

# Der BMW Eta-Motor in USA und Europa in Serie

## The BMW Eta Engine in its American and European Versions

### Zusammenfassung

Steigende Kraftstoffkosten erfordern eine Verbrauchsoptimierung bei Fahrzeugen mit Ottomotor. Diese Vorgabe bei unveränderten Fahrleistungen zu erreichen, ist das Ziel des BMW-Eta-Konzeptes. Es beinhaltet die Nutzung des vorhandenen Potentials durch Betriebspunktverlagerung in wirkungsgradgünstigere Kennfeldbereiche. Bei dieser Motorauslegung steht nicht mehr wie bisher hohe spezifische Nennleistung, sondern hohe spezifische Arbeit bei kleinen Drehzahlen im Mittelpunkt. Die US-Version dieses Motors ist seit September 1981 in Serie. In Europa wird der Eta-Motor in diesem Frühjahr als verbrauchsoptimierte Variante im BMW-Programm vorgestellt werden.

### Summary

Increasing fuel costs require optimization of the fuel economy of vehicles equipped with gasoline engines. The main objective of the BMW Eta concept is to reach this goal without impairing driving performance. The concept includes utilization of existing potential by concentrating engine operation in ranges of the engine map that provide better efficiency. With this engine layout, the development effort is no longer aimed at high specific rated power, but instead on high mean effective pressure at low engine speeds. The U.S. version of this engine has been in production since September 1981. In Europe the Eta engine will be introduced as a fuel-economizing version in BMW's line this coming spring.

### 1 Einleitung

Ein Blick auf die Wirkungsgradkennfelder von in den letzten Jahren gebauten Serienmotoren zeigt, daß ein großes Potential weitgehend ungenutzt ist. Durch die Verlagerung der Betriebspunkte zu niedrigeren Drehzahlen und höheren Drehmomenten sind deutliche Wirkungsgradverbesserungen möglich [1].

Ein erster Schritt in diese Richtung ist der zunehmende Einsatz von Spargang-Getrieben. Diese Verbesserungsmöglichkeit ist allerdings auf diejenigen Betriebspunkte beschränkt, in denen der Betrieb sowohl im direkten als auch im Spargang möglich ist.

Eine Verlängerung der Achsübersetzung, die ja die gewünschte Betriebspunktverlagerung bei allen Geschwindigkeiten ergeben würde, führt zu erheblichen Fahr-

leistungsverschlechterungen, mit dem Problem, daß der Fahrer u. a. die neue Auslegung nicht akzeptiert und den möglichen Verbrauchsgewinn durch Benutzung des jeweils niedrigeren Ganges zu nichte macht.

Nur wenn dem Fahrer auch im unteren und mittleren Drehzahlbereich ein ausreichendes, mit der längeren Übersetzung entsprechend höheres Drehmoment, also ein der Normalauslegung gleichwertiger Zugkraftüberschuß, angeboten wird, werden die längeren Übersetzungen wirklich angenommen und ergeben nicht nur im Testverfahren, sondern auch im Straßeneinsatz Verbrauchseinsparungen.

### 2 Die Anpassung des kleinen 6-Zylinder-Motors an das Eta-Konzept

Wesentlicher Bestandteil des Eta-Konzeptes zur Erhöhung des Drehmomentes ist die Vergrößerung des Hubraumes. Im vorliegenden Fall wurde der Kolbenhub von 66 mm auf 81 mm vergrößert und die Zylinderbohrung, durch die Verwendung eines Kurbelgehäuses mit zusammengewachsenen Laufbüchsen von 80 mm auf 84 mm erweitert, Bild 1. Damit wuchs der Hubraum von 1,99 dm<sup>3</sup> auf 2,69 dm<sup>3</sup>, ohne Änderung der äußeren Abmessungen des Motors.

Ein weiterer Grundbestandteil des Eta-Konzeptes ist eine Überarbeitung des Ladungswechsels mit dem Ziel der Drehmomenten-Kippung, also eine Verlagerung des maximalen Drehmomentes zu niedrigeren Drehzahlen zu Lasten der Leistungsausbeute, da die Leistung im Vergleich zum hubraumkleineren Vergleichsmotor in Normalauslegung nicht erhöht werden muß. Zu diesem Zweck wird die Länge der Saugrohre vergrößert und eine Nockenwelle mit geänderten Steuerzeiten eingesetzt.

Durch die BMW-Eta-Auslegung wird das Drehzahlniveau erheblich abgesenkt, so daß eine mit weiteren Reibungsvorteilen verbundene Überarbeitung der Motormechanik ermöglicht wird.

Die Absenkung der Höchstdrehzahl erlaubt den Einbau von Ventildfedern mit niedrigerer Vorspannung und die Reduzierung der Lagerzahl an der Nockenwelle von 7 auf 4. Die Antriebsleistung der Nockenwelle wird so um ca. 50% reduziert.

Weitere Maßnahmen zur Reibungsoptimierung sind z. B. eine Absenkung der Kolbenringvorspannung und die Verringerung der Ölfördermenge, ermöglicht durch die Reduzierung der Nockenwellenlagerzahl.

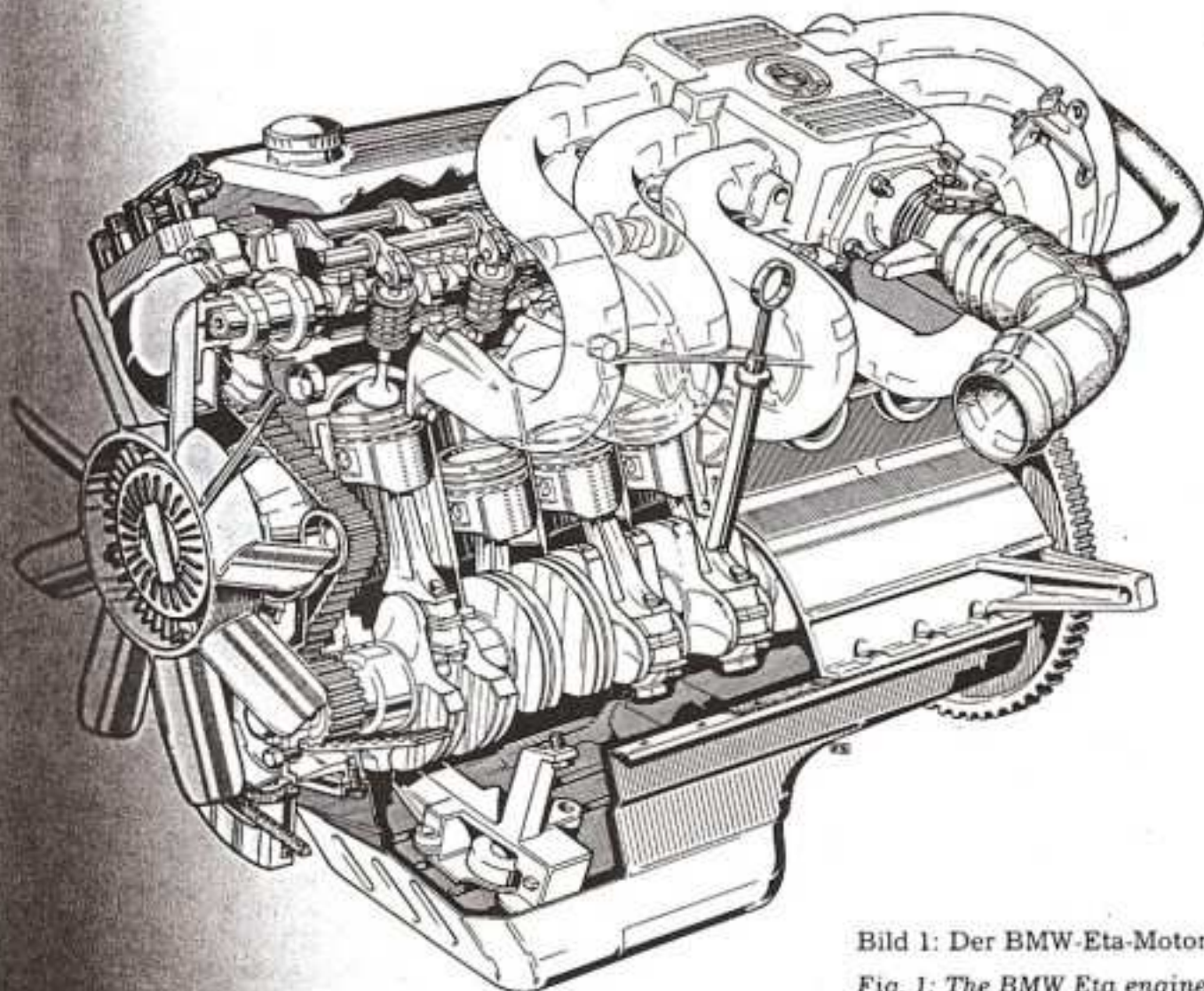


Bild 1: Der BMW-Eta-Motor  
Fig. 1: The BMW Eta engine

### 3 Der BMW-Eta-Motor für den US-Markt

Als Nachfolger für den in den USA erfolgreich eingeführten BMW mit einem 2,8-l-Motor in Normalauslegung wird seit September 1981 das Fahrzeug der mittleren BMW-Baureihe mit dem 2,7-l-Eta-Motor produziert. Mit ihm bietet BMW ein Fahrzeug an, das bei nur unwesentlich schlechteren Fahrleistungen als denen des Vorgängers mit 2,8-l-Normal-Motor eine Verbrauchersparnis von im Mittel 16% bringt und gleichzeitig die zur Zeit schärfsten Abgasgesetze der Welt erfüllt.

#### 3.1 US-spezifische Randbedingungen

Die entscheidendste Änderung gegenüber den in den meisten europäischen Staaten bestehenden Randbedingungen für die Auslegung eines Fahrzeugmotors sind die in den Vereinigten Staaten und dort speziell in Kalifornien gültigen Abgasgesetze. Personenkraftwagen, die in diesem Gebiet zum Verkauf gelangen sollen, dürfen während einer Laufzeit von 50 000 mi sehr niedrig festgelegte Abgaskonzentrationen nicht überschreiten. Diese Grenzwerte liegen ab dem Modelljahr 1983 bei den unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) bei 0,41 g/mi, bei den Kohlenmonoxiden (CO) bei 3,4 g/mi und bei Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) in Kalifornien bei 0,4 g/mi, im Bund (49 Staaten) bei 1,0 g/mi. In Anbetracht der verkauften Stückzahlen werden bei der Auslegung von BMW-Motoren für den US-Markt die jeweils schärfsten gültigen Abgasgrenzwerte zugrunde gelegt, so daß ein einheitliches Modell in allen 50 Bundesstaaten zum Verkauf angeboten wird.

Eine zweite, zunehmend an Bedeutung gewinnende Auflage zur für den Verkauf von Personenkraftwagen in den Vereinigten Staaten sind die Verbrauchsgesetze. Zum ersten dürfen einzelne Fahrzeuge vom Modelljahr abhängige Maximalverbräuche unter Androhung einer Strafsteuer nicht überschreiten. Dieser Maximalverbrauch liegt für das Modelljahr 1983 bei 19,0 mpg (12,38 l/100 km) und sinkt bis zum Modelljahr 1986 auf 22,5 mpg (10,44 l/100 km).

Zum zweiten darf die gesamte, in einem Modelljahr, verkaufte Fahrzeugflotte einen vom Modelljahr abhängigen Verbrauch nicht überschreiten. Dieser Flottenverbrauch sinkt in den nächsten drei Jahren von heute 26,0 mpg (9,05 l/100 km) auf 27,5 mpg (8,55 l/100 km) für 1985.

Neben der Abgas- und Verbrauchsoptimierung bestehen in Kalifornien Wartungsintervall-Vorschriften, in denen nicht nur die minimal zulässigen Abstände zwischen den einzelnen Wartungen, sondern auch die dabei erlaubten Arbeiten genau definiert sind. Die Vorschriften beschränken sich dabei auf abgasrelevante Bauteile wie Zündkerzen, Luftfilter, Ventilspielereinstellung u. ä.

Ein weiterer Eckpunkt bei der Abstimmung

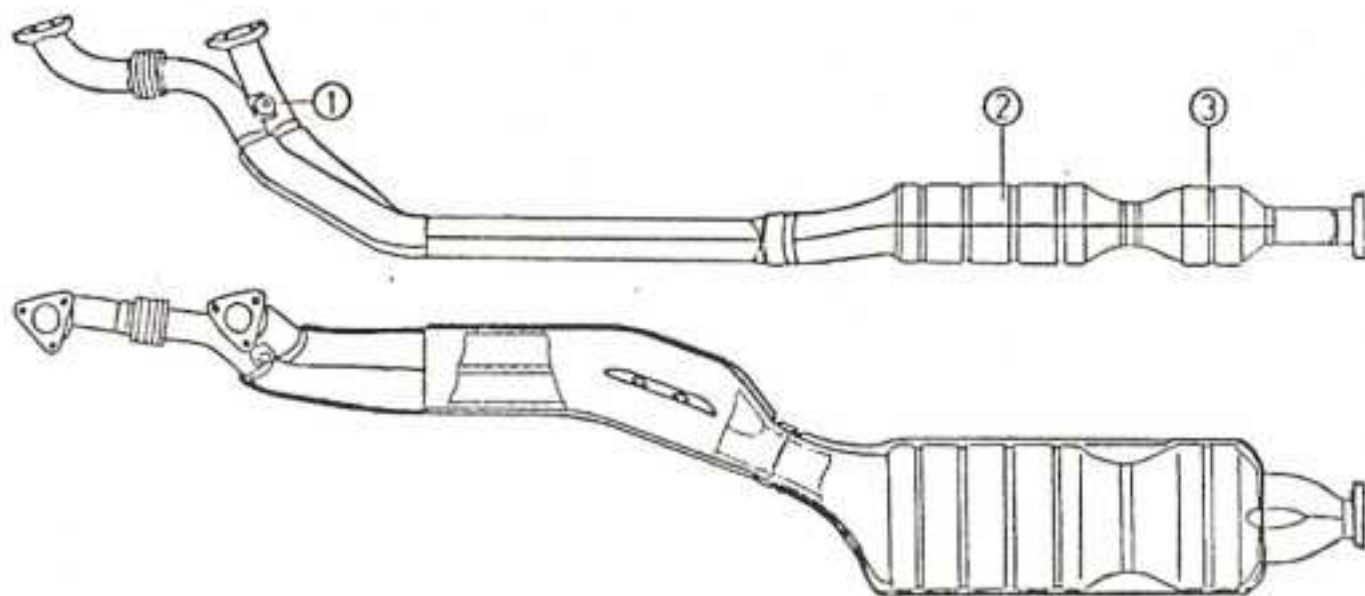


Bild 2: Die Unterflur-Katalysator-Anlage des Eta-US-Motors mit  $\lambda$ -Sonden Einbaustelle (1) und drei ovalen Monolithen in den Längen 2×4,5" (2) + 3,15" (3)

Fig. 2: Underfloor catalytic converter of Eta U.S. engine with  $\lambda$ -sensor location (1) and three oval monoliths, two of which are 4.5" long and located at (2) and one 3.15" in length at (3)

eines für die USA vorgesehenen Motors ist die Berücksichtigung der niedrigen Oktanzahl und des speziellen Siedeverlaufes des dort vorhandenen bleifreien Kraftstoffes.

Außerdem ist bei den Fahrzeugen für den US-Markt, aufgrund der geographischen Lage und der Nord-Süd-Ausdehnung der Vereinigten Staaten, eine Eignung für tropische als auch für extrem kalte Witterungsverhältnisse zu berücksichtigen. Die nach den USA gelieferten Fahrzeuge müssen die sonst üblichen Tropen- oder Nordland-Ausführungen in einem Modell vereinen.

#### 3.2 Die Technik des US-Motors

Die im vorhergehenden beschriebenen US-spezifischen Randbedingungen erfordern Änderungen am gesamten Fahrzeug. Hier soll jedoch nur auf den Motor und seine Nebenaggregate eingegangen werden.

##### 3.2.1 Das Abgasnachbehandlungssystem

Die US-Abgabegesetze erzwingen im Verein mit den Verbrauchsgesetzen ein möglichst verbrauchsneutrales Abgasnachbehandlungssystem. Dabei bietet sich das Konzept mit Lambda-Regelung und Selektivkatalysator an. Die im Laufe der letzten Jahre bei BMW gewonnenen Erfahrungen machen es möglich, durch Optimierung der Bestandteile, die heute gültigen Abgasgrenzwerte mit gutem Sicherheitsabstand zu unterschreiten.

Der Katalysator des Fahrzeuges mit dem BMW-Eta-Motor ist als Unterflur-Katalysator ausgeführt. Es werden dabei Keramikträger mit 400 Zellen pro in<sup>2</sup> mit einem Querschnitt von 3,18" × 6,68" (80,8 mm × 169,6 mm) verwendet. Pro Katalysator werden drei Keramikträger verbaut, wobei die beiden ersten jeweils 4,5" (114,3 mm) und der letzte 3,15" (80 mm) lang ist. Sie sind mit einer Platin/Rhodium-Beschichtung im Verhältnis 5:1 und einer Beladung von 50 g/ft<sup>3</sup> versehen, d. h. es kommen etwa 5,4 g Platin und 1,08 g Rhodium zum Einsatz. Um einen Bypass der ungereinigten Abgase um die Monolithen

zu vermeiden, ist jeder mit einem speziellen Dichtring gegen das Katalysator-Gehäuse abgedichtet.

Eine Wärmeisolierung des Katalysator-Gehäuses gewährleistet eine in weiten Bereichen optimale Betriebstemperatur der katalytisch beschichteten Keramikträger, Bild 2.

Das zweite charakteristische Bauteil dieses Abgaskonzeptes, die Lambda-Sonde, ist bei dem BMW-Eta-Motor motornah eingebaut. Sie sitzt in einer Übersprechstelle im Hosenrohr der Auspuffanlage kurz hinter dem Auspuffkrümmer für die Zylinder 4 bis 6. Der motornaher Einbau vereint den Vorteil der schnellen Erwärmung der Lambda-Sonde nach dem Kaltstart mit einer kurzen Totzeit zwischen Einspritzventil und Lambda-Sonde. Beide Punkte sind die Voraussetzung für die optimale Nutzung der Möglichkeiten des Katalysators.

Durch den Einsatz der digitalen Motorelektronik ist es möglich, die Lambda-Regelung durch ein last- und drehzahlabhängiges Kennfeld den Erfordernissen des jeweiligen Betriebspunktes genau anzupassen. Nicht zuletzt ist es dadurch möglich durch große Gemischschwankungen hervorgerufene Fahrfehler zu vermeiden.

##### 3.2.2 Weitere Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung

Neben den konzeptbedingten Verbrauchsvorteilen [1] wurde bei der Entwicklung des Motors versucht, weitere Möglichkeiten zur Verbrauchseinsparung zu nutzen.

Die bereits bei der kennfeldgesteuerten Lambda-Regelung angesprochene Verwendung der digitalen Motorelektronik eröffnet die Möglichkeit, die optimalen Zündwinkel in einem last- und drehzahlgesteuerten Kennfeld zu programmieren. Dieses Zündkennfeld erlaubt es weiterhin, der Klopfgrenze gezielt auszuweichen, und ermöglicht damit ein für bleifreien Kraftstoff hohes Verdichtungsverhältnis von 9,0:1. Dies ist besonders deshalb von Bedeutung, da durch die für die

Eta-Konzept typische Betriebspunktverlagerung zu hohen Lasten der Motor bei einem hohen Verdichtungsverhältnis nahe an der Klopfgrenze betrieben wird. Eine liniengesteuerte Zündung kann in diesen Bereichen keinen verbrauchsoptimalen Zündwinkel liefern.

Zur weiteren Verbrauchsverbesserung wurde die Kraftstoffabschaltung im Schubtrieb weiter entwickelt. Die Kraftstoffeinspritzung setzt bei diesem Eta-Motor erst bei 960 1/min wieder ein. Diese niedrige Drehzahl empfiehlt sich durch das gesamte niedrige Drehzahl-Niveau des Eta-Motors.

Parallel zur Absenkung des Drehzahl-Niveaus wurde auch die Leerlauf-Drehzahl bei betriebswarmem Motor auf 700 1/min gesenkt. Da diese Drehzahl, um die Funktion der Nebenaggregate wie Lichtmaschine und Hydraulikpumpe der Servolenkung zu gewährleisten, auch bei belastetem Motor nicht unterschritten werden darf, wurde eine Leerlauf-Drehzahl-Regelung der Firma VDO eingesetzt. Bei dieser Leerlauf-Drehzahl-Regelung liegt ein elektromagnetisch betätigtes Kolbensteilglied im Bypass zur Drosselklappe, welches bei Belastung des Motors oder anderen Störungen den vom normalen Betrieb abweichenden Leerlauf-Luftbedarf durch Variation des Bypass-Querschnittes Rechnung trägt und damit die Leerlauf-Drehzahl konstant hält. Als Korrekturgröße dient dabei das Drehzahl-Signal für die digitale Motorelektronik.

### 3.2.3 Anpassung an vorgeschriebene Wartungsintervalle

Die für Kalifornien gültigen Wartungsvorschriften erfordern im vorliegenden Fall keine besonderen Maßnahmen. Durch die im Grundkonzept enthaltene digitale Motorelektronik mit Lambda-Regelung ist der BMW-Eta-Motor bei der Zündeneinstellung völlig und bei der Gemischeinstellung weitgehend wartungsfrei. Luft- und Ölfilter der Motoren für den europäischen Markt genügen bei normaler Beanspruchung auch den Anforderungen durch die kalifornischen Vorschriften. Durch die konstruktive Gestaltung des Zylinderkopfes ist die Veränderung des Ventilspiels über der Laufzeit so gering, daß ein Einsatz eines hydraulischen Ventilspielausgleiches nicht nötig ist.

Allein die Zündkerzen erfordern eine besondere Lösung. Um den Elektroden-Abbrand während der vorgeschriebenen 30 000 Meilen in zulässigen Grenzen zu halten, werden Zündkerzen mit Silber-Elektrode eingesetzt.

### 3.2.4 Anpassung an die klimatischen Verhältnisse

Da die USA praktisch alle Klimazonen abdecken, ist es erforderlich, bei der Erprobung eines neuen Motors für diesen Markt einen hohen Aufwand zu treiben.

Der durch das niedrige Drehzahlniveau geringe Kühlleistungsbedarf des Motors

erübrigt die Verwendung eines besonders großen Kühlers oder eines Tropenlüfters für die heißen Gebiete. Um einen einwandfreien Lauf des Motors auch bei hohen Außentemperaturen zu gewährleisten, wird zum einen eine Frischluft-Ansaugung durch die Scheinwerferverkleidung verwendet und zum anderen, zur Vermeidung von Dampfblasen im Kraftstoffsystem, eine Kraftstoff-Vorförderpumpe im Tank eingebaut.

Der Betrieb in den kalten Gebieten der Vereinigten Staaten erfordert keine wesentlichen Änderungen gegenüber einem normal ausgelegten Motor. Allein eine etwas größere Batterie ermöglicht einwandfreie Starts bis  $-35^{\circ}\text{C}$ . Bei Verwendung eines sog. „block-heaters“ ist ein einwandfreier Betrieb bis  $-42^{\circ}\text{C}$  gewährleistet.

### 3.3 Ergebnisse

Die in der Einleitung angesprochenen Abgasgrenzwerte werden auch bei Serienfahrzeugen mit überraschend großem Sicherheitsabstand unterschritten, was aufgrund der erreichten Unterschreitung der schärfsten bisher bekannten Abgasgesetze erwähnt werden sollte.

Die bei der Typprüfung erreichten Verbrauchswerte bestätigen den Verbrauchsvorteil, den das Eta-Konzept bietet. So erreichte die Handschalt-Version im City-Test 21,7 mpg gegenüber 18,1 mpg des Vorgängers, was einer Verbesserung von 20% entspricht. Im Highway-Test wurden 32,3 mpg gegenüber 30,2 mpg erreicht, eine Verbesserung von 7%. Daraus ergibt sich im Misch-Verbrauch ein Wert von 25,5 mpg gegenüber 22,1 mpg beim Vorgänger, also insgesamt ein Verbrauchsgewinn von 15%.

Der typisierte Verbrauch für Fahrzeuge mit Automatikgetriebe erreicht folgende Werte: im City-Test 21,4 mpg gegenüber 18,3 mpg, also eine Verbesserung von 17% und im Highway-Test 28,5 mpg gegenüber 24,3 mpg, was ebenfalls einer Verbesserung von 17% entspricht. Die daraus resultierenden Misch-Verbräuche belaufen sich auf 24,1 mpg anstatt 20,6 mpg, insgesamt ein Unterschied von 17%.

## 4 Der BMW-Eta-Motor für den europäischen Markt

War beim Eta-Motor für den US-Markt die Ablösung des BMW mit 2,8-l-Motor das Entwicklungsziel, so sollte mit dem Eta-ECE-Motor eine Alternative zum leistungsgleichen 2,0-l-Motor geschaffen werden.

Wie beim US-Motor wurde der kleine 6-Zylindermotor als Grundmotor gewählt, wobei auch beim ECE-Motor bis auf das Verdichtungsverhältnis sowohl die mechanischen Modifikationen als auch die Grundanpassung an das Eta-Konzept identisch mit den beschriebenen Änderungen am US-Motor sind.

Zugunsten besserer Fahrleistungen wurde eine kürzere Übersetzung gewählt und so das beschriebene Verbrauchspotential bewußt nicht voll ausgeschöpft. Diese Maßnahme führt zu besseren Elastizitäts- und Beschleunigungswerten im Vergleich zum Fahrzeug mit 2,0-l-Motor.

Der Verbrauchsvorteil betrug schließlich 10% gegenüber dem Vergleichsfahrzeug. Der Serienanlauf erfolgte im März 83 in der 5er-Serie.

### 4.1 Europäische Randbedingungen

Die Randbedingungen für die Auslegung eines Fahrzeugmotors in Europa sind:

- Abgasgesetz
- Geräuschvorschriften
- Verbrauch
- klimatische Bedingungen
- Wartung
- Kraftstoffqualität.

Die Abgasgrenzwerte für das Modelljahr 83 betragen nach ECE R 15/03

CO	99.0 g/Test
HC	7.6 g/Test
NOx	11.9 g/Test

Diese Grenzwerte werden mit gutem Sicherheitsabstand unterschritten.

Das Außengeräuschgesetz für das Modelljahr 83 schreibt einen Wert von 80 dB (A) vor, wobei die Messung des Geräusches während der beschleunigten Vorbeifahrt nach dem Testverfahren ISO R 362 erfolgt. Die Erfüllung bereitete erwartungsgemäß keine Schwierigkeiten.

Die Verbrauchswerte ergaben sich aus der eigenen Zielsetzung.

Die klimatischen Bedingungen in Europa wurden innerhalb der Temperaturgrenzen  $-28^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$  festgelegt. Extremere Temperaturbereiche werden durch eine Nordland- und eine Tropenausführung abgedeckt.

Die Wartungsintervalle sind ebenfalls das Ergebnis eigener Zielsetzung. Sie werden abhängig von Fahrweise und Einsatzart durch die elektronische Service-Intervallanzeige (SIA) bestimmt und liegen im Durchschnitt bei 11 000 km (Ölservice) bzw. 23 000 km (Inspektion).

### 4.2 Die Technik des Eta-ECE-Motors

Wie beim US-Motor erfordern die genannten Randbedingungen Änderungen am gesamten Fahrzeug im Vergleich zur leistungsgleichen konventionellen Motorisierung. Auch hier soll nur auf den Motor eingegangen werden.

#### 4.2.1 Die Mechanik

In der Mechanik gibt es keine Abweichungen zum US-Modell.

#### 4.2.2 Die digitale Motorelektronik

Mit der digitalen Motorelektronik können sowohl die Zündwinkel als auch die Gemischzusammensetzung optimiert und programmiert werden.

Durch die Verwendung von bleihaltigem Superkraftstoff in Europa konnte das

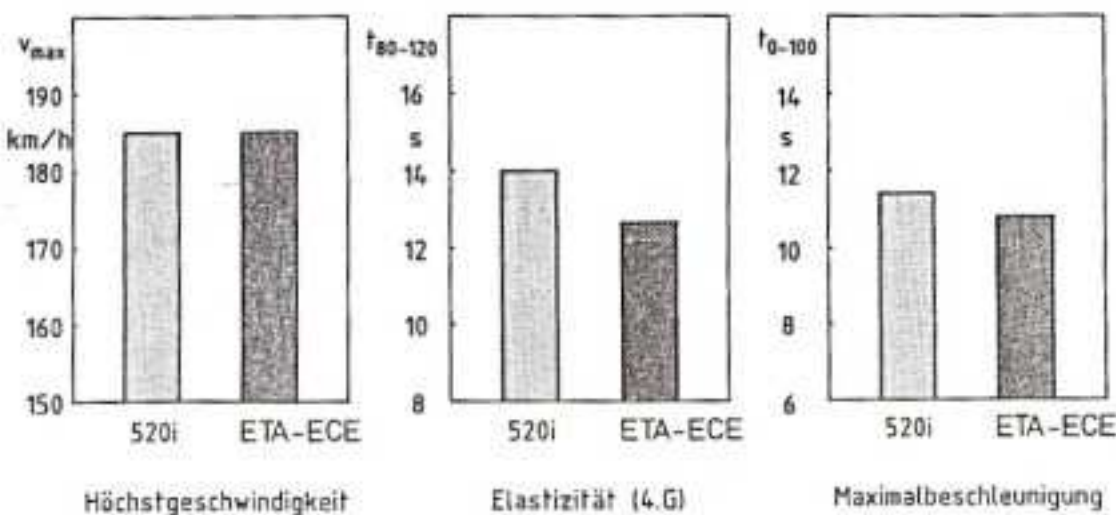


Bild 3: Fahrleistungen, Vergleich 520i/Eta-ECE-Motor  
Fig. 3: Comparison of driving performance 520i/Eta European version

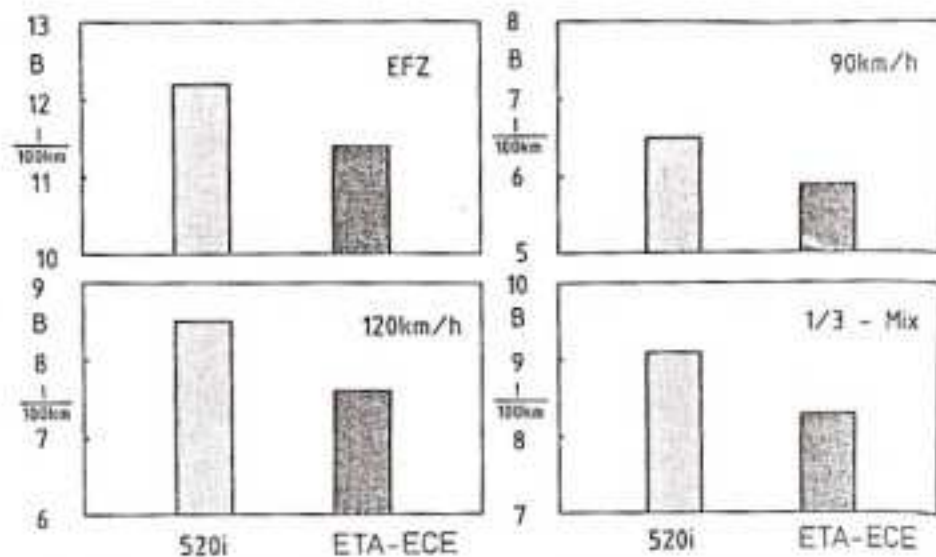


Bild 4: Kraftstoffverbrauch, Vergleich 520i/Eta-ECE-Motor  
Fig. 4: Comparison of fuel consumption 520i/Eta European version

Verdichtungsverhältnis von 9:1 auf 11:1 angehoben werden. Von großer Bedeutung ist bei diesem hohen Verdichtungsverhältnis die Möglichkeit, der Klopfgrenze gezielt auszuweichen. Neben dem Zünd- und zwei Lambda-Kennfeldern gibt es noch ein Warmlaufkennfeld, das eine exakte Optimierung des gesamten Warmlaufbereiches erlaubt, sowie ein Zündenergiekennfeld (Schließwinkelkennfeld).

Für die Handschalt- und Automatikversion wurde je ein Lambda-Kennfeld neu abgestimmt, wobei die Randbedingungen Verbrauch-, Fahrverhalten und Abgaswerte im Teillastgebiet sowie die Leistung bei Vollast waren.

Die Teillastwerte bewegen sich dabei zwischen  $\lambda$  1 und 1,2. Der Lambda-Wert beim Automatikmodell konnte im verbrauchsrelevanten Bereich aus Fahrverhaltensgründen um ca. 5% höher gewählt werden. Die Vollastwerte liegen im Mittel bei  $\lambda = 0,8$ .

Die Zündwinkel wurden unter denselben Randbedingungen abgestimmt.

4.2.3 Die Kaltstartsteuerung

Eine Kaltstartsteuerung wurde erstmals eingeführt. Der für den Kaltstart benötigte zusätzliche Kraftstoff wird nur noch über die Einspritzventile eingespritzt. Der Vorteil liegt in der Vereinfachung der Startanlage und in kürzeren Startzeiten bei gleichzeitiger Verbesserung von Abgasemissionen und Verbrauch.

4.2.4 Anhebung der Isolationsfestigkeit der Zündanlage

Bisher wird bei Zündanlagen von Serien-Ottomotoren üblicherweise eine Spannungsfestigkeit von 25 bis 27 kV erreicht.

Der Übergang von Hypalon- auf Siliconzündleitungen, geometrische Änderungen an der Hochspannungsverteilung, den Verbindungsmitteln und der Zündspule führten zu einer Anhebung der Isolationsfestigkeit auf über 30 kV.

Diese erhöhte Isolationsfestigkeit sowie die damit mögliche Anpassung des Zündspulen-Primärstromes bedeuten einen weiteren Fortschritt bei Optimierung von Verbrauch, Fahrverhalten und Abgasemissionen.

4.2.5 Die Leerlaufregelung

Erstmalig kommt bei diesem Motor eine bei BMW entwickelte pneumatische Leerlaufregelung zum Einsatz, bei der der Saugrohrdruck als Korrekturgröße dient. Auch hier ist der Zweck eine Absenkung des Drehzahl-niveaus auf 700 1/min, wobei durch Variation des Bypass-Querschnitts die Drehzahl bei Last konstant gehalten wird.

4.3 Ergebnisse

In den Bildern 3 und 4 sind Fahrleistungen und Verbrauch im Vergleich zum Modell 520i dargestellt. Bei identischer Höchstgeschwindigkeit ergeben sich für Elastizität und Beschleunigungsverhalten Vorteile für den Eta-ECE-Motor.

Der Verbrauchsvorteil zeigt sich in der Darstellung der Verbrauchswerte nach DIN

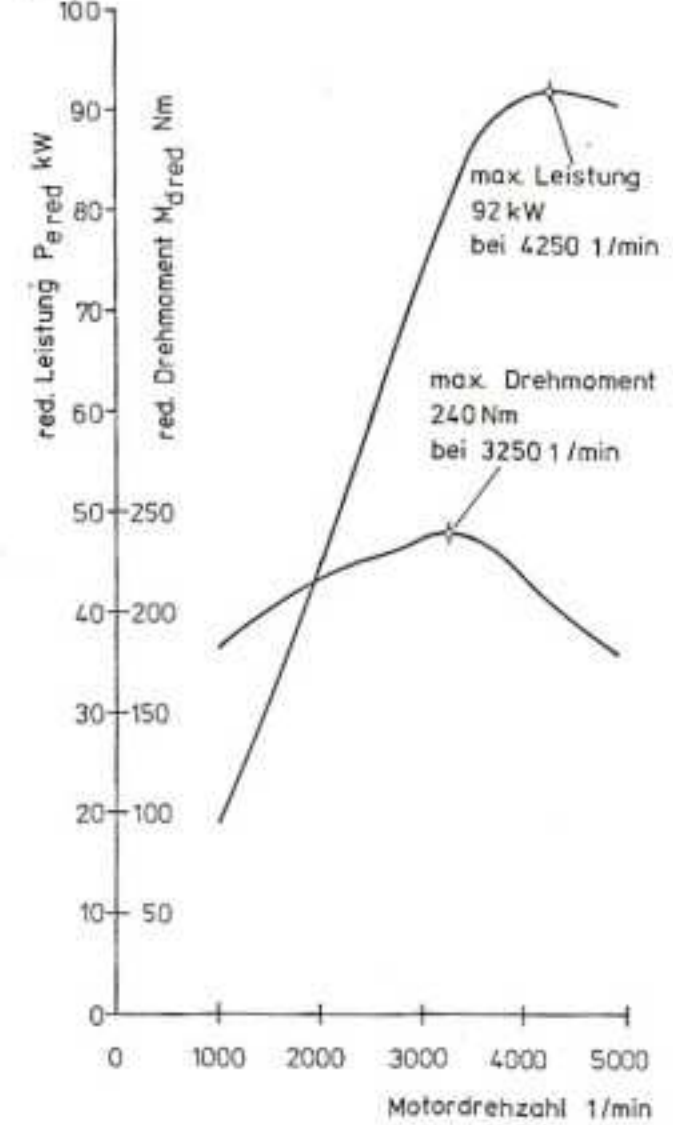


Bild 5: Vollastkurven für Leistung und Drehmoment beim BMW-Eta-ECE-Motor

Fig. 5: WOT curves plotting power and torque of the BMW Eta engine, European version

Stadtverbrauch 11,4 l/100 km  
Verbrauch bei 90 km/h 5,9 l/100 km  
Verbrauch bei 120 km/h 7,6 l/100 km

Das ergibt im Mittel einen Wert von 8,3 l/100 km gegenüber 9,1 l/100 km beim 520i.

Maximales Drehmoment und höchste Leistung liegen bei deutlich niedrigeren Drehzahlen als beim 520i

$M_{d,max} = 240$  Nm bei 3250 1/min  
 $P_{max} = 92$  kW bei 4250 1/min

5 Schlußbetrachtung

Hauptaufgabe bei der Anpassung des BMW-Eta-Motors an die länderspezifischen Bedingungen war die Einhaltung der diversen gesetzlichen Bestimmungen sowie die Senkung des Kraftstoffverbrauchs. Zündung und Gemischaufbereitung wurden beim US-Motor ohne Rücksicht auf die Rohemission des Motors im Hinblick auf minimalen Verbrauch abgestimmt.

Die Optimierung beim ECE-Motor hatte die Verknüpfung der Komponenten Ab-

Tafel 1: Technische Daten der BMW-Modelle 520i, Eta-ECE und Eta-US

Table 1: Technical data on BMW engines model 520i, Eta European version and Eta U.S. version

		520i	Eta ECE	Eta USA
Motordaten				
Hubraum	dm <sup>3</sup>	1,993	2,693	2,693
Hub/Bohrung	mm/mm	66/80	81/84	81/84
Leistung	kW	92	92	90
bei Drehzahl	1/min	5800	4250	4250
Drehmoment	Nm	170	240	230
eff. spez. Arbeit	kJ/dm <sup>3</sup>	1,07	1,12	1,07
bei Drehzahl	1/min	4000	3250	3250
Verdichtungsverhältnis	-	9,8	11,0	9,0
Kraftstoffart	-	Super	Super	Bliefre
Ventilsteuerzeiten				
Einlaß	°KW	252/112	236/104	236/104
Auslaß	°KW	252/108	236/104	236/104
Saugrohrlänge	mm	400	490	400
Saugrohrdurchmesser	mm	36	36	36
Hinterachsübersetzung	-	3,91	2,93	2,93
(Dreh./Geschw.) <sub>4.G</sub>	1/min km/h	34,0	25,5	25,5
Kraftstoffverbrauch				
ECE (1/3-Mix)	l/100km	9,1	8,3	-
CVS + Highway	mpg	-	-	25,1

gasemissionen und Fahrverhalten bei verbessertem Verbrauch und BMW-typischen Fahrleistungen zum Ziel.

Beide Modelle halten die derzeit gültigen Abgasgrenzwerte mit gutem Sicherheitsabstand ein. Begleitende reibungsvermindernde Maßnahmen und Überarbeitung der Nebenaggregate ergaben einen zusätzlichen Verbrauchsgewinn.

Eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs von 15% bis 17%, bei nur geringfügig schlechteren Fahrleistungen als beim Vorgängermodell ist das Ergebnis

beim US-Motor während beim ECE-Motor bei besseren Fahrleistungen, als sie das Vergleichsmodell bietet, eine Verbrauchssenkung von im Schnitt 10% erreicht wurde.

Die Hauptdaten beider Motoren sind in *Tafel 1* im Vergleich zum 520i dargestellt.

---

#### Literaturhinweise

[1] Hofmann, R. und E. Heck: Der BMW-Eta-Motor. ATZ 83 (1981), 12. S. 647-652.

[2] Lange, K.-H., A. Fischer, P. Klesel und F. Zinnecker: Die neuen kleinen BMW-Sechszylinder-Motoren. MTZ 38 (1977) 10, S. 445-453.

#### *Anschriften der Verfasser:*

*Dipl.-Ing. (FH) Rainer Bauer  
Wolfratshauser Str. 266  
D-8000 München 71*

*Dipl.-Ing. Heinrich Aumüller  
Wilhelm-Hey-Str. 19  
D-8000 München 60*