

MTZ

10 Oktober 2011 | 72. Jahrgang

Sonderdruck/Offprint

aus/from MTZ 10|2011

Springer Automotive Media

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

STAHLKOLBEN FÜR PKW-DIESELMOTOREN STEEL PISTONS FOR PASSENGER CAR DIESEL ENGINES





STAHLKOLBEN FÜR PKW-DIESELMOTOREN

Seit Jahrzehnten werden Aluminiumkolben bei Pkw-Motoren erfolgreich eingesetzt. Doch steigende thermische und mechanische Beanspruchungen machen den Einsatz von Stahl als Kolbenwerkstoff zunehmend attraktiv. Zur Erfüllung wachsender Ansprüche an Belastbarkeit und Funktionsverhalten entwickelt KS Kolbenschmidt Stahlkolben für Pkw-Dieselmotoren.

AUTOREN



DIPL.-ING. (FH)

EMMERICH OTTLICZKY

ist Leiter Abteilung Produktentwicklung Kolben (EU) der KS Kolbenschmidt GmbH in Neckarsulm.



DR.-ING. MARCO VOIGT

arbeitet im Bereich Zentrale Entwicklung der Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm.



DR.-ING. HANS-JOACHIM WEIMAR

ist Leiter Abteilung Triebwerk und Tribologie der Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm.



EBERHARD WEISS

Staatl. Gepr. Maschinenbautechniker, arbeitet in der Produktentwicklung Kolben (EU) der KS Kolbenschmidt GmbH in Neckarsulm.

MOTIVATION

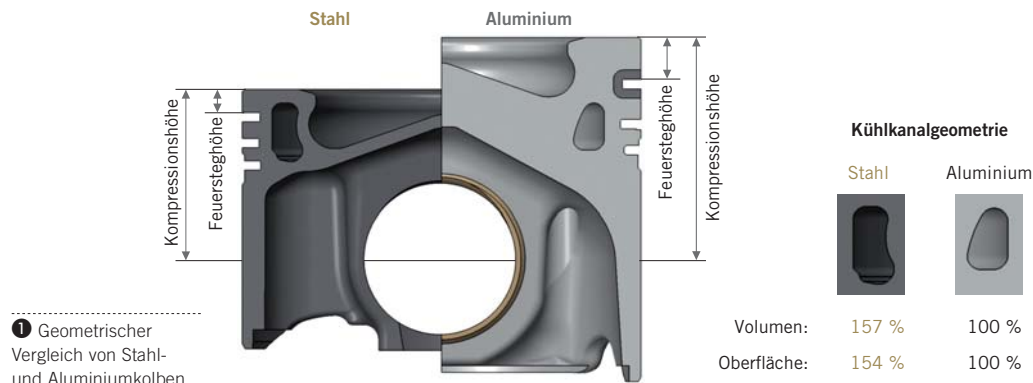
Die Anforderungen an moderne Pkw-Dieselmotoren sind in den letzten Jahren stark angestiegen. Mit dem Ziel, den thermischen und mechanischen Wirkungsgrad zu verbessern, nehmen Downsizing-Konzepte rapide zu. Unmittelbare Folge ist ein Anstieg der spezifischen Motorleistung auf mehr als 90 kW/l und der Zünddrücke auf über 200 bar. Die daraus resultierenden thermischen und mechanischen Beanspruchungen sind mit den heutigen Kolben aus Aluminiumlegierungen kaum noch dauerhaft zu erfüllen. Der Zeitpunkt für einen Wechsel auf den härtesten Kolbenwerkstoff Stahl in Verbindung mit einer robusten Kolbenkonstruktion, wie bereits im Nkw-Bereich seit einigen Jahren vollzogen [1], rückt damit immer näher.

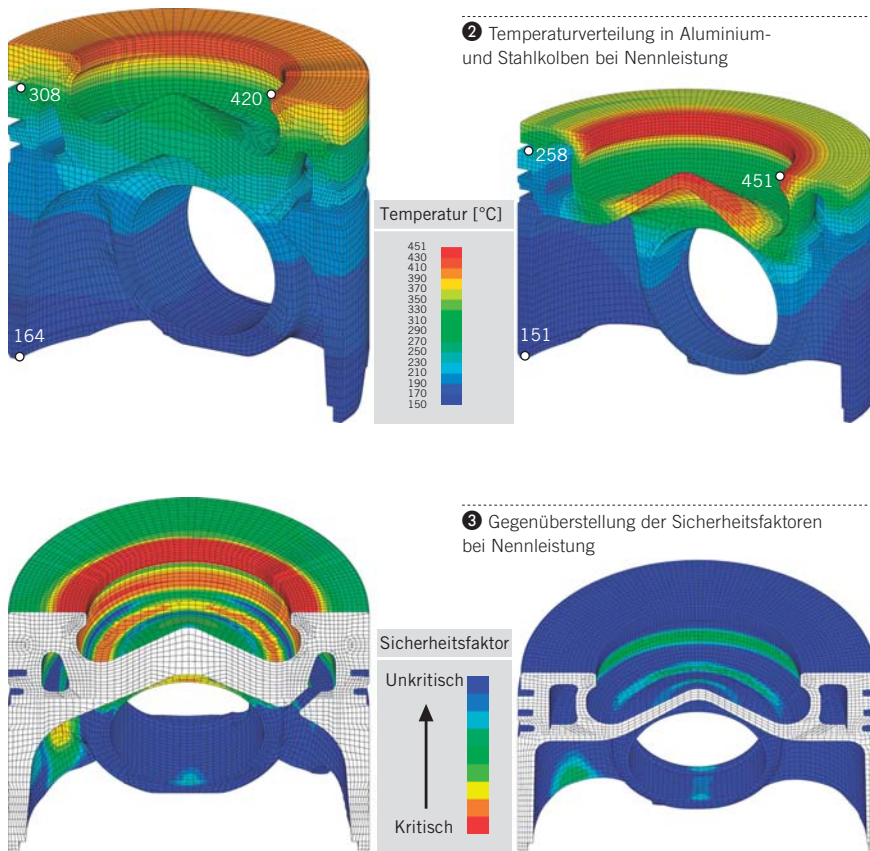
KONSTRUKTIVE AUSLEGUNG

Der von KS Kolbenschmidt patentierte Stahlkolben besteht aus einem einteiligen Schmiedeteil. Durch ein spezielles Fertigungsverfahren wird die Ringfeldzone so umgeformt, dass ein geschlossener Kühlkanal entsteht. Mit Hilfe eines Fügeverfahrens werden Ringfeld und Schaft miteinander verbunden. Um eine Gewichtsneutralität zwischen Stahl und heutigen Aluminiumlegierungen einzustellen, wurde der Stahlkolben mit geringen Wandstärken, einem großen Kühlkanal und einer geringen Kompressionshöhe konzipiert. Die Kompressionshöhe wird dabei über den erforderlichen Bolzendurchmesser sowie die Geometrie des kleinen Pleuelauges und der Brennraummulde bestimmt.

Bei der Kompressionshöhe hält der Entwicklungsbereich Reduzierungen um bis zu 30 %, bei der Feuersteghöhe um bis zu 50 % für möglich, ①. Dadurch kann ein längeres Pleuel eingesetzt werden, womit sich geringere Seitenkräfte mit reduzierter Reibung am Schaft/Zylinder-Kontakt ergeben. Bei der Entwicklung neuer Motoren lässt sich die kompakte Bauart für eine geringere Zylinderblockhöhe nutzen. Dies bedeutet nicht nur weniger Motormasse, sondern erhöht auch die passive Fahrzeugsicherheit in Bezug auf den Fußgängerschutz.

Einen wesentlichen Beitrag zur Gewichtsneutralität der Kolbengruppe liefert der Kolbenbolzen. Durch die bei Stahl um 80 % höhere ertragbare Flächenpressung in der Bolzenbohrung kann die Länge des Kolbenbolzens deutlich reduziert werden. Auf diese Weise wird ein Großteil des Nacktkolbengewichts kompensiert. Ein weiteres Merkmal des Bolzens ist eine reibungsminimierende DLC-Beschichtung.





Von zentraler Bedeutung ist die Kolbenkühlung. Schlüsselgrößen bei der Gestaltung des Kühlkanals sind eine geringe Distanz zum Muldenrand sowie eine thermische Abschirmung der ersten Ringnut. Im Vergleich zum Aluminiumkolben ist das Volumen des Kühlkanals um 57 %, die für den Wärmeübergang wirksame Oberfläche um 54 % größer ausgeführt, ①. Entscheidend ist auch die freie innere Kühlkanalhöhe, die bei der Hubbewegung des Kolbens durch Konvektion hohe Wärmeströme ermöglicht (Shakereffekt). Durch das von KS Kolbenschildt umgesetzte Konstruktionskonzept entfallen störende und somit die Wärmeabfuhr mindernde Schweißwulste im Kühlkanal. Das im Vergleich zum Aluminiumkolben niedrigere Temperaturniveau im Ringfeld reduziert nach den Ergebnissen der Untersuchungen über die Lebensdauer die Verkokung der Ringnuten sowie den Nut- und Kolbenringverschleiß. Eine spezielle Anpassung der Kolbenringe ist nicht erforderlich. Um eine Überhitzung des Öls durch den höheren Wärmeeintrag zu verhindern, ist der Kühlölbedarf abzustimmen.

Als Werkstoff kommt der Vergütungsstahl 42CrMo4 zum Einsatz. Dieser Werkstoff bietet für hohe spezifische Leistungen einen sehr guten Kompromiss in Bezug auf Umformbarkeit, Fügbarkeit und Bearbeitbarkeit, Festigkeitseigenschaften und Zunderbeständigkeit.

SIMULATION

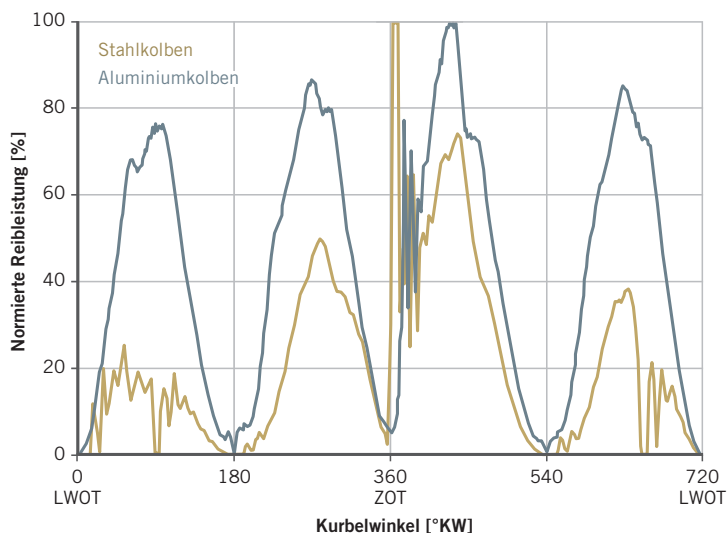
Stahl besitzt im Vergleich zu Aluminium eine höhere Dauerfestigkeit, um die Anforderungen an moderne Pkw-Dieselmotoren mit gesteigerter Leistungsdichte und Zünddrücken von bis zu 250 bar zu erfüllen [2]. Den Einfluss der deutlich schlechteren Wärmeleitfähigkeit veranschaulicht die Darstellung der Temperaturverteilung für beide Kolbenausführungen in ② bei identischer Motorleistung. Der beim Stahlkolben größere Kühlkanal schirmt das Ringfeld gegenüber dem Wärmeeintrag in der Brennraummulde ab, sodass die Nuttemperaturen um mehr als 50 °C geringer sind als beim Aluminiumkolben. Im Bereich des Muldenrands und -bodens stellt sich ein um über 30 °C höheres Temperaturniveau ein.

Aus einer Analyse der Belastungssituation während eines Arbeitsspiels lässt sich in Verbindung mit den temperaturabhängigen Festigkeitseigenschaften des jeweiligen Materials ein Sicherheitsfaktor ermitteln. Hier zeigt der Vergleich in ③, dass für den Aluminiumkolben die Situation im Bereich der Brennraummulde als kritisch einzustufen ist. Dagegen sind die Verhältnisse beim Stahlkolben deutlich unkritischer und bieten noch Reserven für eine weitere Leistungssteigerung.

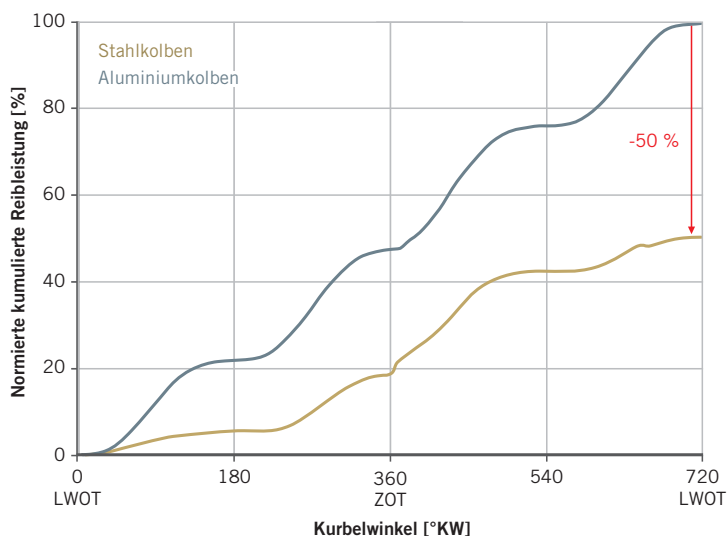
Infolge der thermischen Ausdehnung ist die Hubbewegung eines Aluminiumkolbens in weiten Bereichen des Motorkennfelds durch die gleichzeitige Belastung des Kolbenschafts auf Druck- und Gegendruckseite gekennzeichnet, das heißt, er bewegt sich den größten Teil des Arbeitsspiels in Überdeckung im Zylinder. Hier ist eine Vergrößerung des Einbauspiels eine Maßnahme zur Reduktion der Reibungsverluste [3].

Bei Stahlkolben stellen sich durch die anderen Materialeigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und thermischer Ausdehnungskoeffizient) niedrigere beziehungsweise keine Überdeckungskräfte ein, sodass Reibungsverluste nur durch die jeweils anliegende Seite des Kolbenschafts erzeugt werden. In Verbindung mit den klein gehaltenen und asymmetrisch ausgeführten Schaftflächen führt dieser Effekt, dargestellt in ④, im betrachteten Teillastpunkt zu einer Verminderung der mittleren Reibleistung um 50 %.

Als Folge des kleineren Einbauspiels verbessert sich im Betriebspunkt „Leerlauf, kalt“ das Geräuschverhalten deutlich. Die maßgebliche Schwingungsanregung durch den Anlagewechsel des Kolbens in ZOT, die in ⑤ für einen repräsentativen Punkt auf der Zylinderaußenseite zu sehen ist, führt zu einem Anregungspegel, der im Vergleich zum Aluminiumkolben um mehr als 5 dB niedriger ausfällt. Im Betriebspunkt „Teillast, warm“ ist durch die ungünstigeren Warmspielverhältnisse eine sorgfältige Abstimmung notwendig. Durch eine optimierte Schaftsteifigkeit und -anbindung kann in Verbindung mit einer geeigneten Desachsierung und Spiegelgestaltung des Kolbenschafts ein zum Aluminiumkolben gleichwertiges Anregungsniveau erreicht werden.



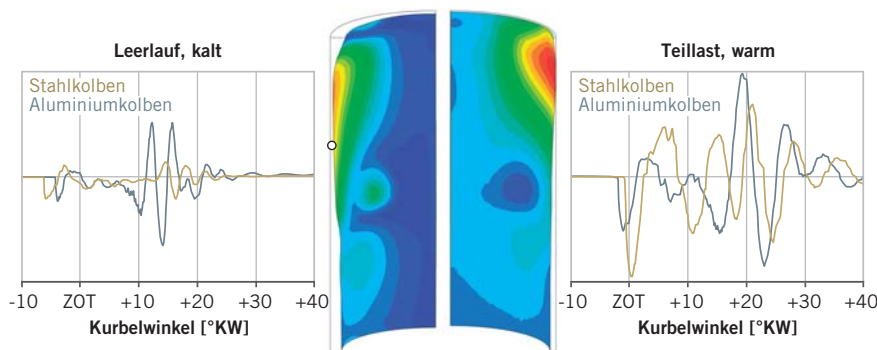
④ Reibungsverluste am Kolben-schaft bei Teillast



MOTORISCHE ERPROBUNG

Pkw-Stahlkolben wurden in verschiedenen Motorversuchen an Vier-, Sechs- und Acht-Zylindermotoren in Euro-4- und

Euro-5-Applikationen erprobt. Neben ihrer Grundfunktionalität haben sie ihre Betriebsfestigkeit in Dauerläufen mit Laufzeiten von mehreren hundert Stunden und Zünddrücken bis zu 220 bar bewiesen.



⑤ Schwingungsanregung des Zylinders unter Berücksichtigung der Verformung

Erste Kolbentemperaturmessungen wurden an einem V-Motor in der Euro-4-Applikation und erhöhtem Zünddruck ($p_z = 190$ bar) durchgeführt. ⑥ zeigt eine Gegenüberstellung der im Nennleistungspunkt ermittelten Temperaturbereiche am Muldenrand, an der ersten Ringnut und an der Nabe, jeweils für Aluminium- und Stahlkolben.

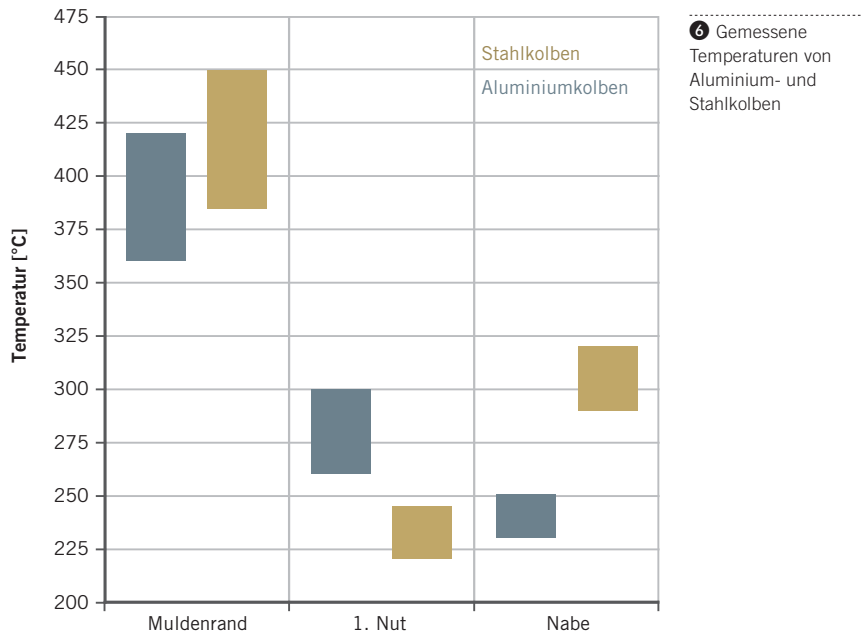
Beim Aluminiumkolben werden Muldenrandtemperaturen im Bereich von 360 bis 420 °C erreicht, beim Stahlkolben um 385 bis 450 °C. Damit stellen sich beim Stahlkolben – bedingt durch die geringere Wärmeleitfähigkeit von Stahl – am Muldenrand um circa 30 °C höhere Temperaturen ein.

Ein charakteristisches Merkmal von Pkw-Stahlkolben sind die um circa 50 °C geringeren Temperaturen in der ersten Ringnut. Während Aluminiumkolben Nuttemperaturen um 260 bis 300 °C aufweisen, werden diese bei Stahlkolben aufgrund weiter Wärmeleitwege zwischen Brennraummulde und Ringfeld, schlechterer Wärmeleitfähigkeit von Stahl sowie großem Kühlkanal mit gesteigerter Kühllösmenge auf deutlich niedrigerem Niveau um 220 bis 245 °C ermittelt.

Die ermittelten Nabentemperaturen für Aluminiumkolben betragen 230 bis 250 °C. Infolge der deutlich reduzierten Kompressionshöhe von Stahlkolben und des daraus resultierenden geringeren Abstands der Nabe zur Brennraummulde ergeben sich Nabentemperaturen von 290 bis 320 °C.

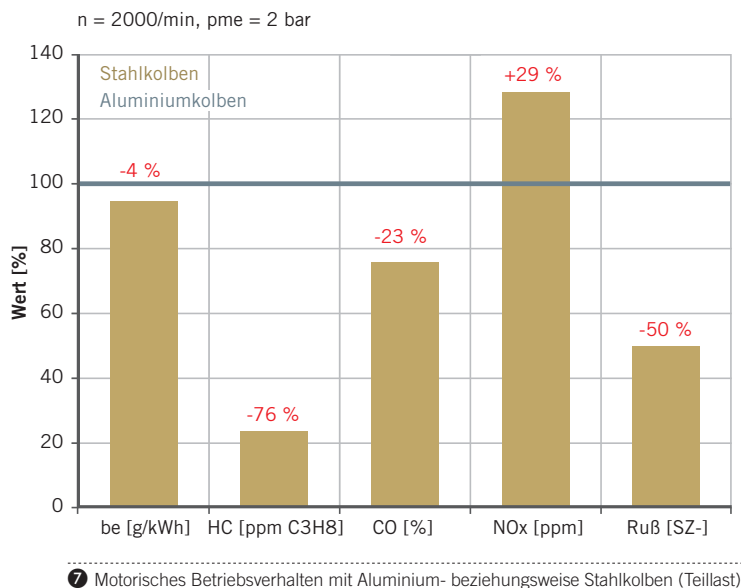
An einem Motor in der Euro-5-Applikation ($p_z = 180$ bar) wurde der Einfluss der bei Stahlkolben höheren Oberflächen-temperatur auf das motorische Betriebsverhalten, insbesondere auf die Emissionen untersucht. Die dabei eingesetzten Stahlkolben wurden mit derselben Muldenform und demselben Verdichtungsverhältnis ausgeführt wie die Aluminiumkolben. Die um circa 10 mm geringere Kompressionshöhe wurde durch längere Pleuel kompensiert.

Die Untersuchungen – wie auch mit anderen Motoren verifiziert – zeigen, dass bereits ohne Modifikationen der im Steuergerät abgelegten Kennfelder ein stabiles Betriebsverhalten möglich ist. Für die dargestellten Untersuchungen wurde das Kennfeld in einigen Betriebspunkten auf den Einsatz von Stahlkolben angepasst. ⑦ zeigt in einem ausgewählten Teillast-Punkt ($n = 2000/\text{min}$, $p_{me} = 2$ bar) die im Vergleich zum Aluminiumkolben ermittelten Werte



temperaturen zur Folge, die zu um 29 % höheren NO_x -Emissionen führen. In Kombination mit längeren Pleueln, die eine Reduzierung der Seitenkraft und somit der Schafreibung bedeuten, führt die bessere Kraftstoffumsetzung auch zu einem Vorteil im spezifischen Kraftstoffverbrauch von bis zu 4 %.

Messungen unter Volllast ($n = 4000/\text{min}$, $p_{me} = 18 \text{ bar}$) zeigen, dass unter gleichen Randbedingungen bei Stahlkolben (Zünddruck, Laderdrehzahl) die NO_x -Emissionen auf demselben Niveau liegen wie bei Aluminiumkolben. Ursache hierfür ist die bei Volllast dominante Verbrennungstemperatur gegenüber der Temperatur an der Kolbenoberfläche. Bei einer nur um 1 % höheren Abgastemperatur – bedingt durch thermische Drosselung – ergibt sich bezüglich der Rußemissionen beim Stahlkolben ein Vorteil in der Größenordnung um 20 %. HC- und CO-Emissionen spielen unter Volllast im Bereich einiger weniger ppm nur eine untergeordnete Rolle.



ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Stahlkolben für Pkw-Dieselmotoren von KS Kolbenschmidt in kompakter Konstruktion haben in ersten Untersuchungen klare Vorteile im Kraftstoffverbrauch und bei den Emissionen ohne Einschränkungen im Funktionsverhalten bewiesen. Nach Einschätzung von Kolbenschmidt Pierburg erschließt sich durch die höhere Belastbarkeit von Stahl noch weiteres Potenzial für eine Leistungssteigerung beziehungsweise ein Downsizing der Motoren, die mit Aluminiumkolben nicht mehr darstellbar sind. Durch Anpassung von Verdichtungsverhältnis und Muldengeometrie an den Werkstoff Stahl werden zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten gesehen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Reipert, P.; Ottliczky, E.: Aluminium- oder Eisenlegierungen: Partner oder Konkurrenten als Werkstoffe für Dieselkolben. 6. Dresdner Motorenkolloquium, 2005
- [2] Backhaus, R.: Kolben aus Stahl für Pkw-Dieselmotoren. In: MTZ 70 (2009), Nr. 12, S. 902-906
- [3] Deuß, T.; Ehnis, H.; Freier, R.; Künzel, R.: Reibleistungsmessungen am befeuerten Dieselmotor – Potenziale der Kolbengruppe. In: MTZ 71 (2010) Nr. 5, S. 326-330

für den spezifischen Kraftstoffverbrauch (be) sowie für die Rohemissionswerte von Kohlenwasserstoffen (HC), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxiden (NO_x) und Ruß. Die mit Aluminiumkolben erzielten Werte sind als Vergleichsbasis zu 100 % gesetzt.

Die höheren Oberflächentemperaturen des Stahlkolbens wirken sich bei Teillast positiv auf die HC-, CO- und Rußemissionen aus. Dies lässt sich auf eine bessere Ge-

mischbildung und vollständigere Verbrennung zurückführen. Signifikant ist bei konstant gehaltener AGR-Rate die Reduktion der HC-Emissionen um 76 %, aber auch die Absenkung der Rußemissionen um 50 % sowie der CO-Emissionen um 23 % zeigen einen deutlichen Vorteil des Stahlkolbens. Die höheren Oberflächentemperaturen und die bessere Kraftstoffumsetzung haben jedoch höhere Verbrennungs-



STEEL PISTONS FOR PASSENGER CAR DIESEL ENGINES

Aluminium pistons have been used successfully for decades in passenger car vehicles. Yet rising thermal and mechanical loadings make the employment of steel as piston material increasingly attractive. In compliance with growing demands on loading capacity and functional performance KS Kolbenschmidt develops steel pistons for passenger car diesel engines.

AUTHORS

**DIPL.-ING. (FH)****EMMERICH OTTLICZKY**

is Head of Piston Product Development Department (EU) at KS Kolbenschmidt GmbH in Neckarsulm (Germany).

**DR.-ING. MARCO VOIGT**

works in Central Development at Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm (Germany).

**DR.-ING. HANS-JOACHIM WEIMAR**

is Head of Base Engine and Tribology Department at Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm (Germany).

**EBERHARD WEISS**

is State Certified Mechanical Engineering Technician Piston Product Development (EU) at KS Kolbenschmidt GmbH in Neckarsulm (Germany).

MOTIVATION

Demands placed on modern passenger car diesel engines have strongly increased in recent years. Downsizing concepts aimed at improving thermal and mechanical efficiency have experienced a rapid rise. As a direct consequence, specific engine performance has increased to more than 90 kW/l and peak cylinder pressures have climbed to more than 200 bar. The fatigue strength of today's aluminum alloy pistons is hardly sufficient to satisfy the resulting thermal and mechanical loadings. The time to introduce the higher strength steel piston material, combined with a robust piston design, is therefore fast approaching. This step has already been taken in the commercial vehicle sector some years ago [1].

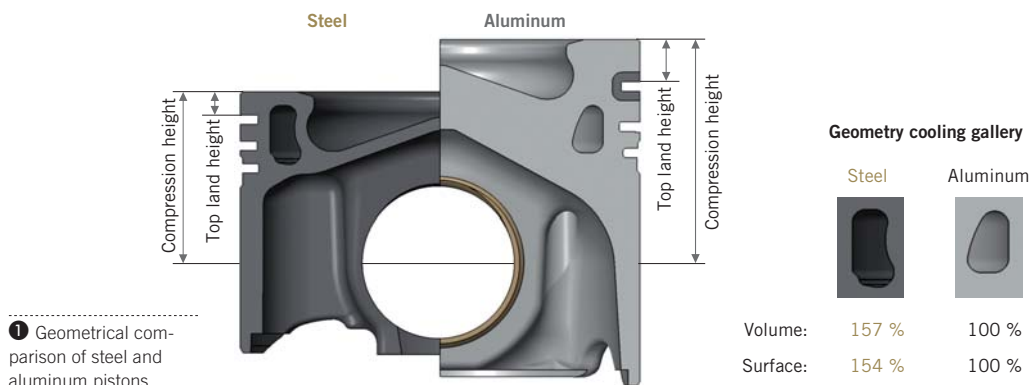
DESIGN LAYOUT

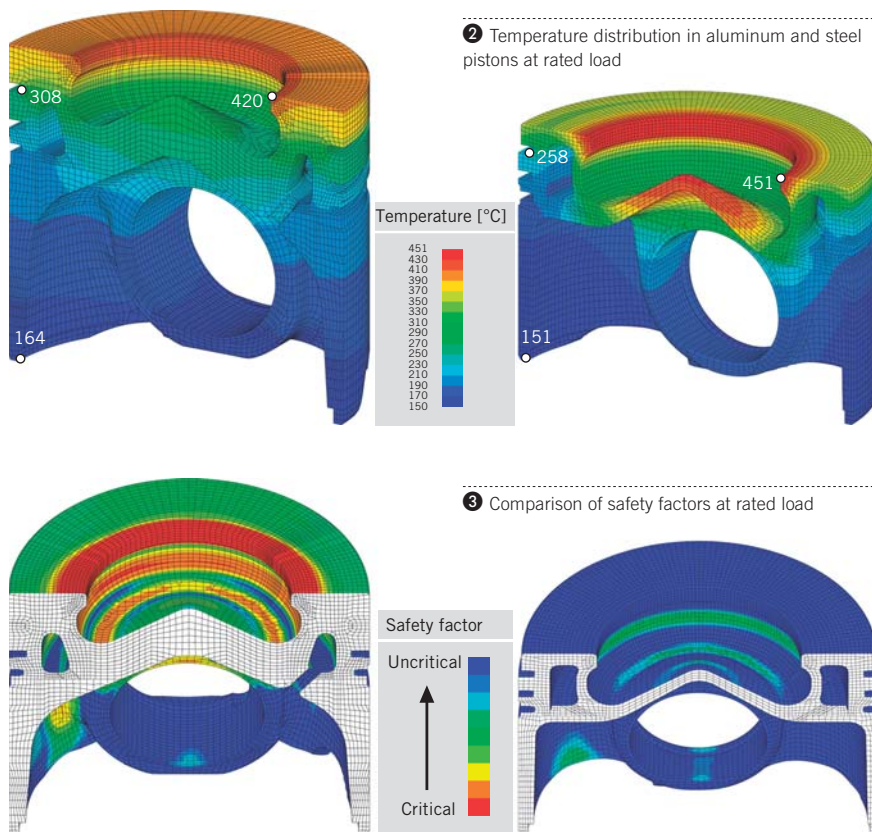
The steel piston patented by KS Kolbenschmidt consists of a one-piece forging. Using a special production process, the ring zone is shaped in such a way as to create an enclosed cooling gallery. The ring zone and piston skirt are then joined with each other. In order to achieve the same weight with steel as with today's aluminum alloys, the steel piston was conceived with low wall thicknesses, a large cooling gallery, and a low compression height.

The compression height is determined by the necessary pin diameter, the connecting rod small end geometry and the combustion chamber bowl. It appears possible to reduce compression height by up to 30 % and top land height by up to 50 %, ①. This allows the use of a longer connecting rod, which results in lower lateral forces with reduced friction at the piston skirt/cylinder interface. The compact design also allows a lower cylinder block height to be used in developing new engines. This not only means lower engine mass but also increased passive vehicle safety with respect to pedestrian protection.

The piston pin makes a significant contribution to the weight neutrality of the piston assembly. The length of the piston pin can be significantly reduced thanks to the 80 % higher permissible pin bore contact pressure achievable with steel. This compensates for a large part of the bare piston weight. An additional feature of the pin is a friction minimizing diamond-like carbon (DLC) coating.

Piston cooling is highly important. Key factors in designing the cooling gallery include a small distance from the bowl rim as well as thermal shielding of the first ring groove. Compared to aluminum pistons the cooling gallery volume is 57 % larger, and





the effective gallery heat transfer surface 54 % larger, ①. Also important is the free inner cooling gallery height, which enables high heat flows during the piston stroke by convection (shaker effect). The design concept implemented by KS Kolbenschmidt removes the need for welding beads in the cooling gallery, which disrupt and therefore reduce heat transfer. The lower temperature level in the ring zone compared with aluminum pistons according to the analysis reduces ring groove carbonization as well as groove and piston ring wear over piston lifetime. The piston rings do not require special modification. The cooling oil flow must be adjusted in order to prevent the oil from overheating due to the elevated heat input. The material used is heat-treated steel 42CrMo4. This steel grade offers a very good compromise in terms of formability, joinability and machinability, tensile strength characteristics and scaling resistance for high specific engine outputs.

SIMULATION

Compared to aluminum, steel possesses a higher fatigue strength, which allows it to fulfill the demands placed on modern pas-

senger car diesel engines with augmented power density and peak cylinder pressures of up to 250 bar [2]. The illustration in ② of the temperature distribution for both piston designs for identical engine performance demonstrates the influence of significantly lower thermal conductivity of steel. The larger cooling gallery in the steel piston shields the ring zone from the heat input into the combustion chamber bowl, such that the groove temperatures are more than 50 °C lower than with aluminum pistons. Temperature levels more than 30 °C higher arise in the bowl rim and bowl bottom.

A safety factor can be calculated by analysis of the load situation during a combustion cycle in connection with the temperature dependent strength characteristics of the respective material. The comparison in ③ shows that the situation in the combustion chamber bowl area must be rated as critical for aluminum pistons. By contrast, the conditions for steel pistons are significantly less critical and offer reserves for additional performance improvement.

As a consequence of thermal expansion, an aluminum piston operates with a simultaneous load of the piston skirt on the

thrust and anti-thrust sides over substantial parts of the engine operating map, i.e. the stroke movement occurs with interference fit between skirt and cylinder for the greatest portion of the combustion cycle. Increased assembly clearance is one measure for reducing frictional losses in this case [3]. With steel pistons the different material properties (thermal conductivity and expansion coefficient) result in lower or no overlap forces, so that friction losses only occur at the contacting side of the piston skirt. In connection with the minimised area and asymmetric design of the piston skirt surfaces, this effect leads to a 50 % decrease in average friction power at the observed partial load point, as shown in ④.

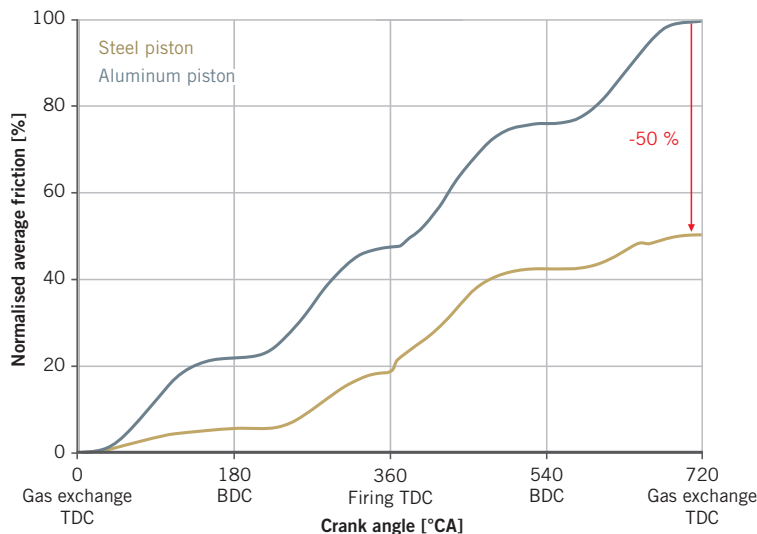
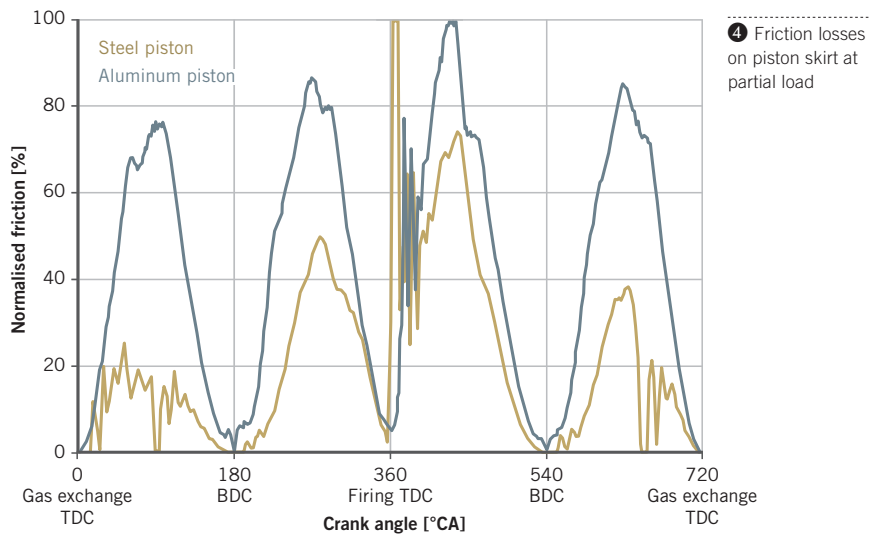
Due to the smaller assembly clearance the noise characteristics significantly improve at the operating point “cold idle”. The critical vibration excitation caused by the piston side change at FTDC causes an excitation level which is over 5 dB lower than that of the aluminum piston, shown for a representative point on the exterior wall of the cylinder in ⑤. As a consequence of the less favorable warm clearance conditions at the operating point “partial load, warm”, careful piston design is necessary. With optimised skirt stiffness and support, an excitation level comparable to aluminum pistons can be achieved by using appropriate pin offset and skirt profile design.

ENGINE TEST

Various engine tests have been carried out with passenger car steel pistons on four-, six- and eight- cylinder engines in Euro 4 and Euro 5 applications. In addition to their basic functionality, steel pistons proved their operational stability in endurance tests with operating times of several hundred hours and peak cylinder pressures of up to 220 bar.

Initial piston temperature measurements were conducted on a V engine in Euro 4 application and with increased peak cylinder pressure of 190 bar. ⑥ shows a comparison at rated power and speed of the temperature range measured at the bowl rim, in the first ring groove, and at the pin boss for aluminum and steel pistons respectively.

Bowl rim temperatures ranging from 360 to 420 °C are attained with aluminum pistons, whilst steel piston temperatures here range from 385 to 450 °C. Due to lower thermal conductivity of steel an



approximately 30 °C higher temperature occurs at the bowl rim.

An approximately 50 °C lower temperature in the first ring groove is a characteristic feature of passenger car steel pistons.

While aluminum pistons exhibit groove temperatures of 260 to 300 °C, the groove temperatures determined for steel pistons reach a significantly lower level of 220 to 245 °C as a result of longer heat conduc-

tion path between combustion bowl and ring zone, lower thermal conductivity of steel and a large cooling gallery with increased cooling oil flow.

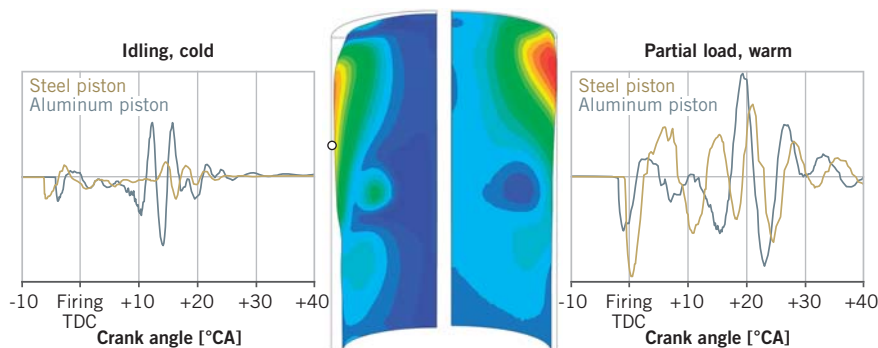
Pin boss temperatures measured for aluminum pistons are 230 to 250 °C. The significantly reduced compression height of steel pistons and the resulting lower distance between pin boss and combustion bowl lead to pin boss temperatures of 290 to 320 °C.

The influence of higher steel piston surface temperature on operative engine performance – especially with regard to emissions – was examined on an engine in Euro 5 application (pcp = 180 bar). The steel pistons were designed with the same bowl shape and compression ratio as the aluminum pistons. A longer connecting rod compensated for the approximately 10 mm shorter compression height.

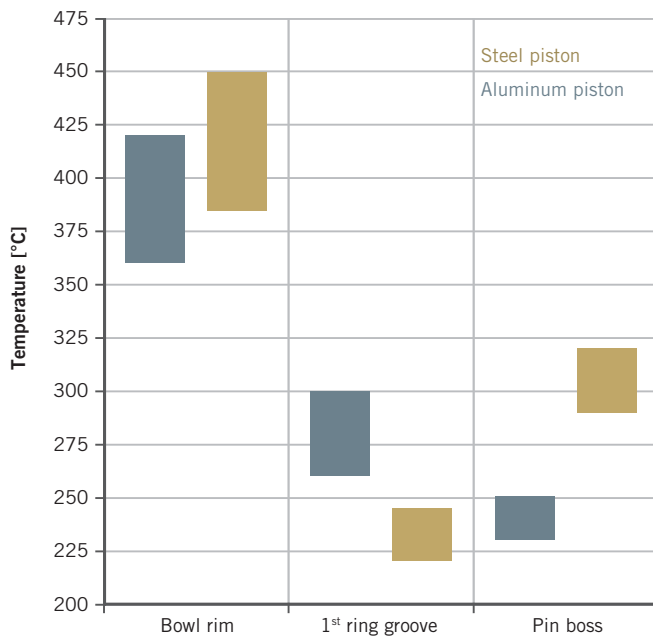
As also verified with other engines, a stable operating performance can already be achieved without making any modifications to the engine operating maps stored in the control unit. For the tests presented here the engine operating maps were adapted for steel piston usage in some operating points. 7 shows the values determined for specific fuel consumption (bsfc) and for raw emission values of hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO_x) and soot at a selected partial load point (n = 2000 rpm, bmep = 2 bar) as compared with aluminum pistons. The values achieved with aluminum pistons are set at 100 % as a baseline for comparison.

The higher surface temperatures of the steel piston have a positive effect on the HC, CO and soot emissions at partial load. This can be attributed to better fuel mixture preparation and more complete combustion. The reduction of HC emissions by 76 % at a constantly maintained EGR rate is significant, but the lowering of soot emissions by 50 % as well as the CO emissions by 23 % also demonstrate a clear advantage for the steel piston. Increased surface temperatures and improved fuel utilization however result in higher combustion temperatures, which lead to 29 % higher NO_x emissions. In combination with longer connecting rods, which reduce lateral forces and piston skirt friction, the improved fuel utilization also leads to an advantage in specific fuel consumption of up to 4 %.

Measurements under full load (n = 4000 rpm, bmep = 18 bar) show that NO_x emissions are on the same level as



5 Vibration excitation of the cylinder considering bore distortion

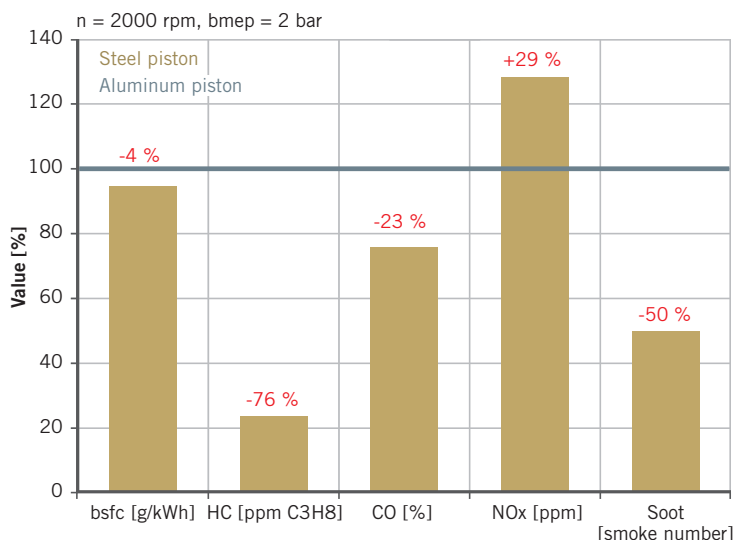


⑥ Measured temperatures of aluminum and steel pistons

for aluminum pistons when operating under the same boundary conditions as steel pistons (peak cylinder pressure, turbocharger speed). The cause for this is the dominant combustion temperature at full load as compared to the temperature on the piston surface. An exhaust temperature increase of only 1 %, caused by thermal flow restriction, results in an advantage for steel pistons in the order of 20 % with regard to soot emissions. HC and CO emissions only play a subordinate role under full load in the range of only a few ppm.

SUMMARY AND OUTLOOK

Steel pistons for passenger car diesel engines in the compact KS Kolbensmidt design have proven clear advantages in fuel consumption and emission levels without compromising functional performance. Kolbensmidt Pierburg believes that the higher loading capacity of steel opens up even further potential for a performance improvement and/or downsizing the engine, which is no longer achievable with aluminum pistons. It sees additional optimisation possibilities resulting from adjusting the compression ratio and bowl geometry of the steel material.



⑦ Engine operating performance with aluminum and steel pistons (partial load)

REFERENCES

- [1] Reipert, P.; Ottliczky, E.: Aluminum- oder Eisenlegierungen: Partner oder Konkurrenten als Werkstoffe für Dieselkolben. 6th Dresden Engine Colloquium, 2005
- [2] Backhaus, R.: Kolben aus Stahl für Pkw-Dieselmotoren. In: MTZ 70 (2009), No. 12, pp. 902-906
- [3] Deuß, T.; Ehnis, H.; Freier, R.; Künzel, R.: Reibleistungsmessungen am befeuerten Dieselmotor – Potenziale der Kolbengruppe. In: MTZ 71 (2010), No. 5, pp. 326-330

KOLBENSCHMIDT PIERBURG GROUP



KS Kolbens Schmidt



Pierburg



Pierburg Pump Technology



KS Aluminium-Technologie



KS Gleitlager



Motor Service

WELTWEIT PRÄSENT

An mehr als 30 Fertigungsstandorten in Europa, Nord- und Südamerika, China, Japan und Indien entwickelt und produziert die Kolbenschmidt Pierburg Gruppe Komponenten, Module und Systeme für die aktuelle und zukünftige Motorentechnik. Innovationskraft mit 100-jähriger Erfahrung.

www.kspg.com