Anwenderbericht

Praktischer Einsatz der mobilen Datenerfassung CuroCon*trol*®Mx im Rahmen von RDE-Messfahrten

Teil 2: Messfahrten mit einem Fahrzeug des Typs BMW225xe iPerformance

Motivation

Die Weiterentwicklung und Zertifizierung von PKW-Abgas- und Verbrauchswerten erfolgt bislang primär auf Prüfständen. Dort lassen sich reproduzierbare Messergebnisse unter Laborbedingungen erzielen - hochpräzise und geeignet zum Vergleich mit anderen Fahrzeugen. Soweit die Theorie.

In der Praxis ist festzustellen, dass es zunehmend schwieriger wird, die auf dem Prüfstand ermittelten Kraftstoffverbräuche und Emissionen auf die Straße zu übertragen.

So ist es nur konsequent, dass der "Optimierung" auf dem Prüfstand jetzt die objektive Messung auf der Straße folgt. Gemäß EU-Beschluss tritt mit Wirkung zum 01.09.2017 das Real Driving Emissions (RDE) Verfahren in Kraft, welches die Emissionen im praktischen Fahrbetrieb ermittelt.

Nach den ersten Messfahrten mit einem Vollhybridfahrzeug des Typs VW Passat Variant GTE im November 2016 erfolgten jetzt weitere Untersuchungen mit einem Fahrzeug des Herstellers BMW.

Testfahrzeug

ElringKlinger Motortechnik GmbH (EKM) testete diesmal ein Vollhybridfahrzeug des Typs BMW225xe iPerformance. Das Fahrzeug stellte wieder CuroCon GmbH aus ihrem Fuhrpark zur Verfügung.

Fahrzeugeckdaten:
Kraftstoffverbrauch (kombiniert) 2,1-2,0l/100 km zzgl. 11,9-11,8 kWh/100 km, CO_2 kombiniert 49-46 g/km; Verbrennungsmotor 100 kW @ 4.400/min, 220 Nm @ 1.250-4.300/min; Elektromotor 65 kW @ 4.000/min; Systemleistung 165 kW, Systemdrehmoment 385 Nm; Traktionsbatterie 7,6 kWh (brutto)

Bild 1: Das Testfahrzeug BMW225xe

Messtechnische Ausrüstung

Das Testfahrzeug wurde mit einem mobilen Emissionsmessgerät (-> Portable Emission Measuring System - PEMS), einer Messbox CuroCon*trol*®Mx sowie zahlreichen Sensoren bestückt.

CuroCon*trol*®Mx dient als zentrale, mobile Echtzeit-Messwerterfassung und speichert die von PEMS, OBD-Schnittstelle, GPS und aller Sensorik bereitgestellten Daten mit Zeitstempel ab. Die spezifisch konfigurierte Messbox ermittelt darüber hinaus auch den eingelegten Gang sowie den Fahrmodus. Die Ausrüstung entspricht weitestgehend den bereits für die ersten Messfahrten mit einem VW Passat Variant GTE verwendeten Komponenten.

Bild 2: Einbau des mobilen Emissionsmessgeräts im Fahrzeugkofferraum

Bild 3: Messsystem CuroCon*trol*®Mx für das zentrale Datenmanagement

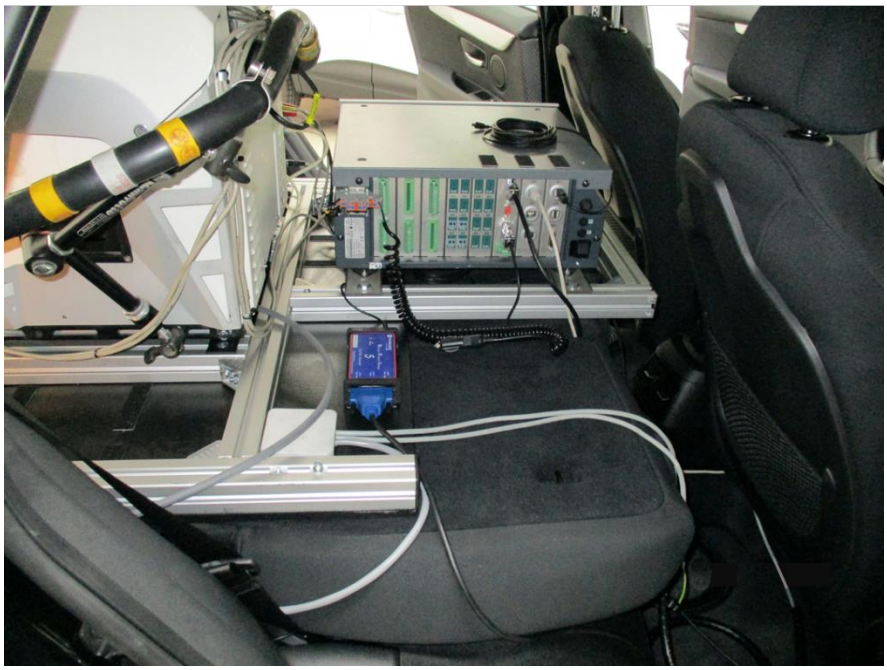

Bild 4: Schnittstellenleisten auf der Rückseite der Messbox

Fahrstrecke und Durchführung

Die Fahrstrecke beginnt bei EKM, Standort Idstein und umfasst zunächst Teil 1, bestehend aus 24 km Stadtfahrt. Hierbei werden 2 große und 2 verkürzte Stadtrunden absolviert. Es schließt sich die Überlandfahrt über Landes- und Bundesstraßen, einschließlich zweier Ortsdurchfahrten, in Richtung Norden bis zur BAB-Anschlussstelle Limburg-Süd an (Teil 2). Dort beginnt der Autobahn-Streckenabschnitt auf der A3 in Richtung Süden (Teil 3). Nach insgesamt 85,3 km endet die Messdatenaufnahme an der Autobahnabfahrt WI/Niedernhausen. Streckenabschnitte mit Geschwindigkeitsbegrenzungen auf unter 90 km/h sowie die beiden Ortsdurchfahrten wurden konform zur EU-Verordnung 2016/427 in die Messfahrt integriert.

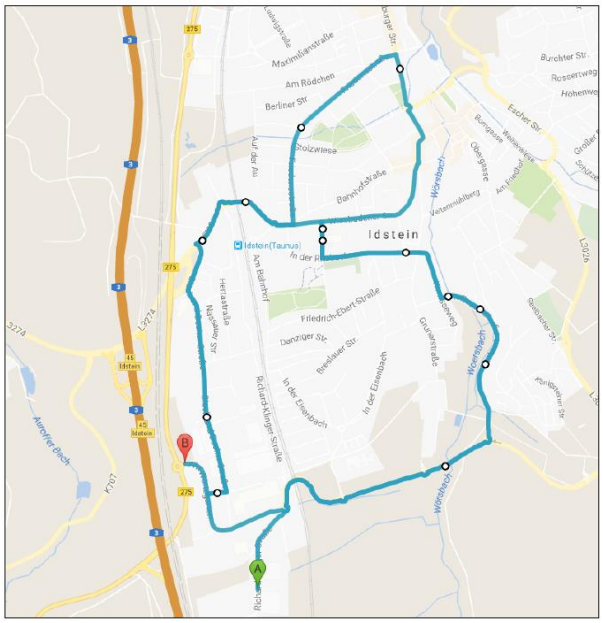

Bild 5: Streckenführung für die RDE-Messfahrten (hier: Teil 1 – Stadtabschnitt)
Die Strecke beginnt am Werkstor der ElringKlinger Motortechnik GmbH ("A")
und endet an der Auffahrt zur Bundesstraße 275 ("B")

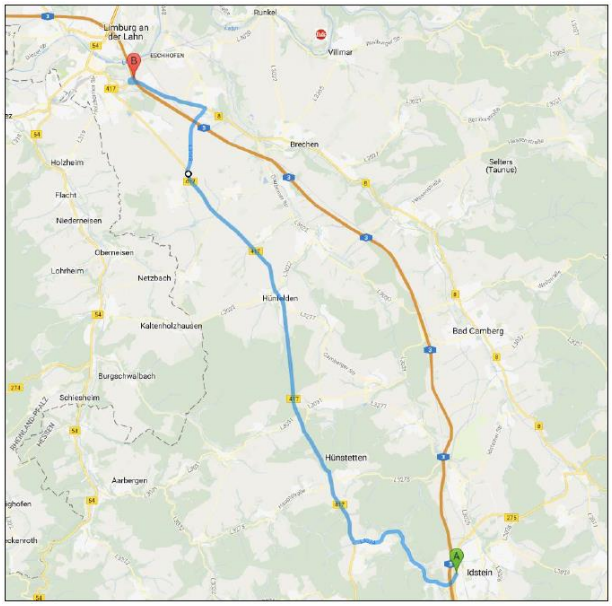

Bild 6: Streckenführung für die RDE-Messfahrten (hier: Teil 2 – Überlandabschnitt)
Die Strecke beginnt an der Auffahrt zur B275 ("A") und endet auf der B8 an der
Auffahrt zur BAB3, Anschlussstelle Limburg-Süd ("B")

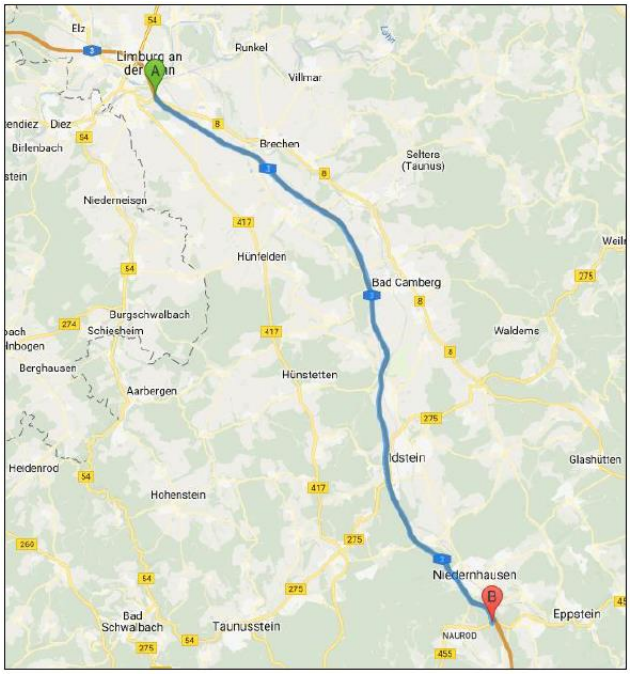

Bild 7: Streckenführung für die RDE-Messfahrten (hier: Teil 3 – Autobahnabschnitt)
Die Strecke beginnt an der Anschlussstelle Limburg-Süd zur BAB3 ("A"), Richtung Süden und endet in Höhe der Anschlussstelle WI/Niedernhausen ("B")

Die Messfahrten wurden im Zeitraum 01.04. bis 31.05.2017 jeweils an gleichen Wochentagen mit derselben Fahrzeugbesatzung und zur selben Tageszeit in allen verfügbaren Fahrmodi und Antriebseinstellungen absolviert. Die vollständige messtechnische Ausrüstung war innerhalb des Fahrzeugs platziert.

Bild 8: Einsatzbereites Testfahrzeug

Die Heckklappe wurde zwecks einfacher Führung der flexiblen Abgasleitungen vom Auspuffende zum PEMS leicht geöffnet fixiert; der Unterschied im Fahrwiderstand aus der geänderten Aerodynamik sollte im vorgegebenen Fahrprofil gering sein und wurde daher nicht weiter berücksichtigt.

Antriebseinstellungen

Der BMW225xe iPerformance verfügt über 3 sogenannte eDrive Modi sowie unterschiedliche Fahrmodi. Über diese Modi lassen sich sowohl der Einsatz des Elektromotors als auch Fahrcharakteristik und Nebenverbraucher beeinflussen. Im Folgenden werden die Besonderheiten der einzelnen Modi beschrieben.

eDrive Modi
Die folgenden 3 eDrive Modi AUTO eDrive, MAX eDrive und SAVE BATTERY stehen als elektrischer Fahrantrieb bzw. zur elektrischen Unterstützung zur Verfügung.

AUTO eDrive Modus:
In diesem Modus werden beide Antriebe kennfeldgeregelt im Hinblick auf maximale Gesamteffizienz betrieben. Im Bereich eines Ladezustands (SOC) 7%...100% wird bis 80 km/h und bei normaler Beschleunigung nur der Elektromotor eingesetzt. Darüber wird der Benzinmotor hinzugeschaltet. Bei SOC < 7% wird der Elektromotor für geringe Beschleunigung bis 20 km/h und bei Konstantfahrt bis zu 55 km/h eingesetzt. Bei SOC < 3% läuft der Verbrennungsmotor permanent.

MAX eDrive Modus:
In diesem Fahrmodus wird soweit irgend möglich der rein elektrische Antrieb ohne Zuschalten des Verbrennungsmotors genutzt. Dies erfolgt auch bei zügiger Beschleunigung (nicht bei Kickdown) und bei Konstantfahrt bis 125 km/h.

SAVE BATTERY Modus:
Durch Auswahl des SAVE BATTERY Modus kann der Fahrer die Traktionsbatterie wieder aufladen bzw. den SOC auf >= 90 % halten, um z.B. eine im Streckenverlauf geplante Stadtdurchfahrt möglichst rein elektrisch absolvieren zu können.

In jedem der 3 eDrive Modi erfolgt beim Gaswegnehmen eine sehr mäßige Rekuperation. Manuell wählbare oder automatische Rekuperationsstufen sind nicht vorhanden. Bei Betätigung des Bremspedals wird verstärkt rekuperiert und ergänzend die Betriebsbremse eingesetzt.

Fahrmodi
Zur Vorgabe von Gaspedalkennlinie sowie Lenkungs- und Schaltcharakteristik stehen die Fahrmodi SPORT, COMFORT und ECO PRO zur Verfügung.

Fahrmodus COMFORT:
Dies ist der Standard-Fahrmodus.

Fahrmodus ECO PRO:
Im Fahrmodus ECO PRO erfolgt zusätzlich die Deaktivierung bestimmter elektrischer Verbraucher und die Aktivierung der Segelfunktion. In diesem Modus wird entsprechend nur bei Betätigung des Bremspedals rekuperiert.

Fahrmodus SPORT:
Grundsätzlich läuft der Verbrennungsmotor in diesem Modus permanent, das Getriebe schaltet mindestens 1 Gang zurück und die Lenkcharakteristik wird direkter; dies erfolgt unabhängig vom gewählten eDrive Modus. Gleichzeitig wird der SOC bis auf 80% angehoben und die Overboost-Funktion aktiviert.

Die gewählten Antriebseinstellungen wurden mit Hilfe des Messsystems CuroCon*trol*®Mx permanent festgehalten und mit Zeitstempel parallel zu den übrigen Messdaten abgespeichert.

Messergebnisse

Nach Anschluss der Messfahrten wurden die Rohdaten zur Auswertung aufbereitet. Hierbei wurden im Wesentlichen folgende Erkenntnisse gewonnen:

Fahrmodus	*Anzahl V-Motor an [-]*	*Dauer V-Motor an [sec]*
AUTO eDrive (SOC 100%)	30	2531
AUTO eDrive (SOC 50%)	51	2802
AUTO eDrive + ECO PRO (SOC 100%)	29	1915
AUTO eDrive + Gangwahl Position "S" (SOC 100%)	1	6312
MAX eDrive (SOC 100%)	24	2193
SAVE BATTERY (SOC 100%)	79	5182
SAVE BATTERY (SOC 0%)	67	5353

Bild 9: Startvorgänge und Motorlaufzeit in den einzelnen Betriebsmodi

Im Modus MAX eDrive schaltet der Verbrennungsmotor erwartungsgemäß am seltensten zu (vorausgesetzt SOC 100% bei Fahrtantritt) und läuft nur ca. 35% der für die Messfahrt benötigten Gesamtzeit.

Im Gegensatz dazu läuft der Verbrennungsmotors im Modus AUTO eDrive + Gangwahl S-Position zu 100% durch.

Die geringste Zuschaltzeit des Verbrennungsmotors wird im Modus AUTO eDrive + ECO PRO erzielt (ca. 30%). Die Anzahl der Zuschaltvorgänge liegt aber höher als im Modus MAX eDrive. Hintergrund ist die im Betriebskennfeld hinterlegte Strategie, bei der der Elektroantrieb zur Maximierung der elektrischen Fahrstrecke nur bei mäßiger Leistungsanforderung eingesetzt wird.

Der Modus SAVE BATTERY führt nur zu einem sehr geringen Teil elektrisch absolvierter Strecke, und dies weitgehend unabhängig vom SOC.

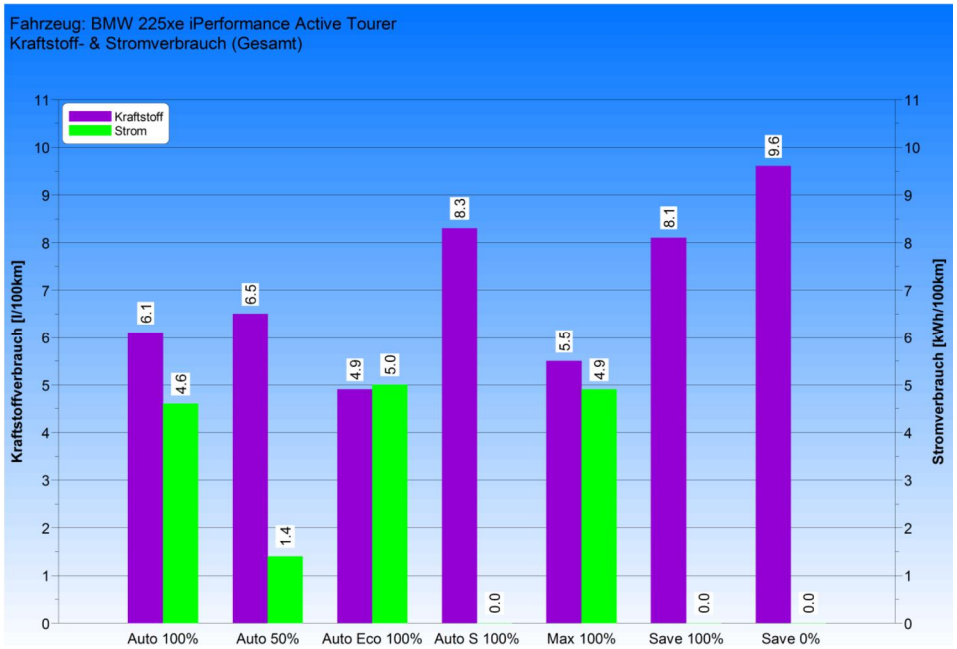

Bild 10: Kraftstoffverbrauch und Stromverbrauch in allen Betriebsmodi auf der Gesamtstrecke

Der reine Kraftstoffverbrauch ist sehr stark von den gewählten Antriebseinstellungen abhängig. Ohne Betrachtung des evtl. hinzukommenden Stromverbrauchs beträgt der Mehrverbrauch gegenüber dem Modus AUTO eDrive + ECO PRO bei SOC 100% bis zu knapp 100%.

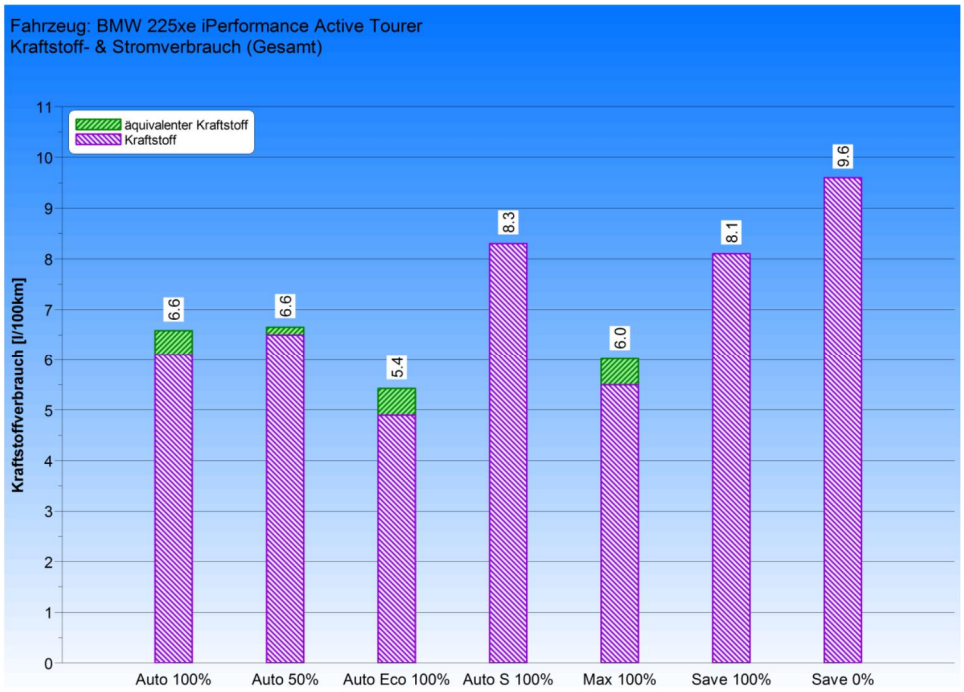

Bild 11: Direkter und äquivalenter Kraftstoffverbrauch in allen Betriebsmodi auf der Gesamtstrecke

Auch unter Berücksichtigung des aus dem Stromverbrauch resultierenden äquivalenten Kraftstoffverbrauchs liegen die Verbrauchsunterschiede bezogen auf die Gesamtstrecke bei bis zu 80%.

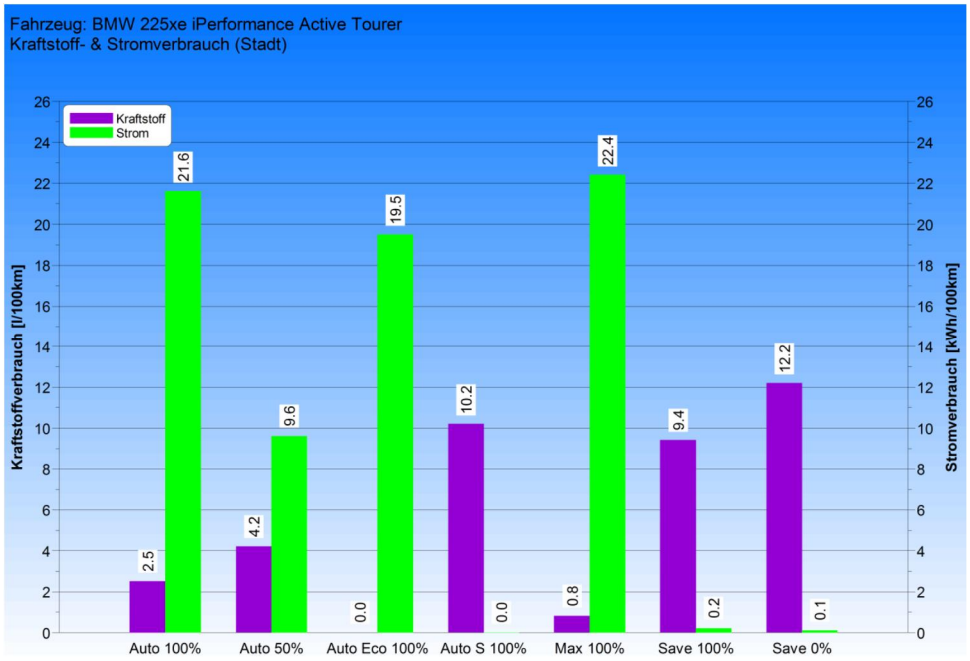

Bild 12: Kraftstoffverbrauch und Stromverbrauch in allen Betriebsmodi auf dem Stadtfahrtabschnitt

Im Stadtverkehr erweisen sich die Modi AUTO eDrive und MAX eDrive als klare Favoriten in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch. Der Modus SAVE BATTERY (SOC 0%) liegt dagegen mit >12L/100km sehr hoch und sollte daher im Stadtverkehr möglichst nicht eingesetzt werden.

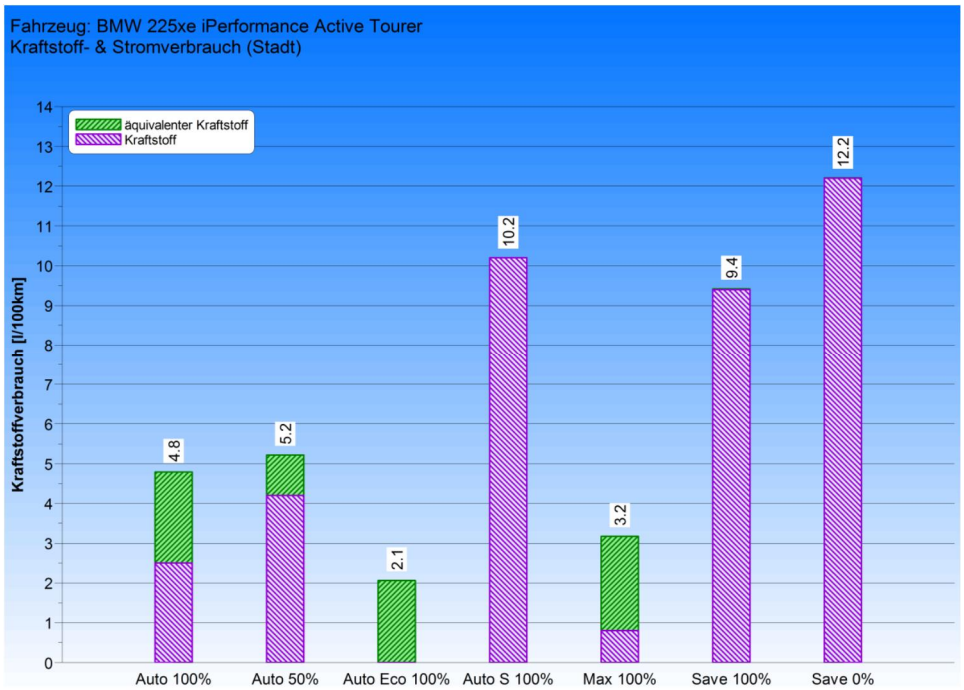

Bild 13: Direkter und äquivalenter Kraftstoffverbrauch in allen Betriebsmodi auf dem Stadtfahrtabschnitt

Der äquivalente Kraftstoffverbrauch zeigt im Stadtverkehr den klaren Wirkungsgradvorteil des Elektroantriebs. Gegenüber dem Elektro-Modus AUTO eDrive ergibt sich bei den Verbrenner-Modi AUTO + S und SAVE BATTERY ein Mehrenergieverbrauch von über 300%. Für eine direkte Vergleichbarkeit wurde die Fahrt in allen Modi mit voller Traktionsbatterie (SOC 100%) begonnen.

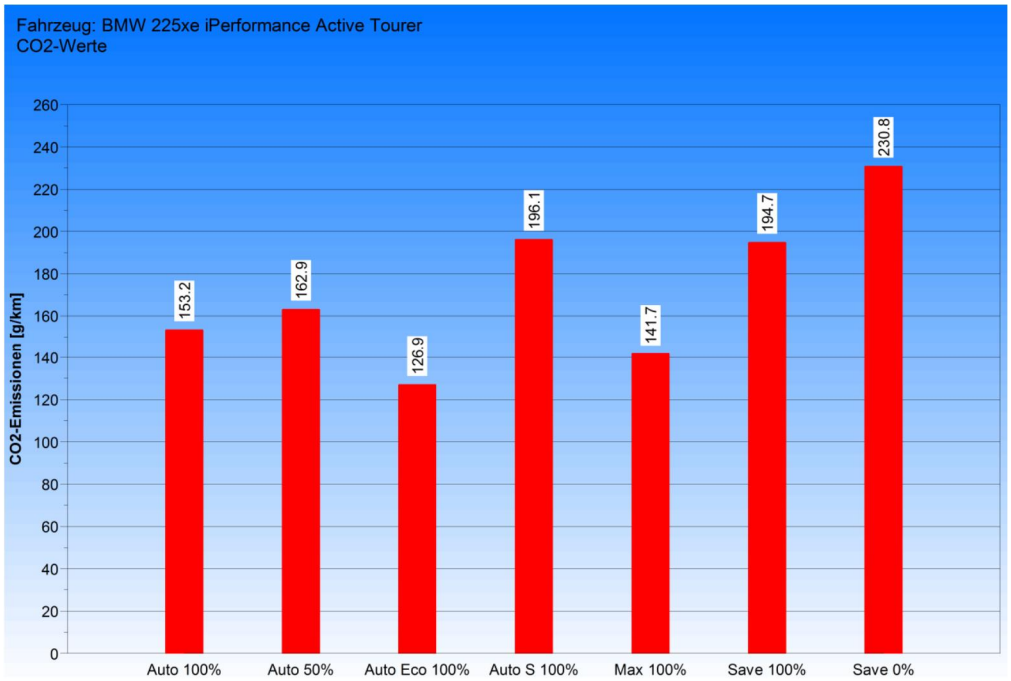

Bild 14: CO_2-Emission

In den Modi AUTO eDrive + ECO PRO und MAX eDrive ergibt sich der geringste CO_2-Ausstoß. Eine moderate Mehremission ergibt sich im Modus AUTO eDrive. Am anderen Ende liegen die Modi AUTO + S sowie SAVE BATTERY mit vergleichsweise sehr hohem CO_2-Ausstoß. Eine volle

Traktionsbatterie zu Fahrbeginn (SOC 100%) wirkt sich CO_2 mindernd aus (Ausnahme: Gangwahl Position S – hier liegt der CO_2-Ausstoß unabhängig vom SOC sehr hoch).

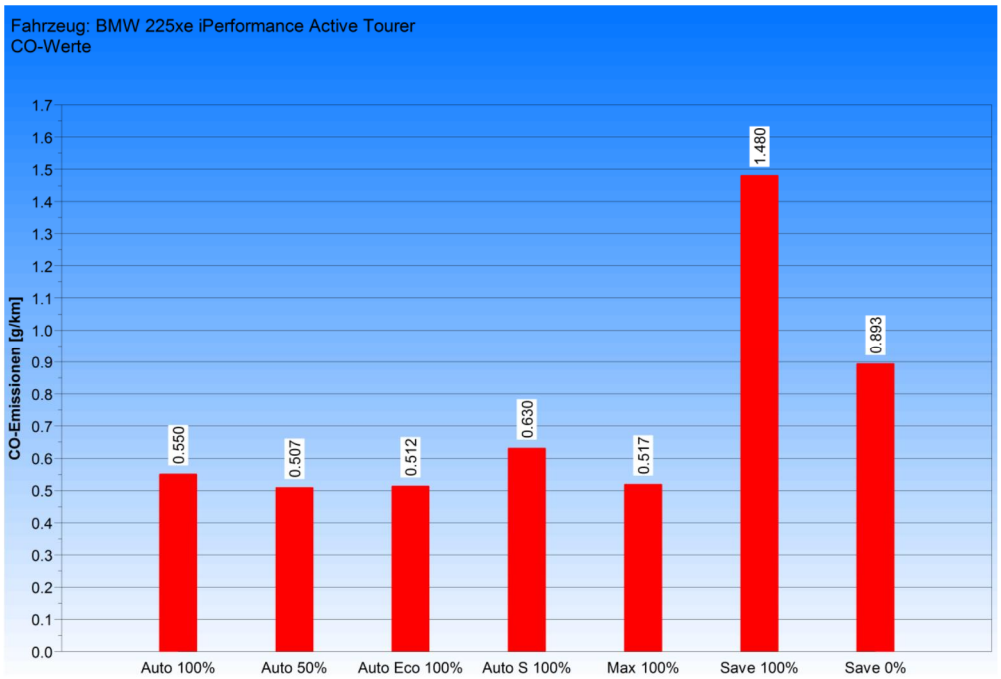

Bild 15: CO-Emission

In allen Modi bis auf SAVE BATTERY liegt der CO-Ausstoß deutlich unter dem zulässigen Grenzwert (1.000 mg/km).

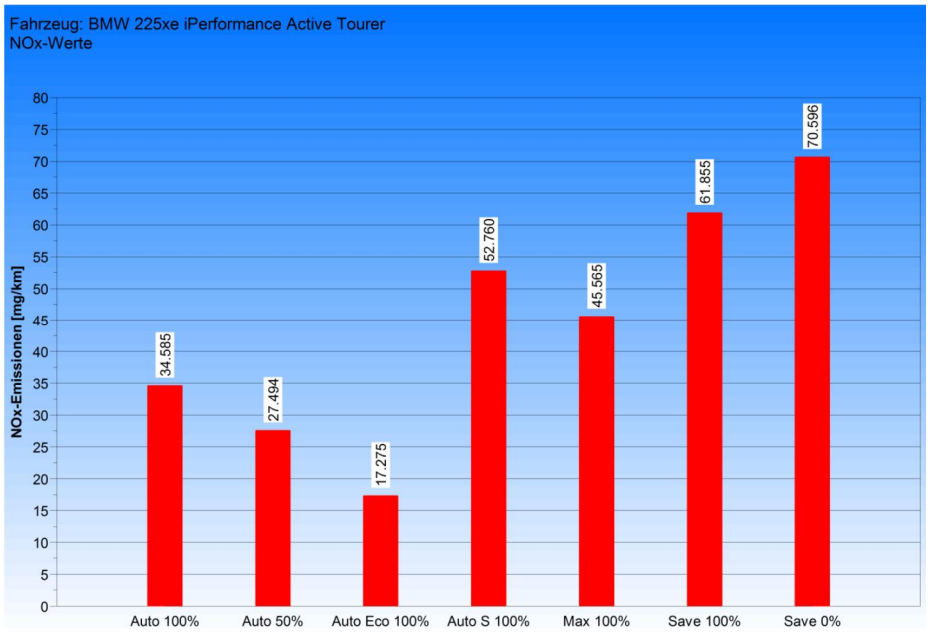

Bild 16: NO_x-Emission

Auch bei den NO_x-Emissionen liegt der Ausstoß in allen Modi, außer SAVE BATTERY, unterhalb des zulässigen Grenzwerts (60 mg/km). Der mit Abstand günstigste Werte ergibt sich bei SOC 100% im Modus AUTO eDrive ECO PRO.

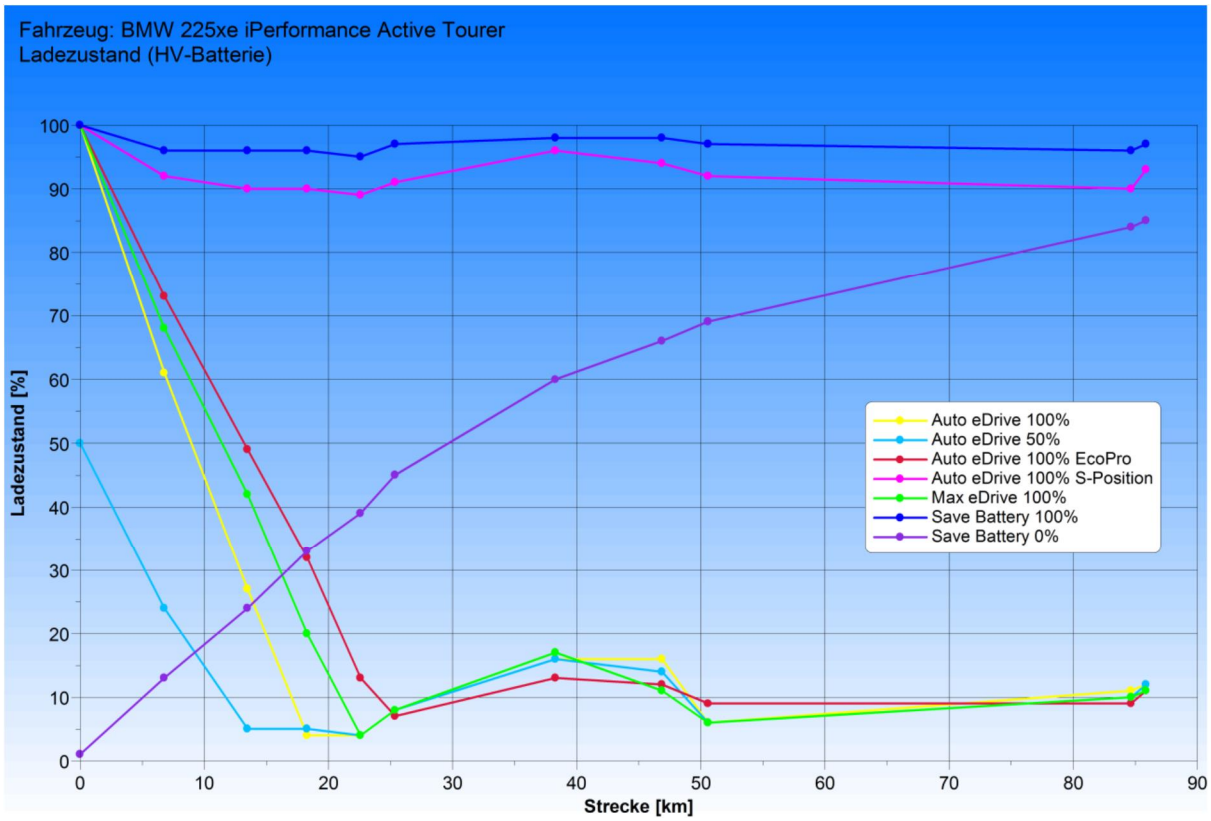

Bild 17: SOC in allen Fahrmodi über die gesamte Fahrstrecke

In den Modi AUTO eDrive, AUTO eDrive ECO PRO und MAX eDrive wird die Traktionsbatterie von SOC 100% binnen der ersten 18 bis 25 km auf weniger als 10% SOC entladen. In dem Modus SAVE BATTERY wird der Ladezustand permanent zwischen 90 und 100% gehalten. Bei Start mit leerer Traktionsbatterie dauert es 75 km bis ein SOC von 80% erreicht ist.

Betrachtet man parallel zu dem SOC-Diagramm die Emissionsdiagramme, so stellt man wie erwartet fest, dass sich der Start mit voller Traktionsbatterie positiv auf die Energiebilanz und den Kraftstoffverbrauch auswirkt. Bei den Schadstoffen CO und NO_x ergibt sich hingegen ein heterogenes Bild. Dies ist auch auf den in der Ausarbeitung zugrunde gelegten aktuellen Strommix in Deutschland (Stand 2016: 23,1% Braunkohle, 17,2% Steinkohle, 13,1 % Kernenergie, 12,4% Erdgas, 31,7% Erneuerbare Energien, Rest: sonstige Energieträger) zurückzuführen.

Stellvertretend für die Datenaufbereitung erfolgt abschließend die Darstellung des Betriebszustands im Antriebsystems sowie die Abgastemperatur (Position: Katalysator) für den Fahrabschnitt von 2.000 bis 4.000 sec. im Modus AUTO eDrive ECO PRO (SOC 100%). Gut erkennbar ist das erstmalige Zuschalten des Verbrennungsmotors nach ca. 3.450 sec. ab Start.

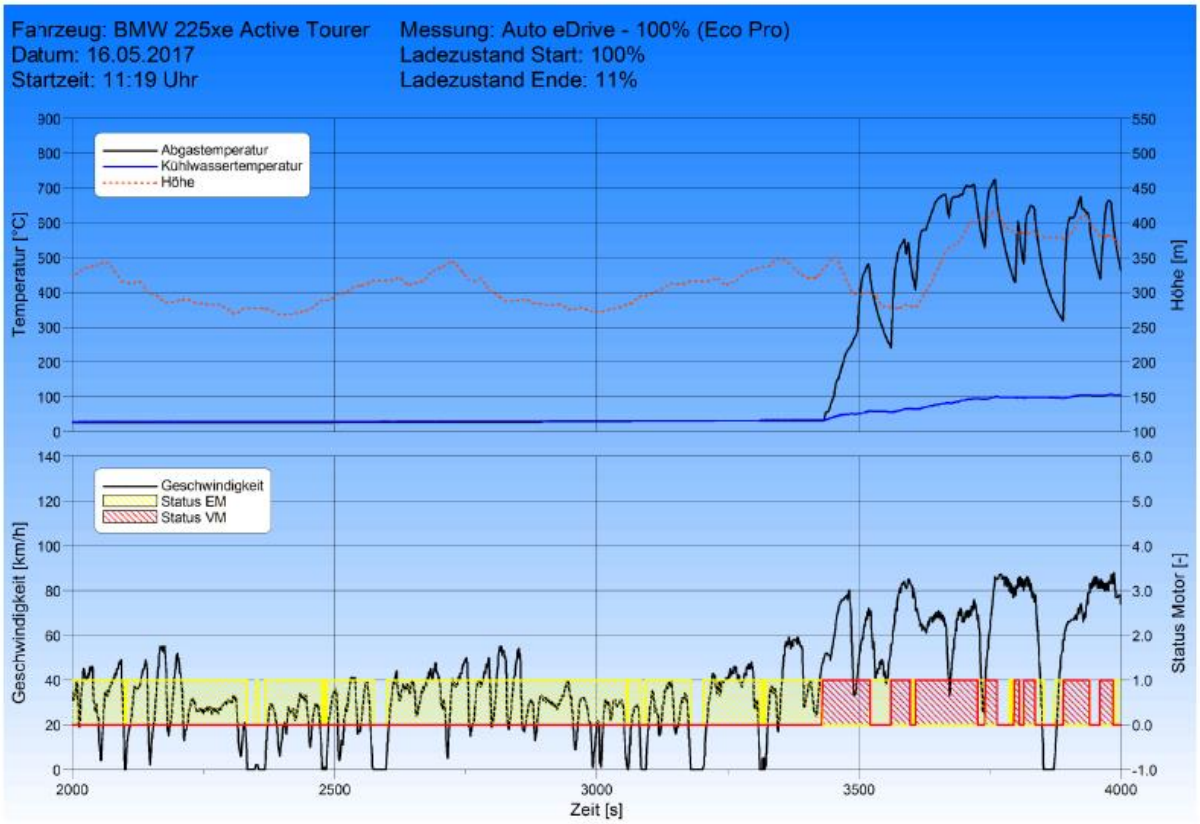

Bild 18: Status des Antriebs sowie Abgas- und Kühlwassertemperatur im Modus AUTO eDrive ECO PRO (SOC 100%) für den Fahrabschnitt von 2.000 bis 4.000 sec. ab Start

Ausblick

Die Messfahrten mit dem BMW 225xe, nach dem VW Passat Variant GTE das zweite Vollhybrid-Versuchsfahrzeug in der Testreihe von ElringKlinger Motortechnik GmbH, haben wieder interessante Ergebnisse erbracht. Einige der mit dem VW Passat GTE gewonnenen Erkenntnisse wurden vom Trend her bestätigt.

BMW hat bei seinem Fahrzeugtyp 225xe die Eingriffsmöglichkeiten des Fahrers erweitert und teilweise andere Betriebsstrategien hinterlegt. Ein direkter Vorteil für Kraftstoffverbrauch und bzw. oder Emissionen konnte in den durchgeführten Messreihen hiervon jedoch nicht abgeleitet werden.

Gleichwohl ist erkennbar, dass sowohl der Anfangsladezustand der Traktionsbatterie als auch die Betriebsstrategie einen großen Einfluss auf die Umweltverträglichkeit haben. Es bietet sich weiterhin ein breites Versuchsfeld für Optimierungen, sowohl im Hinblick auf Fahrzeugkomponenten als auch Betriebsstrategien, an.

Aus aktueller Sicht wirkt sich ein hoher Anfangsladezustand der Traktionsbatterie, idealer Weise kombiniert mit einer hohen Kapazität des Energiespeichers, positiv auf die Gesamteffizienz aus. Mit einer weiteren Verschiebung des Energiemix bei der Stromerzeugung hin zu Erneuerbaren Energien sollten sich auch die betrachteten Emissionen entsprechend weiter senken lassen.

Das mobile Messsystem CuroCon*trol*®Mx hatte sich schon bei den ersten Messfahrten mit dem VW Passat GTE bewährt und konnte unverändert übernommen werden. Erweitert wurde jedoch das Funktionsmodul "Typverwaltung", um unterschiedliche Fahrzeugparametersätze und individuelle Einstellungen als komplette fahrzeugspezifische Datensätze hinterlegen zu können.

ElringKlinger Motortechnik GmbH hat weitere Messfahrten mit Vollhybrid-Hybridfahrzeugen geplant. In Vorbereitung sind bereits Versuchsfahrten mit einem Mercedes c350e.