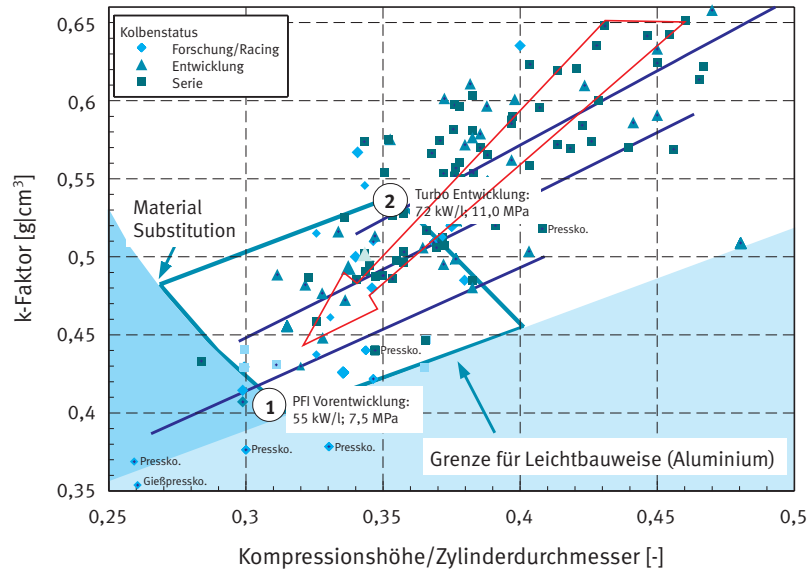


Für die modernen Ottomotoren spielen neben steigender Leistungsdichte die Anforderungen nach geringen Emissionen, Geräuscharmut und nicht zuletzt nach geringem Brennstoff- und Ölverbrauch die Hauptrolle. Die Hauptanstrengungen bei Kolbensmidt-Pierburg liegen deshalb auf den Feldern Leichtbau, verbesserte Kolbenauslegung unter Zuhilfenahme rechnerischer Methoden (FEA), Maßnahmen zum Schutz der ersten Kolbenringnut gegen Verschleiß und Plattieren sowie die Entwicklung neuer hochtemperaturfester Kolbenlegierungen.



**Bild 2:** Leichtbau von Ottokolben

### Leichtbau

Steigende spezifische Leistungen gehen einher mit steigender mechanischer Belastung der Kolbengruppe infolge steigender Zünddrücke (**Bild 1**) bzw. Drehzahlen.

Mit steigender spezifischer Leistung steigt außerdem das thermische Belastungsniveau des Kolbens. Um den thermischen Grenzen der Werkstoffe gerecht zu werden, müssen die Werkstoffe sensibel ausgewählt und gegebenenfalls geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Diese Belastungstrends gehen einher mit der Forderung nach der Reduktion der oszillierenden

Massen, was zu einer der Generalherausforderungen an den Kolbenhersteller führt.

Das Leichtbaudiagramm zeigt aufgetragen über der relativen Kompressionshöhe die sogenannte „scheinbare Dichte des Kolbens“ (k-Faktor) (**Bild 2**):

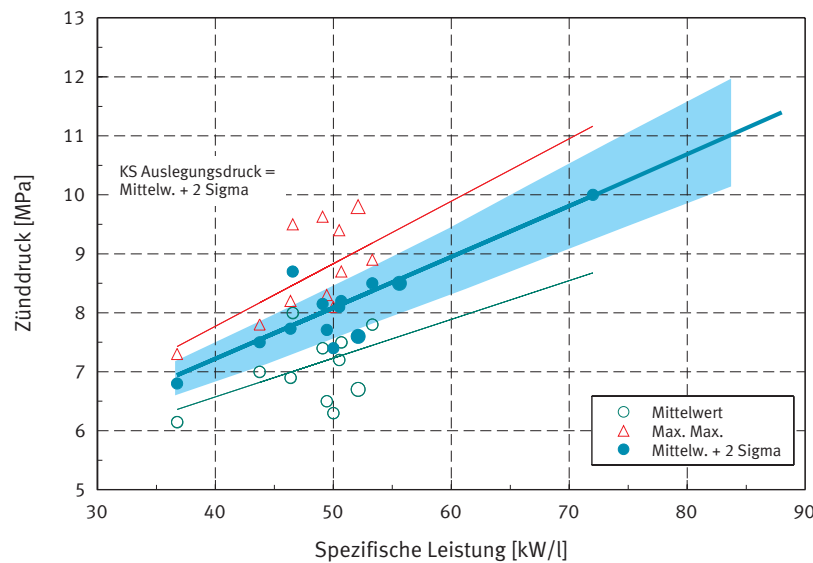
$$k = \frac{m_{Ko}}{d_{Ko}^3}$$

Zwischen k-Faktor und relativer Kompressionshöhe besteht bei Kolben gleichen Konstruktionsprinzips praktisch ein linearer Zusammenhang. Zu niedrigen Kompressionshöhen hin wird die Kolbenauslegung

durch den für Ringfeld und Pleuellfreigang nötigen Raum sowie durch die zunehmenden Bodenspannungen begrenzt. Durch Materialsubstitution können die ertragbaren Bodenspannungen erhöht werden. Bei konstanter Kompressionshöhe wird die Gewichtsverringering durch die minimalen mit dem Werkstoff Aluminium zu verwirklichenden Wandstärken (Elastizitäten) bzw. die erforderlichen Wandstärken zur Aufnahme der Kolbenseitenkräfte begrenzt.

Die erfolgreiche Umsetzung der Leichtbauforderungen ist im Diagramm durch den roten Pfeil charakterisiert. Es ist ersichtlich, daß im letzten Jahrzehnt das Gewicht von Kolben für saugrohreingespritzte Motoren (PFI) trotz stetig steigender spezifischer Leistungen kontinuierlich verringert werden konnte. Dies war insbesondere durch den Einsatz stetig verfeinerter analytischer Auslegungswerkzeuge (z. B. FEA), Werkstoff- und Gießprozeßoptimierungen möglich.

Das Kolbengewicht kann nicht unabhängig vom Belastungsniveau sein. Der heute realisierbare Kolbenleichtbaugrad ist beispielhaft für zwei ausgeführte Entwicklungsprojekte mit extrem unterschiedlichem Belastungsniveau durch die Punkte 1: (55 kW/l; 7,5 MPa) und 2: (72 kW/l; 11,0 MPa)

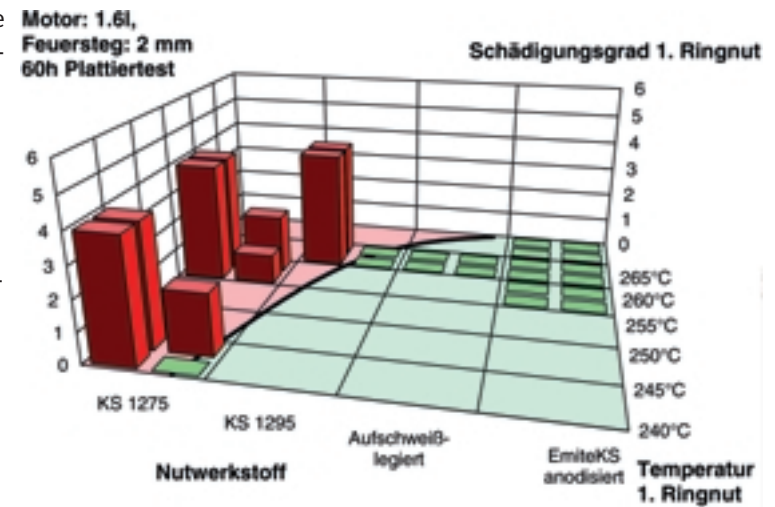


**Bild 1:** Zylinderdrücke für Ottomotoren

charakterisiert. Die durch die Punkte aufgespannte Fläche ist somit repräsentativ für den heute erreichten Stand.

Die Auswahl des Kolbenkonstruktionsprinzips (Schmiedekolben – einteiliger Kern bzw. Gußkolben – mehrteiliger Kern, fallweise in Kombination mit hintergossenem Ringfeld) sowie des Kolbenwerkstoffes erfolgt in Abhängigkeit des konkreten Anforderungsprofils und der dimensionellen Anforderungen.

Die Verringerung der oszillierenden Massen führt zu Verbesserungen von Motorreibung und Geräuschangeregung. Die Forderung nach geringerem Gewicht des Kolbens ist häufig sogar mit dem zur Leistungssteigerung angewachsenen Drehzahlniveau zu begründen. Massenreduktion, ausgehend von den heute schon niedrigen Werten, führt in der Regel zu flexibleren Bauteilen. Ein flexiblerer Kolben kann aber durchaus zum Anstieg des subjektiven Motorgeräuschs führen. Hier verhindert nur die optimale Konstruktion unerwünschte Nebenwirkungen des Leichtbaus. Deshalb werden bei Kolbensmidt alle Kolben für einen hochbelasteten Pkw-Ottomotor rechnerisch optimiert und einer ausführlichen außermotorischen und motorischen Erprobung unterzogen.



**Bild 3:** Einfluß verschiedener Nutwerkstoffe bzw. Nutschutzmaßnahmen im 60-h-Plattiertest

Zum Schutz der ersten Nut und wegen der resultierenden hohen Boden- und Nabenbelastungen werden heute die meisten Kolben aus der Hochtemperaturlegierung KS1295 hergestellt.

Die Titelseite zeigt den seit August 2001 in Serie befindlichen Kolben für den neuen VW-Motor EA111, 1,2l 4V, 47 kW mit hohem Leichtbaugrad (hintergossenes Ringfeld), Werkstoff KS1295.

### Plattieren in der ersten Ringnut

Die mit kleinem Feuersteg, tiefen Ventiltaschen und allgemeiner Steigerung der Leistungsdichte ansteigenden Nuttemperaturen

in Kombination mit abgesenktem Ölverbrauch machen zunehmend Maßnahmen zum Schutz der ersten Nut gegen das sogenannte Plattieren von Aluminium aus der Nut auf den ersten Ring erforderlich. Da die ringseitigen Maßnahmen bisher keinen sicheren Erfolg gezeigt haben, liegt der Schwerpunkt der Problemlösungen beim Kolben. **Bild 3** zeigt Ergebnisse aus der motorischen Untersuchung verschiedener Kolben- bzw. Nutmaterialien auf die Plattierneigung in der ersten Nut. Das Niveau der Nuttemperatur wurde durch Verringerung der Feuersteghöhe auf ein durchaus zu erwartendes Maß angehoben und durch Variation des Zündwinkels auf die für die verschiedenen Tests erforderliche Höhe eingestellt. Der Grad der Nutschädigung wird anhand der Ausdehnung und Tiefe der Plattierzonen beurteilt. Die einzelnen Säulen stellen die Ergebnisse der vier Zylinder des Motors dar.

Mit steigender Temperatur werden stärkere Schutzmaßnahmen erforderlich. Deutliche Verbesserungen im Vergleich zur eutektischen Standardlegierung KS1275 werden bereits durch Übergang auf die Legierung KS1295 erzielt.

Durch Aufschweißlegieren bzw. Hartanodisieren der ersten Nut ergeben sich weitere Steigerungen der Be-



**Bild 4:** Kolben für V8-Motor, Werkstoff KS1295, örtlich begrenzter Schutz der 1. Nut durch Hartanodisierung, Ferrocoat-beschichtet

lastbarkeit. Die hier gezeigten Maßnahmen sind im Serieneinsatz und haben sich schon seit Jahren bewährt. Nutanodisierung ist an allen KS Standorten weltweit verfügbar.

Nachdem die Entwicklung der Nutanodisierung bei Ottomotoren zu einem linienintegrierten Prozeß mit optimal geringer Nutrauhtigkeit abgeschlossen war, wurde im Zuge der weiteren Entwicklung die Reduzierung der zu anodisierenden Zone (selektive Nutbeschichtung) erreicht. Die Anodisierung des Kolbenbodens in Verbindung mit der Nut verbraucht Elektrolyt ohne dort benötigt oder wenigstens nützlich zu sein. Das bei KS eingesetzte Verfahren bietet optimale Voraussetzungen für die Abdeckung der nicht zu beschichtenden Zonen. Die örtliche Anodisierung läßt sich hervorragend mit Kolbenschaft-Kunststoffbeschichtungen oder mit der Eisenbeschichtung des restlichen Kolbens verbinden. Dabei kann die Eisenschicht etwa auf dem Kolbenboden als für den Schutz gegen Klopf Schäden wirksame Schicht bestehenbleiben.

Als ein Beispiel für den Serieneinsatz einer Kombination verschiedener anspruchsvoller Merkmale zeigt **Bild 4** den Kolben für den neuen BMW 3,6l V8 Motor. Die Merkmale sind: hoher Leichtbaugrad, hochwärmefeste Legierung KS1295 und Nutbewehrung kombiniert mit der Ferrocoat®-Beschichtung als Lauf-

partner in einem ebenfalls von Kolbenschmidt-Pierburg hergestellten Motorblock mit ALUSIL®-Zylinderlauffläche. Damit werden die hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Kolbens bei höchster Belastung hervorragend erfüllt.

Für die in Zukunft zu erwartenden Steigerungen von mechanischer und thermischer Belastung sind neue Lösungen erforderlich. Die Weiterentwicklung der existierenden Hochtemperaturwerkstoffe wird aber nicht in allen Fällen ausreichen. Besonders im Zusammenhang mit Hubraumverkleinerung und Aufladung („Downsizing“) wurden bei KS darüber hinausgehende Lösungen entwickelt.

Dazu werden im Prinzip bewährte Lösungen an die neuen Anforderungen – etwa bezüglich des Kolbengewichts – angepaßt. **Bild 5** und **Bild 6** zeigen ausgeführte Beispiele solcher Kolben mit gewichtsoptimiertem Ringträger bzw. Kühlkanal. Diese Technologien können für Serienentwicklungen eingesetzt werden.

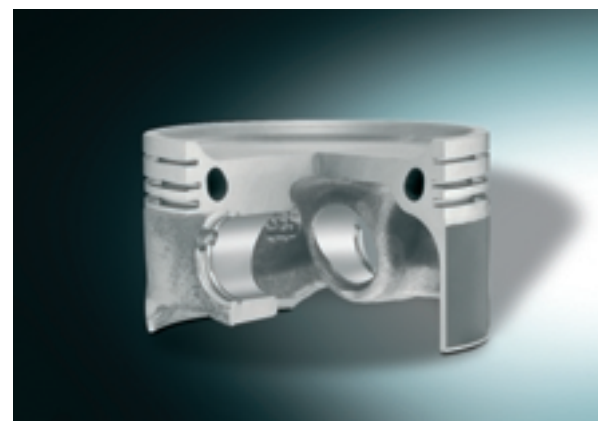
#### Zusammenfassung

Angesichts steigender Leistungsdichten kann von einem weiter zunehmenden Einsatz der Hartanodisierung zur Nutbewehrung ausgegangen werden. Kolbenschmidt-Pierburg hat sich darauf an den Produktionsstandorten in Europa und Nordamerika eingerichtet.

Die für weitere Leistungssteigerungen der Ottomotoren erforderlichen Technologien stehen bei KS zur Verfügung. Dazu zählen Werkstoffe und Gießverfahren, die trotz höherer Leistung leichte Kolben ermöglichen sowie eine abgestimmte Palette von Werkstoffen und Maßnahmen zur Nutbewehrung, die Plattieren und Nutverschleiß verhindern bzw. begrenzen.



**Bild 5:**  
gewichtsoptimierter Ringträgerkolben, Feuersteghöhe 3,2 mm



**Bild 6:**  
Kühlkanal-Kolben für aufgeladenen Ottomotor

## Kolbentechnologie für Pkw-Ottomotoren

# LEICHTBAU – HOHE SPEZIFISCHE LEISTUNG

