

# Zahnriemenantrieb in Öl

**Stefan Brandin, Franco Cipollone**  
 (Dayco Europe S.r.l., Viernheim)

1. Dayco Europe S.r.l.
2. Zahnriemen vs. Kette
3. Zahnriemenantrieb in Öl - ein Beispiel
4. Systembeschreibung
5. Auslegung – geometrische Machbarkeit
6. Aufbau des Zahnriemens
7. Zahnriemen in Öl Machbarkeitsanalyse
8. Beispiele für die Materialerprobung
9. Erprobung für Zahnriemen in Öl
10. Vergleich Kette vs. Zahnriemen
11. Zusammenfassung

## 1. Dayco Europe S.r.l.

Dayco ist ein führender Anbieter für Zahn- und PV-Riemen sowie deren Spannsysteme und Dämpfer. Der gesamte Antriebsstrang auf Basis von Riemen kann von Dayco ausgelegt und geliefert werden.

Dayco ist ein weltweiter Anbieter für seine Produkte. Mit ca. 2.400 Mitarbeitern in 14 Ländern gehört Dayco zu einer der größeren Automobilzulieferer.

Neben der konsequenten Weiterentwicklung ist ein Schwerpunkt bei Dayco die Entwicklung von neuen innovativen Produkten, wie z.B. ein zuschaltbares Reibrad zur Steuerung der Wasserpumpe für den BMW Prince Motor, Dämpfer mit Freilauffunktionen oder Zahnriemen, die in Öl arbeiten können.

## 2. Zahnriemen vs. Kette

Seit geraumer Zeit hört man in der Automobilindustrie immer öfter die Frage, welches Antriebssystem Zahnriemen oder Kette wohl besser geeignet wäre? Viele Untersuchungen wurden durchgeführt, um die spezifischen Vor- und Nachteile herauszuarbeiten.

Zum Vorteil des Riemens werden genannt:

- geringere Reibung, da der Riemen große Trumlängen ungeführt meistern kann

- bessere Akustik
- geringere Längung über Lebensdauer
- niedrigeres Gewicht

Als Nachteile wurden aufgeführt:

- Bauraum
- Lebensdauer
- Zusätzliche Dichtungen, da bisherige Riemen nicht in Öl arbeiten.

Was ist davon heute noch gültig?

Bauraum: Oft ist der Riemen breiter ausgeführt als die Kette. Lebensdauer: In Europa sind heute die meisten Anwendungen in Fahrzeugen auf 240.000 km ausgelegt. Außerhalb von Europa werden, bedingt durch Umgebungseinflüsse (hauptsächlich Staub), noch durch die Fahrzeughersteller Abstriche gemacht. Eine 100% Abdichtung des Riemenantriebes würde zu erhöhten Temperaturen führen, die zwar der Riemen oft noch aushalten kann, allerdings würden die Kosten für den Fahrzeughersteller steigen und hier ist es häufig günstiger, ein Wechselintervall zu vereinbaren. Um diesen Wettlauf mit der Kette zu gewinnen, war für Dayco der nächste konsequente Schritt, Zahnriemen zu entwickeln, die in Öl über die gesamte Motorenlebensdauer arbeiten können.

### **3. Zahnriemenantrieb in Öl - ein Beispiel**

In der Kooperation mit Volkswagen hat Dayco einen Zahnriemen entwickelt, der in Motorenöl arbeitet und in einem Dieselmotor die Kette für einen Ölpumpenantrieb ersetzt. Der Riemenantrieb ist dabei auf Motorlebensdauer ausgelegt.

Nachfolgend sollen am Beispiel des 1,6 Lit. Common Rail Antriebes von Volkswagen die wesentlichen Erkenntnisse dargestellt werden. Im Rahmen der „30. Internationale Vienna Engine Symposium“ präsentierte Volkswagen diesen Motor als Basis ihrer zukünftigen 4 Zylinder Dieselmotoren.

Eine Innovation, ist die Entwicklung eines Zahnriemens von Dayco, der ohne Spannelement direkt im Motoröl arbeitet, um die Ölpumpe anzutreiben (Bild 1). Die Leistungseinsparung wurde mit etwa 50 Watt festgestellt.

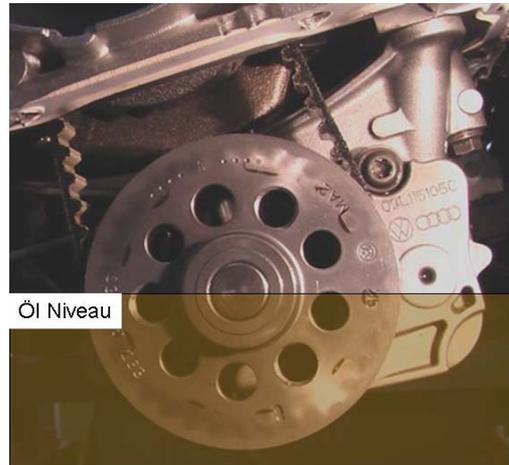
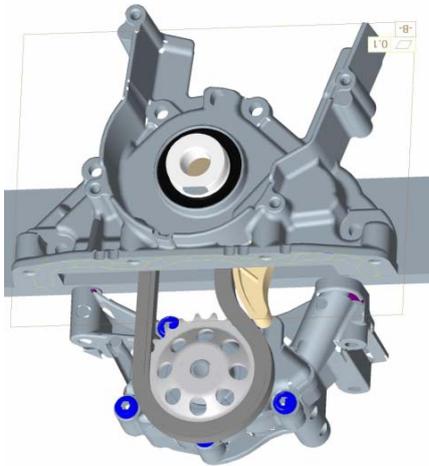
**Bild 1:** VW-1.6 Liter - 4 Zyl. Diesel Common Rail

Details: Hauptriemen (trocken) und Ölpumpenantrieb (Zahnriemen im Motoröl)



#### 4. Systembeschreibung

Ölpumpenantriebe in Motoren werden heute noch überwiegend als Kettenlösung ausgeführt, wobei der Achsabstand als Fixwert festgelegt ist. Die bekannte Kettenkonfiguration ist meist mit den Standardkomponenten (Kettenrad, Kette und Spanner), zu finden. Im Bild 2 ist eine Kettenanwendung und der alternative Zahnriemenantrieb zu sehen, der bei identischem Achsabstand und gleicher Funktion ohne Riemenspanner auskommt. Das untere Zahnriemenrad liegt etwa bis zur Hälfte in Öl.



**Bild 2:** Vergleich zwischen Kettenantrieb (links) und Zahnriemenantrieb der Ölpumpe (rechts)

Ausgehend vom Kettenantrieb und den festgelegten Designvorgaben wurde ein Ölpumpenantrieb mit einem Zahnriemen entwickelt. Das Antriebsrad arbeitet ohne Bordscheiben (siehe Bild 3) und ist als Sinterteil ausgeführt, welches auf die Kurbelwelle aufgepresst wird. Das getriebene Rad (siehe Bild 4) ist ebenfalls ein gesintertes Teil, aufgepresst auf die Ölpumpenwelle und mit zwei Bordscheiben versehen.



**Bild 3-4:** Gesinterte Zahnriemenräder – Antriebsrad (22 Zähne) und getriebenes Rad (33 Zähne)

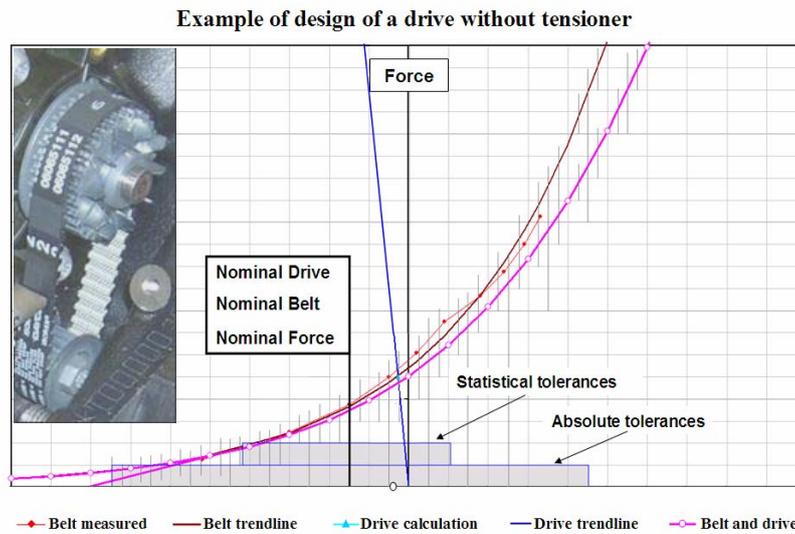
## 5. Auslegung – geometrische Machbarkeit

Die Befestigung der Ölpumpe erfolgt am unteren Ende des Motorenblocks mit Schrauben. Die Position der Pumpe wird durch Passhülsen garantiert.

Zuerst wurde eine axiale Toleranzuntersuchung an der Kurbelwelle und beim Ölpumpenzusammenbau durchgeführt. Danach wurde die radiale Toleranzanalyse vorgenommen und dabei wurden die folgenden Parameter berücksichtigt:

1. Fester Achsabstand für die Ölpumpe.
2. Durchmesser und deren Toleranzen der Zahnräder
3. Wirklänge und die Elastizität des Riemens
4. Antriebsausdehnung von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+150^{\circ}\text{C}$ .
5. Das Setzen des Riemens nach der ersten Einlaufzeit
6. Antriebesgeometrie nach Testende

Mit einer Toleranzanalyse wurde die nominale Riemenlänge definiert. Grenzmuster wurden gefertigt, um die Extremtoleranzen bei Einbau und Fahrzeugbetrieb zu untersuchen. Diese Vorgehensweise wurde bereits bei einer Entwicklung mit Audi für einen Wasserpumpenantrieb erfolgreich angewendet (siehe Bild 5). Auch bei dieser Anwendung (Motorlebensdauerfreigabe) ist kein Riemenspanner im Einsatz. Bild 5 zeigt wie Achsabstände und Riemenlängen sich auf die Trunkraft des Riemens auswirken.



**Bild 5:** Einfluss des Achsabstandes (Toleranzanalyse) beim Wasserpumpenantrieb Audi

Daraufhin wurde der Riemen als “selbst spannendes System” ausgelegt, das sowohl bei kalten und / oder warmen Bedingungen bei einem festen Achsabstand arbeitet.

Die Zuverlässigkeit des Antriebes wurde durch die folgenden Bedingungen garantiert:

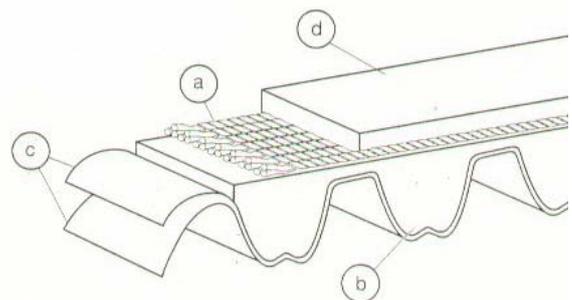
- a. Reduzierte Riementoleranzen durch Produktionsoptimierung bei Dayco.
- b. Geringe Riemenverlängerung über den gesamten Lebenszyklus.
- c. Der Riemen kann sich bewegen, um die axialen Kurbelwellenschwingungen und die thermische Ausdehnung abzufangen.
- d. Medienbeständigkeit: Motorenöle und Kraftstoffe mit verschiedenen Öl/Kraftstoffanteilen und verschiedenen Säurewerten wurden erfolgreich getestet.

## 6. Aufbau des Zahnriemens

Ein Zahnriemen setzt sich aus verschiedenen Elementen zusammen, wie im folgenden Bild 6 dargestellt.

**Bild 6** Riemenaufbau

- a. Zugstrang: Glascord mit hohem Modul
- b. Mischung: Spezielles HNBR, faserverstärkt.
- c. Zahngewebe: Nylon mit PTFE Aussenschale (Die weiße Beschichtung ist die Basis für die Dayco-Riemen-



Technologie, die bei vielen Motorenproduzenten für Temperatur- und Verschleißbeständigkeit als Benchmark/Referenz benutzt wird.)

d. Rückengewebe: Nylon, zum Schutz vor Seitenverschleiß und bessere Alterungsbeständigkeit.

## 7. Zahnriemen in Öl Machbarkeitsanalyse

Die Machbarkeitsuntersuchungen waren für die Dayco Ingenieure sehr komplex. Eine große Variantenvielfalt von Eingabedaten und Grenzbedingungen mussten berücksichtigt werden: Z.B. mehr als 100 verschiedene Motorenöle mit Kraftstoffen und Wasser vermischt, Säuren, Motorenreinigungsmittel bei verschiedenen Alterungstufen usw.

Ein Schlüsselfaktor bestand darin, die „realistischen Arbeitsbedingungen“ zu definieren. In Zusammenarbeit mit dem Motorenhersteller und den Motorenöllieferanten war es möglich, Schritt für Schritt die Tests zu strukturieren und eine Matrix zu erarbeiten, um auch Grenzbedingungen testen zu können, wie zum Beispiel säurehaltiges Öl, welches sogar die Ölwanne beschädigte.

Um die Riemenperformance in Öl zu untersuchen, war es notwendig, besondere Testbedingungen zu bestimmen. Bei Prüfständen und Laboruntersuchungen mussten reelle Umgebungsbedingungen geschaffen werden, um die wichtigsten Riemenparameter zu untersuchen.

## 8. Beispiele für die Materialerprobung

Bei der Lagerung von Mustern in Öl/Kraftstoffen wurde eine Tabelle für den Grad der Beschädigung erarbeitet. Unter Berücksichtigung von Zeit und Temperatur wird dem analysierten Muster ein „Damage Faktor“ zugeordnet, für den der jeweilige Parameter analysiert wird. Kontrollierte Parameter sind:

- Längung / Reißdehnung / Modul
- maßliche Änderungen / Gewichtsänderungen
- Haftung / Zugstranghaftung / Härte
- Zahnsteifigkeit/ dynamisch und statisch.

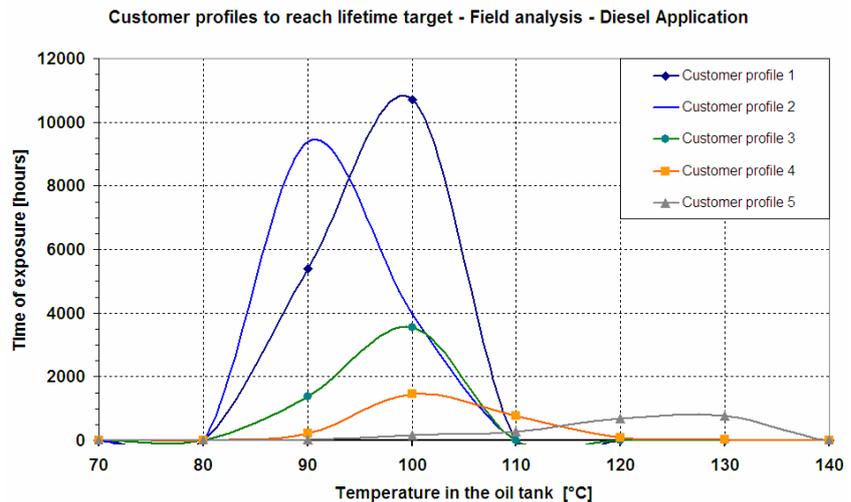
hours / temperature	Damage Map				
	90 °C	100 °C	110 °C	120 °C	130 °C
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	0.20	0.22	0.26	0.33	0.43
1500	0.27	0.35	0.51	0.67	1.00
2000	0.40	0.52	0.75	1.00	
3000	0.53	0.69	1.00		
4000	0.76	1.00			
5000	1.00				



**Bild 7:** „Damage Map“ Beispiel für Materialeigenschaften

Die Graphen (Bild 8) zeigen Beispiele für Temperaturzyklen für 5 unterschiedliche Fahrprofile. Mit der Analyse dieser Daten ist es möglich, die Teststunden zu kalkulieren, die nötig sind, um die Motorlebensdauerfähigkeit nachzuweisen. Um die Testdauer zu verkürzen, kann man unter anderem die Öltemperatur erhöhen.

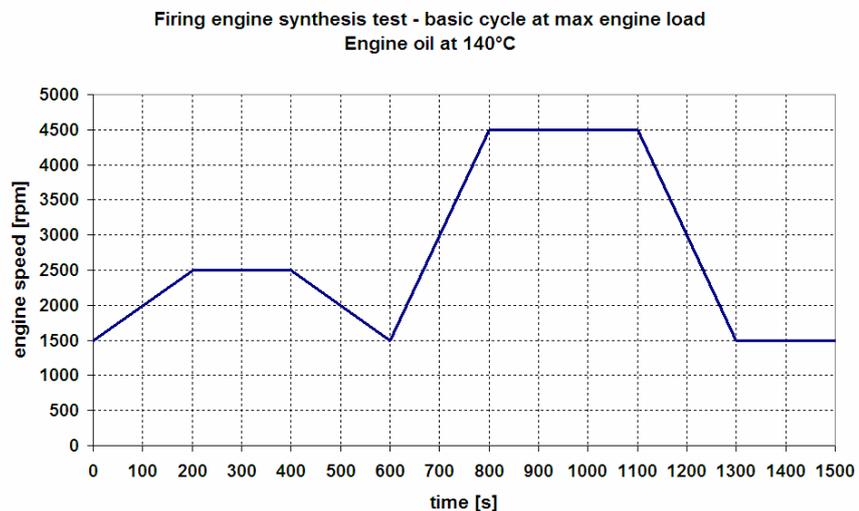
**Bild 8:** Beispiel für Zeit und Temperaturbelastung als Funktion von verschiedenen Kundenprofilen, um Fahrzeuglebensdauer zu gewähren.



Die Darstellung in Bild 9 zeigt einen Motorzyklus, der eine Feldanwendung simuliert.

Dieses Beispiel von Dayco zeigt ein Prüfstandsprofil, welches in 800 Betriebsstunden bei 140°C die schlechtesten Bedingungen für die Riemenalterung simuliert.

**Bild 9:** Beispiel für ein Prüfstandsprofil



## 9. Erprobung für Zahnriemen in Öl

Spezielle Tests wurden kreiert, um zusätzlich den Einfluss von Ölen an den Riemenparametern darzustellen. Anbei ein paar Beispiele für spezielle Tests:

- Motorentest, die einen hohen Kraftstoffeintrag im Motoröl zur Folge haben.
- Motorentests, die die höchsten Motorenöltemperaturen generieren.

- Prüfstände, mit altem Öl und noch zusätzlich gesäuert, bei Öltemperaturen um 150°C.
- Prüfstände und Motoren betrieben mit zusätzlichen Flüssigkeiten im Öl, z.B. Kühlflüssigkeiten und Motorreinigungsmittel.

Unter diesen Bedingungen wurden die wichtigsten Riemenparameter überwacht. Das erlaubte die Bestimmung von Trendlinien. Im Vorfeld wurden für die überwachten Riemenparameter die Sicherheitsgrenzen definiert.

Die Freigabeerprobungen beim Kunden wurden erfolgreich abgeschlossen und es werden zurzeit etwa 100.000 Zahnriemen für diese Anwendung pro Monat verbaut.

## 10. Vergleich Kette vs. Zahnriemen

Hier einige Beispiele von Vorteilen bei anderen Anwendungen.

### Reibreduzierung:

Messungen und Simulationsmodelle zeigten, dass die Reibungsreduzierung hauptsächlich durch den Wegfall des Spanners und der Gleitschiene resultiert. Der Zahnriemen erlaubt längere freie Trumlängen ohne Führung, dies führt zur Reibungsreduzierung. Die wirkliche Verbesserung ist von der Antriebsgeometrie und dem Kraftniveau abhängig. Durch Analyse der spezifischen Anwendung kann man das Verbesserungspotential erkennen, das der Riemen anbieten kann. Wie beim Aachener Kolloquium (2008) von AVL vorgestellt, konnte der Verbrauch bis 1% reduziert werden. Hier wurde eine Kette für den Hauptantrieb durch einen Zahnriemen ersetzt.

Auszug aus dem Bericht von der Firma AVL, vom Aachener Kolloquium 2008:

The fuel consumption projections indicate consumption benefits of over 1% for typical steady-state part load operating points. In the NEDC, the CO<sub>2</sub> reduction potential amounts to between 0.62 and 0.91 %, which corresponds to 1.07 g/km and 1.45 g/km according to the vehicle/engine combination.

### Bessere Akustik

Hier handelte es sich um eine Anwendung zum Antrieb der Einspritzpumpe. Die Messung zeigt den Vorteil im Fahrzeug auf dem Fahrersitz gemessen (Zahnriemen Blaue Linie).

Der Vorteil gegenüber der Kette bei diesem Beispiel liegt bei bis zu 3,5 dBA. Diese Werte sind normalerweise von Messposition (Akustik Kopf in diesem Beispiel) und Motor-Isolierung abhängig. Die akustische Verbesserung wurde auch durch eine subjektive Auswertung bestätigt.

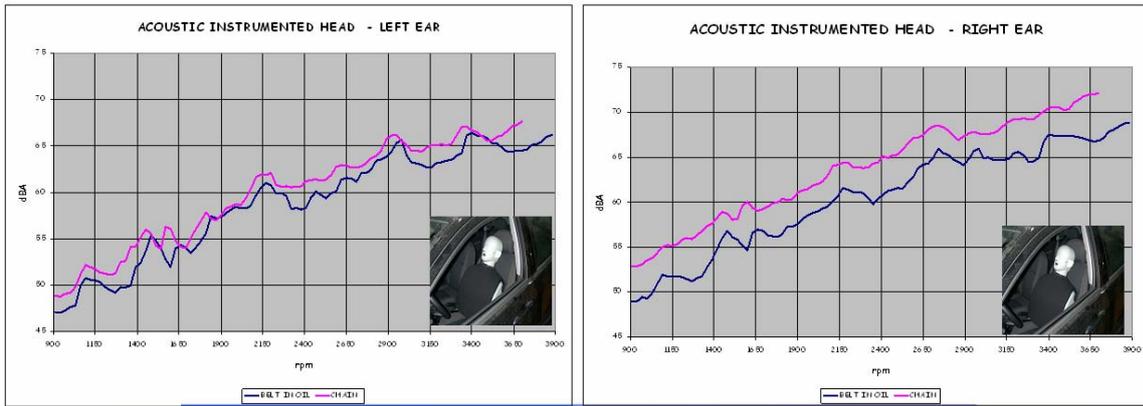
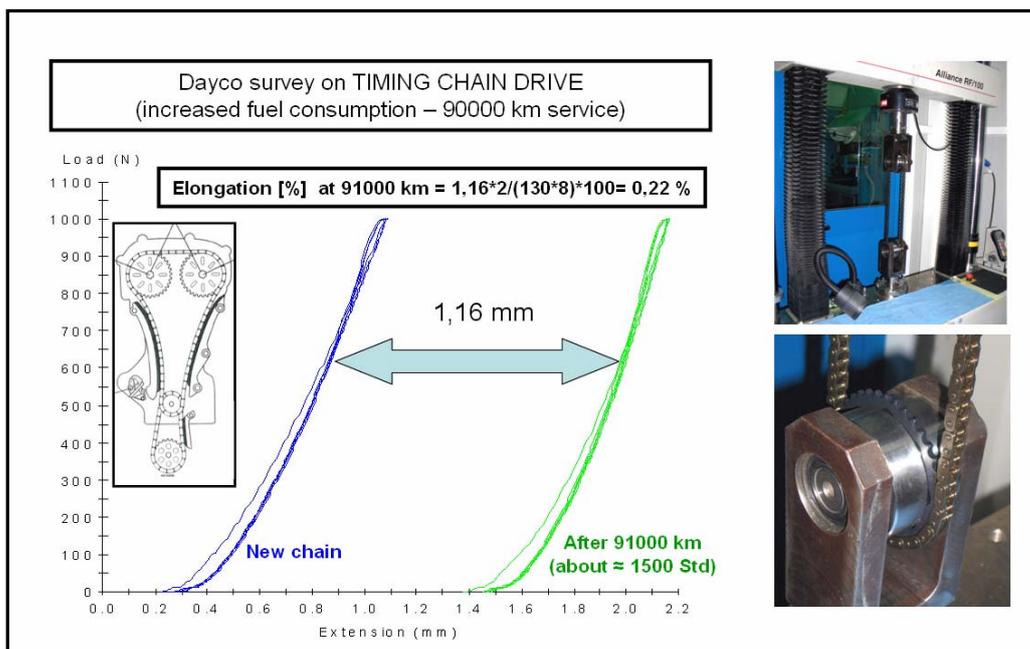


Bild 11: Beispiel für Akustikmessungen

### Reduzierte Längung

Die Änderung der Wirklänge (des Riemens oder der Kette) beeinflusst die Steuerung der Nockenwellen und die Verbrennungs-Effizienz. Deshalb sollten diese Antriebssysteme eine starke Stabilität der Teilung gewährleisten. Das hohe elastische Modul der Dayco Zahnriemen und seine geringe Längung (max. 0,08 % am Lebensende) bietet eine dauerhafte Lösung an. Es ist möglich, bei traditionellen Kettensystemen Änderungen der Wirklänge von 0,12% bis 0,22% zu messen, die teilweise durch Spannsysteme kompensiert werden, wie im nachfolgendem Beispiel dargestellt. Diese Untersuchungen werden von Dayco zur Marktanalysen durchgeführt. Bild 12 zeigt die Ergebnisse eines kleinen Benzin-Motors nach ca. 90.000 km und 6 Jahren Fahrleistung mit einem Kettenantrieb, der wegen ansteigenden Kraftstoffverbrauchs ersetzt wurde (Werkstatt).



## 11. Zusammenfassung

Die Zahnriemen-in-Öl-Technologie ermöglicht den Einsatz bei verschiedenen Anforderungen im Ölambiente bei Verbrennungsmotoren und ist eine wirtschaftliche Alternative zur Kette. Die Stabilität der Materialien bei Ölkontakt und anderen Stoffen wurde durch eine genaue Wahl von einzelnen Komponenten erreicht und diese jeweils nach den Motorlebensdauervorgaben geprüft.

Vorteile wie geringe Reibung, bessere Akustik und Gewichtersparnisse sind durch diese Technologie möglich. Die Motorlebensdauer und die weltweite Zuverlässigkeit sind durch die neuen Materialien gegeben.

An weiteren Entwicklungen für Anwendungen von Zahnriemen, die in Öl laufen, wird schon gearbeitet.

## References

- [1] S. Pischinger, S. Gies, S. Sonnen, N. Kennes, 18. Aachen colloquium Automobile and Engine Technology 5th – 7th October Eurogress Aachen, 2009
  
- [2] B. Hahne, S. Neuendorf, G. Paher, E. Vollmers: Neue Dieselmotoren für Volkswagen-Nutzfahrzeug-Anwendungen. In: MTZ 71 (2010), Nr 1, S. 26-32
  
- [3] F. Rudolph, J. Hadler, J. Engler, A. Krause, M. Stamm: The new 1.6l TDI engine from Volkswagen, 30th International Vienna Engine Symposium, 2009
  
- [4] Belt vs. Chain – Study on the Potential for CO<sub>2</sub> – Saving by the Timing Drive. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik, 2008