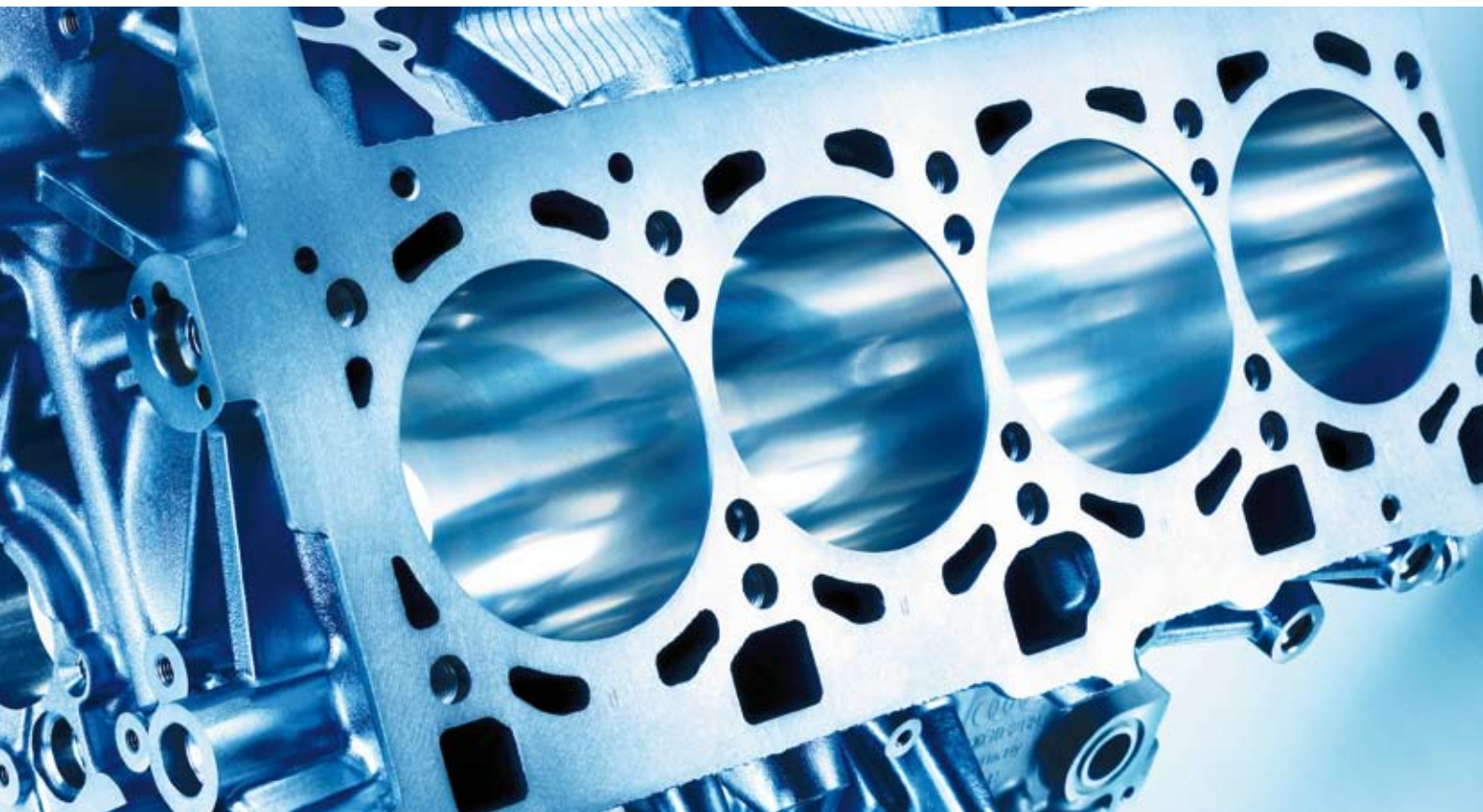


KOLBENSCHMIDT PIERBURG GROUP



## ALUSIL<sup>®</sup>-ZYLINDERKURBELGEHÄUSE

der neuen AUDI V6- und V8-Ottomotoren

## 1. Audi setzt auf Leichtbau

Audi setzt mit ihren Fahrzeug-Modellreihen Maßstäbe im Leichtbau. Insofern ist es nur konsequent, dass auch die Zylinderkurbelgehäuse (ZKG) der neuen V-Ottomotoren wiederum in Aluminium entwickelt wurden (Abb. 1). Wegen der geringen Wanddicke (Zylinderstegbreite) von nur 5,5 mm (Abb. 2) zwischen den Zylinderbohrungen vertraut Audi auf die übereutektische Aluminium-Silizium-Legierung AlSi17-Cu4Mg, die für die KS ATAG unter ALUSIL® als Markenname eingetragen ist. Dieses Konzept erlaubt, dass die Kolben direkt auf den gehonten Zylinderlaufflächen des Aluminiumgusses laufen – für Hochleistungs-Motoren eine ideale Voraussetzung.

## 2. Gründe für ALUSIL® aus Audi-Sicht

Es gibt eine Vielzahl technischer Gründe, die den Automobilhersteller Audi bewogen haben, am bewährten ALUSIL®-Konzept festzuhalten:

- ALUSIL® erlaubt geringstes Gewicht bei hoher Integration von Motorfunktionen wie Schmiermittel-, Kühlmittel- und Motorentlüftungs-Kreislauf.
- ALUSIL® erlaubt kürzeste ZKG-Baulängen, da ohne eingesezte Zylinderlaufbuchsen gefahren werden kann. Um kürzeste Motorlänge bei vorgegebenen Hubraum und Hub zu erreichen, muss der Bohrungsdurchmesser so groß und die Stegbreite so gering als möglich ausgeführt

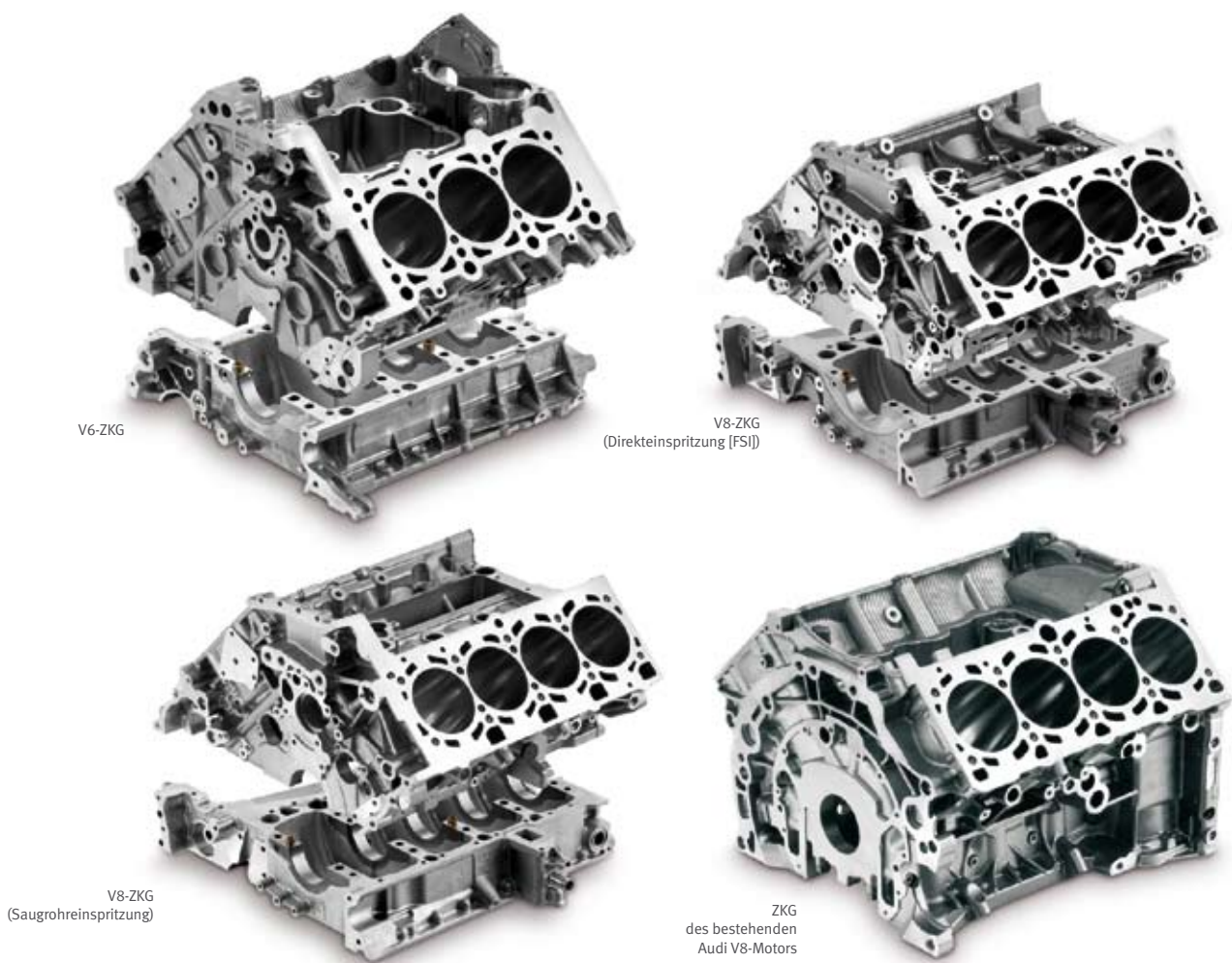
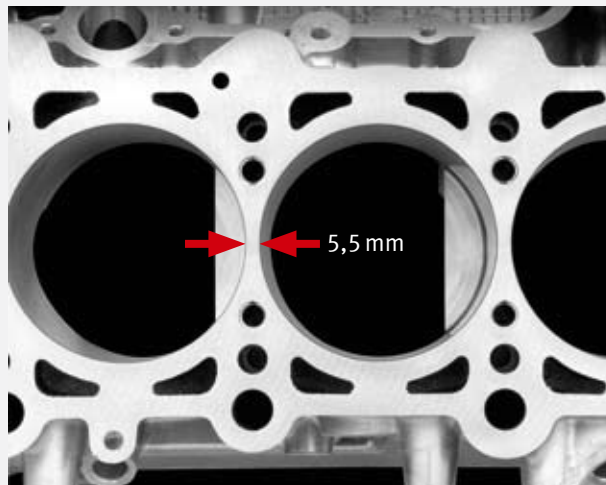


Abb. 1: ALUSIL®-ZKG der neuen Audi V6- und V8-Ottomotoren-Generation

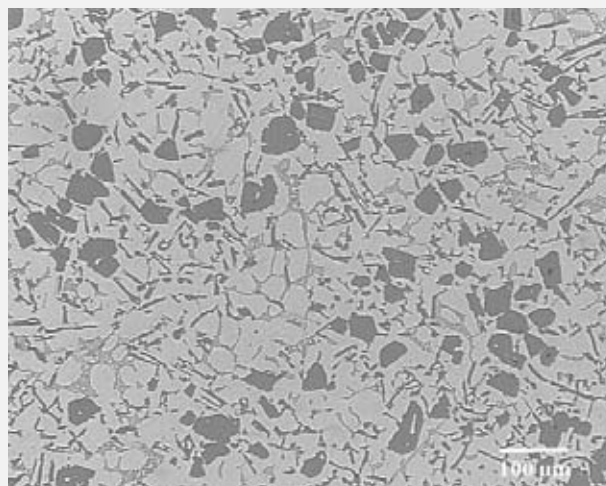
werden. Die minimale Stegbreite der zusammengesetzten Zylinderrohre bestimmt sich dann in der Praxis durch die noch sichere Funktion der Zylinderkopfdichtung, durch den Schnittdruck bei der mechanischen Bearbeitung und den Zylinderverzug im Motorbetrieb.

- ALUSIL® besitzt hervorragende tribologische Eigenschaften. Dadurch, dass Kolben und Kolbenringe auf den freigelegten Silizium-Kristallen gleiten, besteht geringste „Fressneigung“ (Abb. 3).
- ALUSIL® besitzt ein optimales Wärmeleitvermögen; es erlaubt Audi dadurch hohe spezifische Motorleistungen.
- ALUSIL® bereitet keine Recycling-Probleme, da das ZKG mit keinen „Fremdkörpern“ – z. B. eingegossenen Zylinderlaufbuchsen aus Grauguss – behaftet ist.
- ALUSIL® erlaubt ZKG aus einem Guss ohne Zylinderlaufbuchsen oder nachträglich erforderliche Beschichtung der Zylinderbohrungen. Dies ermöglicht:
  - Bauteile optimaler Struktursteifigkeit, wobei diese vom – im Vergleich mit einer untereutektischen Standardlegierung – um 12 % höheren Elastizitätsmodul der ALUSIL®-Legierung profitieren
  - sowie eine prozesssichere Fertigung auf der Bearbeitungslinie ohne Kosten verursachendes Aus- und Einsteuern für zusätzliche, speziell die Zylinderlaufbuchsen betreffende Arbeitsschritte. Ein entscheidender Meilenstein war hierzu das mechanische Freilegen der Silizium-Kristalle durch eine dritte Honstufe (Abb.4), die heute das vor dieser Entwicklung notwendige chemische Freilegen (Ätzen) nach einem zweistufigen Honprozess ersetzt. Das mechanische Freilegen erlaubt die perfekte Online-Fertigung.

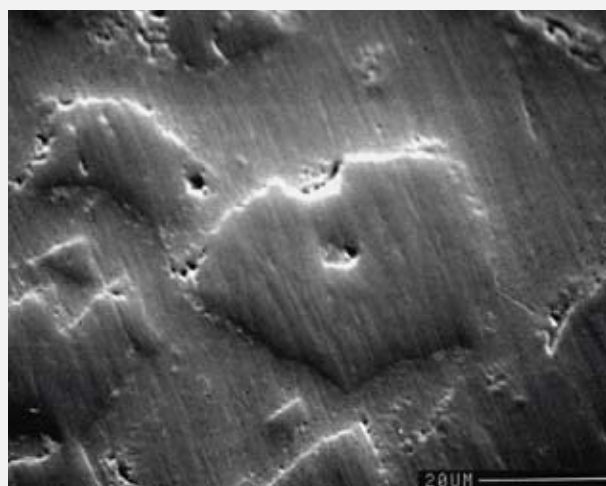
Die aufgeführten Vorzüge der Legierung ALUSIL® sind sicherlich gewichtige Argumente für deren Einsatz. Aber auch das Gießverfahren Niederdruck Kokillenguss (Abb. 5), das sich beim Vergießen von ALUSIL® seither mit Abstand am besten bewährte, ist eine wichtige Voraussetzung für großserienfähige, prozesssichere ZKG-Gussteile.



**Abb. 2:** Zylinderkopfflanschfläche mit einer Stegbreite von nur 5,5 mm

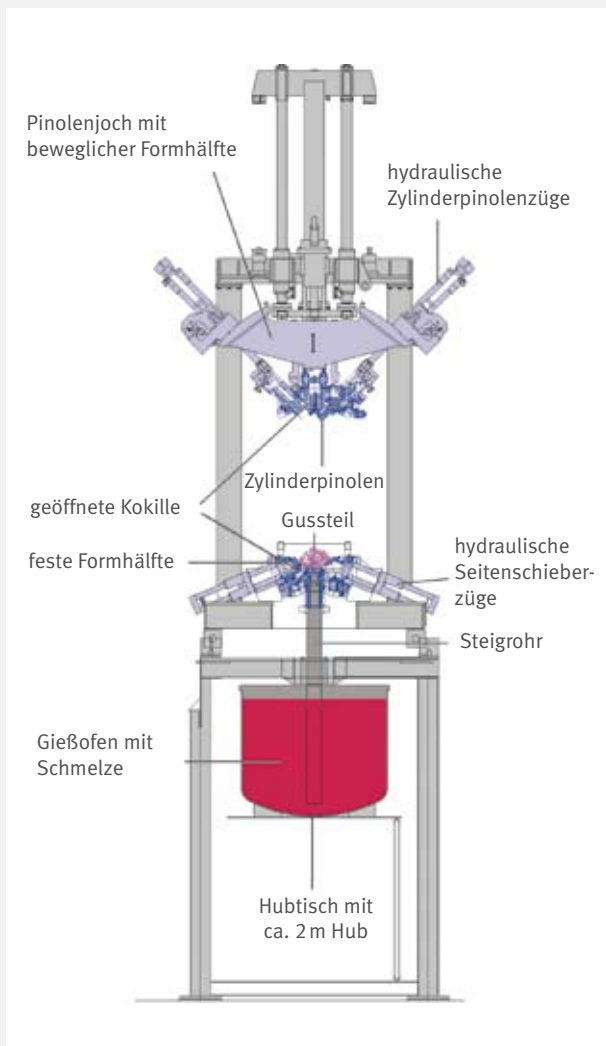


**Abb. 3:** Werkstoffgefüge der Legierung AlSi17Cu4Mg / ALUSIL® mit primär ausgeschiedenen Silizium-Kristallen (im Bild dunkle Flächen)

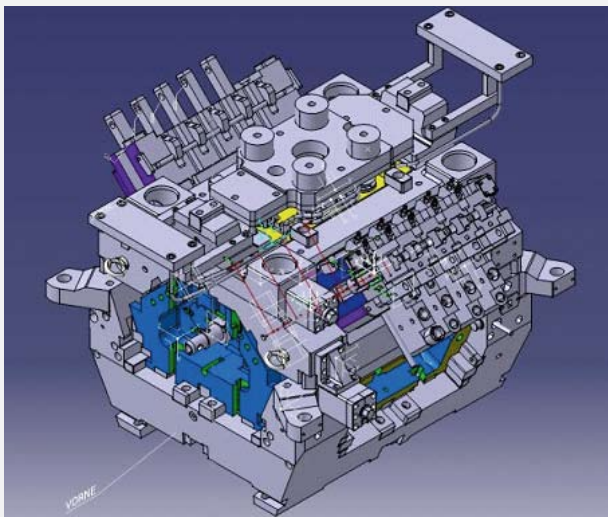


**Abb. 4:** Mechanisch freigelegte ALUSIL®-Zylinderlauffläche





**Abb. 5:** Niederdruck Kokillenguss, Prinzipdarstellung einer Gießstelle mit geöffneter Kokille (bewegliche Kokillenhälfte nach oben gefahren)



**Abb. 6:** Aufbau einer Niederdruck-Kokille für Aluminium-ZKG

### 3. Gründe für Niederdruck Kokillenguss aus Audi-Sicht

- Niederdruck (ND) Kokillenguss (Abb. 5 und 6) erlaubt, dort – wo notwendig – Sandkerne einzubringen, z. B. für Wasserräume (Abb. 7). Damit wird die Herstellung struktursteifer Closed-Deck ZKG ermöglicht, eine wichtige Voraussetzung für hohe spezifische Motorleistungen.
- ND Kokillenguss erlaubt außerdem gesteuertes, turbulenzarmes Befüllen der Kokille und noch wichtiger eine geregelte Kühlung der Kokille, wodurch eine bauteilspezifische, fast ideal gerichtete Erstarrung erreicht wird. Die Erfassung aller gussrelevanter Daten und die daraus resultierende Regelung des Gießprozesses wird heute mittels Computerunterstützung realisiert. Insbesondere eine speziell ausgelegte Zylinderpinolenkühlung ist die Voraussetzung für eine gleichmäßige Ausscheidung der Silizium-Kristalle im Zylinderbereich (Kriterien: Verteilung, Korngrößenspektrum (Abb. 8) und Anzahl Kristalle pro  $\text{cm}^2$ ) sowie geringe Porosität und Gussfehler wie Lunker, Poren, Kaltschweisstellen etc. Durch diese Prozessabsicherung wird eine konstante Gussqualität erreicht.
- ND Kokillenguss ermöglicht eine uneingeschränkte Wärmebehandlung des Gussteils. Bei kontrollierter Abkühlung der ZKG aus der Gießwärme im Rahmen der üblichen T5-Wärmebehandlung ist bereits ein gewisser Zuwachs an Härte und Festigkeit möglich. Die anschließende Warmauslagerung dient neben der Erhöhung der Härte und der Festigkeit hier auch primär der Stabilisierung des Volumens, d. h. Vermeidung einer als „Wachstum“ bezeichneten irreversiblen Längen- bzw. Volumenausdehnung (Verzug) bei Temperaturbeaufschlagung im Motorbetrieb.

Für noch höhere motorische Beanspruchung steht eine modifizierte T5-Wärmebehandlung zur Verfügung, bei der die Teile aus der Gießwärme z. B. lokal im Zylinderdeck- oder Lagerstuhlbereich durch Wasserduschen abgeschreckt und mittels Ausscheidungshärtung auf höhere Härte- und Festigkeitswerte gebracht werden. Die Wärmebehandlung der Ausscheidungshärtung wird hier ebenfalls für die Stabilisierung der Legierung genutzt.

Für absolute Hochleistungsmotoren wird bei Audi in Zukunft die Vollvergütung (T6-Wärmebehandlung) bestehend aus Homogenisierungsglügen, Abschrecken und Warmauslagern eingesetzt. Sie bringt nochmals einen deutlichen Vorteil in punkto statischer und dynamischer Festigkeit. Da bei einer „reinen“ T6-Wärmebehandlung ohne ausgeprägtes Warmauslagern nur eine geringe Volumenstabilisierung verbunden mit der Gefahr des Verzugs im Motorbetrieb stattfindet, wird das Warmauslagern meistens noch zeitlich verlängert. Durch diese Verlängerung der Auslagerungszeit wird die Dehnung verbessert.

#### 4. Die neue V-Motorengeneration von Audi

Die neue V-Motorengeneration von Audi – sowohl Otto- als auch Dieselmotoren – setzt Maßstäbe bezüglich Kompaktheit und Baulänge. Aus den kundenrelevanten Wünschen nach stärkeren Motorisierungen auch in den kleineren Fahrzeug-Modellreihen ergab sich die Notwendigkeit des weiteren Kürzens der Motorbaulänge sowie des Reduzierens der Vorderwagengewichte. Dies bedingte die Entwicklung der neuen V-Motorengeneration.

Audi ist Marktführer im Pkw-Leichtbau, speziell im oberen Marktsegment. Die Leichtbaustrategie wird durch die Audi-Space-Frame-Aluminium-Technologie bei der Karosserie eindrucksvoll umgesetzt. Es war daher nahe liegend, bei den V-Ottomotoren auf eine gewichtsoptimale Vollaluminium-Lösung – nämlich ALUSIL®-ZKG – zu bauen. Die KS ATAG konnte durch hohe Kompetenz und als Marktführer in Europa mit ALUSIL® bei ZKG von Pkw-Ottomotoren im betreffenden Marktsegment überzeugen. Die attraktiven Audi-Aufträge tragen weiter zum Ausbau des KS ATAG Standorts Neckarsulm und der Marktführerschaft bei.

#### 5. Das Motorenkonzept Audi V6 und V8

Der neue V6 in der großen Hubraumvariante mit 3,2l und der neue V8 mit 4,2l Hubraum stammen aus der neuen Audi-V-Motorenfamilie, mit einem Hub von 92,8mm (Abb. 9), einem V-Winkel der Zylinderbänke von 90° sowie einer mittigen Teilung des ZKG (Bedplate-Konzept). Der Zylinderabstand beträgt 90 mm, der Zylinderbankversatz 18,5 mm. Die Bohrung beim V6 mit 3,2l Hubraum als auch beim V8 mit 4,2l misst 84,5 mm. Beim kleineren V6-Motor mit einem Hubraum von 2,4l sind es 81 mm. Die Zylinder sind zusammengewossen bei einer Zylinderstegbreite von 5,5 mm bzw. 9 mm beim kleineren V6.

Der V6 in der großen Hubraumvariante arbeitet mit Direkteinspritzung (FSI: fuel stratified injection), in der kleinen Hubraumvariante mit Saugrohreinspritzung (MPI: multi point injection). Die unterschiedlichen Zylinderbohrungsdurchmesser erfordern keine wassermantelseitige Anpassung. Die V8-Ottomotoren gibt es in drei Ausführungen. Zu den bestehenden beiden Motorenvarianten mit MPI ist eine neue Motorvariante mit Direkteinspritzung hinzugekommen, die sich auch im ZKG unterscheidet.

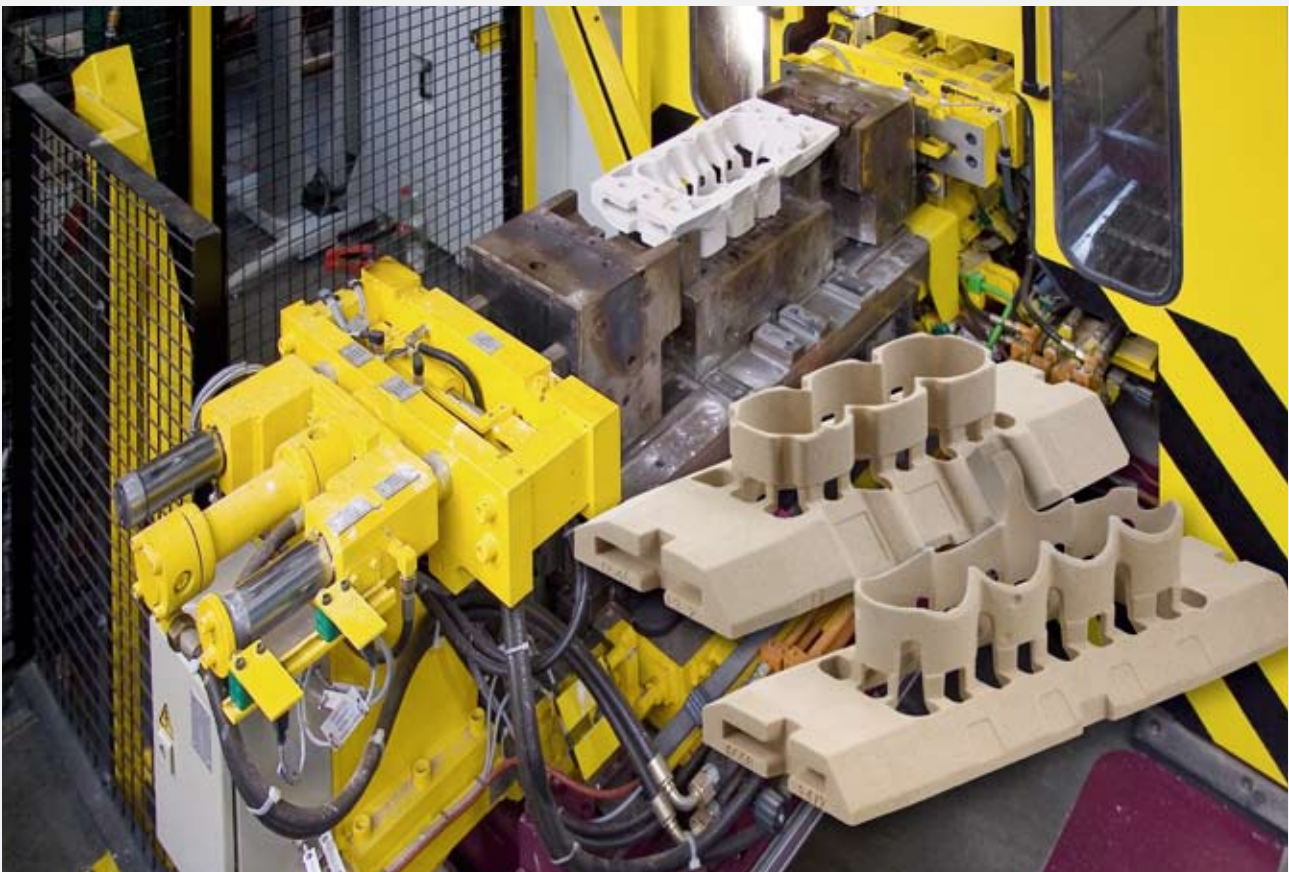


Abb. 7: Blick auf Wassermantel-Kernkasten in Kernschießmaschine; Wassermantel-Sandkerne für Audi V6-ZKG (links) und V8-ZKG (rechts)

## 6. Beschreibung des Zylinderkurbelgehäuse-oberteiles

Ausgeführt werden die Audi-ZKG (Abb. 10) – wie eingangs bereits erwähnt – in der übereutektischen Legierung  $AlSi17Cu4Mg$ . Gegossen wird im Niederdruck Kokillengießverfahren mit kontrolliertem Abkühlen aus der Gießwärme. Dies erfolgt an der Umgebungsluft bzw. teilweise mit Unterstützung von Gebläseluft. Anschließend erfolgt eine Warmlagerung zur Volumenstabilisierung (T5-Wärmebehandlung), wobei die Härte nur geringfügig abnimmt. Bei den zugehörigen Bedplates – nicht Lieferumfang der KS ATAG – handelt es sich beim V6 um Druckgussteile aus der untereutektischen Legierung  $AlSi9Cu3$  mit eingegossenen Lagerstühlen aus Sphäroguss. Beim neuen V8 kommen Druckgusslagertraversen der Legierung  $AlSi12Cu1(Fe)$  zum Einsatz. Das ZKG des V8-FSI wurde wegen gesteigerter Leistung einer Strukturoptimierung unterzogen, äußerlich erkennbar an den Querstreben im V-Raum zwischen den Zylinderbänken. Weitere Änderungen betreffen den Ölfilterflanschbereich.

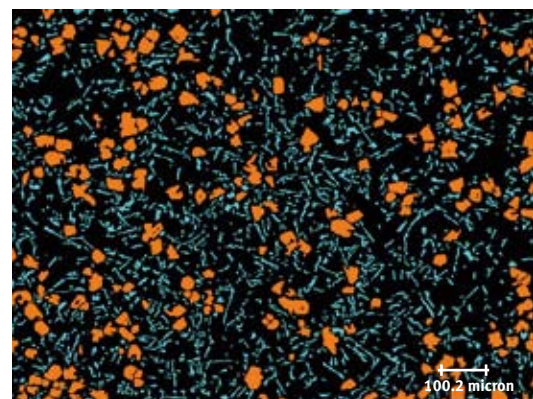
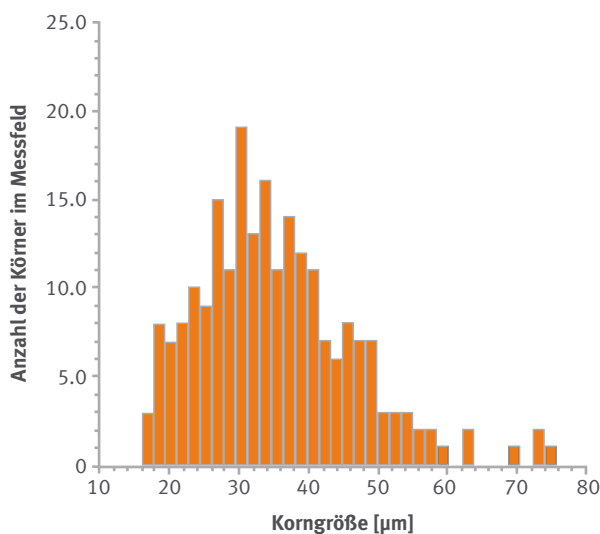
In die ZKG sind die jeweils mittels eines Sandkerns erzeugten Wassermäntel der Zylinderbänke sowie die Wasserzuführkanäle links und rechts integriert. Beim V6 ist zudem der druckstutzenseitige Teil des Wasserpumpengehäuses frontseitig über dem V-Raum mit Verbindung zu diesem angeordnet.

net. Die Zuführung zu den Wassermänteln der beiden Zylinderbänke erfolgt mittels eines im V-Raum angeflanschten Verteilers.

Die Ölkreislaufkanäle werden teils vorgegossen, teils gebohrt. Die beiden zentral im V angeordneten Tieflochbohrungen für Hauptöl- und Spritzölkanal für die Kolbenkühlung, die sich quasi über die gesamte Blocklänge erstrecken, werden wie auch die drucklosen Ölrücklauf- und Kurbelgehäuseentlüftungskanäle beim V8 vorgegossen. Letztere sind parallel zu den Zylinderrohren auf den Seitenwänden außen angeordnet. Die Verbindung dieser Kanäle zum Bedplate wird durch Bohren hergestellt, um das Risiko eines nicht entfernten Gießbleches auszuschalten.

Selbstredend, dass die ZKG nach dem Entsanden (Entkernen) einer Erstschnittbearbeitung (Vorbearbeitung) unterzogen werden (Abb. 11).

Ausgehend von gegossenen Auflageflächen in der Trennebene zum Bedplate erfolgt in der 1. Spannung die Justage durch Ausrichtung im Kurbelraum. Dabei werden drei Auflageflächen auf der Getriebeseite bearbeitet sowie zwei Indexbohrungen (Passbohrungen) gesetzt.



Messfeld

Abb. 8: Beispielhaftes Korngrößenspektrum der primär ausgeschiedenen Silizium-Kristalle



Weitere Bearbeitungsumfänge, die in der 1. und 2. Spannung erfolgen, sind das Bohren der Ölkanäle, Vorbohren der Zylinder, Vorfräsen der Lagergasse und Cubing der Außenflächen. Bei diesem werden alle „wichtigen“ Flächen überfräst, um Gussgrate zu entfernen, damit z.B. anschließend eine Dichtheitsprüfung möglich ist.

Zur Absicherung der Gussqualität wird jedes ZKG einer Röntgen-, Härte- sowie einer Ultraschallprüfung unterzogen. Letztere dient der Untersuchung der Lagerstühle auf Porosität. Die Öl- und Wasserräume werden mittels Lecktest nach dem Differenzdruck-Verfahren auf Dichtheit geprüft. Im Anschluss daran erfolgt eine 100%ige visuelle Prüfung, bevor die ZKG an Audi versendet werden.

Die ZKG werden bei AUDI HUNGARIA MOTOR Kft. (AHM) in der Bearbeitungslinie auf den Auflageflächen aufgenommen und mit Hilfe der im Getriebeflansch vorhandenen Passbohrungen in der Getriebeflanschebene ausgerichtet. Danach wird das ZKG als Einzelteil bearbeitet, wobei in diesen Arbeitsschritten der größte Teil des Bearbeitungsumfangs anfällt. Im Anschluss wird das vorbereitete Bedplate mit dem ZKG „verheiratet“, d. h. verstiftet und verschraubt. ZKG und Bedplate sind ab diesem Moment eine Einheit und laufen gemeinsam durch die Fertigungslinie. Ein wichtiger Bearbeitungsschritt ist das mechanische Freilegen der Silizium-Kristalle durch eine dritte Honstufe mit „weichen“ Honleisten,

d. h. Honleisten mit Schneidstoff, der in eine nachgiebige Matrix eingebettet ist. Dabei „radieren“ die Honleisten quasi die Silizium-Kristalle vom aufgeschmierten Aluminium frei (zu 50% erfolgt dies bereits in der zweiten Honstufe beim Abtragen der oberflächlich zerstörten Silizium-Kristalle) und nehmen – ganz entscheidend – die Aluminiummatrix etwas zurück. Aufgrund der Härte der Silizium-Kristalle benötigen die Kolben eine entsprechende Bewehrung aus galvanisch abgeschiedenem Eisen oder einer mittels Siebdruck aufgetragenen Kunststoffschicht auf dem Kolbenhemd. Die Kolbenringe bedürfen ebenfalls einer spezifischen Abstimmung für ALUSIL®-Laufflächen, wobei heute nicht notwendigerweise signifikante Unterschiede zu auch bei Graugusszylindern üblichen Kolbenringbestückungen bestehen.

ALUSIL® weist ausreichend hohe Festigkeitswerte auf, so dass selbst für die hochfesten Schraubenverbindungen wie Hauptlagerdeckel und Zylinderkopf das Muttergewinde direkt in das Gussmaterial geschnitten werden. Bei einem „Überziehen“ der Schraube wird diese stets zuerst abreißen, bevor die Muttergewindegänge abscheren. Sehr positiv für die Verschraubungen wirkt sich die hohe Druckfestigkeit von ALUSIL® aus. Sie übertrifft die Zugfestigkeit abhängig vom Wärmebehandlungszustand um bis nahezu 100%. Damit tritt unter handelsüblichen Schraubenköpfen kaum nennenswertes Setzen im Aluminium ein, selbst wenn die Schraube in die Streckgrenze hinein angezogen wurde.

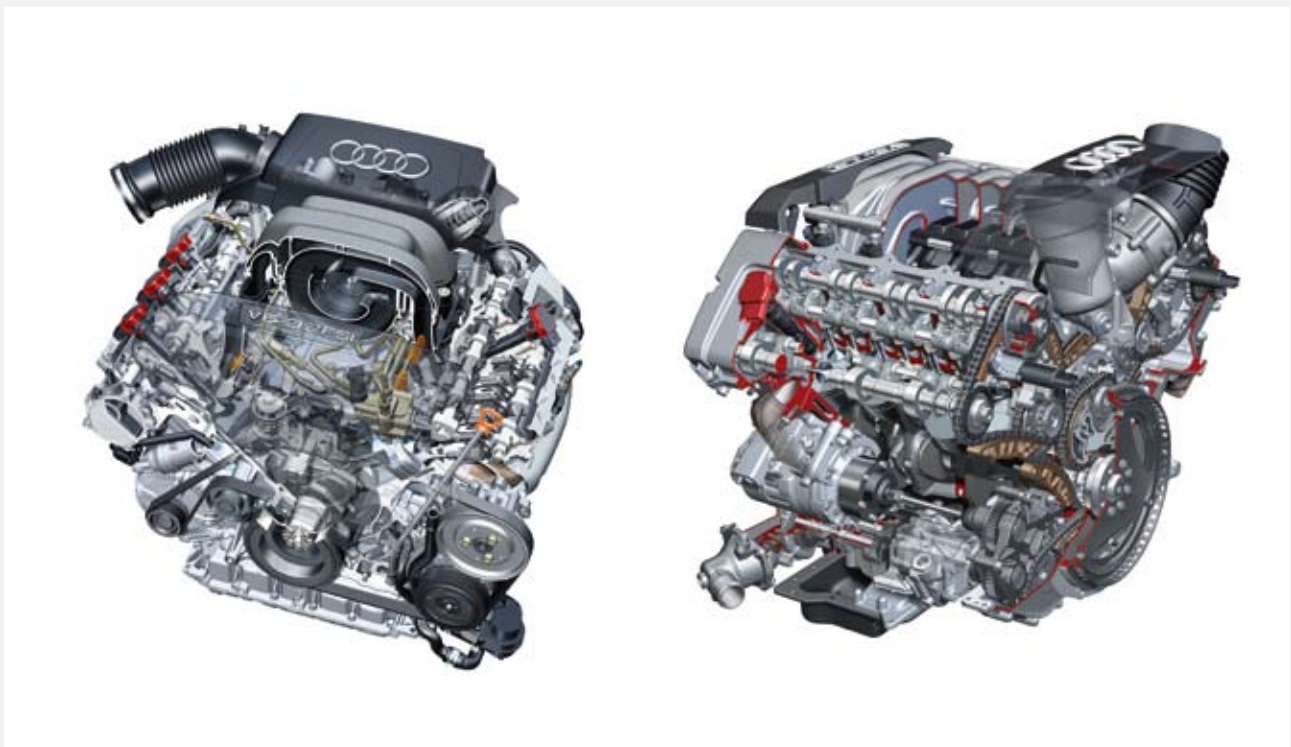


Abb. 9 : Die neuen Audi V6- (links) und V8-Ottomotoren (rechts)

## 7. Beschreibung des Gießwerkzeuges und Entwicklung/Abstimmung des Gießprozesses

Der von Audi beabsichtigte Synergie-Effekt vom V6- zum V8-ZKG kam bei der Gießwerkzeug-Auslegung, bei der Konzeption der Bearbeitungseinrichtungen und Prüfvorrichtungen sowie ganz besonders beim Entwickeln/Abstimmen des Gießprozesses voll zur Wirkung. Noch nie gelang es der KS ATAG, eine solche Rekordzeit von der Beauftragung durch Audi, über die Gießwerkzeugherstellung, quasi im Zeitraffer, die Gießwerkzeuganlieferung und alsbaldiges Einfahren des Gießprozesses bis zum Beliefern der Audi-Produktion mit V8-ZKG zu verwirklichen. Voraus gingen vielfältige, parallel laufende Aktivitäten im Sinne eines nachhaltig praktizierten „Simultaneous Engineering“ zwischen Audi, der KS ATAG und dem Werkzeugbauer unter Nutzung aller Möglichkeiten in Richtung virtueller Produktentwicklung auf einer durchgängigen CAD-, CAE-, CAM-Schiene (Abb. 12).



**Abb. 10:** Aluminium-ZKG-Konzept bestehend aus monolithischem ZKG-Oberteil und Bedplate mit eingegossenen Lagerstühlen aus Sphäroguss

Vorraussetzung hierfür waren u. a.:

- Installation eines erfahrenen und durchsetzungsfähigen Projektmanagements sowie eines alle notwendigen Funktionen abdeckenden interdisziplinären Projektteams.
- Konstruktive Optimierungen auf Grund der Ergebnisse von vorab durchgeführten Formfüll- und Erstarrungs-Simulationen (Abb. 13). Diese gaben frühzeitig Aufschluss über schlecht zu füllende Partien bzw. ungünstigen, zeitlichen Ablauf der Formfüllung (z. B. lokales Hochschwappen der Schmelze, Abb. 14) sowie von der Nachspeisung abgeschnittene Resterstarrungszonen.
- Kenntnis von aufgetretenen Gussproblemen beim V6-ZKG mit prinzipiell gleichem geometrischem Konzept und darauf basierende Prävention durch das Vorhalten geeigneter Abhilfemaßnahmen.
- Nutzung des gesamten verfügbaren Know-how der KS ATAG und des beauftragten Werkzeugbauers. Verwertung jüngster Erfahrungen bezüglich Konstruktion und Auslegung der Gießwerkzeuge. Vermeidung von Zeitverlust durch Anpassungsschwierigkeiten an das Gießgestell. Rechtzeitige Vorbereitung der Gießzelle einschließlich aller peripherer Einrichtungen. Programmieren des Handling-Roboters etc.
- Aktivierung aller gießtechnischer Kompetenz der KS ATAG beginnend im Schmelzbetrieb, über die Schmelzaufbereitung im Gießofen, eine der Bauteilgeometrie, d. h. dem Querschnittsverlauf im Horizontalschnitt angepasste Befüllung der Kokille, bis zu deren gezielter, geregelter Abkühlung. Der Schwerpunkt liegt dabei stets auf der lokalen und zeitlich richtig bemessenen Wärmeabführung primär durch die Zylinderpinolen und den Kokillenboden (Lagerstuhlbereich).
- Rechtzeitige Erstellung und Prüfung der Spannvorrichtungen für die Vorbearbeitung. Einrichtung der Vorbearbeitung und der erforderlichen Prüfungen in der mechanischen Fertigung, einschließlich der Verfügbarkeit geeigneten Personals und dessen spezifische Qualifizierung für die neue Produktfamilie.



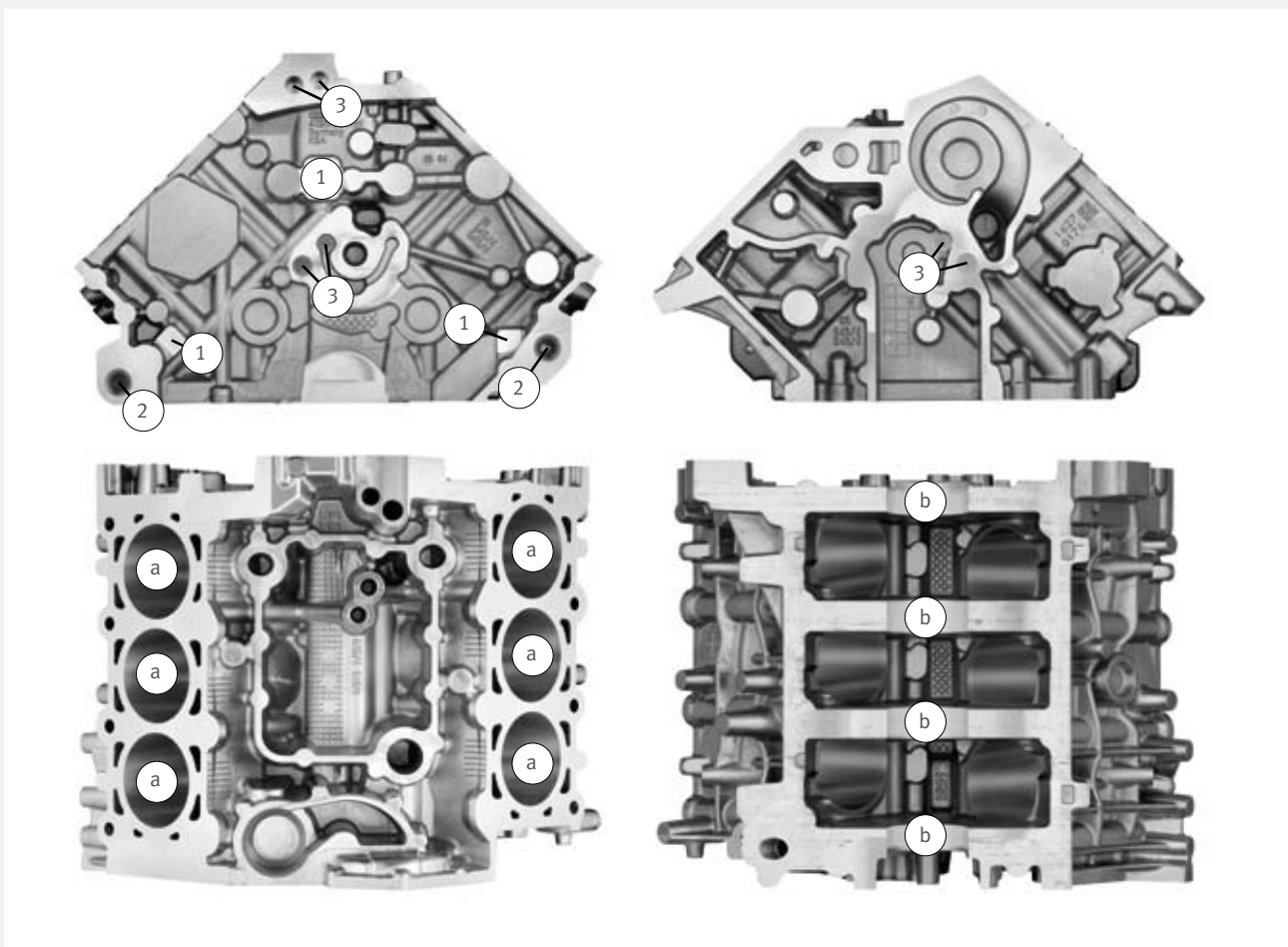
## 8. Zusammenfassung und Ausblick

Audi setzt bei ihren modernen Hochleistungs-Ottomotoren in V-Bauweise auf die Kombination ALUSIL<sup>®</sup>-ND Kokillenguss und mechanisches Freilegen. Aus heutiger Sicht bietet diese Kombination die optimalen Voraussetzungen für die Motorfunktionen, die Produktion und Prozesssicherheit sowie Qualität. Es spricht somit einiges dafür, dass ALUSIL<sup>®</sup> unter Abwägung der vielen überzeugenden positiven Eigenschaften gegen gelegentlich ins Feld geführte weniger günstige Eigenschaften, wie geringe Duktilität und etwas höhere Bearbeitungskosten, heute als der wohl insgesamt beste Werkstoff für V-Hochleistungs-Ottomotoren anzusehen ist. Mit entscheidend ist das Potenzial weiterer Festigkeitssteigerungen durch eine das ganze Bauteil betreffende Vollvergütung (T6) oder eine nur lokale, so genannte modifizierte T5-Wärmebehandlung.

Die KS ATAG betreibt seit Jahrzehnten eine kontinuierliche Optimierung des ALUSIL<sup>®</sup>-Konzepts. Diese beinhaltet auch entsprechende Fortschritte beim in dieses Konzept heute

fest eingebundenen Niederdruck Kokillengießverfahren. Für eine weitere Taktzeitreduzierung (Kostensenkung) gibt es zahlreiche Vorschläge, auf der anderen Seite jedoch nach wie vor die Gültigkeit der Physik. Lokal mehr Wärme pro Zeiteinheit zu entziehen, ohne den Verlauf der Erstarrungsfronten empfindlich zu stören, gelingt nur bedingt, z. B. im ZKG-Schürzenbereich durch Aufschumpfkühlung auf Höhe der Lagerstühle. Ein anderer Ansatz sind z. B. Dünnwand-Werkzeuge zur deutlichen Reduzierung der „thermischen Trägheit“ des Werkzeugs. Damit steigt jedoch der regelungstechnische Aufwand in den Bereich des augenblicklich noch nicht ganz sicher Beherrschbaren. Insgesamt wird es hier weiterhin eher kleine Schritte einschließlich geringeren Ausschusses im eingeschwungenen Zustand, jedoch in die richtige Richtung geben.

Andere Gießverfahren werden immer wieder in die Überlegungen mit einbezogen. Während beim Reihen-ZKG auch Schwerkraft-Kokillenguss bei geringfügig günstigeren Herstellkosten denkbar ist, erscheint dies beim V-ZKG aus heutiger Sicht noch recht problematisch. Eine prozesssichere



**Abb. 11:** Vorbearbeitung des Audi V6-ZKG

Oben: 1. Spannung mit Bearbeiten der Auflageflächen (1), der Indexbohrung (2) und der Druckkölkanäle (3)

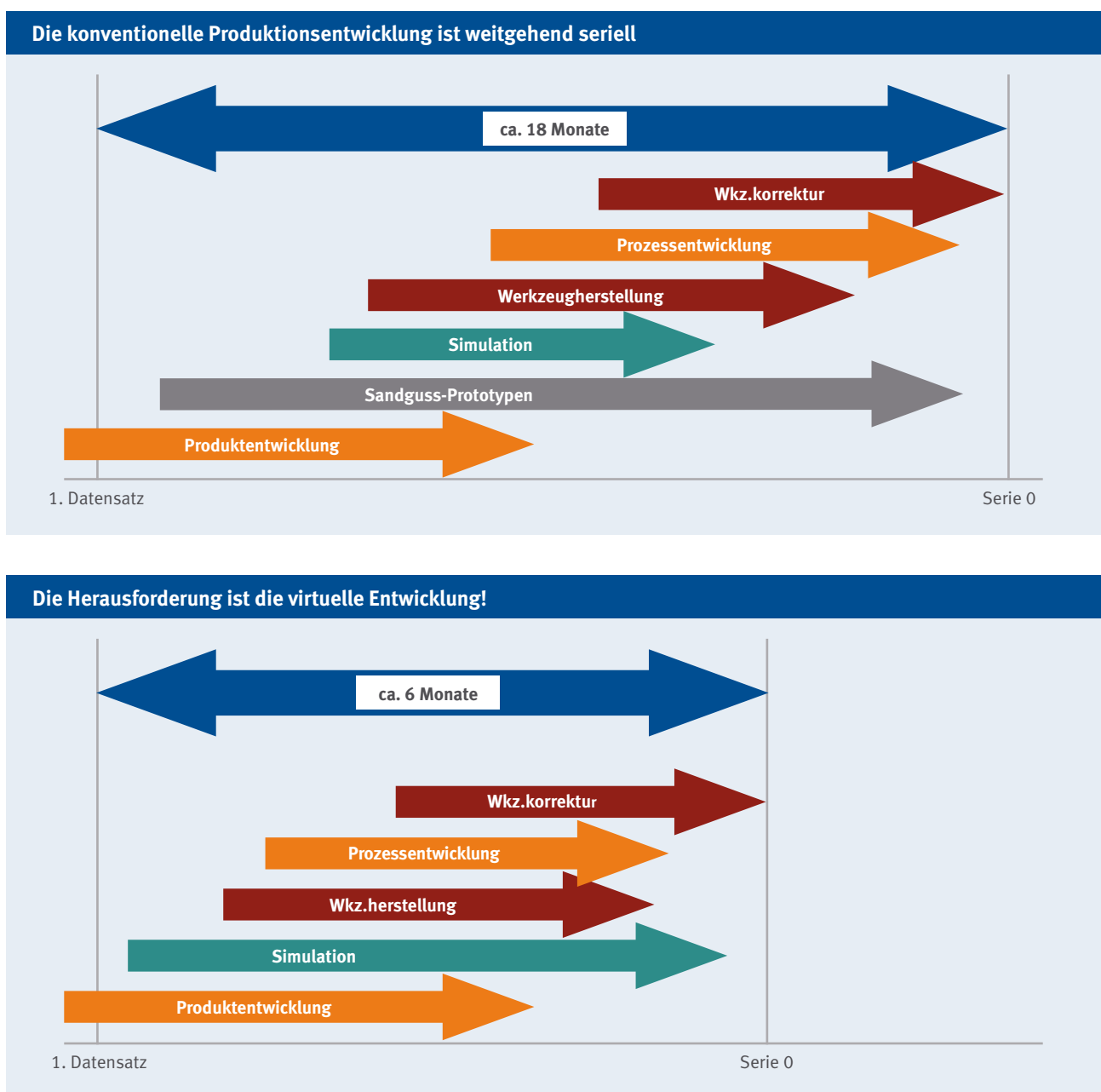
Unten: 2. Spannung mit Vorbohren der Zylinder (a), Vorfräsen der Lagergasse (b) und Cubing der restlichen Außenflächen

Anwendung von ALUSIL® im Druckguss scheitert bisher noch an der Silizium-Vorausscheidung und Warmrisseigung.

Weitere Fortschritte erscheinen dennoch denkbar. Die nach Stand der Technik gesehene Notwendigkeit einer aktiven Zylinderpinolenkühlung für eine prozesssichere Produktion limitiert Sandgießverfahren, bei denen prinzipbedingt – jedoch mit größerem Aufwand – nur passiv gekühlt werden kann.

Die KS Aluminium-Technologie AG dankt der AUDI AG für die Möglichkeit einer gemeinsamen Darstellung des ALUSIL®-

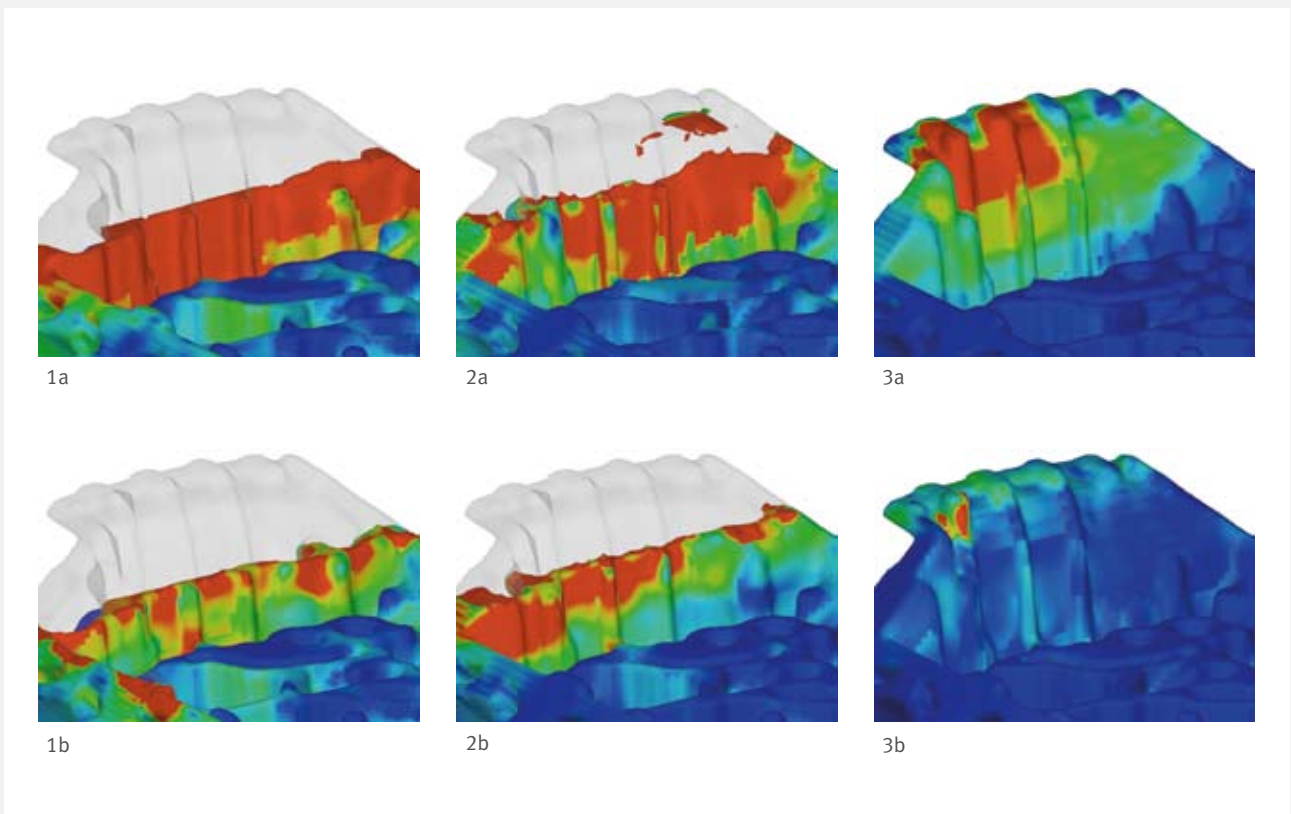
Konzepts anhand der neuen V6-/V8-Motorengeneration. Der Dank gilt auch allen überaus engagierten Mitarbeitern des Hauses AUDI, die die Bauteilentwicklungen mit Rat und Tat unterstützt und so den gemeinsamen Erfolg erst ermöglicht haben. Stellvertretend gilt unser besonderer Dank Herrn Dr. Franz Bäumel (V6) und Herrn Armin Bauder (V8), die sich darum verdient gemacht haben, dass der Schwung nie verloren ging. Zu zusätzlichem Dank sehen wir uns Herrn Armin Bauder für seinen gelungenen Beitrag zu dieser Schrift verpflichtet.



**Abb. 12:** Beschleunigung der Entwicklungsabläufe durch Simultaneous Engineering; Nutzung aller heute verfügbaren Möglichkeiten auf dem Weg zur virtuellen Produktentwicklung



**Abb. 13:** Erstarrungs-Simulation am Beispiel des V6-ZKG  
 Rechts: Resterstarrungszone (Gefahr von Lunkern) im Getriebeflanschbereich ohne aktive Kühlungsmaßnahmen  
 Links: Optimierter Zustand; Vermeidung von Lunkern (keine Resterstarrungszone) durch gezielte aktive Kühlungsmaßnahmen



**Abb. 14:** Formfüllungssimulation des Getriebegehäuses am Beispiel V8-ZKG  
 Oben (Abb. 1a-3a): Turbulente Füllung (hochschwappende Schmelze durch abrupte Querschnittsänderung)  
 Unten (Abb. 1b-3b): Beruhigte Füllung durch Anpassung der Geometrie und optimierte Füllparameter



**KS Aluminium-Technologie AG** · Hafenstraße 25 · 74172 Neckarsulm  
Tel. +49 7132 33-1 · Fax +49 7132 33-4357 · [www.kspg.com](http://www.kspg.com)