

# Emissionen von Ethanolkraftstoffen im Straßenverkehr

E5-, E10- und E85-Kraftstoff im Flexible-Fuel-Vehicle

von MAXIMILIAN FRANKL, GEORG HUBER und DR. EDGAR REMMELE: **Das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Straubing betrieb ein Flexible-Fuel-Vehicle mit den Ethanol-Kraftstoffen E5, E10 und E85 im realen Straßenverkehr, erfasste und verglich dabei die Emissionen mit Hilfe eines portablen Emissionsmesssystems. Beim Einsatz des E85-Kraftstoffs mit 85 Volumenprozent Ethanol und 15 Volumenprozent Benzin waren die Emissionswerte deutlich geringer als beim Betrieb der beiden anderen Testkraftstoffe E5 und E10. Beim Einsatz von E85 im Flexible-fuel-Vehicle lagen gegenüber dem Betrieb mit E5 nicht nur die Treibhausgase niedriger; auch Kohlenmonoxid-Emissionen sanken um bis zu 43 Prozent und die Stickstoffoxid-Emissionen um bis zu 32 Prozent.**

Seit den 1960-er Jahren unterliegen Abgase zum Schutz von Luftqualität und Gesundheit einer gesetzlichen Regulierung [1]. Trotz stetig verschärfter EU-Abgasgrenzwerte konnte der Ausstoß von limitierten Emissionen wie Stickstoffoxiden oder Partikeln in den letzten 15 Jahren v. a. in Innenstädten kaum weiter reduziert werden [5]. Prüfstandmessungen reichen zur alleinigen Bewertung der Emissionen eines PKW im täglichen Betrieb nicht aus, es müssen daher auch Daten bei Fahrten im realen Straßenverkehr mit Hilfe portabler Emissionsmessgeräte (PEMS) erfasst werden.

Neben gesundheitsschädlichen Emissionen gilt es auch Treibhausgase zu reduzieren. Dazu können beispielsweise Biokraftstoffe zu fossilen Otto- und Dieselmotoren beigemischt werden. So wurden ab dem Jahr 2006 die Kraftstoffe E5, E10 und B7 eingeführt [3]. Daneben können Biokraftstoffe in höheren Konzentrationen nur in speziell angepassten Fahrzeugen verwendet werden. Zu diesen Fahrzeugen zählen sogenannte Flexible-Fuel-Vehicle (FFV), die mit einem Ethanolgehalt von bis zu 85 Prozent im Ottokraftstoff betrieben werden können [3].

## Ethanolkraftstoffe und portable Emissionsmessung

Bei verschiedenen Emissionsmessungen mit unterschiedlichen Prüfstandszyklen konnten bereits geringere Emissionen



Bild 1: Flexible-Fuel-Vehicle mit portablen Emissionsmesssystem (Foto: TFZ).

onen beim Betrieb von FFV mit hohen Ethanolgehalten im Ottokraftstoff gemessen werden [2][6].

Das TFZ startete daher ein Vorhaben mit dem Ziel, diese Erkenntnisse im realen Straßenbetrieb zu überprüfen und Realemissionsdaten eines FFV beim Betrieb mit Ethanolkraftstoffen zu sammeln. Dazu wurden die Emissionskomponenten Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) und Partikelmasse (PM) mit Hilfe eines PEMS (siehe Bild 1) beim Betrieb des Fahrzeugs mit den Ethanol-Kraftstoffen E5, E10 und E85 unter Kaltstart- und Warmstartbedingungen erfasst und verglichen. Das Vorgehen richtet sich nach den EU-Vorgaben der Verordnungen 427/2016 und 646/2016. Die Auswertung der Rohdaten

## Infobox: Kraftstoffe im Überblick

### Kraftstoffbezeichnung:



### Kraftstoffe an der Tankstelle

- Diese handelsüblichen Kraftstoffsorten können in Deutschland einen Biokraftstoffanteil enthalten:
 

Benzin:	E5 („Super“, „Super Plus“)
	E10 („Super E10“, „Super Plus E10“)
Diesel:	B7 („Diesel“)
- Die Kennzeichnung und Qualität von Kraftstoffen wird übergeordnet in der 10. Bundesimmissionsschutzverordnung (10. BImSchV) geregelt.
- Die darin genannten Normen geben die maximal mögliche Biokraftstoffbeimischung und die Kraftstoffqualität vor, z. B.:
 

Benzin:	DIN EN 228
Diesel:	DIN EN 590
Ethanolkraftstoff E85:	Norm-Entwurf DIN EN 15293 (gemäß: 10. BImSchV §6: DIN EN 51625)

Quellen: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2014): Biokraftstoffe. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). 60 Seiten

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (2014): Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualität von Kraft- und Brennstoffen – 10. BImSchV) vom 8. Oktober 2010, die durch Artikel 1 der Verordnung am 1. Dezember 2014 (BGBl. I., Seite 1 890) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil 1, Nr. 55, Seite 1 801 – 1 919

erfolgte zum einen nach der in den genannten Verordnungen vorgegebenen Moving-Average-Window-Methode (MAW), zum anderen über die Berechnung eines einfachen arithmetischen Mittelwerts (MW). Es wurden nicht nur die entfernungspezifischen Emissionen in Gramm pro Kilometer (g/km) bzw. Milligramm pro Kilometer (mg/km) für eine ganze Messfahrt ermittelt, sondern auch die einzelnen Betriebsarten, die sich in Stadt-, Landstraßen- und Autobahnbetrieb aufteilen, näher betrachtet. [4]

### Entfernungspezifische Kraftstoffemissionen im Vergleich

Beim Einsatz von E5- und E10-Kraftstoff zeigten sich zwischen beiden Kraftstoffen hinsichtlich ihrer CO-, CO<sub>2</sub>- und

NO<sub>x</sub>-Emissionen meist keine signifikanten Unterschiede. Dahingegen ließen sich im Betrieb mit E85-Kraftstoff deutlich geringere Emissionen als bei den beiden anderen Kraftstoffen feststellen. Die Ergebnisse aus den beiden Berechnungsmethoden, MAW und MW, unterschieden sich nur in ihren absoluten Werten. Der Betrieb mit E85-Kraftstoff brachte bei beiden Methoden deutlich geringere Emissionen als bei Verwendung der beiden anderen Testkraftstoffe hervor. Die größten Emissionsunterschiede zeigten sich unter Warmstartbedingungen. So wurden beim Einsatz von E85 gegenüber dem Betrieb mit E5 beim vorliegenden Testfahrzeug im Mittel um bis zu 43 Prozent geringere CO-Emissionen, 32 Prozent geringere NO<sub>x</sub>-Emissionen und 6 Prozent geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen gemessen (siehe Abbildung 1) [4].

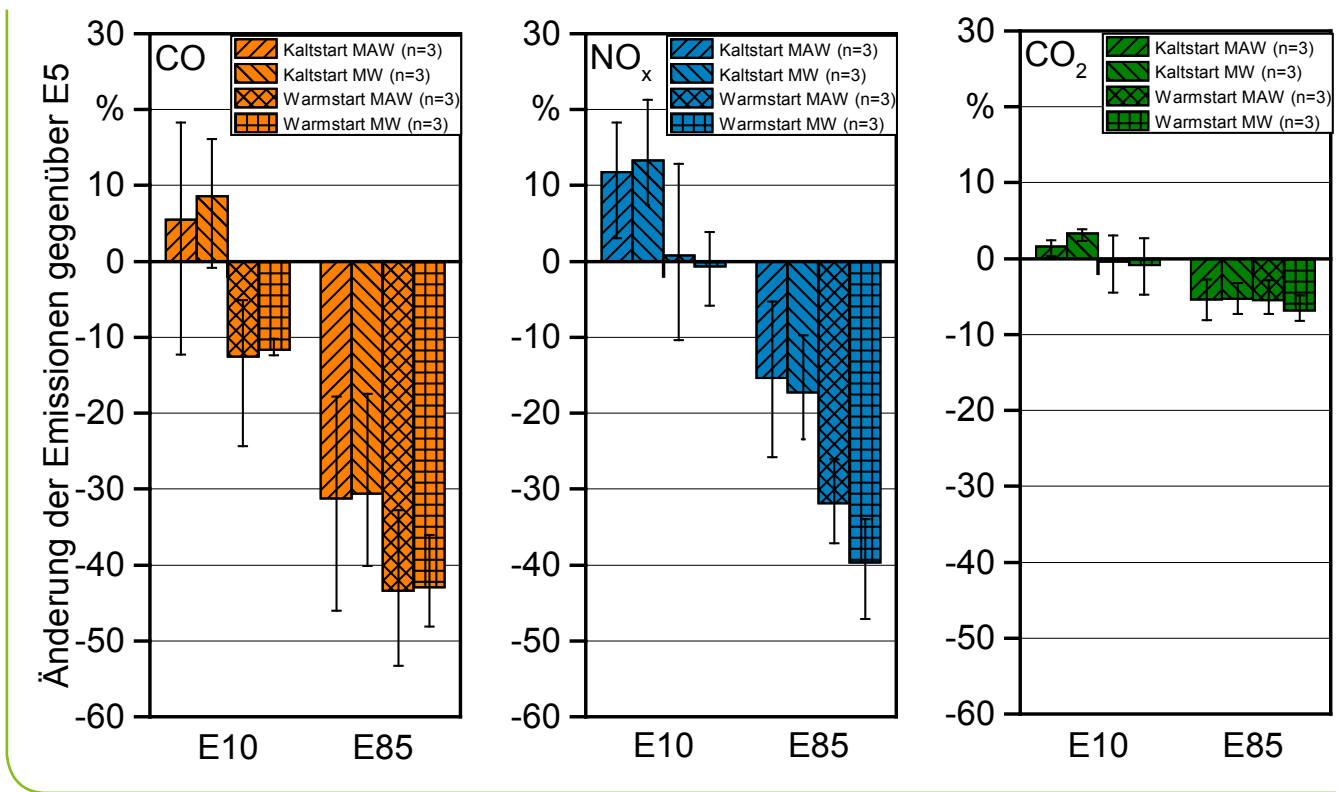


Abbildung 1: Emissionsminderungspotenzial von E10 und E85 gegenüber E5 bei Straßenfahrten eines FFV mit und ohne Berücksichtigung des Kaltstarts und Vergleich zweier Auswertemethoden (Moving-Average Window-Methode, Mittelwertmethode) [4]

Bei den Partikelmasseemissionen war aufgrund großer Schwankungsbreiten in den Ergebnissen kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Kraftstoffen erkennbar. Tendenziell waren die PM-Emissionen beim Einsatz von E85-Kraftstoff geringer als bei den beiden anderen Testkraftstoffen (siehe Abbildung 1) [4].

Es wurden auch die Emissionen innerhalb der Betriebsarten Stadt, Landstraße und Autobahn verglichen. Dabei konnten im Landstraßenbetrieb die geringsten und im Autobahnbetrieb die höchsten Emissionen festgestellt werden. In allen Betriebsarten waren die Emissionen beim Einsatz von E85 am geringsten [4].

**Ursachen unterschiedlichen Emissionsverhaltens**

Neben den Emissionsmesswerten wurden auch wichtige Fahrzeugsignale wie Motorlast, Motordrehzahl oder der Lambdawert über die On-Board-Diagnose-Schnittstelle des Fahrzeugs erfasst. Mit Hilfe dieser Daten und ei-

ner detaillierten Betrachtung der Einzelwerte wurde nach den Ursachen für das voneinander abweichende Emissionsverhalten des Fahrzeugs beim Betrieb mit den unterschiedlichen Kraftstoffen gesucht. Die geringeren Emissionen beim E85-Betrieb gegenüber dem Einsatz der anderen Kraftstoffe wurden maßgeblich von bestimmten

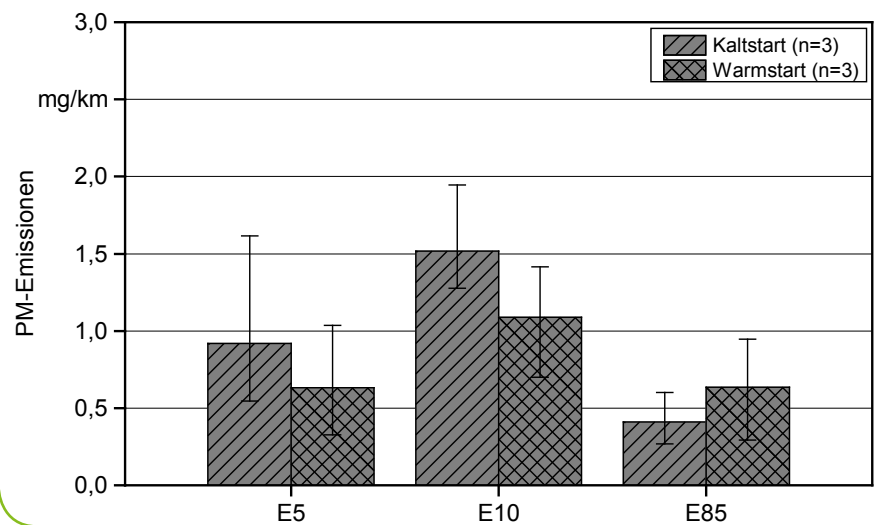


Abbildung 2: Partikelmasseemissionen eines FFV mit und ohne Berücksichtigung des Kaltstarts [4]

Emissionsspitzenwerten hervorgerufen, die bei jeder Fahrt an den gleichen Streckenpunkten auftraten und unterschiedliche Ursachen haben. Bei den ersten beiden Streckenpunkten handelt es sich jeweils um eine Autobahnauffahrt, bei der beschleunigt wurde und u. a. die Motorlast stark anstieg. In der dritten Fahrsituation erhöhte sich die Motorlast aufgrund einer längeren Steigung. Der Motorlastanstieg führte z. B. zu einem unterschiedlich stark absinkenden Lambdawert je eingesetztem Kraftstoff und somit zu unterschiedlichen CO-Emissionen. Im Fall der NO<sub>x</sub>-Emissionen ergaben sich aus der erhöhten Motorlast je nach Kraftstoffwahl unterschiedliche Verbrennungstemperaturen, die sich auf die Stickstoffoxidbildung auswirkten. In den einzelnen Betriebsarten konnte u. a. für die unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen eine jeweils andere Fahrweise je Betriebsart, wie z. B. mehr Stop-and-Go-Verkehr im Stadtbetrieb als auf der Landstraße, als beeinflussendes Kriterium identifiziert werden. [4]

### Fazit und Ausblick

Sowohl bei Auswertung der gesamten Fahrt als auch bei getrennter Auswertung der drei Betriebsarten wurden beim Testfahrzeug mit E85-Kraftstoff geringere CO-, CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen als beim Betrieb mit E5 oder E10 gemessen. Dadurch konnten die bereits in anderen Studien bei Prüfstandmessungen gewonnen Erkenntnisse bei diesem FFV im realen Straßenverkehr bestätigt werden. In weiteren Untersuchungen ist es erforderlich, Kraftstoffe mit einem Ethanolgehalt zwischen zehn Prozent und 85 Prozent an diesem und weiteren Fahrzeugen zu testen. Dadurch kann geklärt werden, welchen Beitrag Biokraftstoffe zur Reduktion von gefährlichen Schadstoffen wie Stickstoffoxiden oder Partikeln leisten können.

### Literatur

- [1] BASSHUYSEN, R. V. (2013): Ottomotor mit Direkteinspritzung-Verfahren, Systeme, Entwicklung, Potenziale. 3. aktual. u. erw. Auflage. Wiesbaden: Springer-Vieweg. ISBN: 978-3-658-01407-0. 476 Seiten.
- [2] DARDIOTIS, C.; FONTARAS, G.; MAROTTA, A.; MARTINI, G.; MANFREDI, U. (2015): Emissions of modern light duty ethanol flex-fuel vehicles over different operating and environmental conditions. In: Fuel. Jg. 140. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.09.085. Seite 531 – 540.
- [3] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2014): Biokraftstoffe. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). 60 Seiten.
- [4] Frankl, M. (2017): Realemissionen eines Flexible-Fuel-Vehicles beim Betrieb mit ethanolhaltigen Kraftstoffen. Straubing. Eigenverlag. 123 Seiten.
- [5] Minkos, A.; Dauert, U.; Feigenspan, S.; Kessinger, S. (2017): Luftqualität, vorläufige Auswertung. In: UBA Hintergrund – Für Mensch & Umwelt, Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt. 22 Seiten. Stand: Januar 2017.
- [6] SUAREZ-BERTOIA, R.; ZARDINI, A.; KEUKEN, H.; ASTORGA, C. (2015): Impact of ethanol containing gasoline blends on emissions from a flex-fuel vehicle tested over the Worldwide Harmonized Light duty Test Cycle (WLTC). Fuel. Jg. 143. Seite 173 – 182.



**MAXIMILIAN FRANKL**

**GEORG HUBER**

**DR. EDGAR REMMELE**

TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM  
KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE  
ROHSTOFFE (TFZ)

maximilian.frankl@tfz.bayern.de

georg.huber@tfz.bayern.de

edgar.remmele@tfz.bayern.de

