

Defekte Steuerketten beim VW/AUDI VR6 MPI 3,2-Liter Aggregat BDB, BMJ, BUB & BFH, BML



Bildquelle: MTZ 2003

**Christian Schlenger & Michael Lorch
2009**

**Ursachenforschung der Steuerkettenlängung
sowie Ausarbeitung von Lösungen zur
Vermeidung erneuter Kettenlängung und
Kettenbrüchen beim VW/AUDI VR6 MPI
3,2-Liter Aggregat**

15.08.2009
Christian Schlenger
Chris1985@a3-quattro.de

Michael Lorch
Info@A3-quattro.de

Kurzfassung

Der Steuertrieb verbindet Nockenwellen mit der Kurbelwelle und treibt die Ventilsteuerung des Motors an. Neben Zahnrädern und –riemen sind Ketten die gebräuchlichsten Übertragungsmittel.

Bei dem VW/Audi VR6 MPI 3,2-Liter Aggregat häufen sich seit über 2 Jahren Schäden am Steuerkettentrieb. Häufig betroffene Motorvarianten stellen die Aggregate der Audi AG mit den Motorkennbuchstaben BDB, BMJ sowie die im VW Konzern eingesetzten BFH und BML dar. Die Schäden äußern sich in Form von Längung der Steuerkette, abrasiven Verschleißerscheinungen der Laufschiene, sowie in schweren Fällen, besonders bei Fahrzeugen der Kategorie VW Golf IV R32 Brüche der Steuerkette. VW und Audi besserten öfters in der Serie nach, durch den Einsatz neuerer Steuerketten. Die zuerst verbauten Ketten der Firma Sachs, wurden durch Ketten der Firma Iwis getauscht. Was jedoch zu keiner Verbesserung führte. Lediglich verschwanden die Brüche. Erste Merkmale eines defekten Steuerkettentriebes sind rasselnde, klackernde und schabende Geräusche des Motors, sowie in einigen Fällen das Aufleuchten der Motorchecklampe und abgespeicherte Fehlermeldungen im Bordcomputer. Hinzu kommen schleichender Leistungsverlust, Ruckeln, erhöhter Verbrauch und Rußbildung am ESD.

Durch die gerade im Jahre 2008 sehr stark gestiegene Anzahl von Defekten, wurde die Thematik Steuerkettenlängung intensiv untersucht, um erstens die Ursache zu finden und zweitens Lösungen zur Vermeidung solcher Schäden zu erarbeiten.

Nach umfangreichen Recherchen, Untersuchungen und Analysen bei diversen Labors und Institutionen sowie Ingenieurbüros wurden folgende Einflussgrößen ermittelt, die direkt oder indirekt die Schädigung des Steuerkettentriebes hervorrufen oder dies begünstigen.

Einflussgrößen:

- Ölwechsel im Longlifeintervall
- Öle nach Longlife-Spezifikation
- Ölnebelabscheidung
- Blowby
- Häufige Kaltstarts, Kurzstrecken, Stadtzyklen
- Verschlammung durch Castrol-Öle
- Erhöhter Öldruck durch defekte Öldruckpumpen
- Schmutzpartikeleintrag im Öl (Ruß, Ölkohle, Glasfaser)
- Wassereintrag im Öl
- Resonanzschwingungen
- Fehlende seitliche Führung der Laufschiene
- Fehlerhafte Nockenwellensensoren
- Korrosionsanfällige Ketten-Werkstoffe
- Wasserstoffversprödung
- In Kettenlasche gestanztes Wort „Sachs“

An späterem Punkt werden alle Einflussgrößen im Detail behandelt und ihre Zusammenhänge erläutert.

Ursache:

Werden die VR6 MPI 3.2-Liter Motoren des VW/Audi-Konzerns mit Motorölen nach Longlife-Spezifikation im Longlife-Serviceintervall überwiegend im Kurzstreckenbetrieb mit vielen Kaltstartphasen bewegt, so werden die gegen Wasserstoffversprödung anfälligen Steuerketten durch aggressives Blowby, Wassereintrag im Motoröl und im Öl gelöste Partikel (Glasfasern, Ölkohle, Ruß) soweit geschädigt, dass sie längen und zerreißen können. Ältere Ketten der Firma Sachs können aufgrund einer Prägung in der Kettenlasche in Verbindung mit schwellender Belastung brechen.

Lösung:

Durch einen frühzeitigen Ölwechsellervice (maximal 10000 km bis 15000 km oder 1 Jahr, je nachdem was zuerst eintritt) unter Verwendung von geeigneten Motorölen (wie bsp. Mobil 1 0W40) sowie der Vermeidung von Kurzstreckenzyklen können Längungen und Brüche von Steuerketten verhindert werden, da sich kein korrosives Medium im Öl bilden kann, welches die Kettenwerkstoffe angreift und durch Wasserstoffversprödung schädigt. Weiterhin sammeln sich keine Fremdpartikel im Öl, welche die Kette verschleifen lassen. Auch wird die Bildung von Ölschlamm verhindert.

Weiterführung:

Die zusammengetragenen Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass es kein spezifisches Problem des VW/Audi VR6 MPI 3,2-Liter Aggregat ist.

Vielmehr könnte man die zusammengefassten Erkenntnisse auf jeden Motor der Konzerne übertragen, welche mittels Steuerketten angetrieben, und überwiegend im Kurzstreckenbetrieb bei Longlife-Serviceintervall unter Verwendung von Motorölen nach Longlife-Spezifikation betrieben werden. Kritisch zu betrachten sind Turbo-aufgeladene Motoren mit geringem Ölvolumen im Ölkreislaufsystem, Motoren mit FSI-Technologie sowie Motoren aus Leichtmetallen wie Aluminium etc.



Christian Schlenger



Michael Lorch

Die Angaben in diesem Bericht basieren auf derzeitigen, aktuellen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien Verarbeiter/Hersteller/Fahrer/Werkstätten wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen.

Eine rechtlich verbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder der Eignung für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind in eigener Verantwortung zu beachten.

Die Verfasser weisen ausdrücklich daraufhin, dass sie keine Verantwortung gleich welcher Form für erfolgte Schäden an Motoren oder Fahrzeugen übernehmen, die durch eigene Schlussfolgerungen und eigenmächtige Handlungsweise nach Durchsicht dieser Ausarbeitung erfolgten.

Die Ausarbeitung der Verfasser stellt lediglich ihre eigenen durch Experiment, Analyse, Recherche und Forschung erlangten Kenntnisse und Meinungen dar.

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	9
2. Aufgabenstellung.....	10
3. Motor, Bauteile und Systembeschreibung.....	13
3.1 Das 3,2-Liter VR6 MPI – Aggregat des VW/Audi-Konzern.....	13
3.2 Der Kettentrieb des Motors	19
3.3 Die Steuerkette	21
3.4 Die Kettenspanner	26
3.5 Die Laufschiene	29
3.6 Die Nockenwellenversteller	32
3.7 Die Ölpumpe	34
3.8 Der Ölabscheider	36
3.9 Die Nockenwellenpositionssensoren.....	38
4. Der Schmierstoff.....	40
4.1 Das Longlife Intervall.....	40
4.2 Das Motoröl nach Longlife Spezifikation	40
4.3 Thematik der Motoröle	41
5. Symptome und Diagnose der Kettenlängung.....	44
5.1 Erste Anzeichen.....	44
5.2 Einsatz des Werkstattdiagnosesystems.....	45
5.3 Die manuelle Sichtprüfung.....	47
5.4 Die Geräuschanalyse.....	54
5.5 Tipp`s zum Gebrauchtwagenkauf	65
6. Die Einflussgrößen	66
6.1 Das Öl.....	66
6.2 Blowby: Was ist das und welche Auswirkung hat es?.....	67
6.3 Häufige Kaltstarts, Kurzstrecken und Heißbetrieb	71
6.4 Thematik der glasfaserverstärkten Laufschiene des Steuerkettentriebes.....	72
6.5 Schmutzpartikeleintrag im Öl (Ruß, Glasfaser, Schwarzschlamm etc.)	75
6.6 Wassereintrag im Öl.....	80
6.7 Resonanzschwingungen	80
6.8 Fehlende seitliche Führungen der Laufschiene	81
6.9 Anfällige Nockenwellenpositionsgeber.....	84
6.10 Korrosionsanfällige Kettenwerkstoffe.....	85
6.11 Wasserstoffversprödung	85
6.12 Die Steuerketten der Revisionsstufen im Serieneinsatz.....	89
6.13 Werkstoff, Volumen, Anströmung und Geometrie des Motor	91

7. Das Zusammenspiel aller Einflussgrößen	92
8. Die fachgerechte Reparatur	96
8.1 Werkstätten und Steuerkettenschäden	99
9. Zitat SWR	99
10. Vermeidung von Schäden	101
10.1 Workshop zur besseren Überwachung / Abhilfe	103
11. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	107
12. Schlusswort	110
13. Literatur-, Bild- und Quellennachweis	111
14. Die DVD zum Bericht	114
15. Anhang	115

Vermerke zum Urheberrecht und Copyright

Das Verwenden dieser Ausführung ohne Genehmigung der Verfasser ist nicht gestattet. Ebenso ist es nicht erlaubt die Ausführung zu vervielfältigen, abzuändern, Auszüge zu entnehmen oder in irgendeiner Form Bilder und Anlagen zu verwenden, zu verbreiten oder als eigenes Wissen darzustellen.

Alle Inhalte sind geistiges Eigentum der Verfasser.

Genehmigungen sind bei den Verfassern selbst einzuholen.

Zuwiderhandlungen werden umgehend an die Rechtsanwaltskanzlei

Lohbeck & Partner
Hornschuchpromenade 7
90762 Fürth
www.lohbeck.net

weitergeleitet und verfolgt.

Das abgebildete Logo der A3-quattro Community ist rechtlich geschützt und unterliegt ebenso dem Urheberrecht.

Anfragen zu Gebrauch und Verwendung sind an folgende Emailadressen zu stellen:

Info@A3-quattro.de

Chris1985@A3-quattro.de

1. Vorwort

Diese Ausführung wurde von den Verfassern eigens als Instrument für Fahrer erstellt, in deren Fahrzeug ein 3.2-Liter VR6 MPI Aggregat des VW/Audi-Konzerns verbaut wurde.

Sie soll ihnen helfen, frühzeitig Defekte am Steuerkettentrieb zu erkennen, um eine fachgerechte Reparatur einleiten zu können. Nur so besteht die Möglichkeit einen größeren Schaden des Aggregates abzuwenden.

Desweiteren werden Einblicke in die verbaute Technik und deren Funktionsweise gegeben.

Die Verfasser setzen zudem ihre Erkenntnisse um, welche sie in akribischer über einjähriger Arbeit erlangt haben, und geben dem Leser zahlreiche Hilfen in die Hand und damit Möglichkeiten, wie sie durch recht einfache Maßnahmen die gefährliche Steuerkettenlängung mindern bzw. vermeiden können. Somit bleibt ihnen der Spaß am Fahren erhalten und der Motor wird lange einwandfrei laufen können.

Abstandserklärung

Die Verfasser distanzieren sich ausdrücklich davon, in diesem Bericht Kritik gegenüber dem VW/Audi-Konzern zu äußern oder darzulegen. Dies liegt nicht im Sinne dieser Ausführung. Es werden hier lediglich bauliche IST-Zustände des Aggregates aufgeführt, die genau recherchiert wurden und belegbar sind, mit dem Ziel die vorhandenen Zustände für Fahrer dieser betroffenen Fahrzeuge zu optimieren, um somit die Laufleistung ihres VW/Audi zu erhöhen, und weiterhin die Freude am Fahren und die Markentreue zu erhalten.



Christian Schlenger



Michael Lorch

Im August 2009

2. Aufgabenstellung

In der letzten Zeit häuften sich vermehrt Steuerkettenschäden beim Audi A3 3.2 quattro mit dem 3.2-Liter VR6 MPI Motor des VW/Audi Konzerns.

Betroffen sind derzeit die Aggregate mit den Motorkennbuchstaben BDB und BMJ.

Ein Übergreifen auf die neuere Variante BUB ist sehr wahrscheinlich, da AUDI diesen Motortyp im Frühjahr 2009 in das interne Ereignissystem aufgenommen hat.

Beim Konzernbruder VW Golf R32, insbesondere beim Golf 4 (weniger Golf 5), sind diese Probleme schon länger bekannt und täglich aktuell. Man muss nur einschlägige Internetforen wie www.Motor-Talk.de bzw. www.R32-Club.de aufsuchen.

Im Gegensatz zum R32 bei dem die Ketten reißen, haben Audi A3-Besitzer noch Glück im Unglück. Die Steuerketten längen hier nur.

Aber in einer Geschwindigkeit die nicht der berechneten normalen Lebensdauer entspricht. Sehr oft längen die Steuerketten der Baujahre 2003 und 2004 zwischen 30000 Kilometer und 80000 Kilometern. Einzelne PKW weisen weniger bzw. mehr Laufleistung auf.

Eine Liste betroffener Fahrzeuge zeigt die **Anlage 1_1**.

Fahrer bemerken dies an Rassel-, Klacker- und Schabgeräuschen aus Bereichen zwischen Motorblock und Luftfilterkasten und im fahrerseitigen Radkasten.

Im fortgeschrittenen Stadium leuchtet die Motorchecklampe im Kombiinstrument auf.

Audi gibt zum Aufleuchten den Schwellenwert mit -8° KW vor und spricht erst ab hier von Kettenlängung.

Weitere Erkennungszeichen sind Motorruckeln, ein unrunder Lauf, erhöhter Spritverbrauch sowie mangelnde Leistung insbesondere im oberen Bereich.

Ein Besuch der Audi-Vertragswerkstatt brachte in den allermeisten Fällen kein Erfolg.

Die Mitarbeiter sind kaum in der Lage die Geräusche zu erkennen und zu deuten.

Meist bekommen Kunden folgende Aussagen zu hören:

- „...dies sind typische altersbedingte Klangveränderungen des Motors“
- „...das ist Stand der Technik“
- „...das sind Getriebegeräusche welche normal sind“

Eine Fehlerdiagnose mit dem entsprechenden Diagnosegerät verläuft meist erfolglos, da ein Fehler nicht immer generiert wird. Dies hängt an den stark streuenden Nockenwellenpositionsgebern, welche die Werte ermitteln und an diverse Steuergeräte weiterleiten.

Erfolgt irgendwann doch eine positive Schadensanerkennung, geht der Streit wegen der Kostenübernahme los. Wer zahlt? Werksgarantie, Neuwagenanschlussgarantieversicherung, Gebrauchtwagenversicherung? ... etc.

Wer dies nicht hat, ist auf Kulanz durch den Hersteller angewiesen. Dieser handelt hier undurchschaubar. Fahrer von A3 teils gleicher Lauflistung und Alter erhalten hier unterschiedlich Kulanz. In einem Rahmen von 0% über 50%, 70%, 80% bis 100%

Ein System wer wie viel Prozent an Kulanz erhält ist nicht zu erkennen.

Das SWR TV Automagazin RASTHAUS berichtete eigens in einer Sendung über Steuerkettenschäden beim Audi A3 3.2 quattro und die Vorgehensweise der Werkstätten und des Konzerns. Den Bericht kann man hier sehen: <http://www.youtube.com/watch?v=8KvDz2TGJv0>

Fragt man in den Werkstätten nach dem Grund weshalb die Ketten längen, bekommt man keine oder nur unzureichende Antworten. Den genauen Grund, konnten oder wollten weder Werkstätten noch Hersteller nennen. Teils wurde von den Werkstätten geleugnet, dass es überhaupt dieses Problem gibt.

Unter diesen Gesichtspunkten ergab sich nun die Aufgabenstellung für die Verfasser, zu erforschen weshalb Steuerketten längen und teils durch Gewaltbrüche zerstört werden, und welche Gegenmaßnahmen man ergreifen kann dieses zu verhindern.

Wichtig war auch, ein Instrument zu erhalten, wodurch man auf einfache Art und Weise selbst feststellen kann, ob der eigene PKW geschädigt ist oder nicht.

Gerade der Punkt Gegenmaßnahmen zu finden, wurde Anfang März 2009 noch wichtiger als zu Beginn dieser Ausführung Ende Januar 2009.

Der Grund liegt in der Entscheidung der Audi AG, die in KW11 / 2009 bekannt gab, die Produktion des Audi A3 3.2 quattro ab der KW22 / 2009 ganz einzustellen.

Dieser Schritt erfolgte nur wenige Wochen nach der Entscheidung, den Audi A3 3.2 quattro nur noch mit dem DSG auszuliefern. Das Schaltgetriebe wurde gestrichen.

Ein Verdacht liegt hier nahe, dass die Audi AG und die Verantwortlichen im Volkswagen Konzern somit verhindern wollen, größere Summen zur Behebung von Schäden zahlen zu müssen. Ebenso ist es denkbar, dass sie mit hohen Stückzahlen bei Wandlung und Kulanzen rechnen, sollte der Audi A3 3.2 quattro weiterhin produziert werden.

Der Entfall des Schaltgetriebes könnte mit der Problematik des „Pochens“ beim Zweimassenschwungrad zusammen hängen. Hierzu gab es im Dezember 2007 einen Gerichtsprozess vor dem Landgericht Wiesbaden, bei dem ein Gutachten der Dekra dem Fahrer bestätigte, dass die Problematik des Zweimassenschwungrades nicht Stand der Technik ist, sondern ein konstruktiver Mangel, der auch durch den Austausch gegen ein neues Zweimassenschwungrad nicht abzustellen ist.

Diese Ausarbeitung führt auf, dass die Kettenlängung nicht nur bestimmte Motorentypen wie zum Beispiel den BDB betrifft, sondern alle Motoren treffen kann, sollten ungünstige Einflüsse wie Longlifewechselintervall, Longlifeöl, häufige Kurzstrecken vorhanden sein. Somit erhöht sich die Stückzahl an Fahrzeugen erheblich, die in die Kulanzregelung fallen und den Konzern viel Geld kosten.

Die vielen Mängel mit dem Zweimassenschwungrad und den Steuerketten sprechen sich sehr schnell herum, weshalb der Konzern reagieren musste. Allein an den wenigen bisher verkauften Modellen wird es nicht liegen. Großvolumige Motoren mit viel Leistung werden auch in anderen Konzernmodellen in geringer Stückzahl angeboten.

Aus diesem Grund ist es wichtig, mit geeigneten Maßnahmen die wenigen bisher gebauten Audi A3 mit dem VR6-Motor so gut es geht zu pflegen und zu warten, um ihnen eine lange Laufzeit geben zu können. Hierzu eine Lösung zu finden, war einer der Hauptgründe der Aufgabenstellung.

3. Motor, Bauteile und Systembeschreibung

3.1 Das 3,2-Liter VR6 MPI – Aggregat des VW/Audi-Konzern

Mit der Neuauflage des Audi A3 im Jahre 2003, intern 8P bezeichnet, führte Audi zugleich erstmals ein Sechszylinder-Aggregat im A-Segment ein. Im Konzernbruder VW Golf R32 wurde es schon etwas länger angeboten. Hier allerdings mit 241PS statt der 250PS im Audi A3. Erst mit Einführung des Golf V erhielt auch der Wolfsburger ein 250PS starkes Triebwerk.



Bild 3.1_1 - Der Audi A3 3.2 quattro

Top-Motor für die Top-Version:

Der neue Audi A3 3.2 quattro erhält ab Markteinführung im Herbst 2003 die leistungsstärkste Version des 3,2 Liter-V6 mit 184 kW (250 PS). Sein maximales Drehmoment von 320 Newtonmetern mobilisiert der V6 zwischen 2.500 und 3.000 1/min; die Höchstleistung erreicht er bei 6.300 1/min. Dies bedeutet eine Leistungssteigerung um 7 kW/ 9 PS. Technische Basis dafür ist ein modifizierter Abgastrakt. Zusätzlicher Gewinn für den Fahrer: ein betont sportlicher Sound, der den VR6 zum akustischen Genussmittel macht. Der bärenstarke Sechszylinder - er kommt in der gleichen Leistungsstufe auch im Audi TT 3.2 zum Einsatz - beschleunigt den Top-A3 in nur 6,5 Sekunden von 0 auf 100 km/h. Seine Höchstgeschwindigkeit erreicht der A3 3.2 mit 250 km/h (abgeregelt). Mit diesen Fahrleistungen qualifiziert sich die zweite Generation des A3 zum Spitzensportler im Feld der Premium-Kompaktklasse.

Änderung:

Ab Modelljahr 05 änderten sich die Getriebeübersetzungen beim 6-Gangschalter und die Software des DSG. Die Beschleunigungswerte wurden damit wie folgt verbessert:

DSG 6,2 sec 0 auf 100km/h
 6-Gang 6,3 sec 0 auf 100km/h

Das Datenblatt des Audi A3 3.2 quattro ist unter **Anlage 2_1** aufgeführt
 Im März 2009 gibt die Audi AG bekannt, dass die Produktion des Audi A3 3.2 quattro ab der Kalenderwoche 22 bis auf weiteres eingestellt wird. Die Gründe sind derzeit noch unbekannt.

Technik im Detail

Bauart	--	VR
Hubraum	cm ³	3189
Hub	mm	95,9
Bohrung	mm	84,0
Verdichtungsverhältnis	--	11,25
Pleuellänge	mm	164,0
Zylinderabstand	mm	65,0
V-Winkel	--	15°
Schrägung	mm	+/- 12,5
Kurbelwellenlagerung	--	7-fach
Hauptlagerdurchmesser	mm	60,0
Pleuellagerdurchmesser	mm	54,0
Ventildurchmesser	.	.
- Einlass	mm	33,2
- Auslass	mm	30,2
Zündungsfolge	--	1-5-3-6-2-4
Ventilhub	.	.
- Einlass	mm	10,0
- Auslass	mm	10,0
Kraftstoff	ROZ	98/95
Zündung	--	Einzelstanzzündspulen
Nennleistung bei Drehzahl	kW min/1	184 6300
Max. Drehmoment bei Drehzahl	Nm min/1	320 von 2500 bis 3000
Max. Nutzmitteldruck	bar	12,60
Mittlere Kolbengeschwindigkeit	m/s	19,8

Tabelle 3.1_1 – Daten des VR6-Motor

Motorkennbuchstaben und ihr ungefährender Einsatz-Zeitraum

BDB- eingesetzt von 7/03 - 8 /04

BMJ- eingesetzt von 9/04 - 10/05

BUB- eingesetzt von 11/05 – KW 22/2009

Konzept

Der Sechszylindermotor der VR-Motoren-Baureihe von Volkswagen wird bei AUDI erstmals in der Quermotor-Plattform eingesetzt. Die Weiterentwicklung des 2,8L-VR6 Vierventilmotors wurde im Hubraum auf 3189 Kubikzentimeter vergrößert. Durch Optimierung des Ansaug- und Abgassystems steigen die spezifischen Leistungs- und Drehmomentwerte. Der Motor erzielt ein maximales Drehmoment von 320 Nm bei 2500/min. und erreicht 184kW bei 6300/min. Das Fahrzeug erfüllt in allen Motor-Getriebekombinationen die Abgasgesetzgebung nach EURO 4.

Das Hubraumvolumen des 2,8L-Sechszylindermotors der V-Baureihe von Volkswagen wurde von bisher 2792cm³ auf 3189cm³ angehoben. Der Ersteinsatz des Motors erfolgte im Volkswagen Phaeton. Nach weiteren Anwendungen bei Volkswagen im Touareg und Golf R32 wird der Motor auch bei AUDI im TT und nun auch im A3 eingesetzt. Damit nutzt jetzt auch AUDI die Vorteile der VR-Baureihe mit einem Zylinderwinkel von nur 15°, der wegen der geringen Breite und Länge des Motors den Einbau vorne quer im kompakten Fahrzeug ermöglicht. Ein Hubraum von 3,2 Liter wäre in diesem Einbauraum mit keinem anderen Motortyp darstellbar. Die Anordnung der Nebenaggregate und Anbauteile war an die Erfordernisse der neuen A-Klasse-Plattform der fünften Generation des Volkswagenkonzerns anzupassen.

Grundmotor

Der neue 3,2L-Motor weist das gleiche technische Konzept wie der 2,8L-Basismotor auf

- Vierventil-Zylinderkopf mit Rollenschlepphebel-Ventiltrieb
- Kontinuierliche Ein- und Auslassnockenwellenverstellung
- Resonanz-Schaltsaugrohr aus Kunststoff
- Grauguss-Zylinderkurbelgehäuse
- Einzelstabzündspule für jeden Zylinder

Die wichtigsten technischen Daten sind in der obigen Tabelle zusammengefasst. Die Erhöhung des Hubraums wird durch Vergrößerung des Kolbenhubes von 90,3mm auf 95,9mm sowie der Zylinderbohrung von 81,0mm auf 84,0mm erzielt. Die Steigerung der spezifischen Leistungskennwerte ist neben der Hubraumvergrößerung im Wesentlichen auf die komplette Neuauslegung des Ansaugsystems mit der Optimierung der Strömungsgeometrie von Saugrohr und Kanälen im Zylinderkopf zurückzuführen. Der Zylinderkopf stellt gegenüber dem 2,8Liter-Motor eine Neuentwicklung dar. Der Schwerpunkt wurde auf die Steigerung des Durchflussvermögens gelegt. Die Ein- und Auslasskanäle weisen größere Strömungsquerschnitte auf, die Durchmesser der Ein- Auslassventile sind auf 33,2mm bzw. 30,2mm vergrößert.

Das bekannte Prinzip des Schaltsaugrohres in Überkopfanordnung mit getrenntem Haupt- und Leistungssammler wurde vom 2,8-Liter-Motor übernommen. Die Luftversorgung der Zylinder erfolgt in Drehmomentstellung direkt über den Hauptsammler und die Drehmomentrohre. In Leistungsstellung gibt die Schaltwalze die Verbindung zum Leistungssammler frei, so daß die Luftversorgung zusätzlich zu den Drehmomentrohren auch über den Leistungssammler erfolgt. Konsequente Detailoptimierung und reduzierte Strömungsverluste führen zur Erhöhung der spezifischen Leistungskennwerte. Besondere Bedeutung kommt den Einlaufbereichen der Saugarme in die Sammler zu.

Es wurden eine ausgeprägte Ebenheit der Druckwellenreflektion und eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung im Mündungsquerschnitt erreicht. Beispielhaft ist die ausgeprägte Gleichverteilung am Ansaugvorgang des Zylinders 2. Im Bereich der Rohrverzweigung am Leistungssammler wurden eine Reduktion von Druckverlusten und eine gute Querschnittsnutzung der einzelnen Saugarme erzielt. Die reduzierte Leckage an der Schaltwalze bewirkt ein schmales Streuband der gemessenen maximalen Drehmomente bei hohen spezifischen Werten.

Die Steuerung der Nockenwellen

Das Prinzip der Doppelnockenwellenverstellung wird beim 3,2-Liter-Motor zusätzlich um das Potenzial der kontinuierlichen Verstellung der Auslassnockenwelle erweitert. Der Verstellwinkel der Einlassnockenwelle beträgt 52° KW, der der Auslassnockenwelle hier erstmalig 42° KW. Die Grundposition beim Motorstart ist bei der Einlassnockenwelle auf spätes Ventilöffnen ausgelegt. Bei der Auslassnockenwelle war aufgrund des weiteren Verstellbereiches sicheres Starten in der Spätposition unter allen Betriebsbedingungen, besonders bei tiefen Temperaturen, nicht möglich. Daher wird der Auslassnockenwellenversteller mittels Sperrbolzen in der Position "frühes Ventilöffnen" mechanisch versperrt. Somit erfolgt der Motorstart unter allen Randbedingungen zuverlässig mit minimaler Ventilüberschneidung, die auch die beste Betriebsposition für den Leerlauf ist.

Der erweiterte Verstellbereich der Auslassnockenwelle ergibt in Verbindung mit einer um 7° KW in Richtung "spätes Öffnen" verschobenen Grundposition einen maximalen Überschneidungswinkel von 47° KW gegenüber 19° KW bei den bisherigen Anwendungen. Dieser wird im Betrieb nicht voll genutzt, aber der Überschneidungsbereich wird nach spät verlagert. Statt des Ausschlebens des verbrannten Gases in den Einlasskanal und Rücksaugen in den Brennraum (reinspirative Abgasrückführung) wird der Verbleib eines Teiles des Restgases im Zylinder (residuale AGR) erreicht. Damit ergeben sich folgende Vorteile bei der internen Abgasrückführung (AGR).

- Verbrauchseinsparung durch reduzierte Gaswechselarbeit
- vergrößerter Teillastbereich mit Abgasrückführung
- bessere Laufruhe
- geringere Empfindlichkeit gegen Gemischschwankungen
- Abgasrückführung schon bei kaltem Motor möglich

Eine Reduzierung des Verbrauches um 4% gegenüber den bisher eingesetzten 3,2-L-Motoren und um 6,5% gegenüber dem 2,8-L-Basismotor wird in einem weiten Teillastbereich erzielt. Beim Betriebspunkt $P_e=2\text{bar}/n=2000/\text{min}$. beträgt der spezifische Kraftstoffverbrauch 360g/kWh.

Abgassystem und Emissionen des 3.2-L-Motors

Die Doppelflugigkeit in der Abgasanlage bis weit hinter die Katalysatoren bewirkt das hohe Drehmomentmaximum bei der für Otto-Saugmotoren sehr niedrigen Drehzahl von 2500/min. Der hohe spezifische Wert von 100Nm/L wie beim Golf R32 und AUDI TT wird durch konsequente Feinabstimmung erreicht. Die Abgasanlage enthält je einen Hauptkatalysator sowie 2 Lambdasonden pro Abgasstrang. Vor den Katalysatoren wird die neueste Generation der planaren Breitband-Lambda-Sonde von Bosch, LSU 4.9 mit geregelter Heizung, eingesetzt. Die Lambda-Regelung spricht so sehr früh an. Die Rohgasemissionen konnten aufgrund des Einsetzens der residualen Abgasrückführung bei niedrigen Motortemperaturen sowie der verbesserten Abmagerfähigkeit besonders im Kaltstart und in der Warmlaufphase weiter reduziert werden. Die zweistrahligten Einspritzventile im Zylinderkopf sind gegenüber dem 2,8-l-Motor näher an den Einlassventilen angeordnet. Die dadurch verbesserte Gemischaufbereitung macht zudem die Luftumfassung der Einspritzventile überflüssig. Die Kraftstoffzuführung zu den Einspritzventilen erfolgt bedarfsgeregelt und rücklauffrei. Damit wird die Erwärmung des Kraftstoffes im Tank reduziert, die Verdampfungsemissionen verringern sich. Eine Sekundärlufteinblasung unterstützt das frühe Ansprechen der beiden Hauptkatalysatoren unter dem Fahrzeugboden mit je 1,0-Liter Volumen. Die Abgasgrenzwerte nach Euro 4 werden mit beiden Getriebevarianten deutlich unterschritten.

Motorsteuerung des 3.2-L-Motors

Als Motorsteuerung kommt die Motronic ME7.1.1 von Bosch zum Einsatz. Die Prozessorgeschwindigkeit wurde wegen des Rechenaufwandes für zahlreiche neue Funktionen von 32 auf 40MHz erhöht. Neue Funktionen waren für den kontinuierlich geregelten Auslassnockenwellenversteller mit weiterem Verstellbereich notwendig. Die Kennfelder der Nockenwellensteuerung waren aufgrund der oben beschriebenen Änderungen völlig neu zu applizieren. Wegen der hohen Abgasrückführaten wurde eine Berechnung des Restgasgehaltes im Zylinder eingeführt. Deren Ergebnisse verbessern wiederum die Berechnung des Saugrohrdruckes und in Folge das Instationärverhalten der Gemischaufbereitung deutlich.

In der Abgasanlage ist zur Verringerung der Geräuschemissionen bei tiefen Drehzahlen eine Klappe integriert, die last- und drehzahlabhängig vom Motorsteuergerät geöffnet wird. Die Regelung der Kühlerlüfter erfolgt wie im Phaeton über ein diskretes Signal aus dem Motorsteuergerät, in dem die zahlreichen notwendigen Informationen zur Einstellung der gewünschten Kühlmitteltemperatur zentral vorliegen. Die Berechnung des gemittelten Ölstandes aus den momentanen Informationen des in der Ölwanne befindlichen Ölstandsgebers erfolgt im Motorsteuergerät. Das Ergebnis wird an das Kombiinstrument weitergeleitet und ist dort Bestandteil der Wartungsintervall-Anzeige. Über den CAN-Bus sind Motorsteuerung, Getriebesteuerung des DSG, ABS, ESP, Klimaanlage, Wegfahrsperrung und das Kombiinstrument vernetzt.

Ergebnisse:

Der Motor leistet 184kW bei 6300/min. Das maximale Drehmoment von 320Nm wird bereits bei einer Drehzahl von 2500/min. erreicht. Der Nuttmitteldruckverlauf liegt im Streuband von Vergleichsmotoren im oberen Bereich. Bei den für den Fahrbereich relevanten niedrigen Drehzahlen unterhalb 3000/min. ist ein erheblicher Vorteil gegenüber vergleichbaren Motoren zu verzeichnen. Die Auslegung der Verdichtung von $E=11,25$ erfolgte für die Kraftstoffqualität ROZ 98. ROZ 95 wird über die Klopfregelung abgedeckt.



Bild 3.1_2 - Schnittmodell des VR6

3.2 Der Kettentrieb des Motors

Der Steuertrieb verbindet Nockenwellen mit der Kurbelwelle und treibt die Ventilsteuerung des Motors an. Neben Zahnrädern und –Riemen sind Ketten die gebräuchlichsten Übertragungsmittel.

Auch der 3.2-Liter VR6 Motor besitzt einen Antrieb mittels Steuerkette. In den folgenden Bildern gut im Detail zu erkennen.



Bild 3.2_1 - Der Kettentrieb des VR6

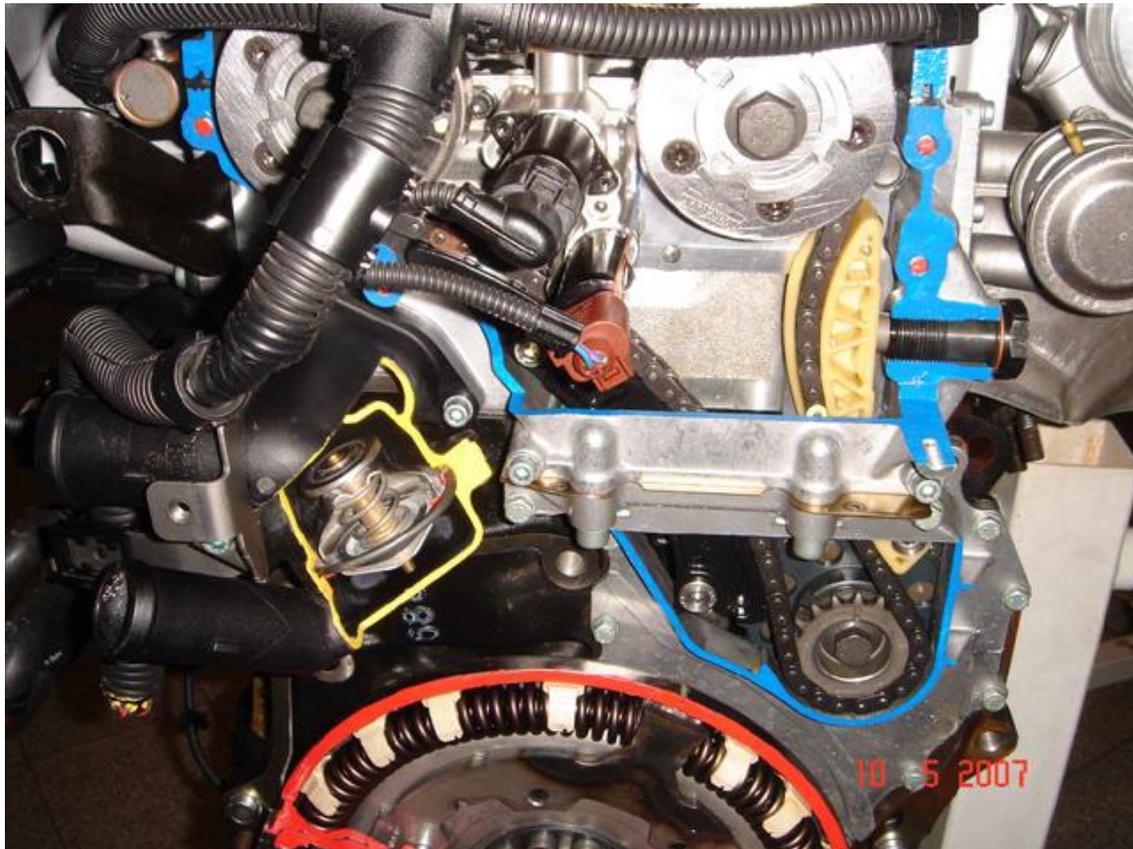


Bild 3.2_2 - Der Kettentrieb des VR6



Bild 3.2_3 - Der Kettentrieb des VR6

3.3 Die Steuerkette

Der Steuertrieb verbindet Nockenwellen mit der Kurbelwelle und treibt die Ventilsteuerung des Motors an. Neben Zahnrädern und –Riemen sind Ketten die gebräuchlichsten Übertragungsmittel.

Im 3.2-Liter VR6 MPI-Motor wurden zu Beginn obere Steuerketten der Firma Sachs verbaut. Diese längten sich allerdings, und teils brachen sie im Golf 4 R32 auseinander.

Im Zuge der laufenden Produktüberwachung verbesserte Audi beim A3 einige Male nach. Unter anderem durch den Austausch der Sachs-Ketten gegen Ketten des Herstellers IWIS. Folgende Änderungszeiträume sind uns bekannt.

März 2004

Juni 2004

Januar 2005

Leider kam es nicht zum erhofften Erfolg, da weiterhin Ketten längten.

Die aktuellste Teilenummer der oberen Steuerkette ist derzeit (Stand August 2009):
IWIS 03H 109 503



Bild 3.3_1 - Oben neue Iwis-Kette, unten (dunkel) alte Sachs-Kette



Bild 3.3_2 - Oben die neue Iwis-Kette, unten die gelängte Sachs-Kette im Vergleich

Die Steuerketten-Teile bestehen im hauptsächlichen aus Kohlenstoffstählen. Die Bolzen meist aus einem hochlegierten Stahl mit Anteilen von Vanadium.

Um stabile Ketten zu erhalten werden sie hochfest vergütet. Dieser Zustand ist allerdings ein schmaler Grat, da hochfeste und vergütete Stähle sehr anfällig gegenüber Wasserstoffversprödung sind. Unter **Punkt 6.11** und **Punkt 7** wird darüber noch ausführlich berichtet.

Ketten unterliegen immer einem gewissen Verschleiß und neigen zur Längung. Dies ist beim Einsatz in Motorrädern oder Fahrrädern nicht anders als bei PKW-Motoren. Allerdings sollte dies in entsprechendem Zeitraum ablaufen, und nicht wie im Falle des Audi A3 3.2 quattro schon ab ca. 30000 Kilometern.

Ursachen gibt es verschiedene. Abrieb durch den Kontakt mit den Kettenrädern, abrasiver Verschleiß durch im Öl befindliche Partikel (Ruß, Ölkohle, Glasfasern), überdurchschnittliche Beanspruchung durch Kraftereinwirkung in Folge defekter Öldruckpumpen welche die Kettenspanner mit erhöhter Kraft auf die Kette drücken lassen. Verminderte Schmierung durch Wassereintrag im Öl.

All diese Einflüsse lassen eine Kette längen. Zusätzlich kommen noch Beanspruchungen der Laschen hinzu, wenn die Kette über die Laufschielen gleitet.



Bild 3.3_3 - verschlissene Sachs-Kette

Durch den abrasiven Verschleiß von in Öl befindlichen Teilen (Ruß, Ölkohle, Glasfaser) verschleifen alle Kettenteile rundherum und werden dünner. Sie bekommen Untermaß, die Passungen haben dadurch mehr Spiel. Die Folge davon ist eine größere seitliche Durchbiegung, sowie eine Längung durch die Teile die nicht mehr in der Toleranz liegen.

In der **Anlage 2.3_1** sind Bilder, welche sehr gut das erhöhte seitliche Spiel und die Längung im Vergleich Alt + Neu veranschaulichen.

Ein weiterer Punkt bei der zuvor eingesetzten Sachs-Kette war das in der Kettenlasche seitlich eingeprägte Firmen-Logo. Erste Vermutungen ließen darauf schließen, dass wohl die tiefe und scharfkantige Prägung mit für die Brüche beim Golf R32 verantwortlich gewesen sein könnte. Bei der REM-Analyse konnte dies bestätigt werden, dass es in Folge Kerbwirkung durch die Prägung zur Rissbildung kam, welche ihren Ursprung im Logo hatte. In diesem Falle waren Dauerschwell-Belastungen die Ursache gewesen. Siehe **Anlage 2.3_2**

Der bei der gerissenen Kette auf den Laschen ermittelte Härtewert betrug im Mittel 470HV10. Als Vorgabe zur Produktion bei Ketten der Firma Iwis wird ein Härtewert von HRC 43+5 gefordert. Gleicht man die Härtewerte nach Vickers (HV10 nach DIN EN ISO 6507) den Werten nach Rockwell (HRC nach DIN EN ISO 6508) an, so läge die gerissene Kette der Firma Sachs im Mittel ca.40-50HV10 über der Anforderung. Sie wären also härter/spröder. Anmerkung: Der Vergleich von Härtewerten, die mit unterschiedlichen Verfahren ermittelt werden, wird auch als *Umwertung* bezeichnet (siehe DIN 50150).

Spätere Ketten waren wiederum anfällig für Wasserstoffeintrag und Versprödung durch Bildung molekularen Wasserstoffes im Gefüge. Siehe **Anlage 2.3_3** und **Anlage 2.3_4**. Diese Schadensform erkennt man unter dem REM an den typischen Merkmalen, wie sie jeder durch Wasserstoffversprödung verursachte Bruch aufweist.

Dies wird noch ausführlich unter dem **Punkt 6.11 Wasserstoffversprödung** behandelt.

Auffällig waren Fälle von reparierten Audi A3, bei denen nach erfolgreicher Reparatur innerhalb kürzester Zeit und wenig Kilometerfahrleistung die Kette erneut längte und sie nach meist 10000 Kilometern bei -3°KW oder -4°KW Verschiebung standen. Zudem traten abermals die bekannten Motorlaufgeräusche auf.

Diese Auffälligkeit wird im **Punkt 7** behandelt.

Eine gelängte Sachs-Kette eines BDB-Motors vom 15.9.2003 EZ wurde vermessen.

Die Ergebnisse sind unter **Anlage 2.3_5** aufgeführt.

Schaut man sich das **Diagramm 1.1_1** in der **Anlage 1_1** an, so fällt einem die große Anzahl an Schäden im Produktionsmonat März 2004 auf. Hier muss irgendwo im Produktionsablauf etwas schiefgelaufen sein. Sei es beim Kettenhersteller Sachs, oder den Motorenbauern bei Audi. Anders ist eine derartig hohe Zahl an Schäden nicht zu erklären.



Bild 3.3_4 - Prägung des Wortes „Sachs“ in der Kettenlasche



Bild 3.3_5 - Prägung des Wortes „Sachs“ in der Kettenlasche.
Deutlich zu sehen wie tief die Prägung ist (roter Rahmen).

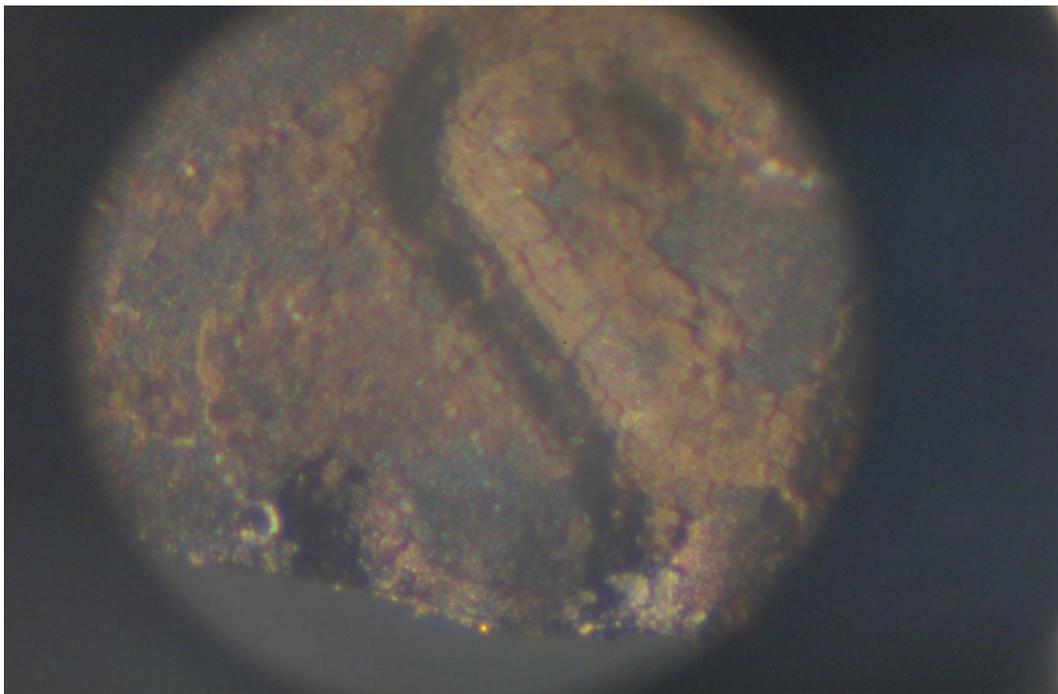


Bild 3.3_6 – Prägung (Buchstabe S von Sachs) mit Bruchfläche

3.4 Die Kettenspanner

Kettenspanner erfüllen in Kettentrieben sehr viele und wichtige Aufgaben.

Sie halten die Kette auf der vorab berechneten Vorspannung, dämpfen zu gleich aber auch Schwingungen ab. Im VR6-Motor kommen 2 unterschiedliche Typen zum Einsatz.

Der obere Spanner ist in Schraubenform ausgeführt und wird von Außen in den Block geschraubt. Er drückt im Inneren auf eine an einem Drehpunkt befestigte Laufschiene und spannt so die Kette vor.

Der untere Spanner befindet sich mitten im Kettentrieb und ist von außen nicht zugänglich. Der Zylinder drückt auf eine am Spanner selbst befindliche Laufschiene welche die untere Kette vorspannt. Der Zylinder ist so ausgelegt, dass man über den Kolbenweg das Maß der Längung bestimmen kann.



Bild 3.4_1 - Unterer Kettenspanner



Bild 3.4_2 - Unterer Kettentrieb des 3.2-Liter VR6 Motor



Bild 3.4_3 oberer Kettenspanner

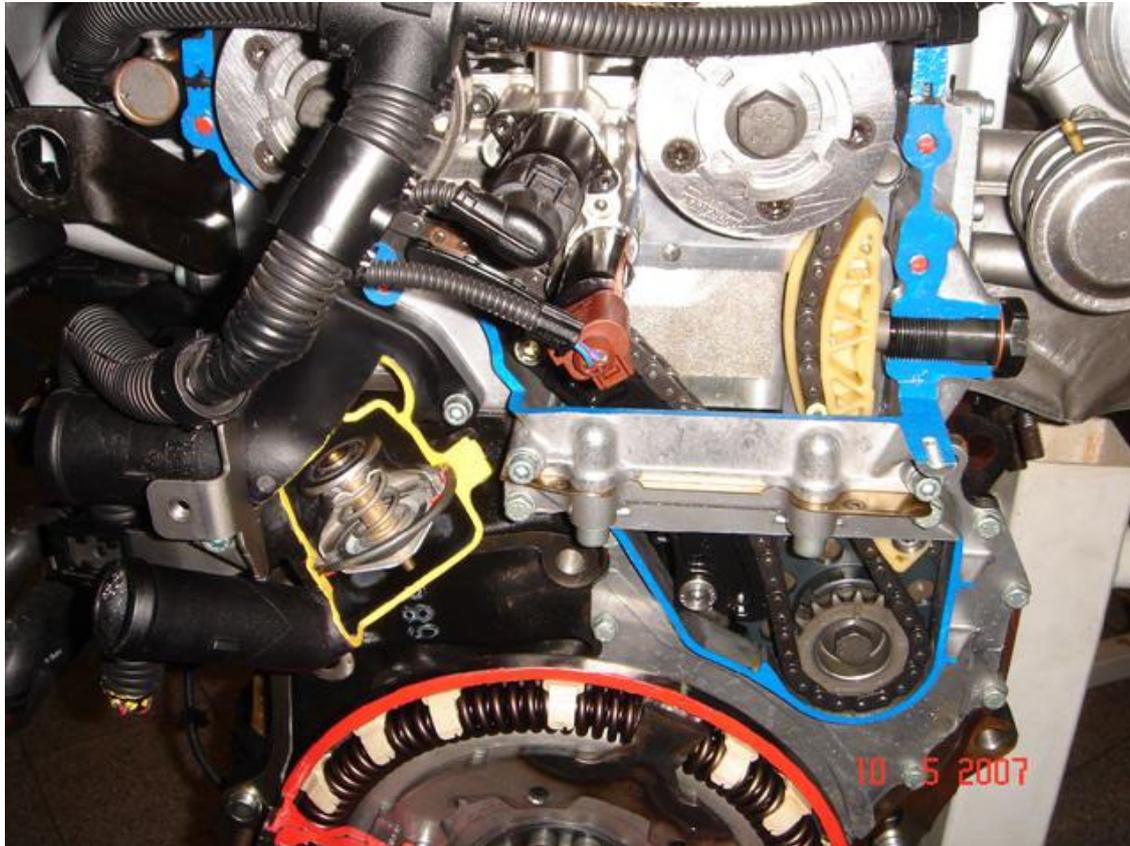


Bild 3.4_4 oberer Kettentrieb des 3.2-Liter VR6 Motor

Zu Beginn wurde vermutet, dass durch ein Defekt in den Spannern, mit erhöhter Kraft auf die Kette gedrückt wurde.

Eventuell im Ölstrom mitgerissene größere Ölkohlepartikel hätten sich in den feinen Ölkanälen sammeln können und Engpässe bilden, was zu Fehlfunktionen hätte führen können. Um dies auszuschließen wurden die Kettenspanner radiografisch untersucht. Es wurden keine inneren Verunreinigungen gefunden.

Die Röntgenaufnahmen sind in der **Anlage 2.4_1**.

Ein überdurchschnittlicher Verschleiß konnte hier nicht festgestellt werden. Die Funktionalität des Zylinders war nicht beeinträchtigt.

3.5 Die Laufschienen

Ein Kettentrieb benötigt zum einwandfreien Betrieb neben Spannelementen auch Laufschienen. Sie sollen die Kette abstützen und führen. Es darf zu keinem Aufschwngen kommen, da hier die Kettenspannung nicht mehr gewährleistet wäre und die Kette eventuell einen Zahn am Kettenrad überspringen könnte. Die Folge wäre, dass die Steuerzeiten nicht mehr stimmen und der synchrone Ablauf von Ventilen und Kolben gestört würde. Das nach unten öffnende Ventil würde auf den nach oben eilenden Kolbenboden stoßen. Das Ergebnis wäre ein kapitaler Motorschaden.

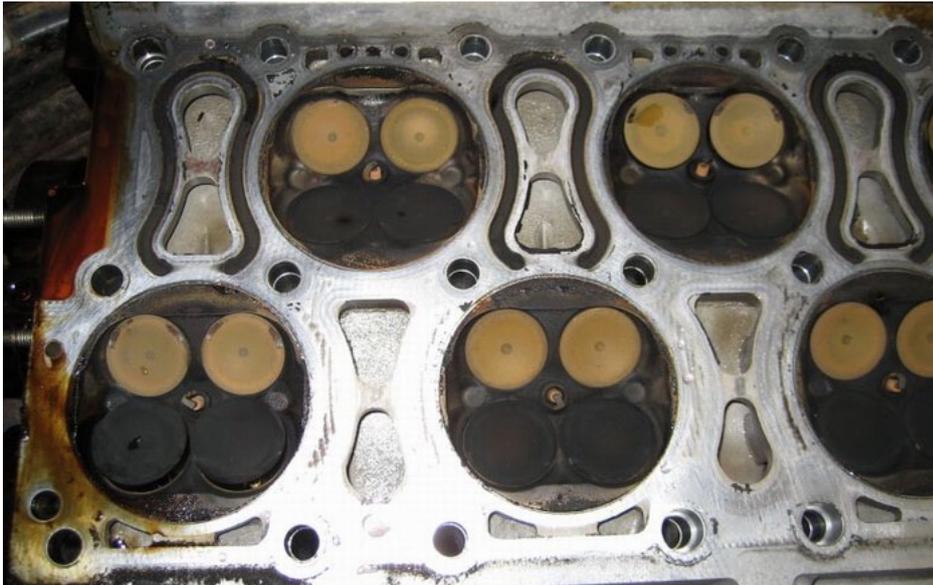


Bild 3.5_1 - Motorschaden nach Steuerkettenriss beim VR6



Bild 3.5_2 - Blick auf den Kettentrieb des VR6

Die ausgebauten Laufschiene zeigten unterschiedliche Verschleißgrade auf.



Bild 3.5_3 - Laufschiene mit Laufspuren der Steuerkette

Viele Laufleisten im Kettentrieb zeigten erhebliche Vertiefungen. Hervorgerufen durch das Eingraben der Kette in den Werkstoff der Laufschiene. Diese Thematik wird unter **Punkt 6.4** genauer untersucht.



Bild 3.5_4 - stark geschädigte Laufschiene



Bild 3.5_5 - stark geschädigte Laufschiene

Betrachtet man sich die Geometrie der im VR6 verbauten Laufschiene genauer, so erkennt man insbesondere im Vergleich zu anderen Motoren einen entscheidenden Schwachpunkt.

Sie sind teils zu kurz ausgeführt, zudem fehlen richtig gute seitliche Führungen, die ein Verrutschen der Kette in seitlicher Richtung verhindern und sie in der Spur halten. Zudem könnte so ein Überspringen verhindert werden.

Durch Laufschiene mit guter seitlicher Führung der Kette, könnte man den Kettentrieb optimieren.

Weitere Bilder der Laufleisten sind in der **Anlage 2.5_1**.

3.6 Die Nockenwellenversteller

Sie sitzen an den Nockenwellen um die Ventilsteuerzeiten zu beeinflussen. Durch einen integrierten Zahnkranz werden sie durch die obere Steuerkette angetrieben. Im Inneren befinden sich Flügelzellen und Kammern welche hydraulisch gesteuert werden können.



Bild 3.6_1 - Alter und neuer NWV

Sie nehmen direkt Einfluss auf den Motorlauf und wurden mehrmals in der Serie gegen verbesserte Varianten ausgetauscht. Vermehrt häuften sich Fälle von Motorruckeln und Leistungsverlust. Insbesondere traten diese Symptome auf, nachdem bei A3-Fahrern unzureichend repariert wurde.

Genauer gesagt, es kam sehr oft vor, dass Werkstätten nur die obere Steuerkette tauschten, ohne die Nockenwellenversteller zu tauschen. Laufschiene und Spanner wurden meist getauscht. Erst zeitlich verzögert begann der Motor zu Ruckeln und unrund zu laufen. Es kam öfters noch zu Drehzahlschwankungen. Erst nachdem durch hartnäckiges Drängen des Kunden die Nockenwellenversteller auch getauscht wurden, waren diese Probleme verschwunden, und der Motor lief rund und hing bissig am Gas. Von den Werkstätten informiert, besserte Audi mit neueren Nockenwellenverstellern nach und führte dies auch in internen Werkstattanweisungen auf. Sobald eine Werkstatt nun defekte Steuerketten tauscht, hat sie die Baustände der ab Werk verbauten Versteller zu kontrollieren. Sind ältere Baustände vorhanden, müssen nun neuere eingebaut werden.

Teilenummern der alten und zuerst verbauten Nockenwellenversteller:
022 109 087 E
022 109 088 G

Teilenummern der neuen und zu verbauenden Nockenwellenversteller:
Bis Fahrgestellnummer 8P 6A085000
022 109 087 J
022 109 088 J

Und ab Fahrgestellnummer 8P 6A085001
022 109 087 H
022 109 088 L

Der Verdacht lag zu Beginn nahe, dass wiederum im Öl befindliche Partikel die hydraulisch arbeitenden Teile außer Betrieb setzen. Dies war der Anlass die NWV einer Röntgenprüfung zu unterziehen, um so in das Innere sehen zu können. Ablagerungen, Partikel oder verschlossene Ölkanäle konnten jedoch am untersuchten Teil nicht lokalisiert werden. Die **Anlage 2.6_1** zeigt die Röntgenbilder der NWV.



Bild 3.6_2 Ein Nockenwellenversteller des VR6

3.7 Die Ölpumpe

Die Ölpumpe ist das zentrale Element der Schmierung eines Motors.

Viele Bauteile im Motor werden durch Gleitlager gelagert und benötigen zur Aufrechterhaltung der Schmierung einen ständigen Ölstrom. Ebenso wird zur Spannung der Ketten und zum Ausgleich des Ventilspiels, mittels hydraulischer Stößel, Öldruck benötigt.

Im VR6 Motor wird, eine Zahnradpumpe eingesetzt, die durch zwei ineinander greifende Zahnräder das Öl aus der Ölwanne fördert und in die Druckkanäle des Motors pumpt.

Verbaut ist die Pumpe unten am Motorblock, so dass sie das Öl direkt aus der Ölwanne ansaugen kann. Dies geschieht durch ein, am Pumpenunterteil angebrachtes, Saugrohr. Durch ein grobmaschiges Metallgeflecht (Ölsieb) wird das Öl vorgefiltert.

Das Öl wird in den Zahnlücken eingeschlossen und außen an der Gehäusewand durch die Pumpe geführt.

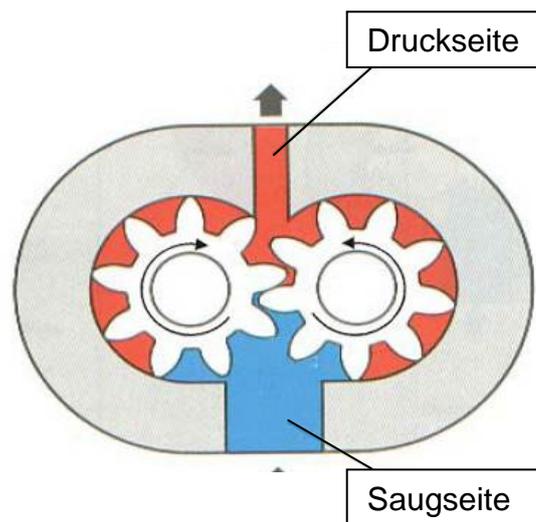


Bild 3.7_1 – Funktionsprinzip einer Zahnradpumpe

Angetrieben wird hierbei nur eines der beiden Zahnräder. Durch den Eingriff der Zahnräder wird gleichzeitig eine Abdichtung zwischen Druck- und Saugseite erreicht.

Der mechanische Antrieb erfolgt über die untere Steuerkette, welche über die Zwischenwelle, ein Winkelgetriebe und eine weitere Welle mit der Ölpumpe verbunden ist.

Des Weiteren ist in der Ölpumpe ein Druckregelventil integriert, um den Öldruck im System zu begrenzen. Ein Druckregelbolzen ist hierfür im unteren Teil der Ölpumpe verbaut. Durch eine Spiralfeder, welche gegen den Bolzen drückt, wird der maximal zulässige Druck von ca. 6 bar konstruktiv festgelegt. Sobald der Druck sich diesem Wert annähert wird der Regelbolzen zurück gedrückt und gibt einen Überströmkanal frei, der das Öl in die Ölwanne zurück fließen lässt. Durch dieses Verfahren wird unzulässig hoher Öldruck abgebaut und der Druck im System auf einem konstanten Niveau gehalten.

Auf dem nachfolgenden Bild sind sämtliche Bauteile einer, aus einem VR6 3,2l stammenden, Ölpumpe zu sehen.

- Links im Bild das Pumpenunterteil incl. des Druckregelventils und Ölsieb
- In der Mitte das obere Gehäuse mit den Zahnrädern
- Rechts das zweite, nicht angetriebene, Zahnrad

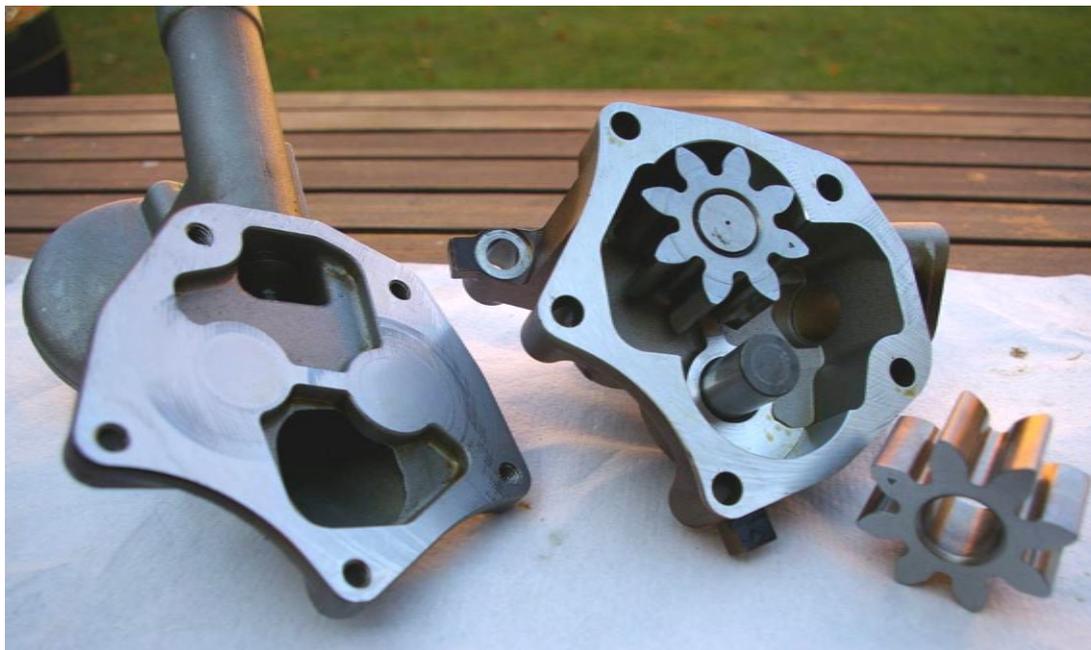


Bild 3.7_2 – Einzelteile der Ölpumpe aus einem VR6 3,2



Bild 3.7_3 – Zahnräder im Eingriff

3.8 Der Ölabscheider

Der Ölabscheider dient dazu das im Luftstrom der Kurbelwellengehäuseentlüftung enthaltene Öl von der Luft zu trennen und dem Motorkreislauf wieder zuzuführen.

Der Ölabscheider ist in den Zylinderkopfdeckel integriert und nicht einzeln austauschbar. Bei den 3,2l Aggregaten gibt es zwei unterschiedliche Bauweisen. Beim Golf 4 R32 befindet sich der Abscheider auf der, in Fahrtrichtung, rechten Seite der Zylinderkopfhaube. Alle neueren Fahrzeuge (wie Audi A3, Golf 5 R32) haben einen geänderten Zylinderkopfdeckel. Hier befindet sich der Abscheider auf der linken Seite.

Beim Golf4 befindet sich zur Abscheidung ein Metallgeflecht im Zylinderkopfdeckel, an dem das Öl gefangen wird und anschließend abtropft.

Beim Audi A4 und Golf 5 R32 werden zur Ölabscheidung sog. Zyklonabscheider verwendet. Sie basieren auf dem Massenträgheitsprinzip. Das Öl-Gas Gemisch gelangt tangential in den Abscheider und wird dort in eine Rotationsbewegung versetzt. Durch die Trägheit der festen Bestandteile werden diese zur Außenwand geschleudert und können von dort aus abfließen. Das übrigbleibende Gas wird durch ein, in der Mitte angebrachtes, Rohr aus dem Abscheider und anschließend in das Saugrohr des Motors geführt. Bei dieser Art von Abscheidern ist es wichtig einen definierten Luftstrom sicher zu stellen. Wird dieser zu hoch werden Ölpartikel mitgerissen und gelangen trotz Abscheider in den Motor.

Dazu wird dem Ölabscheider ein Unterdruckventil vorgeschaltet, welches den Saugrohrunterdruck auf ein zulässiges Maß beschränkt.

Nachfolgend ist der Ölabscheider im Schnitt abgebildet.

- Im roten Bereich sind die Zyklone und das Unterdruckventil zu sehen
- Im gelben Bereich die Rückführung des Gases in das Saugrohr



Bild 3.8_1 –Ölabscheider im Audi A3 3,2l

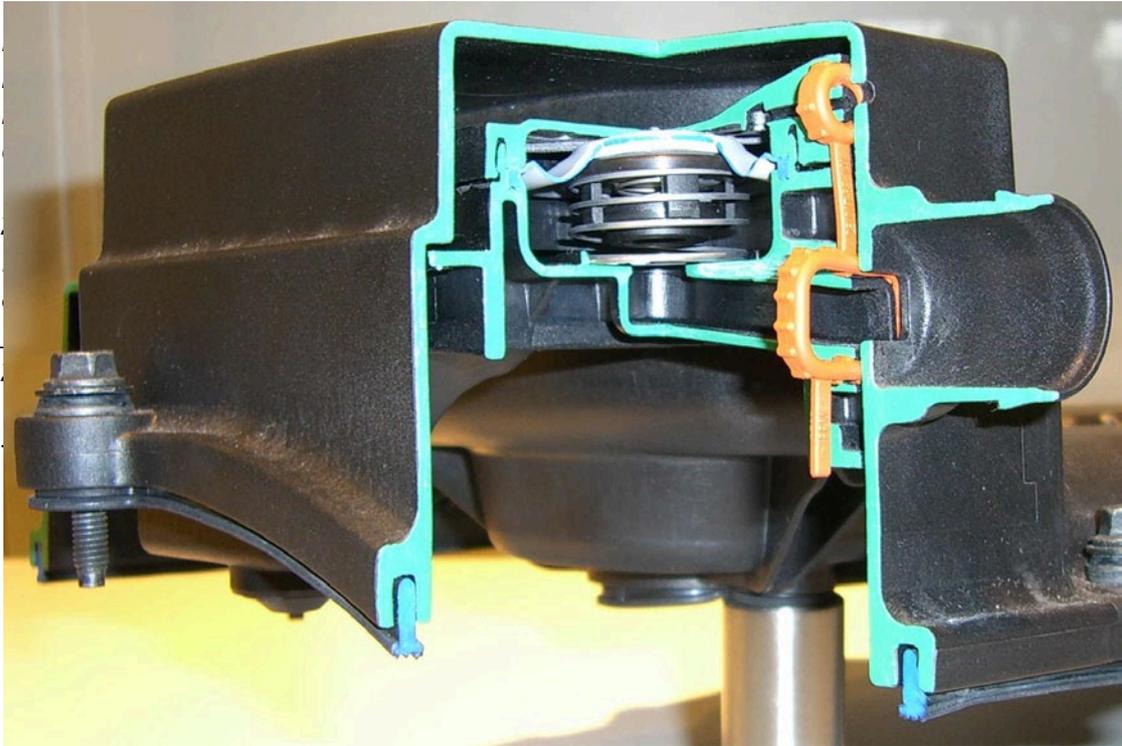


Bild 3.8_2 –Ölabscheider VR6 FSI 3,6l im Schnitt

3.9 Die Nockenwellenpositionssensoren

Im Leerlauf zeigen die Messwertblöcke 208 + 209 die Zuordnung der Kurbelwelle zur Nockenwelle für die Ein- und Auslassnockenwelle.

Audi definiert wie folgt:

Ist die obere Steuerkette zu stark gelängt, so werden Werte von -8° KW unterschritten und liegen häufig bei -9° bis -10° KW.

Wird kein Wert angezeigt so ist auch in diesem Fall die Kette gelängt und muss getauscht werden.

Hinterlegt werden die Werte jeweils in den Messwertblöcken.
Zusätzlich wird ein Code im Datenspeicher hinterlegt.

Für die 1.Zylinder-Bank ist dies 17748

Für die 2.Zylinder-Bank ist dies 17755

Dort wird jeweils hinterlegt, dass der NW-Sensor/KW-Sensor eine falsche Zuordnung hat. Teils auch sporadisch.

Leider kann man sich bei der Diagnose nicht zu 100% auf die Anzeige der Sensoren verlassen. Es gibt Fälle von Steuerkettenlängung, bei denen ein Auslesen des Fehlerspeichers kein positives Ergebnis brachte. Der Motor jedoch rasselte und klackerte. Die manuelle Sichtprüfung zeigte deutlich falsch stehende Steuernocken und somit verschobene Steuerzeiten.

Wie ist dies möglich?

Zudem sich leider fast jede Werkstatt nur auf das Diagnosegerät verlässt. Hier wäre das zum Nachteil des Kunden. Er müsste mit einem defekten Kettentrieb weiterfahren, da die Werkstatt nichts im Fehlerspeicher fand. Somit ist für sie das Auto in Ordnung. Trotz der Rasselgeräusche.

Ursache sind die engen Toleranzen dieser NW-Sensoren. Sie streuen bauartbedingt schon ab Herstellung sehr stark voneinander. Erfahrene KFZ-Meister machen beim Einbau einen Kreuztausch der Sensoren, um so die Werte in Richtung Nullstellung zu bringen.

Nur durch die echte Nullstellung beim Einbau ist gewährleistet, dass später im Fall des Auslesens, der eingetragene Wert auch der richtige ist, und nicht um einige Grad abweicht.

Dies könnte sehr nachteilig für den Kunden sein, da die Kette in Wirklichkeit bei -10° KW stehen könnte, aber durch die Toleranz nur -6° KW angezeigt werden.

Hier bedarf es bei der Reparatur größter Erfahrung des Werkstattpersonals um dies sachgerecht zu verbauen. Ein Auslesen nach dem Einbau zur Kontrolle kann dem Kunden und Werkstattpersonal helfen, den richtigen Wert abzugleichen und die tatsächliche Nullstellung zu markieren. So weiß man später wie weit die Kette tatsächlich gelangt ist.



Bild 3.9_1 – Nockenwellenpositionssensor (Hallgeber) in Großaufnahme



Bild 3.9_2 – Nockenwellenpositionssensor (Hallgeber) in Großaufnahme

4. Der Schmierstoff

4.1 Das Longlife Intervall

In Modellen der aktuellen Baureihen werden die Inspektions- und Ölwechselintervalle als so genannte Wartungsintervallverlängerung, kurz WIV, ausgeführt.

Um den Kunden möglichst große Abstände zwischen den Inspektionen zu bieten wurde das Ölwechselintervall bei Ottomotoren auf bis zu 30.000km oder 2 Jahre (je nachdem welcher Fall zuerst eintritt) erweitert.

Bei TDI Fahrzeugen wurde zwischenzeitlich ein Intervall von bis zu 50.000km realisiert, welches jedoch in aktuellen Fahrzeugen nicht mehr vorzufinden ist.

Die Besonderheit beim Longlife Intervall liegt in der Flexibilität. Der Zeitpunkt des Ölwechsels wird vom Motorsteuergerät berechnet. Hier gehen u.a. Daten über den Fahrzustand (Drehzahl, Motoröltemperatur, Geschwindigkeit, Verbrauch) sowie die Anzahl der Kaltstarts ein. Anhand dieser wird der Zeitpunkt des Ölwechsels individuell errechnet. Eine direkte Überwachung des Ölzustandes findet hierbei nicht statt.

Nährt sich die Laufleistung dem errechneten Wartungszeitpunkt, wird über das Kombiinstrument eine Meldung ausgegeben, die dem Fahrer signalisiert, dass der nächste Service bevorsteht. Die Meldung beinhaltet auch eine Restlaufleistung bis zum Service; üblicher Weise zwischen 2000 und 3000km, je nach Modell.

4.2 Das Motoröl nach Longlife Spezifikation

Um entsprechende Laufleistungen zu erreichen, werden vom Hersteller Longlife Öle vorgeschrieben.

Diese Öle sind nach speziellen Ölnormen der Hersteller klassifiziert. Heute sind Longlife Öle überwiegend in der Viskosität 5w-30 zu finden und werden per Hydrocrack Verfahren hergestellt. Bezeichnet wird das Öl als Longlife 3.

Das zuvor eingesetzte Longlife 2 Öl hatte dagegen noch weitere Besonderheiten. Der HTHS wurde per Herstellernorm auf einen Bereich von 2,9 bis 3,5 begrenzt. Grund hierfür war ein verbesserter Verbrauchswert. Das Öl mit abgesenktem HTHS Wert bietet weniger Widerstand und damit einen leichteren Lauf der Bauteile. Nachteilhaft wirkt sich allerdings der instabilere Schmierfilm aus. Das Resultat ist eine erhöhte Verschleißanfälligkeit.

Heutige Longlife 3 Öle wurden in ihrem HTHS wieder auf ein Niveau über 3,5 festgelegt.

Eine weitere Besonderheit sind Öle, die als so genannte „Low SAPS“ angeboten werden. Diese werden in ihrem Anteil an Sulfatasche, Schwefel und Phosphor begrenzt. Der Grund liegt einmal bei den eingesetzten Dieselpartikelfiltern, die sich durch Verschmutzung mit Asche zusetzen. Ruß wird durch ein spezielles Reinigungsprogramm selbstständig abgebaut. Die Asche hingegen verbleibt im Filter und führt damit zur Unbrauchbarkeit.

Der geringere Schwefel und Phosphoranteil hingegen kommt den Katalysatoren der Ottomotoren zu Gute. Diese werden dadurch weniger stark belastet.

Um die vorgeschriebenen Werte zu erreichen, werden asche-, schwefel- und phosphorhaltige Additive in ihrem Anteil reduziert.

4.3 Thematik der Motoröle

Allgemeine Erläuterungen:

Öl wird üblicher Weise nach seiner Viskositätsklasse bezeichnet.

5w-30 / 0w-40 / 5w-40 / 5w-50 usw.

Die erste Ziffer gibt an bis zu welcher Temperatur das Öl der Ölpumpe noch selbstständig zufließt. Ein 5w ist bis -30°C , ein 0w bis -35°C dazu fähig.

Die 2. Ziffer gibt die dynamische Viskosität bei genau 100°C an. Je größer der Wert, desto zäher das Öl bei 100°C .

Das Problem ist hier, dass die beiden Werte nicht viel über ein gutes oder ein schlechtes Öl aussagen. Dazu sind eine ganze Reihe weiterer Kennzahlen notwendig.

Ein wesentlich aussagekräftigerer Wert ist die HTHS-Viskosität.

Dieser Wert gibt an wie stabil der Ölfilm bei 150°C und unter Scherbelastung ist. Die Abkürzung HTHS steht für \rightarrow High Temperature High Shear

Wenn man sich jetzt das Temperaturgefälle im Motor anschaut wird schnell klar wo dieser Wert wichtig ist:

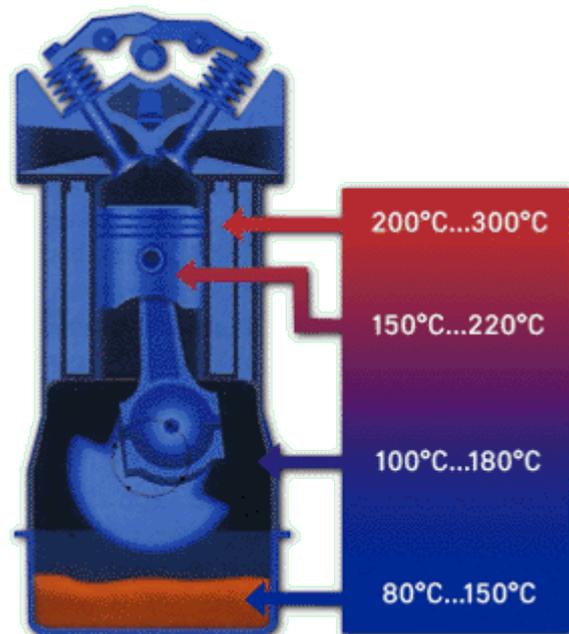


Bild 4.3_1 – Temperaturgefälle im Verbrennungsmotor

Am Pleuellager bzw. zwischen den Pleuellagerbolzen und der Pleuellagerbolzen herrschen sowohl hohe Temperaturen als auch eine hohe Scherbelastung, um mal eine beispielhafte Stelle im Motor zu nennen. Die Folge eines zu geringen HTHS wäre dann übermäßiger Verschleiß der Bauteile.

Dazu muss aber gesagt werden, dass der HTHS Wert alleine nicht für die Verschleißeigenschaften des Öls verantwortlich ist. Wenn ein Öl nur aus dem Grundöl bestehen würde, würde das eingeschränkt noch zutreffen. Man kann also nicht direkt sagen, dass ein Öl mit einem hohen HTHS immer besser ist wie eins, das nur einen niedrigeren Wert; als Anhaltspunkt aber ist dieser aber dennoch brauchbar und wesentlich besser wie die Viskositätsklasse.

Wenn man sich heute die Zusammensetzung der Motoröle ansieht gibt es eigentlich kein Öl mehr, das nicht legiert ist; also keine Additive hat.

In modernen Ölen liegt der Anteil an Additiven um die 20% und darüber.

Diese Additive verbessern unter anderem auch den Verschleißschutz und können die zu schmierenden Teile auch dann noch voneinander trennen wenn das Grundöl dazu nicht mehr in der Lage wäre.

Neben den Verschleißschutzadditiven gibt es noch sog. EP Additive, die die Druckstabilität verbessern. Diese Eigenschaften sind an Stellen wichtig wo eine hohe Flächenpressung aber geringe Relativbewegungen zwischen den Reibpartnern vorliegen, also da wo sich kein hydrodynamischer Schmierkeil bilden kann. Beispielhaft sind hier der Kolbenbolzen, Zahnräder, Ventil auf Nocke, Hydrostößel.

Weiter bestehen die Motoröle u.a. noch aus Reinigungs- und Korrosionsschutzadditiven, Dispergiermitteln (sie halten feine Ablagerungen in der Schwebelage), und Viskositätsindex-Verbesserern.

Die Additive sind allerdings nicht unbegrenzt verfügbar. Sie werden im Motor aufgebraucht und verlieren mit dem Gebrauch ihre Wirkung.

Der Viskositätsindex (VI) gibt an wie stark ein Öl mit steigender Temperatur ausdünnert. Die Viskosität von Ölen ist temperaturabhängig, je höher die Temperatur, desto fließfähiger ist das Öl. Das Optimum würde ein Öl darstellen, das bei allen Temperaturen gleich viskos (zäh/fließfähig) ist. Da das aber nicht geht versucht man durch spezielle Additive möglichst nah an das optimale Öl zu kommen. Je höher der VI ist, desto weniger stark dünnert ein Öl aus. Also ein Öl mit hohem VI kann bei kalten Temperaturen gut fließen und wird gleichzeitig bei hohen Temperaturen nicht zu dünn.

Problematisch wird ein zu stark ausdünnendes Öl u.a. in den Gleitlagern. Das Prinzip der Gleitlagerung beruht anschaulich erklärt auf dem des Aquaplanings. Die zu lagernden Bauteile bilden bei hohen Drehzahlen einen sog. hydrodynamischen Schmierkeil. Der trennt die Teile voneinander und verhindert mechanische Reibung. Während der Anlaufphase gibt es allerdings immer eine kurze Zeit lang Mischreibung bis sich der Schmierkeil vollständig aufgebaut hat. Um nach dem Kaltstart möglichst schnell die Schmierung im Motor aufzubauen ist daher ein Öl von Vorteil, das eine möglichst niedrige dynamische Viskosität aufweist; also ein 0w oder 5w.

Wenn ein Öl bei Hitze extrem dünnflüssig wird, werden höhere Relativgeschwindigkeiten zwischen den Reibpartnern benötigt um sie vollständig voneinander zu trennen.

Wenn man **!ausschließlich!** die Schmierung betrachtet, kann ein Motor gar nicht hoch genug drehen. Je schneller die Lager sich drehen, desto stabiler wird die Schmierung. Begrenzt wird dies aber durch die Bauteilfestigkeit der Pleuel, Kolben, Kolbenbolzen usw.

Als nächstes gibt es bei Ölen noch die TBN (Total Base Number). Mit dem Wert wird angegeben wie lange ein Öl saure Bestandteile neutralisieren kann.

Bildlich gesprochen kann man das so verstehen, dass Öle eine Art Vorrat haben um Säure zu neutralisieren. Je mehr ein Öl mit sauren Verbrennungsrückständen kontaminiert wird, desto mehr wird die TBN abgebaut.

Diese Aufgabe wird von den alkalisch wirkenden Additiven übernommen. Dazu gehören die Reinigungs- und Rostschutzadditive. Damit ist die TBN ein Faktor, an dem erkennbar ist, wie lange ein Öl im Motor bleiben kann.

Der Verdampfungsverlust stellt eine weitere Kenngröße bei Ölen dar. Wenn das Motoröl an die heißen Zylinderlaufflächen gelangt, verdampft ein Teil davon und wird mit verbrannt. Der Verdampfungsverlust gibt an wie stark ein Öl dazu neigt zu verdampfen und welche Mengenanteile dabei verdampft werden.

Seitdem PKW mit DPF (Dieselpartikelfilter) ausgerüstet werden, fordern die Hersteller Öle mit einem besonders geringen Anteil an Sulfat Asche. Asche entsteht wenn man das Öl im Motor verbrennt. Diese gelangt dann in den DPF und verstopft ihn. Von diesen Ablagerungen kann sich der DPF nicht wieder regenerieren.

Diese Öle werden als low-SAPS Öle bezeichnet und haben einen Sulfat Asche Gehalt zwischen 0,6 und 0,8%. (je nach geforderter Norm).

Noch ein paar Sätze zum allgemeinen Verhalten von Öl. Wenn man in Foren liest, stößt man oft auf Aussagen wie „bloß kein 0w-**, das läuft dir durch alle Dichtungen“.

Das ist technisch gesehen allerdings nicht haltbar.

Wenn man sich mal die Viskosität sämtlicher Öle ansieht ist keins!! im kalten Zustand dünnflüssiger wie bei Betriebstemperatur. Das „0w“ gibt nur an bis zu welcher Temperatur das Öl noch selbstständig fließt. Bei 100°C sind die Öle um ein Vielfaches dünnflüssiger wie bei den Temperaturen die durch die erste Ziffer beschrieben werden.

Genau genommen ist das sogar fast umgekehrt. Ein 0w-40 dünnt mit zunehmender Temperatur nicht so weit aus wie ein mineralisches 15w-40 und ist damit bei 100°C immer noch stabiler.

5. Symptome und Diagnose der Kettenlängung

5.1 Erste Anzeichen

Die Steuerkettenlängung ist ein schleichender Prozess und damit sehr tückisch. Diese Klangveränderungen des Motors treten nicht von heute auf Morgen in voller Stärke auf, sondern sie werden über einen langen Zeitraum immer langsam lauter und prägnanter. Das Ohr gewöhnt sich daran, und man erkennt diese Geräusche nur, wenn man schon einmal etwas mit Steuerketten zu tun hatte. Mit ein Grund, weshalb viele Werkstatt-Mitarbeiter Probleme bei der Diagnose bekommen. Die VR6 3.2-Liter Motoren sind nicht oft vertreten. Kaum ein Autohaus hat einen als Gebrauch- oder Neuwagen vor Ort, um einen Vergleich zu bekommen. Wiederum viele hatten überhaupt noch keinen auf ihrem Hof oder in der Werkstatt, da die große Zahl verkaufter Fahrzeuge eher kleinere Motoren aufzeigt.

Ein weiteres Phänomen ist neben den klanglichen Veränderungen des Motors die Abnahme der Leistung. Der Mensch gewöhnt sich zu schnell an gewisse Situationen. So auch die Fahrsituation mit einem 250PS starken Audi A3. Man fährt ihn täglich und bemerkt somit nicht, dass ständig etwas die Leistung nachlässt. Man würde dies wohl schneller bemerken wenn auch hier von heute auf morgen schlagartig 20-30 PS fehlen würden. Dem ist nicht so.

Dennoch ist es messbar. Im Anhang sind 3 Leistungsprotokolle aufgeführt. Mit je einer Messung im Neuzustand, während des Defektes kurz vor der Reparatur und nach der Reparatur. Deutlich zu sehen die Abfälle bei Leistung und Drehmoment, sowie der zittrige Verlauf der Kurven im Falle der Messung die mit defekter Steuerkette ermittelt wurde. Man erkennt im letzten Bereich dass der Motor auf die Leistung hinregeln möchte, es aber nicht schafft wegen den verstellten Steuerzeiten. Folgende Diagramme sind in den Anlagen.

Anlage 4.1_1 : [Leistungsmessung des A3 nach der Reparatur.](#)

Anlage 4.1_2 : [Leistungsmessung des A3 ohne Rasseln](#) (Neuzustand)

Anlage 4.1_3 : [Leistungsmessung des A3 mit Rasseln](#) (mit defekten Steuerketten)

Weitere Anzeichen sind erhöhter Spritverbrauch und ein unrunder, rauher Lauf des Motors. Besonders gut im kalten Zustand im Leerlauf zu hören. Alle Fahrer bei denen repariert wurde berichten von einem gesunkenen Spritverbrauch und seidenweichem Klang. Wie ein Sechszylinder eben klingen soll.

Darum hier nochmals Videos zum Vergleich:

Vor der Reparatur mit defektem Kettentrieb **NACH der Reparatur**

[Von Vorne](#)

[Von Vorne](#)

[Seitlich](#)

[Seitlich](#)

[Über Motor](#)

[Über Motor](#)

[Im Radkasten](#)

[Im Radkasten](#)

Alle Dateien sind auch auf der Multimedia-DVD enthalten, die der gedruckten Variante dieses Berichtes beiliegt, oder unter www.A3quattro.de zum Download bereit liegt.

5.2 Einsatz des Werkstattdiagnosesystems

Bei dem Verdacht auf Längung der Steuerkette wird die Werkstatt zunächst den Fehlerspeicher mit ihrem Diagnosegerät auslesen. Ist eine Kette gelängt, so ändern sich die Steuerzeiten in Richtung „spät“. Dies registrieren die Nockenwellenpositionssensoren.

Den ermittelten Wert schreiben Sie in den Messwertblöcken 208 + 209 nieder.

Im Leerlauf zeigen die Messwertblöcke 208 + 209 die Zuordnung der Kurbelwelle zur Nockenwelle für die Ein- und Auslassnockenwelle.

Häufige Diagnose: Motorchecklampe leuchtet in Verbindung mit den Fehlercodes 17755 und 17748

Diese Fehlercodes deuten auf eine gelängte obere Rollenkette hin.

Leider streuen diese Werte so stark, verursacht durch die Produktionstoleranzen, so dass man diese Werte nur anhaltsweise benutzen kann. Auf dieses Thema bezieht sich der

Punkt 6.9. In vielen Fällen liegt eine echte Längung der Steuerkette vor, und die Werkstatt findet keine oder nur unzureichende Werte. In diesem Fall sollte die Werkstatt unbedingt die manuelle Sichtprüfung durchführen. Durch Ausbau beider Hallsensoren erkennt man die Stellung beider Steuernocken von Ein- und Auslasseite zueinander und kann den Grad der Längung ersehen. Die manuelle Sichtprüfung behandelt **Punkt 5.3**

Anlage 4.2_1 zeigt einen Diagnose-Ausdruck der Messwertblöcke 208 + 209



Bild 5.2_1 – Diagnosegerät



Bild 5.2_2 – Diagnosegerätstecker in der Anschlussbuchse des Audi A3

5.3 Die manuelle Sichtprüfung

Die sicherste Methode, eine Längung der oberen Steuerkette festzustellen ist die sogenannte manuelle Sichtprüfung.

Der Aufwand ist minimal, und man befindet sich auf der sicheren Seite, im Gegensatz zur Diagnose über OBD und Auslesen des Fehlerspeichers. Diese Ungenauigkeit beschreibt **Punkt 6.9**. Die manuelle Sichtprüfung dauert alles in allem keine 30 Minuten, inklusive der Erstellung von Bildern.

Der Wagen wird auf der Hebebühne leicht angehoben um freien Radlauf zu garantieren. Nun dreht man so lange bis man bei Zylinderbank 1 (Einlassseite) den OT-Punkt richtig eingestellt hat. Um Einsicht zu bekommen, muss nun der Luftfilterkasten ausgebaut werden. Auf der Höhe des Öleinfüllstutzens werden die Kabelstränge die seitlich am Motor verlaufen gelöst, und beide Hallgeber ausgebaut

Nun kann man durch die Fenster (Sitz der ausgebauten Hallgeber) in den Motor schauen. Audi gab an die Werkstätten Reparaturhinweise in denen 2 Bilder mit der „Normalstellung“ abgebildet sind. Weichen die Steuernocken am PKW von den Bildern ab, so ist zu reparieren, da eine Kettenlängung vorliegt. Der „kritische“ gemessene Grenzwert wäre laut Audi-Vorgabe: -8° KW.

Ab hier spricht der Konzern von einer Kettenlängung die repariert werden muss.

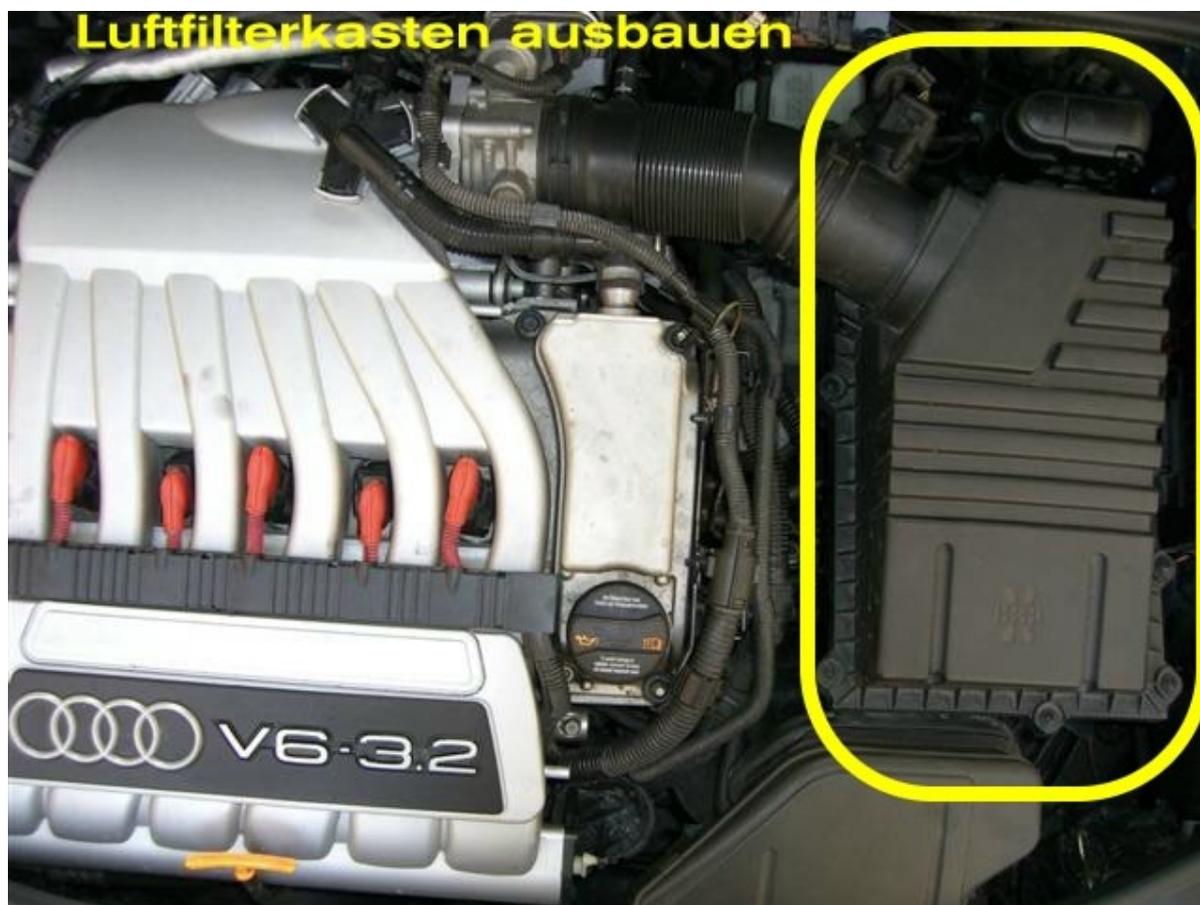


Bild 5.3_1 – Luftfilterkastenausbau



Bild 5.3_2 – Lösen der Kabelstränge



Bild 5.3_2 – Sitz der Hallsensoren



Bild 5.3_3 – Ausbau der Hallsensoren



Bild 5.3_4 – Hallsensor Zylinderbank 2



Bild 5.3_5 – vor dem Ausbau der Hallsensoren



Bild 5.3_6 – Blick auf die Hallsensoren



Bild 5.3_7 – offene Sichtfenster



Bild 5.3_8 – Großaufnahme des Hallgeber



Bild 5.3_9 – Steuernocken im Sichtfenster (Nockenstellung = Beispielaufnahme)



Bild 5.3_10 – Steuernocken im Sichtfenster (Nockenstellung = Beispielaufnahme)

Hier ein Bild, welches zeigt wie man den OT-Punkt der ersten Zylinderbank einstellt

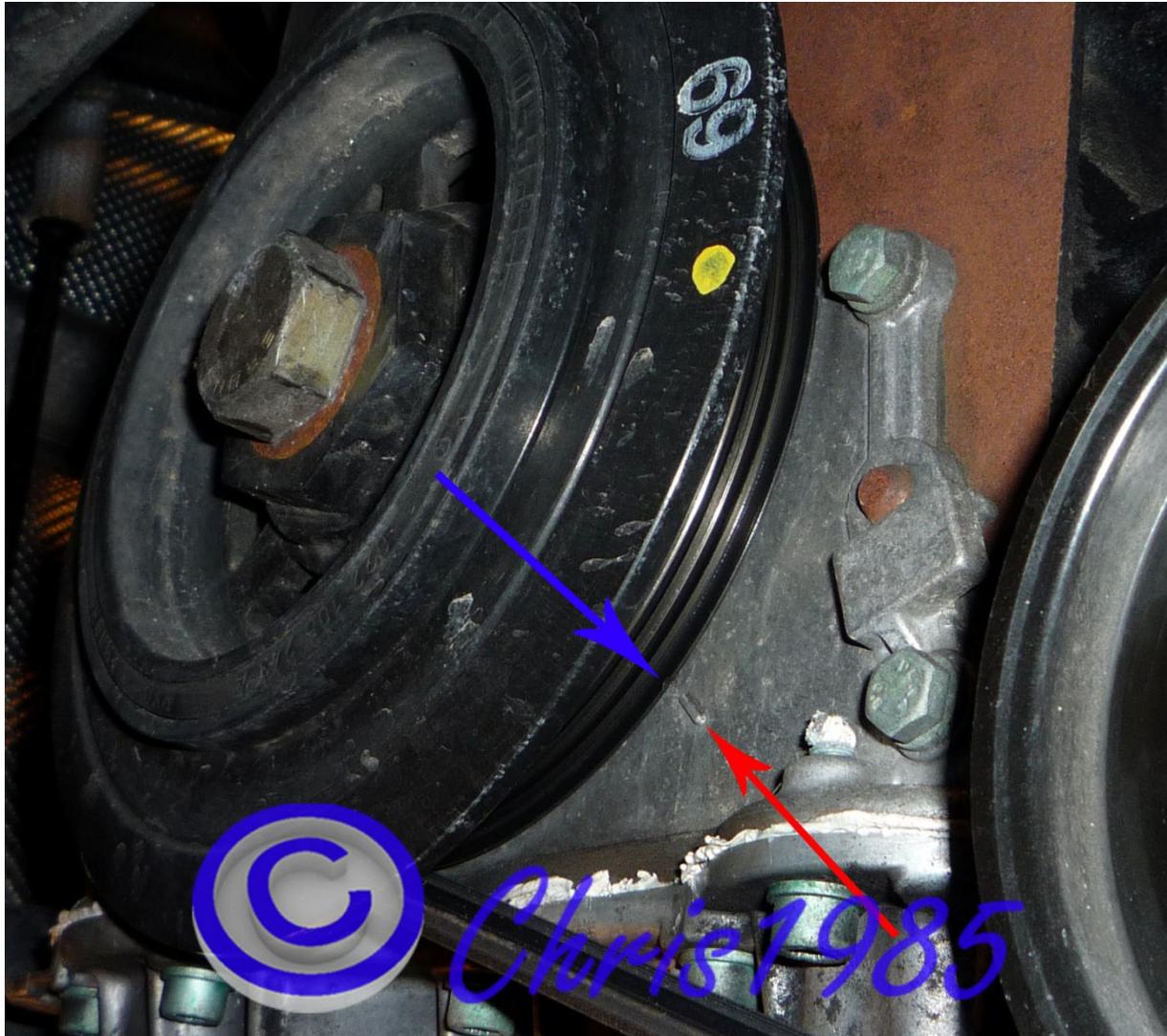


Bild 5.3_11 – Riemenscheibe auf OT-Stellung der 1.Zylinderbank

Auf der Riemenscheibe auf der linken Seite des Motors (Riementriebsseite / von vorne gesehen) ist eine kleine Prägung in Form eines kleinen Halbkreises (ca. 3-4 mm) angebracht.

Ebenso befindet sich eine schräge Markierung auf dem Motorblock.

Nun sollte man die Riemenscheibe so drehen, dass die Markierung der Riemenscheibe mit der Markierung am Motor in einer Flucht liegt.

Siehe Pfeilmarkierungen in Bild 5.3_11

Ist der OT-Punkt richtig eingestellt, sollten die Steuernocken ähnlich wie in Bild 5.3_9 und Bild 5.3_10 in den Sichtfenstern erscheinen.

5.4 Die Geräuschanalyse

Man hat ja als erste „größere“ Anzeichen der Steuerkettenlängung und Defekten beim Steuerkettentrieb meist diese typischen Geräusche. Einige bemerken es dennoch nicht, da es ein schleicher Prozess ist und die Geräusche langsam zunehmen und lauter werden. Ab und zu bemerken Fahrer erst die Warnlampe oder den Leistungsverlust und Ruckeln des Motors.

Es fallen zuerst die Geräusche auf. Und schon immer fragte man sich, wie können die entstehen? Niemand konnte etwas Genaueres sagen.

„Es kommt halt von den kaputten Teilen...“ wurde erzählt. Ja schon klar. Nur wie halt ???

Welche Geräusche sind es, die auftreten? Man kann das gesamte Spektrum aller Geräusche in 3 Teile gruppieren:

Teil 1:

Zylinderkopfhaube mit Kurbelgehäuseentlüftungskasten (dort in der Nähe des Öldeckels) bis auf Höhe der Hallgeber. Oft hat man so ein hartes, metallisches Klackern. Der TÜV-Experte aus dem Rasthaus TV-Beitrag sprach von nadelartigen Tacker-Geräuschen.

Teil 2:

Der Bereich des Kettenkastens bis fast auf Getriebehöhe. Hier hört man ein leichtes Schleifen. Ähnlich dem Geräusch, welches entsteht beim Holz glätten mit Hilfe von Schmirgelpapier.

Teil 3:

Ein blechernes, schabendes Geräusch. Teils mahlend. Im untersten Bereich sehr gut hörbar und zwar fast auf der Höhe der Ölwanne. Gut hört man es, wenn man die Lenkung komplett nach Links einschlägt und dann im Radkasten der Fahrerseite lauscht. In der Radhausverkleidung ist eine Öffnung zu sehn. Dort erkennt man einen Deckel, der vom Handschaltgetriebe stammt. Beim DSG kann es anders ausschauen.



Bild 5.4_1 – Radkasten Fahrerseite / Blick auf das Schaltgetriebe

Aus diesem Grunde sagen die meisten Werkstätten dass die Geräusche vom Getriebe seien. Aber FALSCH. Sie kommen vom Kettentrieb.

Zur Verdeutlichung wurden im folgenden Bild die 3 Bereiche markiert.

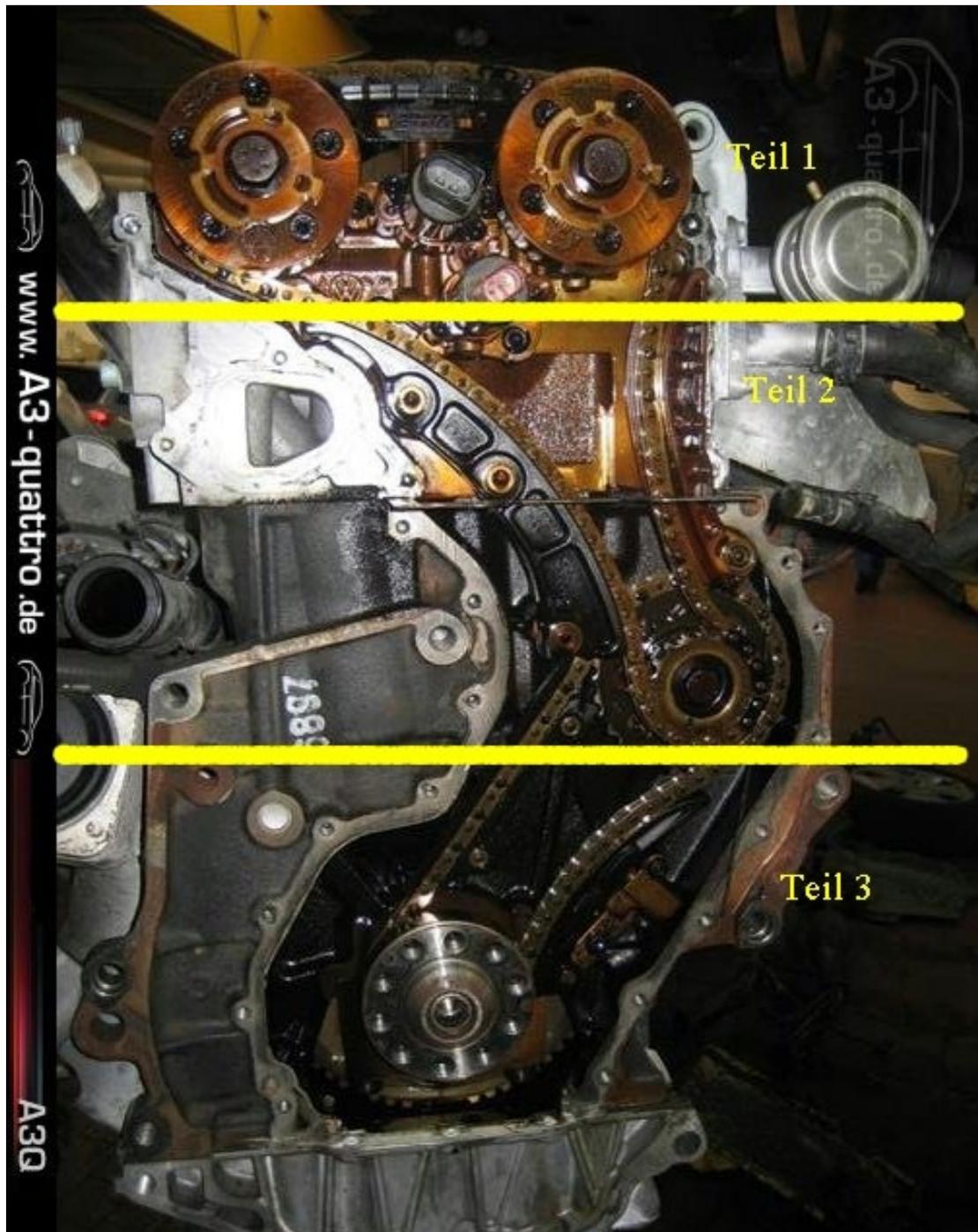


Bild 5.4_2 – Offener VR6-Motor mit den drei Geräusch-Zonen

In dem Fall kommt man ohne Anschauungsbilder nicht weiter.

Würde man eine Schallintensitätsmessung vornehmen, könnte man an Hand der Auswertung genau lokalisieren welche Teile in einer bestimmten Drehzahl Geräusche erzeugen. Die Darstellung gäbe es in Form eines Falschfarbenbildes. Rote Bereiche strahlen viel, Blaue Bereiche wenig Geräusche ab. Das nächste Bild zeigt, wie es aussehen könnte.

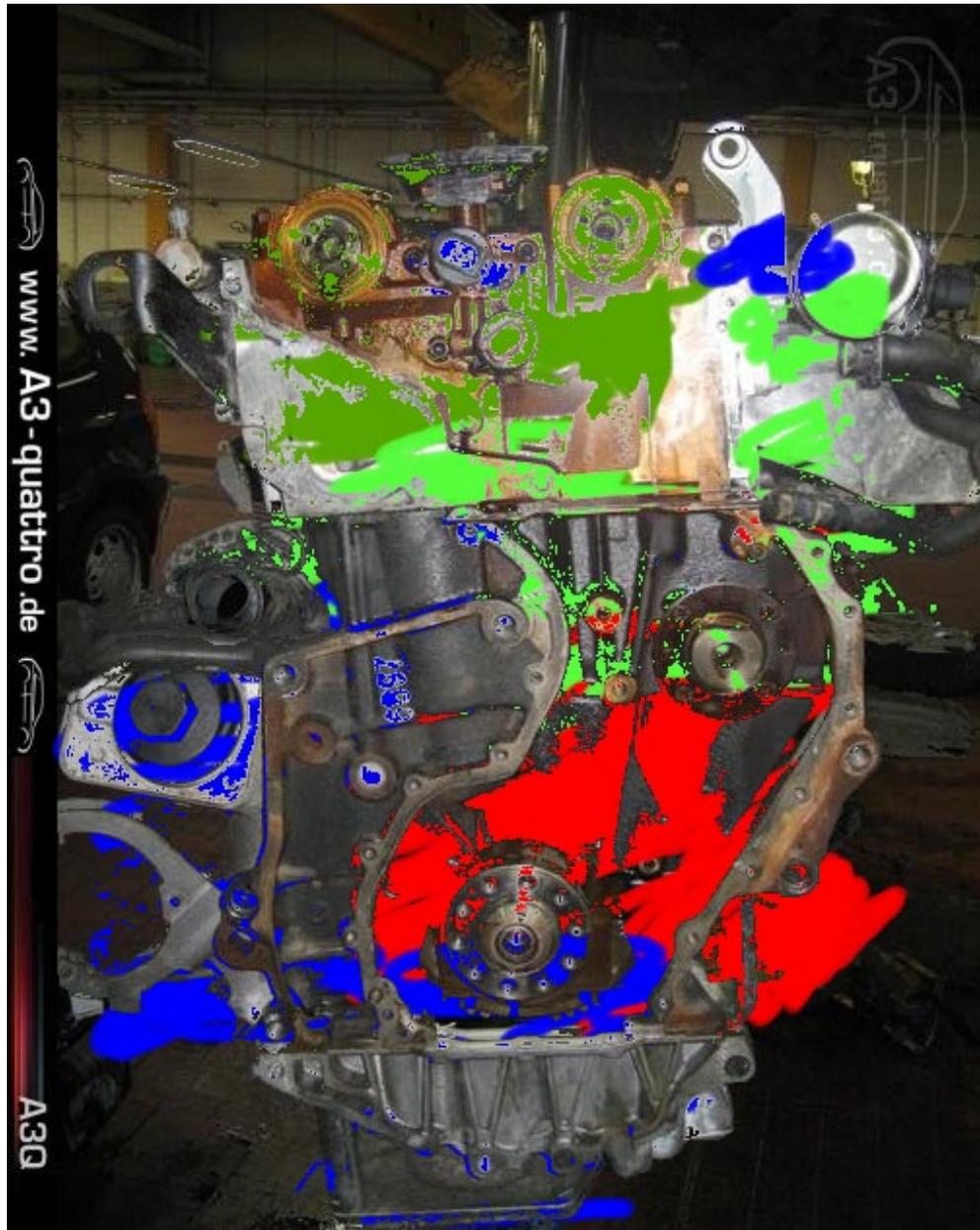


Bild 5.4_3 – simulierte Schallintensitätsverteilung im Bereich des Kettentriebes

Ein intakter Steuerkettentrieb läuft harmonisch und ruhig. Er hat lediglich die typischen Kettenlaufgeräusche, welche aber leise ausgeprägt sind.

Gehen wir nun davon aus, dass die Kette in sich geschwächt ist. Durch abrasiven Verschleiß von im Öl gelösten Verunreinigungen wie Ruß, Glasfasern etc. Dadurch wird sie auch seitlich deutlich biegsamer. Dies sieht man in den Vergleichsaufnahmen der alten Sachskette mit der neuen Iwiskette. Sie hat also seitliches Spiel. Siehe **Anlage 2.3_1**.

Ein Motor erzeugt sehr viele Schwingungen. Hierzu zählen die unterschiedlichsten Motorordnungen sowie diverse Eigenfrequenzschwingungen der unterschiedlichsten Bestandteile und Anbauteilen. Jeweils immer abhängig von der Motordrehzahl.

Was die Eigenfrequenz anrichten kann, sah man am bekanntesten Beispiel des Stahlzeitalters.

Der Tacoma Narrows Bridge

<http://www.youtube.com/watch?v=j-zczJXSxw>

Fährt man ein Bauteil in seiner Eigenfrequenz, dauert es nicht lange bis zur Zerstörung. Bewegt man sich im Anregungsspektrum kurz vor oder hinter dieser kritischen Frequenz, so wird das Teil nicht direkt gleich zerstört, sondern vorgeschädigt. Nicht befestigte Teile schlagen beispielsweise die Aufnahmelöcher aus, schädigen Gewindegänge etc.

Hätte man den Kettenkasten aus Plexiglas, und würde der Motor laufen, so könnte man mittels eines Stroboskopes die verbauten Teile anleuchten, und so die Schwingung eines jeden Teiles sehen.

Wir vermuten hier eine große Mitschuld beim Verschleiß. Die schwingende und geschwächte Kette wird angeregt und in ihrer Grundschiwingung verstärkt, wodurch sie nicht mehr rund und sauber läuft. Der Beweis wäre die Laufschiene im folgenden Bild.



Bild 5.4_4 – Geschädigte Laufschiene

Würde die Kette sauber in ihrer Spur laufen, hätte man nur 2 Spuren. Ähnlich dem Gleisstrang der Eisenbahn. Auf der ausgebauten Schiene sieht man jedoch viele Spuren, darunter auch schräge. Daher vermuten wir, dass die schwache Kette je nach Drehzahl und aktueller Eigenfrequenz gewisse Sprünge auf der Schiene macht. Eventuell schlägt sie sogar leicht.

Folgend eine Skizze zur Verdeutlichung:

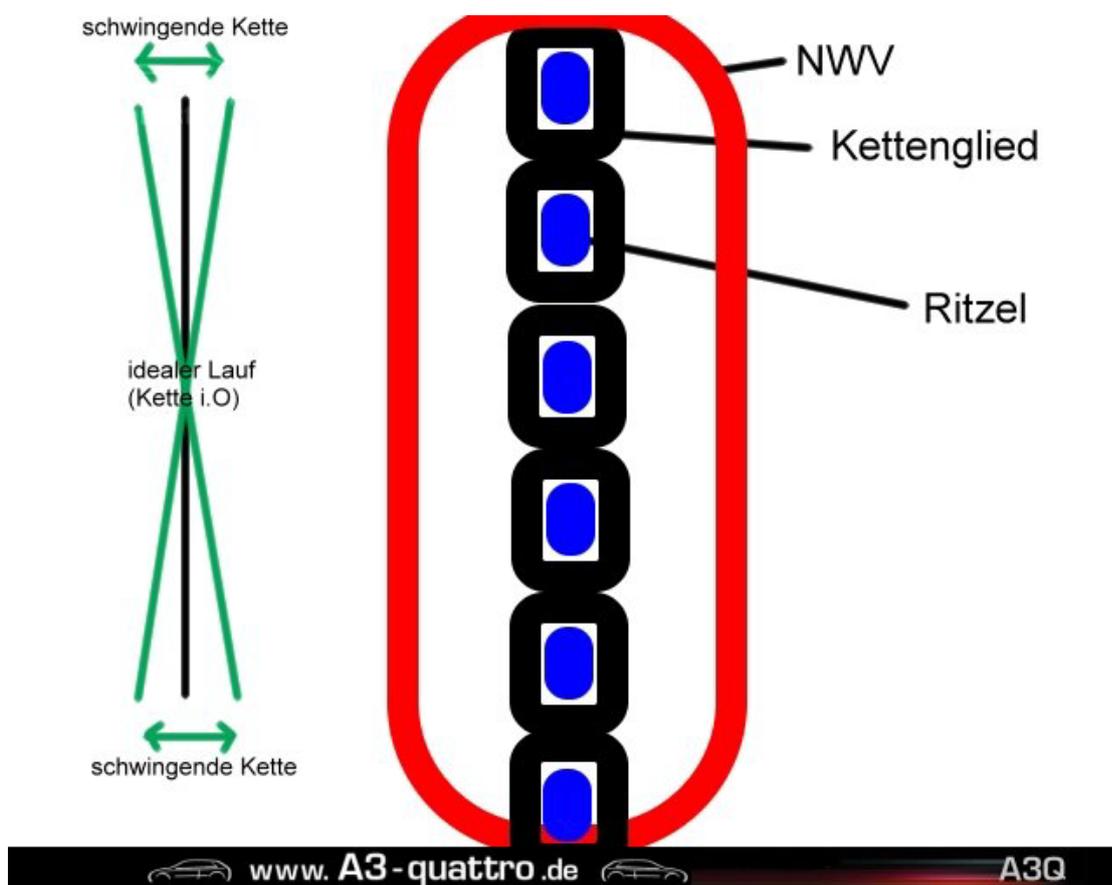


Bild 5.4_5 – Geräuschentwicklung durch den nicht idealen Lauf der Kette

Man kennt das vom Fahrrad fahren. Dort ist es ähnlich wenn man einmal kräftig in die Pedale tritt. Soviel zur Theorie, und weiter zur Erklärung der Geräusche in den Bereichen 1 bis 3.

Teil 1.

Dieses harte Klackern.

Eventuell liegt die Kette ab und zu leicht schräg, unter einem Winkel auf dem Ritzel des Nockenwellenverstellers. Der Lauf wäre nicht mehr frei und sauber, wenn die Ritzel in die Freiräume der Kette greifen. Sie würde verkantet über die Ritzel der Nockenwellenversteller laufen, teils etwas hochspringen, was zu Auswaschungen der Ritzelflanken führen könnte. In Folge dadurch resultierend:

Harte Klackernde Geräusche.

Beim Radfahren ist es ähnlich wenn man in den Gängen schaltet und die Kette schräg auf den Ritzeln liegt bei zeitgleichem festem Tritt in die Pedale.

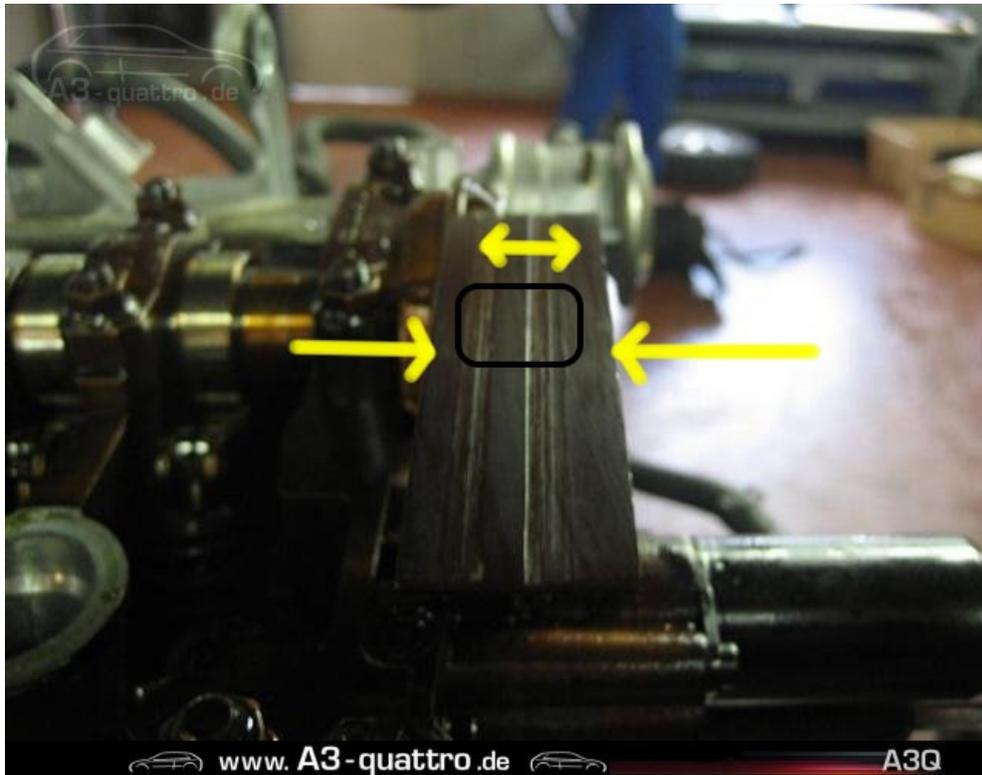


Bild 5.4_6 – Laufschiene

Teil 2:

Im Mittleren Bereich befinden sich eigentlich nur längere Lauf- und Gleitschienen welche keine seitlichen Führungen aufweisen, die Kette dadurch einengen und zu einem geraden Lauf „zwingen“. Nein, sie kann wieder durch Schwingungen angeregt, auf der Schiene hin- und hergleiten. Das könnte dieses markante Schleifen sein.

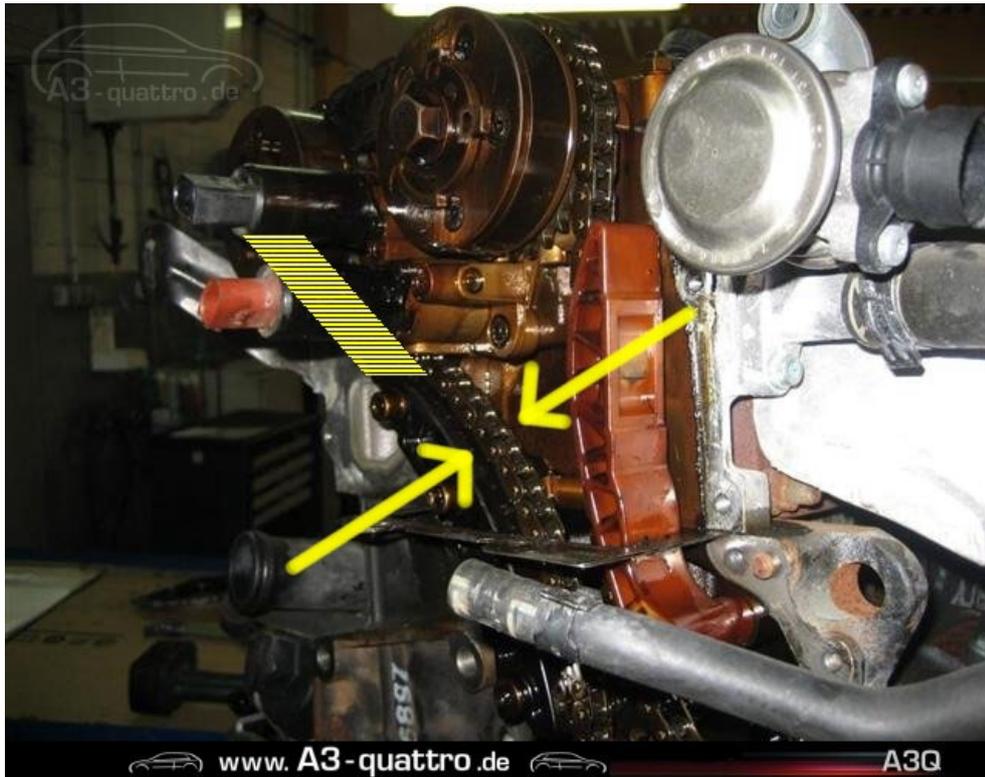


Bild 5.4_7 – simuliertes seitliches Bewegen der Kette

Teil 3

Das blecherne schabende Geräusch, könnte ein Mix sein von dem Laufen auf dem unteren Spanner mit der integrierten Laufschiene. Im Röntgenbild sieht man deutlich den Aufbau des Teiles. Hier vermuten wir am stärksten den Einfluss der Resonanzen. Sie könnten die schwachen Metallfedern und Blechlaschen anregen, dann hätten wir das blecherne Geräusch schon ermittelt. Eigenschwingverhalten plus pulsierender Ölstrom im Innern.



Bild 5.4_8 – unterer Kettenspanner



Bild 5.4_9 – radiografische Aufnahme des unteren Kettenspanners

Weitere Bilder sind in der **Anlage 2.4_1**

Zum Schluss, einige Beispiele von den typischen Geräuschen.

[Defekter Kettentrieb, Beispiel 1](#)

[Defekter Kettentrieb, Beispiel 2](#)

[Defekter Kettentrieb, Beispiel 3](#)

[Defekter Kettentrieb, Beispiel 4](#)

Den VR6 3.2 Motor im Schnitt kann man sich hier in Bild und Film anschauen.

[Diashow VR6 Motor](#)

[Video vom Schnitt- VR6 Motor](#)

Alle Dateien sind auch auf der Multimedia - DVD enthalten. Mehr unter **Punkt 14**.

An dieser Stelle herzlichen Dank an Herrn Markus Hofer / Universität Graz für die Erstellung und Aufbereitung des Foto- und Videomaterials.

Anmerkung:

Es gibt Fälle von reparierten Audi A3, die unter bestimmten Einflüssen dennoch Geräusche erzeugen.

Im normalen gut warm gefahren Zustand sind keinerlei Störgeräusche zu erkennen.

Wurden diese Fahrzeuge extrem fahrerisch belastet, traten plötzlich Geräusche auf.

Man konnte dies gezielt durch folgende Parameter herbeiführen:

- schnelles hochziehen in den Gängen
- fahren in kleinen Gängen bei hoher Drehzahl
- begrenzungsnahes Fahren, ca. 6000 1/min.

Meist reichte eine gute Viertelstunde um Geräusche hören zu können. Diese äußerten sich in Form von leichten Schab- und Kratzgeräuschen im Radkasten der Fahrerseite, sowie ganz leichten Klackergeräuschen aus dem oberen Kettenkasten.

Stellte man diesen Wagen nun ca. 2-3 Stunden ab, und startete erneut. So waren die beschriebenen Geräusche verschwunden.

Andere A3 und Golf R32 machten nach gleicher Belastungsfahrt keine Geräusche.

Wo also liegt die Ursache? Die Bauteile waren gleich. Und neu. Also müssen es andere Einflüsse sein.

Naheliegender erhöhter Öldruck durch eine defekte Ölförderpumpe sowie Blowby- und Wassereintrag im Öl, welches Schmierfilmbriß zur Folge haben könnte. Durch diese Einflüsse kann die Kette schlagen und wiederum durch die verschärften Bedingungen wie mangelnde Schmierung, Schwingungen, Vibrationen etc. aus der optimalen Laufspur geraten und verkanten / schräg laufen. Dadurch können Geräusche erzeugt werden.

Lässt man sich das System beruhigen, so läuft die Kette wieder in ihrer ursprünglichen geraden Spur mit optimalem Lauf, welcher keine Geräusche erzeugt.

In diesem Falle sollte man unbedingt kontrollieren ob der Öldruck in Ordnung ist, und wie lange das Öl schon im Motor ist.

Vom Motorrad her kennt man das Phänomen. Ist die Kette zu stark gespannt, beginnt sie aufzuschlagen. Erst unter verminderter Kettenspannung läuft sie ruhig.

Das nachfolgende Bild 5.4_10 zeigt eine Skizze welche die Situation des Schräglauflens veranschaulicht.

Läuft die Steuerkette ganz gerade in der Spur, ohne Aufzuschlagen oder durch Schwingungen in seitliche Bewegungen versetzt zu werden, so ist die Fläche die dem Verschleiß durch die Kettenglieder ausgesetzt ist, fast gleich der Breite B der Kette mal der Auflagenlänge L ($B \times L$). Die so betroffene Fläche ist die geringste die es im System geben kann. Die Beschädigungen halten sich in Grenzen. Der Glasfaserausstrag ist minimal. Auch die Geräusche welche entstehen sind gering.

Läuft jedoch die Kette schräg und pendelt immer etwas links-rechts, wie es durch verschiedene Einflüsse passieren kann, so ist die belastete Fläche größer. In unserem Beispielbild wäre das $(B \times 2) \times L$. Es gibt mehr Verschleiß, mehr Glasfaserauswaschung, und durch das hin- und her Rutschen (Gleiten) der Kette auf der Laufschiene natürlich auch mehr und stärkere Geräusche.

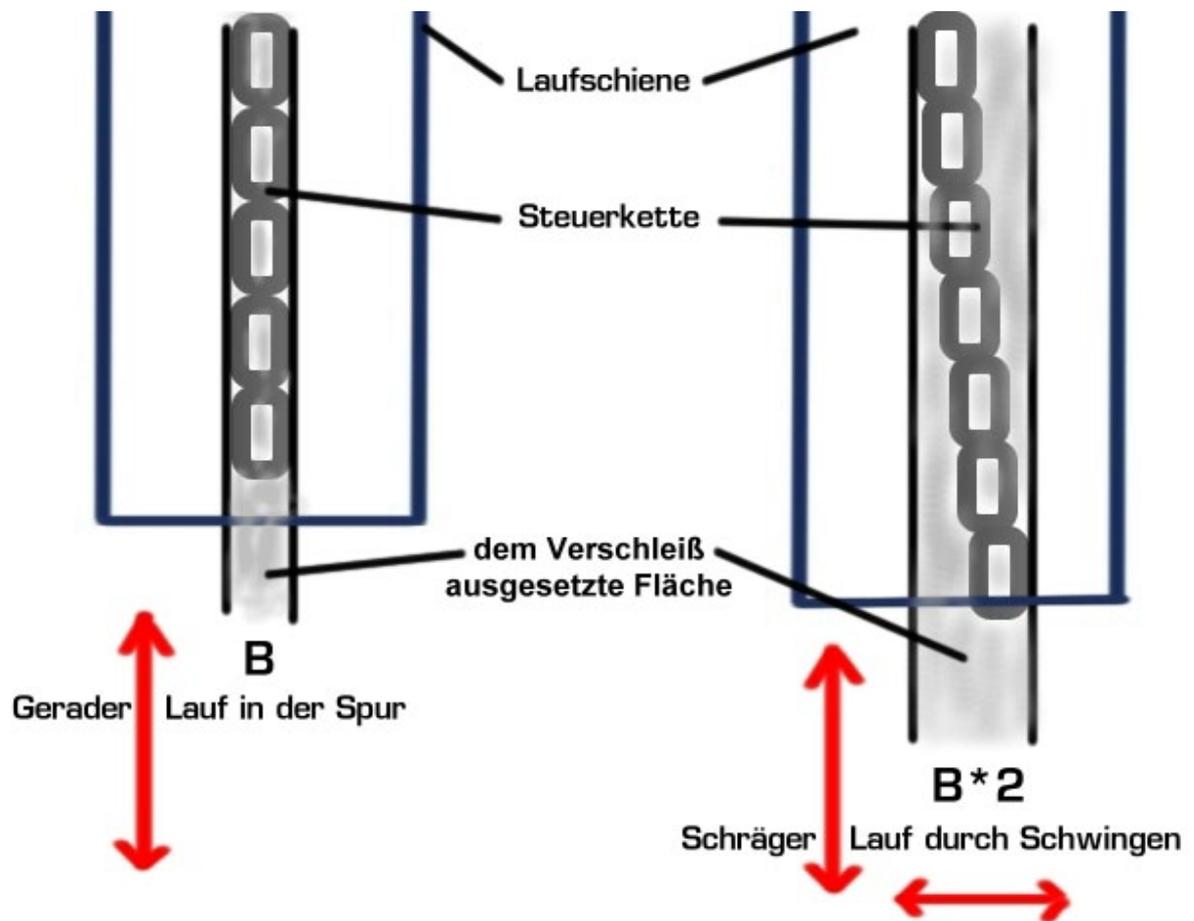


Bild 5.4_10 – Skizze: Darstellung der unterschiedlich breiten Laufspuren bei intakter Steuerkette und einer Steuerkette mit Schräglauf

5.5 Tipp`s zum Gebrauchtwagenkauf

Was sollte man beim Kauf eines Gebrauchtwagens beachten?

Die vorigen Punkte zeigten einige wesentliche Merkmale, die bei einem Schaden vorherrschen können. Wenn man gezielt darauf achtet, kann man das Risiko etwas minimieren einen Wagen mit schleichender Steuerkettenlängung zu erwischen.

Wenn man die folgenden Punkte beim Gebrauchtwagenkauf abarbeitet, kann man den IST-Zustand recht gut einordnen.

Hörprobe

Gezielt auf Rassel-, Schab-, Kratz- und Klackergeräusche achten. Einmal im Spalt zwischen Luftfilterkasten und Motor. Im Bereich des Öldeckels und der Erhöhung der Zylinderkopfhaube sind eher Klackergeräusche wahrnehmbar. Im Radkasten auf der Fahrerseite hört man meist schabende und blecherne Geräusche.

Sichtprobe

Die Unterseite des Öldeckels darf keine Ölschlick oder Ölschaumspuren aufweisen. Die Wand des Kettenkastens muss metallisch blank sein, und darf keine Ablagerungen wie Ölschlamm oder Ölkohle aufzeigen.

Geruchprobe

Öffnet man den Öldeckel und riecht in die Öleinfüllöffnung, sollte es nach Motoröl riechen. Vorsicht bei starkem Benzin-, Lösungsmittelgeruch.

Auslesen des Fehlerspeichers und der Messwertblöcke 208 + 209

Es darf kein Fehler abgelegt sein mit der Kennung 17748 oder 17755

Die Werte in den Messwertblöcken 208 + 209 sollten möglichst bei 0° bis -2° liegen.

Bei -3° bis -4° sind meist auch schon Geräusche zu hören.

Das Auslesen kann die VW/Audi-Werkstatt machen oder eine freie Werkstatt die das entsprechende Diagnosegerät vorhält.

Manuelle Sichtprüfung

Sie kann nur eine qualifizierte Fachwerkstatt durchführen. Bietet aber die größte Sicherheit hinsichtlich der Kettenlängung.

6. Die Einflussgrößen

6.1 Das Öl

Das Öl ist ein wesentlicher Bestandteil zur Erreichung der Lebensdauer eines Motors. Es ist für die Schmierung sämtlicher Bauteile verantwortlich und bindet die entstehenden Schadstoffe, um diese beim Ölwechsel aus dem Motor zu leiten.

Ebenso hat das Öl die Aufgabe die Hitze von den Bauteilen aufzunehmen und abzuleiten.

Wie bereits im Kapitel 3.3 beschrieben gibt es bei den Motorölen verschiedene Kennzahlen, die bei Überbeanspruchung zu einer Fehlerursache bei vielen Bauteilen im Motor werden.

Im Motor wird durch das Blow-by die TBN (und damit wichtige Additive) aufgebraucht und es bleiben saure Rückstände im Motor. Dies führt u.a. zu chemischer Korrosion. Ebenfalls ist das Öl nicht mehr in der Lage den Motor komplett sauber zu halten. Dies führt dann im Betrieb zu Ölschlamm und Ablagerungen im Motor.

Als „Verschleißgrenze“ kann man über den Daumen einen TBN Wert nehmen, der ca. 50-60% des Frischöls entspricht.

Ein weiterer Punkt, der bei den LL Ölen kritisch erscheint, ist die Verdünnung durch den Kraftstoff. Bei jedem Kaltstart kommt unverbrannter Kraftstoff, der an den kalten Zylinderwänden kondensiert, ins Öl. Dieser verdünnt das Öl und setzt die Viskosität herunter. Folge daraus ist, dass ein Öl mit der Zeit seine Hochtemperaturviskosität verliert und aus einem 30er Öl dann schnell ein 20er wird. Die Folge daraus ist, dass das Öl ab einem bestimmten Punkt nicht mehr in der Lage ist, einen heißen Motor ausreichend vor Verschleiß zu schützen. Wenn der Motor eine längere Zeit über auf Betriebstemperatur gefahren wird, kocht der Kraftstoff zwar wieder aus dem Öl heraus, geht aber nie auf „null“ zurück.

Zu erhöhtem Verschleiß kommt es besonders dann wenn ein Motor über längere Zeit viel Kurzstrecke gefahren wird und anschließend auf der Autobahn hohen Belastungen ausgesetzt wird. Es kann unter Umständen zu einem Abrieb der Zylinderwände kommen.

Der HTHS Wert ist ein nächster kritischer Punkt. Die ersten 3,2L VR6 im Golf IV R32 wurden 2002 mit dem sog. LongLife II Öl ausgeliefert.

Dies waren 0w-30 Öle, die der Norm nach einen abgesenkten HTHS Wert haben mussten. Typischer Weise lag der dann in der Praxis bei fast allen LL2 Ölen bei 3,0. Die Norm schreibt dabei einen Wert von 2,9 bis 3,5 vor. Der Grund für die Absenkung waren bessere Verbrauchswerte mit einem low-HTHS Öl. In der Praxis wird man davon allerdings nicht viel gemerkt haben. Wenn überhaupt dann auf dem Papier beim Norm-Verbrauch. Nachteil dabei ist allerdings, dass man beim Verschleiß ein höheres Risiko eingeht.

Später kam das LL3 Öl welches wieder einen „normalen“ HTHS Wert hat. Die Norm fordert hier einen Wert größer 3,5. Die Viskosität hat sich auch geändert und zwar auf 5w-30.

Durch das heute übliche Longlife Intervall von 30.000km werden diese Effekte weiter verstärkt. Die LL Öle, welche ohnehin eine sehr geringe TBN haben, müssen mit diesem Vorrat ein komplettes LL Intervall überstehen, während beispielsweise ein Mobil1 fast die doppelte TBN hat und bereits nach einem halben LL Intervall gewechselt wird.

Da bei den meisten Fahrzeugen keine echte Ölprüfung durch die Elektronik erfolgt und diese damit nicht objektiv weiß wann das Öl zu sehr gealtert ist, führt dieses Verhalten bei einer ungünstigen Kombination der Einflüsse schnell zum Verschlammen des Motors und damit zu erhöhtem Verschleiß.

6.2 Blowby: Was ist das und welche Auswirkung hat es?

Unter Blow-By versteht man komplexe Mixturen aus Öl, Abgas, unverbranntem Kraftstoff und Wasser, die an den Kolbenringen vorbei in das Kurbelwellengehäuse gedrückt werden.

Die aggressiven Kohlenwasserstoffe, Kohlendioxid und Wasser können, wenn sie in entsprechend hoher Konzentration vorliegen, korrosive Säuren bilden. Diese Säuren können nun ihrerseits den Motor und vor allem Dichtungen, Schläuche und Leitungen im Motor beschädigen.

Wenn Durchblaseverluste zwischen Kolben und Zylinderrohr auftreten, spricht man von so genannten Blow-By-Verlusten. Durch diese Verluste wird auch der Wirkungsgrad verringert, was sich auf den Anteil der effektiv nutzbaren Arbeit auswirkt. Um diese Verluste zu minimieren, stattet man den Kolben mittlerweile mit einem Ölabstreifring und zwei Verdichtungsringen aus.

Aufgrund der geometrischen Gestaltung und des Anpressdruckes der Kolbenringe bewirken diese eine hohe Abdichtung. Allerdings muss darauf geachtet werden, den Anpressdruck nicht zu hoch einzustellen. Denn sonst entstehen durch eine zu hohe Reibung wiederum Reibungsverluste. Weiterhin muss man beachten, dass sich das Zylinderrohr nicht verformt, was unter dem Einfluss von Kräften und Temperaturen leicht geschehen kann.

Im Kurbelgehäuse vermischen sich dann die Blow-By-Gase mit dem dort befindlichen Öl, wodurch wiederum eine Schmierölverdünnung entsteht. Auch der Ölverbrauch kann sich erhöhen, wenn die Blow-By-Gase über den Ansaugtrakt der Kurbelgehäuseentlüftung wieder zurückgeführt werden. Selbst der Katalysator kann dadurch geschädigt werden, wenn er mit zu vielen Öladditiven in Berührung kommt.

Im Normalfall treten bei Volllast, also hohen Drehzahlen, etwa 30 bis 50 Liter Blow-By-Gase pro Minute auf.

Um zu verhindern, dass der Druck im Kurbelwellengehäuse unzulässig ansteigt und Öl aus dem Motor gedrückt wird, müssen die Blow-by-Gase abgeleitet werden. Zunächst wurden diese Gase einfach mittels eines Schlauchs in die Umgebungsluft abgeführt. Aber schon 1958 wurde festgestellt, dass die Abführung der Blow-by-Gase in die Umgebung für rund 50 % der von einem Kraftfahrzeug stammenden Kohlenwasserstoffemissionen verantwortlich ist.

Die in den 60er Jahren eingeführte geschlossene Kurbelgehäuseentlüftung schaffte hier Abhilfe. Dabei werden die Blow-by-Gase über Schläuche und ein Steuerventil wieder in den Ansaugtrakt des Motors zurückgeführt, und von dort aus gelangen sie dann erneut in den Brennraum.

Auf diese Art und Weise konnte zwar eine der Hauptquellen für die Kohlenwasserstoffemission eliminiert werden, das Problem der Beschädigung von Elastomerteilen wie Schläuchen, Dichtungen und O-Ringen durch aggressive Medien im Motorraum, vor allem im Dauerbetrieb, wurde aber aufgrund des höheren Blow-By-Anteils verstärkt. Vor allem Leitungen oder verstärkte Schläuche aus Epichlorhydrinkautschuk (ECO), chloriertem Polyethylen (CPE) und Chloroprenkautschuk (CR) können im Dauerkontakt mit diesen Gasen quellen oder zerstört werden.

Dichtungen aus chlorhaltigen Elastomeren werden ebenso beschädigt und ihre Dichtwirkung lässt nach. So können Blow-by-Gase über das gesetzlich zulässige Maß hinaus in die Umgebung gelangen. Dieser Effekt wird in den kommenden Jahren durch erhöhte Abgasrückführung verstärkt werden.

Auszug aus: www.motorlexikon.de

Des Weiteren werden metallische Motorteile angegriffen. Blowby besitzt einen PH-Wert von 1 , ist also extrem sauer und gehört somit zu den Vertretern der Säuren. Da es eine wässrige Lösung ist und Wasser enthält, sorgt es für eine übermäßig große Anreicherung an Wasserdampf innerhalb des Motors.

Dieser kann hochfeste und vergütete Metallteile, sowie Kupfer und seine Legierungen durch Wasserstoffeintrag in das Gefüge schädigen. Man spricht hier von der Wasserstoffversprödung. Befallene Teile können ohne Vorwarnung schlagartig brechen oder zerreißen.

Ungünstige Führungen der Blowby-Gase führen zu verstärkter Kondensation. Beispielsweise wenn einströmender Fahrtwind durch fehlerhafte Lüftungsöffnungen in der Front direkt auf solche Teile geleitet werden. Dann kondensieren die Dämpfe durch die Kaltluft schneller und es bilden sich viel größere Mengen Blowby - Flüssigkeit.

In **Anlage 5.4_1** ist ein Teil der Kurbelgehäuseentlüftung radiografisch dargestellt

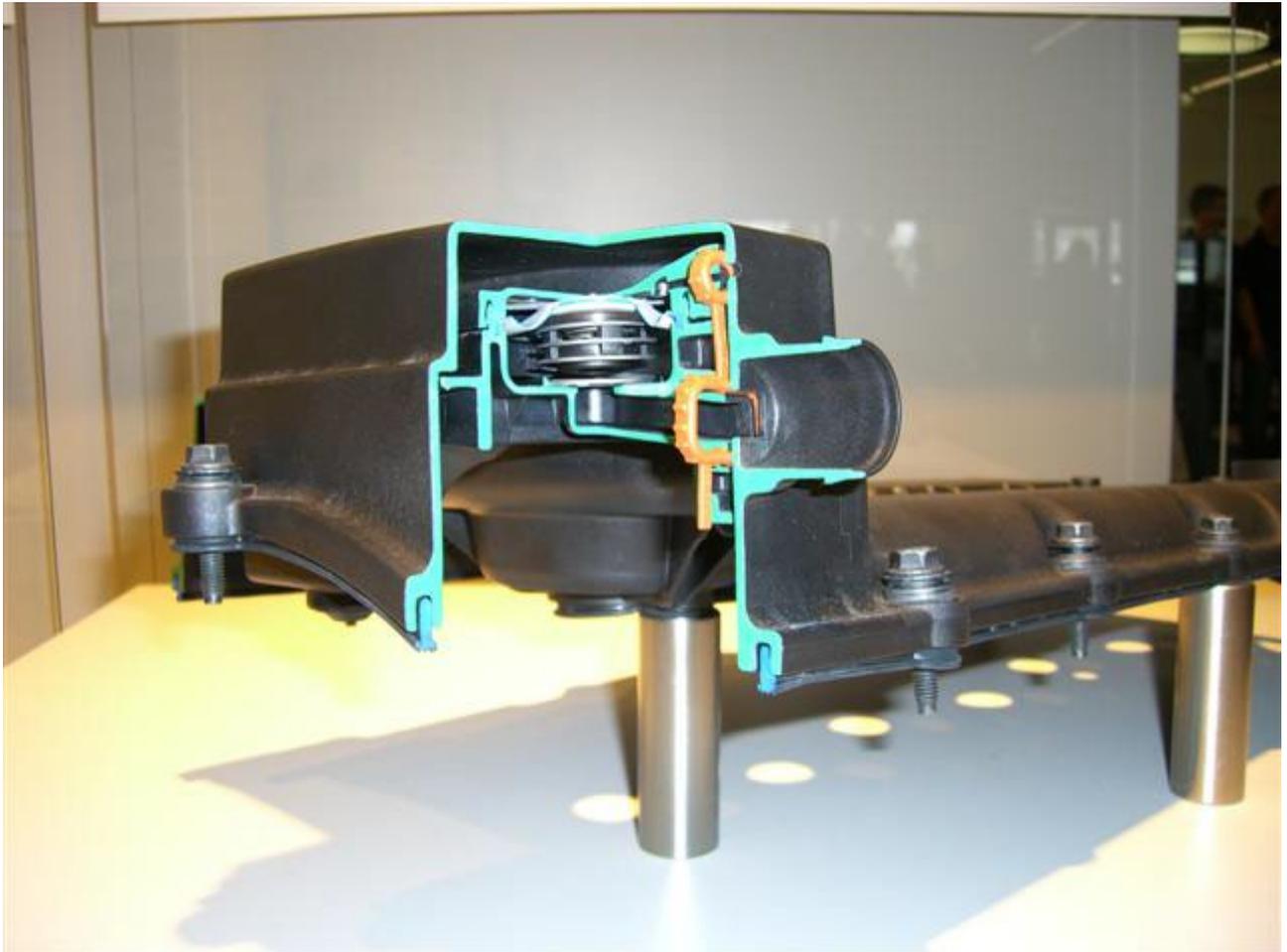


Bild 6.2_1 – Schnitt-Modell Ölnebelabscheider beim VR6 3.2FSI / 3.6FSI



Bild 6.2_2 – durch Blowby zerstörtes Verbindungsstück der Kurbelgehäuse-Entlüftung



Bild 6.2_3 – durch Blowby zerstörtes Verbindungsstück der Kurbelgehäuse-Entlüftung

6.3 Häufige Kaltstarts, Kurzstrecken und Heißbetrieb

Kaltbetrieb

Kurze Fahrstrecken mit häufigen Kaltstarts führen zu sehr niedrigen Öltemperaturen, so dass sich hohe Kraftstoffmengen im Öl anreichern können. Diese Verdünnung des Öls mindert dessen Schmierfähigkeit und lässt es auf Grund erhöhter Aromatenanteile reaktiver werden, so dass ein erhöhter Motorenverschleiß auftreten kann."

Der Umfang des Kraftstoffeintrages bei Fahrzeugen mit Ottomotor im Kurzstreckenbetrieb kann enorm sein. Im Rahmen eines Flottentests unter typischen Zweitwagenbedingungen konnten in Tests schon nach wenigen 1000 km Kraftstoffgehalte weit oberhalb von 10 % im Öl beobachtet werden. Der Kraftstoffgehalt kann nach einer Etappe Autobahnfahrt wieder auf normale Werte zurückgehen. Allerdings sollte man nicht zu früh stramm fahren, da das Öl verdünnt ist und nicht die volle Schmiereigenschaften besitzt.

Auswirkungen solch stark verdünnter Öle auf den Motorenverschleiß gibt es viele.

Das häufigste unter anderem:

Plötzlich stark steigende Eisengehalte im Motorenöl sind ein klares Indiz für Verschleißvorgänge im Motor. Dieser sprunghafte Anstieg konnte bei allen Fahrzeugen im Test, wenn auch bauartbedingt bei unterschiedlichen Laufleistungen, beobachtet werden. Die Motorenbewertung nach 10000 km Kurzstreckenbetrieb ergab, dass unter diesen Betriebsbedingungen ein signifikanter Verschleiß an Zylinderlaufbahn, Kolbenringen, Ventiltrieb und Lagern aufgetreten war.

Heißbetrieb

Hohe Geschwindigkeiten, insbesondere unter hoher Belastung (wie sie bei Pkw mit Fahrleistungen über 40.000 km/Jahr typisch sein dürfte), führen zu hohen Öltemperaturen mit der Folge von Nitration, Oxidation und Viskositätsanstieg. Das Risiko, dass der Verschleißschutz des Motorenöles bei langen Ölwechselintervallen vorzeitig aufgebraucht werden kann, steigt. Der unter diesen Betriebsbedingungen häufig auftretende gravierende Viskositätsanstieg des Öls beeinträchtigt die Motorfunktion und führt zu erhöhtem Kraftstoffverbrauch."

Auszug aus: www.motorlexikon.de

Kaltstartverhalten beim VR6 Motor

Messungen mittels OBD während der Fahrt ergaben, dass der VR6-Motor gute 20 Kilometer benötigt um die Betriebs-Öltemperatur zu erreichen. Dies liegt am Volumen des Motors sowie den großen Volumina von Kühlmittel und Motoröl. Bis dies alles durchgewärmt ist, braucht es seine Zeit. Bei strengem Frost kann dies natürlich erheblich länger dauern.

Mit diesem Wissen im Hintergrund erklärt es sich fast von selbst, weshalb man Kaltstarts unbedingt vermeiden sollte wo und wann es nur geht. Eben einmal schnell zum Bäcker im Ort, oder die Kinder in die Schule fahren, ist auf Dauer gesehen Gift für diesen Motortyp.

Es bilden sich zuviel Benzinreste und Blowby, welche Motorkomponenten schädigen.

Zudem ist der Spritverbrauch in dieser Startphase relativ hoch.

6.4 Thematik der glasfaserverstärkten Laufschiene des Steuerkettentriebes

Hier kurz die Thematik der glasfaserverstärkten Laufschiene.

Sie verschleißt ja sehr stark, da sich die Kettenglieder mit den Laschen regelrecht darauf eingraben.

Vorweg etwas zum Bauteil als solches.

Meist bestehen diese Laufschiene aus PA66 GF+ oder einer Abwandlung der PA66-Familie.

In aller Regel besitzen sie 35-40% Glasfaseranteil.

Das eingesetzte Polyamid ist kein Standard-Polyamid wie man es von anderen Bauteilen her kennt.

Kunststoffe kann man speziell designen. Dies bedeutet, für jeden Einsatzzweck gibt es durch Zugabe von Füllstoffen und Zusätzen, eine besondere Mischung mit individuellen mechanisch-technologischen Eigenschaften.

Laufschiene müssen stabil sein. Zeitgleich sollen sie aber gleitende Eigenschaften besitzen. Man nennt dies in der Tribologie den Selbstschmiereffekt. Diesen Zustand kann man durch Zugabe von Graphit, PTFE oder Silikonölen erreichen.

Beim Einsatz in Kettentrieben sehr wichtig, sind besondere Zugabestoffe damit der neue Werkstoff resistent gegenüber Ölen, Benzin und Lösemittel wird. Da die Laufschiene im Motor verbaut sind, müssen noch spezielle Stoffe zur Hitzestabilisierung dazu. Wären sie dem Sonnenlicht ausgesetzt, könnte man noch Partikel zur UV-Stabilisierung dazu geben.

Wollte man Laufschiene selbst aus dem vollen Material fräsen, welches man sich besorgt, ginge das Vorhaben nicht gut aus. Da man nicht weiß welche Stabilisatoren darin enthalten sind, bzw. fehlen.

Bei Metallen ist eine Werkstoffanalyse mittels Spektralanalyse sehr leicht. Früher wurde das Bauteil kurz angefunkt, und mittels dem entstandenen Muster des zerlegten Spektrums konnte man genau sagen wie viele Prozentanteile eines jeden Legierungselementes darin enthalten sind. Über Tabellen konnte man auslesen welche Stahlsorte es ist. Heute geht so etwas über eine spezielle Art von Röntgenuntersuchung.

Für Kunststoffe gibt es ähnliche Verfahren, die aber bei weitem nicht so einfach sind. Hier bedarf es aufwändigen und kostenintensiven Laboruntersuchungen.

Aus diesem Grund kann man nur jedem abraten, der die Teile selbst nachbauen möchte, um eventuell seitliche Abstützungen zu realisieren.

Außer den Zusätzen gibt es noch einen anderen Grund dies nicht zu tun. Und zwar sind die Laufschiene ab Werk Spritzgussteile. Dieses Granulat welches zuvor richtig mit Zusätzen gemischt wurde, wird erhitzt und unter Druck in die Form gepresst. Danach ausgeworfen und abgekühlt. Dadurch dass die Formmasse an die glatte Innenwand der Form gelangt und abkühlt, bildet sich eine Art Spritzhaut. Ähnlich der Haut eines abgekühlten Puddings.

Sie ist glatt. Die enthaltenen Glasfasern richten sich überwiegend parallel zur Oberfläche darunter aus. Ganz wenige stoßen spitz dazu. Durch dieses Ausrichten treten kaum Glasfasern aus dem Kunststoff aus, welche die Kettenglieder verschleißt können.

Nimmt man nun einen Block PA66 und fräst die Laufschiene aus, hat man überall offene Glasfasern, die in kürzester Zeit die Kette verschleifen würden.

Weiterer Vorteil des Spritzgussverfahrens:

Im Laufe der Zeit lagern sich die Schmierzusätze und Stabilisatoren zum Teil in der Spritzhaut an. Dadurch hat man in der oberen Schicht mehr gleitende Anteile im Werkstoff. Ähnlich den Rollenböden am Flughafen auf denen die Container bewegt werden.

Hat man nun durch Blowby aggressiv gewordenes Longlifeöl, kann dies die in der äußersten Schicht befindlichen Schmierpartikel und Zusätze auslösen oder teils ihre Wirkung mindern. Der Gleitbelag verschwindet langsam. Unter dem erhöhten Spannerdruck verursacht durch die defekte Ölpumpe, werden die Kettenglieder ständig fester auf die Schiene gedrückt. Die Schmierwirkung des Öles lässt dank dem Blowby und erhöhtem Wassereintrag auch nach, die Spritzhaut wird an den Berührungstellen langsam abgetragen.

Ist sie erst einmal beschädigt, geht es ganz schnell.

Die Schmierwirkung des modifizierten PA66 lässt rapide nach, da das Bauteil verletzt ist. Das Motoröl wäscht die letzten Schmierstoffe aus dem Werkstoff. Das eigentliche Motoröl schmiert nicht mehr richtig und die Kettenglieder graben sich in einer Laufspur in die Schiene ein.

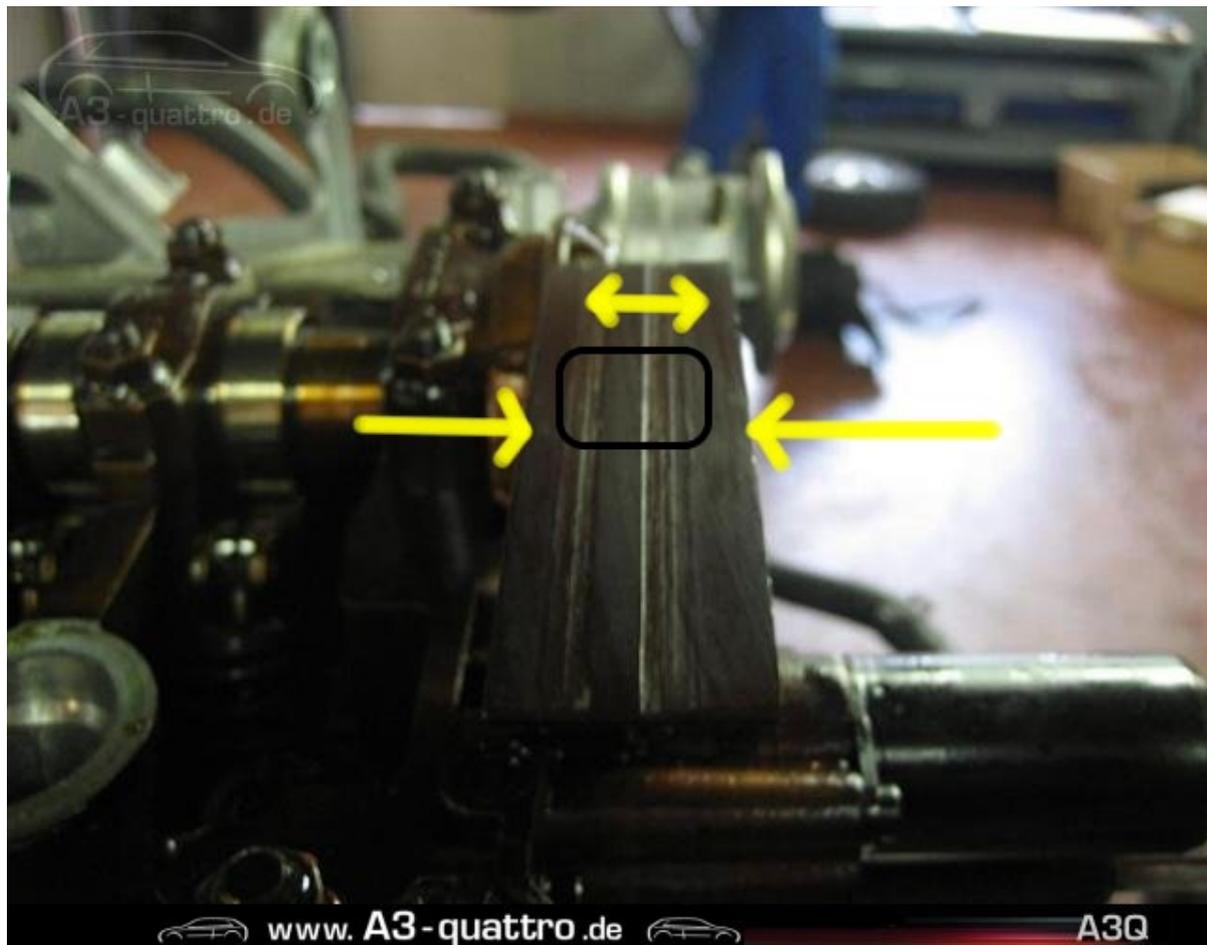


Bild 6.4_1 - Ausgebaute Laufschiene mit Beschädigungen durch die Kette

Dort treffen sie auf die Glasfasern die aufgerichtet sind. Die Oberseiten der Kettenglieder verschleifen. Teils nur punktuell. Die Kettenglieder tragen die längsgerichteten Glasfasern ab, sie werden mit dem Öl mitgerissen und verschleifen im ständigen Ölstrom viele Teile, die an den Ölkanal münden.

Je älter das Öl ist, desto höher ist der Öldruck und um so stärker gräbt sich die Kette in die Schiene. Begünstigt dadurch, dass es für die Kette keine seitliche Führung gibt, kann die Kette, angeregt durch Vibrationen und zu hoher Kettenspannung, aufschlagen und seitlich verrutschen. Weshalb eine breite Fläche verschleißt. Und viel Glasfasermaterial ins Öl gelangt.

In Vermischung mit Ruß, Schwebeteilchen und harter Ölkohle treiben die gelösten Glasfasern im Ölstrom ihr zerstörerisches Werk. Es entsteht abrasiver Verschleiß.

Bildlich könnte man sich den Grand Canyon vorstellen. Oder besser die Niagarafälle.

Der Untergrund der Landschaft ist die Laufschiene.

Das Flusswasser mahlt mit Hilfe von Sand und kleinen Steinen das Flussbett tiefer, und treibt den Wasserfall immer weiter zurück. Bzw. im Grand Canyon wäscht es das Flussbett tiefer aus. Im Motor geschieht ähnliches mit dem verunreinigten Longlife-Öl.

Und zwar an allen Bauteilen, auf die dieses verunreinigte Öl trifft.

Auch die Kettenteile werden so verschlissen. Die Kette erhält mehr Spiel in Längsrichtung. Zusätzlich schlägt sie seitlich stärker aus.



Bild 6.4_2 - Verschleißspuren an den Kettenlaschen

Soviel zur Thematik der Laufschiene und dem Glasfasereintrag ins Öl mit daraus resultierenden Auswirkungen.

6.5 Schmutzpartikeleintrag im Öl (Ruß, Glasfaser, Schwarzschlamm etc.)

Ruß und feste Fremdstoffe

Als feste Fremdstoffe bezeichnet man die Summe aller der in gebrauchten Motorenölen enthaltenen unlöslichen Bestandteile. Sie setzen sich im Wesentlichen zusammen aus Rußpartikeln aus der Verbrennung, festen Alterungsprodukten des Motorenöls, metallischem Abrieb und mit der Ansaugluft des Motors in das Öl gelangtem Staub (bestimmt als Silizium). Weiterhin gehen Festschmierstoffe, wie Graphit und Molybdändisulfid, falls diese dem Motorenöl zugegeben wurden, in die Menge der festen Fremdstoffe ein.

Ein erhöhter Fremdstoffgehalt des Motorenöls führt zu einer Eindickung des Motorenöls und zu einer schnelleren Ölalterung. Der Gehalt an festen Fremdstoffen ist daher eines der Hauptkriterien für den Ölwechsel bzw. die Festlegung der Ölwechselintervalle. Der Anstieg des Fremdstoffgehalts im Motorenöl ist sowohl vom Motortyp als auch von den Betriebsbedingungen abhängig. So ist der Fremdstoffgehalt in Diesel- (Vorkammermotoren) höher als bei Direkteinspritzern und am niedrigsten bei Ottomotoren. Der Betrieb im oberen Lastbereich erhöht den Fremdstoffgehalt durch Anstieg der Rußbildung bei der Verbrennung (Dieselmotoren) und durch verstärkte Ölalterung. Dispergierende Additive des Motorenöls halten die Fremdstoffe in Schwebelage, verhindern, dass diese sich zu größeren Teilchen verbinden, im Ölkreislauf ausfallen und zu Verstopfungen und Ablagerungen führen. Um Motorschäden durch Fremdstoffe zu vermeiden, wird durch die Auswahl und Konzentration der Dispergiermittel angestrebt, die Größe der Fremdstoffpartikel möglichst niedrig zu halten.

Gegebenenfalls kann eine tiefergehende Analyse der Fremdstoffe Aufschluss über deren Zusammensetzung geben. Dies kann z. B. bei der Motoren- und auch Motorenölenentwicklung erforderlich sein. Eine wirksame Verminderung des Fremdstoffgehaltes während des Motorbetriebs durch Ölfilterung ist weder mit Haupt- noch mit Nebenstromfiltern möglich, da die Partikelgröße überwiegend unter derjenigen der Filterporenweite liegt.

Schwarzschlamm

Die Bildung von Schwarzschlamm in Ottomotoren stellte sich mit der Verbreitung von Motoren mit stöchiometrischer bzw. magerer Verbrennung als neues Problem auch bei bis dahin ausreichend additivierten Ölen ein. Ursache war der höhere Gehalt an Stickoxiden, die als Bestandteile der Verbrennungsgase über die Kolbenringe in das Kurbelgehäuse gelangen und während der Verweilzeit entweder in der Gasphase oder durch Reaktionen mit Motorenölkomponenten zu Stickstoffdioxid umgeformt werden:

Das reaktive NO₂ reagiert anschließend mit polaren Ölkomponenten zu organischen Nitraten, die zu unerwünschten schwarzen schlammartigen Ablagerungen im Kurbelgehäuse und im Ventiltrieb und zu einem vorzeitigen Zusammenbruch des Motorenöls führen können. Der Gehalt an organischen Nitraten in Gebrauchttölen ist deshalb ein guter Indikator für dessen Zustand und weitere Verwendungsfähigkeit. Er kann mit Hilfe der Infrarotspektroskopie entsprechend DIN 51454 ermittelt werden.

Schwarzschlamm-sichere Öle können durch unpolare Grundöle, z. B. hoch ausraffinierte Mineralöle oder synthetische Grundöle, aber auch durch besondere Additivierung oder durch die Kombination beider Maßnahmen erreicht werden. Phenolische Antioxidantien und Zinkdithiophosphate wirken z. B. als NO₂-Fänger und sorgen damit für ausreichenden Schutz vor der Bildung von organischen Nitraten und damit der Schwarzschlamm-bildung, solange diese Wirkstoffe noch in ausreichender Konzentration im Öl vorhanden und nicht aufgebraucht sind.

Die Prüfung von Ölen hinsichtlich Schwarzschlamm-sicherheit kann bereits im Labor durch das Simulieren einer Nitrierung bei gleichzeitiger Sauerstoffzugabe und im Beisein von reaktiven Kraftstoffkomponenten erfolgen. Letztendlich geben die Prüfung im ACEA-Prüfmotor M111 und Flottentests unter kritischen Bedingungen und verlängerten Ölwechselintervallen Aufschluss.

Auszug aus: www.motorlexikon.de

Glasfasereintrag

Aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, aus denen heutzutage die meisten Bauteile im Motorenbereich bestehen, werden Glasfasern herausgelöst und mit dem Ölstrom mitgerissen. Meist liegt die Ursache in mechanischem Verschleiß, hervorgerufen durch Verletzungen der Bauteiloberflächen. Näheres hierzu steht im **Kapitel 6.5** Glasfasern sind äußerst verschleißend.

Das Öl mit den hier aufgeführten Partikeln mutiert somit zu einer verschleißenden Lösung, welche alle in ihr befindlichen Teile langsam abschleift.

Es ist also unbedingt zu verhindern, dass solch eine Lösung entstehen kann, und was weitaus wichtiger ist: sie darf nicht zu lange im Motor verweilen.

Kritisch zu betrachten wäre noch die Versorgung des Motorraumes mit frischer Luft welche während der Fahrt einströmt bzw. angesaugt wird.

Luftströmungen insbesondere in Motorräumen sind sehr komplex.

Trifft hier kalte Frischluft auf kritische Bereiche, kann es örtlich zu kühleren Stellen kommen.

Zum Beispiel im Bereich des Kettenkastens. Zwischen Motor und Luftfilter ist ein größerer Spalt. Der Kettenkasten liegt fast bis zum Getriebe frei und ist ungeschützt gegen kühlere Luft.



Bild 6.5_1 – durch Kühlluft gefährdeter Bereich beim VR6-Motor

Wenn hier durch Verwirbelung kalte Fahrtluft darauf trifft, bedeutet dies, dass der Kettenkasten erstens stärker auskühlen kann und zweitens lokale kalte Stellen bekommen kann.

An diesen kalten Stellen kann sich auf der Innenseite vermehrt Blowby durch Kondensation ausbilden. Auch können Ölnebelämpfe anschlagen die feinste Russpartikel mitführen. Sie haften auf dem Kettenkasten. Das Öl tropft langsam ab, feste Bestandteile sammeln sich. Im Laufe der Zeit werden diese Ansammlungen größer.

Auch im Bereich nahe dem Öleinfüllstutzen. Hier spritzt das Öl durch die Kette immer hoch. Und genau das ist der Bereich in dem sich dieser harte Ölschlamm sammelt.

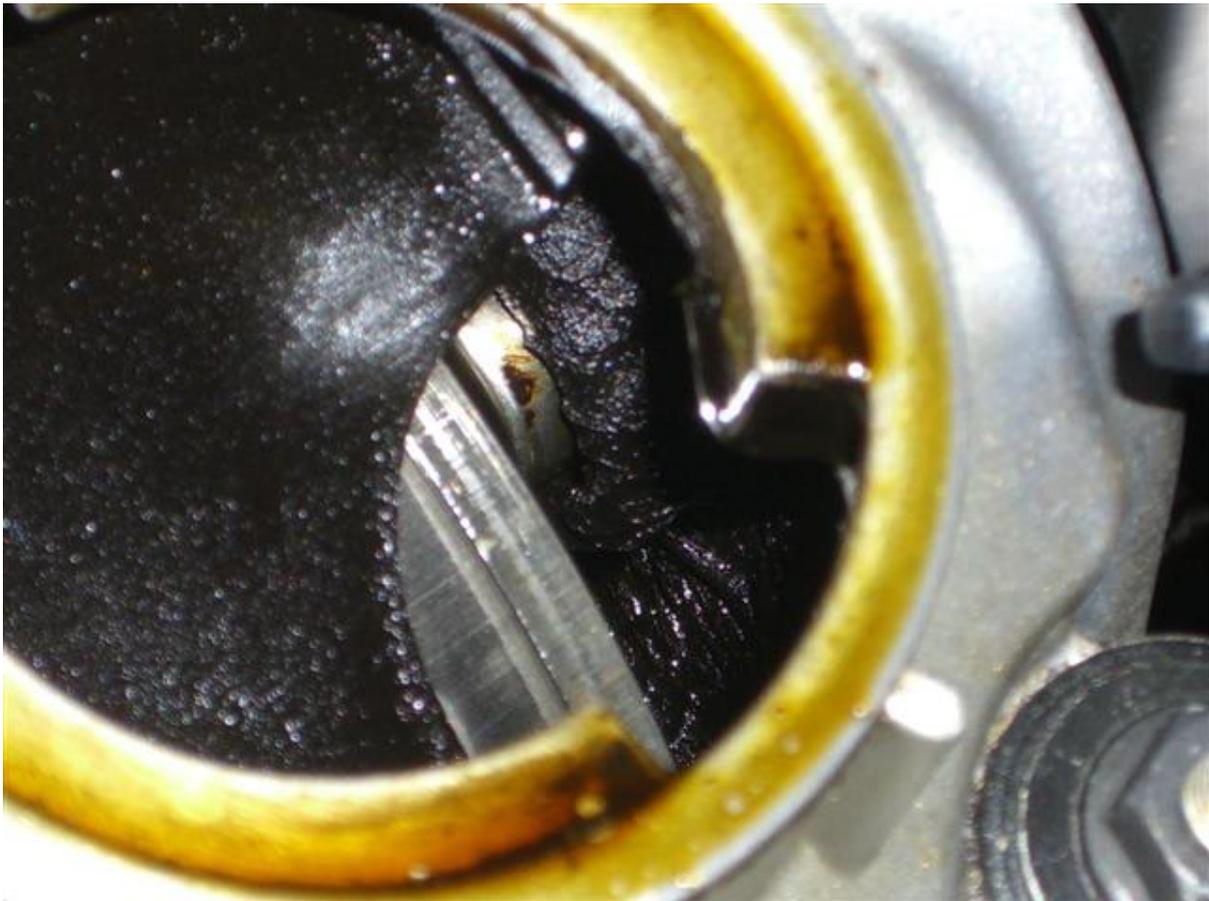


Bild 6.5_2 – abgelagerter Ölschlamm im Kettenkasten eines VR6 mit ca.60000 Kilometer, Longlifeöl (Castrol SLX II + III) und Longlifewechsel-Intervall



Bild 6.5_3 – Übersicht des Verschmutzungsgrades verschiedener Messpunkte und Bereiche

6.6 Wassereintrag im Öl

Gebrauchte Motorenöle enthalten geringe Mengen Wasser, das insbesondere bei häufigem Kurzstreckenbetrieb aus kondensiertem Abgas in das Öl gelangt. Übliche Wassergehalte liegen im Bereich zwischen 0,1 und 1%. Bei Schäden an den Dichtelementen oder Korrosion von nassen Zylinderlaufbuchsen können größere Wassermengen in das Öl eindringen.

Wasser ist ein unerwünschter Bestandteil im Motorenöl, weil dadurch Säurebildung, Korrosion und die Ölalterung gefördert wird; bei höheren Konzentrationen werden natürlich auch die Schmiereigenschaften beeinträchtigt. Durch die im Öl verwendeten Additive werden die nachteiligen Auswirkungen geringer Wasserkonzentrationen neutralisiert.

Wasser im Öl kann mit unterschiedlichen Verfahren ermittelt werden. Einfache qualitative Verfahren sind bei hohen Wassergehalten eine visuelle Beurteilung auf Emulsionsbildung, bei niedrigen Konzentrationen die sog. Spratzprobe, bei der die Ölprobe im Reagenzglas erhitzt wird und die Anwesenheit von Wasser durch knackende Geräusche erkennbar wird. Quantitative Methoden sind ein Destillationsverfahren unter Zusatz von Xylol nach DIN ISO 3733, das Titrationsverfahren mit Methanol nach Karl Fischer entsprechend DIN 51 777 und der wegen des vergleichsweise geringen Aufwands und der guten Genauigkeit üblicherweise angewendete sog. FINA-Test, der Kalziumhydrid als Reaktionsmittel verwendet.

Auszug aus: www.motorlexikon.de

6.7 Resonanzschwingungen

Bei einem PKW mit Verbrennungskraftmaschine bilden sich die unterschiedlichsten Resonanzschwingungen in verschiedenen Stärken aus. Immer unter dem Einfluss der Motordrehzahl und den eingeleiteten Kräften des Fahrwerkes.

Dies kann unter ungünstigen Verhältnissen Probleme bereiten, gerade dann wenn einzelne Baugruppen oder Anbauteile in Resonanz geraten. Diverse Abläufe können gestört werden, sowie das akustische Verhalten einzelner Teile stark beeinflusst werden.

Das akustische Verhalten wird unter **Punkt 5.4** erläutert. Hier findet man im 2. Teil auch Näheres zu dem Schwingungsverhalten einzelner Teile des Kettentriebes.

Die Schwingungen der gelängten und geschwächten Kette sind mit verantwortlich für das Schadensbild. Je stärker die Kette schwingt und Spiel hat, desto mehr bilden sich gefährliche, schwellende Lasten. Werden sie zu stark können sie eine Kette zum Bruch führen.

Den Beweis für solch einen Fall zeigt die REM-Analyse (**Anlage 2.3_2**) einer gebrochenen Kette der Firma Sachs. In den Bildern erkennt man deutlich die Schwingstreifen im Gefüge.

Eine Ursache könnte auch der Einfluss einer defekten Öldruckpumpe sein. Ähnlich wie beim Motorrad, schlägt eine zu stark gespannte Kette auf. Erst bei optimaler Kettenspannung ist dies ausgeschlossen.

6.8 Fehlende seitliche Führungen der Laufschielen

Die Laufschielen des VR6-Kettentriebes verfügen allesamt über keine bzw. kaum ausreichende seitliche Führungen. Zudem gibt es zu viel Spielraum, weil die Laufschielen zu kurz ausgeführt sind.

Sie sind deshalb mit verantwortlich für das seitliche Verrutschen oder Aufschwingen der Kette in besonderen Laststufen. Durch Resonanzen des Motors angeregt, können so Kette und Spanner ein schwingendes System bilden. Ist die Kette gelängt und der Spanner defekt fällt die Kettenspannung drastisch ab.

Der Verschleiß beider Komponenten wird erhöht. Die Gefahr, dass die Kette einen Zahn auf dem Laufrad überspringt steigt deutlich an.

Abhilfe könnten bessere seitliche Führungen und Abstützungen leisten.

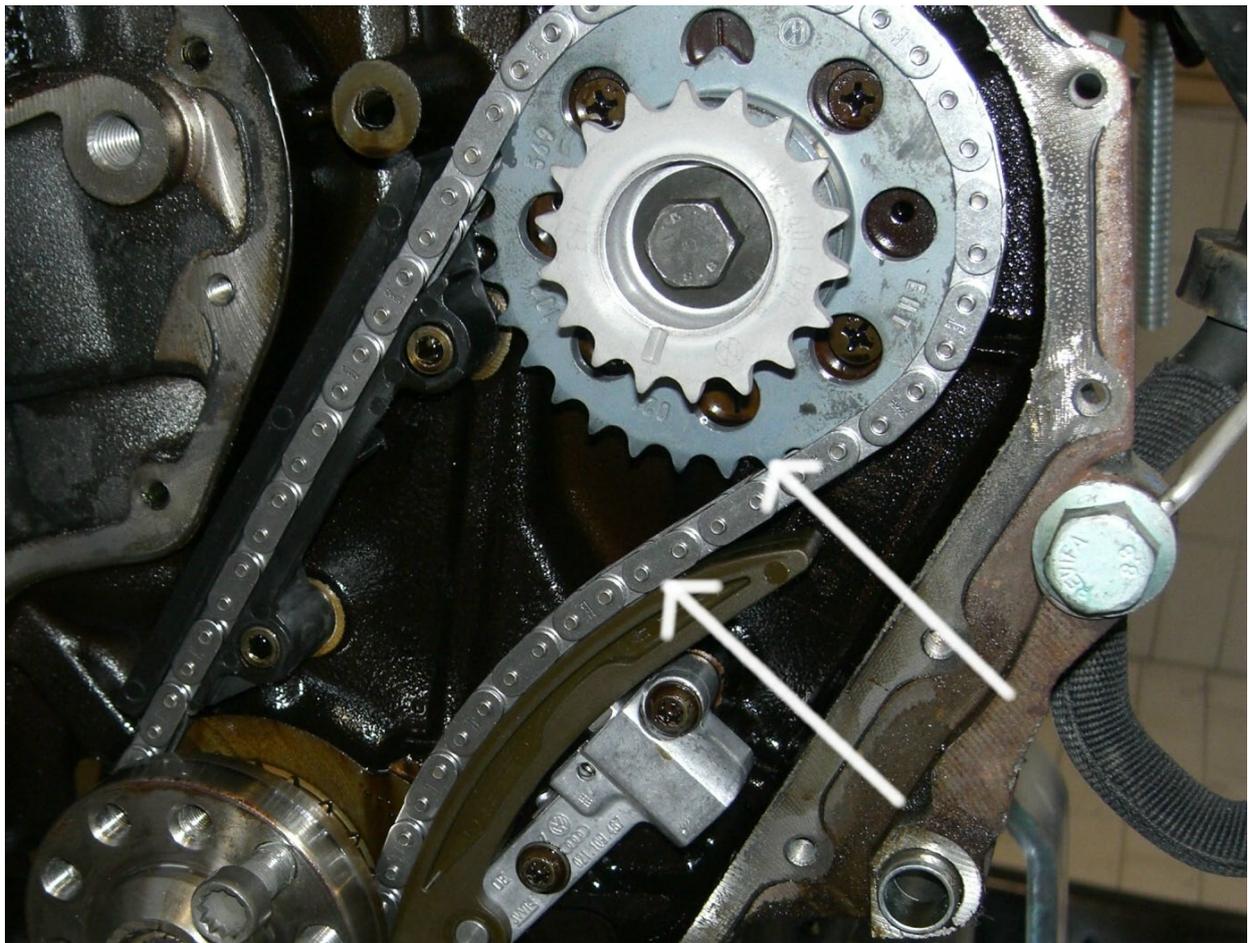


Bild 6.8_1 – zu viel Spielraum

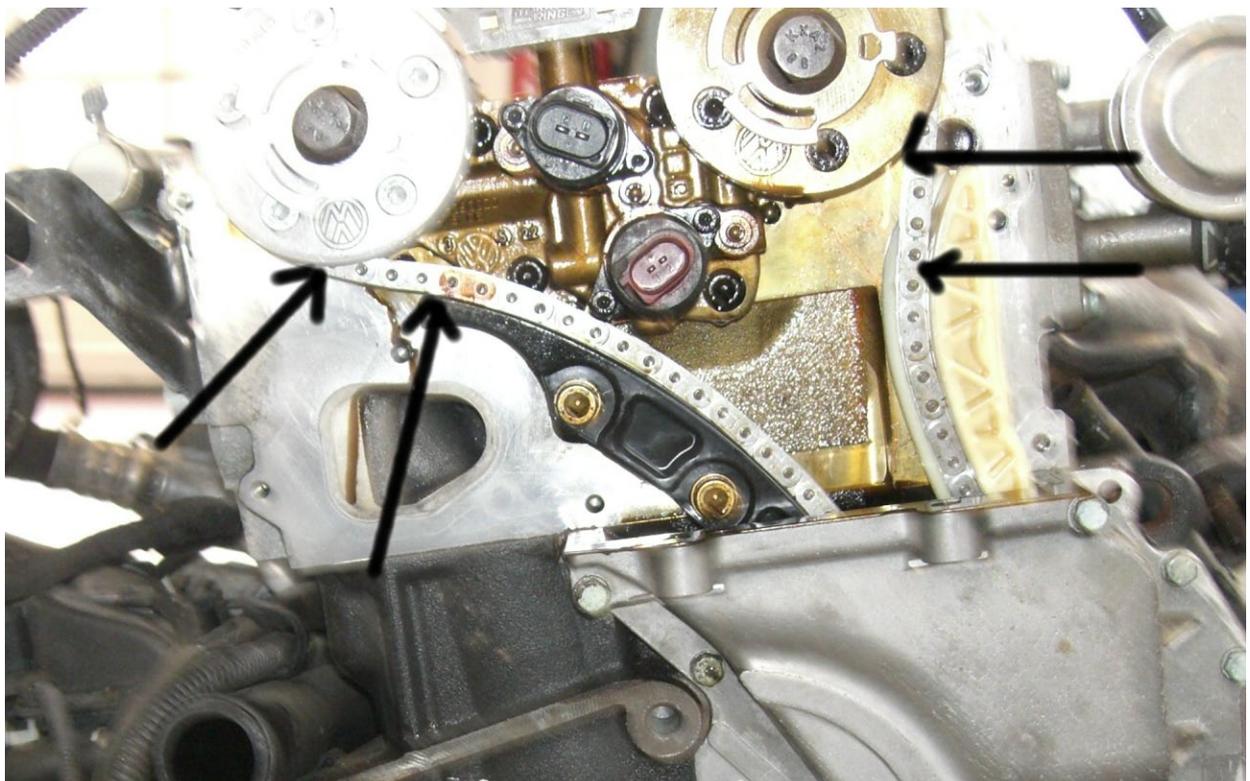


Bild 6.8_2 – zu viel Spielraum

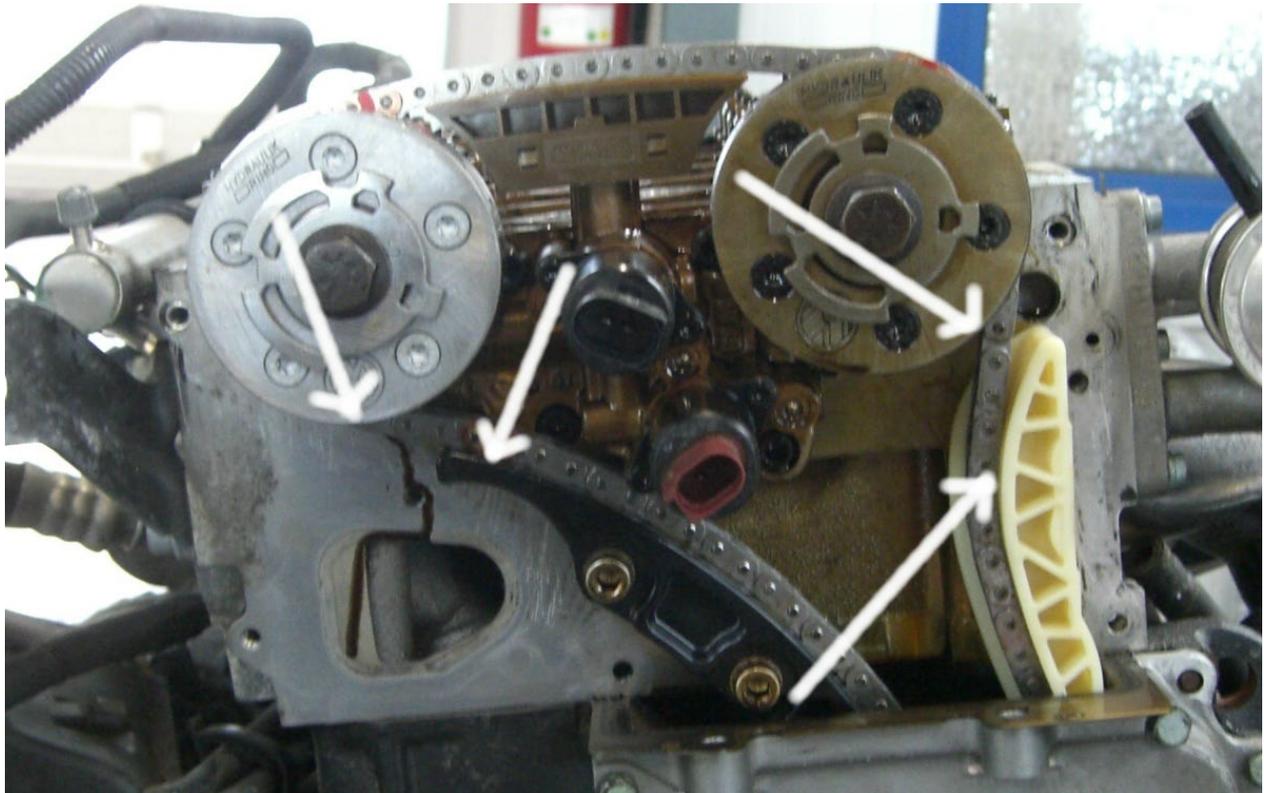


Bild 6.8_2 – zu viel Spielraum

6.9 Anfällige Nockenwellenpositionsgeber

Diese Sensoren sind ab Werk schon einer starken Streuung ausgesetzt. Je nach verwendetem Sensorpaar kann der wahre Nullpunkt stark variieren. Das bedeutet, es gibt keinen 100%igen sicheren Wert für die Position.

Die Werkstätten tauschen teils mehrere über Kreuz um den Nullpunkt zu erreichen. Aus diesem Grunde wird auch nicht immer ein Fehler generiert. Die Werkstatt findet in solch einem Fall keinen Wert.

Laptop-abhängiges Werkstattpersonal welches nur der OBD vertraut, gibt dem Kunden zu verstehen, dass der Motor in Ordnung ist. Trotz Geräuschen. Hier kann nur die manuelle Sichtprüfung 100%ige Sicherheit geben.

Leider gibt es kaum Werkstatt-Personal was noch auf das gute Bauchgefühl hört und eine Sichtprüfung durchführt. Wobei diese eigentlich vom Werk gefordert wird. Aber leider können viele Werkstätten damit nichts anfangen und sind mit der Durchführung und Diagnose gnadenlos überfordert und hilflos.

Mehr zu den Sensoren im **Kapitel 3.9** .

Wie eine manuelle Sichtprüfung durchgeführt wird, beschreibt **Kapitel 5.3**



Bild 6.9_2 – Ausgebaute Nockenwellenpositionsgeber (Hallgeber)

6.10 Korrosionsanfällige Kettenwerkstoffe

In der Bauteilkonstruktion muss man immer einen gewissen Grat gehen für die optimalen Eigenschaften und Anpassung der Werkstoffe an die Anforderungen im System.

Im Fall der Steuerketten sind diese Anforderungen die Festigkeit, Härte, Lebensdauer, Verschleiß.

Austenitische Stähle welche gut korrosionsbeständig sind, erfüllen meist nicht die Anforderungen an die Belastungen. Aus diesem Grunde wählt man für die Hauptbestandteile einer Kette in aller Regel kohlenstoffreiche Stähle, welche sich sehr gut Härten und Vergüten lassen. Sie können sehr hochfest produziert werden.

Leider besitzen sie in diesem Zustand eine große Anfälligkeit gegenüber Korrosion, insbesondere der Wasserstoffversprödung. In fortgeschrittenem Maße lässt sie die Kette schlagartig versagen. Meist durch einen Gewaltbruch. Erkennbar an seinem feinkörnigen Gefüge.

Die Wasserstoffversprödung wird im **Punkt 6.11** behandelt.

6.11 Wasserstoffversprödung

In der Wasserstoffversprödung liegt neben den durch die Prägung geschwächten Kettenvarianten, die zweite Ursache der Kettenbrüche begründet.

Im modernen Motorenbau werden sehr oft hochfeste und vergütete Stähle eingesetzt. Diese bestehen aus Kohlenstoffstählen, da nur solche Stähle aufgrund des im Gefüge eingelagerten Kohlenstoffes wärmebehandelt werden können. Erst der Kohlenstoff ermöglicht das Härten, Vergüten, Spannungsarmglühen etc.

Leider haben diese Stähle die unangenehme Eigenschaft, atomaren Wasserstoff im Gefüge anzulagern, und zwar entlang der Korngrenzen. Dort sammeln sie sich meist an Fehlstellen im Gitter.

Werden diese empfindlichen Stähle noch oberflächenbehandelt können durch Beizvorgänge noch mehr Wasserstoffatome in das Gitter gelangen.

Der WEBU-Handel (www.webu-handel.de) beschreibt dies wie folgt:

Bekanntlich nehmen alle hochvergüteten Materialien begierig freien Wasserstoff (chem. Zeichen "H") aus der Atmosphäre auf.

Dies führt zur Zerstörung des Molekularverbundes des Werkstoffes. Werden Kettenteile, die aus vergütetem, durchgehärtetem Material hergestellt sind, freiem Wasserstoff (H) ausgesetzt, so erfahren sie die sogenannte "Wasserstoffversprödung".

Freier Wasserstoff entsteht bei jeder galvanischen Behandlung (Elektrolyseprozess). Grundsätzlich können alle Teile einer Kette wie Bolzen, Buchse, Rolle und Laschen aus vergütetem Material hergestellt werden. Sie alle sind prinzipiell "wasserstoffgefährdet":

In der Praxis jedoch liegt die größte Gefährdung bei den Kettenlaschen. Diese besondere Empfindlichkeit der Kettenlaschen beruht auf folgende Ursachen:

- *Relativ geringe Wanddicke bei gleichzeitig großer Oberfläche. Dies ermöglicht intensives und rasches Eindringen des freien Wasserstoffes.*
- *Kettenlaschen haben im montierten Zustand innerhalb der Kette eine hohe Eigenspannung (Vorspannung) durch die Presssitzverbindung mit den Kettenbolzen bzw. Kettenbuchsen.*
- *Im praktischen Einsatz erfahren sie weitere hohe Zugspannungen durch die Übertragung der eingeleiteten Zugkräfte.*

Sprödbrüche bei Kettenlaschen, die durch den Einfluss von freiem Wasserstoff entstehen, treten in der Regel nicht im Bereich der Laschenköpfe auf, sondern verlaufen längs und quer durch die Kettenlasche in beliebiger Form. Sie treten aber nicht nur während des Betriebes durch die erwähnten Spannungen auf, sondern auch schon im nicht montierten Zustand.

Um eine Wasserstoffversprödung zu vermeiden sind besondere Maßnahmen

- *vor und nach dem galvanischen Prozess - erforderlich.*

Die Vergütung der Kettenlaschen muss auf einen moderaten Wert zurückgenommen werden und außerdem werden die behandelten Teile einem Warmbehandlungsverfahren unterworfen. Galvanisch behandelte Ketten besitzen eine um ca. 15-20% niedrigere Bruchkraft.

Sie weisen jedoch im Rahmen ihrer zulässigen Belastbarkeit die gleiche Betriebssicherheit bzw. Zuverlässigkeit auf.

Chemische Oberflächenbehandlung

Bei der chemischen Oberflächenbehandlung handelt es sich um ein Verfahren wie wir es vom galvanischen Prozess her kennen. Die erforderliche Reduktion erfolgt hier jedoch durch zugesetzte Reduktionsmittel wie Natrium-Borurat oder Natrium-Hypophosphit. Eine Gefährdung durch freie Wasserstoffatome ist hier nicht gegeben. Üblicherweise wird dieses Verfahren eingesetzt wenn die Oberflächen vernickelt werden sollen. Eine Reduzierung der Bruchkraft ist hier nichtgegeben.

Mechanische Oberflächenbeschichtung Bei diesem Verfahren werden die chemisch vorbehandelten Kettenteile in einer Trommel, die neben dem aufzuplattierenden Korrosionsschutzmaterial noch Füllstoffe enthält, behandelt. Es erfolgt unter mechanischem Druck eine Verbindung zwischen den Kettenteilen und dem aufzuplattierenden Material. Die Beschichtung kann in jeder Schichtdicke erzeugt werden. Eine Bruchkraftreduzierung ist hier nicht gegeben.

Zur Verdeutlichung hier zwei Bilder. Das erste zeigt ein Perlit-Gefüge wie es im Normalzustand aussieht. Bild 2 zeigt die Einlagerung von einzelnen atomaren Wasserstoffteilchen (H^+) und von Wasserstoffteilchen die sich molekular gebunden haben (H_2).



Bild 6.11_1 - Grundgefüge

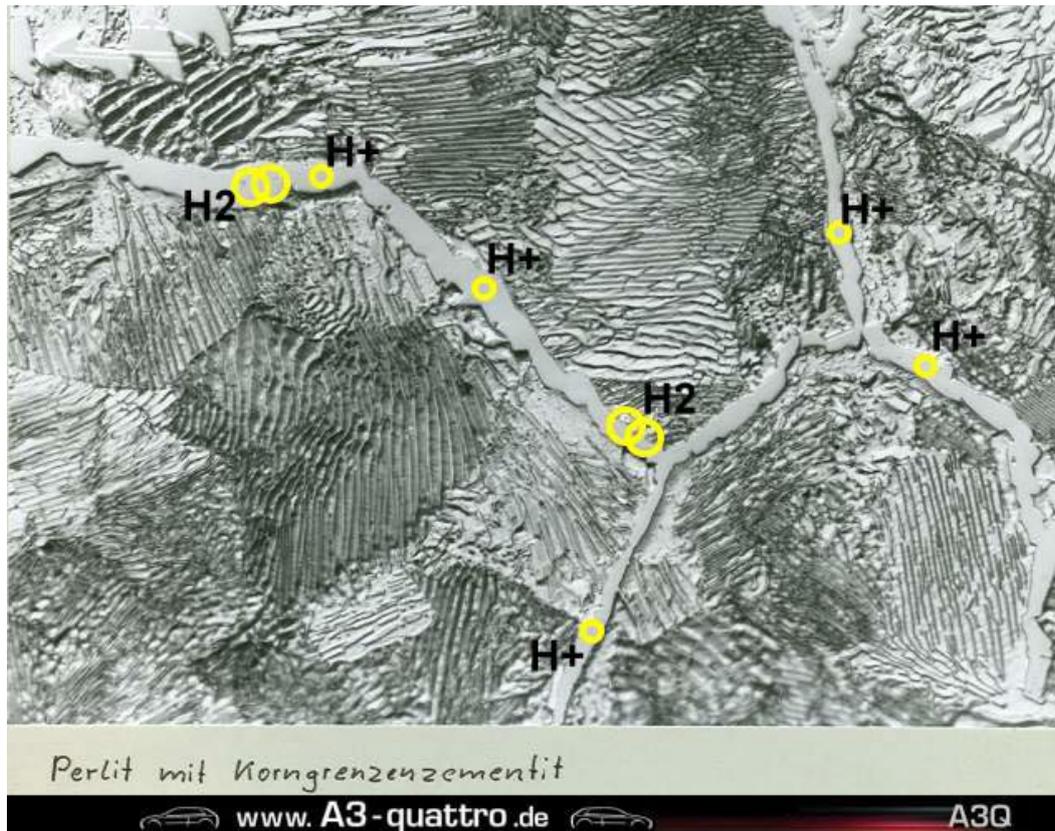


Bild 6.11_2 - Grundgefüge mit eingelagerten H^+ -Atomen und eingelagerten H_2 -Molekülen (Verbindung zweier H^+ -Atomen)

Der molekulare Wasserstoff nimmt viel mehr Platz in Anspruch als der atomare Wasserstoff. Aus diesem Grunde entstehen im innern des Gefüges extrem hohe Drücke. Teils können solche Teile mit viel Wasserstoffeintrag „einfach so“ versagen.

Bei hochfesten Schrauben hat man das sehr oft. Plötzlich liegt eine Schraube mit abgesprengtem Schraubenkopf im Kasten. Hier hat zuviel Wasserstoff den Kopf abgesprengt. Dies geschieht ohne Fremdeinwirkung.

Es kann aber auch vorkommen, dass Spannungsspitzen ein mit Wasserstoffeintrag geschwächtes Teil brechen lassen.

Im Fall unserer Kette könnten das Spannungsspitzen durch heftige Gasstöße sein bei hoher Drehzahl.

Oder plötzlich starkes Beschleunigen im kalten Betriebszustand. Die Möglichkeiten sind weitreichend.

Weitere Literatur zur Wasserstoffversprödung findet sich in der **Anlage 2.3_3** und in der **Anlage 2.3_4**.

6.12 Die Steuerketten der Revisionsstufen im Serieneinsatz

Bei dem Motortyp BDB wurde bei den Steuerketten dreimal in die Serienproduktion eingegriffen.

Folgende Änderungen sind bekannt:

März 2004

Juni 2004

Januar 2005

Erkennbar war der Wechsel von der Firma Sachs zur Firma Iwis. Desweiteren konnte man bei der äußeren Erscheinung beider Ketten Unterschiede ausmachen. Die Sachs-Kette war dunkel. Eventuell wurde sie oberflächenbehandelt. Die Iwis-Kette ist metallisch-blank. Auch sie kann oberflächenbehandelt sein, was auf den ersten Augenblick aber nicht ersichtlich ist.



BILD 6.12_1 - Oben IWIS-Kette (hell) / unten Sachs-Kette (dunkel)

Beim Audi A3 gibt es derzeit keinen bekannten Fall von Kettenbruch. Wohl aber sehr viele Ketten die längten.

Beim Golf R32 sind die ersetzten Ketten teils wieder und genauso schnell bzw. schneller als die erste Kette gerissen.

In diesem Fall waren es verbesserte Sachs-Ketten.

Ursache für die erste Serie an Rissen war der in die Kettenlasche geprägte Schriftzug „Sachs“ .

Siehe hierzu die REM - Analyse einer gerissenen Sachs-Kette mit Prägung in der **Anlage 2.3_2**

Hätte die Firma Sachs nach ersten Reklamationen stärkere Ketten über die Härtung und Vergütung in die Serie eingebracht, so wäre dies fatal. Denn je höherfester eine Kette ist, desto anfälliger ist sie für die Wasserstoffversprödung, da höherfeste Stähle stärker Wasserstoff-Atome im Gefüge einlagern.

Da nur die Kette getauscht wurde, die Angriffsmechanismen (Blowby, Longlife - Öl, Longlife -Intervall etc.) welche die Kette zerstören, aber nicht abgestellt wurden, war / ist eine erneute Schädigung vorprogrammiert.

Über die jeweils immer neueren Ketten der Firma Iwis ist derzeit nichts über die Maßnahmen bekannt. Man müsste hierzu von jeder Revision eine Kette untersuchen lassen.

Um Aufschluss zu erhalten sind folgende Werte nötig:

- Härte
- Werkstoff
- Vergütung
- REM - Untersuchung des Gefüge
- Abmaße

6.13 Werkstoff, Volumen, Anströmung und Geometrie des Motor

Die Menge an Blowby bzw. Kondenswasser mit dem das Blowby ja die saure Verbindung eingeht, kann man wohl eher an der Form und Masse des Motor fest machen.

Kondenswasser und Blowby entstehen hauptsächlich bei kaltem Motor. Also sind Autos, die viel Kurzstrecke und häufige Kaltstarts mitmachen müssen eher gefährdet.

Ein Alu Motor kann die Wärme nicht so gut speichern wie ein Grauguss Block. Daher kühlen die Alu Blöcke auch schneller wieder aus. Kondenswasser entsteht an den kühlen Wänden und läuft dann ins Öl.

Da die kleinen Motoren ja weniger Masse haben, kühlen die auch schneller aus und man hat auch bei gleichen Standzeiten einen kühleren Motor wie beim VR6 und ist mit dem kleinen Motor damit wieder näher an einem Kaltstart wie der VR6

Dadurch pfeift bauartbedingt schon mehr Blowby ins Kurbelwellengehäuse.

Hier nun ein Bericht zum Motorensterben bei den 1,4L-Motoren, da steht das meiste eigentlich ganz gut drin:

Zitat

Das Leichtmetall, räumte VW-Sprecher Jens Bobsien vergangenen Freitag erstmals ein, ist nach jüngsten Erkenntnissen wohl der Hauptgrund für die Eisbildung im Ölsumpf. Aluminium kühlt beim Abstellen des Motors schneller aus als Grauguss. Im Gehäuse bildet sich deshalb leichter Kondenswasser. Es sammelt sich in der Ölwanne und gefriert bei extremer Kälte.

Auch die Herkunft der Feuchtigkeit steht fest: Bei allen Kolbenmotoren dringen, vor allem während des Kaltstarts, wasserhaltige Treibstoffgase ("Blow-by-Gase") an den Zylinderwänden entlang in das Kurbelgehäuse und kondensieren dort. Wird der Motor betriebswarm, verdampft dieses Kondensat sofort wieder und entweicht als Gas durch die Gehäuseentlüftung.

Wird das Auto jedoch nur auf sehr kurzen Strecken gefahren, wird der Motor nicht warm genug, und das Kondenswasser kann ins Ölbad sickern - normalerweise nur in unproblematischen Mengen.

Aluminiummotoren jedoch sind in diesem Betriebszustand besonders empfindlich. Wegen ihrer unrunderen Zylinderbohrungen produzieren sie mehr "Blowby-Gase" und kühlen schneller aus - was die Kondensation begünstigt.

Bei kleinen Baugrößen ist der Effekt umso gefährlicher, weil schon geringe Kondensatmengen die Schmierfähigkeit mindern.

Fast kein anderer Hersteller setzt Alu-Leichtmetallmotoren in kleinen Hubraumklassen ein, wo der Gewichtsvorteil ohnehin nur gering ist. Zu den Ausnahmen zählt Peugeot. Die kleinen Alu-Motoren der Franzosen haben jedoch keine Probleme mit Eisbildungen. Die Peugeot-Techniker führen dies unter anderem auf eine gute Entlüftung zurück.

Bei VW lag genau an dieser Stelle offenbar der zentrale Schwachpunkt. Der Entlüftungsschlauch ist bei dem Wolfsburger Modell so ungünstig gelegt, dass er zuweilen komplett zufror und überhaupt keine Feuchtigkeit mehr entließ.

Quelle: http://www.f-tor.de/freestyle/board_free/showthread.php?t=2649

Ein weiterer Punkt wäre die Anströmung des Motors mit Kühlluft, welche durch die werksseitigen Einlässe in der Front während der Fahrt in den Motorraum geleitet werden.

Trifft dieser Luftstrom an eine kritische Stelle, so kann sich durch diese lokale Kühlung mehr Kondensat bilden.

7. Das Zusammenspiel aller Einflussgrößen

Die bisherigen Punkte erläuterten allesamt verschiedene Einflussgrößen welche auf das komplexe System „Steuerkettentrieb“ einwirken.

Dies alles zusammen zu fassen um ein Gesamtbild zu erhalten soll unter diesem Punkt geschehen. Zur besseren Übersicht werden die wichtigsten Faktoren noch einmal kurz aufgeführt.

- Longlife-Öl
- Longlife-Intervall
- Häufige Kurzstrecken
- Blowby-Bildung
- Ölnebelabscheidung
- Partikeleintrag (Ruß, Glasfaser, Ölkohle) in das Öl
- Wassereintrag in das Öl
- Ölschlamm Bildung
- Vorzeitige Auskühlung des Motor durch Leichtmetalle
- Wasserstoffversprödung
- Prägung der Kettenlasche mit Herstellernamen
- Erhöhter Öldruck durch defekte Ölpumpen
- Resonanzschwingungen
- Laufschiene ohne genügende seitliche Führung
- Korrosionsanfällige Kettenwerkstoffe
- Technologie MPI oder FSI mit oder ohne Turboaufladung
- ungünstige Abkühlung und Fahrtwindeinleitung in Motorraum

Longlife-Öl verbrennt/verdampft aufgrund seiner Eigenschaften teils im oberen Bereich der Zylinderwand. Die dadurch entstandenen sehr feinen Rußpartikel gelangen so mit den übrigen Blowby-Gasen in den Motor und somit auch in das Öl.

Bleibt das Öl 30.000 Kilometer oder 2 Jahre so im Motor, kommt immer mehr Ruß dazu. Es bildet sich Ölkohle und Ölschlamm aus. Dadurch dass die Kette von unten geschmiert wird und auch über die Zwischenwelle Öl bekommt, nimmt sie durch ihren Rundlauf Öl an den Kettenteilen mit nach oben, dort spritzt es durch die hohe Umdrehungsgeschwindigkeit und den Fliehkräften von der Kette und landet an der Innenseite des Kettenkastens.

Dies ist ein recht kühler Bereich des Motors. Zum einen weil der Raum nicht direkt an den heißen Zylindern liegt und ein Hohlraum bildet. Zum anderen weil der Kettenkasten ein Aluminiumteil mit geringer Wandstärke ist. Hier kühlt das Teil stark aus. Während der Fahrt kann durch ungünstige Anströmung kalter Fahrtwind in den Motorraum gelangen, genau in den Spalt zwischen Motor und Luftfiltergehäuse und dort direkt auf die Außenwand des Kettenkastens treffen. Er wird dadurch gekühlt.

Der Ölnebel schlägt sich somit an der Wand nieder, tropft durch die Abkühlung langsam die Wand runter, und scheidet langsam die Russteile ab.

Sie haften an der Innenwand des Kettenkastens. Mit der Zeit lagern sich immer mehr Partikel an den bereits vorhandenen an. Es kommt zu dicken Ablagerungen und Ansammlungen. Ähnlich bei Tropfsteinen.

Nur so lassen sich Bilder wie das nachfolgende erklären.

Es zeigt einen Blick durch den Öleinfüllstutzen auf die Wand des Kettenkastens. Deutlich zu sehen der dicke Ölschlamm. Das folgende Bild zeigt die verschlammte Innenseite des Kettenkastens

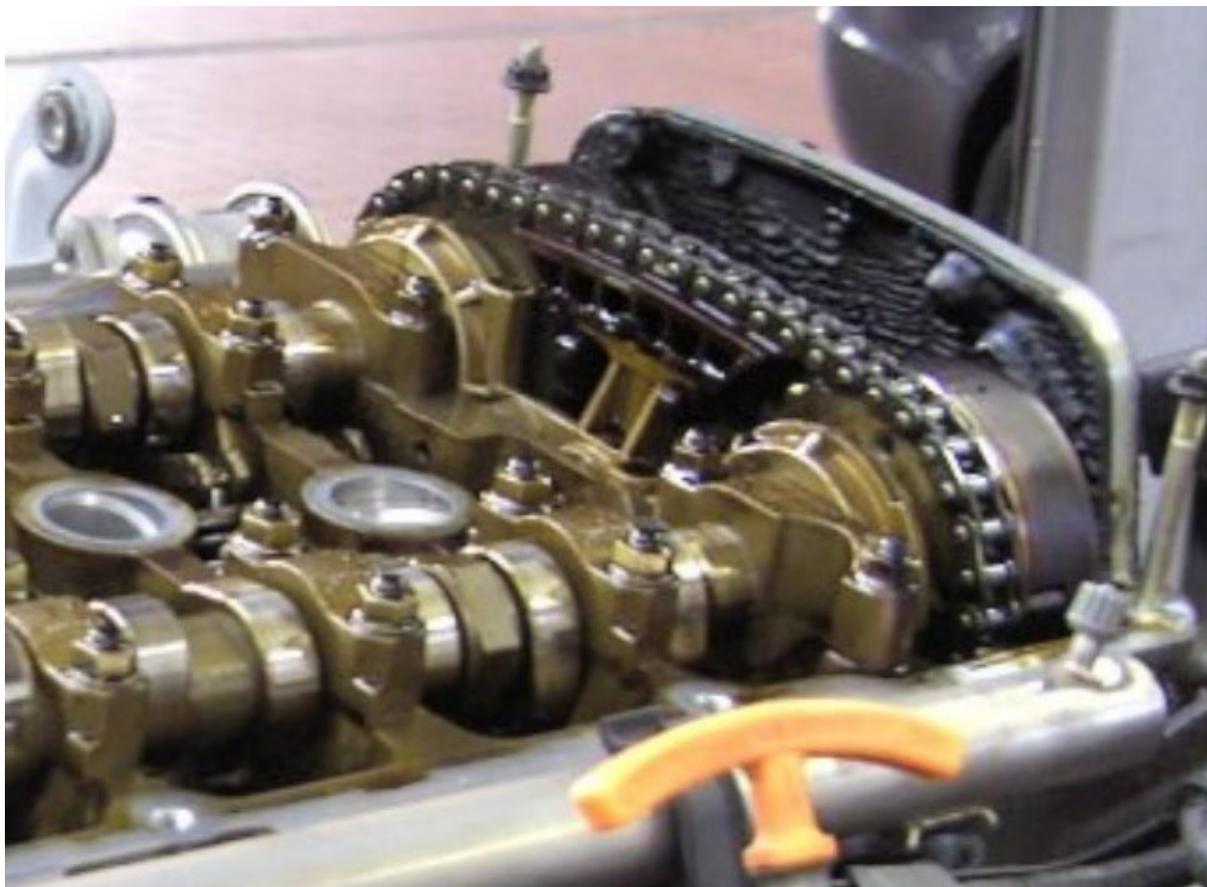


Bild 7_1 – verschlammte Innenseite des Kettenkastens (rechts neben Nockenwellenversteller)

Restliche Verbrennungsgase aus der Kaltstartphase kondensieren zur sogenannten wässrigen Blowby-Flüssigkeit welche sich im Öl sammelt. Der PH-Wert von Blowby wird von Instituten mit PH1 angegeben, also extrem sauer. Zusätzlich wird das Öl mit Wassereintrag geschädigt. Es kommt zu Schmierfilmabbrissen an gewissen Bereichen des Motors, die später noch genauer erläutert werden. Dort tragen sie zum Verschleiß bei.

Im Bereich des Öldeckels befindet sich unter einer Erhöhung der Zylinderkopfhaube der sogenannte Ölnebelabscheider. Seine Funktion wurde schon unter **Punkt 3.8** erklärt.

Ist er nicht effizient genug, und fehlt eine ausreichend dimensionierte Entlüftung, kann es leicht zu einer ungünstig großen Ansammlung von Blowby im Motor kommen. Er wäre im Laufe der Longlifezeit einer immer höheren Konzentration dieser schädlichen Substanz ausgesetzt. Würden gewisse Bereiche des Motors ungünstig von einströmender Fahrtluft getroffen, könnten auch hier größere Mengen an Blowby entstehen.

Vom Gehäuse des Ölnebelabscheiders führt ein Wellrohrschauch zu einer Öffnung in der Saugbrücke. Die Einmündung wird elektrisch beheizt. Siehe **Anlage 5.4_1**.

Vom Öl getrennte Blowbygase werden hier wieder der Verbrennung über den Ansaugtrakt zugeführt. Gelangt an dieser Stelle wässriges Blowby mit Ölresten, durch den in der Ansaugbrücke herrschenden Unterdruck in den Bereich der Einlassventile, können hier Schäden durch Verkokung und Korrosion entstehen.

Wobei FSI-Motoren noch weitaus gefährdeter wären als unser VR6 MPI – Motor. Dies könnte eigentlich nur passieren wenn der Ölnebelabscheider nicht richtig funktionieren würde.

Gelangt Blowby in den Bereich des Zylinderkopfes mit der Nockenwellenlagerung, könnten hier Lagerschäden entstehen, verursacht durch Wasserstoffeintrag in die Lagerwerkstoffe, die meist Kupferlegierungen enthalten.

Kupfer ist wie vergüteter Stahl sehr anfällig gegenüber Wasserstoffeintrag und entwickelt eine große Affinität zum atomaren Wasserstoff.

Siehe **Anlage 2.3_3** und **Anlage 2.3_4**.

Auch hochfeste und vergütete Werkstoffe wie die Steuerketten sind anfällig gegenüber Wasserstoffeintrag. Dadurch dass die Kette ständig im Öl eingetaucht ist, und vom Ölnebelabscheider Blowby-Öl-Gemisch auf die Kette tropfen kann, wird sie ständig in einer wasserstoffhaltigen Umgebung betrieben. Sie reichert sich mit diesem Stoff an, und kann bruchgefährdet werden, wenn der Wasserstoff nicht ständig durch Langstrecken aus dem Gefüge gespült wird.

Bei den ersten Modellen von 2003 bis 2004 sind die Steuerketten der Firma Sachs höchst bruchgefährdet. Die Herstellerfirma prägte in die Kettenlaschen den Firmennamen ein.

Bei sehr vielen Golf 4 R32 rissen die Steuerketten aufgrund dieser Schwachstelle ab Werk. Unter schwellosender Belastung wie sie bei Kettentrieben vorherrscht, können sich Risse von der Kante der Prägung ins innere Gefüge ausweiten und den Bruch auslösen. **Anlage 2.3_2**

Zusätzlich zur schwellenden Belastung kommen Betriebsschwingungen des Motors und Fahrzeuges. Sie können gewisse Teile in Resonanz versetzen, wodurch diese sich ungünstig auf das Gesamtsystem auswirken können. Sind dann noch die Laufschiene ungenügend gegen das seitliche Verrutschen der Kette ausgeführt, können kritische Betriebszustände unter Last auftreten. Die Kette würde seitlich verrutschen oder könnte schlagen.

Der durch Longlifeöl im Longlifeintervall erzeugte Ruß und Ölschlamm kann die Öldruckpumpe soweit schädigen, dass der Bolzen nicht mehr ordnungsgemäß funktionieren kann. Die Pumpe erzeugt daher zuviel Druck.

Dieser wirkt auf beide Kettenspanner, die nun mit erhöhter Kraft die Kette beaufschlagen. Sie gräbt sich in das Material der Kettenlaufschiene ein und löst abrasiv-gefährliche Glasfaserteile aus, die nun im Ölstrom mitfließen. Siehe **Punkt 6.5**

Zudem kann sich ein Effekt ausbilden, der bei Motorrädern oft vorkommt. Zu stark gespannte Ketten neigen zum Aufschlagen.

Ölschlamm wird dadurch mit verursacht, dass sich durch den hohen Blowby-Anteil im Öl die Additive vorzeitig aufbrauchen und somit die Partikel nicht mehr in der Schwebelage gehalten werden. Schlamm-Bildung ist die Folge, siehe auch **Punkt 4.3**.

Soweit kurz eine Wiederholung zu den Einflussgrößen und ihrem Wirken im Einzelnen.

Interessanter ist das gemeinsame Verhalten aller Einflüsse im System.

Die im Öl befindlichen Partikel wie Ölkohle, Ruß und Glasfasern verschleifen langsam die Teile der Kette. Sie werden an allen Stellen dadurch etwas dünner und die Kette instabiler. Durch Blowby und die damit verminderten Additivanteile im Öl entstandene Ölkohle, Ruß und Ölschlamm schädigen den Bolzen in der Öldruckpumpe, welche nun mehr Druck erzeugt und diesen auf die hydraulischen Kettenspanner weitergibt.

Diese drücken mit maximaler Kraft auf die bereits durch abrasiven Verschleiß geschwächte Kette. Sie längt dadurch zusätzlich, wird also in der Gesamtlänge weiter und verformt sich auch seitlich stärker.

Werden nun durch bestimmte Fahr- und Betriebszustände entstandene Schwingungen auf den Motor und seine Teile weitergeleitet, so können diverse empfindliche Teile des Kettentriebes in Resonanz geraten. Auch hier wäre erhöhter Verschleiß die Folge.

Die gelangte Kette kann auf den Laufschiene, welche ungenügende Führungen besitzen, seitlich verrutschen oder teils aufschlagen. Durch diesen nicht mehr optimalen geraden Lauf können die Schienen und Kettenräder geschädigt werden. Laufgeräusche entstehen, die der Fahrer als Kratzen, Klackern und Schaben wahrnehmen kann. Es kommt durch Verschleiß zu erhöhtem Glasfaser- und Metallspäneeintrag.

Das Blowby verwässert und übersäuert das Öl, es kommt zum Schmierfilmbriß mit lokal erhöhtem Verschleiß.

Im Winter mit lange anhaltendem Frost kann es zur Eisbildung kommen mit schwerwiegenden Folgen für den Motor. Ein kapitaler Motorschaden ist möglich.

Durch die gelängte Kette verstellen sich die Steuerzeiten derart, dass unrunder Motorlauf, Leistungsverlust, sowie erhöhter Spritverbrauch folgen.

Die durch Wasserstoffeintrag geschädigte Kette kann bei plötzlich auftretenden Lastspitzen reißen. Dies könnte ein Lastwechsel bei hoher Drehzahl oder ein Motorstart an einem kalten Morgen sein.

Bei den Sachs- Ketten mit Prägung kann die schwellende Betriebslast zu Brüchen führen.

8. Die fachgerechte Reparatur

Eine fachgerechte Reparatur hängt in erster Linie an einer guten Werkstatt. Ist eine Werkstatt nicht in der Lage, den Defekt zu diagnostizieren, bringt es in aller Regel nichts, wenn man sich eine Reparatur erstreitet und dort in dieser Werkstatt durchführen lässt.

Wer nicht in der Lage ist den Fehler zu erkennen, wird gewiss nicht in der Lage sein, fachgerecht zu reparieren.

Gutes Werkstattpersonal erkennt schon am Klang, das etwas nicht stimmt. Einige wenige Fachkräfte können sogar aufgrund der Geräusche direkt die Kettenlängung erkennen.

Man sollte die Fehlerspeicher und die Messwertblöcke 208 + 209 auslesen lassen. Mehr dazu unter den **Punkten 5.1 bis Punkt 5.2** :

Zusätzlich zu den Fehlerspeichereinträgen MUß eine manuelle Sichtprüfung durchgeführt werden. Nur durch sie kann man erkennen, ob und wie weit die Kette gelängt ist.

Die Vorgehensweise beschreibt **Punkt 5.3**.

Wichtig zur Dokumentation. Man sollte bei der Sichtprüfung mit vor Ort sein und Bilder von beiden Sichtfenstern machen, um die Lage der Steuernocken festzuhalten.

Nun sollte in aller Regel bei einem positiven Befund erst einmal geklärt werden, wer für die Reparaturkosten, die gut und gerne 3500.- Euro und mehr betragen können, aufkommen muß.

Gut gestellt sind Personen die noch eine Werksgarantie oder Neuwagenanschlußgarantie besitzen. Letztere zahlt bis 5 Jahre und 100000 Kilometer in aller Regel 100%.

Wer eine Gebrauchtwagen-Garantie oder Händlergarantie besitzt ist leider etwas schlechter gestellt. Hier werden meist keine 100% erstattet.

Wer weder Garantie noch Versicherung besitzt, ist auf Kulanz durch den Konzern angewiesen. Der Kulanzantrag wird meist durch den Händler gestellt. Es ist zu empfehlen, selbst noch einmal die Kundenbetreuung zu kontaktieren, da die Erfahrung gezeigt hatte, dass es große Unterschiede der Kulanzregelung gibt. Viele Händler geben sich auch nicht richtig Mühe. Dies zeigen Fälle in denen A3 Fahrer das Autohaus wechselten und trotz gleichem Fahrzeug und Defekt beim neuen Händler bessere Kulanz gereicht bekamen.

Sind die Details zur Kostenübernahme geklärt, geht es darum den Wagen optimal instand setzen zu lassen.

Einige Händler geben Reparaturtage von 2 bis 2,5 an. Sie reparieren ohne Komplettausbau des Motors. Dies ist durchaus machbar. Aber nicht zu empfehlen. Denn präzise arbeiten kann unter diesen Umständen kaum ein Arbeiter.

Es ist besser den Motor komplett aus dem Fahrzeug zu nehmen um ihn dann zu reparieren. In diesem Falle dauert es meist 4-5 Tage.

Viele Händler möchten nur die obere Kette tauschen, oder nur beide Ketten ohne Nockenwellenversteller. Es gibt auch Fälle bei denen keine neuen Spanner und Schienen verbaut wurden. So etwas macht keinen Sinn. Die meisten betroffenen Fahrzeuge sind die Baujahre 2003 bis 2005 mit altem Baustand der Nockenwellenversteller. In den internen Reparaturanweisungen des Werk an die Werkstätten, werden die Händler aufgefordert die verbauten Teile aufgrund ihrer Teilenummer zu identifizieren, um sie gegebenenfalls gegen neuere zu tauschen. Diese Teilenummern stehen unter **Punkt 3.6**

Werden keine neueren Nockenwellenversteller eingebaut, kommt es in fast 99% aller Fälle kurze Zeit später zu Motorruckeln und unrundem Lauf.

Also unbedingt darauf achten, dass alle Teile getauscht werden. Dies wäre zum jetzigen Stand:

- Obere Rollenkette
- Untere Rollenkette
- Beide Nockenwellenversteller
- Beide Kettenspanner
- Alle Laufschiene

Weitere wichtige Punkte, die nicht unter die Reparaturvorgabe fallen, aber sinnvoll sind, da der Motor eh zerlegt ist:

- Überprüfung des Zweimassenschwungrades auf Beschädigungen oder Überhitzungsspuren
- Überprüfung der Kupplung (bei Handschaltgetrieben)
- Die Kettenräder auf der Zwischenwelle

Diese Teile wären selbst zu zahlen. Zumindest bei einer Laufleistung um die 80-100000 Kilometer macht ein Tausch der Kupplung Sinn. Materialpreis ca. 400.- Euro

Die Arbeitszeit entfällt hierbei wie beim Zweimassenschwungrad, welches ca. 500.- Euro kostet. Mit dem Einbau neuer Kettenräder verhindert man vorzeitigen Verschleiß der Kette.

Ein Kettentrieb kann nur dann optimal laufen, wenn das Kettenrad und die Kette unbeschädigt sind. So können sich beide „Partner“ gemeinsam „einlaufen“ .

Sinnvolle Zusatzarbeiten:

Es ist wichtig alle Anbauteile auf Ölschlamm und Verkokungen hin zu untersuchen. Insbesondere die Teile des Kettenkastens. Hier sollte der Werkstatt der Auftrag gegeben werden, diese Teile von Hand zu säubern, bis alles metallisch blank ist. Man verhindert so die Einschwemmung ins System. Ein späteres Ausbauen ist nicht mehr kostengünstig zu vollziehen. Nur der obere Kettenkasten könnte im eingebauten Zustand getauscht werden. Allerdings fallen hier Arbeitskosten von ca. 700.- Euro an.

Die Reinigungsarbeiten sollte man sich von der Werkstatt mittels Fotos vorher/nachher dokumentieren lassen.

Stellt man bei der Diagnose schon fest, dass im Bereich des Öleinfüllstutzens innen starke Schlick und Schlammspuren zu sehen sind, lohnt es gleich eine Motorspülung mit dem alten Öl unter Verwendung von Liqui Moly Motorclean durchführen zu lassen. Somit reinigt man den Motor innen.

Danach sollte man gutes Öl wie zum Beispiel Mobil 1 0W40 einfüllen lassen.

Das Longlife-Intervall sollte auf Festintervall umgestellt werden. Und spätestens nach 10.000 – 15.000 Kilometer oder 1 Jahr, welches von beiden zuerst eintrifft, sollten die weiteren Ölwechsel durchgeführt werden.

Ist alles ordnungsgemäß repariert, sollte man die Werkstatt bitten die Messwertblöcke 208 + 209 auszulesen. Diese jetzt ermittelten Werte sind die „wahren“ Nullpunkte der Nockenwellenpositionssensoren. Nur so hat man später einen Anhaltspunkt wie die Kette längt. Zur Sicherheit würde ich alle 3 Monate diese Werte auslesen lassen.

Bilder einer Reparatur sind in **Anlage 7_1** einzusehen.

8.1 Werkstätten und Steuerkettenschäden

Das SWR Automagazin Rasthaus berichtete in einer Sendung vom 4.10.2008 über Fahrer mit Audi A3 3.2 quattro Fahrzeugen und ihren Erfahrungen mit Werkstätten und der Kulanzabwicklung.

9. Zitat SWR

Defekte Steuerkette: Autokäufer auf Werkstatt-Odyssee

Eine Steuerkette sollte eigentlich das ganze Autoleben lang halten. Wenn nicht, wird es der Hersteller schon richten - dachte ein Rasthaus-Zuschauer. Da wusste er noch nicht, dass ihm jede Menge Ärger bevorsteht.

Vor einem halben Jahr hat sich Martin Hertweck seinen Traumwagen gekauft. Der gebrauchte Audi A3 Quattro war ihm knapp 20.000 Euro wert – nicht wenig für ein Durchschnittsgehalt. Nach nur zwei Wochen klapperte der Motor. Die Leistung ließ nach, der Verbrauch nahm zu. Besorgt informierte sich Hertweck im Internet. Alles deutete auf einen Defekt an der Steuerkette hin. Die treibt die Ventile an. Hertweck fragte bei seiner Audi-Werkstatt nach. Die war ratlos, in der internen Produktinformation stand darüber nichts.

Die Steuerkette hält normalerweise ein ganzes Autoleben lang. Also alles nur Einbildung? Mit TÜV-Experte Eberhard Lang machen wir den Hörtest an Hertwecks Audi. Immer wieder kleine Klackgeräusche, so darf ein V6-Motor nicht klingen. Sollte das wirklich die Steuerkette sein, muss Hertweck aktiv werden. Wenn am Ventiltrieb ein Schaden eintritt und letztlich sogar die Steuerkette reißt, kann es zu einem größeren Motorschaden mit hohen Reparaturkosten kommen. Für Hertweck ein klarer Fall. Audi soll es richten. Noch ahnt er nicht, was ihm vielleicht bevorsteht. Ein anderer Audi-Fahrer weiß es schon: Michael zog mit seinem klappernden Motor von einem Audi-Fachbetrieb zum nächsten und musste sich anhören: Kein Defekt, sondern "Stand der Technik". So verstrichen zehn Monate, bis endlich die Wahrheit ans Licht kam: Tatsächlich ein Defekt der Steuerkette. Audi entschuldigte sich, spricht von einem "bedauerlichen Einzelfall". Doch Opfer von Audi-Steuerkette gibt es genug, der Hersteller kennt das Problem: Uns liegen Dokumente vor, die belegen, dass Audi deswegen mehrfach in die Produktion eingegriffen hat. Betroffen ist der VR6-Motor, verbaut unter anderem im A3, TT und auch im Golf. Ein Interview lehnt Audi ab. Schriftlich teilt man uns mit: "Bei Fahrzeugen vor Mitte 2004 sind uns einige wenige Fälle von Reklamationen (...) bekannt geworden." Doch inzwischen sei das Problem gelöst.

Doch verärgerte Kunden, die einen A3 aus den Jahren 2003 und 2004 fahren, haben davon nichts. Manche haben ähnliche Erfahrungen mit den Werkstätten gemacht wie Michael. Fachkompetenz sieht anders aus. Dazu schreibt uns Audi: "Die Information" der Autohäuser "ist wohl erst seit Mai 2008 wirklich deutlich erfolgt."

Erst Jahre nach dem Produktionsfehler also erfahren die Werkstätten davon. Die Kunden baden es aus. Sie müssen jetzt auf Kulanz von Audi hoffen. Darauf verlassen kann sich aber niemand. Deshalb hat Martin Hertweck eine Gebrauchtwagen-Garantie abgeschlossen. Die zahlt natürlich nur dann, wenn ein Schaden vorliegt. Das aber ist Ansichtssache, so lange nur der Motor klappert, ist das ein Sachmangel, aber kein Schaden. Der würde erst eintreten, wenn etwa die Kette reißt, die Spanner beschädigt sind oder im schlimmsten Fall der Motor komplett den Geist aufgibt. Die Versicherung ist nicht gezwungen ist, Sachmängel zu tragen, Hertweck könnte also auf den Kosten komplett sitzen bleiben. Und das für einen Fehler ab Werk, für den der Kunde nichts kann. Kein Wunder, dass auch mancher Audi-Fan seinen A3 schnell loswerden will, bevor es brenzlig wird.

Quelle: <http://www.swr.de/startklar/>

Video: <http://www.youtube.com/watch?v=8KvDz2TGJv0>

Redakteur: Herr Thomas Kurella, c/o Vorbild, www.vorbild.tv

Der obige Bericht spiegelt leider die Wirklichkeit wieder, wie sie derzeit viele Kunden erfahren, deren Auto einen Defekt am Kettentrieb aufweist.

Viele Werkstätten sind überfordert mit einer Diagnose. Wenn dann die Reparatur erfolgt, sind wiederum viele nicht in der Lage fachgerecht nach Anleitung zu reparieren.

Teils werden nur 1 Kette oder 2 Ketten ersetzt. Spanner, Laufschiene und Nockenwellenversteller gar nicht. Auch sind die Kulanzregelungen total undurchsichtig.

Fahrer fast identischer Fahrzeuge betreffend Alter und Fahrleistung, bekommen total unterschiedliche prozentuale Beteiligungen.

Anmerkung:

Seit März 2009 läuft das ehemalige TV Magazin Rasthaus unter dem Namen „Startklar“ im TV.

10. Vermeidung von Schäden

Bisher wurde ja nur der derzeitige Stand der Technik aufgeführt, welche Einflussgrößen die Schädigungen hervorrufen und wie der Schadensfall verläuft.

Aufgrund dieser Informationen kann man nach dem derzeitigen Stand der Dinge gewisse Maßnahmen ergreifen um eine Schädigung zu verhindern, oder eine bereits schwache abmildern.

Es muss unbedingt verhindert werden, dass durch Partikeleintrag das Öl so verschmutzt wird, dass es die Kette verschleifen lässt und somit eine Kettenlängung hervorruft. Auch darf es zu keiner übergroßen Bildung von Blowby kommen, welches das Öl übersäuert und hochfeste und vergiftete Bauteile sowie Elemente auf Kupferbasis korrosiv angreift.

Ohne bauliche Eingriffe bleiben dem normalen Fahrer nicht sehr viele Möglichkeiten. Aber sie sind effektiv genug, um Schäden verhindern zu können.

- kein Öl im Longlife-Wechselintervall betreiben
- kein Öl nach Longlife-Spezifikation verwenden
- keine Kaltstarts und Kurzstrecken unter 20km

Das Öl darf kein Longlifeöl sein (Erklärung siehe **Punkt 6.1**). Viele Fahrer benutzen sehr zufrieden das Mobil 1 0W40. Es gibt aber weitere sehr gute Öle (siehe **Anlage 8_1**) die zu empfehlen sind.

Man sollte das Öl nicht zu lange im Motor belassen und das Serviceintervall von Longlife- auf Festintervall umstellen lassen. Es bewährte sich, die Intervalle von früheren Modellen zu gebrauchen. Maximal 10000 bis 15000 Kilometer oder 1 Jahr, je nachdem was zuerst eintritt. So bleiben im Öl gelöste Feststoffeinträge und Blowby nicht all zu lange im Ölkreislauf.

Um gar nicht erst übermäßige Partikel und Blowby zu produzieren, sollte man bewusster fahren. Kaltstarts und Kurzstreckenfahrten sind zu vermeiden wo und wann es nur geht. Messungen nach, benötigt der VR6-Motor aufgrund seiner Masse und großen Flüssigkeitsvolumen bis zu 20 Kilometer um auf Betriebstemperatur zu kommen. Die reine auf 90°C geschönte Kühlwassertemperatur ist kein Anhaltspunkt für die Öltemperatur, und schon gar nicht erst für die Betriebstemperatur des gesamten Motors.

Aus diesem Grunde sollte man öfters Langstrecken fahren und auch mal den Wagen auf der Autobahn gut frei fahren. Nur so kann das im Sumpf befindliche Wasser ausdampfen.

Aber: Nicht gleich kurz nach der Autobahnauffahrt Vollgas geben. Der Motor muss erst gut warm sein, sonst würde es übermäßigen Verschleiß geben. Ursache hierfür ist der zeitweise Schmierfilmabriss. Dort wo sich Wasser befindet, kann keine Schmierung erfolgen. Werkstoff reibt auf Werkstoff. Deshalb behutsam die Last steigern.

Hat man den Wagen neu oder gebraucht erworben, sollte man regelmäßig gewisse Punkte überprüfen, so dass man immer informiert ist wie der derzeitige Stand ist.

Es reicht eigentlich, monatlich den Öldeckel abzuschrauben und in den Öleinfüllstutzen zu schauen. Bildet sich hier schwarzer Schlamm oder Ruß, dann stimmt etwas nicht, und man sollte schleunigst reagieren. Ebenso bei scharfem Geruch nach Benzin/Lösemittel aus dem Öleinfüllstutzen. Dies ist ein Indiz für zuviel Kraftstoff und Blowby im Öl, wie es bei Kurzstreckenfahrten entsteht.

Auch kann man die Messwertblöcke 208 + 209 beim Kauf auslesen lassen, um einen ungefähren „Nullpunkt“ zu haben. Nur dadurch kann man Veränderungen erkennen.

Zirka alle 3 Monate könnte man die Messwertblöcke auslesen lassen. Das Wegdriften ist so sehr frühzeitig zu erkennen und man kann einer Kettenlängung gezielt entgegenwirken.

Auf jeden Fall sollte man immer die Geräuschprobe durchführen. Beispiele von unbeschädigten, defekten und reparierten Motoren sind als Video auf der DVD zu finden, oder in der Geräuschdatenbank im Forum unter www.A3quattro-Forum.de .

Weitere Maßnahmen die sinnvoll, aber nicht unbedingt nötig sind, werden unter dem **Punkt 10.1** erörtert. Dies betrifft eher Selberschrauber, oder Leute die Werkstattpersonal kennen, welche diese Umbaumaßnahmen durchführen können.

10.1 Workshop zur besseren Überwachung / Abhilfe

Es gibt 2 wichtige Faktoren bei diesem Thema. Der Öldruck und die Blowby-Abfuhrate.

Beides wichtige Instrumente zum Erkennen und vermeiden von Defekten.

Wie im Punkt 5.6 schon aufgeführt spielt die Schädigung der Öldruckpumpe und daraus folgend erhöhter Öldruck im System eine nicht ganz untergeordnete Rolle.

Leider gibt es im derzeitigen Audi A3 keinerlei Möglichkeiten den Öldruck auszulesen. Sei es über die Anzeige im FIS oder über OBD. Es sind keine Öldrucksensoren verbaut auf dessen Werte man zurückgreifen könnte. Ein überdurchschnittlich hoher Druck wäre so, rasch erkannt. Man könnte geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen.

Den Öldruck manuell zu messen ist sehr schwer, da ein geeigneter Anschluss sehr versteckt am Motor sitzt. Audi gibt diesen Punkt an, doch leider muss dazu der Klimakompressor abgebaut werden. Es ist Zeit- und kostenintensiv und man hätte immer nur einen momentanen Wert. Eine kontinuierliche Überwachung ist so nicht machbar.

Aus diesem Grunde könnte man den Blindstopfen über dem Ölfiltergehäuse benutzen. Hier könnte man einen Öldrucksensor einschrauben, ein Kabel nach oben in den Sicherungskasten legen und mit einem Stecker versehen. Nun braucht man nur noch eine entsprechende Druckanzeige mit einem Gegenstecker anzuklemmen, und man kann ständig den aktuellen Druck kontrollieren, bzw. mitloggen.

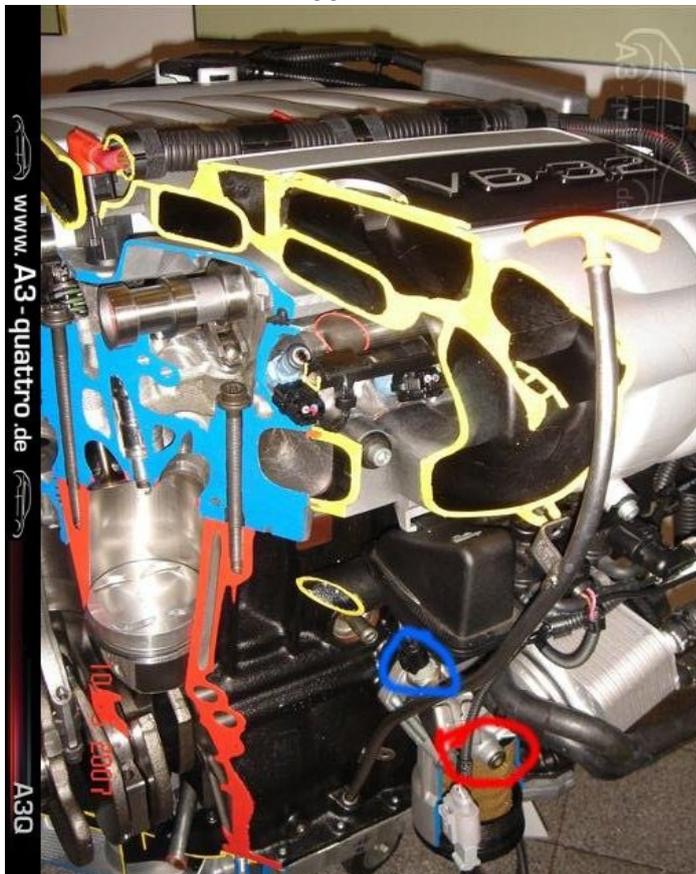


Bild 10.1_1 – Lage der Anschlüsse (Im Bild blau markiert, der Zugang den Audi vorgibt. Rot der alternative Zugang für den Öldrucksensor.)

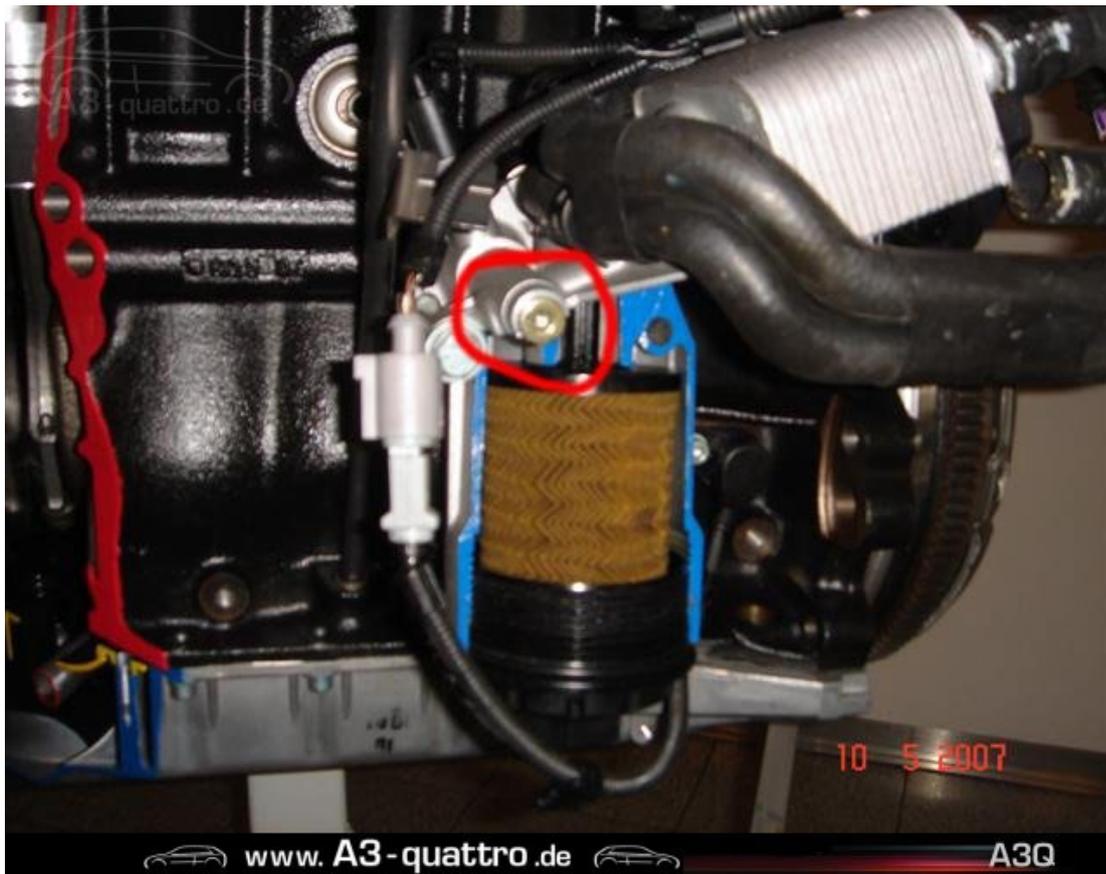


Bild 10.1_2 – Lage des alternativen Anschluss



Bild 10.1_3 – MFA XP im Golf R32

Optimal wäre eine Anbindung an den CANBUS wie es beim Golf R32 möglich ist mittels MFA XP.

Leider funktioniert das bei der Audi A3 CANBUS Variante nicht.

Im Forum ist dieser Punkt hier nachzulesen.

<http://www.a3quattro.de/include.php?path=forum/showthread.php&threadid=5420>

Eine weitere Möglichkeit zur Eindämmung der Schäden wäre, durch bauliche Maßnahmen soviel Blowby wie möglich nach Außen hin auszuscheiden bzw. gezielt zu sammeln um es dann zu entsorgen.

Man könnte externe und effizientere Ölabscheider verbauen und mittels Bypass an den Serien-Abscheider anschließen.

Je weniger Blowby im System, desto besser für alles.

Im Forum werden Umbaumaßnahmen in folgendem Thread behandelt.

<http://www.a3quattro.de/include.php?path=forum/showthread.php&threadid=5484>



Bild 10.1_4 - Ölsammlung im Stutzenbereich des Ölnebelabscheiders

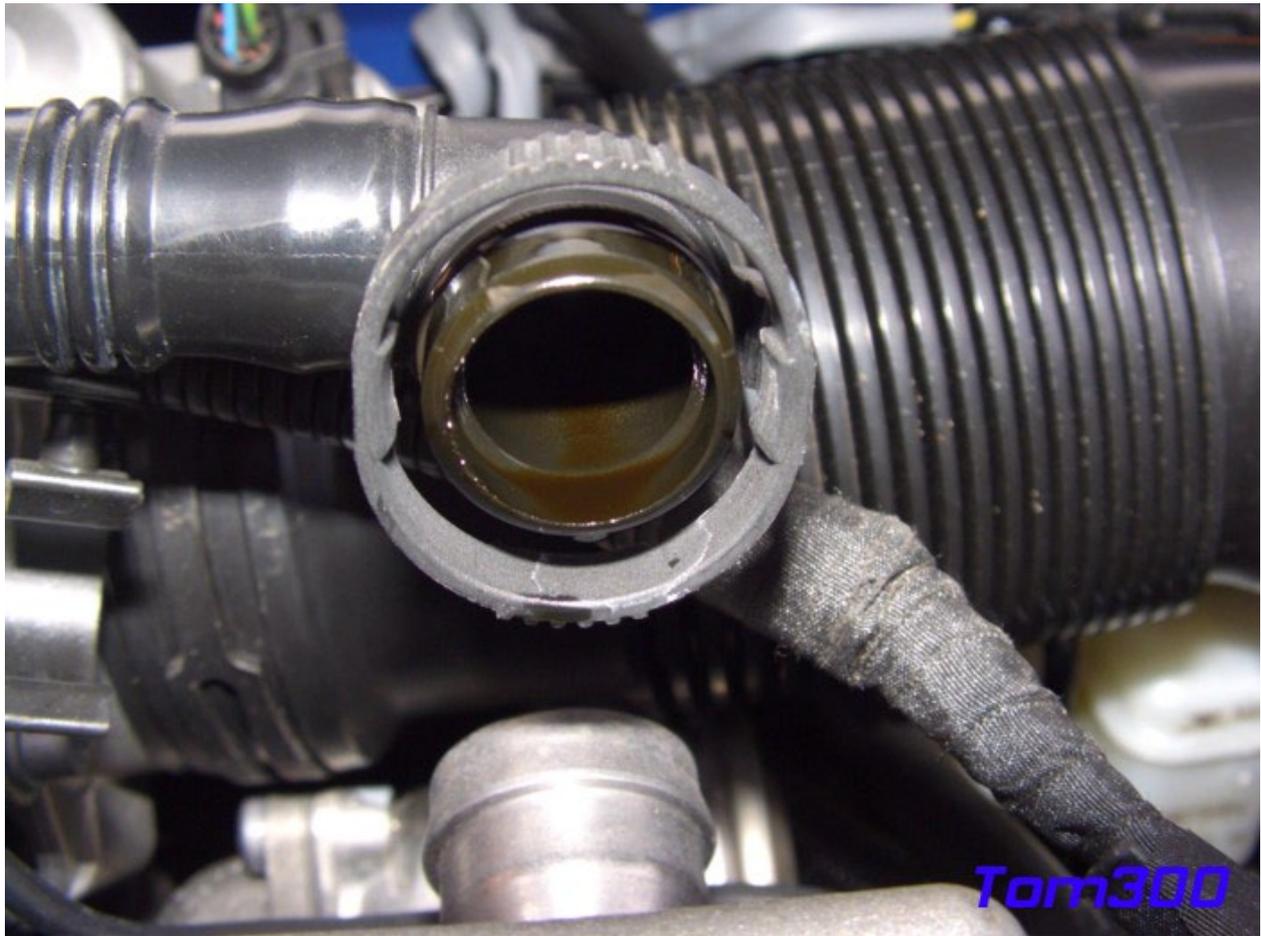


Bild: 10.1_5 – Ölsammlung im Anschlussbereich des Schlauches vom Ölnebelabscheider zur Saugbrücke

11. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Von allen uns bekannten Schäden mit Steuerkettenlängung und Brüchen der Steuerkette gaben die Fahrer an, ihren PKW im Longlifewechselintervall mit Öl nach der Longlife-Spezifikation zu betreiben, wie es der Hersteller ab Werk vorgibt.

Im Detail bedeutet dies, dass die PKW erst bei Erreichen von ca.30000 Kilometern bzw. 2 Jahren Betrieb, je nachdem was zuerst eintritt, zum Service in die Werkstatt fahren. Das verwendete Öl war Öl nach Longlife II bzw. Longlife III –Norm.

Fahrer ohne Schäden fahren überwiegend sehr lange Strecken, bzw. wenige Gesamtkilometer, diese aber auch wieder vermehrt im Langstreckenprofil unter Verwendung des Festölwechsel-Intervalles. Im Schnitt hatten sie alle 10-15000 Kilometer einen Ölwechsel.

Die Folgen und Ursachen des Longlifebetriebes wurden in den vorigen Punkten genau erläutert und die Zusammenhänge geschildert.

Abschließend nun eine kurze Zusammenfassung.

Ursache:

Longlifeöl bildet im Longlifeintervall bei überwiegend häufigen Kaltstarts und Kurzstreckenbetrieb übermäßig viel Partikeleintrag in den Ölkreislauf.

Zudem erzeugen häufige Kurzstreckenfahrten übermäßig viel Blowby welches sich ins Öl mischt.

Dieses wässrige und PH-1-saure Blowby trägt zur Versprödung der Kettenlaschen durch Wasserstoffeintrag in das Metallgefüge bei.

Die Kette wird korrosiv geschädigt und geschwächt. Zusätzlich lassen im Öl befindliche Partikeleinträge wie Ruß, Ölkohle, Glasfasern die Kettenteile verschleifen. Sie längt sich und bekommt auch seitlich mehr Spiel. Durch vom Fahrzustand abhängig eingeleitete Schwingungen und Vibrationen sowie bestimmten Motordrehzahlen wird die Kette mit angeregt. Sie verrutscht auf den Laufschiene welche nur eine ungenügende bzw. keine seitliche Führung besitzen. Teils kann die Kette aufschlagen. So entstehen gefährliche Dauerschwingungen, welche besonders die Sachs-Kette mit ihrem tief geprägten Logo schädigen. An ihm können die Ketten, wie die im **Anhang 2.3_2** beschriebene Kette, ihren Ausgangspunkt des späteren Bruches bekommen. Die Partikel im Öl schädigen zusätzlich Teile in der Öldruckpumpe, in Folge sie die Kettenspanner über dem zulässigen Druck beaufschlagt. Die Kette erfährt zusätzliche mechanische Beanspruchung. Weiterhin wird die Kette durch den hohen Druck stärker auf die Laufschiene gedrückt, wobei mehr Glasfasern gelöst werden und in das Öl geschwemmt werden. Wassereintrag durch Blowby sorgt stellenweise für Schmierfilmabriss und erhöhten Verschleiß der Teile.

Die so geschwächte Kette ist nun gegen Spannungspitzen anfällig wie sie beim Kaltstart, oder bei Lastwechseln auftreten können. Sie bricht. Typisch ist der feinkörnige Bruch mit seinen markanten Anzeichen der Wasserstoffversprödung. Der Bruch erfolgt aus dem Inneren. Nicht von außen nach Innen wie bei normalen Gewaltbrüchen.

Für die ersten von der Firma Sachs hergestellten Ketten waren die eingepprägten Schriftzüge auf Grund ihrer Kerbwirkung hauptverantwortlich für die Brüche (siehe REM-Analyse in der **Anlage 2.3_2**).

Abhilfe:

Die Schäden können nur vermieden werden, indem man die Angriffsparameter möglichst alle ausschaltet. Diese wären zu allererst Öl und Ölwechselintervall. Je länger das verschmutzte Öl im Motor bleibt, desto mehr kann zerstört werden.

Man sollte hier gutes Öl wie zum Beispiel Mobil 1 0W40 im Festintervall fahren. Alternative, weitere gute Öle werden in der **Anlage 8_1** aufgeführt. Nie mehr als 10 bis 15000 Kilometer oder 12 Monate, je nachdem was zuerst eintrifft.

Des Weiteren sollte man Kaltstarts vermeiden und so wenige Kurzstrecken wie möglich fahren. Durch diese Maßnahmen wird das Öl nicht zu sehr durch Blowby versäuert und bleibt durch den kurzen Wechsel nicht zu lange im Motor, um übermaßen die Teile durch korrosive Mechanismen zu schädigen. Auch der Verschleiß durch Partikeleintrag bleibt hier auf ein Minimum beschränkt.

Wer dazu noch den Motor immer schonend warm fährt und öfters lange Autobahnfahrten absolviert, mindert den Verschleiß in der Kaltstartphase und lässt durch die Langstrecke viel Blowby aus dem Motor. Durch die längere Hitzezeit bei Langstrecken, entweicht ein Teil des Wasserstoffes welcher im Kettenwerkstoff gelöst ist wieder aus dem Gefüge. Neuer Wasserstoff kann kaum Eindringen da die Konzentration im Öl sehr gering ist.

Im Falle einer alten Sachs-Kette mit scharf geprägtem Logo kann man leider vorsorglich nichts unternehmen, da es sich hierbei um Schwingungsbrüche handelt, und man auf die Entstehung dieser Schwingungen keinen direkten Einfluss nehmen kann.

Ausblick:

Die beim VR6 3.2 MPI –Motor gewonnenen Erkenntnisse lassen sich eigentlich auf diverse andere Aggregate übertragen die mit Longlife-Öl im Longlive-Intervall und Kurzstreckenbetrieb betrieben werden. Auch bei anderen Konzernen.

Kritisch zu betrachten wären Motoren mit Teilen aus Aluminium/Leichtmetall-Legierungen die durch die schnellere Wärmeabgabe das Kondensieren von Blowby-Gasen erheblich beschleunigen und somit verantwortlich für höhere Mengen wässriger Blowby-Lösung im Öl sind. Nachteilig wären auch die kleinen Öl-Füllmengen und Turboaufladung. Dadurch übersäuert das Öl schneller, und der Turbo sorgt durch seinen Druck dafür, dass nicht genügend entlüftet werden kann. Bauartbedingt sind Motoren mit FSI-Technologie anfälliger als MPI-Motoren.

Erkenntnis:

Das Problem gelängter und gerissener Steuerketten beim VR6 3.2 MPI-Aggregat des VW/Audi-Konzerns ist kein motorspezifisches Problem, sondern eine Verkettung unglücklicher Faktoren. Die Schäden an den Ketten sind nur die Folgen diverser schädlicher Einflüsse die auch in anderen Motoren herrschen können, teils sogar stärker als beim VR6-Motor.

Die **Tabelle 1.1** in der **Anlage 1_1** zeigt deutlich, dass nicht nur VR6-Motoren betroffen sind. Auf die Kilometerleistung bis zum Schaden hin gesehen, erreichen die VR6-Motoren sogar eine längere Laufzeit als die 1.6 und 1.4-Motoren.

Schaut man sich das **Diagramm 1.1_1** in der **Anlage 1_1** an, so fällt einem die große Anzahl an Schäden im Produktionsmonat März 2004 auf. Hier muss irgendwo im Produktionsablauf etwas schiefgelaufen sein. Sei es beim Kettenhersteller Sachs, oder den Motorenbauern bei Audi. Anders ist eine derartig hohe Zahl an Schäden nicht zu erklären.

Hält man die erlangten Erkenntnisse ein, so hat man bestimmt sehr lange viel Spaß mit diesem tollen Wagen. Dies zeigen am eindrucksvollsten die Videos von A3Q-Moderator Klaschi auf der Berichts-DVD (Titel: Night-Edition, Sommer-Edition und Winter-Edition).....viel Spaß wünscht A3Q !!!

12. Schlusswort

Die Verfasser dieser Ausarbeitung bedanken sich bei allen unter Punkt 13 genannten Personen und Institutionen für ihre tatkräftige Unterstützung, ohne deren Hilfe es kaum möglich gewesen wäre, diese umfangreichen Erkenntnisse über solch ein komplexes System zu erlangen und niederzuschreiben.

Diese Ausarbeitung soll das komplizierte Ineinandergreifen verschiedenster Einflussgrößen veranschaulichen, sowie Fahrern betroffener Modelle eine Hilfestellung zur Vermeidung von Schäden sein.

Gebrauchtwagenkäufer können sich vor Kauf ein besseres Bild über den Zustand eines Fahrzeuges machen. Sie können so einer teuren Reparatur, die meist mit 3000.- bis 4000.- Euro veranschlagt wird, entgehen.

Neuwagenkäufer werden bei befolgen der Erkenntnisse, lange Freude am Fahren ohne größere Schäden haben. Allerdings nur bis zur KW22 in 2009, da Audi die Produktion des Audi A3 mit dem VR6-Motor einstellt.



Christian Schlenger



Michael Lorch

13. Literatur- , Bild- und Quellennachweis

Literatur

Titelbild des VR6-Motor

Sonderdruck der MTZ/ATZ extra, Der neue Audi A3, Seite 92, Vieweg Verlag, April 2003
mit freundlicher Genehmigung gestattet durch Herr Dipl.-Ing. Michael Reichenbach (ATZ_MTZ/Springer Automotive Media vom 27.2.2009)

2 und 2.1 Details des VR6-Motor

Sonderdruck der MTZ/ATZ extra, Der neue Audi A3, Seite 92-98, Vieweg Verlag, April 2003
Verfasser: Dipl.-Ing. Uwe Kirsch (VW), Dipl.-Ing. Frank Reschke (VW), Dr.-Ing. Bern Ebel (VW), Dipl.-Ing. Stefan Lieske (VW)
Auszug mit freundlicher Genehmigung gestattet durch Herr Dipl.-Ing. Michael Reichenbach (ATZ_MTZ/Springer Automotive Media vom 27.2.2009)

Anlage 2_1 Datenblatt Audi A3 3.2 quattro

Kundenbetreuung Audi AG Ingolstadt,

3.8 Bild 3.8_2 Ölnebelabscheider

Schnittmodell der Firma Mann & Hummel vom Messestand der IAA Frankfurt 2007

Anlage 2.3_3

Herr Dr. Peter Sommer (www.werkstofftechnik.com) , Auszug aus der Fachzeitschrift, Titel: Dem Wasserstoff auf der Spur Teil:1 ,mit freundlicher Genehmigung zur Verwendung durch Herrn Dr. Peter Sommer vom 20.2.2009

Anlage 2.3_4

Frau Dr.-Ing. Simone Schwarz (www.werkstofftechnik.com) , Auszug aus der Fachzeitschrift, Titel: Dem Wasserstoff auf der Spur Teil:2 , mit freundlicher Genehmigung zur Verwendung durch Herrn Dr. Peter Sommer vom 20.2.2009

Anlage 4.1_1 bis 4.1_3 Leistungsprüfstands-Protokolle erstellt bei Oettinger Performance GmbH , Friedrichsdorf

6.11 Hintergrund Wasserstoffversprödung

Auszug aus dem WEBU-Handel (www.webu-handel.de)

6.2 Was ist Blowby?

Auszug zum Thema Blowby (www.motorlexikon.de)

6.5 Schmutzpartikeleintrag im Öl

Auszug zum Thema (www.motorlexikon.de)

6.6 Wassereintrag im Öl

Auszug zum Thema (www.motorlexikon.de)

Bilder

Matthias E.: *Bild 3.1_1*

Markus Hofer:

*Bild 3.1_2 / 3.2_2 / 3.2_3 / 3.4_4 / 3.5_2 / 3.8_1 / 10.1_1 bis 10.1_2 /
Anlage 5.4.1_1 /*

Martin Raith:

Bild 3.2_1 / 3.5_4 / 5.4_2 / 5.4_4 / 5.4_6 / 5.4_7 / 6.4_1 / Anlage 7.1_5 /

Michael Lorch

*Bild: 3.3_1 / 3.3_2 / 3.3_3 / 3.4_1 / 3.4_2 / 3.4_3 / 3.5_3 / 3.6_2 /
3.8_2 / 5.3_1 bis 5.3_4 / 5.4_1 / 5.4_3 / 5.4_5 / 5.4_8 bis 5.4_10 / 6.2_1 / 6.4_2 / 6.5_1 /
6.11_1 bis 6.11_2 / 6.12_1 / 7_1 / 14_1 / Anlage 2.3.1_1 bis 2.3.1_3 / Anlage 2.3.5_1 /
Anlage 2.4.1_1 bis 2.4.1_8 / Anlage 2.5.1_2 bis 2.5.1_4 / Anlage 2.6.1_ bis 2.6.1_8 /
Anlage 5.4.1_3 bis 5.4.1_12 / Anlage 7.1_1 bis 7.1_4 / Tabelle 1.1 / Diagramm 1.1_1 bis 1.1_3*

Christian Schlenger:

*Bild: 3.3_4 / 3.3_5 / 3.3_6 / 3.7_1 / 3.7_2 / 3.7_3 / 3.9_1 bis 3.9_2 / 4.3_1 / 5.3_11 /
6.9_1 / 10.1_3 /*

Andreas Hirsch (Leo67):

Bild 3.6_1 / 6.8_1 / 6.8_2 / 6.8_3 / Anlage 2.5.1_1 / Anlage 7.1_6 bis 7.1_9 /

Oliver Baneux:

Bild 5.2_1 / 5.2_2 / Anlage 4.2.1_1 /

Daniel Bochtler:

Bild 5.3_5 bis 5.3_10 / 6.5_2 / 6.5_3 / 10.1_4 /

Tom300:

Bild 6.2_2 bis 6.2_3 / Anlage 5.4.1_2 / 10.1_5 /

Die Verfasser bedanken sich bei folgenden Personen/Institutionen für die Hilfe und Unterstützung bei der Erstellung dieser Ausarbeitung und der Thematik im Allgemeinen.

Herr Markus Hofer	Universität Graz, Motorenbau
Herr Daniel Bochtler	Fotomaterial
Herr Martin Raith	Fotomaterial
Herr Maik W.	Radiografie
Frau Sabine S.	REM
Herr Martin Meng	Universität Kaiserslautern
Mann & Hummel	Presseabteilung
Herr Dipl.-Ing. Reichenbach	MTZ / ATZ
Audi Zentrum Maintal	
Herr Dr. Peter Sommer	Werkstofftechnisches Institut, 47661 Isum-Sevelen
Tom300	Fotomaterial
Herr Thomas Kurella	SWR Redaktion Automagazin Rasthaus
Audi Kundenbetreuung	

14. Die DVD zum Bericht



Bild 14_1 – Die DVD zum Bericht

Die Verfasser empfehlen die DVD zum Bericht.

Auf ihr befinden sich viele Vergleichsvideos, welche dem Laien bei der Diagnose helfen: Schön aufbereitet im direkten Vergleich bei gleicher Position der Kamera. So hat man einen guten Eindruck vom Schadensbild im Vergleich zu einem reparierten Motor.

Die Positionen sind: von Vorne, von Oben, seitlich sowie im Radkasten

Darüber hinaus sind weitere Schäden dokumentiert.

Auch wird ein Gebrauchtwagenkauf gezeigt, bei dem man unbedingt einen intakten Wagen mit dem VR6-Motor mitnehmen sollte. Nur so kann man erkennen ob der Gebrauchtwagen einen Defekt am Kettentrieb aufweist oder nicht. Ein paar Fahrtvideos zeigen überdies, welch großen Spaß ein Audi A3 bereiten kann, wenn der Motor in Ordnung ist.

Die DVD gibt es im Downloadbereich von A3Q, in Form einer .iso-Datei. Sie kann man mit jedem DVD-Brennprogramm in eine DVD umwandeln.

URL: <http://www.a3quattro.de/include.php?path=content/download.php>

oder im A3Q-Shop: <http://www.shop-014.de/shop-A3quattro.html>

15. Anhang

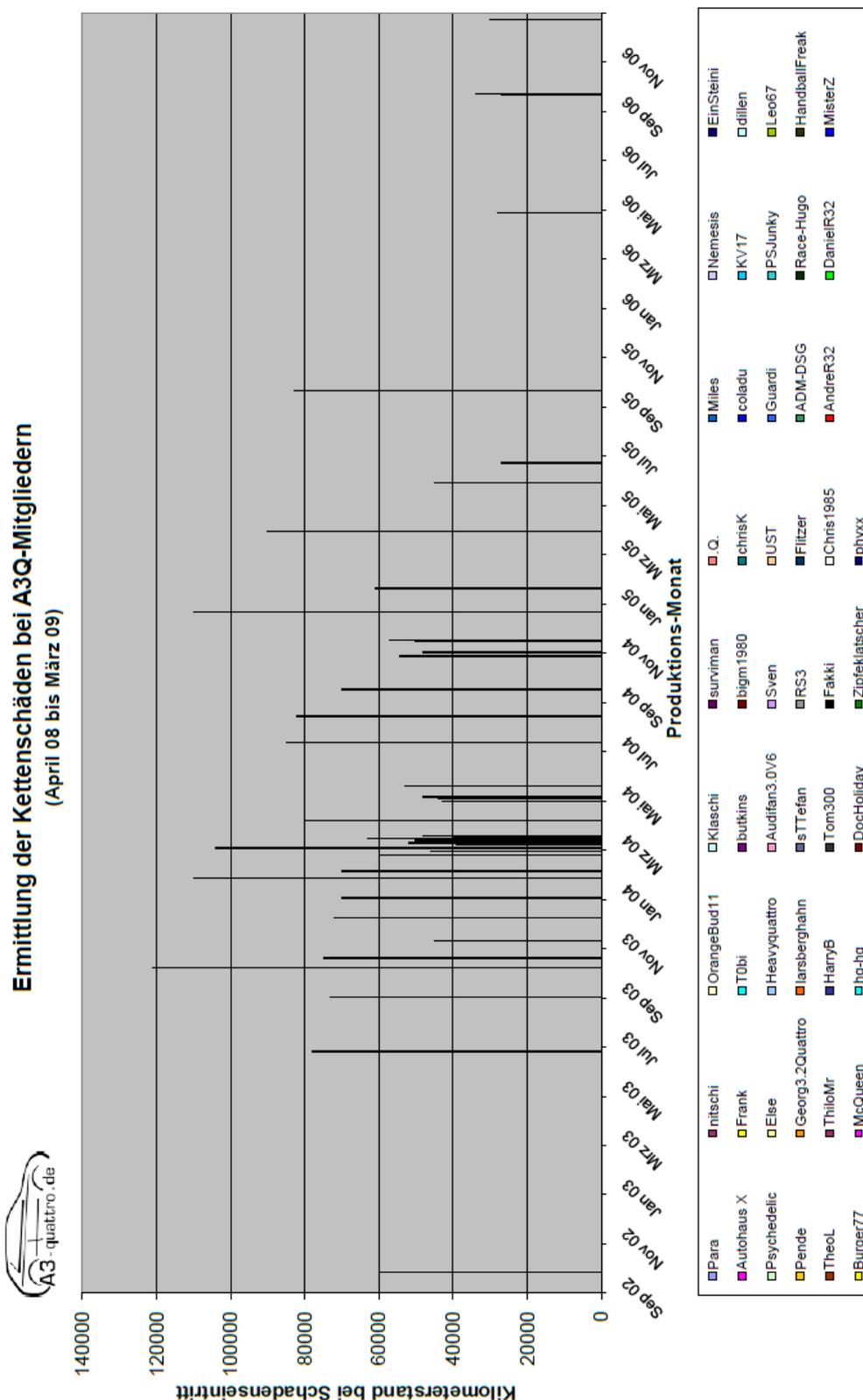
Anlage 1_1 Auflistung der betroffenen Fahrzeuge im Forum

Ermittelte A3Q-Fahrzeuge von März 2008 bis Februar 2009

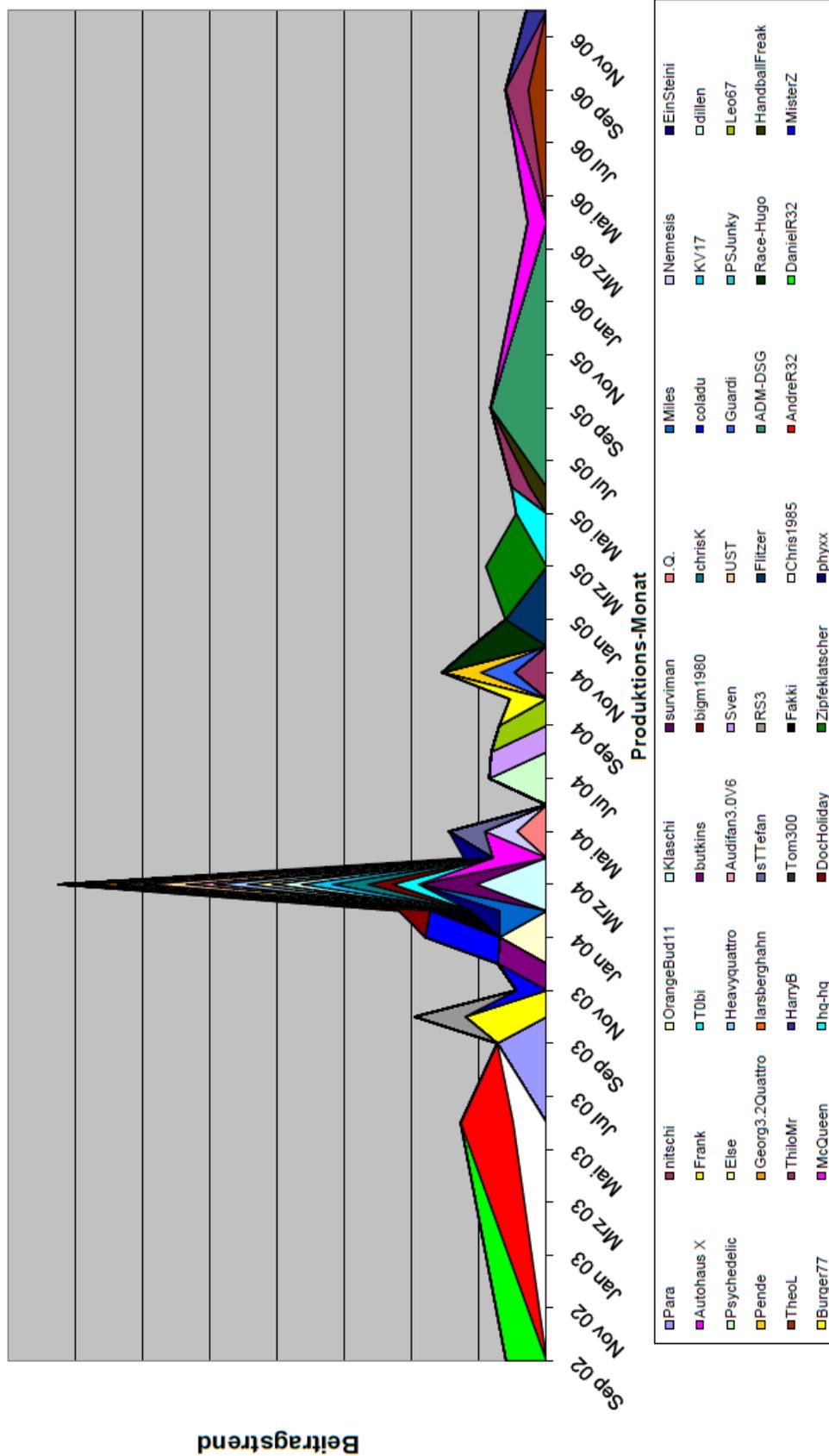
	Nickname	Km-Stand bei Schaden	Baujahr	Fahrzeug
Motor BDB	1 Para	73233	09-2003	A3 3.2
	2 nitschi	48000	11-2004	A3 3.2
	3 OrangeBud11	70000	01-2004	A3 3.2
	4 Klaschi	104000	03-2004	A3 3.2
	5 surviman	86000	03-2004	A3 3.2
	6 .Q.	44000	05-2004	A3 3.2
	7 Miles	70000	02-2004	A3 3.2
	8 Nemesis	48000	05-2004	A3 3.2
	9 EinSteini	43000	02-2004	A3 3.2
	10 RenaultFreakFFM	80000	04-2004	A3 3.2
	11 Frank	121000	10-2003	A3 3.2
	12 T0bi	39000	03-2004	A3 3.2
	13 butkins	72000	12-2003	A3 3.2
	14 bigm1980	37000	04-2004	A3 3.2
	15 chrisK	52000	03-2004	A3 3.2
	16 coladu	45000	11-2003	A3 3.2
	17 KV17	46000	04-2004	A3 3.2
	18 dillen	44000	04-2004	A3 3.2
	19 Psychedelic	85000	07-2004	A3 3.2
	20 Else	36000	03-2004	A3 3.2
	21 Heavyquattro	50000	03-2004	A3 3.2
	22 Audifan3.0V6	41000	03-2004	A3 3.2
	23 Sven	82000	08-2004	A3 3.2
	24 MisterZ	110000	01-2004	A3 3.2
	25 Burger77	54500	10-2004	A3 3.2
	26 UST	63000	03-2004	A3 3.2
	27 McQueen	28000	04-2006	A3 3.2
	28 Fakki	60000	02-2004	A3 3.2
	29 hq-hq	45000	05-2005	A3 3.2
	30 DocHoliday	46000	02-2004	A3 3.2
	31 Zipfeklatscher	90000	03-2005	A3 3.2
	32 Guardi	50000	11-2004	A3 3.2
	33 PSJunky	39208	03-2004	A3 3.2
	34 Leo67	70000	09-2004	A3 3.2
	35 Pende	57000	11-2003	A3 3.2
	36 Georg3.2quattro	40000	03-2004	A3 3.2
	37 larsberghahn	48000	03-2004	A3 3.2
	38 phyxx	42800	04-2004	TT 3.2
	39 sTTefan	53000	05-2004	TT 3.2
	40 RS3	75000	10-2003	A3 3.2

	Nickname	Km-Stand bei Schaden	Baujahr	Fahrzeug
Motor				
BMJ				
	41 ADM-DSG	83000	09-2005	A3 3.2
	42 Flitzer	61000	01-2005	A3 3.2
	43 Race-Hugo	110000	12-2004	A3 3.2
Motor BUB	44 TheoL	27000	09-2006	A3 3.2
Motor BLF	45 HandballFreak	25000	06-2005	A3 1.6 FSI
Motor BFH				
	46 Chris1985	49500	06-2003	Golf 4 R32
	47 AndreR32	78000	06-2003	Golf 4 R32
	48 DanielR32	60000	09-2002	Golf 4 R32
Motor BLG				
	49 ThiloMR	27000		Golf 1,4
	50 HarryB	34000		Golf 1,4

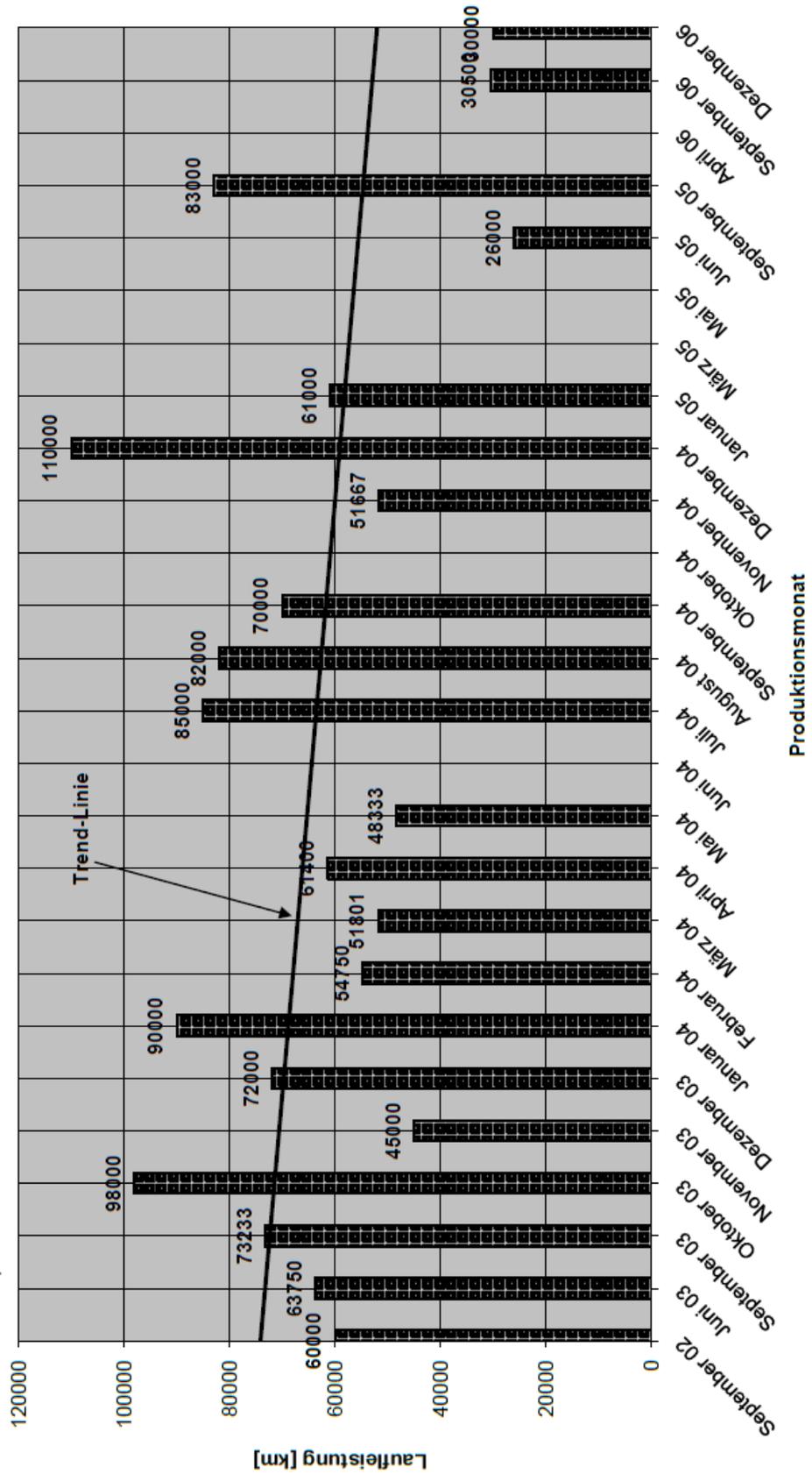
Tabelle 1_1 – Übersicht der A3Q-Mitglieder mit Kettenschäden



Besonders oft betroffene Produktionsmonate
(ermittelt bei A3Q-Mitgliedern von April 08 bis März 09)



Mittlere Laufleistung bis zum theoretisch eintreffenden Schadensfall
(je Produktionsmonat)



3.3_1 Bilder des seitlichen Spiels der Kette, sowie die Längung in Längsrichtung

Vergleich: alte Sachs-Kette (dunkel) / neue Iwis-Kette (metallisch-blank)

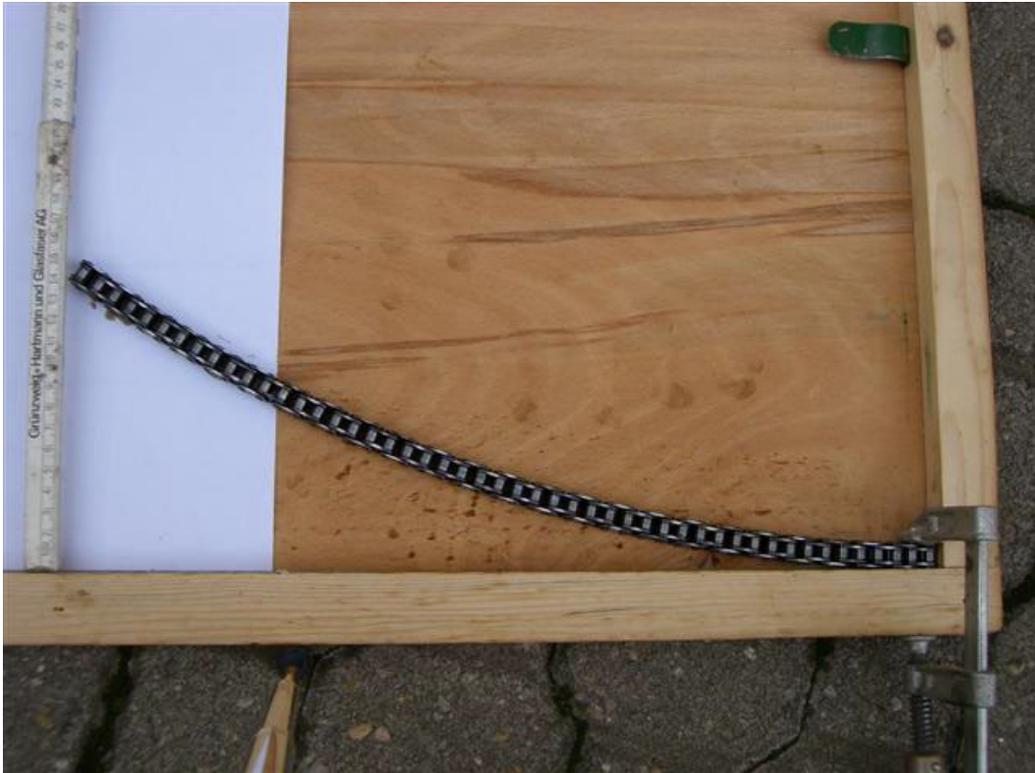


Bild: Anlage 2.3.1_1 – seitliche Längung der Sachs-Kette (ca.142mm)



Bild: Anlage 2.3.1_2 – seitliche Längung der Iwis-Kette (ca.129mm)



Bild: Anlage 2.3.1_3 – Längung der Sachs-Kette und Iwis-Kette

Steuerkette der Firma SACHS

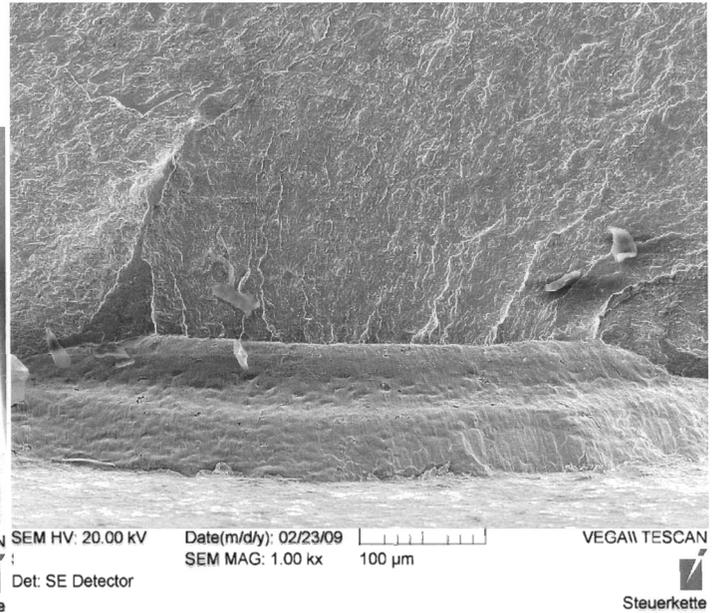
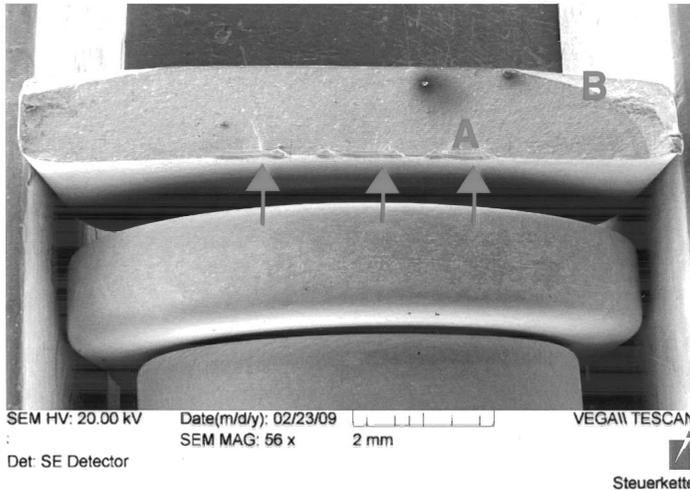


Bild 1: REM-Aufnahme der Bruchfläche
Bruchausgang an eingestempelten Buchstaben (Pfeile)

Bild 2: Bereich A bei höherer Vergrößerung
Bruchausgang im Bereich der Stempelung

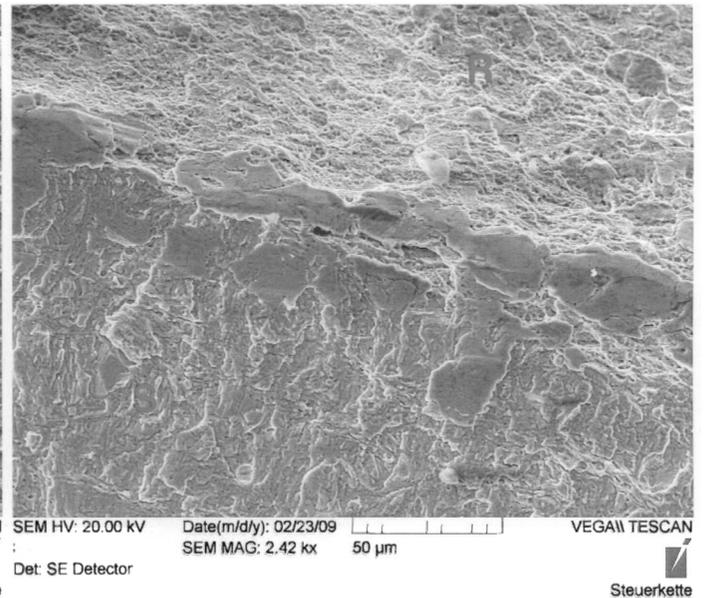
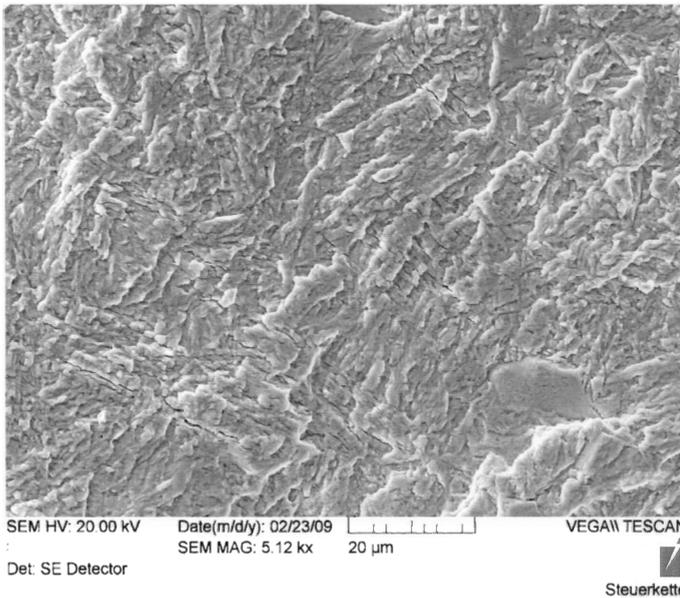
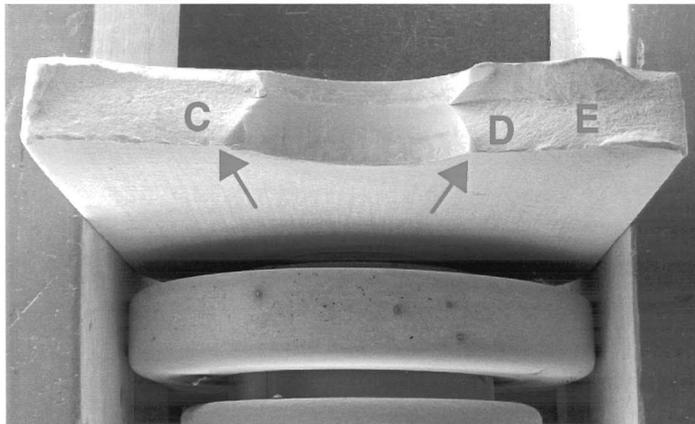


Bild 3: Bruchfläche bei höherer Vergrößerung
Transkristalline, verformungsarme Bruchfläche mit Schwingstreifen und parallelen Rissen

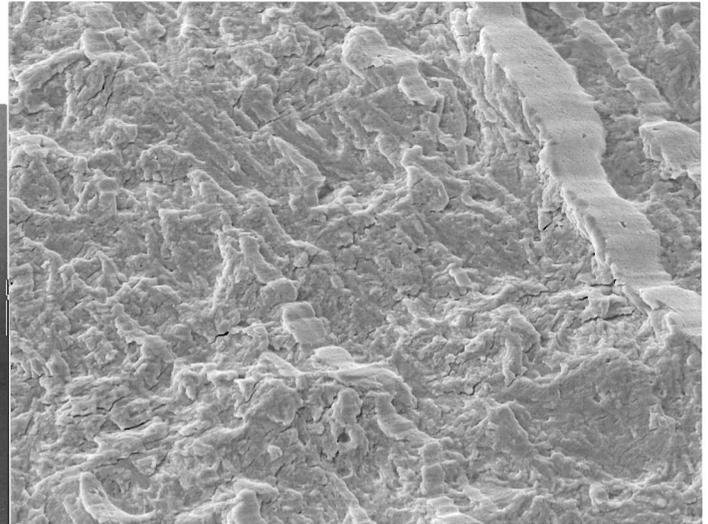
Bild 4: Bereich B bei höherer Vergrößerung
Übergang Schwingbruchfläche (S) / duktiler Restgewaltbruch (R)

Steuerkette



SEM HV: 20.00 kV Date(m/d/y): 02/23/09
SEM MAG: 56 x 2 mm
Det: SE Detector

VEGA\\ TESCAN
Steuerkette



SEM HV: 20.00 kV Date(m/d/y): 02/23/09
SEM MAG: 4.49 kx 20 µm
Det: SE Detector

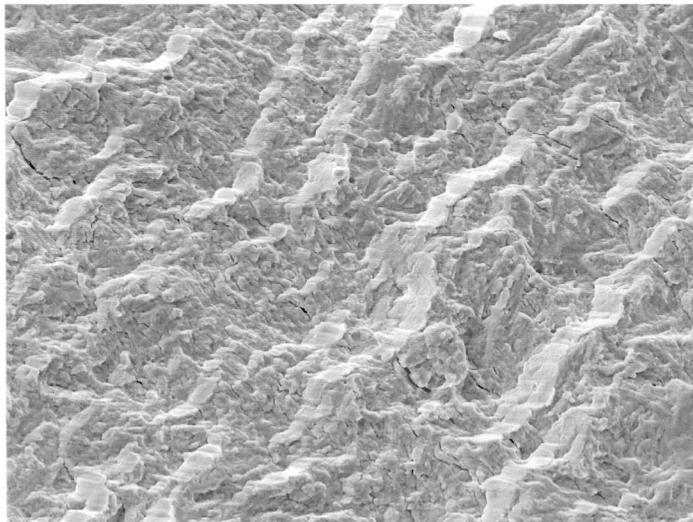
VEGA\\ TESCAN
Steuerkette

Bild 5: Parallele Bruchfläche

Bruchverlauf in Pfeilrichtung

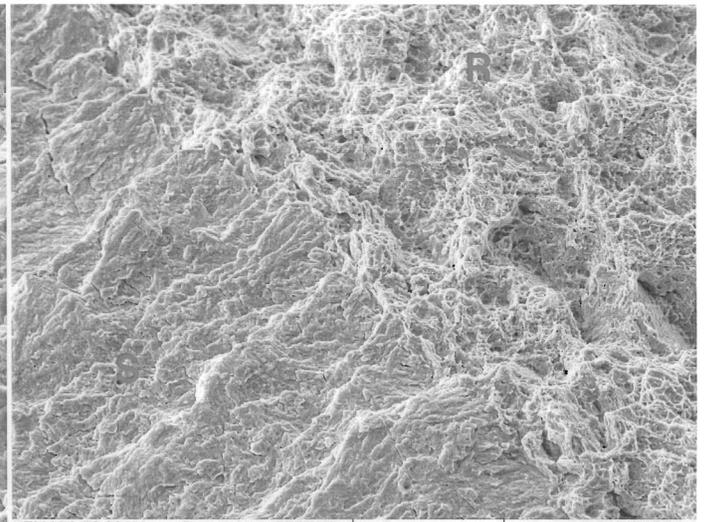
Bild 6: Bereich C bei höherer Vergrößerung

Transkristalline, verformungsarme Bruchfläche mit Schwingstreifen und parallelen Nebenrissen



SEM HV: 20.00 kV Date(m/d/y): 02/23/09
SEM MAG: 4.49 kx 20 µm
Det: SE Detector

VEGA\\ TESCAN
Steuerkette



SEM HV: 20.00 kV Date(m/d/y): 02/23/09
SEM MAG: 2.42 kx 50 µm
Det: SE Detector

VEGA\\ TESCAN
Steuerkette

Bild 7: Bereich D bei höherer Vergrößerung

Transkristalline, verformungsarme Bruchfläche mit Schwingstreifen und parallelen Nebenrissen

Bild 8: Bereich E bei höherer Vergrößerung

Übergang Schwingbruchfläche (S) / duktiler Restwärtbruch (R)

Dem Wasserstoff auf der Spur

Teil 1 - Einführung

Dr. Peter Sommer



Der Wasserstoff führt das Periodensystem der Elemente an, was bedeutet, daß es das kleinste Atom unserer Materie ist. 1766 wurde dieses chemische Grundelement von dem englischen Privatgelehrten Henry Cavendish entdeckt. In der freien Natur auf unserer Erde ist der Wasserstoff nur in sehr geringem Maße anzutreffen. Nur etwa $5 \cdot 10^{-5}$ Vol. % Wasserstoff, der üblicherweise in molekularer Form H_2 vorliegt, ist in der unteren Atmosphärenschicht anzutreffen. Erst in höheren Atmosphärenschichten nimmt die Wasserstoffkonzentration zu.

Ein einziges Proton und ein Elektron sind die Grundausstattung dieses chemischen Elements. Also ein sehr überschaubarer Aufbau. Aber gerade dies ist die Ursache dafür, daß die Begegnung mit Wasserstoff in Werkstoffen fast immer unangenehme Folgen hat. Wasserstoff kann in vielfältigster Form zu Schäden in Werkstoffen und Bauteilen führen.

Die Schädigungsformen:

- Flockenbildung
- Beizblasen
- Wasserstoffinduzierter Sprödbruch

sind die bekanntesten negativen Auswirkungen dieses Elements in Stählen.

In dieser Ausgabe starten wir eine Berichtsfolge über die Wechselwirkungen zwischen dem Wasserstoff und dem Werkstoff Stahl. Es werden dabei die unterschiedlichsten Gesichtspunkte und Maßnahmen vorgestellt und diskutiert. Wir wollen die Spur des Wasserstoffs von der Stahlerzeugung bis an den Einsatzort eines konkreten Bauteils verfolgen. Wie alle Fachberichte im Wärmebehandlungsmarkt richtet sich auch diese Berichtsfolge an den Anwender. Die teilweise recht komplizierten Grundzusammenhänge werden deshalb nur in dem Maße zitiert und erläutert, wie dies unbedingt notwendig ist.

Die Spur des Wasserstoffs wird zu einer Fülle von Einzelinformationen führen und der an diesem Thema interessierte Leser kann alle Berichtsfolgen aneinanderreihen und sie als Nachschlagewerk in seiner täglichen Praxis nutzen.

Wasserstoff hat hohe Beweglichkeit im Stahl

Aufgrund der sehr geringen Masse und Größe des Wasserstoffatoms liegt die Vermutung nahe, daß dieses Element eine sehr hohe Beweglichkeit im Kristallgitter des Eisens hat.

Following the trail of hydrogen

Part 1 - introduction

Dr Peter Sommer

Hydrogen heads the periodic system of elements, which means that it is the smallest atom in our matter. In 1766 this basic chemical element was discovered by the English private scholar Henry Cavendish. Hydrogen is found only in very small quantities in the open air on our planet. Just about $5 \cdot 10^{-5}$ vol. % hydrogen, usually in the molecular form H_2 , is found in the lower atmospheric layer. The concentration of hydrogen increases only in the higher atmospheric layers.

A single proton and one electron form the basis of this chemical element. That means it has a very clear construction, but that is the very reason why the presence of hydrogen in materials almost always has unpleasant consequences. Hydrogen can lead to the most diverse forms of damage in materials and components.

The forms of damage:

- flake formation
- pickling blistering
- hydrogen-induced embrittlement

are the best-known negative effects of this element in steel.

In this issue we are starting a series of reports on the interaction between the chemical element hydrogen and the material steel. The most diverse aspects and handlings are to be presented and discussed. We want to trace hydrogen from the production of steel to the place of use of a specific component. As all specialist reports in the heat treatment market, this series of reports is geared to the user. For that reason, the basic relationships, which are sometimes fairly complicated, will only be mentioned and explained to the degree to which it is absolutely essential.

Tracing hydrogen will lead to an abundance of individual items of information and the reader who is interested in this theme can put all these reports together into one handy reference for his daily work.

Hydrogen is highly mobile in steel

The very slight density and size of the hydrogen atom suggests the likelihood of this element being very mobile in the crystal iron lattice. Table 1 lists details on the diffusion coefficient as a measurement of mobility.

The absolute figures here are sometimes difficult to interpret as we do not encounter such orders of magnitude in our daily experience. The rate of diffusion of carbon can be

Element Element	Atomradius atomic radius [nm]	Diffusionskoeffizient im reinen α -Eisen bei 800°C [cm ² /s] γ -Eisen bei 1100°C [cm ² /s]	
		Diffusion coefficient in pure α -iron at 800°C [cm ² /s]	γ -iron at 1100°C [cm ² /s]
Wasserstoff Hydrogen	0,046	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Sauerstoff Oxygen	0,060	---	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Stickstoff Nitrogen	0,071	$7,3 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$
Kohlenstoff Carbon	0,077	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$
Bor Boron	0,097	---	$6,1 \cdot 10^{-7}$
Eisen (krz) Iron (bcc)	0,128	$3,0 \cdot 10^{-12}$	---
Eisen (kfz) Iron (fcc)	0,126	---	$9,0 \cdot 10^{-12}$

Diffusionskoeffizient von Wasserstoff in unlegierten Stählen bei 25°C $\approx 10^{-6}$
 Diffusion coefficient of hydrogen in plain carbon steels at 25°C $\approx 10^{-6}$

Diffusionskoeffizient von Wasserstoff in legierten Stählen bei 25°C $\approx 10^{-7}$
 Diffusion coefficient of hydrogen in alloyed steels at 25°C $\approx 10^{-7}$

Diffusionskoeffizient von Wasserstoff in austenitischen Stählen bei 25°C $\approx 10^{-12}$
 Diffusion coefficient of hydrogen in austenitic steels at 25°C $\approx 10^{-12}$

In der Tabelle 1 sind als Maß für die Beweglichkeit Angaben über den Diffusionskoeffizienten aufgeführt.

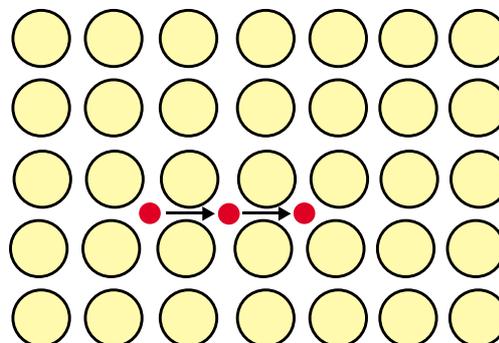
Die absoluten Zahlen sind dabei mitunter schwer zu interpretieren, da derartige Größenordnungen nicht im täglichen Erfahrungsbereich liegen. Die Diffusionsgeschwindigkeit des Kohlenstoffs kann aber von allen Wärmebehandlungsfachleuten recht gut eingeschätzt werden. Es ist bekannt, daß relativ hohe Temperaturen erforderlich sind, damit der Kohlenstoff im Eisengitter diffundieren kann. Demnach ist aus den Zahlen abzuleiten, daß der Wasserstoff in etwa die gleiche Diffusionsgeschwindigkeit im krz-Eisengitter bei Raumtemperatur hat, wie der Kohlenstoff bei einer Temperatur von 1100°C. Aus diesem Vergleich läßt sich ableiten, daß der atomare Wasserstoff in der Tat eine sehr große Beweglichkeit im Eisengitter hat.

Der für die Wasserstoffdiffusion bedeutsame Platzwechselmechanismus im Eisengitter ist in Bild 1 dargestellt. Der Wasserstoff kann aufgrund seiner kleinen Ausdehnung in starkem Maße über den Zwischengitterdiffusionsmechanismus diffundieren. Es ist einleuchtend, daß dieser Diffusionsvorgang bei kleinen Atomradien einfacher und damit schneller abläuft als bei großen Atomradien.

Wird atomarer Wasserstoff an einer sperrschichtfreien Bauteiloberfläche angeboten, kommt es daher auch bei Raumtemperatur zu einer intensiven Aufnahme. Für die noch zu beschreibenden Fertigungsstufen sind daher weitaus mehr Einflußfaktoren von Bedeutung als bei anderen erwünschten und unerwünschten Begleitelementen des Stahls.

assessed quite well by all heat treatment experts. It is known that relatively high temperatures are necessary for the carbon to diffuse in the iron lattice. It can therefore be derived from the figures that the hydrogen has about the same rate of diffusion in the bcc-iron lattice at room temperature as carbon at a temperature of 1100 °C. This comparison enables us to derive that atomic hydrogen is indeed very mobile in the iron lattice.

The important diffusion mechanism for hydrogen diffusion in the iron lattice is shown in fig. 1. On account of its slight expansion, hydrogen can diffuse to a high degree with the aid of the interstitial diffusion mechanism. It is obvious that this diffusion process is simpler and therefore quicker when the atomic radii are small than when they are large.



Tab. 1: Diffusionskoeffizienten einiger Elemente in Eisen bzw. Stahl (Eckstein)

Tab. 1: Diffusion coefficients of some elements in iron or steel (Eckstein)

Bild. 1: Diffusion des Wasserstoffes über den Zwischengittermechanismus im Eisengitter

Fig. 1: Diffusion of hydrogen by means of the interstitial mechanism in the iron lattice

If atomic hydrogen is presented at a component surface which is free of barrier layers, intensive sorption occurs even at room temperature. This means that much more influencing factors are of significance for the production stages yet to be described than is the case with other desirable and undesirable companion elements in steel.

Dem Wasserstoff auf der Spur

Teil 2 - Wasserstoffaufnahme von Stählen aus Gasen und Flüssigkeiten

Dr.-Ing. Simone Schwarz



Wasserstoff kann bei verschiedenen Herstellungs- bzw. Produktionsprozessen in den Stahl eindringen, so z. B. beim Schmelzen, beim Beizen, beim Glühen und ebenso im Bauteileinsatz durch Korrosion. Einmal in den Werkstoff eingedrungen, besitzt der Wasserstoff eine hohe Beweglichkeit (WB-Markt 3/99) und kann zu einer dramatischen Veränderung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere der Zähigkeit, führen. Neben der Diffusion des atomaren Wasserstoffs über Zwischengitterplätze im Metallgitter ist ein wichtiger Gesichtspunkt, dass sich atomarer Wasserstoff stets in Zugspannungsbereichen des Metalls anreichert.

Die Wasserstoffaufnahme aus der Gasphase verläuft über die Dissoziation des molekularen Wasserstoffs. Dieser molekulare Wasserstoff wird an der Metalloberfläche adsorbiert und kann entsprechend der Oberflächenaktivität des Metalls durch Absorption des atomaren Wasserstoffs in das Metallgitter gelangen.

Die Wasserstoffaufnahme aus Flüssigkeiten erfolgt über mehrere Teilschritte:

1. Zunächst bewegen sich die in der umgebenden Lösung oder Flüssigkeit vorhandenen H^+ - Ionen zur Metalloberfläche. Dies wird als vorgelagerte Transportreaktion bezeichnet.

2. An der Metalloberfläche werden die am nächsten angelagerten Wasserstoffionen durch die sich im Metallgitter frei bewegenden Metallelektronen zu adsorbiertem atomarem Wasserstoff. Diese Entladung wird als Durchtritts- oder Volmer- Reaktion bezeichnet. Entscheidend bei dieser Reaktion ist der Übertritt elektrischer Ladungen durch die Phasengrenze Metall/Lösung.

3. Anschließend diffundiert ein Teil des so aufgenommenen Wasserstoffs in das Metallgitter, analog der Wasserstoffaufnahme aus der Gasphase.

4. Parallel dazu kann die Tafel- Reaktion erfolgen, die eine Rekombination des adsorbierten atomaren Wasserstoffs zu molekularem Wasserstoff beschreibt.

Wasserstoffinduzierte Werkstofftrennungen - Wasserstoffversprödung

In den letzten Jahren haben sich im Verständnis der Wirkung des Wasserstoffs vier verschiedenen Mechanismen der wasserstoffinduzierten Werkstofftrennungen durchgesetzt. Diese sind :

Following the trail of hydrogen

Teil 2 - Hydrogen absorption of steel through gases and liquids

Dr.-Ing. Simone Schwarz

During various manufacturing and production processes steel hydrogen can penetrate steel, e. g. during melting, etching, annealing likewise through corrosion when using steel. Once the material is penetrated, hydrogen is highly mobile (WB-Markt 3/99) which can lead to dramatic changes of the mechanical properties, in particular to toughness. Apart from the diffusion of nuclear hydrogen via intermediate lattice sites in the metal lattice it is important to consider that nuclear hydrogen builds up in those areas of the metal which are subject to tensile stress.

The hydrogen absorption during the gas phase is based on the dissociation of the molecular hydrogen. The molecular hydrogen is adsorbed on the metal surface and, corresponding to the surface activity, can enter the metal lattice through the absorption of nuclear hydrogen.

The adsorption of hydrogen from liquids is effected via several individual steps:

1. The H -ions in the surrounding solution or liquid move to the metal surface. This is referred to as premature transport reaction.

2. On the metal surface the closely deposited hydrogen ions are turned into adsorbed nuclear hydrogen by means of the metal electrons moving freely in the metal lattice. This discharge is referred to as transfer or Volmer reaction. The transfer of electric charge through the phase boundary metal / solution represents a decisive factor with this reaction.

3. Subsequently, a part of the absorbed hydrogen diffuses into the metal lattice, analogue to the absorption of hydrogen from the gas phase.

Simultaneously, the table reaction can take place which describes a recombination of the adsorbed nuclear hydrogen to the molecular hydrogen.

Hydrogen-induced material separations – hydrogen embrittlement

As for the comprehension of the effect of hydrogen, four different mechanisms of the hydrogen-induced material separations have gained acceptance during the last few years. These include:

- the voids model (formerly known as pressure theory);

- das Hohlraummodell (früher Drucktheorie),
- das Dekohäsionsmodell,
- die wasserstoffinduzierte Phasenumwandlung und
- der Help (hydrogen enhanced local plasticity) –Mechanismus.

Aufgrund deren außerordentlicher Bedeutung für das entstehende Schadensbild sollen die Mechanismen 1, 2 und 4 näher erläutert werden.

Wasserstoffinduzierte Hohlraumbildung (Drucktheorie)

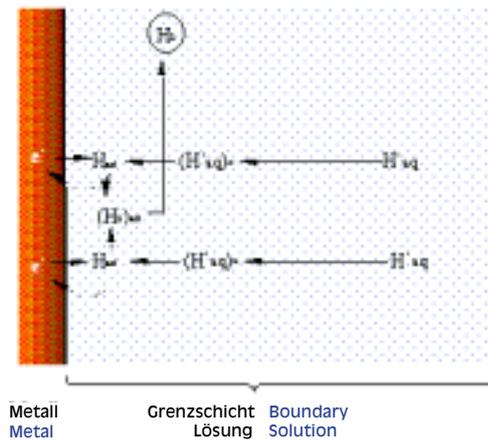
Das Hohlraummodell ist ein Modell zur Vorstellung der Eigenschaftsänderung durch Wasserstoff. Nach diesem Modell ist davon auszugehen, dass der atomare Wasserstoff im Stahl in den bereits vorhandenen Hohlräumen wie Poren, Lunker und Leerstellenanhäufungen ansammelt. Durch die Annäherung zweier Wasserstoffatome kommt es zur Molekülbildung und somit Aufbau eines inneren Gasdruckes. Dieser kann außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichtszustandes beträchtlich über dem Umgebungsdruck liegen. Dies wird um so deutlicher, wenn man sich vergegenwärtigt, dass das Molekülvolumen im Idealfall ca. das 26fache des atomaren Gasvolumens beträgt. Dieser hohe innere Wasserstoffdruck überlagert sich mit den im Werkstoff vorhandenen Eigenspannungen und den von außen aufgetragenen Spannungen. Diese Spannungsüberlagerung kann bei bereits geringen äußeren Belastungen zu einer vorzeitigen Rißentstehung bzw. zu einem Rißwachstum führen.

Das aus dieser Modellvorstellung resultierende Schadensbild wird häufig als Flockenbildung oder sogenannte Fischaugen bezeichnet. Es werden beispielsweise auf einer Bruchfläche metallisch glänzende kreisartige Bereiche in einer ansonsten relativ matten Oberfläche beobachtet. Diese Bereiche sind Sprödbuchbereiche (Quasispaltbrüche), die durch einen erhöhten Wasserstoffinnendruck initiiert wurden, Bild 2.



Bild 1: Wasserstoffaufnahme aus Flüssigkeiten (schematisch)

Figure 1: Absorption of hydrogen from liquids (schematically)



- the decohesion model;
- the hydrogen-induced phase transformation and
- the help (hydrogen enhanced local plasticity) mechanism.

Owing to the extraordinary meaning for the damage analysis the mechanisms 1, 2, and 4 shall be explained in detail.

Hydrogen-induced voids formation (pressure theory)

The voids model is a model to show the change of properties by means of hydrogen. According to this model, it is assumed that the nuclear hydrogen contained in the steel accumulates in the existing microvoids such as pores, shrink holes, and vacancy accumulations. Owing to the approach of two hydrogen atoms, molecules form and internal pressure builds. Outside the thermo-dynamic balance condition, this pressure can considerably exceed the ambient pressure. This becomes extremely clear when you imagine that the molecular volume is ideally approx. 26 times the nuclear gas volume. This high internal hydrogen pressure overlaps with the individual tensions in the material and the tensions applied from the outside. This superposition of tensions can lead to a premature formation of cracks and / or growth of cracks even under the influence of low external loads.

Bild 2: Blabruchprobe von Stahl 42MnV7 mit Flocken (aus: Schumann, Metallographie, 1990)

Figure 2: Blue fracture specimen of steel 42MnV7 with flakes (from: Schumann, Metallographie, 1990)

Dekohäsionsmodell

Das Dekohäsionsmodell ist eines der ältesten Modelle zur Vorstellung der Eigenschaftsänderung durch atomaren Wasserstoff. Es wurde erstmalig 1941 durch Zapffe und Sims beschrieben, Bild 3.

Es beruht auf der erhöhten Löslichkeit des Wasserstoffs in einem Zugspannungsfeld, zum Beispiel an einer Rißspitze oder im Zugeigenspannungsgebieten oder im Spannungsfeld einer Stufenversetzung. Durch die erhöhte Löslichkeit des Wasserstoffs in diesen Spannungsfeldern kommt es zur Herabsetzung der atomaren Bindungskräfte des Metallgitters. Unter Belastung kommt es durch die Herabsetzung der Bindungskräfte zu einem vorzeitigen spröden Werkstoffversagen entlang von Korngrenzen (interkristalliner Spaltbruch) oder Netzebenen (transkristalliner Spaltbruch).

Die Art des auftretenden Spaltbruches hängt bei unlegierten und niedriglegierten Stählen nach Haumann von deren Zugfestigkeiten ab. So werden transkristalline Spannungsrisse durch Wasserstoff bei Zugfestigkeiten $< 900 \text{ N/mm}^2$ ($\approx 280 \text{ HV}$) beobachtet und interkristalline Spannungsrisse bei Zugfestigkeiten $> 900 \text{ N/mm}^2$ beobachtet, Bild 4.

Andere Autoren nennen Grenzwerte der Zugfestigkeit bei 390 HV ($R_m > 1250 \text{ N/mm}^2$) für den interkristallinen Spaltbruch niedriglegierter Stähle.

Fortsetzung des Berichts in der nächsten Ausgabe Januar 2000.

The damage analysis resulting from this model representation is frequently referred to as flake formation or fisheyes. For instance, metallic glittering, round areas with an otherwise relatively matt surface are observed on a crack surface. These areas are referred to as brittle fracture areas (quasi cleavage) which were initiated by means of increased hydrogen internal pressure.

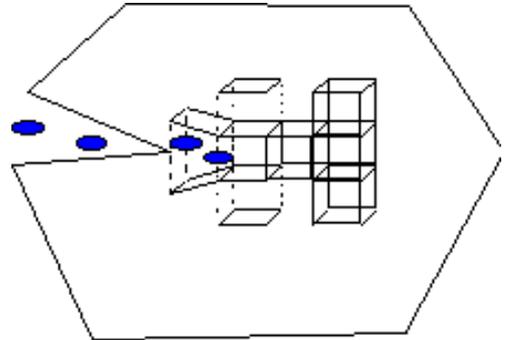


Bild 3: schematisches Dekohäsionsmodell **Figure 3: schematic decohesion model**

Decohesion Model

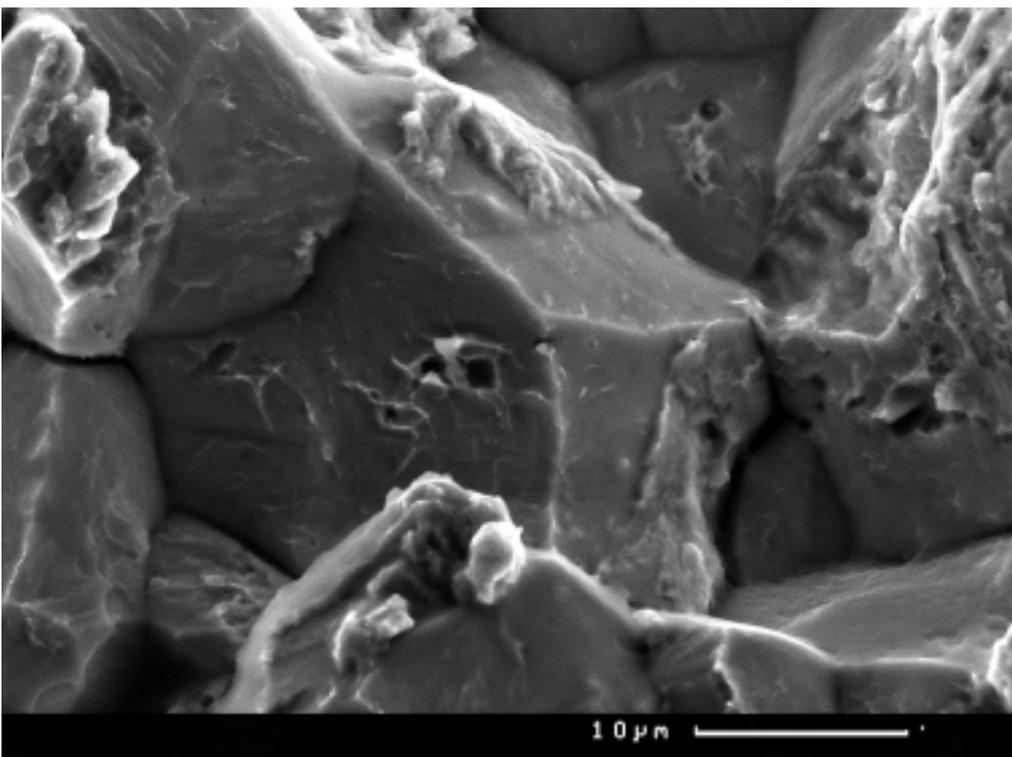
The decohesion model is one of the oldest models used to represent the change of properties as a result of atomic hydrogen. It was described first in 1941 by Zapffe and Sims. It is based on the increased solubility of hydrogen in a tensile strength field, for instance on the tip of a crack or in areas with internal tensile strength or in the tension field of edge dislocations. The increased solubility of hydrogen in this tension field results in a decrease in the atomic binding forces of the metal lattice. The influence of stress results in a premature brittle-material fracture along the grain boundaries (intergranular cleavage) or network levels (transgranular cleavage) owing to the decrease of the binding forces.

According to Haumann the type of the cleavage of non-alloyed and low-alloyed steels depends on their tensile strength. Transgranular stress-induced cracks caused by hydrogen with tensile strengths of $< 900 \text{ N/mm}^2$ ($\approx 280 \text{ HV}$) and intergranular stress-induced cracks with tensile strengths of $> 900 \text{ N/mm}^2$ were observed. Other authors name the limiting value of the tensile strengths with 390 HV ($R_m > 1250 \text{ N/mm}^2$) for the intergranular cleavage of low-alloyed steels.

The report will be continued in the next issue January 2000.

Bild 4: Interkristalline Bruchfläche eines wasserstoffinduzierten Sprödbruchs

Figure 4: Intergranular fracture surface of a hydrogen-induced brittle fracture



2.3.5 Ergebnisse des Vermessens der Sachs- und Iwis-Kette

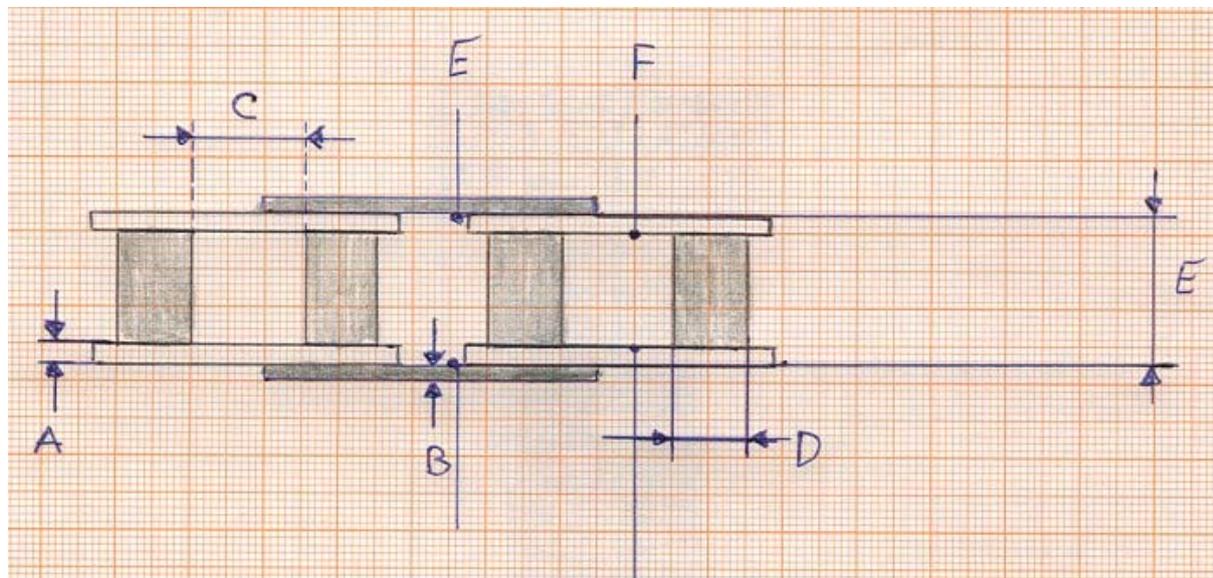


Bild: Anlage 2.3.5_1 – Lage der Messpunkte an der Kette

Position	Neue Kette (IWIS)		Alte Kette (Sachs)		Sollwert
	Min	Max	Min	Max	
A	1,45	1,5	1,48	1,53	1,3
B	1,17	1,118	1,15	1,18	1,2
C	3,27	3,28	3,26	3,33	unbekannt
D	6,29	6,33	6,26	6,29	6,35
E	9,78	9,82	9,77	9,96	unbekannt
F	5,72	5,74	5,8	5,91	5,72

Ergebnis der Spektralanalyse der Einzelteile:

Lasche: Ck45

Niet: 39CrMoV139

Hülse: Ck15

Rolle: 50CrV4

2.4_1 Radiografische Untersuchung der Kettenspanner



Bild: Anlage 2.4.1_1 – unterer Kettenspanner

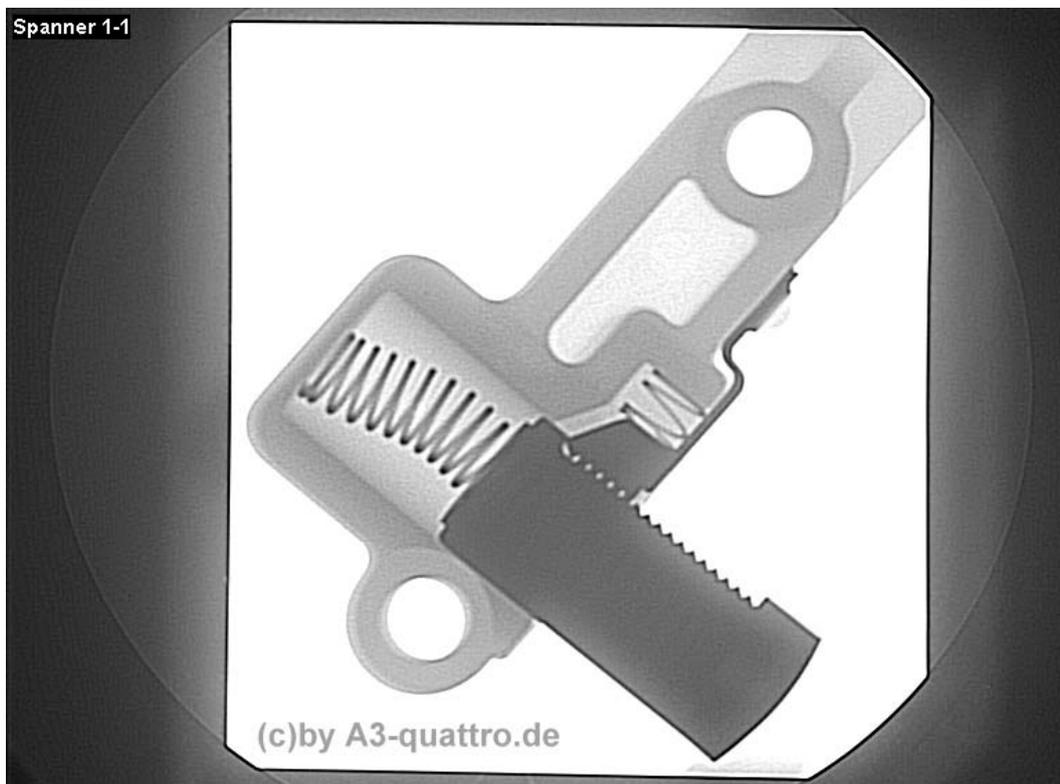


Bild: Anlage 2.4.1_2 – unterer Kettenspanner

Spanner 1-2

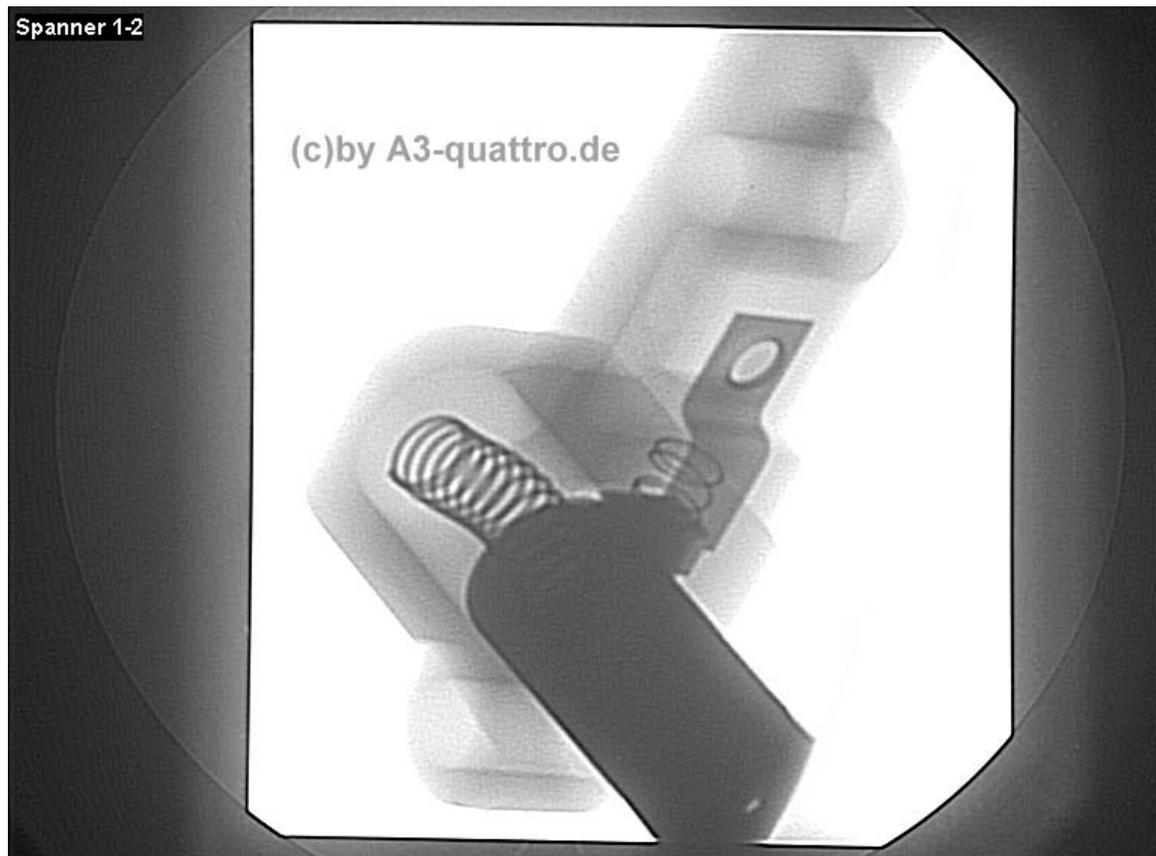


Bild: Anlage 2.4.1_3 – unterer Kettenspanner

Spanner 1-3

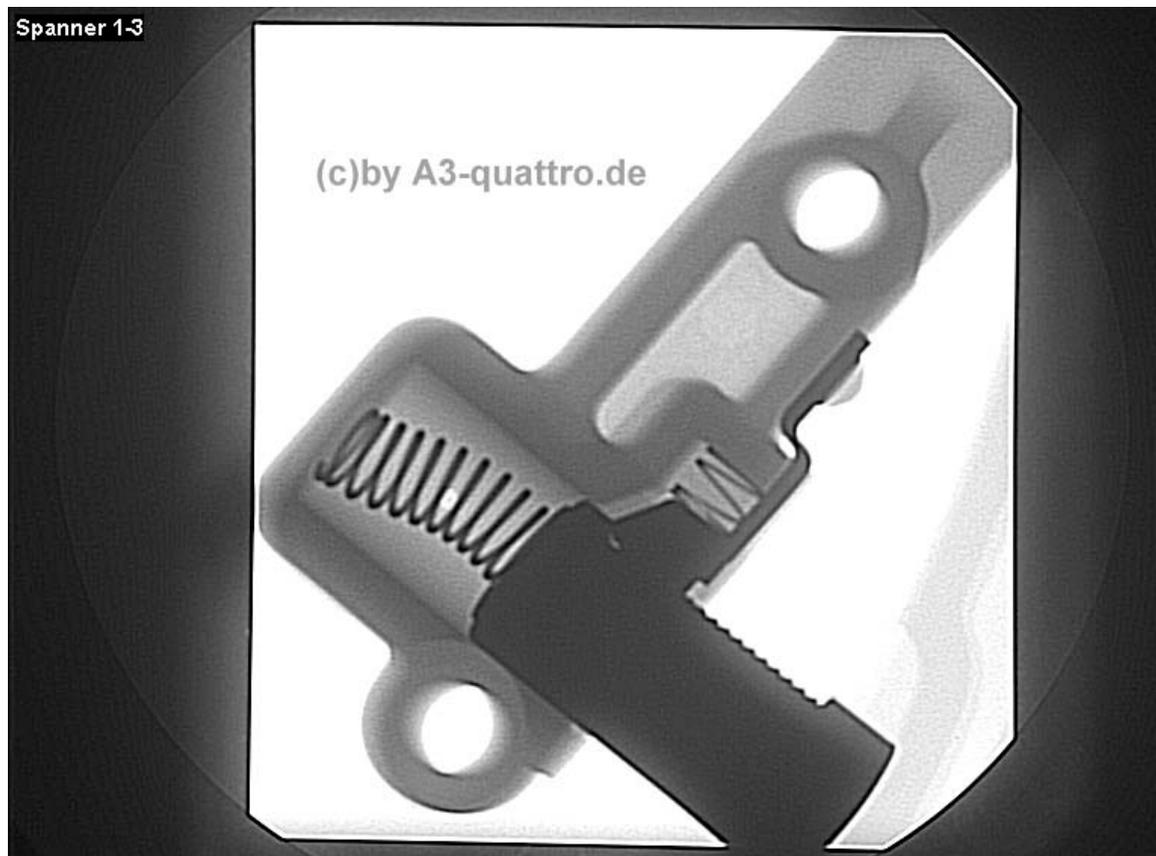


Bild: Anlage 2.4.1_4 – unterer Kettenspanner



Bild: Anlage 2.4.1_5 – oberer Kettenspanner

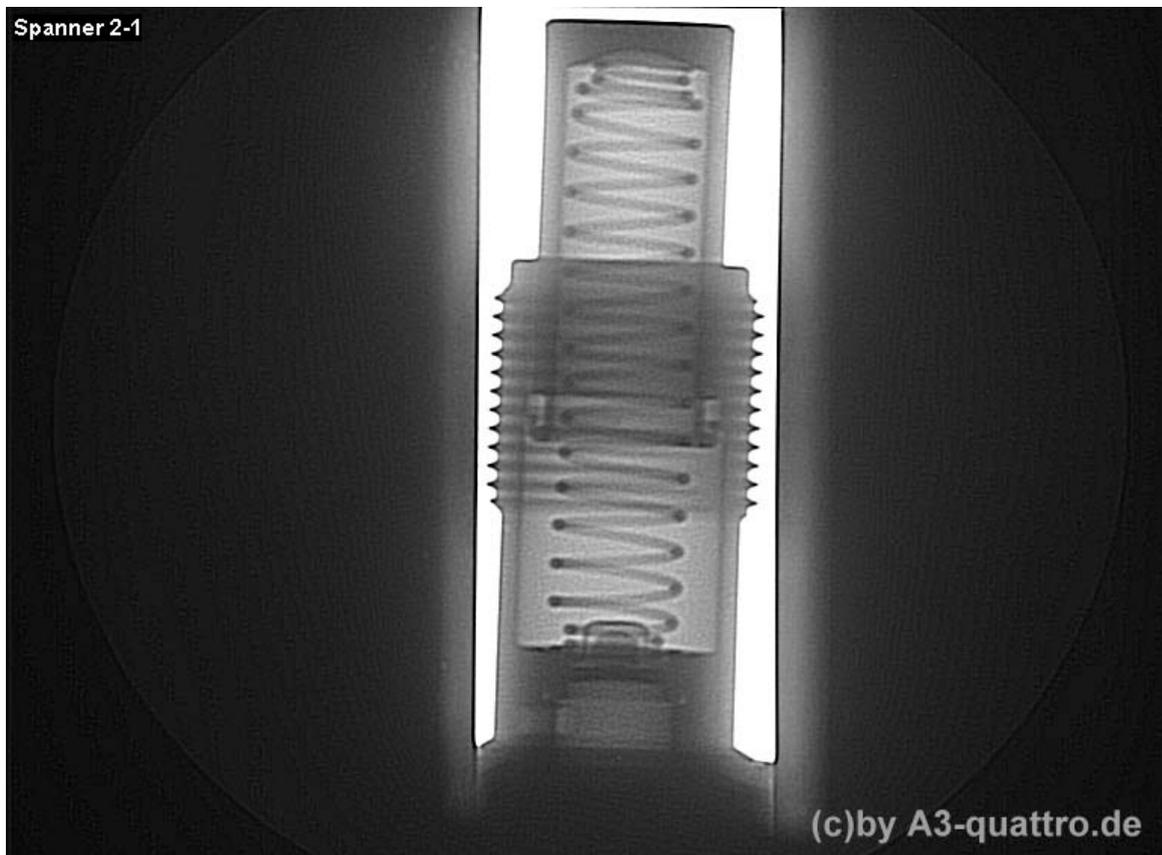


Bild: Anlage 2.4.1_6 – oberer Kettenspanner

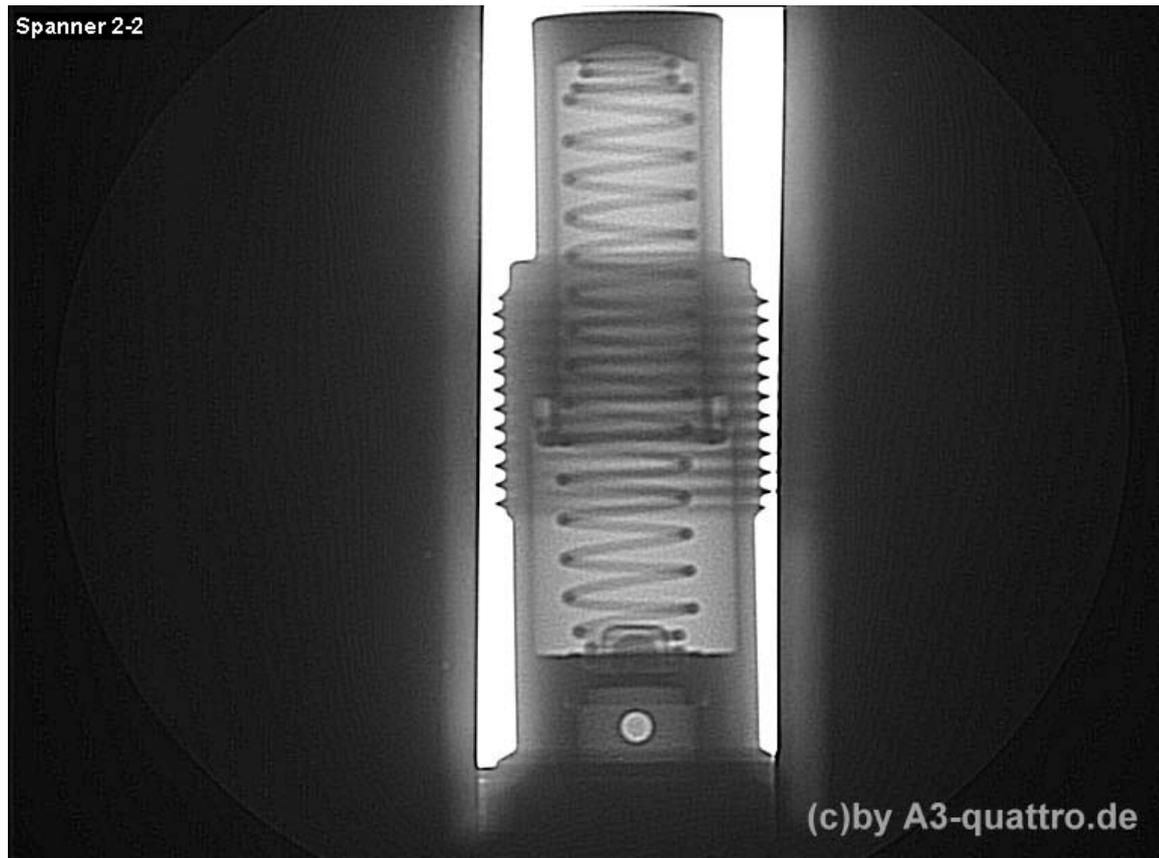


Bild: Anlage 2.4.1_7 – oberer Kettenspanner

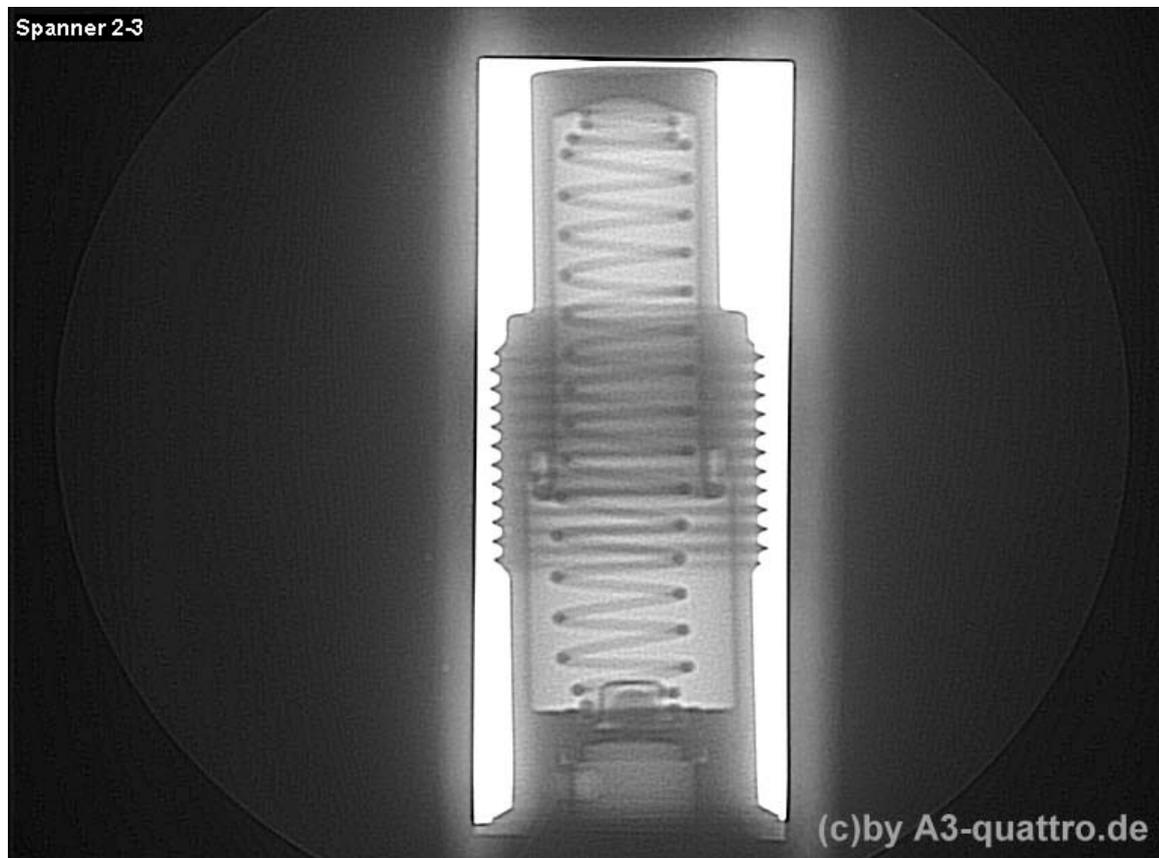


Bild: Anlage 2.4.1_8 – oberer Kettenspanner

2.5_1 Bilder der Laufschiene des VR6 3,2 Kettentriebs Bilder einiger Laufschiene des VR6



Bild: Anlage 2.5.1_1 – oberer Kettentrieb mit Laufschiene



Bild: Anlage 2.5.1_2 – oberer Kettentrieb / Laufschiene im Detail



Bild: Anlage 2.5.1_3 – Laufschiene



Bild: Anlage 2.5.1_4 – Laufschiene

2.6_1 Radiografische Aufnahmen der Nockenwellenversteller



Bild: Anlage 2.6.1_1 – Nockenwellenversteller



Bild: Anlage 2.6.1_2 – Nockenwellenversteller



Bild: Anlage 2.6.1_3 – Nockenwellenversteller



Bild: Anlage 2.6.1_4 – Nockenwellenversteller

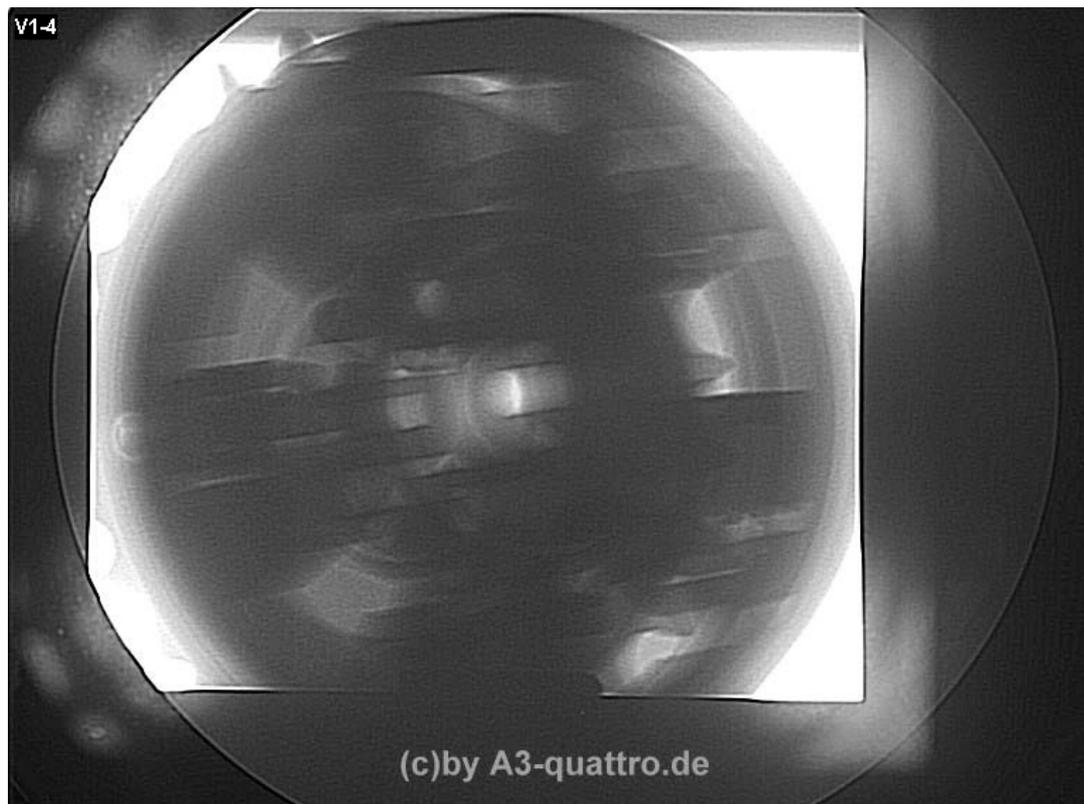


Bild: Anlage 2.6.1_5 – Nockenwellenversteller

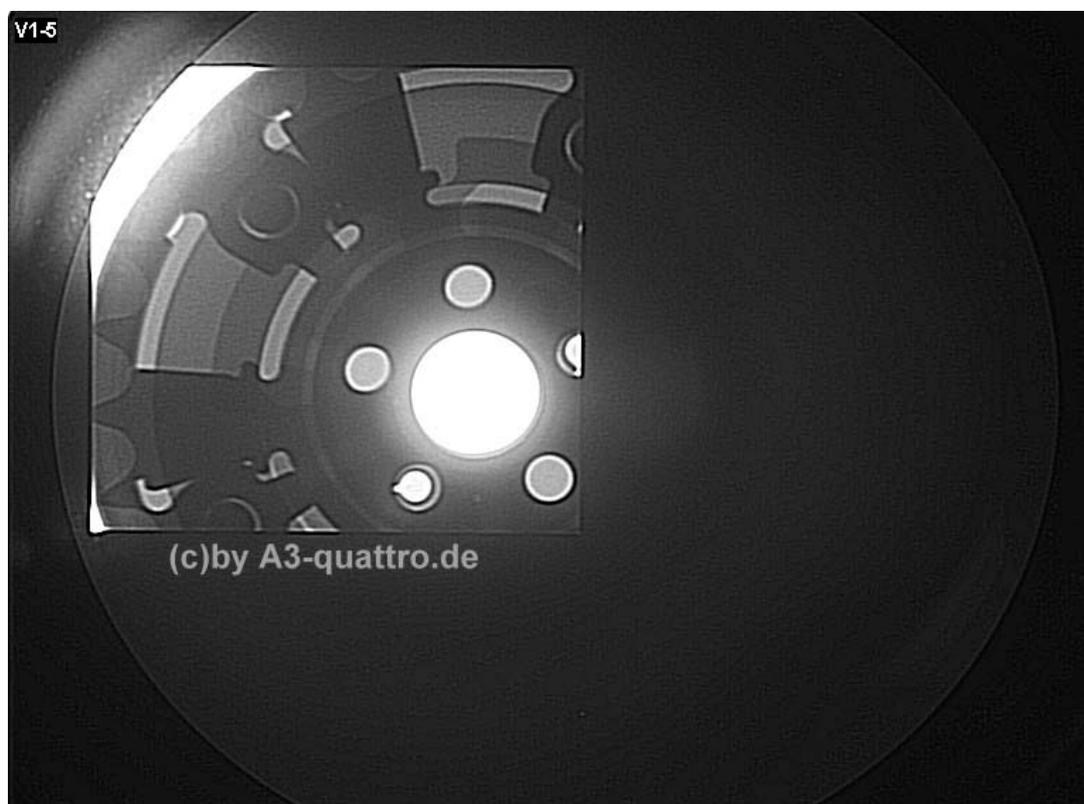


Bild: Anlage 2.6.1_6 – Nockenwellenversteller

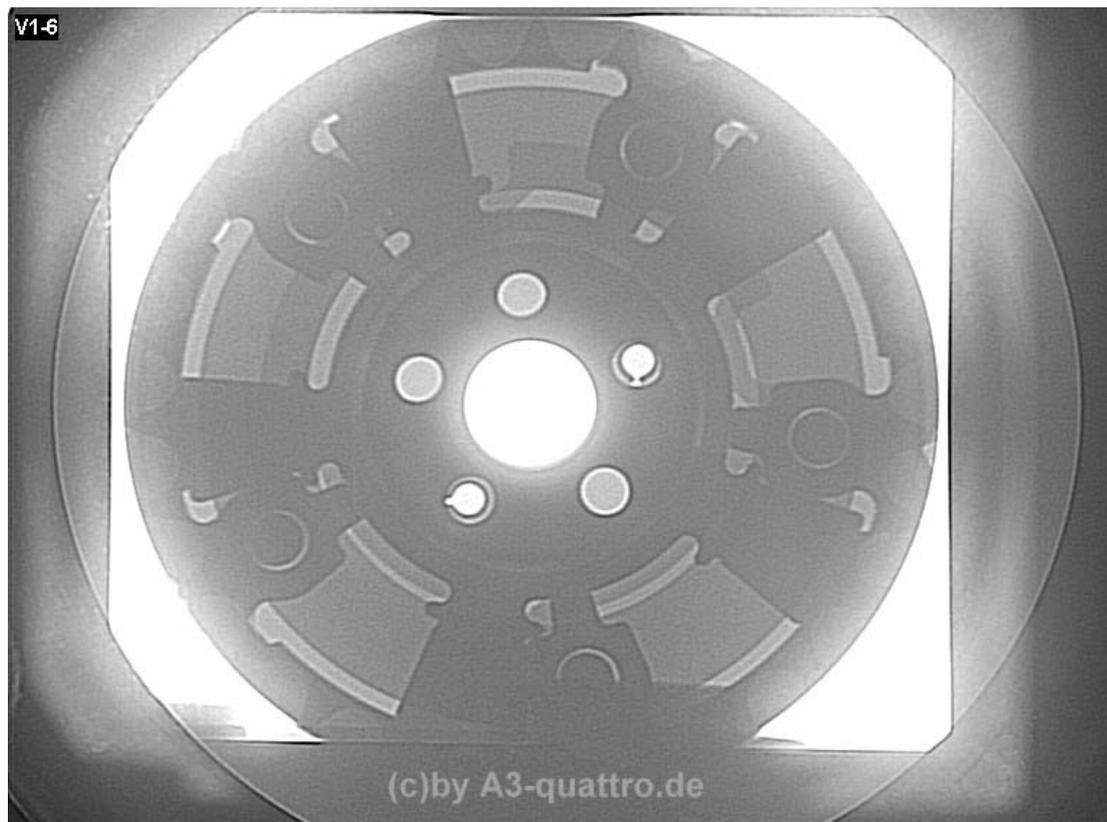


Bild: Anlage 2.6.1_7 – Nockenwellenversteller

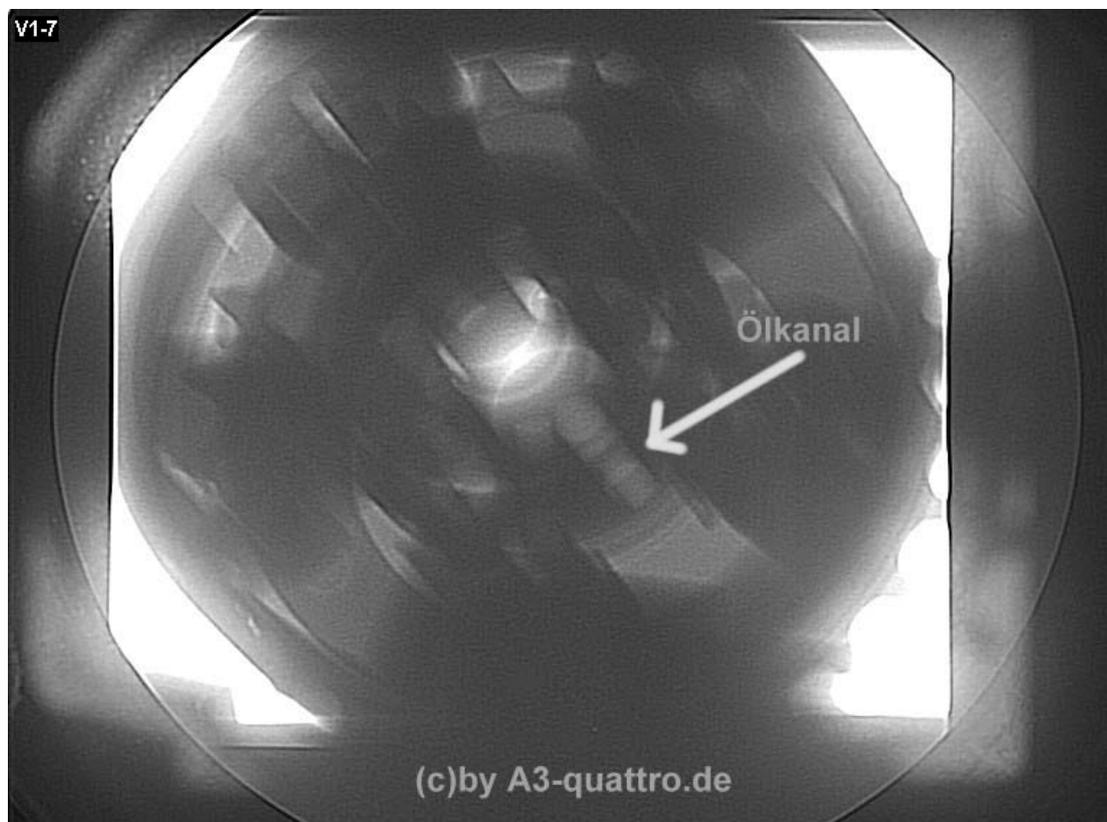


Bild: Anlage 2.6.1_8 – Nockenwellenversteller



Technische Daten Audi A3 3.2 quattro (184 kW)

Angebot in Deutschland - Stand: März 2004

Modell	Audi A3 3.2 quattro	
Motor / Elektrik		
Motorbauart	Sechszylinder-Ottomotor, DOHC	
Ventilsteuerung / Anzahl Ventile pro Zylinder	Rollenschlepphebel / 4	
Hubraum in ccm / Bohrung x Hub in mm / Verdichtung	3189 / 84,0 x 95,9 / 11,3	
max. Leistung in kW (PS) / bei 1/min	184 (250) / 6300	
max. Drehmoment in Nm / bei 1/min	320 / 2.500 - 3.000	
Motormanagement	Motronic ME 7.1.1: vollelektronische sequentielle Einspritzung, Schubabschaltung, adaptive Lambdaregelung; Kennfeldzündung mit ruhender Hochspannungsverteilung; zylinderselektive adaptive Klopfregelung; Luftmassenmessung, koordinierte Motormomentsteuerung; Nockenwellenverstellung ein- und auslassseitig; Sekundärluftfeinblasung	
Abgasreinigungssystem	4 Lambdasonden (2 beheizt), Aktivkohlefilter, 3-Wege-Katalysator	
Emissionsklasse	EU 4	
Generator in A / Batterie in A/Ah	140 / 380/80	
Antrieb / Kraftübertragung		
Antriebsart	permanenter Allradantrieb quattro mit elektronisch geregelter Lamellenkupplung, elektronische Differenzialsperre EDS	
Kupplung	hydr. betätigte Einscheiben-Trockenkupplung mit asbestfreien Belägen	zwei elektrohydraulisch betätigte Lamellenkupplungen im Ölbad
Getriebebauart	6-Gang-Schaltgetriebe, vollsynchronisiert	6-Gang-Direktschaltgetriebe DSG mit elektrohydraulischer Betätigung
Getriebeübersetzung im 1. Gang / 2. Gang	3,357 / 2,087	2,933 / 1,792
Getriebeübersetzung im 3. Gang / 4. Gang	1,469 / 1,088	1,267 / 0,975
Getriebeübersetzung im 5. Gang / 6. Gang	1,108 / 0,912	1,030 / 0,825
Getriebeübersetzung im R. Gang	3,990	3,35
Achsübersetzung 1.- 4. -Gang / 5.- 6.-Gang	4,235 / 3,273	4,8 / 3,6
Fahrwerk / Lenkung / Bremse		
Bauart Vorderachse	McPherson-Federbeinachse mit unteren Dreiecksquerlenkern, Aluminium-Hilfsrahmen, Rohrstabilisator, Lenkrollradius spurstabilisierend	
Bauart Hinterachse	Vierlenker-Hinterachse mit getrennter Feder-Dämpfer-Anordnung, Aluminium-Hilfsrahmen, Rohrstabilisator	
Bauart Lenkung / Lenkübersetzung / Wendekreis in m (D102)	Elektromechanische Lenkung mit geschwindigkeitsabhängiger Servounterstützung, / 16,2 / ca. 10,7	
Bauart Bremssystem vorn/hinten	Zweikreisbremsanlage mit diagonaler Aufteilung. ESP mit elektronischer Bremskraftverteilung EBV, ABS; hydraulischer Bremsassistent; Bremskraftverstärker mit Dual-Rate Funktion, elektronische Differenzialsperre EDS, vorn und hinten: innenbelüftete Scheiben;	
Räder / Reifen	7,5 J x 17 Aluminium-Gussräder im 5-Arm-Design / 225/45 R 17	
Fahrleistung / Verbrauch / Akustik		
Höchstgeschwindigkeit in km/h	250 (abgeregelt)	
Beschleunigung 0-100 km/h in s	6,5	6,4
Kraftstoffart	Super Plus bleifrei, 98 (ersatzweise bleifrei Super, 95 ROZ, mit geringer Leistungsminderung)	
Verbrauch städtisch/außerstädtisch/insgesamt, l/100km	14,8 / 8,2 / 10,6	13,8 / 7,5 / 9,8
CO ₂ -Massenmission, g/km	254	235
Außengeräuschpegel im Stand/Vorbeifahrt in dB (A)	82 / 74	79 / 72
Wartung / Gewährleistung Deutschland		
Ölwechsel nach km / Inspektion nach km	nach Serviceanzeige bis 30.000 (maximal 2 Jahre) ¹⁾	
Gewährleistung Fahrzeug/Lack/Karosseriedurchrostung	2 Jahre ohne km-Begrenzung / 3 Jahre / 12Jahre	
Versicherungseinstufung: VK / TK / KH	23 / 23 / 17	
Gewichte / Belastbarkeit		
Leergewicht (ohne Fahrer) in kg / Zul. Gesamtgewicht in kg	1495 / 2055	1525 / 2085
Zul. Achslast vorn/hinten in kg	1120 / 1095	1150 / 1090
Zul. Anhängelast ungebremst, kg	750	
Zul. Anhängelast bei 8% / 12% Steigung gebremst, kg	1800 / 1600	
Zul. Dachlast in kg / Zul. Stützlast in kg	75 / 75	
Füllmengen		
Kühlsysteminhalt (inkl. Heizung) in l	12,3	
Motorölinhalt (inkl. Filter) in l	5,5	
Tankinhalt in l, ca.	60	
Karosserie / Abmessungen		
Art der Karosserie	Selbsttragend, Stahl	
Anzahl der Türen / Sitzplätze	3 Türen mit zusätzlichem Flankenschutz / 5 Sitzplätze	
Luftwiderstandsbeiwert cw / Stirnfläche A in qm	0,32 / 2,13	
Länge (L103) / Breite o. Spiegel (W103) / Höhe (H100), mm	4203 / 1765 / 1421	
Radstand (L101) / Spurweite vorn/hinten (W101/W102) in mm	2578 / 1536 / 1517	
Höhe Ladekante in mm (H195)	655	
Gepäckraumvolumen nach VDA-Quader in l (V211)	281 / 1031	

¹⁾ abhängig von Fahrweise und Einsatzbedingungen

OETTINGER Performance GmbH
D-61381 Friedrichsdorf
Tel. 06172 / 953310

Leistungsmessung

DATEI: 02050954.tmp

Maxima (korr.): 189 KW (256 PS) / 6788 U/min und 345 Nm / 3064 U/min

)***_Kommentar_End



O E T T I N G E R Technik GmbH
D-61381 Friedrichsdorf
Tel. 06172 / 953310

Leistungsmessung

DATEI: 28121020.lmp

Maxima (korr.): 183 KW (249 PS) / 5589 U/min und 350 Nm / 2788 U/min

LU SX 25 A3 3,2 ltr 6.Gag chr _Kommentar_Ende



FLA - 206

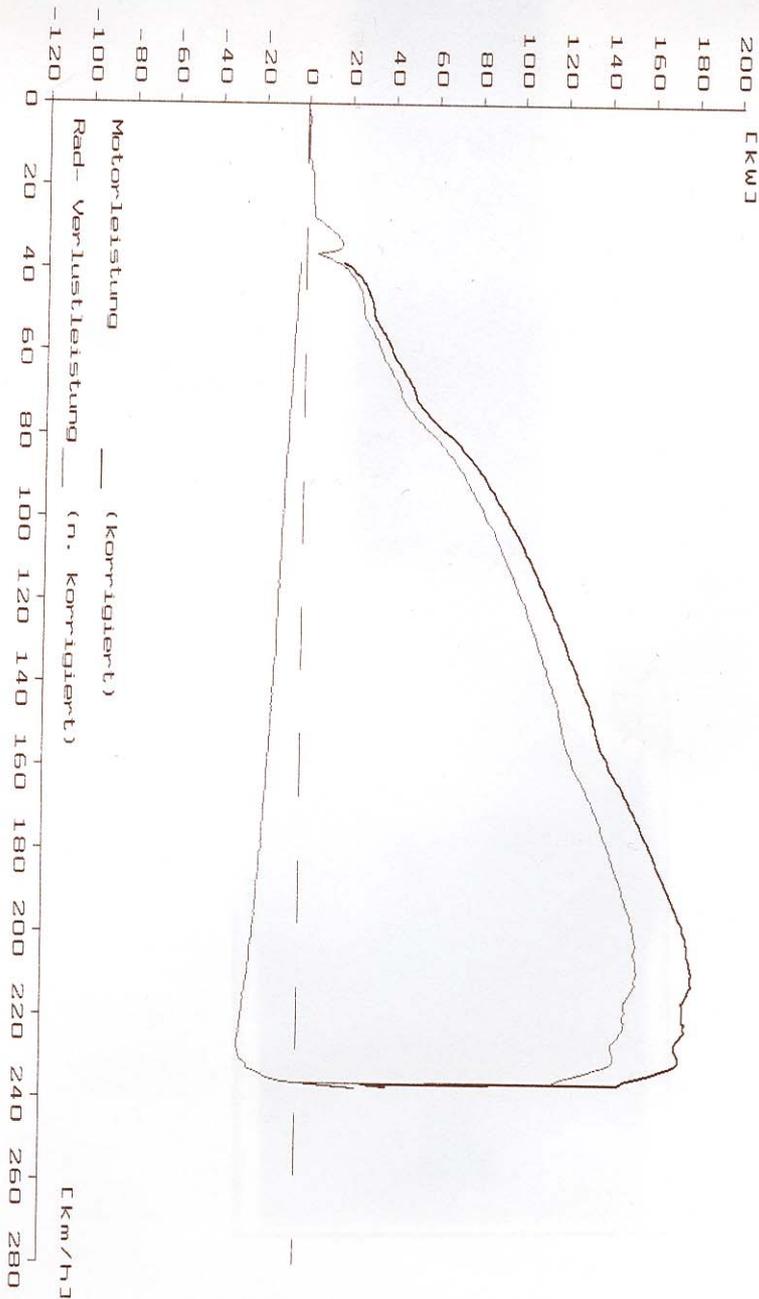
Software Version 4.3 G

3.01.1980

oettinger Technik GmbH
Marx-Planck-Strasse 36
61381 Friedrichsdorf

Motorleistung

P _{nenn} = 184 kW	n _{nenn} = 5500 1/min	v _{max} = 250 km/h
P _{max} = 182.9 kW	bei v = 208.5 km/h	n = *** 1/min
P _{tol} = -0.6 %	P _{rad} = 157.7 kW	P _{verl} = 22.9 kW
Temp. = 10 °C	Druck = 983 hPa	k = 1.013 (DIN)
PKW	Schaltgetriebe	2 Wheel Drive
RUV	Einzelfunke	

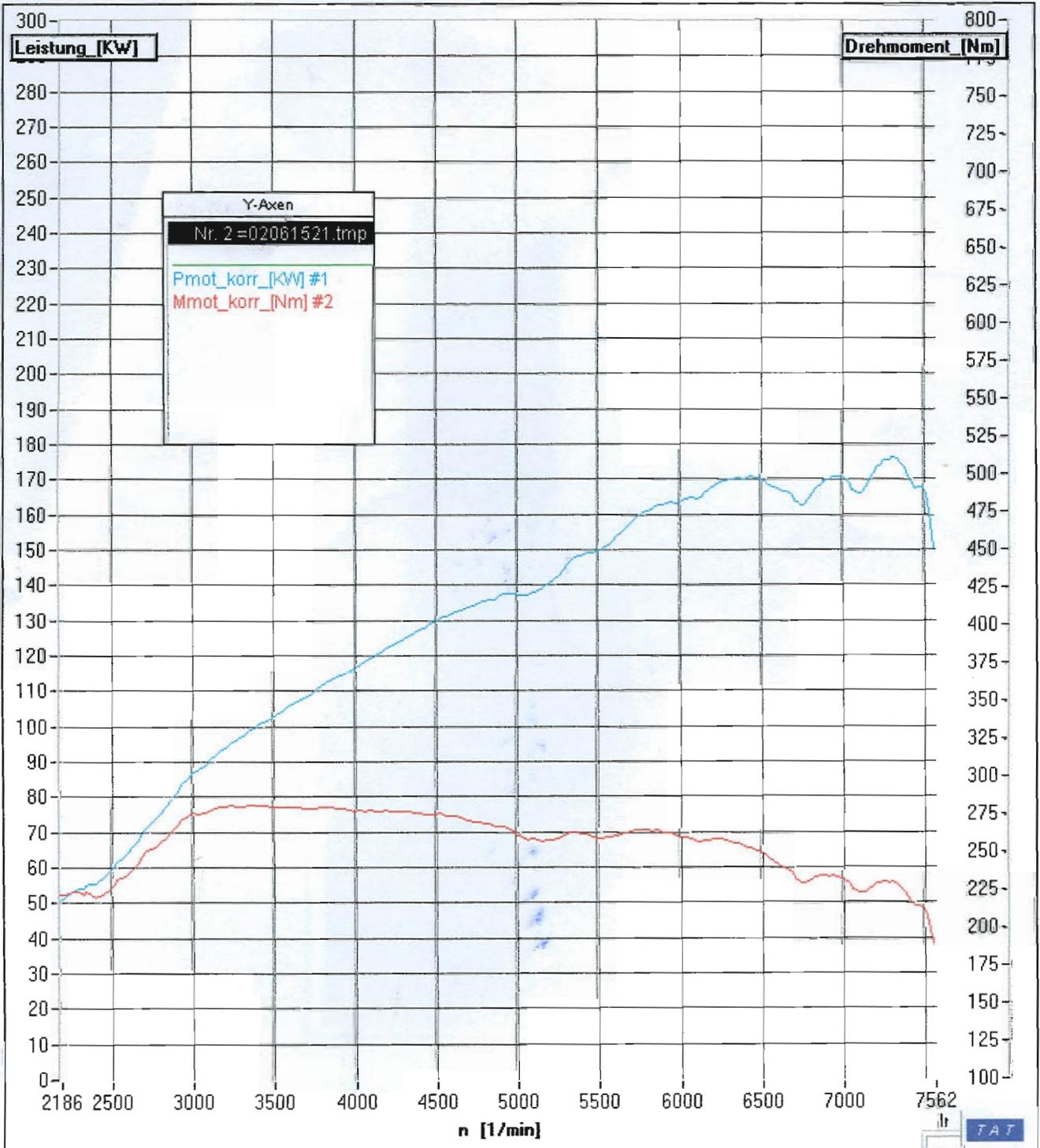


Leistungsmessung

DATEI: 02061521.tmp

Maxima (korr.): 177 KW (240 PS) / 7307 U/min und 281 Nm / 3414 U/min

)***_Kommentar_Ende



4.2_1 Messprotokoll aus dem Diagnosegerät (ausgelesene MWB 208 + 209)

011 - Messwerte

Anzeigegruppe 209

Messwerte

600	/min
82	
-8.0	°KW
00100100	

Anzeigegruppe 208

Messwerte

640	/min
124	
-3.0	°KW
00100100	



Bild Anlage 4.2.1_1 – Diagnosegerät am Audi A3

5.4_1 Verbindungsschlauch Kurbelgehäuse / Ansaugbrücke mit integrierter Heizung



Bild 5.4.1_1 - Ansaugbrücke mit montiertem Schlauch



Bild 5.4.1_2 – Ölsammlungen im Schlauch



Bild 5.4.1_3 – Oberseite



Bild 5.4.1_4 – Unterseite



Bild 5.4.1_5 – integriertes Heizelement



Bild 5.4.1_6 – Radiografische Aufnahme

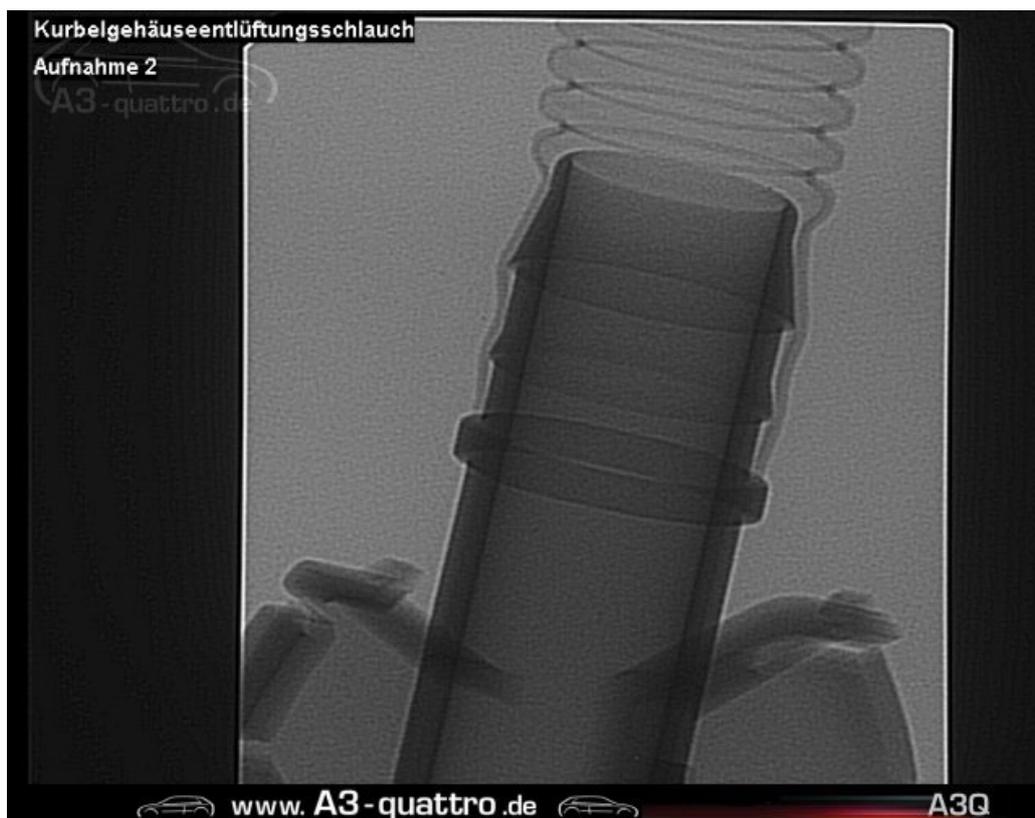


Bild 5.4.1_7 – Radiografische Aufnahme



Bild 5.4.1_8 – Radiografische Aufnahme des Heizelementes



Bild 5.4.1_9 – Radiografische Aufnahme des Heizelementes

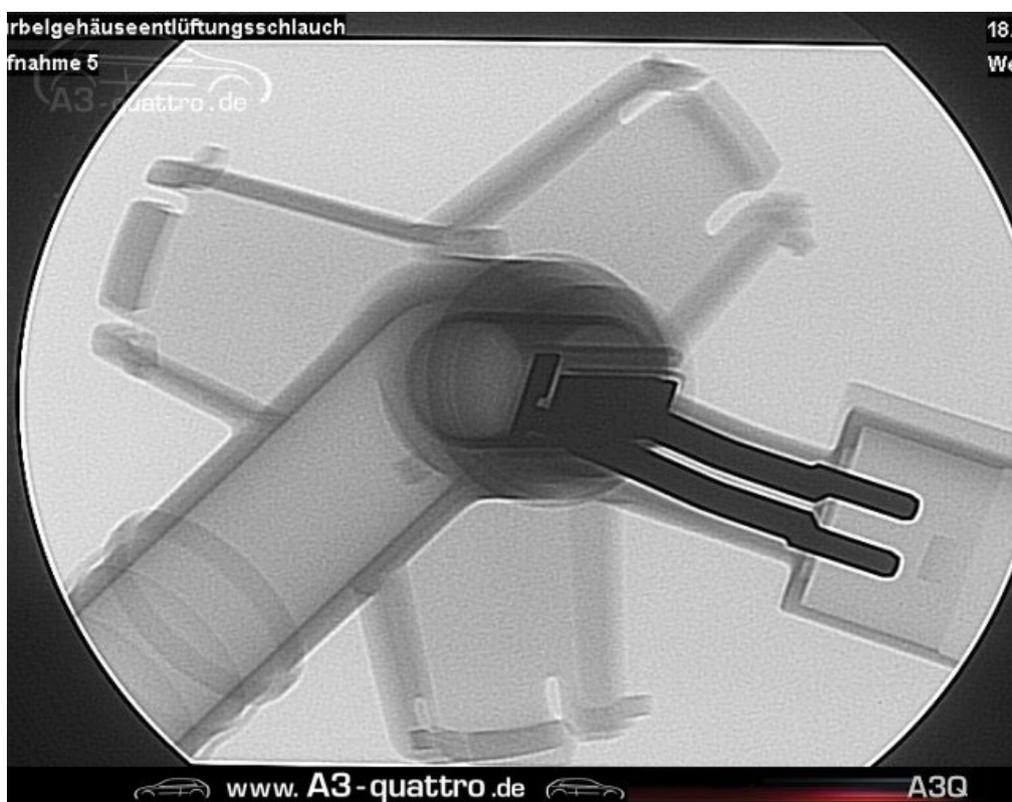


Bild 5.4.1_10 – Radiografische Aufnahme des Heizelementes

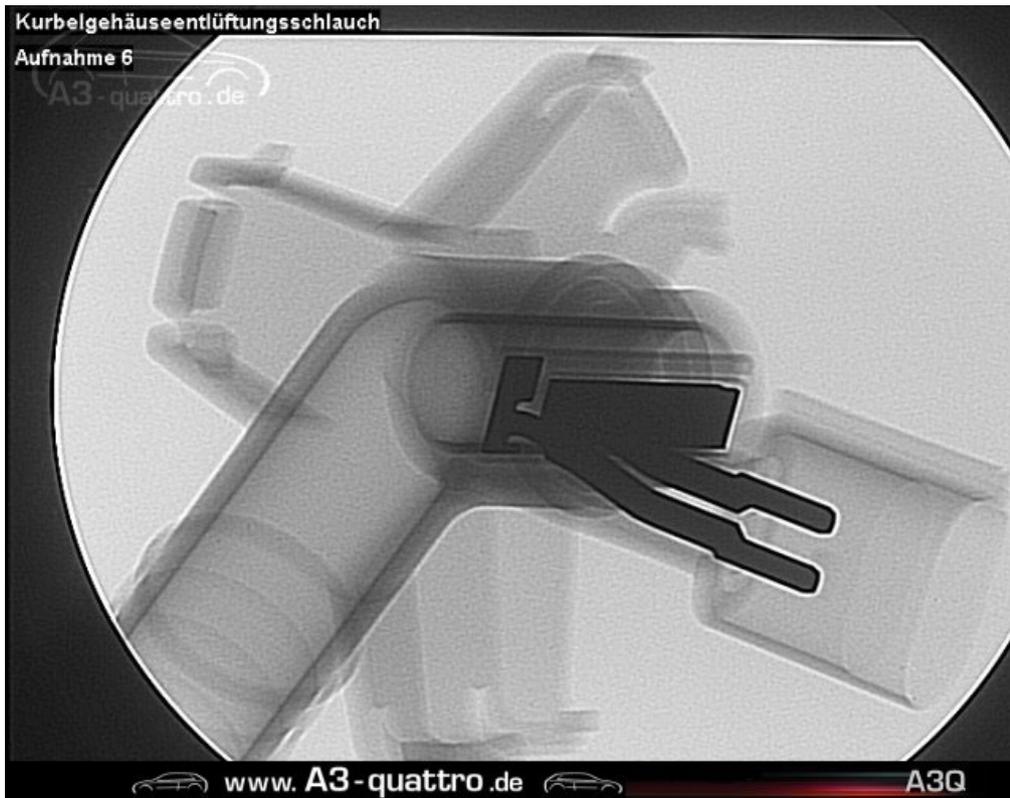


Bild 5.4.1_11 – Radiografische Aufnahme des Heizelementes



Bild 5.4.1_12 – Radiografische Aufnahme

7_1 Bilder einer Reparatur



Bild 7.1_1 – Die fachgerechte Reparatur

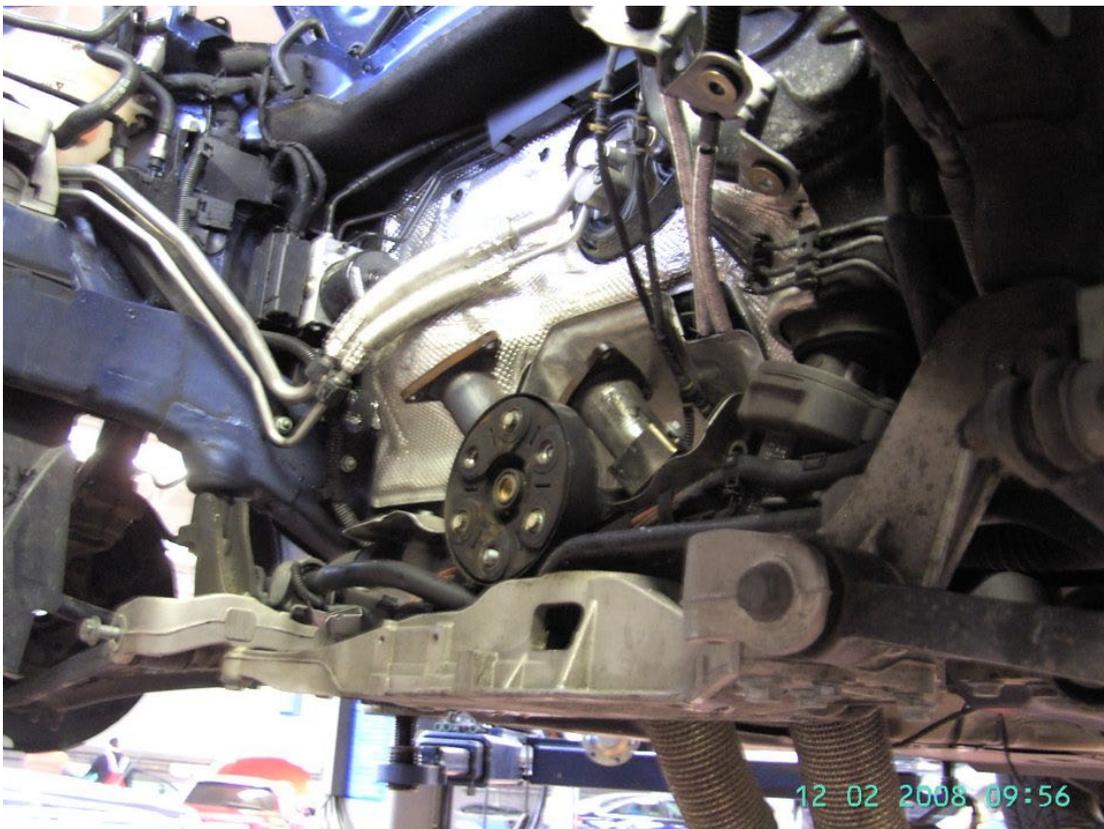


Bild 7.1_2 – Die fachgerechte Reparatur



Bild 7.1_3 – Die fachgerechte Reparatur



Bild 7.1_4 – Die fachgerechte Reparatur

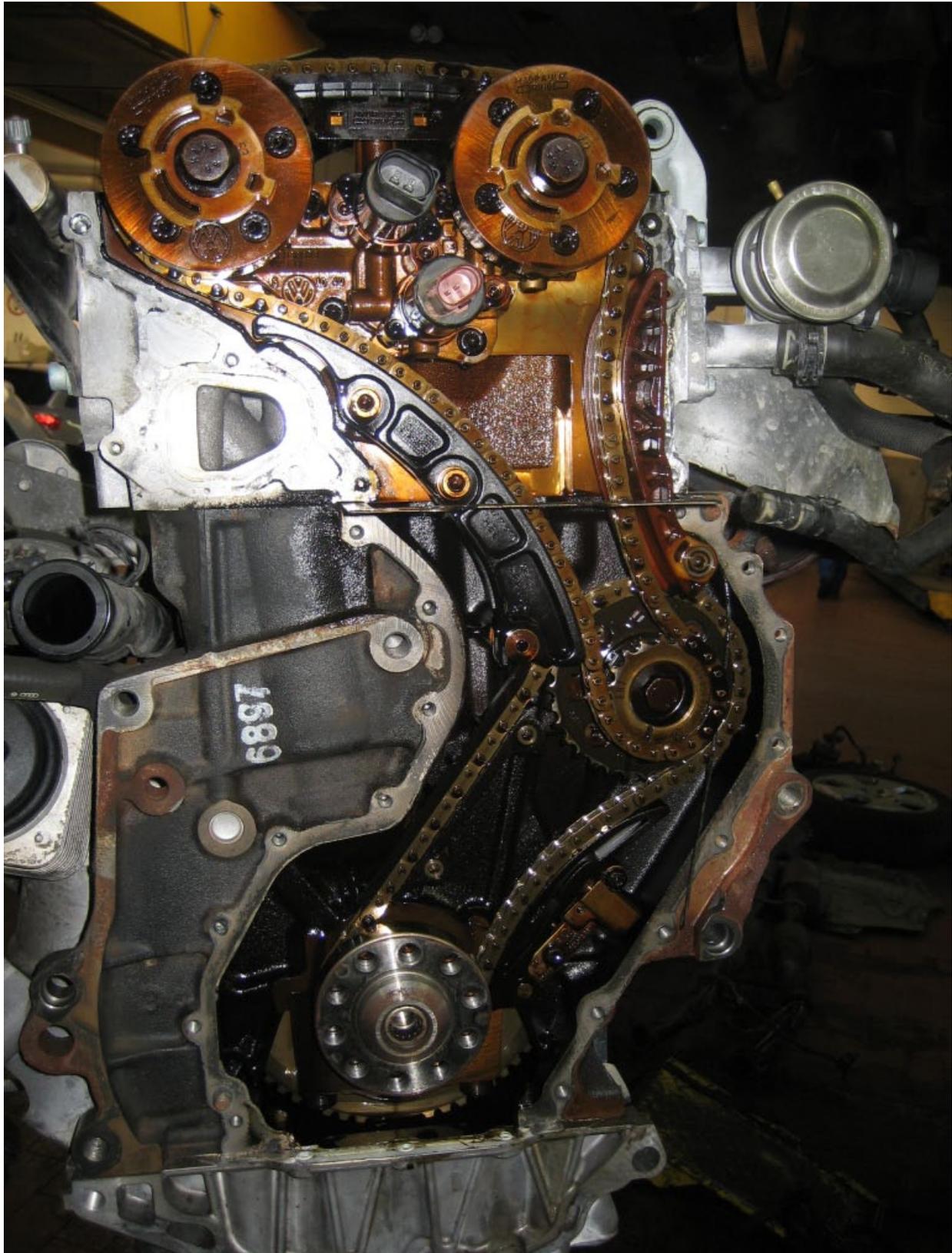


Bild 7.1_5 – Die fachgerechte Reparatur



Bild 7.1_6 – Die fachgerechte Reparatur



Bild 7.1_7 – Die fachgerechte Reparatur



Bild 7.1_8 – Die fachgerechte Reparatur



Bild 7.1_9 – Die fachgerechte Reparatur

Anhang 8_1

Die im Bericht getätigten Aussagen bzgl. des Mobil 1 0w-40 beziehen sich ausschließlich auf das Mobil 1 Supersyn.

Mittlerweile bietet Mobil dieses Öl nur noch in der „NewLife“ Variante an.

Da zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch keine ausreichenden Informationen zu diesem Öl vorliegen, können die Erkenntnisse nicht ohne vorherige Prüfung auf dieses Öl angewandt werden.

Alternative, gute bis sehr gute Öle sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

1. Mobil 1 5W-50 supersyn
2. Mobil 1 0W-40 supersyn
3. Meguin megol Super Leichtlauf vollsynthetisch 5W-40
4. Meguin megol Super Leichtlauf Driver 0W-40 (4894)
5. Shell Helix Ultra 0W-40
6. Addinol Ultra Light MV046 0W-40
7. Addinol Super visco MV 0556 5W-50
8. AVIA AVIASYNTH LS 0W-40

Bei allen genannten Ölen ist VOR dem Einsatz auf die entsprechenden Herstellerfreigaben zu achten, da diese bei den unterschiedlichen Motoren variieren können.