



Gutachten zur Bewertung der „AUDI-Akustikfunktion“ als
zulässigen oder unzulässigen Eingriff in das
Emissionsverhalten eines Fahrzeuges / Motors

Auftraggeber: Kraftfahrt-Bundesamt 24932 Flensburg am 16.05.2017

KBA-Zeichen 522 - 501597

Bearbeiter

Datum: 25.06.2017



1 Ausgangspunkt und Randbedingungen

Bei Fahrzeugen mit V6 TDI (EU 4) Motoren der Audi AG wurde in den Modelljahren 2004-2008 eine sogenannte Akustikfunktion eingesetzt. Durch die Aktivierung dieser Akustikfunktion wurde über die Einspritzstrategie und die AGR-Rate die Stickoxidemission vermindert.

Das KBA hat das Emissionsverhalten von zwei Fahrzeugen des VW-Konzerns mit einem Audi A8 3,0l TDI EU4 und einem VW Touareg 3,0l TDI EU4 untersucht. Beide Fahrzeuge wurden entsprechend NEFZ kalt mit einer aktivierten und deaktivierten Akustikfunktion gemessen und miteinander verglichen. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass grundsätzlich mit deaktivierter Akustikfunktion die Fahrzeuge eine erhöhte NO_x-Emission am Auspuff aufweisen.

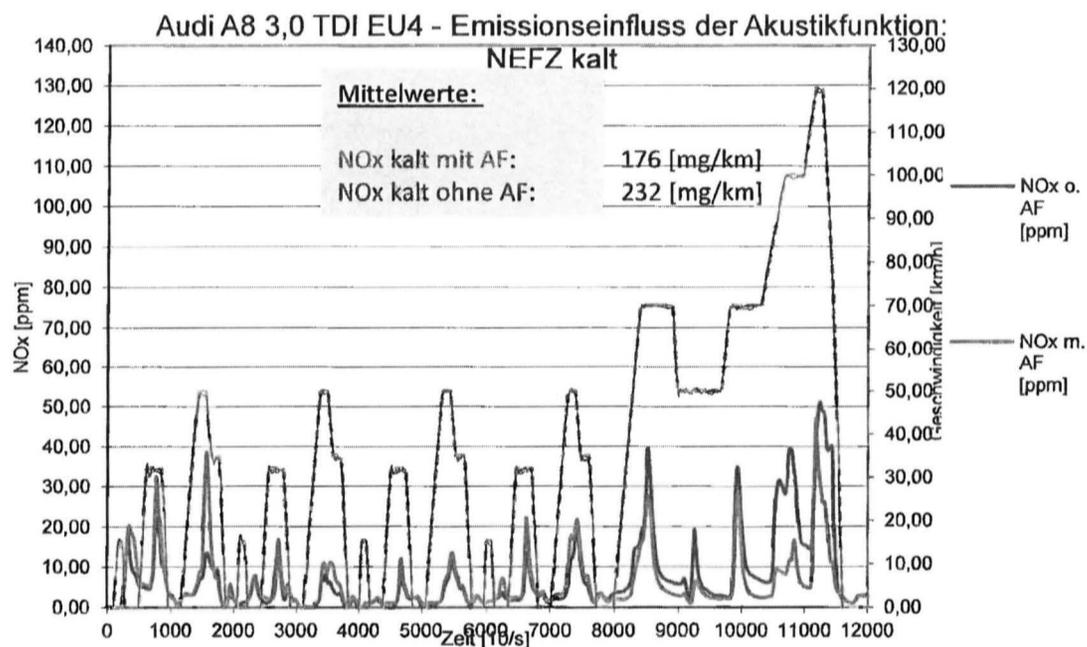


Abb. 1: NEFZ Testergebnis (Quelle KBA)

Abb. 1 zeigt, dass sich die Akustikfunktion wesentlich auf den letzten Teil des NEFZ-Testes auswirkt. Dies ist nachvollziehbar, da während der Warmlaufphase das Temperaturniveau so gering ist, dass der NO_x-Bildungsmechanismus nur langsam abläuft.

Die Messungen haben aufgezeigt, dass bei beiden Fahrzeugen durch die Akustikfunktion das Emissionsverhalten beeinflusst wird. Beim Audi A8 3,0l TDI EU4 hat sich mit deaktivierter Akustikfunktion zwar eine Erhöhung der gemessenen NO_x-Werte ergeben, dennoch wurde bei diesem Fahrzeug der NEFZ-EU4-Grenzwert eingehalten. Beim Fahrzeug VW Touareg 3,0l TDI EU4 wurde mit deaktivierter Akustikfunktion eine NO_x-Emission über dem zulässigen Grenzwert festgestellt.



DERC

Der Bedarf dieser Akustikfunktion wird von Audi mit der Notwendigkeit des Motorschutzes begründet. Als zu schützende Komponenten werden der Glühstift aus Keramik und die durch die sogenannte AGR-Versottung betroffenen Bauteile in der Argumentation herangezogen.

Das Kraftfahrt-Bundesamt hat ein Gutachten beauftragt, welches die Möglichkeit einer Prüflauererkennung durch die Akustikfunktion und den tatsächlichen Bedarf des Motorschutzes beurteilt. Für die Erstellung des Gutachtens hat das KBA den Schriftverkehr und dazugehörige Präsentationen zur Verfügung gestellt. Auf Basis dieser Unterlagen wurde nachfolgendes Gutachten erstellt.

2 Bewertung der Audi-Akustikfunktion hinsichtlich Prüflauererkennung

2.1 Aussage Audi: „Die Einstiegsparameter (Temperaturen, Drücke) sind physikalische Größen, die unabhängig von einem abgasrelevanten Zyklus operieren.“

Nach eigenen Angaben von Audi, Abb. 2, wird die Akustikfunktion aktiviert wenn die Temperaturen von Motorkühlwasser, Motorschmieröl und Kraftstoff in einem Bereich von 18 °C und 33 °C liegen. Zusätzlich muss der Umgebungsdruck über 930 mbar liegen.

Folie VW – Seite 1

Abgasmaßnahmen CR: Fahrsituationserkennung

Aktueller Stand der Software (Serienstand Audi) Fahrsituationserkennung („Akustikfunktion“)

Aktivierung:

- Erkennung von abgasrelevanten Umweltbedingungen;
 - *Wassertemperatur zwischen 17°C und 23°C und*
 - *Öltemperatur zwischen 17°C und 23°C und*
 - *Kraftstofftemperatur zwischen 17°C und 23°C und*
 - *Umgebungsdruck größer als 950 mbar*
- Aktivierung nur beim Motorstart möglich!

Deaktivierung:

- Fahrpedal größer z.B. 80% (für z.B. 2 Sekunden) *oder*
- Nach ca. 1200 Sekunden

Audi – Bedatung:

Aktivierung:

- $T_{\text{Wasser}} = 18-33^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{Öl}} = 18-33^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{Kraftstoff}} = 18-33^{\circ}\text{C}$
- $P_{\text{Umgebung}} > 930 \text{ mbar}$

Deaktivierung:

- Kein Timer, sondern Umdrehungszähler
- Umdrehungszähler appliziert zwischen 25000 und 32000 Umdrehungen

EAE

Seite 1

Date: Abgasmaßnahmen CR Krebs

Datum: 12.11.01



22.12.2015

Audi
Ver sprung durch Technik

Abb. 2: Aktivierungsparameter der Akustikfunktion (Quelle Audi)

Diese Parameter sind mit einer „und“ Bedingung in der Motorsteuerung miteinander verknüpft, Abb. 3.



Kühlmitteltemperatur

Kraftstofftemperatur

Öltemperatur

Luftdruck (Höhe)

Startfall

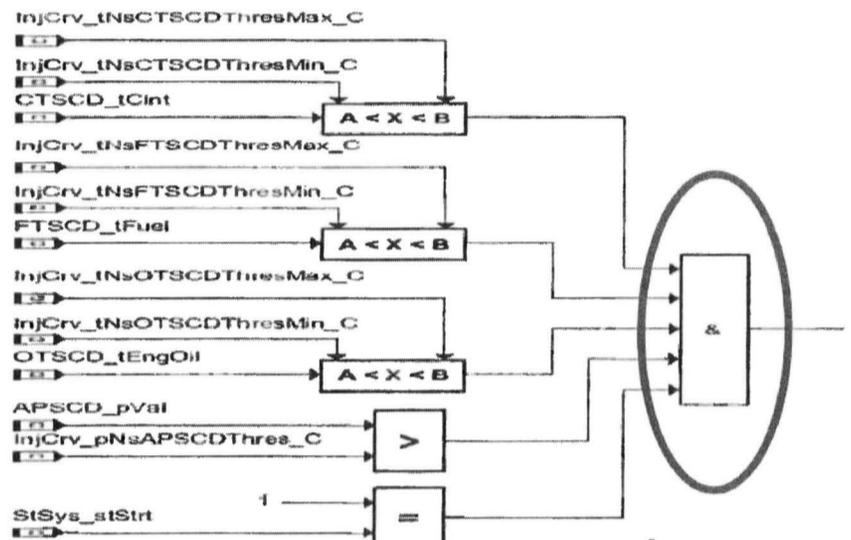


Abb. 3: Verknüpfung der Aktivierungsparameter der Akustikfunktion (Quelle Audi)

Wenn man nun die Bedingungen der Fahrzeugkonditionierung für den NEFZ-Test Typ 1, welcher den Standard darstellt, heranzieht, dann lässt sich doch eine sehr hohe Ähnlichkeit mit den Aktivierungsparametern der Akustikfunktion feststellen. Für den NEFZ-Test wird das Fahrzeug thermisch innerhalb der zulässigen Temperaturgrenzen zwischen 20 °C und 30 °C vorkonditioniert. Damit liegen die Temperaturen von Motorkühlwasser, Motorschmieröl und Kraftstoff bei Motorstart ebenfalls innerhalb dieses Temperaturfensters. Damit liegen die Aktivierungsparameter der Akustikfunktion auffällig nahe an den NEFZ-Grenzen. Berücksichtigt man nun immer auftretende Messunsicherheiten, dann liegt man mit 18 °C, also 2 °C unter der NEFZ-Minimaltemperatur, auf der sicheren Seite. Der mit 33 °C um 3 °C höhere Maximalwert ist ebenfalls nachvollziehbar. Mit höheren Temperaturniveau erhöht sich der Messfehler, so dass eine Verschiebung des oberen Aktivierungsgrenzwertes gegenüber dem unteren um 1 °C durchaus Sinn macht.

Der Parameter Umgebungsdruck mit einem Minimalwert von 930 mbar stellt keine maßgebliche Eingrenzung dar. Dieser Wert wird in normalen Höhenlagen kaum unterschritten, wie eine Aufzeichnung vom Standort München zeigt, Abb. 4. Man kann erkennen, dass über einem langen Zeitraum der Umgebungsdruck nicht an die Nähe dieses Minimalgrenzwertes kommt.



DERC

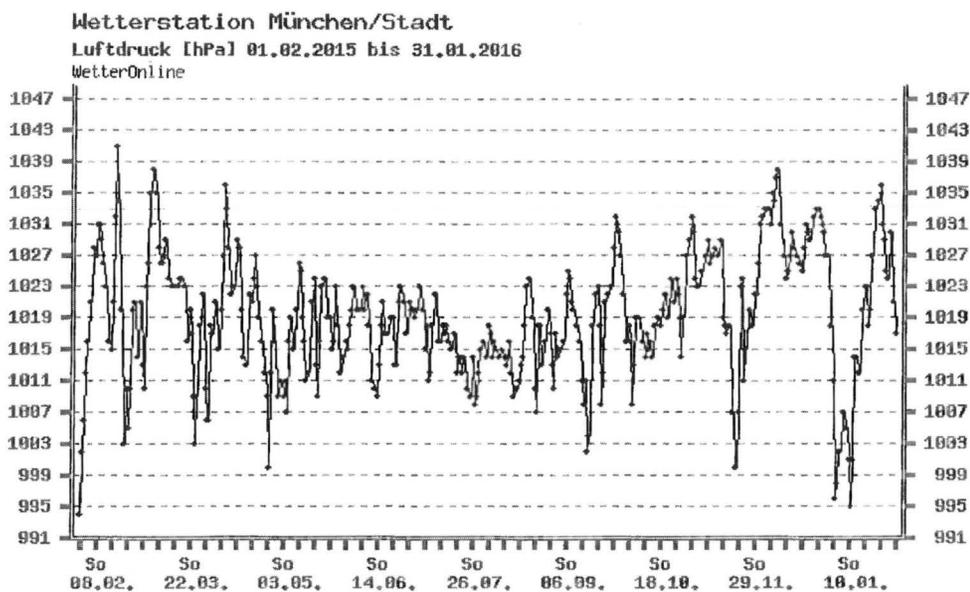


Abb. 4: Umgebungsdruck gemessen in München für das Jahr 2015 (Quelle: www.wetteronline.de)

Somit sind bei Betrachtung der Parameter für die Aktivierung der Akustikfunktion durchaus Randbedingungen gegeben, die die Funktion einer Prüflauferkennung durchaus plausibel erscheinen lassen.

2.2 Aussage Audi: „Die Deaktivierung erfolgt über einen Umdrehungszähler der an ein Energieintegral angelehnt ist“

Audi betont, dass für die Deaktivierung der Akustikfunktion kein Timer sondern ein Umdrehungszähler verwendet wird. Der Umdrehungszähler ist an einem Energieintegral angelehnt.

Das wesentliche Merkmal des NEFZ-Testes ist, dass definierte, vorgegebene Geschwindigkeitsgradienten und Perioden mit konstanter, vorgegebener Geschwindigkeit auf der Rolle gefahren werden müssen. Die Fahrzeuggeschwindigkeit liefert nach

$$v_{\text{Fahrzeug}} = \frac{n_{\text{Motor}}}{i_{\text{ges}}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{dynRad}}$$

einen unmittelbaren Zusammenhang mit der Motordrehzahl, da die augenblickliche Getriebestufe i_{ges} ebenfalls zu jedem Zeitpunkt bekannt ist bzw. von der Getriebesteuerung gewählt wird. Somit lassen sich die vorgegebenen NEFZ-Geschwindigkeiten auf die entsprechenden Motorumdrehungen umrechnen, womit ein Ende des NEFZ-Testes durch die kumulierten Umdrehungen ermittelt werden kann.

Nachdem Audi auch ein Energieintegral als Deaktivierungsparameter anspricht, wird auch diese Methode bewertet. Der Geschwindigkeitsverlauf über der Zeit des NEFZ-Test kann auch als Leistungs- bzw. Energieintegral interpretiert werden, Abb. 5.

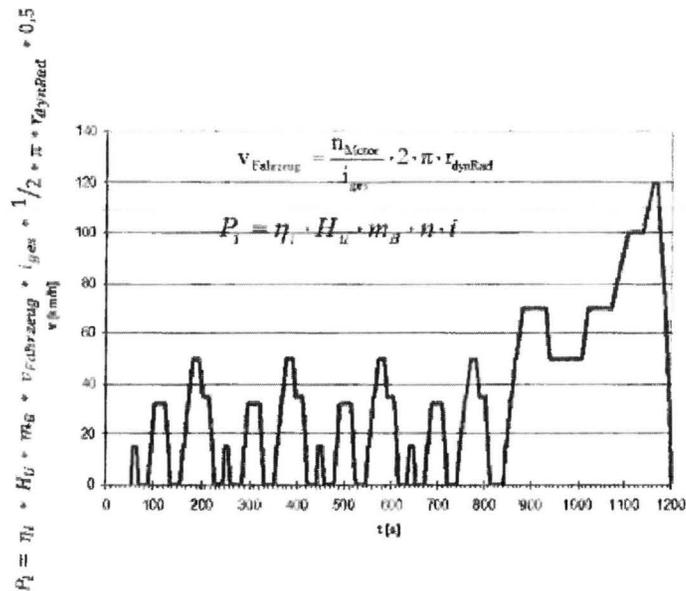


Abb. 5: NEFZ in Darstellung eines Energie- bzw. Leistungsintegrals

In diesem Fall wird jeder einzelne Geschwindigkeitspunkt des NEFZ-Tests in eine repräsentative Leistung umgerechnet. Alle dafür erforderlichen Daten sind bekannt. Man kann also vorab mit einer gegebenen Antriebsstrangkonfiguration des Energieintegral berechnen und als Wert im Steuergerät hinterlegen. Nach dem Motorstart bzw. Aktivierung der Akustikfunktion muss nun der zeitliche Verlauf der Leistung integriert werden. Wird der vorausberechnete NEFZ-Integralwert erreicht, so wird das Ende des NEFZ-Testes detektiert.

Sowohl Zählen der Umdrehungen als auch das Energieintegral stellen eine Art Timer-Funktion dar. Damit lässt sich das Ende des NEFZ-Testes mit genügender Genauigkeit bestimmen. Somit ist auch für die Deaktivierung der Akustikfunktion ein Zusammenhang mit einer Prüflauferkennung gegeben.

3 Bewertung der Anwendbarkeit der Ausnahmeregelung Motorschutz

Die Audi AG hat den Bedarf des Einsatzes der Akustikfunktion mit der Notwendigkeit eines Motorschutzes gemäß VO (EG) Nr. 715/2007 Art. 5 Absatz 2a begründet. Die Argumentation stützt sich auf mechanische Probleme an einem Glühstift aus Keramik mit Einführung des Motors V6 TDI (EU 4), auf Tickern der Piezo-Einspritzung sowie auf instabiles Brennverhalten und AGR-Verschmutzung.

3.1 Bewertung der Glühstiftprobleme auf Anwendung Motorschutz

Die Einführung dieses neuen Glühstiftes hatte das Ziel, die Vorglühzeit deutlich zu reduzieren. Dies hat einen gewissen Vorteil für den Nutzer, da nun auch der Dieselmotor sofort ohne Wartezeit gestartet werden kann.

Laut Aussage von Audi sind Probleme an dieser Komponente bereits während der Entwicklung und des Serienanlaufes aufgetreten. Somit wäre man noch vor dem SOP (start of production) in der Lage gewesen, geeignete Maßnahmen in die Wege zu leiten, da offensichtlich die Entwicklungsziele bis zu diesem Zeitpunkt nicht erreichbar waren. Deshalb wäre es konsequent gewesen, den SOP zu einem Zeitpunkt zu verschieben, an dem eine robuste und zuverlässige Lösungen für den Glühstift zur Verfügung gestanden wäre. Dies wäre sicherlich mit einem erheblichen wirtschaftlichen Verlust verbunden gewesen. Alternativ hätte man auf die bewährte Komponente Glühstift aus Stahl



DERC

zurückgreifen können. Dann hätte man zwar den Vorteil einer extrem kurzen Vorglühzeit und die mögliche Verbesserung von Marktvorteilen verloren, der Einsatz einer Akustikfunktion gemäß der Begründung von Audi wäre jedoch nicht erforderlich gewesen.

Somit kann Motorschutz für den nicht ausreichend entwickelten Glühstift nicht angewendet werden. Dies wäre ein allzu weite Auslegung von Motorschutz und würde dann auch jedem Entwicklungsproblem Tür und Tor öffnen.

3.2 Bewertung Injektor-Tickern auf Anwendung Motorschutz

Eine weitere Begründung der Akustikfunktion wird mit einem auffälligen Ticker-Geräusch der Piezo-Injektoren herangezogen. Die Einführung der Piezo-Injektoren lässt eine häufigere und exaktere Kraftstoff-Zudosierung zu. Diese Eigenschaften ermöglichen verbesserte Emissionswerte bei einem akzeptablen Verbrauch. Damit ist die Einführung der Piezo-Injektoren eine Maßnahme der Emissionsverbesserung. Eine Umsetzung ist aber nur dann gerechtfertigt, wenn das Produkt, in diesem Fall die Piezoinjektoren im Zusammenwirken mit den Verbrennungseigenschaften des Motors, einen genügend hohen Reifegrad erreicht hat. Dies war offensichtlich im vorliegenden Fall gemäß Auskunft von Audi nicht der Fall. Im Falle der Piezo-Einspritzung wäre also ebenfalls als Alternative der Einsatz herkömmlicher Magnet-Injektion möglich gewesen. In beiden Fällen (Glühstift und Piezo-Injektoren) wäre eine längere Gesamtentwicklungszeit wegen der erneuten Einspritzanpassung erforderlich geworden, wodurch sich dann auch die Produkterstellungskosten erhöht hätten. Dem ist man offensichtlich aus dem Weg gegangen.

Somit kann auch in diesem Fall die Anwendung von Motorschutz nicht zugestanden werden.

3.3 Bewertung Verbrennungsinstabilitäten auf Anwendung Motorschutz

Eine Verschlechterung des Verbrennungsverhalten durch eine zu hohe rückgeführte Abgasmenge ist eine bekannte Tatsache. Somit muss während einer Entwicklungsphase selbstverständlich entschieden werden, ob die gesetzlich vorgegebenen Emissionswerte innermotorisch z.B. mit AGR oder nur mit einer Abgasnachbehandlung erreichbar sind. Hier hätte sich Audi für eine Abgasnachbehandlung entscheiden können, welche aber auch Probleme insbesondere unter dem Gesichtspunkt des damaligen Wissenstandes mit sich gebracht hätte. Möglicherweise hätte man auch einen etwas schlechteren Rundlauf des Motors in Kauf nehmen können.

In diesem Fall kann die Anwendung von Motorschutz bedingt anerkannt werden.

3.4 Bewertung Verschmutzung durch AGR auf Anwendung Motorschutz

Die Aktivierung der Akustikfunktion erfolgt zwischen 18 °C und 33 °C. Bisher haben die Hersteller und auch Audi gegenüber der Untersuchungskommission vorgetragen, dass eine Reduzierung der Abgasrückführung bei niedrigeren Temperaturen aus Verschmutzungsgründen erforderlich ist. Dies hat zum sogenannten Thermofenster geführt. Im Falle der jetzt vorliegenden Akustikfunktion wird mit demselben Argument – Verschmutzung durch AGR – Motorschutz in einem höheren Temperaturbereich gefordert. Mit 33 °C ist diese Temperatur der AGR-Reduzierung sogar deutlich höher als die Obergrenze der Thermofenster. Zieht man die Reduzierung der emissionsmindernden Maßnahmen durch das Thermofenster hinzu, dann werden die besagten Audi-Fahrzeuge im realen Fahrbetrieb nahezu immer mit erhöhten NO_x-Emissionen betrieben. Audi widerspricht sich im Vergleich zur früheren Thermofenster-Argumentation selbst.

Da der für das Aktivieren der Akustikfunktion maßgebliche Temperaturbereich höher liegt als die von Audi selbst angegebene obere Grenze für das Thermofenster ist die Argumentation nicht schlüssig und damit ist eine Anwendung von Motorschutz nicht gegeben.

4 Zusammenfassende Bewertung

Eine Aktivierung des Akustikfensters erfolgt sehr nahe an den Grenzen des zulässigen Fensters der thermischen Konditionierung eines Fahrzeuges für den NEFZ-Test Typ 1. Sogar die kleinen



DERC

Abweichungen der Grenztemperaturen nach unten und oben können mit einem Sicherheitsbeiwert erklärt werden, um Messunsicherheiten mit zu berücksichtigen. Auch für die Deaktivierung der Akustikfunktion kann unterstellt werden, dass mit dem Zählen der Umdrehungen oder der Anwendung des „NEFZ-Energieintegrals“ das Ende des NEFZ-Testes mit genügender Genauigkeit erkannt werden kann. Somit ist aus meiner Sicht die Akustikfunktion als Prüfstand- bzw. NEFZ-Test-Erkennung einzuordnen. Da sie in die Emissionsstrategie des Fahrzeuges/Motors eingreift stellt sie dann grundsätzlich eine unzulässige Funktion dar. Wenn allerdings die zulässigen Emissionsgrenzwerte auch ohne Akustikfunktion eingehalten werden, dann bewegt sich Audi aus meiner Sicht dennoch im zulässigen Bereich. Es sollte allerdings geprüft werden, ob in den Prospekten mit besonders niedrigen NOx-Werten bei den betroffenen Fahrzeugen geworben wird. Falls dies so ist und die dort angegebenen Werte mit deaktivierter Akustikfunktion überschritten werden, sollte die Untersuchungskommission mögliche Maßnahmen diskutieren.

Eine Anwendung von Bauteil- bzw. Motorschutz ist mit den von Audi vorgebrachten Argumenten nicht gegeben. Damit wird in Fällen der Grenzwertüberschreitung die Akustikfunktion als unerlaubte Abschaltvorrichtung eingestuft.

München, 25.06.2017

