

Neue synthetische Getriebeöle als Konstruktionselement für ZF-Nkw-Getriebe

New synthetic transmission oils as design elements for ZF commercial vehicle transmissions.

Dipl.-Ing. A. Bein, Dr. Ing. J. Foth, Dr. R. Freise, Dipl.-Ing. W. Härdtle, Dipl.-Ing. A. Schenk, Friedrichshafen

Kurzfassung:

Moderne NKW-Getriebe sind komplizierte Fahrzeugkomponenten mit höchsten Anforderungen an Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Schaltkomfort. Das Getriebeöl spielt hierbei inzwischen eine entscheidende Rolle, beeinflusst es doch die meisten Komponenten im Getriebe.

Die ZF Friedrichshafen AG bietet seinen Kunden inzwischen die synthetischen Getriebeöle ZF-Ecofluid M für Nkw-Schalt- und ZF-Ecofluid A Plus für Nkw-Lastschaltautomatgetriebe an. Beides sind optimal auf ZF-Nkw-Getriebe abgestimmte Schmierstoffe, die den Kunden zahlreiche Vorteile bieten. Anforderungen, Merkmale und Nutzen der beiden Schmierstoffe werden im Folgenden beschrieben.

Abstract: (Optional)

Modern CV transmissions are complicated vehicle components posing the highest requirements on reliability, lifetime, and shifting comfort. To this end, the transmission oil plays a decisive roll, since it has an impact on most of the components in the transmission.

By now, ZF Friedrichshafen AG provides its customers with synthetic transmission oils, the ZF-Ecofluid M for manual and automatic CV transmissions and the ZF-Ecofluid A Plus for automatic CV powershift transmission. Both are optimally adapted lubricants for ZF CV transmissions that provide customers with a huge set of advantages. Requirements, characteristics, and advantages provided by both lubricants are described below.

1. Warum entwickelt ZF neue Getriebeöle?

Ausgangspunkt für die Beantwortung dieser Frage soll eine kurze Analyse des Getriebeölmarktes sein. Dieser bietet heute im Wesentlichen 3 Klassen von Ölen, die für Getriebe grundsätzlich in Frage kommen:

- Klassische Getriebeöle
- Klassische ATF
- Motorenöle (Ein- und Mehrbereich)

Natürlich finden sich hier auch für ZF-Getriebe verwendbare Schmierstoffe. Aus ZF-Sicht hat aber jede Klasse von Ölen bestimmte Nachteile. Nicht alle Kunden- und ZF-Anforderungen lassen sich mit marktgängigen Schmierstoffen erfüllen. So bieten viele Getriebeöle zwar einen guten Verzahnungsschutz, sind aber wegen ihrer begrenzten thermischen Stabilität nicht für alle ZF-Getriebe geeignet. Zudem ist die Ölgebrauchsdauer bei hohen Ölsumptemperaturen begrenzt. Motorenöle und ATF bieten dagegen eine ausreichende thermische Stabilität, jedoch nur begrenzten Schutz von Lagern und Verzahnungen. Sie sind daher in vielen hochbelasteten Nkw-Getrieben nicht mehr einsetzbar.

Zusammengefasst lässt sich die Frage, warum ZF neue Getriebeöle entwickelt, wie folgt beantworten:

- An moderne Fahrzeug- und Getriebegenerationen werden immer höhere Anforderungen gestellt (z.B. bezüglich Wirkungsgrad und Getriebelebensdauer).
- Alle Getriebekomponenten werden deshalb weiterentwickelt und optimiert.
- Öl ist heute eine wichtige Komponente ("Konstruktionselement").
- Für eine optimale Getriebefunktion bei gleichzeitig reduzierten Life Cycle Kosten sind Öle mit auf das Getriebe zugeschnittenen Eigenschaften erforderlich.

- Der Getriebeölmarkt bietet diese für ZF-Getriebe maßgeschneiderten Produkte nicht. daher sind Eigenentwicklungen notwendig.

Was das im Detail heißt, soll im Folgenden an 2 ZF-Ölentwicklungen erläutert werden.

2. Grundanforderungen an einen Schmierstoff für Nkw-Getriebe

Ein modernes Getriebe besteht aus einer Vielzahl an Komponenten, die zu einem Großteil mit dem Getriebeöl in Berührung kommen. Für die meisten Komponenten ist das Getriebeöl als Schmier- und Kühlmittel funktions- und lebensdauerrelevant. Die verschiedensten Getriebekomponenten stellen verschiedene, zum Teil sogar gegensätzlich Anforderungen an

das Getriebeöl. So strebt man z.B. in Verzahnungen und Lagern zugunsten des Getriebewirkungsgrades möglichst niedrige Reibungszahlen an. Kupplungen und Synchronisierungen benötigen dagegen meist hohe Reibwerte für eine ordnungsgemäße Funktion. Ein anderes Beispiel ist der Gegensatz zwischen Schaltkomfort und Schmierfilmdicke. Hohe Viskositäten bilden dicke Schmierfilme und schützen so Verzahnungen und Lagern vor Verschleiß. Bei Handschaltgetrieben bedeuten hohe Viskositäten allerdings hohe Schaltkräfte, der Schaltkomfort verschlechtert sich. Eine sehr wichtige Anforderung an das Getriebeöl ist eine hohe Temperatur- und Alterungsbeständigkeit. ZF-Nkw-Schalt- und Automatgetriebe werden in einem gemeinsamen Ölhaushalt mit dem Retarder (ZF-Intarder) betrieben. Bei Belastung können im ZF-Intarder Öltemperaturen von über 160°C auftreten. Das gleiche gilt für Wandler, die nicht nur in klassischen Automatgetrieben sondern im Schwerlastverkehr auch in Schaltgetrieben eingesetzt werden. Schließlich setzen lange Ölwechselintervalle eine hohe Alterungsstabilität des Getriebeöles voraus.

Tabelle 1: Grundanforderungen an einen Schmierstoff für Nkw-Getriebe.

Bauteil (Auswahl)	Aufgaben des Öles (Auswahl)	Haupt-"Stellschraube"
allgemein	<ul style="list-style-type: none"> hohe Temperatur- und Alterungsbeständigkeit geringe Planschverluste (hoher Wirkungsgrad) 	<ul style="list-style-type: none"> Additiv, Grundöl Viskosität (?)
Verzahnungen & Lager	<ul style="list-style-type: none"> Schutz vor Fressen, Ermüdung und Verschleiß geringe Reibungsverluste (hoher Wirkungsgrad) 	<ul style="list-style-type: none"> Additiv, Viskosität (?) Grundöl, Additiv, Viskosität
Synchronisierungen & Kupplungen	<ul style="list-style-type: none"> stabile Reibwerte auf erforderlichem Niveau geringe Schaltkräfte 	<ul style="list-style-type: none"> Additiv Viskosität (?)
ZF-Intarder, Retarder und Wandler	<ul style="list-style-type: none"> hydraulische Übertragung von Momenten hohe Temperaturbeständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Viskosität (?) Additiv
Ölpumpen, Hydraulik	<ul style="list-style-type: none"> geringe Leckageverluste 	<ul style="list-style-type: none"> Viskosität (?)
Dichtungen	<ul style="list-style-type: none"> chem. Verträglichkeit Schutz vor Verschleiß 	<ul style="list-style-type: none"> Additiv, Grundöl Viskosität (?)

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Grundanforderungen an einen Schmierstoff für Nkw-Getriebe und zeigt, welche Möglichkeiten („Stellschraube“) es gibt, diese Anforderungen über das Öl zu beeinflussen.

3. ZF-Ecofluid M: Ein Öl für Nkw-Schaltgetriebe (handgeschaltet und automatisch)

ZF-Ecofluid M ist ein neues synthetisches Getriebeöl, welches ZF seit Frühjahr 2004 für Werks- und Servicebefüllungen ihrer Nkw-Schaltgetriebe anbietet. Ziel der Entwicklung dieses Öles war es, mit einem optimal auf ZF-Schaltgetriebe abgestimmten Schmierstoff das bestmögliche für den Kunden herauszuholen. ZF-Ecofluid M vereint eine hohe Temperaturbeständigkeit mit hohem Verzahnungs- und Lagerschutz sowie einem auf mehrere Synchronisationsbeläge abgestimmten Reibverhalten.

ZF-Ecofluid M wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Additiv- und Ölhersteller entwickelt. ZF hat sich hohe Ziele bei dieser Ölentwicklung gesetzt. Diese ließen sich nur durch ein sehr präzises Lastenheft mit möglichst realitätsnahen Labor- und Komponententests erreichen. Einige Komponententests wurden im Rahmen dieser Ölentwicklung überarbeitet oder neu entwickelt. In einem umfangreichem Prüfstands- und Feldtestprogramm wurde die Eignung des Öles schließlich in den verschiedensten Getriebevarianten nachgewiesen.

ZF-Ecofluid M bedient eine Vielzahl von Getriebekomponenten, z.B. Verzahnungen, Lager, Synchronisierungen mit verschiedenen Belagmaterialien, ZF-Intarder, Wandler und Dichtungen. Die wichtigsten Aufgaben, die das Öl in den einzelnen Komponenten zu erfüllen hat, sind in Tabelle 1 gezeigt. Es war nicht einfach, mit nur einem Schmierstoff allen hohen Anforderungen gerecht zu werden. Mehrere Entwicklungsschleifen mit Modifikationen an Grundöl und Additiv waren erforderlich um schließlich einen gut abgestimmten und ausgewogenen Schmierstoff zu erhalten. Hilfreich war eine statistische Versuchsplanung, welche ZF zusammen mit dem Additiv- und Ölhersteller durchgeführt hat. Hierbei wurde der Einfluss einzelner Additivkomponenten auf die wichtigsten Öleigenschaften untersucht. Die Ergebnisse waren Basis für Modifizierungen im Rahmen der Ölentwicklung, aber auch für die Qualitätssicherung vor der Serieneinführung.

ZF-Ecofluid M zeichnet sich im Wesentlichen durch folgende Merkmale aus:

- Es kann für die gesamte Palette an ZF-Schaltgetrieben, vom kleinen VAN-Getriebe bis zum schweren LKW-Getriebe, ob hand- oder automatisch geschaltet, eingesetzt werden. Dies bringt dem Kunden mehr Übersichtlichkeit und Einsparungen durch eine Reduzierung der Ölsorten.

- Der Getriebewirkungsgrad erhöht sich im Vergleich zu mineralischen und teilsynthetischen Getriebeölen, so dass sich Kraftstoffeinsparungen bis 1 % ergeben.
- Gegenüber bisherigen synthetischen Ölen sind deutlich längere Ölwechselintervalle möglich, im Fernverkehr bis zu 540.000 km *.
- Das Öl bietet eine einzigartige Kombination aus Temperaturstabilität und Verzahnungsschutz. Dies ermöglicht den Einsatz in hochbelasteten Nkw-Getrieben mit ZF-Intarder und Wandler.
- Das Öl gewährleistet eine sichere und verschleißarme Funktion der Synchronisierungen und bietet damit mehr Sicherheit gegenüber bisher eingesetzten Schmierstoffen.

*) Diese Ölwechselintervalle gelten nur, wenn das Getriebe mit einer Schlauchentlüftung in den Trockenraum ausgerüstet ist. Wasser im Öl kann zu Funktionsbeeinträchtigungen und Lebensdauereinbußen führen. Über eine Trockenraumentlüftung wird sicher verhindert, dass Wasser ins Getriebe gelangt, sie ist daher für Langzeitschmierung Voraussetzung.

Die oben genannten Merkmale sollen an einigen Beispielen erläutert werden.

Optimierte Viskosität

In Bild 2 sind die Viskositäten von ZF-Ecofluid M im Vergleich zu 2 Referenzölen (mineralisch und synthetisch) dargestellt. Zusätzlich zur Neuölviskosität ist der Scherverlust, der sich recht schnell im Getriebe einstellt, dargestellt.

	Viskosität bei - 40°C	Viskosität bei 30°C	Viskosität bei 100°C
mineral. Referenzöl Scherverlust	fest	170 mm ² /s	11,5 mm ² /s ca. 9 %
synth. Referenzöl: Scherverlust	20.000 mPas	96 mm ² /s	11,7 mm ² /s ca. 20 %
ZF-Ecofluid M: Scherverlust	20.000 mPas	84 mm ² /s	9 mm ² /s ca. 2 %

Bild 2: ZF-Ecofluid M - optimierte Ölviskosität

Gegenüber den beiden Referenzölen wurde die Viskosität bei 100°C zugunsten von Schaltkomfort und Wirkungsgrad leicht abgesenkt. Durch eine entsprechende

Grundölformulierung ist ZF-Ecofluid M extrem scherstabil, das synthetische Referenzöl weist dagegen einen deutlich höheren Scherverlust auf. Vergleichsmessungen der Schmierfilmdicke am Zweiseibenprüfstand, die die TU München (FZG) im Auftrag von ZF durchgeführt hat, beweisen: Bei gleicher kinematischen Viskosität stellen sich mit ZF-Ecofluid M deutlich dickere Schmierfilme im Vergleich zum synthetischen Referenzöl ein (Bild 3).

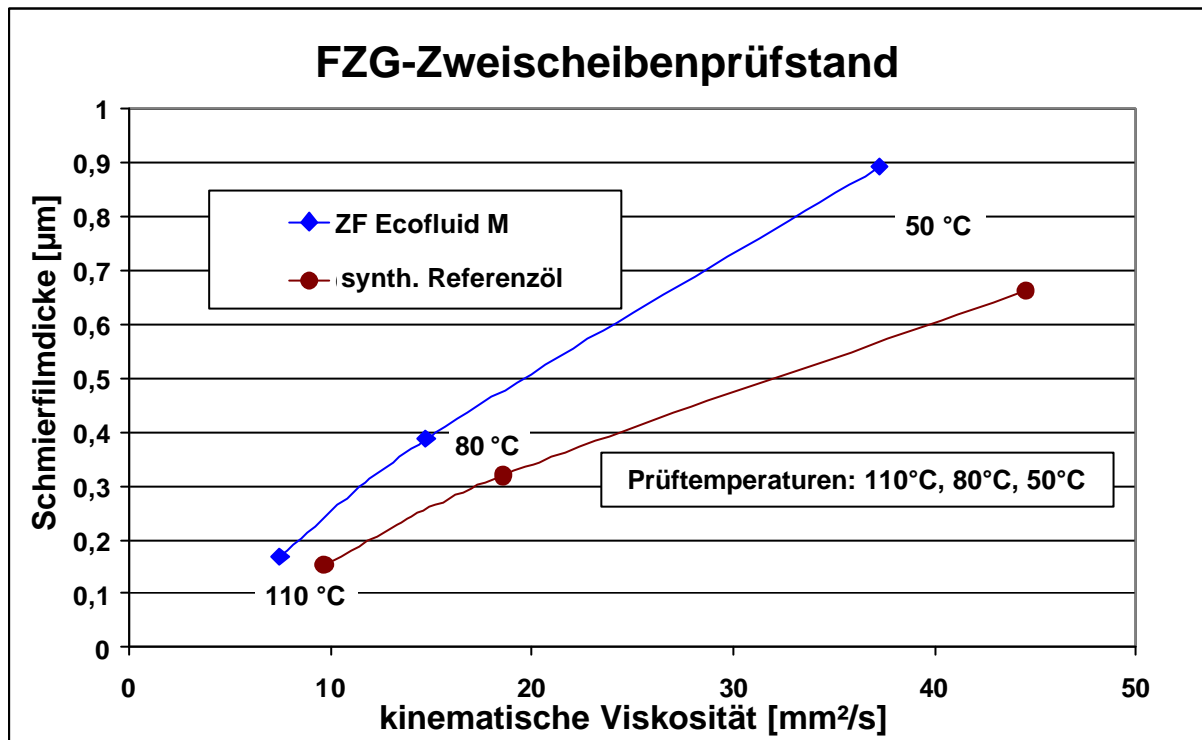


Bild 3: ZF-Ecofluid M – Schmierfilmdicke am Zweiseibenprüfstand der TU München (FZG)

So ergeben sich trotz geringerer Neuölviskosität mit ZF-Ecofluid M dickere Schmierfilme. Da zusätzlich eine wirksamere Additivierung verwendet wird, konnte der Verzahnungsschutz gegenüber den beiden Referenzölen deutlich verbessert werden.

Bei der für die Kaltschaltbarkeit relevanten Temperatur von 30°C weist ZF-Ecofluid M gegenüber dem mineralischen deutlich und gegenüber dem synthetischen Referenzöl etwas geringere Viskositäten auf. Die damit verbundenen Verbesserungen des Schaltkomforts machen einen Einsatz des Öles speziell in kleinen Getrieben erst möglich, bringen aber auch in der schweren Klasse noch Vorteile. In der Kälte wurden die bewährten Werte des synthetischen Referenzöles eingestellt. Gegenüber dem mineralischen Referenzöl, das bei -40°C schon lange fest ist, ergeben sich natürlich deutliche Vorteile bezüglich Tieftemperatureinsatz und Schaltkomfort.

Die über einen großen Temperaturbereich gegenüber den Referenzölen abgesenkte Viskosität reduziert natürlich auch die Planschverluste und erhöht damit den Getriebewirkungsgrad.

Wirkungsgradvorteil

Neben den Planschverlusten spielen die lastabhängigen Verluste eine entscheidende Rolle beim Getriebewirkungsgrad. Die Planschverluste lassen sich über eine Viskositätsabsenkung wie bereits beschrieben verringern. Die lastabhängigen Verluste dagegen werden in erster Linie von den Zahnreibungszahlen beeinflusst. Geringe Zahnreibungszahlen bedeuten geringe lastabhängige Verluste. Die Zahnreibungszahlen können durch eine Kombination aus synthetischen Grundölen und geeigneten Additiven deutlich verringert werden. Auch die Viskosität beeinflusst die Zahnreibungszahlen. Abhängig von den Belastungsbedingungen (Pressung, Drehzahl, Temperatur und Oberflächenrauheit) kann eine Viskositätsabsenkung die Zahnreibungszahlen erhöhen (z.B. bei hohen Pressungen und geringen Drehzahlen) oder absenken (z.B. bei mittleren bis geringen Pressungen und höheren Drehzahlen).

Das Wirkungsgradverhalten von ZF-Ecofluid M wurde am ZF-Wirkungsgradtest bei mittleren Pressungen und Drehzahlen eingestellt. Hier werden am FZG-Verspannungsprüfstand die lastabhängigen Verluste ermittelt und daraus die Zahnreibungszahlen berechnet. Bild 4 zeigt, dass es interessante Unterschiede zwischen den Ölsorten ZF-Ecofluid M, einem teilsynthetischen und einem mineralischem Referenzöl gibt. So lassen sich die Zahnreibungszahlen beim Wechsel von Mineralöl auf ZF-Ecofluid M fast halbieren.

ZF hat Verbrauchssimulationsrechnungen durchgeführt. Hierbei wurden fahrzeugtypische Kollektive, Leerlaufverluste sowie die lastabhängigen Verluste (Zahnreibungszahlen) und verschiedene Öle berücksichtigt. Hiernach lässt sich im Durchschnitt mit ZF-Ecofluid M gegenüber Mineralöl um bis zu 1% und gegenüber einem teilsynthetischen Getriebeöl um bis zu 0,5% Kraftstoff einsparen. Das ist natürlich nicht nur ein Vorteil für die Betriebskasse, sondern auch für die Umwelt!

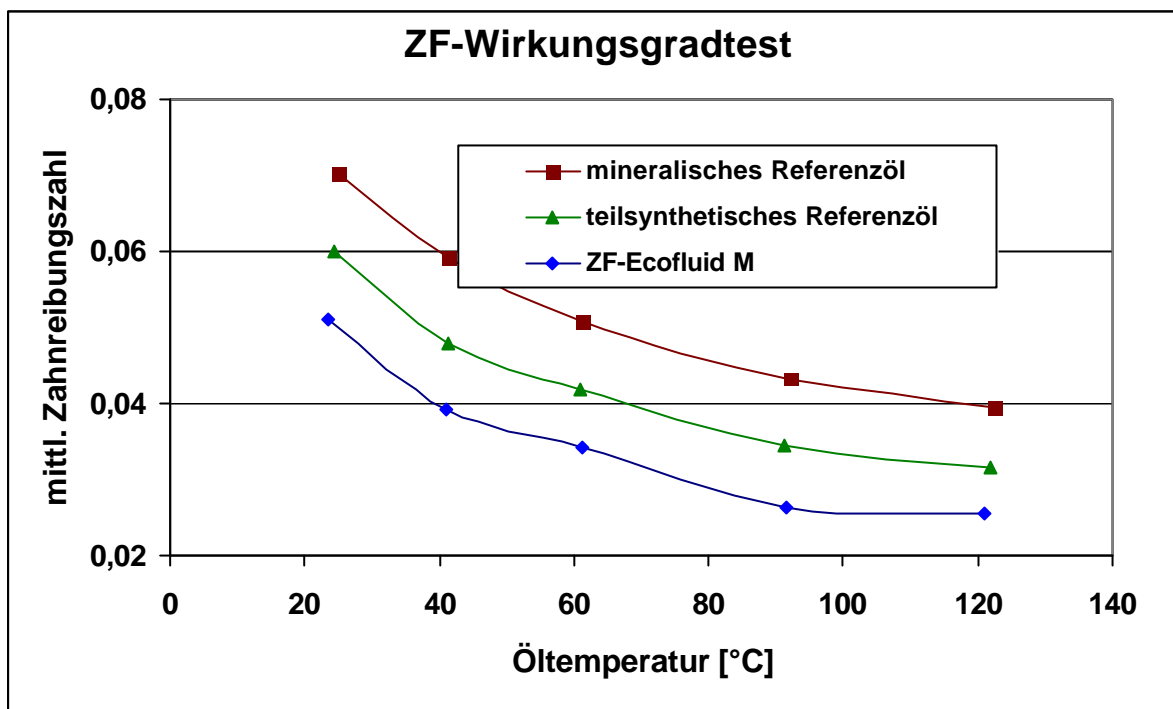


Bild 4: ZF-Ecofluid M – Zahnreibungszahlen im ZF-Wirkungsgradtest

Synchronverträglichkeit

In Nkw-Schaltgetrieben ist eine einwandfreie Funktion und lange Lebensdauer der Synchronisierungen zu gewährleisten. Betrachtet man die gesamte Palette an ZF-Nkw-Schaltgetrieben, so sind nicht nur verschiedenste Schaltbeanspruchungen, sondern auch eine Vielzahl an Baugrößen- und -formen sowie verschiedene Synchronbeläge zu berücksichtigen. ZF-Ecofluid M wurde im Laufe der Entwicklung immer wieder den verschiedensten Synchronisationstests unterzogen und dabei in Hinblick auf Reibung und Verschleiß optimiert. Dabei waren natürlich Einflüsse von reibwerterhöhenden Additiven auf andere Getriebebauteile zu berücksichtigen. Da hier Wechselwirkungen festgestellt wurden, war eine genaue Abstimmung des Gehaltes an bestimmten Additivkomponenten erforderlich. Bild 5 zeigt Ergebnisse aus dem ZF-Standard-Synchronöltest, der hier mit verdoppelter Schaltzahl durchgeführt wurde. Deutlich werden die langzeitstabilen Reibwerte mit ZF-Ecofluid M. Das Referenzöl erreicht die doppelte Schaltzahl nicht, sondern fällt zuvor durch Ratschen infolge Reibwertabfalls aus. Auch ein Beweis, dass mit ZF-Ecofluid M die Ölwechselintervalle verlängert werden können.

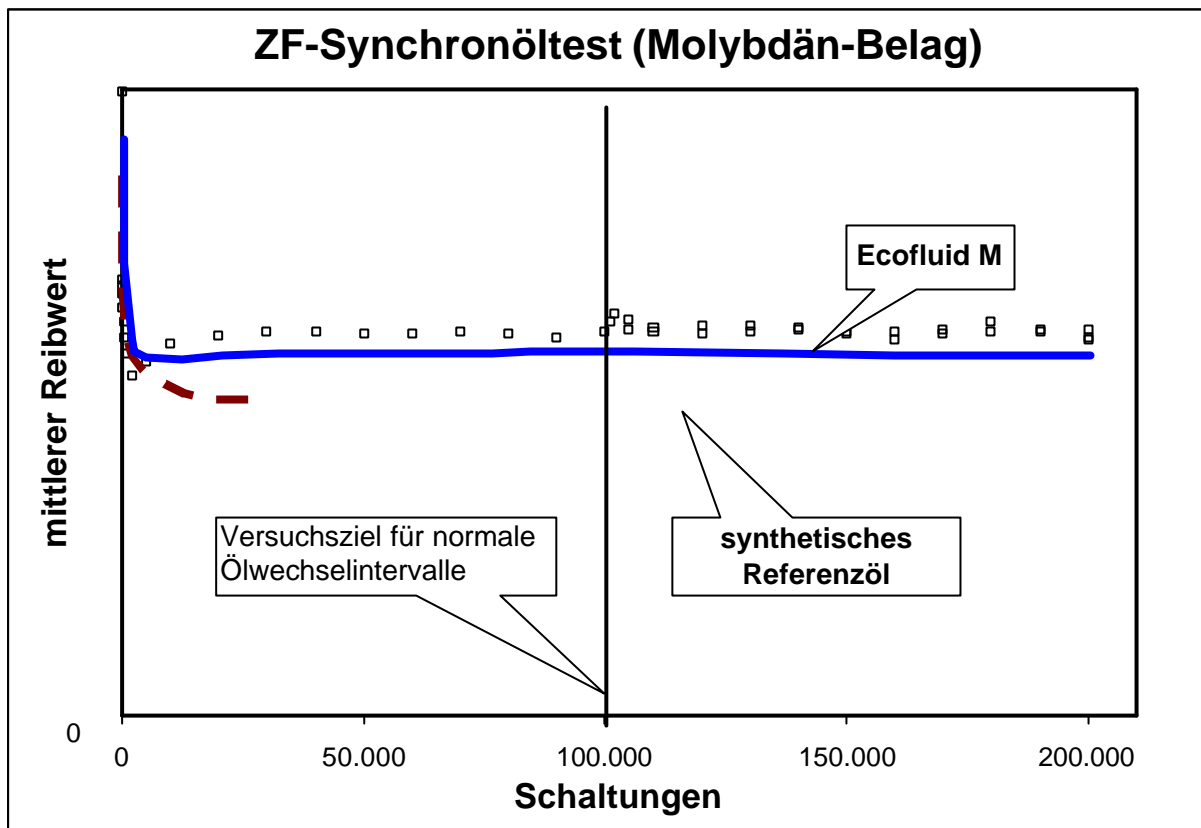


Bild 5: ZF-Ecofluid M – langzeitstabile Synchronverträglichkeit

3. ZF-Ecofluid A Plus: Ein Öl für Nkw-Lastschalt-Automatgetriebe

Das synthetische Getriebeöl ZF-Ecofluid A Plus ist bereits seit vergangem Jahr am Markt. Es wird für die Befüllung von ZF-Nkw-Lastschalt-Automatgetrieben verwendet. Ziel dieser Entwicklung war es, den erhöhten Getriebeölsumpftemperaturen infolge der Einführung der Euro 3 und Euro 4 Motoren mit erhöhten Kühlwassertemperaturen Rechnung zu tragen. ZF-Ecofluid A Plus bietet bei erhöhten Ölsumpftemperaturen hohen Verzahnungs- und Lagerschutz sowie Nkw-spezifische Reibeigenschaften in den Schaltkupplungen. Zusätzlich sind längere Ölwechselintervalle als mit bisherigen ATF möglich.

ZF-Ecofluid A Plus zeichnet sich im Wesentlichen durch folgende Merkmale aus:

- Die Erfahrung aus der Einführung von Euro 3 Motoren im Nkw-Bereich hat gezeigt, dass sich die Kühlwassertemperaturen in Zukunft deutlich erhöhen werden. Für ZF-Automatgetriebe bedeutet das eine spürbare Erhöhung der Ölsumpftemperaturen. Ohne getriebeseitige Anpassungen würde sich die Getriebelebensdauer erheblich reduzieren.

ZF-Ecofluid A Plus ist ein wichtiger Baustein, dass ZF-Ecomatgetriebe in Fahrzeugen mit Euro 3 und Euro 4 Motoren weiterhin betreiben zu können. Über die Anpassung der Ölviskosität, verbunden mit einer hochtemperaturstabilen Kombination aus Additiven und Grundölen ist es gelungen, den Getriebelebensdauerverlust infolge Temperaturerhöhung zu kompensieren. Versuche zeigen, dass sogar eine Erhöhung der Lebensdauer von Verzahnungen und Lagern möglich ist.

- ZF-Ecofluid A Plus ist auch bei hohen Temperaturen extrem alterungsstabil. Daher sind heute schon Ölwechselintervalle von 150.000 km zugelassen. Versuche zur weiteren Verlängerung laufen. Mit bisherigen Ölen waren Wechselintervalle von 30.000 km (mineralisches ATF) bis maximal 120.000 km (synthetisches ATF) möglich.
- Die spezielle Formulierung von ZF-Ecofluid A Plus machte es möglich, die Reibeigenschaften Nkw-spezifisch einzustellen und damit einen hohen Schaltkomfort über eine lange Ölgebrauchsdauer sicherzustellen.

Diese Merkmale sollen an einigen Beispielen erläutert werden.

Optimierte Viskosität

In Bild 6 sind die Viskositäten von ZF-Ecofluid A Plus im Vergleich zu einem mineralischen und einem synthetische Referenzöl dargestellt. Zusätzlich zur Neuölviskosität ist der Scherverlust, der sich bereits nach geringer Laufleistung im Getriebe einstellt, dargestellt. Ausgangspunkt für die Viskositätseinstellung vom ZF-Ecofluid A Plus war die Absicht, bei erhöhten Ölsumpftemperaturen von ca. 105°C ähnliche Betriebsviskositäten zu haben wie bei den bisher üblichen Ölsumpftemperaturen von ca. 95°C. Wichtig dabei war, dass die Viskosität über die Öllebensdauer erhalten bleibt, das Öl also sehr scherstabil ist. Dadurch ist gewährleistet, dass auch bei hohen Öltemperaturen und langen Ölwechselintervallen ausreichende Schmierfilmdicken vorliegen und so eine hohe Verzahnungs- und Lagerlebensdauer gewährleistet werden kann.

Sehr wichtig sind auch die inneren Leckageverluste in der Hydraulik, die durch die Viskositätsanpassung mit ZF-Ecofluid A Plus auch bei hohen Öltemperaturen gering sind. So ist eine ausreichende Kühlölversorgung bei erhöhten Ölsumpftemperaturen sichergestellt. Dies sichert die Lebensdauer aller Getriebekomponenten. Mit handelsüblichen ATF würden sich bei erhöhten Ölsumpftemperaturen die inneren Leckageverluste signifikant erhöhen. Durch die dadurch verringerte Kühlölversorgung würden die Öltemperaturen weiter ansteigen, ein Teufelskreis, der schließlich zum Getriebeausfall führen kann.

Durch die Erhöhung der Viskosität bei hohen Temperaturen erhöhen sich natürlich auch die Kälteviskositäten. Aufgrund der geringeren Viskositäts-Temperaturabhängigkeit synthetischer Grundöle hat ZF-Ecofluid A Plus aber immer noch Vorteile gegenüber mineralischen ATF. Somit ist ZF-Ecofluid A Plus problemlos bis -40°C einsetzbar.

	Viskosität bei - 40°C	Viskosität bei 95°C	Viskosität bei 105°C
mineral. Referenzöl: Scherverlust	50.000 mPas	7,9 mm²/s	6,4 mm ² /s ca. 30 %
synth. Referenzöl: Scherverlust	7.600 mPas	8,2 mm²/s	6,7 mm ² /s ca. 4 %
ZF Ecofluid A PLUS: Scherverlust	23.000 mPas	11,3 mm ² /s	9,1 mm²/s ca. 4 %

Bild 6: ZF-Ecofluid A Plus – optimierte Viskosität

Temperatur- und Alterungsstabilität

Die Anforderung an das ZF-Ecofluid A Plus, bei deutlich erhöhten Öldauer Temperaturen und zusätzlich verlängerten Ölwechselintervallen eingesetzt zu werden, war eine Herausforderung an die Ölentwickler. Im Labor-Oxidationsversuch wurden zahlreiche Muster auf ihre Temperatur- und Alterungsbeständigkeit hin untersucht. Ziel war es, den erheblich verschärften Test über 384 Stunden bei 170°C (normal für ATF: 192 Stunden bei 160°C) ohne signifikante thermo-oxidative Alterung zu überstehen. Der Vergleich der Glasgefäße nach dem Test in Bild 7 zeigt, dass beim ZF-Ecofluid A Plus weder Schlamm noch ein signifikanter Viskositätsanstieg auftreten. Das mineralische Referenzöl bildet dagegen deutlich Schlamm und zeigt einen erheblichen Viskositätsanstieg, beides Zeichen für eine starke thermo-oxidative Alterung des Mineralöles.

Beim Einsatz von ZF-Ecofluid A Plus bleiben die Getriebe auch bei hohen Öltemperaturen frei von Schlamm und Ölablagerungen, ein Vorteil, der nicht zuletzt der Lebensdauer von Kupplungen und Dichtungen zugute kommt. Die nachgewiesene hohe Alterungsstabilität ist natürlich Voraussetzung dafür, dass das ZF-Ecofluid A Plus über lange Zeit seiner Aufgabe

im Getriebe gerecht wird, also über lange Ölwechselintervalle hinweg eingesetzt werden kann.

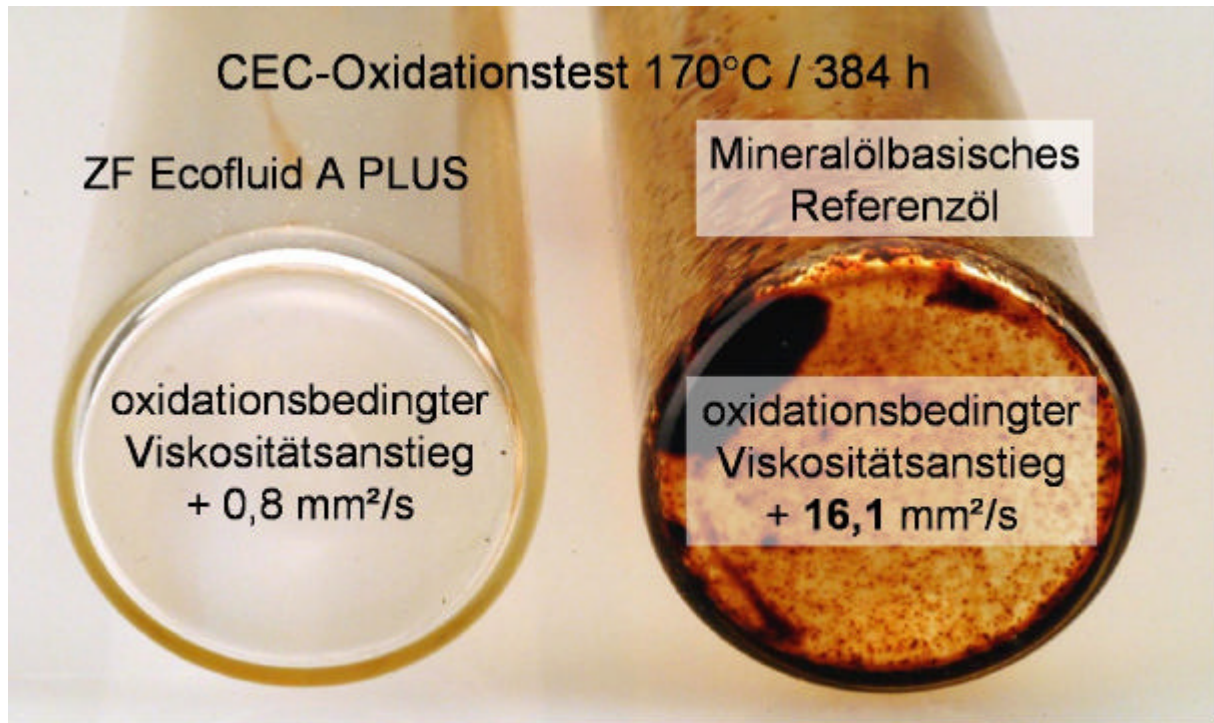


Bild 7: ZF-Ecofluid A Plus – Temperatur- und Alterungsstabilität

Reibverhalten in Kupplungen

Ein hoher Schaltkomfort in Lastschalt-Automatgetrieben erfordert einen maßgeschneiderten Reibwertverlauf in den Kupplungen. Hier spielt das Öl eine entscheidende Rolle. Wichtig sind eine bestimmte Reibwerthöhe, um die Übertragung des Drehmomentes sicherzustellen, sowie ein möglichst horizontalen Reibverlauf über einer Schaltung, um ruckfreie Schaltungen zu gewährleisten. ZF-Ecofluid A Plus bietet ein Reibverhalten, was speziell auf die Anwendung in ZF-Nkw-Automatgetrieben zugeschnitten ist. Wichtig dabei ist, dass dieses Reibverhalten über die gesamte Ölgebrauchsdauer erhalten bleibt. Der im Vorfeld bereits dargestellten hohen Alterungsbeständigkeit auch bei hohen Temperaturen und langen Zeiten ist es zu verdanken, dass sich das Reibverhalten in Kupplungen mit ZF-Ecofluid A Plus auch nach langer Ölgebrauchsdauer nicht wesentlich ändert. Das Reibverhalten wurde im ZF-Nkw-Reibwerttest überprüft. Bild 8 zeigt die mittleren dynamischen Reibwerte mit Neuöl und im Vergleich dazu mit 2 Ölalterungszuständen. Nach einem Einlauf über 3000 Schaltungen mit Neuöl wurde auf gealtertes Öl gewechselt: Mit 2 für lange Ölwechselintervalle bei hohen Öltemperaturen im Getriebe typischen Ölalterungszuständen (1000 h und 1800 h bei 150°C)

wurden dann jeweils 1000 Schaltungen gefahren. Bild 8 zeigt, dass sich die mittleren dynamischen Reibwerte der gealterten Öle nur unwesentlich vom Neuöl unterscheiden. Referenzöle zeigen in ähnlichen Versuchen deutliche Reibwertabfälle, die mit einer Verschlechterung des Schaltkomforts und schließlich Fehlfunktionen einhergehen können. Das alterungsstabile Reibverhalten von ZF-Ecofluid A Plus bietet damit bei hohen Ölsumpfdauer-temperaturen und langen Ölwechselintervallen hohen Schaltkomfort und Übertragungssicherheit der Kupplung über die Lebensdauer.

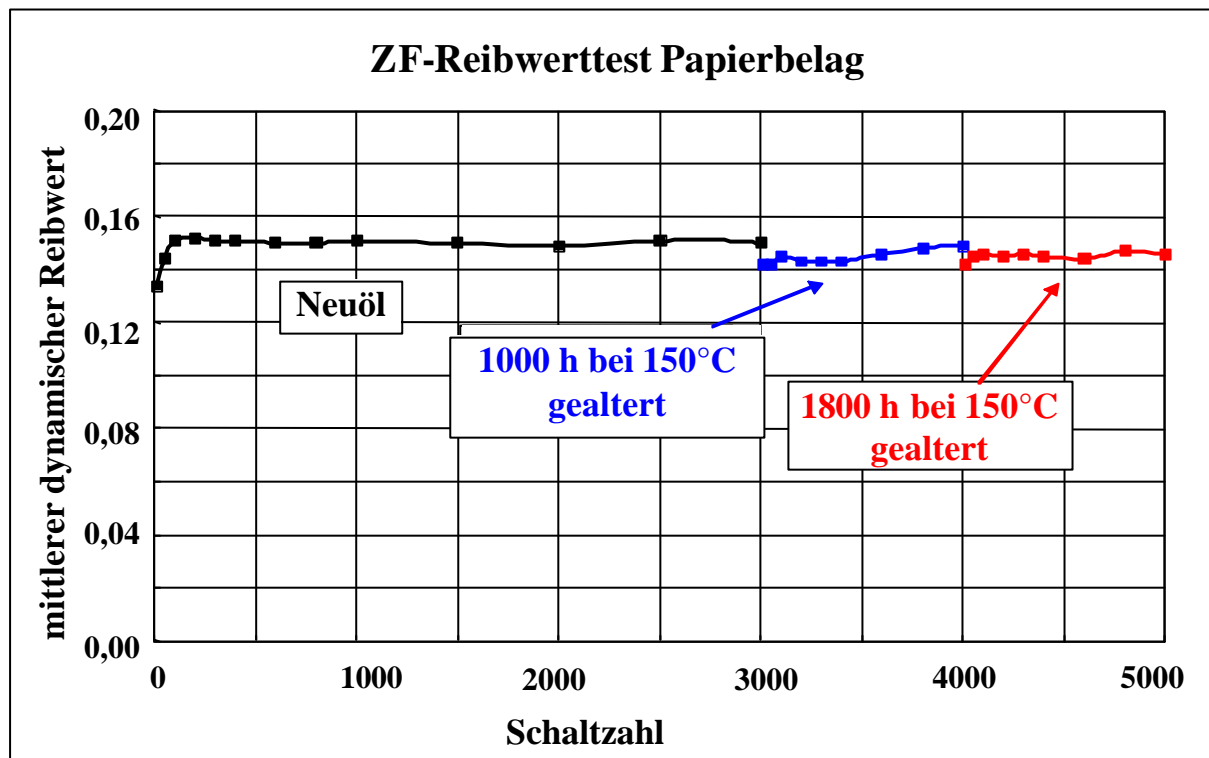


Bild 8: ZF-Ecofluid A PLUS - alterungsstabiles Reibverhalten

4. Vorteile von ZF-Ölen für den Kunden

Die nun vorgestellten maßgeschneiderten neuen Syntheseöle bieten aus ZF-Sicht zahlreiche Vorteile für den Kunden. Diese sollen im Folgenden zusammengefasst werden:

- breites Einsatzspektrum:
 - ZF-Ecofluid M kann in allen ZF-Nkw-Schaltgetrieben (VAN, Ecolite, Ecomid, Ecosplit, AS Tronic, AS Tronic_lite) eingesetzt werden.
 - ZF-Ecofluid A Plus kann in allen ZF-Nkw-Lastschat-Automatgetrieben (Ecomat-Baureihe) eingesetzt werden.

- hohe Zuverlässigkeit durch optimale Funktion und Lebensdauer der Getriebe
- Schonung von Betriebskasse und Umwelt durch
 - lange Ölwechselintervalle
 - hohen Getriebewirkungsgrad
- weltweite Verfügbarkeit über ZF-Kundendienst

Die zahlreichen Vorteile amortisieren den erhöhten Anschaffungspreis der synthetischen ZF-Öle schnell. Beispielhaft soll dies eine Wirtschaftlichkeitsrechnung in Bild 9 zeigen. Hier werden die Einsparungen, die sich durch den Einsatz von ZF-Ecofluid M gegenüber einem mineralischen Getriebeöl ergeben, dargestellt.

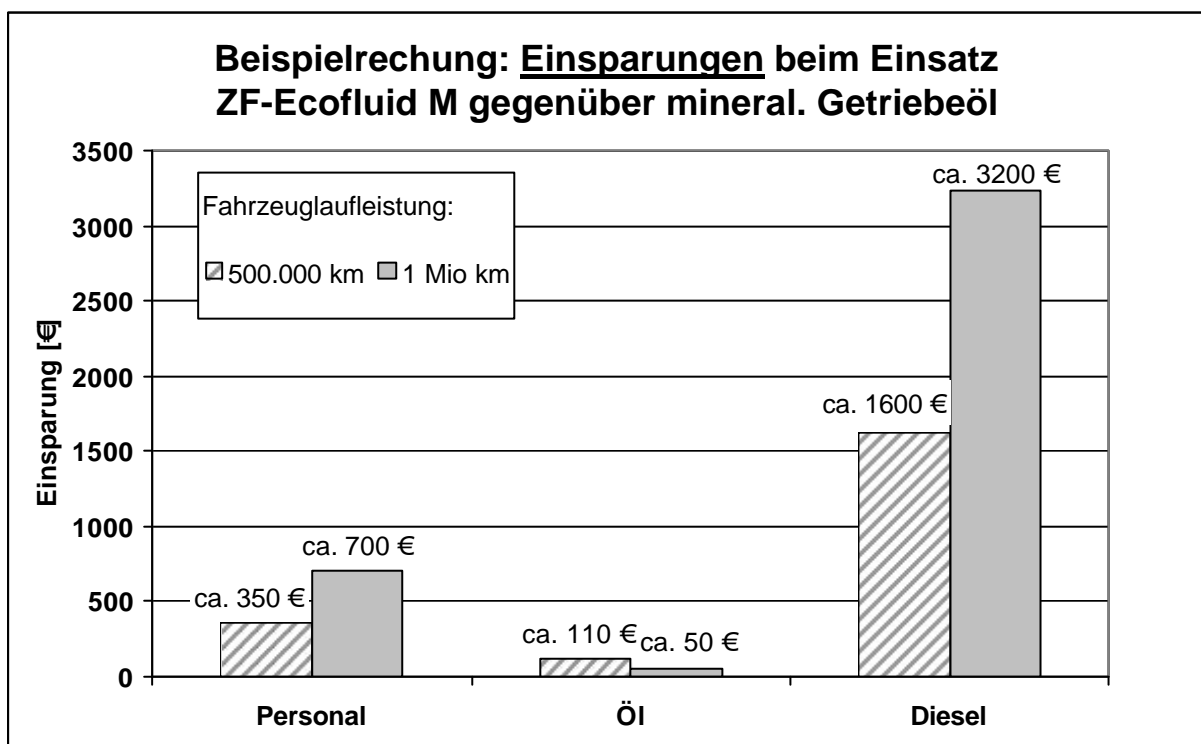


Bild 9: ZF-Ecofluid M - Wirtschaftlichkeitsrechnung

Längere Ölwechselintervalle (hier 540.000 km mit ZF-Ecofluid M gegenüber 90.000 km mit dem mineralischen Getriebeöl) ersparen die Personal- und Materialkosten für häufige Ölwechsel. Somit fällt die Bilanz mit ZF-Ecofluid M über das gesamte Fahrzeugleben am günstigsten aus.

Ein noch größeres Einsparpotential bietet der Wirkungsgradvorteil mit ZF-Ecofluid M, durch den der Kunde durchschnittlich 1% Dieselkraftstoff und damit über ein Fahrzeugleben von 1 Mio. km ca. 3200 € einsparen kann.

Weitere Einsparungen infolge verringerter Stillstandszeiten der Fahrzeuge beim Werkstattbesuch sind hierbei noch nicht berücksichtigt.

5. Zusammenfassung

Mit den maßgeschneiderten Ölen ZF-Ecofluid M und ZF-Ecofluid A Plus bietet ZF Ihren Kunden 2 hochwertige synthetische Getriebeöle mit großem Nutzen.

ZF-Ecofluid M bietet in hoch belasteten ZF-Nkw-Schaltgetrieben einen hohen Wirkungsgrad und Ölwechselintervalle bis 540.000 km.

ZF-Ecofluid A Plus bietet die Möglichkeit, ZF-Nkw-Lastschalt-Automatgetriebe in modernen Fahrzeugen mit Euro 3 und Euro 4 Motoren und den dort erhöhten Öltemperaturen einzusetzen, und dies bei Ölwechselintervallen bis 150.000 km sowie einem hohem Schaltkomfort.

Beide Öle sind auf Wunsch der Fahrzeughersteller werksbefüllt sowie für den Ölwechsel im Service weltweit über den ZF-Kundendienst erhältlich. ZF empfiehlt eine Werksbefüllung, da die Getriebe so einen optimalen Einlauf als Garant für eine lange Getriebelebensdauer erhalten.

[1] Joachim F.J, Kessler A., Kurz N., Rother F.: Praxisnahe Verzahnungstests zur Schmierstoffprüfung. Tribology and Lubrication Engineering, Technische Akademie Esslingen, 14th International Colloquium Tribology, January 13-15, 2004, Seite 430.

[2] DIN 51354: FZG-Zahnrad-Verspannungsprüfmaschine Teil 1 Allgemeine Arbeitsunterlagen, 1990