Über sogenannte "Abschaltvorrichtungen" und "Thermofenster"

Liebe Leserinnen und Leser,

ein Verbrennungsmotor besteht aus mehr als tausend Einzelkomponenten. Zu den wichtigsten Bauteilen gehören mittlerweile nach Ansicht gewisser Leute mittlerweile aber nicht mehr Kolben, Kurbelwelle u.ä., sondern die sogenannten "Abschaltvorrichtungen". Es handelt sich hier wohl um einen relativ neuen Begriff. Zumindest während meiner Studienzeit gehörten derartige Bauteile nicht zum Vorlesungsinhalt, oder wurden evtl. auf andere Weise charakterisiert. Aber in fast vierzig Jahren tut sich ja schon so einiges.

Nun sind "Abschalteinrichtungen" - zumindest bei einer ersten Betrachtung - ja nichts Schlimmes. Mein Haarfön hat beispielweise eine Abschaltvorrichtung, meine Bohrmaschine ebenfalls. Droht Überlastung oder ein Hitzeschaden, schaltet sich das Gerät aus. Eigentlich eine sinnvolle Sache, die sicher auch den Geldbeutel schont.

Trotz meiner technischen Vorbildung würde ich mir auch nicht anmaßen, bei den Entwicklern dieser Funktionen zu monieren, "ob da nicht etwa zu früh abgeschaltet wird", "warum überhaupt abgeschaltet wird" oder das könnte doch sicher "besser" machen.

ABER: Für einen Diesel-Pkw müssen doch andere physikalische und chemische Gesetzmäßigkeiten gelten! Zumindest glauben und fordern dies Vertreter von NGOs, manche Politiker und vor allem auch Juristen. Auch viele Medien unterstützen mit der üblichen Begeisterung das Aufdecken der "vermeintlichen Skandale".

Ein jüngeres Beispiel fand sich am 21. Januar zum wiederholten Mal in der ARD-Sendung "Plusminus". Hier wurde dem Zuschauer in der Anmoderation zwar vollmundig "Aufklärung" versprochen, die mediale Darbietung erwies sich aber rasch wieder als Bühnenauftritt der Deutschen Umwelthilfe DUH und ihrer Mitarbeiter, siehe auch [1] und [2]. Sehr merkwürdig, dass dieser Bezug zur DUH aber zu keinem Punkt der Sendung aufgezeigt wurde.

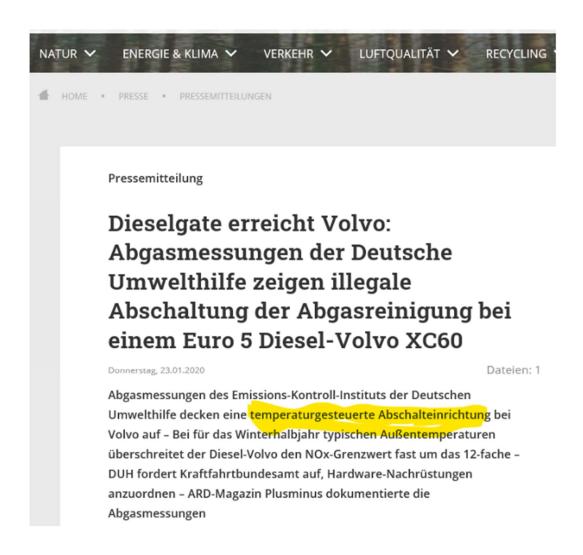


Bild 1: Aktuelle Pressemitteilung der Deutschen Umwelthilfe DUH zu "illegalen Abschaltvorrichtungen bei Volvo", siehe [1]

Natürlich werde ich nicht nur im Freundes- und Bekanntenkreis, sondern vor allem auch von Studierenden in meinen Vorlesungen angesprochen, wie die Definition einer solchen Abschaltvorrichtung" lautet, wie eine solche ausgelegt würde usw. usw..

Nach meiner Wahrnehmung ist damit sachliche Aufklärung und Beseitigung des technischen Informationsdefizits ganz dringend notwendig.

Dies ist das Ziel des heutigen Blogs, wobei ich mich in meinen Ausführungen zunächst auf Euro5 Fahrzeuge beschränken werde.

Euro 5 Pkw-Motoren haben <u>KEINE</u> <u>Abgasreinigung</u> für Stickoxide!

Man kann es nur immer wieder wiederholen. Euro 5 Motoren haben in der Regel KEINE Abgasreinigung für Stickoxide. Auch wenn viele Medien, Juristen und NGOs dies permanent falsch darstellen.

Die Stickoxide am Auspuffende kommen 1:1 aus der dieselmotorischen Verbrennung und werden NICHT - wie bspw. bei der SCR Technologie - nach Verlassen des Motors katalytisch mit Hilfe des Reduktionsmittels Ammoniak zu Stickstoff und Wasserdampf abgebaut. Das NOx-Emissionsniveau eines Euro5 Diesel-Pkw resultiert folglich aus der aktuellen Einstellung motorischer Parameter wie Einspritzzeitpunkt, Einspritzdruck, Einspritzverlauf, Brennverlauf, Abgasrückführmenge u.v.a.. Auch Umgebungsbedingungen wie bspw. die Temperatur der Verbrennungsluft und deren Feuchtigkeit bestimmen die jeweilige Emissionshöhe. Nun werden sich einige sicher fragen, "Welche Abgasreinigung wird denn eigentlich abgeschaltet, wenn gar keine existiert?"

Warum führt man eigentlich Abgase zurück?

Die Abgasrückführung AGR ist eine altbewährte Methode, um bei technischen Verbrennungen die Spitzentemperaturen abzusenken. Sie ist allerdings kein Spezifikum des Dieselmotors! In der Feuerungs- und Kraftwerkstechnik wird auch der Begriff "Rauchgasrückführung" verwendet. Speziell beim Dieselverfahren wird durch die Zumischung von Abgas zur Frischluft primär der Sauerstoffgehalt der Zylinderladung vor der Verbrennung abgesenkt. In Folge sinken die Gastemperaturen während des Verbrennungsprozesses und es bildet sich weniger thermisches Stickoxid.

Bei luftansaugenden Motoren wie dem Dieselmotor trägt zum Rückgang der Stickoxid-Emission durch AGR neben der temperaturabsenkenden Wirkung auch die **Minderung der ausgestoßenen Abgasmasse** bei, die linear mit dem Abgasgehalt der Zylinderladung abnimmt, siehe hierzu auch [5]. Bild 2 illustriert die Strömungswege dieses Verfahren nochmals und zeigt auch die benötigten Bauteile: AGR Leitungen, AGR Kühler und AGR Regelventil.

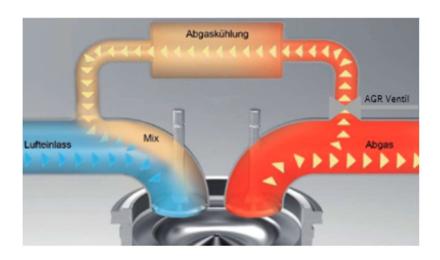


Bild 2: Schematische Darstellung der Abgasrückführung AGR (Bildquelle: Motoren. und Turbinen-Union MTU Friedrichshafen)

Kann eigentlich permanent Abgas zurückgeführt werden?

Es bedarf sicher keiner ausführlichen Erklärung, dass Wasser "nicht von allein den Berg hochfließt". D.h. für diesen "unnatürlichen" Fall müsste man "pumpen", sprich dem Medium "Wasser" eine gewisse Energie zuführen. Analog verhält es sich auch beim Gas. Das Abgas strömt nur zur solange zur Frischluft, wie der Gasdruck auf der Abgasseite höher liegt als der Gasdruck auf der Frischluftseite. Dies ist bei aufgeladenen Motoren aber nur in einem begrenzten Ausschnitt des motorischen Betriebsbereichs der Fall.

Zur Verdeutlichung dieses Sachverhalts habe ich exemplarisch ein typisches Standard-Diagramm aus einem Lehrbuch für Verbrennungsmotoren [3] gewählt, siehe Bild 3.

Es beschreibt den Betriebsbereich eines aufgeladenen Pkw-Dieselmotors. Die waagerechte Achse zeigt die Motordrehzahl, die senkrechte Achse des Diagramms den sogenannten effektiven Mitteldruck. Dieser Mitteldruck ist gleichbedeutend mit dem Drehmoment des Motors, bezogen auf sein Hubvolumen. Die obere, schwarze Kurve stellt somit die Volllast-Kurve dar, also die Betriebspunkte des maximalen Drehmoments.

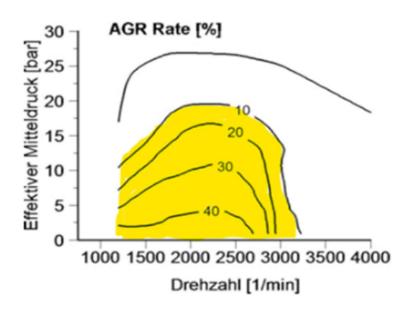


Bild 3: Typischer Betriebsbereich der Abgasrückführung im Motorkennfeld eines abgasturboaufgeladenen Dieselmotors nach [3]

Bei den Iso-Linien, die man in diesem Kennfeld sieht, handelt es sich um Linien konstanter Rückführraten. Für jeden Motor-Betriebspunkt kann man nun ablesen, wieviel Prozent des Abgases zurückgeführt wird. Zum besseren Verständnis habe ich den Teil des Betriebsbereichs noch gelb eingefärbt, in dem prinzipiell aufgrund eines vorhandenen Druckgefälles Abgas zur Frischluft zurückgeführt werden kann.

Ich habe hier ganz bewusst eine typische Darstellung aus einem von vielen Lehrbüchern und Standardwerken der Fahrzeug- und Motorentechnik ausgewählt.

Es ist seit Jahrzehnten bekannt, veröffentlicht und gehört insbesondere auch zum Lerninhalt an Berufsschulen und Hochschulen, wie die Abgasrückführung funktioniert und konstruktiv ausgeführt ist. Es gibt somit keine "bestgehüteten Geheimnisse der Fahrzeughersteller", wie viele Medien nur allzu gern - siehe exemplarisch [4] - suggerieren. Auf einer Internetseite [9] für den fachdidaktischen Unterricht im Kfz-Handwerk an Berufsschulen finden Interessierte neben vielen weiteren Informationen zur Abgasrückführung:

"Die Abgasrückführung findet nur im Teillastbereich statt, da hier der Motor besonders mager läuft. Bei Kaltstart, Warmlauf und Volllast ist eine Abgasrückführung nicht sinnvoll."

AGR wirkt also ohne evtl. Zusatzmaßnahmen wie "Pumpen" oder "Drosseln" nicht im ganzen Betriebsbereich des Motors. Die physikalischen Hintergründe wurden weiter oben bereits erläutert. Es existieren nun aber noch weitere Randbedingungen, in denen von den in Bild 3 gezeigten Werten abzuweichen ist.

Die in Bild 3 aufgezeigten AGR-Raten gelten für eine konstante Drehmoment-/Drehzahlkombination, also eine gleichbleibende Fahrgeschwindigkeit. In Abhängigkeit von der Fahrdynamik muss je nach Beschleunigungsgradient die Höhe der aktuellen AGR-Rate ggfs. begrenzt werden, damit während der Verbrennung kein Sauerstoffmangel entsteht und u.a. der Partikelausstoß stark zunimmt.

Ein weiteres Beispiel zur notwenigen Limitierung der AGR-Rate kennt man auch aus dem häuslichen Bereich, bspw. aus Badezimmer, Küche oder auch Waschküche.

An solchen Örtlichkeiten kann es zur Nebelbildung bzw. zum Ausfall von Wasser kommen, wenn sich Luftströme mit unterschiedlichen Temperaturen und Wassergehalten mischen. Ganz ähnlich verhält es sich nun in einem Motor mit Abgasrückführung. Hier treffen ein relativ kalter Frischluftstrom mit einer gewissen Feuchtigkeit und ein relativ warmer AGR-Luftstrom, der zudem noch wesentlich mehr Wasserdampf enthält als die Frischluft, aufeinander. Weshalb mehr Wasserdampf im AGR-Strom? Nun, das rückgeführte Abgas stammt ja aus der dieselmotorischen Verbrennung und der Wasserstoffanteil im Dieselkraftstoff (ca. 16 Gewichts-%) wurde dort zu Wasser(-dampf) umgesetzt. Dieses Verbrennungswasser addiert sich zur natürlichen Feuchtigkeit der Verbrennungsluft. Bei der Vermischung kann nun je nach Temperatur, Druck und Wassergehalt der beiden Stoffströme Kondensat ausfallen. Und danach Schäden verschiedenster Art hervorrufen, wie bspw. Versottung und Lochfraß. Aus diesem Grund muss auch in diesen Fällen ggfs. die rückgeführte Abgasmenge limitiert oder gar die Zumischung gänzlich unterbleiben.

Hierzu verwendet man ein sogenanntes Abgasrückführventil, das in der schematischen Darstellung in Bild 2 rechts in der AGR-Leitung zu erkennen ist. Bild 4 zeigt ein solches AGR Ventil im ausgebauten Zustand.



Bild 4: Ausgebautes Abgasrückführventil, **heute auch als "Abschalteinrichtung" deklariert** (Foto: autoservicepraxis.de, Januar 2019)

Die Schadstoffbildungen während des Verbrennungsprozesses, d.h. die dabei ablaufenden chemischen Reaktionen, unterliegen einer exponentiellen Temperaturabhängigkeit. Folglich ist auch die Bildung von Stickoxiden extrem von Temperatureinflüssen abhängig. Dies gilt insbesondere noch für Motorkonzepte, die keine nachgeschaltete katalytische Abgasreinigung haben, wie die Euro5 Motoren.

Die Stickoxid-Emissionen dieser Motoren sinken u.a. mit fallender Temperatur des Gemisches von Frischluft und Abgas im Zylinder. Und umgekehrt!

Sie sinken aber auch bspw., wenn es regnet und die Luftfeuchtigkeit zunimmt. Die Software Updates entschärfen diesen Konflikt bis zu einem gewissen Grad. Die prinzipielle Abhängigkeit des Schadstoff-Niveaus von Temperatureinflüssen bleibt aber weiterhin bestehen, wie ich exemplarisch in meinem letzten Blog, Nr. 21 in Bild 1 verdeutlich hatte.

Der Sachverhalt ist in Bild 6 nochmals für die beiden in grau dargestellten Kurven für Euro5 Fahrzeuge ersichtlich. Diese Temperaturabhängigkeit existiert aber auch bei den ersten Euro6 Entwicklungen und insbesondere auch für die von der DUH und Axel Friedrich postulierten SCR-Nachrüstlösungen, wie aus Bild 6 hervorgeht (rote bzw. blaue Kurve dort).

"Unsere Messungen belegen die Abhängigkeit der Schadstoffemissionen von der Außentemperatur. Je kälter die Außentemperaturen sind, desto höher die Abgaswerte. Dies hat keine technischen Gründe und ist unzulässig", schlussfolgert Axel Friedrich, Projektleiter des EKI.

Bild 5: Ausschnitt aus der ARD Sendung plusminus. Axel Friedrich arbeitet für die Deutsche Umwelthilfe DUH. Das Emissionskontroll-Institut EKI ist eine Einrichtung der DUH.

Insofern sind die Behauptungen von Axel Friedrich, Bild 5, nicht nur aus meiner Sicht völlig absurd.

"Denn die Systeme (= die Nachrüstsysteme, Anm. des Verf.) funktionieren dann am besten, wenn auch die Motoren am wenigsten NOx ausstoßen: bei gemütlicher Raumtemperatur." mokierte sich bspw. SZ-Redakteur Joachim Becker im März 2019, siehe [6], über die vom ADAC [8] getesteten Nachrüstlösungen der Firmen Baumot-Twintec, HJS und Oberland. Nachrüster Dr. Pley hatte sich an diesem Test schon gar nicht mehr beteiligt.

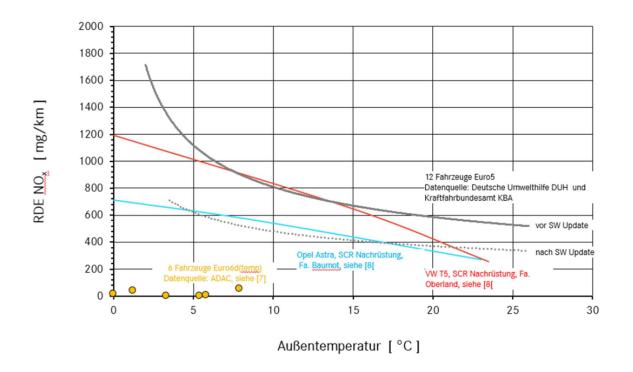


Bild 6: Einfluss der Umgebungstemperatur auf reale NOx Emissionen (Eigene Auswertung des Verfassers nach versch. Datenquellen)

Eine spürbare Entschärfung des Konflikts zwischen Stickoxid-Emission und gerade der Außenlufttemperatur trat erst ein mit den im Rahmen von Euro6d entwickelten Lösungsansätzen, wie auch Bild 6 illustriert (gelbe Symbole). Weiterhin sieht man in Bild 6 die Empfehlung der Nationalen Akademie der Wissenschaften "Leopoldina" vom April 2019 nochmals bestätigt:

"Die kürzlich vom ADAC getesteten Nachrüstsysteme erhöhen den Treibstoffverbrauch signifikant und tragen zu einer Steigerung der CO2-Emission zwischen 0,9 und 28,6 Gramm pro Kilometer bei. Somit ist die Reduktion von NO2-Emissionen durch Nachrüstsysteme vor dem Hintergrund der beschlossenen CO2-Reduktionsziele für die PKW-Flotte teuer erkauft. Hinzu kommt: Ihre Minderungswirkung lässt bei Temperaturen unter 10 Grad Celsius deutlich nach, vor allem im Stadtfahrbetrieb. Sie liegt im Bereich dessen, was allein durch wesentlich einfacher umzusetzende Software-Updates erzielt werden kann".

Quellen:

- [1] https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/dieselgate-erreicht-volvo-abgasmessungen-der-deutsche-umwe..., letzter Zugang am 11.2.2020
- [2] https://www.daserste.de/information/wirtschaft-boerse/plusminus/videos/diesel-thermofenster-video-100.html , letzter Zugang am 11.2.2020
- [3] F. Schäfer, R. van Basshuysen, *Handbuch des Verbrennungsmotors*, 8. Auflage, Springer Vieweg, ISBN 978-3-658-10901-1
- [4] https://www1.wdr.de/daserste/monitor/extras/opel-128~ cid-1006763~ compage-4.html , letzter Zugang am 17.2.2020
- [5] R. Pischinger et al. *Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine*, Springer Verlag Wien, ISBN 978-3-7091-3827-4
- [6] https://www.sueddeutsche.de/auto/diesel-nachruestung-hardware-1.4373952, letzter Zugang am 18.2.2020
- [7] https://www.adac.de/verkehr/abgas-diesel-fahrverbote/abgasnorm/test-euro-6d-temp/, letzter Zugang am 19.2.2020
- [8] https://www.adac.de/-/media/pdf/motorwelt/langfassung-schlussbericht--adac_euro5_nachrustung_alltagstest_15032019.pdf?la=de-de&hash=D9C2FEAB34C404C049910EB92CD9DDBD955F33F4, letzter Zugang am 19.2.2020
- [9] https://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/abgas/abgasrueckfuehrung.htm, letzter Zugriff am 20.2.2020