

Untersuchungen für eine Änderung der EU Direktive 93/116/EC (Mes- sung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emission)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Forschungsvorhaben FKZ 201 45 105

Autor: Heinz Steven

**TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG
Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität**

**Ginsterweg 5
D 52146 Würselen**

**Tel.: +49 24 05-45550
Fax: +49 24 05-455520
E-Mail: HSteven@tuev-nord.de**

November 2005

Berichts Kennblatt

1. Berichts Nr. UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichtes Untersuchungen für eine Änderung der EU Direktive 93/116/EC (Messung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emission)		
5. Autor Steven, Heinz		8. Abschlussdatum November 2005
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) TÜV Nord Mobilität GmbH & CO.KG Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität Ginsterweg 5 D 52146 Würselen		9. Veröffentlichungsdatum April 2006
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau		10. UFOPLAN-Nr. 201 45 105
		11. Seitenanzahl 83
		12. Literaturangaben 8
		13. Tabellen, Diagramme 24
		14. Bilder 80
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung <p>Die Messung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen wurde in der EU mit Einführung der Richtlinie 93/116/EC beim Typgenehmigungsverfahren für M1 Fahrzeuge (Pkw) zur Pflicht. Allerdings ist die Messmethode der oben angesprochenen Richtlinie nicht geeignet, den Einfluss von Zusatzaggregaten wie Klimaanlage oder neuer Getriebe (6-Gang Getriebe, fortschrittliche Automatikgetriebe), die kraftstoffsparende Schaltstrategien ermöglichen, zu berücksichtigen. Ohne diese Einflüsse kann die CO₂-Emission der Fahrzeugflotte nicht wirklichkeitsgetreu genug berechnet werden. Um eine quantitative Auskunft über die Änderungen der CO₂-Emissionen, des Kraftstoffverbrauchs und auch der limitierten Schadstoffe zu erhalten, sollten im Rahmen dieses Projektes die folgenden Einflüsse betrachtet werden: unterschiedliche Ausführungen eines Fahrzeugtyps, unterschiedliche Schaltstrategien, Einfluss von Klimaanlage.</p> <p>Eine weitere Aufgabe betraf die Information über den Gebrauch von Klimaanlage in Automobilen. Diese Aufgabe wurde zusammen mit dem IFEU, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, bearbeitet. IFEU entwarf einen Fragebogen zum Gebrauch von Klimaanlage. Dieser Fragebogen wurde Kunden für die regelmäßige Hauptuntersuchung an mehreren Prüfstellen des TÜV Nord vorgelegt. Die ausgefüllten Fragebögen wurden zur weiteren Auswertung zum IFEU geschickt.</p> <p>Die Ergebnisse dieser Studie ergaben, dass es bezüglich der Fahrzeugvarianten und Gangwechselmöglichkeiten deutliche Einflüsse auf die CO₂-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch in einer Größenordnung von 10% bis 15% gibt. Da unterstellt werden kann, dass die Fahrzeughersteller zum Typgenehmigungsverfahren ein optimal eingestelltes Fahrzeug benutzen, sind die CO₂-Emissionen des gleichen Typs im realen Verkehr höher. Man kann annehmen, dass die CO₂-Emissionen im realen Verkehr 15% bis 20% höher sind als beim Zyklus für die Typgenehmigung.</p> <p>Eine optimierte Gangwechselstrategie (Gangwechsel bei niedrigen Motordrehzahlen) führt zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 10%, kann aber zu einem Anstieg der CO- und NOx-Emissionen führen. Kampagnen wie 'ökonomisches Fahren' sollten als gute Maßnahme zur CO₂-Minderung unterstützt werden.</p> <p>Die Ergebnisse der Messungen mit Klimaanlage zeigen recht deutlich, dass ihr Beitrag zu den CO₂-Emissionen bei Typprüfung und Emissionsberechnungen nicht vernachlässigt werden kann. Im Bericht werden Vorschläge für eine adäquate Änderung der Richtlinie 93/116/EC gemacht.</p>		
17. Schlagworte: CO ₂ -Emission, Kraftstoffverbrauch, Änderungsvorschläge für EU-Richtlinie, Klimaanlage, best case, worst case, Schaltanweisungen, Fahrverhalten		
18.	19.	20.

Inhalt	Seite
1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	5
2 TESTFAHRZEUGE UND MESSPROGRAMM	5
3 ERGEBNISSE	9
3.1 Beutelergebnisse	9
3.2 Analyse der Modaldaten	18
3.2.1 Allgemeines	18
3.2.2 Kaltstarteinfluss	21
3.2.3 Einfluss von Klimaanlage	22
4 UMFRAGE ÜBER DEN GEBRAUCH VON KLIMAAANLAGEN IN AUTOS	28
4.1 Ausführung der Klimaanlage	29
4.2 Anzahl der Nachfüllungen / Temperaturbereich	33
4.3 Nutzungshäufigkeit	35
5 ERGEBNISSE VON ANDEREN UNTERSUCHUNGEN	38
5.1 USA	38
5.2 EMPA Messergebnisse	40
6 ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	42
6.1 Aufgaben und Messprogramm	42
6.2 Ergebnisse der Prüfstandsmessungen	43
6.2.1 Beutelergebnisse	43
6.3 Analyse von Modaldaten	44
6.3.1 Allgemein	44
6.3.2 Kaltstarteinfluss	44
6.3.3 Einfluss von Klimaanlage	44
6.4 Umfrage über den Gebrauch von Klimaanlage in Kraftwagen	45
6.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Modellierung der Emissionen	46

6.6	Vorschläge für eine Änderung der EU Richtlinie 93/116/EC	47
6.6.1	Messungen des günstigsten und ungünstigsten Falls	47
6.7	Klimaanlagen	48
6.8	Fazit	48
6.9	Realistischerer Prüfzyklus	48
7	LITERATUR	49
8	ANHANG A – BILDER MIT ERGEBNISSEN DER MODALDATENANALYSE	50
8.1	CO ₂ -Emission	50
8.2	NO _x -Emission	57
8.3	HC-Emission	64
8.4	CO-Emission	71
9	ANHANG B – VORSCHLAG FÜR REALITÄTSNAHE SCHALTVORSCHRIFTEN	78

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Mit Einführung der Direktive 93/116/EC wurde die Messung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen für das Typzulassungsverfahren von M1 Fahrzeugen (Pkw) rechtsverbindlich. In Verbindung mit den Diskussionen über die globale Erwärmung der Atmosphäre ist die Verminderung der CO₂-Emissionen und damit die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs zu einem wichtigen Ziel der Automobilindustrie geworden. Die Messmethode der oben angesprochenen Direktive ist aber nicht geeignet, die Einflüsse von Zusatzaggregaten wie Klimaanlage, oder den Einfluss von neuen Getrieben (6-Gang Schaltgetriebe, moderne Automatikgetriebe), die kraftstoffsparende Schaltstrategien erlauben, abzuschätzen. Ohne diese Einflüsse kann die CO₂-Emission der Fahrzeugflotte nicht realistisch genug berechnet werden.

Um eine quantitative Information über die Streuung der CO₂-Emissionen, des Kraftstoffverbrauchs und auch der limitierten Schadstoffe zu erhalten, sollen im Rahmen dieses Projekts die folgenden Einflüsse betrachtet werden:

- Verschiedene Ausführungen eines Fahrzeugtyps
- Unterschiedliche Schaltstrategien
- Klimaanlage (AC)

Eine weitere Aufgabe betraf die Information über den Gebrauch von Klimaanlagen in Pkw. Diese Aufgabe wurde zusammen mit dem IFEU, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, bearbeitet. IFEU entwickelte einen Fragebogen über den Gebrauch der Klimaanlage. Dieser Fragebogen wurde an mehreren Prüfanlagen des TÜV Nord an Fahrzeughalter bei der Vorführung zur Hauptuntersuchung ausgehändigt. Die ausgefüllten Fragebögen wurden dann zur Auswertung zum IFEU geschickt.

2 Testfahrzeuge und Messprogramm

Der Einfluss der Fahrzeugausführung und der Schaltstrategie kann auf normalen Prüfständen gemessen werden. Der Einfluss einer Klimaanlage erfordert allerdings einen speziellen Prüfstand mit einer Ausrüstung zur Simulation der Sonneneinstrahlung wenn der ungünstigste Fall einbezogen werden soll. Da der TÜV Nord einen solchen Prüfstand nicht besitzt, war ursprünglich gedacht, dass Fahrzeughersteller dem TÜV Nord erlauben würden, ihre Prüfstände für die Messungen zu benutzen und dass sie das Projekt durch zusätzliche Unterstützung fördern, um die Zahl der Versuchsfahrzeuge zu erhöhen.

Leider weigerte sich die Fahrzeugindustrie zu kooperieren, so dass im Rahmen des Projektes lediglich vier Fahrzeuge gemessen werden konnten. Die technischen Daten sind in Tabelle 1 aufgeführt. Alle waren mit einer Klimaanlage ausgerüstet. Zwei von ihnen (Nr. 3 und 4) wurden mit eingeschalteter Klimaanlage bei der Firma Delphi in Luxemburg auf einem Prüfstand mit Sonneneinstrahlung gemessen.

veh. no	manufacturer	type	engine type	engine capacity in cm ³	rated power in kW	rated speed in min ⁻¹	max. speed in km/h	emission stage
1	BMW	325i	petrol	2494	141	6000	> 200	EURO IV
2	Volkswagen	Golf IV TDI	Diesel	1896	74	4000	188	EURO III and D4
3	Ford	Fiesta	petrol	1299	44	5000	155	EURO IV
4	DaimlerChrysler	E 240T	petrol	2398	125	5900	215	D4

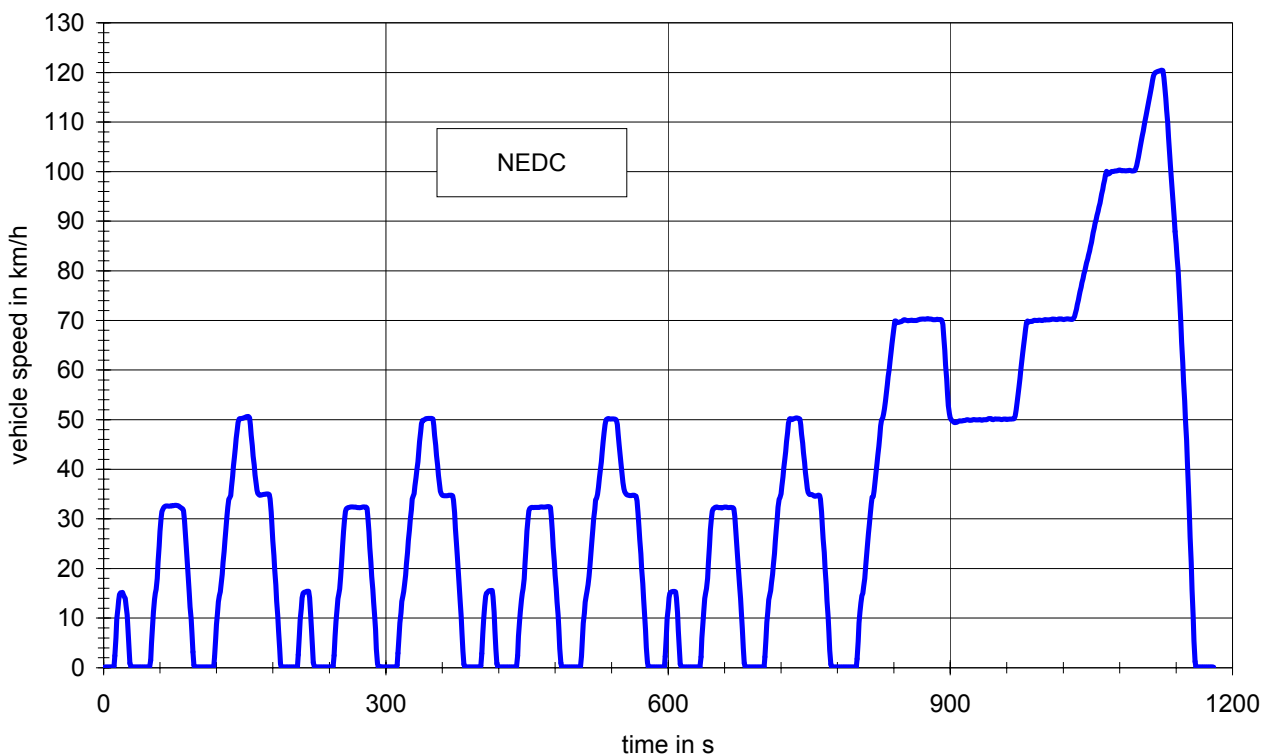
Tabelle 1: Technische Daten der Versuchsfahrzeuge

Die folgenden Fahrzyklen wurden in die Prüfstandsmessungen einbezogen:

- Der Testzyklus für die europäische Typzulassung (NEDC), bestehend aus vier Stadtzyklen und einem zusätzlichen außerstädtischem Zyklus (siehe Bild 1)
- Der Testzyklus für die Typzulassung in den USA US Federal Test Procedure FTP 75, (siehe Bild 2)
- Der Common Artemis Fahrzyklus (CADC), bestehend aus einem Stadt-, Überland- und Autobahnteil (siehe Bild 3)

Der CADC wurde im Rahmen des 5. Rahmenprojekts "Artemis" geschaffen und für die Entwicklung von Emissionsfaktoren zu Modellierungszwecken benutzt.

Da die Messungen des ersten Fahrzeugs bereits begannen als die Verhandlungen mit den Automobilherstellern noch im Gange waren, unterscheiden sich die Messprogramme für die Fahrzeuge bezüglich der Fahrzyklen und der Variation von Parametern.


Bild 1: Der europäische Prüfzyklus für die Typzulassung (NEDC)

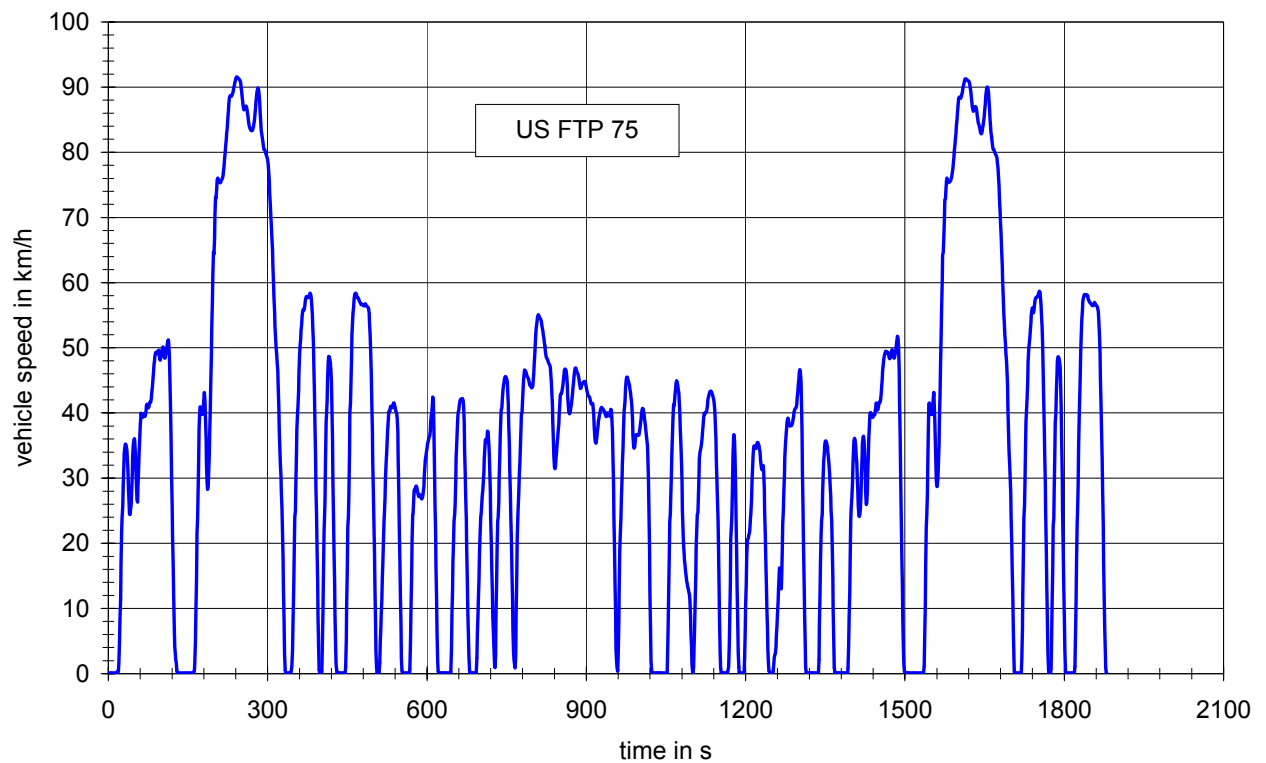


Bild 2: Der Prüfzyklus für die US Typzulassung (US FTP 75)

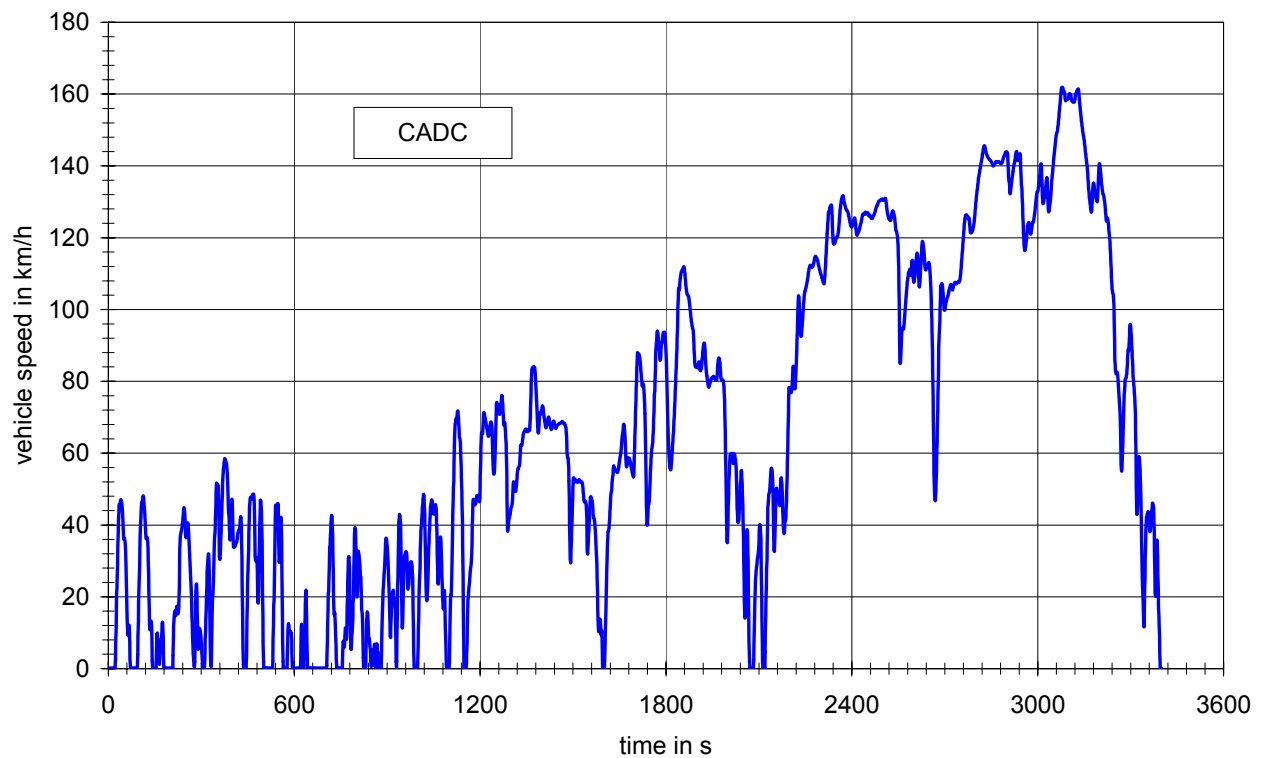


Bild 3: Der Common Artemis Fahrzyklus (CADC)

Die folgenden Varianten wurden bei Fahrzeug 1 gemessen:

case	test mass in kg	tyre dimensions
base case	1590	205/55 R16
Best Case (Eco-Reifen)	1590	205/55 R16
Worst Case (wide tyres + aerodynamic kit)	1590	front 225/40 R 18, rear 255/35 R 18
Worst Case (wide tyres + aerodynamic kit)	1815	205/55 R16
Best Case with air conditioning system (delta T at start 6 °C)	1590	205/55 R16
Best Case with optimised gearshifts, driver 1	1590	205/55 R16
Best Case with optimised gearshifts, driver 2	1590	205/55 R16

Tabelle 2: Varianten der Prüfstandsmessungen von Fahrzeug 1

Die Varianten für die anderen Fahrzeuge sind nachfolgend aufgelistet:

- Fahrzeug 2:
 - Basisfall (Kaltstart)
 - Optimierte Gangwechsel (Fahrer 1)
 - Optimierte Gangwechsel (Fahrer 2)
 - Ungeübter Fahrer
 - 29 °C Starttemperatur
 - Heißstart, Klimaanlage auf volle Kühlleistung (Delta T beim Start 6 °C)
 - Heißstart ohne Klimaanlage
- Fahrzeug 3:
 - Basisfall (Kaltstart)
 - Heißstart ohne Klimaanlage
 - Optimierte Gangwechsel
 - Heißstart ohne Klimaanlage bei Delphi
 - Heißstart mit Klimaanlage und Sonnenstrahlung von 850 W/m² bei Delphi
- Fahrzeug 4:
 - Basisfall
 - Günstigster Fall
 - Ungeübter Fahrer
 - 29 °C Starttemperatur
 - 30% Batteriekapazität
 - minimaler Ölstand
 - Heißstart mit Klimaanlage

- Heißstart ohne Klimaanlage
- Heißstart ohne Klimaanlage bei Delphi
- Heißstart mit Klimaanlage und Sonnenstrahlung von 850 W/m² bei Delphi

Die vorstehend beschriebenen Varianten wurden beim NEDC komplett angewendet, bei den anderen Zyklen aus zeitlichen Gründen nur teilweise. Der US FTP 75 Zyklus wurde immer mit einem Kaltstart gefahren, der NEDC ebenfalls, außer die Heißstartbedingung ist erwähnt. Der CADC wurde immer in heißem Zustand gefahren außer beim ersten Fahrzeug, wo auch der städtische Teil des Zyklus mit Kaltstart durchgeführt wurde.

3 Ergebnisse

3.1 Beutelergebnisse

Die Beutelergebnisse für die Schadstoffe CO, HC, NO_x, die CO₂-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Die CO₂-Emissionen schließen die HC- und CO-Beiträge ein. Der Kraftstoffverbrauch ist, wie in der 93/116/EC vorgesehen, aus der CO₂-Emission berechnet. Der überwiegende Teil der Messungen wurde zweimal durchgeführt. Die Prüfstandeinstellungen wurden an die Ergebnisse von Ausrollversuchen auf einer Prüfstrecke angeglichen.

Die Ergebnisse von Fahrzeug 1 werden in Tabelle 3 bis Tabelle 5 gezeigt. Die Messergebnisse für den Basisfall (Fahrzeug entspricht weitgehend Typprüfbedingungen) und dem NEDC für HC und NO_x liegen weit unter den EURO IV Grenzwerten (siehe Tabelle 3). Sogar die Ergebnisse der anderen Varianten erreichen bei beiden Schadstoffen nicht die Grenzwerte. Bei CO ist die Situation ein wenig anders. Das Ergebnis des Basisfalls liegt unter dem Grenzwert, aber bei optimierten Gangwechseln überschreitet die CO-Emission den Grenzwert und auch die HC-Emissionen sind signifikant höher, obwohl dieser Betrieb eine CO₂-Reduzierung von etwa 10% bewirkt.

Der günstigste Fall (ECO-Reifen) zeigt beim NEDC nur kleine Unterschiede zum Basisfall, der ungünstigste Fall hat dagegen signifikant höhere NO_x-Emissionen und 6% höhere CO₂-Emissionen. Die Klimaanlage auf höchste Kühlleistung gestellt, führte im Vergleich zur entsprechenden Variante ohne Betrieb der Klimaanlage zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen von 7,4% (9,1% für den städtischen Teil und 5,4% für den außerstädtischen Teil). Es muss angemerkt werden, dass diese Messungen mit einem Kaltstart durchgeführt wurden. Bei den anderen Fahrzeugen beruht der Vergleich der Messergebnisse mit und ohne Klimaanlage auf Heißstartbedingungen.

Für den NEDC gibt es eine generelle Tendenz, dass die HC- und CO-Emissionen mit zunehmenden CO₂-Emissionen abnehmen, während NO_x dem CO₂ Trend folgt. Und es muss ebenso erwähnt werden, dass die Emissionen von HC und NO_x bei außerstädtischen Zyklasteilen gegen Null tendieren. Dies ist bei CO ebenfalls der Fall, allerdings nur beim NEDC.

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to base case			
				g/km	g/km	g/km	g/km		CO	HC	NOx	CO2
1	BMW	NEDC	base case	0.8400	0.0398	0.0323	220.0	9.17	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		optimised gearshifts driver 1	1.2610	0.0670	0.0170	199.8	8.35	50.1%	68.6%	-47.3%	-9.2%
1	BMW		optimised gearshifts driver 2	1.6050	0.0850	0.0260	196.7	8.22	91.1%	113.8%	-19.4%	-10.6%
1	BMW		best case	0.8720	0.0455	0.0295	216.0	9.02	3.8%	14.5%	-8.5%	-1.8%
1	BMW		worst case	0.7990	0.0340	0.0375	228.6	9.55	-4.9%	-14.5%	16.3%	3.9%
1	BMW		worst case, SM, 1850 kg	0.8040	0.0350	0.0470	233.8	9.77	-4.3%	-11.9%	45.7%	6.3%
1	BMW		best case with AC	0.7735	0.0555	0.0370	231.9	9.69	-7.9%	39.6%	14.7%	5.4%
1	BMW	UDC	base case	2.2208	0.1283	0.0745	315.2	13.10	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		optimised gearshifts driver 1	3.3260	0.1790	0.0410	272.5	11.39	49.8%	39.6%	-45.0%	-13.5%
1	BMW		optimised gearshifts driver 2	4.2800	0.2290	0.0660	266.9	11.15	92.7%	78.6%	-11.4%	-15.3%
1	BMW		best case	2.3130	0.1650	0.0750	311.8	13.03	4.2%	28.7%	0.7%	-1.1%
1	BMW		worst case	2.1200	0.0920	0.0700	320.2	13.38	-4.5%	-28.3%	-6.0%	1.6%
1	BMW		worst case, SM, 1850 kg	2.0920	0.0940	0.1100	327.8	13.70	-5.8%	-26.7%	47.7%	4.0%
1	BMW		best case with AC	2.0295	0.1520	0.0930	340.3	14.22	-8.6%	18.5%	24.8%	8.0%
1	BMW	EUDC	base case	0.0435	0.0005	0.0078	165.0	6.90	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		optimised gearshifts driver 1	0.0550	0.0010	0.0030	157.2	6.57	26.4%	100.0%	-61.3%	-4.7%
1	BMW		optimised gearshifts driver 2	0.0540	0.0010	0.0020	156.0	6.52	24.1%	100.0%	-74.2%	-5.4%
1	BMW		best case	0.0435	0.0000	0.0035	160.9	6.72	0.0%	-100.0%	-54.8%	-2.5%
1	BMW		worst case	0.0365	0.0010	0.0185	175.7	7.34	-16.1%	100.0%	138.7%	6.5%
1	BMW		worst case, SM, 1850 kg	0.0560	0.0010	0.0110	179.3	7.49	28.7%	100.0%	41.9%	8.7%
1	BMW		best case with AC	0.0510	0.0000	0.0050	169.6	7.09	17.2%	-100.0%	-35.5%	2.8%
			limit values, EURO IV	1.0000	0.1000	0.0800						

Tabelle 3: Messergebnisse von Fahrzeug 1, NEDC

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to case without AC			
				g/km	g/km	g/km	g/km		CO	HC	NOx	CO2
1	BMW	FTP 75	best case	0.5852	0.0206	0.0308	228.6	9.55	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, with AC	0.5177	0.0325	0.0431	241.0	10.07	-11.5%	57.6%	40.1%	5.4%
1	BMW		worst case	0.6177	0.0231	0.0372	239.0	9.99	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		worst case, with AC	0.4191	0.0269	0.0462	249.9	10.44	-32.2%	16.2%	24.4%	4.5%
1	BMW	part 1	best case	1.1054	0.0656	0.0751	232.4	9.71	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, with AC	1.1185	0.0981	0.1037	247.0	10.32	1.2%	49.5%	38.0%	6.2%
1	BMW		worst case	1.1691	0.0674	0.0906	246.2	10.29	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		worst case, with AC	0.8231	0.0806	0.1162	255.4	10.67	-29.6%	19.4%	28.3%	3.7%
1	BMW	part 2	best case	0.3088	0.0012	0.0112	250.5	10.47	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, with AC	0.2423	0.0012	0.0187	262.4	10.96	-21.5%	0.0%	66.7%	4.8%
1	BMW		worst case	0.3594	0.0016	0.0125	257.4	10.75	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		worst case, with AC	0.1836	0.0006	0.0181	270.5	11.30	-48.9%	-60.0%	45.0%	5.1%
1	BMW	part 3	best case	0.3607	0.0037	0.0071	201.5	8.42	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, with AC	0.2136	0.0012	0.0087	212.0	8.86	-40.8%	-66.7%	22.5%	5.2%
1	BMW		worst case	0.3438	0.0016	0.0109	212.2	8.86	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		worst case, with AC	0.2661	0.0019	0.0069	222.1	9.28	-22.6%	20.0%	-37.1%	4.7%

Tabelle 4: Messergebnisse von Fahrzeug 1, US FTP 75

Die Ergebnisse für den US FTP 75 Zyklus zeigen mit und ohne Klimaanlage ähnliche Differenzen wie die NEDC-Ergebnisse. Wegen des höheren Geschwindigkeitsbereichs und der größeren Dynamik zeigen die Ergebnisse des CADC-Zyklus generell höhere Emissionspegel und größere Unterschiede zwischen den Varianten als die beiden anderen Zyklen. Die HC- und NOx-Emissionen sind im Vergleich zum EURO IV Grenzwert immer noch niedrig. Aber die CO-Emissionen sind hoch – sogar im heißen Zustand. Beim städtischen Teil mit Kaltstart betragen die CO-Emissionen zwischen 1,2 und 3,7 g/km, mit der entgegengesetzten Rangfolge als bei den CO₂-Emissionen (niedrigste CO-Emission im Fall der höchsten CO₂-Emission und umgekehrt). Wenn die Variante 'Klimaanlage in Betrieb' nicht berücksichtigt wird, werden die beiden Extremwerte durch die unterschiedlichen Schaltvorschriften gebildet: Optimierte Gangwechsel

führen zur niedrigsten CO₂-Emission und Gangwechsel bei 4000 min⁻¹ führen zur höchsten CO₂-Emission.

Die gesamten, vom Schaltverhalten abhängigen Unterschiede betragen bei der CO₂-Emission im Stadt / Land-Zyklus etwa 25%. Bei Autobahnbetrieb liegen die vom Schaltverhalten abhängigen Unterschiede unter 2%. Dies konnte erwartet werden, da der Autobahnbetrieb vorwiegend im größten Gang stattfindet.

Auf der anderen Seite wachsen die fahrzeugabhängigen Unterschiede (ungünstigster gegen günstigsten Fall) mit steigender Geschwindigkeit. Der Unterschied der CO₂-Emission von lediglich 1,3% beim Stadtbetrieb wächst auf 7,2% bei Landstraßen- und auf 11% bei Autobahnbetrieb. Diese Tendenz kann in den NEDC-Ergebnissen ebenfalls gefunden werden.

Die Unterschiede zwischen dem günstigsten Fall mit und ohne Klimaanlage sind bei den CO₂-Emissionen signifikant größer als bei den anderen Zyklen. Sie nehmen mit steigender Geschwindigkeit ab (13,7% beim Stadtbetrieb (heiß), 9,9% beim Landstraßenbetrieb und 5,2% beim Autobahnbetrieb). Für die schädlichen Emissionen gibt es keine generelle Tendenz, allerdings kann man konstatieren, dass es keinen Einfluss der Klimaanlage auf die HC- und NO_x-Emissionen gibt.

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to best case			
				g/km	g/km	g/km	g/km	l/100 km	CO	HC	NOx	CO2
1	BMW	urban, hot	best case	0.7650	0.0060	0.0360	344.9	14.41	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, gearshifts at 4000 min	0.6310	0.0000	0.0740	366.4	14.41	-17.5%	-100.0%	105.6%	6.3%
1	BMW		optimised gearshifts driver 2	0.8010	0.0130	0.0330	287.4	11.30	4.7%	116.7%	-8.3%	-16.7%
1	BMW		worst case	0.7780	0.0090	0.0190	349.2	14.59	1.7%	50.0%	-47.2%	1.3%
1	BMW		best case, with AC	1.0820	0.0310	0.0520	392.1	16.38	41.4%	416.7%	44.4%	13.7%
1	BMW	rural	best case	0.3640	0.0005	0.0215	180.6	7.54	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, gearshifts at 4000 min	0.3780	0.0000	0.0160	199.2	7.83	3.8%		-25.6%	10.3%
1	BMW		optimised gearshifts driver 2	0.2750	0.0010	0.0060	149.8	5.89	-24.5%		-72.1%	-17.0%
1	BMW		worst case	0.4280	0.0010	0.0130	193.6	8.09	17.6%		-39.5%	7.2%
1	BMW		best case, with AC	0.3330	0.0000	0.0190	198.5	8.29	-8.5%		-11.6%	9.9%
1	BMW	motor-way	best case	0.4830	0.0020	0.0070	193.2	8.07	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, gearshifts at 4000 min	0.6710	0.0000	0.0050	192.6	7.58	38.9%		-28.6%	-0.3%
1	BMW		optimised gearshifts driver 2	0.5200	0.0010	0.0040	189.0	7.43	7.7%		-42.9%	-2.2%
1	BMW		worst case	0.4320	0.0010	0.0080	214.5	8.96	-10.6%		14.3%	11.0%
1	BMW		best case, with AC	0.4470	0.0070	0.0070	203.3	8.50	-7.5%		0.0%	5.2%
1	BMW	urban, cold	best case	1.6615	0.0175	0.0185	373.8	15.62	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	BMW		best case, gearshifts at 4000 min	1.2720	0.0130	0.0230	405.3	15.94	-23.4%	-25.7%	24.3%	8.4%
1	BMW		optimised gearshifts driver 2	3.7050	0.0550	0.0440	321.9	12.66	123.0%	214.3%	137.8%	-13.9%
1	BMW		worst case	2.0840	0.0150	0.0370	385.8	16.1	25.4%	-14.3%	100.0%	3.2%
1	BMW		best case, with AC	1.7130	0.0000	0.0460	422.2	17.64	3.1%	-100.0%	148.6%	12.9%

Tabelle 5: Messergebnisse von Fahrzeug 1, CADC

Die Ergebnisse von Fahrzeug 2 werden in Tabelle 6 bis Tabelle 8 gezeigt. Dieses Fahrzeug ist mit einem Dieselmotor ausgerüstet. Die NEDC-Ergebnisse für den Basisfall liegen unter den EURO IV Grenzwerten (siehe Tabelle 6). Bei den CO- und den Partikelemissionen liegen die gemessenen Werte beim NEDC bei allen Varianten unter den Grenzwerten. Die Summe von HC und NO_x überschreitet den Grenzwert lediglich bei drei Varianten. Eine ist Klimaanlagebetrieb, die anderen hängen mit der optimierten Schaltstrategie zusammen, die auf der anderen Seite im Vergleich zum Basisfall zu rund 10% niedrigeren CO₂-Emissionen führt. Ebenso führt eine Starttemperatur von 29 °C zu einer leichten Reduzierung der CO₂-Emissionen (4,2% beim NEDC und 2,5% beim US FTP 75).

Generell sind die CO- und HC-Emissionen, wie auch bei den anderen Prüfzyklen, nahe Null. Bei diesem Fahrzeug wurde auch versucht, den Fahrereinfluss durch zusätzliche Messungen mit einem ungeübten und einem erfahrenen Fahrer zu untersuchen. Aber die Unterschiede sind bei allen Zyklen nicht signifikant.

Betrieb mit und ohne Klimaanlage wurde nur beim NEDC gemessen. Der Unterschied in der CO₂-Emission (22%) ist größer als bei Fahrzeug 1. Der Betrieb der Klimaanlage führt ebenfalls zu einem Anstieg der NOx- und Partikelemissionen (28% bei NOx und 10% bei den Partikeln).

Beim Basisfall sind die Unterschiede in der CO₂-Emission zwischen den Zyklen wie folgt: +3% beim US FTP 75 und +6% beim CADC, im Vergleich zum NEDC. Die Unterschiede sind bei NOx weit größer: +28% beim US FTP 75 und +229% beim CADC. Die NOx-Emissionen sind beim CADC-Zyklus in allen Teilen - sogar im städtischen heißen Teil - höher als beim NEDC. Die Reduzierungsstrategie scheint für den Prüfzyklus der Typzulassung optimiert zu sein.

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	HC + NOx	CO2	fuel consumption	particulates	Difference to base case				
				g/km	g/km	g/km	g/km	g/km			CO	HC	NOx	part	CO2
2	Golf TDI	NEDC	29 °C start temperature	0.0490	0.0075	0.2535	0.2610	133.0	4.99	0.0160	-43.0%	66.7%	0.8%	-3.0%	-4.2%
2	Golf TDI		base case	0.0860	0.0045	0.2515	0.2560	138.8	5.21	0.0165	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		optimised gearshifts, driver 1	0.0330	0.0050	0.3035	0.3085	122.7	4.60	0.0175	-61.6%	11.1%	20.7%	6.1%	-11.7%
2	Golf TDI		hot start, with AC	0.0100	0.0000	0.3670	0.3670	160.4	6.02	0.0220	-88.4%	-100.0%	45.9%	33.3%	15.6%
2	Golf TDI		hot start, without AC	0.0040	0.0000	0.2870	0.2870	131.5	4.94	0.0200	-95.3%	-100.0%	14.1%	21.2%	-5.3%
2	Golf TDI		optimised gearshifts, driver 2	0.0500	0.0080	0.3190	0.3270	126.3	4.74	0.0175	-41.9%	77.8%	26.8%	6.1%	-9.0%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0735	0.0080	0.2850	0.2930	136.3	5.12	0.0165	-14.5%	77.8%	13.3%	0.0%	-1.8%
2	Golf TDI	UDC	29 °C start temperature	0.1325	0.0185	0.2675	0.2860	166.6	6.25	0.0200	-42.8%	42.3%	-0.2%	-81.8%	-6.6%
2	Golf TDI		base case	0.2315	0.0130	0.2680	0.2810	178.3	6.69	0.1100	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		optimised gearshifts, driver 1	0.0850	0.0120	0.3380	0.3500	142.9	5.37	0.0215	-63.3%	-7.7%	26.1%	-80.5%	-19.8%
2	Golf TDI		hot start, with AC	0.0080	0.0000	0.4320	0.4320	210.8	7.92	0.0270	-96.5%	-100.0%	61.2%	-75.5%	18.3%
2	Golf TDI		hot start, without AC	0.0100	0.0000	0.3390	0.3390	161.0	6.04	0.0260	-95.7%	-100.0%	26.5%	-76.4%	-9.7%
2	Golf TDI		optimised gearshifts, driver 2	0.1150	0.0175	0.3615	0.3790	149.9	5.63	0.0205	-50.3%	34.6%	34.9%	-81.4%	-15.9%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.1865	0.0190	0.3305	0.3495	174.1	6.53	0.0210	-19.4%	46.2%	23.3%	-80.9%	-2.4%
2	Golf TDI	EUDC	29 °C start temperature	0.0000	0.0010	0.2455	0.2465	113.1	4.25	0.0135	no emission	no emission	1.7%	-3.6%	-2.1%
2	Golf TDI		base case	0.0000	0.0000	0.2415	0.2415	115.6	4.34	0.0140			0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		optimised gearshifts, driver 1	0.0010	0.0010	0.2830	0.2840	110.5	4.15	0.0145			17.2%	3.6%	-4.5%
2	Golf TDI		hot start, with AC	0.0120	0.0000	0.3280	0.3280	130.5	4.90	0.0190			35.8%	35.7%	12.9%
2	Golf TDI		hot start, without AC	0.0000	0.0000	0.2570	0.2570	114.1	4.28	0.0170			6.4%	21.4%	-1.3%
2	Golf TDI		optimised gearshifts, driver 2	0.0115	0.0030	0.2935	0.2965	112.3	4.21	0.0155			21.5%	10.7%	-2.9%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0055	0.0010	0.2580	0.2590	113.8	4.27	0.0135			6.8%	-3.6%	-1.5%
			limit values, EURO IV	0.5000			0.3000			0.0250					

Tabelle 6: Messergebnisse von Fahrzeug 2, NEDC

IDveh	vehicle	subcycle	mode	CO	HC	NOx	HC + NOx	CO2	fuel consumption	particulates	Difference to base case				
				g/km	g/km	g/km	g/km	g/km			CO	HC	NOx	part	CO2
2	Golf TDI	FTP 75	29 °C start temperature	0.0124	0.0050	0.3268	0.3318	139.9	3.24	0.0155	-35.5%	-11.1%	1.3%	-3.8%	-2.5%
2	Golf TDI		base case	0.0193	0.0056	0.3225	0.3281	143.5	3.32	0.0162	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		best case	0.0019	0.0019	0.3722	0.3741	125.0	2.89	0.0174	-90.3%	-66.7%	15.4%	7.7%	-12.9%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0267	0.0019	0.3629	0.3647	125.1	2.90	0.0180	38.7%	-66.7%	12.5%	11.5%	-12.8%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0236	0.0012	0.3815	0.3828	142.3	3.29	0.0174	22.6%	-77.8%	18.3%	7.7%	-0.8%
2	Golf TDI	phase 1	29 °C start temperature	0.0137	0.0068	0.3256	0.3324	141.1	3.27	0.0168	-76.8%	-8.3%	3.1%	12.5%	-4.0%
2	Golf TDI		base case	0.0590	0.0075	0.3157	0.3231	147.0	3.40	0.0149	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		best case	0.0037	0.0062	0.3797	0.3859	129.6	3.00	0.0137	-93.7%	-16.7%	20.3%	-8.3%	-11.8%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0826	0.0050	0.4126	0.4176	132.3	3.06	0.0168	40.0%	-33.3%	30.7%	12.5%	-10.0%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0609	0.0031	0.3983	0.4014	146.5	3.39	0.0205	3.2%	-58.3%	26.2%	37.5%	-0.3%
2	Golf TDI	phase 2	29 °C start temperature	0.0236	0.0043	0.2964	0.3007	147.0	3.40	0.0162			0.4%	-3.7%	-1.8%
2	Golf TDI		base case	0.0000	0.0056	0.2952	0.3007	149.8	3.47	0.0168	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		best case	0.0025	0.0000	0.3492	0.3492	123.3	2.85	0.0193			18.3%	14.8%	-17.7%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0000	0.0000	0.2914	0.2914	124.2	2.87	0.0193			-1.3%	14.8%	-17.1%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0112	0.0000	0.3436	0.3436	147.6	3.42	0.0149			16.4%	-11.1%	-1.4%
2	Golf TDI	phase 3	29 °C start temperature	0.0000	0.0037	0.3604	0.3641	130.9	3.03	0.0143			0.3%	-14.8%	-1.8%
2	Golf TDI		base case	0.0000	0.0031	0.3592	0.3623	133.2	3.08	0.0168	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		best case	0.0000	0.0000	0.3896	0.3896	122.1	2.83	0.0186			8.5%	11.1%	-8.3%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0000	0.0012	0.3908	0.3921	118.9	2.75	0.0174			8.8%	3.7%	-10.7%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0000	0.0000	0.4058	0.4058	132.4	3.06	0.0174			13.0%	3.7%	-0.6%

Tabelle 7: Messergebnisse von Fahrzeug 2, US FTP 75

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	HC + NOx	CO2	fuel consumption	particulates	Difference to base case				
				g/km	g/km	g/km	g/km	g/km			CO	HC	NOx	part	CO2
2	Golf TDI	CADC	base case	0.0098	0.0007	0.8276	0.8283	147.7	5.54	0.0404	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0158	0.0000	0.8516	0.8516	142.0	5.33	0.0233			2.9%	-42.2%	-3.8%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0348	0.0035	0.8423	0.8458	146.5	5.50	0.0216			1.8%	-46.4%	-0.8%
2	Golf TDI	urban, hot	base case	0.0000	0.0000	0.6000	0.6000	194.0	7.28	0.0320	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0250	0.0000	0.6460	0.6460	169.5	6.36	0.0240			7.7%	-25.0%	-12.6%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.2080	0.0030	0.6610	0.6640	185.2	6.95	0.0300			10.2%	-6.3%	-4.6%
2	Golf TDI	rural	base case	0.0430	0.0000	0.3690	0.3690	115.7	4.34	0.0160	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0000	0.0000	0.4240	0.4240	105.2	3.95	0.0180			14.9%	12.5%	-9.0%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0000	0.0020	0.4130	0.4150	113.9	4.28	0.0150			11.9%	-6.3%	-1.5%
2	Golf TDI	motor-way	base case	0.0000	0.0010	0.9960	0.9970	153.6	5.77	0.0490	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	Golf TDI		optimised gearshifts	0.0200	0.0000	1.0080	1.0080	151.3	5.68	0.0250			1.2%	-49.0%	-1.5%
2	Golf TDI		unpractised driver	0.0300	0.0040	0.9970	1.0010	153.3	5.76	0.0230			0.1%	-53.1%	-0.2%

Tabelle 8: Messergebnisse von Fahrzeug 2, CADC

Fahrzeug 3 war das kleinste Fahrzeug der Gruppe. Es war mit einer einfachen Klimaanlage ausgestattet, die durch Ein- und Ausschalten geregelt wurde. Die anderen Fahrzeuge hatten fortschrittlichere Systeme mit variabler Kompressorleistung. Die Ergebnisse von Fahrzeug 3 werden in Tabelle 9 bis Tabelle 11 gezeigt. Die NEDC-Prüfergebnisse liegen bei allen Varianten unter den Grenzwerten, außer für den Fall: Betrieb der Klimaanlage mit Sonneneinstrahlung.

Optimierte Schaltstrategie führte beim NEDC und beim US FTP 75 zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen von circa 10%, während beim CADC fast kein Unterschied zum Basisfall besteht. Das überraschende Ergebnis des CADC wird dadurch verursacht, dass bei Autobahnbetrieb ein Ansteigen der CO₂-Emissionen gemessen wurde (+2,3%), aber Minderungen bei städtischem Betrieb (-6,7%) und Landstraßenbetrieb (-10,1%). Beim CADC führte der optimierte Gangwechsel auch zu einem Anstieg der NOx-Emissionen.

Der NEDC wurde auf dem TÜV Nord Prüfstand bei einer Starttemperatur von 23 °C mit und ohne Klimaanlagebetrieb gefahren. Bereits dieses Verfahren führte zu signifikanten Unterschieden bei den Emissionen. Mit Klimaanlage waren die CO₂-Emissionen 37,4% höher. Die CO-Emission war um 141% angewachsen und die NOx-Emissionen waren 10,9-mal höher als ohne Klimaanlage. Bei den Versuchen mit Sonneneinstrahlung waren die Differenzen zwischen mit und ohne Klimaanlage noch viel eklatanter. In diesem Fall war die Raumtemperatur auf 35 °C eingestellt und die Sonneneinstrahlung betrug 850 W/m². Dieses Betreiben führte zu extrem hohen Emissionen (+53% bei CO₂, 9,5-mal höhere Werte bei HC, 63-mal höhere Werte bei NOx und 193-mal höhere Werte bei CO). Die NOx-Emission betrug mit Sonneneinstrahlung und einer Starttemperatur von 35 °C 0,45 g/km statt 0,08 g/km, die CO-Emission 9,9 g/km statt 0,12 g/km. Das führt zu dem Schluss, dass der Katalysator bei diesem Versuch nicht gearbeitet hat.

Der Versuch mit Sonneneinstrahlung wurde auch für den CADC durchgeführt. Die Differenzen zum Basisfall sind vergleichbar dem NEDC, wenn man die Unterschiede bei Geschwindigkeit und Dynamik zwischen den Zyklen berücksichtigt. Die Unterschiede zwischen den Fällen mit und ohne Klimaanlage bei Sonneneinstrahlung sind beim städtischen Teil am höchsten und am niedrigsten beim Autobahnteil. Es sollte angemerkt werden, dass dieses Fahrzeug die maximale Geschwindigkeit des CADC nicht erreichte. Mit Klimaanlage und Sonneneinstrahlung sank die Höchstgeschwindigkeit noch weiter (siehe Bild 4).

Ein anderes Phänomen ist die CO-Emission beim CADC gegenüber dem Basisfall. Sie beträgt 0,1 g/km beim städtischen Teil und erreicht 1,5 g/km beim ländlichen und 7,6 g/km beim Autobahnteil.

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to base case			
				g/km	g/km	g/km	g/km	l/100 km	CO	HC	NOx	CO2
3	Fiesta	NEDC	base case	0.2710	0.0400	0.0310	159.3	6.69	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		hot start, with AC	0.1230	0.0070	0.0830	202.8	8.52	-54.6%	-82.5%	167.7%	27.3%
3	Fiesta		hot start, without AC	0.0510	0.0110	0.0070	147.7	6.20	-81.2%	-72.5%	-77.4%	-7.3%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.2725	0.0445	0.0310	144.6	6.08	0.6%	11.3%	0.0%	-9.2%
3	Fiesta		Solartest with AC and radiation	9.9070	0.1155	0.4499	226.1	9.60	3555.7%	188.6%	1351.3%	41.9%
3	Fiesta	UDC	base case	0.5970	0.0895	0.0670	205.5	8.63	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		hot start, with AC	0.1880	0.0120	0.1640	273.6	11.49	-68.5%	-86.6%	144.8%	33.1%
3	Fiesta		hot start, without AC	0.0750	0.0260	0.0080	180.9	7.60	-87.4%	-70.9%	-88.1%	-12.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.6805	0.1120	0.0710	171.9	7.22	14.0%	25.1%	6.0%	-16.3%
3	Fiesta		Solartest with AC and radiation	17.9860	0.1895	0.5040	313.2	13.30	2912.7%	111.7%	652.2%	52.4%
3	Fiesta	EUDC	base case	0.0795	0.0010	0.0090	132.1	5.55	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		hot start, with AC	0.0850	0.0040	0.0360	161.1	6.77	6.9%	300.0%	300.0%	22.0%
3	Fiesta		hot start, without AC	0.0370	0.0030	0.0060	128.1	5.38	-53.5%	200.0%	-33.3%	-3.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.0370	0.0055	0.0080	128.9	5.41	-53.5%	450.0%	-11.1%	-2.4%
3	Fiesta		Solartest with AC and radiation	5.1765	0.0725	0.4190	175.1	7.43	6411.3%	7150.0%	4555.6%	32.6%
			limit values, EURO IV	1.0000	0.1000	0.0800						

Tabelle 9: Messergebnisse von Fahrzeug 3, NEDC

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to base case			
				g/km	g/km	g/km	g/km	l/100 km	CO	HC	NOx	CO2
3	Fiesta	FTP 75	base case	0.3629	0.0367	0.0889	163.1	4.32	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.4803	0.0516	0.0814	146.0	3.86	32.4%	40.7%	-8.4%	-10.5%
3	Fiesta	phase 1	base case	0.9700	0.1031	0.1746	169.3	4.48	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	1.3409	0.1516	0.1578	154.0	4.07	38.2%	47.0%	-9.6%	-9.1%
3	Fiesta	phase 2	base case	0.0590	0.0019	0.0118	169.3	4.48	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.0659	0.0012	0.0398	143.4	3.79	11.6%	-33.3%	236.8%	-15.3%
3	Fiesta	phase 3	base case	0.0826	0.0075	0.0870	150.3	3.97	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.0646	0.0050	0.0497	140.7	3.72	-21.8%	-33.3%	-42.9%	-6.4%

Tabelle 10: Messergebnisse von Fahrzeug 3, US FTP 75

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to base case			
				g/km	g/km	g/km	g/km	l/100 km	CO	HC	NOx	CO2
3	Fiesta	CADC	base case	5.8359	0.0193	0.0332	174.6	7.33	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	6.7776	0.0198	0.0754	173.3	7.28	16.1%	2.3%	127.1%	-0.8%
3	Fiesta		Solartest with AC and radiation	12.2140	0.0865	0.3445	224.2	9.52	109.3%	347.1%	937.8%	28.4%
3	Fiesta	urban	base case	0.0970	0.0050	0.0850	221.2	9.29	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.1670	0.0080	0.1440	206.5	8.67	72.2%	60.0%	69.4%	-6.7%
3	Fiesta		Solartest with AC and radiation	11.9015	0.1450	0.5675	354.8	15.07	12169.6%	2800.0%	567.6%	60.4%
3	Fiesta	rural	base case	1.5120	0.0090	0.0220	145.7	6.12	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	0.8020	0.0070	0.0600	131.1	5.51	-47.0%	-22.2%	172.7%	-10.1%
3	Fiesta		Solartest with AC and radiation	9.6975	0.0800	0.4275	206.0	8.75	541.4%	788.9%	1843.2%	41.3%
3	Fiesta	motor-way	base case	7.7560	0.0240	0.0320	179.6	7.54	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	Fiesta		optimised gearshifts	9.3090	0.0250	0.0740	183.7	7.72	20.0%	4.2%	131.3%	2.3%
3	Fiesta		Solartest with AC and radiation	13.3840	0.0825	0.2790	215.9	9.17	72.6%	243.8%	771.9%	20.2%

Tabelle 11: Messergebnisse von Fahrzeug 3, CADC

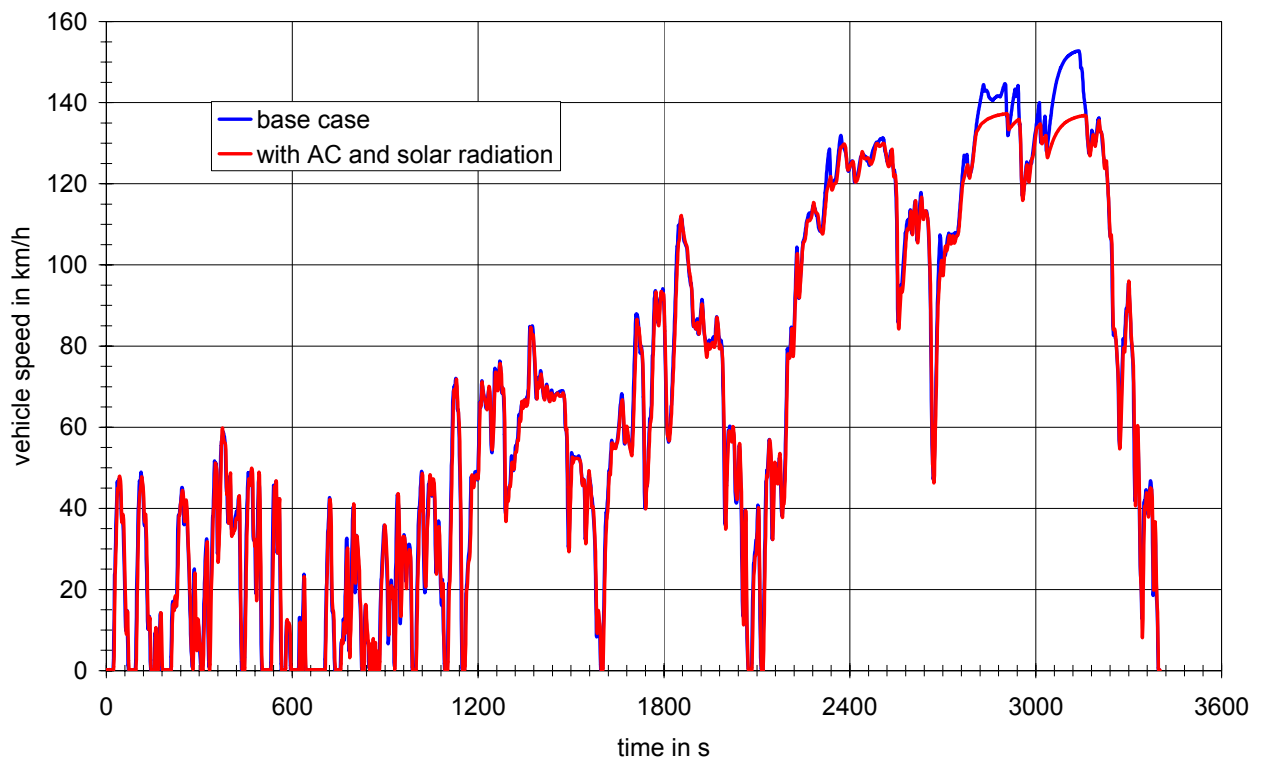


Bild 4: Geschwindigkeitsprofil für Fahrzeug 3 für den CADC

Die Ergebnisse von Fahrzeug 4 werden in Tabelle 12 bis Tabelle 14 gezeigt. Die NEDC-Prüfergebnisse liegen bei allen Varianten – außer bei dem Versuch mit Klimaanlage und Sonneneinstrahlung – weit unter den EURO IV Grenzwerten. Modifikationen am Fahrzeug wie ECO-Reifen etc. und optimierte Schaltstrategien führen zu niedrigeren CO₂-Emissionen. Die Schadstoffemissionen zeigen darauf keine klare Tendenz. Beim NEDC weisen die NO_x-Emissionen den gleichen Trend wie die CO₂-Emissionen auf (Reduzierung), während die CO- und HC-Emissionen im Vergleich zum Basisfall ansteigen. Aber weder der US FTP 75 noch der CADC zeigen diese Trends.

Hinsichtlich des Fahrereinflusses (ungeübter Fahrer gegenüber Basisfall) stimmen die Ergebnisse von Fahrzeug 4 mit den Ergebnissen von Fahrzeug 2 überein: Dieser Einfluss ist nicht signifikant.

Eine höhere Starttemperatur führt zu einer leichten Reduzierung der CO₂-Emissionen, aber bei den Schadstoffemissionen gibt es keine einheitliche Tendenz. Bei diesem Fahrzeug wurde ein weiterer Parameter variiert - die Batteriekapazität. Es wurden zusätzliche Versuche durchgeführt, wobei die Batterie so weit entladen war, dass ihre Kapazität nur noch 30% der vollen Kapazität betrug. Dies führte zu signifikant höheren CO₂-Emissionen (9% bis 21%, abhängig vom Zyklusteil). Beim NEDC ist ebenfalls ein Anstieg der Schadstoffemissionen zu erkennen, beim US FTP 75 gibt es allerdings keinen klaren Trend.

Der NEDC wurde auf dem TÜV Nord Prüfstand mit und ohne Betrieb der Klimaanlage in heißem Zustand, mit einer Starttemperatur von 23 °C und die Klimaanlage auf volle Kühlleistung gestellt, gefahren. Mit eingeschalteter Klimaanlage waren die CO₂-Emissionen 17% höher (25% beim Stadtzyklus-Teil des NEDC (UDC) und 10% beim Außerortsteil des NEDC (EUDC) als mit abgeschalteter Klimaanlage. Der Anstieg der Schadstoffemissionen war noch gravierender (50% bei NO_x, 167% bei HC und 176% bei CO). Allerdings bezieht sich die Zunahme von CO und HC lediglich auf den UDC.

Bei den Versuchen mit Sonneneinstrahlung waren die Unterschiede zwischen den Messergebnissen mit und ohne Klimaanlage größer, jedoch nicht so drastisch wie bei Fahrzeug 3. Wie bereits erwähnt war die Raumtemperatur für diesen Versuch auf 35 °C eingestellt und die Sonneneinstrahlung betrug 850 W/m². Dieses Verfahren führte beim NEDC im Vergleich zur Heißstartprüfung ohne Klimaanlage zu folgenden Differenzen:

- CO₂ +21,2% (+28,8 beim UDC und +14,4% beim EUDC)
- NOx +116,5% (+180% beim UDC und 35% beim EUDC).

Bei CO und HC sind die Differenzen noch größer, jedoch liegen die Werte bei Klimaanlage mit Sonneneinstrahlung immer noch unter den Grenzwerten.

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO ₂	fuel consumption	Difference to base case			
				g/km	g/km	g/km	g/km	l/100 km	CO	HC	NOx	CO ₂
4	E 240 T	NEDC	29 °C start temperature	0.2165	0.0230	0.0540	250.6	10.53	-20.1%	-35.2%	-11.5%	-1.8%
4	E 240 T		30% battery capacity	0.3745	0.0515	0.0700	295.9	12.43	38.2%	45.1%	14.8%	16.0%
4	E 240 T		base case	0.2710	0.0355	0.0610	255.1	10.72	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		best case	0.5885	0.0455	0.0475	216.2	9.08	117.2%	28.2%	-22.1%	-15.2%
4	E 240 T		engine oil minimum	0.2560	0.0315	0.0490	255.0	10.71	-5.5%	-11.3%	-19.7%	0.0%
4	E 240 T		hot start, with AC	0.0690	0.0080	0.0830	265.8	11.16	-74.5%	-77.5%	36.1%	4.2%
4	E 240 T		hot start, without AC	0.0250	0.0030	0.0550	226.9	9.53	-90.8%	-91.5%	-9.8%	-11.0%
4	E 240 T		optimised gearshifts	0.4305	0.0335	0.0435	236.8	9.95	58.9%	-5.6%	-28.7%	-7.2%
4	E 240 T		Solartest with AC and radiation	0.2560	0.0117	0.1439	275.0	11.68	-5.5%	-67.2%	135.8%	7.8%
4	E 240 T		unpractised driver	0.2410	0.0310	0.0650	258.2	10.85	-11.1%	-12.7%	6.6%	1.2%
4	E 240 T	UDC	29 °C start temperature	0.5630	0.0625	0.1380	354.5	14.89	-19.6%	-34.2%	-8.3%	-3.1%
4	E 240 T		30% battery capacity	1.0205	0.1405	0.1830	442.7	18.60	45.8%	47.9%	21.6%	21.0%
4	E 240 T		base case	0.7000	0.0950	0.1505	365.8	15.37	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		best case	1.5150	0.1205	0.1215	283.1	11.89	116.4%	26.8%	-19.3%	-22.6%
4	E 240 T		engine oil minimum	0.6700	0.0845	0.1270	366.5	15.40	-4.3%	-11.1%	-15.6%	0.2%
4	E 240 T		hot start, with AC	0.1700	0.0210	0.1960	373.4	15.68	-75.7%	-77.9%	30.2%	2.1%
4	E 240 T		hot start, without AC	0.0340	0.0080	0.1310	299.0	12.56	-95.1%	-91.6%	-13.0%	-18.3%
4	E 240 T		optimised gearshifts	1.1305	0.0915	0.1145	331.1	13.91	61.5%	-3.7%	-23.9%	-9.5%
4	E 240 T		Solartest with AC and radiation	0.6835	0.0230	0.3675	385.0	16.35	-2.4%	-75.8%	144.2%	5.3%
4	E 240 T		unpractised driver	0.6505	0.0825	0.1225	369.8	15.53	-7.1%	-13.2%	-18.6%	1.1%
4	E 240 T	EUDC	29 °C start temperature	0.0140	0.0000	0.0050	189.7	7.97	-24.3%	-100.0%	-37.5%	-0.1%
4	E 240 T		30% battery capacity	0.0000	0.0005	0.0040	210.9	8.86	-100.0%	-50.0%	-50.0%	11.1%
4	E 240 T		base case	0.0185	0.0010	0.0080	189.8	7.97	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		best case	0.0375	0.0005	0.0040	176.5	7.41	102.7%	-50.0%	-50.0%	-7.1%
4	E 240 T		engine oil minimum	0.0150	0.0005	0.0040	189.9	7.98	-18.9%	-50.0%	-50.0%	0.1%
4	E 240 T		hot start, with AC	0.0100	0.0010	0.0170	202.6	8.51	-45.9%	0.0%	112.5%	6.7%
4	E 240 T		hot start, without AC	0.0210	0.0010	0.0100	184.4	7.75	13.5%	0.0%	25.0%	-2.9%
4	E 240 T		optimised gearshifts	0.0290	0.0010	0.0030	182.7	7.67	56.8%	0.0%	-62.5%	-3.8%
4	E 240 T		Solartest with AC and radiation	0.0070	0.0050	0.0135	211.0	8.96	-62.2%	400.0%	68.8%	11.1%
4	E 240 T		unpractised driver	0.0015	0.0005	0.0315	192.9	8.10	-91.9%	-50.0%	293.8%	1.6%
			limit values, EURO IV	1.0000	0.1000	0.0800						

Tabelle 12: Messergebnisse von Fahrzeug 4, NEDC

Der Versuch mit der Sonneneinstrahlung wurde auch mit dem CADC durchgeführt. Die Differenzen zum Basisfall sind mit denen des NEDC vergleichbar, wenn man die Unterschiede in Geschwindigkeit und Dynamik zwischen den Zyklen berücksichtigt. Die Unterschiede sind bei den Fällen mit und ohne Klimaanlage bei Sonneneinstrahlung beim städtischen Teil am größten und beim Autobahnteil am kleinsten. Die Differenzen bei HC und CO sind wegen des niedrigen Levels unbedeutend. Allerdings ist der Anstieg bei NOx signifikant, wobei angemerkt werden sollte, dass beim CADC die NOx-Werte - bis auf eine Ausnahme – alle über dem Grenzwert von EURO IV liegen.

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to base case			
				g/km	g/km	g/km	g/km		CO	HC	NOx	CO2
4	E 240 T	FTP 75	29 °C start temperature	0.1094	0.0249	0.2113	263.6	6.97	-40.9%	-52.9%	27.8%	-1.9%
4	E 240 T		30% battery capacity	0.2510	0.0497	0.1802	302.3	8.00	35.6%	-5.9%	9.0%	12.5%
4	E 240 T		base case	0.1852	0.0528	0.1653	268.8	7.11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		best case	0.4362	0.0385	0.2280	215.8	5.71	135.6%	-27.1%	38.0%	-19.7%
4	E 240 T		engine oil minimum	0.1901	0.0597	0.2007	267.3	7.07	2.7%	12.9%	21.4%	-0.5%
4	E 240 T		unpractised driver	0.1945	0.0454	0.2237	280.1	7.41	5.0%	-14.1%	35.3%	4.2%
4	E 240 T	phase 1	29 °C start temperature	0.3169	0.0739	0.3747	274.3	7.26	-42.2%	-53.0%	73.8%	-4.5%
4	E 240 T		30% battery capacity	0.7133	0.1491	0.2691	321.8	8.51	30.2%	-5.1%	24.8%	12.0%
4	E 240 T		base case	0.5481	0.1572	0.2156	287.3	7.60	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		best case	1.1744	0.1087	0.2585	237.7	6.29	114.3%	-30.8%	19.9%	-17.3%
4	E 240 T		engine oil minimum	0.5344	0.1777	0.3057	284.2	7.52	-2.5%	13.0%	41.8%	-1.1%
4	E 240 T		unpractised driver	0.5387	0.1355	0.2672	282.6	7.47	-1.7%	-13.8%	23.9%	-1.6%
4	E 240 T	phase 2	29 °C start temperature	0.0112	0.0000	0.0342	283.9	7.51	200.0%	-100.0%	-17.9%	-0.7%
4	E 240 T		30% battery capacity	0.0348	0.0006	0.0298	329.9	8.73	833.3%	-50.0%	-28.4%	15.4%
4	E 240 T		base case	0.0037	0.0012	0.0416	285.9	7.56	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		best case	0.0404	0.0019	0.0739	213.1	5.64	983.3%	50.0%	77.6%	-25.5%
4	E 240 T		engine oil minimum	0.0367	0.0006	0.0466	286.1	7.57	883.3%	-50.0%	11.9%	0.1%
4	E 240 T		unpractised driver	0.0298	0.0006	0.1274	287.1	7.60	700.0%	-50.0%	206.0%	0.4%
4	E 240 T	phase 3	29 °C start temperature	0.0075	0.0031	0.2386	231.0	6.11	-57.1%	-37.5%	-3.8%	-0.3%
4	E 240 T		30% battery capacity	0.0230	0.0037	0.2541	253.2	6.70	32.1%	-25.0%	2.5%	9.3%
4	E 240 T		base case	0.0174	0.0050	0.2479	231.7	6.13	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		best case	0.1268	0.0087	0.3647	196.9	5.21	628.6%	75.0%	47.1%	-15.0%
4	E 240 T		engine oil minimum	0.0099	0.0043	0.2616	230.3	6.09	-42.9%	-12.5%	5.5%	-0.6%
4	E 240 T		unpractised driver	0.0273	0.0043	0.2840	270.0	7.14	57.1%	-12.5%	14.5%	16.5%

Tabelle 13: Messergebnisse von Fahrzeug 4, US FTP 75

IDveh	vehicle	sub-cycle	mode	CO	HC	NOx	CO2	fuel consumption	Difference to base case			
				g/km	g/km	g/km	g/km		CO	HC	NOx	CO2
4	E 240 T	CADC	30% battery capacity	0.1679	0.0010	0.1683	243.9	10.25	172.1%	-57.6%	73.7%	2.4%
4	E 240 T		base case	0.0617	0.0025	0.0969	238.1	10.00	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		optimised gearshifts	0.0890	0.0028	0.1044	214.1	8.99	44.2%	14.2%	7.7%	-10.1%
4	E 240 T		Solartest with AC and radiation	0.1570	0.0119	0.2078	272.8	11.58	154.5%	382.2%	114.5%	14.5%
4	E 240 T		unpractised driver	0.1072	0.0012	0.1076	235.6	9.90	73.7%	-52.6%	11.0%	-1.1%
4	E 240 T	urban, hot	30% battery capacity	0.0690	0.0090	0.4850	406.6	17.08	11.3%	0.0%	174.0%	13.6%
4	E 240 T		base case	0.0620	0.0090	0.1770	358.1	15.04	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		optimised gearshifts	0.0410	0.0070	0.2600	327.4	13.75	-33.9%	-22.2%	46.9%	-8.6%
4	E 240 T		Solartest with AC and radiation	0.2940	0.0310	0.6745	448.3	19.04	374.2%	244.4%	281.1%	25.2%
4	E 240 T		unpractised driver	0.0330	0.0070	0.3350	348.8	14.65	-46.8%	-22.2%	89.3%	-2.6%
4	E 240 T	rural	30% battery capacity	0.0000	0.0020	0.2120	235.9	9.91	-100.0%	0.0%	86.0%	5.7%
4	E 240 T		base case	0.0420	0.0020	0.1140	223.1	9.37	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		optimised gearshifts	0.0000	0.0010	0.0390	182.1	7.65	-100.0%	-50.0%	-65.8%	-18.4%
4	E 240 T		Solartest with AC and radiation	0.1325	0.0080	0.2565	255.6	10.85	215.5%	300.0%	125.0%	14.6%
4	E 240 T		unpractised driver	0.0140	0.0000	0.1310	220.0	9.24	-66.7%	-100.0%	14.9%	-1.4%
4	E 240 T	motor-way	30% battery capacity	0.2310	0.0000	0.1250	231.4	9.72	239.7%	-100.0%	48.8%	-0.2%
4	E 240 T		base case	0.0680	0.0020	0.0840	231.9	9.74	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4	E 240 T		optimised gearshifts	0.1220	0.0030	0.1110	214.0	8.99	79.4%	50.0%	32.1%	-7.7%
4	E 240 T		Solartest with AC and radiation	0.1505	0.0110	0.1285	258.6	10.98	121.3%	450.0%	53.0%	11.5%
4	E 240 T		unpractised driver	0.1440	0.0010	0.0790	230.1	9.67	111.8%	-50.0%	-6.0%	-0.8%

Tabelle 14: Messergebnisse von Fahrzeug 4, CADC

3.2 Analyse der Modaldaten

3.2.1 Allgemeines

Beim größeren Teil der Messungen wurden die Emissionsdaten bis auf die Partikelemissionen auch sekundlich aufgenommen und ausgewertet. Diese Daten liefern einige Erklärungen für unerwartete Ergebnisse bezüglich der Schadstoffemissionen. Ein Beispiel für die Zeitreihe der CO-Emissionen von Fahrzeug 2 beim NEDC ist in Bild 5 dargestellt. Es zeigt, dass bei diesem Zyklus die CO-Emissionen dieses Fahrzeugs nur ein Kaltstartproblem sind, da die Emissionen nach dem zweiten UDC gegen Null tendieren. Allerdings ist es schwer, Unterschiede zwischen den zahlreichen Varianten zu beurteilen.

Um den besten Aufschluss zu erhalten, wurden die sekundlichen Emissionen für jeden Teil des Zyklus über die Zeit kumuliert. Bild 6 zeigt ein Beispiel für die NO_x-Emission von Fahrzeug 4 beim NEDC. Hier kann man klar erkennen, dass die NO_x-Emissionen des Fahrzeugs vorherrschend mit den Beschleunigungsphasen zusammenhängen und dass der Katalysator bei der letzten Beschleunigungsphase des EUDC beim ungeübten Fahrer nicht in Betrieb war.

Bild 7 zeigt ein ähnliches Beispiel für die HC-Emissionen von Fahrzeug 2. Die Bedeutung des Kaltstarts ist offensichtlich. Beispiele für den CADC werden im Hinblick auf HC und CO in Bild 8 und Bild 9 gezeigt. Bild 8 zeigt einen deutlichen Anstieg der HC-Emissionen mit der Fahrzeuggeschwindigkeit, Bild 9 zeigt, dass die CO-Emission für kurze Zeit einige "Ausbrüche" haben kann.

Entsprechende Bilder von allen Fahrzeugen, Schadstoffen und CO₂ sind in Anhang A zu finden.

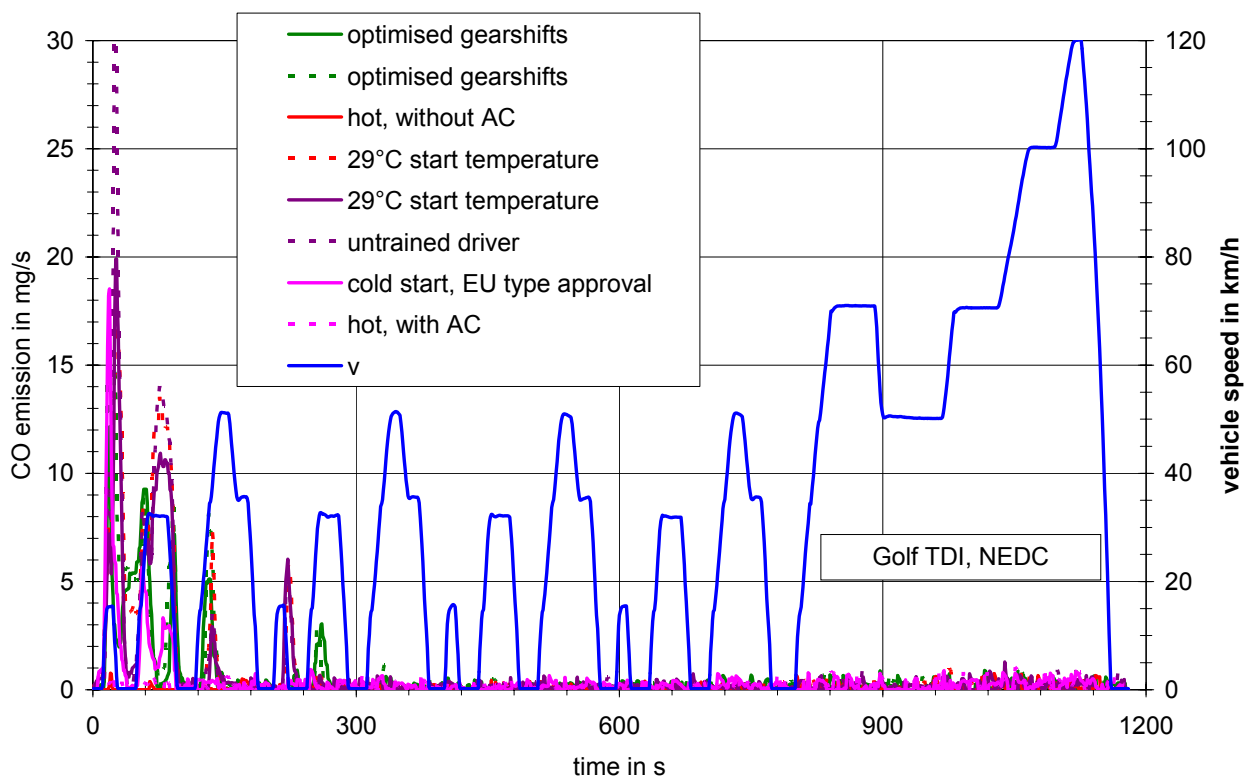


Bild 5: Zeitprofil der CO-Emissionen beim NEDC mit Fahrzeug 2

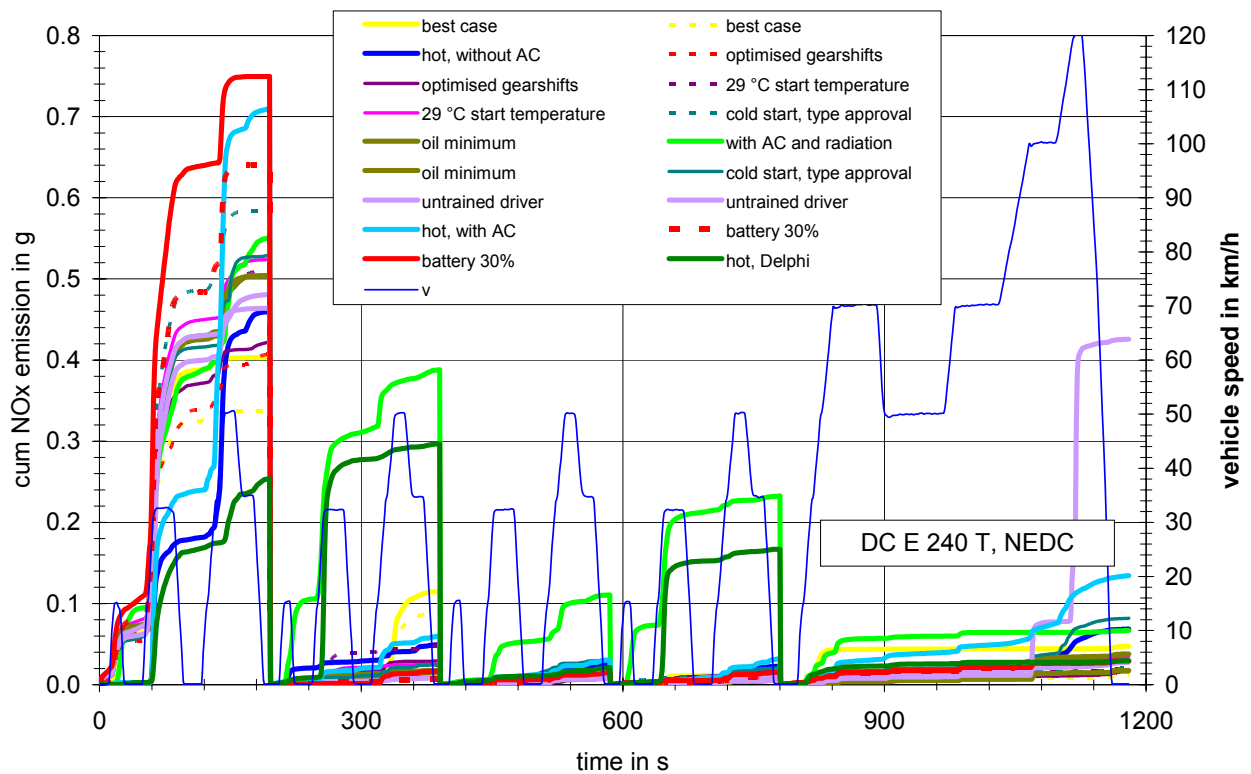


Bild 6: Kumulierte NOx-Emissionen bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 4

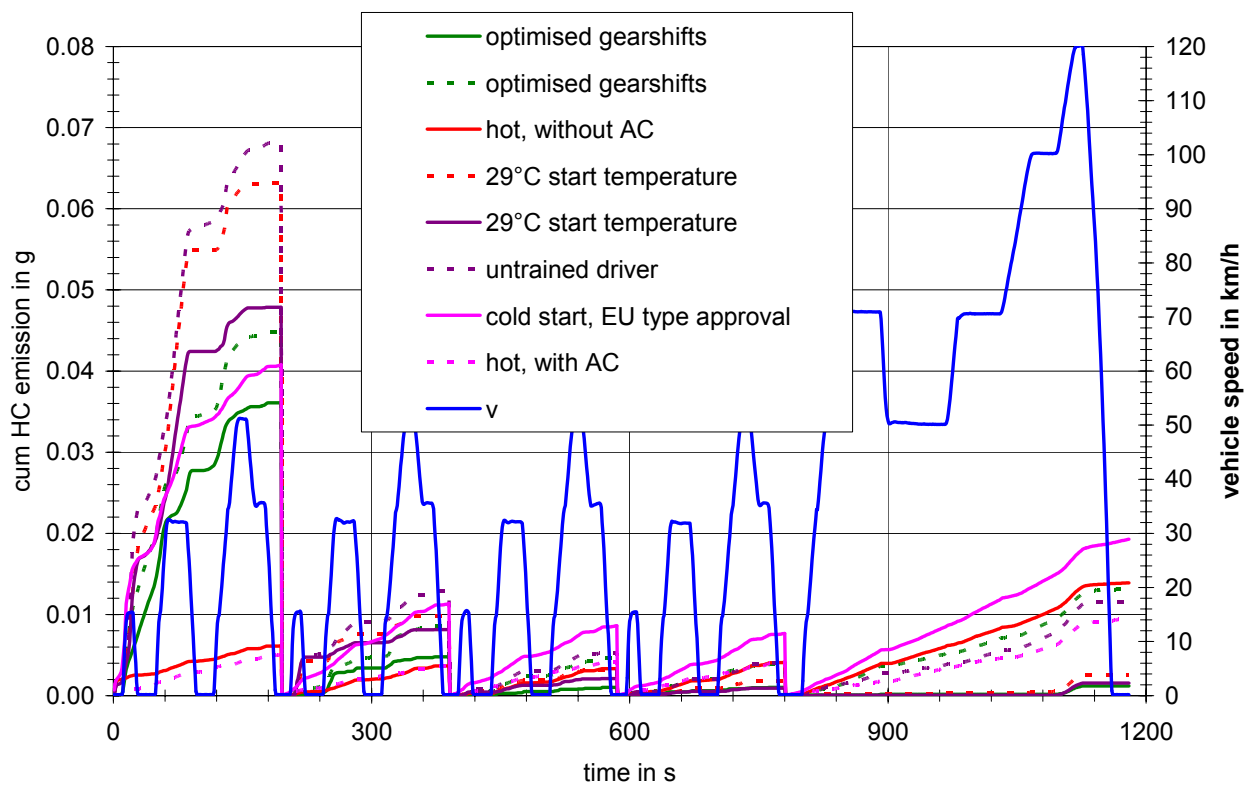


Bild 7: Kumulierte HC-Emissionen bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 2

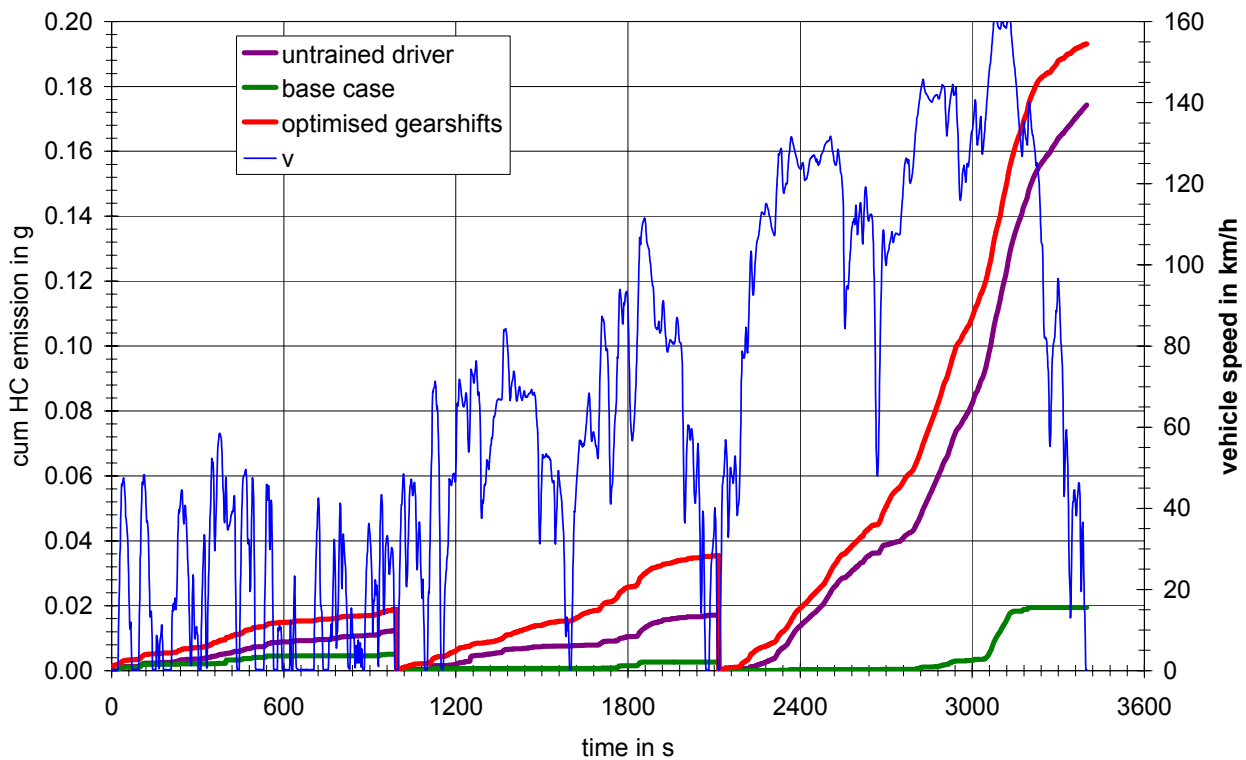


Bild 8: Kumulierte HC-Emissionen bei den verschiedenen CADC Teilen, Fahrzeug 2

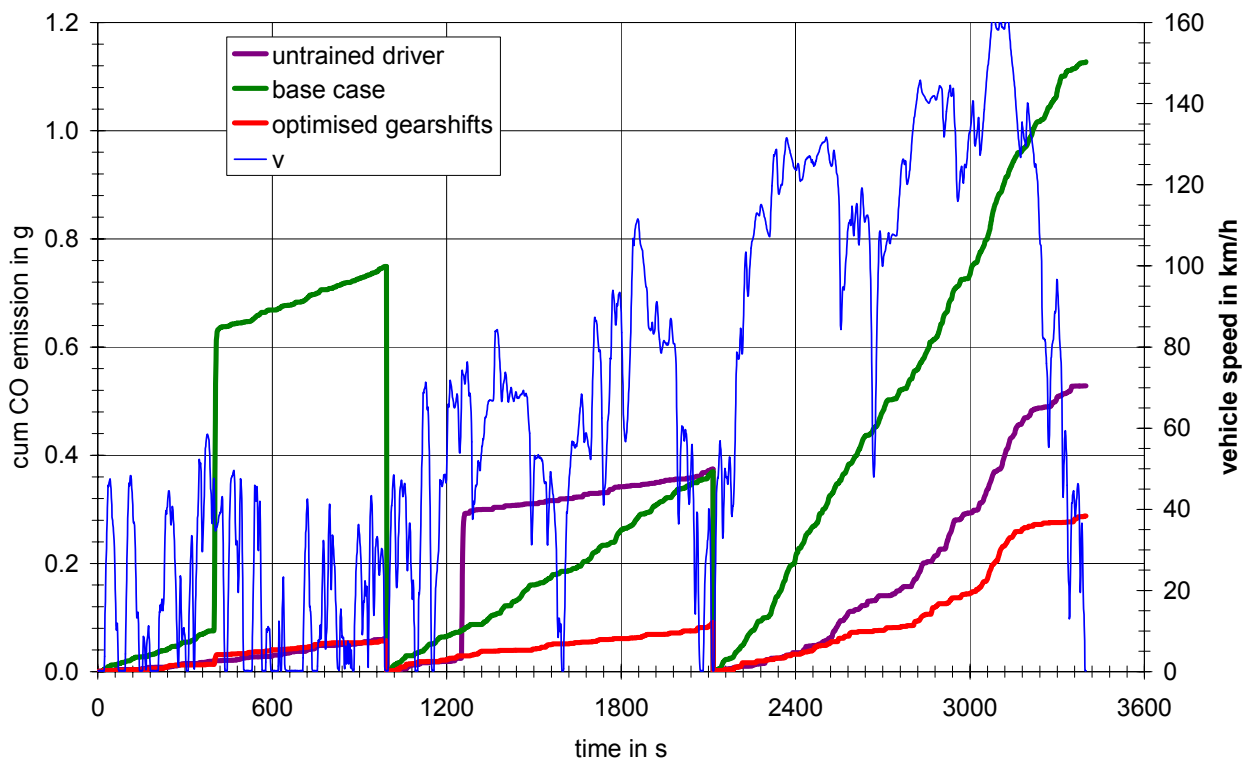


Bild 9: Kumulierte CO-Emissionen bei den verschiedenen CADC Teilen, Fahrzeug 2

Die Analyse der Modaldaten konzentrierte sich auf die zwei wichtigsten Fragen:

- Kaltstarteinfluss
- Einfluss von Klimaanlage

3.2.2 Kaltstarteinfluss

Um den Kaltstarteinfluss abzuschätzen, wurden die Emissionen für jeden Teil des Zyklus separat aufsummiert. Beim NEDC wurden die Emissionen der ersten beiden und der letzten beiden UDCs jeweils addiert. Der Kaltstartbeitrag konnte dann aus den Differenzen zwischen den beiden Werten berechnet werden. Ein ähnliches Vorgehen konnte beim US FTP Zyklus benutzt werden, indem die Emissionen der ersten und der dritten Phase des Zyklus verglichen wurde. Das Gleiche konnte beim CADC und Fahrzeug 1 gemacht werden.

Da kein signifikanter Varianteneinfluss gefunden werden konnte, wurden die Ergebnisse über die verschiedenen Varianten gemittelt. Diese Mittelwerte sind in Tabelle 15 aufgelistet. Die Kaltstart-HC-Emissionen können 0,8 g erreichen, die CO-Emissionen bis zu 6,5 g, die NO_x-Emissionen bis zu 0,6 g und die CO₂-Emissionen bis zu 320 g. Das Dieselfahrzeug weist die niedrigsten Werte auf.

Aussagekräftiger als die absoluten Werte sind die prozentualen Anteile der Kaltstartemissionen an den gesamten Emissionen des Teilzyklus. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 16 aufgelistet. Die Kaltstartbeiträge sind auf die Gesamtemissionen derjenigen Teilzyklen bezogen, die vom Kaltstart beeinflusst werden. Im Falle des NEDC wurden die ersten zwei UDCs gewählt, beim US FTP 75 die erste Phase des Zyklus und im Falle des CADC der städtische Teil mit Kaltstart. Es ist eindeutig zu sehen, dass bei HC und CO der größere Teil der Emissionen durch den Kaltstart verursacht wird. Wenn man beim CADC die deutlich niedrigeren Werte, die dadurch entstehen, dass annähernd die zweite Hälfte des städtischen Teils bereits heißer Betrieb ist, außer Acht lässt, variieren die Werte für HC und CO zwischen 65% und 98%.

Bei NO_x ist die Situation anders. Hier gibt es beim Dieselfahrzeug nur eine geringe Auswirkung durch den Kaltstart auf die Gesamtemission, jedoch eine signifikante Auswirkung bei den Benzinern (zwischen 29% und 96%).

pollutant	Cycle	Cold start emission in g			
		veh. no			
		1	2	3	4
HC	NEDC		0.052	0.406	0.376
	US FTP 75	0.403	0.026	0.690	0.755
	CADC	0.371			
CO	NEDC		0.582	0.406	3.705
	US FTP 75	4.523	0.268	6.530	3.477
	CADC	5.603			
NO _x	NEDC		0.072	0.228	0.513
	US FTP 75	0.473	0.000	0.557	0.435
	CADC	0.473			
CO ₂	NEDC		42.576	52.777	182.305
	US FTP 75	184.385	73.164	98.105	320.875
	CADC	202.821			

Tabelle 15: Kaltstartemission in g für verschiedene Schadstoffe, Zyklen und Fahrzeuge

		Cold start emission in % of total emission (of the cycle parts influenced by cold start)			
		veh. no			
pollutant	Cycle	1	2	3	4
HC	NEDC		87.3%	96.3%	98.6%
	US FTP 75	93.6%	63.8%	92.0%	95.5%
	CADC	79.7%			
CO	NEDC		91.8%	96.3%	97.4%
	US FTP 75	70.7%	78.0%	93.1%	91.8%
	CADC	52.5%			
NO _x	NEDC		9.3%	93.7%	95.8%
	US FTP 75	89.8%	0.0%	58.7%	29.0%
	CADC	69.3%			
CO ₂	NEDC		11.2%	13.1%	21.9%
	US FTP 75	13.2%	8.9%	10.3%	19.2%
	CADC	10.1%			

Tabelle 16: Kaltstartanteil in % von der Gesamtemission (der Zyklusteile die vom Kaltstart betroffen sind) für verschiedene Schadstoffe, Zyklen und Fahrzeuge

	Cold start emission in % of total emission for the whole NEDC		
	veh. no		
pollutant	2	3	4
HC	71.8%	85.5%	95.7%
CO	77.4%	85.5%	92.1%
NO _x	2.1%	72.7%	84.7%
CO ₂	2.8%	3.2%	6.5%

Tabelle 17: Kaltstartanteil in % der Gesamtemission des kompletten NEDC

3.2.3 Einfluss von Klimaanlage

Der wesentliche Einfluss von Klimaanlage wurde bereits in Kapitel 3.1 für jedes einzelne Fahrzeug besprochen. In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse detaillierter analysiert werden. Zu diesem Zweck wurden für den NEDC und den CADC die sekundlichen CO₂-Emissionen mit und ohne Klimaanlagebetrieb über der Fahrzeuggeschwindigkeit aufgetragen. "With AC" bedeutet Versuche auf dem TÜV Nord Prüfstand mit einer Raumtemperatur von 23 °C, "with AC and solar radiation" bezeichnet Versuche auf dem Delphi-Prüfstand bei einer Raumtemperatur von 35 °C und einer Sonneneinstrahlung von 850 W/m².

Die Ergebnisse sind in Bild 10 bis Bild 16 dargestellt. Die Regressionskurven zeigen, dass die Klimaanlage über den ganzen Geschwindigkeitsbereich höhere CO₂-Emissionen verursacht, und dass zwischen den einzelnen Fahrzeugen beträchtliche Unterschiede bestehen.

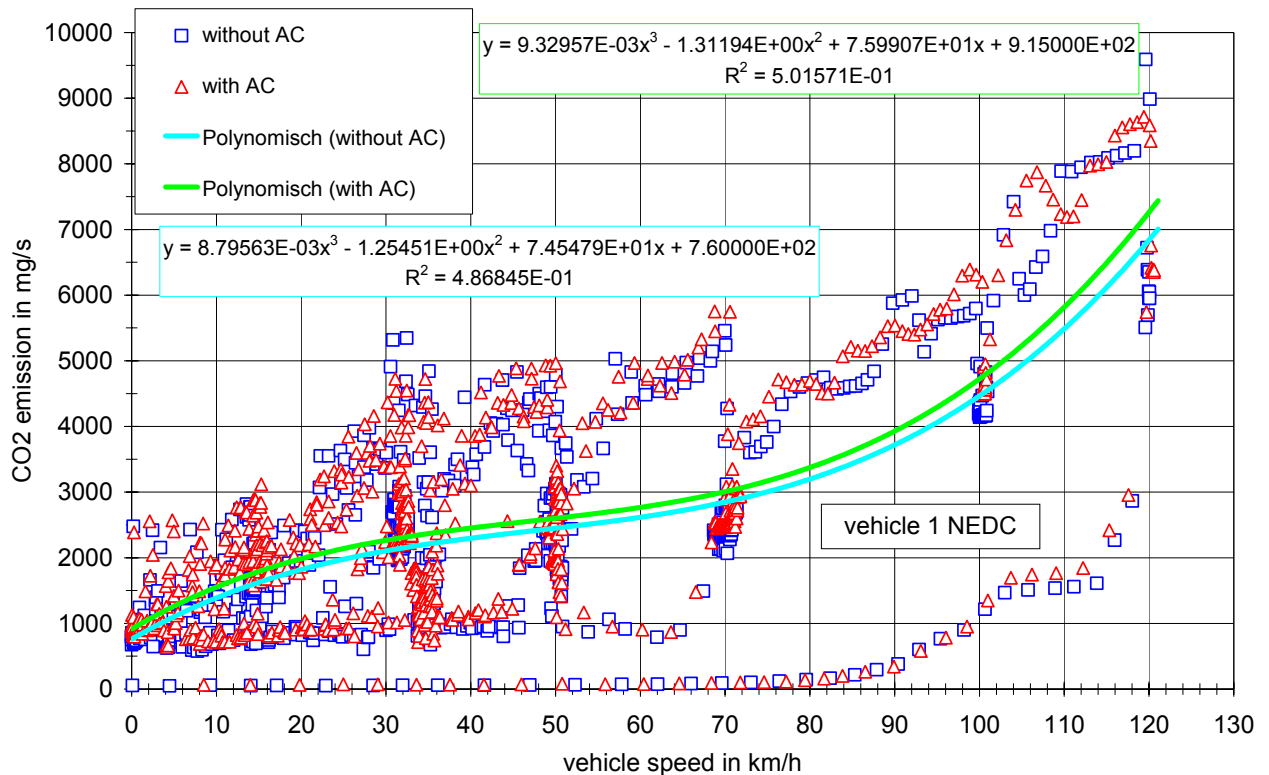


Bild 10: CO₂-Emissionen über der Fahrzeuggeschwindigkeit, NEDC, Fahrzeug 1

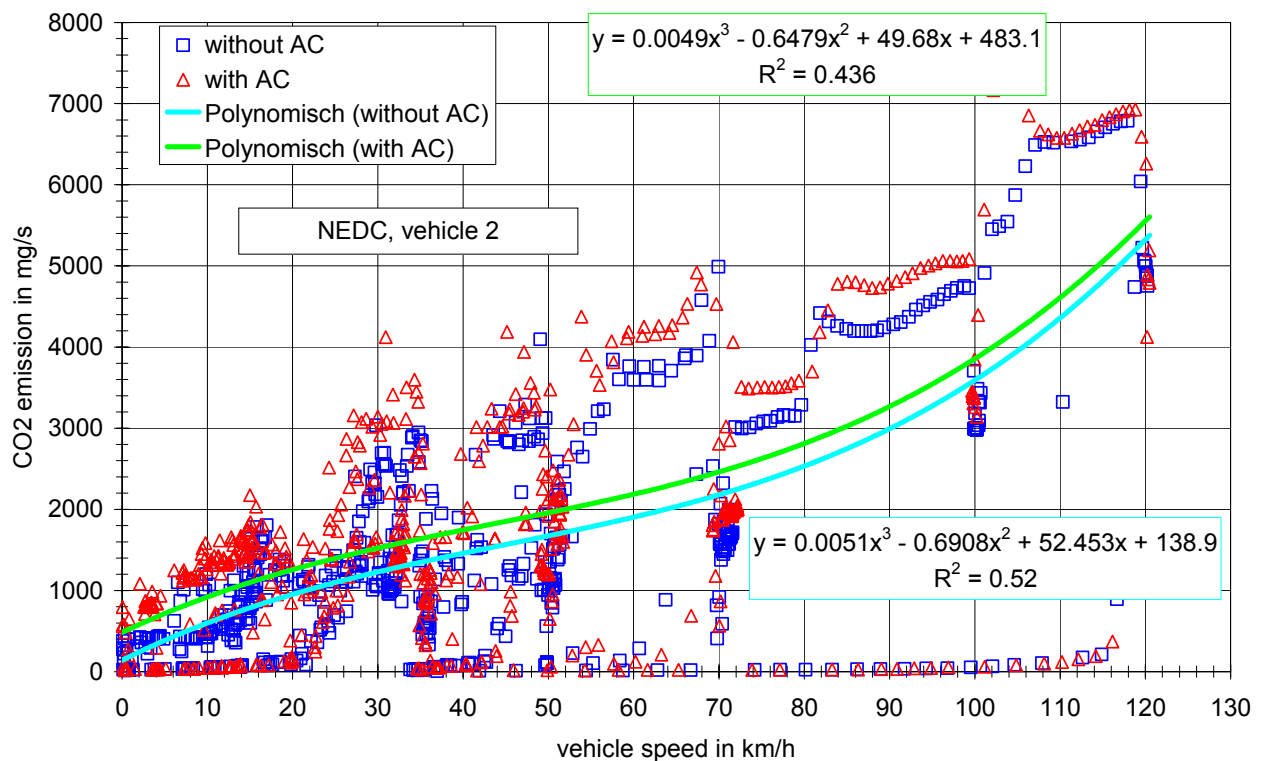


Bild 11: CO₂-Emissionen über der Fahrzeuggeschwindigkeit, NEDC, Fahrzeug 2

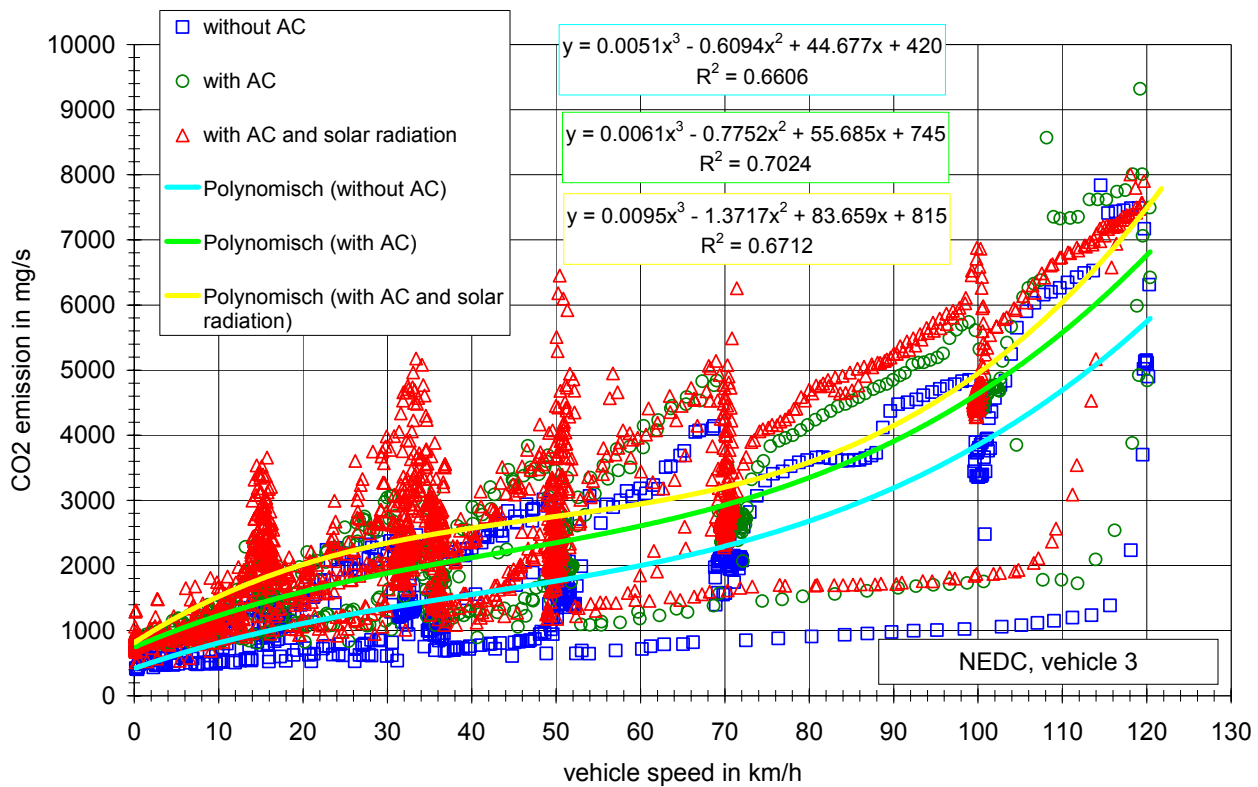


Bild 12: CO₂-Emissionen über der Fahrzeuggeschwindigkeit, NEDC, Fahrzeug 3

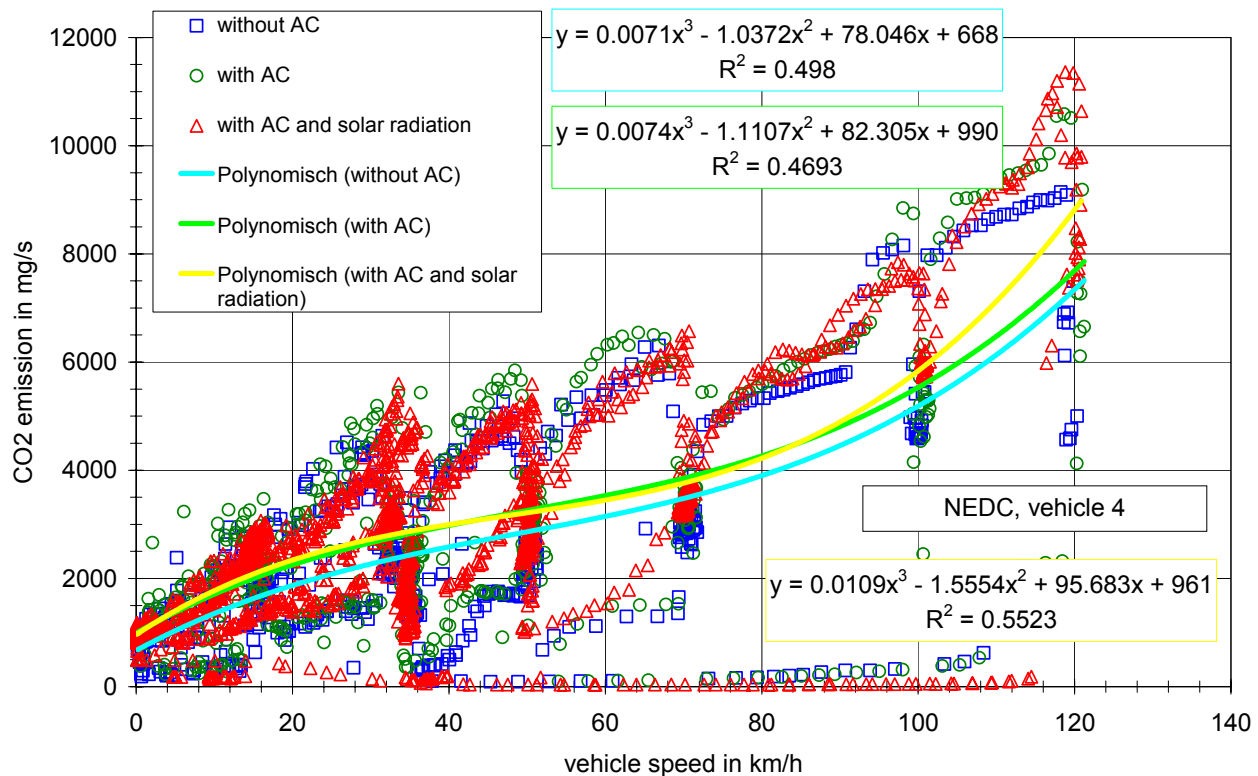


Bild 13: CO₂-Emissionen über der Fahrzeuggeschwindigkeit, NEDC, Fahrzeug 4

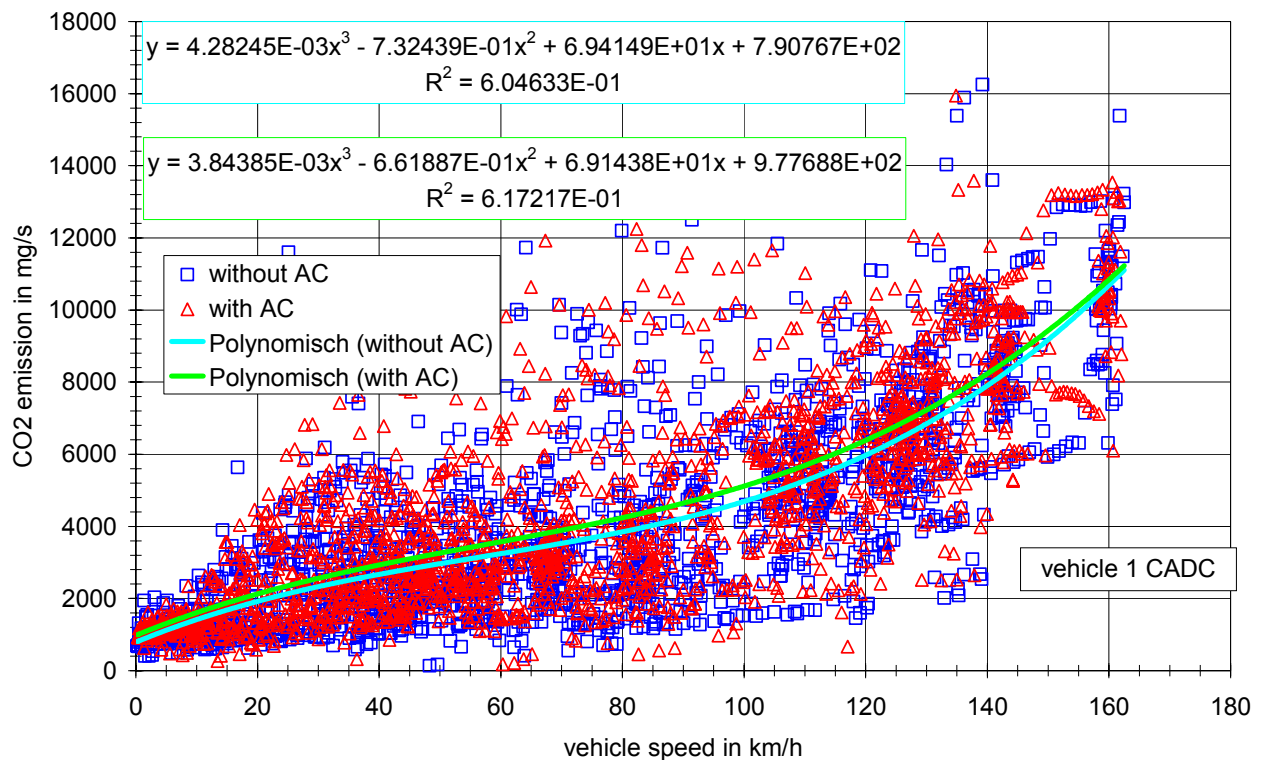


Bild 14: CO₂-Emissionen über der Fahrzeuggeschwindigkeit, CADC, Fahrzeug 1

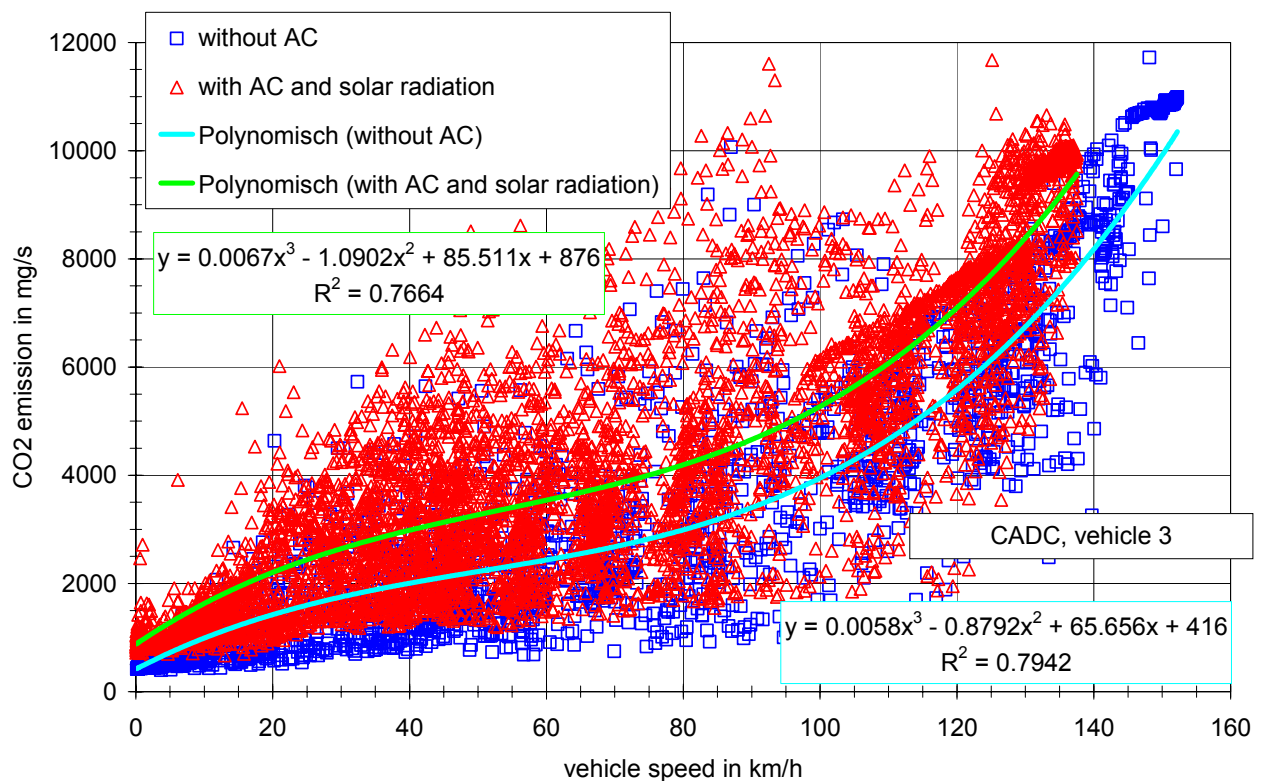


Bild 15: CO₂-Emissionen über der Fahrzeuggeschwindigkeit, CADC, Fahrzeug 3

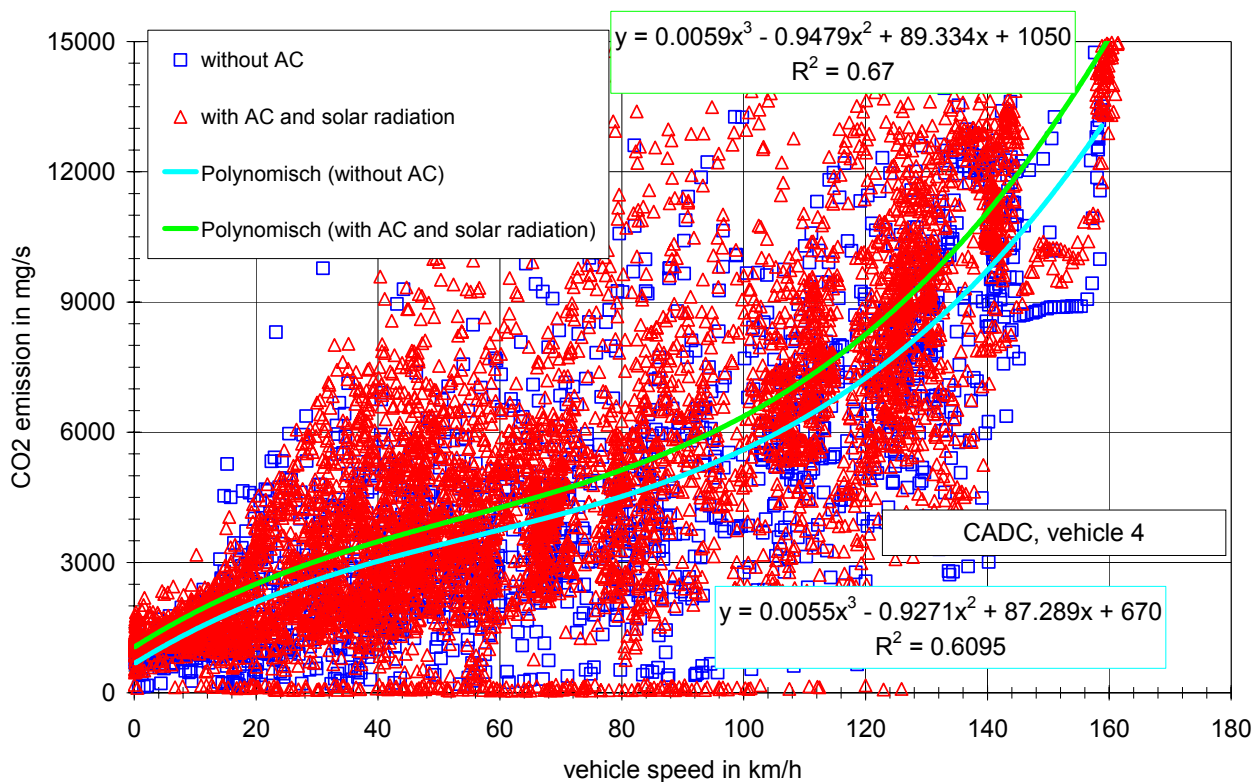


Bild 16: CO₂-Emissionen über der Fahrzeuggeschwindigkeit, CADC, Fahrzeug 4

Die Bilder stützen die Hypothese, dass die zusätzliche CO₂-Emission über die Fahrzeuggeschwindigkeit in etwa gleich bleibend ist.

Die Unterschiede zwischen mit und ohne Betrieb der Klimaanlage sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Der geringste Einfluss der Klimaanlage auf die Emissionen wurde bei Fahrzeug 1 festgestellt, der größte bei Fahrzeug 3. Es kann vermutet werden, dass der Einfluss auf die Emissionen mit steigender Nennleistung des Fahrzeugs sinkt. Die Fahrzeugauswahl ist jedoch zu klein und uneinheitlich, um diese Hypothese zu unterstützen.

Beim überwiegenden Teil der Ergebnisse kam es zu einem Anstieg der HC-Emissionen, allerdings auf so niedrigem Niveau, dass es nicht von Bedeutung ist.

Fahrzeug 3 zeigt bereits bei einer Temperatur von 23 °C und ohne Sonneneinstrahlung einen großen Einfluss der Klimaanlage. Die CO₂-Emission stieg beim UDC um 50% und um 25% beim EUDC. Die CO-Emission erhöhte sich um mehr als 100%, die NO_x-Emission um den Faktor 20 beim UDC und um den Faktor 5 beim EUDC. Bei einer Außentemperatur von 35 °C und Sonneneinstrahlung war die zusätzliche Belastung des Motors so hoch, dass die Warnleuchte für die Funktion des Katalysators aufleuchtete und die Schadstoffemissionen signifikant anstiegen. Es sollte überprüft werden, ob dieses Verhalten für kleine Autos typisch ist, oder ob dieses Fahrzeug nur ein Ausreißer war.

vehicle	cycle	Differences with and without AC				
		CO	HC	NOx	CO2	particulates
1	NEDC	-11.3%		25.4%	7.4%	
	UDC	-12.3%		24.0%	9.1%	
	EUDC	17.2%		42.9%	5.4%	
2	NEDC			27.9%	22.0%	10.0%
	UDC			27.4%	31.0%	3.8%
	EUDC			27.6%	14.4%	11.8%
3	NEDC	141.2%		1085.7%	37.4%	
	UDC	150.7%		1950.0%	51.2%	
	EUDC	129.7%		500.0%	25.8%	
	NEDC, with radiation	19325.5%	949.5%	6327.1%	53.1%	
	UDC, with radiation	23881.3%	628.8%	6200.0%	73.2%	
	EUDC, with radiation	13890.5%	2316.7%	6883.3%	36.6%	
4	NEDC	176.0%		50.9%	17.1%	
	UDC	400.0%		49.6%	24.9%	
	EUDC	-52.4%		70.0%	9.9%	
	NEDC, with radiation	924.0%		161.5%	21.2%	
	UDC, with radiation	1910.3%		180.5%	28.8%	
	EUDC, with radiation	-66.7%		35.0%	14.4%	
1	CADC, urban	41.4%		44.4%	13.7%	
	CADC, rural	-8.5%		-11.6%	9.9%	
	CADC, motorway	-7.5%		0.0%	5.2%	
3	CADC, urban, with radiation	12169.6%	2800.0%	567.6%	60.4%	
	CADC, rural, with radiation	541.4%	788.9%	1843.2%	41.3%	
	CADC, motorway, with radiation	72.6%	243.8%	771.9%	20.2%	
4	CADC, urban, with radiation	374.2%		281.1%	25.2%	
	CADC, rural, with radiation	215.5%		125.0%	14.6%	
	CADC, motorway, with radiation	121.3%		53.0%	11.5%	
1	US FTP 75, phase 1	1.2%		38.0%	6.2%	
	US FTP 75, phase 2	-21.5%		66.7%	4.8%	
	US FTP 75, phase 3	-40.8%		22.5%	5.2%	

Tabelle 18: Unterschiede zwischen den Emissionen mit und ohne Betrieb der Klimaanlage.

Die Tabelle zeigt die prozentualen Unterschiede zwischen den Versuchen mit und ohne Klimaanlage. „With radiation“ bedeutet, dass die Versuche auf dem Delphi-Prüfstand mit einer Sonneneinstrahlung von 850 W/m² und einer Raumtemperatur von 35 °C durchgeführt worden sind. In den übrigen Fällen wurden die Versuche auf dem Prüfstand des TÜV Nord bei einer Raumtemperatur von 23 °C mit Einstellung der Klimaanlage auf höchste Kühlleistung durchgeführt. Wenn bei HC keine Angaben gemacht sind, war das Emissionsniveau so niedrig, dass die Unterschiede eher durch die Messunsicherheit als durch die Klimaanlage bedingt sind. Nur Fahrzeug 2 war mit einem Dieselmotor ausgerüstet, daher sind auch nur für dieses Fahrzeug Angaben zu Partikelemissionen gemacht.

Bei den anderen Fahrzeugen gibt es keinen einheitlichen Trend für den Einfluss der Klimaanlage auf die CO-Emissionen, allerdings können die CO-Emissionen bei 35 °C und Sonneneinstrahlung enorm ansteigen (bis zum 20-fachen), selbst wenn man Fahrzeug 3 nicht berücksichtigt.

Die NOx-Emissionen weisen beim Betrieb der Klimaanlage einen generellen Trend zu höheren Werten auf, allerdings hängt der Anstieg sehr stark vom einzelnen Fahrzeug ab. Bei Fahrzeug 1 wurde beim NEDC und beim US FTP 75 ein Anstieg von 67% ermittelt, aber sogar auch eine Abnahme von 11% beim städtischen Teil des CADC. Das Dieselfahrzeug weist ohne Einstrahlung einen Anstieg von NOx in der Größenordnung von 27% auf, Fahrzeug 4 einen Anstieg zwischen 50% und 70%. Mit Einstrahlung kann der Anstieg der NOx-Emissionen bis zu 280% betragen.

Werte für die zusätzlichen Emissionen sind in Tabelle 19 und Tabelle 20 angegeben.

		Additional emission due to air conditioning in g/h			
		veh. no			
pollutant	Cycle	1	2	3	4
HC	NEDC		0.000	0.000	0.185
	US FTP 75	1.077			
	CADC	0.000			
CO	NEDC		0.361	0.000	1.764
	US FTP 75	0.000			
	CADC	1.888			
NO _x	NEDC		3.052	2.536	1.042
	US FTP 75	0.405			
	CADC	0.000			
CO ₂	NEDC		997.564	1925.256	1328.946
	US FTP 75	498.543			
	CADC	1028.438			

Tabelle 19: Zusätzliche Emissionen durch die Klimaanlage bei 23 °C Starttemperatur und ohne Sonneneinstrahlung

		Additional emission due to air conditioning in g/h	
		veh. no	
pollutant	Cycle	3	4
HC	NEDC	-	-
	CADC	-	-
CO	NEDC	392.06	6.07
	CADC	479.60	12.42
NO _x	NEDC	8.82	1.77
	CADC	12.73	4.15
CO ₂	NEDC	2610.40	1503.15
	CADC	3735.89	1081.64

Tabelle 20: Zusätzliche Emissionen durch die Klimaanlage bei 35 °C Starttemperatur und mit Sonneneinstrahlung

4 Umfrage über den Gebrauch von Klimaanlage in Autos

Zwischen Sommer 2003 und Frühjahr 2004 wurde beim TÜV Nord im Rahmen der Hauptuntersuchung eine Umfrage durchgeführt, um beurteilen zu können, wie Klimaanlage in Personenkraftwagen genutzt werden. Grundlage der Umfrage war ein Fragebogen, der vom IFEU in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt und dem TÜV Nord entwickelt wurde. Er enthielt Fragen an die Kunden der TÜV-Prüfanlagen in Bezug auf das Fahrzeug (Hersteller, Typ, Schlüsselnummer, Fahrzeugart, Leistung, Zulassungsjahr, jährliche Fahrleistung), zur Klimaanlage (Art und Hersteller) als auch Fragen an die Eigner über die Benutzung der Klimaanlage. Der Fragebogen ist in Bild 17 und Bild 18 aufgeführt.

Insgesamt wurden 388 Fragebögen ausgefüllt und ausgewertet. Wegen der Anzahl und dem Umstand, dass nur Prüfer und Kunden des TÜV Nord befragt wurden, können die Ergebnisse nicht

unbedingt als repräsentativ für ganz Deutschland betrachtet werden. Da es aber überwiegend qualitative Aussagen betrifft, gibt die Auswertung einen guten Anhaltspunkt für das Verhalten der Benutzer, insbesondere da uns keine Untersuchungen zur Verfügung stehen, die sich näher mit diesem Thema befassen.

Die Fragen wurden überwiegend vollständig beantwortet, so dass nahezu alle nachgefragte Information ausgewertet werden konnte.

In der Umfrage wurden ausschließlich Fahrzeuge mit Klimaanlage erfasst. Aus diesem Grund besteht die erfasste Fahrzeugflotte aus ziemlich neuen Fahrzeugen, hauptsächlich der Baujahre 1997 bis 2001 (siehe Bild 19). Ältere Fahrzeuge sind unterrepräsentiert, da bei ihnen der Ausrüstungsgrad geringer ist. Fahrzeuge ab Baujahr 2002 sind seltener erfasst, weil sie 2003/2004 normalerweise noch nicht zur Hauptuntersuchung vorgeführt werden brauchten. Daher sind die Ergebnisse der Gruppe der neuesten Fahrzeuge unsicherer als die für die Baujahre vor 2002.

Die Aufteilung der Fahrzeuge hinsichtlich Antriebssystem und Größenklasse ist in Tabelle 21 dargestellt. Dieselfahrzeuge hatten einen Anteil von 18% vom Gesamtbestand in Deutschland und 20% in der Befragung. Die Verteilung hinsichtlich der Größenklassen unterscheidet sich in der Befragung im Vergleich zum Gesamtbestand nur bei den Pkw mit Benzinmotor. Pkw < 1,4l Hubraum sind im Vergleich zum Gesamtbestand in Deutschland klar unterrepräsentiert, während Mittel- und Oberklasse mit höheren Anteilen vertreten sind.

Zur Angabe der jährlichen Fahrleistung wurden den Kunden vier Klassen zur Auswahl vorgegeben (siehe Bild 20). Die Ergebnisse zeigen für Diesel-Pkw einen deutlich größeren Anteil mit höheren jährlichen Fahrleistungen. Das korrespondiert mit den charakteristischen Werten der Fahrleistungserfassung 2002/IVT 2005/ (siehe [4]).

Aus der Umfrage kann für Pkw mit Benzinmotor eine mittlere jährliche Fahrleistung von rund 13.000 km abgeleitet werden und für Diesel-Pkw eine von 19.000 km. Die Fahrleistungserfassung 2002 ergab eine mittlere jährliche Fahrleistung von 12.000 km für Benzinern und von 21.000 km für Diesel-Pkw.

4.1 Ausführung der Klimaanlage

Im Fragebogen wurde nach der Ausführung der Klimaanlage gefragt. Insgesamt waren 227 Fahrzeuge mit einer manuellen und 159 Fahrzeuge mit einer automatischen Klimaanlage ausgestattet. Manuelle Anlagen finden sich überwiegend in kleineren Benzinern.

Bei Fahrzeugen neueren Baujahrs ist ein Trend zu automatischen Anlagen festzustellen. Ihr Anteil wuchs von 30% beim Baujahr 1997 auf 60% beim Baujahr 2002.

Befragung zur Nutzung von Klimaanlage

Der RWTÜV führt in Zusammenarbeit mit dem IFEU Heidelberg im Auftrag des Umweltbundesamtes eine Untersuchung zur Nutzung von Klimaanlage in Pkw durch. Dazu benötigen wir Ihre Mithilfe. Wir möchten Sie daher bitten, ein paar Fragen zu beantworten.

Wichtige Hinweise:

Die Teilnahme an der Befragung ist freiwillig.

Ihre Angaben werden selbstverständlich vertraulich behandelt.

Es werden weder ihre persönlichen Daten noch das Kennzeichen Ihres Kfzs erfasst.

Die folgenden Fragen richten sich an die Mitarbeiter des TÜV.
Die Fragen an den Kunden befinden sich auf der Rückseite

Hersteller des Fahrzeugs: _____

Typ/Handelsbezeichnung
(z.B. "Passat") _____

Schlüsselnummern zu 1: zu 2: zu 3:
It. Fahrzeugschein

Antriebsart: ☐ Benzin ☐ Diesel ☐ andere: _____

Hubraum (cm³): _____

Leistung (kW): _____

Zulassungsjahr: _____

Tachostand (km): _____

Anlagentyp Klimaanlage: ☐ Ein-/Ausschalter (ungeregelte Anlage)

☐ Temperaturvorwahl (geregelte Anlage)

Hersteller der Klimaanlage (falls Information verfügbar): _____

Bild 17: Teil 1 des Fragebogens über den Gebrauch von Klimaanlage in Pkw

Fragen an den Kunden:

Wieviele Kilometer sind Sie im vergangenen Jahr mit dem Fahrzeug gefahren?

☐ bis zu 5.000 km ☐ 5.000-10.000 km ☐ 10.000-20.000km ☐ mehr als 20.000 km

Wie alt ist die Klimaanlage in Ihrem Fahrzeug?

☐ War vom Werk her eingebaut ☐ Wurde nachgerüstet im Jahr _____ ☐ nicht bekannt

Wie oft ist die Klimaanlage schon aufgefüllt worden?

☐ gar nicht ☐ einmal ☐ zweimal ☐ mehr als zweimal ☐ nicht bekannt

Wissen Sie, wo Ihre Klimaanlage ein- und ausgeschaltet wird?

☐ Ja ☐ Nein

Wie regulieren Sie die Klimaanlage?

☐ Durch Ein- und Ausschalten

☐ Wenn möglich: durch Vorwahl der Temperatur: im Winter: _____ °C im Sommer: _____ °C
(Bitte Temperaturen eintragen)

☐ Wenn möglich: Durch Betätigen des Eco-Schalters

Wann benutzen Sie Ihre Klimaanlage? (Bitte kreuzen Sie je Zeile ein Kästchen an)

Häufigkeit der Nutzung:	immer	häufig	manchmal	selten	nie
Bei Außentemperaturen von					
weniger als 15 °C (Winter)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 bis 25 °C (Frühjahr, Herbst)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mehr als 25 °C (Sommer)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei beschlagenen Scheiben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei kurzen Fahrstrecken (weniger als 5 km)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei mittleren Fahrstrecken (5 bis 20 km)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei langen Fahrstrecken (mehr als 20 km)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Innerhalb von Ortschaften	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Außerhalb von Ortschaften	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auf Autobahnen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild 18: Teil 2 des Fragebogens über den Gebrauch von Klimaanlage in Pkw

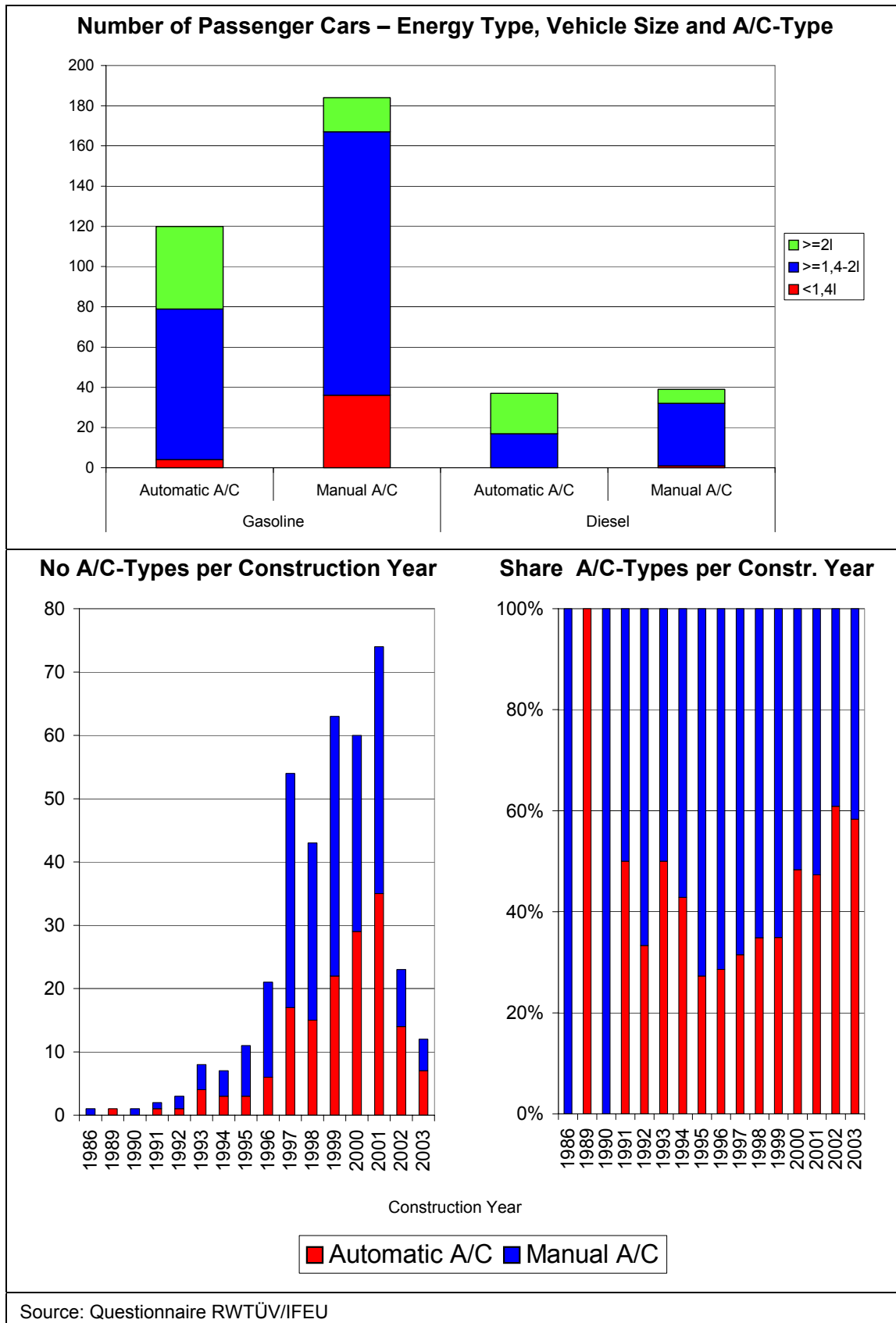


Bild 19: Anteil der Klimaanlageausführungen – Ergebnis der Umfrage

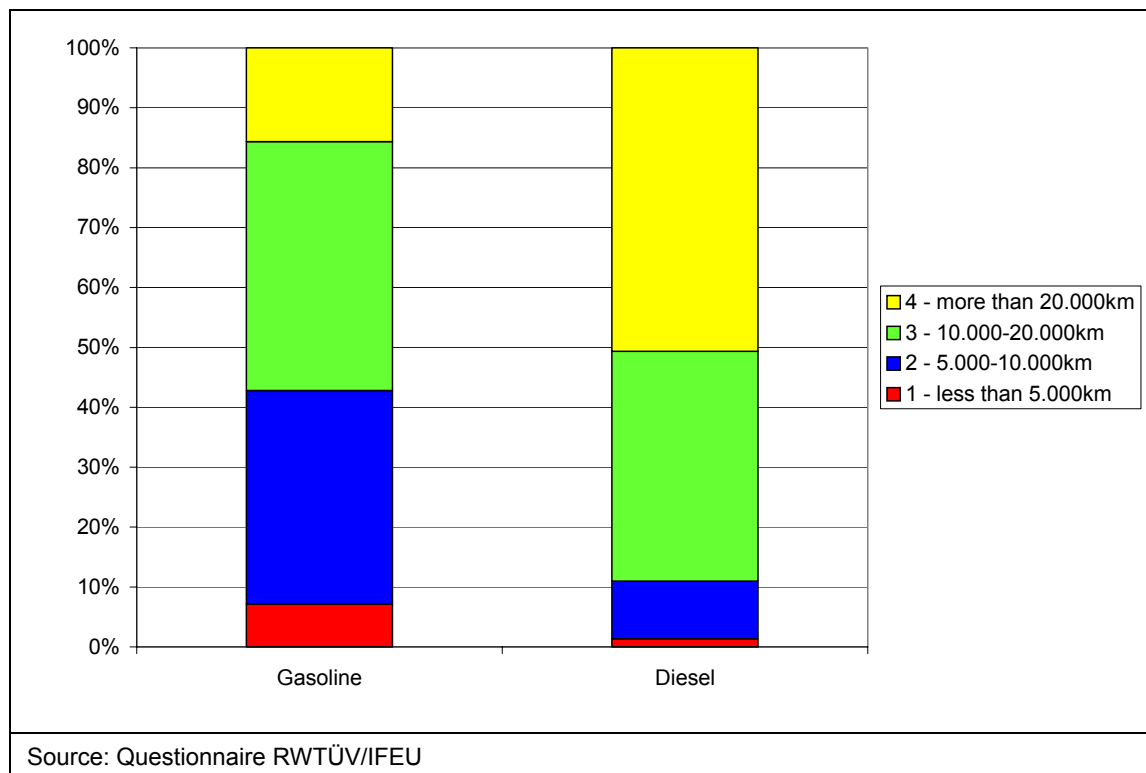


Bild 20: Durchschnittliche jährliche Fahrleistung der Fahrzeuge

	Questionnaire RWTÜV/IFEU		Vehicle Stock Germany 2003	
	Gasoline	Diesel	Gasoline	Diesel
Share of Energy Types	79%	20%	82%	18%
Share of vehicle Size				
<1,4l	13%	1%	36%	2%
1,4-2l	67%	63%	53%	66%
>2l	19%	36%	11%	33%

Source: Questionnaire RWTÜV/IFEU and KBA

Tabelle 21: Anteil der Kraftstoffarten und Fahrzeuggrößen – Vergleich des Umfrageergebnisses mit dem Bestand an Personenkraftwagen in Deutschland 2003

4.2 Anzahl der Nachfüllungen / Temperaturbereich

Bei der Anzahl der Nachfüllungen wurde kein nennenswerter Unterschied zwischen manuellen und automatischen Anlagen gefunden. Ungefähr 70% der Besitzer wussten etwas über das Nachfüllen. Die Hälfte aller Halter gab an, dass die Anlage nie nachgefüllt wurde. Wie erwartet, steigt die Anzahl der Anlagen die bereits nachgefüllt wurden mit dem Alter (siehe Bild 21).

Die meisten Fahrzeugbesitzer mit automatischen Anlagen stellen die gewünschte Temperatur gezielt ein. Am häufigsten wird eine Temperatur zwischen 20 und 22 Grad gewählt. In der Sommerperiode ist die Wunschttemperatur geringfügig höher als in der Winterperiode (siehe Bild 22).

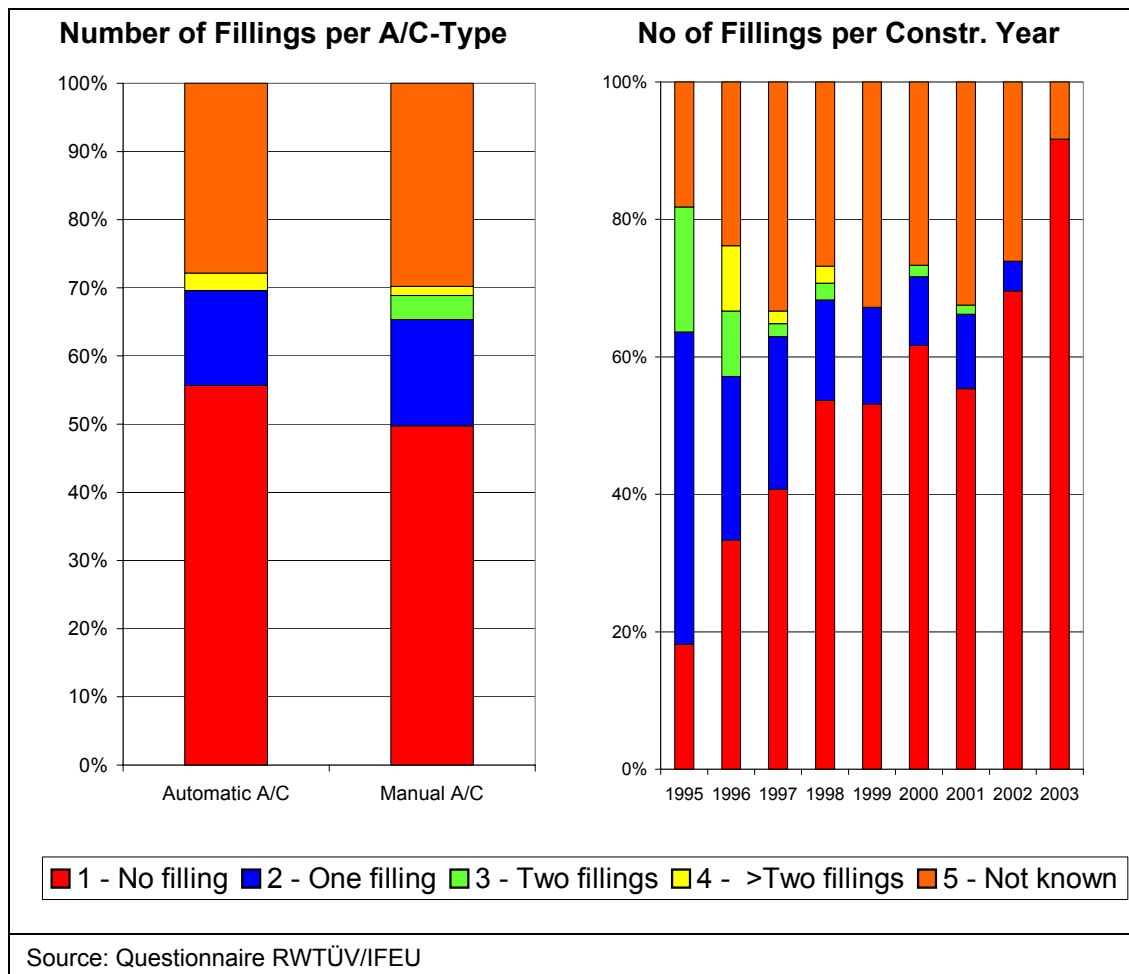


Bild 21: Häufigkeit der Nachfüllungen je Ausführung der Klimaanlage (Anteil in %)

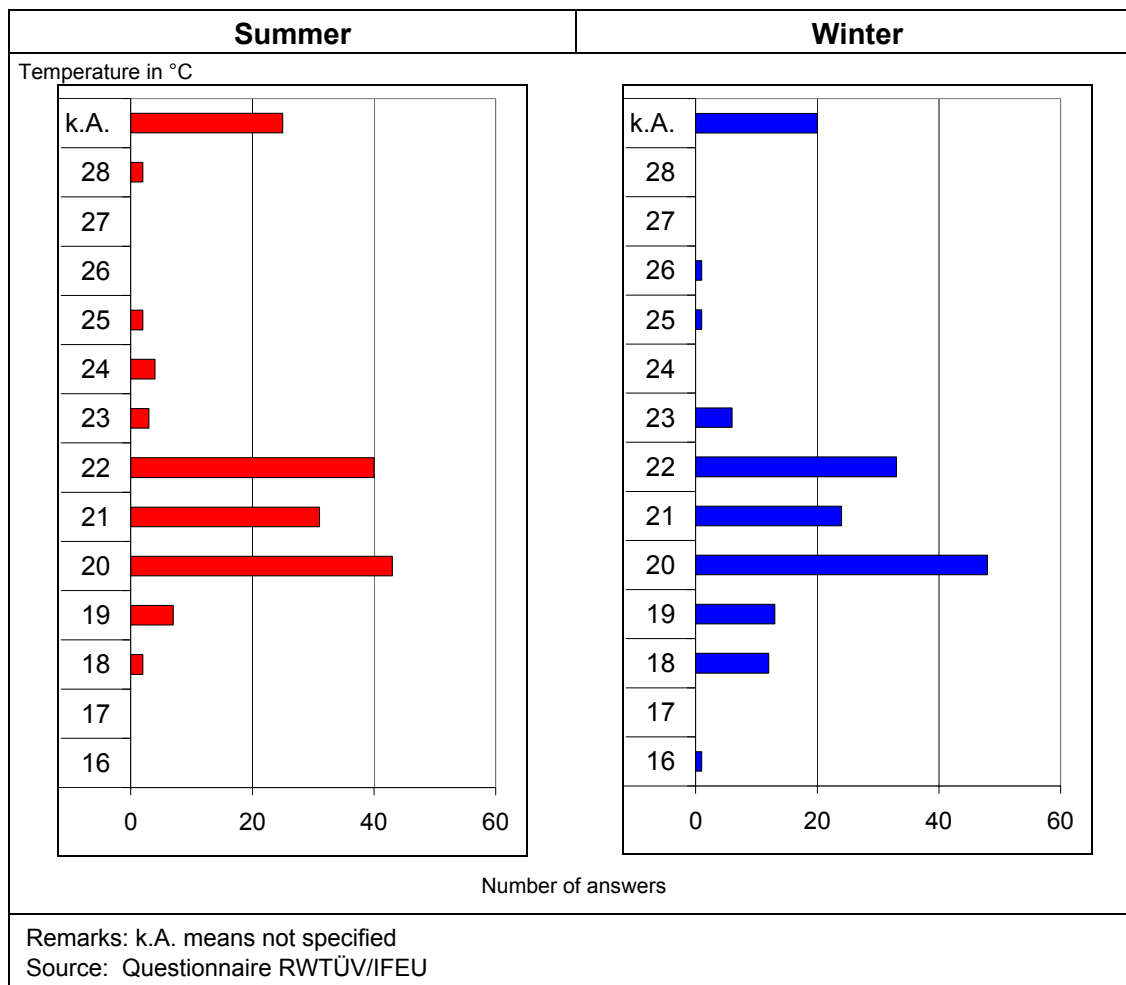


Bild 22: Vorgewählte Wunschtemperatur bei automatischen Klimaanlage

4.3 Nutzungshäufigkeit

Die Häufigkeit der Nutzung wurde differenziert nach Jahreszeit, Fahrstrecke und Luftfeuchtigkeit in fünf Kategorien „immer“, „häufig“, „manchmal“, „selten“ und „nie“ erfragt (siehe Bild 18). Es können folgende Ergebnisse konstatiert werden (siehe Bild 23):

- Wie zu erwarten, werden Klimaanlage bei hohen Außentemperaturen häufiger benutzt als bei niedrigen Temperaturen im Winter.
- Die Fahrstrecke hat weniger Einfluss auf die Nutzungshäufigkeit, auf längeren Strecken wird die Klimaanlage ein klein wenig häufiger genutzt.
- Bei automatischen Anlagen hat die Straßenkategorie keinen nennenswerten Einfluss auf das Ein-/Ausschaltverhalten, manuelle Anlagen werden im Stadtverkehr häufiger eingeschaltet.
- Zwischen automatischen und manuellen Anlagen besteht ein deutlicher Unterschied: Manuelle Anlagen werden häufiger abgeschaltet, während automatische Anlagen überwiegend eingeschaltet sind.

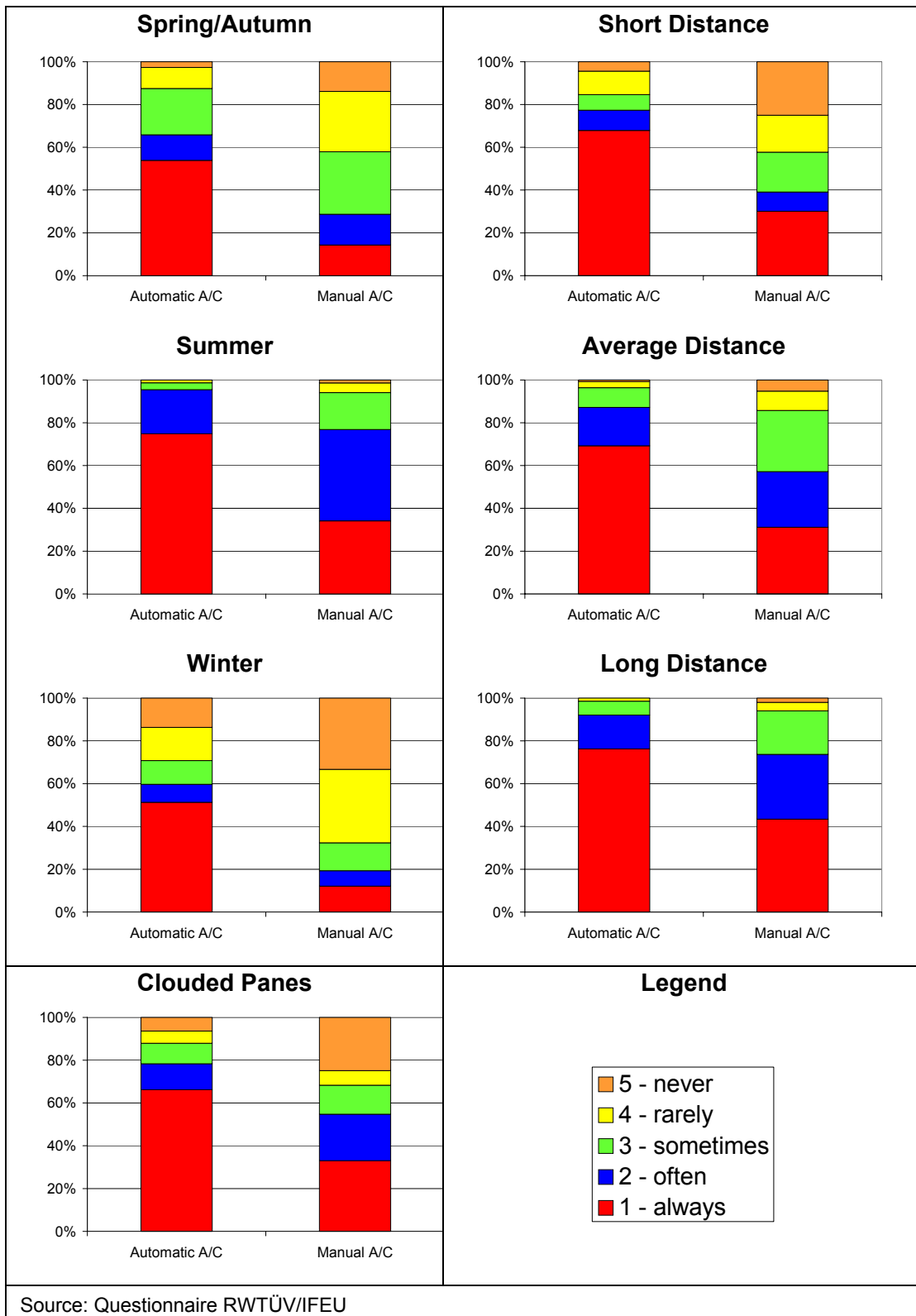


Bild 23: Häufigkeit der Benutzung von Klimaanlage in bestimmten Situationen

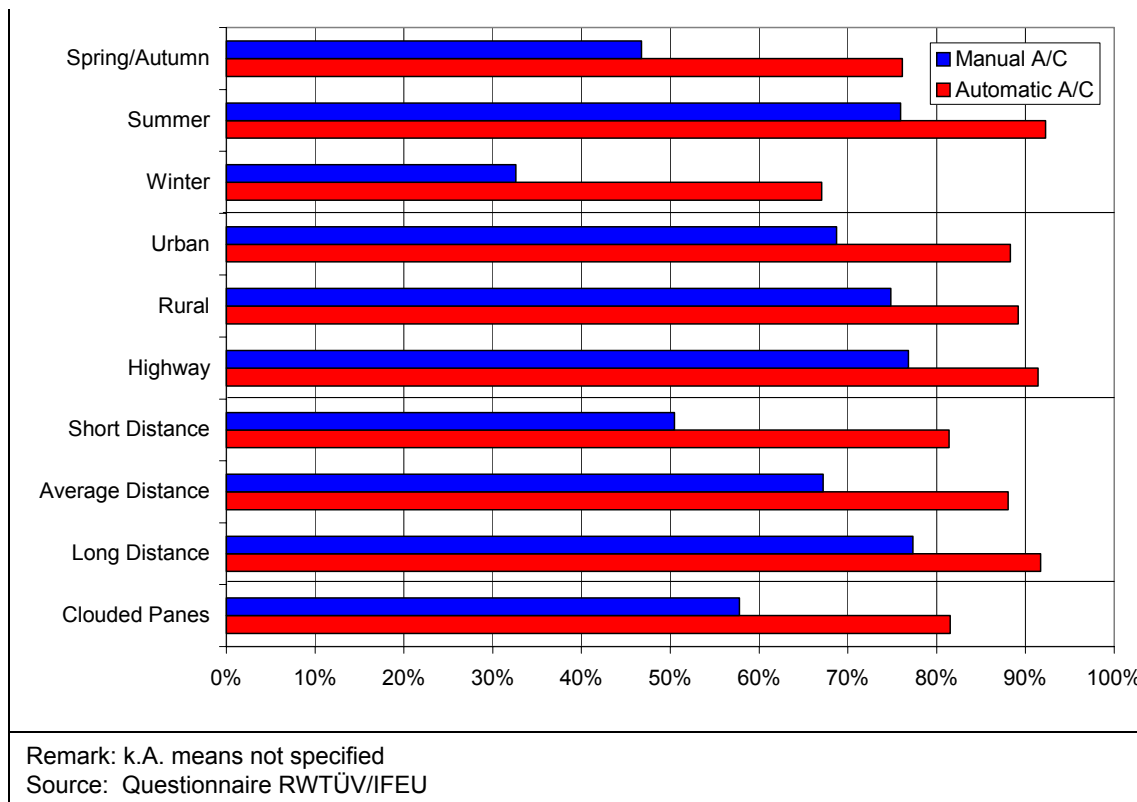


Bild 24: Mittlerer Prozentsatz der Nutzung in verschiedenen Situationen

Wenn man die verschiedenen Nutzungshäufigkeiten proportional wichtet und als zeitlichen Anteil interpretiert ("immer" = 100%, "nie" = 0%, die anderen Möglichkeiten gleichmäßig verteilt), ergibt sich für verschiedene Situationen folgende mittlere Nutzungshäufigkeit (siehe Bild 24):

- Automatische Anlagen sind üblicherweise eingeschaltet (Häufigkeit: über 80%, außer im Winter mit knapp 70%).
- Manuelle Anlagen werden deutlich seltener eingeschaltet (Häufigkeit zwischen 47 und 78%; Winter 33%).
- Auf Langstrecken und/oder Autobahnen ist die Häufigkeit des Gebrauchs etwas größer als auf Kurzstrecken und/oder in der Stadt.
- Es gibt einen deutlichen Unterschied der Systeme bei der Häufigkeit des Gebrauchs zwischen Sommer und Winter (manuelle Anlagen im Winter 33%, automatische Anlagen 68%). In der Sommerperiode sind die automatischen zu mehr als 90% eingeschaltet, die manuellen Anlagen zu etwa 75%.

5 Ergebnisse von anderen Untersuchungen

5.1 USA

Die ersten Abgasemissionsmessungen an Fahrzeugen mit Klimaanlage mit dem Ziel, den Einfluss der Klimaanlage zu bestimmen, fanden in den Vereinigten Staaten statt. Messergebnisse, die für die Revision des gesetzlichen Prüfverfahrens benutzt wurden, sind in [6] beschrieben.

Einige der Ergebnisse aus [6] werden in den folgenden Tabellen gezeigt. Der Anstieg der NO_x-Emissionen beunruhigte die US EPA und führte zur Revision des Prüfverfahrens.

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse von Messungen, die bei der Umweltprüfanlage von General Motors bei AC Rochester (ACR) in New York durchgeführt wurden.

Test Cycle	A/C	HC	NMHC	CO	NO _x
Composite FTP	Off	0.108	0.088	0.965	0.214
	On	0.129	0.110	1.460	0.411
	Diff	19.4%	25.0%	51.3%	92.1%
FTP bag 1	Off	0.389	0.349	3.256	0.416
	On	0.452	0.417	4.715	0.672
	Diff	16.2%	19.5%	44.8%	61.5%
FTP bag 2 & 3	Off	0.036	0.02	0.374	0.164
	On	0.045	0.031	0.631	0.349
	Diff	25.0%	55.0%	68.7%	112.8%
Start cycle (bag 1 of REM01)	Off	0.579	0.523	3.038	0.822
	On	0.549	0.505	3.866	1.569
	Diff	-5.2%	-3.4%	27.3%	90.9%
High speed (bag 1 of REP05)	Off	0.065	0.050	2.033	0.224
	On	0.08	0.062	3.523	0.321
	Diff	23.1%	24.0%	73.3%	43.3%
High load (bag 2 of REP05)	Off	0.283	0.219	17.254	1.029
	On	0.400	0.313	30.504	1.210
	Diff	41.3%	42.9%	76.8%	17.6%

Tabelle 22: Mittlere Beutelemissionsdaten vom ACR Prüfprogramm (aus [6])

Die Prüfungen wurden unter den folgenden Randbedingungen durchgeführt:

- Lufttemperatur 96 °F (35,6 °C)
- Innentemperatur 130 °F (54,4 °C)
- Bodentemperatur 135 °F (57,2 °C)
- Relative Luftfeuchte 40%
- Sonneneinstrahlung 850 W/m²
- Luftstrom zur Motorkühlung proportional zur Fahrzeuggeschwindigkeit

Die Einstellungen der Klimaanlage waren wie folgt:

- Manuelle Klimaanlage:
 - Höchste Betriebsstufe (am kältesten)

- Niedrigste Temperatur
- Gebläsestufe zwischen 75% von max. und max.
- Umluft
- Automatische Klimaanlage:
 - Automatikmodus
 - Zieltemperatur 72 °F (22 °C)
 - Andere Einstellungen wie manuell, wenn möglich

Die Auswirkungen des Klimaanlagebetriebs auf die NO_x-Emissionen waren bei den Zyklen mit langsamerer Geschwindigkeit ausgeprägter. Beim FTP und dem Startzyklus wuchsen die NO_x-Emissionen um etwa 90%. Ein nur halb so großer prozentualer Anstieg war beim Hochgeschwindigkeitszyklus zu sehen, und ein noch geringerer Anstieg beim Zyklus mit hoher Last. Die CO-Emissionen stiegen beim FTP ebenfalls an, jedoch kann dies eine Folge des Lasteffekts der Klimaanlage sein, der Perioden der Anreicherung auslöst.

EPA analysierte auch die Fahrzustände bei denen die Emissionen anstiegen. Tabelle 23 summiert die durchschnittliche, aus den sekundlichen ACR-Daten berechnete, modale Aufschlüsselung der NO_x-Emissionen des heiß stabilisierten Teils des FTP (Beutel 2 und 3). Wie in der Tabelle zu sehen ist, ist nahezu die Hälfte des Emissionsanstiegs durch Leerläufe und Beschleunigungen bedingt. Dieser Prozentsatz ist wahrscheinlich höher, weil die Zustände, die als konstant bezeichnet werden, einige Beschleunigungen und Verzögerungen enthalten, die zum Anstieg der Emissionen beitragen, aber als Konstantfahrt eingestuft sind. EPA hat den Bereich der Beschleunigungen während eines als Konstantfahrt definierten Fahrzustandes untersucht und fand heraus, dass die Emissionen während der geringen Beschleunigungen einen Höchststand erreichen. Dies deutet darauf hin, dass die meisten konstantfahrtbezogenen Emissionen während dieser Beschleunigungszustände stattfinden. Folglich überbewerteten die Daten in Tabelle 23 die Auswirkung von tatsächlicher Konstantfahrt und unterbewerteten die Auswirkung von Beschleunigungen auf die Entstehung von NO_x-Emissionen.

A/C	Idle	Acc	Cruise	Dec	Total
Off	0.039	0.581	0.697	0.065	1.382
On	0.286	1.011	1.426	0.222	2.945
Diff	633.3%	74.0%	104.6%	241.5%	113.1%

Tabelle 23: Modale Verteilung der NO_x-Emissionen an Beutel 2 und 3 (heiß stabilisiertes Fahren) vom FTP (Gramm)

Die deutlichsten Auswirkungen vom Betrieb von Klimaanlage wurden bei geringeren Geschwindigkeiten, bei Beschleunigungen und bei Leerlauf gesehen. Anstiege der Abgasstickoxide von mehr als 90% wurden bei ACR bei beiden Zyklen – dem LA4 (für Pkw im Allgemeinen US FTP 75 genannt) und dem ST01 (Startzyklus) – gefunden, während der durchschnittliche Anstieg bei den höheren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des REP05-Zyklus etwa 35% betrug. In Anbetracht dessen nahm die EPA an, dass ein Zyklus mit niedrigen bis mittleren Geschwindigkeiten und einer angemessenen Anzahl von Beschleunigungen und Leerlauf den Anstieg der Emissionen durch den Betrieb von Klimaanlage am besten berücksichtigen würde.

Da Prüfungen mit der Simulation von Sonneneinstrahlung zusätzliche Ausrüstung erfordert und die Kosten deutlich ansteigen, führte EPA mit den oben angesprochenen Einstellungen für die Klimaanlage zusätzliche Tests ohne Sonneneinstrahlung durch. Eine erste Testreihe wurde bei einer Außenlufttemperatur von 75 °F (24 °C) durchgeführt. Die Ergebnisse ergaben nur etwa 30 Prozent der NO_x-Emissionsbelastung die beim ACR-Test beobachtet wurde (95 °F Außentemperatur und mit Sonneneinstrahlung) und versagte daher, den vollen Umfang des bei ACR beobachteten Anstiegs der NO_x-Emissionen zu erfassen.

Als nächstes untersuchte EPA das Fahren mit laufender Klimaanlage im Standardprüfraum, allerdings bei auf 95 °F erhöhter Temperatur. Die Prüfbedingungen waren: Temperatur 95 °F, relative Luftfeuchte ca. 20%, keine Sonnenstrahlung, die Kühlung wurde von einem 15,000 CFM Gebläse geliefert und das Seitenfenster des Fahrers war geöffnet (die anderen Fenster waren geschlossen). Bei der Prüfung war die Klimaanlage auf maximalen Umluftbetrieb gestellt, der Temperaturregler auf die kälteste Einstellung gestellt und das Gebläse auf die dritte von vier Stufen eingestellt.

Ein Vergleich der NO_x-Emissionen an den FTP Beuteln 2+3 zwischen den ACR-Daten und dem 75 °F und dem 95 °F EPA-Testprogramm ist in Tabelle 24 zusammengefasst.

Test vehicle	ACR Data, 35 °C			EPA Data, 24 °C			EPA Data, 35 °C		
	AC off	AC on	Difference	AC off	AC on	Difference	AC off	AC on	Difference
Astro van	0.451	0.836	85.4%	0.180	0.298	65.6%	0.180	0.554	207.8%
Transport	0.088	0.404	359.1%	0.286	0.420	46.9%	0.286	0.632	121.0%
Grand Prix	0.144	0.431	199.3%	0.250	0.407	62.8%	0.250	0.594	137.6%
Civic	0.045	0.171	280.0%	0.046	0.154	234.8%	0.046	0.194	321.7%
Intrepid	0.181	0.256	41.4%	0.176	0.092	-47.7%	0.176	0.248	40.9%
Saturn	0.153	0.261	70.6%	0.205	0.242	18.0%	0.205	0.339	65.4%
Caprice	0.084	0.084	0.0%	0.038	0.038	0.0%	0.038	0.027	-28.9%
Average	0.164	0.349	113.2%	0.169	0.236	39.8%	0.169	0.370	119.1%

Tabelle 24: NO_x-Emissionen (g/mi) im gewichteten FTP Beutel 2 und Beutel 3

Die Daten stimmen sehr gut mit dem Anstieg der NO_x-Emissionen überein, die bei ACR bei der Prüfung mit 95 °F ohne Sonnenbelastung ermittelt wurden. Die Differenzen verteilen sich gleichmäßig zwischen höher und niedriger als die ACR-Daten. Obwohl die Anzahl der Punkte klein ist, ergibt sich eine statistische Wahrscheinlichkeit von über 85 Prozent, dass die beiden Tests identische Unterschiede in den NO_x-Emissionen ergeben.

EPA kam zu dem Schluss, dass die 95 °F Prüfung ausreichend sei, den Einfluss der Klimaanlage auf die Abgasemissionen zu bestimmen. Allerdings berücksichtigt diese Methode nicht den positiven Effekt von speziellem Glas, das weniger Sonnenwärme ins Fahrzeuginnere durchlässt, auf die Emissionen und den Kraftstoffverbrauch.

5.2 EMPA Messergebnisse

Die EMPA in Dübendorf führte im Rahmen der DACH+NL (German, Austrian, Swiss and Dutch) Kooperation zur Überwachung der Fahrzeugemission Messungen der Abgasemission und des Kraftstoffverbrauchs an einer Gruppe von sechs modernen Benzin Pkw mit Klimaanlage durch.

Die Fahrzeuge wurden bei verschiedenen Wetterbedingungen geprüft (siehe [6]). Es wurden getrennte Testreihen für das anfängliche Herunterkühlen und den stationären Betrieb beim Kühlhalten des Innenraums durchgeführt. Wie vermutet, steigen die CO₂-Emissionen und der Kraftstoffverbrauch mit der thermischen Belastung an. Dies bewirkt auch einen beträchtlichen Anstieg bei CO und HC. Darüber hinaus schalten Klimaanlagen bei niedrigen Außentemperaturen nicht

automatisch ab; wenn nötig, erzeugen sie trockene Luft, um beschlagene Scheiben freizumachen. Es wird ein Modell vorgeschlagen, das eine konstante Belastung bei niedrigeren Temperaturen und einen linearen Anstieg für höhere Temperaturen vorsieht. Der Herunterkühltest zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Fahrzeugen auf. Es wird jedoch auch deutlich, dass der Betrieb der Klimaanlage zum anfänglichen Herunterkühlen eines überhitzten Fahrgastraumes nicht zu irgendwelchen zusätzlichen Emissionen für die Flotte als Ganzes führt.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Klimaanlagen verursachen zusätzliche CO₂-Emissionen in g/km und damit erhöhte Kraftstoffverbräuche, die ansteigen:
 - deutlich mit der Temperatur
 - stark mit Sonneneinstrahlung
 - signifikant bei niedriger Fahrzeuggeschwindigkeit, die Auswirkung der Klimaanlage nimmt allerdings bei höherer Geschwindigkeit deutlich ab
- Der größte mittlere CO₂-Zuwachs ergibt sich bei Stadtfahrt bei 37 °C und Sonnenschein. Er beläuft sich auf 82,7 g/km (26%). Bei 13 °C und darunter sind die zusätzlichen CO₂-Emissionen nicht Null sondern 2,4-18 g/km (1,5-7%), dadurch bedingt, dass die Klimaanlage zwar nicht kühlt, aber die Luft im Wageninneren trocknet. Dies begründet den Unterschied im Vergleich zur amerikanischen Situation.
- Für Flottenstatistiken erhöht dieser Befund den zusätzlichen Kraftstoffverbrauch durch Klimaanlagen deutlich. Auf der Grundlage bestimmter Temperaturen der Klimaanlage wird der Einfluss der Feuchte veranschlagt. Dies zeigt, dass sich im Vergleich zum gemessenen Fall mit 50% relativer Luftfeuchte die Belastung bei hoher Feuchte fast verdoppelt und bei niedriger Feuchte um 10-50% verringert.
- Die CO- und HC-Emissionen zeigen einen erheblichen Trend zu höheren Emissionen (Faktor 2 zwischen 23 °C bei abgeschalteter Klimaanlage und 37 °C und angeschalteter Anlage) mit eingeschalteter Klimaanlage. Allerdings ist die untersuchte Fahrzeuggruppe für ein statistisch verlässliches Modell zu klein. Der Trend bei NO_x-Emissionen ist recht klein.
- Für den stationären Fall, den Innenraum bei bereits erreichter Zieltemperatur kühl zu halten, wird ein Modell mit konstanter Kühlleistung bei niedrigen Temperaturen und linear ansteigender Belastung bei höheren Temperaturen empfohlen. Dieses Modell muss sowohl für die sonnige und schattige Situation als auch für Stadtstraßen, Landstraßen und Autobahnen angewendet werden. Für das Emissionsmodell von CO, HC und NO_x müssen mehr Fahrzeuge gemessen werden, um statistische Aussagekraft zu erreichen.
- Bei den Emissionen CO₂, CO, HC und NO_x werden beim anfänglichen Herunterkühlen annähernd keine zusätzlichen Mengen emittiert. Daher ist hierfür kein Modell nötig. Zu Partikelemissionen können keine Aussagen gemacht werden, weil keine Diesel-Fahrzeuge untersucht wurden.

6 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

6.1 Aufgaben und Messprogramm

Die Messung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen wurde in der EU mit Einführung der Richtlinie 93/116/EC beim Typgenehmigungsverfahren für M1 Fahrzeuge (Pkw) zur Pflicht. Im Hinblick auf die Diskussionen über die globale Erwärmung der Atmosphäre wurde die Verringerung der CO₂-Emissionen, und damit des Kraftstoffverbrauchs, zur wichtigen Aufgabe für die Automobilindustrie. Allerdings ist die Messmethode der oben angesprochenen Richtlinie nicht geeignet, den Einfluss von Zusatzaggregaten wie Klimaanlage oder neuer Getriebe (6-Gang Getriebe, fortschrittliche Automatikgetriebe), die kraftstoffsparende Schaltstrategien ermöglichen, zu berücksichtigen. Ohne diese Einflüsse kann die CO₂-Emission der Fahrzeugflotte nicht wirklichkeitsgetreu genug berechnet werden.

Um eine quantitative Auskunft über die Änderungen der CO₂-Emissionen, des Kraftstoffverbrauchs und auch der limitierten Schadstoffe zu erhalten, sollten im Rahmen dieses Projektes die folgenden Einflüsse betrachtet werden:

- Unterschiedliche Ausführungen eines Fahrzeugtyps
- Unterschiedliche Schaltstrategien
- Klimaanlage

Eine weitere Aufgabe betraf die Information über den Gebrauch von Klimaanlage in Automobilen. Diese Aufgabe wurde zusammen mit dem IFEU, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, bearbeitet. IFEU entwarf einen Fragebogen zum Gebrauch von Klimaanlage. Dieser Fragebogen wurde Kunden für die regelmäßige Hauptuntersuchung an mehreren Prüfstellen des TÜV Nord vorgelegt. Die ausgefüllten Fragebögen wurden zur weiteren Auswertung zum IFEU geschickt.

Die Auswirkungen von Fahrzeugausführung und Schaltstrategie können an normalen Prüfständen gemessen werden. Die Auswirkung einer Klimaanlage erfordert dagegen einen besonderen Prüfstand mit einer Sonneneinstrahlungseinrichtung, wenn man den schlimmsten Fall mit einbeziehen will. Da der TÜV Nord keinen solchen Prüfstand besitzt, war ursprünglich geplant, dass Fahrzeughersteller dem TÜV Nord ihre Prüfstände für Messungen zur Verfügung stellen würden, und dass sie das Projekt durch zusätzliche Förderung unterstützen, um die Anzahl der Versuchsfahrzeuge zu erhöhen.

Leider verweigerte die Fahrzeugindustrie die Zusammenarbeit, so dass lediglich vier Fahrzeuge für dieses Projekt gemessen werden konnten. Sie waren alle mit einer Klimaanlage ausgerüstet. Zwei von ihnen wurden bei der Firma Delphi in Luxemburg mit arbeitender Klimaanlage auf einem Prüfstand mit Sonneneinstrahlung gemessen.

Die Prüfstandsmessungen umfassten folgende Fahrzyklen:

- Den europäischen Prüfzyklus zur Typgenehmigung (NEDC), bestehend aus vier Stadtzyklen und einem Außerortszyklus
- Den Prüfzyklus zur US Typgenehmigung (US FTP 75)
- Den Common Artemis Fahrzyklus (CADC), bestehend aus einem städtischen Teil, einem ländlichen Teil und einem Autobahnteil

Die Fahrzeuge wurden mit verschiedenen Änderungen geprüft (Reifen, Gewicht, Spoiler usw.), mit verschiedenen Schaltstrategien (wie in der Richtlinie vorgesehen, und mit Gangwechseln bei niedrigeren/höheren Motordrehzahlen), bei zwei verschiedenen Starttemperaturen, mit und ohne Betrieb der Klimaanlage und in einem Fall unter einigen weiteren Bedingungen.

Die angesprochen Varianten wurden nicht für jedes Fahrzeug und jeden Zyklus vollständig angewendet.

6.2 Ergebnisse der Prüfstandsmessungen

6.2.1 Beutelergebnisse

Die Beutelergebnisse der Schadstoffe CO, HC, NO_x, die CO₂-Emissionen und der Kraftstoffverbrauch wurden gemessen/berechnet und analysiert. Die CO₂-Emissionen schließen die HC- und CO-Beiträge ein. Der Kraftstoffverbrauch wird, wie in der 93/116/EC vorgesehen, aus den CO₂-Emissionen berechnet. Der größere Teil der Messungen wurde zweimal durchgeführt. Die Prüfstandseinstellungen wurden an die Ergebnisse von Ausrollversuchen auf einer Prüfstrecke angepasst.

Mit einer Ausnahme liegen die Messergebnisse von HC und NO_x für den Basisfall (Typgenehmigungsvariante) und die anderen Varianten weit unter den EURO IV Grenzwerten für den NEDC. Selbst die Ergebnisse der anderen Varianten erreichen bei beiden Schadstoffen nicht die Grenzwerte, wenn die Klimaanlage ausgeschaltet ist. Bei CO ist die Lage ein wenig anders. Das Ergebnis des Basisfalls liegt unter dem Grenzwert. Bei optimierten Gangwechseln überschreitet die CO-Emission aber den Grenzwert und auch die HC-Emissionen sind deutlich höher, obwohl diese Betriebsart zu einer Minderung der CO₂-Emissionen führt.

Es gibt beim NEDC die generelle Neigung, dass die HC- und CO-Emissionen mit steigenden CO₂-Emissionen abnehmen, während NO_x der Richtung des CO₂ folgt. Und es muss auch angemerkt werden, dass die Emissionen von HC und NO_x bei außerstädtischen Zyklasteilen gegen Null tendieren. Dies ist auch bei CO der Fall, allerdings nur beim NEDC.

Wegen des größeren Geschwindigkeitsbereiches und stärkerer Dynamik zeigt der CADC Zyklus generell höhere Emissionspegel und Unterschiede zwischen den Varianten als die beiden anderen Zyklen. Im Vergleich zu den EURO IV Grenzwerten sind die HC- und NO_x-Emissionen immer noch niedrig. Aber die CO-Emissionen sind hoch, sogar bei heißen Bedingungen. Wenn man die Variante des Betriebs der Klimaanlage außer Acht lässt, werden die beiden Extrema durch die beiden extremen Gangwechselvorschriften hervorgerufen: Optimierte Gangwechsel führen zu den niedrigsten CO₂-Emissionen, Gangwechsel bei 4000 min⁻¹ zu den höchsten.

Die gesamten, vom Gangwechsel abhängigen, Unterschiede bei den CO₂-Emissionen betragen bei städtischem und ländlichem Betrieb etwa 25%. Beim Autobahnbetrieb liegen die gangwechselabhängigen Unterschiede unter 2%. Dies ist erklärlich, da der Autobahnbetrieb überwiegend im größten Gang stattfindet.

Auf der anderen Seite steigen die fahrzeugabhängigen Unterschiede (ungünstigster gegen günstigsten Fall) mit steigender Geschwindigkeit an. Beim Stadtbetrieb ist der Unterschied der CO₂-Emissionen am geringsten, beim Autobahnbetrieb am höchsten. Diese Tendenz ist auch in den NEDC-Ergebnissen zu finden.

Ein Fahrzeug war mit einem Dieselmotor ausgerüstet. Bei diesem Fahrzeug waren die CO- und HC-Emissionen bei allen Zyklen nahe Null. Andererseits scheint die Strategie der NO_x-Reduzierung auf den Prüfzyklus zur Typgenehmigung optimiert zu sein.

Das kleinste Fahrzeug war mit einer einfachen Klimaanlage ausgestattet, die durch Ein- und Ausschalten geregelt wurde. Der NEDC wurde mit und ohne Betrieb der Klimaanlage auf dem TÜV Nord Prüfstand bei einer Starttemperatur von 23 °C und mit voller Leistung der Klimaanlage gefahren. Dies führte bereits zu deutlichen Unterschieden bei den Emissionen. Mit Klimaanlage waren die CO₂-Emissionen 37,4% höher. Die CO-Emission war um 141% angestiegen und die NO_x-Emissionen waren 10,9-mal höher als ohne Klimaanlage.

Bei den Versuchen mit Sonneneinstrahlung waren die Unterschiede zwischen mit und ohne Klimaanlage noch viel drastischer. In diesem Fall war die Raumtemperatur auf 35 °C eingestellt, die Sonneneinstrahlung betrug 850 W/m². Dieser Betrieb führte zu extrem hohen Emissionen (+53% bei CO₂, ein 9,5-mal höherer Wert für HC, ein 63-mal höherer Wert für NO_x, ein 193-mal höherer Wert für CO). Die NO_x-Emission bei Sonneneinstrahlung und einer Starttemperatur von 35 °C betrug 0,45 g/km statt 0,08 g/km, die CO-Emission 9,9 g/km statt 0,12 g/km. Dies führt zu dem Schluss, dass der Katalysator bei dieser Prüfung komplett außer Betrieb war.

In mehreren Fällen lagen die NO_x-Emissionen beim CADC deutlich höher als beim NEDC und manchmal weit über den EURO IV Grenzwerten. Der CADC wurde im 5. Rahmenprojekt "Artemis" geschaffen und zur Entwicklung von Emissionsfaktoren für Modellierungszwecke benutzt.

6.3 Analyse von Modaldaten

6.3.1 Allgemein

Beim größeren Teil der Messungen wurden die Emissionsdaten auch sekundlich erfasst und analysiert. Diese Daten geben einige Erklärungen für unerwartete Ergebnisse bezüglich der Schadstoffemissionen. Die Analyse zeigte zum Beispiel, dass die CO- und HC-Emission in einigen Fällen lediglich ein Kaltstartproblem ist, weil sie nach dem zweiten UDC gegen Null tendiert.

Die Analyse der Modaldaten konzentrierte sich auf zwei Hauptfragen:

- Kaltstarteinfluss
- Einfluss von Klimaanlage

6.3.2 Kaltstarteinfluss

Um den Kaltstarteinfluss zu beurteilen, wurden die Emissionen für jeden Teil des Zyklus getrennt aufsummiert. Für den NEDC wurden die Emissionen der ersten beiden UDCs addiert und die der beiden letzten. Der Beitrag des Kaltstarts konnte dann aus der Differenz zwischen beiden Werten errechnet werden. Ein ähnlicher Ansatz konnte für den US FTP Zyklus benutzt werden, durch den Vergleich der Emissionen der ersten und der dritten Phase des Zyklus. Weil kein signifikanter Einfluss der Varianten gefunden werden konnte, wurden die Ergebnisse über die verschiedenen Varianten gemittelt.

Die Kaltstartbeiträge schwankten für HC und CO zwischen 64% und 98%.

Bei NO_x ist die Situation anders. Beim Dieselfahrzeug gibt es nur eine leichte Auswirkung des Kaltstartbeitrags auf die Gesamtemissionen, bei den Benzinfahrzeugen aber eine signifikante (zwischen 29% und 96%). Die CO₂-Emissionen lässt der Kaltstart zwischen 9% und 22% ansteigen.

6.3.3 Einfluss von Klimaanlage

Der bedeutsame Einfluss von Klimaanlage ist bereits in Kapitel 3.1 für jedes einzelne Fahrzeug besprochen worden. In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse detaillierter analysiert werden. Zu diesem Zweck werden die sekundlichen CO₂-Emissionen beim NEDC und beim CADC mit und ohne Betrieb der Klimaanlage gegen die Fahrzeuggeschwindigkeit aufgetragen. "With AC" bedeutet Prüfungen auf dem TÜV Nord Prüfstand bei einer Raumtemperatur von 23 °C, "with AC and solar radiation" bedeutet Prüfungen auf dem Delphi Prüfstand mit einer Sonneneinstrahlung von 850 W/m² und einer Raumtemperatur von 35 °C.

Die Regressionskurven der sekundlichen Daten, über der Fahrzeuggeschwindigkeit aufgetragen, zeigen, dass die Klimaanlage über den gesamten Geschwindigkeitsbereich höhere CO₂-Emissionen verursacht, und dass es deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrzeugen und Zyklen für die zwei Umgebungsbedingungen gibt: Versuche auf dem TÜV Nord Prüfstand bei einer Raumtemperatur von 23 °C und Versuche auf dem Delphi Prüfstand mit Sonneneinstrahlung von 850 W/m² und einer Raumtemperatur von 35 °C. Die Unterschiede zwischen den beiden Situationen können durch unterschiedliche Starttemperatur und Abkühlbedingungen erklärt werden. Die Ergebnisse stützen die Hypothese, dass die zusätzliche Emission von CO₂ in g/km über die Fahrzeuggeschwindigkeit in etwa konstant ist.

Der geringste Einfluss auf die Emissionen wurde bei Fahrzeug 1 gefunden, der größte bei Fahrzeug 3. Man kann vermuten, dass der Einfluss auf die Emissionen mit steigender Nennleistung des Fahrzeugs abnimmt. Um diese Hypothese zu stützen, ist die Gruppe der untersuchten Fahrzeuge allerdings zu klein und zu inhomogen.

Hinsichtlich der Schadstoffemissionen kann angemerkt werden, dass es beim größeren Teil der Ergebnisse einen Anstieg der HC-Emissionen gab, allerdings auf so niedrigem Niveau, dass dies ohne Belang ist.

Fahrzeug 3 zeigte bereits bei einer Außentemperatur von 23 °C und ohne Sonneneinstrahlung einen großen Einfluss der Klimaanlage auf die Emissionen. Bei einer Temperatur von 35 °C und Sonneneinstrahlung war die zusätzliche Belastung des Motors so groß, dass die Kontrollleuchte des Katalysators aufleuchtete und einen ungeheuren Anstieg aller Schadstoffemissionen zur Folge hatte. Es sollte einmal überprüft werden, ob dieses Verhalten typisch für kleine Autos mit manuellen Anlagen ist, oder ob dieses Fahrzeug zufälligerweise ein Ausreißer war.

Bei den anderen Fahrzeugen gibt es keinen einheitlichen Trend für den Einfluss der Klimaanlage auf die CO-Emissionen, allerdings kann die CO-Emission bei einer Temperatur von 35 °C und mit Sonneneinstrahlung enorm ansteigen (bis zum Faktor 20).

Die NO_x-Emissionen weisen bei Betrieb der Klimaanlage einen generellen Trend zu höheren Werten auf, allerdings ist der Anstieg sehr fahrzeugabhängig. Bei Sonneneinstrahlung und einer Starttemperatur kann der Zuwachs der NO_x-Emissionen bis zu 280% betragen.

6.4 Umfrage über den Gebrauch von Klimaanlage in Kraftwagen

Der TÜV Nord führte zwischen Sommer 2003 und Frühjahr 2004 im Rahmen der Fahrzeughauptuntersuchung eine Umfrage durch, die es ermöglichen soll, die Nutzung von Klimaanlage in Personenkraftwagen abzuschätzen. Grundlage der Umfrage war ein Fragebogen, der vom IFEU in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt und dem TÜV Nord entworfen wurde. Er enthielt Fragen an die Kunden der TÜV Nord Prüfstellen bezüglich des Fahrzeugs (Hersteller, Typ, Schlüsselnummer, Antriebssystem, Hubraum, Zulassungsjahr, Kilometerstand), der Klimaanlage (Art, Hersteller), als auch Fragen zum Gebrauch der Klimaanlage.

Insgesamt wurden 388 Fragebogen ausgefüllt und ausgewertet. Wegen der Anzahl, und dass nur Prüfer und Kunden des TÜV Nord befragt wurden, können die Ergebnisse nicht unbedingt als repräsentativ für das Gebrauchsverhalten in Deutschland angesehen werden. Da sie jedoch hauptsächlich qualitative Aussagen betrifft, gibt die Erhebung einen guten Anhaltspunkt für das Gebrauchsverhalten, insbesondere da uns keine Untersuchungen zur Verfügung standen, die sich intensiver mit dem Gebrauch von Klimaanlage beschäftigen.

Die Fragen wurden überwiegend vollständig beantwortet, so dass nahezu alle nachgefragte Information ausgewertet werden konnte.

Art der Klimaanlage

In der Umfrage wurde nach der Art der Klimaanlage gefragt. Insgesamt waren 227 Fahrzeuge mit einer manuellen und 159 Fahrzeuge mit einer automatischen Klimaanlage ausgerüstet. Manuelle Anlagen wurden überwiegend in kleineren Benzinfahrzeugen gefunden. Differenziert man nach Baujahr, ist bei neueren Fahrzeugen ein Trend hin zu automatischen Anlagen erkennbar: Ihr Anteil wuchs von 30% im Jahr 1997 auf 60% im Jahr 2002.

Wenn man die verschiedenen Nutzungshäufigkeiten proportional wichtet und als zeitlichen Anteil interpretiert ("immer" = 100%, "nie" = 0%, die anderen Möglichkeiten gleichmäßig verteilt), ergibt sich für verschiedene Situationen folgende mittlere Nutzungshäufigkeit:

- Automatische Anlagen sind üblicherweise eingeschaltet (Häufigkeit: über 80%, außer im Winter mit knapp 70%)
- Manuelle Anlagen werden deutlich seltener eingeschaltet (Häufigkeit zwischen 47% und 78%; Winter 33%)

6.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Modellierung der Emissionen

Die Ergebnisse dieser Studie ergaben, dass es bezüglich der Fahrzeugvarianten und Gangwechselfähigkeiten deutliche Einflüsse auf die CO₂-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch in einer Größenordnung von 10% bis 15% gibt. Da unterstellt werden kann, dass die Fahrzeughersteller zum Typzulassungsverfahren ein optimal eingestelltes Fahrzeug benutzen, sind die CO₂-Emissionen des gleichen Typs im realen Verkehr höher. Dies, und der Vergleich der Ergebnisse des NEDC und des CADC führen zu dem Schluss, dass die CO₂-Emissionen im realen Verkehr prinzipiell höher sind als von den Ergebnissen der Typzulassung angegeben. Um auf der sicheren Seite zu sein, kann man annehmen, dass die CO₂-Emissionen im realen Verkehr 15% bis 20% höher sind als beim Zyklus für die Typzulassung.

Eine optimierte Gangwechselstrategie (Gangwechsel bei niedrigen Motordrehzahlen) führt zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 10%, kann aber zu einem Anstieg der CO- und NO_x-Emissionen führen. Es sollte mit den Fahrzeugherstellern diskutiert werden, ob dieser Anstieg nicht durch weitere Optimierung der Abgasnachbehandlung vermieden werden kann. Auf jeden Fall sollten Kampagnen wie 'ökonomisches Fahren' als gute Maßnahme zur CO₂-Minderung unterstützt werden.

Die Ergebnisse der Messungen, die mit Betrieb der Klimaanlagen durchgeführt wurden, zeigen recht deutlich, dass ihr Beitrag zu den CO₂-Emissionen bei der Bestandsaufnahme der Emissionen nicht vernachlässigt werden kann. Wenn man zusätzlich die Ergebnisse von EMPA berücksichtigt (siehe [1]) wo Messungen bei einer Reihe von verschiedenen Raumtemperaturen durchgeführt wurden, muss man die Tatsache berücksichtigen, dass eine Klimaanlage selbst dann Leistung verbraucht - und damit die CO₂-Emissionen ansteigen wenn die Außentemperatur unterhalb der Wunschtemperatur (20 °C bis 23 °C) liegt, weil die Klimaanlage zum Trocknen der Luft im Fahrgastraum gebraucht wird.

Für Modellierungszwecke wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen. Aus den bestehenden Resultaten sollten Schätzungen über die zusätzliche, von der Klimaanlage verursachte, CO₂-Emission als Funktion der Temperatur und Sonneneinstrahlung hergeleitet werden. Diese Funktionen können dann mit der statistischen Information aus der Umfrage und zusätzlicher Information über die jährlichen Temperaturschwankungen und der Zahl sonniger/wolkiger Tage in einer bestimmten Region kombiniert werden, um den Beitrag von Klimaanlagen zu den CO₂-Emissionen für die Emissionsbestandsaufnahme abzuschätzen.

Allerdings sind weitere Messergebnisse nötig, um die Unsicherheit einer solchen Berechnung auf ein akzeptables Maß zu senken.

6.6 Vorschläge für eine Änderung der EU Richtlinie 93/116/EC

6.6.1 Messungen des günstigsten und ungünstigsten Falls

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes haben deutlich gezeigt, dass die CO₂-Emissionen beim NEDC-Prüfzyklus bei einem spezifischen Fahrzeugtyp in Abhängigkeit von Fahrzeug- und Fahrverhaltensvariationen um bis zu 30 % schwanken können. Fahrzeugvariationen beziehen sich auf verschiedene Reifen, Leergewicht, Batteriekapazität etc., Fahrverhaltensvariationen hängen von verschiedenen Schaltstrategien ab. Der Einfluss der Fahrzeugvariationen nimmt mit steigender Geschwindigkeit zu, der Einfluss des Fahrverhaltens nimmt mit steigender Geschwindigkeit ab. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich die CO₂-Emission, die durch die gegenwärtige EU Richtlinie 93/116/EC für einen Fahrzeugtyp erzielt wird, am unteren Ende des Streubereichs befindet.

Ein solches Ergebnis kann nicht als repräsentativer Wert für die gesamte Bandbreite von Fahrzeugvarianten eines Typs angesehen werden. Um eine Information über die Bandbreite der CO₂-Emissionen zu erhalten, wird vorgeschlagen, die Regelung in der Weise zu ergänzen, dass der günstigste und ungünstigste Fall aus einer Fahrzeugfamilie gemessen werden muss und der Einfluss der Klimaanlage berücksichtigt wird.

Um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen, sollten die Toleranzen von Einflussparametern vermindert werden.

Im Einzelnen werden folgende Anforderungen vorgeschlagen:

- Die Prüfstandseinstellungen sollen auf der Grundlage von Ausrollversuchen auf Straßen an die günstigsten und ungünstigsten Fahrzeuge angepasst werden.
- Für beide Varianten (günstigstes und ungünstigstes Fahrzeug) sollen nur OEM Reifen mit vom Hersteller empfohlenem Luftdruck benutzt werden. Die Einstellungen von Fahrwerk und Bremsen sollen den normalen Einstellungen dieser Varianten entsprechen.
- Die Batteriekapazität sollte bei beiden Varianten zwischen 80% und 90% betragen, um besser mit der Praxis überein zu stimmen.
- Der ungünstigste Fall soll außer der Klimaanlage alle energieverbrauchenden Hilfen wie Lenkkraftunterstützung, Kompressor für die Luftfederung, Druckluft, Sitzheizung etc. enthalten.
- Die Vorschriften zum Gangwechsel bei manuellen Getrieben sollen, wie in Anhang A beschrieben, in bessere Übereinstimmung mit dem praktischen Gebrauch gebracht werden. Entsprechende Schaltvorschriften, wie in Anhang A beschrieben, werden im Rahmen der ECE in den „global technical regulations“ für die Erfassung der Schadstoffemissionen von Motorrädern (WMTC, vergl. [7]) verwendet. Sie sind von den Beteiligten akzeptiert und im Rahmen von Tests validiert worden. Die Schaltvorschriften in Anhang A sind unterschiedlich für zwei verschiedene Fahrweisen: „durchschnittlich“ und „hohtourig“. Konsequenterweise sollen für das günstigste Fahrzeug die Vorschriften für durchschnittliche Fahrweise und für das ungünstigste Fahrzeug die Vorschriften für hohtourige Fahrweise verwendet werden. Bei Automatikgetrieben sollen beim günstigsten Fall die Empfehlungen des Herstellers verwendet werden. Für den ungünstigsten Fall soll die „sportlichste“ Einstellung verwendet werden. Adaptive Getriebe müssen vor den Messungen entsprechend konditioniert werden.

Um den Messaufwand gering zu halten, könnte gegebenenfalls auf die Messung des günstigsten Falls verzichtet werden.

6.7 Klimaanlage

Klimaanlagen sollen durch eine dritte Prüfung abgedeckt werden. Diese kann ohne Kaltstart erfolgen, da in [1] festgestellt wurde, dass sich die Kaltstartemissionen mit und ohne Klimaanlage nicht signifikant unterscheiden. Für die Messung werden folgende Parameter vorgeschlagen:

- Warmstart
- Fahrzeug, Prüfstandseinstellungen und Schaltvorschriften wie beim günstigsten Fall, da hier ja nur der Einfluss der Klimaanlage gemessen werden soll. Wird nur der ungünstigste Fall gemessen, ist dieser auch Grundlage für die Messung mit Klimaanlage
- Lufttemperatur 35 °C
- Relative Luftfeuchte zwischen 40% und 50%
- Sonneneinstrahlung von 850 W/m², auf die Frontscheibe des Fahrzeugs gerichtet
- Kühlluftstrom fürs Fahrzeug proportional zur Fahrgeschwindigkeit
- Die Einstellung der Klimaanlage soll wie folgt sein:
 - Manuelle Klimaanlage:
 - Höchste Einstellung (am Kältesten)
 - Niedrigste Temperatur
 - Höchste Gebläsestufe
 - Umluft
 - Klimaautomatik:
 - Automatik Modus
 - Zieltemperatur 22 °C (72 °F)
 - Andere Einstellungen wie bei manuellen Anlagen, wenn möglich

Die Sonneneinstrahlung ist notwendig, um den positiven Effekt von speziellem Glas, das weniger Sonnenwärme in den Innenraum durchlässt, zu berücksichtigen. Die Einstrahlung soll drei Stunden vor den Messungen eingeschaltet werden, um den Fahrzeuginnenraum aufzuheizen. Dies erfordert, dass die Fenster geschlossen sind.

6.8 Fazit

Die Ergebnisse der Messungen „günstigster“ (falls zu berücksichtigen), „ungünstigster“ Fall und „Einfluss der Klimaanlage“ sollten dann deklarierungspflichtig werden und dem Verbraucher zur Verfügung stehen.

6.9 Realistischerer Prüfzyklus

Langfristig sollte der derzeitige Prüfzyklus durch einen realistischeren Prüfzyklus auf der Grundlage einer Analyse von Daten realen Fahrverhaltens ersetzt werden, wie dies bei Motorrädern bereits geschehen ist.

7 Literatur

- [1] **Martin Weilenmann et al.** Influence of Mobile Air-Conditioning on Vehicle Emissions and Fuel Consumption: A Model Approach for Modern Gasoline Cars Used in Europe, published in ENVIRON. SCI. & TECHNOL., American Chemical Society
- [2] **Heusch-Boesefeldt 1993a** Bartelt et. al., Heusch-Boesefeldt, Jost, P. et al., TÜV Rheinland: Untersuchungen des repräsentativen Fahrverhaltens von Pkw auf Stadt- und Landstraßen; im Auftrag des Umweltbundesamtes; Köln 1993
- [3] **IFEU 2005a** Knörr, W: et al., IFEU: Fortschreibung „Daten- und Rechenmodell“: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030; im Auftrag des Umweltbundesamtes; F+E Vorhaben 204 45 139; Dessau/Heidelberg, Dezember 2005
- [4] **IVT 2005a** Hautzinger, H. et al, IVT: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung; Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen ; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 120; Bergisch Gladbach, Mai, 2005
- [5] **Öko-Recherche 2001** Schwarz, W., Öko-Recherche: Emissionen des Kältemittels R134a aus mobilen Klimaanlage; im Auftrag des Umweltbundesamtes; Frankfurt a.M., September 2001
- [6] **Final Technical Report on Air Conditioning for the Federal Test Procedure Revisions**, Notice of Proposed Rulemaking, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Office of Mobile Sources, January 1995
- [7] **H. Steven**, Worldwide Harmonised Motorcycle Emissions Certification Procedure, Draft technical report for the ECE-GRPE WMTC Working Group, December 2002
- [8] **ROTRANOMO**, Development of a Microscopic Road Traffic Noise Model for the Assessment of Noise Reduction Measures, DELIVERABLE 42 - INTERMEDIATE REPORT ON THE POWERTRAIN MODEL, June 2004

8 Anhang A – Bilder mit Ergebnissen der Modaldatenanalyse

8.1 CO₂-Emission

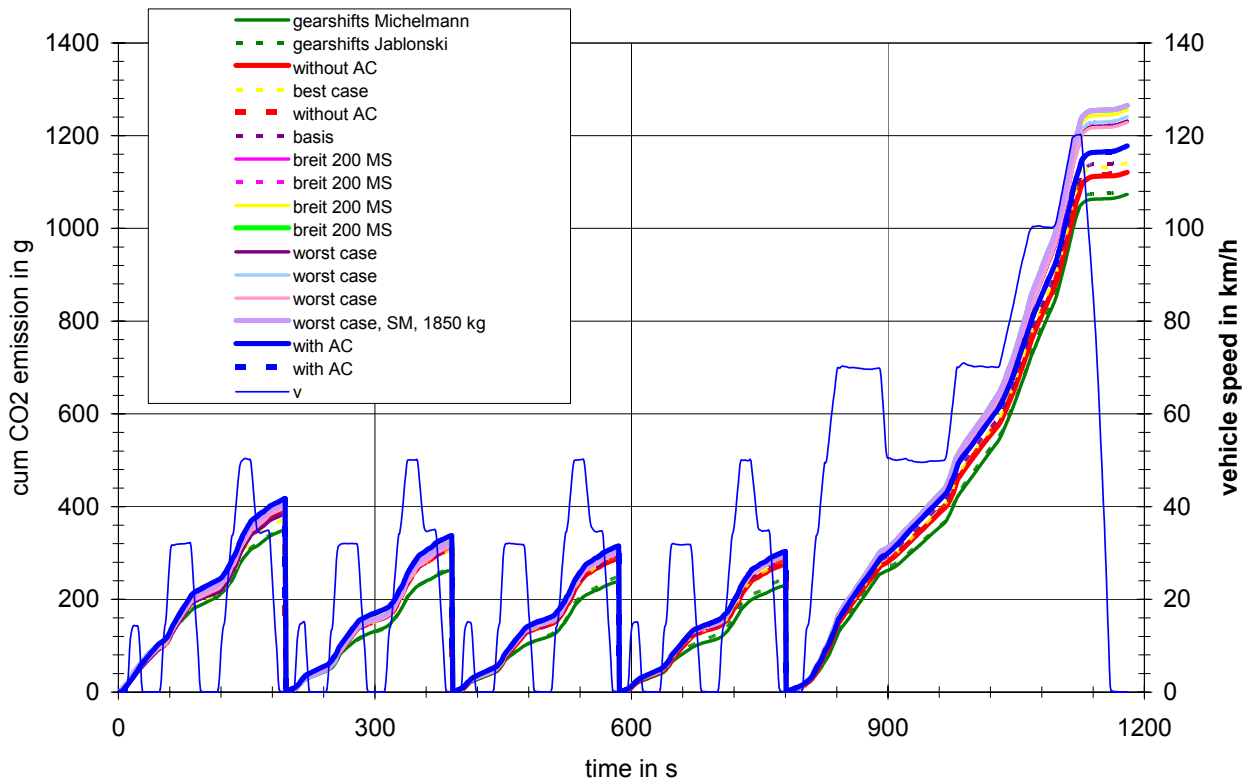


Bild 1: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen NEDC Teile, Fahrzeug 1

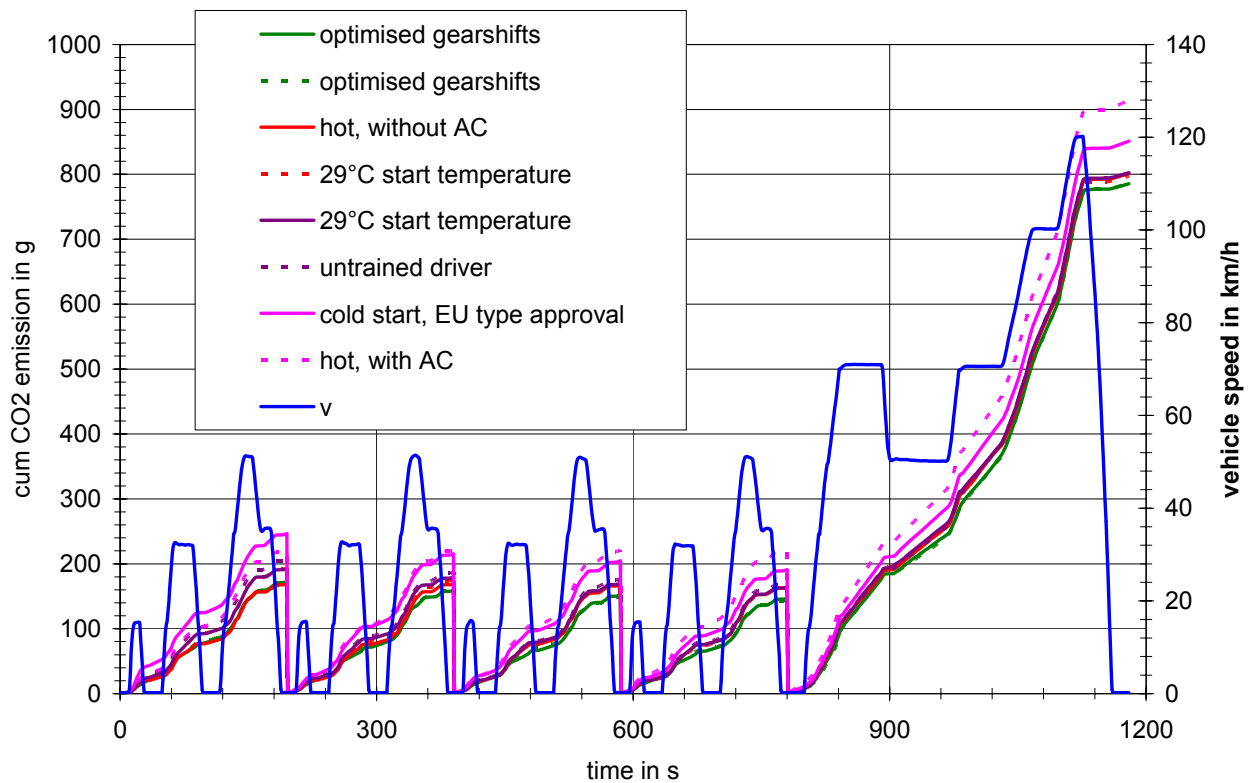


Bild 2: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen NEDC Teile, Fahrzeug 2

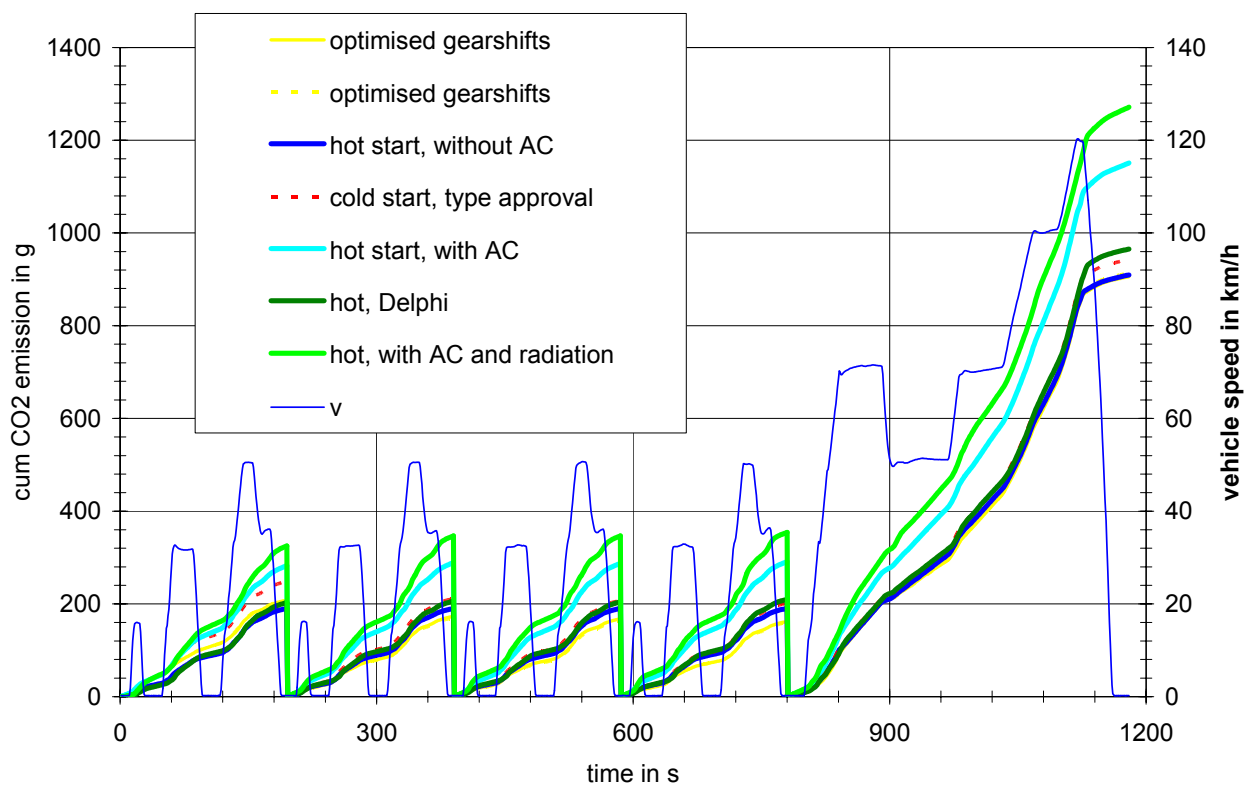


Bild 3: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen NEDC Teile, Fahrzeug 3

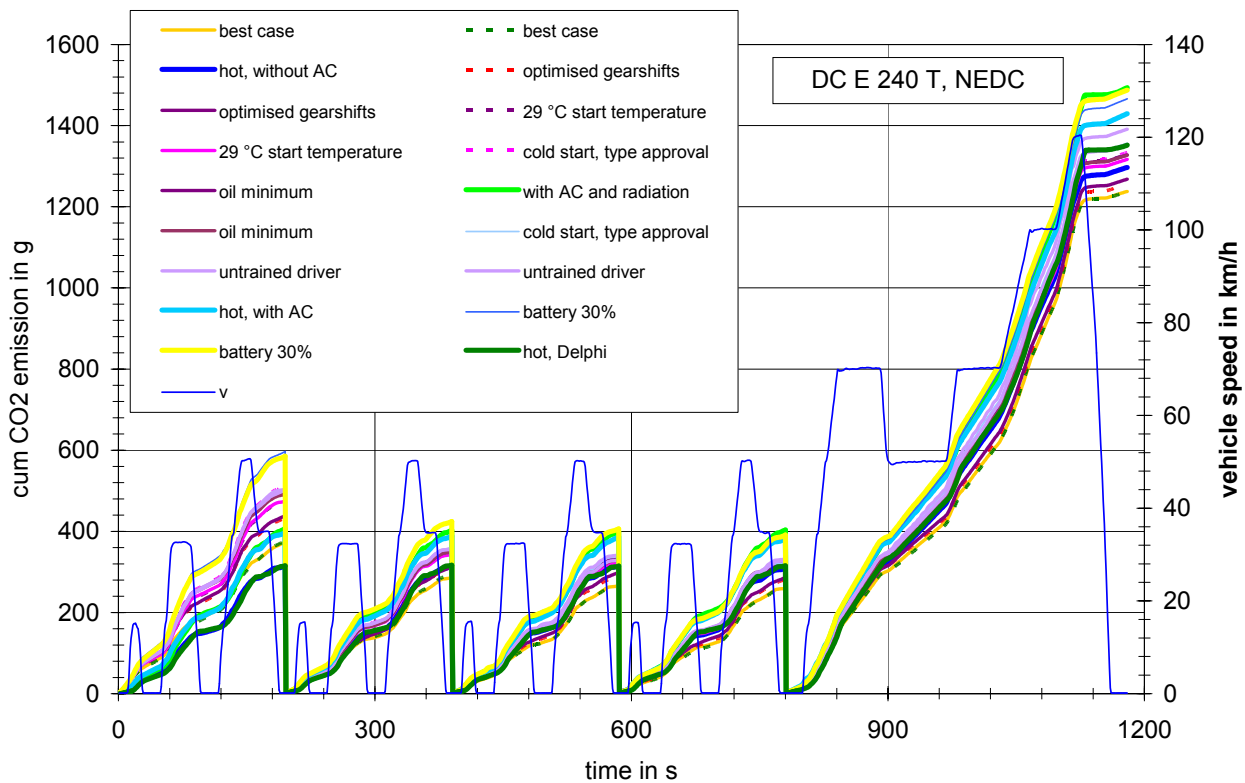


Bild 4: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen NEDC Teile, Fahrzeug 4

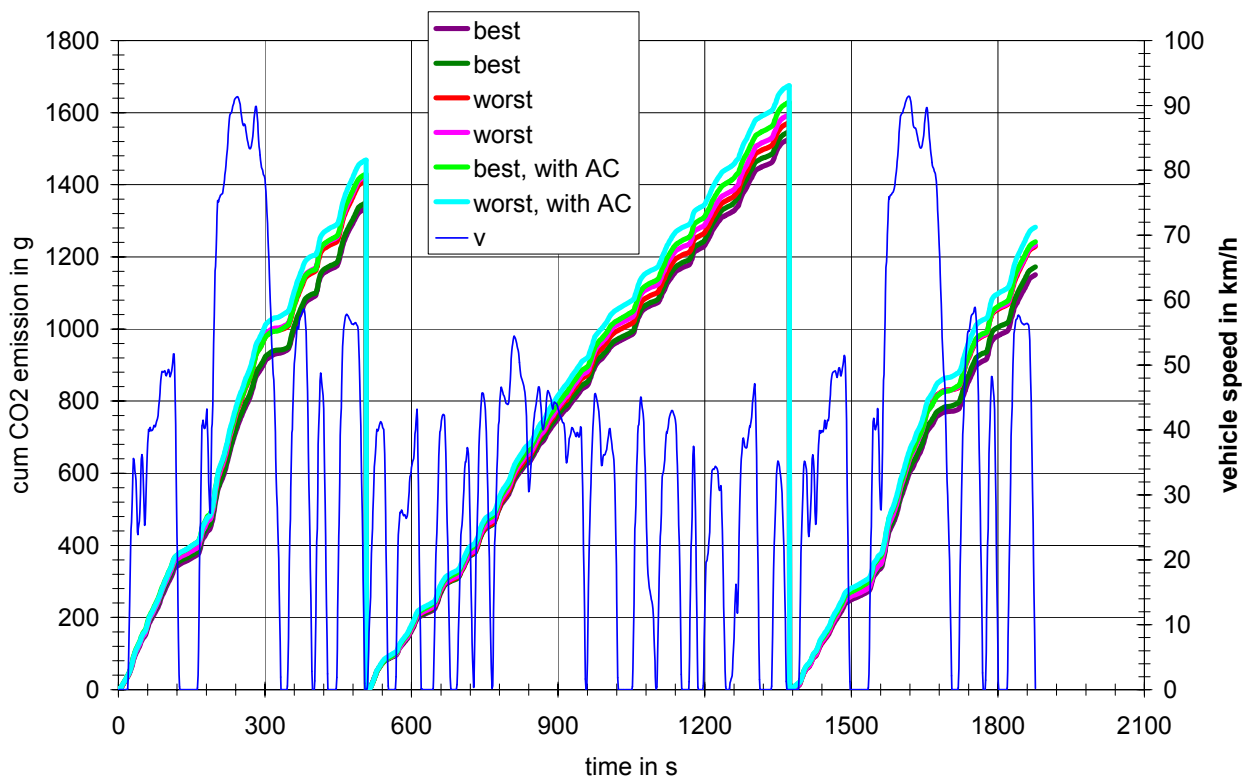


Bild 5: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen US FTP 75 Teile, Fahrzeug 1

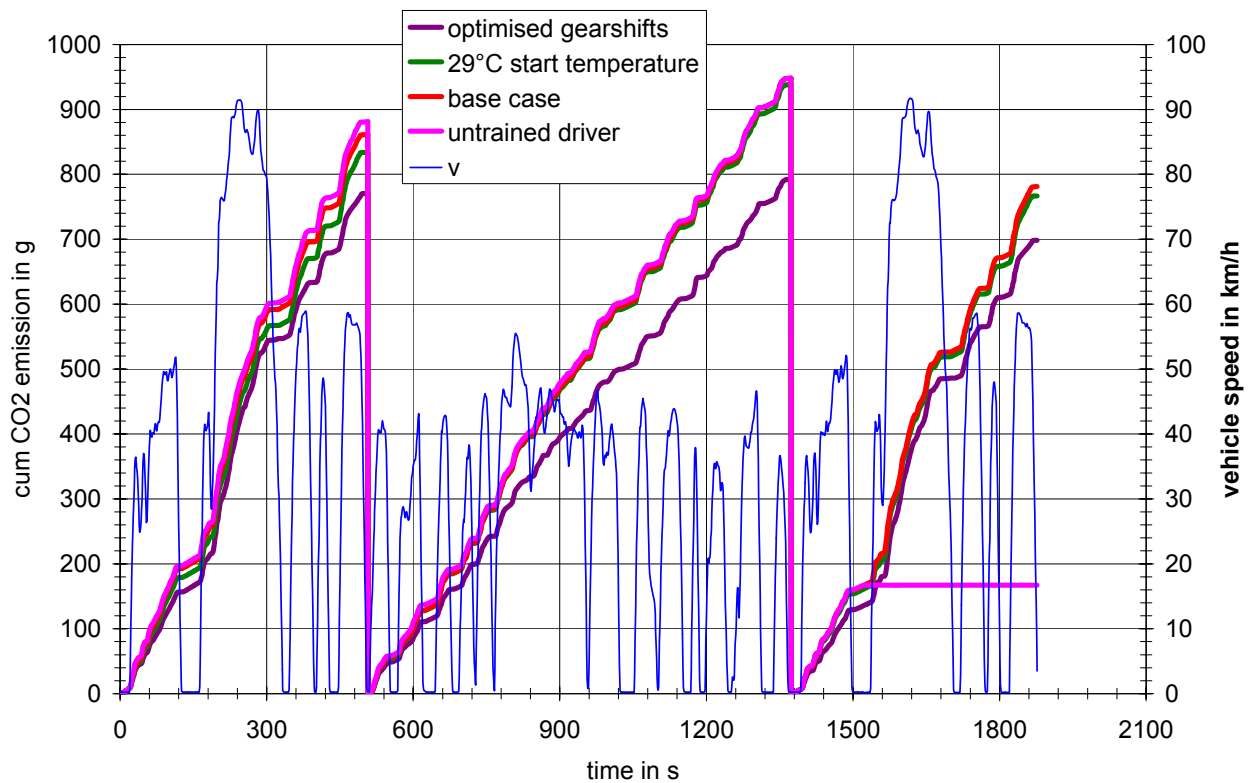


Bild 6: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen US FTP 75 Teile, Fahrzeug 2

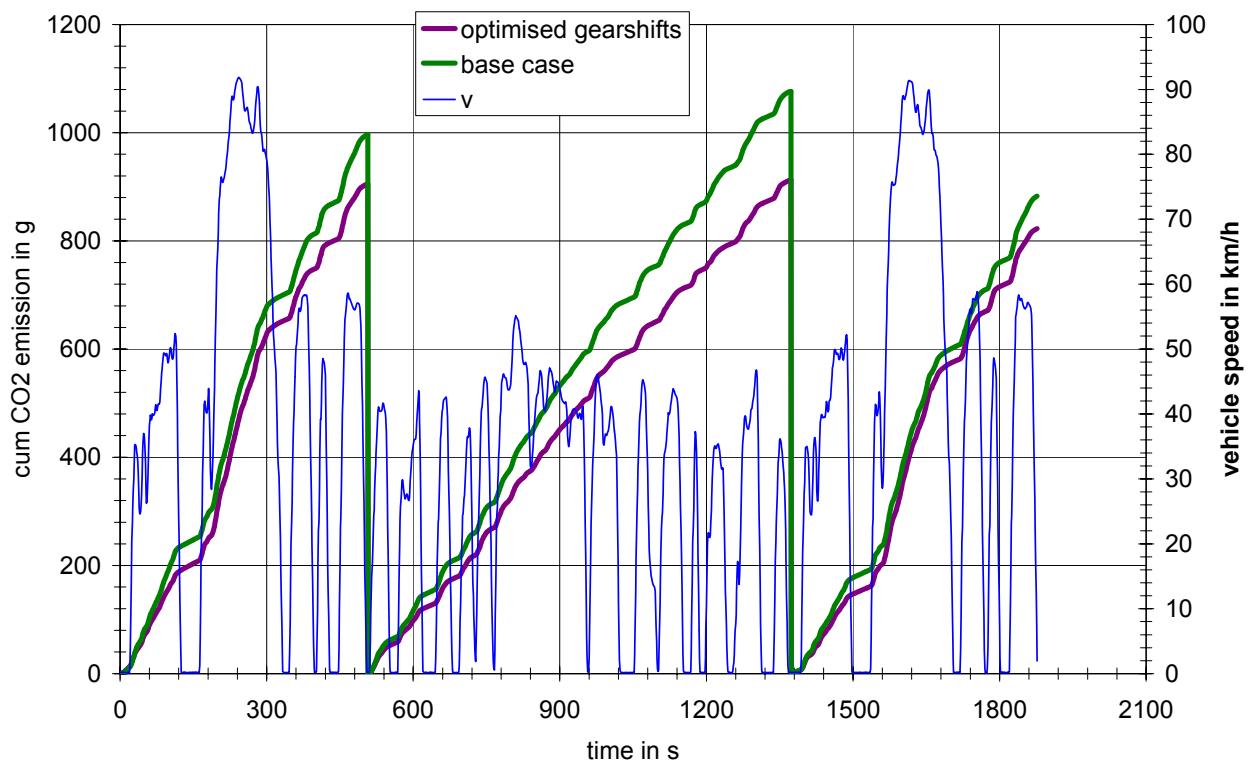


Bild 7: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen US FTP 75 Teile, Fahrzeug 3

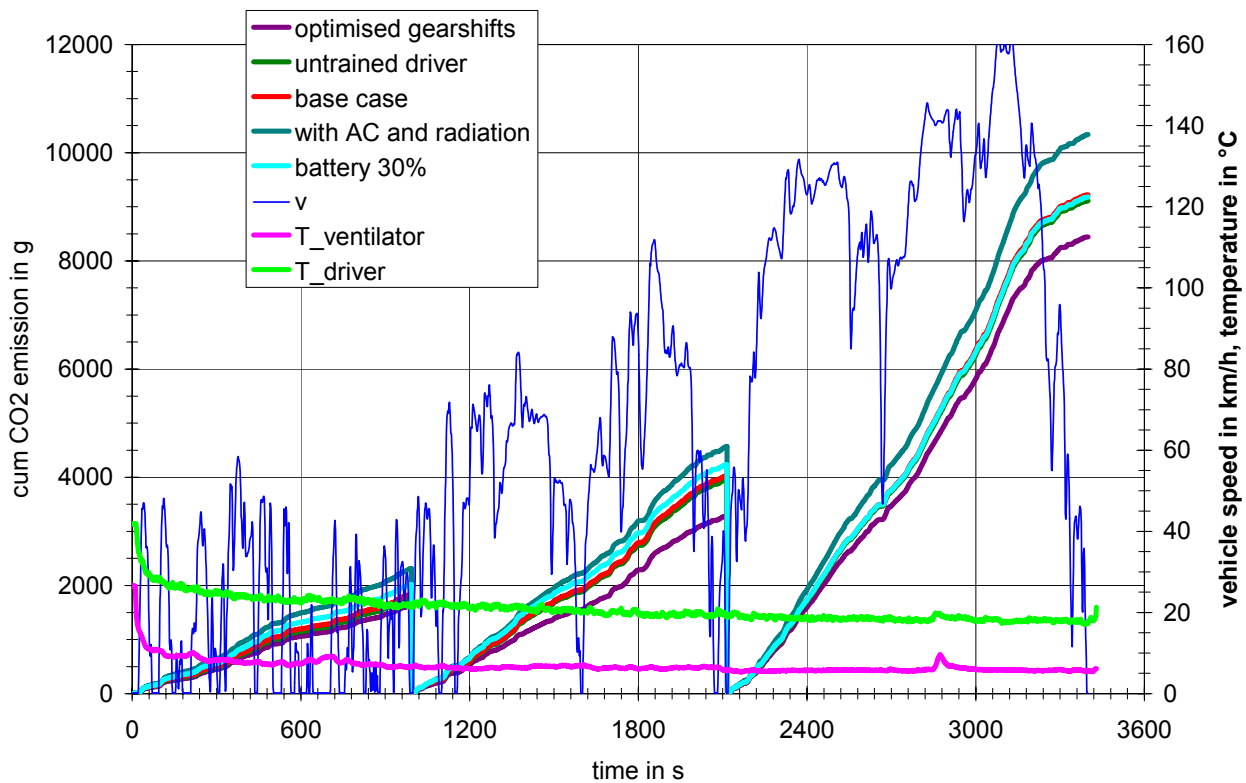


Bild 8: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen US FTP 75 Teile, Fahrzeug 4

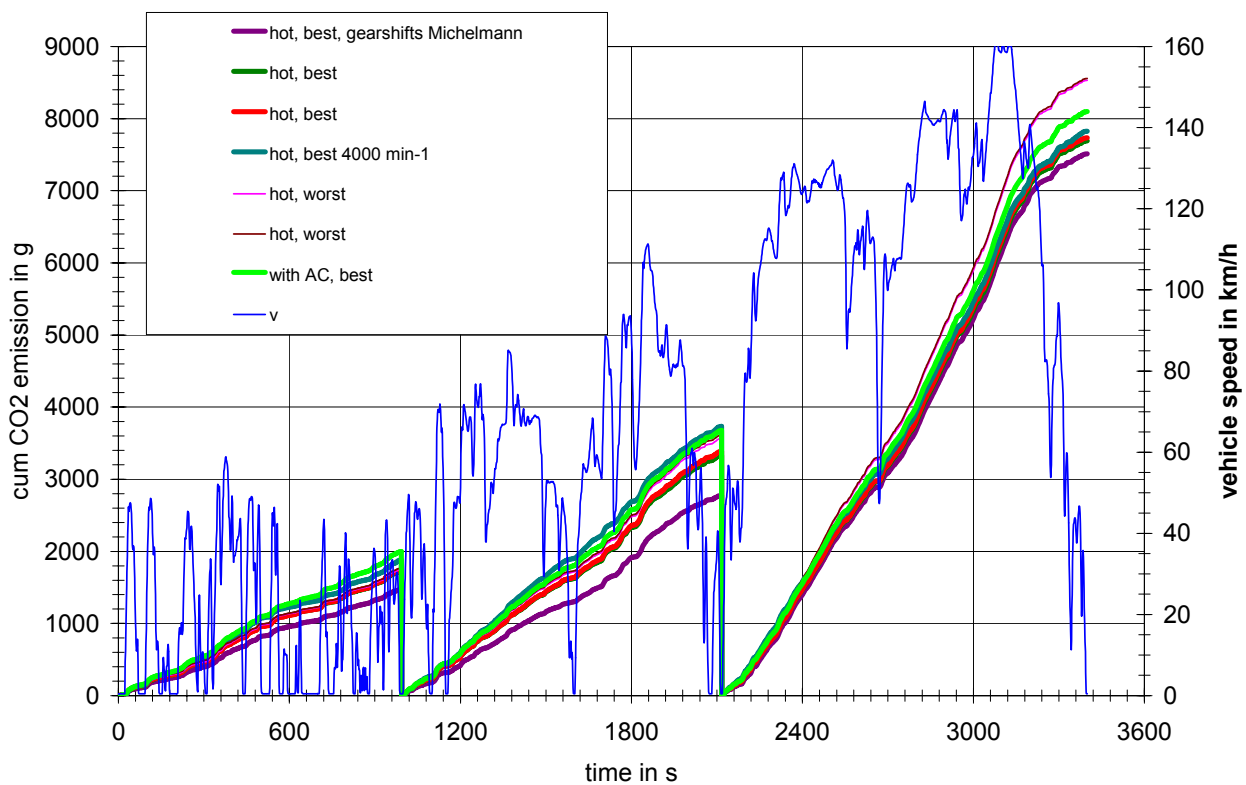


Bild 9: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen CADC Teile, Fahrzeug 1

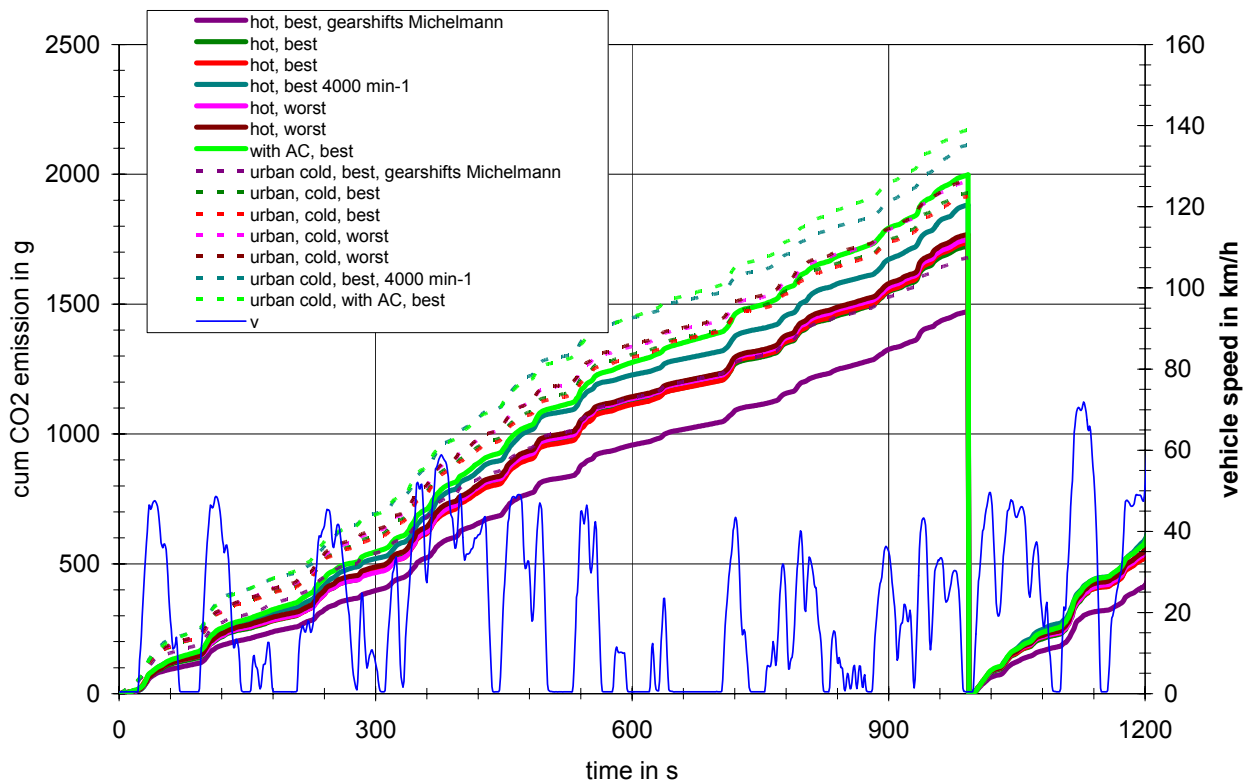


Bild 10: Kumulative CO₂-Emission für den städtischen Teil des CADC, Fahrzeug 1

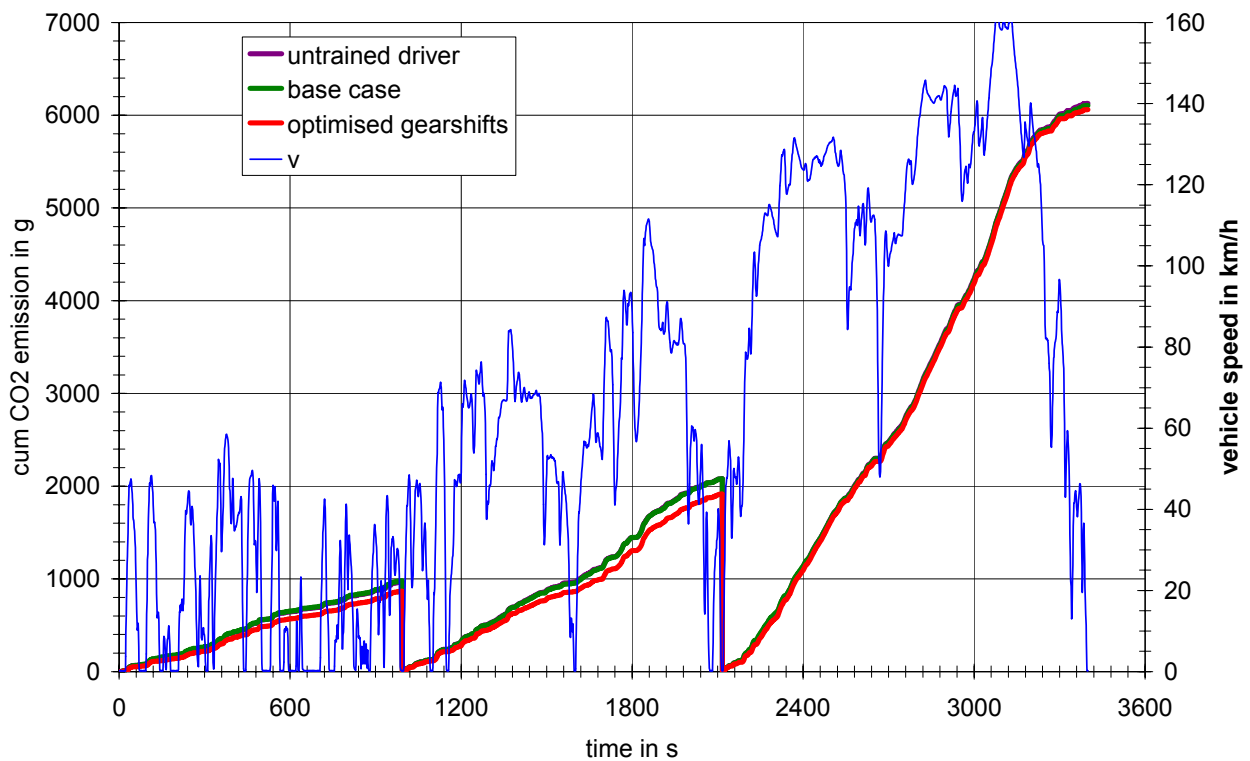


Bild 11: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen CADC Teile, Fahrzeug 2

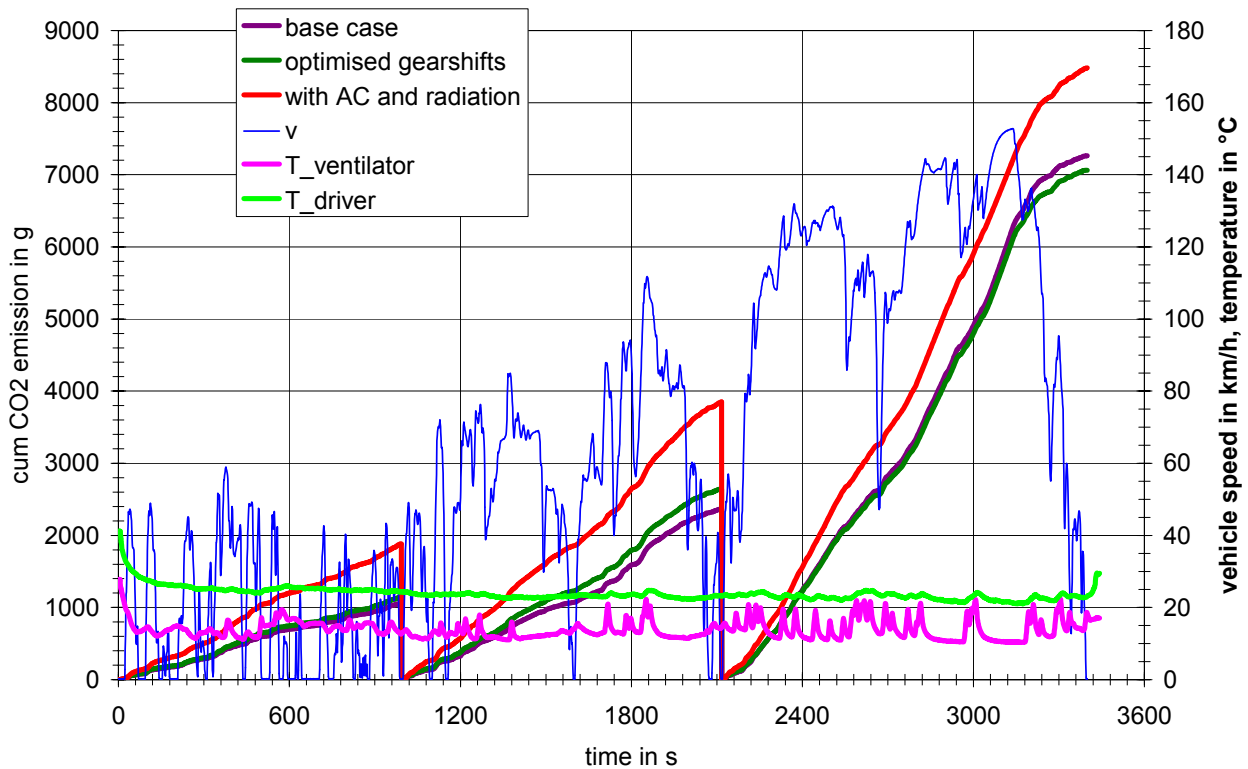


Bild 12: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen CADC Teile, Fahrzeug 3

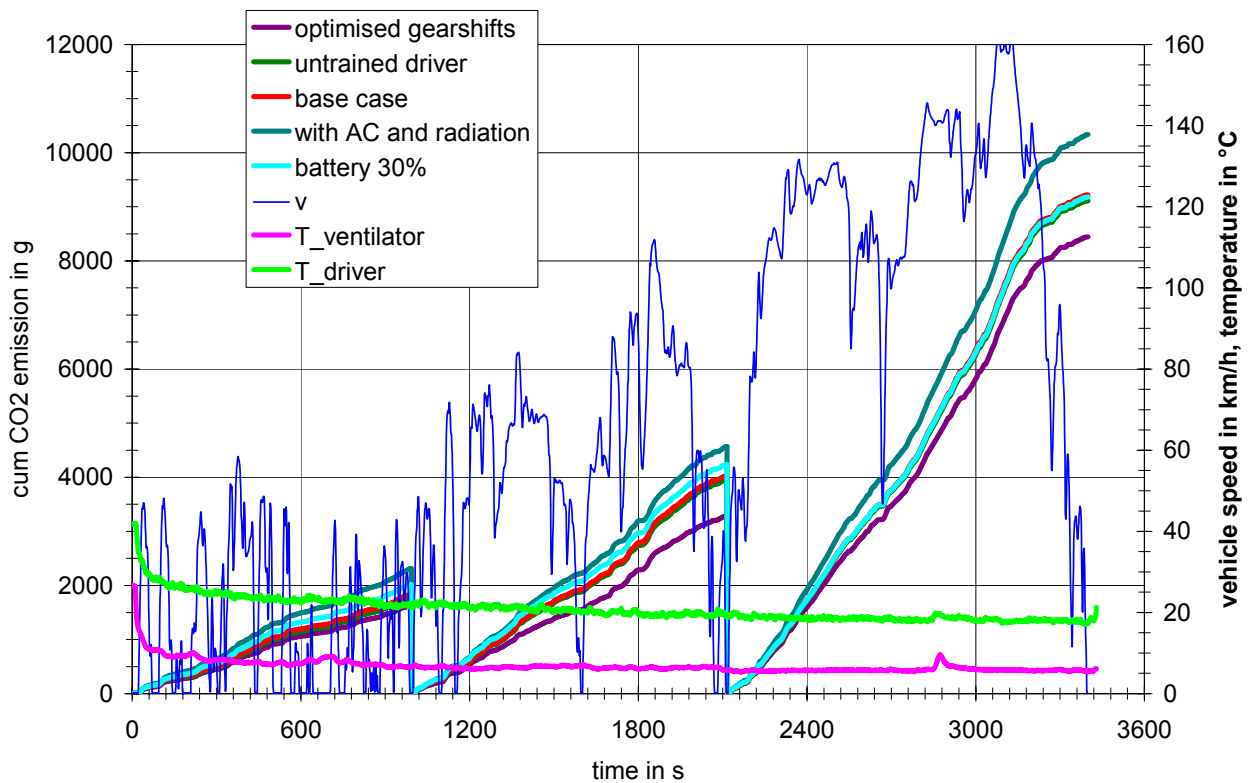


Bild 13: Kumulative CO₂-Emission für die verschiedenen CADC Teile, Fahrzeug 4

8.2 NOx-Emission

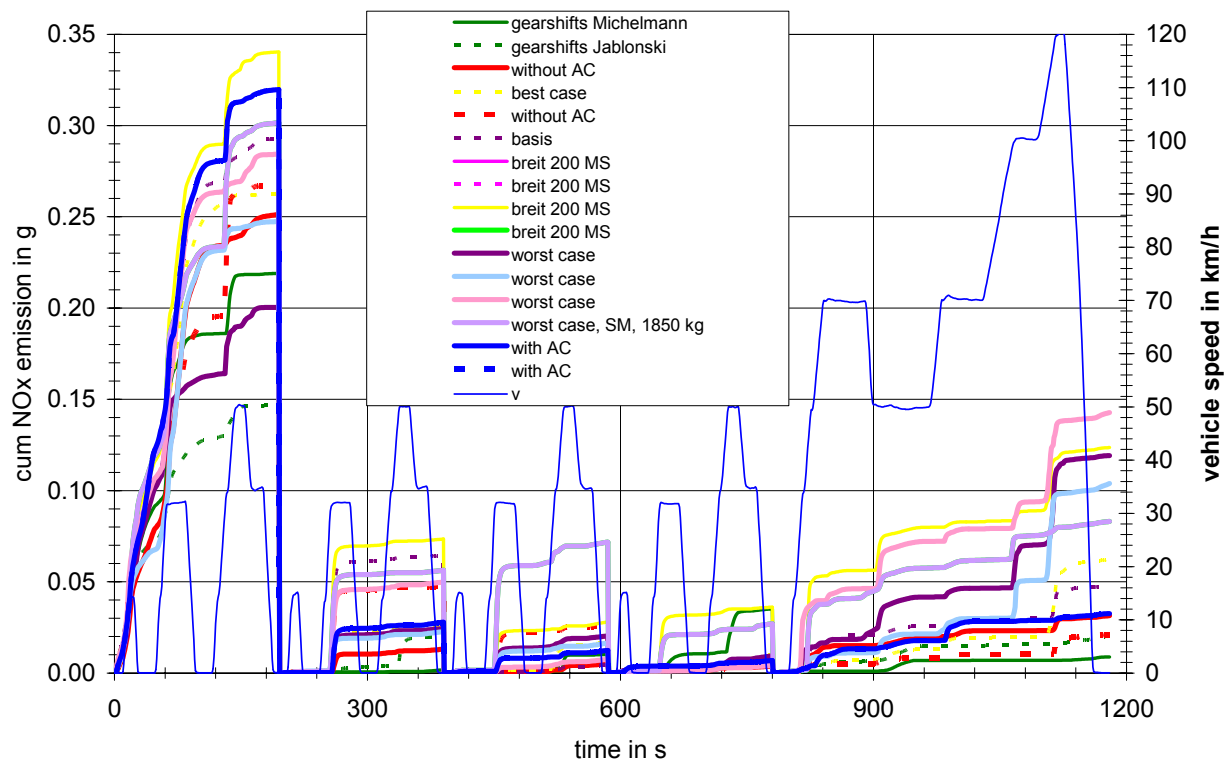


Bild 14: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 1

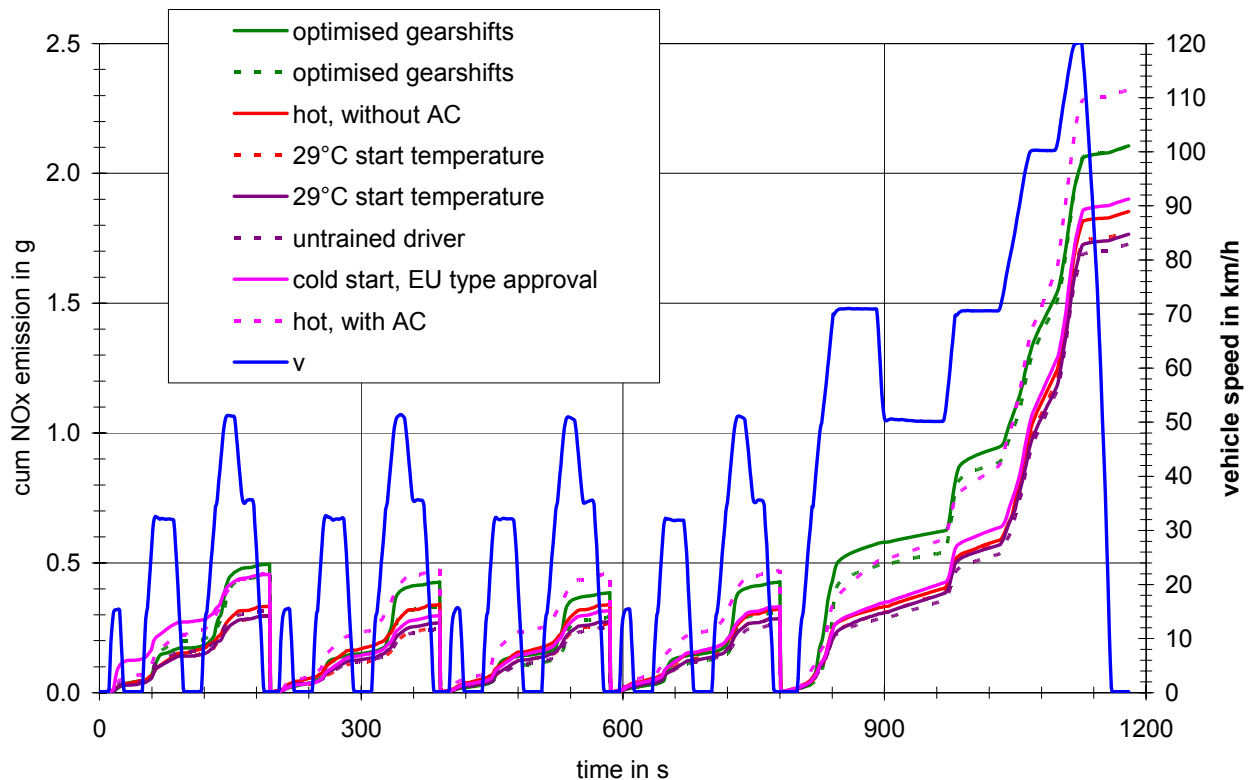


Bild 15: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 2

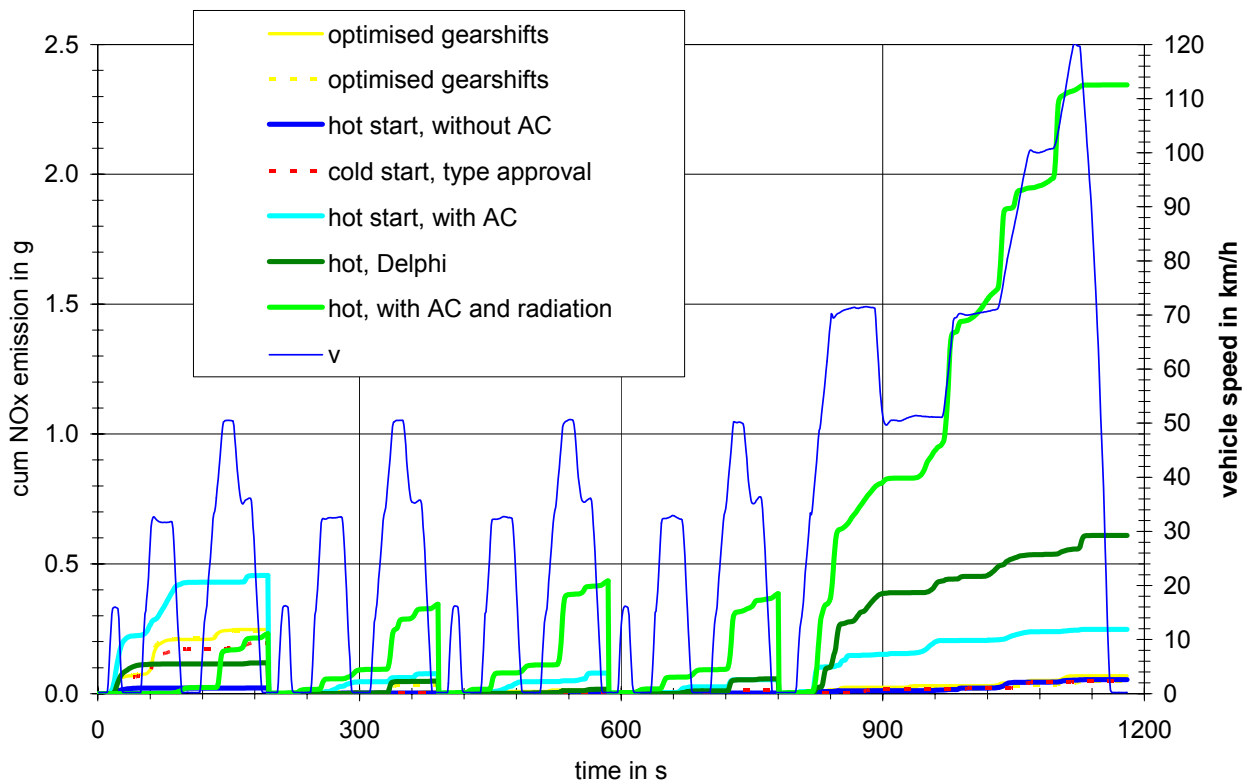


Bild 16: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 3

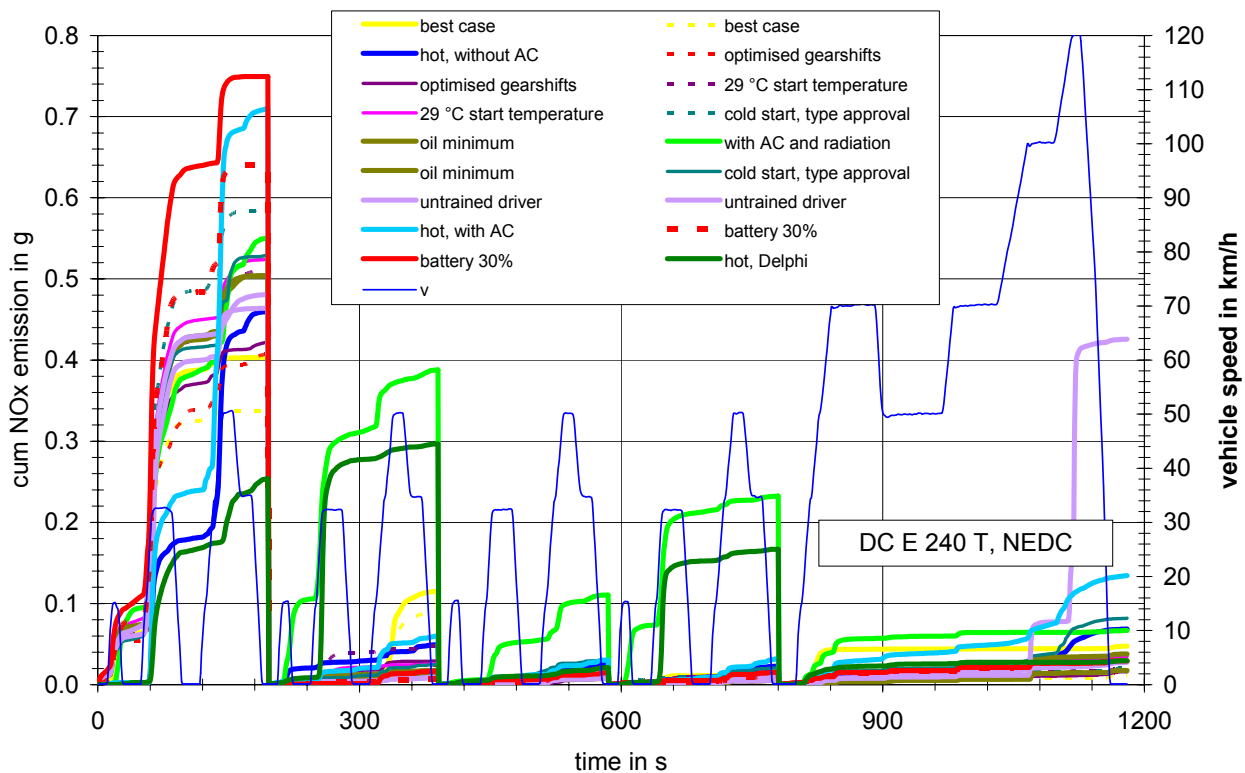


Bild 17: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 4

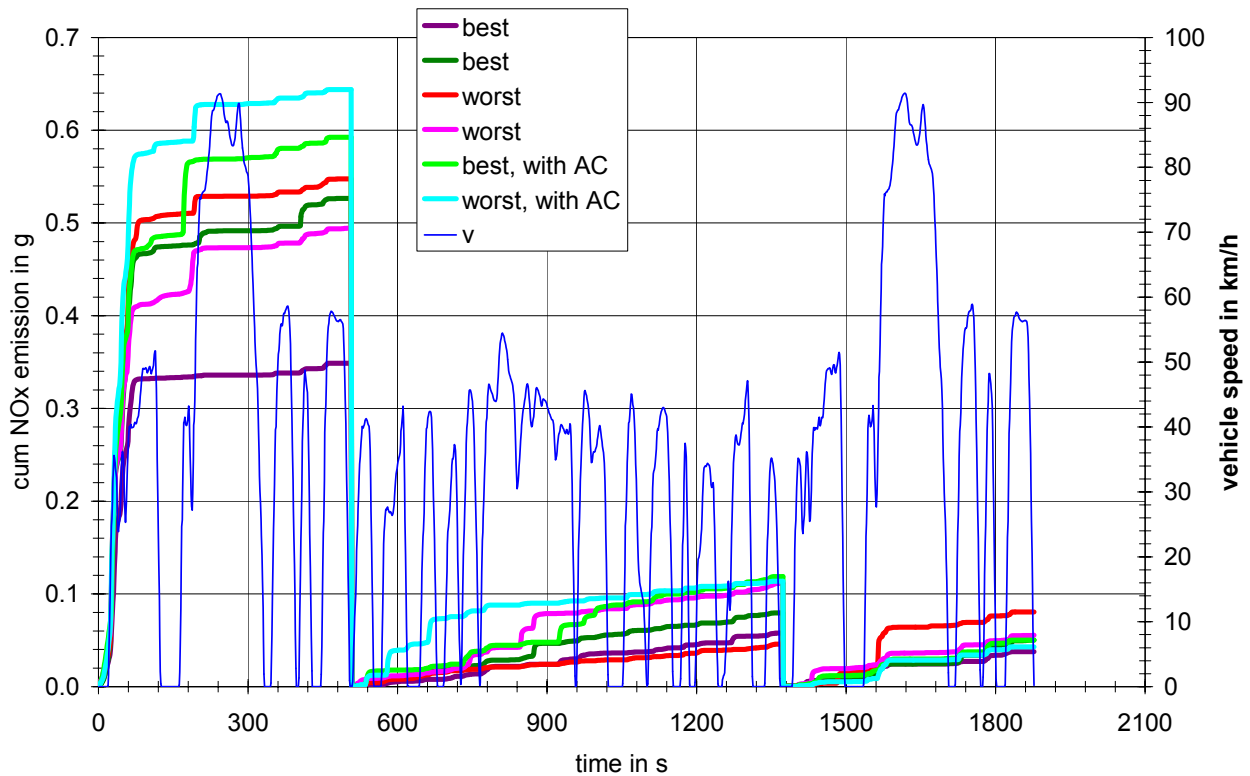


Bild 18: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 1

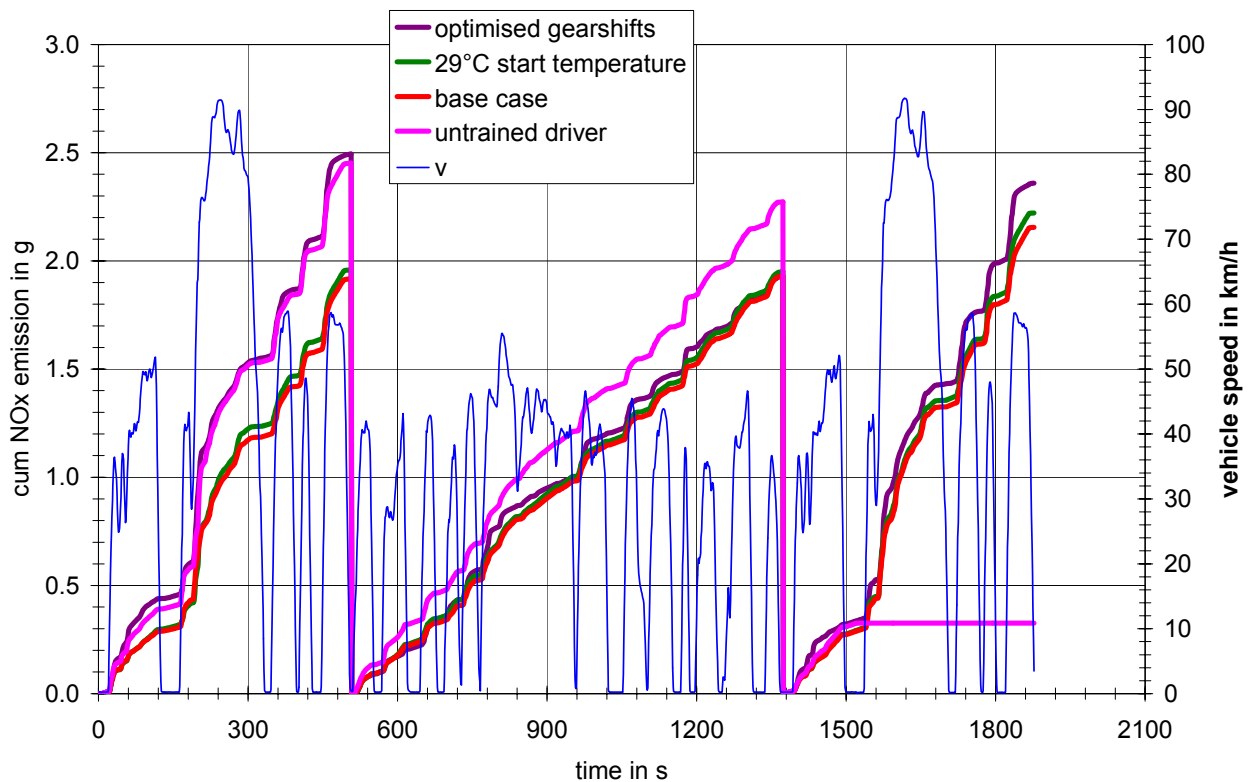


Bild 19: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 2

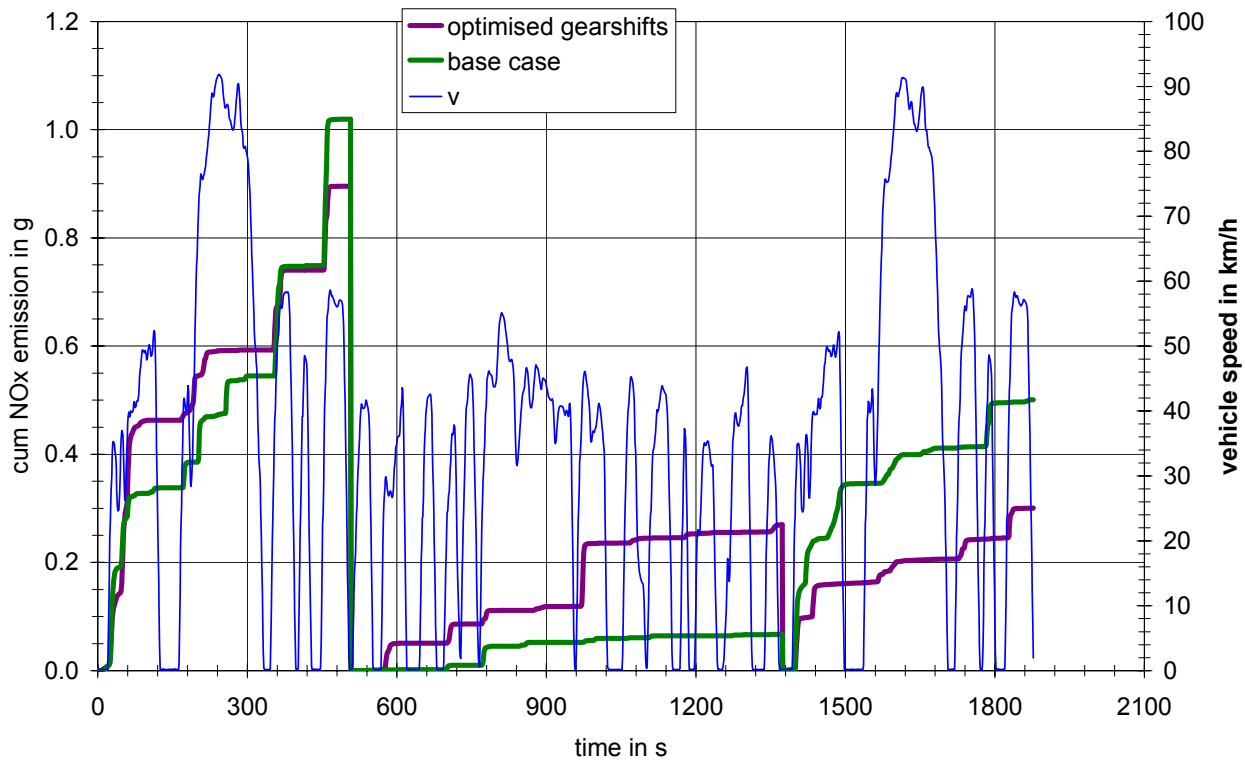


Bild 20: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 3

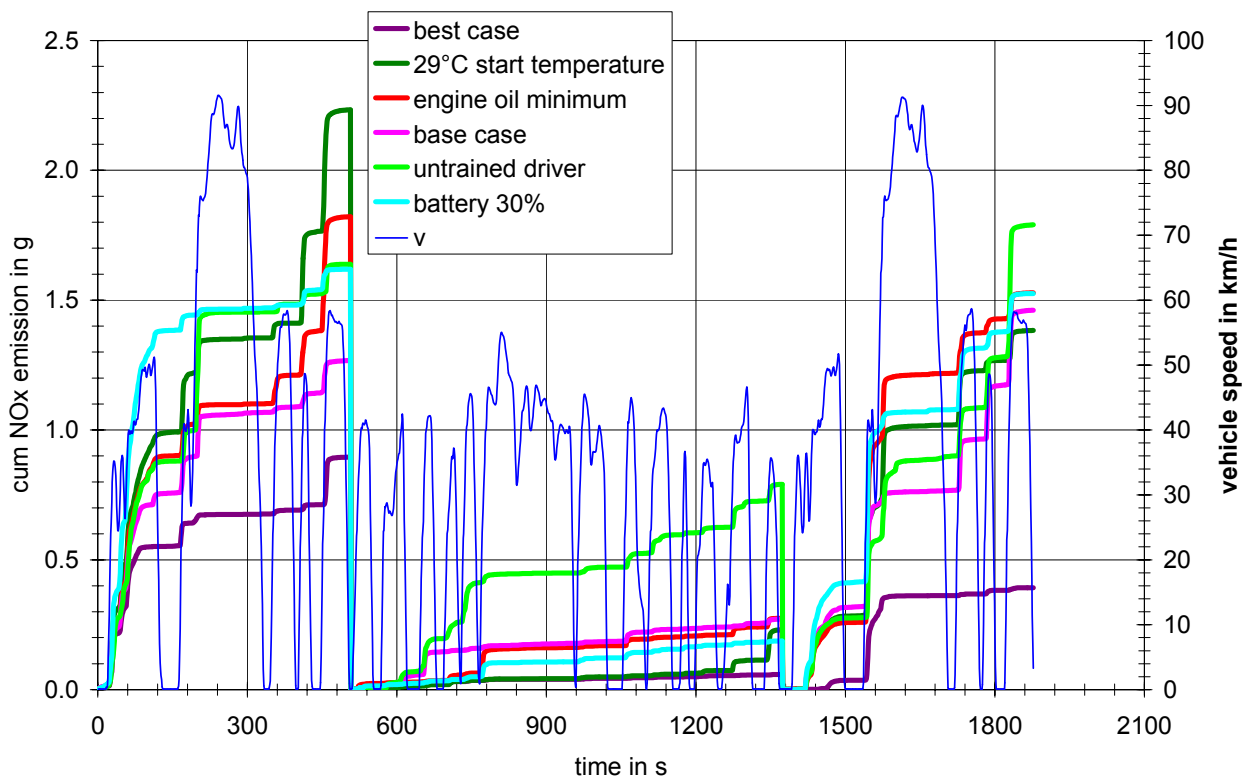


Bild 21: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 4

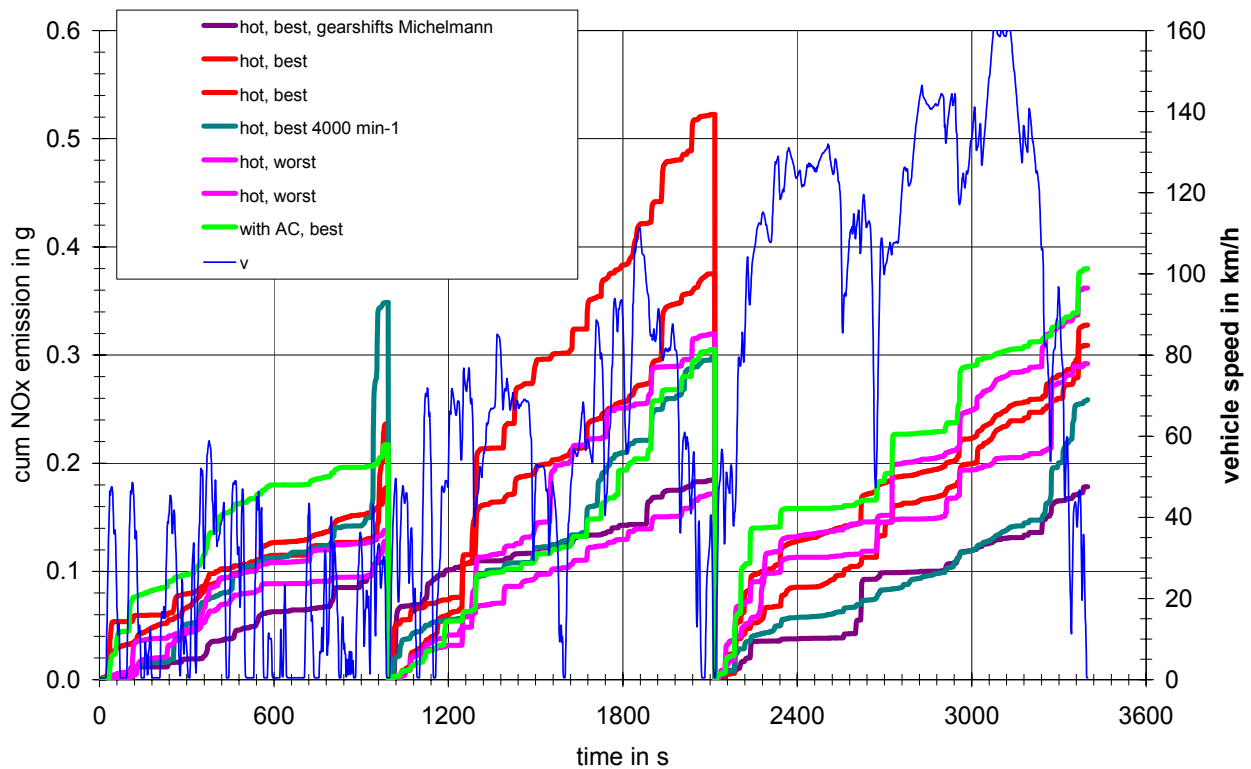


Bild 22: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen CADC Teilen, Fahrzeug 1

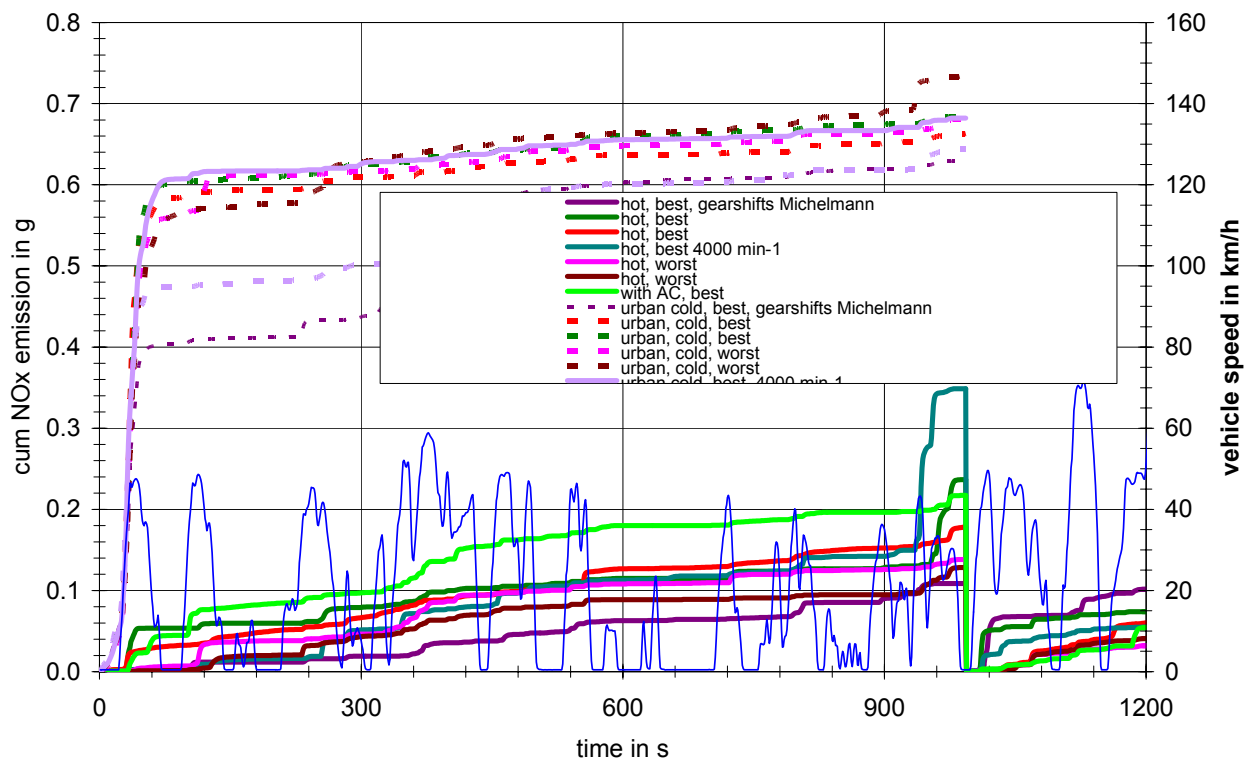


Bild 23: Kumulative NOx-Emission beim städtischen Teil des CADC, Fahrzeug 1

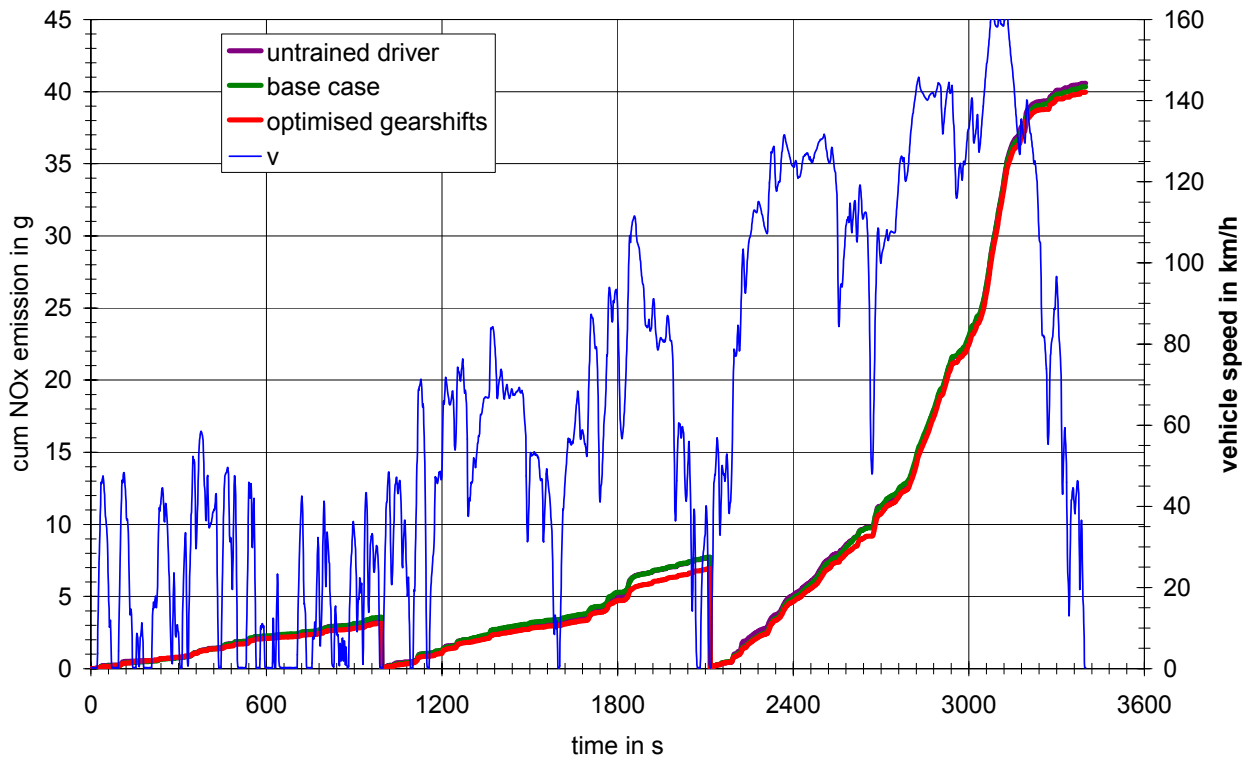


Bild 24: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen CADC Teilen, Fahrzeug 2

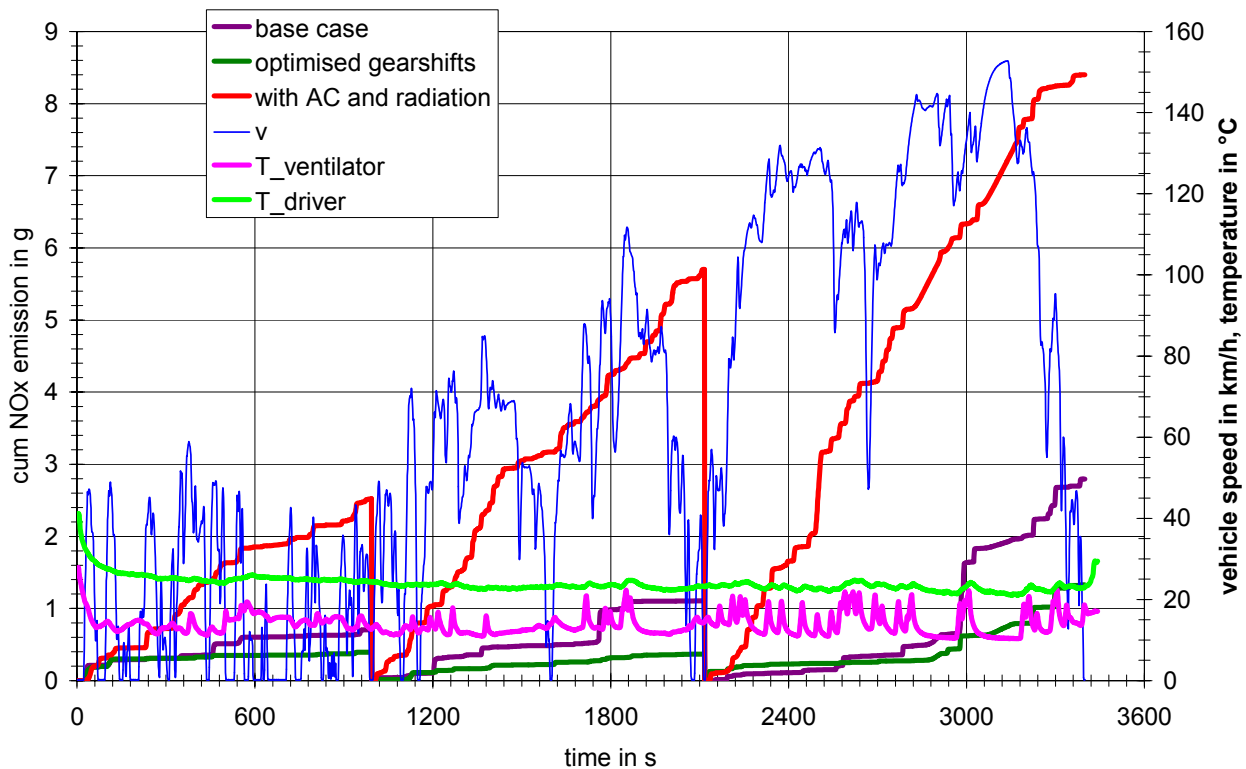


Bild 25: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen CADC Teilen, Fahrzeug 3

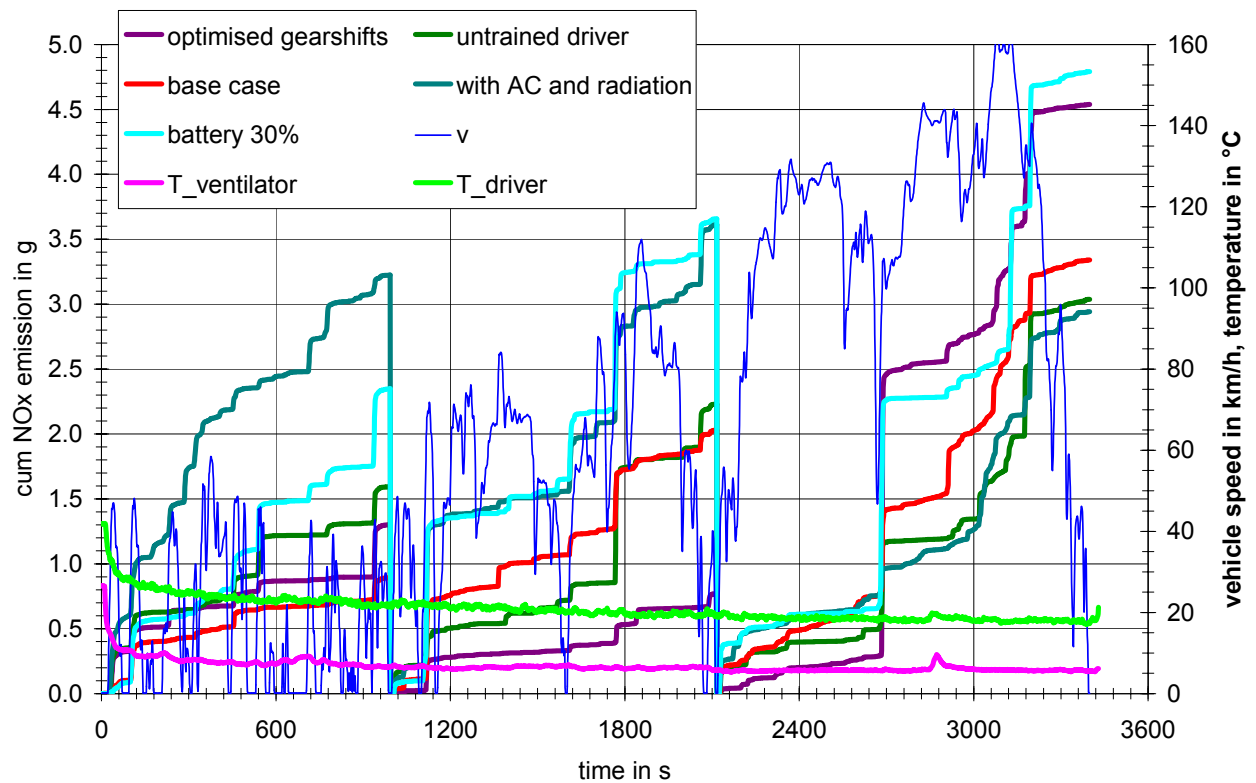


Bild 26: Kumulative NOx-Emission bei den verschiedenen CADC Teilen, Fahrzeug 4

8.3 HC-Emission

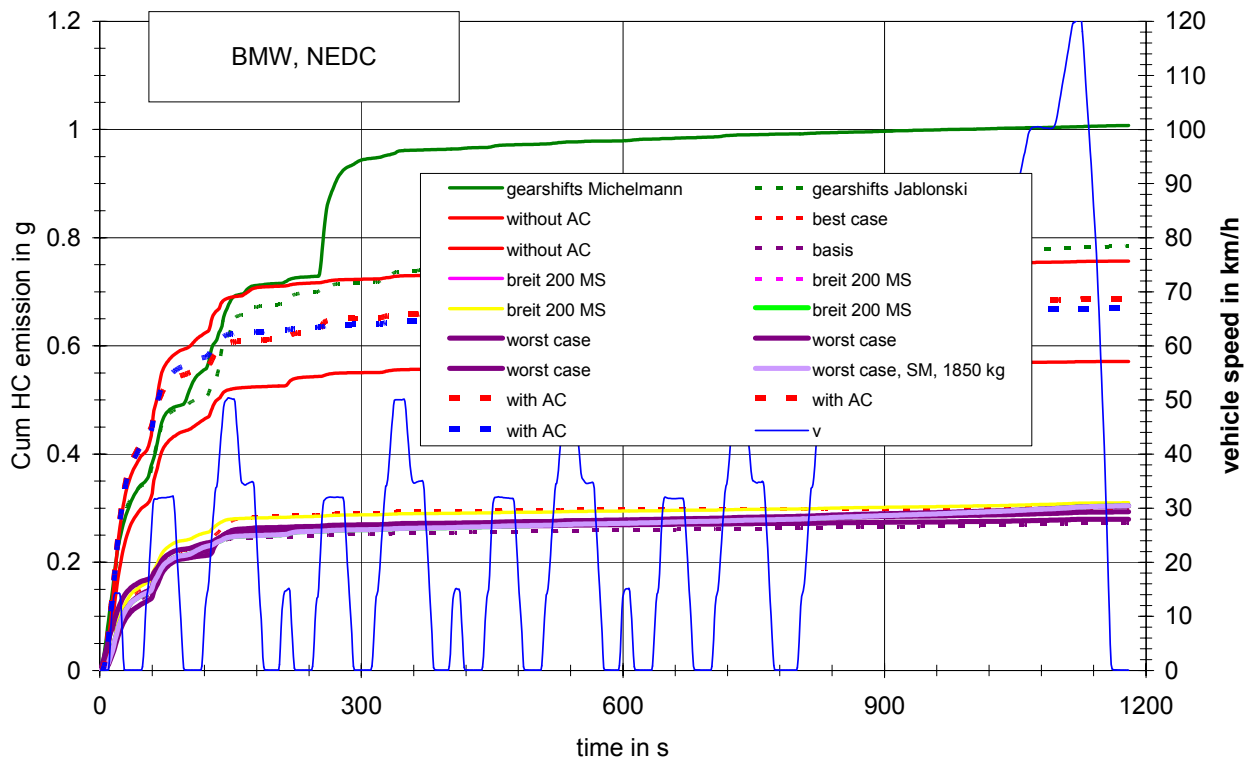


Bild 27: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 1

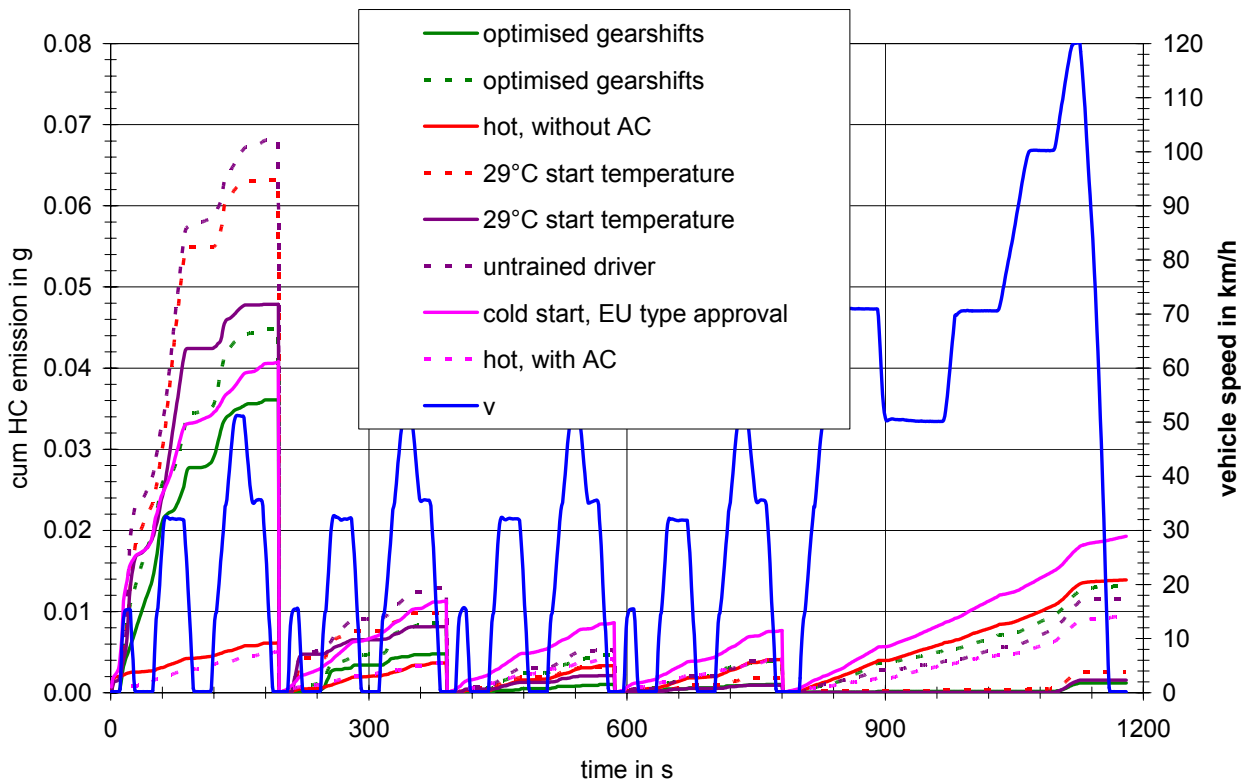


Bild 28: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 2

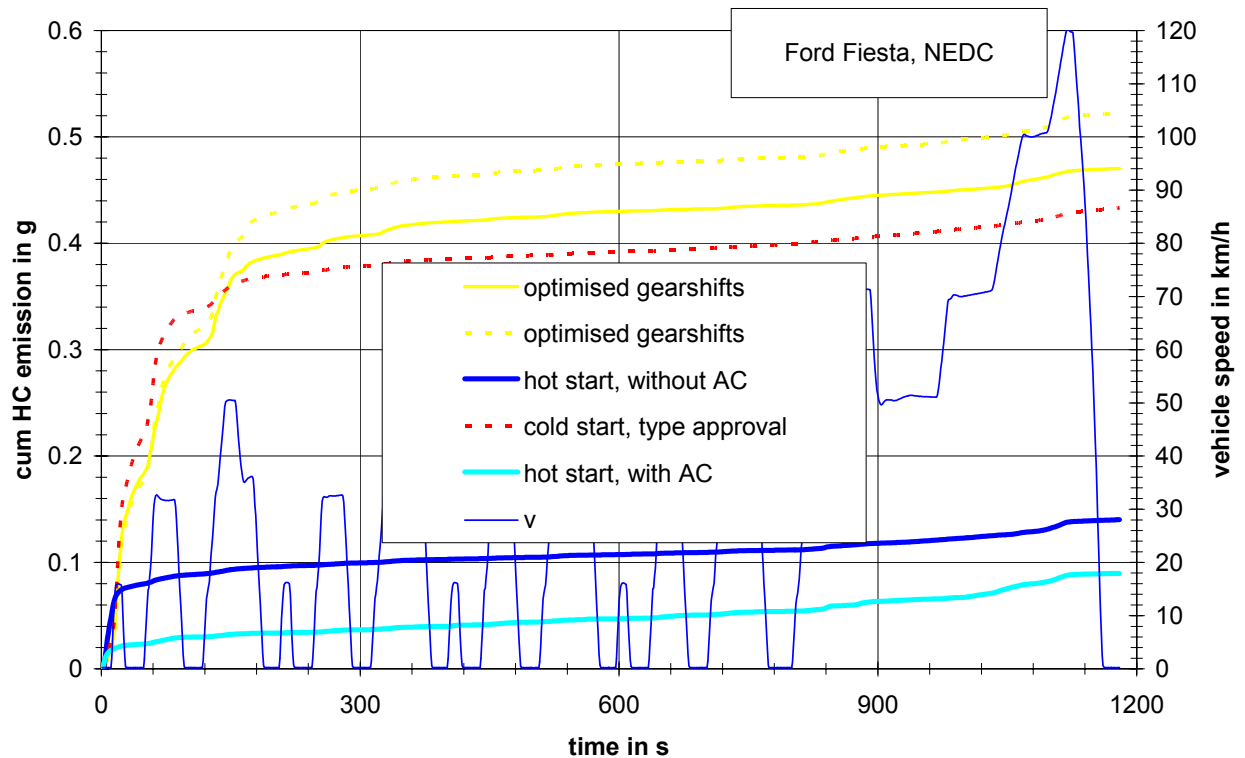


Bild 29: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 3

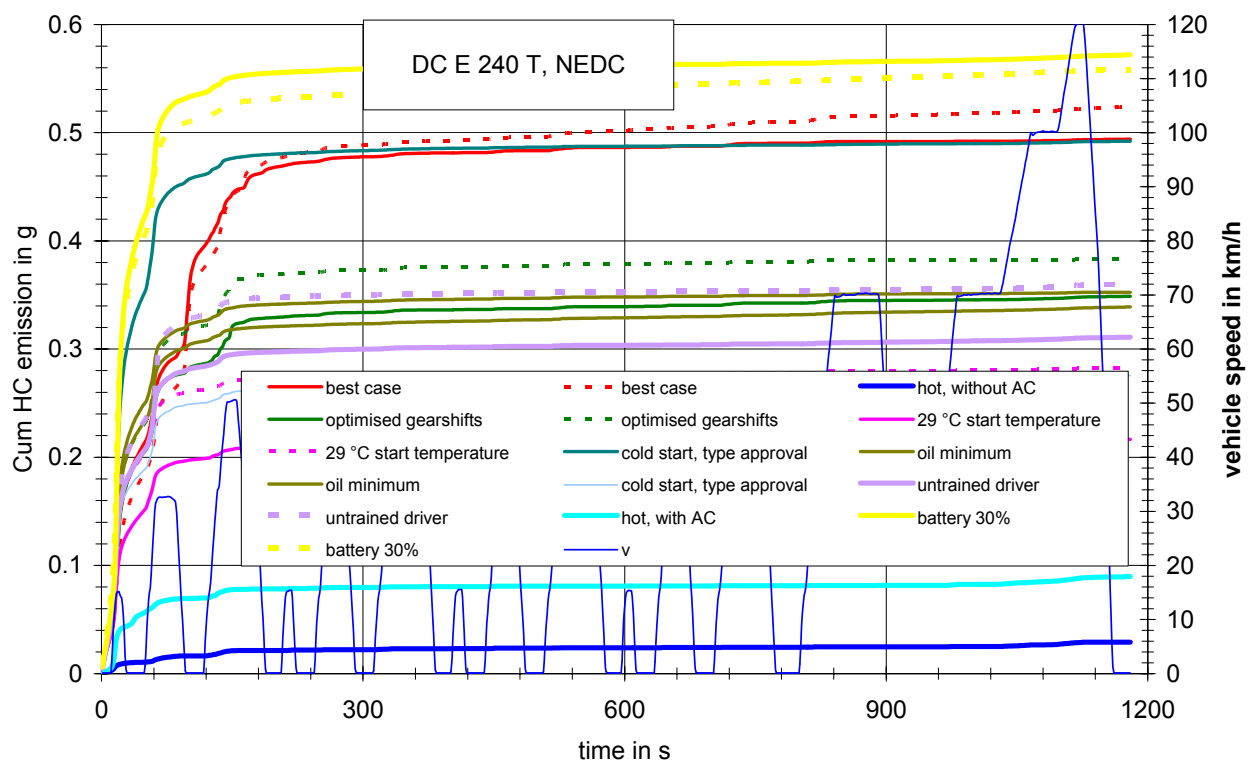


Bild 30: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 4

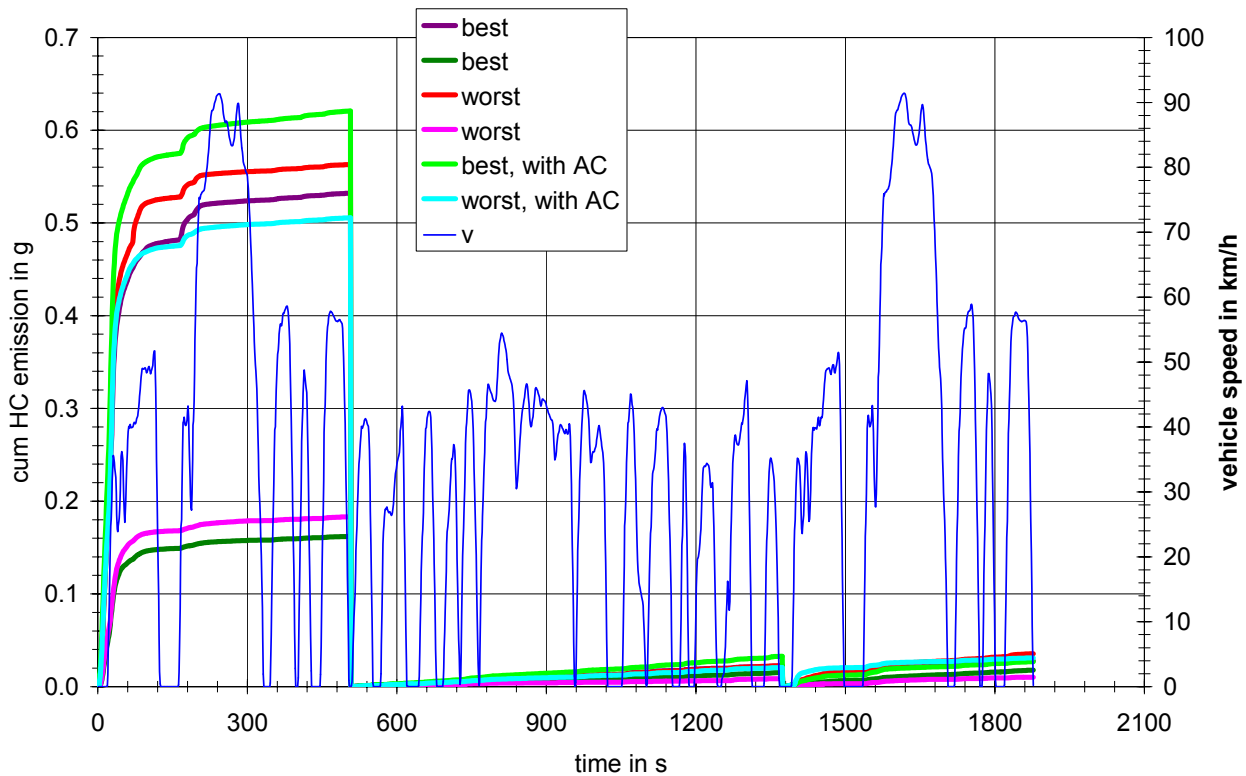


Bild 31: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 1

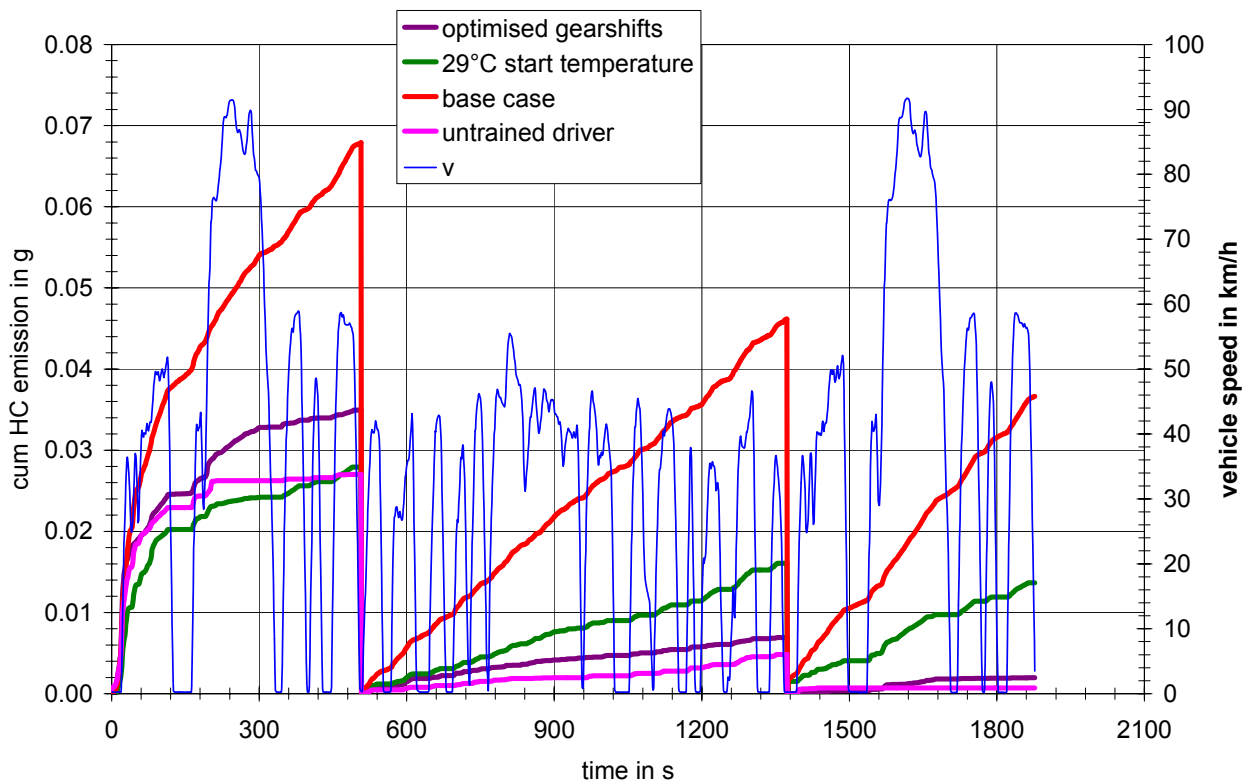


Bild 32: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 2

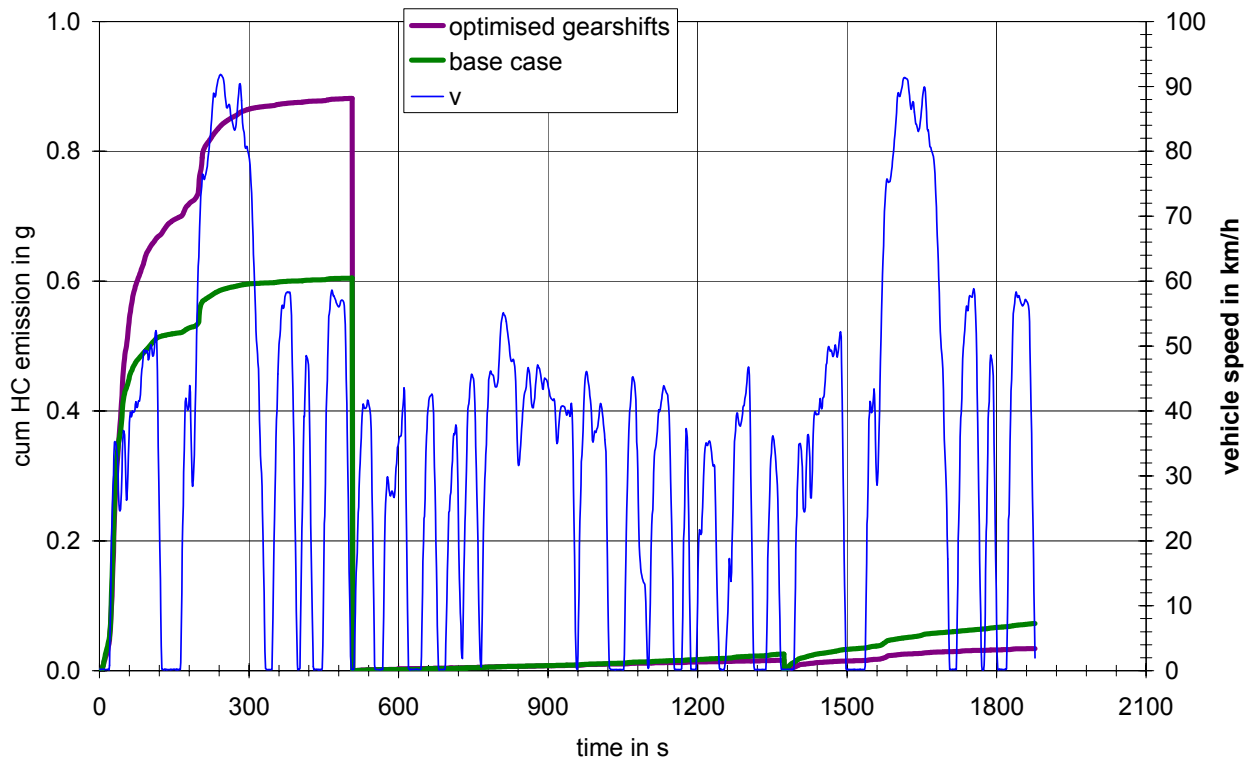


Bild 33: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 3

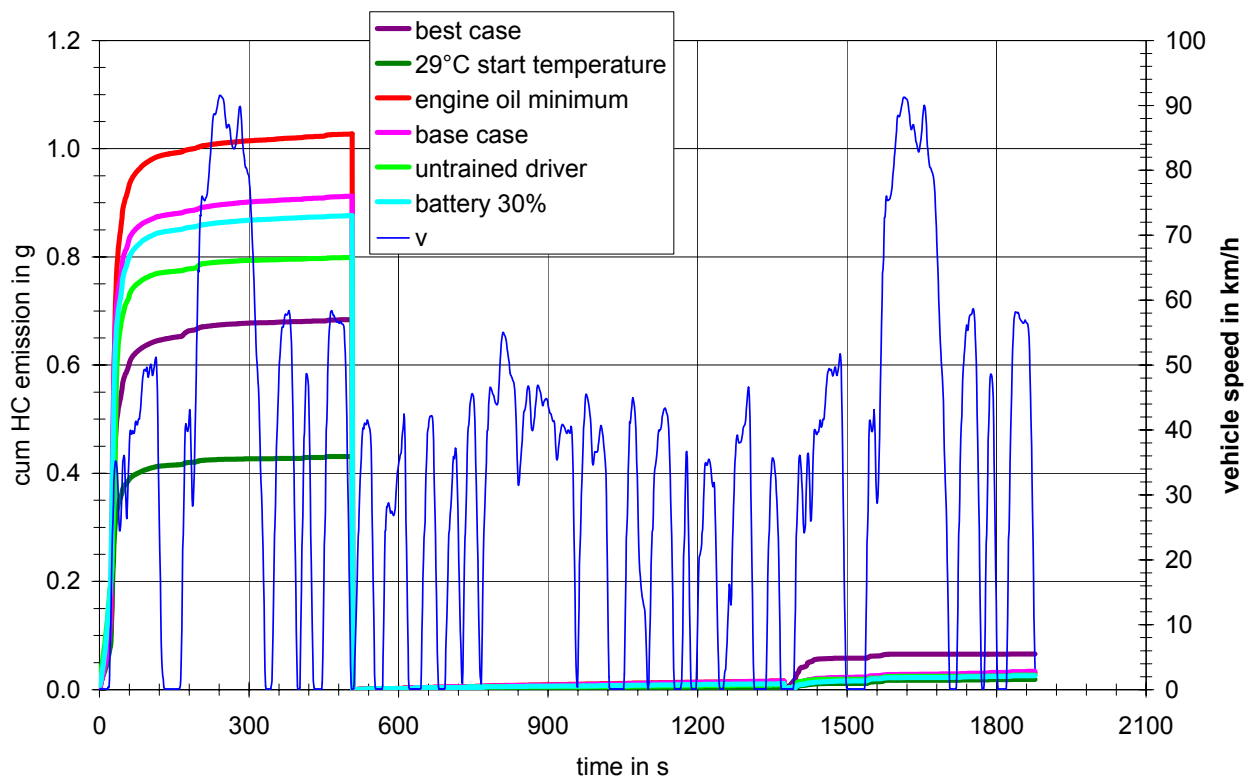


Bild 34: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 4

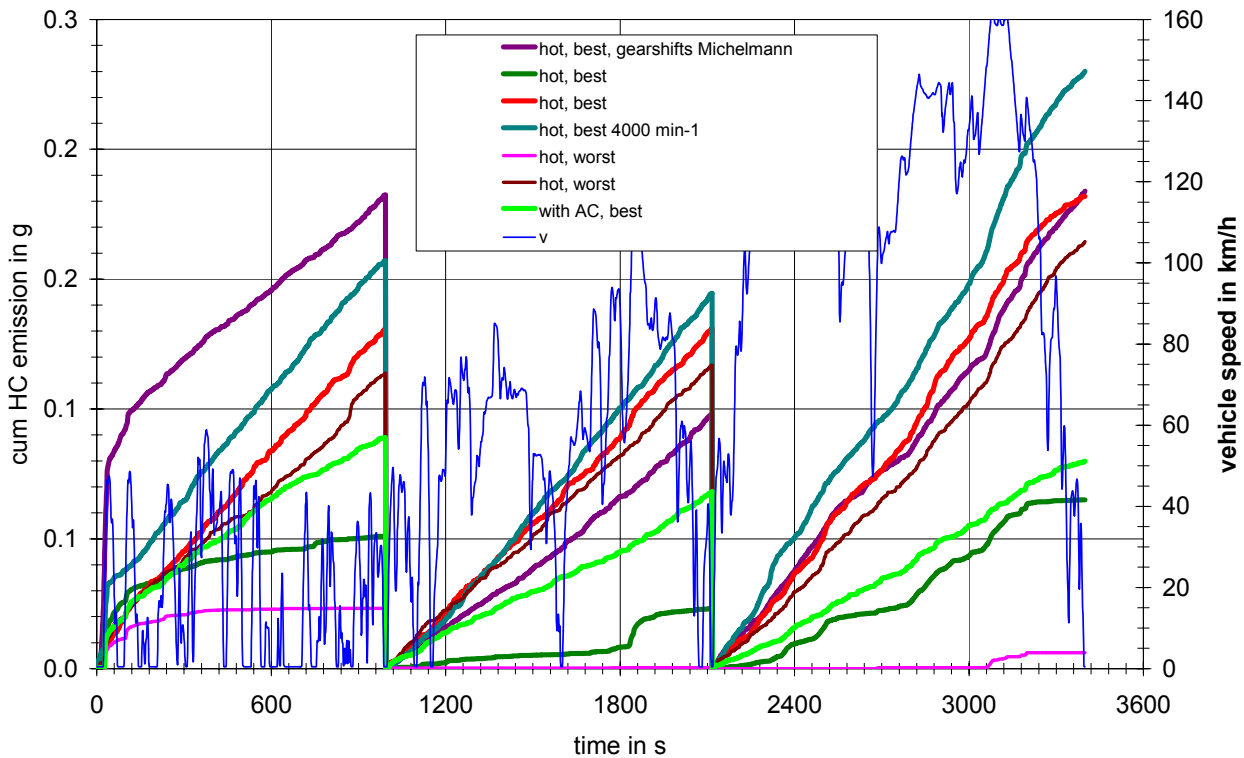


Bild 35: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 1

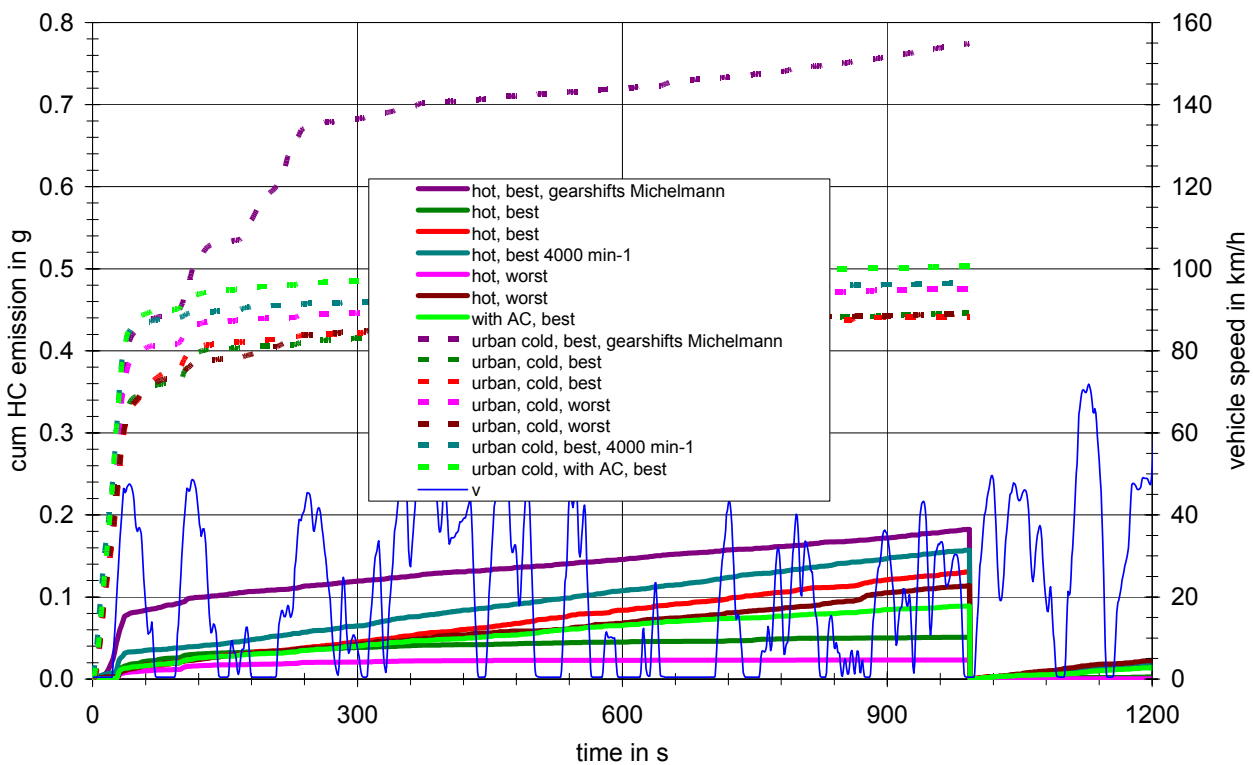


Bild 36: Kumulative HC-Emission beim städtischen Teil des CADC, Fahrzeug 1

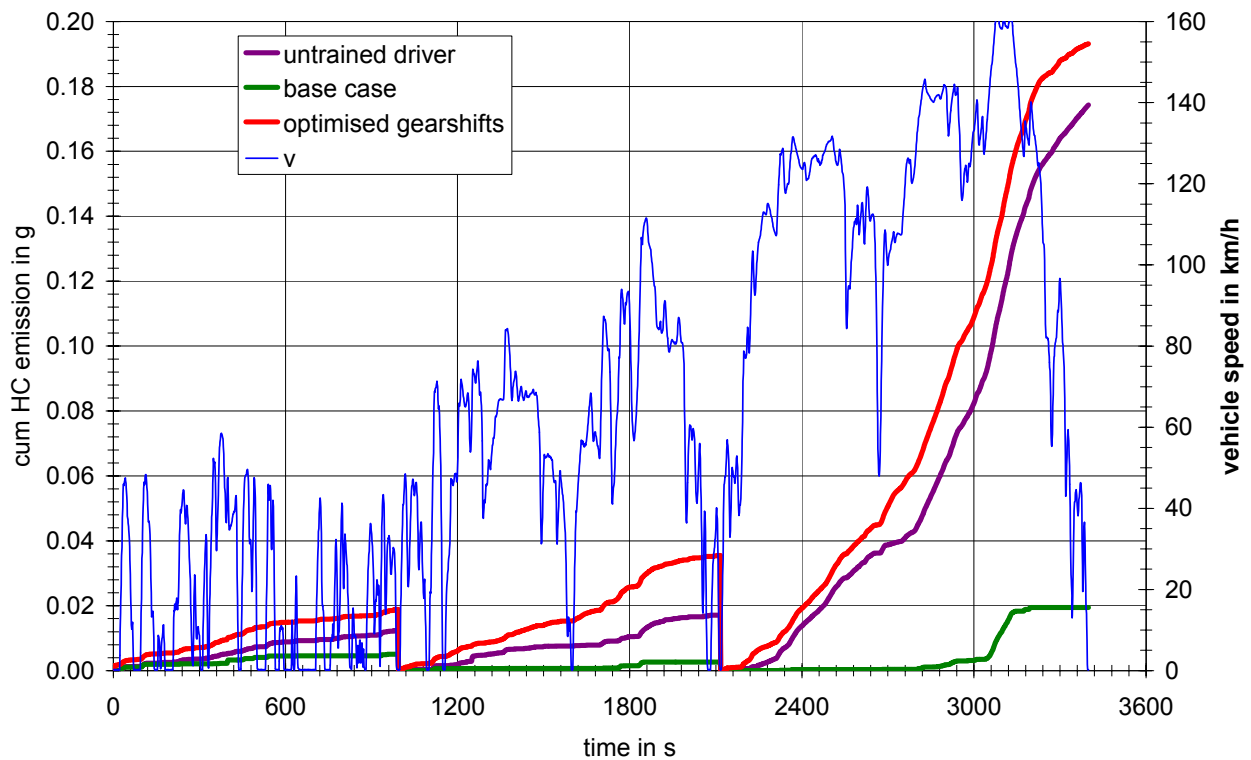


Bild 37: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 2

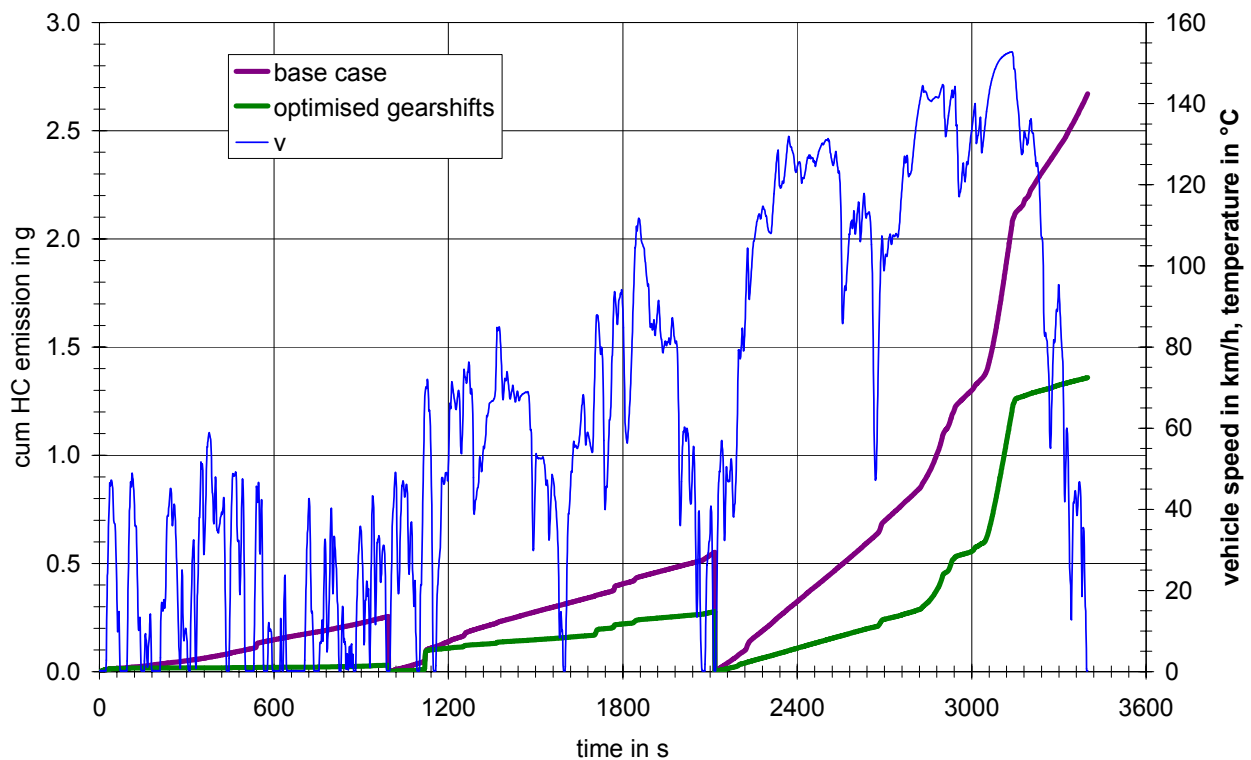


Bild 38: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 3

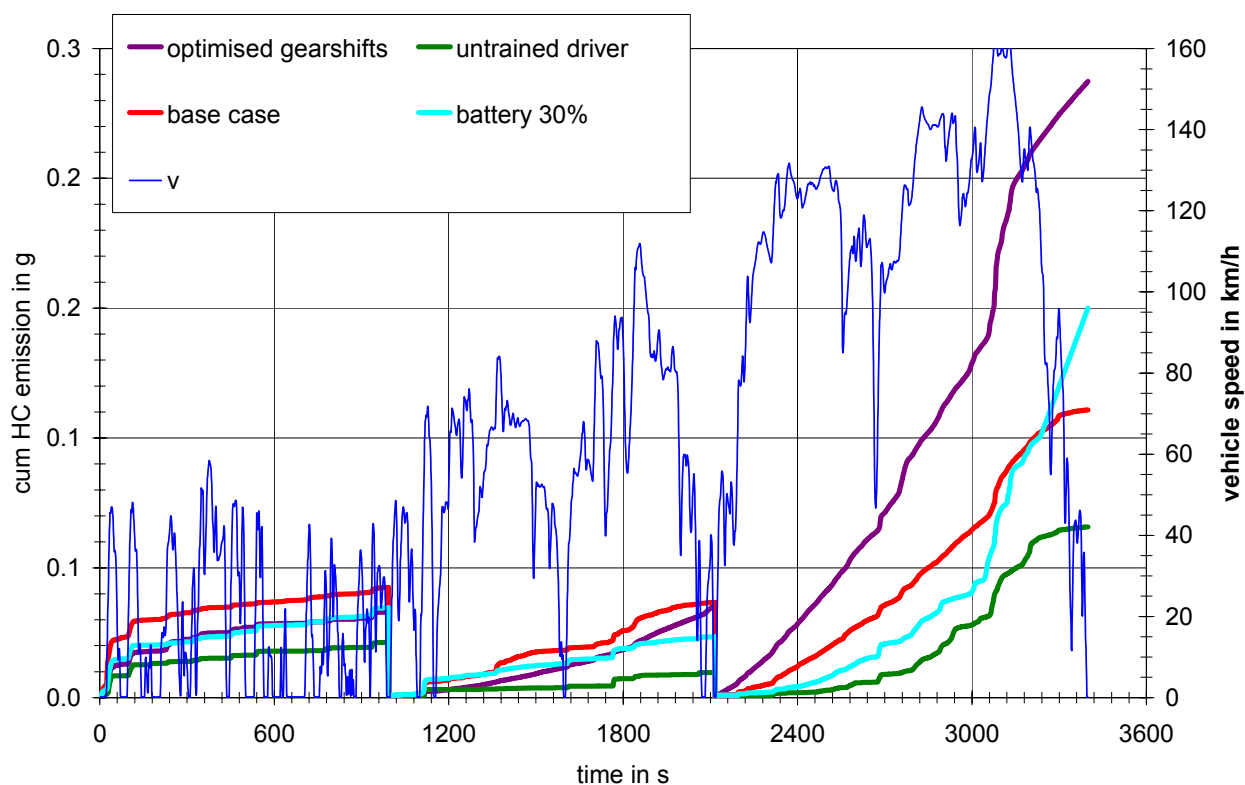


Bild 39: Kumulative HC-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 4

8.4 CO-Emission

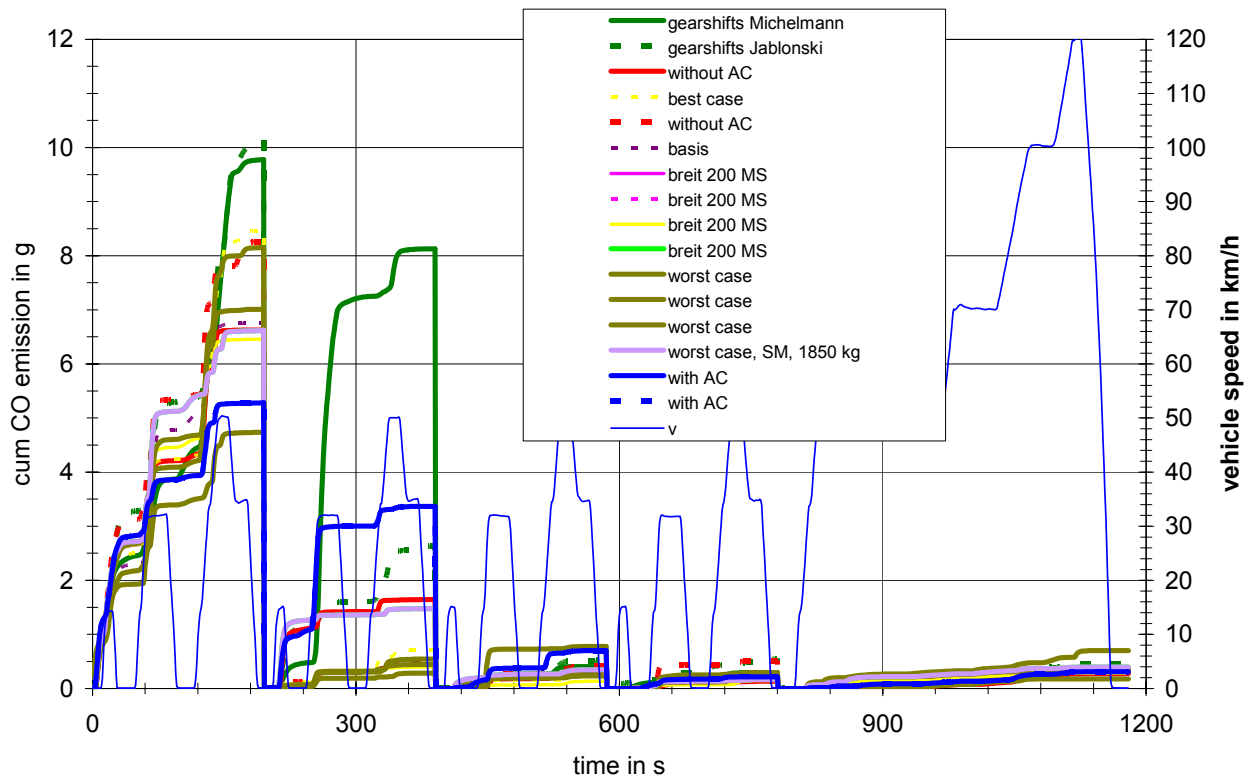


Bild 40: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 1

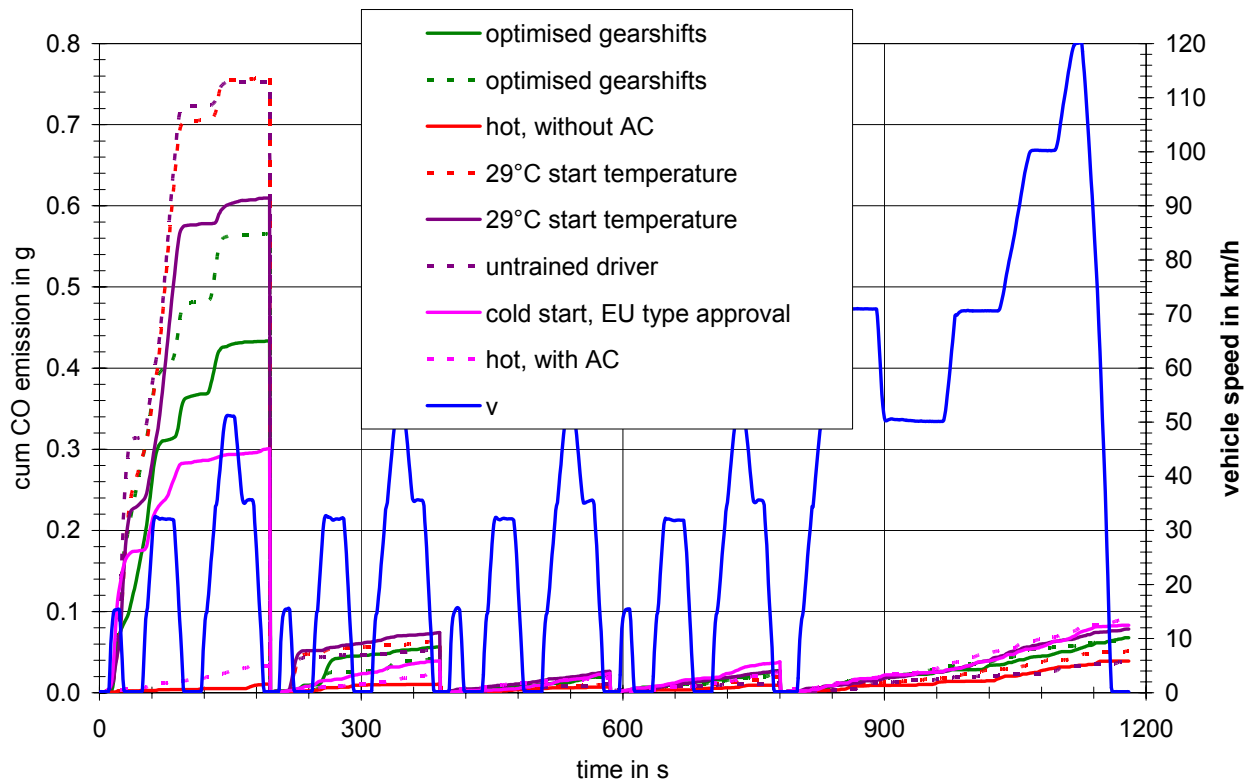


Bild 41: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 2

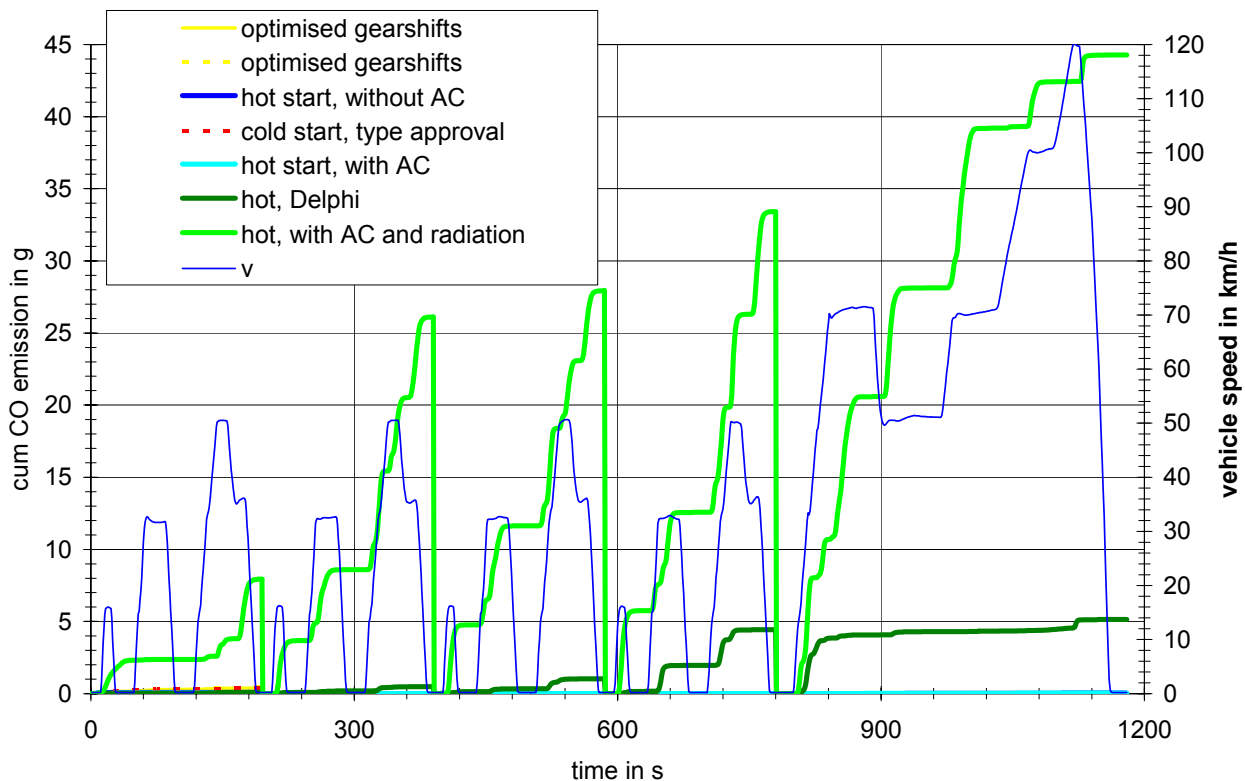


Bild 42: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 3

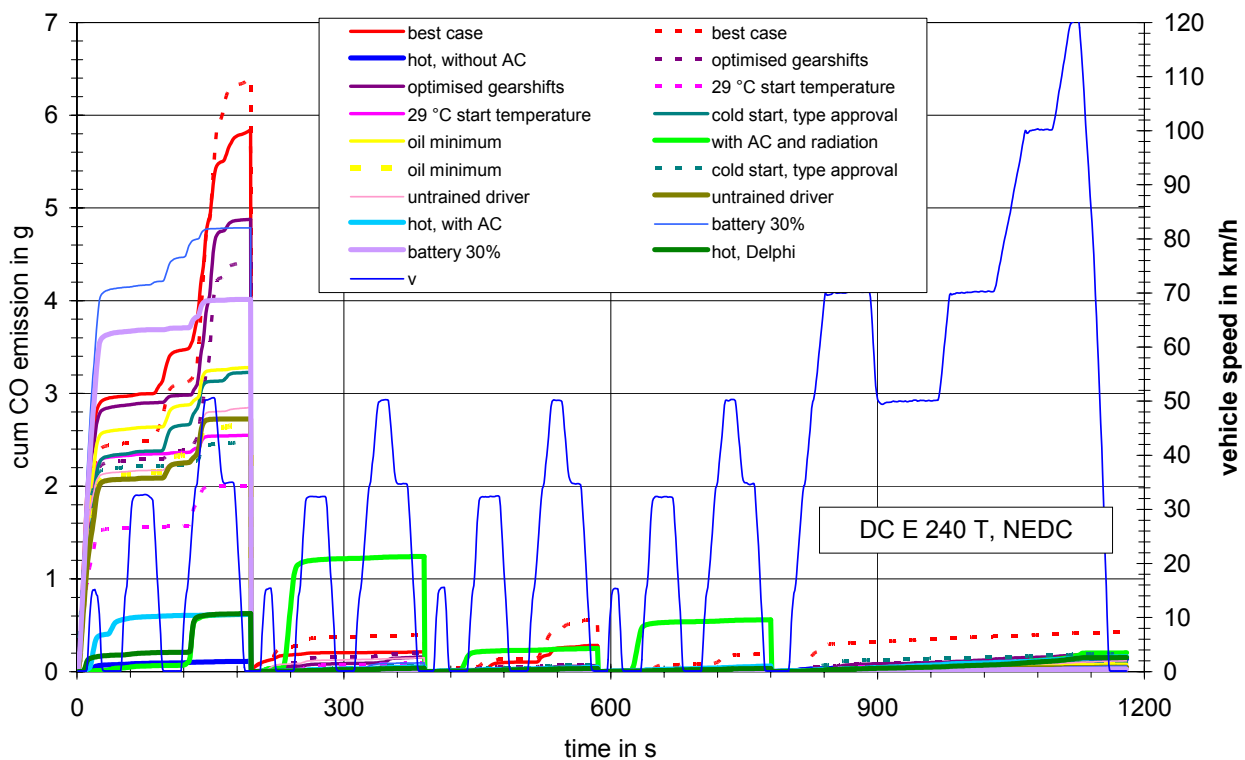


Bild 43: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen NEDC Teilen, Fahrzeug 4

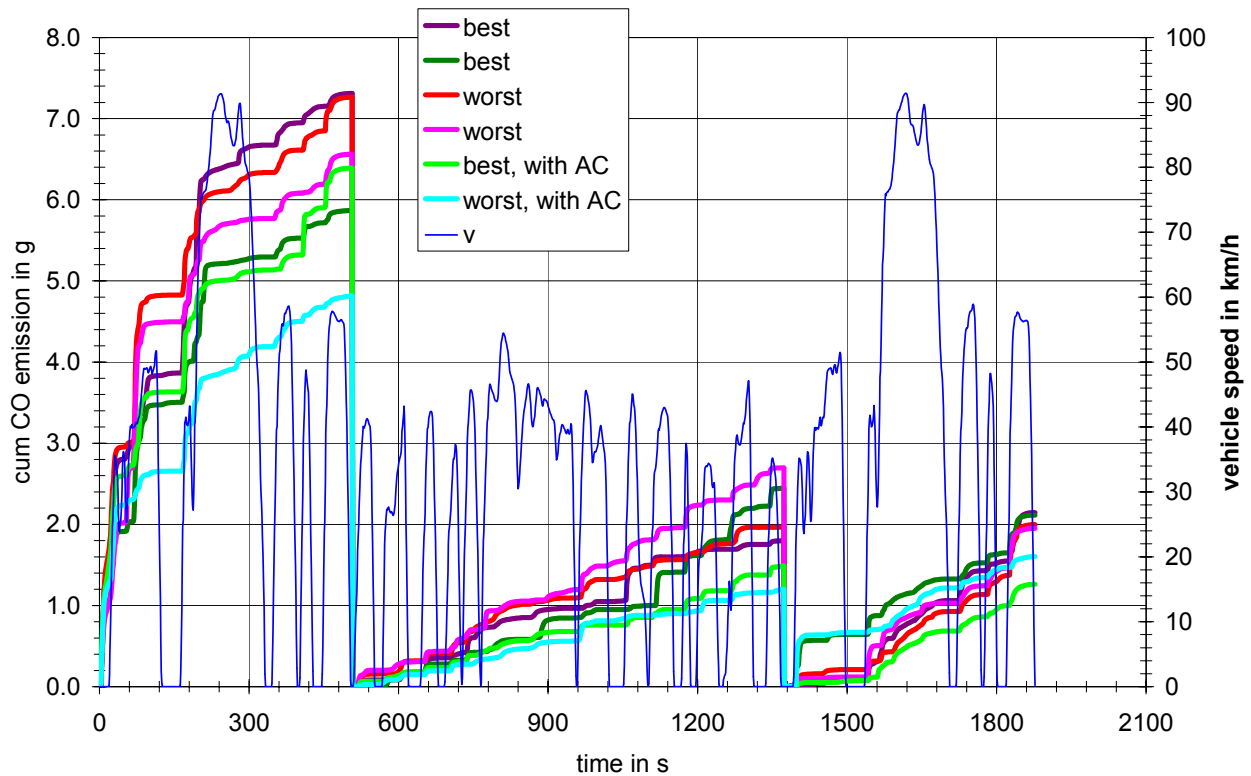


Bild 44: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 1

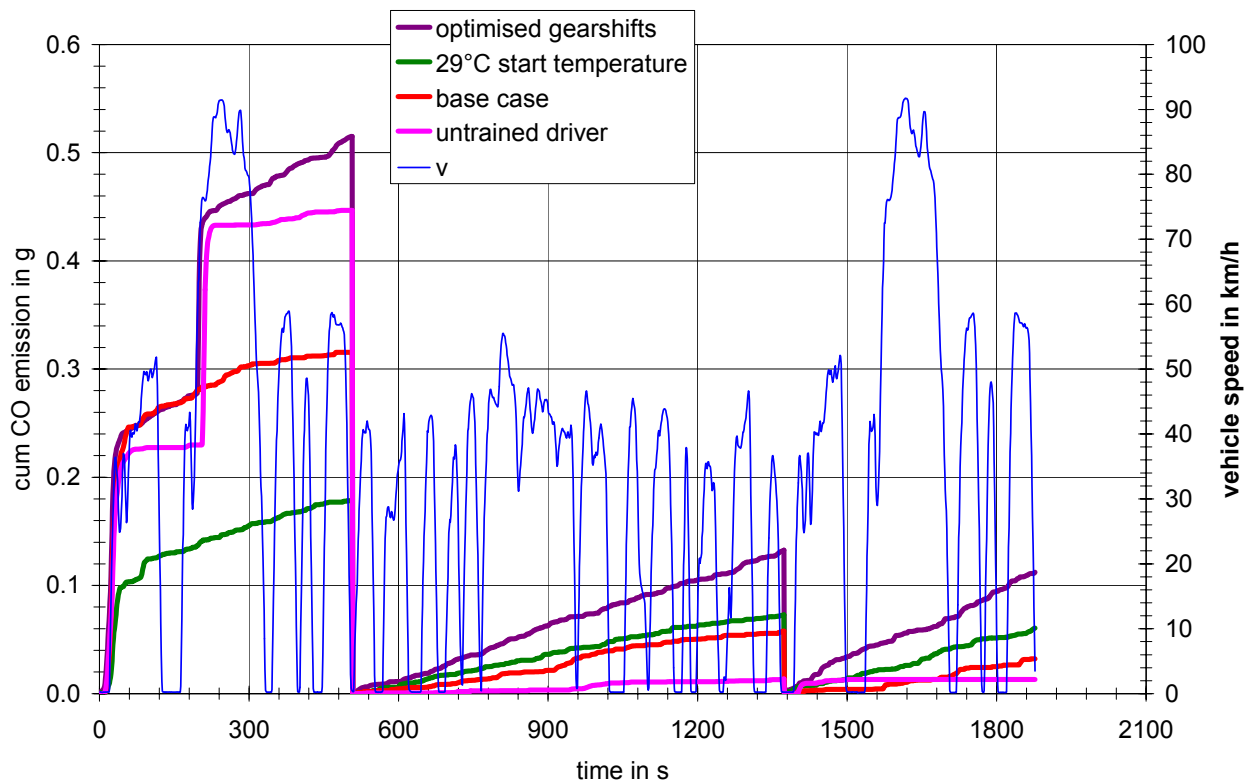


Bild 45: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 2

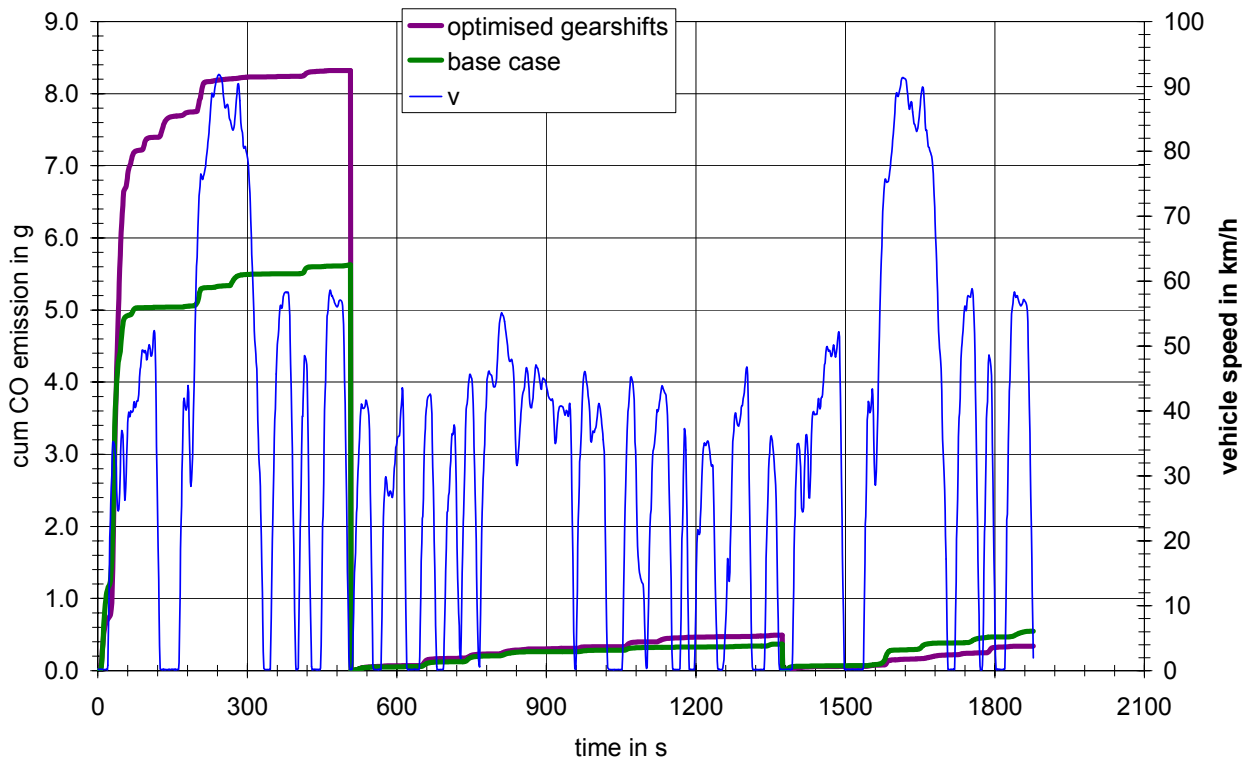


Bild 46: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 3

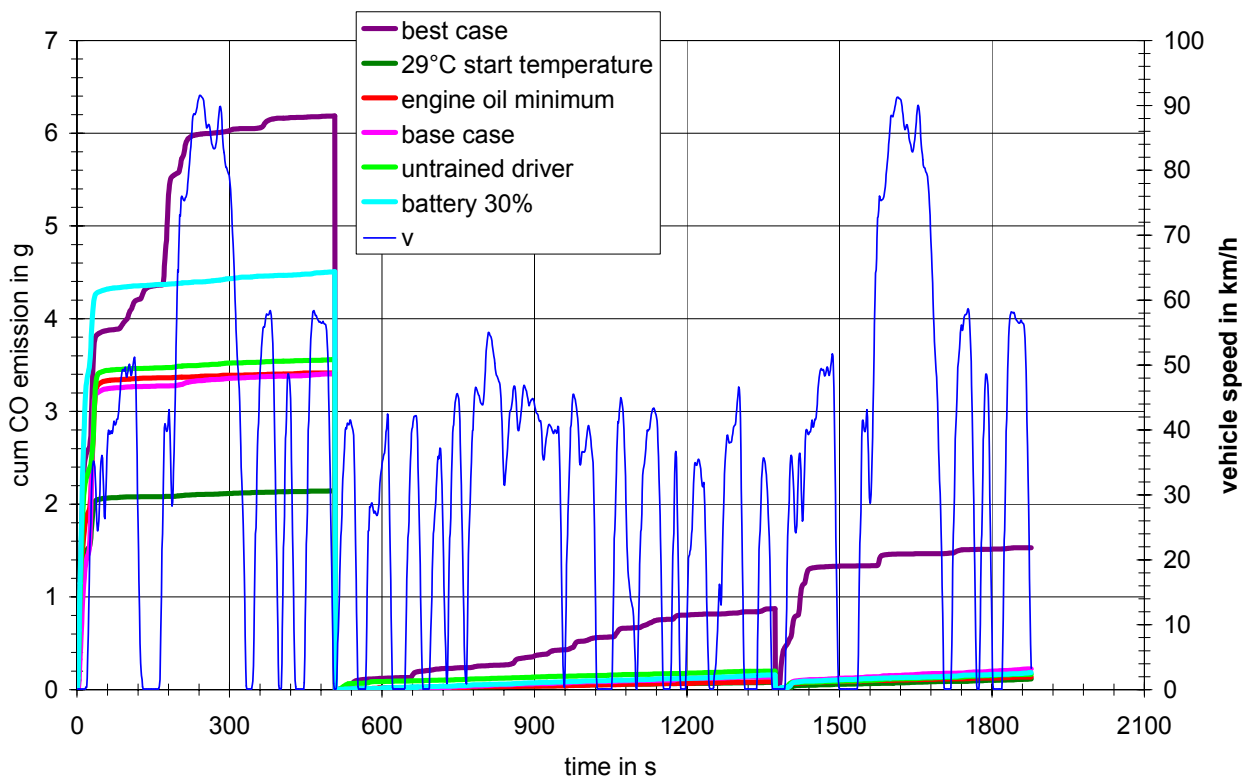


Bild 47: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen US FTP 75 Teilen, Fahrzeug 4

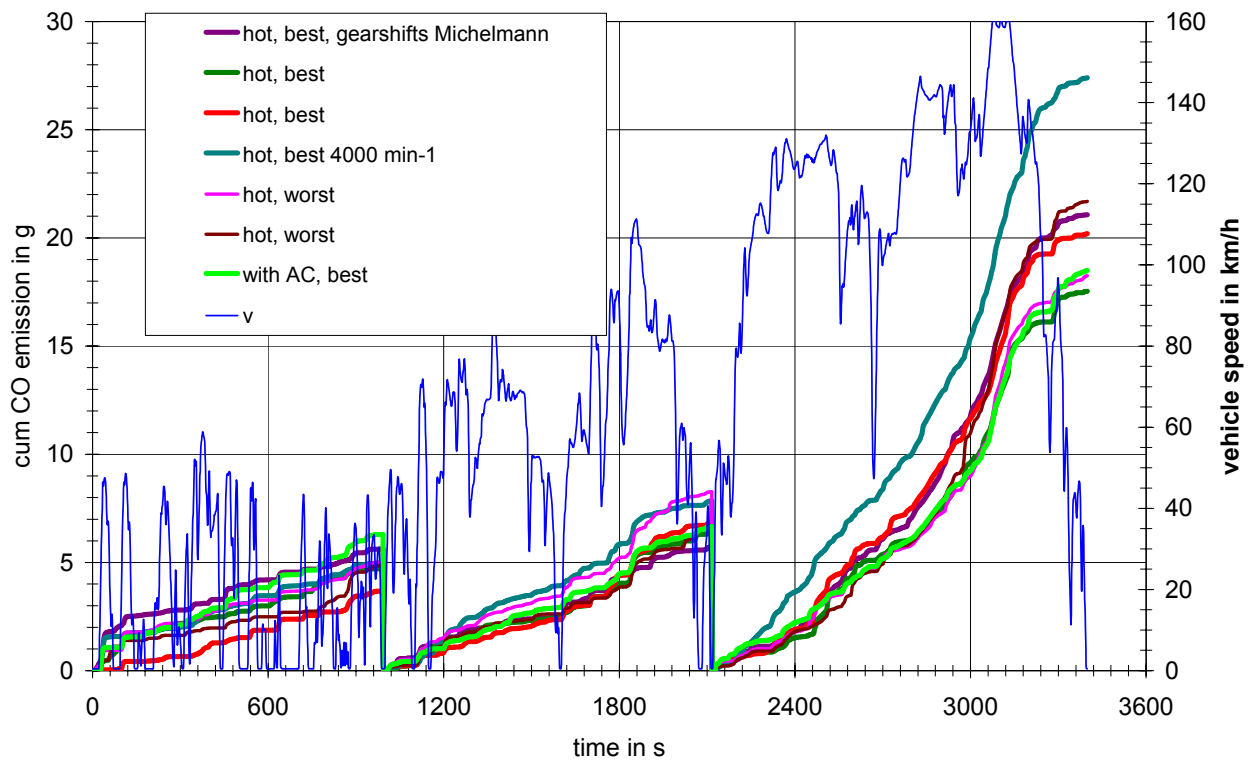


Bild 48: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 1

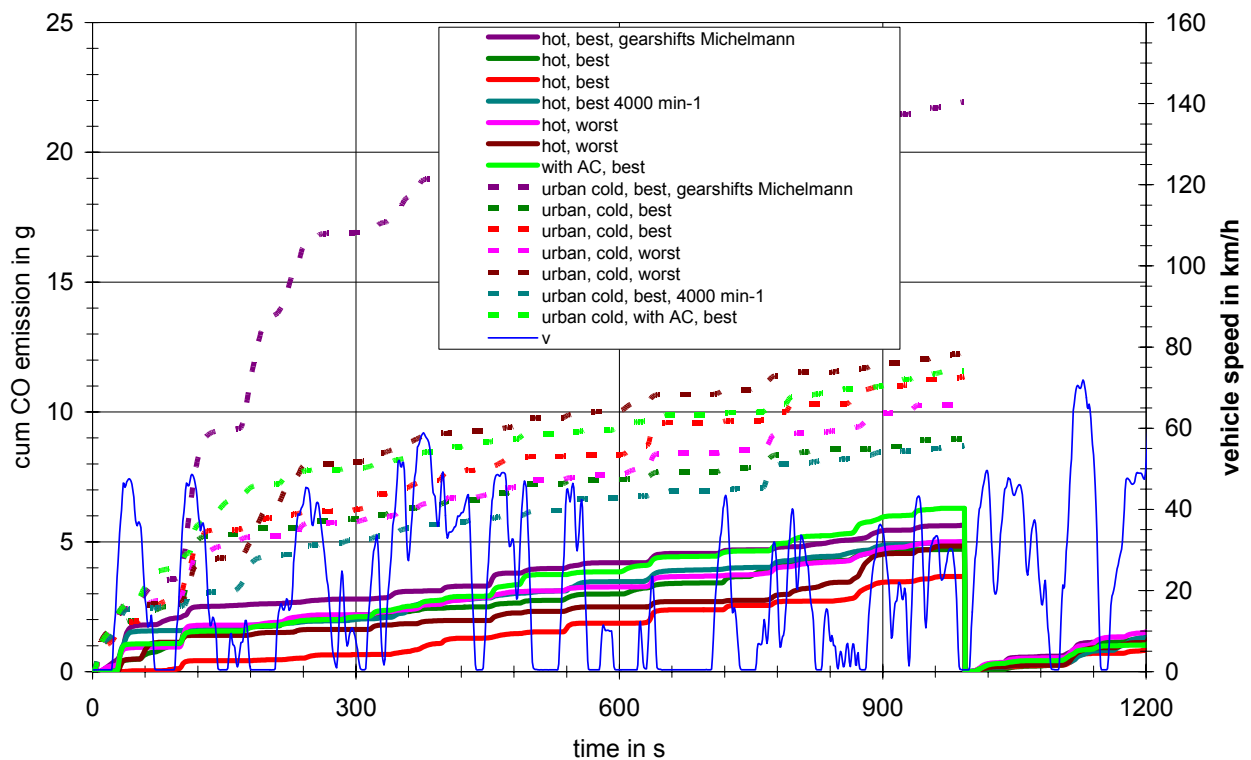


Bild 49: Kumulative CO-Emission beim städtischen Teil des CADC, Fahrzeug 1

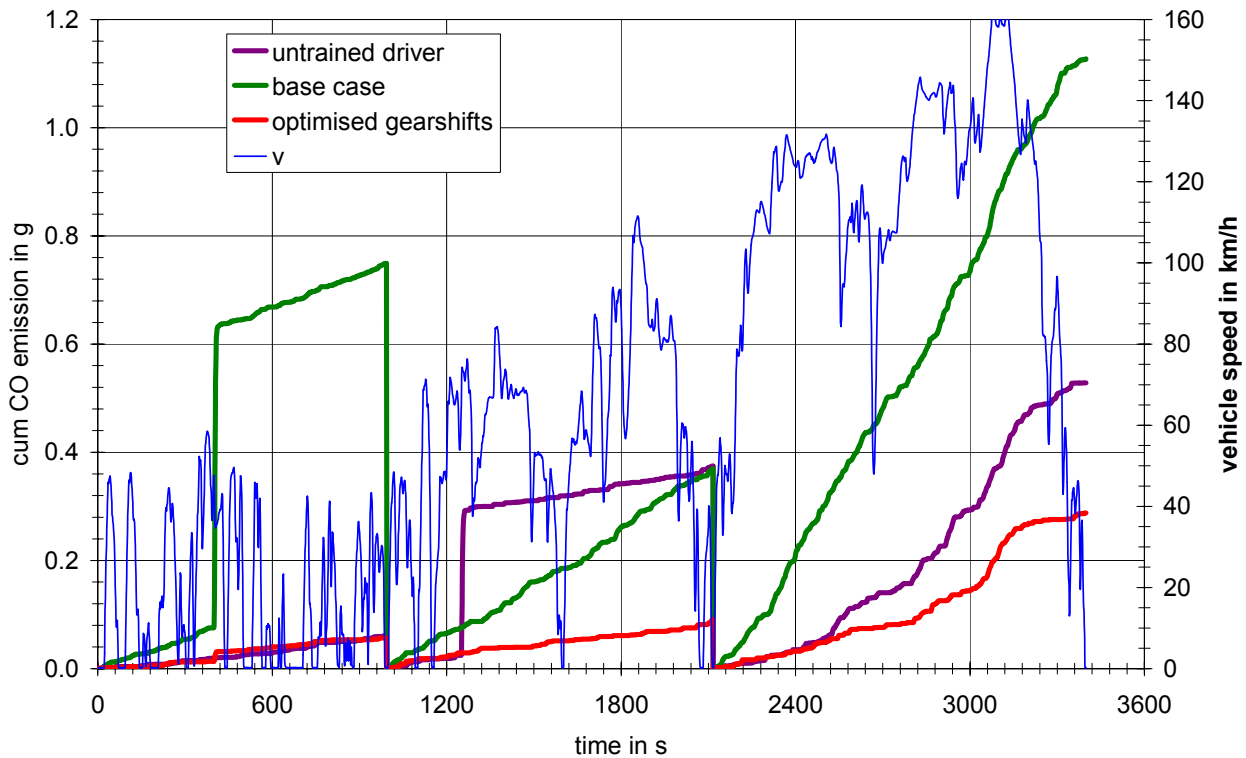


Bild 50: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 2

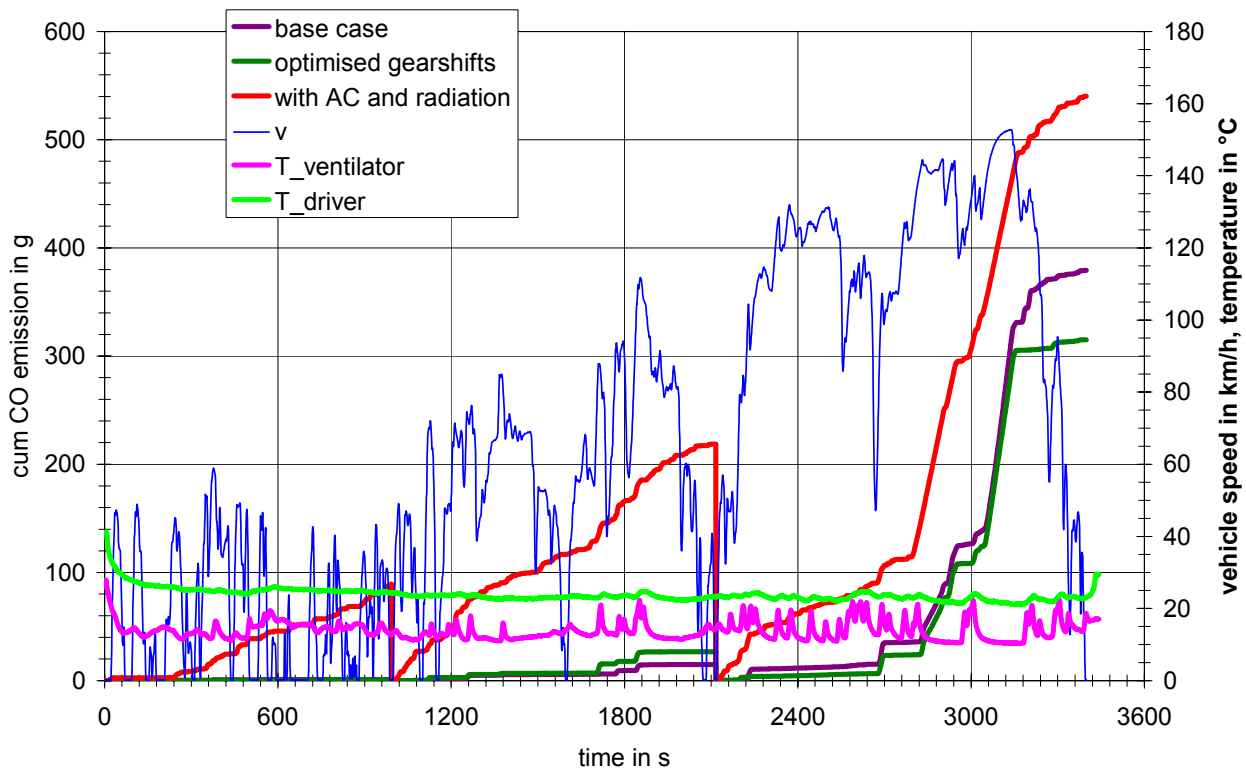


Bild 51: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 3

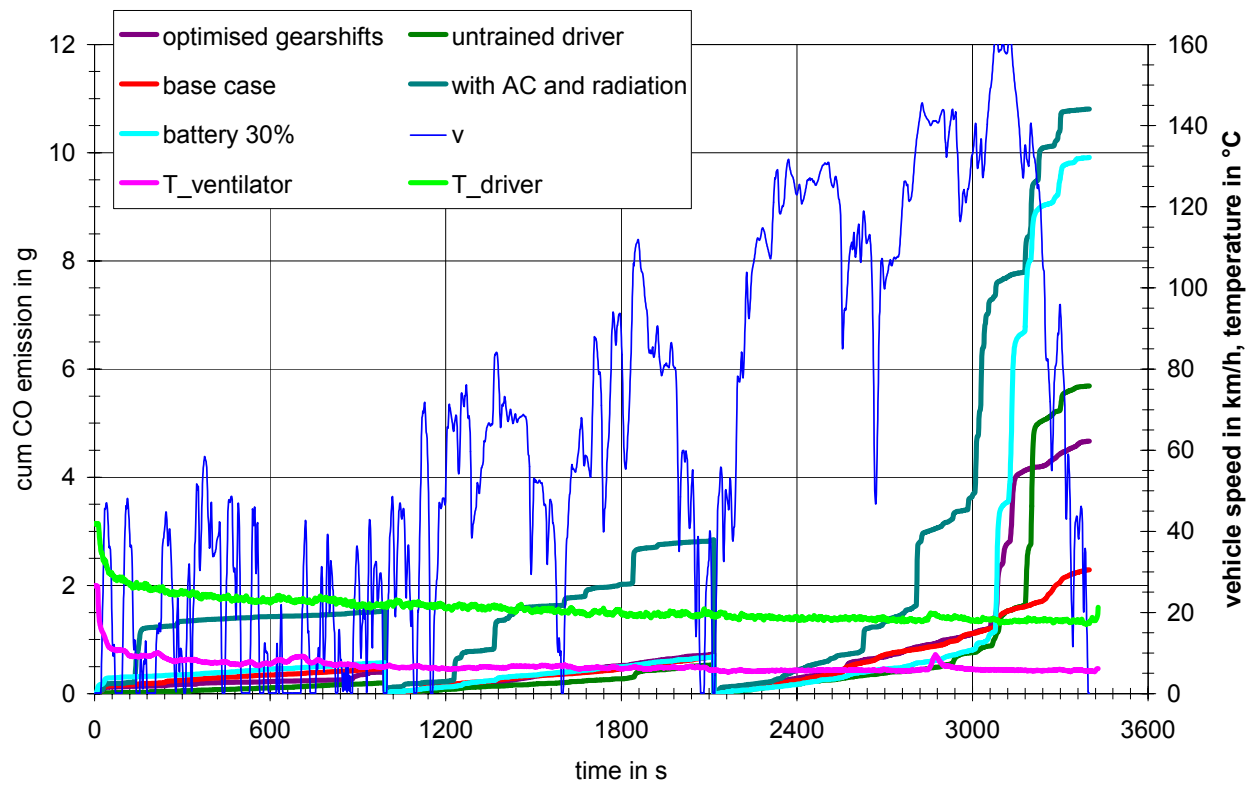


Bild 52: Kumulative CO-Emission bei den verschiedenen Teilen des CADC, Fahrzeug 4

9 Anhang B – Vorschlag für realitätsnahe Schaltvorschriften

Die momentanen Vorgaben zum Gangwechsel sind von der Geschwindigkeit abhängig. Dies stimmt nicht mit dem praktischen Betrieb überein. Bei Pkw, leichten Nutzfahrzeugen und Motorrädern wechselt der Fahrer bei Beschleunigungsphasen den Gang normalerweise bei einer bestimmten Motordrehzahl. Diese Schaltdrehzahl (normiert auf die Spanne zwischen Leerlauf und Nenndrehzahl) ist eine Funktion des Verhältnisses Leistung zu Masse vom Fahrzeug. Auf der Grundlage von Analysen von Fahrverhaltensdaten, die in früheren Projekten ermittelt wurden (siehe [7] und [8]), wurden Kurven der Hochschaltdrehzahlen als Funktion von Leistung zu Masse, wie in Bild 53 gezeigt, abgeleitet.

Bei durchschnittlichem Fahrverhalten und Beschleunigungsphasen soll bei manuellen Getrieben vom 1. In den 2. Gang gewechselt werden, wenn die Motordrehzahl einen Wert nach folgender Formel erreicht:

$$n_{\text{max_acc}}(1) = (1.7444 \times pmr^{-0.3159} - 0.1) \times (s - n_{\text{idle}}) + n_{\text{idle}}$$

Gleichung 5-1

wobei pmr ist die Nennleistung in kW multipliziert mit 1000 und geteilt durch die Fahrzeugmasse in kg

n_{idle} – Leerlaufdrehzahl in min^{-1}

s - Nenndrehzahl in min^{-1} bei maximaler Leistung

Hochschalten bei größeren Gängen und durchschnittlichem Fahrverhalten soll bei Beschleunigungsphasen vorgenommen werden wenn die Motordrehzahl einen Wert nach folgender Formel erreicht:

$$n_{\text{max_acc}}(i) = (1.7444 \times pmr^{-0.3159}) \times (s - n_{\text{idle}}) + n_{\text{idle}}$$

Gleichung 5-2

wobei pmr ist die Nennleistung in kW multipliziert mit 1000 und geteilt durch die Fahrzeugmasse in kg

n_{idle} – Leerlaufdrehzahl in min^{-1}

s - Nenndrehzahl in min^{-1} bei maximaler Leistung

i ist die Gangzahl (≥ 2)

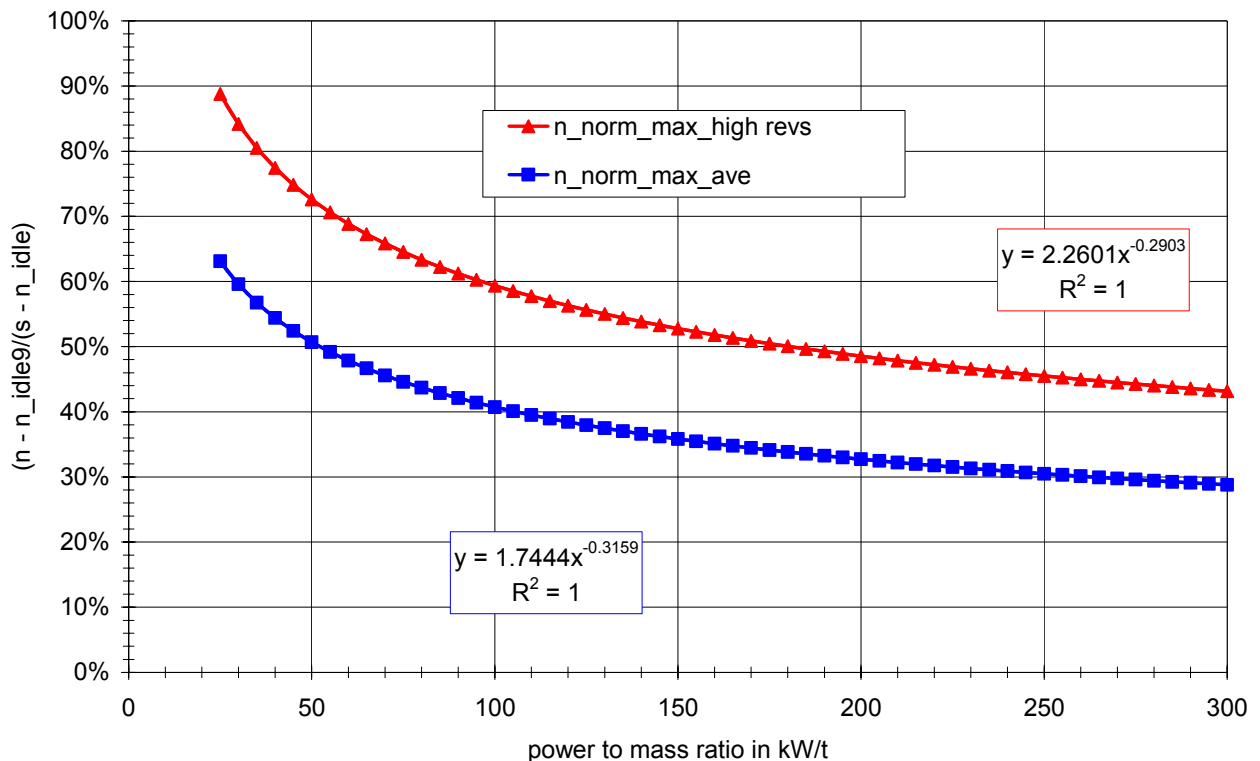


Bild 53: Normierte Hochschaltdrehzahlen für Pkw (und leichte Nutzfahrzeuge) in Gängen über dem ersten Gang für durchschnittliches und hochtouriges Fahrverhalten

Die niedrigsten Motordrehzahlen für Beschleunigungsphasen in Gang 2 oder größeren Gängen werden durch folgende Formel bestimmt:

$$n_{\min_acc}(i) = n_{\max_acc}(i-1) \times \frac{r(i)}{r(i-1)}$$

Gleichung 5-3

wobei $r(i)$ – Übersetzungsverhältnis von Gang i

Die niedrigsten Motordrehzahlen für Verzögerungsphasen oder Konstantfahrphasen in Gang 2 oder höheren Gängen werden durch die folgende Formel bestimmt:

$$n_{\min_dec}(i) = n_{\min_acc}(i-1) \times \frac{r(i)}{r(i-1)}$$

Gleichung 5-4

wobei $r(i)$ – Übersetzungsverhältnis von Gang i

Wenn diese Werte bei Verzögerungsphasen erreicht werden, muss das manuelle Getriebe in den nächst niedrigeren Gang geschaltet werden.

Bild 54 zeigt ein Beispiel für ein Gangwechselkonzept. Die roten Linien zeigen den Ganggebrauch bei Beschleunigungsphasen; die blauen Linien zeigen die Punkte des Herunterschaltens bei Verzögerungsphasen. Bei Phasen mit ruhiger Fahrt kann der gesamte Drehzahlbereich zwischen der Herunterschaltendrehzahl und der Hochschaltdrehzahl benutzt werden.

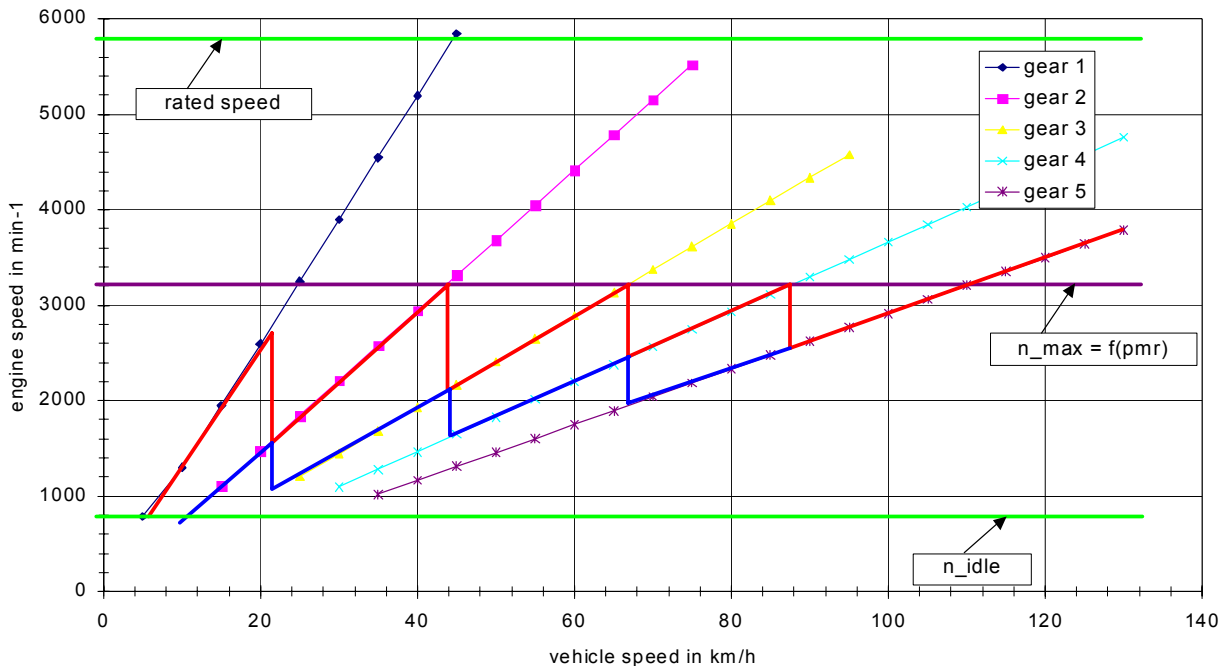


Bild 54: Beispiel für ein Gangwechselschema eines Kleinwagens. Hochschalten und Ganggebrauch während Beschleunigungsphasen sind rot, Herunterschalten und der zusätzliche Ganggebrauch bei konstanter Fahrt oder Verzögerungsphasen sind blau dargestellt.

Zusätzliche Anforderungen

Um Probleme der Fahrbarkeit zu vermeiden, werden diese Vorschriften durch die folgenden **zusätzlichen Anforderungen** ergänzt:

- ☐ Kein Gangwechsel wenn eine Verzögerungsphase unmittelbar nach einer Beschleunigungsphase folgt.
- ☐ Bei Verzögerung bis zum Stillstand kein Herunterschalten in den 1. Gang.
- ☐ Der 1. Gang sollte nur zum Anfahren aus dem Stand benutzt werden.
- ☐ Bei Verzögerung bis zum Stillstand wird ausgekuppelt (Motor läuft mit Leerlaufdrehzahl), wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit unter 10 km/h sinkt oder wenn die Motor-drehzahl unter $n_{idle} + 0.03 \times (s - n_{idle})$ fällt.
- ☐ Die minimale Zeitspanne für eine Gangsequenz beträgt 2 Sekunden.

Berechnung der Gangwahl:

In Anlehnung an die vorangegangenen Vorschriften wird die Berechnung der Gangwahl in 3 Schritten durchgeführt:

Schritt 1: Berechnung der Schaltgeschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten für das Hoch- und Herunterschalten werden für alle Gänge nach den folgenden Formeln berechnet:

Geschwindigkeiten in km/h für das Hochschalten bei Beschleunigungsphasen:

$$v_{1 \rightarrow 2} = (n_{\text{max_acc}}(1) \times (s - n_{\text{idle}}) + n_{\text{idle}}) \times \frac{1}{ndv_1}$$

Gleichung 5-5

$$v_{i \rightarrow i+1} = (n_{\text{max_acc}}(i) \times (s - n_{\text{idle}}) + n_{\text{idle}}) \times \frac{1}{ndv_i}, i = 2 \text{ to } ng-1$$

Gleichung 5-6

Wobei i ist die Gangzahl (≥ 2)
 ng ist die Anzahl der Vorwärtsgänge
 n_{idle} ist die Leerlaufdrehzahl in min^{-1}
 s ist die Nenndrehzahl in min^{-1}
 ndv_i ist das Verhältnis zwischen Motordrehzahl in min^{-1} und Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h in Gang i

Geschwindigkeiten in km/h für das Herunterschalten bei Konstantfahrt oder Verzögerungsphasen in die Gänge 3 (3. Gang) bis ng werden mit folgender Gleichung berechnet:

$$v_{i \rightarrow i-1} = (n_{\text{max_acc}}(i) \times (s - n_{\text{idle}}) + n_{\text{idle}}) \times \frac{1}{ndv_{i-2}}, i = 3 \text{ to } ng$$

Gleichung 5-7

Wobei i ist die Gangzahl (≥ 2)
 ng ist die Anzahl der Vorwärtsgänge
 n_{idle} ist die Leerlaufdrehzahl in min^{-1}
 s ist die Nenndrehzahl in min^{-1}
 ndv_{i-2} ist das Verhältnis zwischen Motordrehzahl in min^{-1} und Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h in Gang $i-2$

Schritt 2 – Gangwahl für jeden Abschnitt des Zyklus

Motordrehzahl = Leerlaufdrehzahl

Die Motordrehzahl wird auf Leerlaufdrehzahl und der Gang auf 0 gestellt, wenn die folgenden Bedingungen zutreffen:

- Bei Stillstandphasen
- Bei Konstantfahrt oder Verzögerungsphasen im zweiten Gang, wenn
 - die Fahrzeuggeschwindigkeit unter 10 km/h sinkt oder
 - die Motordrehzahl unter $n_{idle} + 0.03 \times (s - n_{idle})$ fällt

Gangwahl für Beschleunigungsphasen

Gang = 6, wenn $v > v_{5 \rightarrow 6}$

Gang = 5, wenn $v > v_{4 \rightarrow 5}$

Gang = 4, wenn $v > v_{3 \rightarrow 4}$

Gang = 3, wenn $v > v_{2 \rightarrow 3}$

Gang = 2, wenn $v > v_{1 \rightarrow 2}$

Gang = 1, wenn $v \leq v_{1 \rightarrow 2}$

Gangwahl für Verzögerungs- oder Konstantfahrtphasen

Gang = 6, wenn $v > v_{4 \rightarrow 5}$

Gang = 5, wenn $v > v_{3 \rightarrow 4}$

Gang = 4, wenn $v > v_{2 \rightarrow 3}$

Gang = 3, wenn $v > v_{1 \rightarrow 2}$

Gang = 2, wenn $v \leq v_{1 \rightarrow 2}$

Schritt 3 – Korrekturen infolge zusätzlicher Forderungen

Die Gangwahl wird nach folgenden Forderungen geändert:

1. Kein 1. Gang bei Verzögerungsphasen.
2. Kein Gangwechsel bei einem Übergang von einer Beschleunigungsphase in eine Verzögerungsphase: halte den Gang der in der letzten Sekunde der Beschleunigungsphase benutzt wurde auch für die folgende Verzögerungsphase bis die Geschwindigkeit unter eine Herunterschaltgeschwindigkeit fällt.
3. Kein Hochschalten während Verzögerungsphasen.
4. Kein Gangwechsel bei Konstantfahrtphasen.
5. Wenn auf eine Beschleunigungsphase eine Verzögerungsphase folgt und der Gang ist der erste Gang, halte den ersten Gang.
6. Wenn ein Gang lediglich eine Sekunde benutzt worden ist, soll dieser Gang im Fall einer Beschleunigungs- oder Konstantfahrtphase auch der nachfolgenden Sekunde zugewiesen werden, im Fall einer Verzögerungsphase der vorangegangenen Sekunde. Da es passieren könnte, dass die Änderungen hinsichtlich dieses Kriteriums neue Phasen erzeugt wo ein Gang lediglich für eine Sekunde benutzt wird, muss dieser Änderungsschritt mehrmals angewendet werden.

Eine entsprechende Gangwechsellvorschrift ist für die ECE weltweite technische Verordnung für Abgas Emissionsmessungen an Motorrädern (WMTC) im Gebrauch und rechtswirksam.

Die Berechnung des Ganggebrauchs für hochtouriges Fahrverhalten erfolgt entsprechend, nur dass die Koeffizienten der Approximationsfunktion aus Bild 53 für dieses Fahrverhalten benutzt werden.