# Time Over?

## Eine Kritische Analyse der Ursachen von Motorschäden wassergekühlter 6-Zylinder Porschemotoren der Baureihen M.96 / M.97

- Die Ursachen der Motorschäden
- Vorstellung einer nachhaltigen Reparaturmethode
- Stellen Zylinderbuchsen oder Aufbohren eine Alternative dar?
- Die optimierte Cartronic-Zwischenwellenlagerung
- Die Cartronic Motor-Racing-Kits für den Rennsporteinsatz
- Das Cartronic 10W/60-RSX High-Performance-Motoröl
- Liste der verfügbaren Motor-Spezialteile für M96/97 Motoren
- 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

**Eine Übersicht über 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

**Die Ursachenforschung und deren Ergebnisse** 13

- **Reibungspunkte** ..... 13
- **Mehr als nur eine Ursache** ..... 15
- **Was unterscheidet die jüngeren Motoren von denen der ersten Serie?** ..... 15
- **Problemlösung ab Werk?** ..... 16
- **Neuartige Zylinder - Die Lokasil® Liner - Eine tolle Erfindung!** ..... 16
- **Die Nachteile des Baukastenprinzips** ..... 19
- **Zu hohe Kräfte** ..... 22
- **Man machte Fehler und viele machen die heute noch!** ..... 23
- **Analyse technischer Probleme und Schwächen - Kolbenschmierung** ..... 23
- **Informationen und Wissenswertes zum grundsätzlichen Motoraufbau** ..... 24
- **Der typische Kolbenfresser** ..... 27
- **Eine weitere mögliche Ursache - Die Wasserkühlung** ..... 28
- **Das Verhalten von heißen Flüssigkeiten** ..... 38
- **Die Geschichte rund um den Siedepunkt** ..... 40
- **Offenes oder geschlossenes Zylinderdach - Open-Deck oder Closed-Deck?** ..... 41
- **Aufsummierte Probleme** ..... 45
- **Die unterschätzte Tragweite der falsch angezeigten Wassertemperatur** ..... 45
- **Frühe Schäden kann man verhindern** ..... 46
- **Gefahren und Nutzen des Internets - Ebay, Facebook und die Porsche-Foren** ..... 47
- **Wertsteigerung nach Motorschaden? - Der Sinn dieser Veröffentlichung** ..... 47
- **Bewirken Reparaturen mit Stahlzylinderbuchsen, Aufbohren und Kolben in Übergröße eine nachhaltige Problemlösung** ..... 48
- **Mehr Spritzöldüsen - weniger Öldruck?** ..... 52
- **Die lange Liste der konstruktiven Probleme - und die Lösung von Cartronic** ..... 53
- **Technische Veränderungen der Cayman S 3,4 Ltr., 3,6 Ltr. und 3,8 Ltr. Motoren im Vergleich zu den alten 3,4 Ltr. 996 Motoren** ..... 55
- **Neue Projekte - Neue Kurbelwellen, Lagerschalen und Kettenschienen** ..... 56
- **Das Thema Zwischenwelle** ..... 60
- **Erfolgreiche Entwicklungsprojekte** ..... 71
- **Die heutigen Möglichkeiten sind teilweise einzigartig - Das Re-Rounding** ..... 72
- **Was kann man tun? - Was sollte man tun?** ..... 74
- **Verlängerte Zylinder verhindern das Kolbenkippen** ..... 78
- **Kaltstart-Qualmen** ..... 81
- **Qualm und Rauch! –Sorgenkind Ölabscheider-** ..... 82
- **Motorsport möglich – Ja oder nein?** ..... 83
- **Der Motor läuft noch – Gibt es sinnvolle Vorbeugemaßnahmen?** ..... 88
- **Welches ist das richtige Öl für die M96/97 Motoren?** ..... 88
- **Abschließende Betrachtungen** ..... 94
- **Anhang 1 - Worst-Case-Scenarios - Schlimmer kann es nicht mehr kommen - Fotos-** ..... 96
- **Anhang 2 - Preisliste / Motor-Upgrade-Produkte** ..... 109

# Zusammenfassung

Seit einigen Jahren beobachtet man bei bestimmten Motoren der wassergekühlten 6 Zylinder 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 33 Jahren und beschäftigt sich seit über fünfzehn Jahren auch mit der Reparatur der wassergekühlten Porschemotoren der Typen M.96 und M.97. In den letzten acht Jahren hat sich Cartronic intensiv mit der Erforschung der Ursachen der oben aufgezählten Schäden befasst und dabei ganz neue Vorgehensweisen der Schadensbehebung theoretisiert, 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.

Es gibt inzwischen einige Firmen, die Angebote für Motorreparaturen von defekten Wasserboxermotoren abgeben. Teilweise sogar zu auf den ersten Blick unglaublich günstigen (scheinbaren) Festpreisen, die allerdings erfahrungsgemäß eine fachgerechte Reparatur definitiv nicht möglich machen.

In der letzten Zeit stellen wir im Rahmen von Reparaturanfragen fest, dass viele Geschädigte über die recht unterschiedlichen Aussagen verschiedener Firmen, die Motoren überholen, verwirrt sind. Jeder stellt seine Methode als "die Beste" dar und vertritt dabei tapfer seine Einstellung.

Speziell auf der Verkaufsplattform EBAY werden Interessierte oft mit einer großen Menge ausgemachten Blödsinns konfrontiert. Viele betroffenen, meist ahnungslosen Porschebesitzer, fallen so leider recht oft auf unseriösen Angebote herein und vergeben aus Unwissenheit Aufträge, die im Nachhinein deutlich teuer werden als geplant oder das Ergebnis nicht das ist, was versprochen wurde.

Die meisten unfachmännischen Arbeiten bleiben für lange Zeit verborgen, da ja kein Motor kurz nach einer durchgeführten Reparatur nur zu Kontrollzwecken wieder geöffnet wird.

Wir verbringen seit Jahren eine Menge Zeit damit, Hilfesuchenden zu erklären, dass es z.B. keine gute Idee ist, gefressene Zylinder mit Zylindereinsätze aus "Stahl" reparieren zu lassen oder ihre Motoren aufbohren zu lassen. Tatsächlich sind einige Reparaturwerkstätten davon überzeugt, dass man beschädigte Zylinder aufbohren und mit Kolben in Übergröße versehen sollte. Diese Vorgehensweise stellt einen noch größeren Fehler dar als das Setzen von Stahlzylindern. Wir raten generell vor sog. „Stahlbüchsen“ oder einem Aufbohren der ohnehin zu „schwachen“ Zylinder ab. Leider wurden in den letzten Jahren viele defekte Motoren mit einer dieser beiden unfachmännischen und nicht nachhaltigen Methoden wieder instandgesetzt.

Meist fehlt es den sogenannten Fachfirmen, die oft gegenteilige Aussagen treffen, an Hintergrundwissen und an der notwendigen Kreativität. So hatte unserer Recherche nach kaum einer der Firmen den Mut, an eigenen Motoren kostspielige Versuche durchzuführen. Anderen, selbsternannten Fachleuten geht es nur darum, schnell eine Rechnung für eine unfachmännische und billige „Reparatur“ zu schreiben. Tatsächlich ist es so, dass diese, mit günstigen Mitteln reparierten Motoren, die nächsten 12 Monate überleben.

Da es seitens der Porsche AG keinerlei Hinweise und 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 und potentiellen Kunden 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 sollte, sondern sich auch mit technische Verbesserungen beschäftigen sollte, damit diese Schäden in Zukunft nicht mehr auftreten können.
Bei uns geht es also nicht nur um eine Reparatur des Motorschadens, sondern auch um die Beseitigung der Ursachen der Motorschäden. Soweit wir wissen, sind wir die einzige Firma in Deutschland die neben der Reparatur auch für eine Optimierung der beschädigten Motoren sorgt. Um Ihnen unsere Gedankengänge im Rahmen der Erforschung der Motorschäden sowie deren Behebung bei gleichzeitiger Optimierung näher zu bringen, haben wir uns entschlossen, unsere Erfahrungen mit der breiten Öffentlichkeit zu teilen.
Heute muss also kein Motor mehr unfachmännisch repariert werden und kein Kunde muss sein Geld mehr für nachweislichen „Pfusch" ausgeben.
Die durchaus positiven Resonanzen, die wir erhalten, zeigen uns, dass wir mit unserer dokumentierten Transparenz und Ehrlichkeit etwas wirklich Sinnvolles dafür getan haben, dass sich das Misstrauen der Kunden in "die Branche" wieder auflöst.
Bis zum heutigen Tag hat, bis auf eine Ausnahme, nicht einer unserer Mitbewerber noch der Fahrzeughersteller 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 aber falsch. Es existiert nämlich 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 in der Tat auch kleinere Nachteile, in dem Fall, wenn sie falsch auslegt 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 und im Rahmen einer speziellen Art der Motorreparatur nachhaltig und für den betroffenen Kunden fair lösen kann. Es ist nicht unsere Absicht, direkt Kritik an unseren Mitbewerbern, dem Hause Porsche oder deren Zulieferern zu üben, obwohl es an den verwendeten Materialien, den angewandten Reparaturmethoden und auch an technischen konstruktiven Einzellösungen, wahrlich genug auszusetzen gibt. In der Tat versuchen wir uns in einer ausgewogenen und objektiven Darstellung der Gegebenheiten und in der Vorstellung von Lösungen. Mit der Tatsache, dass einige Mitbewerber sich nicht darüber freuen, können wir gut leben.

# Einleitung

Die Motoren der Generationen M.96 und M.97 der Fahrzeuge Porsche 986/987/996 und 997 zeigen diverse 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 901 basierenden Motoren, die sogar als 8 und 12-Zylindermotoren Jahrzehntelang nie dagewesene Siegesserien auf allen Rennstrecken der Welt einfuhren.
Porsche dominierte damals die Szene nicht zuletzt deshalb, weil Ferry Porsche etwas unglaublich Stabiles und Langlebiges konstruiert hatte.

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 Motoren zu bauen, kann sich kein Hersteller mehr leisten. Heute legt man alles recht nahe an den Grenzen aus. Manchmal kann es vorkommen, dass man diese Grenzen nicht genau kennt und man konstruktiv danebenliegt. Manchen Hersteller trifft es nie, manchen sanft und manchen aber auch hart. Porsche traf es meiner Ansicht nach sehr hart.
Kommen wir aber zu den Fakten.
Bei der Analyse der meisten Motorschäden der Wasserboxer-Motoren findet man oft neben gerissenen, oval gewordenen Zylindern fast immer auch eine leichte bis sehr starke Riefenbildung in den Laufflächen. Die meisten defekten Motoren, die wir reparieren, erlitten entweder einen Kolbenfresser, oder verstarben an einer defekten Zwischenwelle
Die beobachteten Kolbenfresser entstehen, weil der Druck zwischen dem Kolben und Zylinder für den Ölfilm zu hoch geworden ist. Der Kolben kommt in direkten Kontakt mit der Zylinderlauffläche. Der Reibwert zwischen dem Kolben und der Zylinderbohrung steigt dabei so stark an, dass es zu einer Riefenbildung kommt. Um zu verstehen, warum dies bei den M.96 und M.97 Motoren so ist, ist es wichtig, ein wenig über Reibung und speziell die Reibung an den kritischen Zylinderbereichen zu verstehen. Kolbenfresser sind immer eine Folge, aber niemals eine Ursache. Kann es sein, dass zu hohe innere Temperaturen im Motor die Probleme verursachen? Liegt es an einer ungenügenden Wasserkühlung oder spielen technisch konstruktive Mängel der Ölschmierung an dem Motor eine wichtige Rolle? Auch die Qualität des verwendeten Motoröls könnte eine Rolle spielen.
Zu Beginn erwähnte ich, dass es Europa neben uns nur noch eine Firma gibt, die die Problematik mit den Motoren offen kommuniziert. Die Firma Hartech sitzt in Mittelengland, Nähe Manchester.
Wir sind seit vielen Jahren eng befreundet und kooperieren sowohl in der Entwicklung als auch im Vertrieb. Barry Hart und wir haben mit viel Aufwand die Hintergründe der Motorschäden untersucht. Zum Ende unserer gemeinsamen „Forschungsreise“ und nach vielen Flügen über den Ärmelkanal sind wir heute in der Lage, die Ursachen für die Motorschäden nicht nur schlüssig zu erklären, sondern diese auch nachhaltig zu beheben.

# Eine Übersicht über 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, nur so von unseriösen Angeboten von Anbietern, welche teilweise mit sehr attraktiven Lockangeboten auf sich aufmerksam machen und dem potentiellen Kunden an dieser Stelle besonders günstig erscheinende Komplettpreise anbieten. Geht man darauf ein, wird es am Ende fast immer teurer als erwartet oder man erhält einen Motor zurück, der sogar nur mit Gebrauchtteilen repariert wurde. Dies sind keine Vermutungen, sondern Realität.
Jeder Anbieter stellt seine technische Lösung als besonders vorteilhaft dar. Genau das tun wir natürlich auch.
Leider haben im Laufe der letzten Jahre, moralisch nicht einwandfreie Verhaltensmuster einiger Personen und Firmen, dazu geführt, dass die kleine und überschaubare Branche in Verruf geraten ist. Viele Privatkunden sind schlichtweg betrogen worden und andere sind völlig verunsichert.

Nur mit etwas Sachverstand und Hintergrundwissen ist man in der Lage diese schwarzen Schafe zu entlarven. Leider fehlt es den meisten Personen, die von einem Motorschaden betroffen sind an dem essentiell notwendigen Hintergrundwissen rund um die Motorentechnik.
So gibt es in Deutschland tatsächlich heute noch auf Porsche spezialisierte Firmen, die ganz fest daran glauben, dass man die beschädigten Motoren mit Zylinder-Einsätzen aus einer Eisenlegierung reparieren kann.
Diese Methode bietet sich zwar an, ist aber alles andere als nachhaltig. Man spricht von Formel-1-Technologien im Porschemotor und merkt dabei gar nicht, dass man sich auf einem beschämenden Wissensniveau befindet.
Auf den Laien machen sich diese „besonders wichtig klingenden“ aber falschen Aussagen bestimmt einen großen Eindruck. Echte Fachleute denken über solche Reparaturmethoden nicht einmal nach.
Auf der Ebay-Plattform findet man in viele Auktionen gebrauchte Motoren, die von Privatleuten und auch von Gewerbetreibenden angeboten werden. Die meisten ohne jegliche Funktionsgarantie. Bitte wägen Sie genau ab, ob es das Risiko wert ist einen derartigen Motor zu kaufen. Viele entscheiden sich allerdings dazu, wenn das Fahrzeug nur wieder zum Laufen gebracht werden soll um es dann sofort nach Motoreinbau an einen gutgläubigen Neuerwerber weiter zu verkaufen.
Unsichere Zeitgenossen haben natürlich noch die Möglichkeit, sich auf den Weg zum nächsten Porschezentrum zu machen um sich dort dann ein „Rundumsorglos-Paket“ schnüren zu lassen. Jedoch sollte man in diesem Falle finanziell unabhängig sein und Kostenvoranschläge mit Endsummen bis zu 50.000 Euro (beim 964 oder 993) und bis zu knapp 30.000 Euro (bei den Wasserboxern) verkraften können, ohne gleich ärztlichen Beistand anzufordern. Austauschmotoren ab Werk sind halt sehr teuer und sprengen in der Regel das Budget jeden Porschefahrers.
Man erweist sich mit dem Erwerb im Grunde genommen auch keinen Gefallen, da die im Austausch angebotenen M.96 und M.97 Motoren leider nicht mit einer grundlegend verbesserten Technik im Vergleich zu dem in Zahlung gegebenen defekten Motor versehen wurden.
Nur wenige, leicht zu behebende technische Unzulänglichkeiten im Bereich der Zwischenwelle und der Zylinderköpfe wurde seitens des Herstellers im Laufe der letzten Jahre nachhaltig verbessert ohne sie zu eliminieren. Die Probleme, dass die Zylinder reißen und Zylinderlaufbahnen auf Grund der auftretenden Verformung irgendwann „fressen“, kauft man mit dem Austauschmotor ab Werk gleich wieder mit. Geht es dann auch noch um einen leistungsgesteigerten 3,8 Ltr. X51 Motor, dann muss man sogar damit rechnen, dass, je nach Belastung des Motors, der gleiche Schaden bereits nach 30-40.000 Km erneut eintritt.
Als sich die Motorschäden in den Jahren ab dem Jahr 2000 häuften, waren alle Branchenkenner sehr überrascht, da man das von 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.
Bereits im Jahr 2001 haben wir damit begonnen, die Ursachen der sich häufenden Motorschäden bei den Porsche 996 und 986 ernsthaft zu analysieren. Es stellte sich schnell heraus, dass es sich, wie fast immer bei Problemen dieser Art, um konstruktiv- und materialbedingte Probleme handelt. Negative Auswirkungen der Berechnungen im Bereich der Wasserkühlung, unserer Meinung nach falsch ausgelegte Zylinderkopfdichtungen und Zylinderköpfe, sowie konstruktiv nicht optimal platzierte Spritzölbohrungen, eine recht fragile Zwischenwellenlagerung, nicht geeignete Kurbelwellen-Dichtringe waren und sind teilweise heute noch die Ursachen für Motorschäden.
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 2,5 Ltr. und 2,7 Ltr. Boxstermotoren konnte man dieses Phänomen noch nicht beobachten. Andere Motoren, wie die vom leistungsgesteigerten 3,8 Ltr. (X51 Motor) litten verstärkt daran. Dafür gibt es zwei generelle Ursachen. Die eine ist 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 zu verändern, ging das natürlich zu Lasten der Zylinderwandstärken. Der innere „verstärkte“ Lokasil®-Liner wurde so bei einigen Motoren dünner und auch die äußeren Wandungen aus Aluminium wurden teilweise schwächer. Die Verbrennungsdrücke stiegen zudem in Folge der ständig steigenden Motorleistung immer weiter an. Durch den hohen Druck, welcher auf die Kolben wirkt, erhöht sich auch der Druck auf einen bestimmten Bereich der Zylinderwandung. Der Ölfilm reißt ab und die Temperatur der Bauteile und des Motoröls steigt an.
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 schwach ausgelegten Zylindern bei den Motoren ab 3,4 Ltr. Hubraum. Das Gefüge verändert sich dabei langsam aber stetig. Zuerst nehmen sei eine andere Form an, können aber auch reißen. Ein runder Kolben in einem ovalen gewordenen Zylinder ist nicht das, was sich ein Motorenkonstrukteur wünscht.
Das geschwächte Material gibt sich dann irgendwann, mit steigender Laufleistung und spezifischer Belastung des Motors geschlagen. Je höher der mittlere Verbrennungsdruck umso eher. Die Zylinderwandungen ermüden, das Material kriecht, reißt, frisst und der Motor erleidet im schlimmsten Fall einen nicht reparablen Totalschaden.
Die initial auftretenden Ovalitäten führen zu Kolbenkippern, Zylinderrissen und Kolbenfressern. Bei Zylindern mit einer genügend starken Wandstärke kommt es sehr selten zu diesen Problemen. Genau deshalb beobachtet man bei den schwachen 2,5er und 2,7er Boxstermotoren nur sehr selten diese Art Motorschäden. Die „kleinen“ Motoren laufen teilweise auch noch nach 300.000 Km Laufleistung problemlos.
Und genau deshalb ist es auch nicht gerade verwunderlich, wenn ein leistungsgesteigerter 3,8er X51 Motor bereits nach 30.000 Km Laufleistung erste, beängstigend klingenden Geräusche macht.
Nach eingehenden Untersuchungen und Analysen sind uns die Ursachen, warum diese Motoren nach relativ kurzer Zeit einen Motorschaden erleiden, bekannt. Wir wissen, warum die Zylinder oval werden. Mit der hier vorliegenden Veröffentlichung unserer Analyseergebnisse kann sich der Rest der Welt nun auch darüber informieren.
Interessant ist, dass die Ursachen der Motorprobleme bis zum heutigen Tage noch nirgends in diesem gesamten Umfang 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 auf reinen Vermutungen basiert und zeigt, dass sich diese Personen nie wirklich mit den wahren Problemen 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. Heute wenden wir vermutlich das nachhaltigste Reparaturverfahren für die M.96 und M.97 an.
Das bedeutet, dass wir in der Lage sind, Motoren aufzubauen, die eine deutlich längere Lebensdauer als ein Werksmotor haben. Reparierte und optimierte Motoren aus unserem Hause werden wahrscheinlich nie mehr einen dieser bekannten und oft viel zu früh auftretenden Schaden erleiden.

Die Schäden an den Motoren wären nahezu alle vermeidbar gewesen, indem man die maximale Belastungsgrenze der Basis-Motorkonstruktion nicht überschritten hätte. Wie bereits erwähnt,

haben wir uns sehr intensiv mit den Vor- und Nachteilen des Motorenkonzepts beschäftigt und sind uns dieser seit einigen Jahren vollends bewusst.
Cartronic Motorsport hat sich einen gesunden Bestand an Motoren der Baureihen 356/911/964/993/986/996/987/997 aufgebaut. Viele Motoren sind bereits generalüberholt und stellen die Basis für unser Austausch-Geschäft dar.
Meist jedoch reparieren wir die Motoren, die uns von den Kunden angeliefert werden. Damit verfügt das Fahrzeug auch danach noch über „Matching-Numbers“. Bei den Fahrzeugen der luftgekühlten Baureihe spielt dies sicher eine wichtigere Rolle als bei Fahrzeugen mit dem M96/97 Motoren.
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

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 an den Zylinderkopf anschlagenden Kolbens. Beim 996 kommt das Geräusch von der rechten Motorseite. Beim Boxster und Cayman kommt es von der linken Seite, weil der Motor um 180° gedreht eingebaut ist.
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 deutlich zu geringe Zylinderwandstärken und Probleme mit sich aus der Zylinderwand lösenden Siliziumpartikeln führen so speziell bei den 3,8Ltr. X51-Motoren zu einer deutlich geringeren Haltbarkeit im Vergleich zu den Motoren mit Hubräumen von 2,5 - 3,2 Ltr. Warum ist das so?
Bei jedem Verbrennungszyklus verformt sich auf Grund des eingeleiteten Drucks der Zylinder und wird dabei jedes Mal leicht oval. Keine äußere, recht schwach ausgelegte Zylinderwand aus Aluminium und auch kein innerer Lokasil®-Liner in diesen Stärken kann das auf Dauer aushalten. 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“.
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 sehr oft zu Mikroausbrüchen von sehr kleinen keramischen Partikeln. Diese stammen aus den keramischen 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 davon kleine Partikel lösen und zu "Kratzern" im Zylinder und auf dem Kolben führen. Der Beginn eines Kolbenfressers!
Im Bereich des oberen Totpunktes des Kolbens kann es zusätzlich zu geringen nicht besonders gefährlichen Auswaschungen der Zylinder kommen. Die Zylinder sind irgendwann nicht mehr rund und weisen bei Motoren, die mehr als 200.000 km gelaufen haben, teilweise sehr große Ovalitäten von bis über 0,2mm hinaus auf. Der Ölverbrauch steigt, die Temperaturen steigen und irgendwann

kommt es zu den gefürchteten Schmierfilmabrissen, die dann in der Folge zu Kolbenfressern und 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, aber unvermeidbar kommt es dann zum Motorschaden.
Bei den 986er und 996er Motoren der ersten Generation traten auch häufig Probleme mit den Zylinderköpfen und dem Kettentrieb mit Kettenabrissen, Brüchen der Zwischenwellen und deren Lagerung auf. Diese Probleme hat der Hersteller inzwischen nachhaltig durch eine verstärkte Wellenlagerungen und ein verbessertes Design bei den Zwischenwellen gelöst. Bei den Motoren ab Baujahr 2007 sollten diese Ausfälle nicht mehr vorkommen. Cartronic Motorsport bietet seit langer Zeit entsprechende Umrüst-Kits mit verbesserten Lagern 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 ehemals eingebaut waren. Für alle konstruktiven Probleme der Porschemotoren gibt es, wie von uns nachgewiesen, eine Lösung.

Die großen Fahrzeughersteller sind leider nicht flexibel genug um entsprechende Problemlösungen kurz nach deren Bekanntwerden anzubieten. Zu dem Zeitpunkt, in der die Probleme erstmalig auftauchen, 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 entsprechende Problemlösungen zu entwickeln. Von Jahr zu Jahr hatten wir die Motorreparaturen besser im Griff, die abgelieferte Qualität der Motoren wurde immer besser. Seit Anfang des Jahres 2013 sind wir in der Lage, revidierte Motoren anzubieten, welche von uns im Detail so verbessert wurden, dass man heute mit Fug und Recht behaupten kann, dass diese Motoren in verschiedenen Details in einem höherem technisch konstruktiven Stand sind, als die Werksmotoren es zum Zeitpunkt der Produktion der jeweiligen Motorengeneration jemals waren.
So konnten wir das Problem mit den zwangsläufig auftretenden Ovalitäten der Zylinder dadurch (nachhaltig) lösen, dass wir anstelle der unserer Ansicht nach zu schwach ausgelegten Aluminium/Lokasil®-Zylinder sehr spezielle, von uns entwickelte Leichtmetallzylinder aus geschmiedetem Aluminium verbauen. Diese Zylinder werden aus einer hochfesten Aluminiumlegierung speziell für uns und unsere Entwicklungspartner im Schmiedeverfahren 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 Ltr. X51-Motors gerecht wurden. Also änderten wir das Produktionsverfahren. Schmiedekolben gibt es seit langer Zeit. Aber Schmiedezylinder waren damals ein echtes Novum.
Natürlich werden auch unsere Zylinderlaufflächen 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 Material und auch das Verfahren haben sich bestens in leistungsstarken Motoren bewährt und werden vom Werk seit einigen Jahrzehnten eingesetzt und verwendet. Heute sogar noch in den modernen GT3 und Turbomotoren.
Inzwischen sind auch einige wenige Mitbewerber technologisch einen Schritt weitergekommen und bieten ähnliche, aber im Detail nicht vergleichbare Lösungen an. Genauso findet man aber auch

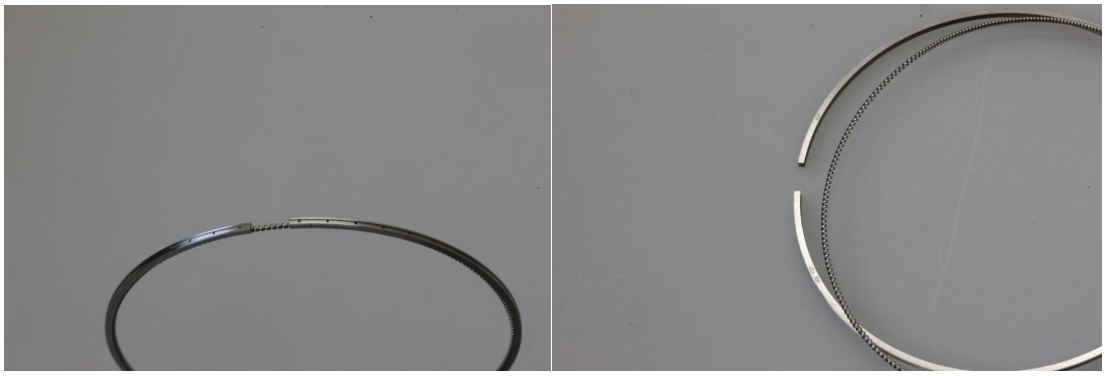
andere Reparaturbetriebe, die bis zum heutigen Tage völlig veraltete Technologien mit absolut ungeeigneten Stahlzylindern als das Non-Plus-Ultra anpreisen. Wir raten jedem betroffenen Porschefahrer von der Annahme solcher Angebote ab. Wir dürfen das sagen, weil wir selbst schon sehr schlechte und teure Erfahrungen mit unzulänglichen Technologien gemacht haben. Dass diese Billiglösungen immer noch angeboten werden, hat mehr etwas mit Gewinnmaximierung als mit der Verwirklichung von technischen Glanzleistungen zu tun.

## Nikasil® Lokasil® Alusil® und NiSiC

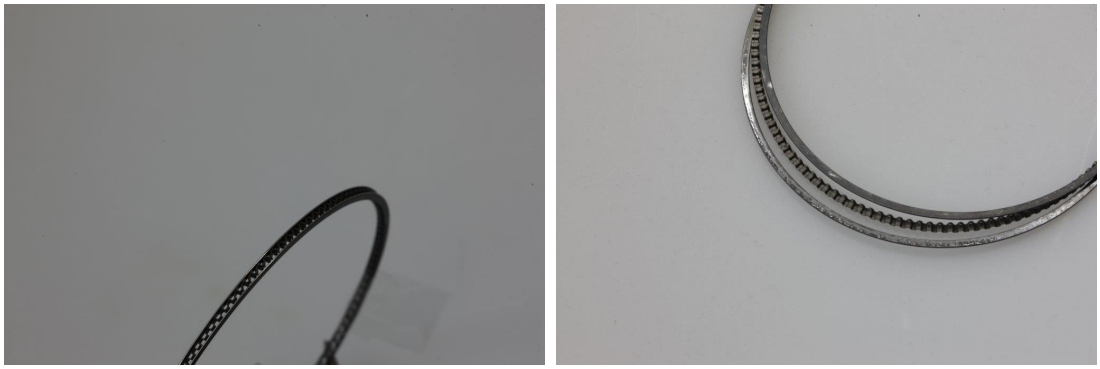
Obwohl sich Nikasil® gut bewährt hatte, schwenkte man irgendwann aus Konstruktions- und Kostengründen auf Lokasil® um. Dabei handelt es sich um keine Beschichtung. Beim Lokasil®-Verfahren wird eine Art poröse Buchse aus Silizium (Preform genannt) vor dem Gießen des Gehäuses da platziert wo nachher die Zylinder sein sollen. Das Aluminium wird mit Hochdruck im Gussverfahren dann in diesen Korpus, den man mit einem Schwamm vergleichen könnte, 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 hat man es aber bis heute nicht geschafft eine haltbare Verbindung zwischen dem Siliziumgerüst und dem Aluminium zu erzeugen. Sehr oft lösen sich während des Betriebs des Motors kleinste Siliziumpartikel, die dann zu Beschädigungen der Lauffläche und des Kolbens führen.
Mit Silizium als verschleißfestem Bestandteil in der Gesamtlegierungen wird die mechanische Endbearbeitung deutlich kostspieliger, da man dafür sehr teure Diamantwerkzeuge (PKD) benötigt. Genau mit diesen Problemen hatten wir es 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 schlecht 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 beim Turbomotor der letzten Baureihen - ohne verschleißresistente Bestandteile ist es nicht möglich, eine haltbare Lauffläche zu kreieren. Damit die Lauffläche aber wirklich nicht verschleißt, darf kein Aluminium an der Kontaktfläche zum Kolben sein, denn dieses würde sehr schnell mit dem Kolben verschmelzen.
Um dies zu verhindern, muss man die vielen einzelnen Siliziumpartikel an der Oberfläche freistellen. Dies erfolgt z.B. dadurch, dass man oberflächiges Aluminium im Rahmen eines speziellen Honprozesses oder im Rahmen eines 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. Das Aluminium hat nur die Aufgabe, das Siliziumgerüst zu verstärken und natürlich die Wärme abzuleiten. Leider brechen aber während des Betriebes des Motors hin und wieder aus den freiliegenden Bereichen des Silizium-Preform Körpers (Lokasil®-Zylinder) kleine Silizium-Mikropartikel heraus. Diese Partikel bewirken dann kleinere Kolbenschäden (Riefen an den Kolbenhemden) und verkratzen dabei immer die Laufflächen der Zylinder. Bei unserer NiSiC-Oberfläche ist das nahezu ausgeschlossen.

## Kolbenringe und Kolbenbeschichtung

Inzwischen lassen wir uns sehr hochwertige Kolbenringe für unsere überholten Motoren herstellen. Diese werden speziell für uns durch die weltweit bekannte Firma Federal Mogul (Goetze) hergestellt, sind von der Konstruktion sehr genau an diese Anforderungen abgestimmt und den OEM Ringen sehr ähnlich. Diese Art Kolbenringsätze sind auch in den Originalmotoren mit Lokasilzylindern verbaubar. Unsere Ölabstreifringe sind, wie die original verwendeten Ringe auch, dreiteilig aufgebaut. Ringsätze für das Aftermarktgeschäft enthalten wesentlich einfacher aufgebaute Ringe einer günstigen Ausführung, teilweise sogar ohne Beschichtung. Unsere verbauten Ringe heben sich deutlich von den im Zubehör angebotenen „günstigen“ Aftermarkt-Normform-Ringen, die auch von Federal Mogul angeboten werden, 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 Abstand von diesen Ringen. Fragen Sie Ihre Werkstatt, welche Ringe verbaut werden sollen. Cartronic ist sich sicher, dass es weltweit keine besseren Kolbenringe für Porschemotoren gibt, als die, die wir oder das Werk verbauen



**Standard Aftermarket Normform-Ölabstreifringe**



**Hochwertige und effektive 3-teilige Ölabstreifringe**

Seit Mitte 2013 ist Cartronic in der Lage, eine spezielle, professionelle Kolbenbeschichtung durchzuführen. Vorher haben wir verschiedene Beschichtungsmethoden im Versuch getestet. Die meisten waren nicht geeignet. Bei unserer High-Tech Beschichtung wird eine dämpfende und gleitfähige Schicht auf das seitliche Kolbenhemd aufgebracht. Diese beschränkt die Reibung zwischen Kolben und Zylinder auf ein Minimum. Die Schichtdicken sind sehr präzise einstellbar. Wir bieten diesen Service mit großem Erfolg auch als Dienstleistung für andere Firmen an.

# Die Ursachenforschung und deren Ergebnisse

## Reibungspunkte

Kolbenfresser sind fast immer eine Folge von zu hohen Reibwerten zwischen den Kolben und den Zylinderlaufflächen. Zu hohe Temperaturen und zu hoher Druck auf bestimmte Bereiche der Lauffläche spielen dabei eine große Rolle. Sich lösende Siliziumpartikel stellen dann die erste mechanische Beschädigung dar und sind der Beginn eines Kolbenfressers.
Die Bestimmung eines einigermaßen genauen Reibungskoeffizienten zwischen zwei Materialien ist nur experimentell möglich.
Reibwerte verhalten sich sehr sensibel gegenüber der Kontamination der Ansaugluft mit atmosphärischem Staub und auch 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 sind sicher, dass die Ursachen für die Probleme bei den M.96 und M.97 Motoren im Verbrennungsdruck, in den Temperaturen und im Bereich der Schmierung zu suchen und zu finden sind.
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 unkritischen Bank 1 und der kritischen Bank 2.

Im Normalfall sind in einem Motor alle Zylinder vergleichbar belastet. Ausnahmen bieten Motoren, 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 nicht gleich sind. Probleme an nur einer Zylinderbank wie es bei den beschriebenen Motoren der Fall ist, implizieren, dass eine Zylinderreihe sehr nah an den Grenzen der maximal verträglichen Temperatur oder verträglichem Verbrennungsdruck betrieben wird oder diese schon übertreten hat.
Letztendlich ist es der Ölfilm, der den Kolben vor dem Fressen schützt. Dieser ist anscheinend nicht mehr in der Lage, diese Drücke und Temperaturen auf der Seite des Kolbens, mit der er an der Zylinderwandung nach dem OT anliegt, abzufangen. Das Öl erhitzt sich, die Viskosität fällt und in der Folge reißt dann der Schmierfilm ab.

Die Ölschmierung in den Wasserboxern reicht aus, um die 3 Kolben in der Bank 1 problemlos laufen zu lassen. Auf der anderen Seite (Bank 2) ist dies unter den angenommenen gleichen Bedingungen nicht so.
Die Annahme, dass die Verhältnisse der Bank 1 im Vergleich zu denen der Bank 2 identisch sind ist allerdings ein Trugschluss. Die Bedingungen sind nicht vergleichbar, sondern 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 separiert, vorhanden ist. Die weicheren Kolbenflächen der Kolbenhemden berühren die Zylinderlaufbahnen, werden beschädigt und generieren dann sichtbare Riefen in der Zylinderbohrung. Wir haben festgestellt, dass dies nicht die einzige Ursache für die Probleme ist. Die verminderte Spritzölkühlung auf der Bank 2 würde vermutlich nicht alleine zu diesen Folgen führen. Hinzu kommt nämlich noch, dass es zwischen Bank 1 und Bank 2 deutliche Temperaturunterschiede gibt, die etwas mit der symmetrischen Kühlwasserverteilung zu tun haben, 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 früher 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 Ltr. Motoren beim Boxster noch nicht absehen konnte.

**Bild 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.

**Bild 2: Dieser seitlich verschlissene und gefressene Kolben weist oben Bereiche auf, die den Kopf berührt haben.**

Die auch für den Hersteller selbst damals völlig neue Motorgeneration macht aber genau diese Probleme, ohne dass auf den ersten Blick ein offensichtlicher Grund dafür vorliegt. Einzig der Unterschied, dass der Motor ein wenig älter geworden ist und z.B. 50.000 Km Laufleistung hat, scheint auszureichen, um in einigen Fällen den Motor außerhalb seiner sicheren Betriebsgrenzen zu schieben.

## Mehr als nur eine Ursache.

Es gibt mehrere kleinere, einzeln betrachtet unkritische, Ursachen, die sich aber in Kombination zu einem gefährlichen Cocktail entwickeln können. Es kommt dann zu Problemen, die man bei den Motoren der ersten Generation mit 2,5 oder 2,7 Ltr. Hubraum nie beobachten konnte.
Es sieht so aus, 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. Die Porsche AG ist nicht der erste Hersteller, der erfahren musste, dass dies nicht so ist.
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 über 30 Jahren mit den Fahrzeugen aus dem Hause Porsche und ist somit mit den hervorragenden technischen Errungenschaften der Marke Porsche groß geworden. So war es sozusagen eine Verpflichtung für uns, sich mit diesen neuartigen und ungewöhnlichen Problemen zu beschäftigen. Unserer Meinung nach gibt es keine besseren Sportwagen als die Fahrzeuge von Porsche. Deshalb sind wir der Ansicht, dass es sich gelohnt hat diesen Entwicklungsaufwand zu betreiben.

## Was unterscheidet die jüngeren Motoren von denen der ersten Serie?

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 Motoren durch einen Vergleich der technischen Daten zu lokalisieren. Die gefunden Unterschiede zwischen den drei betroffenen Problemmotoren 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. So schlimm ist es aber nicht, da diese Ausfälle statistisch gesehen bei den meisten Motorvarianten doch sehr selten vorkommen.
Es scheint nur so zu sein, dass ein Großteil der Motoren ausfallen, weil wir täglich damit konfrontiert werden und ständig Motoren zur Reparatur erhalten. Dazu kommt, dass die Probleme immer dieselben sind. In ihrer Gesamtheit, also weltweit gesehen, gibt es allerdings nur relativ wenige Ausfälle. Es ist also alles gar nicht so schlimm wie es aussieht. Allerdings trifft das unserer Ansicht nach nicht auf die leistungsgesteigerten X51-Motoren zu.
Natürlich ist es 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 kleine weitere Leistungssteigerung dann über kurz oder lang zum Ausfall der schwächsten Komponenten führt.
Im Jahr 1997 wurden die ersten 2,5 Ltr. Motoren in die Boxster Modelle eingebaut. Danach kam der 2,7 Ltr. Motor auf den Markt. Beide Motoren verhielten sich, abgesehen von einigen kleineren Undichtigkeiten, problemlos. Erst mit den folgenden, hubraumstärkeren Motoren kam es dann zu den ersten kapitalen Motorschäden. Da der Hubraum der einzige wesentliche Unterschied ist, sind wir der Ansicht, dass dort auch die Ursache für die Schäden zu finden ist. Mehr Motorleistung, mehr Drehmoment, mehr Reibung, höhere Temperaturen und teilweise schwächer gewordene Bauteile, haben dazu geführt, dass die maximale Belastungsgrenze dieser Motorkonstruktion überschritten wurde.

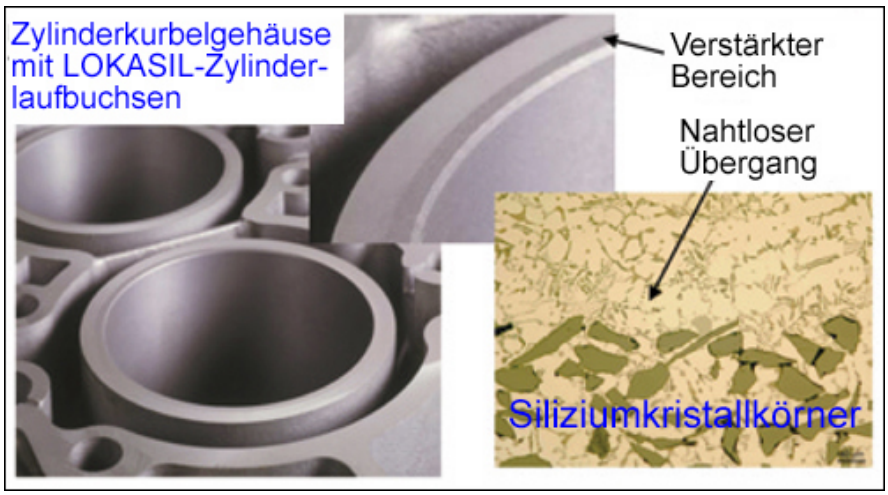
## Problemlösung ab Werk?

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 verursacht werden. In den letzten Jahren wurde auf jeden Fall wenig in die Tat umgesetzt, die Schwächen der Motoren zu korrigieren. Den betroffenen Kunden wurden keine kostengünstigen Reparaturlösungen angeboten. Die Preise für die AT-Motoren stiegen ständig und man hört so gut wie nichts von attraktiven Kulanzlösungen.
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, sind wir in der Lage preislich akzeptable und technisch nachhaltige Reparaturlösungen zu offerieren.

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

Etwas völlig neues war damals der konstruktive Aufbau der Zylinder in den neuen Wasserboxermotoren (nicht GT3, GT2 und Turbo). Die Zylinder verfügten weder über elektrolytische Plattierungen (Nikasil®) noch über ein verschleißresistentes, in die Legierung eingegossenes

keramisches Material (Silizium). Erstmalig 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 Aluminumbereich 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 Basislegierung des Zylinderkurbelgehäuses beim Gießen unter hohem Druck.
Nach dem Guss wird der dann noch rohe Zylinder gebohrt und die Lauffläche auf Endmaß geschliffen und zum Schluss auf die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit durch Honen endbearbeitet. Es ist eine neue Technologie und damit stand man einigen neuen technischen Herausforderungen gegenüber, die es zu meistern galt. Die Liner sind vom Grundaufbau und als Rohteil nicht so stark im Vergleich zu älteren Linern aus homogenen Material wie Alusil® oder Gusseisen. Es kam auch gleich zu Problemen, da sich der Silizium-Liner gerne während des Gießvorgangs verschob. Die Zylinderwandstärken 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 Rissen im Material führte. Die Gesamtstärke der Zylinder scheint also den Verbrennungsdrücken, die über die Kolben in die Wandungen eingeleitet werden nicht gewachsen zu sein.
Ein weiteres Problem besteht darin, die richtige Bearbeitungsmethode für die Bohrung zu finden. Es muss sichergestellt sein, dass die Spitzen des Silizumgerüstes des Liners nicht durch den Diamant-Honkopf aus der Aluminiummatrix herausgebrochen oder gelöst werden um dann später

herauszubrechen. Im Idealfall ragt ein nach innen intakter „Silizium-Ast“ des Preform-Gerüstes, den 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.

**Bild 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 bereits während der Endbearbeitung beim Honen diese Partikel lösen um dann später herauszufallen, weil sie nicht mehr genügend Halt in der Matrix haben. Diese Fremdkörper führen dann schnell zu schmalen Riefen 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.

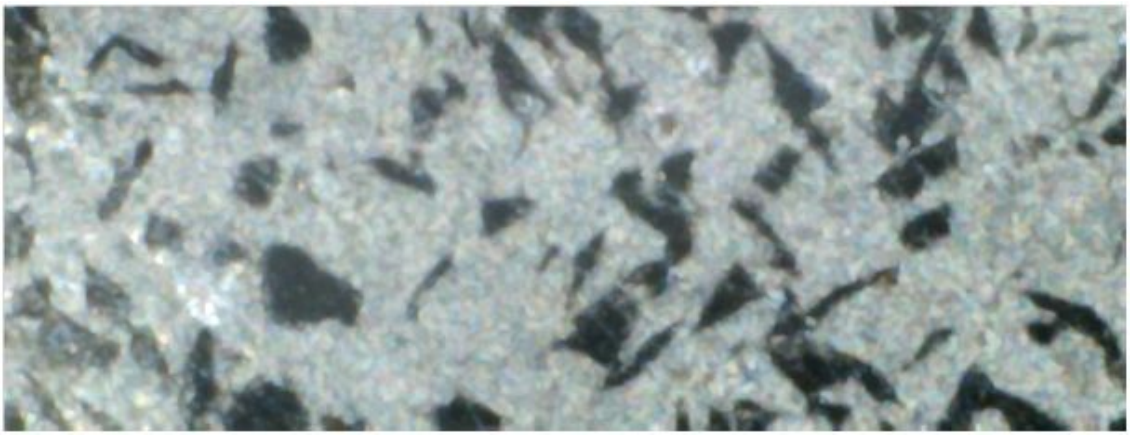


**Bild 4: Oberfläche einer NISIC Lauffläche (stark vergrößert)**

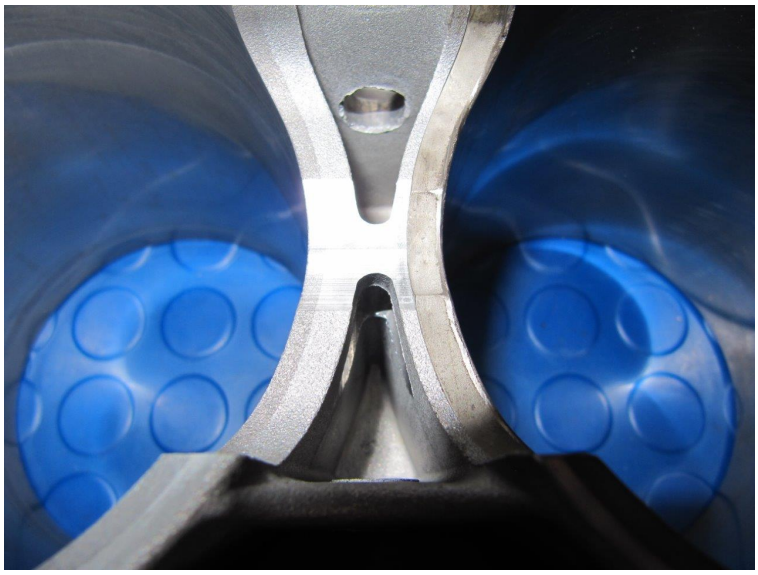


**Bild 5: Rechts, ein neu eingeschrumpfter Schmiede-Zylinder. Links, ein Original Zylinder. Gut erkennt man den dunkleren Bereich der Lokasil©-Lauffläche der rund 1/3 der Materialstärke ausmacht. Aus diesem Bereich stammen die sich lösenden Silizium Partikeln.**

Die Erzeugung einer perfekten und haltbaren Zylinderoberfläche ist ein sehr anspruchsvoller Prozess und verlangt ein hohes Maß an experimentieren und testen - was beinhaltet, die Autos zu fahren und dann die Motoren wieder zu zerlegen, um sie zu kontrollieren und die Gegebenheiten zu analysieren um dann ggfls. aus den aufgetretenen Problemen zu lernen.

So sind beträchtliche Investitionen in die maschinelle Ausrüstung erforderlich, um die richtige Bohrungsoberfläche zu erzeugen und auch qualitativ zu reproduzieren. Wir haben verstanden, wie man es richtig macht und sind in der Lage, Zylinder mit perfekten Laufflächen zu produzieren.
Auf den Kolbenhemden ist normalerweise eine gleitfähige Beschichtung aufgetragen, die Teflon, Molybdän, oder auch Eisenbestandteile enthalten kann. Diese Beschichtungen sind seit langer Zeit Stand der Technik und haben sich bereits in allen 986 und 996 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 schieden also aus und wir mussten weiter suchen.

**Bild 6: Teilweise beschädigte und partiell abgelöste Kolbenhemdbeschichtung**

Bis heute gehen 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 Ansicht scheint sogar langsam zu einem Dogma zu werden. Weil man sich nicht vorstellen kann, welche weiteren Ursachen für die Motorschäden in Frage kommen könnten, plappert man einfach das nach, was sich einige selbsternannten Spezialisten ausgedacht haben. Die Meinung verfestigt sich auf diesem Wege dann langsam immer mehr. Wir halten es für bedenklich, interessierte Porschebesitzer im Rahmen von mehrseitigen bebilderten Magazinberichten, einseitig und dabei auch noch falsch über das Thema „Motorschäden bei den wassergekühlten Porschemotoren“ zu informieren.
Es ist unglaublich, dass fast 19 Jahre nachdem die Probleme erstmalig auftraten, für einige in der Branche tätige Unternehmen und Personen immer noch nicht klar ist, womit man es überhaupt zu tun hat. Ähnliches Verhalten kennt man aus der Schulmedizin. Symptombehandlung geht dort über alles und die Ursachen scheinen von keinem besonderen Interesse zu sein. Sicher denken Viele, dass man mit Motoren, die nach Reparatur nie mehr zu Schaden kommen können, langfristig 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®. Aufwändiger 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 Ltr. Und 2,7 Ltr. Motoren eingebaut.
Die 2,5 und 2,7 Ltr. Motoren haben dieselben Bohrungsmaße von 85,5 mm. Der 2,7er verfügt daher 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 Ltr. Boxster S hat Kolben mit größerem Durchmesser und eine Bohrung von 93mm. Da die Bohrung im Vergleich zu den 2,5 und 2,7 Ltr. 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 Ltr. 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 also rund 18-20% 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 also 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 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 Mantel-Wandstärke als die eines 2,5Ltr. Motors haben. Und sogar rund 20% dünner sind als die 6 mm starken Mäntel der 3,2er Motoren.
Berücksichtig man die gestiegene Motorleistung fehlen diesen Motoren in diesem Bereich rund 30% an Festigkeit (Materialstärke).
Die 3,2er und 3,4er Motoren haben den gleichen äußeren Zylinderdurchmesser. Man verzichtete also auf die Konstruktion und den Bau neuer Gießformen zu Lasten der Haltbarkeit.
Es dauerte auch nicht lange, bis sich herausstellte, dass die Zylinderwandungen bei diesen Motoren tatsächlich viel zu dünn waren. Die ersten Motorschäden (Kolbenfresser und gerissene Zylinder) waren die Quittung und der Beweis für diese falschen Berechnungen bzw. Einsparmaßnahme.
Auch bei den 3,6er Motoren bis hin zum leistungsgesteigerten 3,8 Ltr. Motor (X51-Motor) zeigten sich die gleichen Probleme.
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 Genration 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.

**Bild 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 genommenen 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, sehr kleine Änderungen, die aber bei einer Kombination die Wahrscheinlichkeit des Scheiterns 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 sprödbrüchiger Materialien in den Zylindern (im Lokasilbereich). 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, kommt es zu Materialverschiebungen. Das Elastizitäts-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 oder es zeigen sich sogar 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 der inneren MMC-Büchse (Lokasil®) ergeben. MMC dehnt sich im Gegensatz zu Aluminium-Vollmaterial nicht so stark aus, so dass es zu Bindungsproblemen zwischen Siliziumpartikeln des Lokasil-Liners und dem umhüllenden Aluminium kommen kann.
Wir wissen, dass es nicht einfach ist, die Grenzflächen-Belastung zwischen dem eingegossenen Liner und dem umhüllenden Aluminium zu berechnen.
Fakt ist auf jeden Fall, dass je höher der Temperaturunterschied zwischen dem äußeren Aluminiumzylinders und dem inneren Lokasil®-Liner ist, es desto eher zu Problemen an den Grenzflächen der beiden Materialien kommen kann.
Auf Grund von Produktionsproblemen gab es bei den ersten 2,5 Ltr. Boxstermotoren einige Motorengehäuse, denen die eingegossenen Lokasilformkörper nach dem Guss wieder mechanisch herausgearbeitet wurden. Danach schrumpfte man dann neue Zylinderbüchsen ein. Einige dieser Motoren hatten nachher Probleme mit sich nach unten, 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. 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.
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 also 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, die in der Schmelze 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 ungefähr das gleiche Grunddesign haben, kann man also annehmen, 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. Die 3,4er 996 Motoren werden sicher häufiger einen Motorschaden erleiden. Nahezu allen 3,8er Motoren prophezeien wir einen frühen Ausfall innerhalb der ersten 100.000 km Laufleistung. Einem

leistungsgesteigerten X51-Motor geben wir eine Lebensdauer von maximal 80.000 Km. Einige dieser Motoren wiesen bereits bei einer Laufleistung von 40.000 Km Kolbenfresser und gerissene Zylinder auf.

## Zu hohe Kräfte

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. Die bedeutet dann, dass vorsichtige Fahrer, die früh schalten, dem Motor mehr schaden als Fahrer, die die Gänge ausdrehen. Und dies bedeutet auch, dass Motoren von Tiptronic Fahrzeugen immer mehr belastet wurden als Motoren in Fahrzeugen mit manuellen 5- oder 6-Gang Getrieben. Tiptronic-Fahrzeuge laufen die meiste Zeit eher untertourig.
Und genau aus diesem Grund finden wir eine größere Anzahl „vorsichtiger“ Fahrer, die diese Motorschäden bei ihren Fahrzeugen erleben. Es ist eine Tatsache, dass die Schmierungsabrisse zwischen dem Kolbenhemd und der Laufbahn, die in der Folge zu „Kolbenfressern“ und „Riefenbildung“ führen, oft bei sehr niedrigen Drehzahlen auftreten. Genau da, wo die moderneren Motoren bereits viel Drehmoment produzieren. Nachträglich mit Turboladern oder Kompressoren versehene Wasserboxer dieser Serie werden wahrscheinlich die ersten 20.000 Km nicht überleben.
Ähnlich ist es bei leistungsgesteigerten 3,8 Ltr. Motoren, die man aus niedrigen Drehzahlen heraus mit Vollgas beschleunigt. Die Kräfte, die auf die Zylinderwandung über den Kolben einwirken, sind sehr hoch. Unverträglich hoch - wie man feststellen musste.
Wie muss man sich das vorstellen? Einige Leser wissen sicherlich, dass es beim Anschieben eines Porsche 911, wenn man zu viel Initiale Kraft aufwendet um den Porsche in Bewegung zu setzten, dazu kommen kann, dass man sich dabei das Blech vom Motordeckeln einbeult. Und genauso ist es bei einem kräftigem 3,8 Ltr. Motor, den man aus niedrigen Drehzahlen heraus mit Vollgas beschleunigt. Die Kräfte, die auf die Zylinderwandung über den Kolben einwirken, sind dabei sehr hoch und werden nicht ausreichend in Vortrieb umgewandelt. So hoch, dass der Schmierfilm zwischen Kolben und Zylinder nicht in der Lage ist diese Kräfte aufzufangen. Die Folge ist ein Kolbenfresser.
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 nicht ausreichend gekühlten Zylinderwandungen, speziell im Bereich der Bank 2, der primäre Auslöser der Probleme ist. Und wie man auf Bank 1 sieht, sind die Motoren grundsätzlich in der Lage, diesem hohen Druck bei günstigeren Randbedingungen zu widerstehen. Bank 1 läuft vermutlich an der Grenze des Verträglichen und Bank 2 hat demnach diese Grenze überschritten.

## Man machte Fehler und viele machen die heute noch

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 sogenannten Stahl-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 unterschiedliche Ausdehnung zwischen der Stahlbüchse und dem alulegierten Motorblock, in dem man die Stahlbüchse einschrumpfen muss, wird mit Sicherheit zu erheblichen zukünftigen Problemen mit kapitalen Motorschäden führen. Mehr zu diesem Thema erfahren Sie in einem der nächsten Unterkapitel.
Auch ein neuerliches Bohren und Schleifen der verrieften, durch den hohen Verbrennungsdruck unrund gewordenen und oft mit Rissen versehenen Zylinder ist ein Verfahren, welches die Probleme nur sehr kurzfristig löst und den Motor zudem noch schwächer macht als er ohnehin schon ist, da man den 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 Zylinderwandungen übertragen.
Man sollte erhöhte Vorsicht walten lassen, wenn man ihnen diese Reparaturverfahren als das Non-Plus-Ultra verkaufen will. Möchte man sein Fahrzeug nach der Reparatur allerdings sowieso verkaufen, dann mag diese Methode auf Grund der recht günstigen Reparaturkosten eine Alternative sein.
Langfristig stellt eine solche Reparatur genauso wenig eine Alternative dar wie ein AT-Motor ab Werk.
Um mitreden zu können, sollten Porschebesitzer alle Einflussfaktoren sorgfältig abwägen und verstehen, dass nur durch die wissenschaftliche Analyse der Situation und in der Folge durch eine Reihe von angewandten verschiedenen technischen Änderungen ein Motor entstehen kann, der auf lange Sicht funktionieren wird.

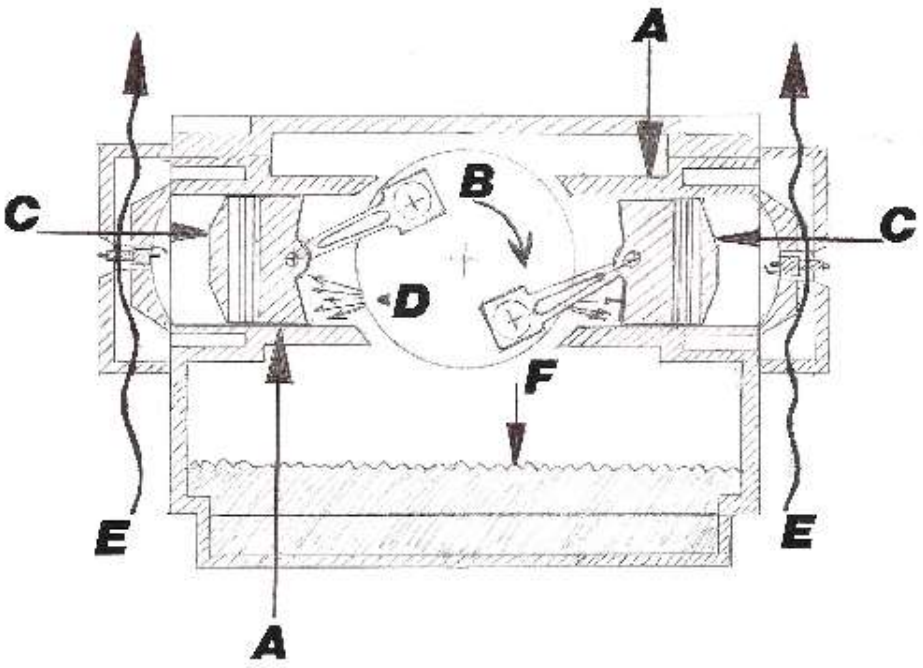
## Analyse technischer Probleme und Schwächen - Die Kolbenschmierung

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 dann auch ab. Das Öl ist nicht mehr in der Lage eine Reibungsbarriere zwischen den beiden Metallteilen (Kolben 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 gespritzt. Dadurch schmiert man diesen Bereich und da auch Öl unter die Kolben gerät, werden diese gekühlt. Andere Motorenkonstrukteure verlassen sich auf Verwirbelungsschmierung, die sich aus der Drehung der Kurbelwelle (und/oder Zwischenwelle) und dem Pleuel ergibt. Die Wasserboxer Motoren, von denen wir hier sprechen, weisen konstruktiv mehrere Bereiche auf, in denen das Design verhindert, dass die rotierenden Teile des Motors Öl überall dahin spritzen wo es gebraucht wird. Dies ist durch das recht niedrige Ölstands Niveau unterhalb der Kurbelwelle und auch Verkleiden von gewissen Bereichen im Inneren des Motorgehäuses bedingt. Die Zylinder werden also mehr oder weniger nur von dem Ölsprühnebel geschmiert, wenn der Motor läuft. Ein wenig hilft auch noch die turbulente Strömung innerhalb des Motors, gewisse Mengen Öl unkontrolliert zu verteilen.
Genügend Öl an den richtigen Stellen ist wichtig und hilft nicht nur bei der Schmierung, sondern auch bei der Innenkühlung des Motors. Versucht man ein heißes Stück Metall mit Wasser aus einem

Schlauch abzukühlen, wird es schneller abkühlen, wenn der Wasserstrahl schnell und solide ist, als wenn nur ein paar Tropfen aus dem Schlauch kommen.
Aus Gründen der Schadstoffreduzierung im Abgas verringert man gerne die Spritzölmenge. Daraus ergeben sich aber heißere Zylinderwandungen und Kolben, als in Motoren älteren Designs. Eine gut abgestimmte Verringerung der Spritzöl-Menge auf die Zylinderwandungen hat den Vorteil, dass der Laufwiderstand des Kolbens leicht reduziert wird, da ein Zuviel an Spritz- und Schleuderöl den Innenwiderstand des Motors erhöht. Man erzielt dadurch eine winzige Verbesserung der Leistung und natürlich auch einen geringeren Kraftstoffverbrauch, aber nur dann, wenn die Schmierung und Kühlung der kritischen Motorkomponenten weiterhin zuverlässig bleibt. Bei den Wasserboxer-Motoren ist es leider nicht so.
Die meisten Besitzer, wenn vor die Wahl gestellt, würden sich sicher für einen 100% zuverlässigen Motor entscheiden, und lieber ein paar Cent mehr für Kraftstoff ausgeben, statt zu Lasten der Haltbarkeit und wegen besserer Abgaswerte einen frühen Motorschaden zu riskieren. Die ersten Boxstermotoren haben sicher nur aufgrund ihrer geringen Leistung die nicht gerade optimale Ölschmierung bis heute ganz gut überlebt. Wobei wir aber sehr sicher sind, dass sich diese Motoren schon damals sehr nahe an der Zuverlässigkeitsgrenzen befunden haben müssen.

## Informationen und Wissenswertes zum grundsätzlichen Motoraufbau

Entschuldigen Sie die vereinfachte Darstellung eines Schnittes durch einen Motor. Diese ist aber ausreichend, um die wichtigsten Sachverhalte zu erklären. In dem mit „A“ markierten Zylinderbereich, herrscht der höchste Druck auf die Laufbahn des Zylinders. Sie können erkennen, dass, um die Kurbelwelle „B“ im Uhrzeigersinn rotieren zu lassen, der Druck der Verbrennung den Kolben „C“ nach unten, genau auf diese Bereiche, drückt. Die Stellen, die mit den höchsten Drücken im Motor beaufschlagt werden, liegen im Bereich der Bank 2 an der Oberseite des Zylinder. Bei der Bank 1 sind es die unteren Bereiche der Zylinderlaufflächen.




**Bank 1** **Bank 2**

**Darstellung 2: Querschnitt Motor. (A) zeigt auf die druckbelasteten Seiten der Zylinder, (F) zeigt die Höhe des Öl-Levels, (D) die Position der Ölspritzdüse für Bank 1, (E) verdeutlicht den Kühlwasserverlauf (von unten nach oben)**

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 schlimmsten Fresspuren.
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 gute Ölnebelverteilung auf dieser Seite verhindern. Da die Schwerkraft den Öl-Sprühnebel gesetzmäßig nach unten zieht und sich die Spritzdüsen, horizontal gesehenen, 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 auch unten liegt. Man könnte es sogar als ein perfektes Designmerkmal bezeichnen.
Die Bank 2 leidet aber unter diesem konstruktiven Merkmal, da man dort den oberen Bereich des Zylinders besser schmieren und kühlen müsste. Dies hat man allerdings unterlassen.
Die älteren, luftgekühlten 911er haben auch 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 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 Motoreninstandsetzer wird Ihnen bestätigen, dass 0,15 mm Bohrungsverschleiß ein echtes Problem sind 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 dabei auch gewisse Anteile des wichtigen Ölnebels auf der Zylinderwandung wieder wegbläst. 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 Temperaturen „kriechendem“ Material handelt. Es wird also kein Material abgetragen, welches dann das Öl kontaminieren könnte. Manche Spezialisten behaupten das jedoch, ohne zu wissen, dass die silbrig glänzenden Partikel im Öl Bestandteile der beschädigten, „aufgeriebenen“ Kolben sind.

**Bild 8: Zeigt das verschlissene, konische gewordene Kolbenhemd eines Kolbens von Zyl. 4. Im silbernen 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 mit rund 150 mm³ Aluminiumabrieb.**

Wir sind auch in der Lage, nicht gerissene und gefressene Zylinder nachträglich wieder zurück in eine runde 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 nennen 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.
Im Rahmen eines speziellen Temperverfahrens und mit eigens dafür angefertigten Spezialwerkzeugen „behandeln“ wir die ovalen Zylinder so, dass diese nachher wieder in einer perfekten runden Form sind und durch den oben aufgebrachten Verstärkungsring auch so bleiben. Dieses Verfahren verwenden wir oft, wenn bei einem Motor nur ein Zylinder gefressen hat und alle anderen noch in einem mehr oder weniger perfekten aber bereits ovalen Zustand sind.

## Der typische Kolbenfresser

Ein typisches „Festfressen“ 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 Kolben lahm legt. Die druckzugewandte Seite der Kolben ist immer sehr stark beschädigt, hingegen weisen die druckabgewandten Seiten meist keine Beschädigungen auf.
Es muss also eine große Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten des Kolbens 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.

**Bild 9: Auf dem Kolbenboden sieht man deutlich erkennbare Einschlagspuren. Dieser Kolben ist auf Grund seiner Konizität am Zylinderkopf angeschlagen. Dies macht sich durch „metallisch“ klingende, Klopfgeräusche bemerkbar. Aber nur, wenn der Motor auf Betriebstemperatur ist.**

Interessant ist Folgendes:
Der oben beschriebene Kolbenschaden erhöht den Abstand zwischen dem Kolben und der Bohrung, weil recht viel Material am Kolbenhemd und auch ein wenig im Zylinder abgetragen wird. Ist dieser Schaden einmal eingetreten, dass Material also abgetragen wurde, wird sich genau dieses Problem an diesem Zylinder wahrscheinlich nie wiederholen. Gründe dafür sind, dass der oder die Kolben in diesem Zylinder ab dem „Vorfall“ nur noch eine geringere Verdichtung aufbauen können (Blow-By). Ab dann wird niemals mehr eine so hohe Kraft in diesen vorgeschädigtem Zylinder eingeleitet. Und genau deshalb wird es aller Wahrscheinlichkeit nach nicht noch einmal zu Verschleißerscheinungen mit diesen Ausmaßen kommen.
Oft finden wir bei allen drei Zylindern der Bank 2 Fresspuren 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 verfärbten 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 Kolbenmaterial vermischt mit der ehemaligen, abgeriebenen (auch silbrigen) Gleitbeschichtung der Kolbenhemden und können einen Rauminhalt von einem Würfel 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 können (also nicht abrasiv auf die Zylinderwandung wirken können) und auch, dass der Teil des Kolbens, an dem sie angebracht sind, kleiner bearbeitet ist, als die Lauffläche am beschichteten Kolbenhemd weiter unten. Weder der Kolben im Ringbereich noch die Ringe können gegen den Bereich der gefressenen Bereiche der Bohrung gedrückt werden. 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 immer einseitig auf den Zylinder wirkt, absolut zu vernachlässigen. Kein Kolbenring kann solche Schäden verursachen. Und kein Kolbenring kann einen Kolben daran hindern sich an die Zylinderwandung anzulegen.
Also halten wir fest, dass weder die Kolbenringe noch die Legierung des inneren Zylinders die Ursache für die Motorschäden sind.

**Bild 10: Zeigt die unbelastete Flanke (Kolbenhemd) von Kolben 4. Die seitliche Gleitschicht ist nahezu unbeschädigt. Aber der Bereich oberhalb des 1. Kolbenrings (glänzend) zeigt Abnutzungsspuren. Dort hat der Kolben die Lauffläche berührt (was nicht vorgesehen ist).**

## Eine weitere mögliche Ursache - Die Wasserkühlung

Kühlung, bzw. eine Wärmeübertragung erfolgt, wenn die Temperatur zwei sich berührender Medien unterschiedlich ist. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen ihnen ist, desto größer ist die Wärmeentfernung aus dem wärmeren Teil und desto höher ist die Kühlung. 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 der Zylinderköpfe eintreten würde und nach oben zur kühleren Einlassseite strömt, wodurch gegensätzliche Strömungsverhältnisse gewährleistet werden.
Bei einem Wasserboxer-Motor ist dies allerdings etwas 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, welcher das kalte Kühlmittel zuerst erhält.
Auf Bank 2 sieht die Welt schon ganz anders aus. Denn dort befindet sich die Druckseite auf der Oberseite des Zylinders und ist am weitesten weg von dem kältesten Kühlmittel, weshalb die Druckseite auf Bank 2 immer heißer laufen muss und wird.
Wie viel heißer, hängt hauptsächlich von der Strömungsgeschwindigkeit ab, denn wenn die Fließgeschwindigkeit des Kühlmittels auf dem Weg nach oben in den horizontal oben liegenden Bereich des Zylinders langsam ist, wird es mehr Wärme aufnehmen und das Temperaturgefälle wird dadurch höher sein. Da es den Block mit der gleichen Temperatur betritt, ist das Temperaturgefälle folglich umso größer, je langsamer es sich durch den Zylinderblock bewegt und je heißer wird 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 tritt, bevor es andere Wärme aufnimmt. Die früheren Motoren anderer Modelle und Fahrzeuge (924/944/928/968) waren soweit standfest. 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, welche die Kühlmittelgeschwindigkeit der einzelnen Zylinder kontrollieren, verlangsamen es dabei.
Bei den luftgekühlten 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 daraus resultierenden Gebläse Leistung auch sofort stärker abgekühlt.
Im Gegensatz dazu wird ein flüssigkeitsgekühlter Motor mit einem Thermostat immer langsamer reagieren, wenn der Motor härter heran genommen wird. Diese Trägheit stellt eine Verzögerung des Kühleffekts dar.
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 Motoren wurde das Kühlmittel von der Wasserpumpe 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.

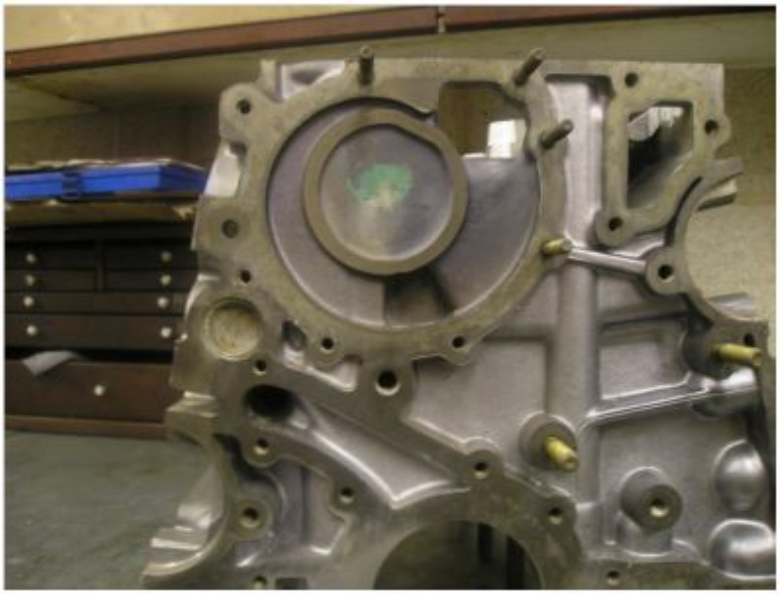


**Bild 11: Motorblock eines Porsche 944 mit Flansch für Wasserpumpe**

Trotz der vielen Verbindungslöcher aus dem Block hin zum Kopf in diesem gezeigten 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 am Kopf entstehen. Daher hatten in der Regel auch alle getunten Motoren Problemen 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.
Ansonsten limitiert sich das Tuning am Verhalten des heißesten Zylinders. Die Kühlmittelgeschwindigkeit durch den Zylinderblock war abhängig von der Drehgeschwindigkeit und Förderleistung der Pumpe und wurde durch das Thermostat gesteuert.
Thermostate wurden ursprünglich auf der Oberseite des Zylinderkopfes montiert und deshalb durch die höchste Temperatur kontrolliert - sie öffnen sich mehr, sobald der gesamte Motor heißer lief und erhöhen dadurch den Durchfluss durch den Radiator und verfügten auf Grund dieser idealen Position über eine sehr schnelle Reaktionszeiten auf den Anstieg der Motorbelastung (Beispiel Porsche 924).
Beim Porsche 944 und 968 versetzte man das Thermostat auf den Platz des Kühlmitteleinlasses des Motors. Also dorthin, wo das Kühlmittel durch den Kühler abgekühlt war, anstatt zum Auslass des Motors, ehe es in den Kühler gelangt.
Daher kontrolliert es die Temperatur des Kühlmittels, das in den Motor gelangt, nicht aus ihm heraus. Wenn also die Betriebstemperatur der Zylinder plötzlich steigt, bleibt die Fließgeschwindigkeit bei diesen Motoren zunächst die gleiche. Das Kühlmittel wurde zuerst in den Kühler geleitet und von dort aus in Richtung Thermostat, welches dann erst spät und langsamer öffnete.
Dies erwies sich so weit 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 Reaktion jedoch noch einmal langsamer und dadurch steigt die Innentemperatur für eine kurze Zeit deutlich an, bis das Thermostat dann irgendwann einmal weiter geöffnet hat, um genug Kühlmittel zur Kompensierung freizugeben.

**Bild 12: 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 mit recht kleinem Einfluss auf die Kühlung.

**Bild 13: Querschnitt Zylinderkopf. Zeigt die Wasserkanäle**

Meist ist der Raum in Zylinderköpfen sehr beengt, um das Kühlmittel in optimaler und unmittelbarer Nähe von dem Aluminium fließen zu lassen, das direkt durch die Verbrennung 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. Also benötigt die Kühlung der Zylinder mehr Aufmerksamkeit als die Zylinderköpfe.

Bei den 924, 944 und 968er Motoren und vielen anderen Motoren anderer Hersteller wird das komplette Kühlmittel zuerst in den Bereich rund um die Zylinder eingeleitet und von da aus dann erst in den Kopf, wobei viel Wärme aus den Zylindern genommen wurde (und folglich von der Zylinderwand, dem Öl zwischen den Kolben und der Zylinderwand und den Kolben selbst), was in relativ „kühlen Zylindern" resultiert. 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 wurden (weil dieser leichter zu kühlen ist).

Die Wasserkühlung der mit Problemen behafteten M96/97 Motoren ist da völlig anders aufgebaut. Positiv wirkt sich da 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 Motorelektronik damit sicherer, 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. Auch verschenkt man dadurch eine Menge Leistung, da manche Zylinder unterbelastet sind.

Nachfolgendes Bild zeigt eine typische Blockoberseite, die bereits bearbeitet wurde, um einen neuen 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 Seite des Lochs. Nur durch diese recht kleine Durchführungen kann das Kühlmittel in den Zylinderbereich gelangen, um die Zylinderwände und die Kolbenhemden zu kühlen.

**Bild 14: 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 in der Lage, durch eine geschickte 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 3.4 auch verschieden große Durchführungslöcher in den Zylinderkopfdichtungen. Wirklich durchdacht und eine sehr gute Methode!

**Bild 15: An die neue, ungünstig gestaltete Kopfdichtung angepasster und aufgefräster Kühlwasserkanal/Schlitz eines Versuchsmotors.**

Später wurde das Design der ehemals unterschiedlichen Kopfdichtungen so verändert, dass man nur noch eine Kopfdichtung benötigte um beide Seiten abzudichten. Das ersparte dem Hersteller wahrscheinlich einige wenige Euro pro Motor.

Der Durchmesser der Löcher wurde ehemals 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.
Das folgende Foto zeigt die beiden Seiten einer 3.4er Zylinderkopfdichtung (2.5, 2.7 und 3.2 Boxster waren ähnlich), so platziert, wie sie auf den Motor passen würden. Die Pfeile weisen auf die Zufuhrlöcher für das Kühlmittel zu jedem Zylinderbereich. Man erkennt bei genauem Hinsehen, das 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.

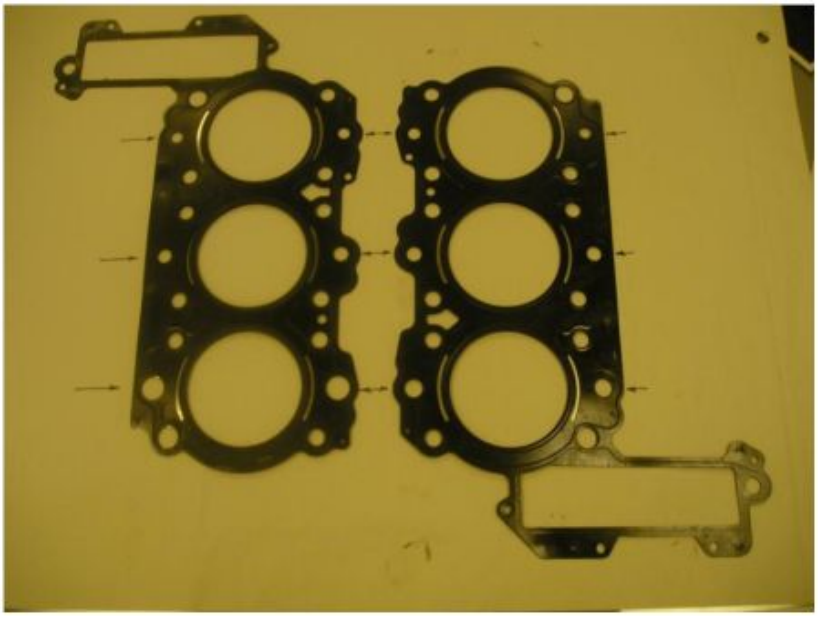


**Bild 16: Bild der "alten", besseren und noch asymmetrisch aufgebauten Kopfdichtung**

Ein unabhängiger Porschespezialist, für den wir Motoren reparieren, hat diese Erfahrung tatsächlich gemacht, als er irrtümlich die falsche Dichtung an der falschen Seite eines experimentellen Kompressor Motors (kann nicht funktionieren!) angebracht hatte. 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 Lauffläche. Die Bedeutung einer asymmetrischen Anordnung der Kanallöcher in den Zylinderkopfdichtungen wird damit eindringlich demonstriert und in ihrer Wichtigkeit bestätigt.
Das nächste untere Bild zeigt die oben gezeigte 3.4er Dichtung, immer noch 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 Zylinderbohrungsdurchmesser). Bei der rechten 3,8er Dichtung erkennt man, dass alle Kühlmitteldurchführungen eindeutig die gleiche Lochgröße haben. Der Hersteller war nun in der Lage, eine und 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.

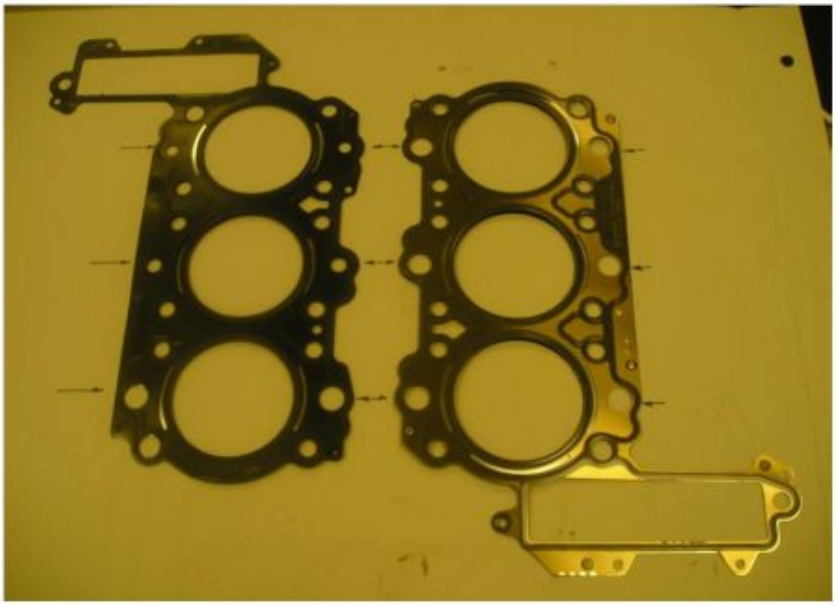


**Bild 17: Rechts liegt die „neue“ Dichtung mit gleichgroßen Löchern. Links die „alte“.**

Vorteile verbergen häufig auch etwas Nachteiliges. In diesem Falle ist es der Verzicht auf feine Steuerung des Kühlmittelstroms für jeden einzelnen Zylinder. Die alten und ursprünglichen Dichtungen in den älteren Motortypen verfügten noch über diesen konstruktiven Vorteil. Nun kommt es bei den Motoren 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.
Diese größeren Löcher leiten mehr Kühlmittel in die Köpfe ein und daher auch gleichzeitig weniger in die Zylinderbereiche. Die laufen dann bei deutlich höheren Temperaturen. Durch die Vereinheitlichung der Zufuhrlochgrößen handelte man sich das Problem ein, dass einzelne Bereiche einiger Zylinder nicht mehr ausreichend gekühlt wurden. Auch entstanden mehr besonders heiße Bereiche (Hot-Spots).
Die Idee, ein „kühleres“ Wasserthermostat einzusetzen war geboren. Heute gehört dieses Bauteil zu jedem Motor den wir revidieren. Soweit bekannt, gibt es neben uns und unserem Entwicklungspartner nicht eine weitere Fachfirma, die diese Verbesserungsmaßnahme (Stand Juli 2012) durchführt. Sicherlich hat bis dato das Verständnis dafür gefehlt.

Um wirklich zu wissen, was thermisch in einem Wasserboxer Motor geschieht, wenn man die Wasserkanäle verändert, muss man sehr viel Zeit und Geld investieren. Eine kleine Firma, wie wir es sind, hat dafür natürlich weder das notwendige „Kleingeld“ noch die Zeit. Wir mussten uns, mit dem Ziel etwas gegen die Motorschäden zu tun, gezwungenermaßen auf unsere Erfahrung und auf die von einem anerkannten Spezialisten der Strömungsmechanik und Thermodynamik verlassen. Dieser unterstützte uns bei den Berechnungen.

Wir gingen davon aus, dass man den Kühlmittelfluss in den Zylindern reduzierte um damit den in den Köpfen zu erhöhen. Zu vermuten ist, dass der Hersteller auch mit unterschiedlichen Kanaldurchmessern und Schlitzbreiten experimentiert hat. Aber wir wissen es nicht.

Um herauszufinden, was letztendlich dabei erreicht wurde, haben wir alle Kühlmitteldurchgänge vermessen und die Werte in die Berechnungen eingefügt. Damit konnten wir unterschiedliche Kühlmittelvolumenströme in verschiedenen Teilen des Motors besser 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 nach ihrer Lage.
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 in zwei 3,4 Ltr. 996er, jeweils am Auslasspunkt montiert, wo sich die beiden Kühlwasserströme treffen und von dort aus zurück in den Kühler fließen. Wir konnten damit dann den Temperaturabfall im Kühler messen. Während der Testfahrten, wurden die Messwerte bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten und Drehzahlen aufgezeichnet. Die beiden Motoren unterschieden sich dergestalt, 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 3.4er Standard-Motoren die Betriebstemperatur in allen Bereichen recht ausgeglichen haben. Das liegt aber daran, dass der Kühlmittelfluss in den Bereichen rund um die Zylinder und da, wo er am meisten Temperaturen aufnehmen könnten, 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.
Dies scheint auf den ersten Blick eine geniale Idee zu sein, wenn man alle inneren Teile des Motors bei der gleichen Temperatur laufen lässt. Als Resultat gab es auch keine nennenswerten Probleme mit Motortemperaturen in den Modellen bis einschließlich des 996 als 3.4er.
Wir denken, dass die 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 als ausreichend dar.
Aus diesem Grund haben wir versucht zu verstehen, was los war und die Unterschiede gesucht, die erklären können, warum diese neuen Probleme entstanden sind. Die eingeführte Veränderung an der Kopfdichtung, die seit dem Unterschiede zu den Lochdurchmessern des Zylinderkopfs aufwies, galt bei uns als der wahrscheinlichste Verursacher für die Probleme.
Statt, dass man das Kühlwasser mit hoher Fließrate von einem Zylinder zum nächsten schickt, es langsamer, aber dafür gleichmäßig aufgeteilt zu jeweils 1/6 zu jedem Zylinder/kopf schickt, ist man in der Lage die Emissionen besser zu kontrollieren, weil alle Zylinder in Sachen Einspritzung, Verdichtung und Zündung gleich behandelt werden können.
Wir sind allerdings der Ansicht, dass es zur Erreichung dieses Gleichgewichts nicht notwendig ist, den Fluss zum Block um mehr als 80% zu reduzieren. Das entspricht in etwa proportional der Fläche des kleinsten Punktes 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 und 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 die gleiche ist, ist es aber so, dass die Druckseite der Zylinder an unterschiedlich 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 Zylinder dort auch ausreichend ab.
Bei Bank 2 ist es allerdings so, dass das Kühlwasser auf die kühle, nicht druckbelastete Seite trifft, weil ja dort der hohe Druck auf die Oberseite des Zylinders wirkt. Wenn kühles Wasser auf ein nur etwas wärmeres Material trifft, kann es auch kaum Temperaturen aufnehmen. Somit ist es absolut logisch, dass der kritische Bereich der Zylinder von Bank 2 (oben) viel heißer als die der von Bank 1 (unten) laufen. 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 abgeben, als wenn es kühler wäre.
Das Thermostat im Rücklauf lässt es nicht zu, Temperaturerhöhungen im Inneren des Motors schnell wieder auf ein unkritisches Niveau abzusenken, insbesondere, wenn ein Fahrer auf das Gaspedal tritt und sich plötzlich die Temperatur der Zylinder und Kolben erhöhen. Denn leider fließt das Kühlmittel bei dieser Anordnung erst durch den Kühler und wird dort erst einmal abgekühlt.
Es dauert also sehr lange, bevor das Thermostat einen Unterschied fühlt und dann auch nur eine geringe Differenz, weil das Kühlwasser wegen der höheren Temperaturdifferenz bereits etwas abgekühlt wurde.
Halten wir also fest, dass diese Anordnung des Kühlwasserthermostat ungünstig ist, da es bei einem schnellen Anstieg der Temperaturen der Kolben und Zylinder bei hoher Last oder schnellen Fahrten zu einer nicht gewünschten, verzögerten Reaktion des Thermostaten kommt.
Welche Auswirkung das haben kann, hängt etwas davon ab, mit welchen Temperaturen wir es tatsächlich zu tun haben.
Wenn die Motoren so konzipiert gewesen wären wie die Motoren der alten Generationen oder wenigsten ähnlich denen der GT2, GT3 oder Turbomotoren, wären sie um einige Grad Celsius niedriger, als sie es bei den M.96 und M.97 Motoren in der Realität sind. 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 etwa 99° 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. Als Ergebnis, werden in der Regel Motoren ausgeliefert, die zwar wieder laufen, aber vom technischen Stand her schwächer sind als sie es vor dem Schaden waren. Das Schicksal dieser Motoren ist vorhersehbar.
Die weniger leistungsstarken 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. Dort dachte man daran.
Obwohl man sich wahrscheinlich der Auswirkungen von zu hohen Temperaturen bewusst war, unterließ man dies allerdings bei den 3.6er und 3.8er Motoren als auch beim 3.4er Cayman S. Auch diese Motoren verfügen über ein recht ansehnliches Drehmoment, und es wäre notwendig gewesen, etwas an der Kühlmittelsteuerung zu verändern.
Besser wäre gewesen, ein „kühleres“ Thermostat einzusetzen, welches früher öffnet. Hinzu kamen noch die kontraproduktiven Veränderungen bei den Zylinderkopfdichtungen die zu einer verschlechterten Temperaturausgewogenheit und zu höheren Temperaturen der Zylinderwandung führten. Auch hätte man der potenziellen Gefahrenquelle, die sich aus der Platzierung des Wasserthermostats im Rücklauf ergeben, mehr Beachtung schenken müssen.
Neben den nun bekannten und erwähnten Ursachen für die Probleme haben wir bei den neueren Motoren noch weitere Veränderungen festgestellt. Diese scheinen ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Motoren zu haben. So sind die Schlitzöffnungen, durch die das Kühlwasser in den Zylinderbereich gelangt, noch einmal verkleinert worden. Ob sich das wirklich stark negativ auswirkt wissen wir nicht. Wir wissen nur, dass die Umstellung auf eine einheitliche, sprich symmetrische Kopfdichtung ein großes Problem darstellt. Mit dieser Änderung bekamen zwar Zylinder 4 und 5 etwas mehr aber dafür Zylinder 6 deutlich weniger Kühlwasser mit. Die Folge waren dann auch Schäden, die sich genau an diesem Zylinder 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.
Es ist sehr schwer mit belegbaren Fakten zu antworten, aber wir mussten dies tun, wenn wir weiterhin Motoren modifizieren und umbauen wollten, die zuverlässiger sein sollten als die Werksmotoren es waren.
Wir sind sicher, dass die neuen Motoren an einer weniger guten und ausgeglichenen Zylindertemperatur leiden und dadurch ein oder einige Zylinder auf Bank 2 hart an der Belastungsgrenze laufen und es in der Folge zu Kolbenfressern kommt. Und wir glauben, dass nicht zuletzt die Maßnahme mit den veränderten Kopfdichtungen eine Ursache dafür war.

## Das Verhalten von heißen Flüssigkeiten

Lokales Kühlmittelsieden ist ein bekanntes Problem, das bereits vor vielen Jahren beim Tuning von Standard-Straßenmotoren für den Rennsport entdeckt wurde, weil Kühlmittel (wie Wasser) zu kochen beginnt, wenn die Oberflächentemperatur höher als 100 Grad C (in der Luft) beträgt.

Hat man nun besonders heiße Bereiche in einem Motor und daneben z.B. recht kühle Sektionen, dann kann es in den heißen Bereichen bereits zu einer Dampfblasenbildung kommen. Dampfblasen hindern das Kühlwasser daran in Kontakt mit dem zu kühlenden Material zu kommen. Es kommt zu einer Barriere und es entstehen gefährliche Hot-Spots.
Eine akribisch genaue Entlüftung und spätere Kühlwasserbefüllung ist deshalb sehr wichtig. Wir benutzen dafür ein spezielles Befüllungsgerät, welches vorher das gesamte Kühlwassersystem unter Vakuum setzt und verhindert, dass sich 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 dort die stark unterschiedlich warmen 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 bei ca. 102°C. Reines Kühlmittel würde bei 105°C kochen.
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 unserer neuen 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 die Siedeblasen bei plötzlich abgeforderten hohen Motorleistungen.

Bild 18: **Das neue Niedrigtemperatur-Thermostat tut dem Motor gut**

Die Temperaturverteilung in den Zylinderwandungen ist sehr ungleichmäßig. Die Unterseite, in die das kühle Kühlwasser einströmt leidet aus diesem Grund nie an zu hohen Temperaturen. Die obere Seite, ist immer deutlich wärmer, da sich das Kühlwasser dort, auf dem Weg nach oben, bereits erwärmt hat. Ist diese Seite dann auch noch die Druckseite, auf die der Kolben wirkt, ist der Unterschied schon als kritisch zu bezeichnen. Dies trifft bei diesen Motoren auf alle Zylinder der Bank 2 zu.
Der verhältnismäßig langsame Kühlwasserfluss und das Thermostat auf der falschen Seite (Rücklaufseite) verstärken dieses Problem noch.
Fordert man von den M.96 und M.97 Motoren z.B. sehr 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 der nächsten 450 bis 900 Kolbenhüben.
Kommen Sie nun bitte nicht zu der Einsicht, dass jeder Motor, speziell jeder 3,8er X51-Motor, sofort dieses Verhalten zeigen wird. Es kann dazu kommen! Es muss aber nicht. So kann es sein, dass mit jeder temporären Überbelastung des Motors jeweils nur sehr minimale, mikroskopisch kleine Fressspuren erzeugt werden. Irgendwann summieren sich die Schäden dann auf und es kommt zum Super-GAU.
Letztendlich entwickeln sich die Motorschäden aus dem Zusammenspiel verschiedener Ursachen.

Und nun kommen wir zu dem erwähnten wirklich kleinen Nachteil, den Lokasil® hat.
Grundsätzlich ist die Reibfläche eines Lokasil® Zylinders eine brillante Oberfläche mit hervorragenden tribologischen Eigenschaften, gut für eine lange Lebensdauer und sehr resistent gegen Verschleiß. Leider 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 modernen Motoren der letzten Jahre.
Der eigentliche Nachteil von Lokasil® ist der, dass es porös ist. Porosität bedeutet, dass es Lücken zwischen dem Metall (Aluminium) und den relativ kleinen Kontaktstellen des Siliziumgerüstes in mikroskopischer Form gibt. Diese material-, und gussbedingte Porosität hilft zwar geringfügig bei der Schmierölrückhaltung, verlangsamt aber auch die Wärmeübertragung.
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, die sich im Rennsport bereits seit langem bewährt hatten. Das beste was es am Markt gibt.

## Die Geschichte rund um den Siedepunkt

Auf Meereshöhe liegt der Luftdruck um die 1 Bar. Wasser kocht bei 100°C. Mit jeden 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 rechen. 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 Schnellkopftopf, 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 zu wenig Druck nach der Abkühlung saugt es 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, wenn der Druck sinkt.
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.

Verliert ein Motor Wasser durch einen Riss im Kühler, eine tropfende Wasserpumpe, eine defekte Kopfdichtung, einen rissigen Ausgleichsbehälter, oder einen defekten Deckel, erhöht sich das Luftvolumen im Ausgleichsbehälter. Da man Luft im Gegensatz zu Wasser komprimieren kann, verringert sich dadurch der Druck im System. Dies führt dann zwingend zu einer Absenkung der Temperatur bei der das Kühlwasser kochen würde. Kochen, bedeutet Luftblasen, und Luftblasen in einem M.96/97 Wasserboxer können aufgrund von Bereichen im Motor, in denen sich diese sammeln können, sehr gefährlich werden. Hinzu kommt noch die Tatsache, dass sich die Wasserkühler bei den Wasserboxern hinter den Klimakondensatoren befinden. Oftmals verstopft Laub die Rippen der Klimakühler und es kommt noch weniger Luft zu den Wasserkühlern.
Als ob die Probleme bei den beschriebenen Motoren nicht schon groß genug wären, befinden sich die Wasserkühler viele Meter vom Motor entfernt ganz vorne im Fahrzeug. Steigt also hinten die Temperatur, dauert es eine kleine Ewigkeit, bis sich diese durch die Kühler in der Front abgekühlt hat. Kühlsysteme lassen mit der Zeit nach und kühlen nicht mehr so gut wie im Neuzustand. Das hängt damit zusammen, dass sich im Inneren des Motors ein Belag/Haut am Material absetzt, welcher eine schlechte thermische Leitfähigkeit hat. Die Wärme kann also nicht mehr so gut in das Metall abgeleitet werden. Man nennt dieses Verhalten auch den Skin-Effekt. 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 Spaltmaß dadurch erhöht. Es ist sehr wichtig, dass man den Kühlkreislauf eines Motors so gestaltet, dass sich keine Hitzenester (Hot-Spots) in bestimmten Bereichen bilden können. Dass die höchste, Stelle im Wasserkreislaufs der M.96 und M.97 Motoren schlecht zu entlüften ist, muss unbedingt beachtet werden. Absolute Sorgfalt beim Entlüften ist von Nöten.

## Offenes oder geschlossenes Zylinderdach - Open-Deck oder 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 hält die Zylinder in Position. Motorengehäuse in der Open-Deck Version lassen sich problemlos im kostengünstigen Druckgussverfahren herstellen. Beim stabileren Closed-Deck Gehäuse 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 deshalb immer mit einer sehr stabilen Zylinderkopfdichtung versehen. Durch die Verwendung von Stahlzylinderkopfdichtungen gleicht man die geringere Stabilität der Konstruktion aus. Die einzelnen Zylinder bestehend 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 geführt wären, also über ein geschlossenes Dach verfügten.

**Bild 19: Oberseiten eines 3,2er Boxster S und eines 3,4er Motors in Open-Deck Konstruktion**

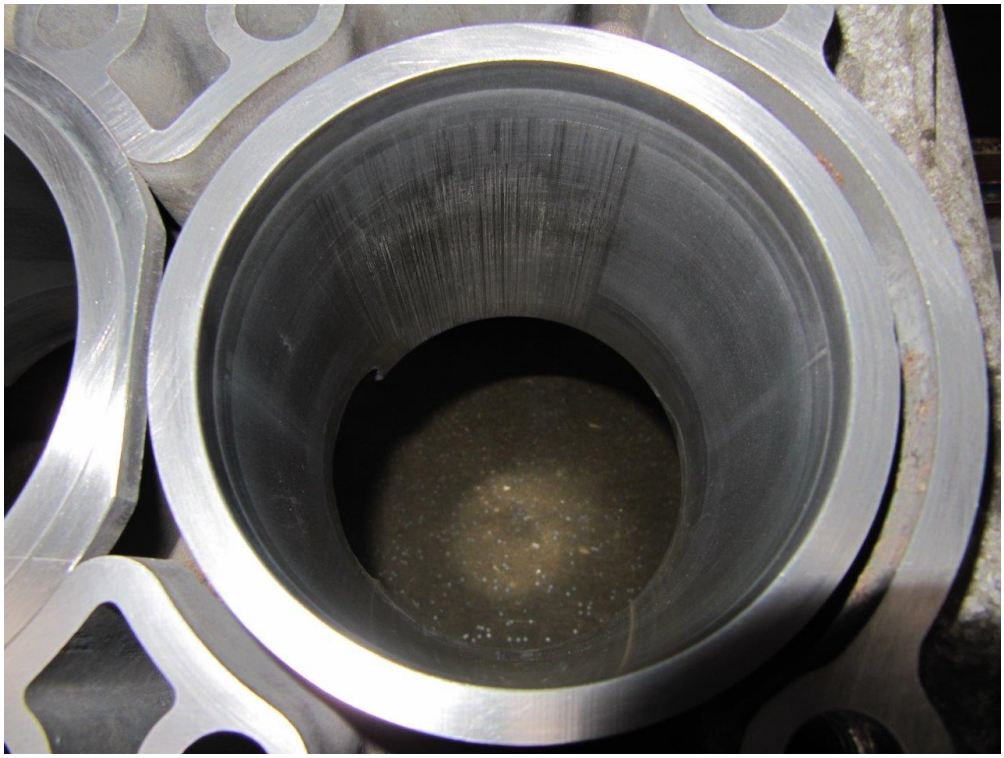


**Bild 20: Originalzylinder mit „Freßspuren“**

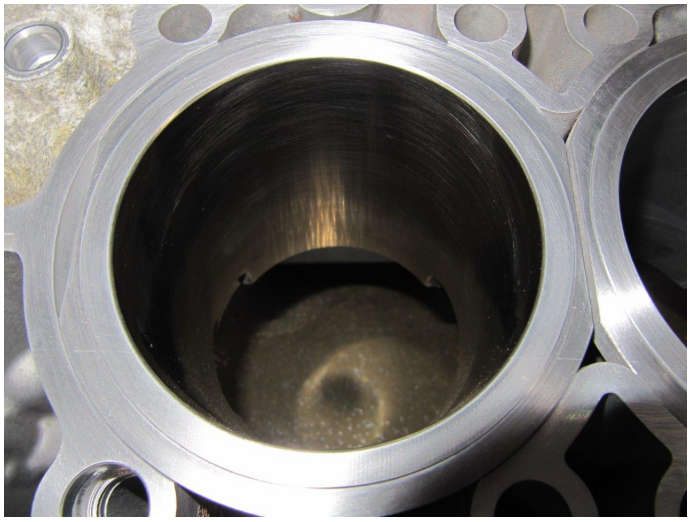


**Bild 21: Erneuerter Schmiede-Zylinder mit NiSiC-Beschichtung**

**Bild 22: Ein von Cartronic Motorsport auf Closed-Deck modifizierter 3,8Ltr. Motor mit 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 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 erhitzen oder verbrennen sogar den Ölfilm zwischen Kolben und Zylinder
- die ölbenetzte Kontaktfläche zwischen dem Kolben und der Zylinderwand, welche die Wärme abführen soll, reduziert sich, da zum Zeitpunkt der Krafteinleitung auf den Kolben dieser nur unzureichenden Kontakt mit der Bohrung hat.
- da die Kolbenringe nicht imstande sind, sich in eine ovale Form zu biegen, 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. Ein 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, unteren 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 die Motoren ohne Fuß auf dem Gaspedal zu starten und vor dem Fahrbeginn erst einmal einige Sekunden im Leerlauf laufen zu lassen. Damit kommt genügend Ölnebel in die Bohrungen.

Die neueren Motoren weisen auch noch einen weiteren Unterschied zu den älteren konventionellen Motorkonzepten auf. 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 sollten, 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.
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 Abdeckplatten nötig waren, um das zu verhindern. Dadurch verhinderte man auch, dass sich das Ölsumpfniveau 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 der Kolben gesprüht wurde, um damit dann auch 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 Position eine schlechte Schmierung stattfindet. Fast alle konstruktiven Mängel wirken sich in der Summe auf der Bank 2 wesentlich schlimmer aus, als auf Bank 1.

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 Bohrungen gespritzt wird, fast nichts mehr in 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, scheint man also nicht in der Lage gewesen zu sein, sich ein vorhandenes Funktionsprinzip zunutze zu machen. Das meiste Öl befindet sich im Bereich der Bank 1 und tropft dann von oben auf die unten liegende Druckseite. Soweit so gut. Auf der Seite von Bank 2 tropf das Öl ebenfalls nach unten, doch damit auf die nicht belastete, unkritische Seite.
Die innere Schmierölverteilung dieser Motoren stellt konstruktiv nicht gerade ein Highlight dar.

Und da Motorteile, die mit Öl in Berührung kommen, besser gekühlt sind als die, die nahezu trocken laufen, kann man die Situation schon fast als katastrophal bezeichnen.

Aus all diesen Faktoren ergab sich für uns langsam ein vollständiges Bild, warum einige der Motoren irgendwann ausfallen mussten. Fast wie immer waren es mehrere Faktoren, die sich in Kombination und Wechselwirkung aufsummierten, um dann irgendwann zum Motorschaden zu führen. Ganz sicher ist die Tatsache, dass die Zylinder der Bank 2 deutlich stärker belastet sind als die der Bank 1. Die möglichen Gründe haben wir mehr oder weniger detailliert erörtert. Die unsachgemäße Behandlung des Motors durch den Fahrer spielt bei der Entstehung der Motorschäden natürlich auch eine gehörige Rolle. Auch die „natürliche“ Alterung des Motors über die vielen Millionen von Verbrennungszyklen sollte man mit in die Waagschale werfen. Nicht zu vergessen die Alterung des Schmieröls und der Kühlflüssigkeit.

## Aufsummierte Probleme

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. Erinnert man sich daran, dass die Zylinder der Bank 2 auch noch konstruktiv bedingt im Nachteil sind, muss man nicht überrascht sein, wenn sich die Probleme der Kolbenfresser genau da zuerst zeigen.

Beide Motortypen verfügen über viele sehr gute Designmerkmale, die aber zum Teil auch nicht ganz unschuldig an den uneinheitlichen und partiell zu hohen Temperaturen im Motor sind. Das verwendete Material in den Zylinderbohrungen ist sehr modern und sicher perfekt, wenn es nicht thermisch völlig überlastet wird. Das Ergebnis sind ovale und auch oft gerissene Zylinder. 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 unserer Meinung nach falsch berechnet. Der sehr langsame Kühlwasserfluss stellt auch 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 schlechte innere Schmierung durch ungünstig platzierte Spritzdüsen und zu wenig Schleuderöl summieren sich am Ende zu einem sehr ernstzunehmenden Problemcocktail auf.

Wir sind uns recht sicher, dass auch die verlängerten Ölwechselintervalle und der lebenslange Verbleib der Kühlflüssigkeit im System, die ja laut Hersteller niemals ausgetauscht werden muss, obwohl andere Hersteller eine maximale Nutzungsdauer von maximal 5 Jahren empfehlen, zu diesem Gesamtproblem in ihrer eigenen Art beitragen.
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 „Rennöl“ mit einem Viskositätsverhältnis von 10W/60. Teure und hochwertige Öle dieser Spezifikation verwendet man seit Langem im Rennsport mit Porschefahrzeugen.

## 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. Die Wassertemperatur die angezeigt wird, entspricht in etwa der Temperatur, mit der das Kühlwasser die Kühler verlässt.
Bei Fahrern, die Ihren Motor erst warmfahren, bevor sie ihn belasten, kommen die Motoren gut weg, da sie tatsächlich erst später belastet werden als es im Normalfall der Fall wäre. Wenigstens ein kleiner Trost ☺.
Das Instrument zeigt zu geringe Temperaturen an. Aber um welche Temperatur handelt es sich überhaupt? Es handelt sich dabei eher um die Temperaturen, die man am Ausgang der Wasserkühler messen kann. Doch diese Temperaturen sind 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 die Öltemperatur (auf diese Anzeige hat Porsche bei den 986 und 996er Modellen verzichtet) ablesen und hatte damit ein genaues Indiz über die Belastung des Motors. Bei einem wassergekühlten Motor wäre es sinnvoll die Temperatur der Kühlflüssigkeit in unmittelbarer Nähe des Zylinderkopfes oder noch besser im Umfeld der Zylinder zu kennen. 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 maximal heiß 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 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 Ltr. 996 Motoren rund 50% weniger Wasser zu den Zylindern geleitet wird. 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 das größte Problem. Durch den Einbau des speziellen Niedrigtemperatur-Thermostaten konnten wir die Nachteile, die durch die träge Reaktion des original verwendeten Thermostaten entstanden, wieder kompensieren.
Die hohen Zylindertemperaturen, die durch die Reibung infolge der hohen Verbrennungsdrücke entstehen, führen sogar bei einigen Motoren dazu, dass sich die seitliche Gleitschicht auf den Kolbenhemden ablöst. Kaum zu glauben, dass man auf diese, in den ersten, noch recht drehmomentschwachen Motoren ohne Folgen auf 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.

## Frühe Schäden kann man 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 erst einmal 10-20 Sekunden im Leerlauf laufen zu lassen. Auch sollte man es unterlassen, Vollgas zu geben, bevor der Motor richtig warm ist.

Dann empfehlen wir, die Motoren nicht bewusst untertourig zu fahren, um dann aus niedrigen Drehzahlen im hohen Gang heraus zu beschleunigen. Dieses Verhalten führt dazu, dass die Dauer des Drucks auf die Zylinderwandung verlängert wird. Motoren aus Tiptronic-Fahrzeugen sind aus diesem Grund immer höher belastet als Motoren aus Fahrzeugen mit Schaltgetriebe, bei denen man die Gänge erfahrungsgemäß bis in höhere Drehzahlen ausdreht.

## Gefahren und Nutzen des Internets - Ebay, Facebook und die Porsche-Foren

Das Internet ist ein Segen für die Menschheit. Aber es birgt auch Gefahren. Nicht zuletzt, weil es dort nur so von falschen und „gekauften", sehr einseitigen Informationen wimmelt, haben wir uns entschieden, den Großteil unserer Erfahrungen öffentlich zu machen.
Unsere Forschungsergebnisse stellen zwar im ersten Moment auch nur eine subjektive Meinung dar, doch liegt es an jedem selbst, unsere Aussagen zu überprüfen und auf diesem Wege eine Objektivierung einzuleiten. Viele werden sich fragen, warum wir all diese Erkenntnisse überhaupt veröffentlichen.
Wir sind auf jeden Fall von keiner Interessensgruppe „gekauft" worden um die Porschemotoren schlecht zu machen. Das ist auch gar nicht möglich, da es sich um wirklich beeindruckende Motoren handelt.
Wir haben selbst einige Zeit überlegt, ob wir das überhaupt tun sollen. Auf die Frage eines guten Freundes unseres Hauses, was es uns denn in der Zukunft bringen soll, wenn wir mit den mühsam erarbeiteten Erkenntnissen hinter dem Berg halten, hatten wir keine Antwort.
Tatsächlich bringt es uns gar nichts. Wir sind ein kleines Unternehmen und können aus diesem Grund auch nur einen sehr begrenzten Markt abdecken. So ist es mit den momentanen räumlichen und personellen Möglichkeiten nicht möglich, mehr als 5-6 umfangreiche Motorreparaturen pro Monat durchzuführen. Die Nutznießer unseres Know-How`s, welches wir uns in den vergangenen Jahren zusammen mit unserem eng verbundenen, langjährigem Freund und Motorkonstrukteur Barry Hart von Hartech und den anderen Entwicklungspartnern aus der Industrie erarbeitet haben, waren bis heute unsere Kunden, für die wir Motoren reparieren durften. Diese erhielten perfekt reparierte und optimierte Motoren zurück und konnten ihre Fahrzeuge ohne schlechtes Gewissen endlich mal richtig rannehmen. Die Kunden werden auch die Nutznießer bleiben, weil sich nach dieser Veröffentlichung die Qualität der Arbeiten und die Standfestigkeit der Motoren ändern wird, da wir natürlich mit diesem Forschungsbericht, alle, d.h. auch unsere Mitbewerber „schlau" machen. Unser Freund Barry sieht das genauso und veröffentlicht die „Secrets" in englischer Sprache.

## Wertsteigerung nach Motorschaden? - Der Sinn dieser Veröffentlichung.

Ein Kunde, der seinen Porsche 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.
Also sind wir es unseren Kunden letztendlich schuldig, *unsere* Art und Weise der Motorrevisionen entsprechend zu kommunizieren. Letztendlich werden zudem alle davon profitieren, wenn es allgemein bekannt wird, wie man Porschemotoren „richtig" und nachhaltig repariert.
Natürlich machen wir mit dieser Veröffentlichung auch unsere Mitbewerber schlau. Damit können wir und unsere Entwicklungspartner aber sehr gut leben, da es letztendlich immer klar sein wird, wer

diese Informationen veröffentlicht hat. Man könnte das auch mit den Sprüchen: „Der frühe Vogel fängt den Wurm“ oder „Wer hat´s erfunden?“ kommentieren.
In den letzten Jahren haben wir es mit vielen frustrierten und verärgerten Kunden zu tun gehabt, die nach Reparatur ihres Porschemotors bei irgendeiner anderen Firma einen neuerlichen Motorschaden erlitten haben. Dies natürlich immer nach Ablauf der Garantie. Das was man bei diesen Motoren zu sehen bekommt, ist teilweise so unglaublich, dass man zweimal hinschauen muss.
Pfusch an allen Ecken und Enden. Einer dieser Motoren verfügte über Kolben in unterschiedlichen Maßen, andere waren mit definitiv „gut gebrauchten“ aber mit Riefen versehenen Kolben versehen worden. Ein Motor gehörte von der Werkszuordnung gar nicht in das Fahrzeug, obwohl der Kunde damals explizit auf „Matching-Number“ bestand.
Wir hoffen, dass diese Art der Reparaturen nun weniger werden und sich bei den Anbietern der Spreu vom Weizen trennt. Auch sind interessierte, betroffene Kunden endlich in der Lage mitreden zu können. Es wäre schön, wenn sich zukünftig einige Firmen nicht mehr trauen, die üblich mangelhaft reparierten Motoren abzuliefern. Wir hoffen natürlich auch, dass sich noch einige weitere fachkundige Kooperationspartner in Europa finden lassen, die gerne mit überholten und optimierten Motorgehäusen von Cartronic beliefert werden möchten. Unser Entwicklungspartner in England ist da bereits mit großem Erfolg aktiv.
Unser Traum ist der, dass man irgendwann in den bekannten Gebrauchtwagen Plattformen Aussagen in den Fahrzeugbeschreibungen darüber findet, dass der Motor von uns überholt wurde.

Wir werden genau beobachten, wer sich in Kürze unseren Meinungen und Hypothesen anschließen wird. Sicherlich wird es aber auch in Zukunft noch Zeitgenossen geben, die mit billigster Technologie und Ersatzteilen aus der Wühlkiste Motoren für sehr viel Geld „reparieren“.
Im Moment stehen wir mit unseren Erkenntnissen in Deutschland erst einmal auf einsamer Flur. Und das ist für den Anfang auch erst einmal gut so.
Uns ist nicht bekannt, dass es mit Stand Oktober 2013, noch weitere Firmen außerhalb *unseres* Umfeldes gibt, die die Motoren nach unserer Art reparieren und dabei sogar in der Lage sind, diese deutlich haltbarer zu machen als neue oder AT-Motoren ab Werk.
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.

## Bewirken Reparaturen mit Stahlzylinderbuchsen, Aufbohren und Kolben in Übergröße erlauben eine nachhaltige Problemlösung?

Die meisten, die Porsche Wasserboxer-Motoren repariert, verfolgt eine sehr individuelle Strategie. Oftmals sind diese Strategien von finanziellen Gedanken der Gewinnmaximierung geprägt. Fast immer aber spielt Unwissenheit, bzw. nicht genügende Erfahrung eine Rolle. Meist sind die Strategien schlichtweg nicht empfehlenswert.
Manche behaupten, dass die Kolbenringe die Schuld am Fressen haben. Dies wurde von uns widerlegt.
Andere schwören auf die Verwendung von Stahlguss-Zylindereinsätzen weil sie der Ansicht sind, dass es an der Oberfläche der Zylinder liegt und verbreiten diese Meinung seit langer Zeit und sehr konsequent in entsprechenden Dumping-Angeboten bei Ebay. Auch das wurde widerlegt.
Dann gibt es einige Firmen, die die entstanden Riefen im Zylinder einfach entfernen, indem man die Bohrung soweit vergrößert, dass alle Riefen verschwunden sind. Dass diese Methode die schlechteste darstellt konnten wir auch beweisen.

Am häufigsten werden wir mit Firmen verglichen, die Billigreparaturen mit Zylinderlindern aus Eisenguss,- bzw. Stahl anbieten. Man kann das aber nicht vergleichen.
Unser Team verbringt jeden Monat 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 einem Motor nachhaltig in Stand zu setzten. Zudem ist diese Methode nicht vergleichbar mit der, die wir anwenden.
Das was für eine derartige Reparatur verlangt wird, ist zudem deutlich zu viel.
Dass man mit dem Einschrumpfen von Eisenzylindern keinen „gefressenen" Porschemotor so reparieren kann, dass es auch lange hält, wissen die Firmen, die diese Billigtechnologie für teures Geld verkaufen, natürlich selbst am besten. Alleine die Tatsache, dass die thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Stahl und Aluminium so stark unterschiedlich sind, macht diese Art der Reparatur zu einem absoluten No-Go. Die thermische Leitfähigkeit von Gusseisen ist zudem um fast 35% schlechter als die der von Porsche eingesetzten Zylinder aus Lokasil©. Diese ist schon recht gering, da der Keramikkorpus, der sich im Zylinder befindet, die Wärme sehr schlecht leitet.

Wir haben einige Motoren gesehen, bei denen es zu einer Drehung der Zylindereinsätze gekommen ist weil sie sich gelöst hatten. Das passiert nun einmal, weil sich das Aluminium außen herum deutlich mehr und schneller ausdehnt als der Zylinder-Liner aus Eisen. Dieser kommt der Ausdehnung nicht schnell genug hinterher. Andere Motoren die auf diese Art repariert wurden wiesen 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 Eisenbuchse ausbildet. Die Kopfdichtung hat in diesem inneren Bereich des Zylinders dann kaum noch Anpressdruck.
Will man Zylinderliner aus Eisen verwenden, wäre es zwingend notwendig, auch Kolben zu verwenden welche einen geringeren Durchmesser haben. Das macht man natürlich nicht, sondern man vergrößert die Zylinderbohrung. 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 als weitestgehend aufeinander abgestimmt. Das Kolbenspiel, dass sich aus dem Unterscheid 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 er sich die „Stahl-Liner" auch noch langsamer ausdehnen, da das thermische Wärmeleitverhalten schlechter ist als das von Aluminium. Es würde also umgangssprachlich ausgedrückt „eng für den Kolben". Um das zu umgehen, vergrößert man das Kolbenspiel und handelt sich damit gleich die nächsten Probleme ein.
Jedem wahren Fachmann auf diesem Gebiet sind diese unterschiedlichen Eigenschaften von Leichtmetalllegierungen und Stahl oder 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, 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. Stahlguss stellt bis heute einen recht zuverlässigen und sehr günstigen Werkstoff für Zylinder von Motoren in Kleinwagen 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 auf

einem technischen Stand der 50er-Jahre stehen geblieben. Wir können nur jedem betroffenen Porschebesitzer davon abraten, sich auf ein solches Abenteuer einzulassen. Es kann nur schiefgehen, da diese Reparaturmethode unfachmännisch ist. Man kann damit allerdings sehr viel Geld verdienen, weil die Zylindereinsätze recht günstig zu erwerben sind. Somit bleiben sie für die wenigen Zeitgenossen reserviert, die keinerlei Interesse an einem perfekt reparierten Porschemotor haben, sondern auf Kosten von gutgläubigen Kunden maximalen Ertrag wollen 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 Stahl oder Eisen, 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 OT 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 Stahl/Eisenbuchse muss eine zusätzliche Toleranz von 0,025 mm erzeugt werden. Der Kolben dehnt sich über die ansteigende Temperatur mehr aus als Zylindereinsatz aus magnetischen Eisenmaterial. Ohne diese zusätzliche Toleranz käme es sehr schnell zu einem Kolbenfresser. Da man auch einen Porsche anteilmäßig sehr oft im unteren Last- und Geschwindigkeitsbereich bewegt, werden die Kolben daher nicht wirklich bedenklich heißt 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 Leichtmetallzylindern aus geschmiedetem Aluminium und NiSic (Nikasil- Äquivalent). Das Kolbenspiel ist nämlich in den niedrigen Lastbereichen immer zu groß. Und da wo es passt, bewegt 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 aufgepressten Zylinderkopfdichtung stabilisiert werden. Cartronic verbaut deshalb nur noch 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 Closed-Deck Konstruktion. Eine sehr stabile und optimale Auflagefläche für die Kopfdichtung ist damit auch gewährleistet. Schäden an der Zylinderkopfdichtung sind bei Motoren die durch uns revidiert und optimiert wurden nicht bekannt.
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 also 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“ Kraftstoffgemische. Darauf muss man ebenfalls mit einem angepassten, erhöhten Kolbenspiel reagieren, um Schäden an Kolben und Zylindern zu 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 zusätzlich behindert. Ein homogener Temperaturfluss ist dort konstruktionsbedingt nicht mehr möglich. Motoren die unter Verwendung von Eisen/Stahl Zylinder einsetzen repariert worden stellen also in Sachen Temperaturabfluss, bzw. Kühlung einen sehr schlechten Kompromiss dar. Auf jeden Fall sind diese Motoren nach Reparatur thermisch ungesünder als sie es vorher waren.

Einige Kunden sind uns in den letzten Jahren abgesprungen, weil die Reparaturkosten mit Zylinderboxen aus Eisen/Stahlguss natürlich etwas günstiger sind. Die meisten davon sind innerhalb einer Frist von Ziffer 1-1,5 Jahren wieder zu uns zurück gekommen, weil Motoren, die sie nach dieser Methode repariert haben, einen erneuten Schaden erlitten für den sie verantwortlich zeichnen mussten.

**Bild 23: Erneuter Motorschaden durch eine sich gelöste und um rund 40° gegen den Uhrzeigersinn verdrehte „Stahl“-Zylinderlaufbuchse (links)**

Viele fragen sich wahrscheinlich, warum man denn nicht einfach beschädigte Zylinder aufgebohrt um die entstandenen Riefen und Ovalität zu beseitigen?
Nach Abschluss der Versuche die wir damit gemacht haben, raten wir vor dem einfachen Aufbohren der gefressenen Zylinder unter Verwendung von Kolben in Übergröße ab.
Die ohnehin zu schwachen Wandstärken der Zylinder werden durch das Aufbohren noch fragiler und neigen daher noch eher zu Verformungen unter Druck. Ein aufgebohrter 3,8 ltr. Motor in der X51 Ausführung zeigte nach nur 11.500 km einen erneuten kapitalen Motorschaden.

Es kann sein, dass wir in Verbindung mit der Entwicklung einer speziellen Version unserer verwendeten Closed-Deck Verstärkungsringen, die wir im Rahmen des „Re-Roundings“ bei Zylindern der Bank 1 (Zyl. 1-3) einsetzen, bald eine andere Meinung vertreten. Im Moment führt die Methode des Aufbohrens zu einer weiteren Schwächung der Zylinder und frühen erneuten Kolbenfressern nach Revision. Zudem sind die Kosten für Kolben in Übergröße recht hoch, da diese individuell hergestellt werden. Die Lieferzeiten sind zudem deutlich zu lang. Da diese Art der Reparatur mit ziemlicher Sicherheit zu erneuten Schäden an den gleichen Zylindern führt raten wir davon ab.
Spezielle Verstärkungsringe, die eher eine Hülse sind, könnten das Problem lösen, da sie zum einen das System von Open-Deck auf Closed-Deck verändern und zum anderen dazu führen, dass die Zylinder von außen zusätzlich stabilisiert werden. Da die Kosten allerdings kaum geringer sind als ein komplett neuer einteiliger Zylinder aus hochfestem, geschmiedetem Aluminium, stellt diese Art der Optimierung keine sinnvolle Reparaturmethode für die Zylinder der Bank 1 dar. Über 90% aller unserer Kunden entscheiden sich für 6 neue Zylinder, anstelle der Reparatur eines einzelnen auf Bank 2 oder der Installation von Closed-Deck-Verstärkungen auf der Bank 1.

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 Bänken zu erkennen gewesen.
Gegossene Kolben verhalten sich nahezu genauso wie geschmiedete Kolben. Wären die Kolben die Ursache, würden zudem auch viel mehr Motoren ausfallen.
Wir halten es für normal, dass die Firmen, die nicht in der Lage sind, spezielle neue Zylinder anzubieten wie wir es tun, sicherlich auch nicht mit den wahren Ursachen der Motorschäden herausrücken wollen. Auch wenn Sie diese kennen würden.
Auch ist es normal, dass keiner unserer Mitbewerber eine Veranlassung sieht, die Kühlwasserverteilung im Motor zu verändern. Es gehört ja auch eine Menge Mut dazu, ein Motorgehäuse zu zerspanen ohne sicher zu sein was man da gerade tut und welche Auswirkungen es auf den Motor hat. Keine Firma, außer uns und unseren Kooperationspartnern, ist in der Lage, oval gewordene Zylinder wieder zu verrunden (Re-Rounding) und so zu verändern, dass sie zum einen verstärkt und zum anderen in eine Version mit geschlossener oberer Zylinderfläche zu verwandeln.
Die Lösungen die wir anbieten, können auf Grund der eingeschränkten Möglichkeiten anderer Firmen von diesen nur dann in die Tat umgesetzt werden, wenn sie mit uns einen Kooperationsvertrag abschließen in dem wir die genaue Vorgehensweisen einer Motorinstandsetzung gem. unserem System festlegen Die ersten Jahre waren wenige dazu bereit. Entweder verfolgte man eigene Strategien oder es schlichtweg zu kostspielig. Qualität spielt ja nicht immer eine Rolle. Das hat sich inzwischen geändert, da unsere Methode weltweite Bekanntheit erlangt hat.

## 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. Jeder von uns war sich sicher, dass sich der Öldruck verringern würde, da man es ja mit mehr Spritzölstellen zu tun hatte. Alle kannten den Effekt eines sinkenden Öldrucks wenn z.B. ein Kurbelwellenlager ausgelaufen ist. Genau das erwarteten wir nun auch.

Wir waren sehr über die Tatsache überrascht, dass der Öldruck stieg und nicht fiel. Gespräche mit Schmieröl-Spezialisten gaben uns sehr schnell ein besseres Verständnis für die Situation. Obwohl es sechs zusätzliche Leck-Stellen gab, die den Öldruck zwingend senken mussten, führte die verminderte Reibung in den Zylindern dazu, dass die Öltemperatur nicht mehr so stark ansteigen konnte. Dies führte dann in der Folge dazu, dass der Öldruck nicht nur stabil blieb, sondern sogar anstieg.

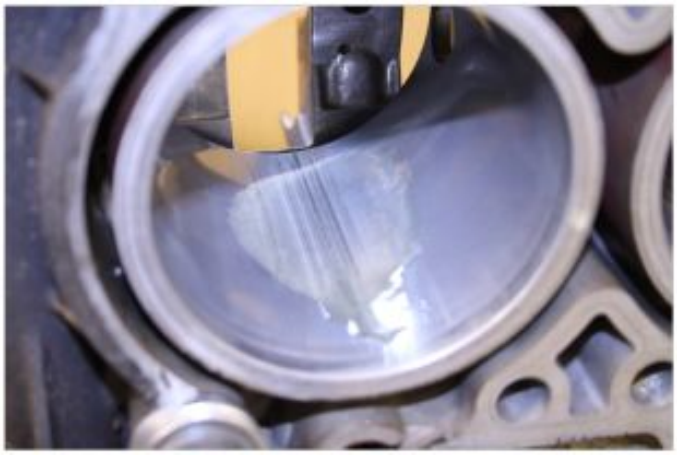


**Bild 24: Die Problemlösung. Eine weitere Spritzöldüse versorgt den kritischen Bereich im Zylinder**

Wir hatten damit den Beweis erbracht, dass die Zylinder der Bank 2 viel zu trocken liefen und wir mit dem Einbringen von zusätzlichem Schmieröl genau richtig lagen. Nun lag die erste Bestätigung für einen konstruktiven Missstand an diesen Motoren tatsächlich vor.

Obwohl die Motoren in der momentanen Art und Weise der Reparatur perfekt laufen und sehr standfest sind, kann es durchaus sein, dass wir im Rahmen zukünftiger Revisionen sechs zusätzliche Spritzöldüsen in die zu reparierenden Motoren einbringen.

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

In den letzten Seiten haben wir von vielen einzelnen Problemen der betroffenen Motoren gesprochen. Viele 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 Schwachpunkte auf, die sich in dieser Fülle erst mit Einführung der Motoren mit mehr Hubraum und mehr Leistung als relevante Ursachen für Motorschäden aufsummiert haben. Zu jedem Schwachpunkt gibt es auch eine kurze Erklärung, warum es ein Schwachpunkt ist und welche Lösung wir (Cartronic Motorsport und Hartech) 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. Da aber alle weiteren Motoren auf genau dieser Konstruktion basieren, näherte man sich mit jedem Leistungssprung nach oben der imaginären Haltbarkeitsgrenze. Bis man diese mit der Einführung der 3,8er Motoren deutlich überschritt.

- Der Kühlmittelstrom zu jedem einzelnen Zylinder wurde reduziert und verlangsamt. Dadurch entsteht eine größere Temperaturdifferenz der Zylinderwandung von unten nach oben. Unten ist es deutlich kühler als oben. Das ist nachteilig für die Zylinder der Bank 2.
  **Wir modifizieren das Gehäuse im Bereich der Kühlkanäle gemäß unserer Berechnungen und verändern dabei den Temperaturhaushalt und die Volumenanteile der Kühlwasserverteilung zu Gunsten der Zylinder.**

- Das Wasserthermostat ist im Rücklauf, also nach dem Wasserkühler installiert. Dies führt dazu, dass der Zeitpunkt der Reaktion auf einen plötzlichen Temperaturanstieg im Motor durch mehr Last, deutlich zu spät kommt. Das erhitzte Kühlwasser fließt erst durch den Kühler wird dort abgekühlt um dann viel zu spät am Thermostat eine geringe Reaktion einzuleiten.
  **Das ist konstruktiv nicht änderbar. Wir installieren ein neues, spezielles Niedrigtemperatur-Thermostat, welches deutlich früher öffnet und die Probleme dadurch beseitigt.**

- Die in der Fahrzeugfront platzierten Wasserkühler liegen im Windschatten der Klimakondensatoren. Diese sind dann auch noch häufig mit Schmutz und Laub verstopft, so dass zu wenig Kühlluft zu den Wasserkühlern geleitet wird. Sehr oft führen diese Schmutznester zu Korrosion und späteren Leckagen sowohl in den Klimakondensatoren als auch in den Wasserkühlern.
  **Wir versehen die Lufteinlass-Schächte mit Gittern, und verhindern damit das Eindringen von Laub und anderen Fremdkörpern. Auch befreien wir die Kühler bei jeder sich bietenden Gelegenheit von Schmutz und Fremdkörpern.**

- Die Temperaturanzeige der 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 verliert diese Tatsache an Relevanz.**

- Das Kühlmittel tritt unterhalb der Zylinder in den Motor ein. Dies begünstigt vom Temperaturhaushalt die Bank 1, da sich dort der mit Druck beaufschlagte Bereich unten befindet und benachteiligt wieder einmal die Bank 2, wo diese Seite oben ist.
  **Daran kann man nichts ändern, da konstruktiv vorgegeben.**

- Die Spritzöldüsen, welche die Kolbenunterseite und die Zylinderlaufflächen mit Öl benetzen, sind auf der Seite von Bank 2 ungünstig platziert und auf Grund einer teilweisen Abdeckung durch die Pleuel nicht in der Lage, überall dort, wo es nötig ist, die notwendige Ölmenge zu verteilen. Bank 1 ist hier auf Grund der Pleuelstellung wieder ganz klar im Vorteil. Bank 2 leidet.
  **Wir sind in der Lage weitere Spritzöldüsen zu setzen. Ist aber auf Grund der anderen Maßnahmen, die den Motor deutlich standfester machen, nicht notwendig.**

- Die Zylinder werden auf Grund der hohen Krafteinleitung durch die Kolben allmählich oval. Dadurch erhöht sich der „Blow-By“ von heißem Abgas. Dadurch steigen die Temperaturen der Kolben, der Kolbenringe, der Zylinder und des Öls.
  **Wir lösen das Problem durch die Optimierung des Temperaturhaushalts im Motor und durch die Verwendung von neuen, geschmiedeten und damit hochfesten NiSiC-beschichteten Zylindern. In bestimmten Fällen sind wir in der Lage die Zylinder wieder von**

**ihrer Ovalität zu befreien und mit Verstärkungsringen zu versehen, die eine erneute Ovalität nicht mehr auftraten lassen.**

- Der Kühlmittelauslauf ist niedriger gelegen als der höchste Hohlraum im Kühlwassersystem im Motor. Kommt es in diesen Bereichen zu Lufteinschlüssen, entstehen durch die hohen Wandungstemperaturen, lokale Hitzenester und diese führen dazu, dass die Zylinderwandungen noch heißer werden als sie ohnehin schon sind.
  **Durch eine sehr gewissenhafte Entlüftung mit einem Vaccuumentlüftungsgerät evakuieren wir das gesamte System vor der Neubefüllung mit Kühlflüssigkeit.**

- Die Zylinderkopfdichtung ist das „Schlüssel-Bauteil“ welches durch die veränderte Geometrie die Kühlwasserverteilung zu den Köpfen und den Zylindern negativ verändert hat.
  **Wir verändern selektiv und Zylinder-individuell die Geometrie der Kühlwasserkanäle und der Ausströmschlitze dergestalt, dass sich dadurch kein negativer Einfluss mehr bemerkbar macht.**

- Durch die Verlängerung der Wechselintervalle von Öl und Kühlwasser verschlechtert sich deren Eigenschaften und Effizienz. Aus welchem Grund man sich so etwas ausgedacht hat, ist uns bis heute nicht ganz klar. Jede freie Werkstatt und auch Porsche selbst, sollte sich doch über jeden verkauften Liter Öl oder Kühlmittel freuen. Vor allem wenn man damit auch noch die Lebensdauer der Motoren verlängern kann. Auf jeden Fall stellt dies ein Problem dar, gerade dann, wenn man es mit Motoren zu tun hat die, vermehrt mit Kolbenfressern ausfallen. Eine gewisse Korrelation zwischen Ölqualität und Zustand der Zylinderlaufbahnen ist gegeben. Es ist sogar ein wahrer Teufelskreis, denn je höher die Temperaturen und schlechter die Ölqualität umso heißer das Öl und umso niedrigere Viskosität usw…..
  **Wir empfehlen eine deutliche Verkürzung beider Intervalle. Zudem verwenden wir für fast alle Anwendungen ein sehr hochwertiges Öl (10W60) welches wir zusammen mit einem namhaften Schmierölspezialisten entwickelt haben.**

- Verschiedene in den Motoren bis 2007 verbaute Zwischenwellen und deren Lagerungen waren nicht sehr standfest. Man verbaute Lager, die an den Flanken geschlossen waren. Motoröl konnte nicht eindringen und vorhandene Schmiermittel im Inneren der Lager waren nicht ausreichend vorhanden. Zudem waren die Haltebolzen (Schaftbolzen mit Gewinde) dieser Zwischenwellengenerationen zu schwach ausgelegt. Die Porsche AG hat das Problem im Rahmen einiger technischer Änderungen seit vielen Jahren nachhaltig gelöst. AT-Motoren werden in der heutigen Zeit nur noch mit der verstärkten Wellengeneration ausgeliefert.
  **Wir verbauen in alle Motoren mit Zwischenwellen der alten Generationen sehr spezielle und kostspielige Sonderlager in offener Ausführung. Zudem verwenden wir Spannbolzen in hochfester Qualität. Auch die Materialstärke wurde vergrößert.**

## Technische Veränderungen der Cayman S 3,4 Ltr., 3,6 Ltr. und 3,8 Ltr. Motoren im Vergleich zu den alten 3,4 Ltr. Motoren

- Die Zylinderkopfdichtungen von Bank 1 und 2 sind mit identisch großen Löchern versehen und können damit seitenverkehrt auf beiden Seiten montiert werden. Es gibt nur noch ein Bauteil für beide Seiten.

- Die Pleuel sind bei diesen Motoren kürzer und bewirken über die Funktion des Hebelgesetzes eine höhere Krafteinleitung auf die Zylinderwandungen. Last und Reibung erhöhen sich und dadurch auch die Temperaturen.

- Durch das teilweise deutlich gestiegene Drehmoment der Motoren erhöht sich die Last auf die Kolben, Pleuel und Zylinderwandung noch einmal deutlich.

- Obwohl die Bohrung von dem 2,5 Ltr. Motor bis zum 3,8 Ltr. Motor ständig vergrößert wurden, blieb es bei dem gleichen Design der Spritzöldüsen. Man unterließ es, diese so anzupassen, dass auch großvolumige Motoren noch ausreichende Zylinderschmierung erhielten.

- Das Raumvolumen rund um die Zylinder wurde nach und nach immer mehr verringert. So befindet sich bei einem 3,8er Motor weniger Kühlwasser rund um die Zylinder als bei einem kleinen thermisch nicht so stark belasteten Motor. Das ist kontraproduktiv!

- Verbreiterte Bauteile der Kurbelwelle verhindern, dass sich ausreichend genug Schleuderöl von unten in die Zylinder verteilen kann.

## Neue Projekte. Neue Kurbelwellen – Lagerschalen und Kettenschienen

**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 mit der Zeit zu dem Verständnis, welches wir heute haben. Um uns selbst zu schützen, sind wir leider noch nicht in der Lage, alle von uns gemachten, teilweise essentiellen Erkenntnisse, offen zu kommunizieren. Sicherlich erfolgt das aber zu einem späteren Zeitpunkt, sobald sich unser neues Motorreparatur-Center, welches wir in Kürze eröffnen, am Markt fest etabliert hat. Seit Januar 2014 setzten wir nur noch den neuen Typ Zylinder ein. Diese werden aus geschmiedetem Material hergestellt welches galvanisch mit NiSiC beschichtet wird.

**Kurbelwellen im Austausch / Lagerschalen mit Untermaß**

Unser Entwicklungsprojekt „Kurbelwelle M.96/7“ verlief planmäßig. Seit Dezember 2014 sind wir in der Lage aufgearbeitete Kurbelwellen mit geschliffenen, gehärteten und polierten Lagerstellen anbieten, die dann in Kombination mit unseren Untermaß-Pleuellagern sowie Übermaß-Hauptlagern geliefert werden. Da die Preise für originale Kurbelwellen sehr hoch sind, werden wir in Kürze auch nachgefertigte Neuwellen anbieten.

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

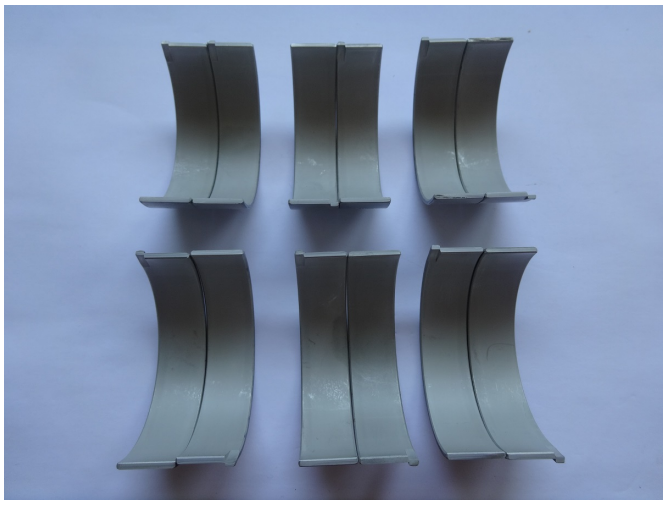


**Bild 25: Spezielle Untermaß-Lagerschalen für M96/97 Motoren**

Eine neue Kurbelwelle für einen Porsche 986/996 oder 987/997-Motor der Typen M.96 oder M.97 kostet zirka 4.300 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 wieder in Stand zu setzten, da die Kurbelwellen, seitens des vom Hersteller verwendeten Härteprozess, dafür nicht geeignet sind. Da man die Wellen nicht mit üblichen Verfahren nachbearbeiten kann, ließ Porsche auch nie Lagerschalen in Untermaß-Größen produzieren.

Im Rahmen unserer Versuche konnten wir beweisen, dass es möglich ist, beschädigte Kurbelwellen zu schleifen, neu zu härten und auf das gefordertes Endmaß zu bringen. Unser Versuchsmotor, den wir Ende 2011 aufbauten, hat inzwischen 35.000 km Laufleistung überstanden und wurde zur Kontrolle der "geschliffenen " Untermaß-Lagerstelle nach einer Laufleistung von 28.000 km zerlegt. Versuche, mit auf unsere Zwecke modifizierten Lagerschalen, welche aus einem anderen Großserienmotor stammten, waren damit zu einem positiven Ende gekommen.
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 Gehäuse 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 nämlich 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 hohen Aufwand nachbearbeiten kann.
Bei den üblichen, früher verwendeten Härteverfahren war es notwendig nach dem Anlassen (Härten) immer noch einmal zu schleifen, da sich 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 Polieren der Lagerstelle auf das Endmaß gebracht werden.
Natürlich können alle diese Arbeiten nur von darauf spezialisierten Unternehmen ausgeführt werden.

**Effektivere Ölpumpen**
Wir arbeiten seit einiger Zeit an der Erhöhung der Ölpumpenleistungen. Die ersten Versuche mit veränderten inneren Geometrien lassen hoffen. Die in einem Versuchsmotor eingebrachten zusätzlichen Spritzöldüsen zur besseren Ölversorgung der benachteiligten Zylinder der Bank 2 scheinen sich ebenfalls zu bewähren, werden aber nicht in Serie gehen, da der Aufwand und damit die Kosten für dieses Upgrade zu hoch sind.

**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.

**Neue Kolben**
Um Kosten zu sparen, haben wir den Gedanken verfolgt, mit einem anderen Kolbenhersteller eine Kooperation zu starten. Alle Versuche mit anderen „namhaften“ Kolbenherstellern brachten allerdings keine guten Ergebnisse und wurden erst einmal abgebrochen. Gleiche Erfahrungen hatten wir bereits im Bereich der luftgekühlten Motoren gemacht. Dort erwiesen sich die 3,8Ltr. Kolben/Zylindersätze einer deutschen Firma, die sich ehemals einen guten Namen im Motorradbereich gemacht hatte, als mehr oder weniger Edelschrott. Kein Kolbenhersteller wollte für das, was er produziert hatte, den Kopf hinhalten. Auch war keiner in der Lage, die Qualität der verwendeten Originalkolben zu kopieren. MAHLE ist nun einmal MAHLE und bleibt auch MAHLE. (Ein Loblied ☺) Da die Preise der Kolben sicherlich weiter steigen werden, wird es aber sicher bald eine günstige Alternative geben. Wir bleiben dran.

**Verstärkte Kettenschienen**
Nachdem sich in den letzten Jahren immer wieder fatale Motorschäden auf Grund von gebrochenen „kleinen“ Kettenschienen ereigneten, haben wir Anfang 2014 zusammen mit unserem Partner HARTECH eine verstärkte Version der Schienen aufgelegt. Dabei handelt es sich um eine Version, die aus einer besonderen Aluminiumlegierung besteht, welche eine deutlich höhere Festigkeit im Vergleich zu der gegossenen originalen Kettenschiene aufweist. Bevor unsere Kettenschiene bricht,

verbiegt sie sich bis erst einmal bis zu einem gewissen Grad; ist also elastisch. Die originale Kettenschiene ist sprödbrüchig 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 meisten der getesteten originalen Kettenschienen brechen. Dies hat einen guten Grund, da sie im Druckgussverfahren aus Aluminium hergestellt werden. Unsere verstärkten Kettenschienen bestehen aus einem „Aus-Dem-Vollen“ gefrästem Schmiedealuminium mit einer nahezu 3-fach höheren Festigkeit im Vergleich zur Serie.

**Bild 26: Gebrochene originale Kettenschiene (unten) sowie verstärkte Cartronic/Hartech Version (oben)**

Unsere Kettenschienen, die wir seit Februar 2014 fast in jeden von uns überholten Motor einbauen, unterscheiden sich zur besseren Unterscheidung auch optisch von dem Serienprodukt.
Zum einen ist das Bauteil in einem CNC-Bearbeitungszentrum entstanden und ist zudem auch noch rot eloxiert. Der Auflagepunkt an dem der Kettenspanner seine Kraft einleitet ist im Gegensatz zum Original nicht aus Kunststoff, sondern aus Stahl. Ein vorzeitiger Verschleiß, wie beim Original ist damit ausgeschlossen.

**Bild 27: Original (oben) mit verschlissenem Kunststoffknopf, Verstärkte Version (unten) mit Stahlknopf.**

**Bild 28: Verbaute Kettenschiene zwischen Kurbelwelle und Zwischenwelle**

Ein ähnliches Produkt gibt es auch von einem Anbieter in USA. Sofern es sich dabei um das gleiche hochwertige Basismaterial handelt, ein sicher vergleichbares Produkt. Sowohl wir, als auch unser Entwicklungspartner in England haben bis dato nur gute Erfahrungen mit unseren Kettenschienen gemacht. Das relativ geringe Investment von rund 255,-- Euro hilft auf jeden Fall die Möglichkeit einen desolaten Motor-Totalschaden auf Grund einer gebrochenen Kettenschiene deutlich zu minimieren, wenn nicht sogar völlig auszuschließen.

**Noch mehr Kooperationspartner**

Cartronic beliefert zurzeit (Stand Januar 2015) weltweit 16 Partnerbetriebe mit überholten Motorgehäusen, welche i.d.R. immer mit 6 neuen Zylindern versehen sind. Diese überholten, optimierten und im Zylinderbereich verstärkten Gehäuse, werden im Austausch gegen die angelieferten defekten AT-Gehäuse geliefert. Das Netzwerk soll in der Zukunft auf rund 25 Betriebe erweitert werden. Gerne beantworten wir Anfragen von Gewerbetreibenden aus dem In- und Ausland.

## Das Thema Zwischenwelle

Nahezu alle Motoren der Baureihe M96 bis Modelljahr 2005 litten zusätzlich zu den Zylinderproblemen auch noch an häufigen Ausfällen auf Grund von Ausfällen der Zwischenwellenlagerung.

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

Leider ist es nur mit erheblichem Aufwand möglich eine Lagerung zu installieren, die eine angemessene Lebensdauer von 300-400.000 Km verspricht. Die Kosten dafür sind so hoch, dass sich dies meist nicht rentiert. Allerdings gibt es verhältnismäßig kostengünstige Lagersysteme, 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 99 und teilweise auch in Motoren der Jahre 2000 und 2001 wurden Zwischenwellen verbaut die ein Doppelreihen-Lager hatten. Dies sind sozusagen 2 Lager in einem Gehäuse. Diese Motoren verfügten zudem über zwei Duplexketten zum Antrieb der Nockenwellen und ebenfalls eine Duplexkette zwischen Kurbelwelle und Zwischenwelle.

Die verwendeten und speziell für diesen Anwendungsbereich von der Firma NSK gefertigten Lager erwiesen sich als haltbar und recht langlebig. Diese verstärkten Lager basieren auf einem 3204er Lager. Leider werden diese Lager seit dem Jahr 1999 nicht mehr gefertigt. Porsche verbaute diese Lager aber noch in einer gewissen Übergangszeit.

Neuere Motoren ab Modelljahr 2002, inkl. einiger Motoren der Jahre 2001 und 2000, bis zum Modelljahr 2005 wurden mit einem normalen einreihigen Lager Typ 6204 ausgerüstet. Vermutlich lag ein gewisser Kostendruck dieser Maßnahme zugrunde. Fakt ist, dass der dynamische Tragfestigkeitswert der „alten“ Doppelreihenlager höher lagen als die der „neuen“ einreihigen Lager.

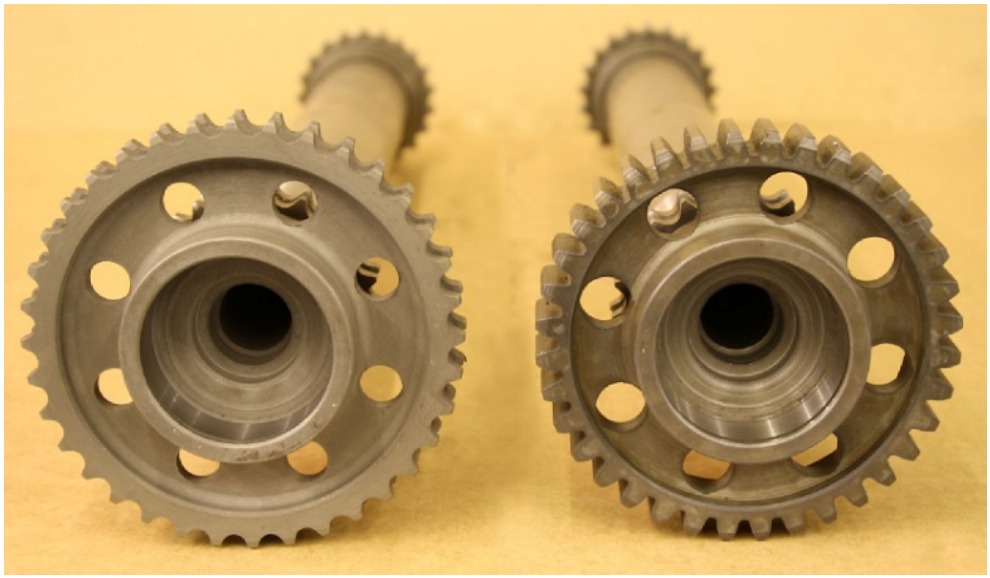


**Bild 29: Neue Zwischenwellenköpfe für die großen Originallager ab Modell 2007**

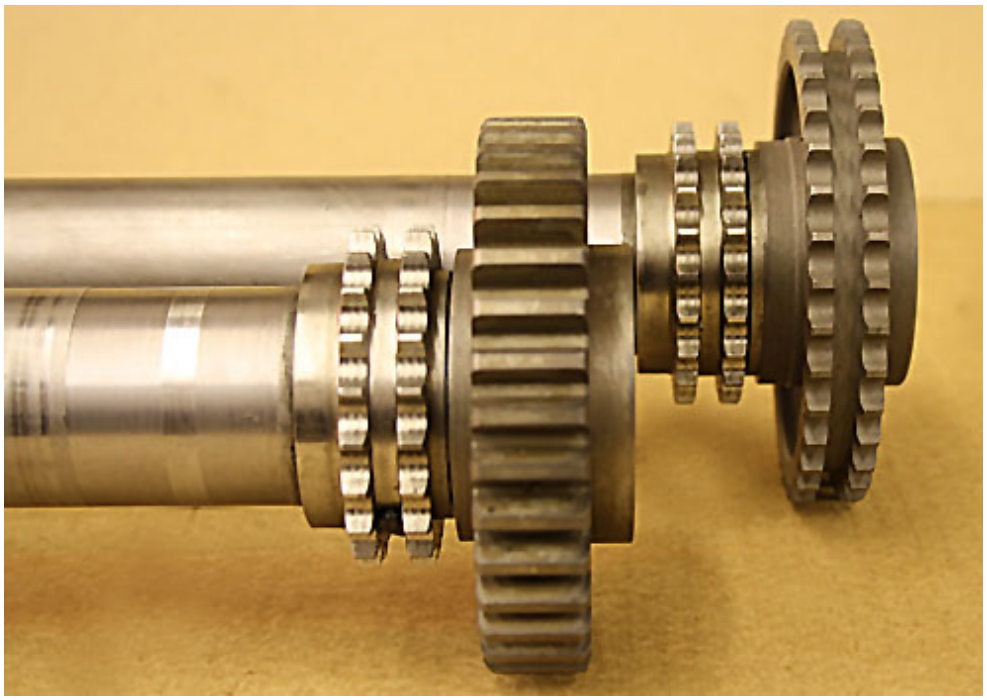


**Bild 30: Neue Wellenköpfe (alte und neue Ausführung) auf gebrauchten Wellen**

**Was wurde denn nun verbaut?**

Da Porsche in den Jahren zwischen den Generationswechseln der Lager manchmal bei jüngeren Motoren alte Lager und bei älteren Motoren schon die neue Lagerversionen verbaute, kann man auf Basis des Modelljahres nicht genau bestimmen, welcher Lagertyp nun 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 ist ein eindeutiger Hinweis auf ein zweireihiges Lager.

Zu beachten ist dabei noch, dass es zwei unterschiedliche Flansche im Hinblick auf die Abdichtung zum Motorgehäuse gibt. Die sehr frühen Flansche verfügten über einen einfachen Rundschnurring (O-Ring) welcher allerdings oft nicht in der Lage war den Motor an dieser Stelle dicht zu halten. Porsche reagierte da sehr schnell und ersetzte den Flansch, welcher ab dann 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 97-99 verbaut wurden, hatten ein 2-reihiges Lager.
- Motoren, welche original in die Modelljahre 00-01 verbaut wurden hatten entweder ein 2-reihiges oder ein 1-reihiges Lager verbaut.
- Motoren, welche original in die Modelljahre 02-05 verbaut wurden, hatten ein 1-reihiges Lager.

Einige M96 Motoren des Modelljahres 2005 bekamen allerdings 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 aber trotzdem stellt es keine große Verbesserung dar. Wir sind uns sicher, dass die Haltbarkeit sich nur geringfügig verlängern wird. Leider sind es immer noch einfache einreihige Kugellagern des Typs 6305 mit nur 8 Kugeln welche eine nur minimal höhere Tragfähigkeit als die kleineren 6204er Lager aufweisen. Und leider sind es wieder nur Lager, welche im Neuzustand über eine Fettfüllung und zwei Kunststofflagerdeckel verfügen.

Bei dem auf Bild 28 abgebildeten 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 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 auf keinen Fall von einer ausreichenden Schmierung sprechen. Wir verwenden ausschließlich sehr spezielle Lager, welche nicht radiale Kräfte, sondern auch axiale Kräfte vertragen und welche eine um rund 30% höherer Tragfähigkeit haben. Diese Lager sind um Faktor 90 teurer als die von Porsche verwendeten Lager.

**Bild 31: Originallager aus Zwischenwelle eines M97/X51 Motors. Lagerdeckel wurde entfernt. Nach 45.000 Km Laufleistung keine Fettfüllung mehr vorhanden. Zwar noch keine Späne, aber dafür nur eine geringe Mengen Motoröl. Ein potenzielles Problemlager!**

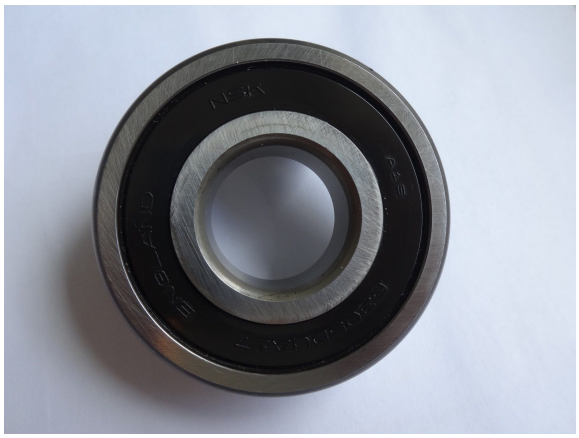


**Bild 32: Zwischenwellenlager original, mit Lagerdeckel beidseitig und Fettfüllung**

**Bild 33: Zwischenwellenlager original - 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 genau bekannt. Es mögen, wie bereits erwähnt, die Kosten 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 Stabilität aufwies wie die in den ersten Jahren verbauten zweireihigen Lager.

Die zuletzt verbauten Lager kann man auf Grund des vergrößerten Durchmessers allerdings nicht mehr wechseln ohne den Motor komplett zu zerlegen da der Außendurchmesser des Lagers größer als der Durchbruch (die Bohrung) im Kurbelgehäuse ist.

Halten wir auch hier etwas fest:

- Die stabilsten Lager waren die zweireihigen Lager der Modelljahre 1997-2000.
- Die fragilsten Lager sind die einreihigen Lager der Modelljahre 2000-2005 (bzw. 2006)
- Die großen Lager in den M.97 Motoren, inkl. einige davon in M.96 Motoren verbaute, weisen eine zu den zweireihigen Lagern vergleichbare Festigkeit auf.

**Bild 34 und 35: Defektes 996 Zwischenwellenlager mit Spänen (links - nach Ausbau, rechts - entfernter Deckel mit erkennbaren Metallflitter aus dem Inneren des Lagers)**

**Kann man Schäden vermeiden?**

Es ist nicht möglich Schäden zu vermeiden, solange man die vom Hersteller verbauten Lager im Motor belässt. Tut man das, hilft nur Gottvertrauen. Allerdings kann man die Anzahl der Schadensfälle vermindern, indem man konsequent alle 8000 Km Laufleistung, bzw. alle 6 Monate einen Öl- und Filterwechsel vornehmen lässt.

Weiterhin ist es wichtig ein Öl einzufüllen, welches den Druck- und Temperaturverhältnissen in einem M.96 oder M.97 gerecht wird. Unsere Empfehlung lautet:

- Niemals Öle mit einer Viskositätsangabe 0-5-10W/30 verwenden
- Nur in Notfällen 0W/40 Öle verwenden
- Eine durchweg gute Wahl sind 10W/40 Öle
- Das ultimative Öl für hochbelastete X51-Motoren oder Motoren im Sporteinsatz wäre ein 10W/60er Öl.

Natürlich kostet ein 10W/60 Öl deutlich mehr als ein 0W/30 Öl. Damit sollte man allerdings leben können.

Auch für die Lebensdauer der Zwischenwellenlagerung gilt, dass man untertourige Drehzahlen vermeiden sollte, da sich dabei nur eine ungenügende Verteilung des Schmierstoffes ergibt.

Natürlich ist es sehr wichtig, den Motor vollständig warm zu fahren, bevor man ihn belastet. Bitte daran denken, dass die Temperaturanzeige i.d.R. eine rund 10-12°C niedrigere Temperatur anzeigt als sie tatsächlich ist.

Alle Zwischenwellenlagerungen, die nicht bereits auf den Stand der Version M.97 umgebaut wurden oder ab Werk im Motor verbaut wurden, kann man mit diesen Verhaltensregeln, Ölempfehlungen bzw. Ölwechselintervallen zu einem längeren Leben verhelfen.

Um die Sicherheit um ein Vielfaches zu erhöhen, sollte man aber besser ein Zwischenwellen Upgrade-Kit verbauen lassen, welcher immer über ein verbessertes Lager mit deutlich höherer Tragfähigkeit verfügt.

M.97 Wellenlager, welche bereits in manchen der letzten M.96 Motoren, in allen 987 und 997 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. Kommt es nämlich dazu, dass der Lagerdeckel porös oder undicht wird und das wenige eindringende Öl das Lagerfett auswäscht, käme es auch bei diesen Lagern schnell zu einem Totalausfall.

**Optimierung der Lagerung**

Natürlich verfügen die von uns verbauten Speziallager über keine Dichtungen und sind damit offene Lager ohne Permanentschmierstoff. Unsere sehr hochwertigen Präzisionslager verfügen über eine deutlich höhere Traglast und einen völlig anderen Konstruktionsaufbau als die von Porsche verwendeten Lager.

Als besonders stabil haben sich Hybridlager gezeigt. Diese Lager verfügen anstelle der üblichen bei einem Kugellager verwendeten Stahlkugeln über Kugeln aus äußerst resistenter Keramik. Die Kosten sind allerdings sehr hoch. Der Einkaufspreis unserer Spezial-Vollmetall-Lager liegen im Vergleich zu den vom Fahrzeughersteller verwendeten Lagern bei knapp Faktor 15. Das Hybridlager bei Faktor 40.

Bei allen von uns revidierten, bzw. optimierten Motoren konnten wir keine erneuten Lagerschäden feststellen. Wir empfehlen aber trotzdem auch für die verbesserten Vollmetalllager einen Lagerwechsel nach spätestens 80.000 Km. Bei den Hybridlagern nach 120.000 Km. 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 entsprechende Hybridlager in diese Wellen verbauen, bzw. verbauen lassen.

In alle „alten“ Zwischenwellen mit Doppellager, verbauen wir zwei spezielle einreihige Speziallager (Lagerpaket). Jedes Einzelne verfügt über eine deutlich höhere Tragfestigkeit als die alten Doppellager. Diese Lager verbauen wir auch in alle Wellen welche original mit dem einreihigen 6204er Lager versehen waren. In die neuen Wellen welche ab Werk mit dem vergrößerten Lager ausgestattet waren, verbauen wir entweder die Speziallager oder die sehr kostspieligen Hybridlager.

Idealerweise wechselt man die Lager immer im Rahmen eines Kupplungswechsels. In diesem Falle zahlt man bei uns nur die Materialkosten und einen geringen Arbeitslohn von 80 Euro.

Wir sind uns recht sicher, dass es nicht zu der Häufigkeit an Ausfällen gekommen wäre, wenn man sich seitens des Herstellers nur dafür entschieden hätte, offene Lager (ohne Fettfüllung) zu verwenden.

**Warum immer das „hintere“ Lager?**

Viele Kunden wundern sich darüber, dass immer nur das hintere Lager nahe der Schwungscheibe betroffen ist. Warum das so ist, ist leicht zu beantworten. Das vordere Lager (im Bereich der Riemenscheibe) ist kein Wälzlager, sondern ein Gleitlager mit Druckölschmierung der Lagerflächen. Dieser Lagertyp wurde über Jahrzehnte in allen luftgekühlten Motoren verbaut und hat sich bestens bewährt. In einem Druckölgeschmierten 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 dünnen Ölfilm.

Wo keine mechanische Reibung ist, kann auch nichts fressen. Das hintere Lager (im Bereich der Schwungscheibe) ist ein Kugellager welches je nach Größe über eine gewisse Anzahl an Kugeln verfügt. Natürlich hat man in einem Kugellager immer mechanischen Kontakt zwischen den Kugeln sowie der inneren und äußeren Lagerteile. Es gibt offene und geschlossene Lager. Offene Lager werden von dem Öl geschmiert mit dem sie in Berührung kommen. Ist an der Lagerstelle gar kein oder zu wenig Öl verwendet man geschlossene Lager. Diese verfügen über eine Fettfüllung, welche durch zwei Lagerdeckel vor dem Austreten bewahrt wird. 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. Kunststoffkäfige an dieser Stelle sind nicht die ideale Wahl, da die Temperaturen im Motor dafür zu hoch sind.

Leider hat sich Porsche für geschlossene Lager mit Kunststoffabdichtung entschieden. Ein folgenschwerer Fehler – wie man nun weiß. Die Lagerdichtungen werden mit der Zeit brüchig, fallen heraus oder werden undicht. Die Fettfüllung in solch einem Lager entweicht dann mit der Zeit, da sie vom Motoröl ausgewaschen wird. Da aber zu wenig frisches Motoröl in die Lager gelangt, versagen diese dann relativ schnell.

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 und stellt eine technische Meisterleistung dar. Unsere verbauten Hybridlagersätze sind ebenfalls recht kostspielig aber natürlich sehr empfehlenswert. Aber auch die von uns primär verwendeten Stahl-Speziallager sind deutlich haltbarer als die Serienlager und dabei auch noch bezahlbar.

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 Bilder, welche den Unterschied der von Porsche verwendeten Spannbolzen und den von Cartronic zeigt. Dass es zu Ermüdungsbrüchen bei den vom Hersteller verwendeten Bolzen kommen muss, liegt auf der Hand. Man findet zwei Schwachstellen. Einmal den völlig unnötigen Hinterschnitt unterhalb des Gewindes und dann noch die eingedrehte Nut für den Dichtring. Man kann diese Stellen als Solbruchstellen klassifizieren. Cartronic hat die Bolzen neu konstruiert. Dieses Problem gehört damit auch der Vergangenheit an.

**Bild 36: Zu schwach ausgelegter 10 mm Serien-Spannbolzen aller Zwischenwellenlager von 1996-2006 / Gewinde M8**

**Bild 37: Verstärkte Version von Cartronic / 10mm mit Gewinde M10 vs. Serie/ 10 mm mit Gewinde M8 und 6,3 mm Materialstärke an schwächster Stelle**

### Zukünftige Lagerschäden zeichnen sich meist frühzeitig ab

Hält man sich daran, die Ölwechselintervalle zu verkürzen, ist man meist in der Lage einem Totalausfall aus dem Wege zu gehen. Im Rahmen eines Ölwechsels soll natürlich auch immer der Ölfilter ersetzt werden. Den alten Ölfiltereinsatz nie achtlos entsorgen, sondern alle Filterlamellen vorher akribisch genau auf mögliche feste Rückstände kontrollieren.

Sich anbahnende Zwischenwellen-Lagerschäden zeigen sich in Form von entweder schwarzen Kunststoffflocken oder silbern glänzenden metallischen Rückständen ab. Beides stammt von einem sich in Wohlgefallen auflösenden Zwischenwellenlager. Kunststoffpartikel stammen von den Kunststoffdichtungen (Fettdeckeln) des Zwischenwellenlagers. Diese Lagerteile werden im Motor zwischen den Ketten und Kettenrädern aufgerieben, bzw. zermalmt und finden sich dann im Filter wieder. Die metallischen und immer magnetischen Rückstände stammen vom Lager selbst. Findet man allerdings kupfer- oder messingfarbene „Späne“, hat der Motor sicher einen Lagerschaden.

Findet man solche Kunststoffpartikel oder silberne, metallische Rückstände im Filter, ist es unbedingt notwendig, die Zwischenwellenlagerung zu ersetzten. Findet man andersartige Rückstände, sollte

man sofort den Motor zerlegen um sich ein besseres Bild über den Schaden zu machen. Auf keinen Fall sollte man weiter fahren.

Eine sehr gute Idee ist auch, die Installation einer Ölablass-Schraube, welche mit einem kleinen Neodym-Magneten versehen ist. Dieser zieht jegliche magnetische Partikel an, die sich im Ölkreislauf befinden. Wir verbauen diese speziellen und preislich günstigen magnetischen Ablass-Schrauben ausnahmslos in jedem „gemachten“ Motor und in fast allen Fällen im Rahmen von Inspektionen und Ölwechseln.

Es macht also Sinn den Zustand der Zwischenwellenlagerung im Auge zu behalten, weil es im Falle eines Totalausfalls garantiert teuer wird, da der Motor komplett zerlegt werden muss. Zudem kommt es sehr häufig auch zu Folgeschäden im Zylinderkopfbereich auf Grund von sich plötzlich verändernden Steuerzeiten. Ganz abgesehen von der völligen „Verseuchung“ aller Motorkomponenten die sich im Ölkreislauf befinden, mit metallischen Partikeln. Dazu zählt jede Ölleitung, Ölpumpen und auch der Ölkühler. Die „Nebenkosten“ in solch einem Fall sind nicht gerade unerheblich.

## Die unterschiedlichen Zwischenwellen-Kits

**Bild 38: Der aufwändige Cartronic Doppellager-Kit Typ M.96/DB für Zwischenwelle M.96 (bis MJ 2000 ). Das „Lagerpaket“ wird durch eine Überwurfmutter gesichert. Das Wellenende verfügt über ein Außengewinde, die Ritzel sind nachträglich verstiftet und der Lagerdeckel wurde modifiziert. Der Lagersitz wurde nachgearbeitet. Diese Arbeiten sind nur im Hause Cartronic möglich.**

**Bild 39: Cartronic Zwischenwellenlager-Kit einreihig (links) vs. Serie M.96 (ab MJ 2001-2006)**

**Bild 40: Cartronic Zwischenwellenlager-Kit "großes Lager" ab MJ 2007. Der massive Spannbolzen wird weiterverwendet. Links das Serienlager (geschlossen), Rechts das verstärkte und offene Speziallager mit Messingkäfig.**

## Verdrehte Kettenräder

Ebenfalls häufig beobachtet, und Ursache für Motorschäden sind sich auf den Wellen drehende Kettenräder. Dies sollte natürlich 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 zu Ventilabrissen mit begleitenden Motortotalschäden kommen. Die Ursache ist eine mangelhafte Verpressung (Schrumpfung) der Kettenräder auf den Wellen. Damit wir die Ursache wirklich verstehen konnten, haben wir einige Wellen in ihre Bestandteile zerlegt und dabei festgestellt, dass die Flächenpressung zwischen Kettenrad und Wellenrohr teilweise nur 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 haben dieses potenzielle Problem ausgeschaltet, indem wir bei allen Zwischenwellen, welche wir seitens der Lagerung optimieren, die verdrehgefährdeten Kettenräder mit jeweils 3 Gewindestiften sichern.

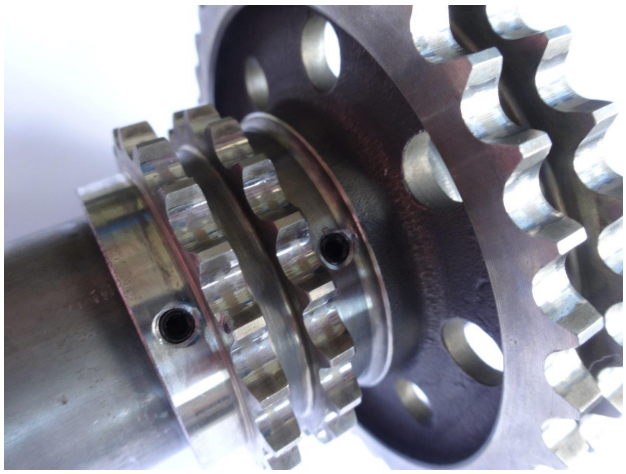


**Bild 39: Zusätzliche Verstiftung der Kettenräder. Die ultimative Verdrehsicherung. „by Cartronic“**

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

Sehr selten kommt es bei den Motoren, welche mit den Zwischenwellen der ersten Generation bestückt waren, zu kapitalen Motorschäden, weil der Ölpumpenantriebszapfen den Kontakt zur Ölpumpe verloren hat.

Die Ölpumpe wird von der Zwischenwelle angetrieben. Dafür befindet sich zwischen 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 sind).

Leider kann es in seltenen Fällen dazu kommen, das sich diese verpressten Deckel lösen und abfallen. Der lose Antriebszapfen zwischen Welle und Pumpenritzel rutscht dann durch und fällt ebenfalls und sicher nach recht kurzer Zeit in das Innere der Zwischenwelle. Geschieht dies, bleibt die Ölpumpe stehen und alle Lagerstellen des Motors werden nicht mehr mit Öl versorgt. Es kommt unmittelbar danach zu einem kapitalen Motorschaden.

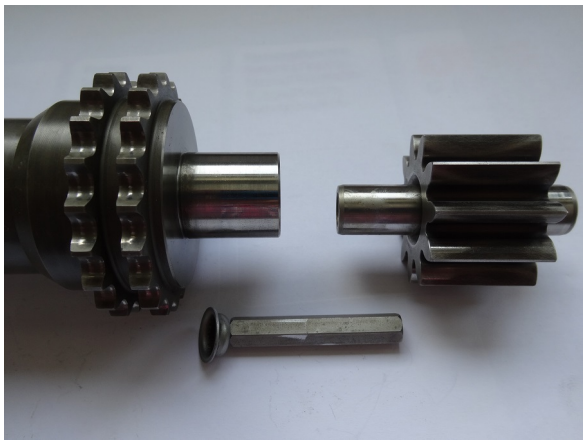


**Bild 42: Zwischenwelle Links- Anschlagdeckel und Zapfen Mitte - Ölpumpenrad rechts**

**Bild 43: Der Anschlagdeckel und der Antriebszapfen im Detail**

Die Konstrukteure bei Porsche 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 anlag.

Dieses Bauteil kann definitiv nicht mehr seine Position verändern und hindert den Antriebszapfen nachhaltig daran "verloren" zu gehen.

Sobald wir eine Zwischenwelle dieser Bauart aus einem Motor bergen, verbauen wir einen speziellen Antriebszapfen, der nicht durchrutschen kann. Im Juli 2014 fanden wir einen dieser kleinen Deckel im Inneren einer Zwischenwelle eines 3,4 Ltr. Motors unseres Schweizer Exklusivpartners. Hätten wir den losen Deckel nicht entdeckt, wäre dieser, an sich unbeschädigte Motor, ganz sicher innerhalb der nächsten Minuten im Betrieb an einem kapitalen Lagerschaden "gestorben".

## Erfolgreiches Entwicklungsprojekt

Von besonderem Erfolg war das inzwischen abgeschlossene Projekt mit der internen Bezeichnung „Kolbenring M.96/7“ gekrönt. Zusammen mit der namhaftesten und in unseren Augen kompetentesten Herstellerfirma für Kolbenringe, der Firma Götze in Burscheid (ein Federal Mogul Unternehmen) waren wir in der Lage, Kolbenringsätze aufzulegen, die den technisch modernsten Stand wiederspiegeln und sehr ähnlich den originalen Ringen sind. Die Fachleute unter den Lesern wissen, dass Götze seit vielen Jahrzehnten Lieferant der Porsche AG ist. Götze Ringe befinden sich in

nahezu jedem Porsche Motor. Einige auch in den hier abgehandelten M.96 und M.97 Motoren. Aber leider auch Ringe anderer Hersteller aus Fernost. Einige Motoren, spezielle 3,8er waren auf den ersten beiden Positionen mit Goetze-Ringen bestückt. Der Ölabstreifring schien von einem japanischen Hersteller zu sein.
Cartronic verwendet seit Sommer 2013 nur noch Götze Ringe auf allen 3 Positionen. Besonders zu bemerken ist, dass es sich dabei nicht um die Normform-Ringe handelt, die man recht günstig über den Autoteilezubehörmarkt bekommen kann. Unsere Ringsätze verfügen zurzeit alle über einen 3-teiligen Ölabstreifring. Da es gerade bei Boxermotoren sehr wichtig ist, dass der 3. Ring gut funktioniert, beschäftigen wir uns im Moment damit, den Ölabstreifring gegen einen speziellen 2-teiligen Ring zu ersetzen. Nach unseren Berechnungen ist dieser Ring bei Zylindern, die bereits eine gewisse Ovalität haben, besser geeignet, weil er über eine höhere Elastizität verfügt. Diese hochwertigen aber auch kostspieligen Ringe passen sich besser den Zylinderkonturen an und würden von uns in allen Motoren Verwendung finden, die wir im Re-Rounding Verfahren reparieren. Bei den Ringen handelt es sich um eine Neuentwicklung, welche den Ölverbrauch senkt und weniger Reibung erzeugt. Der Engländer würde sagen: „The leading edge in piston-rings“!
GOETZE ist nun einmal GOETZE und bleibt GOETZE (Noch ein Loblied ☺)
Manche Mitbewerber brüsten sich bis zum heutigen Tag noch mit der Verwendung von im Zubehör erhältlichen Ringsätzen, ohne zu wissen, dass diese nur bedingt geeignet sind.

## Die heutigen Möglichkeiten sind teilweise einzigartig! - Das Re-Rounding.

Anfangs, als die Motorgehäuse bei Porsche noch zu erschwinglichen Preisen zu erstehen waren, verbauten wir diese ohne jegliche Modifikationen. Auch heute noch kann es notwendig sein, ein neues Gehäuse zu erstehen, wenn es so stark beschädigt wurde, dass eine Reparatur nicht möglich ist.
In diesen Fällen gehen wir allerdings hin und optimieren diese Werksgehäuse entsprechend unserer Vorstellung im Bereich der Wasserkanäle. Genauso montieren wir nur noch das Spezialthermostat.
Nach eingehender Beratung unserer Kunden können diese natürlich selbst entscheiden, welche Art der Reparatur sie bevorzugen oder sich leisten können. Kolbenfresser finden wir in fast allen Fällen nur auf den Zylindern der Bank 2. Primär dort in der Lauffläche von Zylinder 6. Ovalitäten findet man aber auch auf Bank 1. Nach dem Vermessen der Zylinder sprechen wir dann eine Empfehlung aus was zu tun ist. Dabei hat der Kunde die Freiheit zu entscheiden, was gemacht werden soll. Allerdings ist es so, dass für den Fall, dass ein dringend empfohlenes Re-Rounding (Verrunden) und dem damit verbunden Aufbringen von Verstärkungsringen abgelehnt wird, auch keine Garantien für diese Seite des Motors gegeben werden können.
Das Verrunden ist ein von uns in Zusammenarbeit mit einem unserer Partner entwickeltes thermisch/mechanisches Verfahren und verwandelt eine oder beide Zylinderbänke in welche mit geschlossenem Dach. Diese Verstärkung am oberen Ende der Zylinder bewirken echte Wunder. Der Block verwandelt sich dadurch ebenfalls zu einer stabileren Closed-Deck Version.

**Bild 44: Unsere Verstärkungsringe, sichtbar und lose liegend am oberen Ende der Zylinder vor der Montage. Später befinden sich die Ringe direkt unter der Kopfdichtung und erzeugen einen Closed-Deck Motor.**

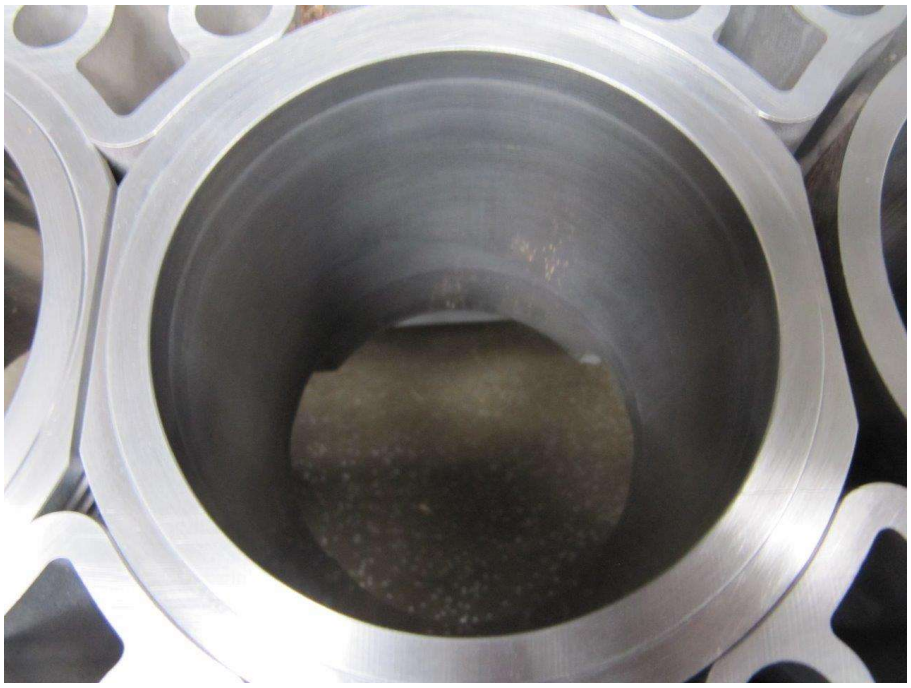


**Bild 45: Ehemaliger ovaler original Zylinder nach Re-Rounding mit Verstärkungsring (Closed Deck)**

Wir haben zu Beginn des Jahres 2013 dieses Verrunden ovaler Zylindern als Dienstleistung verschiedenen Fachfirmen die sich mit Motorreparaturen beschäftigen angeboten. Für uns damals nicht zu verstehen, dass anfänglich nicht eine Firma daran Interesse zeigte. Man war sich der Vorteile anscheinend nicht bewusst. Heute hat sich die Situation da schon geändert.

## Was kann man tun? - Was sollte man tun?

Sicherlich sind viele Besitzer von den hier als kritisch und mit Problemen belasteten Fahrzeugen nun verängstig oder auch frustriert. Viele haben sich vielleicht gerade einen 997 mit einem 3,8 Ltr. Motor gekauft, der auch noch 100.000 Km oder mehr gelaufen hat und über den ersten Motor verfügt.
Richtig ist, sich auf jeden Fall Sorgen zu machen, da mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Motorschaden ansteht. Man hat natürlich wie immer die freie Auswahl. Entweder man verkauft den Wagen wieder, oder beobachtet aufmerksam und wartet auf den Motorschaden, um diesen dann in einer frühen Phase zu reparieren. Oder man lässt sich den Motor bei uns oder in einer anderen fachkundigen Werkstatt optimieren, so dass ein Schaden wahrscheinlich nie mehr auftritt.
Wir sind jederzeit in der Lage, einen noch laufenden Motor mit folgenden Bauteilen bzw. mechanischen Maßnahmen zu optimieren:

- Einbau eines speziellen „kühleren“ Thermostaten
- Modifikation des Wasserkreises im Inneren des Motors zu Gunsten der Zylinderkühlung
- Verrunden von oval gewordenen Zylindern i.V.m. dem Anbringen von Verstärkungsringen
- Veränderung der Ansteuerung der Ventilatoren an den Wasserkühlern
- Befüllung mit neuem Kühlmittel
- Befüllung mit speziellem 10W/60 Öl von z.B. Cartronic Motorsport Ing. GmbH
- Einbau einer verstärkten Zwischenwellenlagerung bei Motoren bis Baujahr 2007

**Bild 46: NISIC Zylinder verschiedener Bohrungen**

**Bild 47: Gegossener (alte Version) und bearbeiteter NiSiC Aluminiumzylinder von Cartronic**

**Bild 48: Zylinderrohling links und einbaufertiger mit NiSiC beschichteter Zylinder rechts**

**Bild 49: Von Cartronic eingebauter, fertig gehonter 3,8er Zylinder für einen 997 X51-Motor. Stabil, gut geführt, geschmiedet, NiSiC beschichtet. Gebaut für eine lange Lebensdauer.**

**Bild 50: In das Gehäuse eingeschrumpfter, geschmiedeter und NiSiC-beschichteter Zylinder. (Ansicht von unten) Zylinder der Generation 2 sind 5,5mm länger.**

**Bild 51: Eingepresster Schmiede-Zylinder der Generation 1. Nur 1,5 mm vom originalen Zylindermaterial verbleiben zur sicheren Führung und Aufnahme des neuen Zylinders.**

Für Motoren, die bereits einen Schaden haben und auf Grund von Kolbenfressern repariert und überholt werden müssen, haben wir neben den oben genannten, folgende, weitere Maßnahmen parat:

- Einbau von neuen, sehr stabilen und NiSiC-beschichteten Zylindern aus geschmiedetem hochfestem Aluminium.
- Eine Kombination aus neuen Zylindern auf der Bank 2 und Verrunden und Verstärken der Zylinder auf Bank 1.

Durch den Einbau von neuen deutlich stabileren Zylindern in die Gehäuse ist es möglich, die Bohrung auf exakt das Maß eines neuen Werksmotors zu bearbeiten. Damit kann man weiterhin die originalen Kolben von Porsche benutzen. Viele sogenannte Fachfirmen begehen den eklatanten Fehler und bohren die gefressenen Zylinder einfach auf ein Übermaß auf und setzten speziell angefertigte Kolben ein. Diese Art der Reparatur schwächt den Motor natürlich noch mehr, da die Wandstärke der ehemals beschädigten Zylinder noch geringer wird. Ein neuerlicher Motorschaden genau an den aufwändig reparierten Zylindern wird nicht vermeidbar sein. Die Firmen waschen ihre Hände natürlich in Unschuld, da diese Schäden meist erst nach dem Ablauf der Garantiezeit eintreten oder nachdem die Fahrzeuge bereits längst weiter verkauft wurden.

Einige Kritiker unserer Methode sind der Ansicht, dass eine Veränderung der Kühlwasserverteilung im Inneren des Motors dazu führt, dass die Köpfe thermisch zu stark belastet werden. Die Gedankengänge sind nachvollziehbar und man muss, um auf diese Idee zu kommen, nicht unbedingt studiert haben. Da ja weniger Kühlwasser zu den Köpfen gelangt und mehr in die Zylinder geleitet wird, ergibt sich diese Mehrbelastung der Köpfe zwingend. Warum wir das aber trotzdem so machen hat den Hintergrund, dass wir die Situation lange „studiert“ haben und uns sicher sind, dass die Zylinderköpfe, nach dem Neudesign von Porsche, keine Probleme mehr machen und deshalb

problemlos etwas mehr Temperatur vertragen können. Um aber überhaupt kein Risiko einzugehen und um uns auch später nicht in die Verpflichtung nehmen zu lassen, haben wir damals entschieden neue Spezialthermostate zu verwenden die früher öffnen und damit sogar die Köpfe kühler laufen lassen.

Letztendlich gibt es also keinen Grund sich zu ängstigen. Die Motoren werden durch diese Maßnahmen standfester als sie es jemals waren. Die Zylindertemperaturen liegen bei revidierten 3,8er Motoren nun unter denen der ehemaligen problemlosen Motoren, die noch mit zwei unterschiedlichen und an die technischen Gegebenheiten angepassten Kopfdichtungen betrieben wurden. Wir sind sicher, dass man den Temperaturhaushalt in den von uns veränderten und reparierten Motoren als anzustrebenden Referenzwert ansehen kann.

Fakt ist, dass die Reparaturkosten, die wir für einen Motorblock mit 6 neuen Zylindern und den begleitenden Modifikationen und dem neuen Thermostat in Rechnung stellen, deutlich günstiger im Vergleich zu dem Erwerb eines neuen Motorgehäuses bei Porsche sind.
Unsere Kunden zahlen also weniger und bekommen sogar noch einen deutlich standfesteren Motor zurück.
Erstaunlich und für uns nicht leicht zu verstehen ist die Tatsache, dass wir von den meisten von uns angesprochenen unabhängigen Firmen, die Porschemotoren reparieren bzw. überholen nicht die Rückmeldungen bekommen haben, die wir erhofft haben. Die meisten möchten 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. Und der andere spart sich sogar die Übermaßkolben und beschichtet lieber die originalen, bereits beschädigten Kolben an den Kolbenhemden mit einer dicken Gleitschicht.
Wir sehen uns mit einem Verhalten, ähnlich wie in der Schulmedizin konfrontiert. Symptombehandlung steht an erster Stelle. Ursachenbehebung interessiert keinen. Es sieht so aus, als wenn die handwerkliche Branche der „Motoren-Überholer“ tatsächlich langsam an Moral verliert.
Die Zeiten werden halt immer schwerer und viele haben anscheinend nur noch das schnelle Geld im Sinn. Immer wieder hören wir, dass die Kunden nicht bereit sind „so viel“ zu bezahlen. Man wäre sozusagen gezwungen, Billigreparaturen anzubieten.
Wir bei Cartronic sind nicht damit zufrieden, irgendwelche Notlösungen an den Mann zu bringen, sondern werden nur erstklassig ausgeführte Arbeit abliefern. Und wer nicht bereit ist für eine komplette Reparatur eines 3,8er X51 Motors inkl. aller Montagen und technischen Verbesserungen die Hälfte von den Kosten zu zahlen, die es bei Porsche kosten würde, der ist bei uns fehl am Platze.

## Verlängerte Zylinder verhindern das Kolbenkippen im UT

Seit Herbst 2016 verbauen wir nur noch nach unten hin um 5,5 mm verlängerte Zylinder.
Wir haben uns dazu entschieden, um die Kolben weiter zu entlasten, die im unteren Totpunkt (UT) einige Millimeter aus dem Zylinder herausschauen. Immer wenn sich die Kolben dann im nächsten Takt nach oben bewegen, kippen sie leicht im Zylinder, wechseln die Anlageseite und legen sich mit der gegenüberliegenden Seite des Kolbenhemdes an die Kante der Zylinderwandung an.

Am seitlichen Verschleiß der Kolbenhemden kann man den Überstand gut erkennen. An dem nachfolgend abgebildeten Kolben eines 3,4 ltr. Motors, der bei diesen Motoren nicht mit einer Beschichtung versehen war, sieht man sehr deutlich, ab und auf welchem Bereich der Kolbenhemdfläche ein materialverdichtender Kontakt zu der Zylinderlaufbahn stattgefunden hat.

Dieser Bereich beginnt zirka 5 mm oberhalb des unteren Endes jedes Kolbens und ist 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.

**Bild 52: Kolben eines 3,4 ltr. Motors bei welchem die verschlissenen Kontaktflächen zu der Zylinderwandung markiert wurden. Das Kolbenhemd hat nur partiell getragen. Der Kontaktbereich (dunkler Bereich) beginnt erst 6 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 beschichteten Kolben von 3,6er oder 3,8er Motoren beginnen die Beschichtungsablösungen fast immer einige Millimeter oberhalb der Unterkante der Kolbenhemden.
Die Kolben sind nicht dafür verantwortlich, aber die Zylinder.

Das nächste Bild zeigt eine Blockhälfte an der man sehr gut erkennen kann wie lang die Zylinder im Werksmotor sind, wenn man Bild 53 mit Bild 54 vergleicht.
Es handelt sich um den gleichen Motor. Bild 53 zeigt den Zustand vor dem Einbau von neuen Zylindern durch uns. Bild 54 zeigt den Motor mit neuen, diesmal aber sogar verlängerten Zylindern.

**Bild 53: Originalmotor mit kurzen Zylindern. Die Aussparungen in den Zylindern zur Montage der Kolbenbolzen sind nach unten hin offen.**

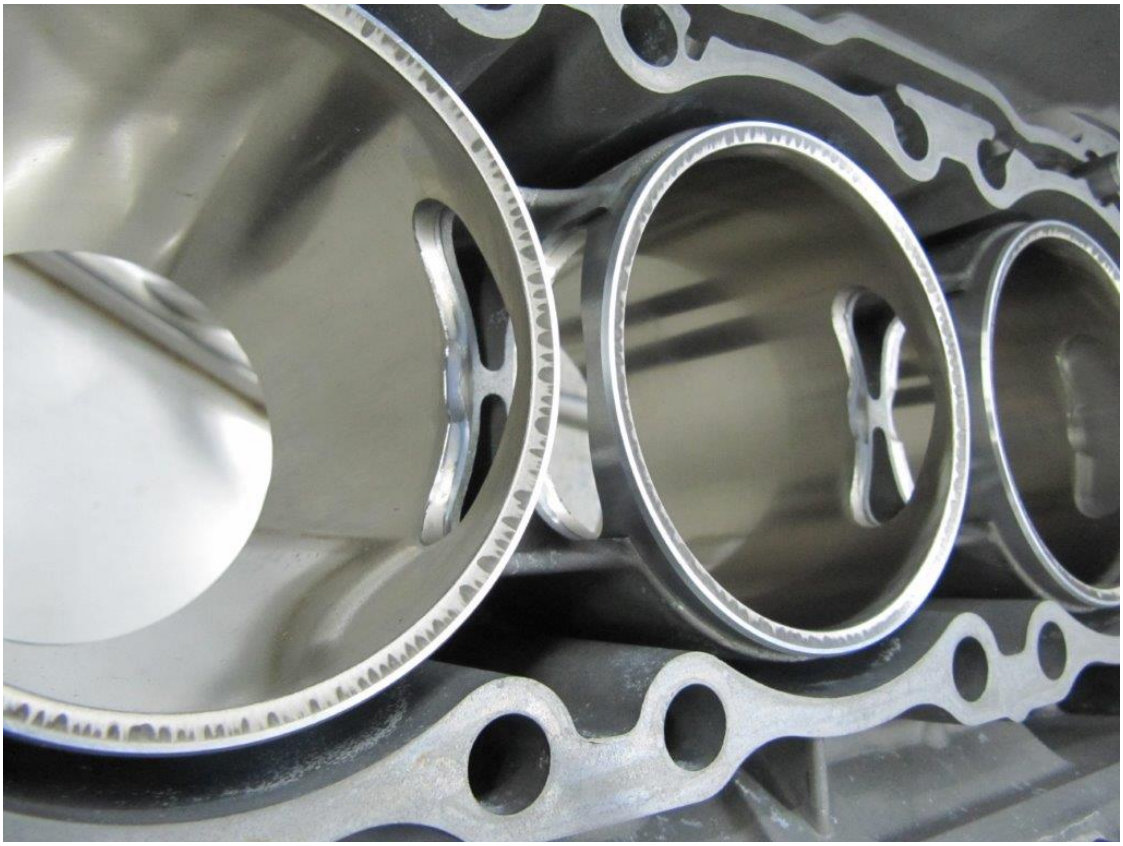


**Bild 54: Motor aus Bild 53 mit verlängerten Generation 2 Zylindern, die Kolbenkipper im UT verhindern. Klar erkennbar ist der Überstand über die sichtbare, ehemalige Unterkante der Originalzylinder. Die Aussparungen in den Zylindern zur Montage der Kolbenbolzen sind nun geschlossen und wurden dadurch zu Öffnungen. Ein Vergleich mit Bild 50 bietet sich an.**

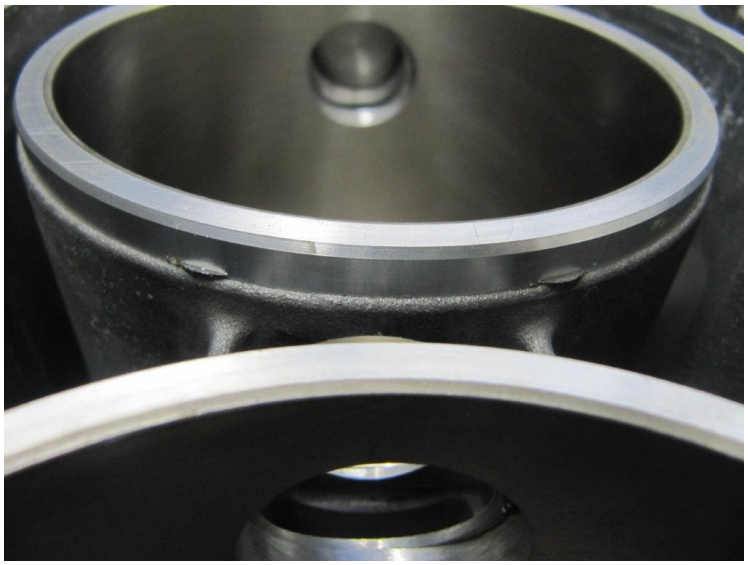


**Bild 55 Eine vergleichbare Situation ergibt sich bei einem 3,4 ltr. Motor. Sichtbar sind die von uns eingebrachten, verlängerten aus geschmiedeten und mit NiSiC (Nickel/Silizium) galvanisch beschichteten Aluminiumzylinder der Generation 2.**

Um den frühzeitigen und unnötigen Verschleiß der Kolbenhemden zu begegnen und um die Lebensdauer der von uns überholten Motoren noch einmal zu verlängern haben wir uns zu der Maßnahme entschlossen ausschließlich nur noch die verlängerte Version der Zylinder zu verbauen.
Dies hebt uns nun noch deutlicher von den Mitbewerbern ab, denn diese sehr sinnvolle Optimierung ist nur mit dem Verbau von komplett neuen Zylindern dieser Bauart möglich.
Firmen, die sich mit der kostengünstigen Reparaturmethode beschäftigen, Eisenbüchsen in die originalen Zylinder einzuschrumpfen sind dazu natürlich nicht in der Lage. Auch die, die eine neue Beschichtung auf ehemals beschädigte Laufflächen aufbringen, können diese Verbesserung nicht integrieren.

## Kaltstart-Qualmen

Einige gebrauchte, neue und überholte Motoren haben die Eigenart, dass sie 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 laufen 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 auch häufig bei neuen Motoren. Die Kolben haben innen 2 Löcher, 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 dann beim Neustart irgendwann verbrannt.
Auch kann es zu einer „Ölfahne“ kommen, wenn sich die Ventilschaftdichtungen in einem schlechten Zustand befinden. In dem Falle läuft Öl entlang des Ventils in den Brennraum und wird dort dann verbrannt.
Eine weitere Möglichkeit ist die, dass das Fahrzeug bergauf oder bergab geparkt 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 dem nachfolgenden Bild besser verdeutlicht. Obwohl es eine Rampe mit einem Gefälle von 5° gibt, kann das Öl (rechts im Bild) nicht abfließen.

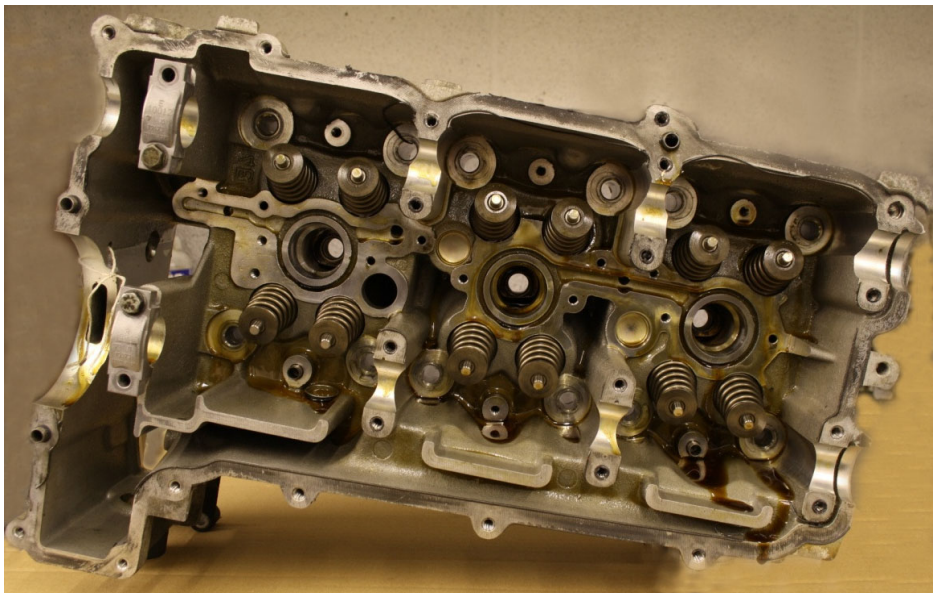


**Bild 55: Zeigt die Stellung eines 986/987 Zylinderkopfes, wenn das Fahrzeug an starkem Gefälle geparkt wurde. Öl sammelt sich und kann nicht ablaufen**

Und da die Köpfe auch noch seitenverkehrt montiert sind, kann man diese Situation nicht umgehen, da eine Seite immer dieses Bild aufweist. Auch gibt es keinen Unterschied vom Boxster zum 996 oder 997.
Kommt ein Motor nach dem Abstellen mit geöffneten Auslassventilen zum Stehen, kann es im Falle von nicht ganz dichten Ventilschaftdichtungen bzw. eingelaufenen 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. Parkt man einen 996 oder 997 mit der „Schnauze“ 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 ist es genau umgekehrt.
Einen 996 oder 997 sollte man also, wenn es sehr steil ist, mit der Front nach unten abstellen. Einen Boxster besser mit der Front nach oben.
Im Rahmen einer Revision werden regelmäßig die Kolbenringe ersetzt. Leider verlangt Porsche für einen Satz Kolbenringe pro Zylinder zwischen 100 und 120 Euro.
Wir haben festgestellt, dass andere Firmen die auch Motoren revidieren sehr günstige Aftermarkt-Kolbenringsätze verwenden. Da die 1-teilig aufgebaute Ölabstreifringe aus diesen Normform-Sätzen Nachteile gegenüber den 3-teiligen Ringsätzen haben, geht die Montage dieser Ringe sehr oft mit Kaltstartqualmen und einem erhöhten Ölverbrauch einher. Gerade bei Revisionsmethoden, bei denen die gefressenen Zylinder "aufgebohrt" werden um dann mit größeren Kolben zu fahren wirkt sich die Montage von 1-teiligen Ölabstreifringen kontraproduktiv aus, da sich dieser Ringtyp schlechter an oval werdende Zylinder anpassen kann.
Bestehen Sie also immer bei einer Revision auf die Verwendung von Originalen Porsche Ringen. Alternativ dazu bieten wir die sicher qualitativ hochwertigsten Ringe zu sehr fairen Preisen an.
Nähere Ausführungen zu diesem Thema finden Sie auf Seite 12 dieses Dokuments.

## Und noch mehr Qualm! -Sorgenkind Ölabscheider-

Die am Motor verbauten Öldampfseparatoren, die die Öldämpfe aus dem Kurbelgehäuse kondensieren lassen und als Tropföl wieder zurück in den Motor leiten sind sehr häufig die Ursache für extreme Qualmwolken aus der Abgasanlage. Dies kann passieren, wenn die innen verbaute Gummi-Membrane spröde wird und einreißt.
Auf nachfolgenden Bildern haben wir das verdeutlicht in dem wir solche ein Bauteil zerlegt haben. Die gerissene Membrane ist gut sichtbar. Über die Ansauganlage, bzw. über einen verbauten Unterdruckschlauch wird dann Öl direkt angesaugt und verbrannt.
Dies kann auch zu einem Katalysatorschaden führen.

**Bild 56: Rundum aufgeschliffener Membrandeckel**

**Bild 57: Geöffneter Separator (Ölabscheider)**

**Bild 58: Deutlich sichtbar; die defekte Membrane**

Leider gibt es keine verbesserten Ölseparatoren. Man sollte sich also nicht wundern, wenn am Heck plötzlich viel Qualm entsteht. Den Motor dann sofort ausmachen und das Fahrzeug in die nächste Fachwerkstatt schleppen lassen.

## Motorsport möglich? - Ja oder Nein?

Die Antwort auf die Frage ob die serienmäßig belassenen M96/97 Motoren für den Motorsporteinsatz geeignet sind, lautet eindeutig: "Nein". Gegenüber dem standfesten, klassischen Motorkonzept der alten 11er mit Trockensumpfschmierung , welches ja auch in den Modelljahren der M.96 und M.97 Motoren noch in Fahrzeugen der Baureihen GT3, Turbo und GT2 Verwendung fanden, 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". Tatsächlich handelt es sich aber um eine vollkommen normale Druckumlauf-Schmierung, welche in fast jedem konventionellen Großserienmotor Verwendung findet. Das Rad wurde also 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 ist zudem deutlich geringer. Auch kann es bei forscher Kurvenfahrt, bei der erhöhte G-Kräfte wirken, oder bei plötzlichen Richtungswechsel, speziell beim

motorsportlichen Einsatz und mit Slicks oder Clubsportreifen, dazu kommen, dass sich ein Großteil des Ölvolumens in einer "Ecke" des Motorgehäuses sammelt und die Ölpumpe für kurze Zeit Luft ansaugt. Dies führt dann fast immer zu einem Lagerschaden. Das sind die schlechten Nachrichten zum Thema Motorsport.
Die gute Nachricht ist, dass es auch dafür eine Lösung gibt. Wir haben zusammen mit unserem Entwicklungspartner Hartech ein spezielles System entwickelt, welches 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 in Kurvenfahrten zur Seite schwappen kann.

Dieses System zeigt seine Vorteile natürlich nur in Verbindung mit einem standfesten Basismotor. Einen Serienmotor damit umzurüsten würde recht wenig Sinn machen, da dieser vermutlich recht schnell den Tod an den anderen, weiter oben 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 das das Öl in Kurvenfahrten nicht mehr zur Seite schwappen kann. Dies realisierten wir mit einer vertieften Ölwanne und mit sehr speziellen Schottblechen und Ölklappen (Flaps) die sofort „zu machen“ wenn durch die Fliehkraft das Öl 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.

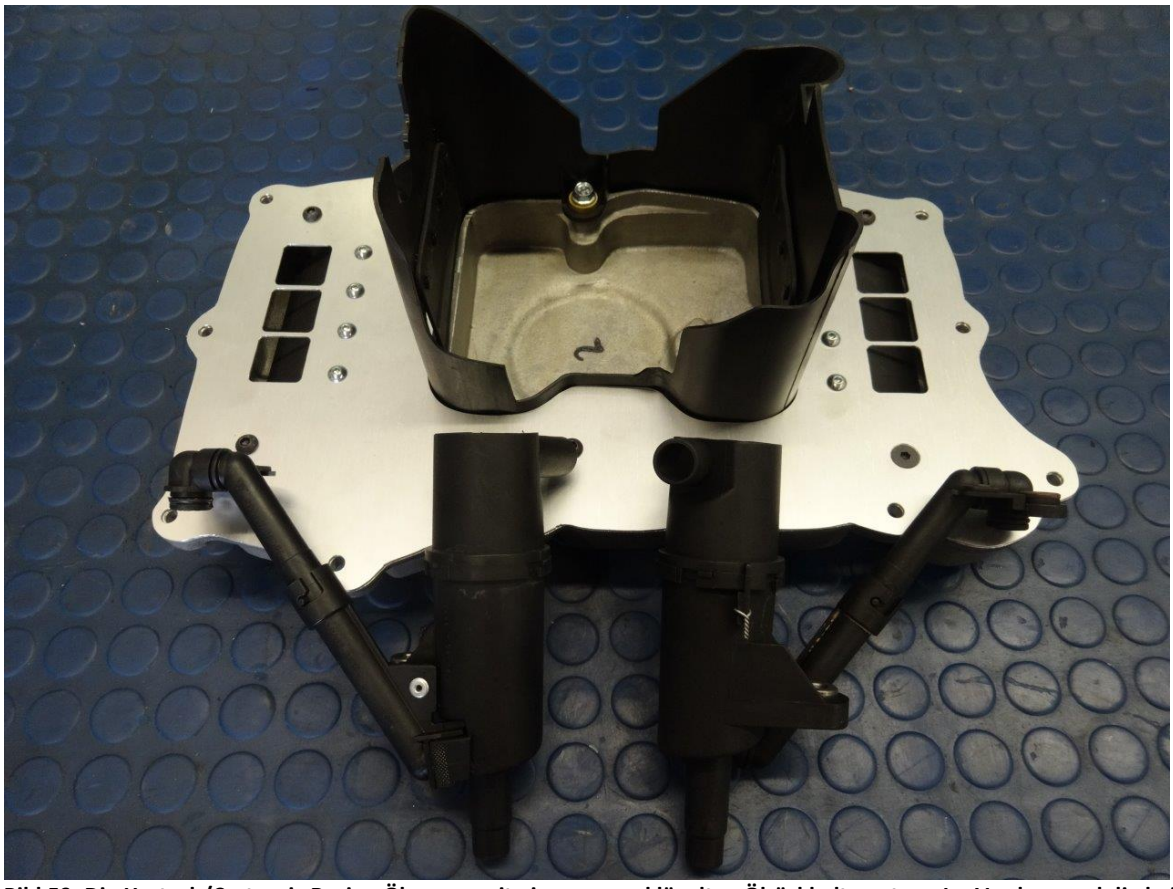


**Bild 59: Die Hartech/Cartronic Racing-Ölwanne mit einem ausgeklügelten Ölrückhaltesystem. Im Vordergrund die beiden modifizierten Ölabscheider.**

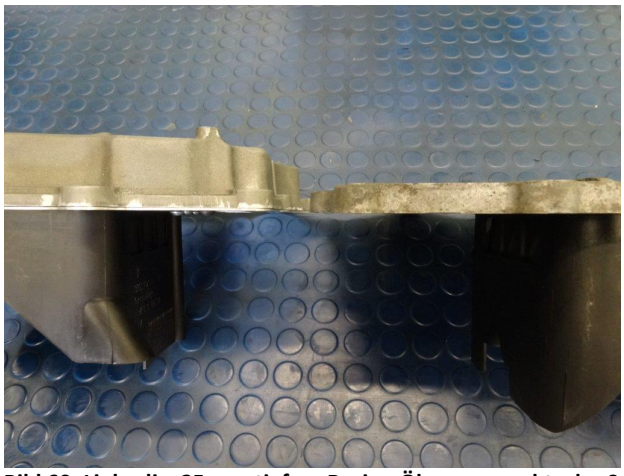


**Bild 60: Links die  25 mm tiefere Racing-Ölwanne, rechts der Seriendeckel**

**Bild 61: Der originale "Ansaugrüssel" der Ölpumpe mit dem 25mm hohen Distanzierungsadapter**

**Bild 62: Die Racing-Ölwanne von unten. Hergestellt im Sandgussverfahren.**

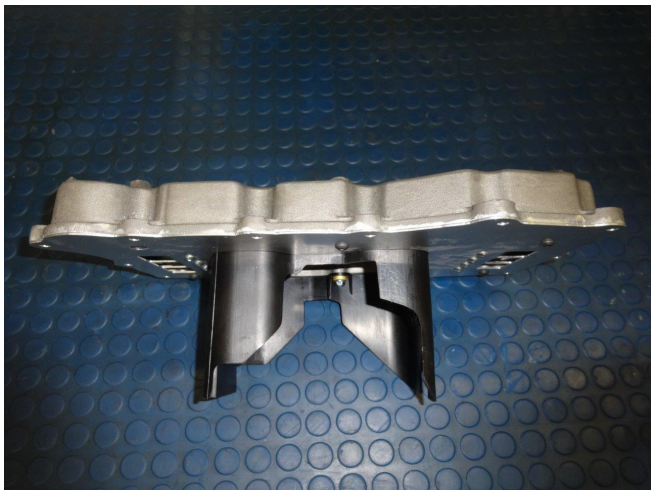


**Bild 63: Die Racing-Ölwanne in der Seitenansicht**

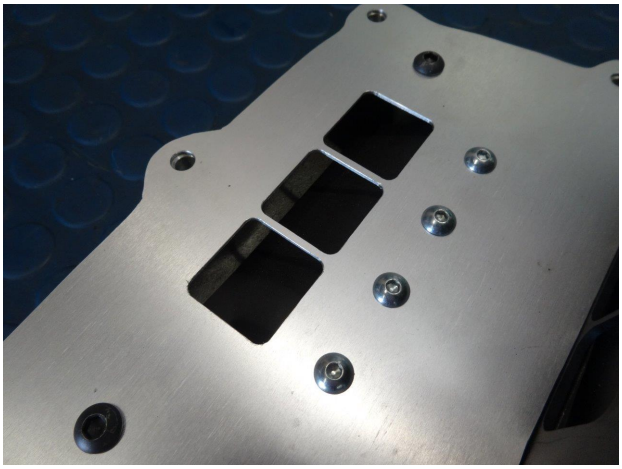


**Bild 64: Die Ölrückhalteklappen verschließen die 3 Öffnungen sobald das Öl hochschwappt**

Da man aber niemals nie sagen sollte, haben auch da vorgesorgt und bauen zusätzlich eine speziell auf diese Motoren abgestimmte Not-Druckölschmierung ein. Dieses System basiert auf einem Druckreservoir der Firma Accusump in USA.

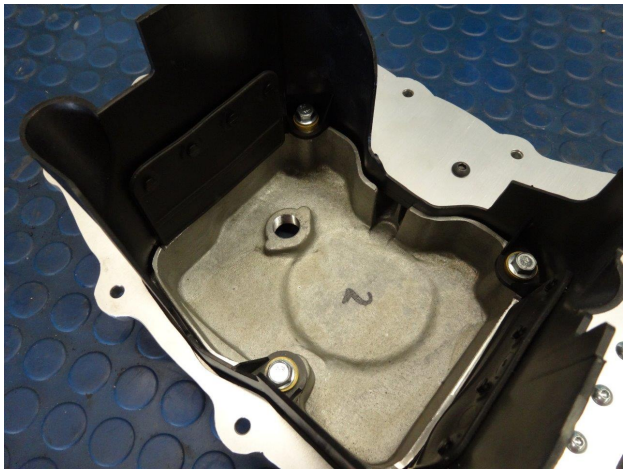


**Bild 65: Nur die Kombination aus Racing-Ölwanne und Accusump-Kit gibt genügend Sicherheit**

Dabei handelt es sich um einen zylindrischen Behälter der innen zwei Kammern aufweist welche durch eine Membrane voneinander getrennt sind. Vor Installation wird die eine Seite über einen

Druckluftanschluss (Ventil) mit Luft aufgefüllt. Idealerweise bis zu einem Überdruck von 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. Natürlich liegt dort immer nur maximal der jeweilige Systemdruck an, den die Pumpe liefern kann. Nehmen wir an dieser liegt bei 4,5 Bar bei Drehzahlen von über 4000 U/min.
Kommt es nun dazu, dass die Pumpe tatsächlich einmal Luft ansaugt, fällt der Öldruck schlagartig ab. Nehmen wir an auf einen Wert von 0,5 Bar. Dies hätte schlimme Folgen für die Lagerstellen des Motors, die dadurch "fressen" könnten.
Passiert dies wirklich, wirkt das Accusump-System dergestalt dagegen, dass es sofort bei Druckverlust, der sich ja sofort auch auf der Ölgefüllten Seite im Ölspeicher auswirkt, die 3 Bar Druck auf der anderen Seite der Membrane nutzt, um sofort das Öl aus dem Reservoir in den Motorölkreislauf abzugeben.

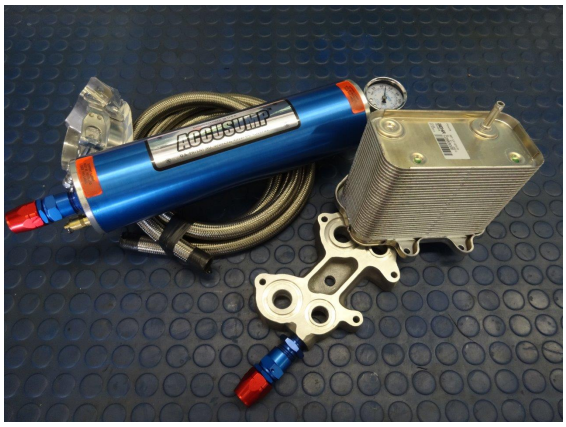


**Bild 66: Das komplette Accusump-System ASPM96/7. Der Wärmetauscher rechts gehört nicht dazu.**

Saugt die Pumpe also Luft und der Druck fällt ab, sorgt das Accusump-System dafür, dass es zu keinem Ölmangel an den Lagerstellen kommen kann indem es sein eigenes (wenn auch kleines), internes Ölreservoir in den Motorkreislauf frei gibt.

Wenn die Motorölpumpe nach dem Event wieder Öl ansaugt und Druck aufbaut, füllt sie dabei den zum Teil, oder völlig geleerten Speicher wieder auf. Sobald der Accusump-Zylinder wieder voll ist, muss man sich auch keine Sorgen machen, dass es bei einem neuerlichen Trockenlaufen der Ölpumpe zu einem Lagerschaden kommen kann.
Um den Accusump-Zylinder in den Ölkreislauf zu integrieren, mussten wir eine spezielle Zwischenplatte konstruieren und herstellen. Die Platte wird an die Stelle auf den Motor verschraubt wo der Öl/Wasser-Wärmetauscher befestigt ist. Sie wird zwischen den Motorblock und den Wärmetauscher montiert.

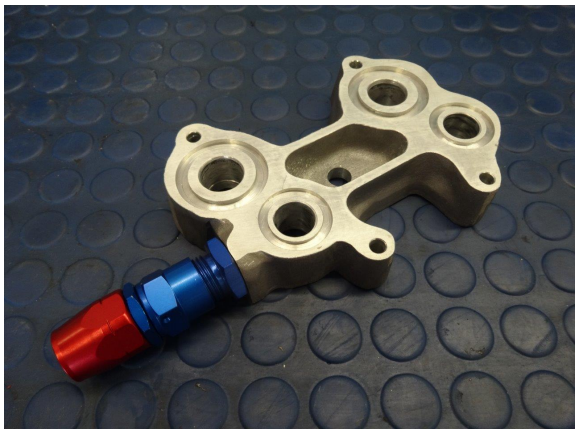


**Bild 67: Die Adapterplatte mit Speisungsanschluss für den Accusump-Zylinder**

Beide Systeme, Racing-Ölwanne und Accusump-System, stellen in Kombination das momentan beste System weltweit dar. Wir (Cartronic und Hartech) haben nahezu alle anderen verfügbaren Systeme inspiziert und teilweise auch getestet und für nicht ausreichend und teilweise sogar als Fehlkonstruktion bewertet.

Einem Motor, der von uns überholt und optimiert wurde, kann man wesentlich mehr Leistung zumuten als die Serienleistung. Wir haben absolut keine Bedenken weitere Leistungssteigerungen an diesen Motoren vorzunehmen. So verbauen wir sehr oft Sportnockenwellen, führen Hubraumerweiterungen von 3,6 auf 3,8 Ltr. durch, montieren Sportabgaskrümmer, unsere Sportendschalldämpfer und optimieren die Zünd- und Einspritzkennfelder der Digitalen Motor Elektronik (DME/Motronic).

## Noch läuft der Motor – Gibt es sinnvolle Vorbeugungsmaßnahmen?

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.

Dass sind natürlich alles Fragen, die man nur schwer beantworten kann.

Kunden die Ihr Fahrzeug verkaufen wollen müssen sich später mit dieser leidigen Thematik nicht mehr beschäftigen und haben damit eine Lösung gefunden. Wer seinen Porsche liebt, noch keine offensichtlichen Probleme hat und den Wagen weiterfahren möchte, dem raten wir nur in ganz bestimmten Fällen zu einer rein prophylaktischen Motorrevision. Immer dann, wenn es sich um einen 3,8 Ltr. Motor mit dem leistungsgesteigerten X51 Motor mit Laufleistungen über 120.000 Km, oder wenn es um einen 3,8 Ltr. Motor mit Laufleistungen über 200.000 km geht, empfehlen wir dies.

Allen anderen empfehlen wir ein Upgrade der Zwischenwellenlagerung und den Verbau des Niedrigtemperaturthermostat. Bei Fahrzeugen ab Modelljahr 2007, welche eine nicht Upgrade-fähige Zwischenwelle verbaut haben, nur das Thermostat.

Sollte sich ein Kunde für einen Werks-AT Motor entscheiden haben, empfehlen wir auch an diesen Motoren die Verbesserungen durchführen zu lassen. Zu empfehlen ist der Einbau eines Niedrigtemperaturthermostats, die mechanische Bearbeitung der Wasserkanäle und den Umbau auf Closed-Deck, was die Verstärkung aller 6 Zylinder beinhaltet. Leider lässt es sich von den Kosten her nicht darstellen, alle Zylinder gegen unsere Version auszutauschen. Das Problem von sich lösenden Siliziumpartikeln die dann zwischen Kolben und Zylinderlaufbahn zu Riefen führen ist also nur mit einem relativ hohen finanziellen Aufwand möglich.

## 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 dem Entwicklungsstand des Fahrzeuges entspricht!

Bei den aktuell hohen PS / Literleistungen der Motoren wird das Öl, welches früher lediglich eine Nebenrolle in einem Verbrennungs-Motor spielte, zu einem 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 tragende Rolle in der Auswahl und Zusammenstellung der verschieden Bestandteile eines Motoröls. Ein Motor, der mit einem 0W/30 Öl befüllt ist, generiert auf Grund geringerer Innenwiderstände, weniger Schadstoffe als ein Motor der mit einem 10W/60 betrieben wird.
Es gibt bei den Fahrzeugherstellern auch Ausnahmen, die BMW M-GmbH und Ferrari empfehlen bei einem Großteil Ihrer Fahrzeuge ein Öl mit einer 10W-60er Viskosität. Da von den Fahrzeugen für die man Öl in dieser Spezifikation vorschreibt, in verhältnismäßig geringen Stückzahlen produziert werden, stehen hier die $CO^2$-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 sichert dem Endverbraucher, dass er das passende und richtige 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 erwähnt eine große 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. Tatsächlich kann es aber auch sein, dass sein Öl am besten „schmiert“.
Für Cartronic Motorsport 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 Porsche.
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 die Hälfte der empfohlenen Laufleistung, 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 Ölfragen 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 2016 hatten wir uns entschieden ein Partnerschaft mit dem bekannten deutschen Unternehmen, der Eurolub GmbH aus dem bayerischen Eching einzugehen. Eurolub zählt zu den bekanntesten konzernunabhängigen Schmierstoffexperten im europäischen Raum. Unser gemeinsames Ziel, die Entwicklung eines speziellen auf die Porschemotoren der Generationen M.96/97 zugeschnittenen Schmieröl, lief planmäßig ab. Seit Sommer 2016 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 Eurolub an.
Im Frühjahr 2018 wechselten wir dann den Lieferanten. Seitdem werden wir direkt vom eigentlichen Hersteller, dem deutschen Schmierstoffspezialisten, der Firma Oest beliefert.
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.

**Was sind 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 (Ohne Motoröl schlechte Kompression!)
4. Neutralisieren von sauren (<pH7) Verbrennungsprodukten
5. Verhindern von Ablagerungen, Verkokungen, Ruß und Schlammbildung
6. Verhindern von Korrosion aller Bauteile im Motor,- Ölkreislauf
7. Senken von Kraftstoffverbrauch und CO2-Ausstoß (Kompromiss!)
8. Festlegung optimaler Ölwechselintervalle.

**Beurteilen der Leistungsfähigkeit von Motorenölen**
Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Motorenöles ist für den Endverbraucher nahezu ausgeschlossen. Dieser muss sich i.d.R. auf die Empfehlungen der Fahrzeughersteller verlassen, besonders weil die Garantie bzw. Gewährleistung des Herstellers nur dann greift, wenn auch der empfohlene, freigegebene Schmierstoff eingesetzt wird.
Die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Motorenöles kann nur von Chemikern und Tribologen (Reibungsspezialisten) in Zusammenarbeit mit Maschinenbauingenieuren beurteilt werden. Als Endverbraucher können zur Qualitätsbeurteilung weder die angegebene Viskosität noch die in den Produktdatenblättern aufgeführten Eigenschaften zwar 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.
Ebenso verändert auch das Fahrprofil eines Fahrers die Leistungsfähigkeit eines Schmierstoffes unter realen Bedingungen. Die Leistungsfähigkeit des Motorenöles bezogen auf die Real-Bedingungen im Einsatz ist also sehr unterschiedlich. Womit wir beim nächsten Thema wären….

**Motorenöl 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

(reibungsuntersuchende), Abteilungen unterhalten. Ein Schaden am Aggregat würde einen weitaus höheren finanziellen Aufwand nach sich zieht als die Einhaltung regelmäßiger Ölwechsel.
Genau deshalb macht es eine Menge Sinn sich über den Zustand des Öles im Porschemotor Gedanken zu machen.
Speziell beim Porsche ist der Kurzstreckenverkehr einer der größten Feinde des Motorenöles, da sich die vorhandenen Leistungsreserven eines Öles 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 großen Ölfüllmenge 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 unkritischer und gewünschete 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. Dabei wird eine erhöhte Kraftstoffmenge eingespritzt. Diese wird fast nie vollständig gezündet und reichert dabei das Motorenöl über unverbrannte Kraftstoffrückstände im Brennraum an. Das Benzin vermischt sich mit dem Schmieröl.
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 (ausdampfen). 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 Lasttragefähigkeit ist vorhanden. Dies führt dann zu dem im Volksmund bekannten Schmierfilmabriss was i.d.R. zu einem Kolbenfresser führt. 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 einlegierten Additive als leistungsreservenerhöhende Komponenten des Motorenöles, 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 dann vorhandene Schmierfilm nicht mehr ausreichend tragfähig sein. Auch kann dies an 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 6.500 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-**RSX** Cartronic-High-Performance Spezialöls, berücksichtigt aber auch 5W/40 oder 20W/50 Öle.

**Ein sinnvolles Produkt - Das Östol/Cartronic 10W/60-RSX High-Performance Motoröl.**

Das Cartronic 10W/60-**RSX** 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-**RSX** von Östol basiert auf hochwertigen Basisölen, welche mit einer sehr innovative 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.

**Die 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

**Warum Cartronic Motorsport primär ein 10W-60 Öl empfiehlt?**

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** / **V**iskositäts-**I**mprover) 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 einem Motorensystem wie bei den M.96- und M.97-Motoren, welche von der herstellerseitigen konstruktiven Auslegung her, nicht wirklich standfest und damit verschleißanfällig sind, 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 besser ein 5W/40er 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.

## Abschließende Betrachtungen

Wir haben im Rahmen von Gesprächen über die Gründe der Motorprobleme festgestellt, dass viele selbsternannte Spezialisten und auch echte Fachleute teilweise nur über einen recht eingeschränkten Erfahrungsschatz und oft auch über eine erstaunlich einseitige Sichtweise verfügen. Jeder sieht erst einmal alles nur von seiner eigenen Warte aus und ist dadurch oft 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 dabei das ohnehin schwache Material noch mehr schwächt, also völlig kontraproduktiv handelt.
Diese Kollegen waren sich natürlich sicher, alles richtig gemacht zu haben, da die Motoren nach Reparatur ja alle erst einmal perfekt liefen und die Kunden auch immer zufrieden vom Betriebsgelände fuhren. Keiner konnte sich vorstellen, dass „sein“ Motor jemals noch einmal einen Schaden erleiden würde. Ganz sicher ist, dass sie nicht wussten und wahrscheinlich heute noch nicht wissen, warum es überhaupt zu den Kolbenfressern und gerissenen Zylindern bei den M96/97 Motoren von Porsche kommt.
Fragte man nach, was sie denn an den Motoren optimiert haben damit die Schäden nicht mehr auftreten können, herrschte erst einmal Stille. Ist es denn tatsächlich so, dass sich außer uns so gut wie keiner intensiv mit den verursachenden Zusammenhängen der Motorschäden auseinandergesetzt hat. Diskussionen über die Richtigkeit oder Abwegigkeit unserer Aussagen führten aber meist zu einem befriedigenden Konsens, kosteten aber sehr viel Zeit.
Dieses Dokument entstand nicht zuletzt, um unproduktive und missionarisch anmutende Diskussionen zu vermeiden.
Ich empfehle jedem Betroffenen Porscheeigner eigene Recherchen anzustellen um herausfinden ob es tatsächlich noch andere Ursachen für die beschriebenen Motorschäden gibt. Behauptet wird das auf jeden Fall.
Die Frage, über die man sich aber zuerst Gedanken machen sollte ist die, warum die defekten Motoren meist Fressspuren im oberen Bereich der Zylinder von Bank 2 aufweisen. Hat man darauf

eine Antwort gefunden, kommt man langsam aber beständig und hoffentlich nicht mit einem hohen finanziellem und materiellem Aufwand zu genau den Erkenntnissen, die wir gemacht haben.
Bitte berichtigen Sie uns, wenn Sie anderer Ansicht sind. Man lernt ja nie aus.

Einen Großteil unserer Erfahrungen haben wir in diesem Bericht offengelegt und damit erstmalig der deutschsprachigen Gemeinschaft zugänglich gemacht. Unser Partner in England hat das gleiche, wenn auch mit etwas anderen Worten und in kürzerer Form, getan.

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

Wir arbeiten derweil weiter an unseren Plänen und bringen ein Projekt nach dem anderen zu Ende. Dieses Dokument werden wir regelmäßig mit den neuesten Erkenntnissen aktualisieren und mit weiteren interessanten Neuigkeiten füllen, senn es denn welche gibt. Wir scheuen auch nicht davor zurück, unsere Ansichten irgendwann einmal zu ändern, wenn es denn notwendig sein sollte. Man lernt ja wirklich nie aus und wir hassen ein dogmatisches Verhalten. Die Aussage: „ Was interessiert mich mein Geschwätz von gestern“ stammt von Konrad Adenauer. Das sehen wir genauso.
Bleiben Sie mit uns in Kontakt. Wir freuen uns auf Sie und besonders auf jeden kritischen Kommentar und natürlich auch über ein Lob.
Gerne stehen Ihnen für jegliche Fragen und Arbeiten rund um Ihren Porsche zur Verfügung. Besuchen Sie uns doch einmal unverbindlich. Gerne beantworten wir Ihnen alle noch offenen Fragen.

Thomas Kirchhöfer
Geschäftsführer der Ingenieurgesellschaft Cartronic Motorsport Ing. GmbH in Gummersbach
Gummersbach, den 8. April. 2018

**Anlage 1 - Bilddokumentation von beschädigten Motorteilen**

## Worst-Case-Scenarios - Schlimmer kann es kaum noch werden.

Mit den nachfolgenden Fotos von beschädigten Motorteilen zeigen wir Ihnen wie stark die Motoren teilweise beschädigt sind. In den meisten Fällen sind die Ursachen Kolbenfresser, die nicht frühzeitig genug festgestellt wurden.

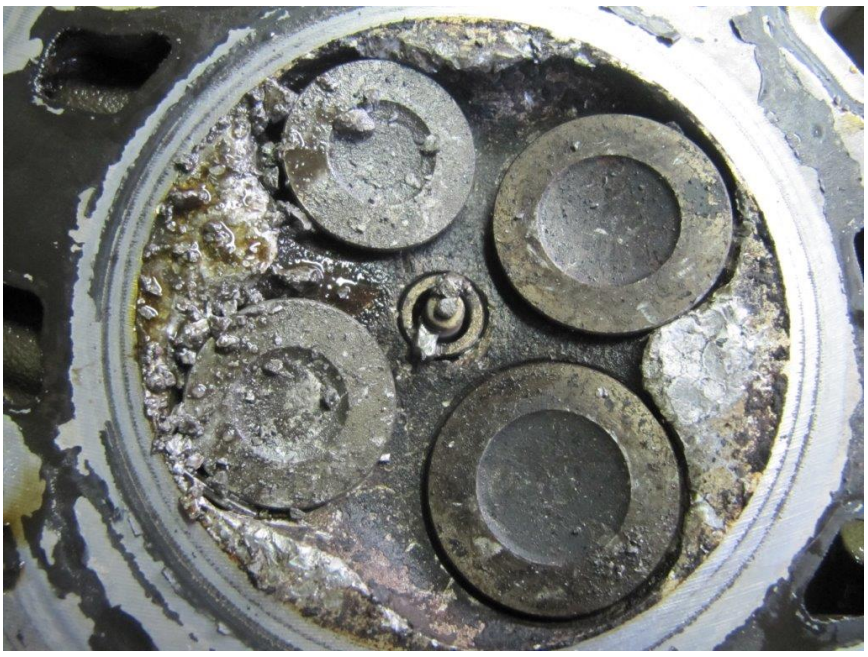


Bild 1

Bild 2

Bild 3

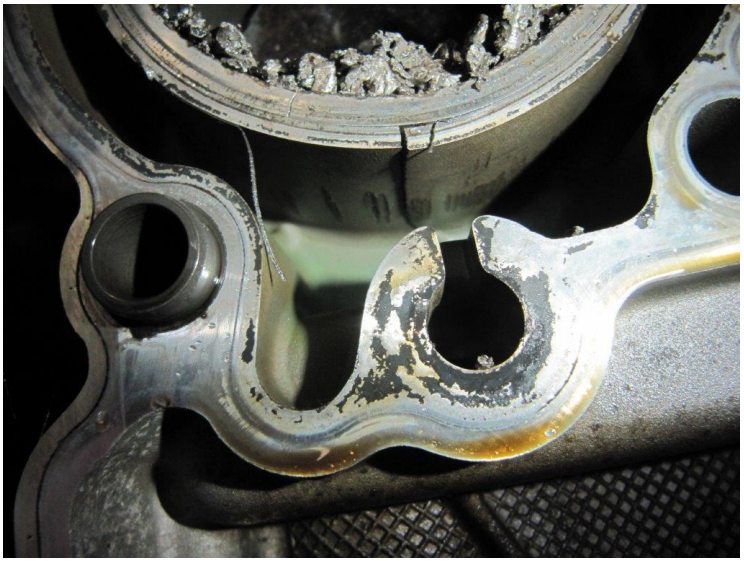


Bild 4

Bild 5

**Die Bilder 1-5 zeigen einen extremen Motorschaden bei dem die Zylinderköpfe nicht zu retten waren. Das Motorgehäuse konnten wir, trotzdem sich die Lokasil-Inserts vom Block gelöst hatten, retten. Es wurden 6 neue Zylinder verbaut.**

**Bild 6: Ein durch einen Brennraumschaden verursachter Katalysatorschaden.**
**Der Metallträger ist zum Teil geschmolzen.**

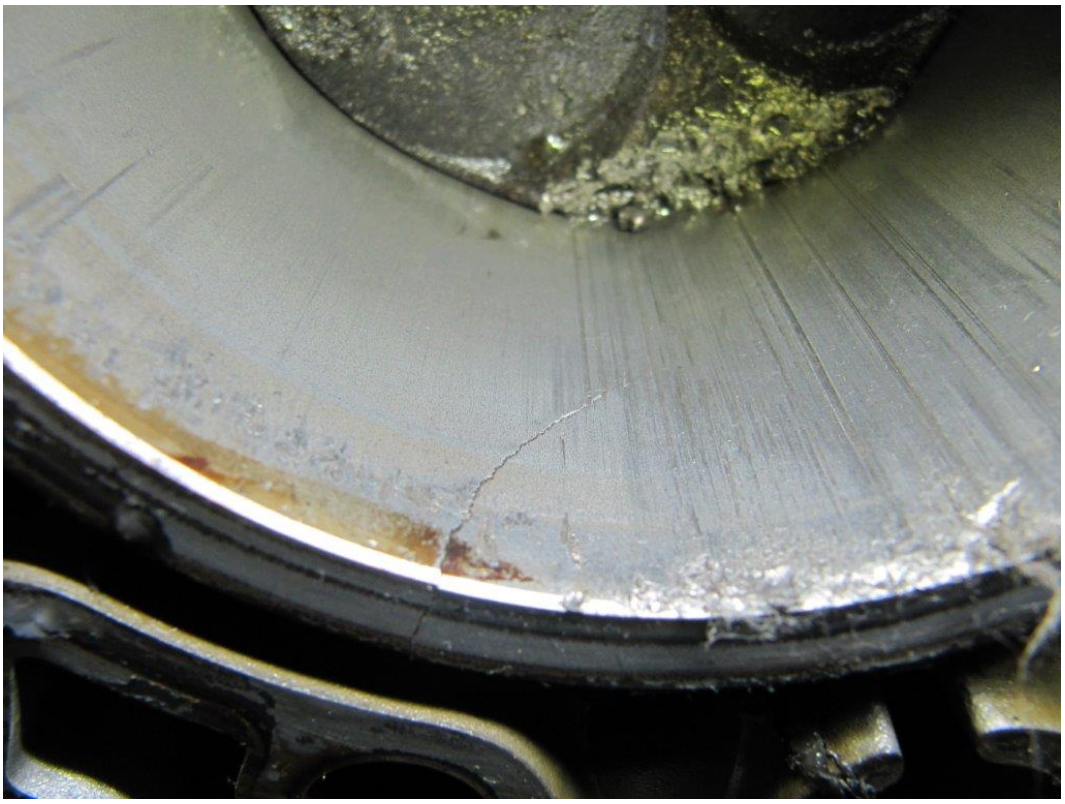


**Bild 7: Ein durch einen Wasserschaden geplatzter Zylinder.**

Bild 8

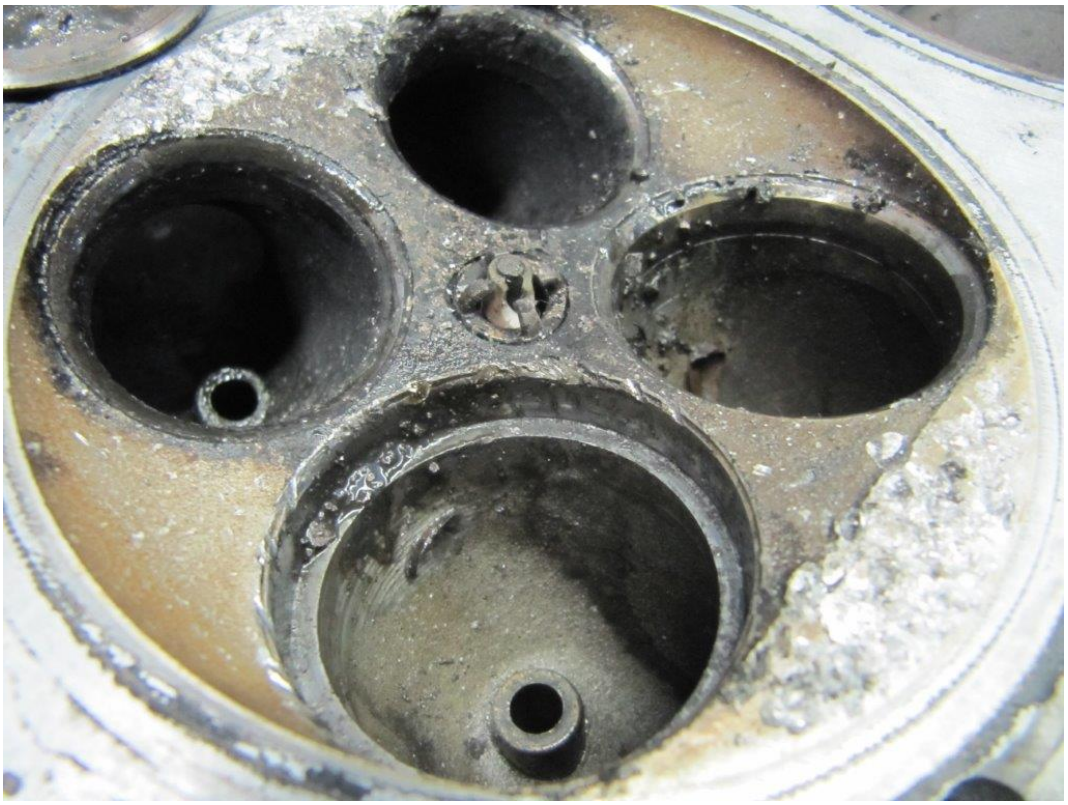


Bild 9

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

**Bild 10: Total erodierte Kettenschienen**

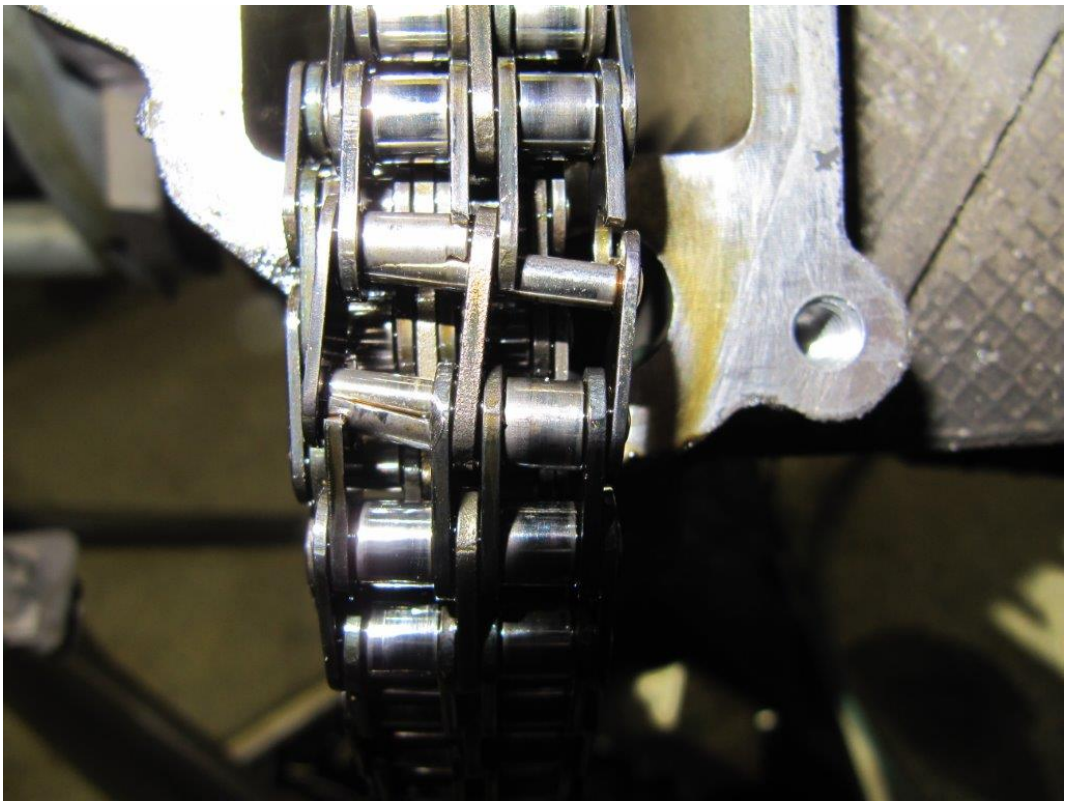


**Bild 11: Eine teilweise gerissene Steuerkette als Ursache für den Schaden an den Kettenschienen auf Bild 10**

**Bild 12: Metallspäne im Ölfilter**

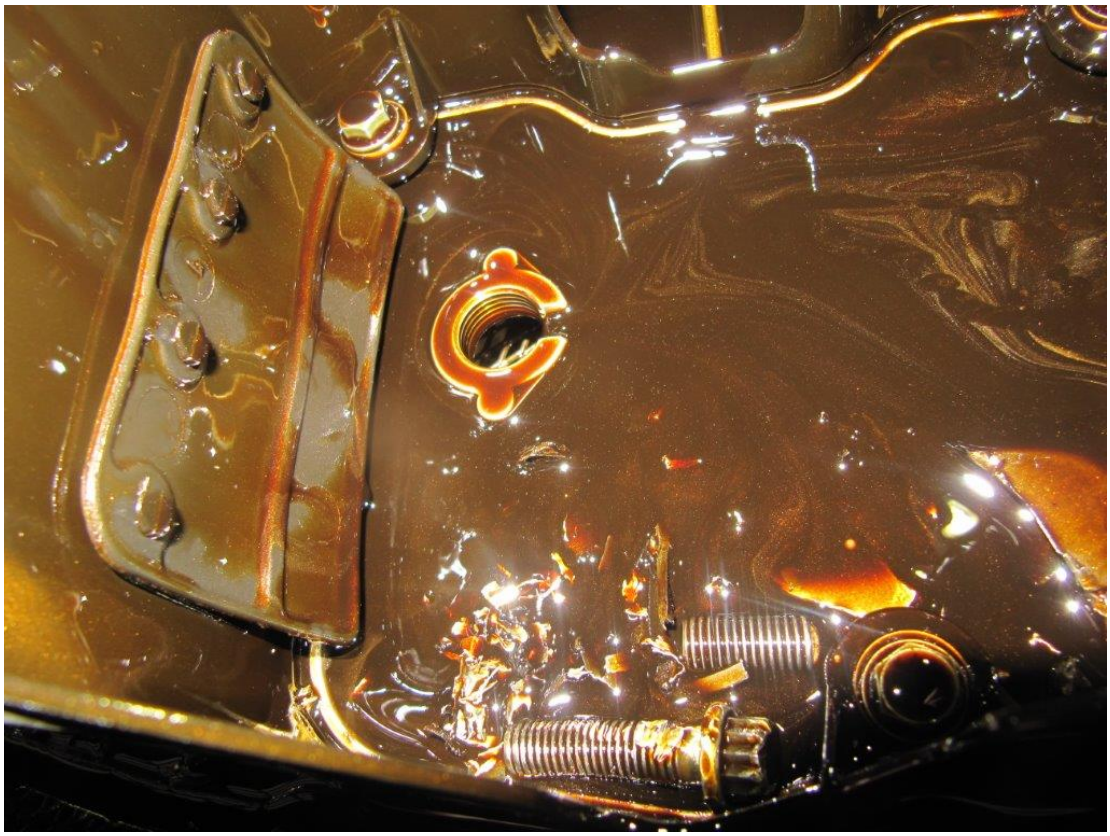


**Bild 13: Gesammelte Werke in der Ölwanne. Das Öl schimmert goldfarben.**

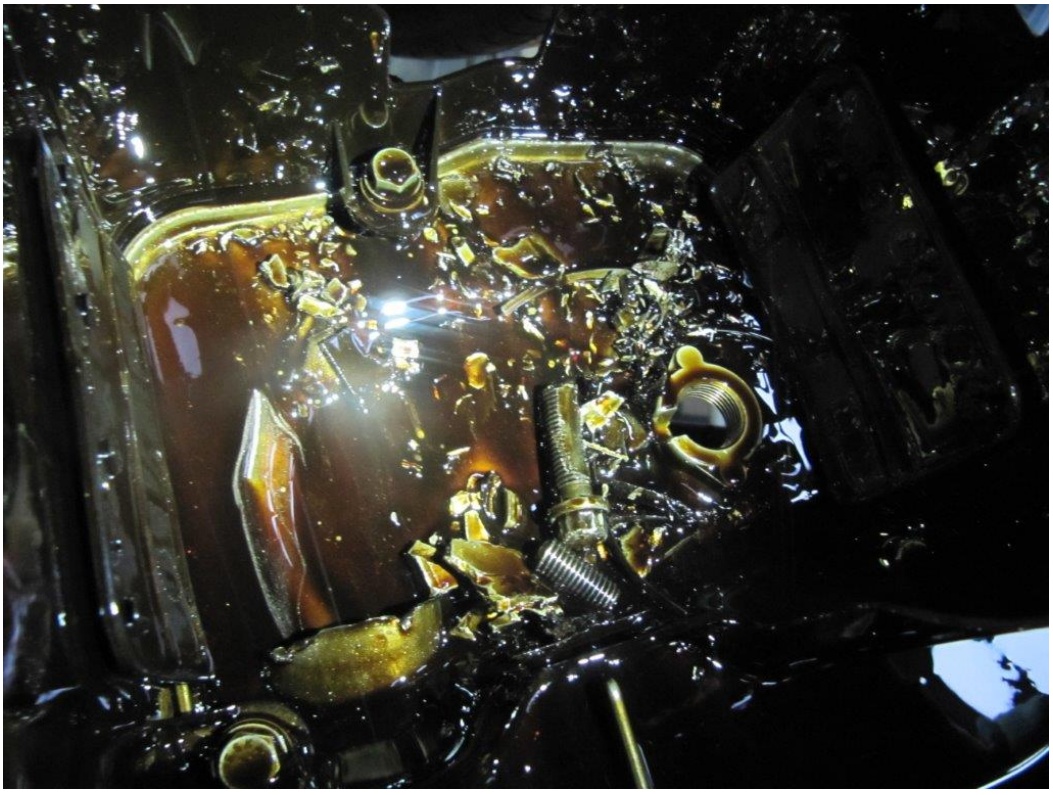


Bild 14

Bild 15

**Bild 11-14 zeigt ein typisches Schadensbild eines Motototalschadens. Das Gehäuse und auch die Kurbelwelle wurden zerstört. Die Altteile konnten nicht mehr verwendet werden.**

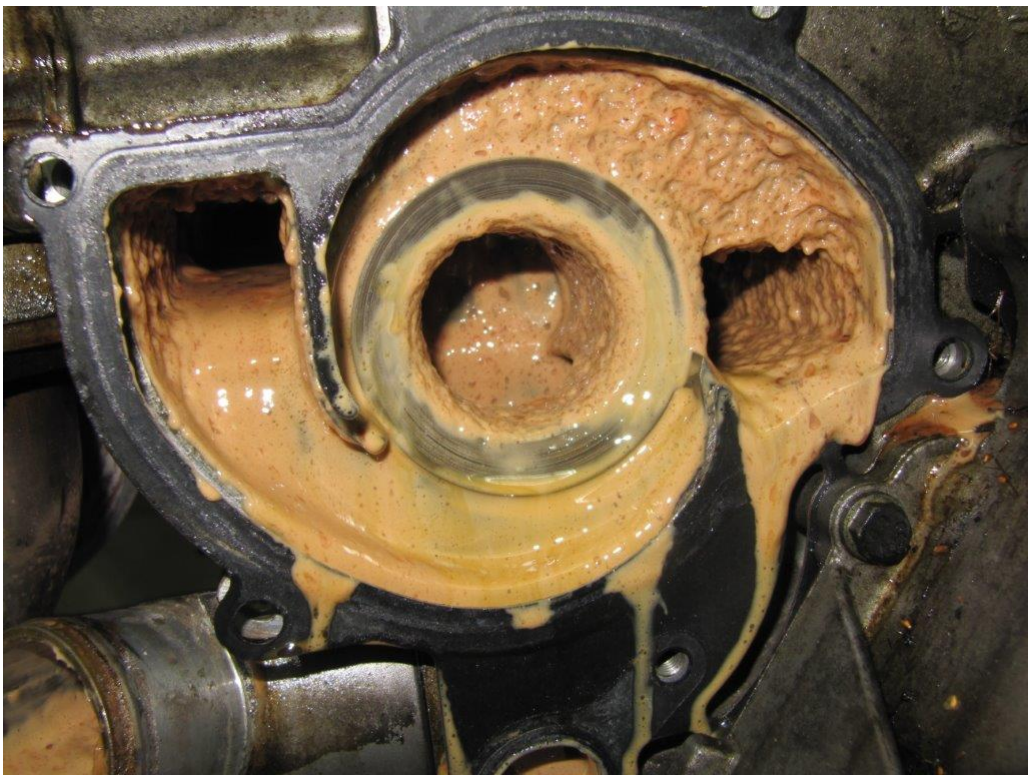


Bild 16

Bild 17

**Bild 15 und 16 zeigen einen völlig mit Ölschlamm kontaminierten Motor. Kühlwasser und Motoröl haben sich auf Grund eines Risses im Zylinderkopf miteinander zu einer Emulsion vermischt. Eine sehr aufwändige Reinigung des gesamten Kühlsystems war erforderlich**

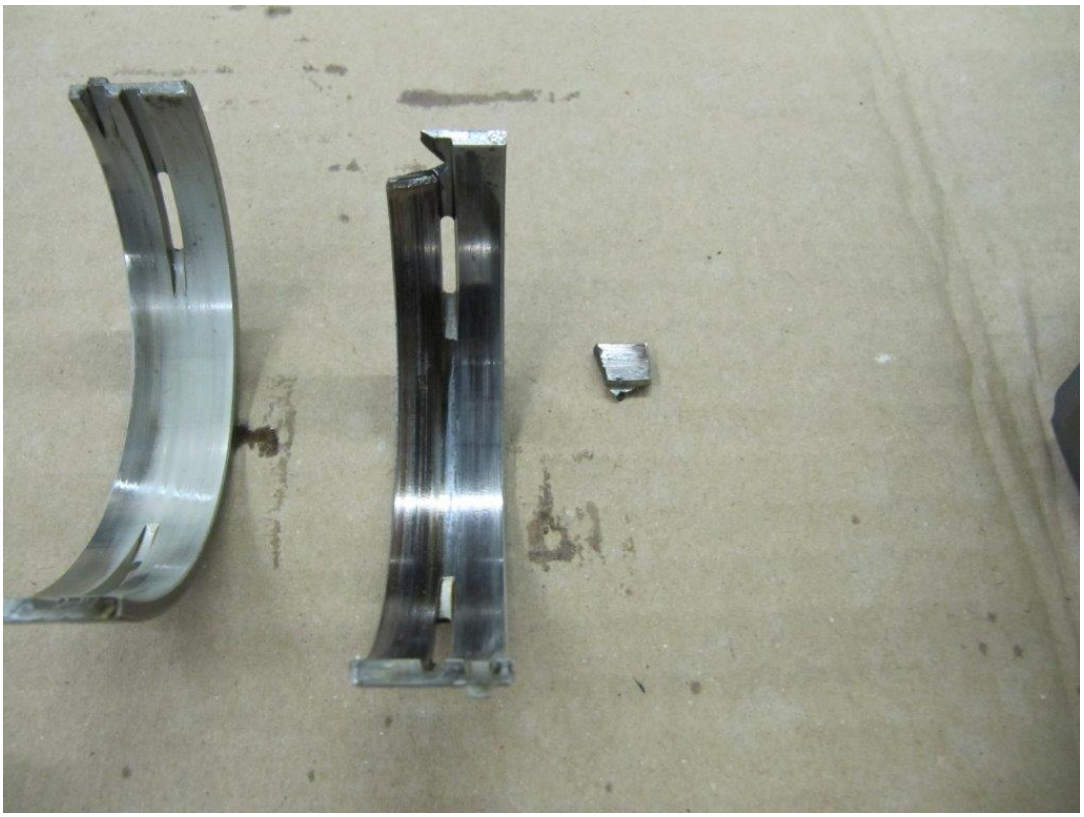


**Bild 18: Beschädigte, teilweise blau angelaufene und geplatzte Lagerschale**

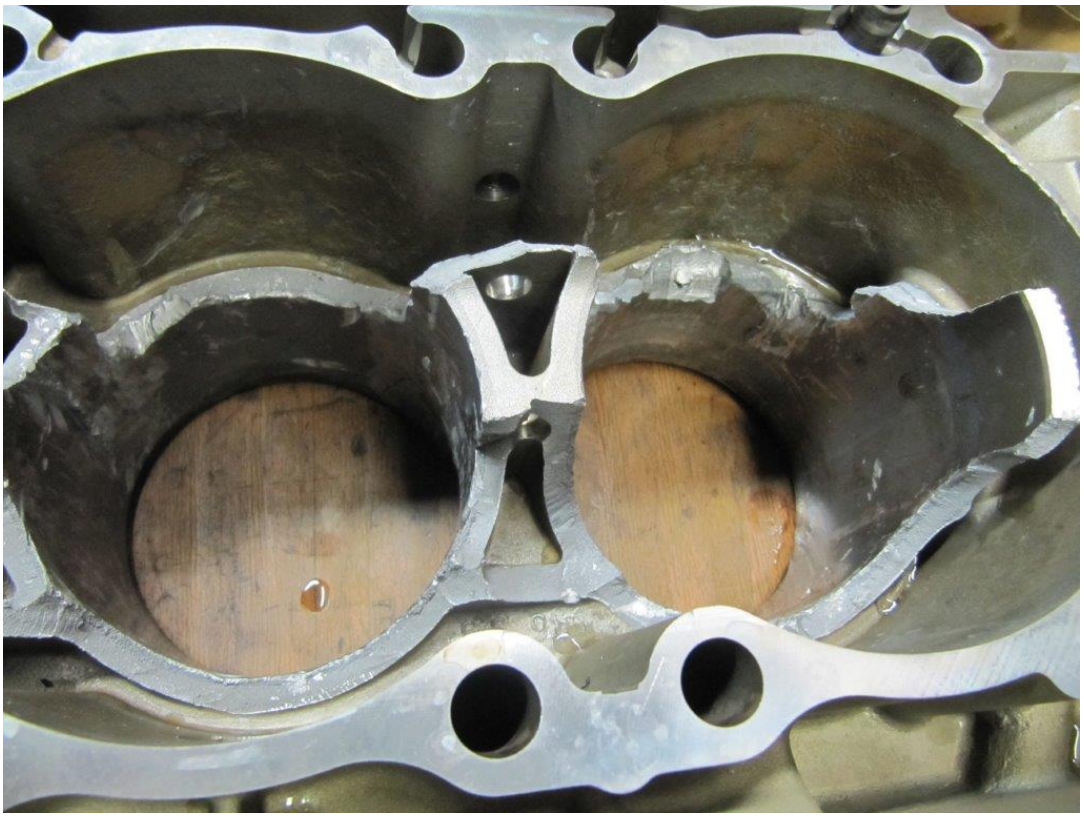


**Bild 19: Geplatzte Zylinder (Ansicht von unten)**

**Bild 20: Pleuel trifft Zylinderwandung und Motorgehäuse**

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

**Bild 22: Krumm gewachsene Pfifferlinge :-)**

Bild 23

**Bild 23: Bild 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.**

# No-Go`s Teil 1

Bild 24

Bild 25

**Bild 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. Unten: Gerissene Gehäuseteile wurden unfachmännisch von Außen verklebt.**

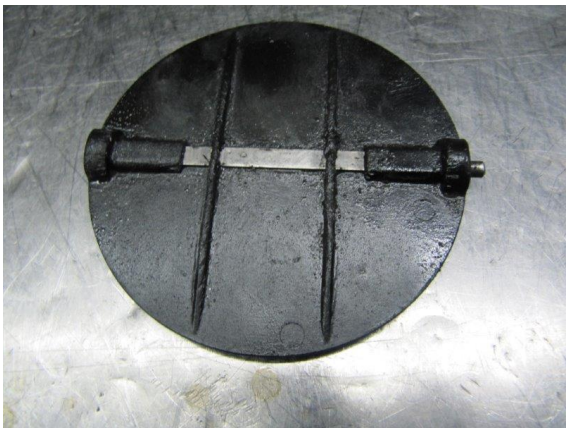


Bild 26

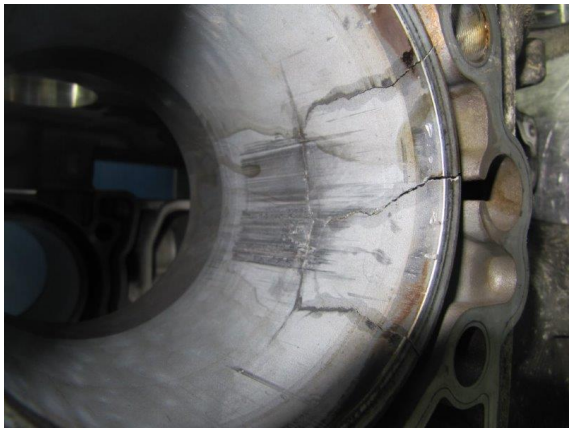


Bild 27

Bild 28

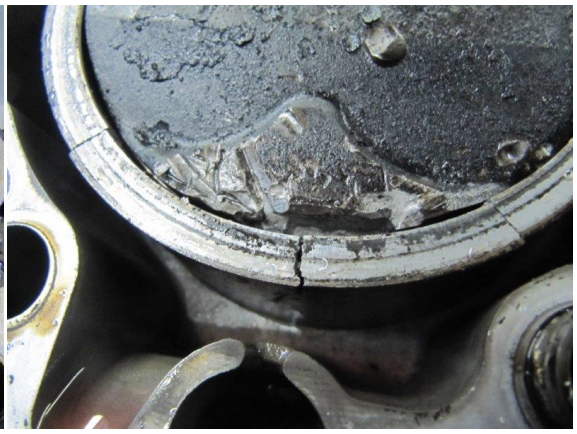


Bild 29

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

# No-Go`s - Teil II

**Die nachfolgenden Einzelfotos stammen alle von einem mit Stahlbüchsen unfachmännisch instand gesetzten Motor. Nach 1500 Km entstand ein weiterer Schaden. Dieser Motor war nicht mehr zu retten. Wir beschafften einen neuen Werks-AT Motor, den wir zerlegten und mit unseren Zylindern versahen. Auch optimierten wir das Motorgehäuse und die Zwischenwelle.**
**Leider konnte der Kunde die Werkstatt nicht in Regress nehmen, da er den Wagen gebraucht gekauft hatte. Er glaubte den Werbeversprechen und war sich sicher, dass Formel-1 Technik verbaut wurde.**
**Weit gefehlt!**

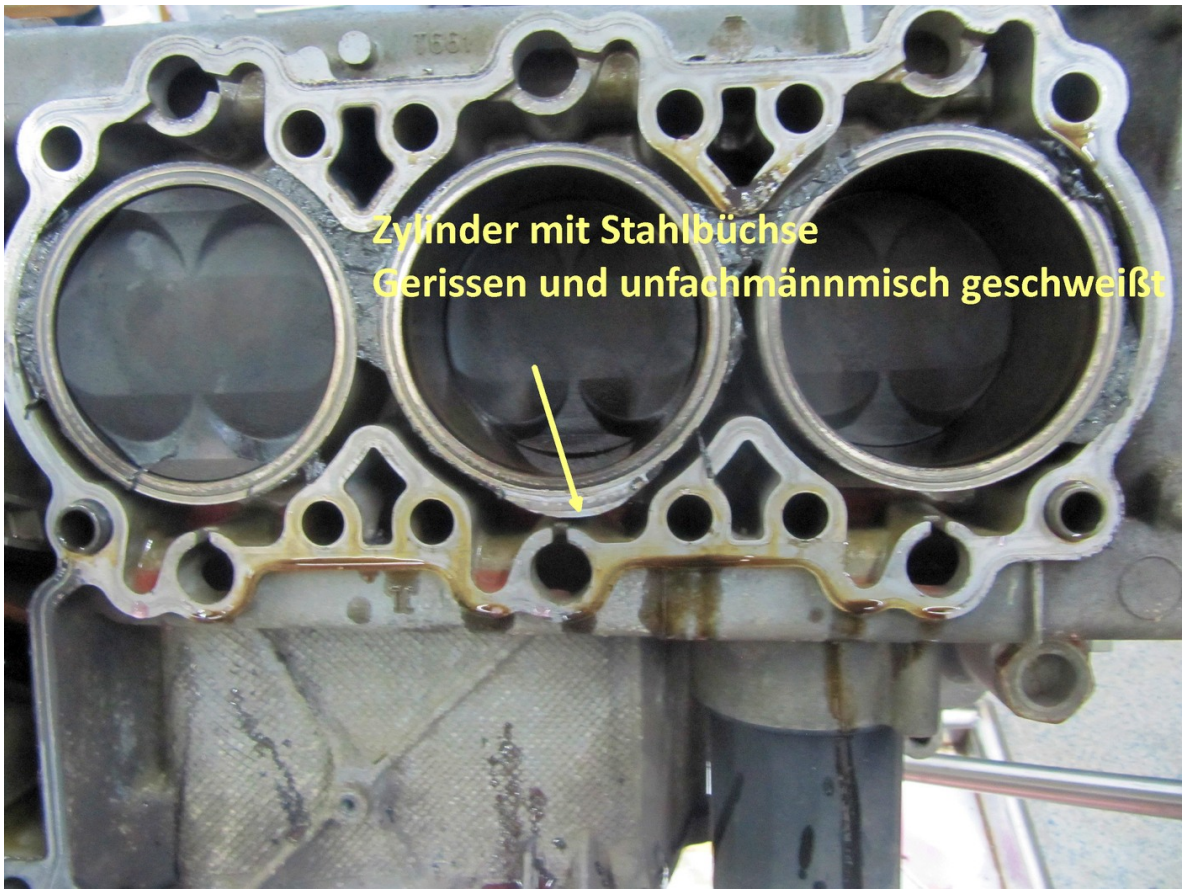



**Bild 30: Ein absolutes No-Go! Ein gerissener Zylinder wurde unfachmännisch geschweißt. Danach wurde eine sog. Stahlbüchse eingesetzt. Nach 1500 Km Laufleistung entstand ein neuer Motorschaden auf Grund von Wassereintritt in den Zylinder, einem Kolbenschaden und einem Zwischenwellenschaden.**

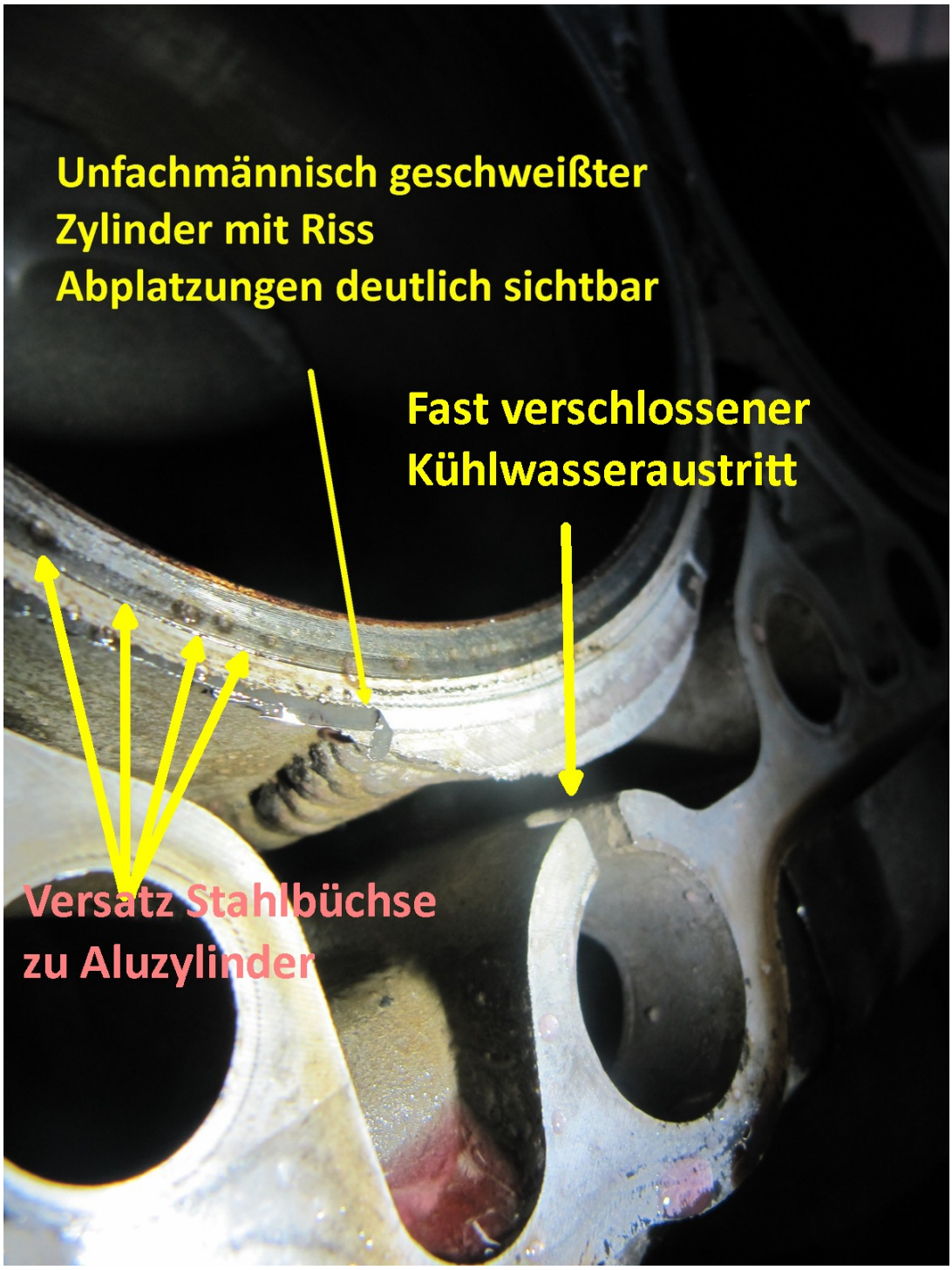



**Bild 31: Detailaufnahme des Reparaturversuchs. Das soll Formel 1 Technologie sein? So schreibt es wenigstens die Firma, die solche Motoren an Kunden ausliefert. Im Fahrbetrieb platze ein Stück der Schweißraupe ab. Wie bei allen Stahlbüchsen befinden Sie auch diese Stahlbüchsen nicht auf gleichem Niveau mit dem verbleibenden originalen Zylindermaterial aus Aluminium. Auch wurde durch das Aufschweißen der schmale Kühlwasserzulauf fast verschlossen. Diesen erweitern wir bei allen von Cartronic reparierten und optimierten Motoren. Mehr Fehler kann man nicht machen.**

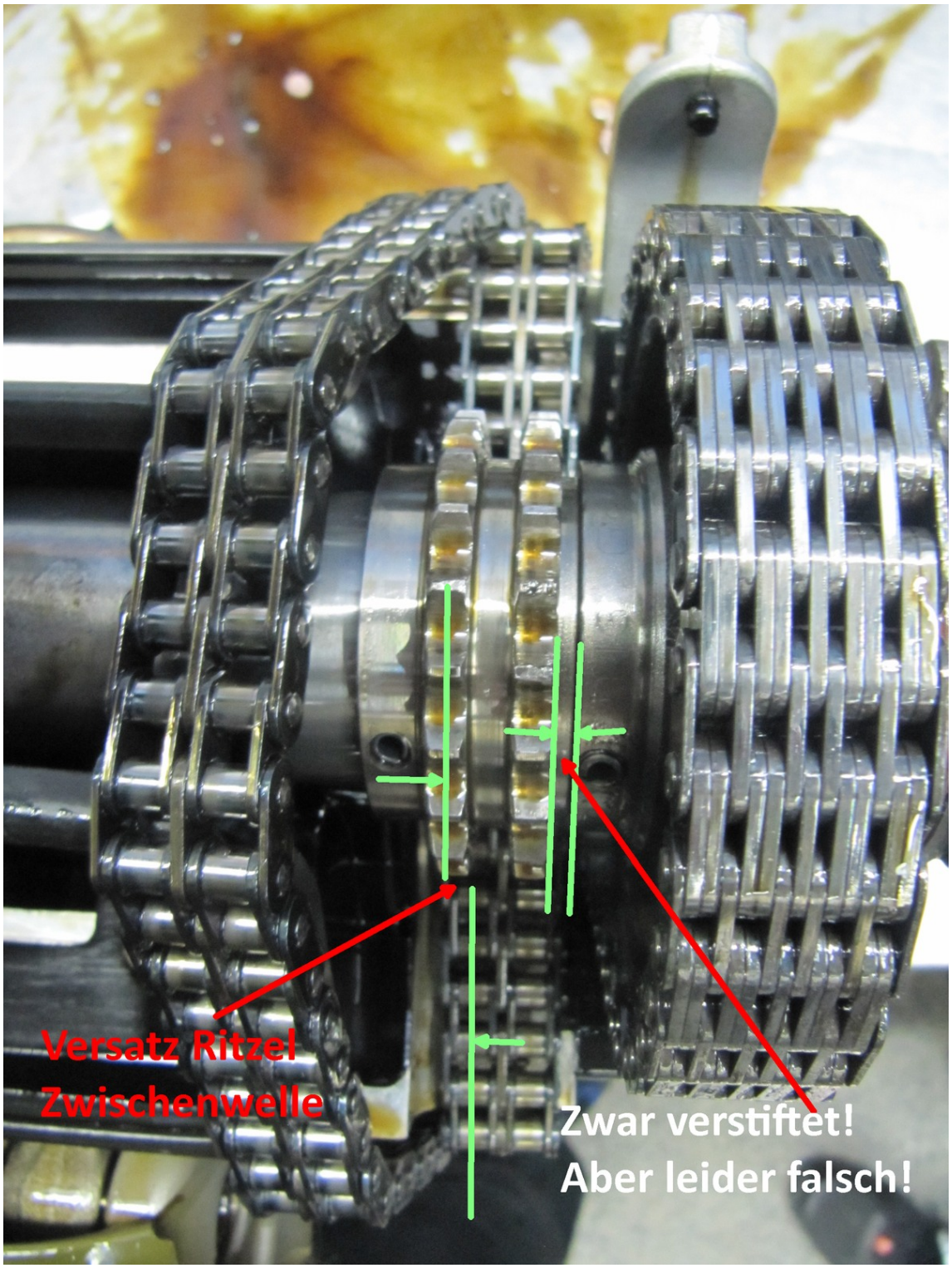



**Bild 32: Die Überraschung war groß. Zuerst viel uns auf, dass fast alle Zähne des Ritzels auf der Zwischenwelle alle stark beschädigt waren. Dann bemerkten wir, dass die Ritzel zwar gem. unserer Empfehlung verstiftet war, jedoch wurde nicht darauf geachtet, dass das Ritzel, welches die Kette für den 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.**

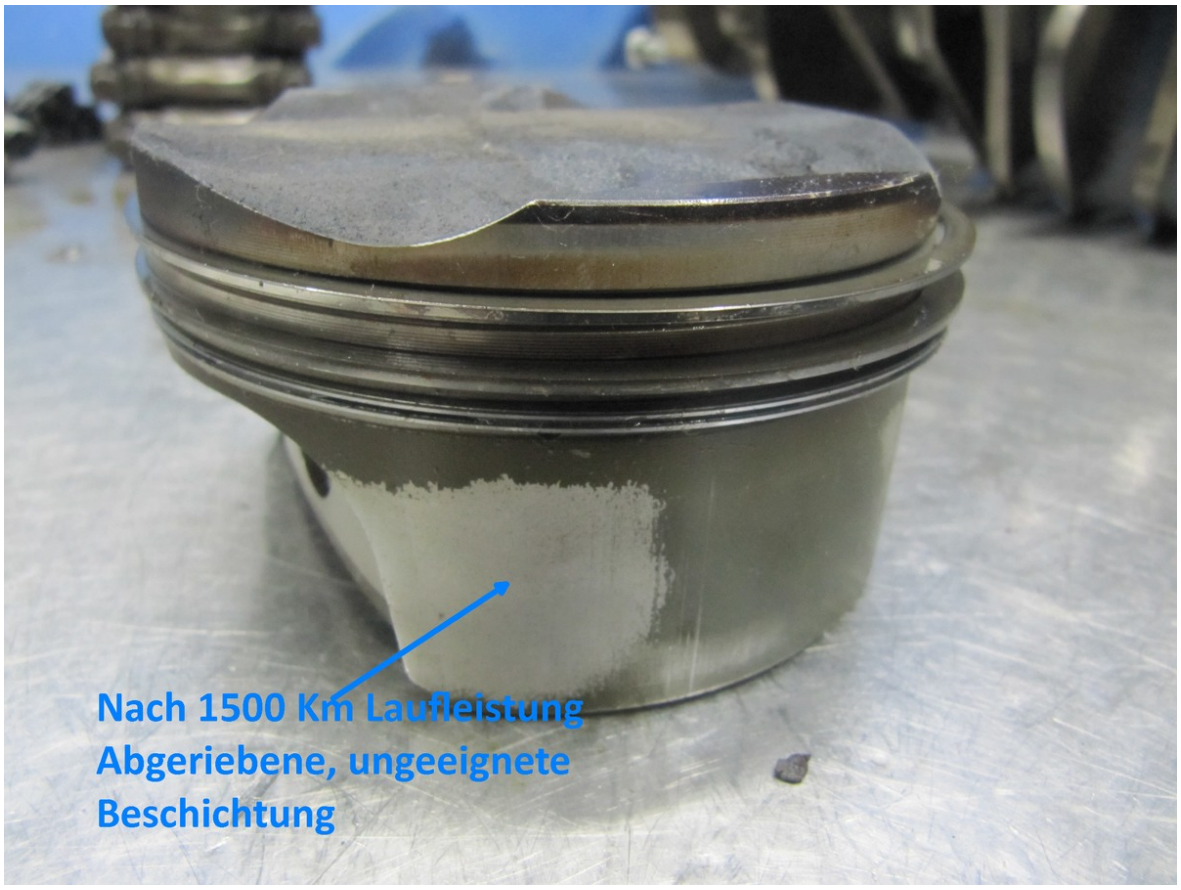



**Bild 33: Auch hier Sauerländer Formel 1 Technik. Im gleichen Motor fanden wir diese Kolben. Die Kolbenhemden wurden mit einer nachweislich nicht geeigneten Beschichtung „überlackiert“. Diese reibt sich bei geringster Belastung und kurzer Zeit nahezu vollständig ab. „Billiger“, bzw. mit mehr Rendite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

**Anlage 2**

# Preisliste Motor-Upgrade-Produkte für M.96/97

| Art.- Nr. | Artikel | Preis / € |
|---|---|---|
| | | |
| 11707 | Verstärkte Kettenschiene Alu gefräst / eloxiert | 255,00 |
| 11638 | Kolbenringsatz Motor 3,4 ltr. alte Version<br>(verbesserte OEM Qualität, Hersteller Goetze / Exklusivprodukt | 89,00 |
| 11639 | Kolbenringsatz Motor 3,6 ltr. neue Version<br>(verbesserte OEM Qualität, Hersteller Goetze / Exklusivprodukt | 89,00 |
| 11640 | Kolbenringsatz Motor 3,8 ltr.<br>(verbesserte OEM Qualität, Hersteller Goetze / Exklusivprodukt | 89,00 |
| 11709 | Zwischenwellenlager-Kit Version 1, bis Baujahr 2001<br>(Verstiftung der Ritzel, Bearbeitung Lagersitz, Einbau Doppellager-Kit an angelieferter / ausgebauter Zwischenwelle) | 688,00 |
| 11612 | Zwischenwellenlager-Kit Version 2 , Baujahr 2001-2005<br>(Verstiftung der Ritzel, Einbau Lager-Kit an angelieferter / ausgebauter Zwischenwelle) | 589,00 |
| 11606 | Zwischenwellenlager-Kit Version 2, Baujahr 2001-2005 (nur Schaltgetriebe)<br>(Einbau Lager-Kit an eingebauter Zwischenwelle, ohne Verstiftung der Ritzel, Zusatzkosten für Aus- u. Einbau Getriebe) | 387,00 |
| 11710 | Zwischenwellenlager-Kit Version 3, Baujahr 2005-2008<br>(Verstiftung der Ritzel, Einbau Lager-Kit an angelieferter / ausgebauter Zwischenwelle) | 385,00 |
| 11711 | Accusump-Racing-System ASPM96/7 | auf Anfrage |
| 11712 | Racing-Ölwanne ROPM96/7 | 995,00 |
| 11692 | Ölablassschraube mit Neodym Magnet(sehr stark) | 32,00 |
| 11540 | Ölablassschraube OEM Qualität | 28,95 |
| 11663 | Niedrigtemperatur-Thermostat, inkl. Dichtung | 96,00 |
| 10995 | Spezial-Motoröl Cartronic RSX 10W 60 / 1 ltr. | 23,90 |
| 10927 | Prophylaxe-Kit (bestehend aus Niedrigtemperatur-Thermostat inkl. Dichtung, magnetische Ölablassschraube, 10 ltr. Motoröl 10W 60 | 367,00 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Alle Preise inkl. der gesetzlichen MwSt von 19% - Preisänderungen vorbehalten -.

Preise für Kennfeldabstimmung, Prüfstandsmessung und Abstimmung auf dem Prüfstand sowie unsere Sportabgasanlagen mit TÜV erfragen Sie bei uns oder auf unserer Webseite 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 uns:**

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