Kompakte Bauart durch leistungsfähige Stapelscheiben mit großer Flächenkühlung



Retarder mit angebautem Ölkühler





Lenkhilfekühler

## Lenkhilfekühlung

Das Lenkhilfeöl muss auch gekühlt werden, da sonst der Wirkungsgrad der Lenkhilfe beeinträchtigt wird. Die Lenkung wird entweder zu schwer oder zu leichtgängig.

### Eigenschaften:

- Ganz-Aluminium mit Schnellkupplungsanschlüssen
- Druck mehr als 8 bar mit einer Öleintrittstemperatur von  $-40\text{ °C}$  bis  $+160\text{ °C}$
- Prüfdruck 20 bar mit einem Berstdruck von 50 bar



Kraftstoffkühler

## Kraftstoffkühlung

Die Kraftstoffkühlung findet vorwiegend bei Dieselmotoren Anwendung. Hier wird der Kraftstoff gekühlt, um die Eingangstemperatur bei Pumpedüse oder Commonrail zu senken. Ansonsten würde durch den hohen Druck die Kraftstofftemperatur übermäßig steigen. Eine übermäßige Steigerung der Kraftstofftemperatur beeinträchtigt die Motorleistung durch eine zu frühzeitige Verbrennung im Brennraum.



Ladeluftkühler

## Ladeluftkühlung

Die Trends zur Steigerung der Motorleistung und zum Downsizing führen bei Pkws zu einem zunehmenden Anteil aufgeladener Motoren, wobei die Aufladung heute grundsätzlich mit gekühlter Ladeluft erfolgt. Durch die damit erzielte höhere Ladeluftdichte steigen Leistung und Wirkungsgrad des Motors. Aber nicht nur der Anteil aufgeladener Motoren nimmt zu, sondern – bedingt durch weiterhin erforderliche Verbrauchs- und Emissionssenkungen – auch die Anforderungen an die Ladeluft-Kühlleistung. Diese können durch eine Kühlung der Ladeluft, mit Kühlmittel anstelle von Luft, erbracht werden. Wegen der Systemkosten war diese Technologie bislang jedoch dem oberen Pkw-Preissegment vorbehalten. Neue Entwicklungen lassen auch eine Regelung der Ladeluftkühlung zu. Dies erlaubt neben den  $\text{NO}_x$ - auch die HC-Emissionen zu senken und die Wirkung der Abgasnachbehandlung zu erhöhen. Neben der Erhöhung der Kühlleistung kommt eine weitere Anforderung auf die Ladeluftkühlung zu: die Temperierung der Motorprozessluft durch die Regelung der Ladeluftkühlung. Erforderlich wird die Temperierung durch die sich ständig erhöhenden Anforderungen an die Abgasnachbehandlung. Dabei kommt der Temperatur der Ladeluft eine wichtige Rolle zu. Damit bietet die Kühlung der Ladeluft mit Kühlmittel auch im Nkw entscheidende Vorteile.

### Arten:

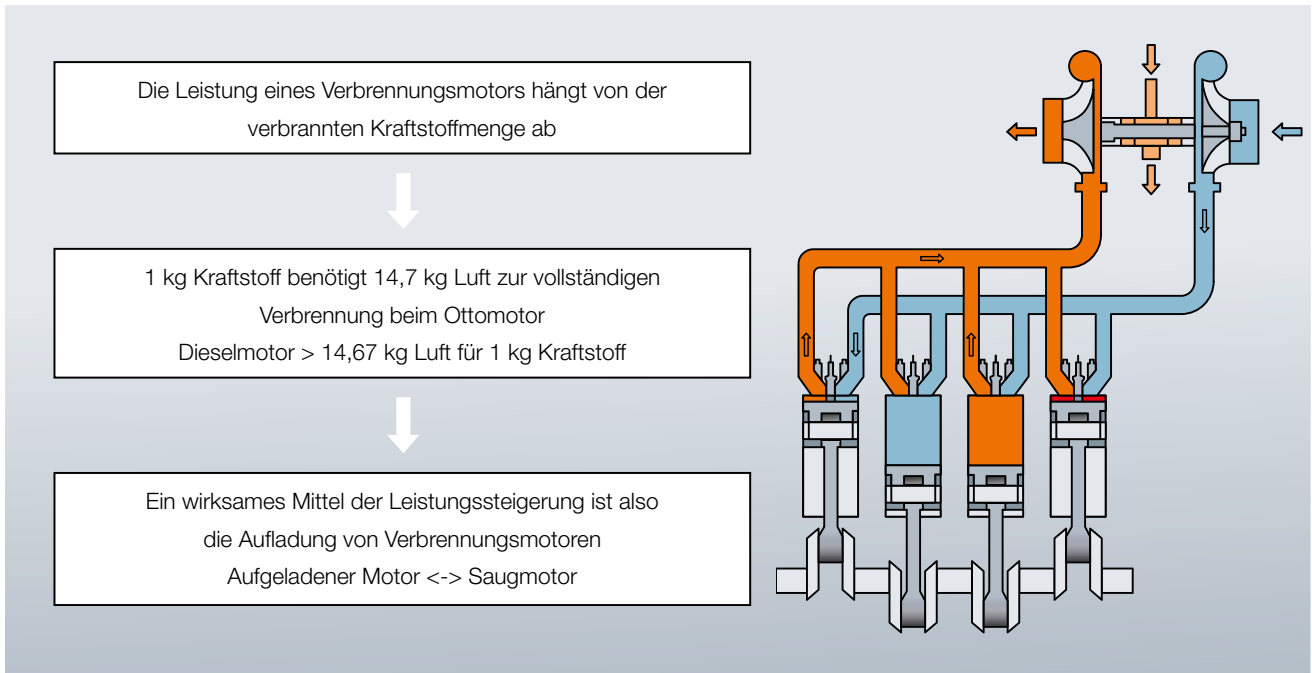
Luftgekühlt und kühlmittelgekühlt sowie direkt und indirekt.

### Aufgabe:

Leistungssteigerung des Motors durch Aufladung (mehr Verbrennungsluft, höherer Sauerstoffanteil).

### Eigenschaften:

- Erhöhte dynamische Kühlleistung
- Verbesserter Motorwirkungsgrad durch die Steigerung der Ladeluftdichte
- Abgesenkte Verbrennungstemperatur, dadurch verbesserte Abgaswerte
- Weniger Stickoxide von  $-40\text{ °C}$  bis  $+160\text{ °C}$
- Prüfdruck 20 bar mit einem Berstdruck von 50 bar



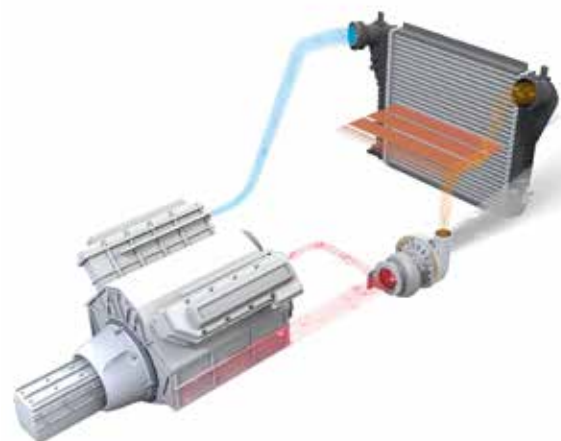
#### Abgasturboaufladung

#### Grundlagen: Abgasturboaufladung

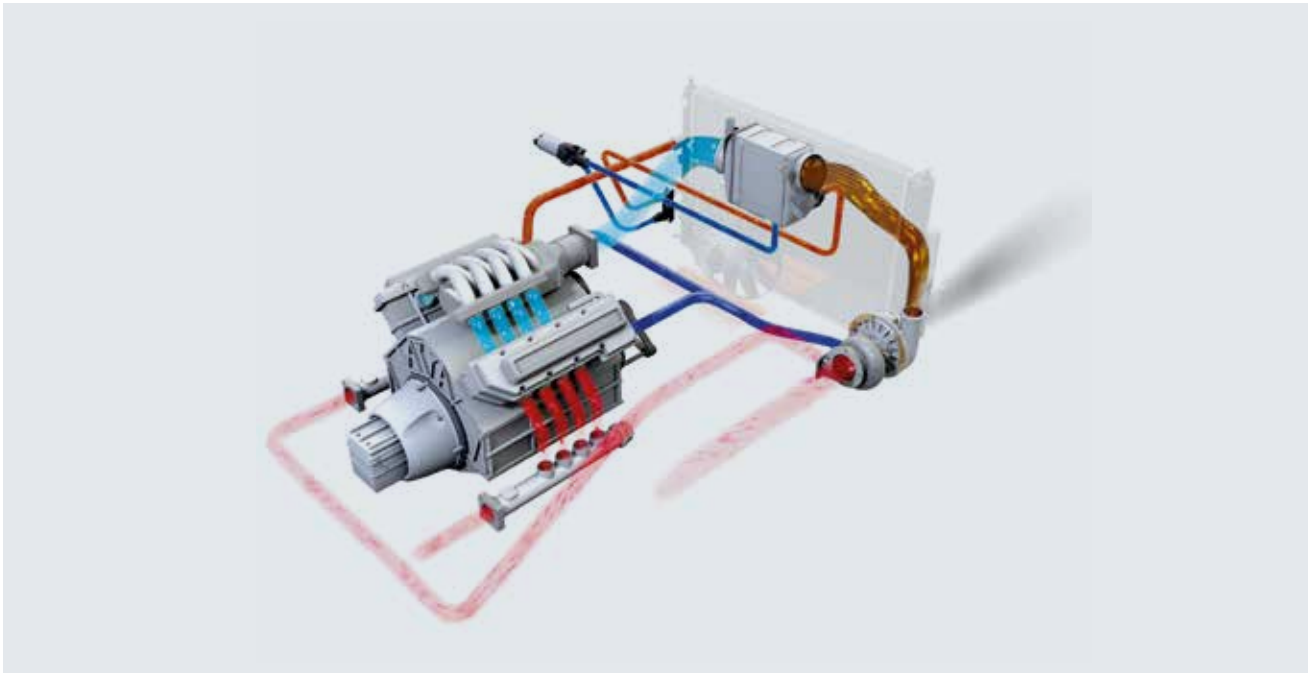
Die Leistung eines Verbrennungsmotors hängt von der verbrannten Kraftstoffmenge ab. 1 kg Kraftstoff benötigt 14,7 kg Luft zur vollständigen Verbrennung beim Ottomotor, das sogenannte stöchiometrische Verhältnis. Ein wirksames Mittel der Leistungssteigerung ist die Aufladung von Verbrennungsmotoren.

#### Anforderungen: Erhöhung der Kühlleistung

Bei Pkws trifft der steigende Bedarf an Kühlleistung auf zunehmende Beschränkungen des Bauraums im Vorderwagen. Heute dominieren noch kompakte Ladeluftkühler. Eine Lösung des Problems der geringen Bautiefe bietet die Vergrößerung des kompakten Ladeluftkühlers zu einem flächigen, vor dem Kühlmittelkühler montierten Ladeluftkühler, wie er bei schweren Nutzfahrzeugen Standard ist. Entsprechend nimmt die Verwendung dieser Bauform zu. Allerdings ist das in vielen Fahrzeugen nicht möglich, da der benötigte Bauraum bereits vergeben ist oder aufgrund anderer Anforderungen – wie dem Fußgängerschutz – nicht mehr zur Verfügung steht. Mit zwei neuen Systemen kann der Konflikt zwischen Bauraum und Leistungsbedarf gelöst werden: der Ladeluft-Vorkühlung und der indirekten Ladeluftkühlung.



Ladeluftführung bei direkter Ladeluft-/Luft-Kühlung (beispielhaft)

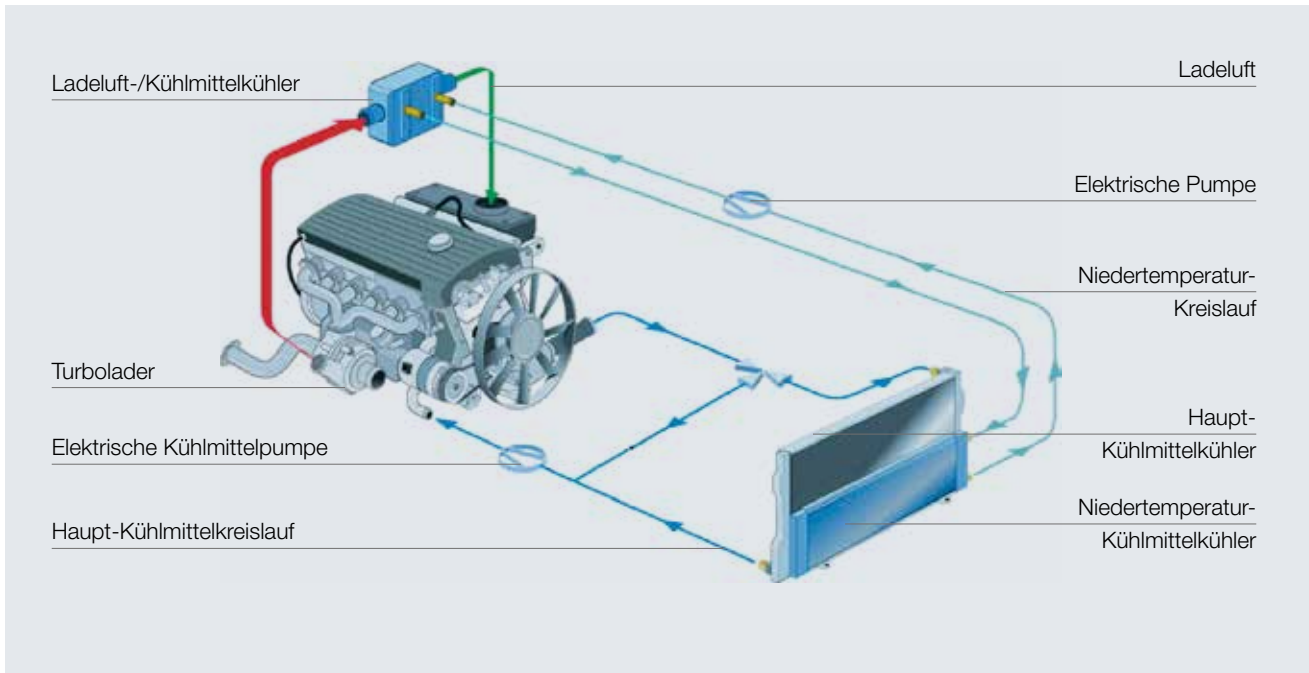


Ladeluftführung bei direkter Ladeluft-/Kühlmittel-Kühlung (beispielhaft)

## Ladeluft-Vorkühler

Durch den Einsatz des neuen Ladeluft-Vorkühlers, gespeist mit Kühlmittel aus dem Motorkreislauf, wird ein Teil der Ladeluft-Abwärme vom Ladeluftkühler zum Kühlmittelkühler verschoben. Da somit die zusätzliche Ladeluft-Abwärme, die infolge der Leistungssteigerung anfällt, durch den Vorkühler abgeführt wird, kann das Konzept eines blockförmigen Ladeluftkühlers beibehalten werden. Der Ladeluft-Vorkühler, ebenfalls ein Kompaktkühler, wird zwischen Turbolader und Ladeluft/Luftkühler platziert. Durch die Ladeluft-Vorkühlung lässt sich die Leistung eines bestehenden Konzeptes deutlich steigern. Das erforderliche Bauvolumen eines Ladeluft-/Kühlmittelkühlers liegt bei 40–60 % eines Ladeluft-/Luftkühlers.





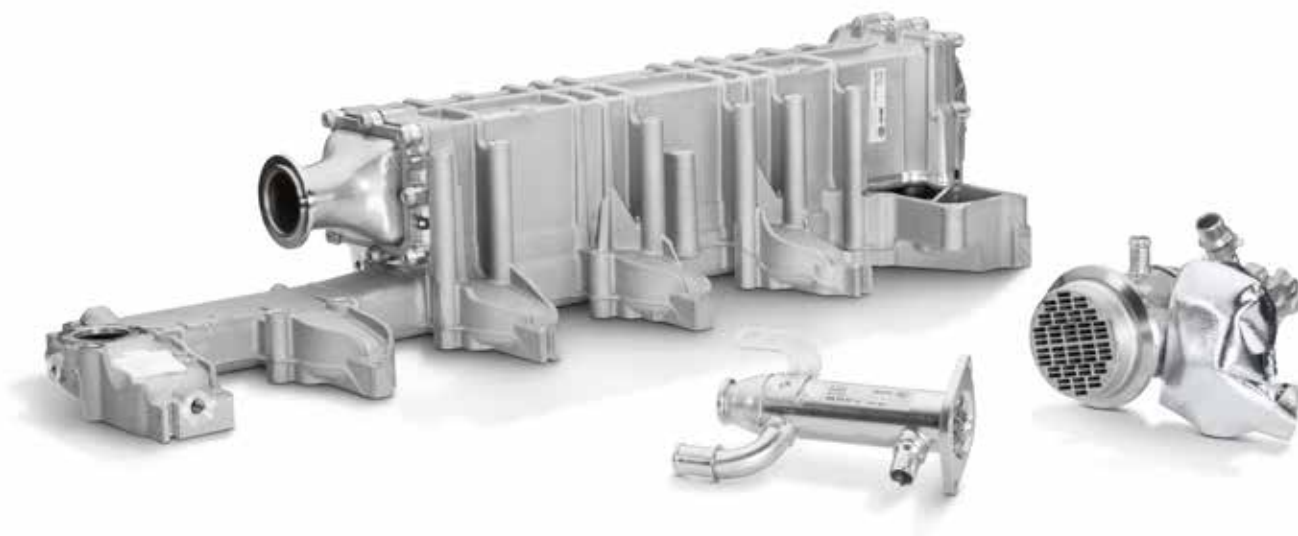
Kühlmittelkreislauf indirekte Ladeluftkühlung

## Indirekte Ladeluftkühlung

Die zweite Möglichkeit, den Konflikt zwischen Bauraum und Leistungsbedarf zu lösen, besteht im Einsatz der indirekten Ladeluftkühlung. Beim Pkw besteht dieses Kühlsystem in der Regel aus einem kompletten, vom Motorkühlkreislauf unabhängigen Kühlmittelkreislauf. Eingebunden in diesen Kreislauf sind ein Niedertemperatur-Kühlmittelkühler und ein Ladeluft-Kühlmittelkühler. Die Ladeluft-Abwärme wird zuerst auf das Kühlmittel übertragen und danach im Niedertemperatur-Kühlmittelkühler an die Umgebungsluft abgeführt. Dieser Kühler ist im Frontend des Fahrzeugs untergebracht, wo sich bei der herkömmlichen, luftgekühlten Ladeluftkühlung der Ladeluft-Luftkühler befindet. Da der Niedertemperatur-Kühler deutlich weniger Platz als ein vergleichbarer Ladeluft-Luftkühler benötigt, wird Raum im Frontend frei. Außerdem entfallen die voluminösen Ladeluftleitungen vom Fahrzeug-Frontend zum Motor. Insgesamt wird das Packaging im Frontend deutlich vereinfacht, was die Kühlluftströmung durch den Motorraum entsprechend verbessert.

**Im Vergleich zur Ladeluft-Vorkühlung (direkt) ergeben sich durch die indirekte Ladeluftkühlung folgende positive Effekte:**

- Deutlich reduzierter Ladeluft-Druckabfall
- Verbesserte Motordynamik durch geringeres Ladeluftvolumen
- Erhöhte dynamische Kühlleistung
- Verbesserter Motorwirkungsgrad durch Steigerung der Ladeluftdichte



AGR-Kühler verschiedene Bauarten

## Kühler für Abgasrückführung (AGR)

Eine Möglichkeit, die neuen Euro-6-Grenzwerte hinsichtlich Stickoxidausstoß ( $\text{NO}_x$ ) zu erreichen, ist die gekühlte Abgasrückführung (AGR). Dabei wird ein Teil des Hauptabgasstroms zwischen Abgaskrümmer und Turbolader entnommen, in einem speziellen Wärmetauscher (AGR-Kühler) gekühlt und der Ansaugluft wieder zugeführt. Dadurch sinkt die Verbrennungstemperatur im Motor und die Bildung von Stickoxiden wird reduziert.

Der AGR-Kühler besteht aus Edelstahl oder Aluminium und verfügt über mehrere Anschlüsse, durch welche heiße Abgase und Kühlmittel in den Kühler einströmen. Nachdem die Abgase im Kühler heruntergekühlt wurden, verlassen diese den Kühler und werden dosiert zum Ansaugsystem geleitet und somit dem Verbrennungsraum zugeführt. Dadurch vermindert sich der Stickoxidausstoß bereits vor dem Katalysator. Am AGR-Kühler sind pneumatische und/oder elektrische Aktuatoren verbaut. Diese übernehmen die Steuerung.

Der AGR-Kühler ist zwar kein klassisches Verschleißteil, dennoch können Defekte durch z. B. extreme Temperaturschwankungen oder fehlende bzw. aggressive Kühlmittelzusätze zu internen oder externen Undichtigkeiten führen. Des Weiteren ist ein Ausfall der Aktuatoren möglich.



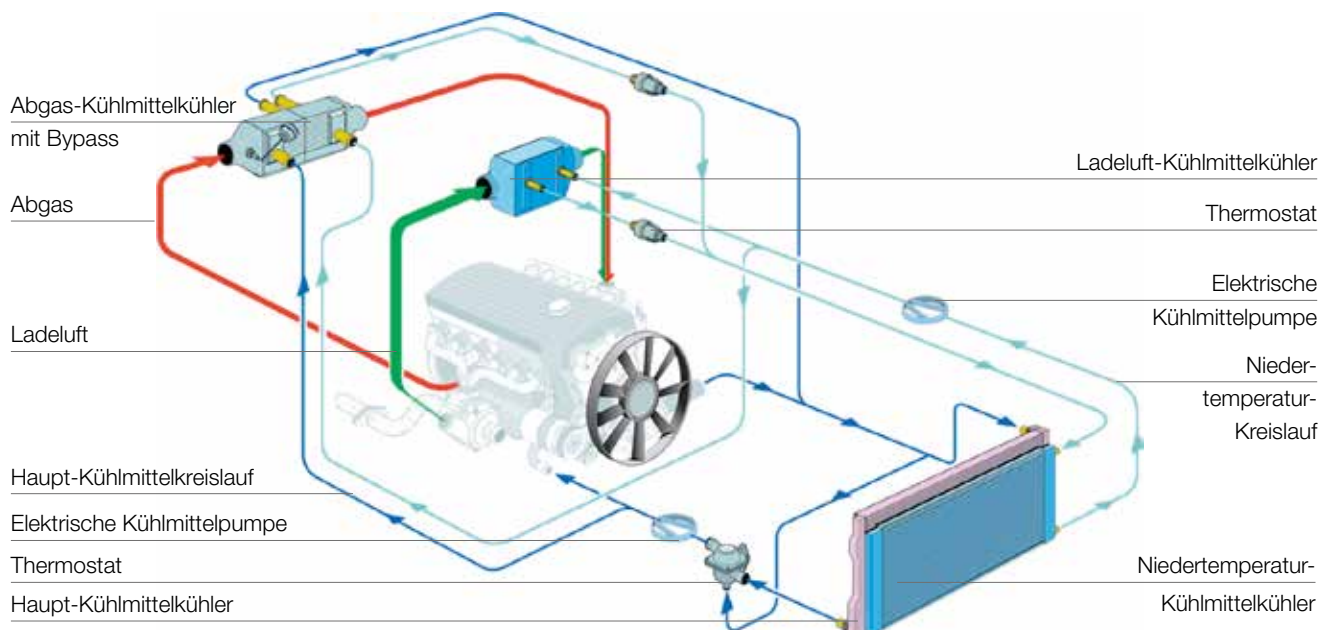
AGR-Kühler

# Ansaugluft und Temperaturmanagement

## Temperierung der Luft für den Verbrennungsvorgang im Motor

Nach einem Kaltstart und auch bei extrem niedrigen Außentemperaturen während der Fahrt ist es sinnvoll, die Ladeluftkühlung auszusetzen. Motor und Katalysator erreichen dann schneller ihre optimale Betriebstemperatur, wodurch weniger Kaltstart-Emissionen, hauptsächlich Kohlenwasserstoffe (HC), entstehen. Bei einem Ladeluft-Luftkühler ist dies nur mit großem Aufwand durch einen ladeluftseitigen Bypass möglich. Bei der indirekten Ladeluftkühlung hingegen kann durch eine einfache Regelung des Kühlmittel-Volumenstroms die Kühlung der Ladeluft nicht nur ausgesetzt, sondern auch ihre Temperatur geregelt werden. Durch eine Verknüpfung des Kühlmittelkreislafs für die Ladeluftkühlung mit dem für die Motorkühlung und eine intelligente Regelung der Kühlmitteldurchsätze, kann die indirekte Ladeluftkühlung zur Ladeluft-Temperierung ausgebaut werden. Der Ladeluftkühler kann dabei entweder vom heißen Kühlmittel des Motorkreislaufs oder vom vergleichsweise kälteren Kühlmittel des Niedertemperatur-Kreislaufes durchströmt werden.

Die Regelung der Ladeluft-Temperatur ist für die Abgasnachbehandlung durch Partikelfilter und Katalysatoren wichtig. Beide benötigen eine bestimmte Mindestabgastemperatur für einen optimalen Betrieb. Beim Katalysator ist diese Mindesttemperatur identisch mit seiner Anspringtemperatur, beim Partikelfilter mit der Regenerationstemperatur, die für eine Verbrennung des eingelagerten Rußes erforderlich ist. Im Teillastbetrieb des Fahrzeugs (Stadtverkehr, Stop-and-Go) werden diese Abgastemperaturen nicht immer erreicht. Auch in diesen Fällen können die Emissionen durch ein Aussetzen der Kühlung oder sogar eine Erwärmung der Ladeluft reduziert werden, denn in jedem Falle wird die Temperatur des Abgases dadurch erhöht. Beide Optionen sind am einfachsten durch die indirekte Ladeluftkühlung zu realisieren.



# Subsysteme des Ansaugluft-Temperatur- Managements (ATM)

## Indirekte Ladeluftkühlung

Durch die Ladeluftkühlung wird die Luftdichte im Zylinder erhöht und die Verbrennungstemperatur gesenkt. Beim ATM wird die Ladeluft nicht wie üblich durch Luft gekühlt, sondern durch ein flüssiges Kühlmittel, eine Wasser-Glykol-Mischung wie sie zur Motorkühlung verwendet wird. Die Ladeluft-Abwärme wird zuerst auf das Kühlmittel übertragen und danach in einem Niederdruck-Kühlmittelkühler an die Umgebungsluft abgeführt.

### Die Vorteile der indirekten Ladeluftkühlung:

- Höhere Kühlleistung als bei der herkömmlichen Ladeluft-Luftkühlung
- Größere Zylinderfüllungsrate infolge des geringeren Ladeluft-Druckverlustes
- Kürzere Ansprechzeit der Ladeluftkühlung durch die motornahe Platzierung des Ladeluftkühlers

## Gekühlte Abgasrückführung

Sie bewirkt eine Verringerung der Sauerstoffkonzentration im Zylinder, wodurch Temperatur und Geschwindigkeit der Verbrennung sinken. Das Ansaugluft-Temperatur-Management (ATM) ist sowohl für die Hochdruck- wie für die Niederdruck-Abgasrückführung geeignet. Bei der Hochdruck-Abgasrückführung wird das Abgas vor dem Turbolader entnommen, im Abgaskühler gekühlt und dann der Ladeluft zugemischt. Wenn die Ansauglufttemperatur zur Verbesserung der Abgasnachbehandlung angehoben werden soll, wird der Abgaskühler durch einen Bypass umgangen. Die Niederdruck-Abgasrückführung ist eine Option für die Zukunft. Dabei wird das Abgas nicht vor, wie bei der Hochdruck-Abgasrückführung, sondern nach dem Abgasturbolader und auch nach dem Partikelfilter entnommen. Danach wird es gekühlt und der Ladeluft vor dem Verdichter des Turboladers zugemischt.

## Ladeluft-Aufheizung

Die Ansaugluft kann beim ATM auf vierfache Weise angehoben werden: durch Aussetzen der Ladeluftkühlung oder der Abgaskühlung, durch beides zusammen sowie zusätzlich durch eine Beheizung der Ladeluft. Zur Beheizung wird ein heißer Kühlmittelteilstrom vom Motorkühlkreislauf abgezweigt und zum Ladeluftkühler geführt. Bei Tests mit einem 2-Liter-Diesel-Aggregat auf einem Motorprüfstand mit 2 bar effektivem Mitteldruck wurden die Abgastemperaturen nach der Turbine gemessen, die sich durch Variation der Ansaugluft-Temperaturen entsprechend den oben genannten Möglichkeiten ergaben. Durch das Aussetzen der Ladeluftkühlung ergab sich die geringste Abgas-Temperaturerhöhung: ca. 6 °C. Wurde die Ladeluft mit dem etwa 85 °C heißen Motorkühlmittel (Thermostattemperatur) beheizt, stieg die Abgastemperatur nach Turbine um ca. 16 °C. Das maximale Potenzial durch Beheizung dürfte bei 20 °C liegen. Der höchste Anstieg, von ca. 57 °C ergab sich durch das Aussetzen der Abgaskühlung (schaltbarer Abgaskühler). Wird dies mit der Beheizung der Ladeluft verbunden, kann die Abgastemperatur um über 70 °C angehoben werden. Bei einem effektiven Mitteldruck von 4 bar ist sogar eine Anhebung um etwa 110 °C möglich.

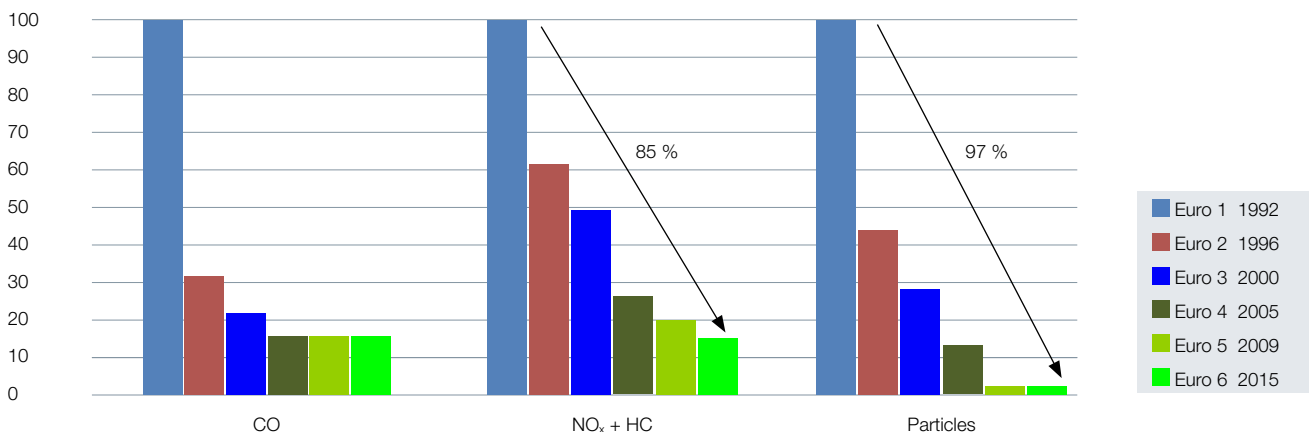


## Euro 6 und seine Bedeutung

Bei Diesel-Pkws erfordert Euro 6 gegenüber Euro 4 und Euro 5 eine weitere kräftige Senkung der Emissionen: bei Kohlenwasserstoffen (HC), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und bei Partikeln. Für diese Ziele wird die Temperierung der Motoransaugluft immer wichtiger. Das von MAHLE entwickelte Ansaugluft-Temperatur-Management (ATM) reduziert die Emissionen am Entstehungsort, unterstützt die Abgasnachbehandlung und erleichtert die Regeneration des Partikelfilters. Außerdem wird durch Synergien zwischen den Subsystemen des ATM weniger installierte Kühlleistung als für heutige Systeme benötigt und somit Kraftstoff und Bauraum gespart.

ment (ATM) reduziert die Emissionen am Entstehungsort, unterstützt die Abgasnachbehandlung und erleichtert die Regeneration des Partikelfilters. Außerdem wird durch Synergien zwischen den Subsystemen des ATM weniger installierte Kühlleistung als für heutige Systeme benötigt und somit Kraftstoff und Bauraum gespart.

### Abgas-Emission Diesel-Pkw



## Funktionsprinzip des Ansaugluft-Temperatur-Managements (ATM)

Das ATM besteht aus drei Subsystemen: der indirekten Ladeluftkühlung, der gekühlten Abgasrückführung und der Motorkühlung. Diese Subsysteme werden so miteinander verknüpft und geregelt, dass die Ansaugluft gekühlt und beheizt, sowie die Verbrennungstemperatur angehoben und gesenkt werden kann. Die Temperatur-Absenkung erfolgt durch die Kühlung von Ladeluft und Abgasen sowie dadurch, dass der Ladeluft so viel Abgase wie nach dem Lastzustand des Motors möglich beigemischt werden und die Sauerstoffkonzentration im Zylinder entsprechend vermindert wird. Zur Erhöhung der Verbrennungstemperatur werden Ladeluft- und Abgaskühlung ausgesetzt, zusätzlich kann die Ladeluft beheizt werden.

## Senkung der Emissionen

NO<sub>x</sub>: Da die NO<sub>x</sub>-Bildung exponentiell von der Verbrennungstemperatur abhängt, hat ihre Senkung eine starke NO<sub>x</sub>-Minderung zur Folge: je 10 °C Temperatursenkung um etwa 10 %; der Kraftstoffverbrauch sinkt dabei um 0,5–1 %. HC und CO: Beim Kaltstart ist die Verbrennungstemperatur meist noch niedrig, die Verbrennung unvollständig, die HC- und CO-Bildung deshalb hoch. Da der Oxidationskatalysator in dieser Phase seine Betriebstemperatur noch nicht erreicht hat, kommt es zu Emissionen. In bestimmten Situationen (Stadtverkehr im Winter, Stop-and-Go) können Verbrennungs- und Katalysatortemperatur auch im normalen Fahrbetrieb so weit absinken, dass HC- und CO-Emissionen auftreten. In beiden Fällen reduziert die schnelle Anhebung der Verbrennungs- und damit der Abgastemperatur durch das ATM die Entstehung von HC und CO und fördert deren Umwandlung im Katalysator. Die Temperaturanhebung erfolgt durch ein Aussetzen der Abgaskühlung. Zu diesem Zweck ist der Abgaskühler mit einem integrierten Bypass und einer Schaltklappe ausgestattet. Durch Messungen auf einem Rollenprüfstand an einem turboaufgeladenen 1,9-Liter-Dieselmotor wurde eine etwa 30-prozentige Senkung der HC- und CO-Emissionen beim Kaltstart ermittelt.

## Regeneration des Partikelfilters

Wenn der Partikelfilter voll ist, muss der eingelagerte Ruß verbrannt werden. Auch dazu wird die Abgastemperatur, die meistens unter der Rußzündtemperatur von 550 °C liegt, durch das ATM angehoben. Die Rußverbrennung kann aber auch durch eine Senkung der Rußzündtemperatur eingeleitet werden, z. B.

durch ein Kraftstoffadditiv. Eine Kombination beider Verfahren, Anhebung der Abgastemperatur und Senkung der Rußzündtemperatur, hat Vorteile: die Additivmenge kann reduziert, das Zugesystem vereinfacht werden. Wird die Temperatur-Anhebung durch das ATM jedoch mit einer Nacheinspritzung verbunden, ist ein zusätzliches System für die Filterregeneration meist nicht erforderlich.

## Energie-Einsparung

Im Ladeluft- und Abgaskühler fallen je nach Motorlast unterschiedliche Wärmemengen an. Bei Teillast, bei der die Abgasrückführrate über 50 % betragen kann, wird mehr Kühlmittel im Abgaskühler als im Ladeluftkühler benötigt. Bei einigen Teillastpunkten, z. B. 50 km/h in der Ebene, kann komplett auf die

Ladeluftkühlung verzichtet und die komplette Kühlleistung dem Abgaskühler zur Verfügung gestellt werden. Bei Vollast hingegen muss praktisch die ganze Kühlleistung für die Ladeluftkühlung verwendet werden. Durch eine solche bedarfsgerechte Verteilung der Kühlmittelströme können installierte Kühlleistung und Bauraum beträchtlich verringert werden, die Kühlerstirnfläche z. B. um bis zu 10 %.

## Batterie-Temperatur-Management Hybridfahrzeuge

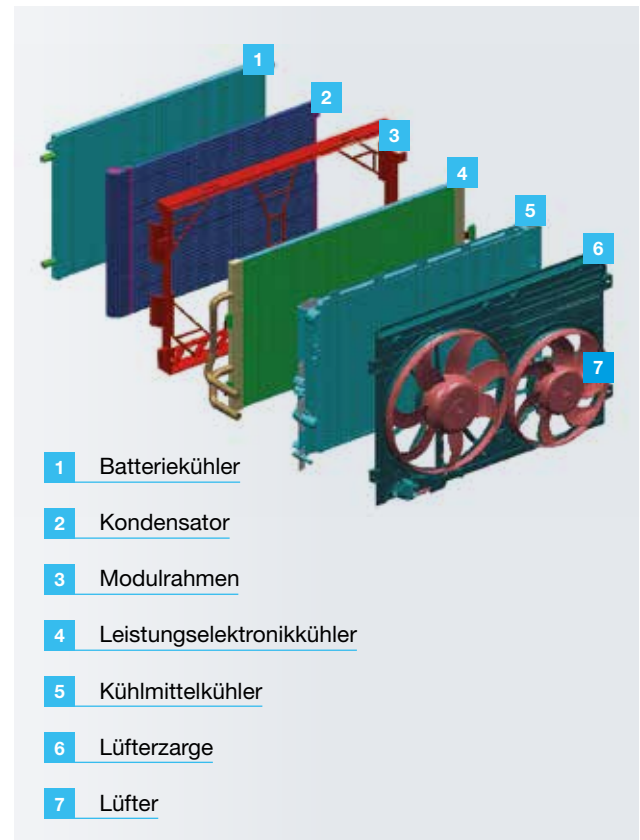
Bei Batterien mit größerer Kapazität spielt die richtige Temperierung eine zentrale Rolle. Daher ist bei sehr niedrigen Temperaturen eine zusätzliche Beheizung der Batterie notwendig, um sie in den idealen Temperaturbereich zu bringen. Nur in diesem Bereich kann eine zufriedenstellende Reichweite im Modus „Elektrisches Fahren“ erreicht werden.

Um diese zusätzliche Beheizung durchzuführen, wird die Batterie in einen Sekundärkreislauf eingebunden. Dieser Kreislauf stellt sicher, dass die ideale Betriebstemperatur von 15° C–30° C dauerhaft gehalten wird.

Im Batterieblock wird eine eingebaute Kühlplatte mit Kühlmittel durchflossen, das sich aus Wasser und Glycol zusammensetzt (grüner Kreislauf). Bei niedrigen Temperaturen kann das Kühlmittel über eine Heizung schnell aufgeheizt werden, um die Idealtemperatur zu erreichen. Kommt es während der Benutzung der Hybridfunktionen zu einem Temperaturanstieg in der Batterie, wird die Heizung abgeschaltet. Das Kühlmittel kann dann durch den sich in der Fahrzeugfront befindlichen Batterie Kühler mittels Fahrtwind gekühlt werden.

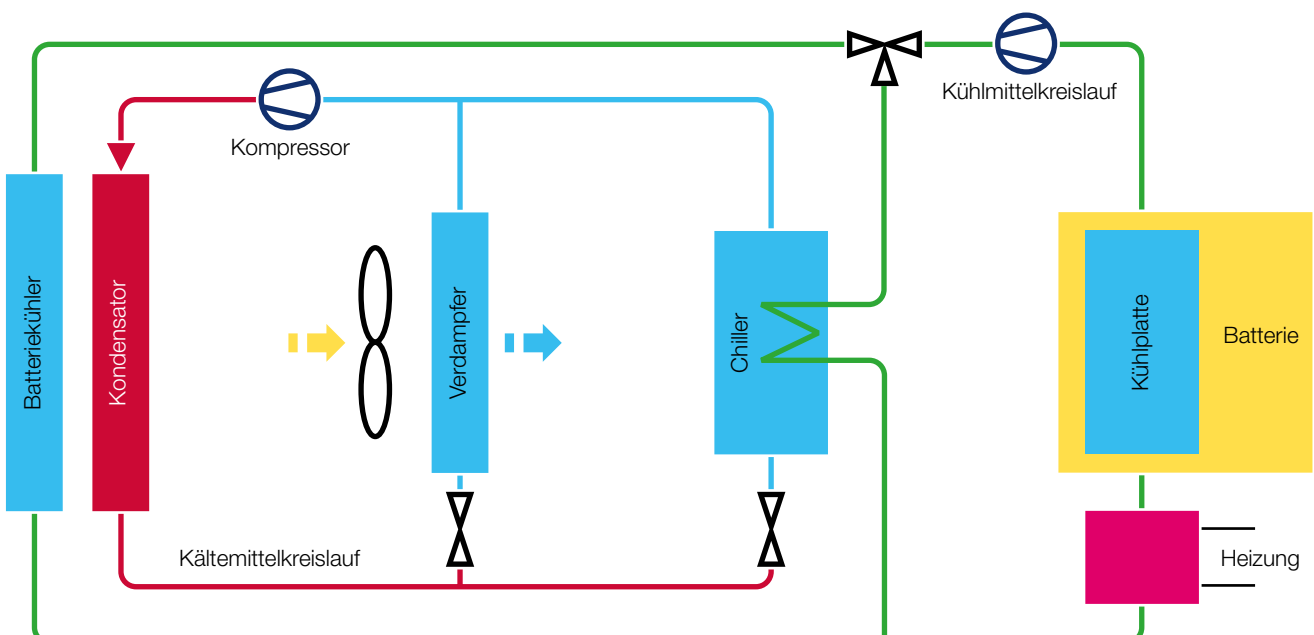
Reicht die Kühlung durch den Batterie Kühler bei hohen Außentemperaturen nicht aus, durchströmt das Kühlmittel einen Chiller bzw. speziellen Wärmetauscher. In diesem wird Kältemittel der Fahrzeugklimaanlage verdampft. Außerdem kann Wärme sehr

kompakt und mit hoher Leistungsdichte aus dem Sekundärkreislauf auf das verdampfende Kältemittel übertragen werden. Es erfolgt eine zusätzliche Rückkühlung des Kühlmittels. Durch den Einsatz des Chillers kann die Batterie im wirkungsgradoptimalen Temperaturfenster betrieben werden.



Kühlungsmodul Hybridfahrzeug

### Kühl- und kältemittelbasierender Kreislauf (bzw. indirekte Batterie kühlung)



# PTC-Zuheizer



Durch den hohen Wirkungsgrad moderner Direkteinspritzer, Diesel- und Ottomotoren (Direct-Injection-Motoren), reicht die Motor-Abwärme an kalten Tagen oft weder für eine schnelle Aufheizung des Innenraums aus, noch für komfortable Temperaturen bei Stadtfahrten und bei Stop-and-Go-Verkehr. Auch die Fahrsicherheit wird beeinträchtigt, denn die Scheiben können beschlagen. Zur Beseitigung des Heizleistungsdefizits entwickelt MAHLE drei Arten von Zuheizern: elektrische PTC-Zuheizer und CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen für die spontane Aufheizung der Zuluft sowie Abgaswärmeübertrager für die schnellere Aufheizung des Kühlmittels. Durch die Kühlmittel-Aufheizung werden Leistung und Spontaneität der konventionellen Heizung erhöht, außerdem wird die Motor-Kaltstartphase verkürzt. Die Wärmepumpen arbeiten auf Basis der neuen CO<sub>2</sub>-Klimaanlage. Mit den genannten Zuheizern können nationale und internationale

Normen problemlos eingehalten werden. PTC-Elemente gehören zu den nichtlinearen Keramik-Widerständen. PTC steht für Positive Temperature Coefficient, d. h., der elektrische Widerstand steigt mit der Temperatur des Elementes. Ganz genau stimmt das aber nicht, denn zunächst sinkt er mit steigender Temperatur. Die Widerstandskennlinie hat in diesem Bereich eine negative Temperaturcharakteristik. Erst wenn der minimale Widerstand erreicht ist, ändert sich die negative in eine positive Temperaturcharakteristik. Das bedeutet, mit weiter steigender Temperatur sinkt der Widerstand zuerst langsam, ab etwa 80 °C nimmt er dann stark zu, und zwar so lange bis der PTC-Stein praktisch keinen zusätzlichen Strom mehr aufnimmt. An diesem Punkt beträgt die Oberflächentemperatur des PTC-Steins, wenn keine Luft durch den PTC-Heizer strömt, etwa 150 °C, die des Metallrahmens ca. 110 °C.



## Aufbau und Funktionsweise

Der PTC-Heizer besteht aus mehreren Heizelementen, einem Befestigungsrahmen, einem Isolationsrahmen und den Relais oder der Leistungselektronik. Die Heizelemente setzen sich zusammen aus PTC-Keramiksteinen, Kontaktblechen, Anschlüssen und Aluminium-Wellrippen. Die Wellrippen vergrößern die wärmeabgebende Oberfläche der Kontaktbleche. Zur Steigerung des luftseitigen Wärmeübergangs sind die Wellrippen mit Schlitzfenstern versehen, den Kiemen. Durch den verbesserten Wärmeübergang kann die Einschaltstrom-Überhöhung gegenüber Zuheizern mit unbekiemten Wellrippen deutlich verringert werden. Das hat den Vorteil, dass einzelne PTC-Stränge öfter zugeschaltet werden können. Der Heizer kann deshalb mit insgesamt höherer Leistung betrieben werden. Das Produktions-Know-how für die Bekiemung stammt aus der Kühlerfertigung. Der Zuheizern ist in der Klimaanlage im Luftstrom direkt hinter dem konventionellen Wärmetauscher, einem Kühlmittel-Luft-Wärmetauscher, angeordnet.

Dadurch wird der Bauraumbedarf auf ein Minimum beschränkt. Bei niedrigen Außentemperaturen und kaltem Motor wird der PTC-Heizer zunächst nur von kalter oder vom Wärmetauscher leicht erwärmter Luft durchströmt. Temperatur und Widerstand der Heizelemente sind niedrig, die Heizleistung dagegen ist hoch. Mit dem Ansprechen der konventionellen Heizung steigen Lufttemperatur und Widerstand, entsprechend sinkt die Heizleistung. Bei einer Oberflächentemperatur eines PTC-Heizers, durchströmt mit 25 °C warmer Luft, wird ein Volumenstrom von 480 kg Luft pro Stunde erreicht. Das Heizungsnetz nimmt bei dieser Lufttemperatur eine Durchschnittstemperatur von 50 °C an.

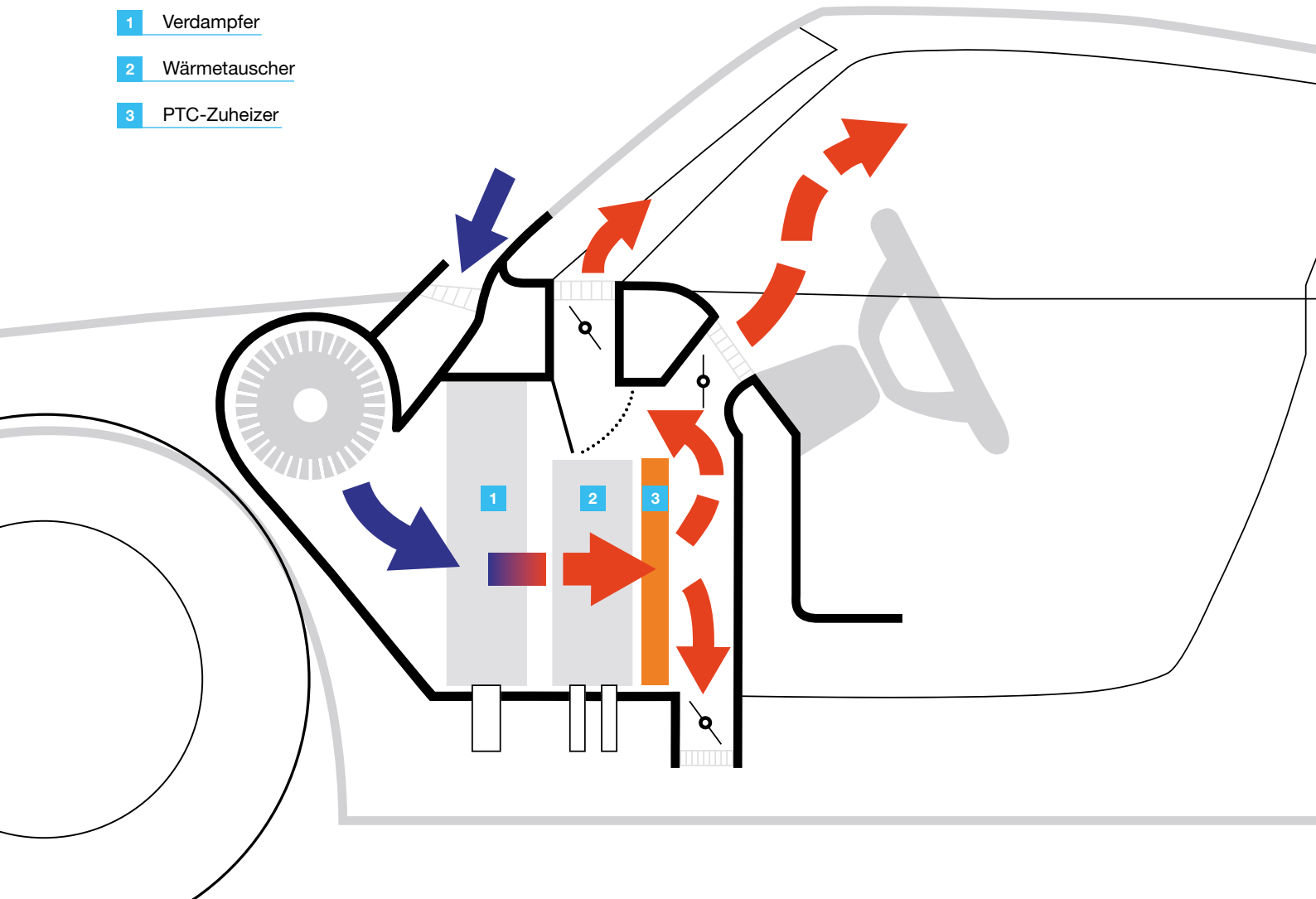
## Leistung und Spontaneität

Der Nennwiderstand des PTC-Steins kann verschieden gewählt werden. Dementsprechend ändern sich Stromaufnahme und Leistung. Ein niedriger Nennwiderstand lässt im Betrieb eine hohe Heizleistung zu. Die Leistung der PTC-Heizungen liegt zwischen 1 und 2 kW. Mit 2 kW ist die Leistungsgrenze des 12-V-Netzes (150 A bei 13 V) erreicht. Bei einem 42-V-Bordnetz wären höhere Leistungen möglich. Durch die geringe Masse und dadurch, dass die elektrisch erzeugte Wärme ohne Umwege direkt an den Luftstrom abgegeben wird, spricht die PTC-Heizung praktisch sofort an. Diese hohe Spontaneität ist das kennzeichnende Merkmal des PTC-Zuheizers. Da außerdem der Motor, infolge der zusätzlichen Belastung des Generators, schneller auf Betriebstemperatur kommt, spricht auch die konventionelle Heizung schneller an. Diese zusätzliche Heizleistung beträgt etwa zwei Drittel der Leistung des PTC-Heizers. Praktisch kann diese Heizleistung der PTC-Heizung zugerechnet werden. Die Leistung des PTC-Heizers des Modells 220 CDI der E-Klasse beträgt 1,6 kW. Der PTC-Heizer ist direkt nach dem konventionellen Wärmetauscher in dem Heizungs-Klimamodul integriert.

## Versuchsbeispiel

Das Fahrzeug wurde über Nacht auf  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  Ölsumpftemperatur heruntergekühlt. Danach wurde es im Klimawindkanal 30 Minuten im 3. Gang mit einer Geschwindigkeit von 32 km/h gefahren, was für den Stadtverkehr eine realistische mittlere Geschwindigkeit ist. Nach 20 Minuten erreichte die Durchschnittstemperatur mit PTC-Heizer in der Kabine  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ohne warenes nur  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die „Wohlfühltemperatur“ von  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde mit PTC-Heizer nach 30 Minuten, ohne erst nach über 50 Minuten erreicht.

- 1 Verdampfer
- 2 Wärmetauscher
- 3 PTC-Zuheizer



## Betriebssicherheit

Durch die charakteristische Widerstandskurve der PTC-Steine wird verhindert, dass sich die PTC-Heizung überhitzt. Die Temperatur der Oberfläche des Metallrahmens liegt stets unter 110 °C. Zudem wird bei höheren Ausblastemperaturen des Wärmetau-

schers die Leistung der PTC-Heizung zurückgenommen. Durch eine Leistungselektronik lässt sich die PTC-Heizung in mehreren Stufen bzw. stufenlos regeln, so dass sie der benötigten Heizleistung oder der zur Verfügung stehenden elektrischen Leistung angepasst werden kann.

## Ansteuerung

Die Ansteuerung des PTC-Heizers erfolgt entweder extern mit Relais oder durch eine integrierte Regelung mit Leistungselektronik. Bei der Relais-Ansteuerung legt der Fahrzeughersteller fest, welche und wie viele Stufen zugeschaltet werden. Bei der im Zuheizter integrierten Regelung wird zwischen minimaler und hoher Funktionalität unterschieden. Bei minimaler Funktionalität werden die Stufen einzeln zugeschaltet. Die Leistungselektronik schützt den Zuheizter gegen Überspannung, Kurzschluss und Verpolung. Eine Diagnosemöglichkeit ist bei dieser Regelung nicht vorgesehen. Bei der gestuften Regelung sind bis zu acht Stufen möglich. Bei dem in der E-Klasse eingesetzten PTC-Zuheizter sind es sieben Stufen. Die Ansteuerung erfolgt in Abhängigkeit von Stromhaushalt und Zuheizbedarf, d. h. dem gewünschten thermischen Komfort. Bei der Regelung mit hoher Funktionalität erfolgt die Ansteuerung der Leistungselektronik z. B. stufenlos durch den fahrzeugseitigen LIN- oder CAN-Bus.

Dadurch kann der Strom, den das Bordnetz in jeder Situation zur Verfügung stellt, stets optimal für die Zuheizung ausgenutzt werden. Zusätzlich zur Sicherheit gegen Überspannung, Kurzschluss und Verpolung enthält die Leistungselektronik mit hoher Funktionalität einen Überstromschutz pro Stufe, einen Schutz der Leiterplatte gegen Überhitzung und eine Spannungsüberwachung. Die Regelung mit hoher Funktionalität ist durch einen EPROM diagnosefähig und erlaubt damit die Hinterlegung der Varianten (EPROM = Erasable Programmable Read Only Memory; ein programmierbarer Nur-Lese-Speicher, dessen Inhalt wieder gelöscht werden kann).

## Neuentwicklung

Die neue Generation von PTC-Zuheizern unterscheidet sich von den vorherigen durch ein niedrigeres Gewicht, einen geringeren Druckabfall (senkt die Gebläseleistung) und niedrigere Herstellkosten.

### Technische Eigenschaften:

- Elektrische Zuheizung; Leistung 1–2 kW
- Wärmequelle: selbstregelnde PTC-Keramiksteine, max. Temperatur an der Oberfläche der Keramik 150 °C, wenn keine Luft das Heiznetz durchströmt
- Ausgezeichnete Wärmeübertragung durch Wellrippen-Technologie bei geringem Druckverlust in der Zuluft

- Gestufte oder lineare Ansteuerung über Relais oder Steuerungselektronik
- Hohe Spontaneität und hoher Wirkungsgrad
- Aufbau im Baukastensystem ermöglicht optimale Anpassung an den vorhandenen Bauraum im Fahrzeug
- Absolut betriebssicher, keine Gefährdung von benachbarten Bauteilen durch inhärente Temperaturbegrenzung (PTC-Charakteristik)
- Aufgrund des niedrigen Druckverlustes nur geringe Erhöhung der erforderlichen Gebläseleistung

# Diagnose, Wartung und Reparatur



Kühlmittel gebraucht/neu

## Kühlmittel, Frostschutz und Korrosionsschutz

Kühlmittel ist der Oberbegriff für die sich im Kühlsystem befindliche Kühlflüssigkeit. Kühlmittel schützt vor Frost, Rost, Überhitzung und schmiert. Es hat die Aufgabe, die Motorwärme aufzunehmen und über den Kühler abzuführen.

Das Kühlmittel ist ein Gemisch aus Wasser und Frostschutz (Glykol/Ethanol), das mit diversen Additiven (Bitterstoffe, Silikat, Antioxidanten, Schaumverhütern) versehen und eingefärbt ist. Bitterstoffe sollen verhindern, dass das Kühlmittel versehentlich getrunken wird. Silikate bilden eine Schutzschicht auf den Metalloberflächen und verhindern u. a. Kalkablagerungen. Antioxidanten vermeiden die Korrosion von Bauteilen. Schaumverhüter unterdrücken das Aufschäumen des Kühlmittels. Glykol hält Schläuche und Dichtungen geschmeidig und hebt den Siedepunkt des Kühlmittels an.

Das Mischungsverhältnis Wasser/Frostschutz sollte bei 60:40 bis 50:50 liegen. Dies entspricht in der Regel einem Frostschutz von  $-25\text{ °C}$  bis  $-40\text{ °C}$ . Das minimale Mischungsverhältnis sollte 70:30 und das maximale Mischungsverhältnis 40:60 betragen. Durch weitere Erhöhung des Frostschutzanteils (z. B. 30:70) ist keine Absenkung des Gefrierpunktes mehr zu erzielen. Im Gegenteil, ein unverdünnt eingesetztes Frostschutzmittel gefriert bereits bei ca.  $-13\text{ °C}$  und leitet bei Temperaturen von über  $0\text{ °C}$  nicht genügend Motorwärme ab. Der Motor würde somit

überhitzt. Da Glykol einen sehr hohen Siedepunkt aufweist, kann durch das richtige Mischungsverhältnis der Siedepunkt des Kühlmittels auf bis zu  $135\text{ °C}$  erhöht werden. Darum ist auch in warmen Ländern ein ausreichender Frostschutzanteil wichtig. Es ist immer der Herstellerempfehlung zu folgen, eine typische Zusammensetzung könnte 40/60 % oder 50/50 % mit der Nutzung von inhibiertem Wasser (Trinkwasser-Qualität) sein.

Das Kühlmittel bzw. dessen Zusätze unterliegen einem gewissen Verschleiß, d. h., ein Teil der Additive wird im Laufe der Jahre verbraucht. Sind z. B. die Korrosionsschutz-Additive aufgebraucht, kommt es zu einer Braunfärbung des Kühlmittels. Aus diesem Grund schreiben einige Fahrzeughersteller ein Wechselintervall des Kühlmittels vor. Allerdings werden die Kühlsysteme neuerer Fahrzeuge immer öfter mit sogenannten Long-Life-Kühlmitteln (z. B. VW G12++/G13) befüllt. Unter normalen Umständen (wenn keine Verunreinigung vorliegt) ist kein Kühlmittelwechsel mehr erforderlich (VW) oder aber erst nach 15 Jahren bzw. 250.000 km (neuere Mercedes-Modelle). Generell sollte das Kühlmittel bei Verunreinigungen (Öl, Korrosion) und bei Fahrzeugen, die nicht mit Long-Life-Kühlmitteln befüllt sind, gewechselt werden. Hinsichtlich Spezifikationen, Wechselintervall, Mischungsverhältnis und Mischbarkeit von Frostschutzmitteln sind unbedingt die Angaben der Fahrzeughersteller zu beachten.

Kühlmittel darf nicht in das Grundwasser gelangen oder über den Ölabscheider abgeleitet werden. Es ist gesondert aufzufangen und zu entsorgen.



## Kühler-Wartung

Eine Reinigung mit dem Dampfstrahler mit geringem Druck (von innen nach außen) ist möglich, wie bei Kondensatoren. Ebenso kann zur Reinigung von außen reduzierte Druckluft verwendet werden.

### Spülen des Kühlsystems

Bei Verunreinigungen des Kühlmittels muss das Kühlmittel abgelassen und das Kühlsystem gespült werden.

#### Verunreinigungen können sein:

- Öl (defekte Zylinderkopfdichtung)
- Rost (Innenkorrosion Motor)
- Aluminium (Innenkorrosion Kühler)
- Fremdstoffe (Zusätze/Dichtungsmittel)
- Fremdpartikel (defekte Kühlmittelpumpe)

Je nach Verschmutzungsgrad ist das Kühlsystem mit warmem Wasser oder auch mit einer speziellen Spülflüssigkeit zu reinigen. Je nach Fahrzeughersteller und Symptom gibt es verschiedene Vorgehensweisen zum Spülen. So gibt Audi bei einer rostbraunen Verfärbung des Kühlmittels und einer Beanstandung der Heizleistung das Spülen mit einer speziellen Spülflüssigkeit vor. Bei dem mehrfachen Spülvorgang muss das Thermostat ausgebaut und die Heizleistung vor und nach dem Spülen gemessen werden. Opel weist z. B. bei den Modellen Corsa B, Vectra B und Omega B bis Modelljahr 1997 darauf hin, dass ein sich zugesetzter Kühler möglicherweise die Ursache für eine zu hohe

Motortemperatur ist. In diesem Fall soll mit warmem Wasser (> 50 °C) gespült und neben dem Kühler auch noch alle kühlmittelführenden Teile (Wärmetauscher, Zylinderkopf usw.) erneuert werden. Der Grad der Verunreinigung und die Vorgaben der Fahrzeughersteller geben somit das Verfahren und eingesetzte Spülmedium vor. Beachtet werden sollte auf jeden Fall, dass sich aufgrund ihrer Bauweise (z. B. Flachrohr) bei modernen Kühlsystemen nicht mehr alle Bauteile spülen lassen und somit ausgetauscht werden müssen.

#### Dies trifft insbesondere für folgende Bauteile zu:

- Thermostat
- Kühler
- Elektrische Ventile
- Verschlussdeckel
- Wärmetauscher

Ist der Kühlmittelstand im Ausgleichsbehälter aufgrund der Verschmutzung (Öl, Rost) nicht mehr zu erkennen, muss der Behälter ebenfalls ersetzt werden. Das Thermostat und der Verschlussdeckel sollten grundsätzlich erneuert werden. Bei der Verwendung von speziellen Kühlsystemreinigern ist darauf zu achten, dass diese keine Dichtungsmaterialien angreifen und nicht ins Grundwasser gelangen bzw. nicht über den Ölabscheider abgeführt werden. Die Reinigungsmittel müssen zusammen mit dem Kühlmittel aufgefangen und gesondert entsorgt werden. Nach dem Spülen ist das System nach Fahrzeugherstellerangabe neu mit Kühlmittel (Spezifikation, Mischungsverhältnis beachten) zu befüllen, zu entlüften und auf Funktion und Dichtigkeit zu überprüfen.

## Entlüftung des Systems bei Befüllung

Lufteinschlüsse im Kühlsystem von Kraftfahrzeugen sind mittlerweile ein weitverbreitetes Problem. Verursacht werden diese „Luftblasen“ durch die Positionierung des Kühlers bzw. Ausdehnungsgefäßes auf dem Niveau des Fahrzeugmotors oder gar unter diesem. Somit kann das vollständige Entlüften des Kühlsystems nach einer erfolgten Reparatur oder beim Austausch des Kühlmittels ein ernsthaftes Problem darstellen. Im Kühlsystem verbliebene Luft verringert deutlich die Zirkulation des Kühlmittels und kann zur Überhitzung des Motors und daraus resultierenden kapitalen Schäden führen. Abhilfe schafft hier ein spezielles Befüll- und Entlüftungswerkzeug.

### Hiermit kann man:

- Luftblasen beseitigen
- Nach undichten Stellen suchen
- Eine rasche Wiederauffüllung des Kühlsystems durchführen

Airlift wird an den Kühler oder das Ausdehnungsgefäß mittels beiliegender Adapter angeschlossen. Danach schließen Sie einen Druckluftschlauch an, mit dem Sie sonst Ihr Druckluftwerkzeug betreiben. Über ein Spezialventil wird nun das Kühlsystem evakuiert und ein hoher Unterdruck erzeugt. Anschließend wird der beiliegende Saugschlauch angeschlossen und über einen sauberen Kühlmittelbehälter (Eimer, Kanne) das frische Wasser-Frostschutz-Gemisch aufgefüllt. Mit Hilfe des Manometers, das am Airlift den Unterdruck misst, kann gleichzeitig auch die Dichtigkeit des ganzen Systems überprüft werden.

## Überprüfung des Kühlsystems mittels Druck- und Druckabfall- prüfung

Zur Überprüfung des Kühlsystems hinsichtlich Undichtigkeiten empfiehlt sich die Verwendung eines Druckprüfgerätes. Mit Hilfe einer Handpumpe wird das Kühlsystem unter Druck gesetzt. Durch Beobachten des Druckmanometers kann bei einem Druckabfall auf eine Undichtigkeit des Kühlsystems geschlossen werden. Durch Universal- oder fahrzeugspezifische Adapter lässt sich die Pumpe über einen Schnellverschluss an fast alle gängigen Nkws, Pkws, Land- und Baumaschinen adaptieren. Für schwer auffindbare Leckagen kann das Kühlsystem vorab mit einem Kontrastmittel befüllt werden.

## Typische Schäden

Die Bilder zeigen typische Schäden, die durch verschiedene Ursachen entstehen.



Korrosionsbildung durch falsches bzw. überaltertes Kühlmittel

### Kühlmittelkühler

Alle Fehler verursachen eine reduzierte Leistung des Kühlers. Reparaturen sind nicht üblich bei modernen Kühlmittelkühlern, da Aluminiumschweißen hierbei recht schwer ist und bei den kleinen Kanälen möglicherweise zu Verstopfungen führen würde. Dichtmittel darf nicht verwendet werden, weil es zu Verstopfungen führen und die Leistung reduzieren kann.



Kalkablagerung durch Verwendung von reinem Wasser (ohne Kühlmittel)

### Innenraum-Wärmetauscher

Kalkablagerungen und die Verwendung von Dichtmitteln können beim Innenraum-Wärmetauscher, wie auch schon beim Kühler, zu Verstopfungen führen. Diese lassen sich zum Teil durch das Spülen mit bestimmten Reinigungsmitteln entfernen. Hierbei sind die Angaben der Fahrzeughersteller zu beachten.



Verkalkter Wärmetauscher

## Kühlsystemprüfung und Diagnose

Bei Störungen im Kühlsystem, wie z. B. ungenügender Heizleistung, Motor kommt nicht auf Betriebstemperatur oder Überhitzung, ist es möglich, mit einfachen Mitteln der Fehlerursache nachzugehen. Als Erstes sollte das Kühlsystem auf einen ausreichenden Kühlfüllstandsstand, Verunreinigungen, Frostschutz und Undichtigkeiten hin untersucht werden. Auf eine ausreichende Spannung des Keilriemens bzw. Keilrippenriemens ist ebenfalls zu achten.

Danach kann die Fehlersuche, je nach Symptom, durch das Beobachten von Komponenten bzw. Abgreifen von Temperaturen wie folgt fortgesetzt werden:

### Motor überhitzt:

- **Ist die angezeigte Temperatur realistisch?**  
(ggf. Kühlmittel-Temperaturfühler und Anzeigeeinstrument überprüfen)
- **Sind der Kühlmittelkühler bzw. vorgeschaltete Bauteile (Klimakondensator) frei von Verunreinigungen, um einen uneingeschränkten Luftdurchsatz zu gewährleisten?**  
(ggf. Bauteile reinigen)
- **Arbeitet der Kühlerlüfter bzw. der Zusatzlüfter?**  
(Einschaltpunkt, Sicherung, Thermo-Schalter, Lüftersteuergerät prüfen, auf mechanische Beschädigungen prüfen)
- **Öffnet das Thermostat?**  
(Temperatur vor und hinter dem Thermostat abgreifen, ggf. Thermostat ausbauen und im Wasserbad überprüfen)
- **Ist der Kühlmittelkühler verstopft?**  
(Temperatur am Ein- und Ausgang des Kühlers prüfen, Durchflussmenge prüfen)
- **Arbeitet die Kühlmittelpumpe?**  
(Prüfen, ob das Pumpenrad nicht lose auf der Antriebswelle sitzt)
- **Arbeitet das Über- bzw. Unterdruckventil des Kühlerverschlußdeckels bzw. des Ausdehnungsgefäßes?**  
(ggf. Testpumpe verwenden, Dichtung des Verschlußdeckels prüfen, ob beschädigt bzw. vorhanden)

### Motor wird nicht warm:

- **Ist die angezeigte Temperatur realistisch?**  
(ggf. Kühlwasser-Temperaturfühler und Anzeigeinstrument überprüfen)
- **Ist das Thermostat dauerhaft geöffnet?**  
(Temperatur vor und hinter dem Thermostat abgreifen, ggf. Thermostat ausbauen und im Wasserbad überprüfen)
- **Arbeitet der Kühlerlüfter bzw. der Zusatzlüfter permanent?**  
(Einschaltpunkt, Thermoschalter, Lüftersteuergerät prüfen)

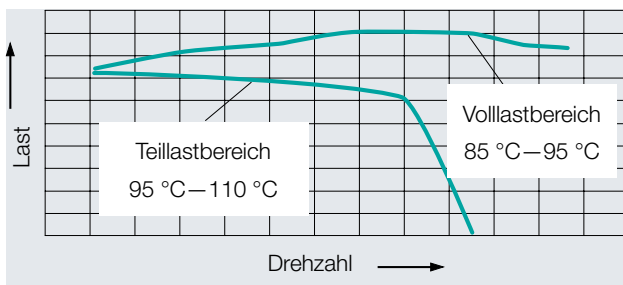
### Heizung wird nicht ausreichend warm:

- **Kommt der Motor auf Betriebstemperatur bzw. wird das Kühlmittel warm?**  
(ggf. erst die Prüfschritte unter „Motor wird nicht warm“ durchführen)
- **Öffnet das Heizungsventil?**  
(Elektrische Ansteuerung bzw. Bowdenzug und Ventil überprüfen)
- **Ist der Heizungskühler (Innenraum-Wärmetauscher) verstopft?**  
(Temperatur am Ein- und Ausgang des Wärmetauschers prüfen, Durchflussmenge prüfen)
- **Funktioniert die Klappensteuerung?**  
(Klappenstellungen und Anschläge, Frischluft-Umluft-Funktion, Luftaustrittsdüsen überprüfen)
- **Arbeitet das Innenraumgebläse?**  
(Geräusche, Lüfterstufen)
- **Ist der Innenraumfilter verschmutzt bzw. der Luftdurchsatz gegeben?**  
(Innenraumfilter prüfen, Lüftungskanäle hinsichtlich Falschluff prüfen)



# Elektronisch geregelte Kühlung\*

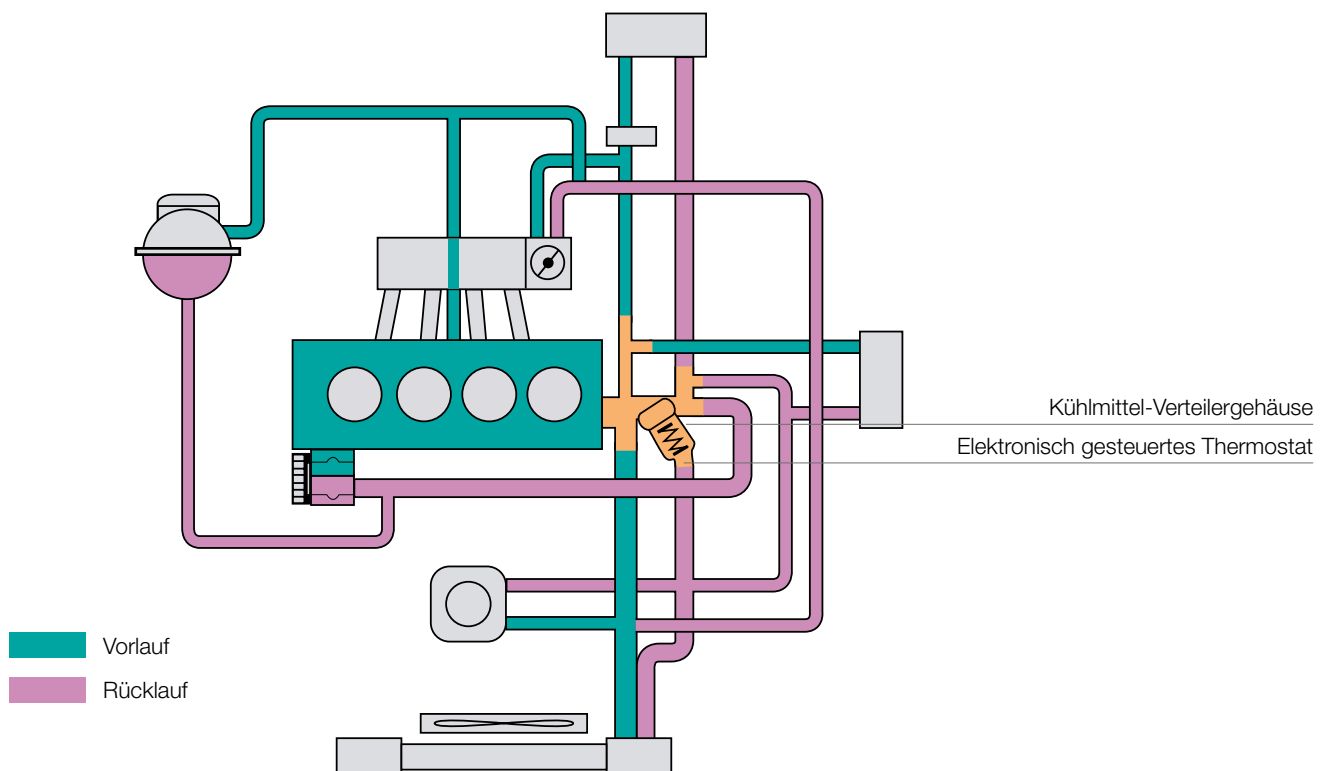
(Beispiel VW 1,6 I APF-Motor)



## Das Kühlmittel-Temperaturniveau

Von der einwandfreien Kühlung des Motors hängt seine Leistungsfähigkeit mit ab. Bei der thermostatgeregelten Kühlung bewegen sich die Kühlmitteltemperaturen im Teillastbereich von 95 °C – 110 °C und im Volllastbereich von 85 °C – 95 °C. Höhere Temperaturen im Teillastbereich ergeben ein günstigeres Leistungsniveau, was sich auf Verbrauch und Schadstoffe im Abgas günstig auswirkt. Durch niedrigere Temperaturen im Volllastbereich erhöht sich die Leistung. Die angesaugte Luft wird weniger erwärmt, was zur Leistungssteigerung führt.

## Elektronisch geregelte Kühlsystem-Übersicht



\* Aus VW Audi / Selbststudienprogramm 222 / Elektronisch geregeltes Kühlsystem

Die Entwicklung einer elektronisch geregelten Kühlung hatte zum Ziel, die Betriebstemperatur des Motors je nach Lastzustand auf einen Sollwert zu regeln. Nach Kennfeldern, die im Motorsteuergerät abgelegt sind, wird über das elektrisch zu beheizende Thermostat und die Kühlerlüfterstufen eine optimale Betriebstemperatur geregelt. Die Kühlung kann so im gesamten Leistungs- und Lastzustand des Motors angepasst werden.

#### Die Vorteile durch die Anpassung der Kühlmitteltemperatur an den momentanen Betriebszustand des Motors sind:

- Verbrauchsreduzierung im Teillastbereich
- Reduzierung der CO- und HC-Emissionen

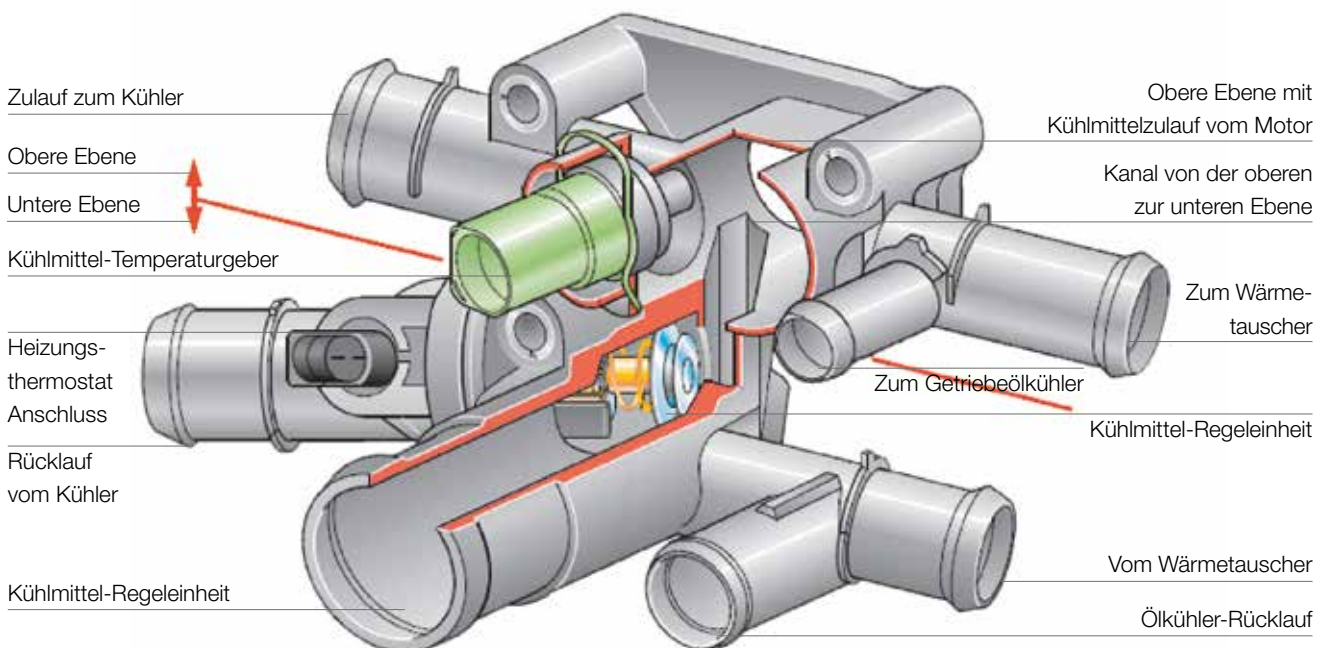
#### Änderungen gegenüber dem herkömmlichen Kühlkreislauf:

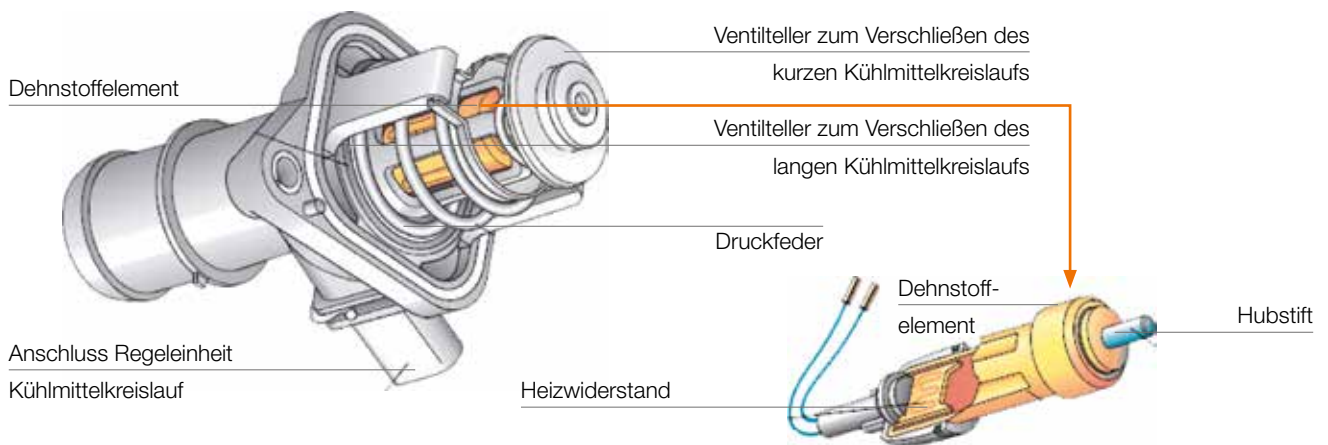
- Einbindung in den Kühlkreislauf durch minimale konstruktive Änderungen
- Kühlmittel-Verteilergehäuse und Thermostat sind eine Baueinheit
- Kühlmittelregler (Thermostat) am Motorblock entfällt
- Motorsteuergerät enthält zusätzlich die Kennfelder des elektronisch geregelten Kühlsystems

## Kühlmittel-Verteilergehäuse

Das Kühlmittel-Verteilergehäuse ist anstelle des Anschlussstutzens direkt am Zylinderkopf angebaut. Es sollte in zwei Ebenen betrachtet werden. Von der oberen Ebene werden die einzelnen Bauteile mit Kühlmittel versorgt. Eine Ausnahme macht der Zulauf zur Kühlmittelpumpe. In der unteren Ebene des Verteilergehäuses ist der Kühlmittelrücklauf von den einzelnen Bauteilen angeschlossen. Ein senkrecht stehender Kanal verbindet die obere mit der unteren Ebene.

Das Thermostat öffnet/schließt mit seinem kleinen Ventilteller den senkrechten Kanal. Das Kühlmittel-Verteilergehäuse ist praktisch die Verteilerstation des Kühlmittels zum großen oder kleinen Kühlkreislauf.





## Kühlmittel-Regeleinheit

### Funktionsbauteile

- Dehnstoff-Thermostat (mit Wachselement)
- Widerstandsheizung im Wachselement
- Druckfedern zum mechanischen Verschließen der Kühlmittelkanäle, 1 großer und 1 kleiner Ventilteller

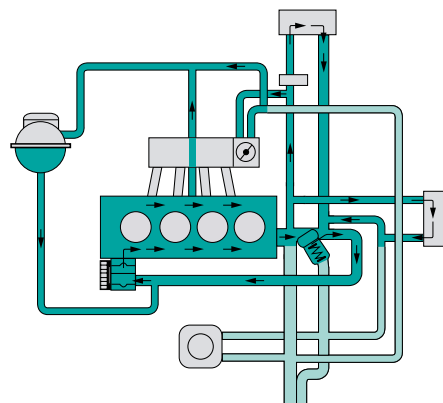
### Funktion

Das Dehnstoff-Thermostat im Kühlmittel-Verteilergehäuse ist ständig vom Kühlmittel umgeben. Das Wachselement regelt unbeheizt wie bisher, ist aber auf eine andere Temperatur ausgelegt. Über die Kühlmitteltemperatur wird das Wachs flüssig und dehnt sich aus.

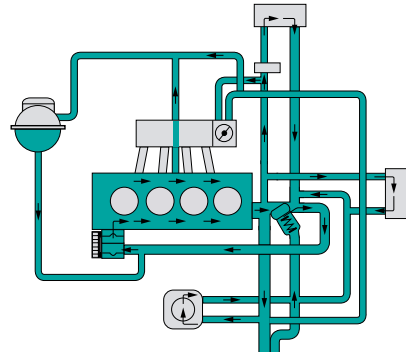
Diese Ausdehnung bewirkt einen Hub am Hubstift. Sie erfolgt im Normalfall (ohne Bestromung) entsprechend dem neuen Temperaturprofil von 110 °C Kühlmitteltemperatur am Motoraustritt. Im Wachselement ist ein Heizwiderstand eingebettet. Wird dieser bestromt, erwärmt er das Wachselement zusätzlich und der Hub bzw. die Verstellung erfolgt nun nicht allein in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur, sondern wie es vom Motorsteuergerät nach Kennfeld vorgegeben wird.

## Langer und kurzer Kühlmittelkreislauf

Wie bei den vorherigen Kreisläufen gibt es zwei Kreisläufe, die in diesem Fall gesteuert sind. Der kurze Kreislauf, bei Motor-Kaltstart und Teillast, dient zum schnellen Aufwärmen des Motors. Die kennfeldgesteuerte Motorkühlung wirkt noch nicht. Das Thermostat im Kühlmittel-Verteilergehäuse hat den Rücklauf vom Kühlmittelkühler gesperrt und den kurzen Weg zur Kühlmittelpumpe freigegeben. Der Kühler ist nicht in den Kühlmittelumlauf eingebunden.



Der lange Kühlmittelkreislauf wird entweder durch das Thermostat im Kühlmittelregler nach Erreichen von ca. 110 °C geöffnet oder je nach Last durch das Kennfeld. Der Kühler ist nun in den Kühlmittelkreislauf einbezogen. Zur Unterstützung der Kühlung durch den Fahrtwind oder im Leerlauf werden Elektrolüfter nach Bedarf eingeschaltet.



## Elektronische Steuerung: Übersicht

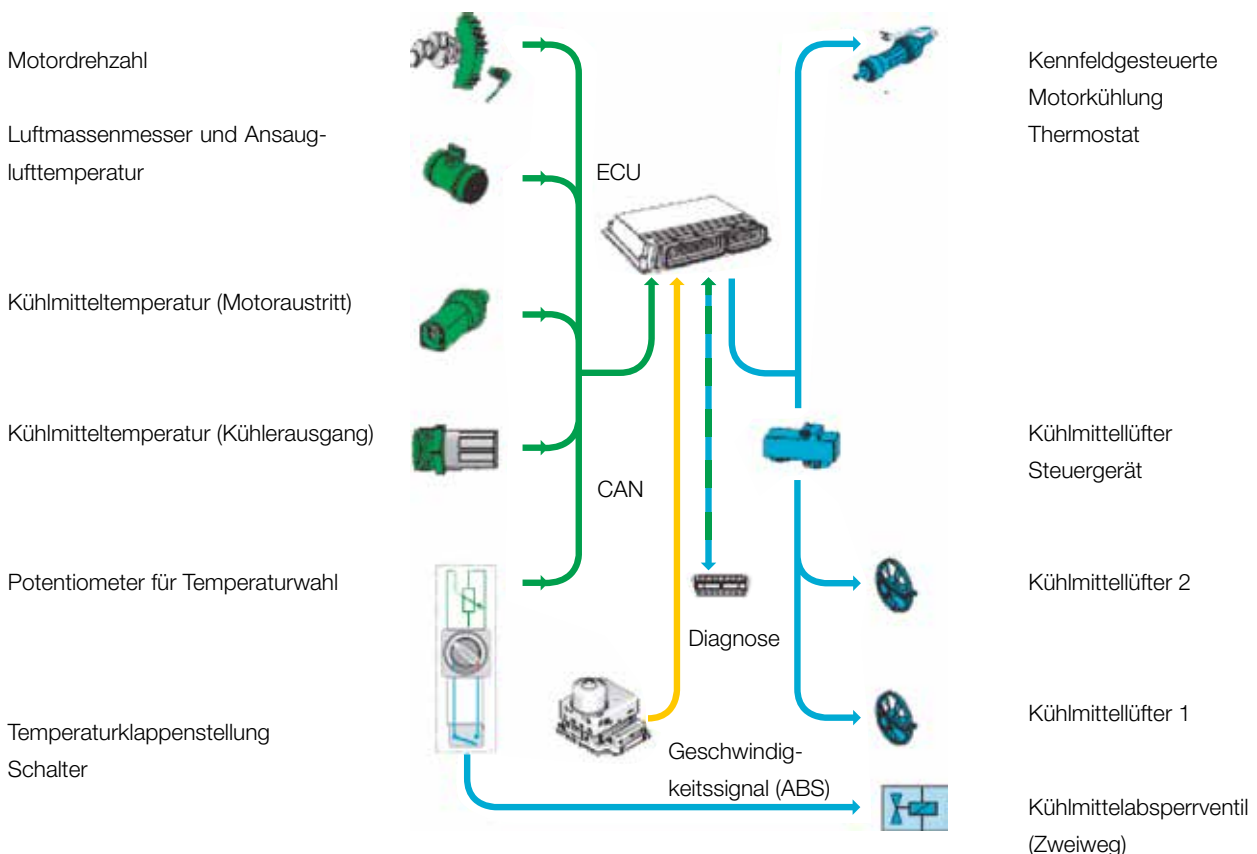
Das Motorsteuergerät wurde um die Anschlüsse für die Sensoren und Aktuatoren des elektronisch geregelten Kühlsystems erweitert:

- Bestromung des Thermostats (Ausgang)
- Kühler-Rücklauftemperatur (Eingang)
- Kühler-Lüftersteuerung (2-mal Ausgang)
- Potentiometer am Heizungsregler (Eingang)

Die Berechnung der Funktionen zur Kennfeldtemperatur erfolgt jede Sekunde. Im Ergebnis der Funktionsberechnungen wird die Systemregelung eingeleitet:

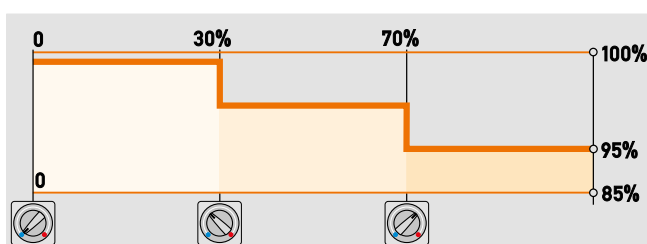
- Aktivieren (Bestromung) des Heizwiderstandes im Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung zum Öffnen des langen Kühlkreislaufes (Regeln der Kühlmitteltemperatur)
- Ansteuern der Kühlerlüfter zur Unterstützung der schnellen Kühlmittel-Temperatursenkung

Für alle weiterhin notwendigen Informationen werden die Sensoren der Motorsteuerung genutzt.

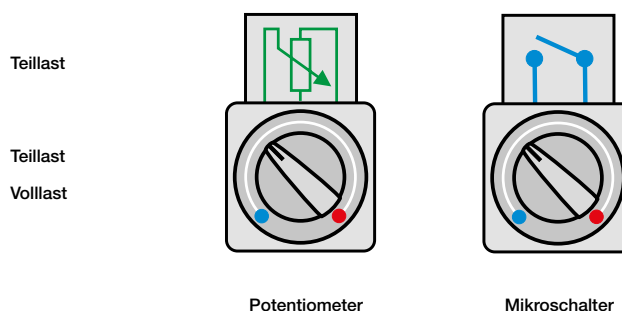


## Regulierung der Kühlmitteltemperatur bei Heizungswunsch

Die Kühlmitteltemperatur kann bei einer Fahrweise zwischen Teillast und Volllast zwischen 110 °C und 85 °C pendeln. Eine Temperaturdifferenz von 25 °C würde sich bei eingeschalteter Heizung unangenehm im Innenraum des Fahrzeuges bemerkbar



machen. Der Fahrer würde ständig nachregeln müssen. Durch das Potentiometer erkennt die Elektronik des Kühlsystems den Heizungswunsch des Fahrers und regelt dementsprechend die Kühlmitteltemperatur, z. B. ab Drehknopf-Stellung 70 % = 95 °C Kühlmitteltemperatur. Ein Mikroschalter am Drehknopf für Temperaturwahl öffnet, sobald die Position „Heizung aus“ verlassen wird. Dadurch wird ein pneumatisches Zweibegeventil angesteuert, das wiederum durch Unterdruck das Kühlmittelabschaltventil für den Heizungswärmetauscher öffnet.



## Kennfeld – Sollwerte

Die Ansteuerung des Thermostats für kennfeldgesteuerte Motorkühlung (großer oder kleiner Kühlkreislauf) wird über Kennfelder geregelt. Dort sind die entsprechenden Temperatursollwerte abgelegt. Entscheidend ist die Motorlast. Aus der Last (Luftmasse) und Drehzahl ergibt sich eine einzustellende Kühlmitteltemperatur.

In einem zweiten Kennfeld sind Temperatursollwerte abgelegt, abhängig von der Geschwindigkeit und Ansauglufttemperatur. Daraus ergibt sich eine einzustellende Kühlmitteltemperatur. Aus dem Kennfeldvergleich 1 zu 2 wird der jeweils niedrigere Wert als Sollwert verwendet und das Thermostat entsprechend eingestellt. Das Thermostat wird erst aktiv, wenn eine Temperaturschwelle überschritten wurde und die Kühlmitteltemperatur dicht unterhalb des Sollwertes liegt.



## Kühlmittel-Temperatursensor

Die Temperatursensoren arbeiten als NTC-Sensor. Die Kühlmittel-Temperatursollwerte sind im Motorsteuergerät als Kennfelder abgelegt. Die Istwerte der Kühlmitteltemperatur werden im Kühlkreislauf an zwei verschiedenen Stellen abgenommen und als Spannungssignale dem Steuergerät mitgeteilt.

Kühlmittel-Istwert 1 – unmittelbar am Austritt des Kühlmittels am Motor im Kühlmittelverteiler.

Kühlmittel-Istwert 2 – am Kühler vor dem Austritt des Kühlmittels aus dem Kühler.

Signalverwendung: Der Vergleich zwischen den in den Kennfeldern abgelegten Soll-Temperaturen mit der Ist-Temperatur 1 ergibt das Tastverhältnis für die Bestromung des Heizwiderstandes im Thermostat. Der Vergleich zwischen den Kühlmittel-Istwerten 1 und 2 ist die Grundlage zur Ansteuerung der elektrischen Lüfter für Kühlmittel.

Ersatzfunktion: Bei Ausfall des Sensors (Motorausritt) für die Kühlmittel-Temperatur wird mit einem festgelegten Ersatzwert von 95 °C die Kühlmitteltemperaturregelung weitergeführt und die Lüfterstufe 1 dauerhaft aktiviert.

Bei Ausfall des Sensors (Kühlerausgang) für Kühlmitteltemperatur bleibt die Regelung aktiv und die Lüfterstufe 1 dauernd aktiviert. Bei Überschreiten einer bestimmten Temperaturschwelle wird die Lüfterstufe 2 aktiviert. Bei Ausfall beider Sensoren liegt maximale Spannung am Heizwiderstand an und die Lüfterstufe 2 ist dauernd aktiviert.



Kühlmittel-Temperatursensor

## Kennfeldgesteuertes Thermostat

Im Wachselement des Dehnstoff-Thermostats ist ein Heizwiderstand eingebettet. Dieser erwärmt zusätzlich das Wachs, welches sich ausdehnt und wodurch der Hub „x“ des Hubstiftes nach dem Kennfeld erzeugt wird. Über den Hub „x“ ergibt sich die mechanische Verstellung des Thermostats. Angesteuert wird die Heizung vom Motorsteuergerät nach dem Kennfeld über ein PWM-Signal (Puls-Weiten-Modulation). In Abhängigkeit von der Pulsweite und der Zeit ergibt sich eine unterschiedliche Aufheizung.

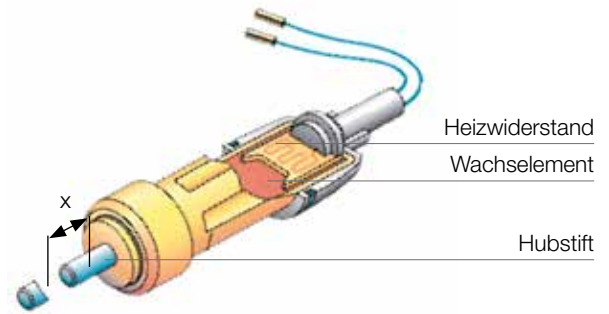
### Regel:

- PWM low (ohne Spannung) = hohe Kühlmitteltemperatur
- PWM high (mit Spannung) = niedrige Kühlmitteltemperatur

### Fehlende Betriebsspannung:

- Regelung erfolgt nur mit Dehnstoffelement
- Lüfterstufe 1 ist dauerhaft aktiviert

Die Thermostatheizung dient nicht der Aufheizung des Kühlmittels, sie erwärmt gezielt bzw. regelt das Thermostat zum Öffnen des großen Kühlmittelkreislaufes. Bei Stillstand oder Startvorgang des Motors wird keine Spannung angelegt.



Dehnstoff-Wachselement

## Zusammenfassung

Moderne Kühlsysteme sind viel technischer geworden — wie alle anderen Systeme, die heute im Automobil zu finden sind. Um die heutigen modernen Thermomanagement-Systeme zu verstehen und zu diagnostizieren, reichen Grundkenntnisse nicht mehr aus. Man benötigt Systemkompetenz, technische Unterlagen und die Fähigkeit, logisch zu denken.



# Technische Informationen

## Kühlmittelkühler

### Allgemeines

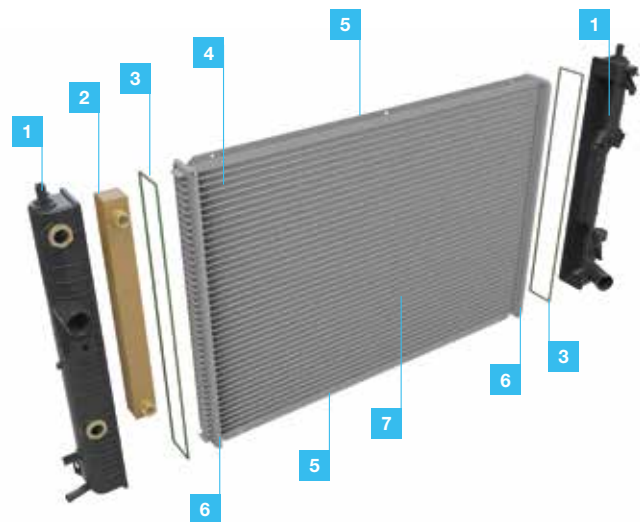
Kühlmittelkühler werden im Luftstrom der Fahrzeugfront verbaut und unterscheiden sich in ihrer Bauart. Sie haben die Aufgabe, die durch die Verbrennung im Motor erzeugte Wärme, welche durch das Kühlmittel aufgenommen wird, an die Außenluft abzugeben. Im oder am Kühlmittelkühler können sich weitere Kühler, z. B. für Automatikgetriebe, befinden.



Kühlmittelkühler

### Aufbau/Funktionsweise

Wichtigster Bestandteil eines Kühlmoduls ist der Kühlmittelkühler (KMK). Er besteht aus Kühlerblock und Wasserkasten, mit allen erforderlichen Anschlüssen und Befestigungselementen. Der Kühlerblock selbst wird aus dem Kühlernetz – einem Rohr-Rippen-System – den Rohrböden sowie den Seitenteilen zusammengesetzt. Herkömmliche Kühlmittelkühler haben einen Kühlmittelkasten aus glasfaserverstärktem Polyamid, der vor dem Aufsetzen auf den Rohrboden eine Dichtung erhält und umbördelt wird. Aktuell im Trend liegen Ganz-Aluminium-Kühler, die weniger Gewicht und eine geringe Bautiefe auszeichnet. Zudem sind sie zu 100 % recyclingfähig. Die Abkühlung des Kühlmittels erfolgt über die Kühlrippen (Netz). Die durch das Kühlernetz strömende Außenluft entnimmt dem Kühlmittel Wärme. Hinsichtlich der Bauart wird zwischen Fallstrom- und Querstromkühler unterschieden. Beim Fallstromkühler tritt das Wasser oben am Kühler ein und unten wieder aus. Beim Querstromkühler tritt das Kühlwasser auf einer Seite des Kühlers ein und auf der anderen Seite wieder aus. Liegen beim Querstromkühler Einlauf und Auslauf auf der gleichen Seite, ist der Wasserkasten unterteilt. Der Kühler wird dann, im oberen und unteren Teil gegenläufig, vom Kühlmittel durchströmt. Querstromkühler sind von der Bauart niedriger und kommen insbesondere in Pkws zum Einsatz.



- 1 Wasserkasten
- 2 Ölkühler
- 3 Dichtungen
- 4 Kühlrippen (Netz)
- 5 Seitenbleche
- 6 Boden
- 7 Kühlrohr

## Auswirkungen bei Ausfall

### Ein defekter Kühler kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Mangelhafte Kühlleistung
- Erhöhte Motortemperatur
- Permanent laufende Kühlerlüfter
- Mangelhafte Leistung der Klimaanlage

### Als Ursache dafür kommen in Betracht:

- Kühlmittelverlust durch Beschädigung des Kühlers (Steinschlag, Unfall)
- Kühlmittelverlust durch Korrosion oder undichte Anschlüsse
- Mangelhafter Wärmeaustausch durch äußere oder innere Verschmutzung (Schmutz, Insekten, Kalkablagerungen)
- Verunreinigtes oder überaltertes Kühlwasser

## Fehlersuche

### Prüfschritte zur Fehlererkennung:

- Kühlmittelkühler auf äußere Verschmutzung prüfen, ggf. mit reduzierter Druckluft oder einem Wasserstrahl reinigen; dabei nicht zu nah an die Kühlerlamellen kommen
- Kühler hinsichtlich äußerer Beschädigungen und Undichtigkeiten prüfen (Schlauchverbindungen, Bördelungen, Lamellen, Kunststoffgehäuse)
- Kühlmittel auf Verfärbung/Verunreinigung (z. B. Öl, durch defekte Kopfdichtung) und Frostschutzgehalt prüfen
- Kühlmitteldurchfluss prüfen (Verstopfung durch Fremdmaterialien, Dichtmittel, Kalkablagerungen)
- Messen der Kühlmiteleintritts- und Kühlmittelaustritts-temperatur mit Hilfe eines Infrarotthermometers



Kalkablagerungen im Kühler



Korrosionsablagerungen im Kühler



# Kühlerverschlussdeckel

## Allgemeines

Kaum beachtet, aber wichtig: der Kühlerverschlussdeckel. Neben der Aufgabe, die Einfüllöffnung im Kühler oder Ausgleichsbehälter gasdicht zu verschließen, soll sichergestellt werden, dass kein zu hoher Überdruck und kein Unterdruck im Kühlsystem entsteht. Dafür ist der Einfüllverschluss mit einem Unterdruck- und Überdruckventil ausgerüstet. Das Überdruckventil dient zur Druckanhebung um ca. 0,3–1,4 bar. In Abhängigkeit davon erhöht sich die Siedetemperatur der Kühlflüssigkeit auf 104–110 °C und die Leistung des Kühlsystems wird verbessert. Während der Abkühlung würde bei hermetisch abgeschlossenen Systemen ein Unterdruck entstehen. Das zu verhindern ist die Aufgabe des Unterdruckventils.



Metall-Verschlussdeckel



Kunststoff-Verschlussdeckel

## Aufbau/Funktionsweise

Hohe Kühlmitteltemperatur führt zu einem Druckanstieg im Kühlsystem, da sich das Kühlmittel ausdehnt. Das Kühlmittel wird in den Behälter gepresst. Der Druck im Behälter steigt an. Das Überdruckventil im Verschlussdeckel öffnet sich und lässt Luft entweichen. Bei Normalisierung der Kühlmitteltemperatur entsteht ein Unterdruck im Kühlsystem. Kühlmittel wird aus dem Behälter abgesaugt. Hierdurch entsteht im Behälter ein Unterdruck. Als Folge öffnet das Unterdruckausgleichsventil im Verschlussdeckel des Behälters. Luft strömt in den Behälter bis Druckausgleich erreicht ist.



Ausgleichsbehälter

### Verhaltensregeln beim Öffnen des Kühlerschlussdeckels:

- Kühlsystem auf Kühlmitteltemperatur unter 90 °C abkühlen lassen
- Das Kühlsystem steht bei warmen Motor unter Druck
- Bei plötzlichem Öffnen des Kühlsystems besteht Verbrühungsgefahr!
- Kühlmittelverschlussdeckel bis in die Vorraste und bei geschraubten Ausführungen 1/2 Umdrehung aufdrehen und den Überdruck ablassen
- Schutzhandschuhe, Schutzbrille und Schutzbekleidung tragen!



Verschlussdeckel mit Prüfadapter



Manometer zur Druckprüfung

### Funktionsprüfung:

- Das Ventil des Kühlerschlussdeckels kann mit einem geeigneten Prüfgerät auf einwandfreie Funktion (nach Fahrzeugherstellerangaben) getestet werden
  1. Öffnungsdruck durch Druckerhöhung feststellen
  2. Das Unterdruckventil muss an der Gummidichtung anliegen, sich leicht anheben lassen und nach dem Loslassen zurückfedern
- MAHLE empfiehlt, bei jedem Kühlertausch auch den Verschlussdeckel zu erneuern



Metall-Verschlussdeckel mit Unterdruckventil

## Spülen des Kühlsystems

Bei Verunreinigungen des Kühlsystems muss das Kühlmittel abgelassen und das Kühlsystem gespült werden.

### Verunreinigungen können sein:

- Öl (defekte Zylinderkopfdichtung)
- Rost (Innenkorrosion Motor)
- Aluminium (Innenkorrosion Kühler)
- Fremdstoffe (Zusätze/Dichtungsmittel)
- Fremdpartikel (defekte Kühlmittelpumpe)

Untersuchungen an ausgefallenen Kühlern haben ergeben, dass als häufigste Verschmutzung Rostschlamm auftritt. Die Ursachen seiner Entstehung sind keine oder ungenügende Reinigung während einer Reparatur am Kühlsystem oder das Auffüllen von falschen Frostschutzmitteln, sowie die Wiederverwendung des abgelassenen Kühlmittels. Rostschlamm kann sich absetzen und enge Kanäle verstopfen, wirkt als Korrosionsbeschleuniger, wenn blanke Metalloberflächen davon bedeckt werden (anodische Wirkung mit Lochfraß), und wirkt als Schleifmittel im Kühlmittelkreislauf, besonders an Stellen, wo die Flussrichtung umgelenkt wird.

## Reinigung

Je nach Verschmutzungsgrad ist das Kühlsystem mit warmem Wasser oder auch mit einer speziellen Spülflüssigkeit zu reinigen. Je nach Fahrzeughersteller und Symptom gibt es verschiedene Vorgehensweise zum Spülen. So gibt Audi bei einer rostbraunen Verfärbung des Kühlmittels und einer Beanstandung der Heizleistung, z. B. beim A6, das Spülen mit einer speziellen Spülflüssigkeit vor. Bei dem mehrfachen Spülvorgang muss das Thermostat ausgebaut und die Heizleistung vor und nach dem Spülen gemessen werden.

### Volkswagen schreibt ein Reinigungsmittel mit entöhlender Wirkung und folgender Vorgehensweise vor:

- Motor auf Betriebstemperatur bringen
- Kühlmittel ablassen
- Bei 4-Zylinder-Motoren 3 Liter Reiniger einfüllen und mit Wasser ergänzen

- Bei 8-Zylinder-Motoren 4 Liter Reiniger einfüllen und mit Wasser ergänzen
- Motor 20 Minuten bei geöffnetem Thermostat laufen lassen
- Reiniger ablassen
- Vorgang wiederholen bis die Reinigungsflüssigkeit klar austritt
- Prozedere 2-mal mit klarem Wasser wiederholen
- Mit Frostschutz befüllen

Opel weist bei verschiedenen Modellen darauf hin, dass ein sich zugesetzter Kühler möglicherweise die Ursache für eine zu hohe Motortemperatur ist. In diesem Fall soll mit warmem Wasser (> 50 °C) gespült und neben dem Kühler auch noch alle kühlmittelführenden Teile (Wärmetauscher, Zylinderkopf usw.) erneuert werden. Die meisten Reinigungsmittel basieren auf Bestandteilen von Ameisen-, Oxal- oder Salzsäure, die grundsätzlich nicht im Kühlsystem verbleiben dürfen. Gründlich nachspülen!



Emulsionsartige Ablagerungen im Wärmetauscher mit Turbulenzeinlagen

Manchmal treten nach der Reinigung Undichtigkeiten und Leckagen auf, die vorher nicht sichtbar waren. Oftmals wird das mit der Aggressivität des Reinigungsmittel begründet. Allerdings liegt hier die eigentliche Ursache in einem schon länger vorhandenen Defekt, wobei die Dichtigkeit nur noch durch Schmutzablagerungen gewährleistet war. MAHLE empfiehlt, vor jedem Einbau eines neuen Bauteils im Kühlkreislauf eine Reinigung durchzuführen.

Der Grad der Verunreinigung und die Vorgaben der Fahrzeughersteller geben das Verfahren und eingesetzte Spülmedium vor.

Beachtet werden sollte, dass sich aufgrund ihrer Bauweise (z. B. Flachrohr) bei modernen Kühlsystemen nicht mehr alle Bauteile spülen lassen und somit ausgetauscht werden müssen.

#### Dies trifft insbesondere für folgende Bauteile zu:

- Thermostat
- Kühlmittelkühler
- Elektrische Ventile
- Verschlussdeckel
- Innenraum-Wärmetauscher

Ist der Kühlmittelstand im Ausgleichsbehälter aufgrund der Verschmutzung (Öl, Rost) nicht mehr zu erkennen, muss der Behälter ebenfalls ersetzt werden.

Das Thermostat und der Verschlussdeckel sollten grundsätzlich erneuert werden.

Bei der Verwendung von Kühlsystemreinigern ist darauf zu achten, dass diese keine Dichtungsmaterialien angreifen und nicht ins Grundwasser gelangen bzw. nicht über den Ölabscheider abgeführt werden. Die Reinigungsmittel müssen zusammen mit dem Kühlmittel aufgefangen und gesondert entsorgt werden. Nach dem Spülen ist das System nach Fahrzeugherstellerngebe neu mit Kühlmittel (Spezifikation und Mischungsverhältnis beachten) zu befüllen, zu entlüften und auf Funktion und Dichtigkeit zu überprüfen.

Frostschutzmittel = Rostschutzmittel!



Verunreinigte Kühlsystemkomponenten

# Kühlmittelpumpen

## Allgemeines

Kühlmittelpumpen werden meistens mechanisch, über einen Zahn- oder Keilrippenriemen, angetrieben und befördern das Kühlmittel durch den Kühlmittelkreislauf des Motors. Die Pumpen können direkt am Motor angeflanscht oder auch weggebaut vorgefunden werden. Die Bauformen sind sehr unterschiedlich. Kühlmittelpumpen müssen enormen Temperaturschwankungen ( $-40\text{ °C}$  bis ca.  $+120\text{ °C}$ ) standhalten. Wechselnde Drehzahlen (500–8.000 U/min) und Drücke von bis zu 3 bar verlangen eine hohe Standfestigkeit von Lagern und Dichtungen.

Um Kraftstoff zu sparen, werden in Zukunft vermehrt elektrisch angetriebene und elektronisch geregelte Kühlmittelpumpen zum Einsatz kommen.



Kühlmittelpumpe

## Aufbau/Funktionsweise

**Die mechanische Kühlmittelpumpe besteht aus den folgenden 5 Baugruppen:**

1. Gehäuse
2. Antriebsrad
3. Wälzlager
4. Gleitringdichtung
5. Flügelrad

Antriebsrad und Flügelrad sitzen auf einer gemeinsam gelagerten Welle. Eine Gleitringdichtung dichtet die Pumpenwelle nach außen ab. Durch die Drehbewegung des Flügelrades wird das Kühlmittel durch das Kühlsystem befördert. Flügelräder bestehen in der Regel aus Kunststoff oder Metall. Die Lagerbelastung ist bei Kunststoffrädern geringer. Gleichzeitig sind sie nicht so anfällig gegenüber Kavitation.

Kunststoffräder werden jedoch im Alter gelegentlich spröde. Der Gleitdichtring wird durch das Kühlmittel stets geschmiert und gekühlt. Konstruktionsbedingt können Kleinstmengen an Kühlmittel in den Freiraum hinter den Dichtring gelangen und an der Entlastungsbohrung der Pumpe austreten. Die eventuell sichtbaren Kühlmittelspuren sind kein eindeutiges Indiz für eine defekte Pumpe.

## Auswirkungen bei Ausfall

Ein Ausfall der Kühlmittelpumpe kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Geräusche
- Kühlmittelverlust
- Mangelhafte Kühlung/Motor überhitzt

## Fehlersuche

**Kühlmittelaustritt an der Pumpe durch z. B.:**

- Übermäßiges Auftragen von Dichtmittel – Reste der Dichtungsmasse können in den Kühlkreislauf gelangen und z. B. die Gleitringdichtung beschädigen

**Korrosion im gesamten Kühlsystem:**

- Defekte Zylinderkopfdichtung – Motorenabgase gelangen ins Kühlsystem; negative Veränderung des pH-Wertes

## Hinweise zum Aus- und Einbau

Beim Austausch der Kühlmittelpumpe müssen immer die Vorgaben des Produkt-Beipackzettels und spezielle Einbauvorschriften des Fahrzeugherstellers beachtet werden. Ist das Kühlsystem verunreinigt, muss es gespült werden. Das Kühlsystem sollte nur mit einem Kühlmittel befüllt werden, dass den Spezifikationen des Fahrzeugherstellers entspricht. Das System ist nach Fahrzeugher-

**Als Ursachen kommen in Betracht:**

- Mechanische Schäden:
  - Flügelrad lose/gebrochen
  - Lager oder Dichtung defekt
  - Antriebsrad beschädigt
- Querschnittsverengungen durch Korrosion oder Dichtmittel
- Kavitation:
  - Beschädigung des Flügelrads durch Bildung und Zerfall von Dampfblasen im Kühlmittel
  - Elektrischer Fehler (Kurzschluss/Unterbrechung)

**Pumpenteile wie Flügelrad, Gehäuse, Gleitringdichtung und Welle durch Lochkorrosion stark beschädigt:**

- Überaltertes/verbrauchtes Kühlmittel mit hohem Anteil von Chloriden (Salzverbindungen) in Verbindung mit erhöhten Temperaturen

**Übermäßiger Austritt von Kühlmittel an der Entlastungsbohrung:**

- Hervorgerufen durch Korrosion im Kühlsystem

stellervorgabe zu befüllen bzw. zu entlüften. Ein falscher Einbau kann zur Überhitzung des Motors, Beschädigung des Riementriebs oder/und Motorschäden führen.

Informationen zu Verwendung, Spezifikationen und Wechselintervallen von Kühlmitteln finden Sie in der entsprechenden Technischen Information „Kühlmittel“.



# Ausgleichsbehälter

## Allgemeines

Der Ausgleichsbehälter im Kühlsystem besteht meistens aus Kunststoff und dient der Aufnahme des expandierenden Kühlmittels. In der Regel ist er so angebaut, dass er den höchsten Punkt im Kühlsystem darstellt. Zur Kontrolle des Kühlmittelstandes ist er durchsichtig und mit „Min“- und „Max“-Markierungen versehen. Darüber hinaus kann auch ein elektronischer Füllstandsgeber verbaut sein. Über das Ventil im Ausgleichsbehälter-Verschlussdeckel erfolgt ein Druckausgleich im Kühlsystem.

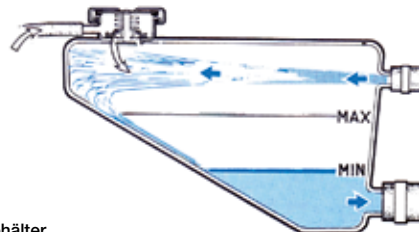
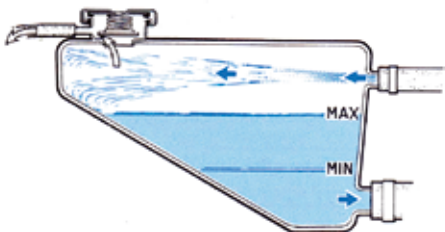


Ausgleichsbehälter

## Aufbau/Funktionsweise

Eine Erhöhung der Kühlmitteltemperatur führt zu einem Druckanstieg im Kühlsystem, da sich das Kühlmittel ausdehnt. Dadurch steigt der Druck im Ausgleichsbehälter an, worauf sich das Überdruckventil im Verschlussdeckel öffnet und Luft entweichen lässt.

Bei Normalisierung der Kühlmitteltemperatur entsteht ein Unterdruck im Kühlsystem. Kühlmittel wird aus dem Behälter zurückgesaugt. Hierdurch entsteht im Behälter ebenfalls ein Unterdruck. Folglich öffnet das Unterdruckausgleichs-Ventil im Verschlussdeckel des Behälters. Luft strömt in den Behälter bis ein Druckausgleich erreicht ist.



Funktion Ausgleichsbehälter

## Auswirkungen bei Ausfall

**Ein defekter Ausgleichsbehälter bzw. ein defekter Verschlussdeckel kann sich wie folgt bemerkbar machen:**

- Kühlmittelverlust (Leckage) an diversen Systembauteilen oder am Ausgleichsbehälter selbst
- Überhöhte Kühlmittel- bzw. Motortemperatur
- Ausgleichsbehälter oder andere Systembauteile gerissen/geborsten

## Fehlersuche

**Prüfschritte zur Fehlererkennung:**

- Kühlmittelstand und Frostschutzgehalt prüfen
- Auf Verfärbung/Verunreinigung (Öl, Dichtmittel, Kalkablagerungen) des Kühlmittels achten

**Als Ursache dafür kommen in Betracht:**

- Überdruck im Kühlsystem aufgrund eines fehlerhaften Ventils im Verschlussdeckel
- Materialermüdung

- Thermostat, Kühler, Wärmetauscher, Schlauchleitungen und Schlauchverbindungen hinsichtlich Undichtigkeiten und Funktion kontrollieren
- Gegebenenfalls das Kühlsystem abdrücken (Druckprüfung)
- Auf Lufteinschlüsse im Kühlsystem achten, ggf. Kühlsystem nach Vorgabe des Fahrzeugherstellers entlüften

Wurden alle o. g. Punkte ohne Beanstandung durchgeführt, sollte der Verschlussdeckel des Ausgleichsbehälters erneuert werden. Eine Prüfung des Verschlussdeckelventils ist nur schwer durchführbar.

# Innenraum-Wärmetauscher

## Allgemeines

Der Wärmetauscher ist im Heizungskasten des Fahrzeuginnenraums verbaut und wird vom Kühlmittel durchströmt. Die Luft für den Innenraum wird durch den Wärmetauscher geleitet und dabei erwärmt.



Wärmetauscher

## Aufbau/Funktionsweise

Der Innenraum-Wärmetauscher besteht, wie auch der Kühlmittelkühler, aus einem mechanisch gefügten Rohr-Rippen-System. Der Trend geht auch hier zur Ganz-Aluminium-Bauweise. Der Innenraum-Wärmetauscher wird vom Kühlmittel durchflossen. Die Durchflussmenge wird meistens von mechanisch oder elektrisch angesteuerten Ventilen geregelt. Die Aufheizung der Innenraumluft erfolgt über die Kühlrippen (Netz) des Wärmetauschers. Der Luftstrom, den das Innenraum-Gebläse bzw. der Fahrtwind erzeugt, wird durch den von heißem Kühlwasser durchströmten Innenraum-Wärmetauscher geleitet. Dadurch erwärmt sich die Luft und gelangt dann weiter in den Fahrzeuginnenraum.

## Auswirkungen bei Ausfall

**Ein defekter bzw. mangelhaft arbeitender Innenraum-Wärmetauscher kann sich wie folgt bemerkbar machen:**

- Mangelhafte Heizleistung
- Kühlwasserverlust
- Geruchsbildung (süßlich)
- Beschlagene Scheiben
- Mangelhafter Luftdurchsatz

## Fehlersuche

**Prüfschritte zur Fehlererkennung:**

- Auf Geruchsbildung und Scheibenbeschlag achten
- Innenraumfilter prüfen
- Innenraum-Wärmetauscher hinsichtlich Undichtigkeiten überprüfen (Schlauchanschlüsse, Bördelungen, Netz)

**Als Ursache dafür kommen in Betracht:**

- Mangelhafter Wärmeaustausch durch äußere oder innere Verschmutzung (Korrosion, Kühlmittelzusätze, Schmutz, Kalkablagerungen)
- Kühlmittelverlust durch Korrosion
- Kühlmittelverlust durch undichte Anschlüsse
- Verschmutzter Innenraumfilter
- Verunreinigung/Blockade im Lüftungssystem (Laub)
- Fehlerhafte Klappensteuerung

- Auf Verunreinigungen/Verfärbungen des Kühlmittels achten
- Kühlmitteldurchfluss prüfen (Verstopfung durch Fremdstoffe, Kalkablagerungen, Korrosion)
- Kühlmittel-Eintritts- und Kühlmittel-Austrittstemperatur messen
- Auf Blockaden/Fremdstoffe im Lüftungssystem achten
- Klappensteuerung überprüfen (Umluft/Frischluft)



Ganz-Aluminium-Wärmetauscher

## Visco®-Lüfter

### Allgemeines

Zur Wärmeabfuhr bei Nkw- und starken Pkw-Motoren benötigt man neben leistungsfähigen Kühlern auch Lüfter und Lüfterantriebe, die Kühlluft besonders effizient bereitstellen. Visco®-Lüfter bestehen aus einem Lüfterrad und einer Visco®-Kupplung. Sie kommen bei längseingebauten Motoren zum Einsatz und werden vor dem Kühler (Fahrtrichtung) verbaut und über einen Keilriemen oder direkt vom Motor angetrieben.

### Aufbau/Funktionsweise

Das Lüfterrad besteht meistens aus Kunststoff und ist mit der Visco®-Kupplung verschraubt. Anzahl und Stellung der Lüfterflügel variieren konstruktionsbedingt. Das Gehäuse der Visco®-Kupplung besteht aus Aluminium und verfügt über zahlreiche Kühlrippen. Die Regelung des Visco®-Lüfters kann durch eine reine temperaturabhängige, selbstregelnde Bimetall-Kupplung erfolgen. Regelgröße hierbei ist die Umgebungstemperatur des Kühlmittelkühlers. Eine andere Variante stellt die elektrisch angesteuerte Visco®-Kupplung da. Diese wird elektronisch geregelt und elektromagnetisch betätigt. Zur Regelung werden hierbei die Eingangsgrößen verschiedener Sensoren herangezogen. Weitere Informationen können Sie der Technischen Information zur Visco®-Kupplung entnehmen.



Visco®-Kupplung mit Lüfter

## Auswirkungen bei Ausfall

Ein defekter Visco®-Lüfter kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Starke Geräusentwicklung
- Erhöhte Motor- bzw. Kühlmitteltemperatur

Als Ursache dafür kommen in Betracht:

- Beschädigtes Lüfterrad
- Ölverlust/Undichtigkeit
- Verschmutzung der Kühlfläche bzw. des Bimetalls
- Lagerschaden

## Fehlersuche

Prüfschritte zur Fehlererkennung:

- Kühlmittelstand kontrollieren
- Lüfterrad auf Beschädigungen hin überprüfen
- Auf Ölaustritt achten
- Lager hinsichtlich Spiel und Geräusche überprüfen
- Befestigung von Lüfterrad und Visco®-Kupplung kontrollieren
- Luftleitbleche/Lufthutze auf festen Sitz und Vorhandensein prüfen



Visco®-Kupplung



# Visco®-Kupplung

## Allgemeines

Die Visco®-Kupplung ist Teil des Visco®-Lüfters. Sie hat die Aufgabe, temperaturabhängig den Kraftschluss zwischen Antrieb und Lüfterrad herzustellen und dessen Drehzahl zu beeinflussen. An der Kupplung ist ein Kunststofflüfter angebracht, der den Luftstrom bedarfsgerecht erzeugt. Visco®-Lüfter kommen überwiegend bei längseingebauten, hubraumstarken Pkws und bei Nkws zum Einsatz.

## Aufbau/Funktionsweise

Die Visco®-Kupplung wird meistens über eine Welle direkt vom Motor angetrieben (Bild 1). Wird keine Kühlluft benötigt, schaltet die Visco®-Kupplung ab und läuft mit geringer Drehzahl. Bei steigendem Bedarf fließt Silikon-Öl vom Vorrats- in den Arbeitsraum. Dort wird verschleißfrei über Flüssigkeitsreibung das Antriebsmoment auf den Lüfter übertragen, dessen Drehzahl sich stufenlos über die Betriebsbedingungen einstellt.



Bild 1

Der Einschaltpunkt liegt bei ca. 80 °C. Bei der konventionellen Visco®-Kupplung trifft die Kühlerabluft auf ein Bimetall (Bild 2), dessen thermische Verformung das Öffnen und Schließen eines Ventils über einen Stift und Ventilhebel bewirkt. Abhängig von der Ventilstellung und damit der Ölmenge im Arbeitsraum stellen sich die übertragbaren Drehmomente und Lüfterdrehzahlen ein. Die Ölfüllmenge beträgt 30–50 ml (Pkw).

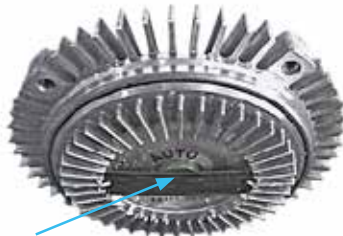


Bild 2

Auch bei vollständig gefülltem Arbeitsraum besteht eine Differenz zwischen Antriebs- und Lüfterdrehzahl (Schlupf). Die dabei entstehende Wärme wird über die Kühlrippen an die Umgebungsluft abgeführt. Bei der elektronisch gesteuerten Visco®-Kupplung erfolgt die Regelung direkt über Sensoren. Ein Regler verarbeitet die Werte und ein getakteter Steuerstrom leitet sie zum integrierten Elektromagneten. Das definiert geführte Magnetfeld regelt über einen Anker das Ventil zur Steuerung des internen Ölflusses. Ein zusätzlicher Sensor für die Lüfterdrehzahl schließt den Regelkreis.

## Auswirkungen bei Ausfall

Eine defekte Visco®-Kupplung kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Erhöhte Motortemperatur bzw. Kühlmitteltemperatur
- Starke Geräuschentwicklung
- Lüfterrad läuft unter allen Betriebsbedingungen voll mit

Als Ursache dafür kommen in Betracht:

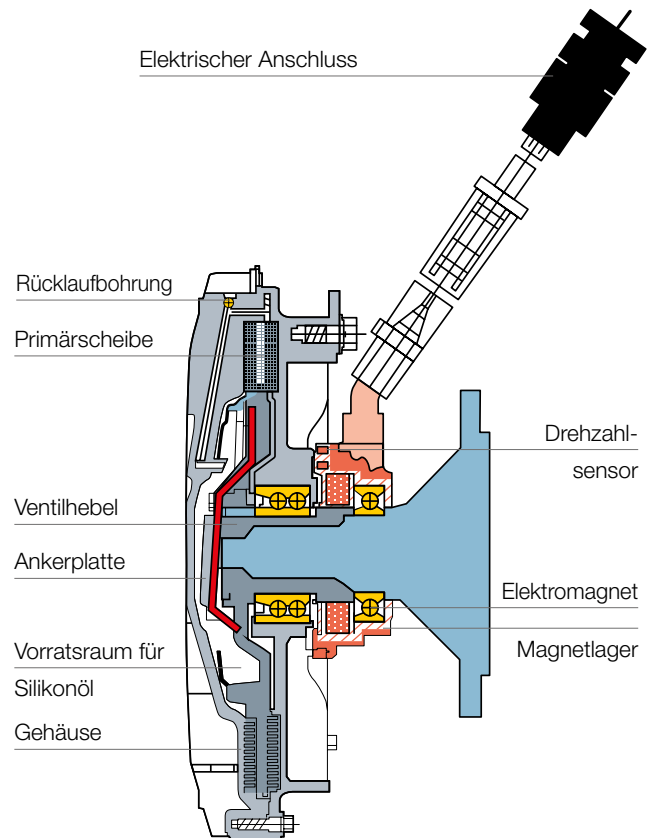
- Mangelhafter Kraftschluss durch Ölaustritt
- Ölverlust durch Undichtigkeit
- Verschmutzung der Kühlfläche bzw. des Bimetalls
- Innere Schäden (z. B. Regelventil)
- Lagerschaden
- Beschädigtes Lüfterrad
- Permanent voller Kraftschluss durch defekte Kupplung

## Fehlersuche

Prüfschritte zur Fehlererkennung:

- Kühlmittelstand und Frostschutzgehalt kontrollieren
- Visco®-Lüfter hinsichtlich äußerer Verschmutzung und Beschädigung prüfen
- Lager hinsichtlich Spiel und Geräusche überprüfen
- Auf Ölaustritt achten
- Visco®-Kupplung durch Drehen von Hand bei ausgeschaltetem Motor prüfen; bei kaltem Motor sollte das Lüfterrad sich leicht und bei warmem Motor schwer drehen lassen
- Falls möglich, den Schlupf der Kupplung mittels Drehzahlvergleich, zwischen Lüfter-/Antriebswellendrehzahl, überprüfen; bei vollem Kraftschluss darf die Differenz (bei direkt angetriebenen Lüftern) max. 5 % betragen; dazu eignet sich ein optischer Drehzahlmesser mit Reflexionsstreifen

Elektrischer Anschluss



Elektronisch geregelte Visco®-Kupplung

- Elektrischen Anschluss (elektronisch gesteuerte Visco®-Kupplung) überprüfen
- Lufttutze/Luftleitbleche kontrollieren
- Auf ausreichenden Luftdurchsatz der Kühler achten



Optischer Drehzahlmesser

# Ölkühler

## Allgemeines

Die Kühlung thermisch hochbelasteter Öle (Motor, Getriebe, Lenkhilfe) durch Ölkühler bzw. die Sicherung einer nahezu gleichbleibenden Temperatur bringt erhebliche Vorteile. Ölwechselintervalle

verlängern sich und die Lebensdauer diverser Bauteile steigt. Je nach Anforderungen finden sich Ölkühler im/am Motor-kühler oder auch direkt am Motorblock wieder. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen luft- und kühlmittelgekühlten Ölkühler-Typen.

## Aufbau/Funktionsweise

Bei hochbelasteten Fahrzeugaggregaten reicht eine konventionelle Kühlung heute nicht mehr aus. So ist z. B. die Kühlung des Motoröls sehr ungleichmäßig, da sie von der Außentemperatur und dem Fahrtwind abhängig ist. Luftgekühlte Ölkühler, die im Luftstrom der Fahrzeugfront liegen, tragen zu einer ausreichenden Abkühlung der Öltemperatur bei. Flüssigkeitsgekühlte Ölkühler sind an den Kühlmittelkreislauf des Motors angeschlossen und bieten eine optimale Temperaturregelung. Hierbei durchströmt Kühlmittel den Ölkühler. Bei warmem Motor entzieht das Kühlmittel dem Öl Wärme und kühlt es ab. Bei kaltem Motor erwärmt sich das Kühlmittel schneller als das Öl und führt somit dem Öl Wärme zu.

Dadurch erreicht das Öl schneller seine Betriebstemperatur. Ein schnelles Erreichen der Betriebstemperatur bzw. eine gleichbleibende Betriebstemperatur ist besonders bei Automatikgetrieben und Lenkhilfen von Bedeutung. Es besteht ansonsten die Gefahr, dass z. B. die Lenkung zu schwer- oder zu leichtgängig wird. Rohrkühler werden heute immer mehr durch kompakte Ganz-Aluminium-Stapelscheibenkühler ersetzt. Diese bieten eine größere Flächenkühlung bei gleichzeitig geringerem Bauraum und können an den verschiedensten Stellen im Motorraum angebracht werden.



Ölkühler für Lenkhilfe



Ölkühler für Retarder



Motoröl-Kühler

## Auswirkungen bei Ausfall

### Ein defekter Ölluftkühler kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Mangelhafte Kühlleistung
- Ölverlust
- Erhöhte Öltemperatur
- Verunreinigtes Kühlmittel

### Als Ursache dafür kommen in Betracht:

- Mangelhafter Wärmeaustausch durch äußere oder innere Verschmutzung (Insekten, Schmutz, Ölschlamm, Korrosion)
- Ölverlust durch Beschädigungen (Unfall)

- Eintritt von Öl in das Kühlsystem (innere Undichtigkeit)
- Ölverlust durch undichte Anschlüsse

## Fehlersuche

### Prüfschritte zur Fehlererkennung:

- Öl- und Kühlmittelstand kontrollieren

- Ölkühler hinsichtlich äußerer Verschmutzungen, Beschädigungen (Haarrisse) prüfen
- Kühlmittel auf Verunreinigung/ Verfärbung und Frostschutzgehalt überprüfen

- Auf äußere Leckagen (Anschlüsse) achten
- Durchflussmenge prüfen (Verstopfungen durch Fremdmaterialien, Korrosion, Ölschlamm usw.)

# Ölkühler für hydrodynamische Retarder

## Allgemeines

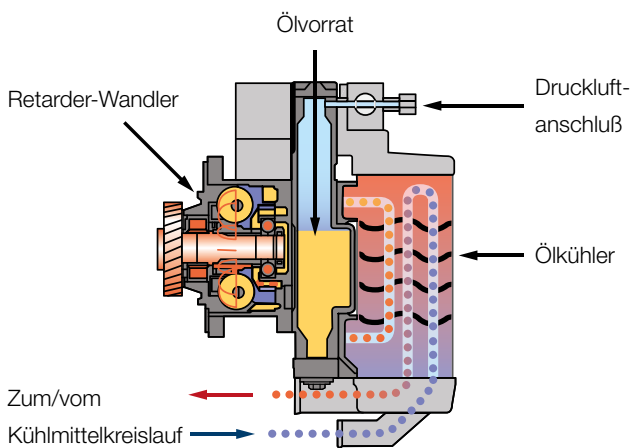
Hydrodynamische (mit Flüssigkeit arbeitende) Retarder werden bei Nutzfahrzeugen eingesetzt, um als nahezu verschleißfreie Strömungsbremse das eigentliche Bremssystem zu unterstützen. Die in Wärme umgewandelte Bewegungsenergie, die durch die Verzögerung der Fließgeschwindigkeit des Öls erzeugt wird,

## Aufbau/Funktionsweise

Neben der Betriebsbremse eines Nutzfahrzeugs, die in der Regel eine verschleißende Reibungsbremse ist, kommen seitens der Fahrzeughersteller vermehrt zusätzliche, verschleißfreie Verzögerungseinrichtungen zum Einsatz. Eine Bauart stellt der hydrodynamische Retarder dar, dessen Art des Anbaus bzw. Einbaus variiert. Hierbei wird zwischen externen und internen Retardern unterschieden. Externe Retarder können im Bereich des Antriebsstranges frei positioniert werden, während interne Retarder teilweise oder ganz im Getriebe integriert sind. Retarder gibt es in den Varianten „Inline“ (im Antriebsstrang integriert) und „Offline“ (seitlich am Getriebe angeflanscht).

### Alle Varianten haben mehrere gemeinsame Ziele:

- Fahrzeuggeschwindigkeit reduzieren
- Geschwindigkeit bei Gefälle konstant halten
- Verschleiß der Betriebsbremse minimieren
- Betriebsbremse vor Überlastung schützen

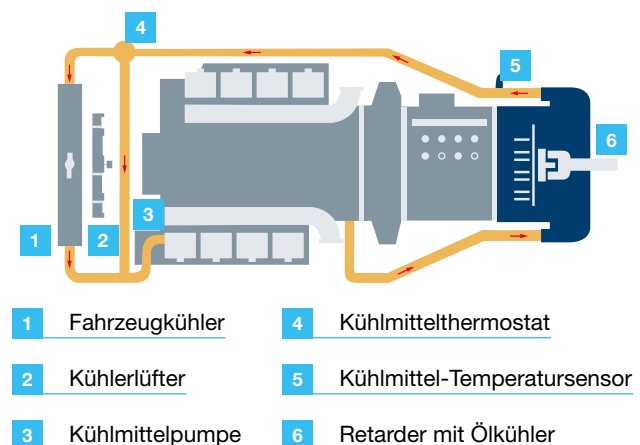


Retarder mit angebautem Ölkühler

muss durch einen Wärmetauscher wieder an das Kühlsystem abgeführt werden. Der Einsatz des Retarders wird entweder vom Fahrer aktiviert oder erfolgt automatisch. Die Bremsleistung beträgt mehrere 100 kW.

Hydrodynamische Retarder (s. Bild 2 auf folgender Seite) arbeiten meistens mit Öl (teilweise auch mit Wasser) und verfügen über einen internen oder externen Ölvorrat, der beim Bremsvorgang mit Hilfe von Druckluft in ein Wandlergehäuse geleitet wird. Das Gehäuse besteht aus zwei gegenüberliegenden Schaufelrädern, einem Rotor, der mit dem Antriebsstrang des Fahrzeugs verbunden ist, und einem feststehenden Stator. Der Rotor beschleunigt das zugeführte Öl. Durch die Form der Rotorschaukeln und der Zentrifugalkraft wird das Öl in den Stator geleitet, der dadurch den Rotor und infolgedessen die Antriebswelle abbremst. Die dabei im Retarder erzeugte Wärmeenergie erhitzt das Öl, welches über einen Ölkühler (s. Bild 4 auf folgender Seite) wieder abgekühlt wird.

Der aus Vollaluminium oder Stahl bestehende Ölkühler ist am Retarder angeflanscht und gibt die aufgenommene Wärme an den Fahrzeugkühlmittelkreislauf ab. Damit die vorgegebene Grenztemperatur nicht überschritten wird, ist ein Temperatursensor zur Überwachung der Kühlmittemperatur in der Nähe des Ölkühlers verbaut. Der Sensor sorgt dafür, dass der Retarder beim Überschreiten der Grenztemperatur heruntergeregelt bzw. abgeschaltet wird.



Kühlkreislauf mit Retarder

## Auswirkungen bei Ausfall

Ein Ausfall/Defekt des Retarders kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Kühlmittelverlust
- Ölverlust
- Vermischung von Öl und Wasser
- Totalausfall der Bremsfunktion

Folgende Möglichkeiten kommen hierfür in Betracht:

- Überhitzung des Kühlsystems durch Kühlmittelmangel, falsches Kühlmittel oder falsche Kühlmittelmischung
- Überhitzung des Kühlmittels durch falsche Handhabung (volle Abbremsung des Fahrzeugs bei geringer Motordrehzahl, falsche Getriebe-Gangwahl) und daraus resultierende Kavitation (Blasenbildung des Kühlmittels infolge hoher thermischer Belastungen); siehe Bild 3

## Fehlersuche

Folgende Schritte sollten bei der Fehlersuche angewandt werden:

- Überprüfung des Kühlmittels hinsichtlich Einhaltung der Vorgaben des Fahrzeugherstellers (Kühlmitteltyp, Mischungsverhältnis)
- Kontrolle des Kühlmittelstands
- Überprüfung des Kühlsystems auf Undichtigkeiten und Verunreinigungen (Öl, Kalk, Rost, Dichtmittel)
- Kontrolle des Kühlmittel-Zulaufs/-Ablaufs hinsichtlich Querschnittsverengungen

- Beschädigung von Dichtungen/Schlauchanschlüssen
- Querschnittsverengungen durch Verschmutzung innerhalb des Wärmetauschers bzw. Kühlsystems
- Hohe bzw. schlagartige thermische Belastungen (Temperatur/Druck)
- Interne Undichtigkeiten des Wärmetauschers
- Ausfall des Temperatursensors (Bild 1)

- Wärmetauscher auf festen Sitz und Risse prüfen
- Elektrische Komponenten (Sensor) prüfen
- Kontrolle des Kühlsystems hinsichtlich Funktion weiterer Komponenten (Lüfter, Thermostat, Wasserpumpe, Verschlussdeckel)

Im Zuge des Austauschs des Ölkühlers sollte das Kühlsystem gespült sowie das Öl des Retarders und das Kühlmittel erneuert werden. Zum Spülen eignet sich z. B. der Kühlsystem-Reiniger. Gesonderte, fahrzeugherstellerspezifische Vorgaben sind stets zu beachten.



Bild 1



Bild 2

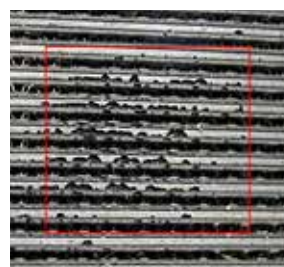


Bild 3



Bild 4

# Ladeluftkühler

## Allgemeines

Leistungssteigerung im gesamten Drehzahlbereich, niedriger Kraftstoffverbrauch, verbesserter Motorwirkungsgrad, Senken von Abgaswerten, thermische Entlastung des Motors – es gibt eine Vielzahl von Gründen die Verbrennungsluft aufgeladener Motoren mit Ladeluftkühlern zu kühlen. Grundsätzlich sind zwei Kühlungsarten zu unterscheiden: die direkte Ladeluftkühlung, wobei der Ladeluftkühler im Bereich des Vorderwagens verbaut ist und über die Umgebungsluft (Fahrtwind) gekühlt wird, und die indirekte Ladeluftkühlung, wobei Kühlmittel den Ladeluftkühler durchströmt und die Wärme ableitet.

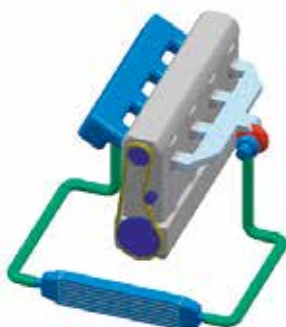


Ladeluftkühler

## Aufbau/Funktionsweise

Vom Aufbau her entspricht der Ladeluftkühler dem des Kühlmittelkühlers. Das abzukühlende Medium ist beim Ladeluftkühler (LLK) nicht Kühlmittel, sondern vom Turbolader kommende komprimierte heiße Luft (bis 150 °C). Grundsätzlich kann der Ladeluft durch die Außenluft oder dem Motorkühlmittel Wärme entzogen werden. Die Ladeluft tritt in den LLK ein und wird bei der direkten Ladeluftkühlung vom Fahrtwind durchströmt und gelangt abgekühlt zum Ansaugtrakt des Motors. Beim kühlmittelgeköhlten LLK kann die Einbaulage des LLK fast frei gewählt werden, wobei auch das geringere Bauvolumen von Vorteil ist. So können beispielsweise bei der indirekten Ladeluftkühlung der kühlmittegeköhlte LLK und der Ansaugtrakt eine Einheit bilden. Ohne einen zusätzlichen Kühlkreislauf kann die Ladeluft allerdings nur bis in die Nähe der Kühlmitteltemperatur abgesenkt werden. Mit Hilfe eines gesonderten, vom Motor-Kühlmittelkreislauf unabhängigen LLK-Kühlmittel-Kreislaufs, lässt sich der Wirkungsgrad des Motors durch Zunahme der Luftdichte weiter steigern.

Eingebunden in diesen Kreislauf sind ein Niedertemperatur-Kühlmittelkühler und ein Ladeluft-Kühlmittelkühler. Die Ladeluft-Abwärme wird zuerst auf das Kühlmittel übertragen und dann im Niedertemperatur-Kühlmittelkühler an die Umgebungsluft abgeführt. Der Niedertemperatur-Kühler ist im Frontend des Fahrzeugs untergebracht. Da der Niedertemperatur-Kühler deutlich weniger Platz benötigt als ein herkömmlicher luftgekühlter LLK, wird Raum im Frontend frei. Zudem entfallen die voluminösen Ladeluftleitungen.



Schematische Darstellung

Direkte Ladeluftkühlung



Indirekte Ladeluftkühlung/Ansaugkrümmer mit integriertem LLK



## Auswirkungen bei Ausfall

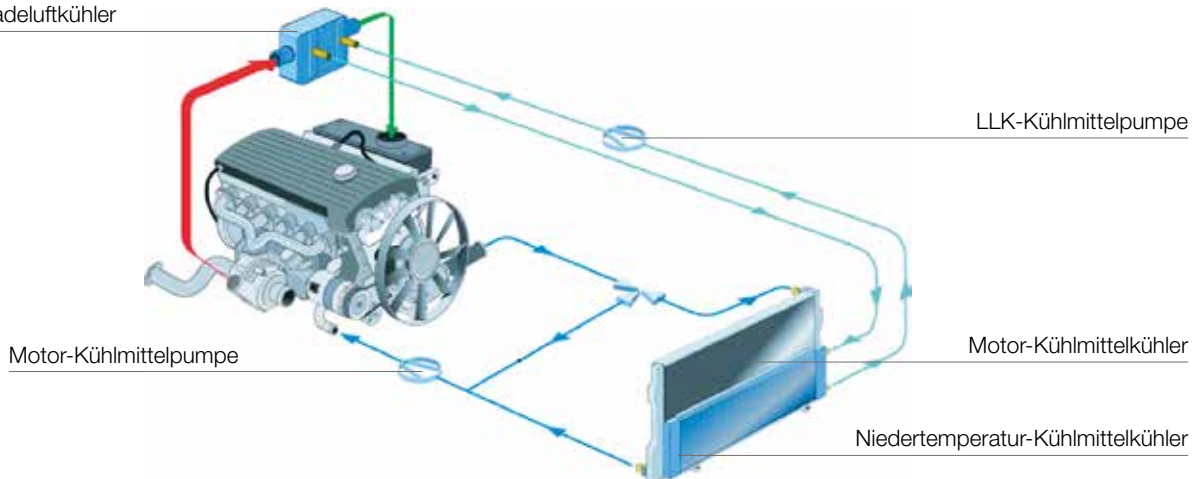
Ein defekter Ladeluftkühler kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Mangelhafte Motorleistung
- Kühlmittelverlust (bei kühlmittegekühltem LLK)
- Erhöhter Schadstoffausstoß
- Erhöhter Kraftstoffverbrauch

Als Ursache dafür kommen in Betracht:

- Beschädigte oder blockierte Schlauch-/Kühlmittelverbindungen
- Kühlmittelverlust oder Falschluff durch Leckagen
- Äußere Beschädigung (Steinschlag, Unfall)
- Verminderter Luftdurchsatz (Schmutz)
- Mangelhafter Wärmeaustausch durch innere Verschmutzung (Korrosion, Dichtmittel, Kalkablagerungen)
- Ausfall der Kühlmittelpumpe (bei Niedertemperatur-Kühlmittelkühler)

Indirekter Ladeluftkühler



## Fehlersuche

Prüfschritte zur Fehlererkennung:

- Kühlmittelstand kontrollieren
- Kühlmittel auf Verunreinigung/Verfärbung und Frostschutzgehalt überprüfen
- Auf äußere Beschädigungen und Verschmutzung achten
- Systembauteile und Verbindungselemente (Schlauchverbindungen) hinsichtlich Leckagen kontrollieren
- Kühlmittelpumpe überprüfen
- Lüfter und Zusatzlüfter kontrollieren
- Durchflussmenge prüfen (Verstopfungen durch Fremdmaterialien, Korrosion)

# Kühler für Abgasrückführung (AGR)

## Allgemeines

Eine Möglichkeit, die strengen Euro-6-Grenzwerte hinsichtlich Stickoxidausstoß (NO<sub>x</sub>) zu erreichen, ist die gekühlte Abgasrückführung (AGR). Dabei wird ein Teil des Hauptabgasstroms zwischen Abgaskrümmer und Turbolader entnommen, in einem speziellen Wärmetauscher (AGR-Kühler) gekühlt und der Ansaugluft wieder zugeführt. Dadurch sinkt die Verbrennungstemperatur im Motor und die Bildung von Stickoxiden wird reduziert.



AGR-Kühler ausgebaut

## Aufbau/Funktionsweise

Der in der Nähe des Motors verbaute AGR-Kühler besteht aus Edelstahl oder Aluminium. Er verfügt über mehrere Anschlüsse, durch welche heiße Abgase und Kühlmittel in den Kühler einströmen. Nachdem die Abgase im Kühler heruntergekühlt wurden, verlassen diese den Kühler und werden dosiert zum Ansaugsys-

tem geleitet und somit dem Verbrennungsraum zugeführt. Dadurch vermindert sich der Stickoxidausstoß bereits vor dem Katalysator. Am AGR-Kühler sind pneumatische und/oder elektrische Aktuatoren verbaut. Diese übernehmen die Steuerung der Abgasrückführungsrate.

## Ausfallursachen und Auswirkungen

Der AGR-Kühler ist zwar kein klassisches Verschleißteil, dennoch können Defekte durch z. B. extreme Temperaturschwankungen oder fehlende bzw. aggressive Kühlmittelzusätze zu internen oder externen Undichtigkeiten führen. Des Weiteren ist ein Ausfall der Aktuatoren möglich. Anzeichen für einen undichten AGR-Kühler kann ein schleichender Verlust des Kühlmittels sein, oftmals auch gekoppelt mit einer erhöhten Motortemperatur.

Der Verlust bleibt zunächst unbemerkt, da bei laufendem Motor der Abgasgedruck höher ist als der Kühlmitteldruck. Bei abgestelltem Motor lässt der Druck nach und Kühlmittel entweicht im Ansaug- oder Abgastrakt des Motors. Liegt der Kühler höher als die Ein- und Auslassventile, kann dies zu einer Ansammlung von Kühlmittel im Verbrennungsraum führen.

Bei erneutem Starten können durch „Wasserschlag“ mechanische Beschädigungen an den Komponenten des Motors hervorgerufen werden.

Bei einem gerissenen AGR-Kühler kann der Abgasdruck unkontrolliert entweichen und steht dem Turbolader nicht mehr ausreichend zur Verfügung. Die Folge ist fehlender Ladedruck bzw. mangelhafte Motorleistung. Die am AGR-Kühler verbauten Aktuatoren können durch z. B. Undichtigkeiten, gerissener Membrane (pneumatisch), elektrische Fehler (Ansteuerung, Kontaktierung) oder mechanische Fehler (Antrieb/Betätigung schwergängig oder gebrochen) ausfallen.

Als weitere Ausfallursache kommt eine interne Verkokung des AGR-Kühlers in Betracht. Viele der o. g. Fehler werden vom Steuergerät erkannt und führen zum Aufleuchten der Motorkontrolllampe.

## Fehlersuche

Durch den Ort, an dem der AGR-Kühler verbaut ist, gestaltet sich die Fehlersuche oftmals schwierig. Es gibt allerdings eine Vielfalt an Möglichkeiten Bauteile zu prüfen und die Fehlerursache zu ermitteln:

### 1. Fehlerspeicher auslesen

- Das Auslesen des Fehlerspeichers gibt Hinweise in welchem Bereich sich der Defekt befindet

### 2. Messwertblöcke beobachten

- Durch den Vergleich von Soll-/Ist-Werten ergeben sich Rückschlüsse über Funktion und Lage von Komponenten

### 3. Optische und akustische Prüfung

- Mit Hilfe einer optischen und akustischen Prüfung lassen sich Undichtigkeiten (Kühlmittel, Abgas, Druck-/Unterdruck) und Verschmutzungen aufspüren

### 4. Mechanische Prüfung

- Mechanische Antriebe (Stellmotor) sollten hinsichtlich Funktion und Leichtgängigkeit geprüft werden

### 5. Druck-/Unterdruckprüfung

- Mittels einer Druck-/Unterdruckpumpe lassen sich pneumatische Komponenten (Unterdruckdose/Ventile/Druckwandler) und Schlauchleitungen prüfen

### 6. Einsatz des Multimeters

- Mit dem Multimeter kann die Spannungsversorgung elektrischer Komponenten geprüft werden

### 7. Prüfung mit dem Oszilloskop

- Der Einsatz des Oszilloskops empfiehlt sich besonders bei der Prüfung der Ansteuerung von Komponenten (PWM-Signal)

Vor dem Start der Diagnose sollte sich mit Hilfe von fahrzeugspezifischen Unterlagen (Schaltleitungsplan, Prüfwerte) ein Überblick über das System und der verbauten Komponenten verschafft werden. Damit steht einer strukturierten Fehlersuche nichts mehr im Wege.



AGR-Kühler mechanische Betätigung



AGR-Kühler mit Stellmotor und Unterdruckdose

# PTC-Zusatzheizer

## Allgemeines

Durch den hohen Wirkungsgrad moderner, direkteinspritzender Motoren (z. B. TDI) reicht die Abwärme an kalten Tagen für eine schnelle Aufheizung des Fahrzeuginnenraumes nicht mehr aus. Durch PTC-Zuheizer, die in Fahrtrichtung vor dem Wärmetauscher verbaut sind, wird eine schnellere Aufheizung des Innenraumes bewirkt. Diese bestehen aus mehreren temperaturabhängigen, elektrisch angesteuerten Widerständen. Ohne Verzögerung wird Energie aus dem elektrischen Bordnetz entnommen und direkt als Wärme über den Gebläseluftstrom an den Fahrzeuginnenraum abgegeben.



PTC-Zuheizer

## Aufbau/Funktionsweise

PTC-Elemente gehören zu den nichtlinearen Keramik-Widerständen. PTC steht für Positive Temperature Coefficient, d. h., der elektrische Widerstand steigt mit der Temperatur des Elements. Ganz genau stimmt das aber nicht, denn zunächst sinkt er mit steigender Temperatur. Die Widerstandskennlinie hat in diesem Bereich eine negative Temperaturcharakteristik. Erst wenn der minimale Widerstand erreicht ist, ändert sich die negative in eine positive Temperaturcharakteristik, d. h., mit weiter steigender Temperatur nimmt der Widerstand zuerst langsam ab und über ca. 80 °C dann stark zu, und zwar so lange, bis die PTC-Heizelemente praktisch keinen zusätzlichen Strom mehr aufnehmen. An diesem Punkt beträgt die Oberflächentemperatur, wenn keine Luft durch den PTC-Heizer strömt, etwa 150 °C, die des Metallrahmens ca. 110 °C. Der PTC-Heizer besteht aus mehreren Heizelementen, einem Befestigungsrahmen, einem Isolationsrahmen und den Relais oder der Leistungselektronik.

Die Heizelemente setzen sich zusammen aus PTC-Keramiksteinen, Kontaktblechen, Anschlüssen und Aluminium-Wellrippen. Die Wellrippen vergrößern die wärmeabgebende Oberfläche der Kontaktbleche. Zur Steigerung des luftseitigen Wärmeübergangs sind die Wellrippen mit Schlitzen versehen, den „Kiemen“. Durch den verbesserten Wärmeübergang kann die Einschaltstrom-Überhöhung gegenüber Zuheizern ohne Kiemen-Wellrippen deutlich verringert werden. Das hat den Vorteil, dass einzelne PTC-Stränge öfter zugeschaltet werden können. Der Heizer kann deshalb mit insgesamt höherer Leistung betrieben werden. Das Produktions-Know-how für die „Bekiemung“ stammt aus der Kühlerfertigung. Der Zuheizern ist in der Heizungs-/Klimaeinheit angeordnet, im Luftstrom direkt hinter dem konventionellen Wärmetauscher, wodurch der Bauraumbedarf auf ein Minimum beschränkt wird. Bei niedrigen Außentemperaturen und kaltem

Motor wird der PTC-Heizer zunächst nur von kalter oder vom Wärmetauscher leicht erwärmter Luft durchströmt. Temperatur und Widerstand der Heizelemente sind niedrig, die Heizleistung dagegen ist hoch. Mit dem Ansprechen der konventionellen Heizung steigen Lufttemperatur und Widerstand, entsprechend sinkt die Heizleistung. Bei einer Oberflächentemperatur eines PTC-Heizers, der mit 25 °C warmer Luft durchströmt wird, wird ein Volumenstrom von ca. 480 kg Luft pro Stunde erreicht. Das Heizungsnetz nimmt bei dieser Lufttemperatur eine Durchschnittstemperatur von 50 °C an. Der Nennwiderstand der PTC-Elemente kann verschieden gewählt werden, entsprechend ändern sich Stromaufnahme und Leistung. Ein niedriger Nennwiderstand lässt im Betrieb eine hohe Heizleistung zu. Die Leistungen der PTC-Heizungen liegt zwischen 1 und 2 kW. Mit 2 kW ist die Leistungsgrenze des 12-V-Netzes (150 A bei 13 V) erreicht. Bei einem 42-V-Bordnetz wären höhere Leistungen möglich. Durch die geringe Masse und dadurch, dass die elektrisch erzeugte Wärme ohne Umwege direkt an den Luftstrom abgegeben wird, spricht die PTC-Heizung praktisch sofort an. Diese hohe Spontaneität ist das kennzeichnende Merkmal des PTC-Zuheizers. Da außerdem der Motor, infolge der zusätzlichen Belastung des Generators, schneller auf Betriebstemperatur kommt, spricht auch die konventionelle Heizung schneller an. Diese zusätzliche Heizleistung beträgt etwa zwei Drittel der Leistung des PTC-Heizers. Praktisch kann diese Heizleistung der PTC-Heizung zugerechnet werden. Durch die charakteristische Widerstandskurve der PTC-Elemente wird verhindert, dass sich die PTC-Heizung überhitzt. Die Temperatur der Oberfläche des Metallrahmens liegt stets unter 110 °C. Zudem wird bei höheren Ausblastemperaturen des Wärmetauschers die Leistung der PTC-Heizung zurückgenommen. Durch eine Leistungselektronik lässt sich die PTC-Heizung in mehreren Stufen oder stufenlos regeln, so dass sie der benötigten Heizleistung oder der zur Verfügung stehenden elektrischen Leistung angepasst werden

kann. Die Ansteuerung des PTC-Heizers erfolgt entweder extern mit Relais oder durch eine integrierte Regelung mit Leistungselektronik. Bei der Relais-Ansteuerung legt der Fahrzeughersteller fest, welche und wie viele Stufen zugeschaltet werden. Bei der im Zuheizer integrierten Regelung wird zwischen minimaler und hoher Funktionalität unterschieden. Bei minimaler Funktionalität werden die Stufen einzeln zugeschaltet.

Die Leistungselektronik schützt den Zuheizer gegen Überspannung, Kurzschluss und Verpolung. Eine Diagnosemöglichkeit ist bei dieser Regelung nicht vorgesehen. Bei der gestuften Regelung sind bis zu acht Stufen möglich. Die Ansteuerung erfolgt in

Abhängigkeit von Stromhaushalt und Zuheizbedarf, d. h. dem gewünschten thermischen Komfort. Bei der Regelung mit hoher Funktionalität erfolgt die Ansteuerung der Leistungselektronik z. B. stufenlos durch den fahrzeugseitigen LIN- oder CAN-Bus. Dadurch kann der Strom, den das Bordnetz in jeder Situation zur Verfügung stellt, stets optimal für die Zuheizung ausgenutzt werden. Zusätzlich zur Sicherheit gegen Überspannung, Kurzschluss und Verpolung, enthält die Leistungselektronik mit hoher Funktionalität einen Überstromschutz pro Stufe, einen Schutz der Leiterplatte gegen Überhitzung und eine Spannungsüberwachung. Die Regelung mit hoher Funktionalität ist diagnosefähig.

## Auswirkungen bei Ausfall

Ein defekter PTC-Zuheizer kann sich wie folgt bemerkbar machen:

- Verminderte Leistung der Heizung bei kaltem Motor
- Abspeichern eines Fehlercodes im Fehlerspeicher

## Fehlersuche

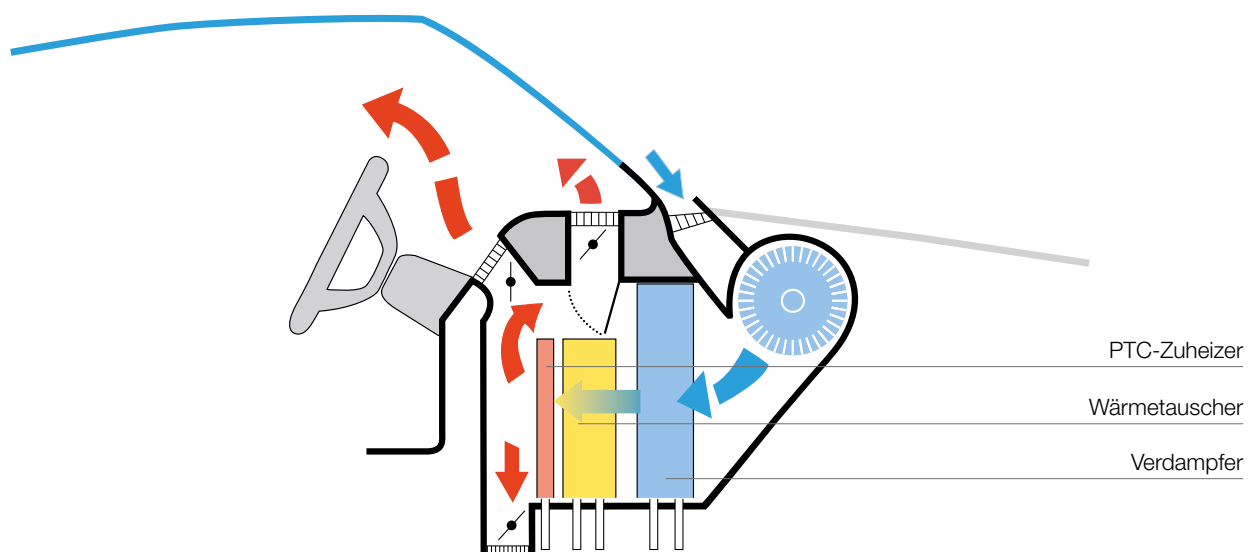
Prüfschritte zur Fehlererkennung:

- Sicherung überprüfen
- Fehlerspeicher auslesen
- Messwertblöcke auslesen
- Elektrische Ansteuerung (Relais) überprüfen
- Elektrische Anschlüsse überprüfen

Als Ursache dafür kommen in Betracht:

- Elektrische Ansteuerung oder elektrische Anschlüsse des PTC-Zuheizers fehlerhaft
- PTC-Zuheizer defekt (Leistungselektronik, Widerstände)

Über das sogenannte „Lastmanagement“ regelt das Bordnetzsteuergerät bei vielen Fahrzeugen den PTC-Zuheizer und schaltet diesen bei Überlastung des Bordnetzes auch ab. Der Status des Lastmanagements kann oftmals über die Messwertblöcke abgerufen werden. Bei Beanstandung der Heizleistung kann somit durch das Auslesen des Fehlerspeichers und der Messwertblöcke festgestellt werden, ob nicht eine Überlastung des Bordnetzes dazu geführt hat, dass der Zuheizer abgeschaltet wurde. Als Ursache einer Überlastung kommt auch ein defekter Zuheizer in Betracht.





MAHLE Aftermarket GmbH  
Pragstraße 26 - 46  
70376 Stuttgart  
Telefon: +49 711 501-0

[www.mahle-aftermarket.com](http://www.mahle-aftermarket.com)  
[www.mpulse.mahle.com](http://www.mpulse.mahle.com)