



SCUDERI ENGINE

Revolutionäre Technologie  
Evolutionäres Design



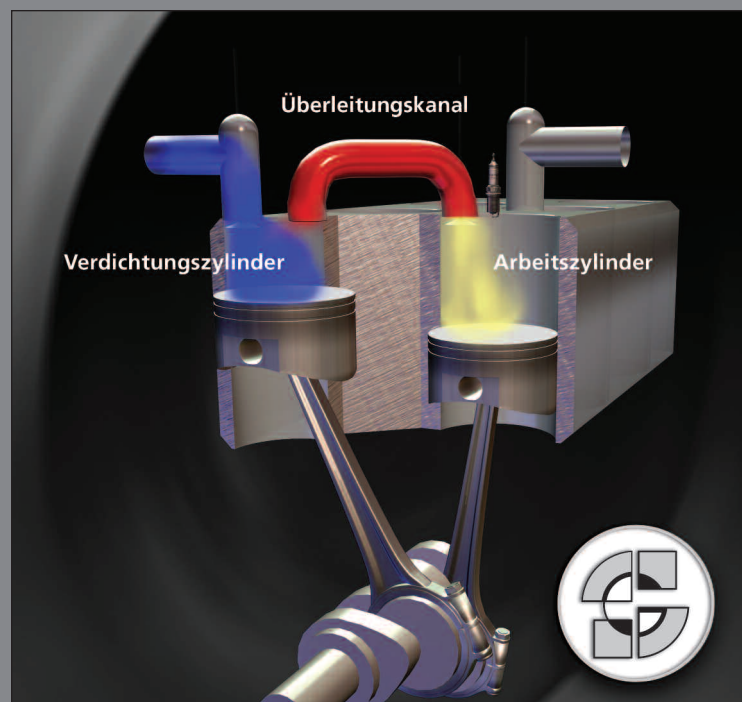
(WIE ES FUNKTIONIERT)

*Eine neue Ära des Verbrennungsmotors hat begonnen*

(SCUDERI POWERED™)

# Was ist ein Split-Cycle-Motor?

Split-Cycle-Motoren verteilen die vier Takte – Ansaugen, Verdichten, Verbrennen und Ausstoßen – auf zwei separate Zylinderpaare. Der erste Zylinder übernimmt das Ansaugen und Verdichten. Die Druckluft aus dem Verdichtungszyylinder wird übertragen durch einen Überleitungskanal in den zweiten Zylinder zum Verbrennen und Ausstoßen. Aus konstruktiver Sicht betrachtet arbeitet der Split-Cycle-Motor als Kompressor – und als Verbrennungsraum.



## Frühere Split-Cycle-Motoren

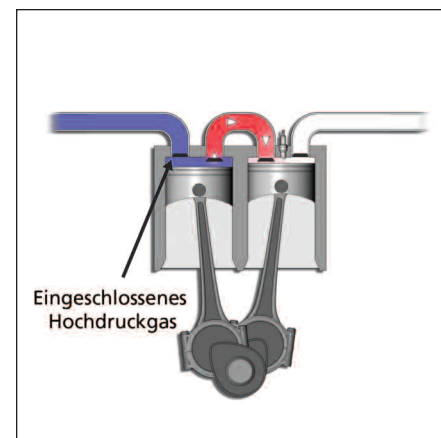
Motoren mit geteiltem Taktzyklus gab es bereits 1914. Seitdem wurden zahlreiche Split-Cycle-Konstruktionen entwickelt; jedoch konnten Wirkungsgrade oder Leistungen herkömmlicher Motoren nie erreicht werden.

## Probleme früherer Split-Cycle-Motoren

Frühere Split-Cycle-Motoren zeigten zwei Knotenpunkte auf — **geringe Ansaugung (volumetrischer Wirkungsgrad)** sowie **niedriger thermischer Wirkungsgrad**.

## Ansaugung (Volumetrischer Wirkungsgrad)

Das Problem der Ansaugung wurde durch das im Verdichtungszyylinder eingeschlossene Hochdruckgas verursacht. Eingeschlossenes Hochdruckgas erfordert eine erneute Ausdehnung bevor eine weitere Luftfüllung wieder in den Verdichtungszyylinder gesogen werden kann; dadurch wird die Pumpleistung des Motors effektiv reduziert und ein niedriger volumetrischer Wirkungsgrad erzeugt.

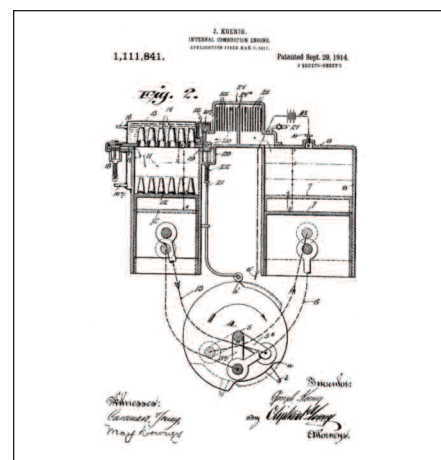


## Niedriger thermischer Wirkungsgrad

Split-Cycle-Motoren weisen immer einen bedeutend niedrigeren thermischen Wirkungsgrad auf als herkömmliche Otto-Motoren. Der Hauptgrund: Sie zünden wie ein herkömmlicher Motor — vor dem oberen Totpunkt (voT).

Die Zündung vor dem oberen Totpunkt eines Split-Cycle-Motors bedeutet, dass sich die im Überleitungskanal eingeschlossene Druckluft im Arbeitszylinder ausdehnt, während sich der Arbeitskolben im Aufwärtstakt befindet. Durch die Freisetzung der Druckluft geht die Kompression im Verdichtungszyylinder verloren. Der Arbeitskolben verdichtet die Luft erneut, um vor dem oberen Totpunkt zu zünden.

Durch die Ausdehnung von Druckgas im Überleitungskanal in den Arbeitszylinder wird vom Motor gefordert, hier doppelte Verdichtungsarbeit zu leisten. Herkömmliche Motoren verdichten jedoch nur einmal und erzielen somit einen effizienteren thermischen Wirkungsgrad.



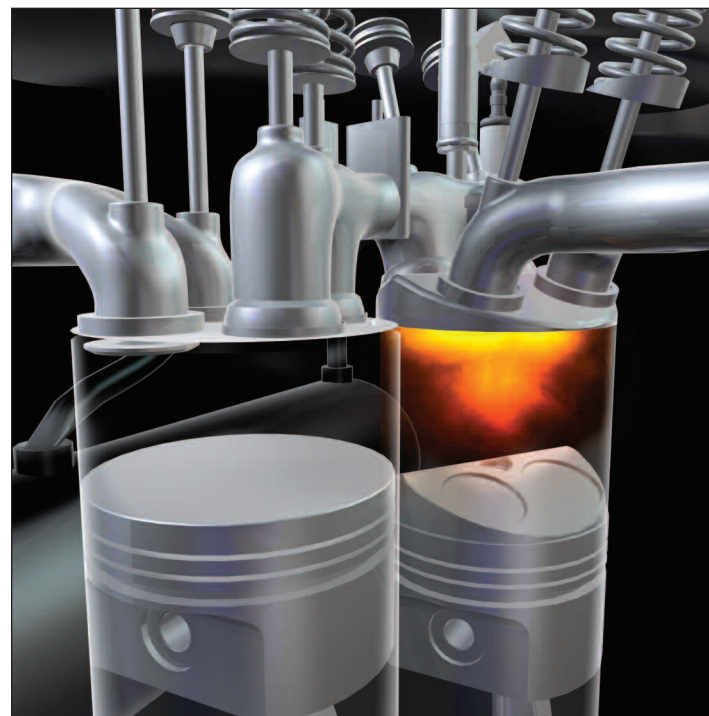
Split-Cycle Patentzeichnung von 1914

# Warum ist der Split-Cycle-Motor von Scuderi besser?

Der Split-Cycle-Motor von Scuderi löst sowohl Probleme des Ansaugens als auch des thermischen Wirkungsgrads mit **zwei einzigartigen und patentierten Konzepten**:

## Revolutionäres Ventildesign

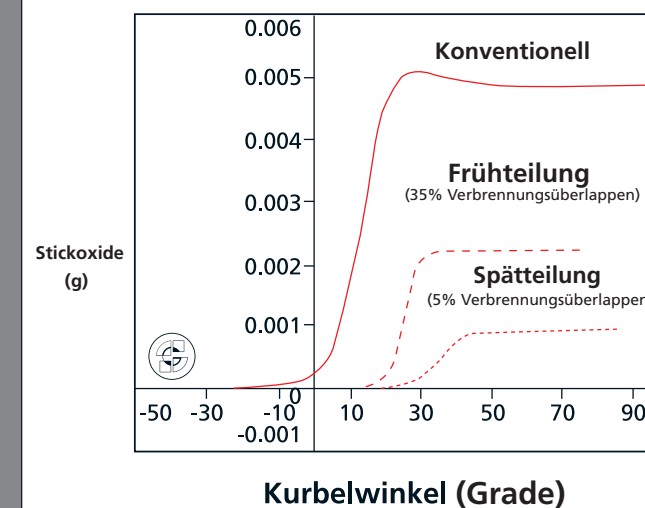
Das Ansaugproblem des Scuderi-Motors wird über die Verdichtungsseite gelöst, indem das Spiel zwischen Kolben und Zylinderkopf auf weniger als 1 mm reduziert wird. Dieses Design erfordert konstruktiv die Verwendung von abklappbaren Ventilen, die dem Kolben ermöglichen dichter an den Zylinderkopf geführt zu werden, ohne negative Auswirkung der Ventile. Effektiv werden so fast 100 Prozent der Druckluft vom Verdichtungszyylinder in den Überleitungskanal gepresst, wodurch die Ansaugprobleme früherer Split-Cycle-Motoren gelöst werden.



## Die Lösung des Problems mit dem thermischen Wirkungsgrad — Zündung nach dem oberen Totpunkt (noT)

Auch wenn es bei Motoren herkömmlicher Bauart ungerne gesehen wird, eliminiert die Zündung nach dem oberen Totpunkt bei einer Konstruktion mit geteiltem Taktzyklus die Verluste, die durch ein erneutes Verdichten des Gases entstehen. Die große Frage stellt sich hier weniger nach der Lösung des Problems mit dem thermischen Wirkungsgrad, sondern eher — wie wird nach dem oberen Totpunkt gezündet. Tatsächlich ist die **Festlegung des Zündens nach dem oberen Totpunkt möglicherweise der bedeutendste Durchbruch bei der Konstruktion des Scuderi-Motors**.

## ERWARTETE STICKOXIDEMISSIONEN



## Hoher Druck und Massive Turbulenz

Im Scuderi-Motor wird das Zünden nach dem oberen Totpunkt über eine Kombination aus Druckluft im Überleitungskanal und massiver Turbulenz im Arbeitszylinder erzielt.

Die Zylinder in einem Scuderi Split-Cycle-Motor sind voneinander unabhängig; das Verdichtungsverhältnis innerhalb des Verdichtungszyinders wird durch den Verbrennungsprozess nicht eingeschränkt. Es wird ein Verdichtungsverhältnis von 75:1 erreicht mit einem Verdichtungszyylinderdruck, der dem eines herkömmlichen Motors während der Verbrennung entspricht. Der Druck im Verdichtungszyylinder und Überleitungskanal erreicht über 50 bar (725 psi) bei unserem Saugmotor und über 130 bar (1885 psi) bei unserem Turbomotor.

Diese Hochdruckluft verursacht beim Eintritt in den Arbeitszylinder massive Turbulenz. Diese Turbulenz wird noch weiter gesteigert, indem die abklappbaren Ventile während der Verbrennung so lange wie möglich offen gehalten werden. Das Ergebnis ist eine rapide Atomisierung des Luft-Kraftstoff-Gemisches, was zu einer hohen Flamm- bzw. Verbrennungsgeschwindigkeit führt, die alle zuvor erreichten Werte übertrifft. Die Kombination aus hohem Startdruck und hoher Flammgeschwindigkeit ermöglicht einen Verbrennungsbeginn zwischen 11 und 15 Grad nach dem oberen Totpunkt, die Verbrennung endet bei 23 Grad nach der Zündung. **Das Ergebnis ist ein Split-Cycle-Motor mit verbessertem Wirkungsgrad und höherer Leistung als ein herkömmlicher Motor.**

## Die Revolution

### Zündung eines Split-Cycle-Motors nach dem oberen Totpunkt

Das Revolutionäre am Scuderi-Motor ist die Kombination aus einer Konstruktion mit geteiltem Taktzyklus und dem Verbrennungsprozess mit Zündung nach dem oberen Totpunkt. Diese Kombination sorgt für einen einzigartigen thermodynamischen Prozess, mit dem bezüglich Wirkungsgrad und Leistung neue Schwellenwerte erreicht werden können. Die Konstruktion ist schlicht und elegant, ihre weitere Entwicklung birgt das Potential die Motorleistung noch weiter zu steigern.

*Der aktuelle Saugmotor-Prototyp demonstriert die Funktionsfähigkeit der Konstruktion. Hier wird bewiesen, dass die konzeptualisierte Aufteilung der Takte und das Zünden nach dem oberen Totpunkt reale Wertung haben und den Ausgangspunkt für zahlreiche zukünftige Konstruktionsverbesserungen darstellen.*

### Entwicklungen — Ergebnisse und Eigenschaften des Saugmotor-Prototyps

**Ein- und Auslassventile zur Steuerung der Motorlast:** Die Ein- und Auslassventile sind Druckluftventile, die bei Hub und Steuerung vollvariabel sind. Die für den Betrieb der Ventile erforderliche Luft wird intern von der Verdichtungsseite des Motors bereitgestellt. Die Ventile werden anstelle eines Drosselventils zur Steuerung des Motors bei Teillastbetrieb verwendet.

**Überleitungsventile:** Die Ventile für den Ein- und Auslass des Überleitungskanals sindnockengetrieben und so konstruiert, dass sie abklappbar sind. Luftfedern werden zum Rückholen der Überleitungsventile verwendet, wobei die Versorgungsluft für die Luftfedern von der Verdichtungsseite des Motors intern bereitgestellt wird.

**Überleitungskanal:** Der Überleitungskanal ist ein wichtiges Steuerelement des Motors. Er wird zur Eindämmung einer Vorzündung (Klopfen) verwendet, indem er nach erfolgter Verdichtung eine zusätzliche Kühlmöglichkeit bietet. Dies ist eine Besonderheit der Split-Cycle-Konstruktion, die bei herkömmlichen Motoren einfach nicht möglich ist.

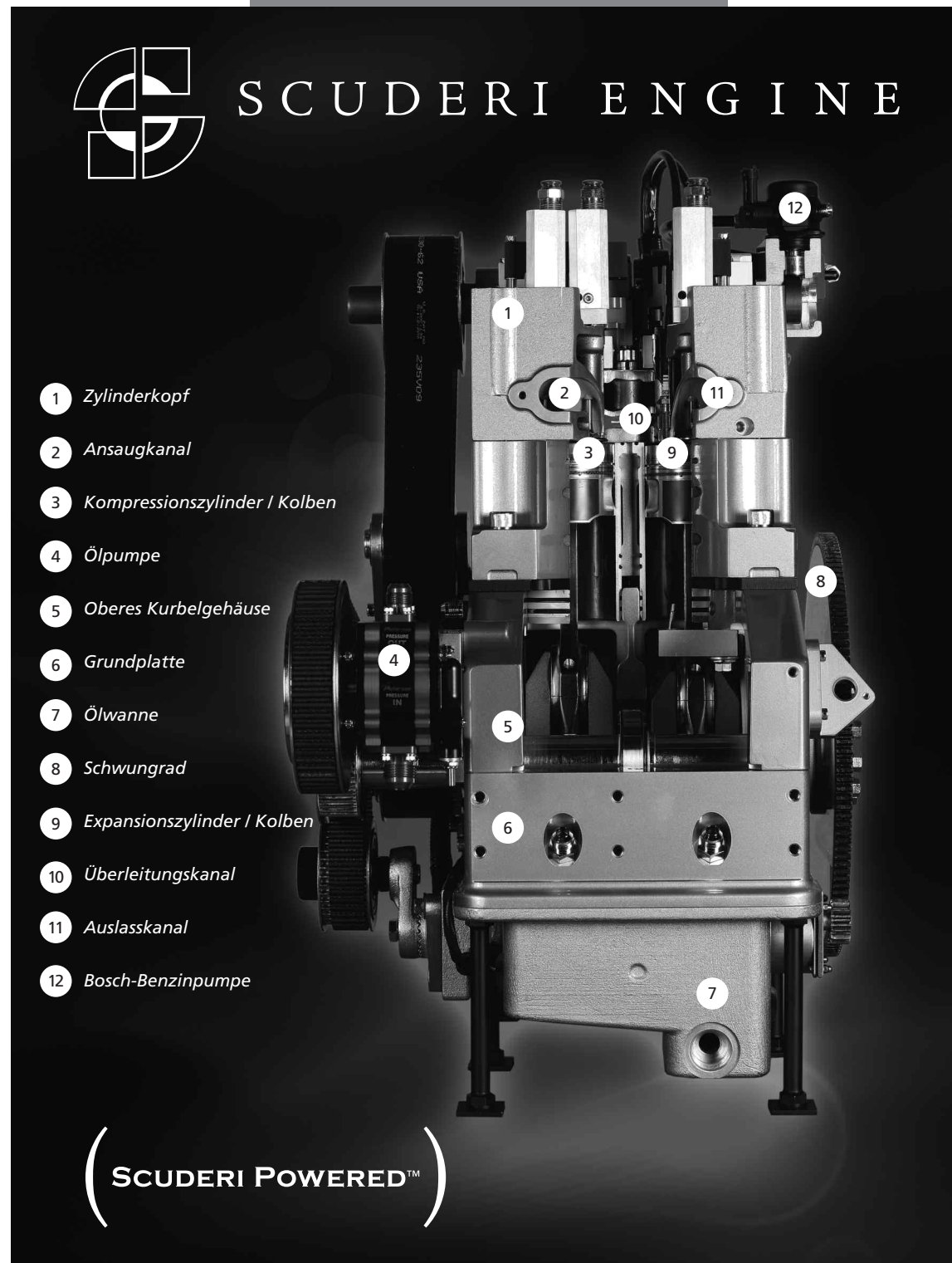
Außerdem wirkt sich die Ausführung des Überleitungskanals zum Arbeitszylinder hin stark auf das Luft-Kraftstoff-Gemisch aus, wobei die Konstruktion des Überleitungskanals auch eine wichtige Rolle bei der Steuerung des Motors bei Teillast spielen kann.

**Kraftstoff-Einspritzsystem:** Der Scuderi-Saugmotor verwendet Bosch-Einspritzer, die mit einem spezifischen Sprühmuster konfiguriert sind. Diese Einspritzer sind Hochdruck-Direkteinspritzer, die mit max. 200 bar betrieben werden. Die Kombination aus Sprühmuster, Druck- und Einspritzsteuerung sorgt für ein einwandfreies Luft-Kraftstoff-Gemisch und verhindert, dass Kraftstoff im Überleitungskanal eingeschlossen wird.

**Einzigartige Konstruktion des Arbeitskolbenbodens:** Zur Verbesserung des Luft-Kraftstoff-Gemisches nutzt der Motor eine nierenförmige Vertiefung um Arbeitskolbenboden. Diese Spezialkonstruktion ist Teil des Patentportfolios des Unternehmens.

**Ventil- und Zündsteuerung:** Einer der wichtigsten Faktoren für einen guten Verbrennungsvorgang ist die Abstimmung zwischen Ventilleistung und Zündsteuerung. Der Scuderi-Motor verwendet eine patentierte Ventilsteuerung, die den Hochgeschwindigkeitsluftstrom in den Arbeitszylinder gewährleistet. Unser Verbrennungsprozess mit Zündung nach dem oberen Totpunkt wird durch die Zündsteuerung des Motors zusätzlich optimiert.

**Ventilspielsteuerung:** Die Verbindung von abklappbaren Ventilen mit geringem Hub und schnellen Steuerprofilen erfordert eine besondere Vorrichtung für die Ventilspielsteuerung. Unser Team hat einen patentierten Ventilspiel-Steuermechanismus entwickelt, der spezifisch die unterschiedlichen Betriebsbedingungen der Überleitungsventile anpasst.



## Die Evolution

Die konzeptionelle Revolution der Zündung nach dem oberen Totpunkt im Split-Cycle-Motor von Scuderi manifestiert in der Konsequenz eine Evolution, hier dargestellt in den Ausführungen, die sich aus diesem einzigartigen Motorenkonzept ergeben.

### Turbogeladene Split-Cycle-Motoren

(Hohes Drehmoment, hohe Drehzahl, enorme Leistung, kleinere Motoren):

Der nächste Schritt bei der Entwicklung des Split-Cycle-Motors von Scuderi ist die Turboversion. Split-Cycle-Motoren von Scuderi verfügen über eine sehr hohe Frühzündungsfestigkeit (Klopfen), da die Ansaugluft nach dem Verdichten im Überleitungskanal gekühlt wird. Die hohe Frühzündungsfestigkeit ermöglicht den Split-Cycle-Motoren von Scuderi einen Ladedruck bzw. eine Turboladung auf 2,5 bar+ absolut. Herkömmliche Benzinmotoren lassen sich gewöhnlich nur auf 1,5 bar absolut laden, bevor Frühzündung erfolgt.

Ergebnisse zeigen einen deutlich höheren mittleren Arbeitsdruck (MAD) und ein gesteigertes Drehmoment. In der Tat erreicht bzw. übersteigt das Drehmoment des Split-Cycle-Motors von Scuderi den Wert der meisten Turbodieselmotoren. Scuderi's Split-Cycle-Motor kann unter Umständen jedoch Nenndrehzahlen von bis zu 6000 min<sup>-1</sup> erreichen. Die Kombination aus dieselähnlichen Drehmomentwerten und Drehzahlen von Benzinern würde zu einer Leistungsdichte führen, die höher ist als die eines jeden herkömmlichen, heute lieferbaren Motors. **Der Split-Cycle-Turbomotor von Scuderi besitzt eine potenzielle Nennleistung von bis zu 101 kW bei 6000 min<sup>-1</sup>.**

Mit dem Scuderi-Motor kann die Branche ihre Motoren drastisch verkleinern (**Kraftstoffverbrauch und CO<sup>2</sup>-Ausstoß reduzieren**) ohne Leistungskompromisse einzugehen.

### Scuderi's Split-Cycle-Dieselmotor (Emissionsminderung)

Einer der größten Vorteile des Scuderi Split-Cycle-Motors für Dieselanwendungen liegt in der Minderung von Abgasen. Strengere Abgasnormen ab 2010 werden die Kosten für Dieselmotoren drastisch erhöhen, während die Leistungsfähigkeit Kompromisse eingehen muss.

Der Verbrennungsprozess des Scuderi-Motors mit der Zündung nach dem oberen Totpunkt generiert unüblicherweise sowohl reduzierte Ruß- als auch Stickoxidwerte. Der Grund: Der Verbrennungszylinder im Scuderi-Motor weist nicht nur eine höhere Durchschnittstemperatur als ein herkömmlicher Motor auf, sondern gleichzeitig auch eine geringere Spitztemperatur. Die hochgradige Durchschnittstemperatur kombiniert mit der hohen Turbulenz beim Verbrennungsprozess senkt erwartungsgemäß die Rußbildung. Reduzierte Spitztemperaturen aufgrund des sich rasch ausdehnenden Verbrennungsgases beim Zünden nach dem oberen Totpunkt führen jedoch zur Senkung der Stickoxidemissionen um bis zu 80 Prozent.

Der Split-Cycle-Motor von Scuderi bietet die einmalige Möglichkeit, Abgase auf die gegenwärtig geforderten Werte zu senken, ohne dass kostenintensive Nachbehandlungssysteme notwendig werden.

### Die Zukunft des Split-Cycle-Motors von Scuderi

Mit der Revolution des Scuderi Split-Cycle-Motors mit Zündung nach dem oberen Totpunkt und dessen Evolution in variablen Ausführungen von Saug-, Turbo-, Druckluft-Hybrid- und Dieselmotoren, bietet die Split-Cycle-Technologie eine geradlinige und elegante Lösung für gegenwärtig erforderliche — und zukunftsgerichtete — Motoranforderungen: höhere Wirkungsgrade, verbesserte Leistungen, kleiner dimensionierte Motoren und reduzierte Emissionen. Wir wollen dem gerne entsprechen.





SCUDERI GROUP

Goethestraße 18, 60313 Frankfurt (Germany) (Telefon) +49.69.928.8497.0 (Fax) +49.69.928.8497.20 [www.ScuderiEngine.com](http://www.ScuderiEngine.com) ©2010 Scuderi Group, LLC, Alle Rechte vorbehalten