

Time Over?



Eine objektive Analyse der Ursachen von Motorschäden an wassergekühlten Porsche 6-Zylinder-Motoren der Baureihen M.96 und M.97

- Die Ursachen der Motorschäden
- Empfehlenswerte und untaugliche Reparaturmethoden
- Problemkind - Zwischenwellenlagerung
- Schmierstoff-Empfehlungen / Sinnvolle Ölanalysen
- Die Cartronic Motor-Racing-Kits für den Rennsporteinsatz
- Gefahr Saisonbetrieb
- Hubraumerweiterungen – Der 3,7er und der 3,9er Motor-
- Das Pleuel/Hub-Verhältnis / Ursachen von Zündaussetzern
- Bilddokumente von beschädigten Motorteilen und No-Go's

**Ein detaillierter Erfahrungsbericht von
Cartronic Motorsport Ing. GmbH**

***„Hätte ich damals gewusst, dass man den Motor
sogar bis 3 Liter bei unveränderter Zuverlässigkeit
und Renneinsatz, vergrößern konnte, hätte ich bestimmt gesagt,
der Motor sei unnötig groß und schwer, und ich hätte meinen
Technikern gesagt, sie sollen ihn kleiner machen.
Jetzt bin ich froh, dass ich es nicht wusste.“***

Zitat von Ferry Porsche

Anmerkung des Verfassers: Ferry Porsche sprach damals vom ersten Sechszylinder Motor Typ 901

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Einleitung	6
Die aktuelle Situation	7
- Motorschaden - Was nun?	7
- Das Unheil nimmt seinen Lauf	9
- Gute Nachrichten	10
- Nikasil®, Lokasil®, Alusil® und NiSiC	11
- Kolbenringe und Kolbenbeschichtung	12
Ursachenforschung	13
- Reibungspunkte	13
- Mehr als nur eine Ursache	15
- Was unterscheidet die Motoren ab MJ 2002 von denen der ersten Generation.....	16
- Problemlösung ab Werk?	17
- Neuartige Zylinder - Die Lokasil® Liner - Eine tolle Erfindung!.....	17
- Die Nachteile des Baukastenprinzips.....	20
- Hohe wirkende Kräfte – Zu schwache Bauteile	24
- Das Pleuel/Hub Verhältnis	24
- Tick-Over / Change-Over - Geräusche aus dem Motor.....	25
- Aus Fehlern lernen.....	26
- Die Kolbensmierung	28
- Wissenswertes zum Motoraufbau	28
- Der typische Kolbenfresser	30
- Die Wasserkühlung	32
- Das Verhalten von heißen Flüssigkeiten.....	43
- Informationen zum Siedepunkt.....	45
- Open-Deck vs. Closed-Deck.....	45
- Das Zusammenspiel Probleme macht den Motorschaden.....	49
- Die unterschätzte Tragweite der falsch angezeigten Wassertemperatur.....	50
- Schäden kann man durch angepasstes Nutzungsverhalten verhindern.....	51
- Gefahr Saisonkennzeichen	51
- Defekte Einspritzventile als Ursache von Motorschäden und unrundem Motorlauf.....	53
- Der Sinn dieser Veröffentlichung.....	52
- Bewertung verschiedener Instandsetzungsmethoden -Ausbuchsen vs. Aufbohren	53
- Mehr Spritzöldüsen - weniger Öldruck?.....	57
- Die lange Liste der konstruktiven Probleme - und die Lösung von Cartronic.....	57
- Technische Veränderungen bei den 3,6 Liter und 3,8 Liter Motoren im Vergleich zu den 3,4Liter 996 Motoren.....	60
- Abgeschlossene und neue Projekte.....	61
- Problemkind Zwischenwelle.....	64
- Was kann man tun, und was sollte man tun?.....	76
- Wie verhindern man das Kolbenkippen im UT?....	80
- Kaltstart-Qualmen.....	83

- Das qualmende Inferno –Sorgenkind Ölabscheider-.....	84
- Die Ursachen von Zündaussetzern	86
- Die Ölanalyse – Für alle dies es genau wissen wollen-	86
- Der Ölfilter Upgrade-Kit	87
- Motorsport mit M96/97 Motoren – Die Vorteile der Trockensumpfschmierung	90
- Vorbeugemaßnahmen bei noch unbeschädigten Motoren.....	93
- Welches ist das richtige Öl für die M96/97 Motoren?	94
- Hubraumsteigerung im Rahmen einer Revision – Die 3,7er und 3,9er Motoren.....	99
- Polierspuren in den Cartronic NiSiC Zylinderlaufbahnen nach Motorrevision.....	101
- Abschließende Betrachtungen.....	107
- Anlage 1 - Worst-Case-Szenarien - Schlimmer geht's nimmer / Fotos.....	109
- Anlage 2 – No Go`s	120



Cartronic Hochleistungszyylinder für M.96/97 Motoren

Zusammenfassung

Seit vielen Jahren beobachtet man bei bestimmten Motoren der wassergekühlten Sechszylinder- Generationen vermehrt Motorschäden auf Grund von Kolbenfressern in bestimmten Bereichen der Zylinderlaufflächen der Zylinderbank 2 (Zyl. 4-6). Andere Porschefahrer wurden mit plötzlich auftretenden Motorschäden aufgrund von „Ölmangel“ während motorsportlicher Aktivitäten konfrontiert. Wieder andere berichten von Problemen mit den Zylinderköpfen oder von Ölverlust aufgrund eines undichten Kurbelwellendichtrings. Zwischenwellenschäden häufen sich ebenfalls. Lange Zeit war nicht eindeutig klar, welche Ursachen diesen Schäden zugrunde lagen.

Die auf die Reparatur und Restauration von Fahrzeugen der Marke Porsche® spezialisierte Ingenieurgesellschaft, Cartronic Motorsport GmbH besteht seit nunmehr 40 Jahren und beschäftigt sich seit über zwanzig Jahren intensiv mit der Reparatur der wassergekühlten Porschemotoren der Generation M.96 und M.97. Von 2001 bis 2004 befasste sich Cartronic intensiv mit der Erforschung der Ursachen der oben aufgezählten Schäden. Anfangs wurden neue Vorgehensweisen der Schadensbehebung theoretisiert, später getestet und letztendlich auch angewandt. Da die Porschezentren keine individuelle Reparatur dieser Motoren anbieten, sind viele betroffenen Kunden, aufgrund eingeschränkter oder nicht vorhandener finanzieller Möglichkeiten, auf unabhängige Fachfirmen angewiesen.

Im Laufe der Jahre trauen sich einige Firmen, Angebote für Motorreparaturen von defekten Wasserpumpenmotoren abgeben. Teilweise sogar zu. auf den ersten Blick, unglaublich günstigen (scheinbaren) Festpreisen, die allerdings eine fachgerechte Reparatur definitiv nicht erlauben.

In der letzten Zeit stellen wir im Rahmen von Reparaturanfragen fest, dass viele Kunden über die recht unterschiedlichen Aussagen verschiedener Firmen, die Motoren überholen, verwirrt sind. Jede Firma stellt ihre Methode als "die Beste" hin und vertritt dabei tapfer diese Einstellung.

Speziell auf der Verkaufsplattform EBAY werden interessierte Porschefahrer mit einer großen Menge ausgemachten Blödsinns konfrontiert. Viele betroffene, meist ahnungslose Porschebesitzer fallen daher oft auf unseriöse Angebote herein und vergeben aus Unwissenheit Aufträge, die im Nachhinein immer teurer werden als ursprünglich angeboten.

Wir verbringen seit Jahren eine Menge Zeit damit, den Hilfesuchenden zu erklären, dass es keine gute Idee ist, gefressene Zylinder mit Zylindereinsätze aus "Stahl" reparieren zu lassen. Andere sind davon überzeugt worden, dass man die Zylinder ausbohren und mit Kolben in Übergröße versehen sollte, was technisch gesehen, die schlechteste Reparaturmethode darstellt. Wir raten sowohl vor sog. „Stahlbüchsen“ als auch einem Aufbohren der ohnehin zu „schwachen“ Zylinder ab. Leider wurden in den letzten Jahren viele defekte Motoren mit einer dieser beiden Methoden wieder instand gesetzt. Wie sich zeigte, mit mäßigem Erfolg, da Keine der beiden Methoden fachmännisch und nachhaltig ist.

Meist fehlt es den „Fachfirmen“, die gegenteilige Aussagen treffen, an Hintergrundwissen und an der notwendigen Kreativität. So hatte kaum einer diese „Problemlöser“ den Mut, an eigenen Motoren notwendige und zugleich kostspielige Haltbarkeitsversuche durchzuführen. Den meisten, oft unseriösen, selbsternannten Fachleuten geht es nur darum, schnell eine Rechnung für eine unfachmännische, billige „Reparatur“ zu schreiben. Die Hoffnung, dass die so instandgesetzten Motoren die nächsten 12 Monate überleben, ist bei diesen Firmen natürlich groß. Sehr oft geht es sogar gut.

Da es seitens der Porsche AG keinerlei Arbeitsanweisungen für eine fachgerechte Instandsetzung defekter M.96 und M.97 Motoren gibt, haben wir uns entschlossen, unser Wissen rund um die Ursachen und die Behebung der Motorschäden mit allen unseren Geschäftsfreunden, Kunden, potentiellen Kunden, aber auch unseren Mitbewerbern zu teilen. Wir denken, dass jeder betroffene Porschefahrer das Recht auf eine fachgerechte Reparatur seines defekten Motors hat. Auch sind wir der Ansicht, dass man im Rahmen einer Reparatur an den Motoren nicht nur den Schaden an sich beheben, sondern auch technische Verbesserungen einfließen lassen sollte, denn es geht auch darum, zukünftige Schäden zu vermeiden.

Im Vordergrund steht neben der fachgerechten Reparatur des Schadens, auch die Ursachenbeseitigung, bzw. Optimierung der beschädigten Motoren. Um Ihnen unsere Gedankengänge im Rahmen der Erforschung der Motorschäden sowie deren Behebung bei gleichzeitiger Optimierung näher zu bringen, haben wir uns entschlossen, unsere gemachten Erfahrungen mit der breiten Öffentlichkeit zu teilen.

Heute muss kein Motor mehr unfachmännisch repariert werden. Kein Kunde muss sein Geld für nachweislichen „Pfusch“ ausgeben. Und vor allem muss kein Kunde mehr als getretener Verlierer aus der Situation herausgehen.

Die Resonanzen, die wir erhalten zeigen uns, dass wir mit dieser dokumentierten Transparenz und Ehrlichkeit etwas dafür getan haben, dass sich das Misstrauen der Kunden in "die Branche" wieder auflöst.

Bis zum heutigen Tag hat weder einer unserer Mitbewerber vergleichbare Erkenntnisse und Lösungsvorschläge veröffentlicht.

Viele Spezialisten sehen als Ursache für die Probleme, einzig die verminderte Standfestigkeit der von Porsche® verwendeten Lokasil®-Zylinder. Alle, die diese Einstellung vertreten, liegen damit falsch. Tatsächlich existiert nicht eine einzige Ursache für die Motorprobleme, sondern die Verknüpfung verschiedener „kleinerer“ Ursachen macht die Gesamtproblematik aus. Tatsache ist sogar, dass die Lokasil®-Zylinder sehr gut funktionieren und eine technisch geniale Idee darstellen.

Allerdings haben diese Zylinder nicht nur Vorteile, sondern zeigen auch kleinere Nachteile, wenn sie falsch ausgelegt werden.

Auf den folgenden Seiten klären wir im Detail über die verschiedenen Ursachen der Motorschäden auf und beschreiben, wie man die Probleme unserer Ansicht nach im Rahmen einer speziellen, von uns entwickelten Reparaturmethode nachhaltig lösen kann. Es ist nicht unsere Absicht, Kritik an der Firma Porsche®, deren Zulieferern, an den verwendeten Materialien oder angewandten Prozessen zu üben. In der Tat versuchen wir uns nur an einer ausgewogenen und objektiven Darstellung der Dinge und in der Präsentation von Lösungen.

Einleitung

Die Motoren der Generationen M.96 und M.97 der Fahrzeuge Porsche® 986/987/996 und 997 zeigen Schwächen in verschiedenen Bereichen.

Das an den Anfang dieses Berichts gestellte Zitat aus dem Munde von Ferry Porsche bezog sich damals auf den Motortyp 901, den ersten luftgekühlten 6-Zylindermotor von Porsche - die technische Basis des unglaublichen Erfolgs für das Haus Porsche®. Kein anderer Sportwagenmotor war jemals so erfolgreich wie die auf dem Typ 901 basierenden Motoren, die sogar als 8 und 12-Zylindermotoren jahrzehntelang nie dagewesene Siegesserien auf allen Rennstrecken der Welt einfuhren.

Porsche dominierte damals, weil Ferry Porsche und seine Ingenieure etwas unglaublich Stabiles und Langlebiges konstruiert hatten.

Heute, in den Zeiten von Downsizing, immer strenger werdenden Abgasgesetzen und ständigem Kostendruck, ist dies leider nicht mehr möglich. Jedes Gramm Gewicht zählt. Den Luxus, wirklich stabile und langlebige Motoren zu bauen, kann sich heute kein Hersteller mehr leisten. Heute legt man Motoren eher nahe an den Grenzen aus. Sehr oft werden Gleichteile, die in verschiedenen Motoren Verwendung finden, benutzt.

Analysiert man die häufig auftretenden Motorschäden der Wasserboxer-Motoren, stößt man in fast allen Fällen auf Riefenbildungen in den Laufflächen der Zylinder der Bank 2 (Zyl. 4,5 und 6). Hin und wieder kommt es zu gerissenen (meist durch Wasserschlag, geplatzte Wandungen). Die gefressenen

Zylinder weisen in allen Fällen eine messbare Ovalität auf. Die meisten Motorschäden beobachten wir bei den 3,8 Liter Motoren des Typs M97/01 mit 355 bzw. 381 PS der leistungsgesteigerten Version X51. Kolbenfresser treten auf, wenn der Druck zwischen dem Kolben, den Kolbenringen und der Zylinderlauffläche vom Ölfilm nicht mehr getragen werden kann. Der Reibwert zwischen dem Kolben und der Zylinderbohrung steigt dabei so stark an, dass es zu einem direkten Kontakt von Metall zu Metall kommt. Dies führt zu einer Riefenbildung im Zylinder und einem Materialabtrag am Kolben. Dies ist nichts Neues bzw. Spezifisches bei diesen Motoren, sondern tritt bei Motoren anderer Hersteller ebenfalls auf. Um zu verstehen, warum es bei den M.96 und M.97 Motoren zu diesen Schäden kommt, sollte man das Thema der Reibung und speziell die Reibung an den kritischen Zylinderbereichen näher erörtern. Fachleute bezeichnen dies als die „Wissenschaft“ der Tribologie. Kolbenfresser stellen immer eine Folge aber niemals eine Ursache dar. Kann es sein, dass zu hohe innere Temperaturen im Motor die Probleme verursachen? Liegt es an einer ungenügenden Wasserkühlung oder an der Open-Deck Konstruktion? Oder spielen andere konstruktive Merkmale an diesen Motoren eine Rolle für die Schäden? Auch nicht ausschließen darf man, dass der Fahrer des Fahrzeuges für die Schäden verantwortlich ist. Spekulationen gibt es genug.

Cartronic hat gemeinsam mit einem befreundeten Unternehmen aus England die möglichen Ursachen der Motorschäden untersucht. Am Ende der gemeinsamen „Forschungsreise“ und nach vielen Flügen über den Ärmelkanal waren wir in der Lage, nicht nur die Ursachen für die Motorschäden zu erklären, sondern die Schäden auch nachhaltig zu beheben.

Die aktuelle Situation

Motorschaden - Was nun?

Ist der nicht seltene Fall eines Motorschadens eingetreten, weiß man in der Regel nicht, wie man sich verhalten soll. Im Internet und speziell bei Ebay wimmelt es, neben einigen wenigen seriösen, von unseriösen Angeboten von gewerblich tätigen Anbietern, welche mit sehr attraktiven Lockangeboten auf sich aufmerksam machen. Dem potentiellen Kunden werden besonders günstig erscheinende Komplettpreise angeboten. Geht man darauf ein, wird es am Ende fast immer teurer als erwartet oder man erhält einen Motor zurück, der nicht selten mit Gebrauchtteilen repariert wurde.

Jeder versucht *seine* technische Lösung als besonders vorteilhaft in den Vordergrund zu stellen. Leider haben in diesem Gewerbe im Laufe der letzten Jahre, moralisch nicht einwandfreie Verhaltensmuster einiger weniger Personen und Firmen entwickelt. Das führte dazu, dass die gesamte, überschaubare Branche in Verruf geriet. Viele Privatkunden wurden in ihrer Ahnungslosigkeit von selbsternannten Motospezialisten betrogen und haben ihr Vertrauen verloren. Andere, sind völlig verunsichert, ob der unklaren Aussagen von verschiedenen Reparaturbetrieben.

Mit etwas Sachverstand und Hintergrundwissen ist man in der Lage, diese schwarzen Schafe zu entlarven, da es den meisten „Spezialisten“ an dem essentiell notwendigen Hintergrundwissen rund um die Motorentechnik fehlt. Viele Reparaturbetriebe die sich auf die Behebung von Motorschäden der M96/97-Motoren spezialisiert haben, sind dem Irrtum unterlegen, dass man die beschädigten, verrieferten Zylinder der Motoren mit Zylinder-Einsätzen aus „Stahl“ nachhaltig reparieren kann. Ein Anbieter dieser Methode spricht sogar von Formel-1-Technologien im Porschemotor. Für den Laien hören sich diese besonders wichtig klingenden Aussagen sehr logisch an. Echte Fachleute distanzieren sich sehr weit von solchen Firmen.

Auf der Ebay-Plattform findet man viele gebrauchte Motoren, die von Privatleuten und auch von Gewerbetreibenden angeboten werden. Funktionsgarantie – Fehlanzeige!

Unsichere Zeitgenossen haben die Möglichkeit, sich auf den Weg zum nächsten Porschezentrum zu machen um sich dort dann ein „Rundumsorglos-Paket“ schnüren zu lassen. Kostenvoranschläge bis zu 30.000 Euro (z.B. bei den 3,8 Liter Wasserboxern) sind keine Seltenheit. Komplette Austauschmotoren sind seit einigen Jahren nicht mehr lieferbar. Austauschmotoren gibt es noch, sprengen aber nicht selten das Budget der betroffenen Fahrzeughalter.

Legt man Wert auf eine nachhaltige Reparatur, erweist man sich mit dem Erwerb eines AT-Motors keinen Gefallen, da sich die angebotenen M.96 und M.97 Motoren technisch nur minimal vom defekten Motor unterscheiden. Kleinere technische Unzulänglichkeiten im Bereich der Zwischenwelle und der Zylinderköpfe wurde seitens des Herstellers im Laufe der letzten Jahre vorbildlich gelöst. So kommt es auch bei neu eingebauten Austauschmotoren weiterhin zu den bekannten Motorschäden (meist Kolbenfressern). Geht es um einen leistungsgesteigerten 3,8 Liter. X51 Motor aus einem 997, kann es, je nach Belastung des Motors, bereits nach 40.000 - 70.000 km zu einem erneuten Motorschaden kommen.

Als sich die Motorschäden ab dem Jahr 2000 häuften, waren alle Branchenkenner sehr überrascht, da man das von den luftgekühlten Motoren der früheren Generationen nicht kannte. Diese sind sogar so standfest, dass Laufleistungen von 500.000 Km bei 964 oder 993 Motoren keine Seltenheit darstellen. Im Jahr 2001 begannen wir, die Ursachen der sich häufenden Motorschäden bei den Motoren der Porsche 996 und 986 zu analysieren. Es stellte sich schnell heraus, dass es sich um ein Zusammenspiel von konstruktiv- und materialbedingte Probleme handelt. Konstruktive Unzulänglichkeiten im Bereich der Wasserdistribution im Übergang vom Motorgehäuse zu den Zylinderköpfen, falsch ausgelegte Zylinderkopfdichtungen und Zylinderköpfe (teilweise behoben!), sowie konstruktiv nicht optimal platzierte Spritzölbohrungen für die Kolbenböden, sowie eine recht fragile und in mehrfacher Hinsicht falsch ausgelegte Zwischenwellenlagerung, undichte Kurbelwellen-Dichtringe stellen die Ursachen für Motorschäden dar, die Cartronic in Zusammenarbeit mit der Firma Hartech nachhaltig lösen konnte.

Das größte Problem, unter dem die Motoren leiden, ist die Tatsache, dass sich die Zylinder einiger Motoren im Laufe der Zeit messbar und dauerhaft verformen und sogar reißen. Bei den leistungsschwachen 2,5 Liter und 2,7 Liter Boxster-Motoren konnte man dieses Phänomen noch nicht beobachten. Andere Motoren, wie die vom leistungsgesteigerten 3,8 Liter (X51 Motor) leiden verstärkt daran. Eine der Ursachen liegt darin begründet, dass aus konstruktiv ähnlichen Gussrohlingen der Motorgehäuse, Motoren mit unterschiedlichen Hubräumen hergestellt werden. Da sich in vielen Fällen die Bohrung vergrößerte ohne die Gussrohlinge der Gehäuse entsprechend anzupassen, ging das zu Lasten der Zylinderwandstärken. Der innere „verstärkte“ Lokasil®-Liner, auf dessen Oberfläche die Kolbenringe und Kolben gleiten, wurde so bei einigen Motoren dünner und damit der gesamte Zylinder fragiler. Die Verbrennungsdrücke stiegen in Folge der ständig steigenden Motorleistung jedoch weiter an. Durch den hohen Druck, welcher auf die Kolben wirkt, erhöht sich der Druck auf einen bestimmten Bereich der Zylinderwandung und damit die Reibung und in Folge die Temperatur der Bauteile und des Motoröls.

Der zyklisch hohe Druck bei jedem einzelnen Verbrennungsvorgang führt bei den M.96 und M.97 Wasserboxermotoren zu einer immer wiederkehrenden Verformung der konstruktiv zu geringen Zylinderwandstärken. Diese verändern sich dann langsam aber stetig und nehmen irgendwann eine ovale, statische Form an. Ein kreisrunder Kolben in einem ovalen Zylinder ist nicht das, was sich ein Motorenkonstrukteur wünscht. Die zu geringe Zylinderwandung gibt's sich irgendwann, abhängig von der Bohrung, der Laufleistung und Belastung des Motors, dem Verbrennungsdruck geschlagen. Die Zylinderwandung ermüdet, kriecht, reißt, frisst und der Motor erleidet im schlimmsten Fall einen nicht reparablen Totalschaden.

Über diese initial entstehenden Ovalitäten kommt es dann irgendwann zu den Kolbenfressern, die den dann zu den Kolbenkippern und Zylinderrissen führen. Einige Zylinderrisse, bei der größere Stücke aus der Zylinderwandung „gesprengt“ werden, haben andere Ursachen auf die wir noch eingehen. Mit

ausreichend starken Zylinderwandungen bzw. optimierten Zylindern könnte man die meisten Motorschäden vermeiden. Bei den 2,5er und 2,7er Boxster-Motoren treten diese Schäden auf Grund der geringen Motorleistung, gepaart mit ausreichender Zylinderwandstärke nur selten vor. Diese „kleinen“ Motoren laufen teilweise auch noch nach 300.000 Km Laufleistung problemlos.

Es ist nicht verwunderlich, wenn ein leistungsgesteigerter 3,8er X51 Motor bereits nach 30.000 Km Laufleistung die ersten beängstigend klingenden Geräusche macht.

Nach eingehenden Untersuchungen und Analysen sind uns die Ursachen, warum viele Motoren, speziell die mit der 99mm Bohrung nach relativ kurzer Zeit einen Motorschaden erleiden, bekannt. Mit der Veröffentlichung unserer Analyseergebnisse, teilen wir unser Wissen mit dem Rest der Welt.

Interessant ist, dass die Ursachen der Motorprobleme bis zum heutigen Tage außer durch uns und unserem Partner Hartech noch nirgends vollumfänglich kommuniziert wurden. Viele Motorspezialisten mit gutem Ruf gehen, wie bereits erwähnt, bis zum heutigen Tage davon aus, dass sich die Laufflächenprobleme in den Materialeigenschaften der Lokasil®-Zylinder begründen.

Dies ist eine falsche Annahme, die sicher nur auf reinen Vermutungen basiert und zeigt, dass sich diese Personen nie wirklich mit den wahren Ursachen der Motorschäden beschäftigt haben. Ein Bericht in dem Magazin „Porsche-Fahrer“ Ausgabe 04/2013 verdeutlicht dies sehr gut. Dort analysiert man Schäden an den Zylinderlaufflächen mit Rasterelektronenmikroskopen und vergisst dabei völlig, dass man sich dabei um die Folgen, aber nicht um die Ursachen der Probleme kümmert. Diese wurden nicht mit einem Satz erörtert.

Im Rahmen der nachhaltigen Problembeseitigung haben wir verschiedene Technologien und Materialien in aufwändigen und kostspieligen Versuchen getestet. Wir haben inzwischen bei über 1500 Motoren (Stand 10/21) bewiesen, über ein gutes Konzept einer Motorüberholung der M.96 und M.97 Motoren zu verfügen.

Wir sind in der Lage sind, Motoren aufzubauen, bei denen alle Schwachstellen optimiert wurden. Erneute Kolbenfresser aufgrund der bekannten konstruktiven Schwächen, sind ausgeschlossen.

Cartronic Motorsport hat sich einen Bestand von rund 40 Motoren der Baureihen 356/911/964/993/986/996/987/997 - vom Klassiker bis zum letzten Modell aufgebaut. Viele Motoren sind bereits generalüberholt und stellen die Basis für unser Austausch-Geschäft dar.

Meist jedoch reparieren wir die Motoren, die uns von Kunden angeliefert werden. Damit verfügt das Fahrzeug auch danach noch über „Matching-Numbers“. Dies ist aber nur Interessant bei den luftgekühlten und Motoren der Generation GT3 und Turbo von Interesse. Bei Fahrzeugen mit M96/97 Motoren spielen Matching-Numbers keine Rolle. Unseren Kunden bieten wir im Falle eines Motorschadens immer die Wahl zwischen folgenden Möglichkeiten:

- ein generalüberholter Austauschmotor
- ein generalüberholter Rumpfmotors mit eigenen Anbauteilen
- eine Reparatur des eigenen Motors oder Getriebes

Was letztendlich sinnvoll ist, entscheiden der Geldbeutel und die Vernunft.

Das Unheil nimmt seinen Lauf

Es beginnt fast immer mit einem klopfenden Geräusch auf der Zylinderbank 2 (Zyl. 4-6). Das, was man dann hört, ist das Geräusch eines kippenden und dabei leicht unter die Ablagerungen des Zylinderkopfs im Brennraum anschlagenden Kolbens. Beim 996 und 997 vernimmt das Geräusch auf der rechten Motorseite. Beim Boxster und Cayman mit Mittelmotorkonzept, kommt es von der linken Seite, weil die Motoren um 180° gedreht eingebaut sind.

Wie bereits erwähnt, stiegen mit dem Hubraum (Bohrung), auch die Motorleistungen und damit die Verbrennungsdrücke. Hohe Verbrennungsdrücke, ungünstig angelegte Spritzölkühlkanäle, inhomogene Kühlwassertemperaturen, eine für die Zylinder nachteilige Wasserverteilung, sowie zu geringe Zylinderwandstärken aber auch Probleme mit sich aus der Zylinderwand lösenden mikroskopisch kleinen Siliziumpartikeln führen speziell bei den 3,8Liter X51-Motoren zu einer deutlich geringeren Haltbarkeit im Vergleich zu den Motoren mit Hubräumen von 2,5 - 3,6 Liter Warum ist das so?

Bei jedem Verbrennungszyklus verformen sich auf Grund des eingeleiteten Drucks die Zylinder. Diese werden leicht oval. Weder der äußere, schwach ausgelegte Bereich der Zylinderwandung, die aus Aluminium besteht, noch der innere Lokasil®-Liner, der mit Aluminium infiltriert wist, hält das auf Dauer aus. Die maximal verträglichen Dehngrenzen der Zylinderwandungen werden bei jedem Verbrennungsvorgang überschritten. Das Material wandert sogar geringfügig und beginnt sich zu verformen. Man nennt dieses Verhalten „Kriechen“. Genau das führt zu einem statisch verformten Zylinder.

Dieser ständige zyklische Stress führt zu einer Materialermüdung und häufig auch zu Rissen der Zylinderwandung. Auf Grund der vielen Millionen Verbrennungszyklen und der damit einhergehenden Bewegungen in der Zylinderwand kommt es häufig zu Mikroausbrüchen von sehr kleinen keramischen Partikeln. Diese stammen aus den vollkeramischen Lokasil-Linern, die im Rahmen des Gießverfahrens mit Aluminium umgossen, bzw. infiltriert werden. Im Rahmen der Endbearbeitung der Zylinderlaufbahn müssen Siliziumpartikel an der Oberfläche stehen bleiben. In Bereichen, wo die Belastung sehr hoch ist und wo viel Bewegung im Material ist, können sich mikrokleine keramische Partikel lösen. Die werden von den Kolbenringen mitgenommen und führen zu "Kratzern" in den Zylindern aber auch auf den Kolben und den Kolbenringen. Der Beginn eines Kolbenfressers!

In den Bereichen des oberen und unteren Totpunktes des Kolbens kann es zusätzlich zu geringen bis starken Auswaschungen der Zylinder kommen. Oval gewordene Zylinder weisen bei Motoren, die mehr als 200.000 km gelaufen haben, teilweise sehr große Ovalitäten von bis zu 0,25mm auf. Der Ölverbrauch steigt, die Temperaturen steigen und irgendwann kommt es zu den gefürchteten Schmierfilmabrissen, die dann in der Folge zu Kolbenfressern, die im Extremfall zu Pleuelabrissen führen können.

Nähert man sich so mit einem wassergekühlten Motor dieser Baureihen der oben aufgeführten Laufleistung, entwickeln sich bis dahin nach und nach diese gefährlichen Maßtoleranzen. Irgendwann und unvermeidbar kommt es dann irgendwann zum Motorschaden.

Bei den frühen 986er und 996er Motoren konnte man neben diesen Schäden auch häufig Schäden, hervorgerufen durch Probleme mit den Zylinderköpfen, der Zwischenwelle und dem Kettentrieb (mit Kettenabrissen), Brüchen der Zwischenwellen und deren Lagerung beobachten. Die Ursachen für die Probleme wurden vom Hersteller durch eine leicht modifizierte Wellenlagerungen und ein verbessertes Design der Zwischenwellen gelöst. Bei den M.97-Motoren ab Baujahr 2005 sollten diese Ausfälle nicht mehr vorkommen. Cartronic bietet entsprechende Upgrade-Kits mit verbesserten und konstruktiv anderen Zwischenwellenlagern und Spannbolzen an.

Gute Nachrichten

Um wirklich einen Motorschaden nachhaltig zu reparieren, reicht es nicht aus, nur die Probleme erkannt zu haben. Man muss auch in der Lage sein, Materialien einzubauen, welche langlebiger sind als die, welche man vorgefunden hat. Die gute Nachricht ist, dass alle konstruktiven Schwächen der M.96/97 Motoren beseitigt werden können.

Die großen Fahrzeughersteller fehlt es an der notwendigen Flexibilität um notwendige Problemlösungen kurz nach deren Bekanntwerden umzusetzen und anzubieten. Zu dem Zeitpunkt, an der die Probleme erstmalig bekannt werden, sind die Entwicklungsabteilungen längst mit anderen, zukünftigen Projekten beschäftigt.

Die Mitarbeiter von Cartronic und deren Entwicklungspartner haben viele Jahre damit verbracht, diese Fehler zu analysieren, um Problemlösungen zu realisieren. Von Jahr zu Jahr hatten wir die Motorreparaturen besser im Griff, die abgelieferte Qualität der Motoren wurde immer besser. Seit Anfang des Jahres 2003 waren wir in der Lage, revidierte Motoren anzubieten, welche im Detail verbessert wurden. Unsere Motoren sind in den wichtigsten Details auf einem deutlich höheren technisch konstruktiven Stand als die Werksmotoren.

Das Problem mit den zwangsläufig auftretenden Ovalitäten der Zylinder konnten wir dadurch lösen, indem wir die zu schwach ausgelegten Aluminium/Lokasil®-Zylinder durch sehr spezielle, von uns entwickelte Leichtmetallzylinder aus geschmiedetem Aluminium verbauen. Diese Zylinder werden aus einer hoch festen Aluminiumlegierung speziell für uns und unseren Entwicklungspartner im Schmiedepressverfahren hergestellt. Anfangs ließen wir die Zylinderrohlinge noch im Gießverfahren herstellen. Schnell stellte sich aber heraus, dass noch nicht einmal diese, unserer Meinung nach sehr stabilen Zylinder, den Anforderungen eines hochbelasteten 3,8 Liter X51-Motors gerecht wurden. Also änderten wir das Produktionsverfahren. Schmiedekolben gibt es seit langer Zeit. Aber Schmiedezylinder waren damals in den frühen 2000er Jahren ein echtes Novum.

Die Zylinderlaufflächen werden mit einer sehr haltbaren, galvanisch aufgetragenen Siliziumcarbid-haltigen Nickelschicht versehen. Wir nennen diese Beschichtung, NiSiC-Beschichtung. Sie ist qualitativ mit einer Mahle Nikasil® Beschichtung vergleichbar. Dieses Verfahren hat sich bestens in leistungsstarken Motoren bewährt und wird von den Zulieferern der Porsche AG seit einigen Jahrzehnten eingesetzt. Bis heute in den modernen GT3 und Turbomotoren.

Viele Reparaturbetriebe, preisen bis zum heutigen Tage völlig veraltete Technologien mit absolut ungeeigneten Stahlzylindern als das Non-Plus-Ultra einer Motorrevision an. Wir raten von derartigen Methoden ab. Dass diese Billiglösungen immer noch angeboten und verkauft werden, hat mehr mit Gewinnmaximierung als mit der Verwirklichung einer technischen Glanzleistung zu tun.

Nikasil® Lokasil® Alusil® und NiSiC

Obwohl sich Nikasil® als Lauffläche der Zylinder bei den Luftgekühlten gut bewährt hatte, schwenkte man aus Konstruktions- und Kostengründen auf Lokasil® um. Dabei handelt es sich um keine Beschichtung. Beim Lokasil®-Verfahren werden poröse, zylindrische Formkörper aus Silizium (Preform genannt) vor dem Gießen des Motorgehäuses an den Stellen in der Gießform des Motorgehäuses platziert wo nachher die Zylinder sein sollen. Das Aluminium fließt während des Gussverfahrens dann in diese Lokasil-Körper, die man mit einem Schwamm vergleichen kann. Das Aluminium wird infiltriert. Das Preform-Gerüst selbst ist als Rohkörper sehr bruchgefährdet und erhält die Stabilität erst durch das Aluminium welches sich ähnlich wie Wasser in alle Hohlräume des „Schwammes“ verteilt.

Der Hersteller war damit in der Lage, Motorgehäuse zu produzieren, welche zu rund 95% aus einer „normalen“ Aluminiumlegierung bestanden und nur in den Bereichen, wo es darum ging, Verschleiß zu mindern, aus einem mit Silizium angereicherten Bereich versehen waren. Dies ist bis heute eine wirklich geniale Idee; denn normales Aluminium lässt sich problemlos und recht günstig mit „normalen“ Werkzeugen zerspanen. Leider schaffte man es allerdings nie, eine dauerhaft haltbare Verbindung zwischen dem Siliziumgerüst (Losteil) und dem Aluminium des Gehäuses zu erzeugen. Auch kam es

vor, dass die Lokasil-Körper schief oder nicht zentrisch in die Formen eingesetzt wurden. Das sich während des Betriebs des Motors kleinste Siliziumpartikel lösen, die dann zu Beschädigungen der Lauffläche und des Kolbens führen, wurde schon erwähnt.

Mit Silizium als verschleißfestem Bestandteil in der Gesamtlegierungen wird die mechanische Endbearbeitung deutlich kostspieliger, da man dafür sehr teure Diamantwerkzeuge (sogen. PKD-Werkzeuge) benötigt. Wir wissen genau, warum sich Porsche für Lokasil und nicht für Alusil, wie bei den 944/928er Motoren entschieden hat. Wir hatten mit diesen Problemen bei der Endbearbeitung unserer MMC-Aluminium Leichtbaubremsscheiben Anfang des Jahres 1997 zu tun. Diese sehr verschleißfesten und straßenzugelassenen Bremsscheiben enthalten rund 25% Siliziumcarbid in Pulverform und sind sehr nur kostenintensiv mit Diamantwerkzeugen zu bearbeiten.

Die Silizium-Keramikbestandteile in den Legierungen sorgen für die Verschleißfestigkeit. Egal, ob beim Alusil®-Guss wie beim 944er, Lokasil®-Verfahren bei den Wasserboxern, NIKASIL® oder NiSiC bei den klassischen 911 Motoren und bei den GT2/3 und Turbomotoren der letzten Baureihen - ohne verschleißresistente Bestandteile ist es nicht möglich, eine haltbare Lauffläche zu kreieren. Damit die Lauffläche nicht verschleißt, sollte sich so wenig wie möglich (weiches) Aluminium an der Kontaktfläche zum Kolben befinden, denn dieses würde sehr schnell mit dem Kolben verschmelzen.

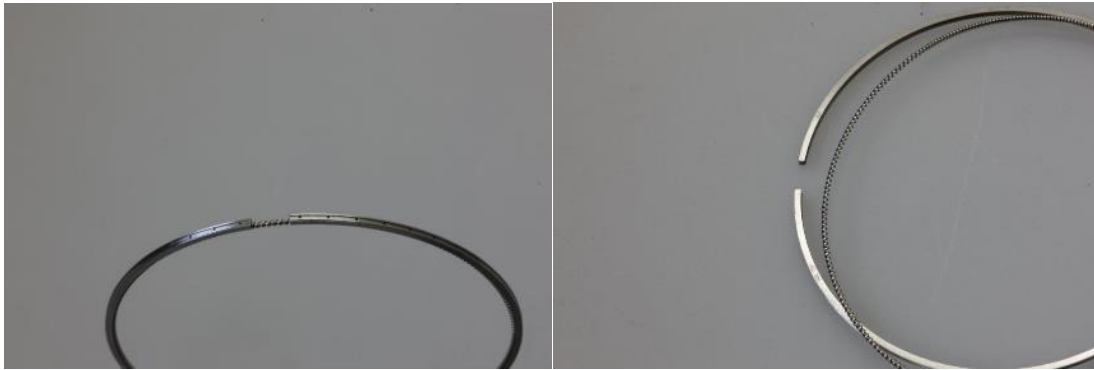
Um dies zu verhindern, ist es notwendig, die Siliziumpartikel an der Oberfläche freizustellen. Dies erfolgt z.B. dadurch, dass man oberflächiges Aluminium im Rahmen eines speziellen Honprozesses oder Ätzverfahrens mit Säure entfernt. Übrig bleiben dann die verschleißfeste Silizium-Oberfläche und viele kleine, aber sehr wichtige „Taschen“ in denen sich das Öl sammeln kann, ohne dass der Kolben sofort „fressen“ würde. Das Aluminium als Matrix hat die Aufgabe, das Siliziumgerüst zu verstärken und natürlich die Wärme abzuleiten. Wie erwähnt, brechen während des Betriebes des Motors hin und wieder aus den freiliegenden Bereichen des Silizium-Preform Körpers (Lokasil®-Zylindereinsatz) kleine Silizium-Mikropartikel heraus. Diese Partikel bewirken dann kleinere Kolbens Schäden (Riefen an den Kolbenhemden) und kratzen dabei immer die Laufflächen der Zylinder. Rein technisch gesehen, nicht gerade ein Beinbruch. Bei unseren, galvanisch aufgetragenen NiSiC-Oberflächen ist das nahezu ausgeschlossen. Eine galvanische aufgetragene Oberfläche kennt sicher jeder. Verchromte, vernickelte, vergoldete und versilberte Teile findet man überall.

Die erwähnte, nicht fachgerechte Reparatur eines Kolbenfressers durch Aufbohren und Einsetzen eines Eisenguss-Liners ist rein von den Laufeigenschaften der Oberfläche nicht zu bemängeln. Ein Liner, auch Büchse genannt, mit einer fachgerechten Honung versehen, stellt eine tribologisch sehr verträgliche und Verschleißfeste Oberfläche dar. Die Probleme liegen ganz woanders. Wir kommen darauf später zu sprechen.

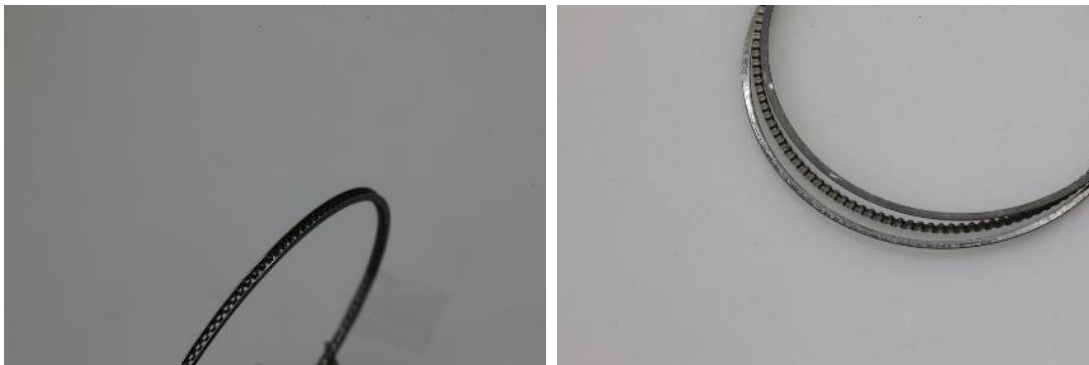
Kolbenringe und Kolbenbeschichtung

Cartronic lässt sich sehr hochwertige Kolbenringe herstellen. Diese werden speziell für uns durch die weltweit bekannte Firma Federal Mogul (Goetze) hergestellt, sind von der Konstruktion sehr genau an die Anforderungen abgestimmt, und den OEM Ringen sehr ähnlich. Diese Art Kolbenringsätze sind auch in den Originalmotoren mit Lokasilzylindern verwendbar. Unsere Ölabstreifringe sind, wie die original verwendeten Ringe, dreiteilig aufgebaut. Ringsätze für das Aftermarktgeschäft enthalten wesentlich einfacher aufgebaute zweiteilige Ölabstreifringe. Oft sind es sogar Ringe, ohne Beschichtung. Unsere verbauten Ringe heben sich deutlich von den im Zubehör angebotenen „günstigen“ Aftermarkt-Normform-Ringen ab. Gerade bei Boxermotoren, die generell zu Ölverbrauch neigen, sollte man besonderen Wert auf effektiv arbeitende Ölabstreifringe legen. Natürlich sind diese Ringe deutlich teurer in der Anschaffung.

Bitte nehmen Sie deshalb Abstand von den günstigen Aftermarkt-Ringen. Fragen Sie Ihre Werkstatt, welche Ringe verbaut werden sollen. Cartronic Kolbenringe in OEM-Qualität von der Firma GOETZE. Alternativ kommen noch Kolbenringe aus dem Hause MAHLE in Frage.



Standard 2-teilige Aftermarket Normform-Ölabstreifringe



Hochwertige und effektive 3-teilige Ölabstreifringe von GOETZE

Seit Mitte 2013 ist Cartronic in der Lage, eine professionelle Kolbenbeschichtung durchzuführen. Dabei handelt es sich um die Aufbringung einer dämpfenden und gleitfähigen Schicht auf das seitliche Kolbenhemd, welches die Reibung zwischen Kolben und Zylinder auf ein Minimum beschränkt. Die Schichtdicken sind sehr präzise einstellbar.

Ursachenforschung

Reibungspunkte

Kolbenfresser sind fast immer eine Folge von zu hohen Reibwerten zwischen den Kolben und den Zylinderlaufflächen. Zu hoher Druck resultiert in zu hohen Temperaturen auf bestimmte Bereiche der Lauffläche und der Kolbenhemden. Sich aus der Oberfläche der Zylinderlaufbahn lösende Siliziumpartikel stellen meist die ersten sichtbaren, mechanischen Beschädigungen dar. Hin und wieder beginnt damit ein Kolbenfresser.

Die Bestimmung eines annähernd genauen Reibungskoeffizienten zwischen zwei Materialien ist nur experimentell möglich.

Reibwerte verhalten sich sehr sensibel gegenüber der Kontamination der Ansaugluft mit atmosphärischem Staub und Feuchtigkeit, vorhandenen Oxidschichten, Oberflächengüte der Materialien, Kolbengeschwindigkeit, Temperatur sowie Schwingungen. In vielen Fällen ist der Grad der Kontamination vielleicht die mit Abstand wichtigste Variable. Ein Luftfilter in der Ansauganlage macht also eine Menge Sinn.

Wir haben erkannt, dass die primäre Ursache für die Probleme bei den M.96 und M.97 Motoren ein hoher Verbrennungsdruck, gepaart mit den sich daraus resultierenden hohen Temperaturen und Kräften auf die zu dünnen Zylinderwandung, ist. Eine unzureichende Kolbenbodenschmierung der rechten Zylinderbank als auch eine verbesserungswürdige Kühlwasserdistribution spielt ebenfalls ursächlich eine tragende Rolle.

Bei den Wasserboxer-Motoren kam uns die erstaunliche Tatsache zu Hilfe, dass fast alle Motoren Probleme auf der Zylinderbank 2 (Zyl. 4-6) haben. Aus diesem Grund legten wir besonderes Augenmerk auf den Vergleich der Parameter zwischen der anscheinend unkritischen Bank 1 und der anfälligen Bank 2.

In einem Motor mit stehenden Zylindern sind alle Zylinder untereinander vergleichbar belastet, was nicht bedeutet, dass alle Zylinder thermisch, also von der Wärmeableitung durch das Kühlwasser vergleichbar sind. Beim Boxermotor mit liegenden Zylindern, beobachtet man sehr unterschiedliche Temperaturzonen. Besonders drastisch macht sich das bei Motoren bemerkbar, die offensichtliche konstruktive Mängel in der Kühlwasser,- oder Kühlluftverteilung aufweisen. Treten also Probleme bei nur einem oder einigen wenigen Zylindern eines Motors auf, kann man davon ausgehen, dass die Temperaturen der einzelnen Zylinder unterschiedlich sind. Probleme an nur einer Zylinderbank wie es bei den beschriebenen Motoren der Fall ist, implizieren, dass eine Zylinderbank sehr nahe an den Grenzen der maximal verträglichen Temperatur bzw. verkräftbaren Verbrennungsdrücken betrieben wird oder diese schon überschritten hat.

Es ist der Ölfilm der den Kolben vor dem direkten Kontakt mit der Lauffläche, also einem Fressen schützt. Dieser Schmierfilm scheint nicht mehr in der Lage zu sein, die hohen Drücke bzw. Temperaturen auf der Seite des Kolbens, mit der er an der Zylinderwandung nach dem oberen Totpunkt (OT) in Richtung unterer Totpunkt (UT) anliegt, abzufangen. Das Öl erhitzt sich zwischen Kolben und Zylinderwandung zu stark. Irgendwann reißt dann der Schmierfilm ab und es kommt zu einem Kolbenfresser.

Die Ölschmierung in den Wasserboxern reicht aus, um die 3 Kolben in der Bank 1 gut geschmiert und mehr oder weniger problemlos laufen zu lassen. Auf der gegenüberliegenden Seite, der Bank 2, ist dies unter den angenommenen gleichen Bedingungen allerdings nicht so.

Die Annahme, dass die Verhältnisse der Bank 1 im Vergleich zu denen der Bank 2 identisch sind ist ein Trugschluss. Die Bedingungen sind nicht vergleichbar, sondern sogar stark unterschiedlich.

So ist die Menge an Öl, die für die Schmierung der Zylinderbänke vorhanden ist und dessen Kondition, d.h. die Öltemperatur an der Oberfläche zwischen Kolben und Zylinder nicht identisch. Fest steht, dass auf Bank 2 nicht genügend Spritzöl, welches die beiden Flächen zwischen Kolben und Zylinder benetzen und separieren soll, vorhanden ist. Die im Vergleich zu der Lauffläche, weichen und mit einer Gleitbeschichtung versehenen Kolbenflächen der Kolbenhemden, berühren die Zylinderlaufbahnen, werden beschädigt und generieren sichtbare Riefen in der Zylinderbohrung. Wir haben festgestellt, dass dies nicht die einzige Ursache für die Probleme ist. Die verminderte Spritzölkühlung auf Bank 2, die auch die Kolbenböden kühlen soll, würde vermutlich nicht als alleinige Ursache für einen Motorschaden ausreichen. Hinzu kommt nämlich noch, dass es zwischen Bank 1 und Bank 2 deutliche Temperaturunterschiede gibt, die auf die symmetrische Kühlwasserverteilung zurückzuführen sind, obwohl unsymmetrische Druck- und Temperaturverhältnisse in den Zylindern herrschen.

Die Probleme, von denen wir hier sprechen und die auch nur bei den Motoren der Wasserboxergeneration auftreten, haben definitiv nichts mit den sonst üblichen Ursachen zu tun, wie einem zu mageren Gemisch, zu frühem Zündzeitpunkt, defekten Kopfdichtungen oder Wasserpumpen. Das sind alles Folgeprobleme. Hier handelt es sich um hausgemachte Probleme, die man mit der Einführung der ersten 2,5 Liter Motoren beim Boxster noch nicht absehen konnte.



Abbildung 1: Zylinderlaufbahn mit typischen Fressspuren

Wir haben ähnliche Kolbenschäden (sehr selten) in allen vorhergehenden Modellen (mit unterschiedlichen Materialien, Bohrungen, usw.) gesehen. Diese waren aber immer mit einem anderen Problem der Kühlung verbunden, wie einer ausgefallenen Wasserpumpe, einem undichten Kühler oder einer defekten Zylinderkopfdichtung. Die Probleme tauchten aber niemals, auch für Fachleute völlig überraschend, aus dem Nichts auf. Immer gab es einen guten Grund dafür, dass ein oder mehrere Kolben gefressen hatten.



Abbildung 2: Dieser seitlich verschlissene und gefressene Kolben weist auf dem Kolbenboden Bereiche auf, die den Zylinderkopf berührt haben (Einzige Ursache der typischen Klopfgeräusche)

Mehr als nur eine Ursache.

Damit es zu einem Motorschaden bzw. einem Kolbenfresser kommt, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Tatsächlich gibt es mehrere, einzeln betrachtet, unkritische Ursachen, die sich erst in

Kombination mit anderen zu einem gefährlichen Cocktail entwickeln können. Generell gilt, dass es recht selten zu Problemen beim Boxster mit den 2,5 bis 3,2 Liter Motoren kommt.

Es hat den Anschein, als wenn die Motoren in den kleineren Modellen vom Hersteller als zuverlässig genug angesehen wurden, und man davon ausging, dass weder eine kleine noch eine größere Erhöhung der Leistung noch eine leichte Änderung des Kühlmittelflusses einen negativen Einfluss auf die Haltbarkeit haben würde.

Diese optimistische Annahme führte dann bei späteren Motorvarianten zu der Entstehung der bis dahin unbekannten Probleme der Kolbenfresser. Es ist ein ungewöhnlicher Fehler - und nicht ganz einfach, eine wirklich fundierte und umfassende Erklärung dafür zu finden.

Cartronic beschäftigt sich seit 40 Jahren (Stand 2022) mit den Fahrzeugen aus dem Hause Porsche® und ist somit mit den hervorragenden technischen Errungenschaften der Marke Porsche groß geworden. Der Gründer und Geschäftsführer des Unternehmens sah es als Verpflichtung an, sich mit diesen neuartigen und ungewöhnlichen Problemen zu beschäftigen. Zurückblickend hat es sich gelohnt diesen Entwicklungsaufwand betrieben zu haben.

Was unterscheidet die Motoren ab Modelljahr 2002 von denen der ersten Generation?

Wir wollten herausfinden warum sich bei einigen Motoren Probleme einstellten und bei anderen nicht. Ein sinnvoller erster Schritt war es, die spezifischen Unterschiede zwischen den mit Problemen behafteten Triebwerken und den älteren, unproblematischen Motoren, durch einen Vergleich der technischen Daten zu lokalisieren. Die gefundenen Unterschiede zwischen den drei betroffenen Problemotoren und den älteren Modellen, die soweit problemlos waren, mussten dann von ihrer Relevanz eingeordnet werden, da sicher nicht alle Änderungen auch gleich zu Problemen führen können. Viele Leser befürchten nun sicherlich, dass die Motoren von Grund auf schlecht sind. Das ist nicht so, zudem die beobachteten Ausfälle statistisch gesehen bei den meisten Motorvarianten recht selten vorkommen.

Betrachtet man nur die Problematik mit den Kolbenfressern kommt es weltweit gesehen, zu relativ wenigen Ausfällen dieser Art. Es ist also alles nicht so schlimm wie es auf der ersten Blick aussieht. Allerdings trifft das unserer Ansicht nach nicht auf die 3,8Liter Motoren vom 997 und den leistungssteigerten X51-Motoren zu.

Es ist so, dass jeder Motor, egal von welchem Hersteller, irgendwann versagen wird. Im heutigen Zeitalter einer immer verschärfteren Abgasgesetzgebung bedient man sich des Hilfsmittels Leichtbau. Viele Motorkomponenten werden dann so hart an den Haltbarkeitsgrenzen ausgelegt, dass eine geringe Leistungssteigerung über kurz oder lang zum Ausfall der schwächsten Komponente führt.

Im Jahr 1997 wurden die ersten 2,5 Liter Motoren in die Boxster Modelle eingebaut. Danach kam der 2,7 Liter Und der 3,2 Liter Motor auf den Markt. Alle Motoren verhielten sich, abgesehen von einigen kleineren Undichtigkeiten, problemlos. Erst mit den folgenden, hubraumstärkeren Motoren kam es dann zu den ersten kapitalen Motorschäden wegen Kolbenfressern Da der Hubraum der einzige wesentliche Unterschied ist, waren wir der Ansicht, dass man an dieser Stelle die Ursache für die Motorschäden finden müsse. Mehr Motorleistung, mehr Drehmoment, mehr Reibung, höhere Temperaturen und teilweise schwächer gewordene Bauteile, haben dazu geführt, dass die maximale Belastungsgrenze dieser Motorkonstruktion, an bestimmten Stellen überschritten wurde.

Problemlösung ab Werk?

Wir finden, dass es uns nicht zusteht zu bewerten, was der Hersteller als die richtige Balance im Umgang mit seinen Kunden im Rahmen von Motorschäden ansieht. Auch möchten wir nicht darüber spekulieren, wie man über die immensen Kosten denkt, die durch die recht hohe Ausfallrate bei den Motoren mit 3,8 Liter Hubraum verursacht werden. Die Aufgabe, kostengünstige Reparaturlösungen für die vielen defekten Motoren zu finden, wurde den wenigen unabhängigen Spezialisten mit entsprechender Erfahrung überlassen. Einige dieser Spezialisten, zu denen wir uns auch zählen, versuchten diese Lücke zu füllen. Obwohl wir nur über vergleichbar winzige finanzielle Ressourcen verfügen und über sehr wenig statistische Informationen, die der Hersteller natürlich durch die Analyse der defekten Motoren zur Verfügung hat, waren wir seit dem Jahr 2004 in der Lage, eine preislich interessante und technisch nachhaltige Reparatur, - und Optimierungs Lösungen zu offerieren.

Neuartige Zylinder - Die Lokasil® Liner - Eine tolle Erfindung!

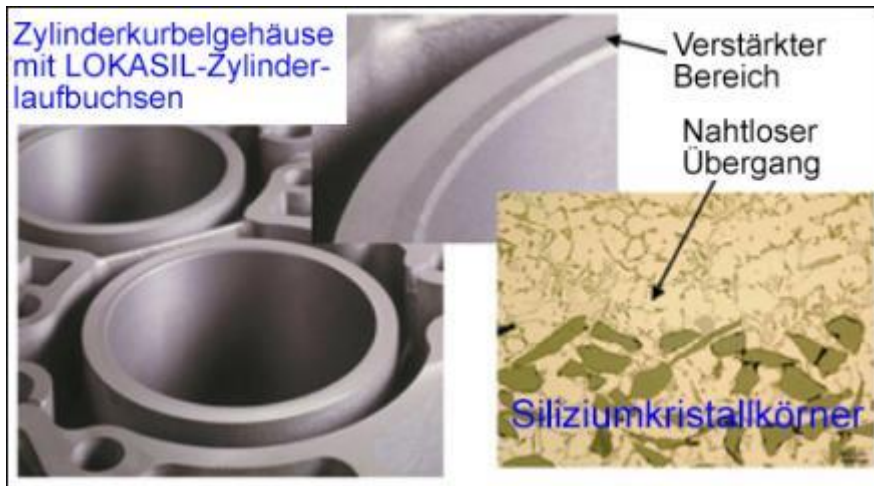
Motorengehäuse mit Zylindern, in die eine lokale Siliziumverstärkung als Lauffläche für die Kolben integriert wurde, stellte Mitte der 1990er Jahre etwas völlig neues dar. Diese Zylinder verfügten weder über elektrolytische Plattierungen (Nikasil®) noch über ein verschleißresistentes, in die Legierung eingegossenes keramisches Material (Silizium) wie bei dem Alusil-Motoren. Erstmals kamen sehr spezielle und von der Firma Kolbenschmidt AG in Kooperation mit der Porsche AG entwickelte Lokasil®-Zylinder zum Einsatz.

Lokasil®-Zylinder bestehen aus einem offenporigen Gerüst mit 25% Silizium, welches als Preform-Teil hergestellt wird und dann beim Gießen der Motorgehäusehälften mit „eingegossen“ wird. Die Firma CeramTec stellt dieses Preform-Teil her. Dieser innere Teil des Zylinders besteht so aus einem „Metal-Matrix-Composite“ nachdem das Preform-Teil mit Aluminium infiltriert wurde. Dieser mit Silizium verstärkte Aluminiumbereich des Zylinders nimmt in etwa die Hälfte der gesamten Wandstärke ein.

Obwohl die Zylinderlaufbahnen und das Zylinderkurbelgehäuse ein Bauteil sind, besteht ein Zylinder aus zwei verschiedenen Werkstoffen. Der mit der Umgebung (Zylinderlaufbahn und Kurbelgehäuse) spaltfrei verbundene Silizium-Preform-Körper entsteht durch eine Infiltration eines hochporösen hohlzylindrischen Körpers (Lokasil-Preformteil aus Silizium) mit der Aluminium-Basislegierung des Zylinderkurbelgehäuses beim Gießen unter hohem Druck.

Nach dem Guss wird der dann noch rohe Zylinder gebohrt und die Lauffläche auf nahe Endmaß geschliffen und zum Schluss auf die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit durch Honen endbearbeitet. Es handelte sich um eine neue Technologie. Alle Projektbeteiligten standen technischen Herausforderungen gegenüber, die es alle zu meistern galt. Die Formteile sind vom Grundaufbau als Rohteil recht fragil und sprödebrüchig. Auch im eingebauten, mit Aluminium infiltriertem Zustand, sind sie Zylinderlaufflächen bestehend aus homogenen Material wie Alusil® oder Gusseisen nicht überlegen. Es kam auch gleich zu Problemen in der Produktion, da sich die in die Form eingesetzten Silizium-Liner gerne während des Gießvorgangs verschoben. Die Wandstärken waren dann nach der Endbearbeitung unterschiedlich dick, weil das Silizium Preform-Teil nicht zentrisch zum Bohrungsmittelpunkt stand.

Markierungen auf Linern, die wir herausgearbeitet haben, weisen darauf hin, dass diese im Rohzustand begutachtet und markiert wurden um dann entsprechend der Materialverteilung in der Gussform platziert zu werden. Der konstruktiv stabilste Bereich wurde so an die Stelle im Motor platziert, wo der meiste Druck durch den Kolben eingeleitet wurde.



Darstellung 1: Zeigt den Lokasil®-Bereich im Detail (Bildrechte bei Kolbenschmidt AT GmbH)

Mit der Zeit entwickelte sich in den Zylindern der hubraumstärkeren Motoren eine gewisse Ovalität, die bis zu 2/10mm ansteigen konnte und letztendlich zu Kolbenfressern bzw. Rissen im Zylinder führte. Die Materialstärke der Zylinder scheint also den Verbrennungsdrücken, die über die Kolben in die Wandungen eingeleitet werden, nicht gewachsen zu sein.

Ein weiteres Problem bestand darin, die richtige Bearbeitungsmethode für die Bohrung zu finden. Es muss sichergestellt sein, dass die Spitzen des Siliziumgerüsts des Liners nicht durch den Diamant-Honkopf aus der Aluminiummatrix herausgebrochen oder gelöst werden um dann später während des Motorbetriebs herauszubrechen. Im Idealfall ragt ein nach innen intakter „Silizium-Ast“ des Preform-Gerüsts, welches man sich wie einen Schwamm vorstellen muss, ganz minimal aus dem Aluminium heraus. Die Oberfläche sollte über den Bohrungsradius verfügen und absolut glatt gehont sein. Ein Ausbrechen sollte unmöglich sein, da die gesamte Silizium-Struktur von der Aluminium Matrix fest gehalten wird.



Abbildung 3: Zeigt den Zylinderaufbau und Lokasil Preform. (Bildrechte bei Kolbenschmidt AT GmbH)

Leider ist es aber nicht so, da immer wieder kleinste Stücke aus den in den Brennraum ragenden Spitzen von dem verästelten Siliziumgerüst herausbrechen. Wir vermuten, dass sich diese Partikel bereits

während der Endbearbeitung beim Honen lösen um dann später herauszufallen, weil sie nicht mehr genügend Halt in der Aluminiummatrix haben. Diese Fremdkörper führen dann schnell zu schmalen Riefen (transversale Kratzer) in der Lauffläche und auf den Kolbenhemden.

Das folgende Bild zeigt einen Ausschnitt aus der Lauffläche eines von uns NiSiC beschichteten Zylinders. Man erkennt die dunklen „Siliziumflocken“ eingebettet in die silberne Nickel-Matrix. Bei einem Lokasil® Zylinder mit Aluminium-Matrix stellt sich das sehr ähnlich dar.

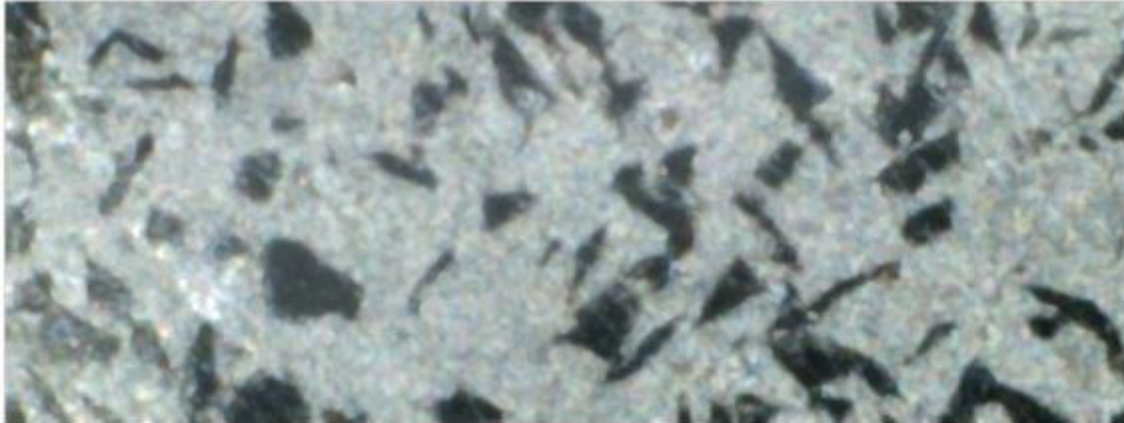


Abbildung 4: Oberfläche einer NiSiC Lauffläche (stark vergrößert)



Abbildung 5: Rechts, ein neu eingeschrumpfter Aluminiumzylinder mit NiSiC Beschichtung von Cartronic. Links, ein originaler Lokasil-Zylinder. Gut erkennt man den dunkleren Bereich des Lokasil®-Bereichs der rund 1/3 der gesamten Materialstärke ausmacht. Aus diesem Bereich stammen die sich lösenden Silizium Partikel.

Die Erzeugung einer perfekten und haltbaren Zylinderoberfläche ist ein sehr anspruchsvoller Prozess. Wir haben viel experimentiert und getestet. Es wurden viele Tausend Kilometer in Testfahrzeugen zurückgelegt. Nach anfänglichen regelmäßigen Endoskopien der Laufflächen, wurden die Motoren zur Kontrolle zerlegt. Es waren kostspielige Tests.

Es waren beträchtliche Investitionen in die maschinelle Ausrüstung erforderlich um die optimalen Oberflächen der Zylinderbohrung zu erzeugen und diese auch qualitativ zu reproduzieren. Wir haben gelernt wie man es richtig macht und sind in der Lage, Zylinder mit perfekten Laufflächen zu produzieren.

Auf den Kolbenhemden befindet sich normalerweise eine gleitfähige Beschichtung, die Teflon, Molybdän, oder auch Eisenbestandteile enthalten kann. Diese Beschichtungen sind seit langer Zeit Stand der Technik und haben sich bereits in den meisten 986 und allen 996 und 997 Motoren als recht zuverlässig erwiesen. Obwohl LOKASIL® damals ja eine völlig neue Technologie war, die man nie mit diesen Beschichtungen zusammen kombiniert hatte, gab und gibt es keine Probleme. Die Kolbenbeschichtung, obwohl sich oft Ablösungen durch einen zu hohen Temperatureintrag zeigen, konnte also unmöglich die Ursache der Probleme in den neueren Motoren sein. Das Bohrungsmaterial und die Kolben schießen also als Schadensursache aus. Wir mussten weiter suchen.



Abbildung 6: Teilweise beschädigte und partiell abgelöste Kolbenhemdbeschichtung

Bis heute gehen aber immer noch viele Motoren-Fachleute davon aus, dass das Bohrungsmaterial, also der Lokasil-Liner als konstruktives Merkmal, eine der Hauptursachen für die Motorschäden ist. Diese falsche Ansicht scheint sich langsam zu einem Dogma zu entwickeln. Weil man sich nicht vorstellen kann, welche weiteren Ursachen für die Motorschäden in Frage kommen könnten, plappert man einfach das nach, was sich einige selbsternannte Spezialisten ausgedacht haben. Die falsche Meinung verfestigte sich auf diesem Wege dann langsam. Wir halten es für bedenklich, interessierte Porschebesitzer im Rahmen von mehrseitigen bebilderten Magazinberichten, wie z.B. in der Ausgabe 4/2012 des bekannten Magazins „Porsche-Fahrer“ geschehen, sehr einseitig und dabei auch noch falsch über das Thema „Motorschäden bei den wassergekühlten Porschemotoren“ zu informieren.

Es ist unglaublich, dass nach über 20 Jahren nachdem die Probleme erstmalig auftraten, für einige in der Branche tätige Unternehmen und Personen immer noch nicht klar ist, mit welchen Schadensursachen man konfrontiert ist. Ähnliches Verhalten kennt man aus der Schulmedizin. Symptombehandlung geht dort über alles und die Ursachen scheinen von keinem besonderen Interesse zu sein, weil man damit kein Geld verdienen kann.

Inzwischen ist der Hersteller wieder von Lokasil abgekommen und verwendet seit dem 997/2 Direkteinspritzer-Motoren (BDI) und somit auch beim 991 wieder komplette Gehäuse aus monolithischem ALUSIL®. Deutlich kostspieliger zu bearbeiten, aber sehr bewährt! Eine gute Idee.

Die Nachteile des Baukastenprinzips

Alle M.96 und M.97 Motoren basieren auf der gleichen Basisentwicklung. Im ursprünglichen Boxster wurden die ersten 2,5 Liter und etwas später dann 2,7 Liter Motoren eingebaut.

Die 2,5 und 2,7 Liter Motoren haben dieselben Bohrungsmaße von 85,5 mm. Der 2,7er verfügt über einen veränderten Hub. Die Zylinder dieser Motoren sind sehr stabil und weisen auch nach hohen Laufleistungen so gut wie keine Ovalität auf. Der 3,2 Liter Boxster S hat Kolben mit größerem Durchmesser und eine Bohrung von 93mm. Da die Bohrung im Vergleich zu den 2,5 und 2,7 Liter Motoren deutlich größer wurde, musste man bei diesem Motor auch den äußeren Durchmesser der Zylinder vergrößern. Die Gesamtdicke der Zylinderwandung stieg im Vergleich, sogar um 10% auf 8,75 mm an. Aber die Leistung erhöhte sich ja auch deutlich. Diese Maßnahme war daher sehr sinnvoll.

Die später folgenden 3,4 und 3,6 Liter Motoren vom 996 hatten eine 3 mm größere Bohrung im Vergleich zu den 3,2er Motoren. Leider passte man aber den äußeren Durchmesser der Zylinder nicht den neuen Bohrungsmaßen von nun 96 mm an. Wandstärken von 9-9,25 mm wären sicherlich das richtige Maß gewesen.

Die Zylinderwandstärke wurde aber sogar dünner und beträgt, obwohl die Leistung deutlich anstieg, nur noch 7,5 mm. Nach unseren Berechnungen zirka 20% zu dünn.

Aber es kommt noch schlimmer, denn das Verhältnis zwischen der Materialstärke des Lokasil®-Liners und dem äußeren Bereich aus Aluminium hat sich ebenfalls zum Nachteil verändert.

Beim 2,5 und 2,7er Motor hat der Lokasil-Liner eine Wandstärke von zirka 2,75 mm. Der monolithische äußere Aluminiumanteil eine Dicke von zirka 5,25mm.

Der 3,2er Motor hat eine innere eingegossene Lokasil®-Buchse mit einer Materialstärke von knapp 2,75 mm. Der „weichere“ Bereich um den Lokasil-Liner herum besteht aus Aluminium und ist zirka 6 mm stark, also um 12,5% stärker als die vom 2,5er und 2,7er Motor.

Der 3,4er Motor hat ebenfalls eine Lokasil®-Wandstärke von 2,75 mm (wie beim 3,2er), da aber die gesamte Wandstärke, wie erwähnt nur 7,5 mm beträgt, ist der tragende Aluminiummantel nur noch 4,75 mm stark. Das ist nicht ausreichend, da diese Zylinder damit eine rund 10% dünnere Mantelwandstärke als die eines 2,5Liter Motors aufweisen, ja sogar rund 20% dünner sind als die 6 mm starken Mäntel der 3,2er Motoren.

Berücksichtigt man die gestiegene Motorleistung fehlen diesen Motoren in diesem Bereich rund 30% an Festigkeit, über die geringere Materialstärke.

Die 3,2er und 3,4er Motoren haben den gleichen äußeren Zylinderdurchmesser. Man verzichtete demnach bei ersten 996 auf Konstruktion und Bau neuer Gießformen zu Lasten der Haltbarkeit.

Es dauerte dann auch nicht lange, bis sich herausstellte, dass die Zylinderwandungen bei diesen Motoren tatsächlich nicht genügend Stabilität hatten. Die ersten Motorschäden (Kolbenfresser und gerissene Zylinder) waren die Quittung und der Beweis für diese falschen Berechnungen bzw. Einsparmaßnahmen.

Auch bei den 3,6er Motoren bis hin zum leistungsgesteigerten 3,8 Liter Motor (X51-Motor) zeigten sich die gleichen Probleme. Im letzteren Fall sogar besonders eindrücklich.

Alle diese Motoren verfügen über ein fast identisches Design und sogar über sehr viele Gleichteile und zudem die gleiche äußere Baugröße (Blockhöhe usw.). Sich ständig vergrößernde Hubräume und der Wechsel zum variablen Ventilhub haben die Leistung und das Drehmoment von Generation zu Generation immer weiter erhöht. Dies machte sich an den hochbelasteten und daher kritischen Motorbereichen bei niedrigen Drehzahlen, welche mit hoher Last einhergehen, besonders stark bemerkbar. Den Zylinderwandungen einiger Motoren wurden zu hohe Belastungen zugemutet.



Abbildung 7: Identische Blockmaße für unterschiedliche Bohrungen. Auffallend die unterschiedlichen Kühlwasserräume rund um die Zylinder.

Die 3.6 und 3.8 Motoren haben einen längeren Hub, aber den gleichen Block und Verdichtungshöhe der Kolben - somit haben sie kürzere Pleuel. Genau diese Tatsache erhöht die Last auf die Zylinderwand noch einmal, selbst wenn der Verbrennungsdruck gleich geblieben wäre. Dieser ist aber auch höher und macht somit aus dem im Grunde genommen relativ geringen Einfluss, ein echtes Problem. Da die Kolben allmählich immer größer geworden sind, sich aber die externen Abmessungen des Blocks nicht verändert haben, wurden die Kanäle und Freiräume für das umfließende Kühlmittel, zusammen mit der Größe der Zufuhrlöcher für Kühlmittel, reduziert. Die Menge an eingespritztem Öl zur Bohrungsschmierung blieb auch die gleiche, trotz der größeren Flächen, die sich mit den zunehmend größeren Bohrungen ergaben. Jede für sich gesehen, eine kleine Änderungen, die aber bei einer Kombination, die Wahrscheinlichkeit eines Motorschadens erhöhen. Und so kam es dann auch.

Man hätte besser im Rahmen der Motorenkonstruktion durch Versuche die Dauerkriechfestigkeit des Zylindermaterials unter den thermischen Bedingungen und den Drücken überprüft, statt optimistisch davon auszugehen, dass schon alles funktionieren wird.

MMC-Materialien (Metal-Matrix-Composite) sind längst nicht so druckfest wie monolithische Materialien, weil der Metallanteil geringer ist. Es befindet sich ein hoher Anteil sprödebrüchiger Materialien in den Zylindern (nur im 2,75mm starken Lokasil-Bereich!). Zudem ist das Material im Gegensatz zu Vollmaterial auch noch porös. Die hohen Drücke in den mit Problemen behafteten Motoren führen dazu, dass es durch die ständigen Belastungen pro Verbrennungshub zu Materialermüdungen und zu Kriechdehnung (Verschieben/Wandern von Material unter Druck und Temperatur) kommt. Wenn die eingeleitete Kraft so groß ist, dass sich das Material nach anfänglicher Verformung und Ausdehnung

nicht mehr in die originale Form zurückverformen kann, resultieren die dynamischen Materialverschiebungen in statischen Veränderungen (Ovalitäten). Das Elastizitäts-Modul (E-Modul) der zu dünnen Lokasil®-Zylinder ist für die hohen Drücke der stärkeren Motoren nicht ausreichend.

Am Ende reißen dann die oval gewordenen Zylinder oder es kommt zu Kolbenfressern. Selten zeigen sich beide Symptome.

Auch scheint es so zu sein, dass die ständige Materialausdehnung- und Schrumpfung durch die thermischen Zyklen dazu führt, dass sich Probleme an den Kontaktstellen zwischen dem äußeren monolithischen Aluminiumguss und dem inneren MMC-Einsatzes (Lokasil®) ergeben. MMC dehnt sich im Vergleich zu Aluminium-Vollmaterial nicht so stark aus, so dass es zu Bindungsproblemen zwischen dem Siliziumgerüsts (keine Partikel!) des Lokasil-Liners und dem umhüllenden Aluminium kommen kann.

Man muss zur Kenntnis nehmen, dass es nicht einfach ist, die Grenzflächen-Belastung zwischen dem eingegossenen Liner und dem umhüllenden Aluminium zu berechnen.

Fakt ist, dass je höher der Temperaturunterschied zwischen dem äußeren Aluminiumzylinder und dem inneren Bereich des infiltrierten Lokasil®-Liner ist, es eher zu Problemen (Ablösungen) an den Grenzflächen der beiden Materialien kommen kann.

Auf Grund von Produktionsproblemen gab es bei den ersten 2,5 Liter Boxstermotoren einige Motorengehäuse, denen die eingegossenen Lokasilformkörper nach dem Guss wieder mechanisch herausgearbeitet wurden. Danach schrumpfte man dann neue Zylinderbüchsen (Losteile) ein. Einige dieser Motoren hatten nachher Probleme mit sich nach unten, in Richtung Kurbelgehäuse, verschiebenden Zylinderlinern. Diese wurden zwar eingeschrumpft, jedoch kam es auf Grund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der beiden Materialien von Block und Zylindern zu diesen Verschiebungen. Hätten man die Losteile mit einem Kragen versehen, wäre das nicht passiert. Irgendwann war dann die Buchse so weit nach unten gewandert, dass der oberste Kolbenring hinter die obere Kante des Liners springen konnte und den mit nach unten riss. Dies führte dann zu kapitalen Motorschäden mit Pleuellabrissen, zerstörten Kurbelwellen und generell zerstörten Kurbelwellenträgern. Oftmals wurde auch die Zwischenwelle zerstört.

Man kann sich nun sehr gut vorstellen, dass in dem Bereich zwischen dem umhüllenden Aluminium und dem Lokasil-Liner starke Kräfte wirken, da sich die Materialien unterschiedlich weit und schnell ausdehnen. Es kann dort mit der Zeit auch zu mechanischen Bindungsverlusten kommen.

Oben frei stehende, nicht geführte Zylinder gab es bereits beim 944/968er Motor. Bei diesen Motoren kam es zu keinen vergleichbaren Problemen. Allerdings bestanden die Zylinder aus einer monolithischen Aluminiumlegierung (Alusil), die in der Aluminiumschmelze einen homogen verteilten Anteil von kleinen, verschleißresistenten Siliziumpartikeln beinhaltete.

Die Wasserboxer mit ihren oben offen, im Raum stehenden Zylindern, verfügen über keine monolithischen Zylinderwandungen.

Weil alle 986, 996 und 997 Motoren das gleiche Grunddesign haben, nahmen wir an, dass die schwachen 2,5 und 2,7er Motoren über die Zeit gesehen die wenigsten Probleme zeigen werden. Die 3,2er 986 S Motoren, werden sich auch noch tapfer schlagen, da waren wir sicher. Die 3,4er 996 Motoren werden allerdings schon häufiger einen Motorschaden erleiden. Die 3,6ltr, Motoren noch eher. Nahezu allen 3,8er Motoren mit 355 PS prophezeiten wir einen frühen Ausfall innerhalb der ersten 150.000 km Laufleistung. Einem leistungsgesteigerten X51-Motor gaben wir eine maximale Lebensdauer von 100.000 Km. Mit den meisten Aussagen trafen wir ins Schwarze. Dass allerdings viele der 3,8 S Motoren bereits bei 100.000 Km einen kapitalen Motorschaden aufwiesen und dass einige X51 Motoren mit 381 PS keine 40.000 Km durchhielten, überraschte uns.

Hohe wirkende Kräfte – Zu schwache Bauteile

Bei früheren Motorkonzepten war es so, dass man die Motoren mit steigender Drehzahl mehr und mehr belastete. Dies ist ein relativ unkritisches Verhalten und schadet den Motoren weniger. Die modernen Motorkonzepte erlauben es allerdings, bereits bei recht niedrigen Drehzahlen eine hohe Motorleistung zu erzielen. Porsche® erreichte das durch mehr Hubraum und variable Ventilsteuerung. Das bedeutet, dass vorsichtige Fahrer, die schaltfaul fahren und oft Vollgas geben ohne zurückzuschalten, dem Motor mehr schaden als Fahrer, die die einzelnen Gänge höher ausdrehen. Und dies bedeutet auch, dass Motoren mit Tiptronic-getrieben immer mehr belastet werden, als Motoren in Fahrzeugen mit manuellen 5- oder 6-Gang Getrieben. Tiptronic-Fahrzeuge laufen die meiste Zeit eher untertourig. Genau aus diesem Grund finden wir eine größere Anzahl „vorsichtiger“ Fahrer, die sich über einen Motorschaden beklagen. Das trifft besonders auf die drehmomentstarken 3,8er Motoren zu, die es erlauben, im „hohen“ Gang aus niedrigen Drehzahlen heraus problemlos zu beschleunigen.

Es ist eine Tatsache, dass die Schmierungsabrisse zwischen dem Kolbenhemd und der Laufbahn, die in der Folge zu Riefenbildung und dann zu „Kolbenfressern“ führen, oft bei sehr niedrigen Drehzahlen auftreten. Genau da, wo die moderneren Motoren bereits viel Drehmoment produzieren. Nachträglich, von Tunern mit Turboladern oder Kompressoren versehene Wasserboxer dieser Serie werden wahrscheinlich die ersten 20.000 Km nicht überleben. Also Finger weg, von solchen Projekten!

Die Kräfte, die auf die Zylinderwandung bei den 3,8 Liter Motoren über die Kolben einwirken, sind recht hoch. Unverträglich hoch - wie man heute weiß.

Wie muss man sich das vorstellen? Einige Leser wissen sicherlich, dass es beim Anschieben eines Fahrzeuges, wenn man zu viel initiale Kraft aufwendet um z.B. den eigenen Porsche 911 in Bewegung zu setzen, dazu kommen kann, dass man sich dabei das Blech vom Motordeckel einbeult. Sobald der Wagen einmal ins Rollen gekommen ist, lässt er sich recht leicht schieben. Ähnlich ist es bei den Kräften, die im Verbrennungsvorgang über den Kolben auf die Zylinderwandung einwirken. Die Kräfte, die in die Wandung eingeleitet werden, sind bei niedrigen Drehzahlen sehr hoch. Sie werden nur zu einem geringen Anteil in Vortrieb umgewandelt, sondern auf die/ in die Zylinderwandung übertragen. So hoch, dass der Schmierfilm zwischen Kolben und Zylinder nicht in der Lage ist, diese Kräfte aufzufangen. In der Folge entsteht dann ein Kolbenfresser bei den Zylindern, die thermisch am schlechtesten dastehen.

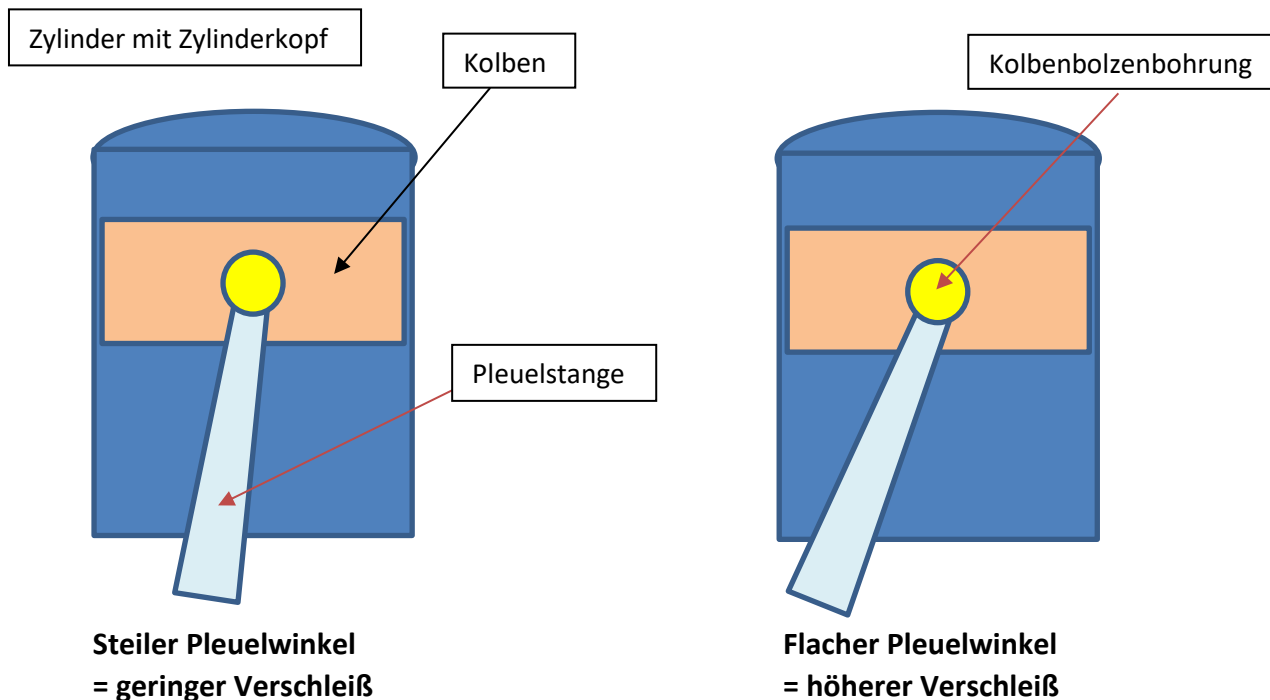
Cartronic ist sich sicher, dass bei den Motoren der Generation M.96 und M.97, der sich mit dem Hubraum immer mehr verstärkte Druck auf die zu schwachen und schlechter geschmierten und zudem nicht ausreichend gekühlten Zylinderwandungen, speziell im Bereich der Bank 2, die primäre Ursache der Probleme ist. Wie man auf der Bank 1 beobachten muss, sind die Motoren grundsätzlich in der Lage, diesem hohen Druck bei günstigeren Randbedingungen schadlos zu überstehen. Bank 1 läuft vermutlich an der Grenze des Verträglichen und Bank 2 hat diese Grenze überschritten. Die Auflösung dazu, erfolgt im Laufe des Textes.

Das Pleuel/Hub-Verhältnis

Sportmotorenbauer sind sich sicher, dass ein Pleuel/Hub-Verhältnis von 1:1,75 das konstruktiv Beste ist. Je weiter das Verhältnis unter 1,75 liegt, umso mehr Kraft wird in die Zylinderwandungen eingeleitet.

Das Pleuel/Hub-Verhältnis ergibt sich aus dem Verhältnis von der Länge der Pleuelstange und dem Kurbelzapfenradius der Kurbelwelle. Die „kleinen“ Motoren vom 2,5 Liter Boxster über den 2,7er und 3,2er bis hin zum ersten 3,4er beim 996 haben eine Pleuellänge von 141,5mm und einen Hub von 78mm. Dividiert man 141,5 durch 78 mm erhält man als Ergebnis 1,81.

Nimmt man den Hub der 3,6er und 3,8er Motoren vom 997, dann ergibt sich bei gleicher Pleuellänge ein Verhältnis von 1,71. Je kleiner der Wert, umso ungünstiger für den Motor, da sich der größere Hub negativ auf den Winkel der Pleuelstange auswirkt. Es wird im Verbrennungsvorgang mehr Kraft in die Zylinderwandung umgelenkt. Die folgende Darstellung verdeutlicht dies.



Darstellung 2: Die Pleuelstange im linken Beispiel lässt einen großen, „steilen“ Winkel erkennen. Im Verbrennungsvorgang (Druck von oben) wird im Vergleich und Unterschied zu dem rechten Beispiel eine geringere Kraft in die rechte Seite der Zylinderwandung eingeleitet. Die Kraft wird primär nach unten auf die Lagerstelle der Kurbelwelle geleitet. Auf der linken Seite wird nahezu keine Kraft eingeleitet, da der Kolben rechts anliegt.

Mit Sicherheit trägt dieses, sich zum Negativen hin veränderte Pleuel/Hub-Verhältnis, mit dazu bei, dass die 3,6er und besonders die 3,8er Motoren häufiger Schaden erleiden.

Tick-Over / Change-Over – Geräusche

Ebenfalls negativ auf die Krafteinleitung wirkt sich die Kolbenkonstruktion an sich aus. Alle sechs zu verbauenden Kolben eines M96/7 Motor sind gleich. Ein besonderes, mit dem bloßen Auge nur sehr schwer erkennbares Merkmal ist das leicht aus der Mittelachse versetzte Loch für den Pleuelbolzen an dem der Pleuel befestigt ist. Diese De-Zentrierung hat einen Sinn im Hinblick auf die Verminderung von Laufgeräuschen der Motoren. Immer wenn der Kolben die Position des oberen Totpunktes (OT) „überfährt“ um sich wieder nach unten in Richtung des unteren Totpunktes (UT) zu bewegen, kippt er leicht und legt sich an die gegenüberliegende Seite der Zylinderlaufbahn an.

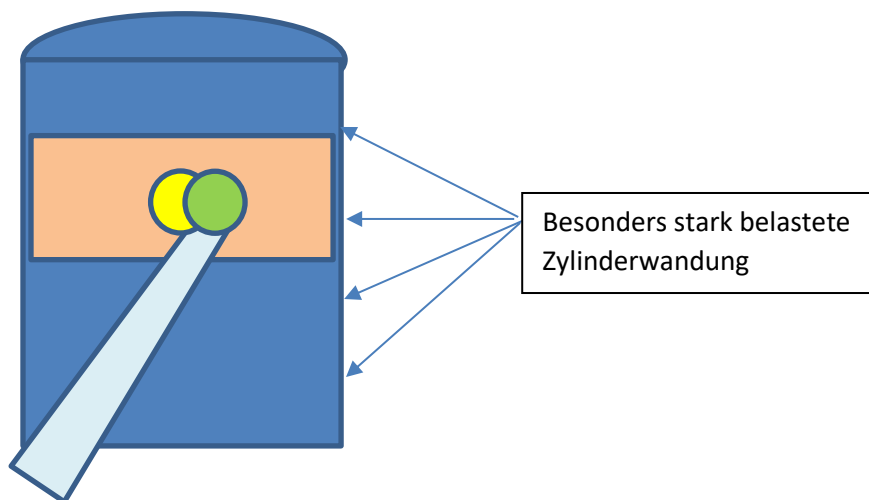
Dieser Wechsel der Pleuelausrichtung während des fließenden Übergangs von vor OT (v. OT) zu der Position nach OT (n. OT) nennt man im Englischen Change-Over oder Tick-Over.

Bei Kolben die über eine mittig zentrierte Pleuelbolzenlagerung verfügen, vernimmt man diese Geräusche, besonders bei Boxermotoren, mit liegenden Zylindern besonders deutlich. Bei den luftgekühlten RSR-Motoren der 70er und 80er Jahre bekam man diese Geräuschkulissee ab Werk und ohne Auf-

preis, da die Kolben zentrisch gebohrt waren. Bei moderneren Motoren desachsiente (aus der Mittelachse heraus) man die Kolben. Da man aber alle Kolben mit diesem Merkmal ausstattete, optimierte man das Geräuschverhalten nur auf einer Seite des Motors (auf einer Bank). Drei Kolben liefen „ruhig“ und die anderen drei „tickerten“, da sich der Kolben dort nicht bereits früher und vor allem harmonisch und ohne Geräusche von der einen Seite des Kolbenhemdes auf die andere Seite an die Zylinderwand umlegte. Warum das so ist, ist einfach erklärt. Nehmen wir an die Desachsierung erfolgte in Richtung des Einlassventils des Kolbens, dann wirkt sich die in Hinsicht auf Verschleiß je nach Pleuellagerung im OT auf der einen Seite stärker negativ und auf der anderen Seite stärker positiv aus. Kolben mit mittig angeordneten Kolbenbolzenbohrungen würden sich also neutral auswirken. Eine Desachsierung ist ein Komfortmerkmal, aber technisch gesehen, nicht unbedingt zu empfehlen.

Geräusche sind also hier nicht alles, wenn auch nicht zu vernachlässigen. Darauf komme ich aber später noch einmal zurück.

Betrachten Sie nun noch einmal die Abbildungen in der Darstellung 2 und werfen die Desachsierung nun mit in die Waagschale, ergibt sich dadurch ein noch steilerer Pleuelwinkel (Stellung Mittelachse Pleuellagerung im Kolben zur Mittelachse der Pleuellagerung auf dem Kurbelwellenzapfen). Dass der Unterschied sehr gering ist, muss nicht besonders erwähnt werden, da es hier nur um wenige Zehntel eines Millimeter geht. Ganz sicher trägt dieses Konstruktionsmerkmal aber dazu bei, dass die Zylinderwände mit diesen Kolben stärker belastet sind. Nachfolgende Darstellung zeigt das zur besseren Verdeutlichung stark übertrieben.



Darstellung 3: Übertrieben dargestellte Desachsierung der Kolbenbolzenbohrung (grün)

Je flacher der Pleuelwinkel z.B. durch Desachsierung der Kolbenbolzenbohrung, je höher der Verschleiß der Zylinderwandung und des Kolben.



Abbildung 8: Mahle Kolben von der Seite. Links mit abgelöster Beschichtung und rechts mit starkem Verschleiß

Bei den M96/97 Motoren macht sich die nur auf eine Seite positiv wirkende Desachsierung der Kolbenbolzenbohrung auf der anderen Seite kontraproduktiv bemerkbar. Zum einen wird das Tick-Over-Geräusch nicht vermieden und zum anderen wird die Anlegekraft des Kolbens an die Zylinderwandung erhöht, weil der Pleuelwinkel flacher wird.

Die ohnehin kritische Bank 2 (stärker belastete Motorseite) wird dadurch noch stärker belastet. Kolbenfresser sind vorprogrammiert.

Aus Fehlern lernen

Verschiedene geringfügige Änderungen an den Motoren führten in der Summe zu den Problemen mit denen wir es heute zu tun haben. Sobald irgendein Fehler auftrat, stürzte man sich darauf, diesen mit günstigen Mitteln zu beheben; meist ohne die wahren Ursachen akribisch genau und mit Ruhe zu erforschen. Meist waren und sind dies nur kurzfristig haltbare Lösungen.

So ist es z.B. unmöglich, mit mehr oder wenig passend gemachten Stahl/Eisenguss-Linern, welche die Branche weitestgehend und wegen sehr triftigen technischen Gründen bereits vor langer Zeit verworfen hatte, einen defekten Porschemotor nachhaltig zu reparieren.

Alleine die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der beiden in Kontakt stehenden Metallen (Stahlbüchse und dem alulegierten Motorblock), wird mit Sicherheit zu erheblichen zukünftigen Problemen, sprich, zu erneuten kapitalen Motorschäden führen. Mehr zu diesem Thema erfahren Sie in einem der nächsten Unterkapitel.

Auch ein neuerliches Bohren und Schleifen der verrieften, und durch den hohen Verbrennungsdruck unrund gewordenen Zylinder stellt ein Verfahren dar, welches die Probleme nur sehr kurzfristig löst. Es macht den Motor noch schwächer als er ohnehin schon ist, da man dem viel zu schwachen Zylinder durch das Aufbohren noch mehr Stabilität und Wandstärke nimmt. Das Ganze wird sogar noch beängstigender, wenn man bedenkt, dass bei diesem Verfahren immer Kolben mit Übergröße eingesetzt werden müssen, die noch mehr Druck (mehr Hubraum) auf die unfachmännisch wiederhergestellte Zylinderwandungen übertragen.

Wir raten von dieser Methode ab.

Langfristig stellt eine solche Reparatur genauso wenig eine echte Alternative dar wie ein AT-Motor ab Werk.

Eine Entscheidung kann man nur treffen, wenn man verstanden hat, welche Vor- und Nachteile die unterschiedlichen Reparaturmethoden bieten.

Die Kolbensmierung

Wenn es zu einem Fresser zwischen einem Kolben und Zylinder kommt, liegt die Ursache immer darin begründet, dass die lokalen Temperaturen und der Druck an diesen Stellen zu hoch sind. Die Viskosität des Öls fällt in solchen Situationen stark ab. Das Öl ist nicht mehr in der Lage eine Reibungsbarriere zwischen den beiden Metallteilen (Kolben, Kolbenringe und Zylinderlauffläche) aufrecht zu erhalten. Der hohe Druck an der Kolbenflanke (Hemd) drückt das wenige Öl aus dem Spalt, bevor es durch einen weniger starken Ölfilm (vorausgesetzt, es ist anfangs ausreichend vorhanden) wieder aufgefüllt werden kann. Wenn Ihr Auto einen Öldruckmesser hat, können Sie das durch die Beobachtung des Öldrucks im Leerlauf sehen, wenn sich der Motor aufwärmt. Sie werden sehen, dass der Öldruck fällt, je wärmer und damit dünner das Öl wird. Bei vielen Motoren, auch bei Porschemotoren, wird das Öl durch Ölspritzdüsen von unten auf die Laufflächen und in die Kolben gespritzt. Dadurch schmiert man diesen Bereich. Das Öl, das unter die Kolben gerät, kühlt diese. Andere Motorenkonstrukteure verlassen sich auf Verwirbelungssmierung, die sich aus der Drehung der Kurbelwelle (und/oder Zwischen-

Die Schlangenlinie „E“ in der Skizze verdeutlicht, dass das Kühlmittel beider Zylinderbänke/Köpfe über den Boden, also von unten nach oben, eintritt. Da das Kühlmittel von Bank 2 auf der Druckseite des Kolbens (oben) heißer ist, als bei Bank 1, wird dadurch die Viskosität des Öls genau dort niedriger sein. Sie können sich ungefähr vorstellen, wo die maximalen Schubkräfte auftreten, wenn man weiß, dass der maximale Zylinderdruck erst nach dem oberen Totpunkt (OT), in etwa an der Stelle in der Kolbenlaufbahn auftritt, wie es skizziert ist. Nach der initialen Zündung des Kraftstoff/Luft-Gemisches erhöht sich dieser Druck anfangs schlagartig und sehr schnell und dann erst einmal kontinuierlich aber langsamer weiter. All das geschieht, während sich der Kolben, anliegend an der Zylinderwandung, nach unten Richtung Kurbelwelle bewegt. Der größte mechanische Wirkungsgrad besteht, wenn der Winkel zwischen der Pleuelstangenmitte und der Tangente an dem Kurbelzapfen die gleiche ist (90 Grad zum Radius und etwa so wie gezeichnet). Ab diesem Bereich wirkt dann praktisch eine konstant bleibende Kraft auf den Kolben in und um den Winkel des 90 Grad Drehpunktes – dort, wo dann die höchste Ladung für Zylinder und Kolben auftritt (Fahrradfahrer wissen wovon wir hier sprechen). In diesen Bereichen in den Laufflächen aller beschädigten Zylinder, findet man dann auch immer die deutlichsten und tiefsten Fressspuren.

Die Skizze verdeutlicht auch, dass der Ölstand „F“ niedriger ist als das Niveau der Kurbelwelle. Auch erkennt man, wie die Ölsprühstrahlen die Kolbenböden sowie Kolbenenden und natürlich auch die Zylinderbohrung „D“ schmieren „sollen“.

Es ist wichtig zu wissen, dass sich sowohl bei Bank 1 als auch bei Bank 2 die Spritzdüsen an der gleichen Position unterhalb des horizontalen Kolbenmittelpunktes befinden. Die Verteilung des Spritzstrahls im Bereich der Bank 2 ist nicht gut darstellbar, da die Pleuel eine ausreichende Ölnebelverteilung auf dieser Seite verhindern. Da die Schwerkraft den Öl-Sprühnebel gesetzmäßig nach unten zieht und sich die Spritzdüsen, horizontal gesehen, im unteren Bereich des Zylinders befinden, erhält der Zylinderboden dadurch logischerweise eine bessere Schmierung als der obere Bereich des Zylinders.

Dies wirkt sich auf Bank 1 sogar noch positiv aus, da die Druckseite ja ebenfalls unten liegt. Man könnte es sogar als ein perfektes Designmerkmal bezeichnen.

Die Bank 2 leidet unter diesem konstruktiv wichtigen Merkmal, da man dort den oberen Bereich des Zylinders besser schmieren und kühlen müsste. Dies wurde leider nicht bedacht.

Die älteren, luftgekühlten 911er haben ähnliche Spritzdüsen, aber es besteht ein signifikanter Unterschied, da sie sich mehr im (horizontal gesehen), oberen Bereich des Zylinders befinden, so dass die Schwerkraft dazu führt, dass der Sprühnebel, der weiter oben eingeleitet, zwar auch herunterfällt, aber dabei einen viel größeren Bereich des Zylinders oberhalb und unterhalb des Kolbens mit Öl benebelt. Da beim 911er die Lagerböcke der Kurbelwelle breiter waren und damit auch das gesamte Kurbelgehäuse, war es möglich, die Düsen mehr in Richtung der Mitte der Bohrung zu setzen, um alle wichtigen Bereiche der Zylinderbohrungen gleichmäßiger zu erreichen.

Bei den luftgekühlten Motoren wurde die kühle Luft auf der Oberseite der Zylinder eingeleitet, wodurch die Kombination aus der oberen kühlen Luft und dem unter Schwerkraft herunterfallenden Ölnebel, die resultierende Ausbreitung der Temperaturen viel homogener verteilt. Thermischen Verzug kompensierte man durch eine geschickte Anordnung und Größe der den Zylinder umgebenden Kühlrippen, die die Stabilität des Zylinders zudem noch positiv beeinflussen. Die Toleranzmaße zwischen Kolben und Zylinder kann man so sehr klein halten. Bei den flüssigkeitsgekühlten Porschemotoren ist dies nicht so, da in der verwendeten Konstruktionsvariante, bei der das obere Ende des Zylinders freisteht, jederzeit und auch nur bei geringsten Temperaturunterschieden ein Verzug entstehen kann. Erhöhte Toleranzen von 0,1 mm bis 0,15 mm bei nur rund 100.000 Km Laufleistung sind übliche Messwerte.

Jeder versierte Instandsetzer von Motoren wird Ihnen bestätigen, dass 0,15 mm Bohrungsverschleiß ein echtes Problem darstellen und die Zuverlässigkeit des Motors deutlich in Frage stellen. Erhöhte Toleranzen führen dazu, dass durch einen „Blow-By von Verbrennungsgasen“ (zwischen Kolben und

Zylinder) der Druck im Kurbelgehäuse ansteigt, und dadurch auch gewisse Anteile des wichtigen Schmieröls für die Zylinderwandung weggeblasen wird. Auch erhöhen sich die Oberflächentemperaturen der Kolben, die Reibung erhöht sich und die Temperatur des Öls steigt an, wobei sich seine Viskosität reduziert. Ein wahrer Teufelskreis. Zu erwähnen sei noch, dass die Ovalitäten, die man in den Lokasil®-Zylindern misst, nichts mit Verschleiß zu tun haben, sondern es sich dabei um die Auswirkungen von unter hohem Druck und Temperatur „kriechendem“ Material handelt. Es wird also kein Material abgetragen, welches dann das Öl kontaminieren könnte, sondern es wird Material verschoben. Manche Spezialisten reden jedoch von Verschleiß, ohne zu wissen, dass die silbrig glänzenden Partikel im Öl Bestandteile der beschädigten, „aufgeriebenen“ Kolben sind.



Abbildung 9: Zeigt das verschlissene, bereits konisch gewordene Kolbenhemd eines Kolbens von Zyl. 4. Im silberfarbenen Bereich fehlen, von oben nach unten zunehmend, fast 1,0 mm Material, welches sich fein verteilt im Öl befindet. Ein derart beschädigter Kolben kontaminiert das Öl im Laufe der Zeit mit rund 150 mm³ Aluminiumabrieb.

Cartronic beschäftigte sich einige Jahre damit, nicht gerissene oder gefressene Zylinder nachträglich wieder in eine zylindrische Geometrie zu bringen, indem wir die ovalen Zylinder im oberen Bereich mit einem nachträglich aufgebrachten Verstärkungsring so verändern, dass eine erneute Ovalität nicht mehr entstehen kann. Wir nannten dieses Verfahren „Re-Rounding“.

Zusammen mit unserem Entwicklungspartner haben wir unendliche und zum Teil sehr kostspielige Versuche unternommen, bis wir dieses Verfahren mit ruhigem Gewissen an den ersten Kundenmotoren anwenden konnten.

Seit 2018 wenden wir dieses Verfahren allerdings nicht mehr an, sondern versehen alle Motoren generell mit sechs neuen Zylindern.

Der typische Kolbenfresser

Ein typisches „Festfressen“ eines Kolbens im Zylinder, tritt in der Regel dann auf, wenn der Kolben zu heiß und damit zu groß wird, um gleichmäßig und mit genügend Spiel auf die Bohrungen einzuwirken. Das Öl wird dann so heiß, dass es zu keiner ausreichenden Schmierung mehr zwischen dem Kolben und der Bohrung kommt. Die Reibung erhöht sich immer mehr und senkt die Viskosität noch weiter. Irgendwann ist dann das weiche Aluminium der Kolben so heiß, dass es an Festigkeit verliert, sich verformt, teilweise auflöst und dabei die Pleuellringe lahm legt. Die druckzugewandte Seite der Pleuellringe ist immer sehr stark beschädigt, hingegen weisen die druckabgewandten Seiten meist keine Beschädigungen auf. Häufig tritt dies nach einem Schaden eines Einspritzventils auf.

Es muss eine große Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten des Pleuellrings vorliegen.

Den Fahrern kündigen sich die Probleme durch einen erhöhten Ölverbrauch, vielleicht ein Klopfgeräusch, Rauchen aus dem Auspuff (beim 996/997 meist aus dem linken Endrohr) und oft auch durch

reduzierte Leistung an. Stellt man einen Farbunterschied der beiden Endrohre fest, ist dies ein Zeichen einer erhöhten Verbrennung von Öl auf der Seite, die deutlich schwärzer als die andere Seite ist. Fast immer ist beim 996 und 997 das linke Endrohr betroffen, aus dem die Abgase der rechten Bank 2 ausströmen.



Abbildung 10: Auf dem Kolbenboden sieht man deutlich erkennbare Einschlagspuren. Dieser Kolben ist auf Grund seiner Konizität am Zylinderkopf angeschlagen. Dies macht sich durch dumpf klingende, Klopfgeräusche im Leerlauf bemerkbar, sobald der Motor auf Betriebstemperatur ist.

Findet man beim Ölwechsel tiefschwarzes Öl, dann kann man fest davon ausgehen, dass etwas nicht stimmt, denn schwarzes Öl ist ein Zeichen für einen erhöhten Kohlenstoffeintrag in das Motoröl. Öl, welches mitverbrannt wird, lagert sich auf dem Kolbenboden ab und wird irgendwann abgewaschen und in das Öl getragen. Bei Motoren mit einem angehenden Motorschaden stellt man immer einen erhöhten Ölverbrauch fest. Ob sich ein Motorschaden anbahnt, kann durch eine Endoskopie der Zylinder festgestellt werden. Kann man einen Kolbenfresser ausschließen, dann ist es durchaus denkbar, dass der erhöhte Ölverbrauch auf Grund des Verschleißzustands der Zylinderköpfe entstanden ist. Bei hohen Laufleistungen sind „ausgewaschene“ Ventilführungen oder defekte Ventilschaftdichtungen keine Seltenheit.

Interessant ist Folgendes:

Die typischen Kolbenfresser haben einen erhöhten Abstand zwischen dem Kolben und der Zylinderbohrung zur Folge. Es wird sowohl Material am Kolbenhemd als auch ein wenig im Zylinder abgetragen. Ist dieses Schadensbild erst einmal eingetreten, wird sich dieses Problem an diesem Zylinder wahrscheinlich für eine längere Zeit nicht verschlimmern. Der Grund dafür ist, dass der oder die Kolben in diesem Zylinder ab dem „Vorfall“ nur noch eine geringere Verdichtung durch den entstehenden Blow-By aufbauen können. Ist es erst einmal zu einem Fresser gekommen, wird auf diesem Zylinder nur noch eine verminderte Kraft in die Zylinderlaufbahn eingeleitet. Das Schadensbild verschlechtert sich nur noch langsam. Viele unsere Kunden waren so in der Lage mit einem vorgeschädigten Motor noch viele Kilometer zu fahren.

Nicht oft finden wir bei allen drei Zylindern der Bank 2 Fressspuren in den Laufflächen. Wir sind sicher, dass die Probleme jeweils auf Grund verschiedener Anlässe (zu hohe Temperaturen) aufgetreten sind. Einige selbsternannte Spezialisten sind sich sicher, dass dieses Problem durch die Kolbenringe, die zu stark gegen die Lokasil® Bohrungen drücken, ausgelöst wird.

Andere berichten, wie bereits erwähnt, von kontaminiertem und silbrig verfärbtem Motoröl und behaupten, dass es sich dabei um im Öl gelöste Bestandteile der Lokasil®-Zylinder handelt, ohne darüber nachzudenken, dass der Rauminhalt (mm^3) der Lokasil®-Liner-Beschädigungen im Vergleich zu den Abtragungen am Kolben maximal 1% beträgt. Die Schwebepartikel im Öl bestehen somit zu 99% aus Kol-

benmaterial vermischt mit der ehemaligen, abgeriebenen Ferrostat-Pads (silbrig/grünen) Gleitbeschichtung der Kolbenhemden. Der Volumenverlust an einem geschädigten Kolben kann den Rauminhalt eines Würfels mit bis zu 6 mm Kantenlänge ausmachen.

Die Verfechter der Kolbenring-Lokasil®-Theorie scheinen die Tatsache zu ignorieren, dass Kolbenringe komplett in die Ringnut des Kolbens gedrückt werden und nicht abrasiv auf die Zylinderwandung wirken können und auch, dass der Bereich des Kolbens, auf dem sie montiert sind, einen geringeren Durchmesser hat, als die Fläche, die primär mit der Zylinderwandung in Kontakt steht. Der größte Durchmesser der Kolben befindet sich 25mm vor dem unteren Ende des Kolbens am Kolbenhemd. Weder der Kolben im Ringbereich noch die montierten Ringe können mit dem beschädigten Bereich der Zylinderbohrung in Kontakt kommen.

Der geringe, recht gleichmäßige Anpressdruck, der durch den Spreizeffekt des Kolbenrings auf die Bohrungswandung wirkt, ist im Vergleich zu dem Verbrennungsdruck, der über den Kolben übertragen wird und einseitig (bei Position 12 oder 6 Uhr) auf den Zylinder wirkt, absolut zu vernachlässigen. Kein Kolbenring kann derartige Schäden verursachen. Auch kann kein Kolbenring einen Kolben daran hindern, sich an die Zylinderwandung anzulegen.

Halten wir fest, dass weder die Kolbenringe noch die Legierung der Oberfläche des Zylinders auf der die Kolbenringe laufen, die Ursache für die Motorschäden der M96/97 Motoren sind.



Abbildung 11: Zeigt die unbelastete Flanke (Kolbenhemd) von Kolben 4 aus Abbildung 10. Die seitlich aufgebrachte Gleitschicht (Ferrostat-Pad) ist nahezu unbeschädigt. Der Bereich oberhalb des 1. Kolbenrings (glänzend) zeigt leichte Abnutzungsspuren. Dort hat der Kolben die Lauffläche berührt weil er aufgrund des erhöhten Kolbenspiels im OT kippte.

Die Wasserkühlung

Kühlung bzw. eine Wärmeübertragung erfolgt, wenn die Temperatur zweier sich berührender Medien unterschiedlich ist. Je größer das Delta der Temperaturdifferenz zwischen beiden Medien ist, umso mehr Wärme überträgt sich aus dem wärmeren Teil in das kühlere Kühlwasser. Die beste Kühlmethode, die für ausgeglichene Temperaturen sorgt, ist die der Gegenstromkühlung. Dabei leitet man das kühle Medium (Kühlwasser) in den heißesten Bereich des Motors ein. Das Kühlmittel nimmt dort die Wärme schnell an und die Temperatur steigt (Verringerung ihres Kühlpotentials). Irgendwann kommt es dann allmählich mit den weniger heißen Umgebungen in Berührung. Solch ein Motor hätte im gewissen Sinne das richtige "Gegenstrom-Design", weil das „kalte“ Kühlmittel auf der heißen Auslassseite

(Auspuffseite) der Zylinderköpfe eintreten würde und nach oben zur kühleren Einlassseite (Frischgas-einlass-Seite) strömt, wodurch gegensätzliche Strömungsverhältnisse gewährleistet werden.

Bei einem Wasserboxer-Motor gestaltet sich das allerdings ein wenig anders. Die mit Druck belastete Seite des Kolbens ist die Seite, die an der Zylinderwand anliegt und dort für Reibungswärme sorgt. Die Druckseite des Kolbens auf Bank 1 befindet sich auf der Unterseite des Zylinders, genau da, wo das „kalte“ Kühlmittel einfließt.

Auf Bank 2 sieht die Welt anders aus. Denn dort befindet sich die Druckseite auf der Oberseite des Zylinders bei Position 12-Uhr und ist damit am weitesten weg von dem einströmenden Kühlmittel bei Position 6 Uhr, weshalb die Druckseite auf Bank 2 generell immer heißer laufen muss als die Druckseite auf Bank 1.

Wie viel heißer, hängt hauptsächlich von der Strömungsgeschwindigkeit der Kühlflüssigkeit ab. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels auf dem Weg nach oben in den dort liegenden Bereich des Zylinders niedrig ist, wird das Kühlwasser mehr Wärme aufnehmen. Das Temperaturgefälle wird dadurch größer sein. Umso heißer ist dann aber auch das Wasser, wenn es die Oberseite des Zylinders (der Druckseite auf Bank 2), während die Strömungsgeschwindigkeit für das Abkühlen der Druckseite auf Bank 1 keinen Unterschied macht, weil das kälteste Kühlmittel direkt auf die heißere Druckfläche des Zylinders trifft, bevor es weiter Wärme aufnehmen kann. Bei keinem der Motoren der anderen wassergekühlten Fahrzeugmodelle vom 924/944/928 und 968 kam es zu derartigen konstruktivbedingten Problemen. Was gibt es also für einen Unterschied zu den Wasserboxern?

Anders als bei älteren Konstruktionen geht die Kühlmittelströmung nicht von einem Zylinder zum nächsten, sondern wird in kleinere Mengen aufgeteilt und individuell den verschiedenen Teilen des Motors zugeführt. Die Engstellen (Durchbrüche), welche die Kühlmittelgeschwindigkeit der einzelnen Zylinder kontrollieren, verlangsamen es dabei.

Bei den luftgeköhlten 911-Motoren wurde die Kühlluft gleichmäßig über den oberen Bereich der Zylinder und Köpfe geblasen. Jeder einzelne Zylinder und Kopf wurde dabei gleich gut gekühlt. Je mehr Drehzahl desto mehr wurde gekühlt. Wurde der Motor stark belastet, wurde er durch die höhere Drehzahl und der daraus resultierenden Gebläse-Leistung auch sofort stärker abgekühlt. Besser kann man es nicht lösen.

Im Gegensatz dazu wird ein flüssigkeitsgekühlter Motor mit einem Thermostat immer langsamer reagieren, wenn der Motor härter herangenommen wird. Diese, nicht zu vermeidende Trägheit hat eine Verzögerung des Kühleffekts zur Folge.

Die Kühlung wird stark durch die Strömungsgeschwindigkeit und Menge des Kühlmittels beeinflusst. Der schnellste Weg, um ein heißes Stück Metall abzukühlen, ist es, das Teil mit schnell fließendem möglichst kaltem Wasser zu überfluten. Geringere Mengen Wasser, die auch noch langsamer fließen, bewirken da recht wenig.

In allen älteren wassergekühlten Porschemodellen wurde das Kühlmittel von der Wasserpumpe ausgehend dem Zylinderblock, beginnend an einem Ende des Motors zugeführt. Siehe Foto des 944-Turbo Zylinderblocks, wo das gesamte Kühlmittel in den ersten Zylinder durch die rechteckigen Öffnungen zugeführt wird.



Abbildung 12: Motorblock eines Porsche 944 mit Flansch für Wasserpumpe

Trotz der vielen Verbindungsöffnungen aus dem Block hin zum Kopf in dem abgebildeten 944-Motor wissen nur wenige Menschen, dass die Geometrie der Zylinderkopfdichtung das gesamte Kühlmittel dazu zwingt, von der Vorderseite auf die Rückseite des Blocks zu fließen. Das wiederum resultiert darin, dass jeder einzelne Zylinder bei unterschiedlichen Temperaturen läuft, da sich das Kühlmittel auf seinem Weg nach hinten erwärmt und dann auf dem Weg nach vorne über den Zylinderkopf immer heißer wird, wodurch auch verschiedene Temperaturen im Kopf entstehen. Daher hatten in der Regel auch alle getunten Motoren dieser Fahrzeuge, Probleme mit der Kopfdichtung in der Nähe der Vorderseite und Probleme mit Kolbenfressern auf der Rückseite des Motors. Tuner dieser Ära veränderten oft die Kühlmittelflussrichtung und das Volumen bei ähnlichen Motoren um die Temperaturen von Zylinder und Zylinderkopf anzugleichen.

Das mögliche Tuning limitiert sich an den maximal verträglichen Temperaturen des heißesten Zylinders. Die Kühlmittelgeschwindigkeit, der Durchfluss durch den Zylinderblock bei diesen Motoren ist abhängig von der Drehgeschwindigkeit und Förderleistung (Effizienz) der Pumpe und wird durch das Thermostat gesteuert.

Thermostate wurden ursprünglich auf der Oberseite des Zylinderkopfes montiert und deshalb durch die höchste Temperatur kontrolliert - sie öffnen mehr, je heißer der Motor wurde und erhöhen dadurch den Durchfluss durch den Wasserkühler (Radiator). Auf Grund der idealen Position am Motor reagieren die Thermostate ohne wesentliche Verzögerung auf die Erhöhung der Motorlast. (Beispiel Porsche 924)

Beim Porsche 944 und 968 versetzte man das Thermostat auf den Platz des Kühlmittleinlasses des Motors. Also dorthin, wo das Kühlmittel durch den Kühlerdurchlauf bereits abgekühlt war, anstatt zum Auslass des Motors, an der Stelle, bevor es in den Wasserkühler gelangt.

Thermostate an dieser Position kontrollieren die Temperatur des Kühlmittels, das in den Motor gelangt, jedoch nicht aus ihm heraus. Obwohl die Betriebstemperatur der Zylinder und im Kopf steigt, findet die notwendige Veränderung der Fließgeschwindigkeit erst mit Verzögerung statt. Das Kühlmittel wird zuerst in den Kühler geleitet und von dort aus in Richtung Thermostat, welches dann erst spät und zudem langsam öffnet.

Dies erwies sich soweit als problemlos, solange 100% des Kühlmittels direkt in die Zylinder geleitet wurden, bevor sie weiter zu den Zylinderköpfen flossen.

Mit der zylinderselektiv aufgeteilten Kühlmittelübergabe bei den M.96/7 Motoren ist die Reaktionszeit noch einmal merklich verzögerter. Dadurch steigt die Innentemperatur des Motors für eine kurze Zeit

deutlich an, bis das Thermostat verzögert weiter öffnet, um genug Kühlmittel zur Kompensierung des Temperaturanstiegs freizugeben.



Abbildung 13: Zylinderkopf eines M.96 Wasserboxer Motors

Zu den Bauteilen, die in direktem Kontakt mit dem entflammten Gemisch stehen, gehören Ventilteller, Zündkerzen sowie der innere Brennraumbereich des Zylinderkopfes. Ganz in der Nähe sind die Einlass- und Auslasskanäle. Darüber liegt der einzige Kühlmittelkanal aber recht weit entfernt von dem heißen Brennraum - abgesehen von zwei winzigen Kühlmitteldurchgängen jeweils links und rechts neben den Ventilsitzen mit recht geringem Einfluss auf die Kühlung des Kopfes.



Abbildung 14: Querschnitt Zylinderkopf. Zeigt den Einlass- und Auslasskanal sowie die 3 Wasserkanäle

Meist ist der Raum in Zylinderköpfen sehr beengt. Weit entfernt von einer optimalen Gestaltung der Kühlmittelkanäle, welche im Idealfall in unmittelbarer Nähe in dem Kopfbereich verlaufen sollten, der durch die Verbrennung besonders stark erhitzt wird. Obwohl es eine große Herausforderung ist, für eine ausreichende Schmierung und Kühlung der Ventile zu sorgen, hört man kaum von Motorproblemen die sich in diesem Bereich wegen zu großer Hitze ergeben haben. Man hört aber sehr oft von

Kolbenfressern, die fast immer die Folge von zu heiß laufenden Zylindern sind. Wir schlossen daraus, dass man der Kühlung der Zylinder mehr Aufmerksamkeit schenken sollte, als die der Zylinderköpfe. Bei den 924, 944 und 968er Motoren und vielen weiteren Motoren anderer Hersteller wird das komplette Kühlmittel zuerst in den Bereich rund um die Zylinder eingeleitet und von da aus dann in den Zylinderkopfbereich. Dabei wird viel Wärme aus den Zylindern aufgenommen und folglich auch von der Zylinderwand, dem Öl zwischen den Kolben und der Zylinderwand und den Kolben selbst. Das resultiert in relativ „kühlen Zylindern“. Daraus ergaben sich jedoch dann heißere Zylinderköpfe, was sogar zu unterschiedlichen Temperaturen in verschiedenen Zylindern führte. Um ein Klopfen in den heißesten Zylindern zu verhindern, splittete man im Tuningbereich den Kühlmittelfluss so, dass etwa 70% zum Zylinderkopf und 30% zum Motorblock geleitet wurde, weil dieser leichter zu kühlen ist.

Die Wasserkühlung der, mit Problemen behafteten M96/97 Motoren, ist völlig anders aufgebaut. Positiv wirkt sich das Konstruktionsmerkmal aus, dass das Kühlmittel nicht nur individuell in jeden Bereich der einzelnen der sechs Zylinder sondern auch selektiv in jedem Kopfbereich zugeführt wird. Dies erfolgt durch eingegossene Röhren im Zylinderblock und eingegossene Löcher in den Zylinderköpfen (und/oder unterschiedlichen oder gleichgroßen Lochgrößen in der Zylinderkopfdichtung). Die Temperaturverteilung ist dadurch viel gleichmäßiger und die Abstimmung der Kennfelder der Motorelektronik einfacher, da die Temperaturen der einzelnen Zylinder besser ausbalanciert sind. Kritisch wird es immer, wenn man z.B. den Zündzeitpunkt für alle 6 Zylinder an dem heißesten und damit anfälligsten Zylinder der sechs anlehnen muss. Das wäre reine Energieverschwendung und die Hersteller hätten es schwer, die Abgasnormen mit ihren Motoren einzuhalten. Zudem verschenkt man dadurch eine Menge Leistung, da manche Zylinder unterbelastet sind.

Nachfolgendes Bild zeigt eine typische Blockoberseite, die bereits bearbeitet wurde, um einen neuen unserer Zylinderliner einzusetzen. Man erkennt das Loch (vor der Geldmünze), durch welches das Kühlmittel nach oben zum Zylinderkopf geleitet wird. Auch erkennt man den winzigen Schlitz an der Vorderseite des Kanals. Nur durch diese relativ kleine Durchführungen kann das Kühlmittel in den Zylinderbereich gelangen, um dann die Zylinderwände und die Kolbenhemden zu kühlen.



Abbildung 15: Der beschädigte Zylinder wurde bereits entfernt. Die Münze markiert die Position des noch nicht modifizierten Wasserkanals.

Durch die Veränderung der Größen dieser Kanalschlitze, durch die das Kühlmittel in die Zylinderbereiche strömt, ist der Hersteller des Motors in der Lage, im Rahmen eine geschickten Anpassung die Strömungsgeschwindigkeiten und Kühlmittelmengen für alle 6 Zylinder einzeln zu steuern. Um den Einfluss

auf die Kühlung noch weiter zu verfeinern, hatten die Motoren bis einschließlich des 996 mit 3,4 Liter Hubraum auch verschieden große Durchführungslöcher in den Zylinderkopfdichtungen. Wirklich gut durchdacht und eine sehr gute Methode! Ein Lob an die Konstrukteure.



Abbildung 16: An die neue, ungünstig gestaltete Kopfdichtung angepasster Kühlwasserkanal/Schlitz eines unserer Versuchsmotoren.

Später wurde das Design der ehemals unterschiedlichen Kopfdichtungen allerdings so verändert, dass man nur noch ein und dieselbe Kopfdichtung benötigte um beide Seiten abzudichten. Ob tatsächlich finanzielle Interessen hinter dieser extrem kontraproduktiven Idee steckten, bleibt im Dunklen. Der Durchmesser der Wasserkanalöcher in den Dichtungen wurde bei den ursprünglichen Dichtungen größer in Richtung Schwungscheibe und korrelierte mit der Verringerung der Kanalöffnungen, wobei Zylinderkopf Nummer 6 das größte Zufuhrloch in Bank 2 besitzt. Für die Statistiker sei erwähnt, dass die Lochdurchmesser von Zyl. 1 und 4, 11,2 mm sind. 12,8 mm bei Zyl. 2 und 5, 14,8 mm bei Zyl. 3 und 20 mm bei Zyl. 6, womit der Bereich um das Zufuhrloch von Zylinder 6 den dreifachen Flow der Zylinder 1 und 4 zulässt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt beiden Seiten einer Dichtung eine 996 3,4 Liter Motors. Die Kopfdichtung (2.5, 2.7 und 3.2 Boxster waren ähnlich) wurden für das Foto so platziert, wie sie auf den Motor aufgelegt würden. Die Pfeile weisen auf die Zufuhrlöcher für das Kühlmittel zu jedem Zylinderbereich. Man erkennt bei genauem Hinsehen, dass sie sich in der Größe unterscheiden. Das größte Zufuhrloch ist an der rechten unteren Ecke der linken Dichtung und es ist auch zu sehen, dass die Zufuhrlöcher zunehmend größer werden, sobald das Kühlmittel entlang jedem Zufuhrloch von oben nach unten wandert. Der Flächenbereich, der die Durchflussmenge steuert, ist proportional zu diesem Durchmesseranstieg zum Quadrat.

Die Dichtung der anderen Motorseite erkennt man auf der rechten Seite des Fotos. Wenn es umgedreht wäre, so dass die linke Dichtung gespiegelt wäre, würde man sehr gut sehen, dass das Loch, das auf der linken Dichtung das größte ist, neben dem kleinsten Loch in der rechten Dichtung liegt. Wenn die gleiche Zylinderkopfdichtung also für beide Seiten verwendet werden würde, wäre der Kühlmittelfluss für den gleichen Zylinder, um etwa 66% reduziert.

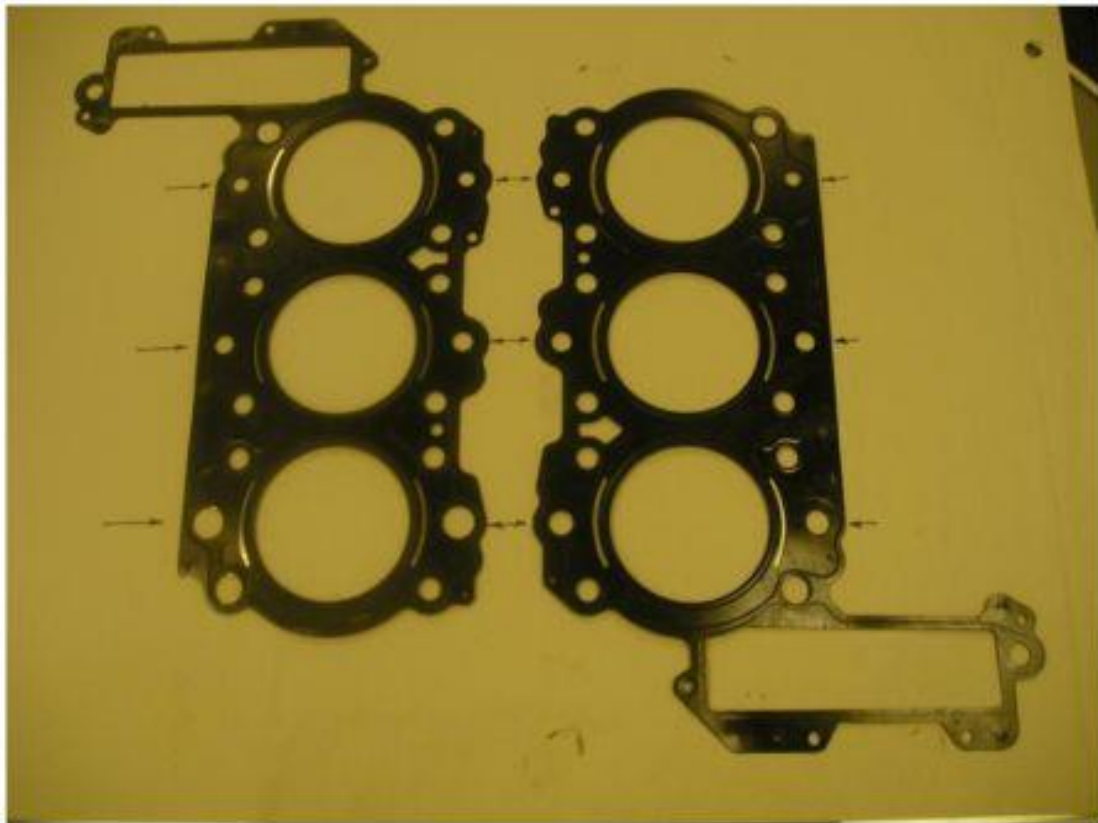


Abbildung 17: Foto der damals noch asymmetrisch aufgebauten Kopfdichtungen. Ein gut durchdachtest Bauteil.

Ein unabhängiger Porschespezialist, für den wir Motorrevisionen durchführen, durfte eine schmerzliche Erfahrung machen, als er irrtümlich die Position der Dichtungen vertauschte. Anscheinend wurde die Dichtung in einer Verpackung mit falscher Teilenummer geliefert. Damit montierte er unabsichtlich die Dichtung mit dem „kältesten Einlassloch“ an der Stelle, vorgesehen für das „heißeste Loch“. Das Ergebnis war ein ähnliches Festfressen des Kolbens in Verbindung mit starken Riefen in der gesamten Lauffläche. Die Bedeutung einer asymmetrischen Anordnung der Kanallöcher in den Zylinderkopfdichtungen sollte damit in ihrer Wichtigkeit bestätigt verdeutlicht sein.

Die nächste Abbildung zeigt die oben gezeigte 3.4 Liter Dichtung vom 996, nach wie vor auf der linken Seite liegend, diesmal aber neben einer 3.8er Dichtung (fast die gleiche wie eine 3.6er und 3.4er Cayman S Dichtung, bis auf den 99mm Zylinderbohrungsdurchmesser). Bei der rechten 3,8er Dichtung erkennt man, dass alle Kühlmitteldurchführungen die gleiche Lochgröße haben. Der Hersteller war dadurch in der Lage, dieselbe Dichtung für beide Zylinderkopfseiten des Motors zu verwenden. Durch diese Änderung musste man nur noch einen Typ Dichtung herstellen und lagern. Die Produktionszahlen verdoppelten sich und die Stückkosten sanken dadurch. Keine gute Idee!



Abbildung 18: Rechts , die aktuell lieferbare Dichtung mit gleichgroßen Kanallöchern. Links die ursprünglich vorgesehene und nicht mehr lieferbare asymmetrische Dichtung vom 996 3,4 Liter

Vorteile kaschieren nicht selten Nachteile. In diesem Falle ist es der Verzicht auf eine feine, ausgewogene Steuerung des Kühlmittelstroms für jeden einzelnen Zylinder. Die alten, ursprünglichen Dichtungen, verfügten noch über diesen konstruktiven Vorteil. Nachdem nur noch ein Typ Dichtung hergestellt wird, kommt es bei den Motoren zwangsläufig zu einer unterschiedlichen Temperaturverteilung, bei der einige Zylinder heißer laufen als andere. Das gab es früher nicht. Ein Problem, das schwerer wiegt als man denkt. Aufgrund der allgemeinen Schwächung der Motoren durch mehr Hubraum und Leistung wäre es angebracht gewesen, den Temperaturhaushalt zu optimieren statt ihn zu schwächen.

Da diese größeren Löcher mehr Kühlmittel in die Köpfe durchlassen und das Kühlwasser kürzere Zeit im Zylinderbereich verweilt, wird von dort weniger Wärme abgeführt. Die Zylinder laufen deshalb in einem deutlich höheren Temperaturbereich als ursprünglich vorgesehen. Durch die Vereinheitlichung der Zufuhrlochgrößen handelte man sich das Problem ein, dass einzelne Bereiche einiger Zylinder nicht mehr ausreichend gekühlt wurden. Auch entstanden dadurch einige besonders heiße Bereiche (Hot-Spots).

Die Idee, ein „kühleres“, früher öffnendes Wasserthermostat einzusetzen war geboren. Heute gehört dieses Bauteil zwingend zu jedem Motor den wir revidieren. Soweit bekannt, gab es bis zum Jahr 2014 neben uns und unserem Entwicklungspartner keinen weiteren Fachbetrieb der diese Optimierungsmaßnahme durchführte. Sicherlich fehlte bis dahin das Verständnis für diese Maßnahme.

Da keine asymmetrischen Kopfdichtungen mehr zur Verfügung stehen, waren wir gezwungen eine andere Lösung zu finden. Die Lösung: Wir veränderten die Wasserkanäle im Rahmen der mechanischen Bearbeitung der beiden Motorblockhälften.

Um zu erfahren, was thermisch in einem Wasserboxer-Motor geschieht, wenn man die Wasserkanäle verändert, ist es notwendig sehr viel Zeit und Geld in Versuche zu investieren. Eine kleine Firma, wie wir es sind, hat dafür weder die notwendigen finanziellen Mittel, noch die Zeit. Wir mussten uns, mit dem Ziel etwas gegen die Motorschäden zu tun, gezwungenermaßen auf unsere Erfahrung und auf die

Berechnungen eines anerkannten Spezialisten der Strömungsmechanik und Thermodynamik verlassen. Dieser führte die Berechnungen durch, die wir dann mechanisch umsetzten. Ein voller Erfolg! Wir wussten, dass man den Kühlmittelverbleib rund um die Zylinder zeitlich verlängern musste um damit den in den Köpfen zu verringern. Zu vermuten ist, dass der Hersteller auch mit unterschiedlichen Kanaldurchmessern und Steuerschlitzbreiten experimentiert hat. Bisher konnte uns das keiner bestätigen.

Um herauszufinden, was letztendlich dabei erreicht wurde, haben wir alle Kühlmitteldurchgänge vermessen und die Werte dann in die Berechnungsformel eingefügt. Damit waren wir in der Lage, die unterschiedliche Kühlmittelvolumenströme und Verweildauern in den verschiedenen Teilen des Motors besser zu bewerten. Die Ergebnisse zeigten dramatische Veränderungen zu den eher traditionellen Flussraten von etwa 80% Einspeisung in den Zylinderkopf und 20% in den Zylinderblock und diverse kleinere Unterschiede und Änderungen in den Bereichen der Kühlmittelförderung für jeden Zylinder und Kopf, abhängig von ihrer Lage im Block.

Wenn man den hohen Aufwand und die damit verbundenen Investitionen eines Automobilherstellers berücksichtigt, dachten wir, dass wir in den Motoren Geometrien vorfinden, die sich mit unseren, zur Kontrolle durchgeführten Berechnungen, wenigsten annähernd decken würden. Deshalb haben wir Temperatursensoren in die Zylinderblöcke und Zylinderköpfe von zwei 3,4 Liter 996er, jeweils am Auslasspunkt montiert, wo sich die beiden Kühlwasserströme treffen und von dort aus zurück in den Kühler fließen. Wir waren damit in der Lage, den Temperaturabfall exakt zu messen. Während der Testfahrten, wurden die Messwerte bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten und Drehzahlen aufgezeichnet. Die beiden Motoren unterschieden sich nur dadurch, dass sie verschiedene innere Geometrien in der Kühlmittelversorgung hatten. Auch verfügte der von uns modifizierte und nach unseren Berechnungen optimierte Motor über ein neues, früher öffnendes, „kühleres“ Wasserthermostat.

Die Ergebnisse zeigten, dass im Wesentlichen die 996 3.4 Liter Motoren die Betriebstemperatur in allen Bereichen recht ausgeglichen sind. Das liegt aber daran, dass der Kühlmittelfluss in den Bereichen rund um die Zylinder und da, wo er am meisten Temperaturen aus dem Metall aufnehmen kann, drastisch reduziert und in den Zylinderköpfen dramatisch erhöht wurde. Die Reduzierung wurde durch schrittweise Senkung der Flussraten im Zufuhrrohr, an der Stelle, wo das Kühlmittel in die Zylinder umgeleitet wird, durch eine Veränderung der entsprechenden Durchmesser der Kühlmittelschlitze und Zylinderkopfdichtung, ausgeglichen.

Wir waren sicher, damit alle inneren Bereiche des Motors bei nahezu identischer Temperatur laufen lassen zu können. Tatsächlich gab es dann auch keine Probleme mit Motortemperaturen in den Modellen bis einschließlich des 996 als 3.4er.

Wir denken, dass die damals beteiligten Entwicklungsingenieure beim Hersteller sich sicher waren, keine Probleme dadurch zu bekommen, wenn man durch den Einbau eines „heißeren“ Thermostaten die Wassertemperaturen aller Zylinder auf dieses scheinbar unkritische höhere Temperatururniveau anhebt, statt die Temperatur abzusenken, um einen niedrigeren Durchschnittswert zu erreichen. Klingt erst einmal logisch, ist aber nichtsdestotrotz eine große Veränderung zu dem, was in der Vergangenheit gemacht wurde, als man die Zylinder deutlich kühler laufen ließ, als die Köpfe und jedes innere Bauteil nacheinander und mit einem schnelleren Kühlmittelstrom versorgt wurden.

Da mit den früheren Motoren noch alles okay war, musste die Ursache der Probleme mit den 3.4er Cayman S, den 3.6er und den 3.8er Motoren irgendwo in den stattgefunden Veränderungen der Kühlmittelverteilung zu finden sein. Diese stellte sich ja in den ersten Motoren noch als ausreichend dar.

Aus diesem Grund haben wir versucht zu verstehen, was geschehen war und die Unterschiede gesucht, die erklären können, warum diese Probleme entstanden. Die eingeführte Veränderung an der Kopfdichtung, die Unterschiede in den Lochdurchmessern der Kühlwasserdurchbrüche zum Zylinderkopf aufwies, galt bei uns als der wahrscheinlichste Verursacher für die Probleme.

Dadurch, dass man das Kühlwasser mit hoher Fließrate von einem Zylinder zum nächsten schickt, es dabei langsamer, aber dafür gleichmäßig aufgeteilt zu jeweils 1/6 zu jedem Zylinder/kopf schickt, ist wäre man in der Lage, die Emissionen besser zu kontrollieren, weil alle Zylinder in Sachen Kraftstoff- inspritzmenge, Verdichtung und Zündzeitpunkt gleich behandelt werden können.

Wir sind sicher, dass es zur Erreichung dieses Gleichgewichts nicht notwendig ist, den Flüssigkeitsfluss zum Block um mehr als 80% zu reduzieren. Das entspricht in etwa proportional der Fläche des kleinsten Durchlasses in der Flusssteuerung.

Langsam fließendes Kühlmittel hat eine größere Temperaturdifferenz zwischen dem Ort des Eintritts und Austritts in den Block zur Folge als schnell fließendes Wasser. Nun ergibt sich aus der bauartbedingten Motorkonstruktion der hier angesprochenen Motoren folgende ungünstige Situation:

Die Druckseite des Kolbens auf Bank 2 liegt an der Oberseite des Zylinders. Auf Bank 1 ist es der Zylinderboden, der den meisten Druck aushalten muss. Obwohl die durchschnittliche Temperatur in den Zylindern und den Köpfen von Seite zu Seite und von vorne nach hinten vergleichbar ist, ändert das aber nichts daran, dass die Druckbelastete Seite der Zylinder an unterschiedlich gut gekühlten Bereichen liegt.

Sowohl bei Bank 2, als auch bei Bank 1 läuft das Kühlwasser genau symmetrisch ein. Immer von unten nach oben. Trifft so das „kühle“ Kühlwasser von Bank 1 auf die heiße druckbelastete Unterseite des Zylinders, nimmt es dort wie gewünscht viel Temperatur auf und kühlt genau den heißen und druckbelasteten Zylinder genau dort ausreichend ab.

Bei Bank 2 ist es so, dass das Kühlwasser auf die kühle, nicht druckbelastete Seite trifft. Die Zylinder auf Bank 2 werden aufgrund der Pleuelstellung oben, bei Position 12 Uhr mit starkem Druck belastet. Wenn kühles Wasser auf ein nur etwas wärmeres Material trifft, kann es auch kaum Temperaturen aufnehmen. Somit ist es absolut logisch, dass die kritischen Bereiche der Zylinder 4-6 (oben) im Betrieb thermisch stärker belastet sind, als die der Zylinder 1-3 von Bank 1 (unten) sind. Siehe dazu Darstellung 2 auf Seite 25.

Die Kühlrate ist eine Funktion der Temperaturunterschiede. Das heißt, wenn heißes Kühlmittel in einen Kühler geleitet wird, dann wird es mehr Wärme an das Metall abgeben, als wenn kühleres Wasser eingeleitet wird.

Das Thermostat im Rücklauf lässt es nicht zu, Temperaturerhöhungen im Inneren des Motors schnell wieder auf ein unkritisches Niveau abzusenken, insbesondere, wenn ein Fahrer dem Motor alles abverlangt und sich dadurch die Temperatur der Zylinder, der Kolben und der Zylinderköpfe stark und schnell erhöht. Leider fließt das Kühlmittel konstruktionsbedingt bei dieser Anordnung erst durch den Kühler und wird dort erst einmal abgekühlt.

Es dauert also sehr lange, bevor das Thermostat einen Unterschied feststellt und dann auch nur eine relativ geringe Differenz, weil das Kühlwasser wegen der höheren Temperaturdifferenz bereits etwas abgekühlt wurde.

Halten wir also fest, dass die gewählte Anordnung des Kühlwasserthermostaten ungünstig ist, da es bei einem schnellen Anstieg der Temperaturen der Kolben und Zylinder bei hoher Last oder Fahrten mit hoher Geschwindigkeit und hohen Außentemperaturen zu einer nicht gewünschten, verzögerten Reaktion des Thermostaten kommt.

Welche Auswirkung das auf den Motor hat, hängt davon ab, mit welchen Temperaturen man es tatsächlich zu tun hat.

Wenn die Motoren so konzipiert gewesen wären wie die Motoren der alten Generationen oder wenigsten ähnlich denen der GT2, GT3 oder Turbomotoren, würden sie um einige Grad Celsius kühler laufen.

Die verwendeten Thermostate würden bei rund 70° bis 80° C oder sogar noch darunter öffnen. Die Standard-Thermostate, die wir getestet haben, beginnen bei rund 86° C zu öffnen und sind bis knapp unter 100°C immer noch nicht vollständig geöffnet.

Langsam aber beständig kamen wir der Sache näher und eine allumfassende Erklärung für die Motorprobleme lag in nicht mehr allzu weiter Ferne.

Wir wissen, dass einige Kollegen aus der Branche bis heute nicht wirklich genau darüber informiert sind, warum die hier behandelten Motorschäden überhaupt auftreten. Deshalb werden oft Motoren repariert und ausgeliefert, die zwar laufen, aber vom technischen Stand her schwächer sind als sie es vor dem Schaden waren. Das Schicksal dieser Motoren ist vorhersehbar.

Die leistungsschwachen Versionen der betroffenen Motorenpalette laufen bei diesen höheren Temperaturen bis heute recht problemlos (es sei denn, es gab ein anderes, spezifisches Problem mit dem Kühlmittel). Porsche sah es wohl mit gutem Grund als notwendig an, die Öffnungstemperatur der Thermostate in den drehmomentstarken Turbo- und GT3-Motoren zu verringern. Interessant, dass man bei diesen Motoren daran dachte.

Ob man sich der Auswirkungen von zu hohen Temperaturen bewusst war, ist nicht bekannt. Tatsache ist, dass man es bei den 3.6er und 3.8er Motoren als auch beim 3.4er Cayman S unterließ eine Anpassung vorzunehmen. Da auch diese Motoren über ein recht ansehnliches Drehmoment verfügen, wäre es notwendig gewesen, etwas an der Kühlmittelsteuerung zu verändern und ein „kühleres“ Thermostat einzusetzen, welches früher öffnet. Hinzu kamen noch die kontraproduktiven Veränderungen bei den Zylinderkopfdichtungen die zu einer Verschlechterung des Temperaturhaushalts und zu höheren Temperaturen der Zylinderwandung führten. Auch hätte man der potenziellen Gefahrenquelle, die sich aus der Platzierung des Wasserthermostats im Rücklauf ergibt, mehr Beachtung schenken müssen. Neben den nun bekannten und erwähnten Ursachen für die Motorprobleme haben wir bei den neueren Motoren noch weitere Veränderungen festgestellt. Diese scheinen ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Motoren zu haben. So wurden die Schlitzöffnungen, durch die das Kühlwasser in den Zylinderbereich gelangt, noch einmal verkleinert. Ob sich das wirklich stark negativ auswirkt wissen wir nicht. Wir wissen nur, dass die Umstellung auf eine einheitliche, sprich symmetrische Kopfdichtung eine kontraproduktive Maßnahme darstellte. Dieser Änderung führte zwar dazu, dass Zylinder 4 deutlich mehr, Zylinder 5 etwas mehr aber dafür Zylinder 6 deutlich weniger Kühlwasser mit bekam. Nicht verwunderlich also, dass sich die meisten Schäden, dann auch genau an Zylinder 5 und 6 zeigten.

Nachdem einige grundlegende Unterschiede festgestellt wurden, die erklären könnten, warum die Zylinder der neueren Motoren trotz gleicher Bohrung heißer laufen und anscheinend dadurch versagen, war aber immer noch nicht klar, warum es bei Motoren mit einer relativ geringen Laufleistung nicht zu Problemen kommt. Es schien also so zu sein, dass es sich um Probleme handelte, die etwas mit der Alterung des Motors zu tun hatten. Es konnte kein schwerwiegender konstruktiver Fehler sein, sondern eher eine unglückliche Verquickung von verschiedenen Änderungen bei der der Faktor Zeit eine Rolle spielte. Wir sind sicher, dass die Motoren nach diesen Änderungen nun sehr nahe an der Haltbarkeitsgrenze laufen. Auf Grund von Fertigungstoleranzen „stirbt“ der eine Motor dann eher und der andere etwas später.

Eine der Ursachen für Ausfälle ist sicher ein zu schwaches Design, evtl. auch eine nicht ausreichende Fertigungssteuerung. Fehlerhafte Montagen schließen wir aus. Ein unsachgemäßer Gebrauch könnte auch eine Ursache sein, da viele Porschefahrer an die unglaublichen Standfestigkeiten der luftgekühlten 911er gewöhnt waren und die neuen wassergekühlten Motoren dabei unwissentlich überlasteten. Wir wussten, dass es nicht einfach sein würde, belegbaren Fakten bzw. Ursachen für die Motorschäden zu präsentieren. Wenn wir Motoren reparieren und optimieren wollten, die am Ende des Tages zuverlässiger sein sollten als die Werksmotoren es jemals waren, waren wir aber gezwungen jede einzelne, der multiplen Ursachen zu finden und technische Lösungen zu finden.

Fakt ist, dass speziell die 997 Motoren mit 3,8 Liter Hubraum an einer unausgeglichene, ja sogar kritischen Zylindertemperatur leiden. Dies macht sich auf der Bank 2 bemerkbar. Heute wissen wir, dass die Entscheidung, dieselben Kopfdichtungen für beide Zylinderbänke zu verwenden, eine Fehlentscheidung war.

Das Verhalten von heißen Flüssigkeiten

Lokales Kühlmittelsieden ist ein bekanntes Problem, das bereits vor vielen Jahren beim Tuning von Straßenmotoren für den Rennsport entdeckt wurde. Kühlmittel, wie Wasser beginnt bekanntlich unter atmosphärischen Bedingungen auf Meereshöhe bei einer Temperatur von 100°C zu kochen. Unter Meereshöhe später, und auf Bergen, bei geringerem Luftdruck bereits bei geringeren Temperaturen unter 100°C. Aus diesem Grund, sind Kühlsysteme hermetisch verschlossen und stehen unter hohem Druck.

Kommt es im Motor konstruktivbedingt zu sehr heißen Bereichen, und befindet sich in unmittelbarer Nähe eine „kühlere“ Sektion, dann kann es in dem heißen Bereiche bereits zu einer Dampfblasenbildung kommen, während die Kühlflüssigkeit im kühleren Bereich noch nicht einmal siedet. Dampfblasen verhindern, dass das Kühlwasser in bestimmten Bereichen in Kontakt mit dem zu kühlenden Motorgehäuse kommt. Es entsteht eine lokale Dampfbarriere, die sich zu einem gefährlichen Hot-Spot entwickeln kann.

Eine akribisch genaue Vakuum-Entlüftung zwecks einer nachfolgenden Befüllung mit Kühlflüssigkeit ist deshalb sehr wichtig. Wir benutzen dafür ein spezielles, automatisiertes Befüllungsgerät, welches vorher das gesamte Kühlwassersystem unter Vakuum setzt und ausschließt, dass sich nach der Befüllung noch Luftblasen im System befinden.

Zum Sieden bzw. lokalen Kochen kommt es da, wo die heißen Motorteile in direktem Kontakt mit deutlich kälterem Kühlwasser stehen. Die Blasen, die man beim Wasserkochen vom Topfboden aus aufsteigen sieht, verdeutlichen sehr anschaulich, dass es genau an diesen Stellen stark unterschiedlich warme Temperaturschichten im Wasser gibt. Wäre das umliegende Wasser als Ganzes gleich warm wie der Topfboden, könnte es zu keiner Blasenbildung kommen. Ähnlich wie Wasser bei Normalluftdruck bei 100°C kocht, kocht die Kühlmittelmischung auf Grund ihrer Zusätze zum Wasser bei ca. 102°C. Reines Kühlmittel würde bei 105°C kochen. Spezialkühlmittel sogar erst bei 107°C.

Dies bedeutet, dass moderne und vom Hersteller empfohlene Kühlmittel bereits deutlich unter den Temperaturen, die standardmäßige Thermostate entwickeln, beginnen, Siedeblasen zu entwickeln. Durch den Einsatz der von uns verwendeten Niedrigtemperatur-Thermostate kann das nicht passieren, da diese bereits kurz vor dem Erreichen der kritischen Siedetemperatur zu öffnen beginnen.

Natürlich kommt es bei höheren Temperaturen bei beiden Thermostaten gleichermaßen zum Sieden. Je höher die Thermostat-Einstellung ist und je niedriger die Geschwindigkeit des Kühlmittelflusses ist, desto eher und mehr bilden sich Siedeblasen bei plötzlich abgeforderten hohen Motorleistungen und Drehzahlen. Die Drehzahl korreliert bis zu einer konstruktiv bedingten Pumpgrenze, mit dem Volumenstrom des Kühlwassers.



Abbildung 19: Das spezielle Niedrigtemperatur-Thermostat

Die Temperaturverteilung in den Zylinderwandungen der M96/97 Motoren ist nicht gleichmäßig. Die Unterseite der Zylinder, die zuerst mit dem „kühlen“ Kühlwasser in Kontakt kommen, leidet aus diesem Grund nie an zu hohen Temperaturen. Kolbenfresser an Position 6 Uhr treten extrem selten auf. Der obere Bereich der Zylinder (Position 12 Uhr), ist deutlich wärmer, da sich das Kühlwasser dort, auf dem Weg von unten nach oben, bereits deutlich erwärmt hat. Ist dieser Bereich auf Grund der Pleuelstellung im OT auch noch die Druckseite, auf die der Kolben auf die Zylinderwandung wirkt, herrschen dort sehr ungünstige Bedingungen. Dies trifft bei den hier beschriebenen Motoren auf die drei Zylinder (4-5-6) der rechten Zylinderbank 2 zu.

Die geringe Strömungsgeschwindigkeit der Kühlflüssigkeit und die ungünstige Position des Thermostats (auf der Rücklaufseite) verstärken dieses Problem noch.

Fordert man von den M.96 und M.97 Motoren viel Leistung ab, bevor das Kühlwasser und das Motoröl die geforderten Betriebstemperaturen erreicht haben, kann es sein, dass es innerhalb von weniger als 2-4 Sekunden zu einem Fressen kommen kann. Also innerhalb von 450 bis 900 Kolbenhüben.

Man muss nicht befürchten, dass es bei jedem Motor, speziell bei den 3,8er X51-Motoren, schlagartig zu einem Fresser kommt. Es ist allerdings auch nicht ausgeschlossen, dass es dazu kommt. Wahrscheinlicher ist, dass mit jeder temporären Überbelastung des Motors jeweils nur sehr wenige, mikroskopisch kleine Fressspuren (Kratzer) erzeugt werden. Irgendwann summieren sich die kleinen Schäden zu einem, mit dem bloßen Auge, visuell sichtbaren Schaden auf. Der Motorölverbrauch steigt und man vernimmt tickende Klopfgeräusche bei Leerlaufdrehzahl. Ein kapitaler Motorschaden droht.

Kommen wir an dieser Stelle zurück auf den bereits erwähnten geringen Nachteil der Lokasil®-Liner. Grundsätzlich ist die Reibfläche eines Lokasil® Zylinders eine brillante Oberfläche mit hervorragenden tribologischen Eigenschaften, gut für eine lange Lebensdauer und auf Grund der keramischen Verstärkung, sehr resistent gegen Verschleiß. Allerdings verfügt das Material aber über eine schlechtere thermische Leitfähigkeit im Vergleich zu Zylindern aus massivem, mit Nikasil® beschichtetem Aluminium wie beim 911/964 und 993 und einigen weiteren modernen Motoren der letzten Jahre.

Neben der schlechten Leitfähigkeit des mit dem Siliziumgerüst verstärkten Bereichs haben diese Zylinder einen weiteren Nachteil. Sie sind porös. Porosität bedeutet, dass es Lücken/Spalten/Risse/Kavernen zwischen dem infiltrierten Aluminium und den vielen Kontaktstellen des Siliziumgerüsts in mikroskopisch kleiner Form gibt. Diese material-, und gussbedingte Porosität hilft zwar geringfügig bei der Schmierölrückhaltung, verlangsamt aber leider auch die Wärmeübertragung. Silizium ist ein schlechter Wärmeleiter und Luft auch.

Die verwendeten Kolben selber verfügen neben den Ringen nur über sehr kleine Kontaktflächen, um den Druck und die Wärme zu übertragen. Porsche® verwendet sehr hochwertige, gewichtsreduzierte Kolben von der Firma MAHLE. Das Beste, was man verbauen kann.

Informationen zum Siedepunkt

Auf Meereshöhe liegt der Luftdruck bei zirka 1 Bar. Wasser kocht bei 100°C. Mit jedem Bar mehr Druck erhöht sich die Siedetemperatur um knapp 10°C. Bei 1-1,4 Bar in einem Kühlsystem eines Automobils liegt die Siedetemperatur also bei maximal 115°C. Bedenkt man nun noch, dass man durch den Zusatz von Kühlmittel den Siedepunkt noch einmal erhöht, ist mit einem „Kochen“ erst bei einer Temperatur von 120°C zu rechnen. In den Bergen kocht Wasser auf Grund des geringeren Luftdrucks etwas früher und in einem Dampfkochtopf, der unter Überdruck steht, etwas später. Ein geschlossenes Kühlsystem ist vergleichbar mit der Atmosphäre in einem Schnellkochtopf, und deshalb kann es zu deutlich höheren Wassertemperaturen kommen, ohne dass das Kühlwasser kocht.

Der Druck im Kühlsystem eines KFZ wird über ein Überdruck,- und Rückschlagventil im Deckel des Ausgleichsbehälters gesteuert. Bei zu viel Druck bläst dieses Doppelventil ab. Bei erhöhtem Unterdruck nach der Abkühlung der Kühlflüssigkeit saugt es sogar wieder Außenluft an.

Sicherlich weiß jeder Autofahrer, dass man den Deckel des Ausgleichsbehälters, bzw. des Kühlers niemals öffnen sollte, wenn das Wasser heiß ist, weil es dann schlagartig überkochen würde, sobald der Druck stark abfällt. Das Überkochen, stellt nichts anderes als einen Druckausgleich dar.

Das Überdruckventil im Deckel des Ausgleichbehälters öffnet auch, wenn bei zu viel Wasser im System „abgeblasen“ werden muss. Im Ausgleichbehälter selbst kann sich das Kühlwasser im gewissen Maße ausdehnen, ohne dass es austreten kann.

Das richtige Luftvolumen oberhalb des Wasserspiegels im Ausgleichsbehälter ist ein wichtiger Faktor und je nach Motor und Belastung unterschiedlich. Idealerweise so hoch, dass das Wasser niemals kocht. Das Gasvolumen oberhalb des Kühlwasserstands im Ausgleichbehälter wird benötigt, um die Volumenzunahme des Kühlwassers zu ermöglichen. 10 Liter Wasser vergrößern ihr Volumen um 500 ml, wenn man es von 10°C auf 107° C erhitzt.

Verliert ein Motor Wasser durch einen Riss im Kühler, eine undichte, tropfende Wasserpumpe, eine defekte Kopfdichtung, einen rissigen Ausgleichsbehälter, oder einen defekten Deckel, nimmt das Luftvolumen (Gasvolumen) im Ausgleichsbehälter zu. Dabei sinkt sowohl der Druck im Kühlwasser als auch im Gasvolumen. Dies führt dann zwingend zu einer Absenkung der Temperatur bei der das Kühlwasser kochen würde. Kochen, bzw. Sieden, hat zur Folge, dass Luftblasen entstehen. Luftblasen in einem M.96/97 Wasserboxer können, aufgrund von einigen Bereichen im Motor, in denen sich diese sammeln können, dem Motor sehr gefährlich werden. Hinzu kommt noch die Tatsache, dass sich die Wasserkühler bei den Wasserboxern hinter den Klimakondensatoren befinden. Oftmals verstopft Laub und Schmutz die Rippen der Klimakühler. Das hat zur Folge, dass die Wasserkühler nur ungenügend durchströmt werden.

Als ob die Probleme bei den beschriebenen Motoren nicht schon groß genug wären, befinden sich die Wasserkühler viele Meter vom Motor entfernt, Fahrzeugbug. Steigt also hinten im Motor die Temperatur des Kühlmittels, dauert es eine kleine Ewigkeit, bis sich dieses dann im Rahmen des Durchflusses durch die Kühler in der Front abgekühlt hat.

Kühlsysteme lassen mit der Zeit in ihrer Effizienz nach. Das hängt damit zusammen, dass sich im Inneren des Motors oberflächlich ein Belag am Material absetzt. Diese Ablagerungen verhindern den Wärmefluss. Es bildet sich eine Barriere (Skin-Effekt) mit einer geringen thermischen Leitfähigkeit. Auch die Wasserpumpen lassen in ihrer Intensität nach, da sich mit der Zeit durch abrasive Stoffe und auch durch Kavitation minimal Material von den Flügelrädern abträgt und sich das dadurch das Spaltmaß erhöht. Es ist sehr wichtig, dass man den Kühlkreislauf eines Motors so gestaltet, dass sich keine Hotzenester (Hot-Spots) in bestimmten Bereichen bilden können. Dass die höchste Stelle im Wasserkreislauf der M.96 und M.97 Motoren schlecht zu entlüften ist, muss unbedingt berücksichtigt werden. Absolute Sorgfalt beim Entlüften ist von Nöten.

Offenes vs. geschlossenes Zylinderdach (Open-Deck vs. Closed-Deck)

Die M.96 und M.97 Motoren weisen noch ein weiteres, für diese Motortypen konstruktiv kritisch zu betrachtendes Merkmal auf. Die oberen Enden der Zylinder(röhren) stehen offen, ohne stabile Verbindung zu anderen Bauteilen des Motorblocks, frei im Raum. Lediglich der Anpressdruck durch den montierten Zylinderkopf samt Kopfdichtung hält die Zylinder in Position. Motorengehäuse in dieser, Open-Deck genannten, Version lassen sich problemlos im kostengünstigen Druckgussverfahren herstellen. Bei stabileren Closed-Deck Gehäusen, bei denen die Zylinder nicht frei im Raum stehen, ist das nicht möglich. Da die Porsche AG einen Motorblock mit eingegossenen Lokasil-Linern realisieren wollte,

konnte man die Vorteile der kostengünstigen Herstellung nutzen. Ein Closed-Deck Gehäuse ist steifer. Die Deckplatte verhindert auf Grund ihrer stabilen Bauart einen Zylinderverzug. Dafür hat ein Open-Deck Gehäuse allerdings den Vorteil, dass die oberen heißen Bereiche der Zylinder besser gekühlt werden, da diese frei von Kühlwasser umspült werden. Open-Deck Motoren sind immer mit einer sehr stabilen Zylinderkopfdichtung versehen. Durch die Verwendung von Metall-Zylinderkopfdichtungen versucht man die geringere Stabilität der Konstruktion auszugleichen. Die einzelnen Zylinder bestehen jeweils aus einem Metall-Matrix-Verbundstoff-Zylinder. Ein mit Aluminium umgossener und infiltrierter Keramik-Liner aus einer Siliziumlegierung und eine dünne gegossene Aluminium-Außenhülle, die alles in Position hält. Besser wäre es, wenn die Zylinder oben eine Verbindung zum umliegenden Gehäuse hätten, also über ein mehr oder weniger geschlossenes Dach verfügten. Durch den Einbau unserer Zylinder, entsteht ein Quasi-Closed-Deck-Motor. Der obere Bereich der Zylinder, wird nicht nur durch die Kopfdichtung stabilisiert, sondern stützt sich zum großen teil umlaufend am Motorgehäuse ab. Aufgrund der stabilen Ausführung (mit umlaufenden Kühlrippen) und einer stark optimierten Temperaturableitung kann man die Cartronic-Zylinder als Garant dafür ansehen, dass es zu keinen weiteren Motorschäden der bekannten Art kommen kann.



Abbildung 20: Oberseiten eines 3,2er Boxster S und eines 3,4er Motors in Open-Deck Konstruktion

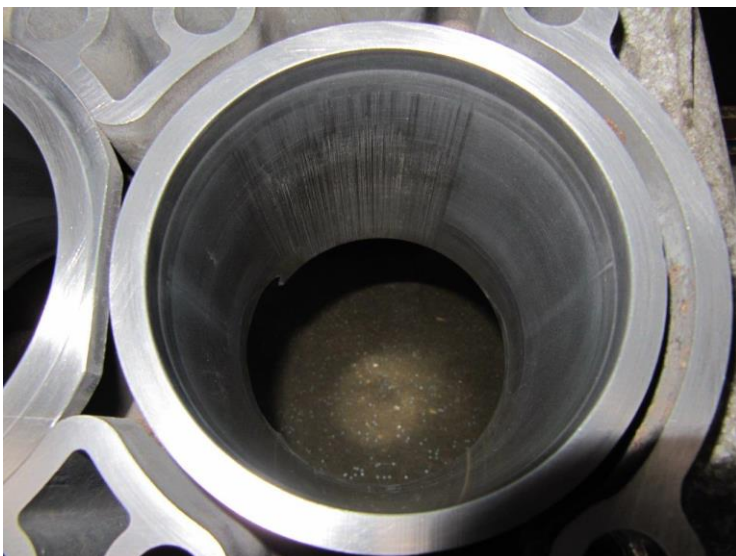


Abbildung 21: Originalzylinder mit erkennbaren „Freßspuren“ im Bereich Position 12Uhr.



Abbildung 22: Installierter Cartronic/Hartech Aluminium-Zylinder mit NiSiC-Beschichtung



Abbildung 23: Ein von Cartronic Motorsport auf Quasi-Closed-Deck modifizierter 3,8Liter Motor mit Cartronic NISIC Zylindern.

Die ständig wiederkehrende hohe Belastung der Zylinderwandungen führt zu einem allmählichen „Kriechen“. Die Bohrungen werden dabei oval und können bis zu mehr als 0,2 mm in die Richtung der Krafteinleitung wandern, um letztendlich dann zu fressen bzw. zu reißen. Dieser Anstieg der Ovalität hat vier nachteilige Auswirkungen auf die Laufeigenschaften des Motors und auch auf die Temperatur der Kolben.

- Anstieg des Blow-By von heißen, brennenden Gasen am Kolben vorbei. Diese Gase, können den Ölfilm zwischen Kolben und Zylinder „wegblasen“ und sogar verbrennen
- die ölbenetzte Kontaktfläche zwischen dem Kolben und der Zylinderwand, welche die Wärme abführen soll, reduziert sich, da in der Phase der Krafteinleitung durch den Kolben auf die Zylinderwand nach der Zündung des Gemischs das Kolbenhemd nur noch partiell Kontakt mit der Zylinderbohrung hat, da diese bereits gefressen hat.
- Da die Kolbenringe nicht imstande sind, sich in eine ovale Form zu verbiegen, tragen diese auch nicht vollständig und erfüllen daher ihre Aufgabe nicht.

- Wenn der Motor abgestellt wird, legen sich die Kolben durch die Schwerkraft auf die unteren Flächen der Zylinderbohrungen auf. Das Öl sammelt sich ebenfalls am Boden der Bohrung (Position 6Uhr). Ein vorschriftsmäßiges, geringes und gleichmäßiges Spiel eines runden Zylinders hält auf Grund der Oberflächenspannung etwas Öl in dem Spalt zwischen dem Kolben und der Bohrung. Wenn der Abstand durch die Ovalität zu groß wird, kann das Öl wegsickern und hinterlässt einen relativ trockenen Laufflächenbereich. Dies schadet der Lauffläche und dem Kolben beim nächsten Kaltstart.

Einige Porschefahrer haben die schlechte Angewohnheit, ihr Fahrzeug mit „etwas Gas“ zu starten. Da der meiste Verschleiß aber im Startvorgang stattfindet und bei diesen Motoren sehr wenig Spritzöl pro Hub verteilt wird, laufen speziell die großen 98er Bohrungen vom 3,8er Motor in den ersten Sekunden eher trocken als gut geschmiert. Deshalb empfehlen wir dringend, die Motoren ohne Fuß auf dem Gaspedal zu starten und vor dem Fahrbeginn erst einmal 10-15 Sekunden im Leerlauf laufen zu lassen. Dadurch tritt genügend Spritzöl in die Bohrungen ein.

Die Motoren der neuen Bauart unterscheiden sich zu den älteren, konventionellen 4-Zylinder-Motorkonzepten. Traditionelle Motoren konnten sich noch auf das hochspritzende Öl von der Kurbelwelle zur Schmierung der Bohrungen verlassen. Obwohl in der Realität diese Funktion hauptsächlich vom „Ölnebel“ erfüllt werden sollte, gab es reichlich Spritzöl, welches die Bohrungen zusätzlich schmierte. Der Ölstand bei diesen Motoren war höher als die Kurbelwellenwangen und genau die lieferten dann das Schleuderöl, um die „trockenen“ Zylinder für den Kaltstart zu schmieren. Dies trifft nicht auf die Motoren der Bauart M96/97 zu.

Tatsächlich war die Menge an Öl, die durch die Kurbelwelle in die Bohrungen hochgeschleudert wurde, in den 944 S2, 2,7 und 968er Motorblöcken so groß, dass sogar Abdeckbleche nötig waren, um zu verhindern, dass zu viel Öl hochgeschleudert wurde. Dadurch verhinderte man auch, dass sich das Ölsumpfniveau bei hohen Drehzahlen zu weit absenkte.

Die Kurbelwelle in den neueren M.96/97 Motor ist durch den Kurbelwellenträger und die Kunststoffabschirmungen nicht nur sehr stark vom Kontakt mit Öl abgeschirmt, sondern der Ölstand in der Ölwanne ist auch noch niedriger als der „tiefste“ Bereich der Kurbelwellenwangen. Aus diesem Grund entsteht wenig bis gar kein „Kurbelwellen Schleuderöl“, so dass sich hauptsächlich auf eine homogene Verbreitung von Ölnebel aus den Spritzdüsen für das Schmieren der Bohrungen verlassen werden muss. Es gibt eingebaute Spritzdüsen für jeden einzelnen Zylinder, welche die Bohrungen aber nur richtig schmieren können, nachdem ausreichend Öl bis in den Kronenbereich (Kolbenboden) der Kolben gesprüht wurde, um damit dann die Kolbenhemden zu schmieren und den Kolben zu kühlen. Nur wenn sich Öl im gesamten Bohrungsbereich verteilt, ist für eine befriedigende Schmierung gesorgt. Wie bereits erwähnt, sind die Spritzöldüsen auf Bank 2 ungünstig platziert, weil dort aufgrund der Stellung der Pleuelstangen eine schlechte Schmierung stattfindet. Die Pleuelstangen verdecken einen großen Bereich im Zylinder. Fast alle konstruktiven Mängel die zu den Motorschäden führen, wirken sich in der Summe primär auf der Bank 2 aus.

Es ist auch eine interessante Tatsache, dass die Kurbelwellenwangen in den späteren Modellen etwas breiter sind. Daraus resultiert, bei der gleichzeitig modifizierten Konstruktion des Kurbelgehäuseträgers, dass von der Ölmenge, die in Richtung Zylinderbohrungen und Kolbenboden gespritzt wird, fast nichts mehr an den Zylinderwandungen ankommt. Dies scheint sich erst einmal nicht unbedingt negativ auszuwirken. Wenn man aber dann noch realisiert, dass auf Grund der Drehrichtung der Kurbelwelle das wenige Schleuderöl auf die Nicht-Druckseiten der Zylinder beider Zylinderbänke gespritzt wird, wird klar, dass man nicht in der Lage war, sich ein vorhandenes Funktionsprinzip zunutze zu machen. Die beste Ölverteilung findet im Bereich der Bank 1 statt. Das Öl tropft/fließt dann von oben

(Position 12Uhr) nach unten, auf den Bereich des Zylinders an dem der Kolben im Arbeitstakt anliegt und Druck ausübt. Das sind optimale Bedingungen. Auf der gegenüberliegenden Seite, der Bank 2 tropft das Öl ebenfalls von oben nach unten. Zum einen ist es weniger Öl, da die Pleuelstellung eine vollständige Benetzung verhindert und zum anderen ist es nicht der druckbelastete Bereich des Zylinders, der benetzt wird, sondern der nicht belastete, also unkritische Bereich des Zylinders. Die innere Schmierölverteilung der M96/97 Motoren stellt konstruktiv kein Highlight dar.

Berücksichtigt man all diese Faktoren, kommt man dem Gründen, warum viele der Motoren ausfallen, näher. Wie so oft, sind es auch hier mehrere Faktoren, die sich in Kombination und Wechselwirkung aufsummieren, um dann irgendwann in einem Motorschaden zu resultieren. Die wichtigste Erkenntnis ist die, dass die Zylinder der Bank 2 deutlich stärker belastet sind als die der Bank 1. Die möglichen Gründe für einen Motorschaden haben wir bereits mehr oder weniger detailliert erörtert. Nicht zu unterschätzen ist der Einfluss des Fahrers, denn eine unsachgemäße Behandlung des Motors spielt bei einigen Motorschäden eine gehörige Rolle. Nicht vergessen darf man die „natürliche“ Alterung des Motors über die vielen Millionen von Verbrennungszyklen. Auch die Alterung des Schmieröls, der Kühlflüssigkeit, Schmutz in den Kühlern der Klimaanlage und der Wasserkühlung als auch den sich aufbauenden Skin-Effekt im Inneren des Motors darf nicht vergessen werden. Wir wollen damit sagen, dass die Ursachen nicht allein konstruktionsbedingt sind.

Das Zusammenspiel konstruktiver Schwächen macht den Motorschaden

Jeder einzelne beschriebene und von uns analysierte Schwachpunkt der Motoren bedeutet für sich gesehen keinen Weltuntergang. In ihrer Gesamtheit aber führen diese Schwächen dann zum Ausfall der Motoren. Die Zylinder der Bank 2 sind konstruktiv bedingt im Nachteil. Es ist nicht überraschend, dass sich die bekannten Probleme der Kolbenfresser bei den großvolumigen und leistungsstarken Motoren primär dort zeigen.

Obwohl beide Motortypen über moderne Designmerkmale verfügen, sind es gerade die, die nicht ganz unschuldig an den Motorschäden sind. Das verwendete Material (Lokasil) in den Zylinderbohrungen ist sehr modern und sicher perfekt, wenn es nicht thermisch völlig überlastet würde.

Durch die Platzierung des Wasserthermostats an der falschen Stelle reagiert das Kühlsystem sehr träge auf plötzliche Temperaturanstiege im Motor und unterstützt sogar die Überhitzung des Systems merklich. Wasserkühler, die sich sehr weit vom Motor entfernt befinden, sind, wie bereits gesagt, auch nicht gerade das, was man sich als Motorkonstrukteur wünscht. Die Öffnungstemperatur der verwendeten Thermostaten wurde falsch berechnet. Der sehr langsame Kühlwasserfluss stellt ebenfalls ein Problem dar. Eine Überhitzung der Zylinder, ist bei dem geringen Anteil an Kühlwasser, welches in diese Region geleitet wird, somit schon fast vorhersehbar. Eine ungenügende innere Schmierung durch ungünstig platzierte Spritzdüsen und zu wenig Schleuderöl summieren sich am Ende zu einem sehr ernstzunehmenden Problemcocktail auf.

Wir vertreten die Ansicht, dass sich sowohl die im Vergleich zu früher, verlängerten Ölwechselintervalle als auch der empfohlene lebenslange Verbleib der Kühlflüssigkeit im System, kontraproduktiv bemerkbar machen. Andere Fahrzeughersteller empfehlen eine maximale Nutzungsdauer der Kühlflüssigkeit von 5 Jahren.

Porsche® empfiehlt ein hochwertiges Öl, welches allerdings später für diese großen Toleranzen zwischen Kolben und oval gewordenen Zylinder einfach eine zu geringe Viskosität hat. Wir verwenden bei diesen Motoren ein sehr spezielles mit einem Viskositätsverhältnis von 10W/60. Teure und hochwertige Öle dieser Spezifikation verwendet man nicht nur seit Jahren im Motorsport, sondern werden auch von BMW für die M-Fahrzeuge und von Ferrari für einige Modelle empfohlen.

Wir halten es für sehr wichtig, regelmäßige Ölwechsel alle 7500 Km vorzunehmen.

Die unterschätzte Tragweite der falsch angezeigten Wassertemperatur - What you see is not what you get!

Wir haben festgestellt und konnten beweisen, dass die Temperaturen, die am Instrument im Fahrgastraum angezeigt werden, nicht die wahren Temperaturen des Kühlwassers im Motor sind. Es liegt ein Offset von 6-8°C vor, welches dazu führt, dass man als Fahrer noch ein gutes Gefühl hat, obwohl alle Alarmglocken schon läuten müssten.

Fahrer, die den Motor ihres Porsches erst vorsichtig, aber nicht bei zu geringen Drehzahlen und hoher Last warmfahren, machen es richtig.

Das Wassertemperatur-Instrument zeigt zu geringe Temperaturen an. Aber um welche Temperatur handelt es sich überhaupt? Die angezeigte Temperatur entspricht der, die man am Ausgang der Wasserkühler messen kann. Leider ist diese Temperatur aber nicht von wahrem Interesse.

Gut wäre es, wenn relevante Temperaturen angezeigt würden, so wie man es von den luftgekühlten Motoren gewohnt war. Dort konnte man nämlich noch die Öltemperatur ablesen. Leider verzichtete man bei den 986 und 996er Modellen auf eine Öltemperaturanzeige, die über die Belastung des Motors genaue Auskunft gibt. Bei den wassergekühlten Motoren wäre es zudem sinnvoll gewesen, die Temperatur der Kühlflüssigkeit in unmittelbarer Nähe des Zylinderkopfes oder noch besser im Umfeld der Zylinder zu messen. Diese Temperaturen wären, wenn sie dann mal angezeigt würden, dramatisch. Auch wenn man es schaffen würde, die Durchschnittstemperatur des Wassers an der Stelle anzuzeigen, an der es mit maximaler Temperatur den Motor verlässt, ist und bleibt es immer noch eine Durchschnittstemperatur aus zirka 20% sehr heißem Wasser aus dem Bereich der 6 Zylinder und rund 80% deutlich kühlerem Wasser aus dem Zylinderkopfbereich. Leider ist es nur mit einem sehr hohen technischen Aufwand möglich die Wassertemperaturen in der Nähe der Zylinder zu messen.

Pro Zylinder stehen bei den betroffenen Motoren nur spärliche 3,5 – 4% des gesamten Wasservolumens zur Verfügung.

Die Designveränderung der Kopfdichtung hat dazu geführt, dass im Vergleich zu den älteren 3,4 Liter 996 Motoren einigen Zylindern mit rund 50% weniger Wasser, unterversorgt sind.

Wir halten das vor dem Hintergrund, dass das Wasserthermostat im Rücklauf nach dem Kühler sitzt und damit von der Position her viel zu spät auf Temperaturerhöhungen im Motor reagiert, für ein echtes Problem, wenn nicht sogar für eines der größten Probleme. Durch den Einbau des speziellen Niedrigtemperatur- Thermostaten konnten wir die Nachteile, die durch die träge Reaktion des original verwendeten Thermostaten entstanden, zu einem gewissen Anteil kompensieren.

Zu hohe Temperaturen sind nicht zu unterschätzen. Die hohen Zylindertemperaturen, die durch die Reibung infolge der hohen Verbrennungsdrücke bei den 3,8Liter Motoren entstehen, führen bei einigen Motoren dazu, dass sich die seitliche Ferrost-Gleitschicht auf den Kolbenhemden ablöst. Kaum zu glauben, dass man auf diese, in den ersten, noch recht drehmomentschwachen Motoren ohne Folgen für die Haltbarkeit verzichten konnte. Würde man heute einen 3,8er X51-Motor (Leistungsgesteigerte Version) mit Kolben ohne seitliche Kolbenhemdbeschichtung bestücken, könnte es durchaus passieren, dass dieser Motor keine 10.000 Km ohne Schaden überstehen würde.

Schäden durch angepasstes Nutzungsverhalten verhindern

Da man nicht mit absoluter Sicherheit sagen kann, welcher Betriebszustand die größten Probleme bei den Motoren verursacht, empfehlen wir auf jeden Fall, die Motoren kurz nach dem Kaltstart nicht länger als nötig im Leerlauf laufen zu lassen.

Die M96/97 Motoren verfügen über eine Zusatzluftpumpe. Die Motoren laufen nach dem Kaltstart (in der Warmlaufphase) recht fett. Durch mehr verbrannten Kraftstoff regt man die Katalysatoren schneller an zu arbeiten. Die Hersteller müssen diese Strategie verfolgen, da sie ansonsten die Abgastests im Rahmen der Typisierung eines Motors nicht bestehen würden. Leider geht das aber nur zulasten der Lebensdauer eines Motors, da zu hohe Einspritzmengen den Ölfilm an den Zylinderwandungen wegwaschen können. Dies bedeutet nicht nur Mangelschmierung sondern auch eine Ölverdünnung mit Kraftstoff. Man sollte also recht schnell nach dem Kaltstart des Motors losfahren. Die Warmlaufphase wird dadurch verkürzt. Keinen Sinn macht es, ja ist sogar kontraproduktiv, sofort nach dem Motorstart den Motor mit hohen Drehzahlen und zu zügigem Start zu quälen. Auch sollte man es unterlassen, Vollgas zu geben oder den Motor im hohen Gang mit niedrigen Drehzahlen übermäßig zu belasten bevor die vorgeschriebenen Öl,- und Wassertemperaturen noch nicht erreicht sind.

Besonders vermeiden sollte man, die Motoren untertourig (spritsparend) zu fahren, um dann im Worst-Case auch noch aus niedrigen Drehzahlen im hohen Gang heraus zu beschleunigen. Dieses Verhalten führt dazu, dass die Zylinderwandungen permanent zu hoch belastet werden. Motoren aus Tiptronic-Fahrzeugen sind aus diesem Grund immer höher belastet (und sterben auch früher) als Motoren aus Fahrzeugen mit Schaltgetriebe, bei denen man die Gänge erfahrungsgemäß bis in höhere Drehzahlen ausdreht.

Gefahr Saisonkennzeichen

Viele Fahrzeugbesitzer bewegen ihren Liebling nur in den schönen Jahreszeiten. Nimmt man den Renner im Frühjahr wieder in Betrieb, stellt man häufig fest, dass sich die Batterie über die Wintermonate hinweg entleert hat und das Fahrzeug schlecht oder gar nicht mehr anspringt.

Springt der Motor sofort nach dem Drehen des Zündschlüssels kurz an, stoppt aber nach einem vernehmbaren „Schlag“ wieder, hat man ein ernstes Problem, denn es ist zu einen kapitalen Motorschaden gekommen. In solchen Fällen ist es zu einem Wasserschlag gekommen. Hervorgerufen durch eine defekte Zylinderkopfdichtung. Während des Winterschlafs konnte Wasser in einen der Brennräume eindringen. Sofern es ein Brennraum war, bei dem sowohl die Ein- als auch die Auslassventile geschlossen waren, sammelt sich die Kühlflüssigkeit im Brennraum.

Die Schäden sind nicht typisch für spezielle Zylinder, sondern treten unspezifisch mal auf der „gesunden“ Bank 1 aber auch auf der „kranken“ Bank 2 auf.

Je nach Stellung der Ventile, kann dieses Wasser nicht in den Auspuff ablaufen, sondern stellt beim Start des Motors ein nicht komprimierbares Medium dar, gegen das der Kolben schlägt. Ein Stück aus der Zylinderwandung kann dabei regelrecht weggesprengt werden. Bei uns tauchen regelmäßig Fahrzeuge mit derartigen Schäden auf.

Wirklich verhindern kann man die nicht. Man kann aber vorbeugen, indem man darauf achtet, wie der Wasserstand im Ausgleichbehälter bei kaltem Motor ist, bevor man den Wagen in den Winterschlaf entlässt. Am besten eine kleine Markierung am Behälter machen. Findet man im Frühjahr den Wasserstand deutlich unter dieser Markierung vor, dann sollte man im Zweifelsfall erst einmal telefonieren.

Defekte Einspritzventile als Ursache für Motorschäden und „unrunden“ Motorlauf

Was sich nach längeren Standzeiten ebenfalls negativ auswirken kann, sind undichte, also tropfende Einspritzventile. Diese leckenden Ventile, „entlassen“ den vom System gehaltenen Benzindruck tropfenweise in die Brennräume. Meist ist nur ein einziges Ventil betroffen. Geschieht das regelmäßig nach dem Abstellen des Motors auf demselben Zylinder, dann führt das zu einem wegwaschen des verbliebenen Öls in den Zylindern. Beim Neustart des Motors, herrscht dann in diesem Zylinder eine Schmierungsmangel. Zudem führen tropfende Einspritzventile zu einer Ölverdünnung mit Kraftstoff.

Viele Motoren sind inzwischen 24 Jahre alt. Wir stellen regelmäßig fest, dass die Spritzbilder oder die Einspritzmengen der Einspritzventile mangelhaft sind.

Seit 2003 führen wir bei allen von uns revidierten und reparierten Motoren eine Überprüfung und Revision der Einspritzventile durch. Wir bieten diesen Service auch als Dienstleistung für Jedermann an.



Abbildung 24: Unsere Einspritzventil Service-Station

Der Sinn dieser Veröffentlichung

Ein Kunde, der seinen Porsche 997 verkaufen wollte, bat irgendwann um eine Beschreibung der Arbeiten, die wir an seinem Motor im Rahmen der Reparatur nach einem Kolbenfresser auf zwei Zylindern durchgeführt hatten. Er wollte dies als wertsteigerndes Verkaufsargument einsetzen. Keine schlechte Idee, dachten wir.

Wir entschieden uns, unsere Art und Weise der Motorrevisionen zu beschreiben und offen zu kommunizieren. Letztendlich werden alle davon profitieren, wenn es erst einmal allgemein bekannt ist, dass es eine Möglichkeit gibt, diese Porschemotoren nachhaltig zu reparieren. Natürlich machen wir auch unsere Mitbewerber noch schlauer, als sie sind,

Damit können wir und unsere Entwicklungspartner aber sehr gut leben, da es letztendlich immer klar sein wird, wer diese Informationen veröffentlicht hat.

In den letzten Jahren haben wir es mit vielen frustrierten und verärgerten Kunden zu tun gehabt, die nach einer unfachmännischen Reparatur ihres Motors, mit einem neuerlichen Motorschaden konfrontiert wurden. Streng nach Murphies Law, selbstverständlich immer nach Ablauf der Gewährleistungszeit. Das, was man bei diesen Pfusch-Motoren zu sehen bekommt, ist teilweise so unglaublich, dass man zweimal hinschauen muss.

Einer dieser Motoren verfügte über Kolben in verschiedenen großen Abmaßen, andere waren mit definitiv „gut gebrauchten“ Kolben mit Riefen versehenen versehen worden.

Jeder, der unsere Ausführungen gelesen hat, ist in der Lage mitreden zu können. Es wäre schön, wenn sich zukünftig einige Firmen nicht mehr trauen, mangelhaft reparierte Motoren an ihre Kunden auszuliefern.

Selbstverständlich hoffen wir auch darauf, dass sich noch weitere fachkundige Kooperationspartner in Europa finden lassen, die zukünftig auf eine Zusammenarbeit mit uns setzen.

Wir sind sehr stolz auf unsere Leistung und dankbar für die Unterstützung, die wir von unseren Entwicklungs- und Kooperationspartnern im In- und Ausland bekommen haben und weiter bekommen. Besonderen Dank möchten wir unserem britischen Freund Barry Hart aussprechen. Seine Erfahrungen aus der Vergangenheit waren und sind einfach Gold wert.

Bewertung verschiedener Instandsetzungsmethoden

-Ausbuchsen vs. Aufbohren-

Die meisten, die Wasserboxer-Motoren der Baureihen M96/97 reparieren, verfolgen eine sehr individuelle Strategie. Oftmals sind diese Vorgehensweisen von finanziellen Gedanken der Gewinnmaximierung geprägt. Sehr oft spielt Unwissenheit oder nicht genügend Erfahrung eine Rolle. Nicht eine der von unseren Mitbewerbern angebotenen Strategien halten wir für empfehlenswert.

Manche behaupten, dass die Kolbenringe die Schuld an den Kolbenfressern tragen. Dies wurde von uns widerlegt.

Andere schwören auf die Verwendung von Eisenguss-Zylindereinsätzen weil sie der Ansicht sind, dass es „nur“ an der Lauffläche der Lokasil-Zylinder liegt und verbreiten diese Meinung seit langer Zeit sehr konsequent. Unzählige Dumping-Angebote auf der Ebay-Plattform, bestätigen das.

Diese Theorie wurde ebenfalls von uns widerlegt.

Tatsächlich gibt es auch Reparaturbetriebe, die die entstandenen Fressspuren im Zylinder entfernen, indem sie die Bohrung der betroffenen Zylinder vergrößern, bis alle Riefen verschwunden sind. In diesen Zylindern setzen sie dann Kolben mit angepassten Durchmesser ein. Dass diese Methode die unfachmännischste ist und sich sogar kontraproduktiv auswirkt, konnten wir auch beweisen. Welchen Sinn soll es machen, bereits zu dünne Wandstärken noch dünner zu machen?

Leider werden wir oft mit Firmen verglichen, die Billigreparaturen mit Zylinder-Linern aus Eisenguss bzw. Stahl anbieten. Anstelle von Zylindern, die wir einsetzen, sprechen die Kunden von Büchsen bzw. Stahllinern.

Unser Team verbringt im Rahmen von Beratungsgesprächen viele Stunden damit, unsere Kunden darüber aufzuklären, dass eine Schadensreparatur mit Zylindern aus Eisen,- bzw. Stahlguss zwar eine Alternative darstellt, aber eine völlig ungeeignete Methode darstellt um eine Motor nachhaltig in Stand zu setzen. Zudem ist diese Methode nicht vergleichbar mit der, die wir anwenden.

Das, was man den Kunden für eine derartige Reparatur an Reparaturkosten abverlangt, ist eine Frechheit.

Dass man mit dem Einsetzen von billigen Eisen-Linern keinen Porschemotor fachgerecht reparieren kann, wissen die Firmen, die diese Billigtechnologie für teures Geld verkaufen, selbst am besten. Allein die Tatsache, dass die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Stahl und Aluminium stark

differieren, macht diese Art der Reparatur zu einem absoluten No-Go. Die thermische Leitfähigkeit von Gusseisen ist zudem um fast 35% schlechter als die der verwendeten Zylinder aus Lokasil-Zylinder, welche auch nicht über gute Wärmeleitfähigkeitswerte verfügen. Der Keramikkorpus, der sich im Zylinder befindet, leitet die Wärme ebenfalls sehr schlecht ab.

Wir haben verschiedene Motoren gesehen, bei denen es zu einer Drehung der Zylindereinsätze gekommen ist weil diese sich gelöst hatten. (Siehe Abbildung 24) Das passiert, weil sich das Aluminium, mit dem der Gussliner umgeben ist, sich mehr und schneller ausdehnt als der eingeschobene Zylinder-Liner. Dieser kommt der Ausdehnung nicht schnell genug hinterher. Weiterhin besteht das Problem, dass der für die Eisenbüchse aufgebohrter Bereich, nicht aus reinem Aluminium besteht, sondern aus der Lokasil-Legierung. Man bohrt also in Lokasil und nicht in Aluminium. An der Kontaktfläche zum Zylindereinsatz liegt dann Silizium und Aluminium frei. Silizium ist ein extrem schlechter Wärmeleiter. Andere Motoren, die auf diese Art repariert wurden, wiesen nach kurzem Betrieb, Undichtigkeiten im Zylinderkopfbereich auf, weil sich dort unter Temperatur schnell ein Absatz zwischen dem sich stark ausdehnenden und dabei auch länger werdenden Aluminium und der sich weniger längenden Eisenbüchse ausbildet. Die Kopfdichtung hat in diesem inneren Bereich des Zylinders dann kaum noch Anpressdruck.

Verwendet man Zylinderliner aus Eisen, ist es zwingend notwendig, den Ausdehnungskoeffizienten der unterschiedlichen Materialien angepasste Bohrungen herzustellen. Ohne das Wissen über das richtige Kolbenspiel sollte man solche Abenteuer erst gar nicht beginnen. Um das alles zu umgehen, vergrößert manche die Zylinderbohrung im Lokasilzylinder. Die originalen Aluminiumkolben dehnen sich nahezu in dem gleichen Maß aus, wie sich der Lokasil®/Aluminium-Zylinder ausdehnt. Das Verhältnis der thermischen Ausdehnung beider Bauteile ist also weitestgehend aufeinander abgestimmt. Das Kolbenspiel, das sich aus dem Unterschied des Durchmessers des kleineren Kolbens zu der größeren Zylinderbohrung ergibt bestimmt man, wenn man weiß welche Materialpaarung aufeinander treffen wird. Kolben mit Maßen für Aluminiumzylinder sind allerdings immer zu groß, wenn man diese in „Stahl“-Zylinder mit gleicher Bohrung verbaut, da der Zylinder deutlich weniger im Durchmesser zunimmt als der Kolben, wenn die Temperaturen steigen. Hinzu kommt, dass sich die „Stahl-Liner“ auch noch langsamer ausdehnen, da nicht nur der thermischer Ausdehnungskoeffizient sondern auch die thermische Wärmeleitfähigkeit deutlich geringer ist als das von Aluminium. Es würde also umgangssprachlich ausgedrückt „eng für den Kolben“. Die meisten Firmen wissen das inzwischen, da sie die entsprechenden, meist sehr kostenintensiven Erfahrungen machen durften.

Um diese Probleme zu umgehen, vergrößert man das Kolbenspiel und handelt sich damit gleich die nächsten Probleme ein.

Jedem Fachmann auf diesem Gebiet sind diese unterschiedlichen Eigenschaften von Leichtmetalllegierungen, Stahl und Eisen bekannt. Um solch einen Motor standfest zu bekommen, müsste man sehr viel Geld in die Hand nehmen. Tatsächlich gibt es Großserienmotoren, die mit in Aluminium eingegossenen Stahlzylindern laufen. Diese Zylinder werden dann allerdings bereits im Rahmen des Gießvorgangs des Blocks mit in diesen eingegossen, ähnlich, aber doch anders wie bei den Lokasil®-Einsätzen bei den Porschemotoren. Zudem sind die Stahlzylinder sehr aufwändig konstruiert um einen perfekten Verbund/Kontakt zwischen den beiden Materialien sicher zu stellen. Eisenguss stellt bis heute einen recht zuverlässigen, günstigen und leicht zu bearbeitenden Werkstoff für Zylinder von Motoren in Fahrzeugen des unteren Preissegments dar. Im wassergekühlten Porschemotor haben solche einfache Technologien allerdings nichts zu suchen. Die Experten, die sich das als Lösung für die Motorprobleme bei den Porschemotoren ausgedacht haben, sind definitiv nicht auf dem neuesten technischen Stand. Wir raten davon ab, sich auf ein solches Abenteuer einzulassen. Es kann nur schiefgehen, da es sich um eine unfachmännische Reparaturmethode handelt. Weil die Zylindereinsätze recht günstig zu erwerben sind, sind die Renditen, die damit eingefahren werden, unverschämt gut. Somit bleiben diese, für

die wenigen Zeitgenossen reserviert, die keinerlei Interesse an einem perfekt reparierten Porschemotor haben, sondern auf Kosten von gutgläubigen Kunden auf maximalen Ertrag aus sind ohne Wert auf Qualität zu legen.

Die Nachteile hier noch einmal im Detail:

1. Zu geringe Festigkeit des Blockmaterials.

Da die Aluminiumlegierung des Motorgehäuses nicht genügend Festigkeit hat um einen Zylinder-Liner in Position zu halten kann es dazu kommen, dass sich die eingeschrumpften Einsätze im Gehäuse drehen. Entweder ist die Wandstärke des Liners zu dünn und verzieht sich dadurch nach dem einschrumpfen (zerknittert) oder sie ist von der Wandstärke zu dick. In dem Fall ist dann aber die korrelierende Wandstärke des umgebenden Aluminiums des Gehäuses in dem der Liner steckt, zu dünn, bzw. zu schwach. Der Liner wird dann nicht fest genug gehalten. Da sich Aluminium zudem stärker ausdehnt als Eisenguss, gibt es während des Betriebs immer wieder kurze Phasen, in dem der Zylinderliner mehr oder weniger lose im Motorgehäuse steckt.

2. Liner ohne Kragen im Bereich des oberen Totpunkts (Bereich unter der Kopfdichtung) werden vom Druck der Zylinderkopfdichtung nach unten gedrückt. Dies führt zu Wassereinbrüchen und Schäden an Kolben, Zylindern, Zylinderköpfen und Dichtungen.
3. Wegen der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Kolben aus Aluminium und der eingeschrumpften Eisengussbuchse muss eine zusätzliche Toleranz von 0,025 mm erzeugt werden. Der Kolben dehnt sich über die ansteigende Temperatur mehr aus als der Zylindereinsatz aus dem magnetischen Eisenmaterial des Zylindereinsatzes. Ohne diese zusätzliche Toleranz käme es sehr schnell zu einem Kolbenfresser. Da man auch einen Porschemotor anteilmäßig häufig im unteren Last- und Geschwindigkeitsbereich bewegt, werden die Kolben daher nicht wirklich bedenklich heiß und dehnen sich deshalb auch nicht so stark aus. Das Kolbenspiel ist natürlich auf den Worst-Case ausgelegt. Aus diesem Grunde liegt der Ölverbrauch bei Motoren mit "Stahlbuchsen,, deutlich höher als bei Fahrzeugen mit Leichtmetallzylindern aus geschmiedetem Aluminium und NiSiC (Nikasil- Äquivalent). Das Kolbenspiel ist nämlich in den niedrigen Lastbereichen immer zu groß. Und da wo es von den Temperaturen passen würde, betreibt man den Motor nur sehr selten.
4. Kein Hersteller von Eisen/Stahllinern konnte bisher eine Änderung von Open-Deck auf Closed-Deck verwirklichen. Motoren mit Closed-Deck sind langlebiger als Motoren, bei denen die Zylinder frei im Raum stehen und oben nur von der aufgedrückt Zylinderkopfdichtung stabilisiert werden. Cartronic verbaut deshalb ausschließlich einteilige Komplettzylinder aus geschmiedetem und hochfestem Aluminium mit den entsprechenden Kragenbereichen im oberen Bereich des Zylinders. Dadurch wird jeder einzelne Zylinder zusätzlich am Motorgehäuse abgestützt und es entsteht eine Quasi-Closed-Deck Konstruktion. Eine sehr stabile und optimale Auflagefläche für die Kopfdichtung ist ebenfalls gewährleistet. Schäden an der Zylinderkopfdichtung sind bei Motoren die durch uns revidiert und optimiert wurden, bisher nicht aufgetreten
5. Motorenhersteller legen besonderen Wert darauf, dass die Motorenblöcke, bzw. Gehäusehälften der Motoren möglichst aus keinem Materialmix bestehen, sondern aus einem homogenen gegossenen Material. Dadurch erzielt man eine einheitliche Temperaturverteilung, welche gewährleistet, dass jeder einzelne Zylinder unter gleichen thermischen Bedingungen läuft. Ein Aluminiumkolben, gepaart mit einem Aluminiumzylinder erlaubt zudem minimalste Lauftoleranzen (Kolbenspiel). Ist damit ein Garant für minimalsten Ölverbrauch und Schadstoffausstoß. Dies ist besonders wichtig, da die meisten Motoren aufgrund der geringen Belastungen im realen Betrieb immer thermisch unter dem maximal möglichen operieren. Durch die moderne Magermixtechnologie ergeben sich „heißere“ verbrennende Kraftstoffgemische. Auch das

muss bedenken und mit einem angepassten, erhöhten Kolbenspiel reagieren. Nur so kann man Schäden an Kolben und Zylindern vermeiden.

6. Das, was das Kühlwasser tatsächlich bewirkt, kann man mit ca. 10 % Effizienz bewerten. Das wenige, was also an Kühlwirkung im Inneren eines Zylinders oder Zylinderkopfes bzw. an den Stellen wo Kühlung gebraucht wird, ankommt, wird durch die Verwendung von unterschiedlichen Materialien wie Stahl/Eisen und Aluminium noch einmal minimiert. Die Weiterleitung von Temperaturen zwischen zwei unterschiedlichen Materialien wird durch diese bewusst erzeugten Barrieren in jedem einzelnen Zylinder mit Stahlbuchse stark behindert. Ein homogener Temperaturfluss ist konstruktionsbedingt nicht mehr möglich. Zudem ist es unmöglich eine schlüssige Verbindung zwischen Linder und Gehäuse herzustellen. Wir gehen davon aus, dass sich im besten Fall ein Tragbild von 60% ergibt. 40% der Oberfläche des Liners steht in keinem Kontakt mit dem Aluminium. Motoren die unter Verwendung von Eisen/Stahl Zylinder- einsetzen repariert wurden stellen also in Sachen Temperaturabfluss bzw. Kühlung einen extrem schlechten Kompromiss dar. Jeder diese Motoren ist nach der Reparatur thermisch ungesünder als er vorher war.

Einige Kunden sind uns in den letzten Jahren abgesprungen, weil die Reparaturkosten mit Zylinderbuchsen aus Eisen/Stahlguss für geringere Kosten angeboten werden. Einige Kunden, die sich für die günstige Methode entschieden hatten, kontaktierten uns innerhalb eines Zeitraums von 1,5-2 Jahren erneut, weil Motoren, die sie nach dieser Methode hatten repariert lassen, einen erneuten Schaden erlitten hatten.



Abbildung 23: Erneuter Motorschaden durch eine sich gelöste und um rund 40° gegen den Uhrzeigersinn verdrehte „Stahl“-Zylinderlaufbuchse. Beachten Sie das Loch für die Kolbenbolzenmontage (links auf Position 2Uhr)

Ausbüchsen stellt keine Option dar, Aufbohren erst recht nicht, da man dabei sie ohnehin zu schwachen Wandstärken der Zylinder noch fragiler macht. Diese neigen danach noch eher zu Verformungen unter Druck. Ein aufgebohrter 3,8 Liter Motor in der X51 Ausführung zeigte nach nur 11.500 km einen erneuten kapitalen Motorschaden.

Zudem sind die Kosten für Kolben in Übergröße recht hoch, da diese individuell hergestellt werden müssen. Da diese Art der Reparatur mit absoluter Sicherheit zu erneuten Schäden an den gleichen Zylindern führt, raten wir davon ab.

Manche selbsternannte Spezialisten sind sich sicher, dass es die Änderung von gegossenen auf geschmiedete Kolben war, die die Probleme verursachen. Das ist Unsinn, da es sich dabei eindeutig um

eine Verbesserung handelte. Wäre es so, wären die Probleme ganz sicher auch auf beiden Banken zu erkennen gewesen.

Gegossene Kolben verhalten sich nahezu genauso wie geschmiedete Kolben. Wären die Kolben die Ursache, würden zudem deutlich mehr Motoren ausfallen.

Mehr Spritzöldüsen - weniger Öldruck?

Unsere Versuche mit einem zusätzlichem Satz Spritzöldüsen verliefen sehr spannend.

Auf Grund der besseren maschinellen Ausstattung, wurden fast alle diese Versuche bei unserem Partner Hartech in England gemacht. Nachdem wir die bearbeitungstechnischen Probleme gelöst hatten, wie man die nötigen Bohrungen für die Düsen setzen konnte, begannen wir mit den ersten Versuchen. Wir waren uns sicher, dass sich der Öldruck verringern würde, da man es ja mit sechs zusätzlichen Spritzölstellen zu tun hatte. Wir kannten den Effekt eines sinkenden Öldrucks wenn z.B. ein Kurbelwellenlager ausgelaufen ist. Genau das erwarteten wir nun auch.

Wir waren sehr überrascht, dass der Öldruck stieg und nicht fiel. Auch die Öltemperatur stieg nicht auf das übliche Niveau. Erst durch Gespräche mit unseren Schmieröl-Spezialisten konnten wir Licht ins Dunkel bringen. Durch die bessere Schmierung kam es zu weniger Reibung in den Zylindern. Weniger Reibung, führt zu einer geringeren Öltemperatur. Eine geringere Öltemperatur korreliert immer mit einem höheren Öldruck.

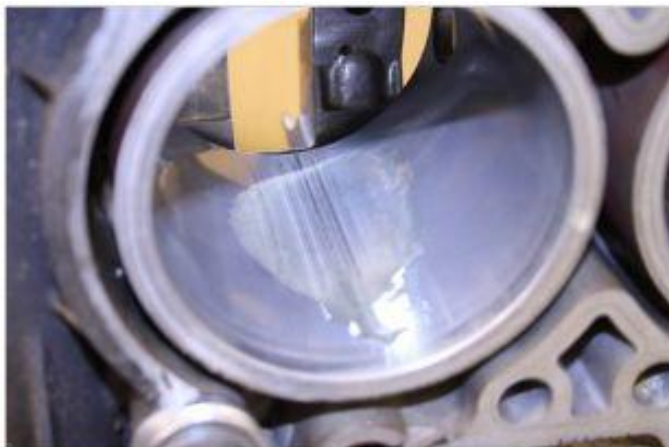


Abbildung 25: Eine mögliche Problemlösung. Eine weitere Spritzöldüse versorgt den kritischen Bereich im Zylinder

Wir hatten damit, ohne es beabsichtigt zu haben, den Beweis erbracht, dass ein konstruktives Problem mit der Schmierung aller Zylinder der Bank 2 besteht. Diese laufen aufgrund der Stellung der Pleuel und des damit einhergehenden Ölmangels zu heiß.

Höchstwahrscheinlich ist es ausreichend, drei zusätzliche Spritzöldüsen für Zylinder 4-6 einzubringen. Da der Bearbeitungsaufwand recht hoch ist, konnten wir uns bis heute nicht dafür entscheiden, diese Arbeiten im Rahmen der Motorrevisionen vorzunehmen.

Die lange Liste der konstruktiven Probleme - und die Lösungen von Cartronic

Auf den letzten Seiten haben wir vielen einzelnen Problemen der betroffenen Motoren angesprochen. Einige Leser haben sicher schon den Überblick verloren und erinnern sich vielleicht nur noch an das eine oder andere.

Nachstehende Aufzählung listet noch einmal all die Schwachstellen der Motoren auf. Zu jedem Schwachpunkt erklären wir an dieser Stelle noch einmal, warum es ein Schwachpunkt ist und welche Lösung wir im Rahmen einer Reparatur anbieten.

Viele der Ursachen, die sich bei den moderneren Motoren zu echten Problemen ausweiteten, sind rein konstruktiv bedingt und existieren unserer Meinung nach somit permanent und latent schlummernd im Verborgenen bereits seit dem Jahr 1997, als der erste Boxstermotor in diesem Design vorgestellt wurde. Weil alle weiteren Motoren auf dieser Konstruktion basieren, näherte man sich mit jedem Leistungssprung nach oben der imaginären Haltbarkeitsgrenze. Diese zeigte sich mit der Einführung der 3,8er Motoren im 997.

- Der Kühlmittelstrom rundum die Zylindern ist recht gering. Dadurch baut sich eine hohe Temperaturdifferenz der Zylinderwandung von unten (Pos. 6Uhr) nach oben (Pos 12Uhr) der liegenden Zylinder auf. Das Kühlmittel tritt unterhalb der Zylinder (nahe den Abgaskrümmern) in das Motorgehäuse ein. Dies begünstigt, vom Temperaturhaushalt her, die Bank 1 da sich dort aufgrund der Pleuelstellung nach der Entzündung des Gemischs, der mit Druck beaufschlagte Bereich der Zylinder unten, im gut gekühlten Bereich befindet. Im unteren Bereich der Zylinder sind die Temperaturen geringer als im oberen Bereich. Das wirkt sich nachteilig für die Zylinder der Bank 2 aus, da bei dieser Bank die Kolben im Arbeitstakt im oberen, nicht gut gekühlten Bereich der Zylinder anlegen.

Ideal wäre ein Gegenstromsystem, bei dem das kühle Wasser auf die heißesten Bereiche der Zylinder trifft. Dies lässt sich technisch nicht darstellen. Wir modifizieren jedoch das Gehäuse im Bereich der Kühlkanäle gemäß unserer Berechnungen um den Temperaturhaushalt zu optimieren indem wir die Volumenanteile der Kühlflüssigkeit zu Gunsten der Zylinder und zu Lasten der Zylinderköpfe verändern.

- Das Kühlwasserthermostat befindet sich im Rücklauf, ist also hinter dem Wasserkühler installiert. Dies führt dazu, dass das Thermostat auf einen plötzlichen Temperaturanstieg im Motor zu spät reagiert. Die erhitzte Kühlflüssigkeit fließt erst durch den Kühler, wird dort abgekühlt um dann am Thermostat eine verzögerte und geringe Reaktion einzuleiten.

Leider ist auch das konstruktiv nicht änderbar. Unsere optimierende Maßnahme: Wir installieren ein spezielles Niedrigtemperatur-Thermostat, welches bereits bei einer geringeren Temperatur öffnet.

- Die in der Fahrzeugfront platzierten Wasserkühler liegen im Windschatten (hinter) der Klimakondensatoren. Diese sind häufig mit Schmutz und Laub verstopft. Das führt dazu, dass zu wenig Kühlluft zu den Wasserkühlern gelangt. Meist führen diese Schmutznester zu Oxydation der Aluminiumkühler und Leckagen. Primär in den Klimakondensatoren, sekundär in den Wasserkühlern.

Unser Maßnahme: Wir versehen die Lufteinlass-Schächte in der Bugverkleidung mit feinmaschigen Metallgittern, und verhindern damit das Eindringen von Laub und anderen ungewünschten Fremdkörpern. Auch befreien wir die Kühler bei jeder sich bietenden Gelegenheit von Schmutz.

- Die Temperaturanzeige für die Wassertemperatur zeigt eine niedrigere Temperatur an als das Kühlmittel im Motor tatsächlich hat. Die Fahrer unterschätzen also die prekäre Situation.

Nach der Optimierung des Wasserkreislaufs im Rahmen unserer mechanischen Bearbeitung des Motorgehäuses verliert diese Tatsache an Relevanz.

- Die Spritzöldüsen, welche die Kolbenunterseite und die Zylinderlaufflächen mit Öl benetzen sollen, sind auf der Blockseite von Bank 2 ungünstig platziert. Auf Grund einer teilweisen Abdeckung durch die Pleuelstangen, wird eine nicht ausreichende Ölmenge in die Zylinder verteilt. Die Zylinder eins bis drei der linken Bank 1 wird auf Grund der Pleuelstellung mit ausreichend Spritzöl versorgt, während die Bank 2 an Minderschmierung und hohen Temperaturen leidet.

Eigene Versuche führten zu interessanten und nicht erwarteten Erkenntnissen. Eine weitere Spritzöldüse pro Zylinder auf der Unterseite der Zylinder der Bank 2 behob nicht nur die Mangelschmierung, sondern führte zu unserer Überraschung zu einer Senkung der Öltemperatur bei gleichzeitigen Anstieg des Öldrucks. Leider ist diese Maßnahme technisch aufwendig und kostspielig. Auf Grund der anderen, optimierenden Maßnahmen, auch nicht notwendig. Gut zu wissen, dass es noch Luft nach oben gibt.

- Die Zylinderwandungen werden auf Grund der hohen Krafteinleitung durch die Kolben allmählich oval. Dadurch erhöht sich der „Blow-By“ von heißem Abgas. Dadurch sinkt die Motorleistung, steigen die Temperaturen der Kolben, der Kolbenringe, der Zylinder und des Öls. Auch steigt der Ölverbrauch.

Wir lösen dieses Problem, indem wir stabile, aus geschmiedeten Aluminium und NiSiC beschichteten Zylinder verbauen. Zusätzlich erfolgen ein Quasi-Closed-Deck-Umbau sowie eine Optimierung der Kühlflüssigkeitskanäle durch eine mechanische Bearbeitung im Zylinderkopfbereich des Motors.

- Die Auslauföffnung des Kühlmittels am Motor ist niedriger gelegen als ein weit oben liegender Hohlraum im Kühlflüssigkeitskanalsystem im Motor. Kommt es in diesen Bereichen zu Lufteinschlüssen, entsteht dort ein „Hot-Spot“ durch die hohen Wandungstemperaturen. Derartige nicht gekühlten, lokalen Hitzeester führen dazu, dass die Zylinderwandungen noch heißer werden als sie ohnehin schon sind.

Durch eine sehr gewissenhafte Entlüftung mit einem Vakuum-Entlüftungsgerät evakuieren wir das gesamte System vor einer Befüllung mit Kühlflüssigkeit.

- Die vom Hersteller vorgeschriebene Verwendung einer nicht geeigneten Zylinderkopfdichtung, bewirkt, dass es Inneren des Motors zu ungünstigen, ja sogar kritischen Temperaturverhältnissen kommt.

Unser Lösung des Problems: Wir verändern im Rahmen der mechanischen Bearbeitung der Gehäusehälften, selektiv und zylinderindividuell die Geometrie der Kühlwasserkanäle und passen die Ausströmschlitze an. Dadurch wird der negative Einfluss, der durch die falsche Zylinderkopfdichtung erzeugt wird, kompensiert. Selbstverständlich hätte man das Problem auch dadurch lösen können, indem man neue, asymmetrische Kopfdichtungen anfertigt lässt. Logistisch wäre es allerdings nicht möglich gewesen, diese weltweit zur Verfügung zu stellen. Dazu ist nur der Hersteller in der Lage. Die von Porsche verkauften Dichtungen funktionieren demnach nur perfekt, wenn sie sich in einem der rund 1600 Motoren befinden, die nach unserem Revisionskonzept repariert und optimiert wurden.

- Die Verlängerung der Wechselintervalle des Motoröls schadet dem Motor. Dass es seitens des Hersteller keine Vorschrift gibt, die Kühlflüssigkeit zu wechseln, wirkt sich ebenfalls negativ auf die Haltbarkeit des Motors auf. Jede freie Werkstatt und auch der Hersteller selbst, sollte sich doch über jeden verkauften Liter Öl und Kühlmittel freuen. Vor allem, wenn man damit auch

noch die Lebensdauer der Motoren verlängern kann. Eine Korrelation zwischen dem Zustand des Motoröls und der Zylinderlaufbahnen ist gegeben. Es entsteht ein wahrer Teufelskreis. Je höher die Temperaturen der Medien und je schlechter die Ölqualität umso heißer das Öl und umso niedrigere Viskosität und umso mehr Verschleiß usw. usf.

Wir empfehlen einen Ölwechsel alle 7500 Km mit einem sehr hochwertigem Öl der Viskositätsklasse 10/W60. Nähere Informationen dazu, im Kapitel über Schmierstoffe. Auch empfehlen wir einen Austausch der Kühlflüssigkeit alle 50.000 Km.

- Verschiedene, in den Motoren bis zum Jahr 2007 verbauten Zwischenwellen und deren Lagerungen waren nicht sonderlich standfest. Man verbaute fettgefüllte Wälzlager, die an den beiden Flanken mit Lagerdeckeln versehen sind. Eine Schmierung dieser Lager mit Motoröl ist bauartbedingt nicht möglich. Die Fettfüllung im Inneren der Lager altert sehr schnell. Eine weitere Schwachstelle stellen die zu schwach ausgelegten Spannbolzen dar. Die Hersteller konnten das Problem im Rahmen einiger technischer Änderungen weitestgehend lösen. AT-Motoren werden in der heutigen Zeit nur noch mit der lagerseitig verstärkten Wellengeneration ausgeliefert.

Cartronic optimiert die Zwischenwellen. Wir verbauen anstelle der Kugellager mit zwei Lagerdeckel, kostspielige Sonderlager (Rollenlager) in offener Ausführung. Diese Lager, werden vom Motoröl geschmiert und gekühlt. Zudem verwenden wir optimierte, sehr stabile Spannbolzen. Detaillierte Informationen finden Sie im Kapitel „Zwischenwellen“ ab Seite 65.

Technische Veränderungen bei den 3,6 und 3,8 Liter Motoren

- Gab es früher noch Zylinderkopfdichtungen für die linke und die rechte Bank, beschränkte man sich Anfang der 2000er auf die Produktion nur noch einer universell verwendbaren Dichtung. Seitdem gibt nur noch ein Bauteil, verwendbar für beide Seiten des Motors.
- Die Pleuellänge veränderte sich. Es existieren Motoren mit 96mm Bohrungsdurchmesser aber mit unterschiedlichen Hubräumen von 3, 6 und 3,4 Liter. Bei Motoren mit kürzeren Pleueln ist der Winkel der Pleuel zur Zylinderwandung größer. Das hat eine höhere Krafteinleitung auf die Zylinderwandungen zu Folge. Last und damit die Reibung erhöhen sich. Die Oberflächen-Temperaturen der Bauteile die in Kontakt stehen, steigen. (siehe auch Kapitel Pleuel/Hub-Verhältnis / S. 24)
- Durch das deutlich gestiegene Drehmoment der Motoren im Vergleich zu den 996 Motoren der ersten Generation, wurden Kolben, Pleuel und Zylinderwandung deutlich mehr belastet.
- Obwohl die Bohrung, beginnend beim 2,5 Liter-Motor bis zum 3,8 Liter-Motor ständig vergrößert wurden, unterließ man es, das Design der Spritzöldüsen anzupassen um auch bei den großvolumigen Motoren eine ausreichende Zylinderschmierung sicherzustellen.
- Das Raumvolumen (Kühlflüssigkeitsbereich) rund um die Zylinder verringerte sich mit jeder neuen Motorgeneration. So befindet sich bei einem 3,8er Motor mit 99mm Bohrungsdurchmesser weniger Kühlflüssigkeit rund um die Zylinder als bei einem kleinen, thermisch nicht so stark belasteten 2,5 Liter Motor eines Boxsters. Die Motoren wurden thermisch gesehen immer ungesünder.

- Die Verbreiterung der Kurbelwellenwangen führte dazu, dass nicht mehr ausreichend genug „Schleuderöl“ verteilt wird, welches zwingend für die Zylinderschmierung benötigt wird.

Abgeschlossene und neue Projekte.

Verbesserte Zylinder

Wir haben viel Zeit und Geld in die Erforschung der Probleme der Wasserboxermotoren gesteckt. Stundenlange Prüfstandläufe verbunden mit Temperaturmessungen und Datenaufzeichnung verhalfen uns zu dem Verständnis, welches wir heute haben. Um uns selbst zu schützen, sind wir noch nicht bereit, alle von uns gemachten Erkenntnisse, offen zu kommunizieren. Bis Ende 2013 verwendeten wir Zylinder aus einer Aluminium-Gußlegierung. Seit Januar 2014 setzten wir nur noch Zylinder aus Schmiedeluminium ein. Beide Zylindertypen wurden galvanisch mit NiSiC (ähnlich NIKASIL) beschichtet. Seit 2020 beschäftigen wir uns mit einer völlig neuartigen Generation Zylinder. Es handelt sich um Verbundzylinder, bestehend aus zwei unterschiedlichen, in einem Spezialverfahren hergestellten Metallen. Erstmals nach nun 20 Jahren, sind wir in der Lage, auch größere Stückzahlen an Reparaturzylinder kostengünstig herzustellen. Der neue, revolutionäre und weltweit einzigartige Zylindertyp, befindet sich seit April 2022 im Versuch.

Lagerschalen mit Untermaß

Seit Mitte Juni 2014 bieten wir unsere Kunden Pleuellagerschalen mit einem Untermaß von 0,5 mm an. Auch zwei verschiedene Hauptlagerausführungen sind verfügbar.

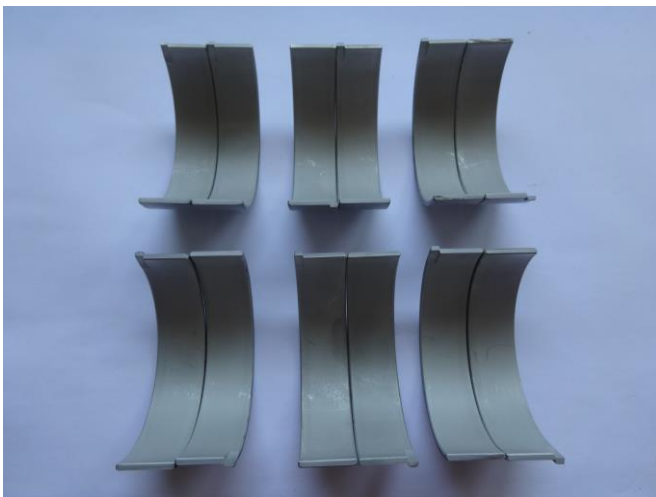


Abbildung 26: Spezielle Untermaß-Lagerschalen für M96/97 Motoren

Eine neue Kurbelwelle für einen Porsche® 986/996 oder 987/997-Motor der Typen M.96 oder M.97 kostet fast 5000 Euro. Eine Motorreparatur, bei der neben neuen Zylindern auch noch die Kurbelwelle ersetzt werden muss, lässt sich damit bei vielen Fahrzeugen früherer Baujahre nicht mehr rechnen, da die Reparaturkosten höher sind als der Wert des Fahrzeuges. Leider war es bis dato nicht möglich, beschädigte Lagerstellen an diesen Wellen mit geringem Aufwand instand zusetzen, da die Kurbelwellen, seitens des vom Hersteller verwendeten Härteprozess, nicht wirklich dafür geeignet sind. Da man diese Kurbelwellen nicht mit den üblichen Verfahren nachbearbeiten kann, bietet der Hersteller keine Lagerschalen in Untermaß-Größen an.

Im Rahmen unserer Versuche konnten wir beweisen, dass es möglich ist, beschädigte Kurbelwellen zu schleifen, zu härten und auf das gefordertes Endmaß zu bringen.

Nun gibt es endlich Lagerschalen in verschiedenen Maßgruppen sowohl für die Kurbelwellen-Hauptlager als auch für die Pleuellager. Lagerschalen für die Hauptlager auch mit Aufmaß, falls durch ein drehendes Lager der Lagerbock im Kurbelwellenträger beschädigt wurde.

Bei den Kurbelwellen der M.96 und M.97 Motoren ist es zwar möglich, die Lagerstellen der Wellen zu schleifen, aber leider ist es nicht möglich eine Lagerstelle zu erzeugen ohne eine neuerliche Härtung der Lagerstelle vorzunehmen. Die Kurbelwellen in diesen Motoren verfügen nur über eine sehr dünne oberflächliche Härtung von zirka 0,1 mm Eindringtiefe.

Porsche® entschied sich bei diesen Wellen zu dieser Art der Härtung, die man auch Nitrierung nennt, weil keine weiteren kostenintensiven Schritte nach der Härtung notwendig sind. Der Nachteil ist der, dass man diese Wellen nur mit einem erhöhten finanziellen Aufwand nachbearbeiten kann.

Bei den üblichen, früher verwendeten Härteverfahren war es notwendig nach dem Anlassen (Härten) noch einmal zu schleifen, da sich immer ein thermischer Verzug ergab, den man damit ausglich. Bei dem kostengünstigen Verfahren sind die Prozesstemperaturen so niedrig, dass sich kein Verzug einstellt. Allerdings ist es recht schwierig eine reproduzierbare Dicke des Lagerzapfens zu erzeugen, da im Rahmend des Nitrierverfahrens Material aufgetragen wird. Damit also eine neue Lagerschale später exakt passt, muss man die Welle erst einmal auf erhöhtes Untermaß schleifen um dann im Rahme der Härtung auf das Endmaß zu kommen. Je länger die Verweildauer der Welle im Härteprozess umso "dicker" wird die Nitrierschicht.

Nur Spezialisten sind dazu in der Lage. Wir haben im Jahr 2011 verschiedene Wellen auf verschiedene "Untermaße" geschliffen und dann härten lassen um festzustellen, welches Untermaß das richtige war. Was ist zu tun?

Schritt 1

Die Kurbelwelle wird zuerst geschliffen und auf Risse geprüft. Ist die Kurbelwelle noch brauchbar, also die evtl. vorhandenen "Hitzerisse" nicht tief eingedrungen sind, hat man Glück und eine Menge Geld gespart.

Schritt 2

Ist die Kurbelwelle auf das "Erfahrungsmaß" geschliffen worden, muss die Kurbelwelle gehärtet (nitriert) werden.

Schritt 3

Nach dem Härten muss die Welle durch weitere Bearbeitungsschritte, wie das polieren der Lagerstelle auf das Endmaß gebracht werden.

Haltbare Kolbenbeschichtungen

Im Winter 2013 konnten wir das Projekt „Kolbenbeschichtung M.96/7“ abschließen. Inzwischen haben wir das gesamte für eine reproduzierbare und erfolgreiche Kolbenhemdbeschichtung notwendige technische Equipment angeschafft und bereits viele Kolben erfolgreich beschichtet. Die Ergebnisse sind perfekt und schon bald werden wir alle leicht angegriffenen Kolben mit Beschädigungen an den Kolbenhemden mit einer besonderen gleitfähigen und verschleißresistenten High-Tech Beschichtung auch im Rahmen einer Dienstleistung für andere Firmen, anbieten. Die aufgetragenen Materialstärken schwanken zwischen 0,1 – 0,2 mm. In Kürze werden wir diese Dienstleistung auch auf Kolben anderer Motorenhersteller ausweiten.

Verstärkte Kettenschienen

Nachdem sich in den letzten Jahren immer wieder fatale Motorschäden auf Grund von gebrochenen „kleinen“ Kettenschienen ereigneten, starteten wir Anfang 2014 mit der Produktion einer verstärkten Kettenschiene. Wir entschieden uns für eine besonders stabile Aluminiumlegierung, welche eine deutlich höhere Festigkeit aufweist und im Vergleich zu der gegossenen originalen Kettenschiene nicht sprödebrüchig ist. Bevor eine unserer Kettenschiene bricht, verbiegt sie sich bis zu einem gewissen

Grad. Die originale Kettenschiene ist sprödebrüchig und stellt damit in dieser Version eine Gefahr für den Motor dar.

In Versuchen konnten wir feststellen, dass bereits bei einer Druckbelastung von 245 Kg die originalen Kettenschienen brechen. Dies erklärt sich daraus, dass sie im Alu-Druckgussverfahren hergestellt werden. Unsere verstärkten Kettenschienen werden aus einem massiven Block Schmiedeleuminiun mit einer nahezu 3-fach höheren Festigkeit im Vergleich zur Serie, hergestellt.



Abbildung 27: Gebrochene originale Kettenschiene (unten) sowie verstärkte Cartronic Version (oben)

Unsere Kettenschienen, die wir seit Februar 2014 in jeden, von uns überholten Motor einbauen, unterscheiden auch optisch von dem Serienprodukt.



Abbildung 28: Original (oben) mit verschlissenem Kunststoffknopf, Verstärkte Version (unten) mit Stahlknopf.



Abbildung 29: Die verstärkte Kettenschiene verbaut zwischen Kurbelwelle und Zwischenwelle

Das relativ geringe Investment von rund 255,-- Euro schließt das Risiko eines desolaten Motorschaden auf Grund einer gebrochenen Serien-Kettenschiene aus.

Noch mehr Kooperationspartner

Cartronic beliefert Stand April 2022 weltweit 24 Partnerbetriebe mit überholten Motorgehäusen, welche seit 2019 generell mit sechs neuen Zylindern versehen sind. Diese überholten, optimierten und im Zylinderbereich verstärkten Gehäuse, werden im Austausch gegen die angelieferten, defekten Gehäuse geliefert. Das Netzwerk soll in der Zukunft deutlich erweitert werden, da wir unsere Revisionsverfahren lizenzieren wollen. Wer Interesse daran hat, unsere Zylinder zu beziehen um die Gehäusearbeiten im eigenen Betrieb vorzunehmen ist eingeladen, uns zu kontaktieren.

Wir freuen uns auf Anfragen von fachkundigen Gewerbetreibenden aus dem In- und Ausland.

Problemkind Zwischenwelle

Nahezu alle Motoren der Baureihe M96 bis Modelljahr 2005 litten nicht nur an den bekannten Zylinderproblemen zusätzlich noch an häufigen Ausfällen auf Grund von Problemen mit der Zwischenwellenlagerung.

Erst mit der Baureihe M97 und ab Modelljahr 2006 wurde seitens des Herstellers die Zwischenwellenlagerung etwas verbessert. Ab dann kam es zu deutlich weniger Ausfälle.

Leider ist es nur mit erheblichem Aufwand möglich eine Lagerung zu installieren, die eine Lebensdauer von 300-400.000 Km gewährleistet. Die Kosten dafür sind hoch, woran es dann auch meist scheitert. Die gute Nachricht ist, dass es kostengünstige Lagersysteme gibt, welche eine deutlich längere Lebensdauer als die originale Lagerung garantieren.

Der technische Sachstand

Es existieren verschiedene Ausführungen der Zwischenwellen. Bei den ersten Motoren bis zum Modelljahr 1999 und teilweise auch in Motoren der Jahre 2000 und 2001 wurden Zwischenwellen verbaut die mit einem doppelreihigen Kugellager versehen waren. Dabei handelt es sich sozusagen um zwei Lager in einem Gehäuse. Die Zwischenwellen dieser Motoren verfügten über zwei Duplexketten zum Antrieb der Nockenwellen und eine dritte Duplexkette zwischen Kurbelwelle und der Zwischenwelle.

Die von der japanischen Firma NSK gefertigten Lager, erwiesen sich als sehr langlebig. Leider werden diese Lager seit dem Jahr 1999 nicht mehr gefertigt. Porsche® verbaute Restbestände dieser, sündhaft teuren Lager noch in einer gewissen Übergangszeit bis 2001.

Alle Motoren ab dem Modelljahr 2001 bis zum Modelljahr 2005 wurden mit einem technisch sehr einfachen, kostengünstigen, einreihigen, beidseitig geschlossenen Kugellager Typ 6204 ausgerüstet. Vermutlich lag ein gewisser Kostendruck dieser kontraproduktiven Maßnahme zugrunde. Fakt ist, dass die dynamische axialen und radialen Tragfestigkeitswert der NSK-Doppelreihenlager deutlich höher liegen, als die der „neuen“ einreihigen Lager.

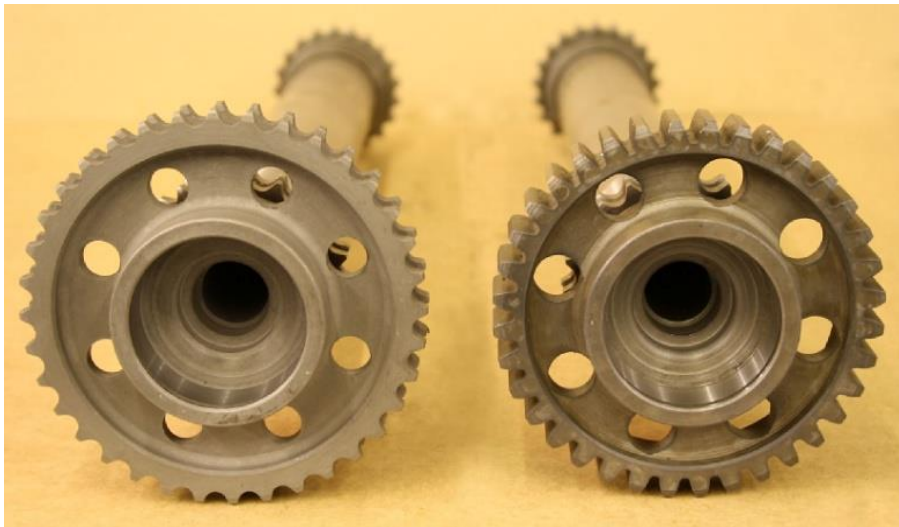


Abbildung 30: Neue Zwischenwellenköpfe für die großen Originallager ab Modell 2007

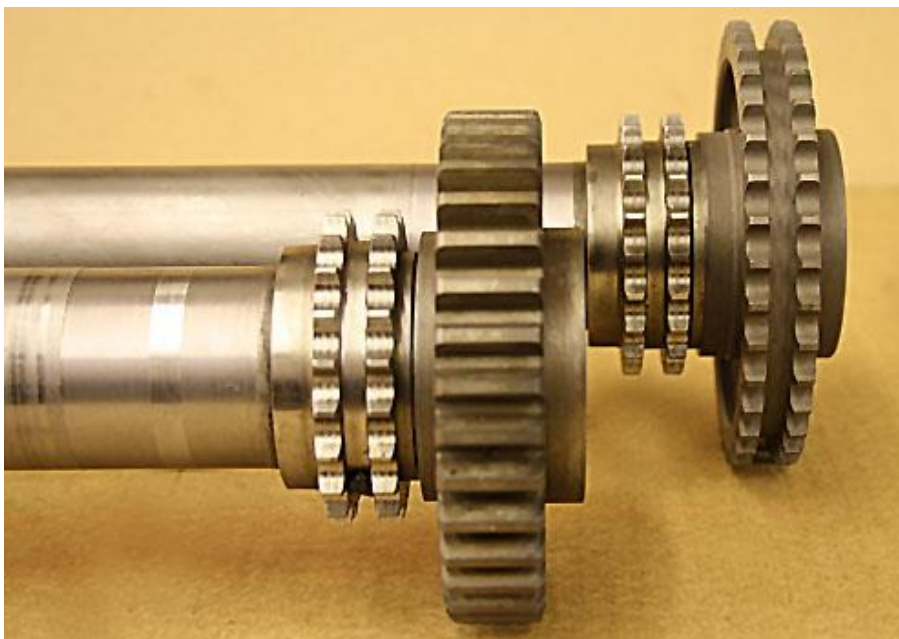


Abbildung 31: Verschiedene Wellenköpfe. Vorne, die letzte Version. Hinten, die ursprünglich verwendete Version.

Welche Lager wurden wann und wo verbaut?

Da Porsche® in den Jahren zwischen den Generationswechseln der Lager manchmal bei jüngeren Motoren Lager der ersten Generation verbaute und bei älteren Motoren schon die neue Lagerversionen verbaute, hilft das Wissen über das Modelljahres nicht wirklich weiter, welcher Lagertyp verbaut wurde.

Eine genaue Bestimmung ist aber möglich, wenn man sich den Lagerflanschdeckel ansieht. Die Version mit einer tiefen und starken Kröpfung identifiziert ein einreihiges Lager. Ein Flansch, der eher flach ist und nur über eine geringe Kröpfung verfügt, zeigt an, dass es ein zweireihiges Lager von NSK verbaut wurde.

Wissen sollte man, dass es zwei unterschiedliche, die Lager und die Spannbolzen führende Lagerdeckel gibt. Die sehr frühen Flansche waren mit einer schmalen Nut für einen einfachen Rundschnurring (O-Ring) versehen. Diese wurden sehr oft undicht. Die Porsche AG reagierte sehr schnell und ersetzte den Flansch, welcher in der verbesserten Ausführung über einen 3-lippigen Rechteckring verfügte. Die Farbe des O-Rings war immer schwarz, die des Rechteckrings immer Kaminrot.

Halten wir also fest:

- Motoren, welche original in die Modelljahre 1997-99 verbaut wurden, hatten ein 2-reihiges Lager von NSK, welches sich als sehr robust erwies.
- Motoren, welche original in die Modelljahre 2000-01 verbaut wurden hatten entweder ein 2-reihiges NSK Lager oder ein 1-reihiges, und simples Lager vom Typ 6204 verbaut.
- Motoren, welche original in die Modelljahre 2002-05 verbaut wurden, hatten ein 1-reihiges Lager.
- Motoren der Generation M97, welche ab 2005 gebaut wurden, hatten ebenfalls ein 1-reihiges, aber deutlich vergrößertes Lager des Typs 6305 verbaut.

Generell gilt, dass alle Lager mit Lagerdeckel versehen waren und über eine Fettfüllung verfügten.

In einige M96 Motoren aus Baujahr 2004/Modelljahr 2005 wurden schon die neu und im Vergleich zu den einreihigen Lagern des Typs 6204 verstärkte Zwischenwellenlager des Motortyps M97 verbaut. Zwar ist dieses große einreihige Lager haltbarer als das früher verbaute kleine einreihige Lager, stellt aber trotzdem keine wirkliche Verbesserung, im Hinblick auf Haltbarkeit dar.

Leider handelt es sich immer noch um relativ simple, einreihige, wenn auch größer dimensionierte Kugellagern des Typs 6305 mit nur 8 Kugeln. Diese Lager punkten nicht wirklich mit der nur minimal höhere Tragfähigkeit im Vergleich zu den kleineren 6204er Lager. Auf den ersten Blick sah es so aus, dass man beim Hersteller Schadensursachenforschung betrieben hatte. Dem war leider nicht so, denn auch die 6305er Lager waren wieder nur einreihige, mit Lagerdeckeln und Fettfüllung versehene Kugellager.

Bei dem auf Abbildung 34 gezeigten Lager des Typs 6305, welches wir zwecks Austausch aus einer Zwischenwelle eines 997 Motor aus dem Jahr 2007 ausgebaut haben, wurde von uns einer der beiden Lagerdeckel entfernt. Man erkennt sehr genau, dass sich keinerlei Fett mehr in dem Lager befindet, dafür aber eine geringe Menge an Motoröl. Da sich im Normalbetrieb aber beide Lagerdeckel auf dem Lager befinden, kann man nicht von einer ausreichenden Schmierung sprechen. Wir verwenden ausschließlich sehr spezielle Rollen-Lager, welche nicht nur erhöhte radiale Kräfte, sondern auch ausreichend axiale Kräfte vertragen. Eine um rund 30% höhere radiale Tragfähigkeit, keine Lagerdeckel. Also

keine Dauer-Fettfüllung, die bei diesem Einsatzbereich immer nur von sehr kurzer Dauer war, kennzeichnen unsere verwendeten Lager. Der kleine Nachteil: Es sind teure Lager.



Abbildung 32: Originallager aus Zwischenwelle eines 997 Motors. Einer der Lagerdeckel wurde entfernt. Nach 45.000 Km Laufleistung ist keine Fettfüllung mehr vorhanden. Trotz der geringen Menge Motoröl im Inneren, war optisch noch kein Verschleiß erkennbar. Ein potenzielles Problemlager!



Abbildung 33: Originales Zwischenwellenlager Typ 6305, mit Lagerdeckel beidseitig und Fettfüllung



Abbildung 34: Zwischenwellenlager Typ 6305 - einreihig mit Stahlkäfig und 8 Kugeln, Lagerdeckel wurde nachträglich entfernt.

Einreihig oder Zweireihig?

Warum Porsche® von den zweireihigen Kugellagen mit Modelljahr 2000 auf einreihige Lager umschwenkte ist nicht bekannt. Es mögen, wie bereits erwähnt, die Stückkosten gewesen sein, da ein zweireihiges Lager teurer ist als ein einreihiges. Fest steht, dass dieser Schritt keine gute Idee war, da die einreihigen Lager nicht in der Lage waren, die Belastung auf Dauer auszuhalten. Erst mit den Motoren der Modellreihe M.97 (sowie einigen der letzten M.96 Motoren) verbesserte man die Lagerung dergestalt, dass man ein vergrößertes, einreihiges Lager verbaute welches eine vergleichbare Standfestigkeit aufwies wie die, in den ersten Jahren verbauten zweireihigen Lager von NSK.

Die Lager vom Typ 6305 kann man auf Grund des äußeren Durchmessers nicht mehr wechseln ohne vorher den Motor komplett zu zerlegen. Die Öffnung im Kurbelgehäuse hat einen kleineren Durchmesser als der Außendurchmesser des Lagers. Auch das stellt keine Verbesserung dar, denn ein Lagerwechsel wäre nur mit einem unverhältnismäßig hohen Kostenaufwand von rund 7500 Euro möglich.

Halten wir auch hier etwas fest:

- Die stabilsten Lager waren die zweireihigen NSK-Lager der Modelljahre 1997-2000.
- Die fragilsten Lager sind die einreihigen Lager vom Typ 6204 der Modelljahre 2000-2005.
- Die großen Lager, Typ 6305 in den M.97 Motoren, inkl. einiger die in den späten M.96er Motoren verbaut wurden, weisen eine zu den zweireihigen Lagern vergleichbare Festigkeit auf.



Abbildung 35 und 36: Defektes 996 Zwischenwellenlager mit Spänen (links - nach Ausbau, rechts - entfernter Deckel mit erkennbaren Metallfritter aus dem Inneren des Lagers)

Kann man Schäden vermeiden?

Langfristig ist es nicht möglich Schäden zu vermeiden, solange man die vom Hersteller verbauten Lager im Motor belässt. Wir möchten aber fair bleiben und darauf hinweisen, dass es nicht ein einziges Lager gibt, welches man über eine unbegrenzte Zeit betreiben kann. Jedes Wälzlager Lager unterliegt einem gewissen Verschleiß. Allerdings kann man ein Versagen lange hinauszögern, indem man konsequent alle 7500 Km Laufleistung bzw. mindesten einmal im Jahr einen Öl- und Filterwechsel vornehmen lässt.

Alle Lager, bis auf den Typ 6305 lassen sich wechseln. Bei den 6305er Lagern empfehlen wir den äußeren Lagerdeckel zu entfernen.

Man sollte darauf achten, ein geeignetes und hochwertiges Öl einzufüllen, welches den Druck- und Temperaturverhältnissen in einem M.96 oder M.97 gerecht wird. Unsere Empfehlungen lauten:

- Niemals Öle mit einer Viskositätsangabe 0-5-10W/30 verwenden
- Nur in Notfällen 0W/40 Öle verwenden
- Eine durchweg gute Wahl sind 10W/40 oder 5W/50 Öle.
- Für hochbelastete X51-Motoren, Fahrzeuge mit Tiptronic-Getriebe und alle Fahrzeuge die hin und wieder im Sporteinsatz betrieben werden, empfehlen wir ein hochwertiges 10W/60er Öl.
- Ölwechsel alle 7500 Km. Bei Fahrzeugen, die oft im Kurzstreckenbetrieb eingesetzt werden, sogar alle 6000 Km.

Die geringen Mehrkosten für ein 10W/60er Öl sind verkraftbar.

Auch für die Zwischenwellenlagerung gilt, dass man untertourige Drehzahlen vermeiden sollte, da das Lager dabei nur wenig Öl abbekommt. Bei Lager mit Lagerdeckeln, spielt das keine Rolle. Diese Lager werden nur während der ersten 30-40.000 Km ausreichend geschmiert, danach ständig abnehmend bis zum Ausfall.

Um die Sicherheit um ein Vielfaches zu erhöhen, sollte man aber besser ein Zwischenwellen Upgrade-Kit verbauen lassen, welcher generell ein offenes Rollenlager mit Messingkäfig mit einer hohen radialen Tragfähigkeit ist.

M.97 Wellenlager, welche bereits in manchen der letzten M.96 Motoren, in allen 987 und 997 Motoren und in den meisten AT Motoren verbaut wurden, sollte man zusätzlich optimieren, indem man den äußeren, sichtbaren Kunststofflagerdeckel vom Lager entfernt. In diesem Falle wird das Lager nicht mehr durch die Fettfüllung im Lager geschmiert, sondern durch das Motoröl. Sobald einer der Lagerdeckel porös oder undicht wird und dadurch das eindringende Öl die geringe Menge Lagerfett auswäscht, ist es bis zum Totalausfall nicht mehr weit.

Optimierung der Lagerung

Die von uns verbauten Zwischenwellenlager sind offene Lager, also Lager ohne Kunststoffdeckel und ohne Fettfüllung, welche man auch als Permanentenschmierstoff bezeichnet. Bei den von uns verwendeten Lagern handelt es sich hochwertigen Zylinderrollenlager und keine Kugellager. Zylinderrollenlager zeichnen sich dadurch aus, dass man sie radial höher belasten kann. Die Zwischenwellenlagerung ist über die Kraft der Kettenspanner zum größten Teil radial belastet. In den axialen Richtungen werden die Lager nur gering belastet.

Wir möchten noch auf eine Besonderheit hinweisen, die auch der Porsche Ag bekannt ist. Als besonders haltbar haben sich Hybridlager gezeigt. Diese Lager verfügen anstelle der üblichen, bei einem Kugellager verwendeten Stahlkugeln über Kugeln aus äußerst resistenter und sehr präziser Keramik. Diese Lager sind allerdings sehr teuer. Der Einkaufspreis unserer Spezial-Vollmetall-Lager liegt im Vergleich zu den vom Fahrzeughersteller verwendeten Lagern bei knapp Faktor 15. Das Hybridlager bei Faktor 40.

Bei keinem von uns revidierten, bzw. optimierten Motoren wurden wir bis heute mit einem Lagerschaden des Zwischenwellenlagers konfrontiert. Trotzdem empfehlen wir auch die verbesserten Vollmetalllager alle 125.000 Km auszutauschen. Da man bei den Motoren, welche die neue Zwischenwelle mit den großen einreihigen Lagern verbaut bekamen, die Lager nicht mehr auf einfachem Wege wechseln kann, sollte man besser etwas mehr investieren und die verfügbaren Hybridlager in diese Wellen einbauen lassen.

In die frühen Zwischenwellen mit dem nicht mehr erhältlichen NSK-Doppellager, verbauen wir anstelle dieses Lagers, zwei unserer einreihige Zylinderrollenlager als Doppel-Lagerpaket. Jedes Einzelne verfügt über eine deutlich höhere Tragfestigkeit als eines der früher verbauten NSK-Lager. Diese Lager verbauen wir als Einzellager in alle Wellen welche original mit dem einreihigen 6204er Lager versehen waren. In die neuen Wellen, welche ab Werk mit dem vergrößerten 6305-Lager ausgestattet waren, verbauen wir entweder die Speziallager.

Idealerweise wechselt man die Lager immer im Rahmen eines Kupplungswechsels. In diesem Falle zahlt man bei uns nur die Materialkosten und einen geringen Aufpreis für die Montage.

Warum immer das „hintere“ Lager?

Einige Kunden fragten sich, warum immer nur das hintere Lager nahe der Schwungscheibe betroffen ist. Das liegt daran, dass das vordere Lager (im Bereich der Riemenscheibe) kein Wälzlager, sondern ein Gleitlager mit Druckölschmierung der Lagerflächen ist. Dieser Lagertyp wurde über Jahrzehnte in allen luftgekühlten Motoren verbaut und hat sich bestens bewährt. In einem von Drucköl geschmierten Lager baut sich zwischen dem Lager (außen) und dem Lagerstumpf der Welle (innen) eine Ölfilm (Ölpolster) auf. Die Welle läuft nahezu reibungs- und verschleißfrei auf einem hauchdünnen Ölfilm.

Wo keine mechanische Reibung ist, kann auch nichts fressen. Das hintere Lager (im Bereich der Schwungscheibe) ist ein Kugellager. Kugellager verfügen, je nach Größe über mehr oder weniger Kugeln im Inneren. In einem Wälzlager/Kugellager hat man immer einen mechanischen Kontakt zwischen den Kugeln und der inneren und äußeren Lagerteile. Man unterscheidet zwischen offene und geschlossene Lager. Offene Lager werden von außen, mit dem Öl geschmiert, mit dem sie in Berührung kommen. Hat man es mit Lagerstellen zu tun, an denen sich kein oder zu wenig Öl befindet, oder die Umweltbedingungen es notwendig machen, das Innere des Lagers vor Schmutz oder Feuchtigkeit zu schützen, verwendet man geschlossene Lager. Diese sind mit einer Permanent-Fettfüllung versehen. Diese wird durch zwei Lagerdeckel vor dem Austreten bewahrt. Bei geschlossenen Lagern unterscheidet man noch zwischen Lagerdeckeln aus Kunststoff und Lagerdeckel aus Metall. Lager mit Kunststoffdeckel sind etwas günstiger als Lager mit Metalldeckeln. Lager mit Kunststoffdeckeln sind nicht für dauerhaft hohe Temperaturen vorgesehen. Auch die innenliegenden Lagerkäfige können deutliche Qualitätsunterschiede aufweisen. Lagerkäfige aus Kunststoff, Eisenlegierungen und auch aus Messing sind üblich.

In den Zwischenwellen der M96/97er Motoren, werden geschlossene Lager mit Kunststoffabdichtung verbaut. Die Kunststoffdichtungen werden mit der Zeit brüchig, fallen heraus sind bereits im Neuzustand undicht. Die Fettfüllung, die ein Leben lang halten soll, entweicht dann mit der Zeit, da sie vom eindringenden Motoröl ausgewaschen wird. Aufgrund der Tatsache, dass zu wenig frisches Motoröl in die Lager gelangt, kommt es zu einem Versagen.

Inzwischen gibt es einen sehr aufwändig gestalteten Lagerumbausatz, bei dem das hintere Kugellager gegen ein Gleitlager ersetzt wird. Das für die Lagerschmierung notwendige Öl, wird an einer speziellen und zu installierenden Ölfilterkonsole „abgezapft“. Leider ist der Kit sehr teuer und deshalb auch schwer verkäuflich. Sinn macht er auf jeden Fall. Er stellt zudem eine technische Meisterleistung dar.

Für alle, die keine rennsportlichen Aktivitäten mit dem Wasserboxer planen, reichen die Zwischenwellen-Upgrade-Kits aus unserer eigenen Produktion vollkommen aus.

Bitte betrachten Sie die nachfolgenden Abbildungen. Wir zeigen den Unterschied zwischen den originalen Spannbolzen und den verstärkten von uns. Man findet am originalen Bolzen zwei leicht erkennbare Schwachstellen. Einmal den völlig unnötigen Hinterschnitt (hier unterhalb) des Gewindes und dann noch die eingedrehte Nut für den Dichtring. Ohne Übertreibung, darf man diese Bereiche als Sollbruchstellen bezeichnen.



Abbildung 37: Der konstruktiv gesschwächtee, 10 mm Serien-Spannbolzen aller Zwischenwellenlager von 1996-2006 / Gewinde M8



Abbildung 38: Verstärkte Version von Cartronic / 10mm mit Gewinde M10 vs. Serie/ 10 mm mit Gewinde M8 und 6,3 mm Materialstärke an schwächster Stelle

Lagerschäden der Zwischenwelle zeichnen sich meist frühzeitig ab

Hält man sich an unsere Empfehlung der verkürzten Ölwechselintervalle alle 7500 Km, senkt man dadurch die Wahrscheinlichkeit eine Lagerschadens erheblich. Im Rahmen eines Ölwechsels wird immer der Ölfilter ersetzt. Den alten Ölfiltereinsatz sollte man nie achtlos entsorgen, sondern alle Filterlamellen vorher akribisch genau auf mögliche, feste Rückstände (Metall und Kunststoff) kontrollieren.

Sich anbahnende Zwischenwellen-Lagerschäden zeigen sich in Form von entweder schwarzen Kunststoffflocken oder silbern glänzenden metallischen Rückständen. Beides stammt von einem sich langsam auflösenden Zwischenwellenlager. Kunststoffpartikel stammen von den Kunststoffdichtungen

Findet man Kunststoffpartikel oder silbrig glänzende, metallische Rückstände im Filter, sollte man umgehend die Zwischenwellenlagerung ersetzten. Findet man andersartige Rückstände, muss der Motor zerlegen werden um sich ein besseres Bild über den entstandenen Schaden zu machen. Auf keinen Fall sollte man den Motor wieder in Betrieb nehmen.

Es macht also Sinn den Zustand der Zwischenwellenlagerung im Auge zu behalten, weil es im Falle eines Totalausfalls sehr teuer werden kann, da der Motor komplett zerlegt werden muss. Zudem kommt es sehr häufig zu Folgeschäden im Zylinderkopfbereich auf Grund von sich plötzlich verändernden Steuerzeiten oder sogar Kettenrissen. Ganz abgesehen von der völligen „Verseuchung“ aller Motorkomponenten mit metallischen Partikeln. Dazu zählen der gesamte Motor, die Ölleitungen, die Ölpumpe und auch der Ölkühler.

72



Abbildung 40: Cartronic Zwischenwellenlager-Kit einreihig (links) vs. Original M.96 (ab MJ 2001-2006)



Abbildung 41: Cartronic Zwischenwellenlager-Kit Typ 6305 "großes Lager" ab MJ 2006. Der massive Spannbolzen wird nicht ersetzt. Links, das Serienlager (geschlossen, mit Lagerdeckeln), Rechts, das hochwertige, offene Zylinderrollenlager mit Messingkäfig.

Verdrehte Kettenräder

Ebenfalls häufig beobachtet, und Ursache für einige Motorschäden, sind sich auf den Zwischenwellenkorpus, drehende Kettenräder. Dies sollte nicht passieren, da sich dadurch die Steuerzeiten ändern und es zu erheblichen Schäden im Zylinderkopfbereich und an den Kolben kommen kann. Im schlimmsten Fall, kann es sogar zu Ventilabrissen, also Motortotalschäden kommen. Die Ursache ist eine mangelhafte Verpressung der Kettenräder auf den Wellen. Um die Ursache besser verstehen zu können, haben wir einige Wellen in ihre Bestandteile zerlegt und dabei festgestellt, dass die Flächenpressung seitens des Tragbildes zwischen dem Kettenrad und dem Wellenrohr bei einigen Wellen weniger als 30% betrug. Bei einigen Wellen fanden wir sogar Korrosion zwischen den beiden Bauteilen. Da ein

Kettenrad aber nur dann das anliegende Drehmoment auf eine Welle übertragen kann, wenn es ausreichend stark mit der Welle verbunden ist, ist es nicht verwunderlich, dass sich bei solch schlechten Tragbildern verdrehte Kettenräder einstellen.

Wir konnten dieses potenzielle Problem ausgeschaltet, indem wir bei allen Zwischenwellen, welche wir seitens der Lagerung optimieren, die verdreh gefährdeten Kettenräder mit jeweils 3 Gewindestiften sichern.



Abbildung 42: Zeigt die zusätzliche Verstiftung der Kettenräder. Die ultimative Verdrehsicherung. „by Cartronic“

Im Rahmen einer Optimierung einer ausgebauten Welle der ersten Generation ist diese Verstiftung sogar Pflicht. Der Einbau des Doppellagers in Verbindung mit einer Verstiftung der Kettenräder halten wir für die ultimative Lösung. Soweit uns bekannt ist, gibt es weltweit keine andere Firma, welche diese Art der Optimierung durchführt.

Kapitale Motorschäden durch "verlorene" Ölpumpenantriebe

Bei einigen wenigen Motoren, welche mit den Zwischenwellen der ersten Generation bestückt waren, kam und kommt es zu kapitalen Motorschäden, weil der Ölpumpenantriebszapfen den Kontakt zur Ölpumpe verloren hat.

Die Ölpumpe wird von der Zwischenwelle angetrieben. Dafür befindet sich zwischen dem Pumpenritzel und der Zwischenwelle ein 8mm starker und 50mm langer 6-Kant Zapfen. Damit dieser Zapfen, welcher lose in beiden Bauteilen steckt, nicht in die offene Zwischenwelle "wandern" kann, wurde seitens des Herstellers ein kleiner Verschlussdeckel von innen in die Öffnung der Zwischenwelle verpresst (ohne diesen Deckel kann man durch die Zwischenwelle hindurch schauen, da beide Seiten offen, was sie defacto sind).

Leider kann es in seltenen Fällen dazu kommen, dass sich dieser verpresste Deckel lösen und ins Innere der Welle abfallen. Der dann lose (weil ohne Anschlag) Antriebszapfen zwischen Welle und Pumpenritzel rutscht dann ebenfalls nach innen, in die Welle. Geschieht dies, bleibt die Ölpumpe stehen und alle Lagerstellen des Motors werden nicht mehr mit Öl versorgt. Es kommt innerhalb weniger Sekunden zu einem kapitalen Motorschaden.



Abbildung 43: Links, die Zwischenwelle , in der Mitte, der Verschlussdeckel und der Antriebszapfen, rechts, das Ölpumpenrad



Abbildung 44: Der Anschlagdeckel und der Antriebszapfen im Detail

Die Konstrukteure der Welle müssen dieses Problem erkannt haben, da bereits frühzeitig eine Änderung vorgenommen wurde. Der kleine, doch recht zierliche und nur "schwach" verpresste Anschlagstopfen mit einem Gesamtdurchmesser von 16mm, wurde gegen einen großen Verschluss Stopfen ausgetauscht, der ab dann, komplett flächig, innen am Rohr der Zwischenwelle verpresst wurde.

Der Antriebszapfen konnte nach dieser konstruktiven Änderungen nicht mehr "verloren" gehen.

Sobald wir eine Zwischenwelle dieser Bauart aus einem Motor bergen, verbauen wir einen speziell angefertigten Antriebszapfen, der nicht in die Zwischenwelle durchrutschen kann auch wenn der innere Deckel sich gelöst haben sollte. Im Juli 2014 fanden wir einen dieser kleinen Deckel im Inneren einer Zwischenwelle eines 3,4 Liter Motors eines unserer Partnerbetriebe aus der Schweiz. Hätten wir den losen Deckel nicht durch Zufall entdeckt, wäre dieser, an sich unbeschädigte Motor, ganz sicher innerhalb kürzester Zeit, an einem kapitalen Lagerschaden "verstorben".

Was kann man tun? - Was sollte man tun?

Viele Boxster, Cayman, 996 und 997 Fahrzeugbesitzer sind verängstigt, dass es auch sie treffen könnte. Einige haben sich vielleicht gerade einen 997S mit einem 3,8 Liter Motor gekauft, der auch noch 100.000 Km oder mehr gelaufen hat und immer noch über den ersten Motor verfügt.

Verständlich, dass sie sich Sorgen machen, da ja mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Motorschaden ansteht. Manche entscheiden sich dafür, das Fahrzeug wieder zu verkaufen, andere beobachten aufmerksam und hoffen, dass es zu keinem Motorschaden kommt. Einige lassen eine Endoskopie der Zylinder durchführen und lassen sich den Prophylaxe-Kit installieren. Einige wenige, lassen sich sogar den Motor überholen und optimieren, obwohl es noch nicht zum Schaden gekommen ist.

Cartronic ist in der Lage, Motoren ohne Vorschaden mit folgenden Bauteilen bzw. mechanischen Maßnahmen zu optimieren:

- Einbau eines speziellen „kühleren“ Thermostaten
- Einbau einer magnetischen Ölablass-Schraube
- Anbringen von engmaschigen Gittern im Bug zum Schutz der Kühler
- Veränderung der Ansteuerung der Ventilatoren an den Wasserkühlern
- Befüllung mit Hochleistungskühlmittel
- Befüllung mit 10W/60 Hochleistungs-Motoröl
- Einbau einer verstärkten Zwischenwellenlagerung bei Motoren bis Baujahr 2005



Abbildung 47: NISIC Zylinder verschiedener Bohrungen

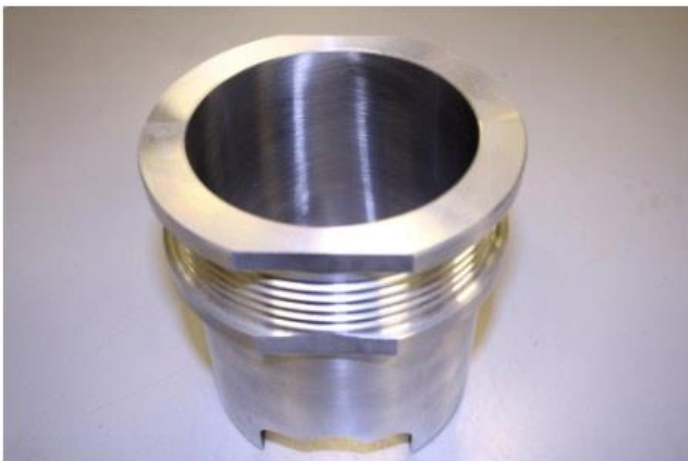


Abbildung 48: Teilweise bearbeiteter Cartronic-Zylinder der ersten Generation



Abbildung 48a: Cartronic-Zylinder der aktuellen Generation



Abbildung 49a: Zylinderrohling links und einbaufertiger, bereits mit NiSiC beschichteter Zylinder rechts



Abbildung 49b: Motorhälfte während der mechanischen Bearbeitung. Originalzylinder wurden entfernt



Abbildung 50: Von Cartronic eingebauter, fertig gehonter 3,8Liter Zylinder für einen 997 X51-Motor. Stabil, gut geführt, geschmiedet, NiSiC beschichtet und gehont. Gebaut für eine lange Lebensdauer.



Abbildung 51: In das Gehäuse eingeschrumpfter, geschmiedeter und NiSiC-beschichteter Zylinder. (Ansicht von unten) Zylinder der Generation 2 sind 5,5mm länger.



Abbildung 52: Eingepresster Schmiede-Zylinder der 1. Generation. Lediglich 1,5 mm vom originalen Zylindermaterial verbleiben nach dem Ausbohren der Originalzylinder. Die dienen der sicheren Führung und Aufnahme des Cartronic Zylinders.

Der Einbau der Cartronic Zylinder in die geschädigten Motorgehäuse erlaubt es, Zylinder einzusetzen, die exakt die Bohrung von Werksmotoren haben. Dadurch ist man in der Lage, die originalen Porsche/Mahle-Kolben zu benutzen. Wie bereits erwähnt, begehen viele Reparaturbetriebe einen eklatanten Fehler und bohren die gefressenen Zylinder einfach auf ein Übermaß auf und setzen dann speziell angefertigte Übermaßkolben ein. Diese Art der Reparatur schwächt den Motor, speziell den betroffenen Zylinder noch mehr, da die ohnehin schon kritisch dünne Zylinderwandstärke dadurch noch geringer wird. Ein neuerlicher Motorschaden, genau an den mit hohen finanziellen Aufwand bearbeiteten Zylindern, ist innerhalb der nächsten 15-20.000 Km zu erwarten. Diese Firmen waschen ihre Hände regelmäßig in Unschuld, da die neuerlichen Schäden meist erst nach dem Ablauf der Gewährleistungszeit eintreten oder nachdem die Fahrzeuge mehrfach den Besitzer gewechselt haben.

Einige Kritiker unserer Methode sind der Ansicht, dass eine Veränderung der Kühlwasserverteilung durch die mechanische Bearbeitung im Inneren des Motors, dazu führt, dass dadurch die Zylinderköpfe thermisch überbelastet werden. Die Gedankengänge sind nachvollziehbar, sofern man davon ausgeht, dass wir nicht wissen was wir tun. Wir sind uns darüber bewusst, wenn weniger Kühlwasser zu den Köpfen gelangt, dies zwingend in einer thermisch höheren Belastung der Köpfe resultiert. Wir haben uns erst für diesen Schritt entschieden, nachdem wir die Situation ausgiebig „studiert“ hatten, und uns sicher waren, dass die Zylinderköpfe, nach dem Neudesign seitens der Porsche AG keine Probleme mehr machten. Um sicherzugehen und um zu vermeiden, dass man uns später in die Verpflichtung nehmen konnte, entschieden wir uns damals, spezielle Kühlwasserthermostate zu verwenden, welche früher öffnen. Letztendlich erreichten wir damit, dass die Zylinderköpfe kühler liefen als zuvor.

Die Motoren werden durch diese Maßnahmen standfester als sie es jemals waren. Sogar die Zylindertemperaturen von revidierten 3,8Liter Motoren lagen nach unseren Maßnahmen unter denen, der problemlos performenden Motoren. Das waren die Motoren, die noch mit zwei unterschiedlich designten und sehr gut an die technischen Gegebenheiten angepassten Kopfdichtungen betrieben wurden. Wir sind sicher, dass man den Temperaturhaushalt in den von uns optimierten und reparierten Motoren als anzustrebenden Referenzwert ansehen kann.

Heute sind wir stolz, dass die Gesamtreparaturkosten inkl. aller Arbeitslöhne für den Ein- und Ausbau und sonstigen Montage- und Optimierungsarbeiten, welche wir für die Beseitigung eines Motorschadens, in Rechnung stellen, rund 40% günstiger sind als die Kosten, die anfallen, wenn man sich ein Short-Block-Motorgehäuse im Austausch gegen den beschädigten Motor, einbauen lässt.

Erstaunlich, und für uns nicht leicht zu verstehen, ist die Tatsache, dass wir von den meisten von uns angesprochenen unabhängigen Reparaturfirmen, die sich mit der Überholung von Porschemotoren beschäftigen, nicht die Rückmeldungen bekommen haben, die wir uns erhofft hatten. Die meisten wollten aus Kostengründen bei ihrer „individuellen“ Art der Reparatur eines Motors bleiben. Der eine setzt nach wie vor Stahlzylinder ein, und fühlt sich dabei wie in der Formel 1. Der andere bohrt weiterhin die beschädigten Zylinder aus und setzt Übermaßkolben ein.

Finanziell günstige Symptombehandlung steht bei diesen Firmen an erster Stelle. An einer Behebung der Ursachen haben nur wenige Firmen Interesse.

Die Zeiten werden immer schwerer. Nicht wirklich verwunderlich, dass viele Firmeneigentümer nur noch das schnelle Geld im Sinn haben. Immer wieder hören wir Argumente, wie, dass die Kunden nicht bereit sind „so viel“ zu bezahlen. Man wäre sozusagen gezwungen, Billigreparaturen anzubieten.

Wie verhindern man das Kolbenkippen im unteren Totpunkt (UT)?

Die Kolben der M96/97 Motoren ragen im unteren Totpunkt (UT) einige Millimeter aus dem Zylinder heraus. Im nächsten Takt, bewegen sie sich dann wieder nach oben in Richtung OT. Der Pleuelwinkel ändert sich und durch den sich verlagernden Druck auf die Kolben kippen sie leicht im Zylinder, und wechseln dabei die Seite mit der sie die Zylinderwandung anliegen. Da die Kolbenhemden 5 mm aus dem Zylinder herausstehen, berührt der untere, Teil des Kolbenhemdes die Kante am Ende der Zylinderwandung.

Am seitlichen Verschleiß der Kolbenhemden kann man erkennen, dass der Kolben vollständig geführt vom Zylinder geführt wird. An dem nachfolgend abgebildeten Kolben eines 3,4 Liter Motors, der bei diesen Motoren mit keiner seitlichen Beschichtung versehen war, kann man erkennen, ab und auf welchem Bereich der Kolbenhemdfläche ein leichter, materialverdichtender Kontakt zu der Zylinderlaufbahn stattgefunden hat.

Dieser Bereich beginnt zirka 5 mm oberhalb der Unterkante des Kolbens und zeigt sich farblich dunkler als der Bereich, der keine erhöhte Kontaktreibung hatte.

Der Überstand des Kolbens in Verbindung mit der relativ scharfen Kante des Zylinders führt dazu, dass der Kolben bei Richtungswechsel nach dem unteren Totpunkt und auf dem Weg nach oben, dort direkt mit dem Zylinder in Berührung kommt.



Abbildung 52: Kolben eines 3,4 Liter Motors bei welchem die verschlissenen Kontaktflächen zu der Zylinderwandung markiert wurden. Das Kolbenhemd hat nur partiell getragen. Der Kontaktbereich (dunkler Bereich) beginnt erst 5 mm oberhalb der Kolbenunterkante. Der untere, nicht verschlissene Bereich steht im UT über die Unterkante des Zylinders über. Das gilt es zu verhindern.

Bei seitlich, mit Ferrostat-Pads beschichteten Kolben der 3,6 und 3,8 Liter Motoren kommt es deshalb zu Beschädigungen der Gleitbeschichtung. Die Beschichtungsablösungen beginnen einige Millimeter oberhalb der Unterkante der Kolbenhemden.

Die Kolben stellen nicht die Ursache dafür dar, sondern die Zylinder.

Die nächste Abbildung zeigt das Innere eine Blockhälfte auf der man sehr gut erkennen kann, wo die die originalen Zylinder enden. Bitte vergleichen Sie die Abbildungen 54 mit der Abbildung 55.

Es handelt sich um den gleichen Motor. Bild 54 zeigt den Zustand vor dem Einbau der verbesserten Zylinder durch uns. Abbildung 55 zeigt den Motor mit den verlängerten Zylindern, die wir seit September 2013 einbauen.



Abbildung 54: Originalmotor mit „kurzen“ Zylindern. Die Aussparungen in den Zylindern, zwecks Montage der Kolbenbolzen, sind nach unten hin offen.

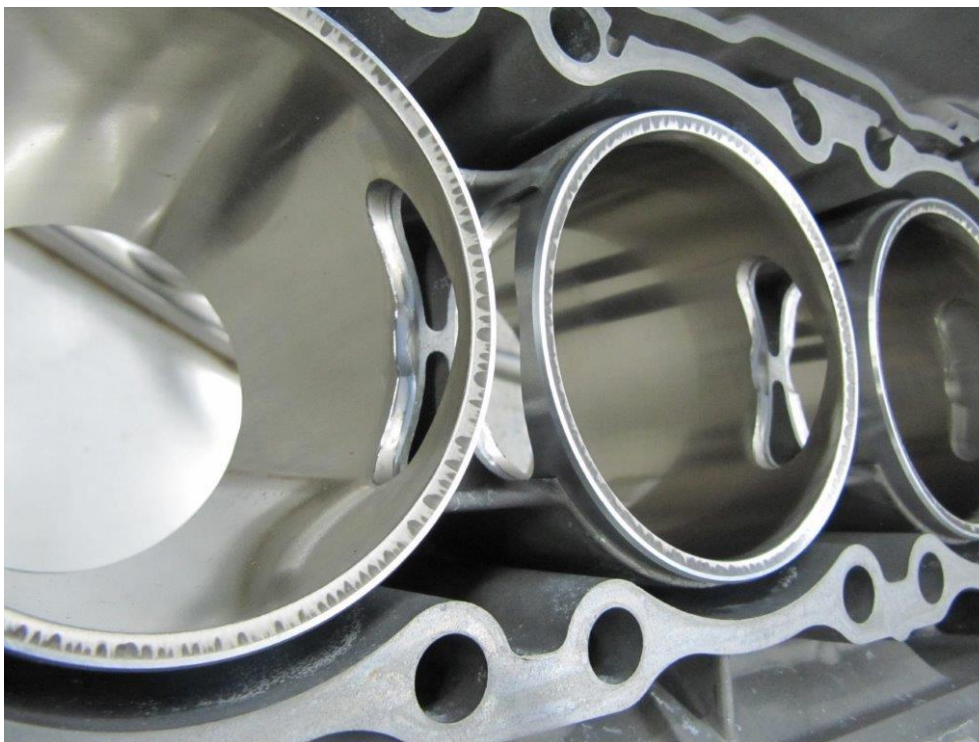


Abbildung 55: Motor aus Abbildung 54 mit verlängerten Zylindern, die materialschädigende Kolbenkipper im UT verhindern. Klar erkennbar ist der Überstand über die sichtbare, ehemalige Unterkante der Originalzylinder. Die Aussparungen in den Zylindern, ohne die man die Kolbenbolzen nicht montieren könnte, sind nun geschlossen bzw. wurden zu Öffnungen im Zylinder. Bitte vergleichen Sie auch mit Abbildung 51.



Abbildung 56: Eine vergleichbare Situation ergibt sich bei einem 3,4 Liter Motor. Sichtbar sind die von uns eingebrachten, verlängerten Zylinder.

Um den unnötigen Verschleiß und besonders die Beschädigungen der Kolbenhemden zu vermeiden, verbauen wir in allen Motortypen die verlängerte Version der Zylinder.

Dies hebt uns nun noch deutlicher von den Mitbewerbern ab, denn diese sehr sinnvolle Optimierung ist nur in Kombination mit dem Verbau von Komplettzylindern möglich.

Kaltstart-Qualmen

Es kommt vor, dass gebrauchte, neue aber auch überholte Boxer-Motoren nach dem Kaltstart für einige Sekunden aus dem Auspuff qualmen. Bei Reihen- und V-Motoren ist dieser Effekt nicht so stark zu beobachten, da das sich sammelnde Öl zwischen Kolben und Zylinderwandung nach unten, Richtung Kurbelgehäuse ablaufen kann. Bei einem Boxermotor sieht das anders aus, da sich das Öl im unteren Bereich des Zylinders sammeln kann um dann bei nächsten Startvorgang zu verbrennen.

Dies beobachtet man sogar recht häufig bei Motoren mit geringer Laufleistung. Die Kolben sind mit Ölkänen versehen, durch welches Öl vom inneren Bereich der Kolben nach außen in die Kolbenringnut des 3. Kolbenrings (Ölabstreifring) laufen kann. Dieses Öl sammelt sich im unteren Bereich des Zylinders und wird beim Neustart des Motors verbrannt.

Kommt es während der Fahrt zu einer „Ölfahne“, wenn sich der Motor im Schiebebetrieb befindet, oder man nach dem Schiebebetrieb beschleunigt, dann hat man es Problemen im Zylinderkopfbereich zu tun. Verschlossene Ventilschaftdichtungen und ausgeschlagene Ventilschäfte sind die Ursache.

Eine weitere Ursache ist die, dass das Fahrzeug in einem steilen Winkel bergauf oder bergab abgestellt wurde. Obwohl die Zylinderköpfe so konstruiert wurden, dass Öl ablaufen kann, kann es passieren,

dass der Winkel, in dem man geparkt hat, so stark ist, dass das Öl nicht Richtung Kettengehäuse abläuft. Diese Situation haben wir in der Abbildung 56 besser verdeutlicht. Obwohl es eine Rampe mit einem Gefälle von 5° gibt, kann das Öl (rechts im Bild) nicht abfließen.

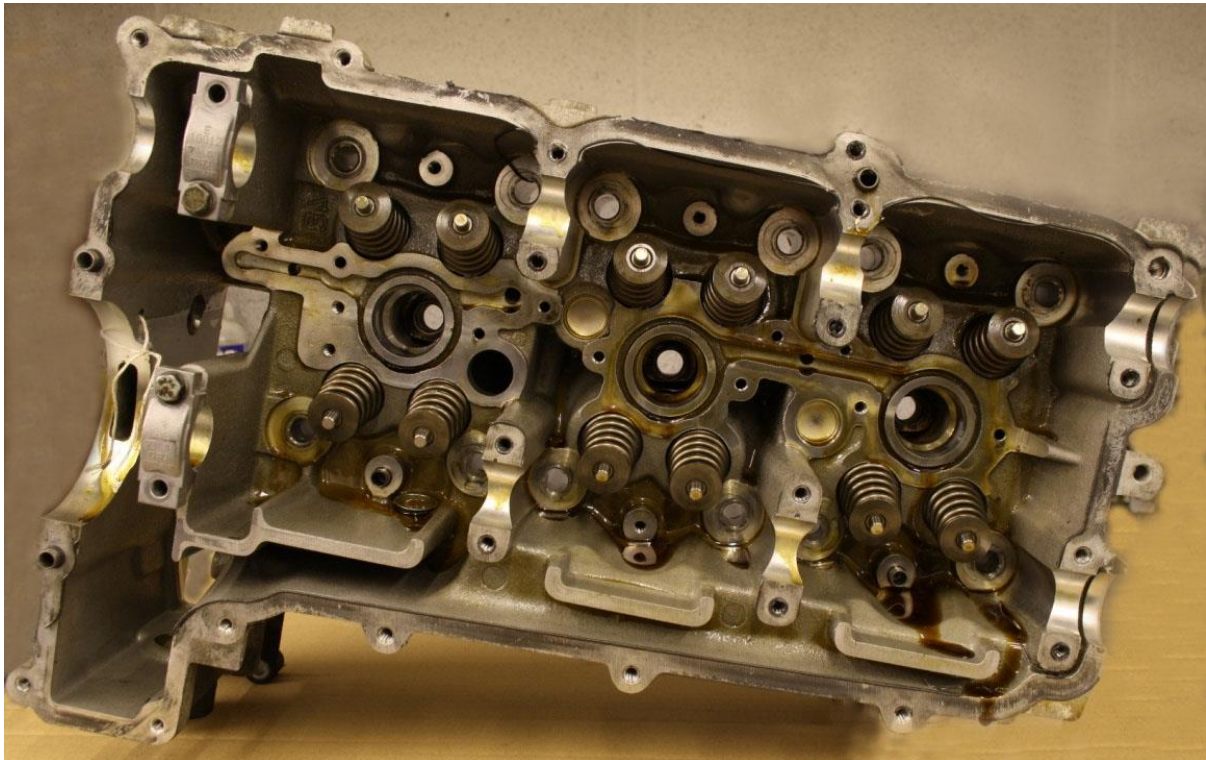


Abbildung 56: Zeigt die Stellung eines 986/987 Zylinderkopfes, wenn das Fahrzeug an starkem Gefälle abgestellt wurde. Sichtbar ist Öl, das sich im rechten unteren Bereich gesammelt hat, und nicht ins Kurbelgehäuse ablaufen kann.

Da die Zylinderköpfe an den Motoren seitenverkehrt montiert sind, kann man diese Situation nicht umgehen, da eine Motorseite immer dieses Bild aufweist. Von den konstruktiven Merkmalen der Bauteile her, gibt es keinen Unterschied zwischen Boxster/Cayman und dem 996 oder dem 997.

Kommt ein Motor nach dem Abstellen mit geöffneten Auslassventilen zum Stehen, kann es im Falle von nicht verschlissenen Ventilschaftdichtungen bzw. eingelaufenen Ventilschäften bzw. Ventilschäften zu einer Qualm-Entwicklung kommen, da sich das "gefangene" Öl beim Bergauf,- oder Bergab Parken schnell seinen Weg entlang der Ventilschäfte in Richtung Brennraum sucht.

Bei Motoren mit hoher Motorleistung bzw. bei Motoren mit ovalen oder bereits gefressenen Zylindern ist der Effekt deutlich stärker zu beobachten.

Parkt man in einem sehr steilen Winkel, dann kann es sogar passieren, dass das Öl aus dem recht niedrigen Ölsumpf so hoch steigt, dass es in die Unterseite der Zylinder einfließen kann. In dem Falle kann es auch zu einer starken Qualm-Entwicklung (Bläuen) kommen. Stellt man einen 996 oder 997 mit der Front nach unten ab, ist der Effekt schwächer, da sich überlaufendes Öl aus dem Kurbelgehäuse zusätzlich noch in dem „Sumpf“ unterhalb des Zwischenwellentriebs sammeln kann. Beim Boxster/Cayman ist es genau umgekehrt.

Einen 996 oder 997 sollte man deshalb, wenn es sehr steil ist, mit der Front nach unten abstellen. Einen 986 oder 987 besser mit der Front nach oben.

Das qualmende Inferno -Sorgenkind Ölabscheider-

Die am Motor verbauten Öldampfseparatoren, sollen Öldämpfe aus dem Kurbelgehäuse kondensieren lassen. Das kondensierte Öl, soll dann als Tropföl wieder zurück in das Kurbelgehäuse laufen. Defekte Membranen in den Ölabscheidern sind sehr häufig die Ursache für extreme Qualm Wolken aus der

Abgasanlage. Die im Inneren des Kunststoffgehäuses verbaute Gummi-Membrane wird irgendwann spröde und reißt.

Wir haben einen defekten Ölseparator zerlegt. Auf den nachfolgenden Abbildungen wird deutlich, wo das Problem liegt. Die gerissene Membrane ist gut sichtbar. Über einen Schlauch, der vom Ölseparator zur Ansauganlage verläuft und der bei geschlossener Drosselklappe mit Unterdruck beaufschlagt ist, kann Öl durch die defekte Membrane angesaugt werden. Dieses Öl verteilt sich in der gesamten Ansauganlage und wird in den Zylindern verbrannt. Ein Membranschaden liegt dann vor, wenn aus allen Auspuffrohren während des Leerlaufs oder im Schubbetrieb Öl Qualm austritt. Sobald die Drosselklappe geöffnet wird, muss sich das Qualmen abschwächen.

Dass Fahrzeug sollte sofort abgestellt werden, da unverbranntes Öl, welches in die Katalysatoren gerät, diese zerstören können.



Abbildung 57: Ölseparator mit von uns rundum aufgeschliffenem Membrandeckel



Abbildung 58: Die Membrane und der Membrandeckel (links) vom Separator-Gehäuse entfernt.



Abbildung 59: Dieses Detailfoto zeigt die thermisch und durch chemische Dämpfe gealterte und gerissene Membrane

Im Detail verbesserte Ölseparatoren sind nicht erhältlich. Man sollte sich also nicht wundern, wenn am Heck plötzlich viel Qualm entsteht. Im Rahmen unserer Motorrevisionen werden die Separatoren generell ersetzt.

Die Ursachen von Zündaussetzern

Bei den hier beschriebenen Motoren kommt es hin und wieder zu Zündaussetzern. Recht häufig sind es die Zündspulen, die Probleme machen. Die Spulengehäuse sind hohen Temperaturen und teilweise harschen Bedingungen ausgesetzt. Bevor die Spulengehäuse aufplatzen, kommt es zu Rissbildungen. Falls die Ursache für Zündaussetzer eine defekte Spule ist, kann man das Problem auf einfachem Wege lösen. Man ersetzt die defekte Spule und die betroffene und meist in Mitleidenschaft gezogene Zündkerze.

Zündaussetzer können aber auch durch verölte bzw. verkokte Zündkerzen hervorgerufen werden. Dazu kann es kommen, wenn übermäßig viel Motoröl in den Brennraum gelangt und dort mitverbrannt wird. Da dies nicht rückstandslos möglich ist, bilden sich Ablagerungen auf der Kolbenoberfläche im Zylinderkopf, den Ventilen, aber auch an den betroffenen Zündkerzen.

Findet man eine einzelne verrußte oder verölte Zündkerze, sollte man entweder von einem Kolbenfresser auf diesem Zylinder, einer defekten Ventilschaftabdichtung und/oder einer defekten Ventilführung ausgehen. Um einen Kolbenfresser auszuschließen sollte man zuerst den betroffenen Zylinder endoskopieren. Wurde das Problem auf Zylinder 4, 5 oder 6 festgestellt, ist das Schlimmste zu befürchten.

Findet man während der Endoskopie keine Fressspuren, dann bedeutet das nicht, dass es zu keinem Kolbenfresser gekommen ist, da sich die Riefenbildung sehr oft immer im unteren Bereich der Zylinderwandung ausgebildet hat. Dort kann man nur hinschauen, wenn man den Ölwannendeckel entfernt und von innen über das Motorgehäuse rückseitig in Richtung Kolbenboden und die Zylinderwandung schaut. Der Zeitaufwand für diese Diagnose ist nicht unerheblich. Findet man bei der Endoskopie Kolben, die mit starken Ölkohleablagerungen versehen sind, dann deutet das auch ohne sichtbare Spuren im oberen Bereich der Zylinder darauf hin, dass es zu einem Kolbenfresser im unteren Bereich des Zylinders gekommen ist.

Die Ölanalyse – Für alle, die es genau wissen wollen -

Durch eine Ölanalyse lässt sich frühzeitig ein sich anbahnender Motorschaden feststellen. Diesen Service bieten viele, darauf spezialisierte Labore an. Ein sich anbahnender Kolbenfresser geht auf Grund des Materials der Zylinderlaufbahnen und der Kolben mit einem erhöhten Anteil an Aluminium im Öl einher. Normalwerte von 2-5 ppm findet man dann nicht mehr sondern eher mehrfach erhöhte Werte von 25-50 ppm. Auch findet man erhöhte Anteil an Silizium, welches an der Oberfläche der Zylinderlaufbahnen freiliegt. Werte von üblicherweise 1-3 ppm steigen bei einem sich ankündigenden Schaden auf 5-6 ppm an. Bei den 3,6 und 3,8 Liter M96/97 Motoren findet man dann auch immer einen erhöhten Eisenanteil da die seitlich am Kolbenhemd angebrachten und aufgeriebenen Gleitschichten, Eisenanteile erhalten. MAHLE als Hersteller bringt diese, 5/100 mm starke, Ferrostat-Pads genannte Beschichtung, auf die Bereiche der Kolbenhemden auf, die mit den Laufflächen der Zylinder in Kontakt stehen. Wurde allerdings eine magnetische Ölablassschraube installiert oder sogar unser Ölfilter Kit samt Magnetband, findet man so gut wie gar keine ferritischen Partikel im Öl, da diese entweder an dem Neodym-Magneten der Ablass-Schraube oder innen an der Wandung, der mit dem Magnetband umspannten Ölfilterpatrone gehalten werden.

Bei Motoren ohne Rückhaltemagneten gelten FE-Anteile von 2-6 ppm noch als normal. Ab 7 ppm sind die Werte allerdings schon grenzwertig. Findet man Anteile von 9-11 ppm hat man höchstwahrscheinlich schon ein Motor mit Kolbenfresser. Aluminium und Silizium im Öl stammt von den Zylinderlaufbahnen und den Kolben. Eisen, von den Kolbenringen und/oder den Fermostat-Pads der Kolben. Allerdings kann ein zu hoher Eisenanteil auch von Abrieb der Steuerketten und Antriebsrädern der Zwischenwelle und/oder Nockenwellen stammen. Eingelaufene Nockenwellen, Kipphebel oder Tassenstößel führen generell zu einem Eintrag von Eisenbestandteilen in das Motoröl. Findet man anstelle von magnetischen Schlamm, größere, silbrig glänzende magnetische Metallpartikel an der Ölablass-Schraube oder innen am Ölfilter, dann hat man es mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einem Lagerschaden des Zwischenwellenlagers zu tun.

In der Realität hat man es nur in wenigen Fällen mit einer einzigen Ursache zu tun.

Das Ölfilter Upgrade-Kit

Cartronic verbaut im Rahmen der Motorevisionen generell eine magnetische Ölablass-Schraube.

Entweder eine mit einem hochwertigen Neodym-Magneten oder eine, die mit einem Keramikferrit versehen ist. Unsere Neodym-Magnete sind von hoher Qualität und halten magnetische Bestandteile im Öl auch noch bei Öltemperaturen von über 110°C fest. (Alle Magnete, aber auch alle Metalle verlieren mit steigenden Temperaturen ihre ferromagnetischen Eigenschaften. Ab einer bestimmten Temperatur, der sogen. Curie-Temperatur verschwindet diese Eigenschaft, die Magneten werden paramagnetisch. Sinkt die Temperatur wieder unter die Temperatur, kommen die ferromagnetischen Eigenschaften wieder zurück)

AlNiCo-Magnete (Aluminium, Nickel und Kobalt) vertragen die höchsten maximalen Betriebstemperaturen von 450-900°C. Samarium-Kobalt-Magnete (SmCo), eine Art leistungsstarker Seltenerd-magnete, behalten ihre magnetische Leistung bei Temperaturen zwischen 250 und 350 °C bei. Standardmäßige Neodym-Seltenerd-magnete (NdFeB) sind in Umgebungen mit höheren Temperaturen weniger leistungsfähig und haben eine maximale Betriebstemperatur von 80°-90°C. Spezielle Hochtemperatur-Neodym-Magnete behalten ihre magnetische Leistung bis zu Temperaturen von 200°C. Das weltweit am häufigsten verwendete Magnetmaterial, Keramikferrit, hat eine maximale Betriebstemperatur von bis zu 300 °C.



Abbildung 60: Magnetische Ölablass-Schraube

Seit Januar 2019 bieten wir auch verschiedene Ölfilter Upgrade-Kits an. Diese Kits bestehen aus einer handelsüblichen Filterpatrone. Dieser Filter ersetzt den originalen Papierfiltereinsatz und hat den Vorteil, dass der Filter nicht nur das Motoröl zu 100% filtert, sondern dass man um das Metallgehäuse ein spezielles Magnetband mit vielen starken Neodym-Magneten legen kann, welches auch zum Kit gehört. Die mitgelieferte Filterkonsole nimmt den Filter auf und wird mit dem Motorgehäuse verschraubt.

Die Kits werden für nicht nur für die M96/97 Motoren, sondern auch für die Nachfolgemotoren, Typ MA1 mit Direkteinspritzung angeboten. Im Falle eines Ölwechsels wird nur die Ölfilterpatrone gewechselt. Das Magnetband nimmt man von dem alten Filter ab und verwendet es weiter.



Abbildung 61: Ölfilter Upgrade-Kits für Porsche® M96/97 sowie Direkteinspritzer Motoren vom 997.



Abbildung 62: Links: Originales Kunststoffgehäuse für den Papierfilter – Rechts: installierter Upgrade-Kit

Leider sind die Magnetbänder, für die nur ein Hersteller bekannt war, seit Ende 2021 nicht mehr lieferbar. Unsere Upgrade-Kits beinhalten seitdem keine Magnetbänder mehr.

Motorsport mit M96/97 Motoren – Der Vorteil der Trocksumpschmierung

Die Frage, ob die serienmäßig belassenen M96/97 Motoren für den Motorsporteinsatz geeignet sind, muss man mit Nein beantworten. Gegenüber dem standfesten, klassischen Motorkonzept der luft- und wassergekühlten Porsche 911 mit Trockensumpfschmierung, welches ja auch in den Modelljahren der M.96 und M.97 Motoren in Fahrzeugen der Baureihen GT3, Turbo und GT2 Verwendung fand, haben die modernen M.96/97 Motoren einen entscheidenden Nachteil. Diese Motoren verfügen über keine Trockensumpfschmierung mit einem externen Ölreservoir (Öltank). Porsche bezeichnet das Schmiersystem als "integrierte Trockensumpfschmierung mit Ölreservoir im Motor". Dabei handelt es sich um eine normale Druckumlauf-Schmierung, welche in fast jedem konventionellen Großserienmotor Verwendung findet. Das Rad wurde nicht neu erfunden, es nur anders benannt.

Die Ölpumpe saugt bei diesen wassergekühlten Motoren der Baureihen M96/97 das Öl vom Grund des Motorgehäuses. Das Ölvolumen dieser Motoren ist geringer als bei den Motoren mit Trocksumpf-

schmierung. Bei forschender Kurvenfahrt, bei der erhöhte G-Kräfte wirken, oder bei plötzlichen Richtungswechsel, speziell beim motorsportlichen Einsatz mit Slicks oder Clubsportreifen, kann es dazu kommen, dass die Ölpumpe für kurze Zeit Luft ansaugt. Dies führt in vielen Fällen zu einem Lagerschaden. Um das zu vermeiden, haben wir zusammen mit unserem Entwicklungspartner Hartech ein spezielles System entwickelt, mit welchem man jeden M.96/97 Motor Motorsporttauglich macht. Unser motorsporttaugliches System sorgt dafür, dass der Motor durch eine vergrößerte Ölwanne mehr Füllmenge bekommt und verhindert, dass zu viel Öl bei Kurvenfahrten zur Seite schwappen kann. Die Ölpumpe kann keine Luft ansaugen.

Dieses System zeigt seine wahren Vorteile natürlich nur in Verbindung mit einem standfesten Basismotor. Einen Serienmotor damit umzurüsten, macht wenig Sinn, da dieser vermutlich recht schnell den Tod an einem der anderen beschriebenen, konstruktiven Mängeln erleiden würde.

Unser Racing-Kit besteht aus zwei unterschiedlichen Systemen. Das eine System sorgt dafür, dass der Motor durch eine vergrößerte Ölwanne mehr Füllmenge bekommt und dass das Öl in Kurvenfahrten nicht mehr zur Seite schwappen kann. Dies realisierten wir mit einer vertieften Ölwanne und mit sehr speziellen Schottblechen und Öklappen (Flaps) die sofort schließen, wenn das Öl durch die Fliehkraft auf eine Seite gedrückt wird. Anhand eines, dem Kit beiliegenden, speziellen Adapters wird der "Ansaugrüssel" der Ölpumpe um 25 mm tiefer gelegt. Die Pumpe wird also mit hoher Wahrscheinlichkeit niemals mehr Luft ansaugen können.

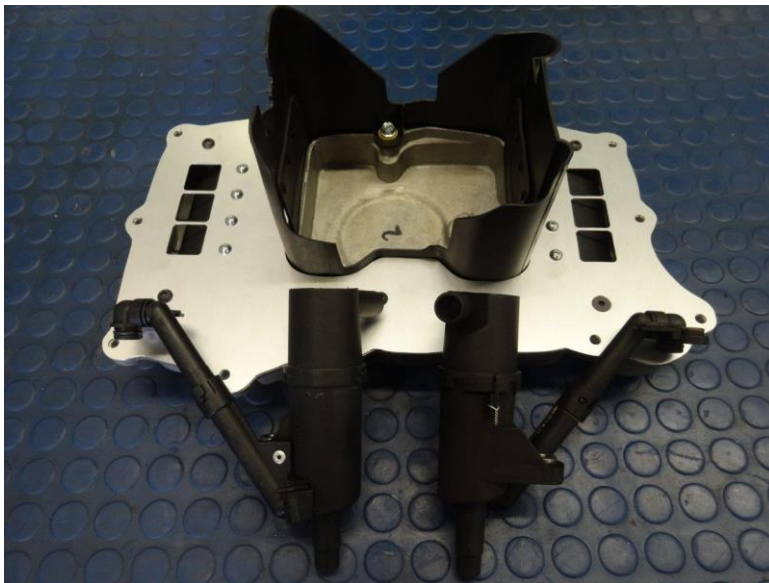


Abbildung 63: Die Hartech/Cartronic Racing-Ölwanne mit einem ausgeklügelten Ölrückhaltesystem. Im Vordergrund die beiden modifizierten Ölabscheider.

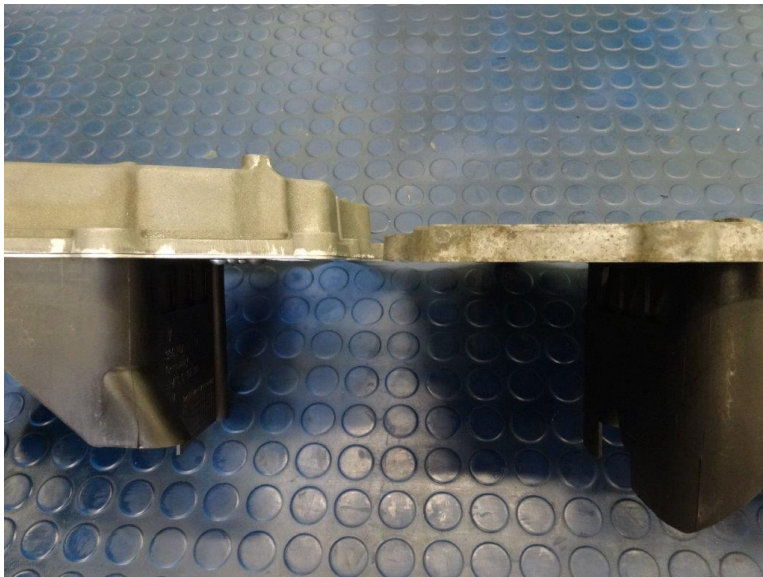


Abbildung 64: Links die 25 mm tiefere Racing-Ölwanne, rechts der Seriendeckel



Abbildung 65: Der originale "Ansaugrüssel" der Ölpumpe mit dem 25mm hohen Distanzierungsadapter



Bbbildung 66: Die Racing-Ölwanne von unten. Hergestellt im Sandgussverfahren.

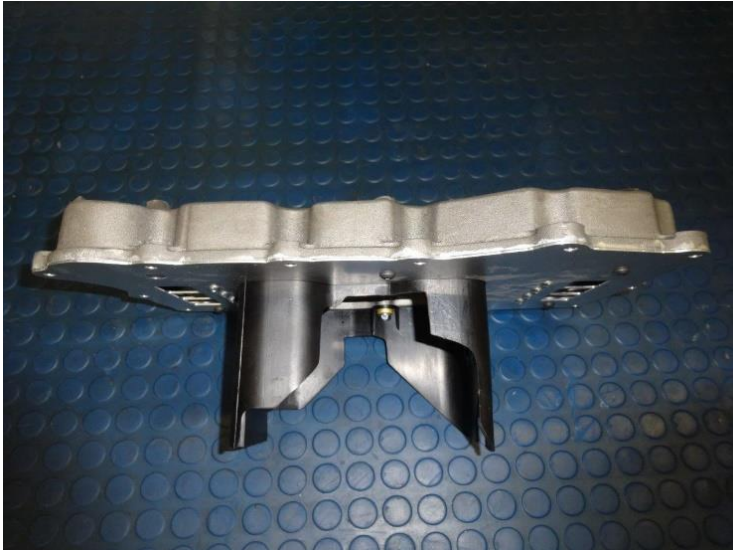


Abbildung 67: Die Racing-Ölwanne in der Seitenansicht

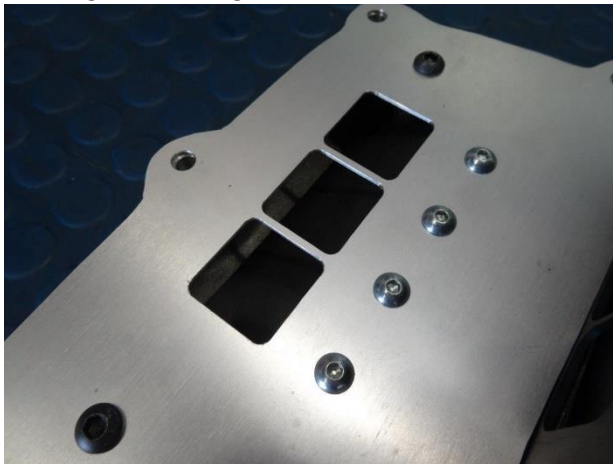


Abbildung 68: Die Ölrückhalteklappen (Flaps) verschließen die 3 Öffnungen sobald das Öl hochschwappt

Zusätzlich erhältlich ist eine speziell auf diese Motoren abgestimmte Not-Druckölschmierung. Dieses System basiert auf einem mit Öl gefüllten Druckreservoir der Firma Accusump in USA.



Abbildung 69: Die Kombination aus der Deep-Sump Racing-Ölwanne und dem Accu-Sump-Kit gibt maximale Sicherheit

Es handelt sich um einen zylindrischen Behälter der im Innen auf zwei Kammern aufgeteilt ist. Die Kammern sind durch eine Membrane voneinander getrennt. Vor Installation wird die eine Seite über

einen Druckluftanschluss (Ventil) mit Luft aufgefüllt. Idealerweise mit 3 Bar. Ein Manometer zur Druckkontrolle ist an dem Zylinder angebracht.

Die andere Seite im Inneren, die als Zusatzölspeicher fungiert, wird von der Ölpumpe des Motors mit Motoröl versorgt. Dort liegt der, durch die Pumpe erzeugte Systemdruck an. Nehmen wir an, dieser liegt bei 4,5 Bar bei einer Motordrehzahlen ab 4000 U/min.

Käme es während der Fahrt dazu, dass die Pumpe einmal Luft, anstelle Öl ansaugt, könnte der Öldruck kurzfristig auf nahe Null abfallen. Mit schlimme Folgen für die Lagerstellen des Motors.

Sobald der Öldruck abfällt, wirkt das Accusump-System dagegen. Der Druckverlust auf der Seite der Ölpumpe, macht sich auch auf der, mit Öl gefüllten Seite im Accusump-Speicher bemerkbar. Die 3 Bar Druck die hinter der Gummimembrane anliegen, wirken auf das mit Öl gefüllte Reservoir und pressen Öl aus diesem in den Motorölkreislauf.



Abbildung 70: Das komplette Accusump-System ASP-M96/7. Der Wärmetauscher rechts gehört nicht dazu.

Saugt die Pumpe Luft an und fällt dadurch der Öldruck ab, wirkt das Accusump-System dagegen und sorgt dafür, dass es zu keinem Ölmangel an den Lagerstellen kommen kann indem es Anteile, von seinem internen Ölreservoir in den Motorkreislauf drückt.

Sobald die Motorölpumpe nach dem Event wieder Öl ansaugt und sich der Druck wieder aufbaut, füllt sie dabei den zum Teil, oder völlig geleerten Speicher des Accusump-Reservoir wieder auf. Sobald sich nach wenigen Sekunden der ölgefüllte Bereich im Accusump-Zylinder wieder gefüllt hat, ist das System wieder einsatzbereit.

Um den Accusump-Zylinder in den Ölkreislauf zu integrieren, mussten wir eine spezielle Zwischenplatte konstruieren und herstellen lassen. Die Platte wird zwischen dem Motorblock und des Öl/Wasser-Wärmetauscher montiert.

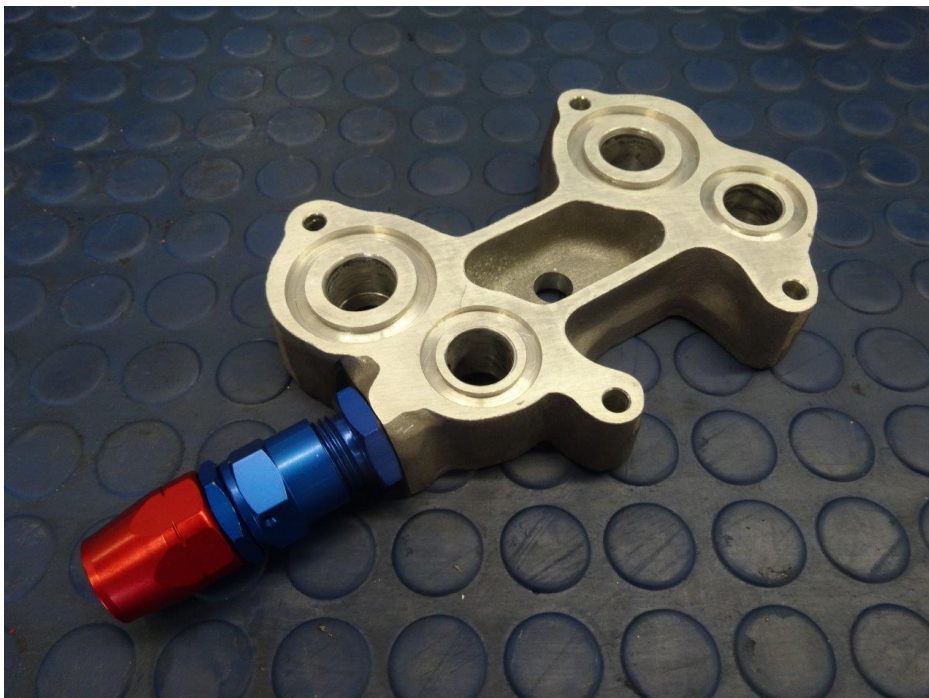


Abbildung 71: Die Adapterplatte mit Speisungsanschluss für den Accusump-Zylinder

Die Kombination aus beiden Systemen (Deep-Sump Ölwanne und das Accusump-Kit) maximale Sicherheit. Wir behaupten, dass es weltweit kein besseres und effektiveres System erhältlich ist.

Motoren, der von uns überholt und dergestalt optimiert wurden, werden seit Jahren im Motorsport eingesetzt. Wir haben keine Bedenken weitere Leistungssteigerungen an diesen Motoren vorzunehmen. Wir verbauen sehr oft Sportnockenwellen, führen Hubraumerweiterungen durch, montieren Sportabgaskrümmen, Sportendschalldämpfer und optimieren die Zünd- und Einspritzkennfelder der Digitalen Motor Elektronik (DME/Motronic).

Vorbeugungsmaßnahmen bei noch unbeschädigtem Motor

Immer wieder erhalten wir Anfragen von beunruhigten Kunden, welche einen der beiden Motorengenerationen in ihrem Fahrzeug verbaut haben.

Die einen fragen, ob man den Wagen besser verkaufen soll und andere wollen nur wissen wie hoch man das Risiko eines möglichen Schaden bei einer bestimmten Laufleistung einschätzt.

Alles Fragen, die man nur schwer beantworten kann.

Wer seinen Porsche liebt, noch keine offensichtlichen Probleme hat und den Wagen auch in Zukunft weiterfahren möchte, dem raten wir in wenigen Fällen zu einer rein prophylaktischen Motorrevision. Handelt es sich bei dem Kundenfahrzeug um einen 997S mit dem 381 PS X51 Motor und hat der Motor eine Laufleistungen von über 100.000 Km weisen wir die Kunden darauf hin, dass man ziemlicher Sicherheit davon ausgehen kann, dass es bald zu einem Motorschaden kommt.

Das trifft auch auf die 997S Motoren mit 355 PS zu. Bei Laufleistungen von über 150.000 km empfehlen wir ebenfalls eine Motorrevision nach unserem System, obwohl der Motor noch keinen Schaden erlitten hat.

Allen anderen Kunden empfehlen wir ein Upgrade der Zwischenwellenlagerung, den Verbau des Niedrigtemperaturthermostat und einer optimierten Wasserpumpe. Bei Fahrzeugen ab Baujahr 2006 – 2008 (ab Modelljahr 2007), in welche eine nicht von außen, upgrade-fähige Zwischenwelle verbaut wurde, empfehlen wir neben des Austauschs des Thermostaten, die Optimierung des Lagers.

Diese erfolgt durch das Entfernen der von außen zugänglichen Lagerabdichtung. Diese besteht aus Kunststoff. Dadurch erhöht man die Lebensdauer des Lagers, da es dann nicht mehr unzureichend durch die Fettfüllung geschmiert wird, sondern durch das Motoröl.



Abbildung 72 / 73 / 74:

Oben links: Zwischenwellenlager Typ 6305 (Baujahr 2006-2008)

Oben rechts: Einer der beiden Verschlussdeckel kann bei eingebautem Lager entfernt werden

Unten links: Lager mit entferntem Deckel

Die Optimierung der kann sogar bei eingebautem Motor und ausgebautem Getriebe erfolgen. Sollte sich ein Kunde für einen Werks-AT Motor entschieden haben, empfehlen wir auch an diesen Motoren die aufgeführten Optimierungen durchführen zu lassen. Zusätzlich empfehlen wir unseren Kunden einen Wechsel aller Flüssigkeiten und eine Befüllung mit Öl der Viskositätsklasse 10W/60.

Welches ist das richtige Öl für die M96/97 Porschemotoren?

Wir bekommen immer wieder die Frage gestellt, was denn das richtige Öl für einen Porschemotor sei. Generell kann man aus der Schmierpraxis folgendes sagen:

„Das richtige Öl ist immer das, welches auf den Entwicklungsstand von Motor und Fahrzeuges abgestimmt ist!“

Bei den hohen Literleistungen der modernen Motoren wird das Öl, welches früher lediglich eine Nebenrolle in einem Verbrennungs-Motor spielte, zu einem wichtigen konstruktiven Element!

Die Entwicklungen des letzten Jahrzehntes haben eine Spezialisierung der Schmierstoffe auf die jeweiligen Motortypen und Konzepte unabdingbar gemacht. Die Anforderungen an ein Motorenöl sind so hoch wie nie.

Weiterhin ist festzustellen, dass eine Verschiebung der Primär- und Nebenaufgaben der Motorenöle immer weiter zunimmt. Seit einigen Jahren spielen Kraftstoffverbrauchswerte sowie Abgasemissionswerte eine wichtige Rolle in der Auswahl und Zusammenstellung der verschiedenen Bestandteile eines Motoröls. Ein Motor, der mit einem „dünnen“ 0W/30 Öl befüllt ist, generiert auf Grund geringerer Innenwiderstände, weniger Schadstoffe als ein Motor, der mit einem „dicken“ 10W/60 betrieben wird. Einige Fahrzeughersteller legen mehr Wert auf die technische Funktion des Motors als auf den sich während der Zyklusmessung ergebenden Schadstoffausstoß. So empfiehlt die BMW M-GmbH und Ferrari bei einem Großteil Ihrer Fahrzeuge ein Öl mit einer 10W/60er Viskosität. Da die Fahrzeuge, für die man Öl in dieser Spezifikation vorschreibt, in verhältnismäßig geringen Stückzahlen produziert werden, stehen hier die CO²-Werte nicht so extrem im Fokus der Hersteller. Man legt mehr Augenmerk auf die Betriebssicherheit der Motoren.

Die Spezialisierung der Motorenöle hat zur Folge, dass einige große Hersteller sogenannte Eigenempfehlungen und Freigaben für Motorenöle erteilen. Dies stellt sicher, dass der Endverbraucher, dass er das Öl, welches für seinen Motor entwickelt wurde, von anderen Motorenölen unterscheiden kann. So kennt man heute bis zu 20 unterschiedliche Motorenöle derselben Viskosität für verschiedene Fahrzeuge und Motorentypen.

Die Herstellerempfehlung (OEM-Freigabe) und damit die Empfehlung eines speziellen Motorenöles ist zwangsläufig ein Kompromiss aus verschiedensten Anforderungen und Aufgaben die an ein Motorenöl

gestellt werden. Die heutigen strengen Abgasvorschriften spielen dabei, wie bereits erwähnt, eine wichtige Rolle. Dieser Kompromiss kann bezogen auf die Haltbarkeit des Aggregates allerdings einen Nachteil darstellen, besonders wenn die Empfehlung für ein Öl auf kaufmännischer Basis erfolgt ist.

Der Schmierstoffhersteller mit den günstigsten Konditionen, bekommt oft den Zuschlag.

Für Cartronic steht ausschließlich die Langlebigkeit und Standfestigkeit der Motoren, besonders bei Extrembelastung im Vordergrund. Aus diesem Grunde empfehlen wir motor- und anwendungsspezifisch andere Öle als der Fahrzeughersteller.

Somit ist die pauschal geltende Aussage, dass das ideale Öl für einen Motor immer dasjenige ist, welches vom Hersteller mitentwickelt und freigegeben worden ist, zu relativieren. Wir vertreten die Ansicht, dass man keine Kompromisse eingehen sollte, wenn es sich, wie bei den hier thematisierten Motoren, um Sportmotoren handelt, die von Hause aus schon gewisse Schwächen haben und auf Grund von technischen Unzulänglichkeiten sogar zu schweren Motorschäden durch Kolbenfressern und anderen Schadensbildern neigen.

Unsere von Porsche® abweichende Einstellung zum Thema Öl, bezieht sich nicht nur auf die Viskositätsempfehlung, sondern auch auf die empfohlenen Ölwechselintervalle. Genau diese stellen fast immer einen Kompromiss aus der mit jedem Kilometer abbauenden Leistungsfähigkeit des Motorenöles und der Wirtschaftlichkeit dar. Für Liebhaber und Technikfans, die gerne nach Möglichkeiten fragen, wie man ihrem Fahrzeug etwas „Gutes“ tun kann, sei an dieser Stelle erwähnt: *„Einem Porschemotor sollte man das beste Öl gönnen was es auf dem Markt gibt. Weiterhin stellt eine Verkürzung des Ölwechselintervalls auf maximal 7500 km, das beste und einfachste Mittel dar, um den Verschleiß eines Motors auf ein Minimum zu reduzieren“*.

Da wir versuchen, alles so perfekt wie möglich zu machen, suchten wir seit Anfang 2015 ein Unternehmen, welches uns in Fragen zum Öl, kompetent beraten und beliefern kann. So ein Unternehmen zu finden gestaltete sich als schwierig, weil alle Großkonzerne kein Interesse haben mit kleinen Unternehmen wie wir es sind, zusammen zu arbeiten. Im Frühjahr 2018 hatten wir uns entschieden ein Partnerschaft mit dem bekannten deutschen Unternehmen, der Firma OEST einzugehen. OEST zählt zu den bekanntesten konzernunabhängigen Schmierstoffexperten im europäischen Raum. Seitdem bieten wir ein auf ein 10W-60 High-SAPS-Motorenöl auf Basis von HC-Syntheseölen und einem überaus leistungsstarken Additivpaket als Cartronic-High-Performance-Öl by OEST an.

Unser Einfahröl, welches man auch Break-In-Öl nennt, beziehen wir von der Firma RAVENOL, ebenfalls ein deutsches Unternehmen. Das Einfahröl verwenden wir für die ersten 50-400 Km Einfahrzeit nach Ölwechsel. Das Öl ist ein mineralisches Mehrbereichsöl mit einer Viskosität von 20W/50 und einem erhöhten Anteil an speziellen Zusätzen, welches die Einfahrzeit des Motors verkürzt.

Die nachfolgenden Ausführungen zu den Aufgaben des Motorenöles haben wir gemäß den von uns priorisierten Aufgaben geordnet, bei welchen das Trennen der Reibpartner und die Wärmeabfuhr an den kritischen Stellen im Motor in Kombination mit einer guten Kompression (Abdichtung zum Kurbelgehäuse) für uns die Hauptaufgabe darstellt.

Die Aufgaben eines modernen Motorenöles?

1. Trennen von Reibpartnern durch einen Schmierfilm (Hydrodynamische Schmierung)
2. Kühlen der mechanischen Bauteile zum Schutz vor erhöhter Materialermüdung
3. Abdichten der Kolbenringe zur Zylinderlauffläche
4. Neutralisieren von sauren (<pH7) Verbrennungsrückständen
5. Verhindern von Ablagerungen, Verkokungen, Ruß und Schlamm Bildung
6. Verhindern von Korrosion aller Bauteile im Motor und im Ölkreislauf
7. Senken von Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß (Immer ein Kompromiss!)

Generell gilt, eine Festlegung der Ölwechselintervalle sollte immer nur auf Basis von technischen Erkenntnissen erfolgen.

Beurteilen der Leistungsfähigkeit von Motorenölen

Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Motorenöles ist für den Endverbraucher nicht möglich. Dieser muss sich i.d.R. auf die Empfehlungen des Fahrzeugherstellers verlassen, besonders weil die Garantie bzw. Gewährleistung des Herstellers nur dann greift, wenn der empfohlene, freigegebene Schmierstoff eingesetzt wird und die Wechselintervalle eingehalten werden.

Die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Motorenöles kann nur von Chemikern und Tribologen (Reibungsspezialisten) in Zusammenarbeit mit Maschinenbauingenieuren beurteilt werden. Als Endverbraucher können zwecks Qualitätsbeurteilung zwar die angegebene Viskosität und die in den Produktdatenblättern aufgeführten Eigenschaften zu Rate gezogen werden, wirklich lesbar und aussagekräftig sind diese aber nur für Spezialisten. Zudem finden sich in Datenblättern nur ganz selten alle nötigen Angaben die zu einer Gesamtbeurteilung notwendig sind. Und selbst wenn alle dieser Daten transparent wären, so kommen immer noch praxis- und versuchsbezogene Erfahrungen hinzu, da zwischen Theorie und Praxis ein großer Unterschied liegt.

Zu bedenken ist auch, dass das Fahrprofil eines Fahrers die Leistungsfähigkeit eines Schmierstoffes unter realen Bedingungen stark beeinflusst. Die Leistungsfähigkeit des Motorenöles bei Realbedingungen im Einsatz kann also sehr unterschiedlich sein. Womit wir beim nächsten Thema wären....

Motorenöle in der Praxis

"Wie muss ich ein Motorenöl, und damit den Motor in der Praxis behandeln?" Diese Frage ist ein großer Streitpunkt an jedem Stammtisch, „warmfahren oder nicht“, „vorzeitig wechseln oder weiterfahren,,,“ billiges Öl vom Baumarkt" - diese Themen möchten wir im nächsten Absatz ein wenig verständlicher erklären.

Fakt ist, dass es in allen Industrieanwendungen nicht nur um Ölwechsel geht, sondern auch um Ölpflege. Jeder Laie wird verstehen, dass Betreiber große Aggregate mit Füllmengen von teilweise weit über 1000 Liter, sich mit Ölpflege befassen und dafür sogar ganze tribologische (reibungsforschende), Abteilungen unterhalten. Ein Schaden am Aggregat würde einen weitaus höheren finanziellen Aufwand nach sich ziehen als die Einhaltung regelmäßiger Ölwechsel oder Bestimmungen.

Genau deshalb macht es eine Menge Sinn sich über den Zustand des Öls im Porschemotor Gedanken zu machen.

Speziell bei den Hochleistungsmotoren von Porsche stellt der Kurzstreckenverkehr einer der größten Feinde des Motorenöles dar, da sich die vorhandenen Leistungsreserven des Öls hier am schnellsten verbrauchen. Leider wirken viele oberflächenaktive Additive (sog. EP/AW Additive) erst bei höheren Öltemperaturen, da diese erst dann eine reaktive Schicht zwischen den Reibpartnern bilden. Zu diesen gewünschten Temperaturen kommt es aber auf Grund der Ölfüllmengen bis zu 13 Litern im Porschemotor häufig nicht.

Was ist eigentlich Kurzstreckenverkehr? Wenn man sich aus technischer Sicht zu einer pauschalierten Aussage hinreißen lassen würde, was wir für kritisch halten, könnte man folgendes sagen: Alle Betriebsbedingungen in denen das Öl nicht dauerhaft min. 15 Minuten auf Betriebstemperatur (90 Grad) ist, kann man als Kurzstreckenverkehr bezeichnen. Wie schnell ein Öl auf Temperatur kommt, ist von der im Motor befindlichen Ölmenge und dem Ölverteilungssystem (Thermostat) abhängig. Eine geringe Ölmenge ist schnell erhitzt. Eine größere Menge, wie bei allen Porsche 911 Motoren (besonders die mit Mezger-Motor) benötigt natürlich deutlich länger bis unkritische und gewünschte 80° C erreicht sind.

Die größte Gefahr im Kurzbetrieb geht von Kraftstoff- und Wassereintrag in das Motorenöl aus. Wasser und Kraftstoff verändert die Viskosität im Motorenöl erheblich zum Nachteil. Bei jedem Kaltstart wird das Benzin/Luft-Gemisch in der Warmlaufphase angereichert, also mit mehr Kraftstoffanteil versehen. Es wird eine erhöhte Kraftstoffmenge in die Brennräume bzw. Ansauganlage eingespritzt. Diese wird fast nie vollständig gezündet und reichert dabei das Motorenöl über nicht verbrannten Kraftstoff im Brennraum an. Das Benzin und vom Kolbenboden abgewaschene Kohlenstoffrückstände vermischen sich mit dem Schmieröl, lassen es chemisch altern und machen es schwarz.

Ebenso bildet sich bei jedem Kaltstart in der Aufwärmphase des Motors Kondenswasser, da ein Motor ja kein luftdichtes System darstellt.

Unter Mischbedingungen kann ein Motorenöl dies relativ gut durch die im Motorenöl befindlichen Additive verkraften. Wird ein Fahrzeug aber überwiegend im Kurzbetrieb bewegt, steigen Wasser- und Kraftstoffgehalt im Motorenöl sehr schnell an. Diese können nur unter dauerhafter Betriebstemperatur wieder abgeführt werden (verdampfen). Erfolgt dies nicht, führt dies in der Fachsprache zu einem sogenannten Viskositätsabfall. Das bedeutet, dass der Schmierfilm, welcher hauptsächlich zur Trennung der Reibpartner verantwortlich ist, immer dünner und leistungsschwächer wird.

Was bedeutet das genau? Je dünner der Schmierfilm ist, desto weniger Lasttragfähigkeit ist vorhanden. Dies führt zu den Schmierfilmauflösungen, welche irgendwann zu einem Kolbenfresser führen. Das "geschwächte" Öl kann seine Trennfunktion zwischen den Reibpartnern nicht mehr erfüllen. Direkter Metall-auf-Metall-Kontakt führt immer zu abrasivem Verschleiß. Im Rahmen von durchgeführten Messreihen wurde festgestellt, dass 1-2% Kraftstoff-Wasserbeimischung die Viskosität zwar schon deutlich verändert, dieser Qualitätsverlust aber durch die in qualitativ hochwertigen Ölen eingelegten Additive als Leistungsreserven erhöhende Komponenten des Motorenöls, noch abgefangen wird. Ab einer Kontamination von 2-4% wird es allerdings kritisch, da dann schon der Verlust einer kompletten SAE-Klasse erfolgt ist. In der Praxis bleibt dann zum Beispiel von einer 0W-40 Viskosität noch eine 0W-30er übrig. 4% Kraftstoff-, und Wassereintrag im Motorenöl können im extremen Kurzstreckenbetrieb schon nach 2000-6000 Kilometern Fahrtstrecke erreicht sein. Wenn dann hohe Belastungen am Kolbenhemd, den Kolbenringen, Laufbahnen, Lager und anderen geschmierten Bauteilen auftreten, kann der vorhandene Schmierfilm nicht mehr ausreichend tragfähig sein. Auch kann dies in der Ölpumpe zu Kavitation und damit zu Leistungsverlusten führen. An Bank 2 (Zyl. 4-6 der Motoren) fördert dieser Zustand das frühzeitige Auftreten von Schäden an den Laufflächen der Zylinder.

Nun fragt man sich sicher wie man als besorgter Porschefahrer die richtige Ölpflege betreiben soll. *Wenn keine Einschränkungen im Fahrprofil vorgenommen werden, ist eine Ölpflege so gut wie nicht möglich.* Ist man allerdings bereit sein Fahrprofil etwas den Anforderungen des Motorkonzepts und Möglichkeiten des Öl anzupassen, wirkt sich das positiv auf den inneren Verschleiß des Motors und damit auf die Lebensdauer aus. Da wir immer wieder gedrängt werden allgemeine Aussagen hierzu zu treffen, haben wir uns entschieden drei Fahrprofile mit Wechselempfehlungen zu versehen. Diese beziehen sich ausschließlich auf Fahrzeuge aus den Generationen 996/997/986 und 987 mit den Motoren Typ M96/97.

Porschefahrer die behaupten, dass ihr Motor kein Öl verbraucht, lassen sich dadurch täuschen, dass sich das verbrauchte Öl, durch eingetragenen Kraftstoff volumenmäßig ausgleicht. Je mehr Kurzstrecke man fährt, umso mehr Kraftstoff und Wasser gerät in das Motoröl.

Unsere Empfehlungen zu den nachstehenden beispielhaften 3 Fahrprofilen sind folgende:

Fahrprofil 1:

- überwiegend Kurzstrecke (jeden Tag 5-15km einfache Fahrt)
- Ganzjahresfahrer
- wenig Volllastanteil
- kaum längere und ausgedehnte Touren
- Hier ist der Ölwechsel bei spätestens 5000km empfohlen
- Es spricht nichts dagegen, 5W/40er Öle zu fahren.

Fahrprofil 2:

- Kurzstrecke und Langstrecke gemischt (jeden Tag 15-45km einfache Fahrt)
- Ganzjahresfahrer
- teilweise auch Vollgasphasen
- regelmäßige längere Touren / Fahrten
- Hier ist der Ölwechsel bei spätestens 7.500 km empfohlen
- 10W/60er Öl ist empfohlen

Fahrprofil 3:

- überwiegend Langstrecke (min. 100 km bei Einzelfahrten)
- Ganzjahresfahrer
- erhöhter Vollastanteil
- Jahresfahrleistung 40.000 km +
 - Hier empfehlen wir ein Wechselintervall von 8.000 km.
 - Unbedingt 10W/60er Öl einfüllen.

Natürlich können wir nicht für alle Fahrprofile eine pauschale Ölwechselaussage treffen, da diese von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Auf Wunsch erstellen wir Ihnen gerne eine persönliche, von Ihrem Fahrprofil abhängige Ölwechselempfehlung. Diese erarbeiten wir in Zusammenarbeit mit den Spezialisten unseres Ölherstellers und basiert auf der angestrebten Verwendung des Östol 10W/60-Cartronic-High-Performance Spezialöls, berücksichtigt aber auch 5W/40 oder 20W/50 Öle.

Das ÖSTOL/Cartronic 10W/60 High-Performance Motoröl.

Das Cartronic 10W/60 von Östol ist ein High-SAPS-Motorenöl auf Basis von HC-Synthese Grundölen mit einem überaus leistungsstarken Additivpaket u.a. geeignet für den Rennsport und besonders für Young- und Oldtimer von Porsche®. 10W-60 ist der ideale Schmierstoff für Motoren unter höchster Beanspruchung und mit einer maximalen Leistungsdichte.

Es ist ein HC-Synthese-Motoröl der neuesten Generation. Speziell zusammengesetzt für den Einsatz in thermisch und mechanisch hochbelasteten Boxermotoren. Das Cartronic von Östol basiert auf hochwertigen Basisölen, welche mit einer sehr innovativen Additiv-Komposition versetzt wurde. Das Öl garantiert maximale Performance bei geringstem Verschleiß der besonders hochbelasteten Motorkomponenten. Eine wirklich hervorragende Grundölqualität ein breites Viskositätsfenster von 10 im Winter bis 60 im Sommer und kostspielige Spezial-Additive, sorgen für beste Stabilität auch bei höchsten Scherkräften und Temperaturen. Genau damit wird man ja bei den M96/97 Motoren konfrontiert. Das Öl ist allerdings nicht geeignet für Dieselfahrzeuge mit modernen Abgasnachbehandlungssystemen. Erhältlich ist es in Gebinden von 1, 5, 60 und 200 Liter. Sie können es bei uns bestellen oder direkt vor Ort einfüllen lassen.

Vorteile:

- hochmodernes, HC-Synthesemotorenöl, speziell für den Einsatz im Motorsport
- hohe HTHS-Viskosität garantiert stabilen Öldruck in allen Betriebszuständen
- sehr schnelle Durchölung in der Kaltstartphase
- sehr stabiles und ausgezeichnetes Viskositätsverhalten
- minimale Verdampfungsneigung, dadurch geringer Ölverbrauch
- hoher Schutz vor Verschleiß, Korrosion und Schaumbildung durch spezielles Additivpaket
- hohe alkalische Reserve (TBN) neutralisiert langanhaltend sich bildende saure Rückstände
- sehr gute detergierende und dispergierende Eigenschaften

Spezifikation:

- ACEA A3/B4, API SN/CF

Entspricht folgenden Herstelleranforderungen / Freigabe von:

- MB 229.3
- VW-Norm 501 01 / 505 00
- BMW Longlife-01

Unsere Ölempfehlungen

Die Empfehlung, ein 10W-60er Öl in Porschemotoren, besonders in den M96 / M97 – Motoren, zu fahren, hat verschiedenen Gründe. Der Hauptgrund ist, dass ein Öl mit einer 10W-60-Viskosität bei 100°C im Normalfall einen dickeren und stabileren Schmierfilm hat als ein Öl mit einer 5W/40er Viskosität bei gleicher Temperatur.

Ein weiterer Grund warum wir ein 10W-60 für Porsche® M96/97 Motoren für optimal geeignet halten ist der hohe Startviskositätswert von 60. Der gefürchtete Viskositätsabfall durch Kraftstoff oder Wassereintrag bietet bei einer 60er Viskosität deutlich höhere Reserven. Sollte es bedingt durch extreme Kurzstrecke zu einem Viskositätsabfall in die nächst schlechtere SAE-Klasse stattfinden, wäre immerhin noch ein 50er Öl im Einsatz.

Das 10W-60 Motorenöl ist eines der Motorenöle mit der breitesten Viskositätsspreizung im Bereich der Motorenöle. Diese Spreizung wird durch die Zugabe von sogenannten Viskositäts-Verbesserern (VI / Viskositäts-Improver) erreicht. Diese sog. VI's sind im weitesten Sinne Kunststoffgranulate welche sich im kalten Zustand zusammenziehen und im warmen Betriebszustand wieder ausdehnen. Dies sorgt dafür, dass ein Motorenöl im kalten Zustand fließfähig und dünn ist, und im heißen Zustand noch dick genug um die Lasten zu tragen und der Scherbeanspruchung Stand zu halten. Die prozentuale Menge dieser Viskositäts-Verbesserer im Motorenöl hängt von der Grundölqualität ab. Je kleiner mein Grundöl-Viskositätsindex desto mehr benötige ich von diesen VI's.

Abschließend wollen wir zu unseren Ausführungen und der Empfehlung eines 10W-60 noch folgendes klarstellen:

Diese Empfehlungen basieren auf dem klassischen „Viel-hilft-viel, Prinzip“ und den Gesetzmäßigkeiten von Schmierstoffen der Tribologie und der Rheologie (Die Lehre der Fließeigenschaften von Stoffen)! In den M.96- und M.97-Motoren, halten wir ein Motoröl der Viskositätsklasse 10W-60 eindeutig für die beste Wahl, sofern das Fahrzeug nicht primär im extremen Kurzstreckenverkehr genutzt wird. In diesem Fall ist es sinnvoller ein 5W/40er oder 5W/50er Öl einzufüllen.

Eine 100%ige Garantie gibt es in der Technik nie, aber mit der Verwendung eines 10W-60er Öls haben wir alles dafür getan, die optimalsten Betriebsbedingungen in Hinsicht auf Haltbarkeit und Verschleißminimierung zu gewährleisten. Erkenntnisse aus Prüflaboren die man mit Prüfstands-Motoren gemacht hat, liegen uns natürlich nicht vor, da solche Testreihen mit extrem hohen Kosten verbunden sind, die wir nicht stemmen können. Aber wir können auf die viel wichtigeren

Praxiserfahrungen der letzten Jahre auf der Straße und im Rennsport zurückblicken. Zudem vertrauen wir unserem zertifizierten Schmierstoffexperten und Partner, der Firma Oest.

Unser Antrieb ist die Faszination und Freude an den Produkten aus dem Hause Porsche®. Dazu gehört auch sich bis ins letzte Detail mit allen Möglichkeiten der Schmiertechnik und des Maschinenbaus zu befassen. Um Ihnen als Kunde diese Freude und Faszination trotz eines möglichen erlittenen Motorschadens auch zukünftig daran zu erhalten, ist unser Bestreben Ihnen so viel monetäre Planungs- und Betriebssicherheit zu bieten wie es uns möglich ist.

Hubraumsteigerungen im Rahmen einer Revision

Viele Kunden äußerten den Wunsch nach einer Hubraumsteigerung im Rahmen einer Revision. So war es uns bei einigen Motoren möglich aus einem 3,6er einen 3,8er zu machen. Mehr als 3,9 war nicht möglich, da eine 100er Bohrung automatisch auch eine Erhöhung der Wandstärke der Zylinder bedeutete hätte. Dies, um die Standfestigkeit zu gewährleisten. Leider war es uns nicht möglich diese Zylinder im Kurbelgehäuse zu befestigen. Um dies zu ermöglichen haben wir uns zusammen mit unserem Entwicklungspartner ein System ausgedacht, welches genau das gewährleistet. Dabei wird auch im unteren Bereich des Zylinders eine spezielle Haltebrille aufgebracht. Diese hält im inneren Bereich unseren

im Block eingeschrumpften Zylinder. Außen stützt sich der Ring am Block ab. Betrachtet man die technische Umsetzung im unteren Bereich der Zylinder, stellt man fest, dass diese vom System her, genau wie die Umbauten im oberen Bereich auf „Quasi-Closed Deck“ ausgeführt sind.

Legt man Wert auf eine ausreichende Materialstärke der Zylinderwandung ist es nur durch diese Maßnahme möglich vom Außendurchmesser her eigentlich nicht passende Zylinder in originale Porsche Motorgehäuse zu verbauen.

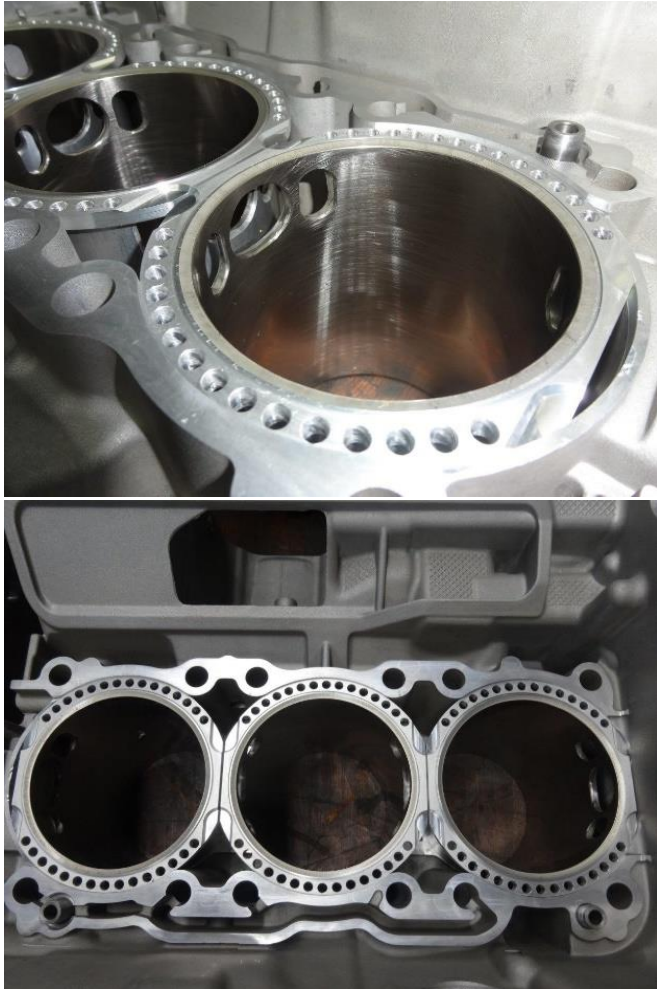


Abbildung 75 / 76: Untere Zylinder-Verstärkungsringe bei Hubraumsteigerung auf 3,9 Liter



Abbildung 77: Zum Vergleich der obere Bereich unter der Zylinderkopfdichtung nach Umbau auf „Quasi-Closed-Deck“

Da es seitens Porsche weder Kolben für die 3,7 Liter noch für die 3,9 Liter Umbauten gibt, mussten wir uns um einen neuen Kolbenlieferanten kümmern. Nach mehreren Versuchen mit Kolben verschiedener Hersteller haben wir nach fast 9 Monaten Versuchsphase einen Produzenten gefunden, der uns mit perfekten Kolben beliefert. Kolben zu produzieren, die auch funktionieren, scheint nicht einfach zu sein.



Abbildung 78/79: Die Cartronic Spezialkolben für 3,7 Liter und 3,9 Liter Umbauten



Abbildung 80: Kolben-Kompletsatz für einen 3,9Liter

Natürlich bieten wir auch entsprechende Nockenwellen für diese Motoren an. Eine individuelle Kennfeldabstimmung ist ebenfalls möglich und in vielen Fällen sogar empfehlenswert wenn z.B. die Abgasanlage verändert wurde. Gut abgestimmte 3,9 Liter Motoren leisten dann standfeste 410 PS.

Zurzeit sind folgende Hubraumerweiterungen möglich:

Porsche® 996 3,4 Liter auf 3,7 Liter

Porsche® 996 /997 3,6 Liter auf 3,9 Liter

Porsche® Cayman S 3,4 Liter auf 3,9 Liter

Porsche® 997 3,8 Liter- auf 3,9 Liter

Im Versuch befindet sich ein weiterer Umbau. In Kürze werden wir für den Boxster S mit 3,2 Liter ebenfalls einen Umbau auf 3,7 Liter anbieten.

Polierspuren in den Cartronic /NiSiC-Zylinderbohrungen nach Motorrevision

Seitdem bekannt ist, dass es zu Kolbenfressern bei den wassergekühlten M96/97 Motoren kommen kann, lassen Besitzer von den betroffenen Motoren, Endoskopien der Zylinderbohrungen durchführen um damit ihren Zustand zu überprüfen.

Warum wir dieses Thema ansprechen, ist, dass es zu einer gewissen Paranoia geführt hat, wenn man im Rahmen einer Endoskopie der Zylinderlaufflächen, transversale Laufspuren in von uns überholten NiSiC-Zylinderbohrungen findet und fälschlicherweise davon ausgehen, dass es sich dabei um Spuren eines erneuten Kolbenfressers handelt, obwohl es sich um völlig unkritische, ja sogar normative Polierspuren handelt, die in der Einlaufphase entstehen.

Eine verständliche Analogie wäre, dass was mit einer Windschutzscheibe passiert, bei denen die Wischerblätter trotz der Härte des Glases und der Weichheit des Gummis der ansonsten glänzenden Oberfläche, leichte Spuren hinterlässt. Optisch erscheinen die manchmal wie Schmierspuren auf der Oberfläche, die an diesen Stellen geringfügige Mattierung haben. Dies ist jedoch nicht das, was man bei einer mit NiSiC beschichteten Zylinderlauffläche eines Cartronic-Zylinders nach einer gewissen Laufleistung beobachtet. Die Mikrokratzer auf der Scheibe entstehen durch mikroskopisch kleine Sandpartikel zwischen Scheibenwischerblatt und der Frontscheibe, während die Polierspuren in den Zylindern durch geringe Unregelmäßigkeiten in der Rundheit der Bohrung und der Kolbenringe verursacht werden. Ein Großteil der Spuren entsteht kurz nach dem ersten Start eines Motors nach erfolgter Revision, also in der Einfahrzeit in der sich die Kolbenringe mit den Zylindern „paaren“. Im Laufe der weiteren Laufleistung des Motors verschwinden diese Einlaufspuren zum Teil auch wieder. Besonders breite Abriebbereiche findet man in den Bereichen, in denen die neuen Kolbenringe eine äußere Farbmarkierung tragen. Diese Farbe, verreibt sich in der Oberfläche der gehonten Laufbahnen. Die erzeugten Spuren verschwinden aber in der Regel nach 15-20.000 Km Laufleistung. Die Farbcodierungen müssen laut Hersteller der Kolbenringe nicht entfernt werden.

Vermisst man eine originale Lokasil-Bohrung nach einer Laufleistung von 80-100.000 Km, stellt man eine Ovalität von zirka 6-8/100 mm fest. Wenn man in Abständen von 10 Grad um die Bohrung misst, stellt man viele „Berge und Täler“ fest. Da die Bohrung eines originalen Lokasilzylinders eine eher matte und graue Oberfläche haben, kann man mit bloßem Auge oder auch mit einem Endoskop die polierten Stellen optisch nicht von den nicht polierten Stellen unterscheiden, obwohl die vorhanden sind.

Auch alle Grauguss Zylinder und auch die sogen. Stahlbüchsen die von vielen ahnungslosen Werkstätten zur Revision verwendet werden, weisen eine geringe Ovalität auf. An den Engstellen der Bohrung ist die Oberfläche natürlich höher belastet. Diese „Blankstellen“ kann man mit dem bloßen Auge bei diesen Materialien schlecht, bis gar nicht erkennen.

Zylinderoberflächen mit einer NiSiC oder Nikasil-Beschichtung sind wesentlich härter und behalten deshalb ein Garant für eine langlebige technisch hervorragende Oberfläche. Da die Farbe des Materials hell silbrig, fast schon spiegelnd ist, führen schon die geringsten oberflächigen Druckstellen, zu Anpolierungen oder mikroskopisch tiefen und schmalen Spuren, die wie Kratzer aussehen und natürlich auch Kratzer sind. Allerdings sind es völlig unkritische Kratzer, die nicht tiefer sind als die Kratzer, die bewusst durch das Honen herbeigeführt werden.

Es wäre zwar möglich, die Härte der NiSiC-Beschichtung zu verringern, und dies würde auch die Polierspuren weitestgehend vermindern. Das Ergebnis hält jedoch nicht so lange an, ohne dass die Verschleißraten erhöht werden. Wir bevorzugen daher eine härtere Beschichtung.

Es ist nicht einfach, das Kolbenringmaterial auf die Laufflächen abzustimmen. Die Modelle des 911SC 3 Liter und 3.2Liter Carrera hatten zwar auch Zylinder mit Nikasil beschichteten Bohrungen, aber es

wurde weiches Kolbenringmaterial eingesetzt. Die Laufflächen zeigten zwar auch nach hohen Laufleistungen weniger "Glanzstellen", dafür waren die Ringe oft schon nach etwa 100.000 km sehr stark abgenutzt. Die Kompression fällt und der Ölverbrauch steigt, da die Ringe nicht mehr genügend Anpressdruck an die Laufbahn erzeugen.



Abbildung 81: Das obige Bild zeigt einen neuen (links) und einem verschlissenen (rechts) Carrera 3,2 Liter Kolbenring nach zirka 70.000 Km Laufleistung.

Der Vorteil ist der, dass man auch bei luftgekühlten 911 Motoren die weit über 200.000 Km gelaufen haben, Zylinder vorfindet, die in einem guten Zustand sind.

Das Ringmaterial der M96/97-Motoren ist härter und damit wesentlich standfester. Die Kolbenringe, die exklusiv für uns von der Firma Götze gefertigt werden halten unserer Erfahrung nach deutlich länger als die früher verwendeten Ringe, polieren jedoch partiell die NiSiC-Laufflächen unserer Zylinder. Dieses „Polishing“ und die sichtbaren, aber nicht messbaren (!) Mikrokratzer stellen natürlich keinen technischen Nachteil oder Mangel dar.

Mechaniker, Ingenieure und Sachverständige für Motoren, die sich nicht intensiv mit der Kolbenring/Zylinderlaufflächen-Paarung dieser Motoren beschäftigt haben, sind schwerlich in der Lage zwischen Oberflächen-Polituren und angehenden Kolbenfressern zu unterscheiden. Dies trifft besonders für die Personen zu, die sich nicht explizit mit unserem Motorrevisionskonzept auseinander gesetzt haben, welches im Detail teilweise stark von den üblichen Vorgehensweisen abweicht.

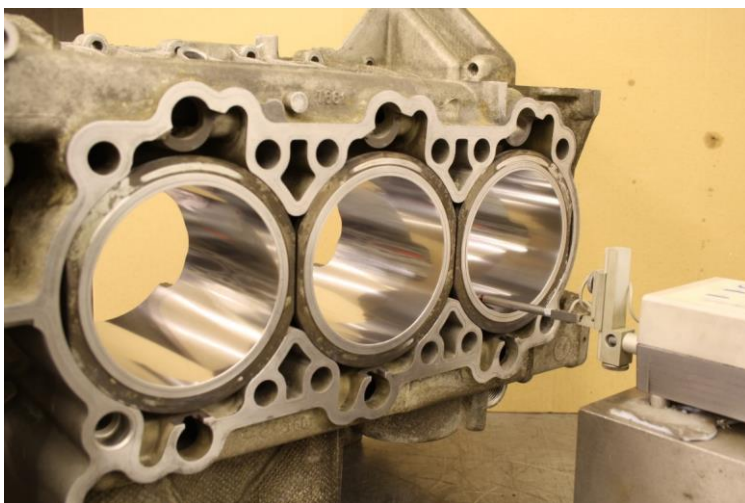


Abbildung 82: Die Oberflächen der Cartronic NiSiC Zylinder sind typisch hochglänzend. Die geforderte Oberflächenrauigkeit (Ra-Wert) wird von uns kontrolliert.



Abbildung 83: Das Messgerät, welches die Oberflächenbeschaffenheit misst. Damit kontrollieren wir die Rauigkeit, nachdem wir unsere Zylinder endgültig bearbeitet haben.

Die Nickel/Siliziumschicht, die wir auftragen, ist zirka $140\text{ }\mu$ ($1\text{ Mü} = 1/1000\text{ mm}$, $150\text{ Mü} = 0,14\text{ mm}$) dick. Sollte die Schicht merklich beschädigt werden, würden tiefe, offensichtliche Rillen in der Oberfläche entstehen, und das Basismaterial der Zylinder würde freiliegen.

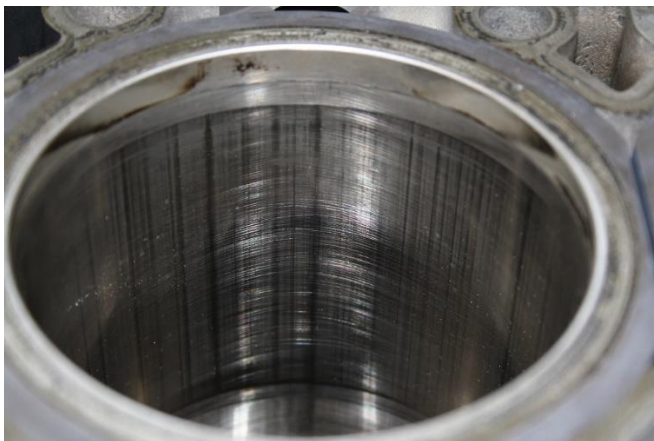


Abbildung 84: Die obige Abbildung zeigt typische Polierspuren eines Cartronic-Zylinders nach einer Laufleistung von 1500 Km. Es sind optische Erscheinungen die keine Tiefe haben und mit die mit handelsüblichen Bohrungsmessgeräten nicht gemessen werden können. Die Zylinder sind maßhaltig.



Abbildung 85: Diese Spuren fanden wir in einem Motor mit einer Laufleistung von 6000 Km nach Revision durch uns, bei dem ein Zylinderkopf ersetzt werden musste. Man sieht typisches Polishing in nicht messbare Tiefe.

Der Unterschied zu dem folgenden Lokasil -Zylinders eines Porsche® 996 Motors mit Kolbenfresser auf Position 11-1 Uhr der rechten Bank ist deutlich sichtbar. Ein starker Materialverlust ist gut zu erkennen. Der Kolben dieses Zylinders ist am Kolbenhemd sehr stark verschlissen.



Abbildung 86 und 87: Zylinder mit Freßspuren. Kolben mit starken Materialverlust

Natürlich sind wir in der Lage, Kolbenringe aus weicherem Material einzusetzen die weniger „Polishing“ auf den Laufflächen erzeugen. Leider erhöht sich dadurch aber der Verschleiß der Kolbenringe, was schnell zu einem erhöhten Ölverbrauch, einem Blow-By und zu einer nachlassenden Motorleistung führt.

Unter starker Vergrößerung sieht eine Zylinderlauffläche in der Ebene der vertikalen Achse wie ein Sägezahn aus, ebenso wie die Oberfläche der Kolbenringe, die die Bohrungsoberfläche berühren.

Obwohl unsere spezialgehonnte Bohrungen messbar runder sind als eine originale Porsche-Bohrung, ist auch keine durch uns erzeugte Oberfläche absolut rund.

Wird ein Motor erstmalig gestartet, berühren zuerst die höherstehenden Stellen der Kolbenringe die höher stehenden Bereiche der Zylinderbohrung. Der Druck der durch die Vorspannung der Kolbenringe auf die Lauffläche ausgeübt wird, und durch den auf den Ring wirkenden Verbrennungsdruck noch verstärkt wird, verteilt sich nie gleichmäßig auf die Zylinderlauffläche. Die Bereiche (Bergzüge) an denen es zu anpolierten Stellen (die schmalen, transversale Tragbereiche) kommt, ist der Bohrungsdurchmesser minimal geringer als in den Bereichen daneben (Täler). Auch kann es sein, dass der oder die Kolbenringe an dieser Stelle um 1/1000 mm unrund sind. Zwangsläufig werden die Oberflächen in diesen Bereichen anpoliert, allerdings ohne dabei die Honung technisch zu beschädigen.

Eine absolute Rundheit der Bohrung zu erlangen ist das Ziel eines jeden Motorenbauers. Leider ist das alleine wegen dem stattfindenden dynamischen und nicht wirklich kontrollierbaren thermischen Verzug der Zylinder, der Kolben und der Kolbenringe nicht erreichbar. Wirft man noch den Materialverzug auf Grund der Einleitung des Verbrennungsdrucks in die Waagschale, wird es noch komplizierter.

Sehr schnell, erfahrungsgemäß nach 10 bis 20i Minuten Einlaufzeit sind die mikroskopisch kleinen, leicht überstehenden Stellen sowohl am Ring als auch in der NiSiC-Fläche der Zylinderbohrung soweit abgeflacht, dass sich die Last ab dann mehr und mehr auf einen nun viel größeren und permanent anwachsenden Tragbereich des Kolbenrings verteilt. Die ehemals punktuell einwirkende Kraft auf einen kleinen Bereich der Lauffläche ist dann irgendwann nach geschätzten 10.000 km Laufleistung nicht mehr vorhanden.

Erst dann hat sich eine perfekte Passung aller Reibungspartner zueinander ergeben. Daraus resultieren eine gute Kompression, geringe Druckverluste. Letztendlich eine lange Lebensdauer des Motors. Um das zu erreichen, nehmen wir kleine anpolierte Flächen und anfängliche Mikrokratzer im Zylinder gerne in Kauf.

Diesen sogenannten Einlaufprozess, durchlaufen alle Neumotoren und alle revidierten Motoren.

Tatsache ist, dass der Kolben, wenn sich aus der originalen Oberfläche eines Lokasilzylinders Siliziumpartikel lösen und diese in der Bohrung auf- und abgerieben werden, das Ergebnis dem des Polieren zu Beginn der Einlaufphase sehr ähnelt.

Lokasil-Flächen reiben sich dann aber in recht kurzer Zeit großflächig auf. Galvanische NiSiC als auch Nikasil-Beschichtungen sind hart genug, und verfügen auch dann noch über eine sehr extrem lange Lebensdauer obwohl evtl. einige Bereiche leicht oberflächlich abgerieben oder poliert wurden.

Man kann die Erscheinungen auch als Rattermarken bezeichnen, die entstehen, wenn die Ringe in der frühen Einlaufphase nach dem Start leicht erhöhte Stellen auf der Lauffläche der Zylinder berühren und dabei auf ihrem Weg leicht abheben und wieder aufsetzen.

Eine Interpretation der entstandenen Markierungen ist in jedem Fall wichtig.

Jede, also egal welche Markierung, hat eine gewisse Tiefe bzw. erzeugt einen geringen Materialabtrag von der Oberfläche (Polishing). Einlaufspuren, harmloser Natur, findet man im Gegensatz zu Fressspuren an vielen Stellen der Bohrung und nicht partiell (wie weiter oben genau beschrieben und auf den Fotos sichtbar) bei den Schadensbildern der Kolbenfresser.

Die Interpretation der Spuren, die durch einen Kolbenfresser erzeugt wurden ist einfach. Es handelt sich um messbare, tiefe Riefen, die sich sogar großflächig zeigen, und nicht um unwesentliche mikroskopische und polierte Bereiche, die ursprünglich (nach der Honung) einmal winzige erhöhte Stellen waren, an denen der Ring diese kleinen hohen Stellen beim ersten Durchlauf etwas härter berührte und für eine sichtbare, aber nicht messbare Veränderung sorgte. Letztendlich haben sich dadurch eine Optimierung der Bohrung und eine bessere Passgenauigkeit der Kolbenringe ergeben. Jede, auch noch so geringe Verdichtung, des primär aus Nickel bestehenden Oberfläche führt materialbedingt zu einer hochglanzpolierten Stelle, die stark reflektiert. Es sieht zwar für Laien schlimm aus, ist es aber nicht.

Poliermarken sind keine Riefen, da sie keine messbare Tiefe haben.

In der Einlaufphase wird die Oberfläche solange abgerieben, bis sich die Form des Rings und der Zylinderlauffläche aufeinander angepasst (gematcht) hat, und die resultierende Bohrung daraus, nach dieser Phase, noch runder ist als zu Beginn.

Deshalb ist es auch auf Mikroebene in keiner Weise ein fressender Verschleiß, sondern eine Verbesserung der Passform von Neuteilen die miteinander in Kontakt stehen. Leider lässt das optische Bild zu wünschen übrig.

Halten wir fest, dass die Spuren, die man in unseren, mit NiSiC beschichteten Zylindern regelmäßig beobachten kann, nicht von verhältnismäßig großen, sich gelösten Siliziumpartikeln verursacht werden. Dies kann nur bei originalen Zylindern mit Lokasil Lauffläche vorkommen.

Die Silizium-Partikel in einer galvanisch aufgetragenen Nickel/Silizium, Legierung, wenn sie sich denn lösen könnten, was nicht passieren kann, sind viel zu klein, ja sogar kleiner als der Ölfilm dick ist.

Im Gegensatz zu Alusil oder Lokasil-Laufflächen bei denen Silizium in eine Aluminiummatrix eingebettet ist, stellt unsere galvanisch aufgetragene NiSiC und auch jede MAHLE/Nikasil-Laufschicht eine homogene Legierung dar, in der sich keine Lasteile befinden. Die Legierung besteht primär aus Nickel und extrem kleinen Siliziumkarbidpartikeln dar. Diese Schicht wird galvanisch in einem Bad aufgetragen. Auf diesem Weg, erfolgen auch Versilberungen und Vergoldungen von Schmuckstücken oder Verchromungen und Vernickelungen von Metallteilen.

Der einzige Grund für translatorische Laufspuren ist daher das mikroskopische Berühren zweier harter Oberflächen, bis sich die überstehenden partiellen Bereiche der Lauffläche und auch des Kolbenrings abgerieben haben.

Diese auffallenden Markierungen stellen daher nichts anderes als technisch völlig normale Einlaufspuren dar, die in einer optimierten Oberflächenpaarung von Kolbenring zur Lauffläche resultiert. Das von uns verwendete Einlauföl der Firma RAVENOL beschleunigt diesen Einlaufprozess.

Im Gegensatz zu Alusil oder Lokasil (bei dem ein Siliziumkörper in eine Aluminiummatrix eingebettet ist) stellt NiSic eine feste, metallische Legierung aus Milliarden winziger Nickel und Siliziumpartikeln dar.

Durch die eingebrachten Honspuren in die Zylinderoberfläche wird Öl zur Kolben- und Kolbenring-schmierung zurückgehalten. Für die Langlebigkeit unserer Zylinder sind neben der aufgetragenen NiSic-Legierung auch der von uns angewendete Honprozess mit speziellen angepassten Honwinkeln, die Art und Geometrie der verwendeten Diamant-Honleisten und die Hubgeschwindigkeit bei der Erzeugung der Oberfläche verantwortlich.

Die einzelnen Prozesse werden von uns genau kontrolliert und repräsentieren das wahrscheinlich beste Ergebnis einer Bohrungsgüte für Porschemotoren der Typen M96/97.

Wir mussten uns entscheiden ob wir Motoren mit glatt gehonten Bohrungen, im üblichen Verfahren herstellen, die zwar beim Betrachten der Zylinderlaufbahnen ein richtig gutes Bild machen, aber bereits nach kurzer Laufleistung stark eingelaufenen Kolbenringe aufweisen, oder aber Motoren zu bauen, die zwar auf den Laufflächen einige optisch nicht wirklich attraktive anpolierte Stellen und Mikrokratzer aufweisen, dafür aber sehr lange halten. Wir haben uns für die Vorgehensweise entschieden, standfeste Motoren auszuliefern die nicht nur über eine sehr spezielle Zylinderlaufflächenbeschichtung und Honung verfügen, sondern auch über speziell abgestimmtes Kolbenringmaterial.

Abschließende Betrachtungen

Wir haben im Rahmen von Gesprächen über die Gründe der Motorprobleme festgestellt, dass sowohl viele selbsternannte Spezialisten aber auch echte Fachleute nur über einen recht eingeschränkten Erfahrungsschatz, dafür aber nicht selten über eine erstaunlich einseitige Sichtweise verfügen. Es liegt in der Natur des Menschen, erst einmal alles nur von der eigenen Warte aus zu sehen. Nicht wenige Menschen sind betriebsblind geworden. Wir erinnern uns an Gespräche mit Kollegen, die einfach nicht begreifen wollten, dass man Motoren, die man aufbohrt, um die Spuren der Kolbenfresser zu entfernen, dabei noch mehr schwächt, da man die dabei ohnehin zu schwachen Zylinderwandungen noch mehr schwächt, also kontraproduktiv handelt.

Man war sich absolut sicher, alles richtig gemacht zu haben. Fragte man warum, erhielt man unisono die Antwort, dass doch alle instandgesetzten Motoren nach der Reparatur alle problemlos liefen. Keiner konnte sich vorstellen, dass „sein“ Motor jemals noch einmal einen Schaden erleiden würde. Ganz sicher, hatte keiner der Kollegen und Kolleginnen Ursachenforschung betrieben. Wahrscheinlich wissen bis heute, trotz der inzwischen über 20.000 Downloads dieses Erfahrungsberichtes von unserer Webseite, nur wenige, warum es zu den Kolbenfressern, den gerissenen Zylinder, den Zündaussetzern, den gebrochenen Kettenschienen und den Zwischenwellenschäden bei den M96/97 Motoren kommt. Fragte man nach, was sie denn an den Motoren optimiert haben damit der Schaden nicht mehr auftreten können, kam regelmäßig ratlose Stille auf.

Anscheinend hat sich außer uns und unseren Freunden in England keiner mit den schadensverursachenden Zusammenhängen auseinandergesetzt. Diskussionen über die Richtigkeit oder Abwegigkeit unserer Aussagen führten zwar meist zu einem befriedigenden Konsens, kosteten aber regelmäßig viel Zeit.

Dieses Dokument entstand nicht zuletzt, um unproduktive und missionarisch anmutende Diskussionen zu vermeiden.

Nahezu alle unserer Erfahrungen haben wir in diesem Bericht offengelegt, und damit erstmalig der deutschsprachigen Gemeinschaft zugänglich gemacht. Unser Partner in England hat sich ebenfalls dazu entschieden.

Wer mitreden will, sollte also erst einmal lesen. Sollte irgendetwas nicht klar, oder evtl. sogar nachweislich falsch dargestellt sein, würden wir uns sehr über eine Kontaktaufnahme zwecks konstruktiven Gesprächen freuen.

Dieses Dokument werden wir regelmäßig ergänze, sobald neuen Erkenntnisse aufgekommen sind. Wir scheuen nicht davor zurück, Ansichten, die wir heute vertreten, zu ändern, falls es notwendig sein sollte. Irren ist menschlich und wer behauptete, ausgelernt zu haben, der irrt.

Bleiben Sie mit uns in Kontakt. Wir freuen uns auf Sie und besonders auf kritische Kommentar aber auch über ein ernstgemeintes Lob.

Gerne stehen wir Ihnen für jegliche Fragen und Arbeiten rund um Ihr Fahrzeug zur Verfügung. Besuchen Sie uns doch einmal unverbindlich.

Thomas Kirchhöfer
Gründer und Geschäftsführer der 1982 gegründeten
Ingenieurgesellschaft Cartronic Motorsport GmbH
Gummersbach, den 15. April 2022

Anlage 1 - Bilddokumentation von beschädigten Motorteilen

Worst-Case-Scenarios - Schlimmer geht`s nimmer.

Mit den nachfolgenden Fotos von beschädigten Motorteilen zeigen wir Ihnen wie stark manche Motoren beschädigt sind. In fast allen Fällen bestanden Kolbenfresser, deren Symptome zu lange nicht wahrgenommen oder ignoriert wurden.

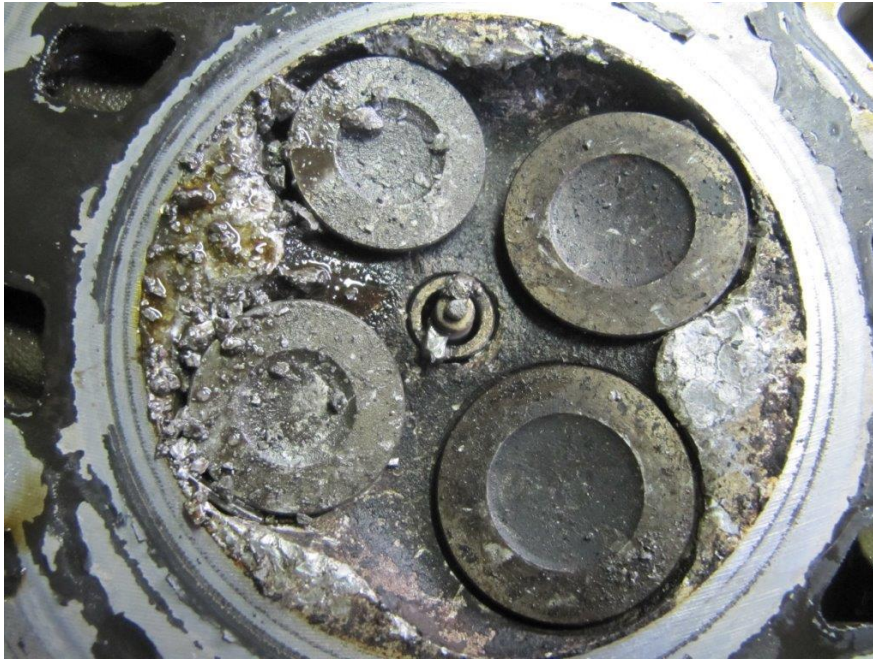


Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3



Abb.4



Abb. 5

Die Abbildungen 1-5 zeigen einen extremen Motorschaden bei dem die Zylinderköpfe nicht mehr zu retten waren. Das Motorgehäuse konnten wir, trotzdem sich die Lokasil-Inserts vom umgebenden Blockmaterial gelöst hatten (Abb. 3), retten. Es wurden 6 neue Zylinder verbaut.



Abbildung 6: Ein durch einen Brennraumschaden verursachter Katalysatorschaden. Der Metallträger ist zum größten Teil geschmolzen.

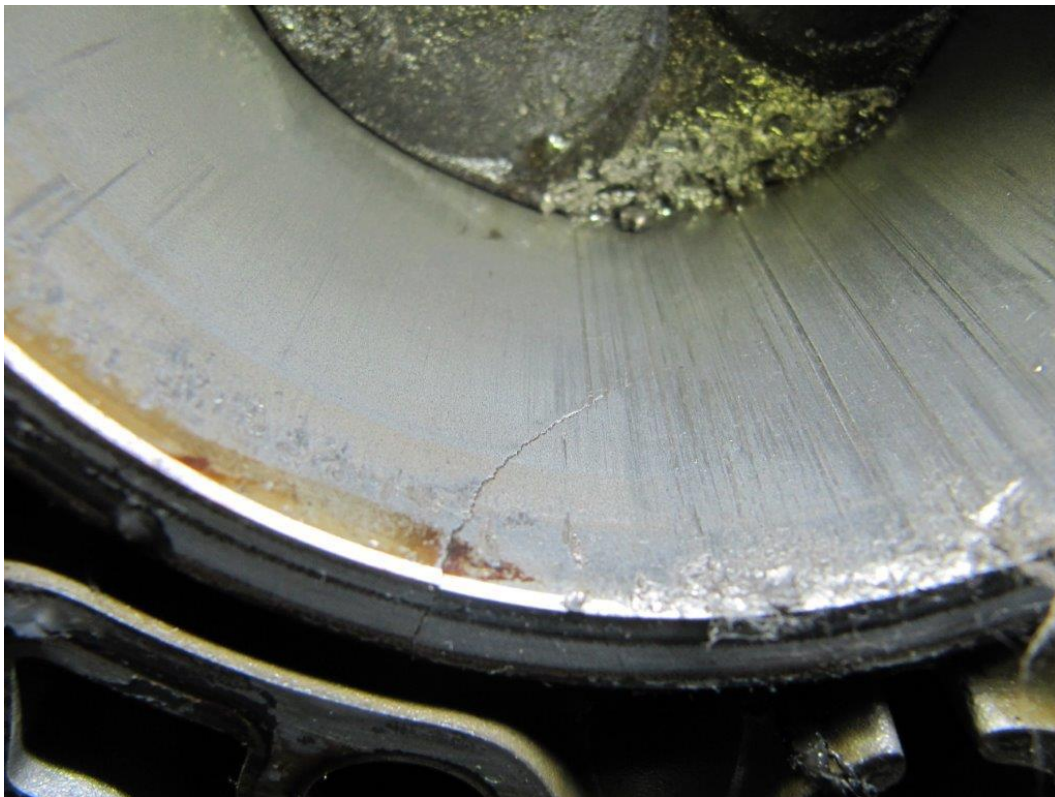


Abbildung 7: Ein durch einen Wasserschaden geplatzter Zylinder.



Abbildung 8



Abbildung 9

Abbildung 8 und 9 zeigen einen zerstörten Zylinderkopf, bei dem sogar ein Ventilsitz vollständig fehlt. Der Kopf konnte nicht gerettet werden.



Abbildung 10: Stark erodierte Kettenschienen

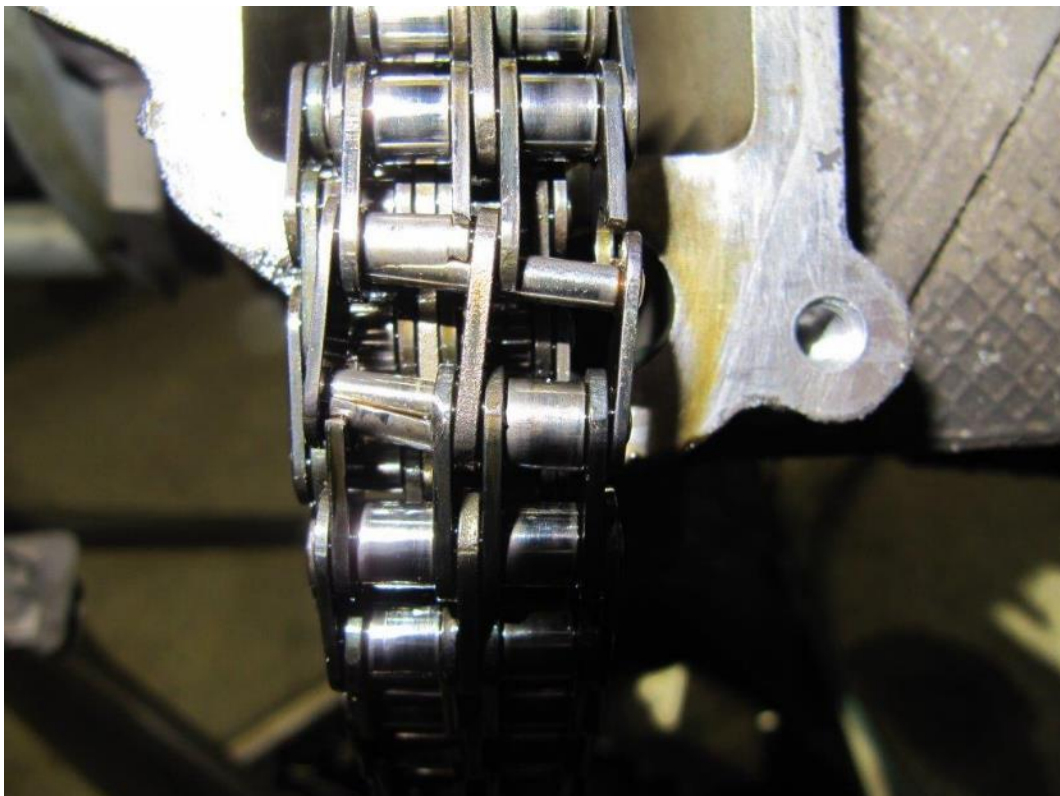


Abbildung 11: Eine gerissene Steuerkette als Ursache für den Schaden an den Kettenschienen auf Abbildung 10



Abbildung 12: Metallspäne im Ölfilter

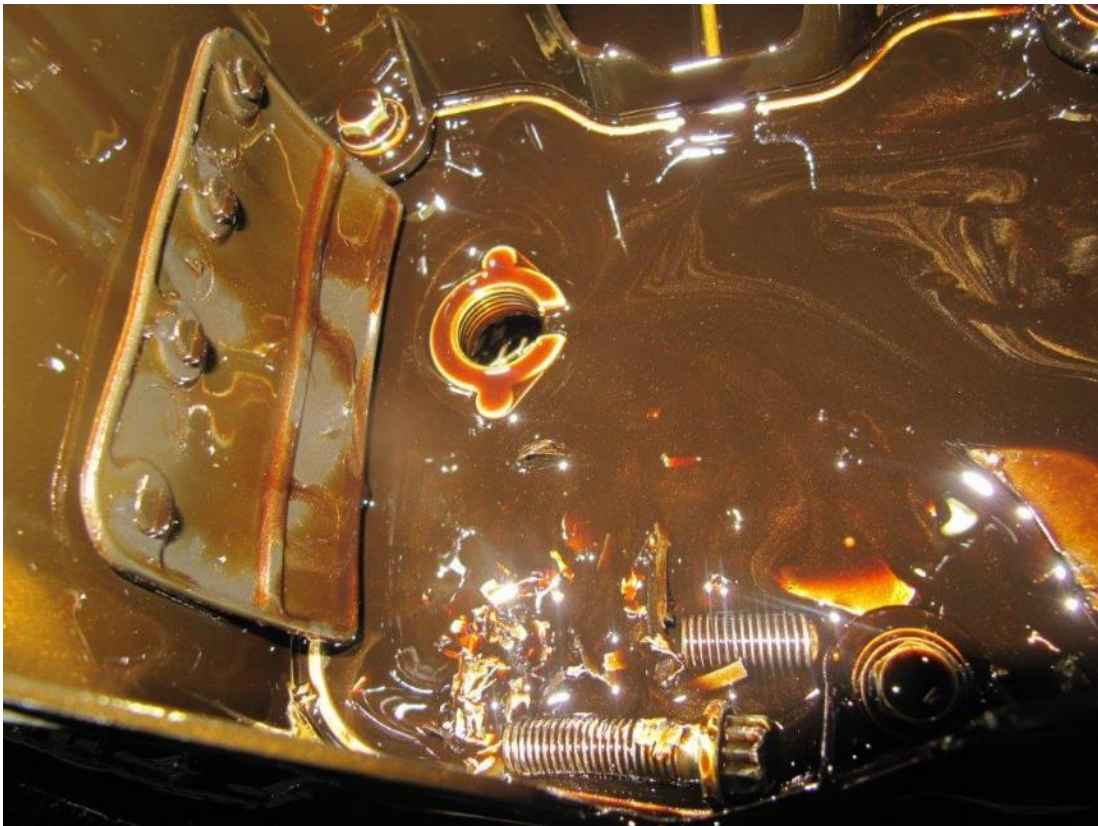


Abbildung 13: „Gesammelte Werke“ in der Ölwanne. Das Öl schimmert goldfarben.

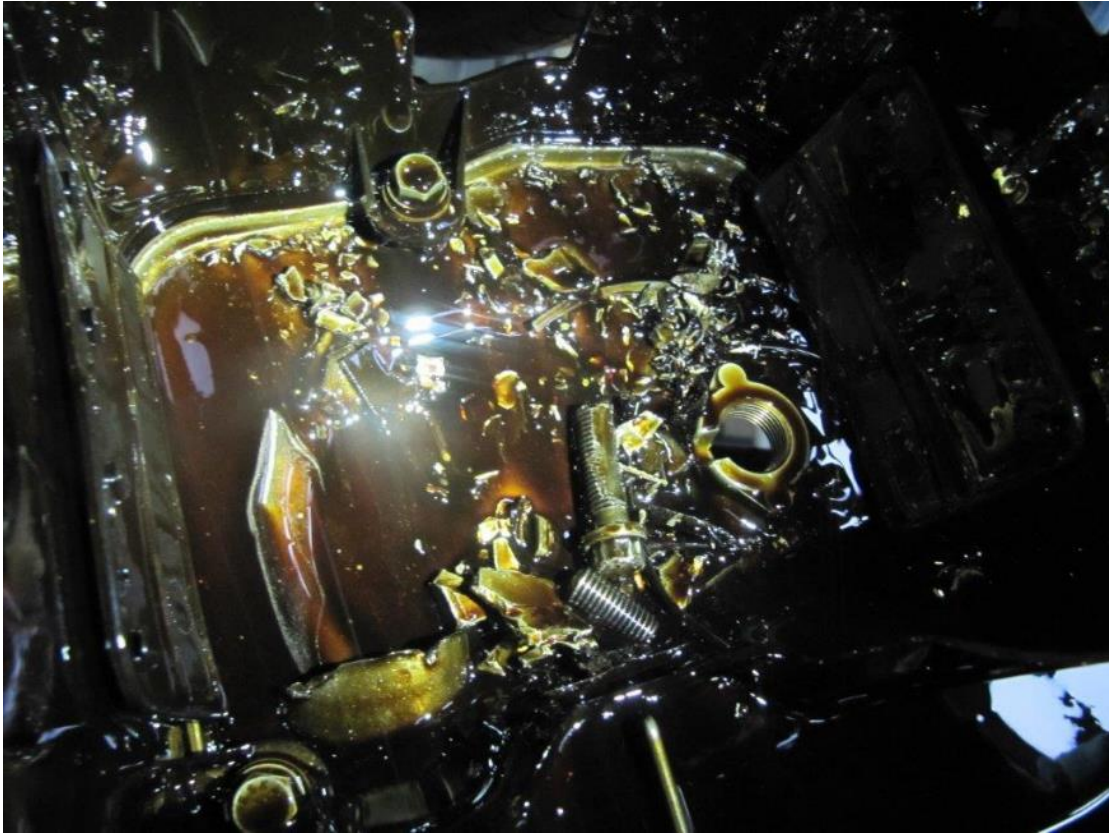


Abbildung 14



Abbildung 15

Die Abbildungen 11-15 zeigen ein typisches Schadensbild eines Motototalschadens. Das Gehäuse und auch die Kurbelwelle wurden zerstört. Der Motorblock konnten nicht mehr verwendet werden.

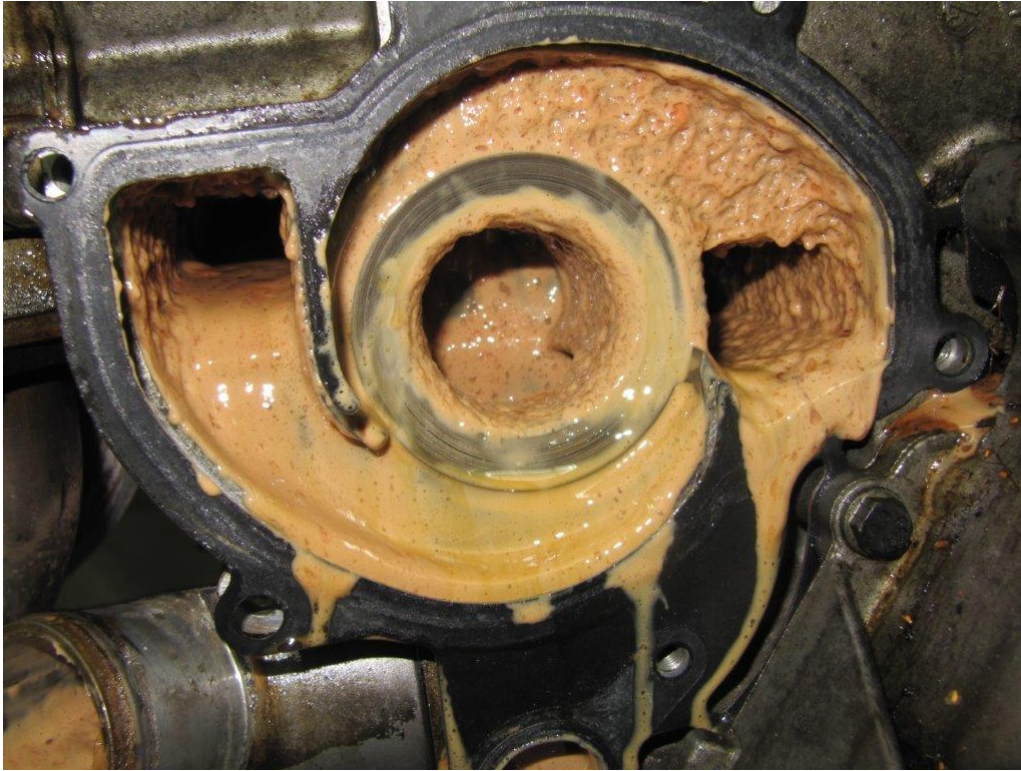


Abbildung 16



Abbildung 17

Abbildung 16 und 17 zeigen einen mit Ölschlamm kontaminierten Motor. Kühlwasser und Motoröl haben sich auf Grund eines Risses im Zylinderkopf miteinander zu einer Emulsion /Café o Lait) vermischt. Eine sehr aufwändige Reinigung des gesamten Kühlsystems war erforderlich



Abbildung 18: Beschädigte, teilweise blau angelaufene und geplatzte Lagerschale

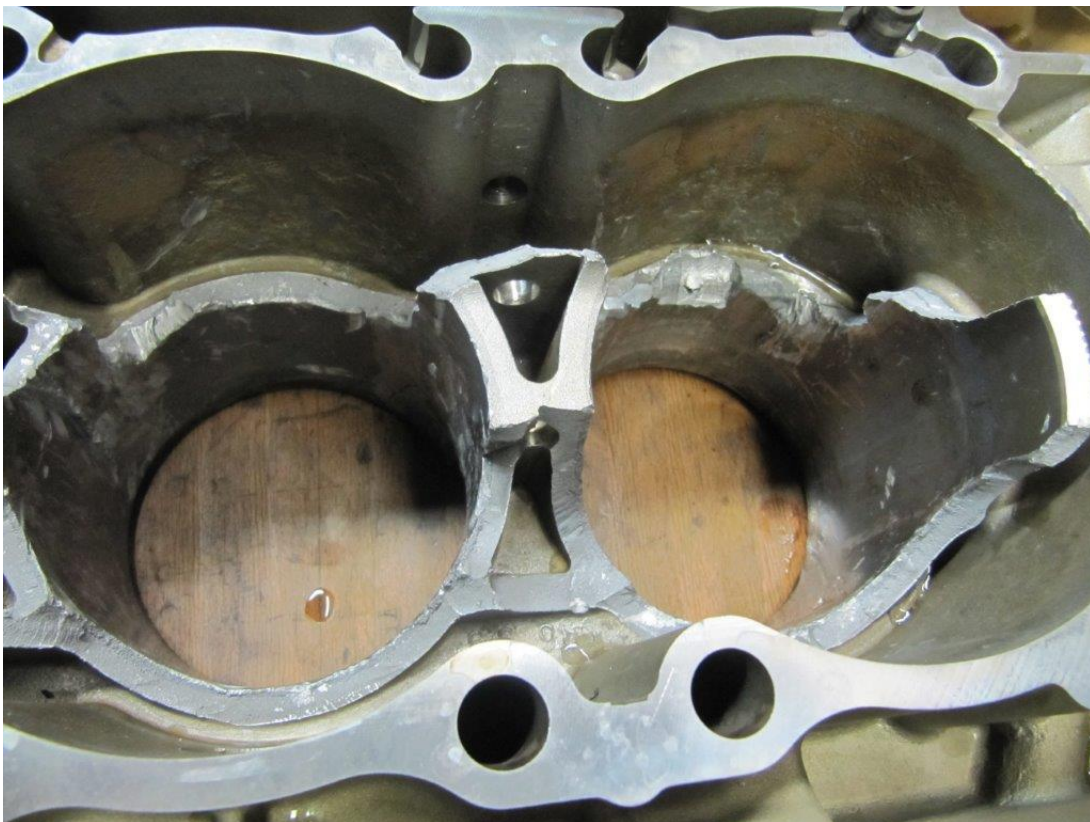


Abbildung 19: Geplatzte Zylinder (Ansicht von unten)



Abbildung 20: Ein Pleuel hat die Zylinderwandung und das Motorgehäuse durchschlagen



Abbildung 21: Gerissener Zylinder (im Bereich OT). Gegenüber liegt der Wasserkanal. Ob da wohl ein Zusammenhang besteht?



Abbildung 22: Hallimasch :-)



Abbildung 23

Abbildungen 19 - 23 zeigen Bauteile aus einem völlig zerstörten Motor, der einem Kunden bei schneller Fahrt auf der Autobahn regelrecht explodiert ist. Von dem Motor konnten nur noch die Anbauteile weiter verwendet werden. Auch die Katalysatoren waren zerstört.

Anlage 2: No-Go`s



Bild 24



Abbildung 25

Abbildungen 24 und 25 zeigen einen Motor, welcher bereits einmal mit beschädigten Teilen repariert wurde. Oben: Wir staunten nicht schlecht als wir ein ganzes Knäuel Putzpapier im Motor fanden. Bildmitte: Geringe Gehäuseteile wurden unfachmännisch (von außen) verklebt.

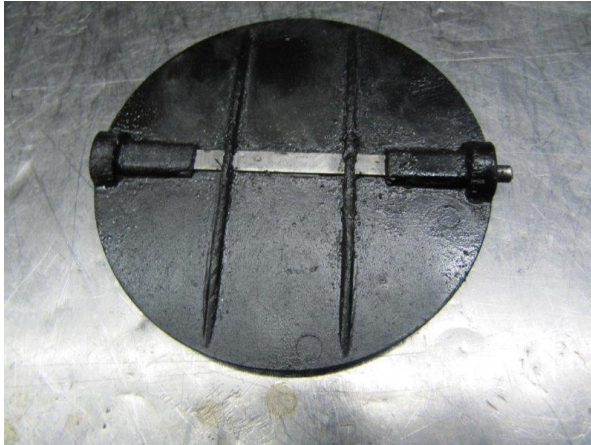


Abb. 26

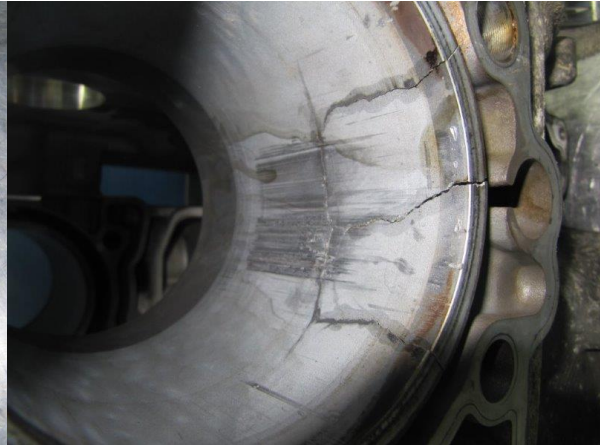


Abb. 27



Abb. 28



Abb. 29

Abbildungen 26-29: Der Motorschaden an einem Cayman S wurde durch eine defekte Umschaltklappe (oben links) der Ansauganlage verursacht. Diese wurde vom Motor angesaugt wurde. Metallische Bestandteile der Klappenwelle zerstörten einen Kolben, samt Zylinder und Zylinderkopf. Ein Zylinder ist mehrfach gerissen.

Die nachfolgenden Fotos zeigen einem mit Stahlbüchsen unfachmännisch instandgesetzten Motor. Nach 1500 Km entstand ein weiterer Schaden. Dieser Motor war nicht mehr zu retten. Wir beschafften einen Werks-AT Motor, den wir zerlegten und mit unseren Zylindern versahen. Auch optimierten wir das Motorgehäuse und die Zwischenwelle. Leider konnte der Kunde die ausführende Werkstatt nicht in Regress nehmen, da er den Wagen kurz nach der Reparatur gebraucht aus privater Hand gekauft hatte. Er glaubte den Werbeversprechen und war sich sicher, dass man wirklich Formel-1 Technik in seinen Motor verbaut hatte. Weit gefehlt!



Abbildung 30: Ein absolutes No-Go! Ein gerissener Zylinder wurde unfachmännisch geschweißt. Danach wurde eine sog. Stahlbüchse aus billigen Eisenguss eingesetzt. Nach 1500 Km Laufleistung entstand ein neuer Motorschaden auf Grund von Wassereintritt in den Zylinder, einem Kolbenschaden und einem Zwischenwellenschaden.



Abbildung 31: Detailaufnahme des Reparaturversuchs. Das soll laut Angabe des Anbieters, Formel 1 Technologie sein? Damit wirbt die Firma, die sich traut, solche Motoren an ihre Kunden auszuliefern. Im Fahrbetrieb platze ein Stück der Schweißraupe ab. Wie bei allen unfachmännisch ausgebuchsten Zylindern befinden Sie auch diese Stahlbüchsen nicht mehr auf gleichem Niveau mit dem äußeren, nach dem Ausbohren verbliebenen originalen Zylindermaterial aus Aluminium. Auch wurde durch den Reparaturversuch des geplatzten Zylinders (Aufschweißen) der schmale Kühlwasserezulauf fast vollständig verschlossen. Diesen Kanal erweitern wir bei allen von uns reparierten und optimierten Motoren. Mehr Fehler kann man nicht machen.

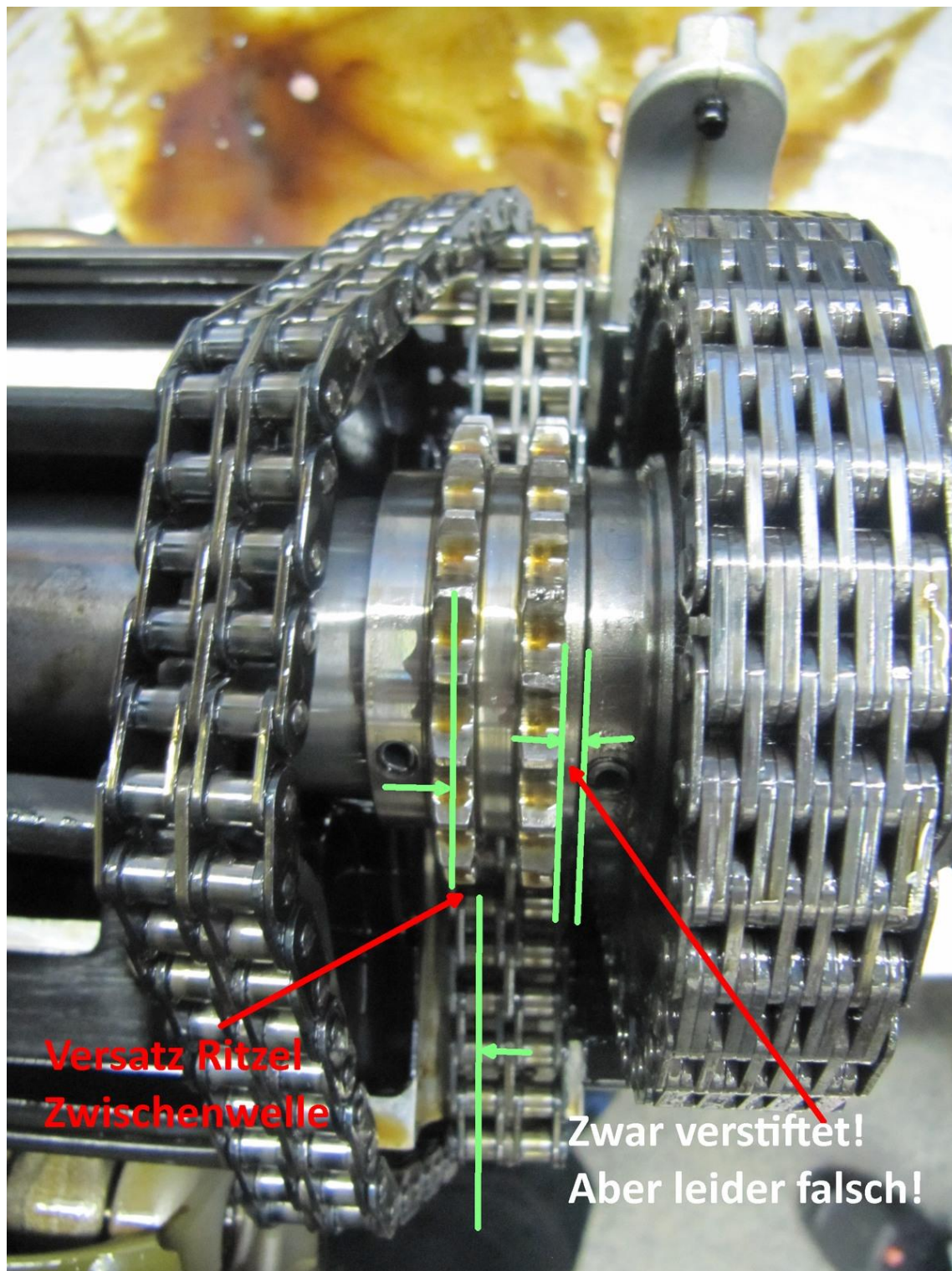


Abbildung 32: Die Überraschung war groß. Zuerst viel uns auf, dass fast alle Zähne des Ritzels auf der Zwischenwelle alle stark eingelaufen, also beschädigt waren. Dann bemerkten wir, dass die Ritzel zwar gem. unserer Empfehlung verstiftet waren, jedoch wurde nicht darauf geachtet, dass das Ritzel, welches die Kette für den Zwischenwellenantrieb trägt, mit dem Rad der Zwischenwelle fluchtete. Der Versatz betrug 4,2mm. Auch dieser unglaublich schwerwiegende und folgenreiche Fehler wurde von einer Firma begangen, die in ihren Ebay-Angeboten mit Formel 1 Technik in ihren Motoren wirbt.

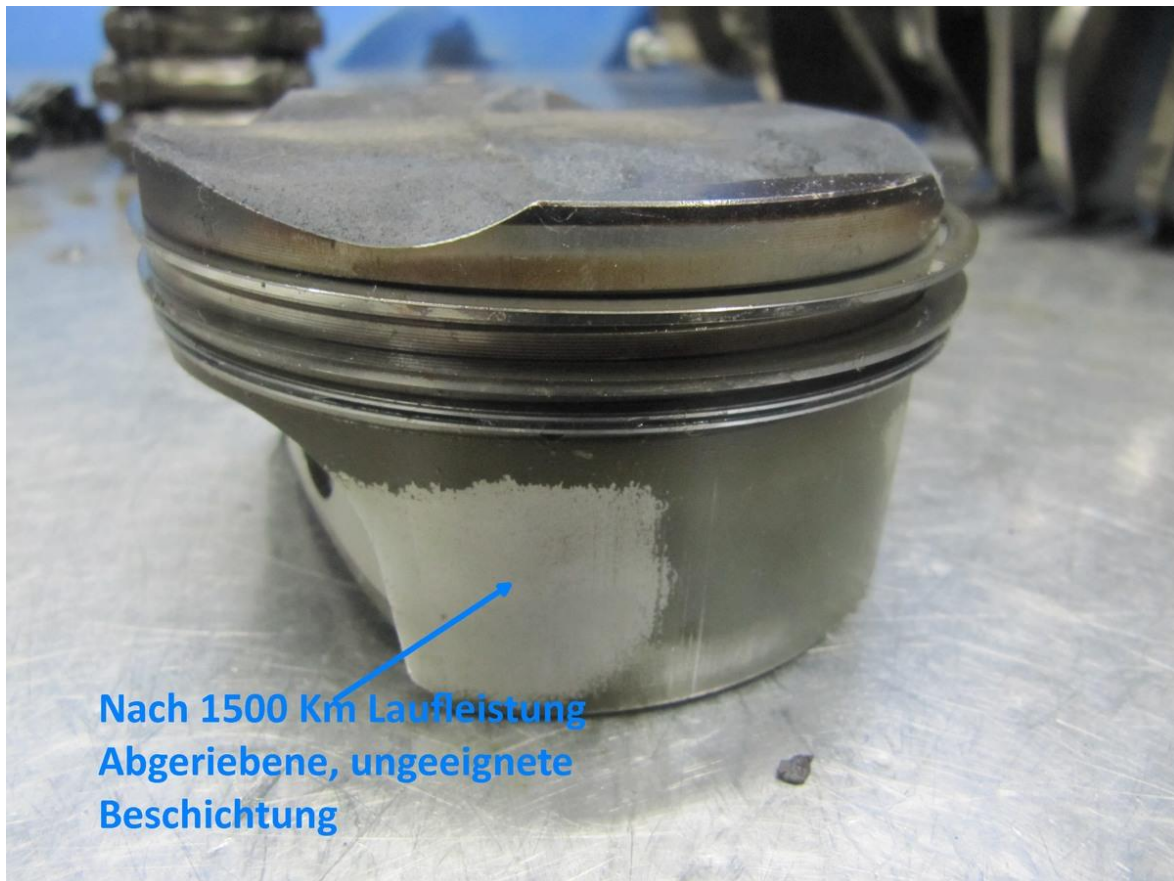


Abbildung 33: Auch hier Formel 1 Technik aus dem märkischen Sauerland. Im gleichen Motor fanden wir diese Kolben. Die Kolbenhemden wurden mit einer nachweislich nicht geeigneten Beschichtung „überlackiert“. Diese reibt sich bei geringster Belastung und kurzer Zeit nahezu vollständig ab. „Billiger“, bzw. mit mehr Rendite kann man einen Motor höchstwahrscheinlich nicht instand setzen.



Cartronic
CARTRONIC MOTORSPORT ING. GMBH

Tuning und Service für alle Porsche

- Motor, Fahrwerk- & Getriebetechnik
- Saug- & Turbomotoren bis 700 kW
- High-Tech Bremssysteme & Sportabgasanlagen
- Unfallreparaturen, Body- & Interieurstyling

Allrad-Leistungsprüfstand

- Leistungsmessungen bis 550 kW
- Tachoabgleich und Motorfeinabstimmungen

Kennfeldoptimierungen/Chiptuning

- Leistungssteigerungen für Diesel und Benzin

Cartronic Classic

- Restauration klassischer Fahrzeuge

Innovative Technologien

- Leichtbauteile aus Carbon
- SUPRANITE Plasmazündanlagen
- Sequenzielle Schaltsysteme
- Titan Abgasanlagen
- Bioethanol Nachrüstsyste mit ABE

Motorevisionszentrum

- Überholung & Reparatur aller Porschemotoren

Jetzt zum Jubiläum:
LM-220 Engine-Performance-Kit
"Walter Röhrl Edition"
Kit Nr. 001/964
W. Röhrl
Unser bewährtes
Leistungskit LM-220
in der limitierten
„Walter Röhrl
Edition“

30 Jahre Service und Tuning. Für Porschefahrzeuge. Und ...
Neue Räume · mehr Platz · kompetentes Team · bewährter Service · neue Produkte
Cartronic Motorsport Ing. GmbH · Poststraße 2 · D-51643 Gummersbach
Tel: 02261 - 911 5 911 · Fax: 02261 - 911 5 912 · www.cartronic-motorsport.de

Alle Urheberrechte liegen beim Autor. Vervielfältigung, auch auszugsweise ist ohne Genehmigung des Autors nicht zulässig. Bilder oder Darstellungen die mit Bildrechten Dritter belegt sind, wurden explizit gekennzeichnet. Nikasil® ist eine geschützte Wortmarke der Firma MAHLE AG. Lokasil® und Alusil® sind geschützte Wortmarken der Firma KS Aluminium Technologie GmbH. Porsche®, Carrera®, 997®, 996®, 993®, 987®, 986®, 911® sind Wortmarken der Porsche AG. Alle anderen geschützten Markennamen, Markenzeichen und Wortmarken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber. Alle Bildrechte liegen beim Autor.

Weitere Informationen erhalten Sie bei:

Cartronic Motorsport Ing. GmbH – Poststr. 2 – D-51643 Gummersbach
Tel. 0049-2261-9115911 – Mail: info@cartronic-motors.com – Web: www.cartronic-motors.com