

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

Kurzfassung

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

Inhalt	Seite
1 AUFGABEN UND MESSPROGRAMM	3
2 ERGEBNISSE DER PRÜFSTANDSMESSUNGEN	4
2.1 Beutelergebnisse	4
2.2 Analyse von Modaldaten	5
2.2.1 Allgemein	5
2.2.2 Kaltstarteinfluss	5
2.2.3 Einfluss von Klimaanlage	5
3 UMFRAGE ÜBER DEN GEBRAUCH VON KLIMAAANLAGEN IN KRAFTWAGEN	6
4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN ZUR MODELLIERUNG DER EMISSIONEN	7
5 VORSCHLÄGE FÜR EINE ÄNDERUNG DER EU RICHTLINIE 93/116/EC	8
5.1 Messungen des günstigsten und ungünstigsten Falls	8
5.2 Klimaanlage	9
5.3 Fazit	9
5.4 Realistischerer Prüfzyklus	9
6 LITERATUR	10
7 ANHANG A – VORSCHLAG FÜR REALITÄTSNAHE SCHALTVORSCHRIFTEN	11

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 auf normalen Prüfständen gemessen werden. Die Auswirkung einer Klimaanlage erfordert dagegen einen besonderen Prüfstand mit einer Sonneneinstrahlungseinrichtung, wenn man den ungünstigsten 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 (Nr. 3 und 4) 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 angesprochenen Varianten wurden nicht für jedes Fahrzeug und jeden Zyklus vollständig angewendet.

2 Ergebnisse der Prüfstandsmessungen

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 drehzahloptimierten 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 Zyklusteilen 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 Gangwechsellvorschriften 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 günstigster 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 be-

trug 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.

2.2 Analyse von Modaldaten

2.2.1 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 (Urban Driving Cycle = Stadtfahrzyklus) gegen Null tendiert.

Die Analyse der Modaldaten konzentrierte sich auf zwei Hauptfragen:

- Kaltstarteinfluss
- Einfluss von Klimaanlage

2.2.2 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.

2.2.3 Einfluss von Klimaanlage

Der bedeutsame Einfluss von Klimaanlage ist bereits in Kapitel 2.1 angesprochen 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. "Mit Klimaanlage" bedeutet Prüfungen auf dem TÜV Nord Prüfstand bei einer Raumtemperatur von 23 °C, "mit Klimaanlage und Sonneneinstrahlung" 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. Zudem ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrzeugen und Zyklen auf dem Prüfstand des TÜV Nord bei einer Raumtemperatur von 23 °C bzw. 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 ein ungeheurer Anstieg aller Schadstoffemissionen die Folge war. Es sollte einmal überprüft werden, ob dieses Verhalten typisch für kleine Autos mit manuellen Anlagen ist, oder ob dieses Fahrzeug lediglich 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 von 35 °C kann der Zuwachs der NO_x-Emissionen bis zu 280% betragen.

3 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 Abstimmung 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 an die Kunden zum Gebrauch der Klimaanlage.

Insgesamt wurden 388 Fragebogen ausgefüllt und ausgewertet. Wegen der Anzahl, und weil 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 Verhalten der Nutzer, 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 unterschiedlichen 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%).

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Modellierung der Emissionen

Die Ergebnisse dieser Studie ergaben, dass es bezüglich der Fahrzeugvarianten und Gangwechselföglichkeiten 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. 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 Typgenehmigung.

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 Klimaanlage 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 Fahrgeraum 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.

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

5.1 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 gebraucht 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 in beiden Fällen die Toleranzen von Einflussparametern vermindert werden.

Im Einzelnen werden folgende Anforderungen vorgeschlagen:

- Die Prüfstandseinstellungen sollen auf der Grundlage von Ausrollversuchen auf der Straße 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 Aggregate wie Lenkkraftunterstützung, Kompressor für die Luffederung, 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 „hochtourig“. Konsequenterweise sollen für das günstigste Fahrzeug die Vorschriften für durchschnittliche Fahrweise und für das ungünstigste Fahrzeug die Vorschriften für hochtourige 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.

5.2 Klimaanlage

Klimaanlagen sollen durch eine weitere 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:

- o Warmstart
- o 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
- o Lufttemperatur 35 °C
- o Relative Luftfeuchte zwischen 40% und 50%
- o Sonneneinstrahlung von 850 W/m², auf die Frontscheibe des Fahrzeugs gerichtet
- o Kühlluftstrom fürs Fahrzeug proportional zur Fahrgeschwindigkeit
- o 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.

5.3 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.

5.4 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.

6 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, 2005
- [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

7 Anhang A – 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 1 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)

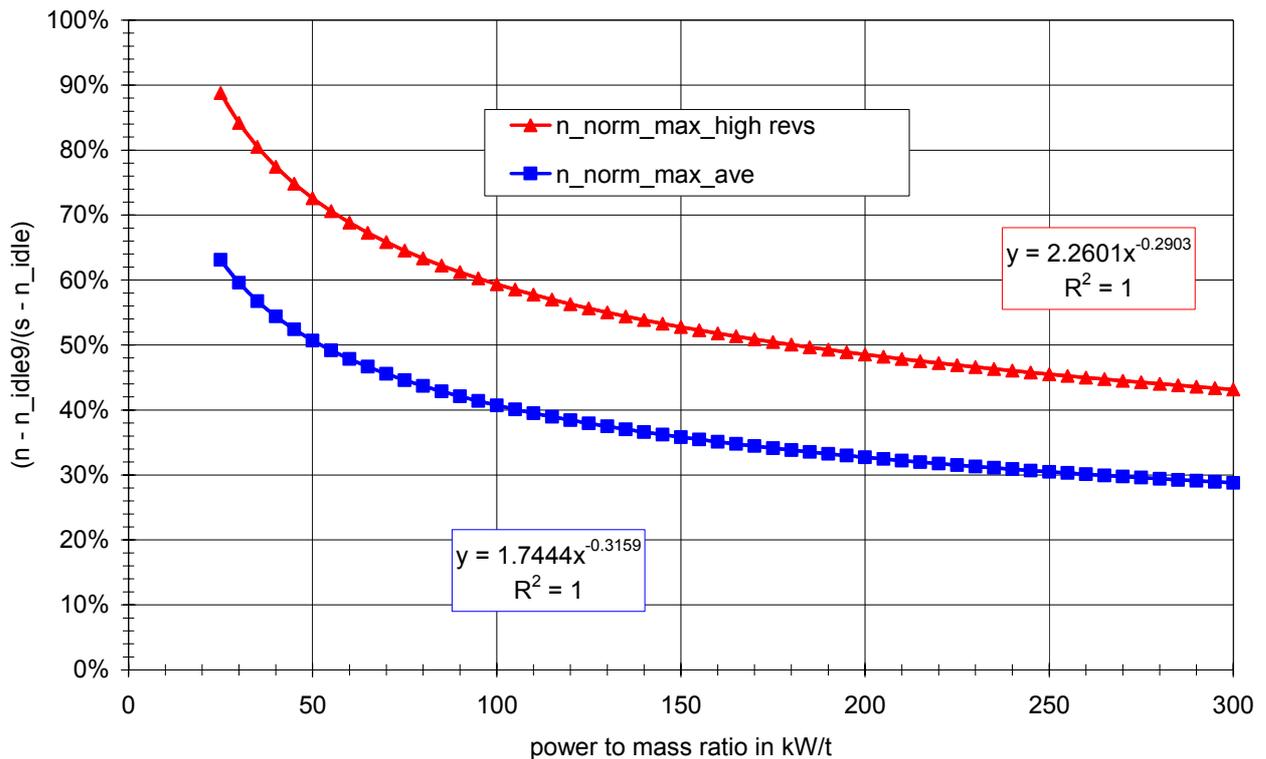


Bild 1: Normierte Hochschaltdrehzahlen für Pkw (und leichte Nutzfahrzeuge) in Gängen über dem ersten Gang für durchschnittliches und hochtouriges Fahrverhalten

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 2 zeigt ein Beispiel für ein Gangwechselkonzept. Die roten Linien zeigen den Ganggebrauch bei Beschleunigungsphasen; die blauen Linien zeigen die Punkte des Herunterschaltens bei Ver-

zögerungsphasen. Bei Phasen mit ruhiger Fahrt kann der gesamte Drehzahlbereich zwischen der Herunterschalt Drehzahl und der Hochschalt Drehzahl benutzt werden.

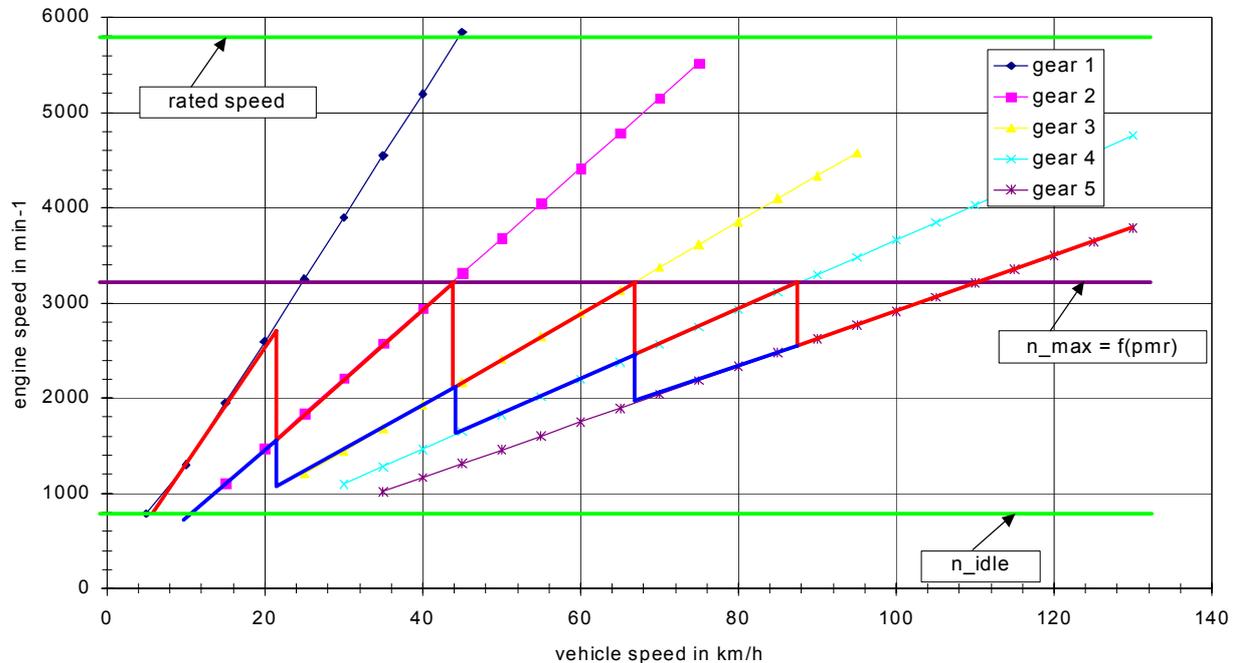


Bild 2: Beispiel für ein Gangwechselschema eines Kleinwagens. Hochschalten und Ganggebrauch während Beschleunigungsphasen sind rot, Herunterschalten und der zusätzliche Ganggebrauch bei konstanter Fahrt oder Verzögerungsphasen sind blau dargestellt.

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 Motordrehzahl 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

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

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:

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

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 allgemeine 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 1 für dieses Fahrverhalten benutzt werden.