

TNO-rapport
98.OR.VM.029.1/RSM

De invloed van congestie op brandstofverbruik en emissies van vrachtwagens

TNO Wegtransportmiddelen

Schoemakerstraat 97
Postbus 6033
2600 JA Delft


Telefoon 015 269 69 00
Fax 015 262 07 66

Datum
20 Augustus 1998

Auteur(s)
R.T.M. Smokers
W.G. Rozendal

Opdrachtgever
Ministerie van VROM
DGM-GV-MOMO, Code 635
t.a.v. de heer H.L. Baarbé
Postbus 30945
2500 GX 's-GRAVENHAGE

Accoord
P. van Sloten
(sectiehoofd)



Projectnummer
730610400

Onderzoekperiode
week 50/1996 tot 10/1997



Het kwaliteitssysteem van
TNO Wegtransportmiddelen
voldoet aan ISO 9001.

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor
onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

Aantal pagina's
33

Aantal bijlagen
6

Aantal figuren
14

Aantal tabellen
5

TNO Wegtransportmiddelen doet onderzoek en verleent
diensten op het terrein van wegvoertuigen en componenten
daarvan.

De hoofdaandachtsgebieden zijn Voertuigdynamica,
Botsveiligheid, Verbrandingsmotoren en Keuringen.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Samenvatting

Om een indruk te krijgen van de invloed van congestie op brandstofverbruik en uitlaatgasemissies bij vrachtwagens, zijn in het kader van het Steekproefcontroleprogramma Vrachtwagens 1996-1997 met een vrachtauto praktijkritten opgenomen. Op basis van deze metingen zijn op de rollenbank het brandstofverbruik en de emissies bepaald. De metingen zijn uitgevoerd met een DAF truck (type TE75RC met een 222 kW Euro-1 motor), waarvan de motor in het kader van het onderzoek naar de correlatie tussen motorproefstandmetingen en rollenbanktests toch al uitgebouwd zou worden. Er zijn zowel ritten met een volle combinatie (41,4 ton) als met een lege combinatie (14,6 ton) opgenomen, waarbij rackpositie, voertuigsnelheid en motor-toerental gemeten zijn. Uit de opgenomen data zijn 9 typische praktijkritten gedestilleerd, waarvoor de relatie tussen rackpositie en motorkoppel is bepaald en vertaald naar koppel-toerencycli.

Uit de metingen blijkt dat het brandstofverbruik van het geteste voertuig bij het rijden in een file per gereden kilometer 2 tot 3 maal zo hoog kan zijn als bij rijden zonder congestie. Dit geldt zowel bij een volle als bij een lege vrachtwagen.

De uitstoot van de componenten CO, HC en PM [g/km] neemt toe bij een door congestie veroorzaakte afnemende voertuigsnelheid, zowel bij volle als bij lege vrachtwagencombinatie. Afhankelijk van de gemiddelde snelheid in de file kunnen deze emissies zelfs een factor 4 of meer hoger zijn. De uitstoot van de component NO_x [g/km] is bij normaal snelwegverkeer eveneens significant lager dan bij het rijden in een file. De uitstoot is bij 70 km/u lager dan bij 90 km/u. De conclusies met betrekking tot genoemde emissies zijn minder hard vanwege de beperkingen van het gebruikte meetsysteem.

Het effect van verhoogde emissies tijdens rijden in een file op de totale emissies door vrachtauto's op Nederlandse snelwegen is overigens gering. Totaal brandstofverbruik en de totale emissies van CO₂ en NO_x zijn een half procent hoger dan in een situatie zonder files. De emissies van CO, HC en deeltjes zijn 1 tot 2 procent hoger. Wel kunnen mogelijk de lokale effecten, bijvoorbeeld op luchtkwaliteit in woongebieden in de buurt van structureel overbelaste snelwegen, groter zijn dan tot nu toe gedacht.

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Vooronderzoek.....	6
3	Conclusies vooronderzoek	8
4	Meetprogramma	9
5	Meetmethode.....	11
6	Resultaten motorproefstand en opgenomen ritten	13
7	Brandstofverbruik	17
8	Reproduceerbaarheid van de metingen	21
9	Emissies van NO _x , CO, HC en PM	23
10	Invloed van files op het gemiddeld brandstofverbruik en de gemiddelde emissies van vrachtwagens.....	28
11	Slotconclusies en aanbevelingen voor vervolg-onderzoek	30
12	Referenties	32

Bijlagen

A	Snelheids-tijddiagrammen
B	Schematische voorstelling Warren-Spring mini-CVS-systeem
C	Meetresultaten van de statische metingen: R-49 en ACEA 13- mode testen
D	Alle opgenomen wegmetingen
E	Wegmetingen gebruikt voor simulatie op transient proefstand
F	Meetresultaten van de op de transient proefstand gesimuleerde wegmetingen

G Gewenst en werkelijk toerental van file nummer 1 met volle combinatie

1 Inleiding

Er is bij diverse instanties (TNO, TLN, VROM, V&W) behoefte aan brandstofverbruikscijfers van vrachtwagens onder verschillende realistische bedrijfsomstandigheden. Deze gegevens zijn enerzijds nodig om de invloed van congestie-beperkende maatregelen (doelgroepstroken) op het brandstofverbruik te kwantificeren. Anderzijds zijn deze gegevens nodig ter validatie van simulatiepakketten zoals bijvoorbeeld het Versit-HD model van TNO-WT.

In juli 1996 heeft VROM aan TNO-WT gevraagd onderzoek te doen naar de invloed van congestie op het brandstofverbruik van vrachtauto's. Dit naar aanleiding van de opmerking van TLN dat het brandstofverbruik bij het rijden in files 2 tot 3 maal zo hoog zou kunnen zijn als het brandstofverbruik op dezelfde weg bij normale verkeersdrukte. Besloten is om in het kader van het Steekproefcontroleprogramma Vrachtwagens onderzoek te doen naar het brandstofverbruik van vrachtwagens in de hierboven beschreven praktijkomstandigheden. Het zou ideaal zijn als er een relatie gevonden zou kunnen worden tussen een representatieve vrachtwagen-ritcyclus en de ECE R49 13-mode test op een vergelijkbare manier als door van de Weijer gedaan is voor stadsbussen [1]. Het probleem is echter dat het moeilijk is om een representatieve rit te definiëren voor vrachtwagens omdat het rijgedrag sterk afhankelijk is van het type gebruik van de vrachtwagen (bijvoorbeeld voor goederendistributie, lange-afstandsvervoer of als zandkieper).

Het onderzoek is als volgt aangepakt: Allereerst zijn er verkennende metingen uitgevoerd met een motor op de transiënt motorproefstand. Onderzocht is of het mogelijk was om reeds bij TNO aanwezige ritpatronen na te bootsen. Dit bleek niet mogelijk te zijn omdat er enerzijds teveel aannames gedaan moesten worden over de voertuigeigenschappen en het voertuiggebruik (reducties van de versnellingsbak, schakelgedrag, beladingsgraad e.d.), en anderzijds de bestaande ritten niet representatief genoeg bleken voor de specifieke motor die onderzocht werd (zie ook Hoofdstuk 2). Derhalve is een klein meetprogramma opgezet om realistische ritten op te nemen op de weg (1 vrachtwagen, 2 beladingsgraden), die vervolgens op de transiënt motorproefstand zijn nagebootst.

2 Vooronderzoek

Op het moment dat de eerste vragen van VROM binnenkwamen betreffende de invloed van congestie op het brandstofverbruik, stond er een Mercedes OM366A.VII/1 motor op de transiënt-proefstand. Als vooronderzoek zijn verschillende metingen uitgevoerd met deze Mercedes motor. Dit vooronderzoek had tot doel om te kijken of het mogelijk was om zonder al te veel inspanningen de relatie tussen het rijpatroon/rijgedrag en het brandstofverbruik te bepalen. Getracht is om aan de hand van een voertuigmodel, een bekende motor en een snelheidstijdpatroon gegevens over het brandstofverbruik te genereren. Van de Mercedes 1117 waarvan de motor op de motorproefstand stond is op basis van aannemelijke voertuiggegevens een voertuigmodel gemaakt. Dit model is ingevoerd in de transiënt proefstand.

Tabel 1: Voertuigmodel

Merk motor	Mercedes-Benz
Motortype	OM366A.VII/1, 120 kW Euro 1
Wielstraal	0.412 m
Rolweerstand	0.0060
C _w -waarde	0.65
Frontaal oppervlak	8.5 m ²
Voertuigmassa	4.000/6.000 kg
Voertuigmassa kenteken	5.440 kg
Aantal versnellingen	4 (in werkelijkheid 6)
Transmissierendement	95% in 1, 2 en 3 99% in 4 (prise direct)

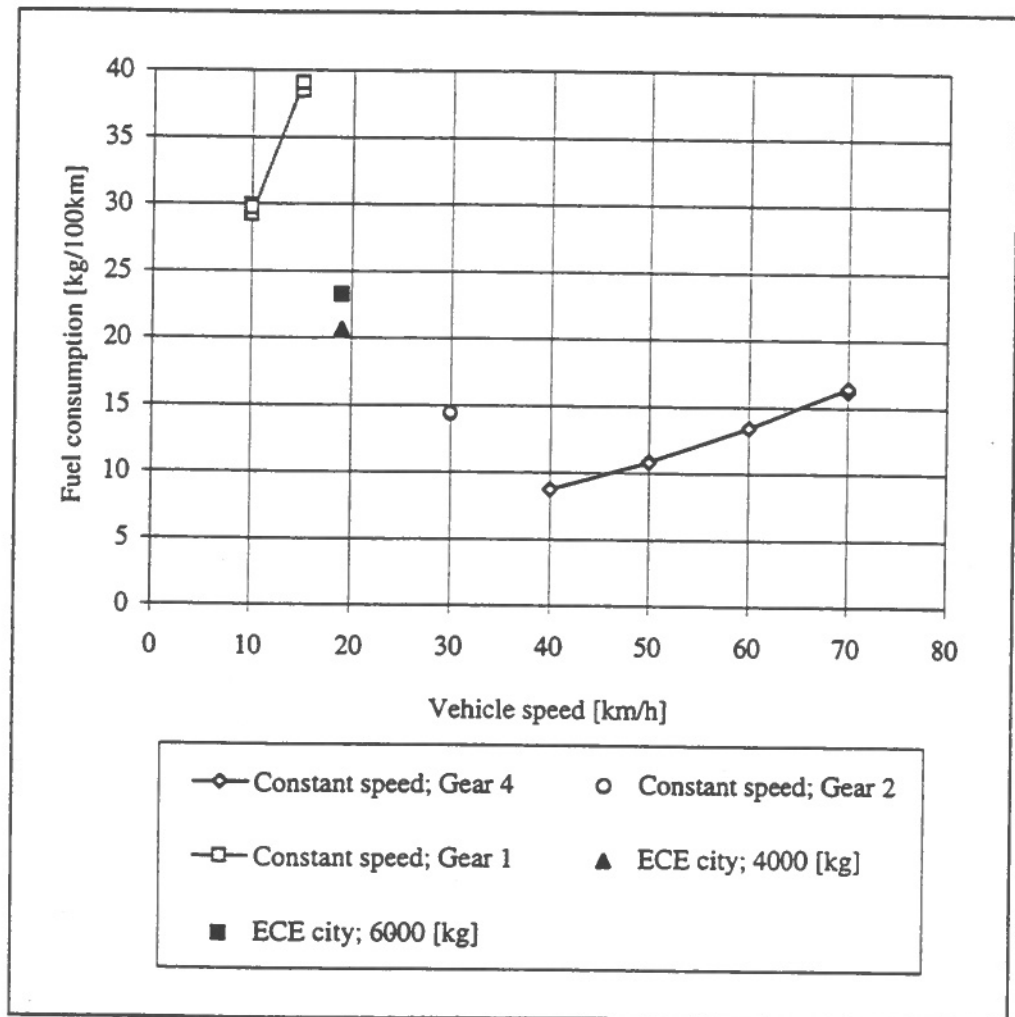
Op een aantal punten is het model sterk vereenvoudigd. Zo is de vrachtwagen in werkelijkheid uitgerust met een 6-versnellingsbak. De rendementen voor de transmissie zijn geschat, evenals de C_w-waarde, het frontaal oppervlak en de rolweerstand.

Er is getracht om een filerit na te rijden welke in 1991 met een personenauto opgenomen is [2] (snelheid-tijd diagram in Figuur 15 van Bijlage A). Ondanks de lage gemiddelde snelheid van 7,3 km/u bleek het niet mogelijk om deze rit met de vrachtwagenmotor na te bootsen. Dit heeft mede te maken met het feit dat een personenvoertuig anders in een file rijdt dan een vrachtwagen. Vervolgens is de Urban Driving Cycle (eerste deel van de Eurotest) vertaald naar de motorproefstand (snelheid-tijd diagram in Figuur 16 van Bijlage A). De volgende ritten zijn gereden op de motorproefstand (tussen haakjes de gebruikte versnellingen):

- Urban Driving Cycle, met twee verschillende beladingsgraden, namelijk met een totaalgewicht van 4.000 en van 6.000 kg. Hier is het schakelpatroon aangehouden zoals weergegeven in de richtlijn 91/441/EEG [3] (in 1, 2 en 3). De gemiddelde snelheid gedurende de UDC is 18.7 km/u;

- constante snelheden in diverse versnellingen met een totaalgewicht van 4.000 kg, namelijk 10 en 15 km/u (in 1), 30 km/u (in 2) en 40, 50, 60 en 70 km/u (in 4).

In Figuur 1 zijn de resultaten van deze metingen grafisch weergegeven.



Figuur 1: Verkennende metingen met de Mercedes-Benz motor

3 Conclusies vooronderzoek

Uit het vooronderzoek bleek dat het niet mogelijk was om op basis van een voertuigmodel en reeds bekende ritpatronen een goede inschatting te maken van het brandstofverbruik in congestie-situaties. Dit komt enerzijds doordat er teveel onbekende gegevens van het voertuig en het gebruik van het voertuig waren waar een aanname voor gedaan moest worden, zoals bijvoorbeeld het schakelgedrag van het bewuste voertuig, weerstanden op de weg en verliezen in de aandrijflijn. Anderzijds zijn er geen rijpatronen van vrachtwagens beschikbaar die representatief zijn voor het gebruik van vrachtwagens in het algemeen en helemaal niet van deze specifieke vrachtwagen. Een rijpatroon van een voertuig met een 300 kW motor is bij dezelfde belading heel anders dan hetzelfde voertuig met een 150 kW motor.

Daarom is besloten om een klein meetprogramma te definiëren met als doel het werkelijke brandstofverbruik van een vrachtwagen in kaart te brengen bij verschillende bedrijfsomstandigheden.

4 Meetprogramma

Het doel van het onderzoek is het bepalen van het brandstofverbruik van een vrachtwagen tijdens verschillende realistische bedrijfsomstandigheden. De nadruk ligt daarbij op de invloed van congestie. Een probleem bij de definitie van representatieve bedrijfsomstandigheden is dat een normaal rijpatroon voor een vrachtwagen afhankelijk is van het type vrachtwagen en van de klasse waarin de vervoersactiviteiten vallen, bijvoorbeeld distributie, nationaal of internationaal transport. Ook de belading van het voertuig heeft invloed op het rijpatroon. Daarnaast verschilt een file op de A27 bij Vianen ook van een filerit op bijvoorbeeld de A20 bij Rotterdam. Voor het volledig onderzoek zouden er meerdere voertuigen gedurende langere tijd gevolgd moeten worden. Ook de invloed van de chauffeur op het brandstofverbruik is onbekend maar waarschijnlijk niet verwaarloosbaar.

In overleg met VROM is besloten om het meetprogramma te beperken tot één vrachtwagen met verschillende beladingsgraden in verschillende ritpatronen. Omdat in het kader van het Steekproefcontroleprogramma Vrachtwagens in december 1996 een motor op de motorproefstand zou komen om de formules van de Diesel Controle Methode (DCM) te valideren, is besloten om het voertuig, waar deze motor in zat, te gebruiken om ritpatronen op te nemen en het daarbij behorende belastingspatroon van de motor te bepalen. Het betreft een 222 kW DAF RS222L Euro I motor in een DAF TE75RC Chassis (4*2 trekker). Primair doel van het onderzoek was zoals reeds vermeld, het bepalen van het brandstofverbruik tijdens verschillende bedrijfsomstandigheden. Gezien het transiënt gedrag van de motor moest het onderzoek op de transiënt proefstand gebeuren. Voordat de motor uit de vrachtwagen gebouwd is, zijn met deze vrachtwagen ritten opgenomen. De mogelijkheid bestond om via de Afdeling Voertuigdynamica van TNO-WT een tweetal identieke trailers te huren. Eén trailer was leeg en één trailer was beladen met 25.8 ton ijzersplit. De volgende ritten zijn gereden en opgenomen met zowel de volle als de lege trailer:

- diverse fileritten;
- constante snelheid 70 km/u;
- constante snelheid 90 km/u (maximum snelheid);

Getracht is om files met verschillende mate van congestie te rijden. Daarnaast was het plan om eveneens data te verzamelen van het effect van de doelgroepstrook op het brandstofverbruik. Mede ten behoeve van ander lopend onderzoek is ook de zogenaamde "Rijswijk-rit" gereden zoals omschreven in [4]. Deze "Rijswijk-rit" is destijds gereden met verschillende vrachtwagens en het is interessant om in het kader van andere onderzoeken een beeld te hebben van het rijpatroon van verschillende andere vrachtwagens in deze route. Daarnaast geeft deze rit meteen informatie over het rijden met 70 en 90 km/u.

Het meetprogramma is redelijk strak opgezet zodat de vrachtwagen, welke van KPN-Autolease gehuurd is, niet te lang uit de roulatie zou zijn. Als gevolg van een aanvankelijke storing aan de meetapparatuur zijn echter minder metingen uitgevoerd dan gepland. Uit de meetdata zijn de volgende ritten gehaald:

- * Volle vrachtwagen: - 90 km constant;
- 70 km constant;
- 2 fileritten;
- treingewicht 41,4 ton

- * Lege vrachtwagen: - 90 km constant;
- 70 km constant;
- 3 fileritten.
- treingewicht 15,6 ton

De metingen welke uitgevoerd zijn op de doelgroepstrook op de A16 zijn mislukt als gevolg van een probleem met de data-acquisitie apparatuur.

5 Meetmethode

In het voorgaande is reeds gesproken over het "opnemen" van ritten. Dit gebeurt met data-acquisitie apparatuur die met een frequentie van 1 Hz de volgende signalen registreert:

- voertuigsnelheid v [km/u];
- rack-positie (heugelstandpositie), maat voor het motorkoppel M [Nm], inclusief de referentiespanning;
- toerental n [t/min].
- diverse temperaturen (ter controle).

De signalen van de voertuigsnelheid en het motortoerental zijn opgenomen als pulsen, de temperaturen en de rack-positie zijn opgenomen in volt. Deze signalen zijn alle gekalibreerd.

De relatie tussen heugelstand (de afgegeven spanning van de rack-positie sensor) en het motorkoppel is bepaald toen de motor op de motorproefstand stond. Bij verschillende toerentalen is het motorkoppel bepaald en is tegelijkertijd de afgegeven spanning van de rack-positie sensor genoteerd. Als controle is zowel tijdens de wegmetingen als de metingen op de motorproefstand de referentiespanning van de rack-positie sensor meegemeten. Vervolgens is deze informatie gebruikt om voor de toerentalen tussen de 400 en 2.300 toeren de relatie tussen de afgegeven spanning van de rack-positie sensor en het motorkoppel te berekenen middels inter- en extrapolatie.

De opgenomen ritten zijn vertaald naar koppel-toerenkarakteristieken welke op de transiënt motorproefstand gedraaid zijn. Tijdens het draaien van deze koppel-toerenkarakteristieken is het brandstofverbruik bepaald (met een balans). Omdat het nieuwe Emissiemeetsysteem ten tijde van de metingen nog niet operationeel was, is gebruik gemaakt van een mini-CVS-systeem om een indicatie te krijgen van de uitstoot van de gasvormige componenten. Hiervoor zijn de uitlaatgassen verdund middels de Warren Spring mini-CVS. In Bijlage B is een schematische voorstelling van het systeem weergegeven. Een gedeelte van de verdunde uitlaatgassen is in zakken opgevangen en geanalyseerd. De CO, HC en NO_x emissie is zo bepaald in de diverse cycli (in gram per test). Om de deeltjesuitstoot te bepalen is gebruik gemaakt van een tunnel (gekoppeld aan de mini-CVS). Aangezien van de opgenomen ritten de afstand bekend is, kunnen de resultaten van gram per test omgerekend worden naar gram per kilometer.

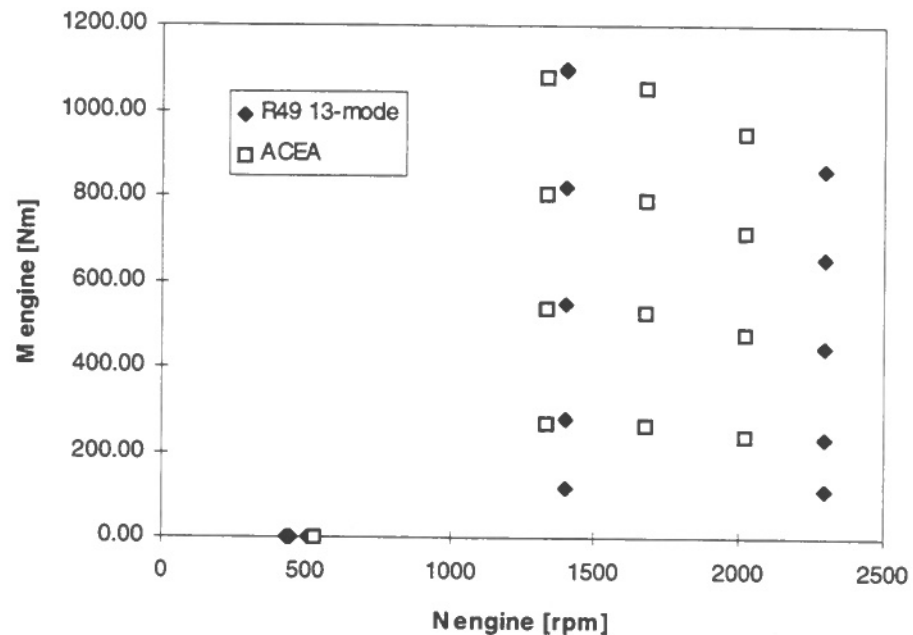
Schematisch ziet de gebruikte methode er als volgt uit:

wegmeting → relatie heugel/koppel/toerental → proefstandsmeting

De beperkingen van de gebruikte Warren Spring mini-CVS zijn bekend (nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid matig). Omdat er echter geen ander systeem beschikbaar was, is er toch gebruik van gemaakt, na toestemming van de projectcoördinator van VROM. De opgenomen ritten zijn twee maal achter elkaar gezet tot 1 meting. Deze metingen zijn in duplo uitgevoerd voor wat betreft de gasvormige emissies (CO, HC, NO_x). Omdat de tijd van één meting te kort is om voldoende deeltjes op de filters te verzamelen, is tijdens deze 2 metingen 1 filterpaar beladen met deeltjes.

6 Resultaten motorproefstand en opgenomen ritten

Als eerste zijn voor de DAF RS222L motor twee ECE R49 13-mode testen en een zogenaamde ACEA 13-mode test uitgevoerd. De ACEA 13-mode test staat beschreven in [9]. Deze laatstgenoemde test wordt de opvolger van de ECE R49 13-mode test. Beide testen bestaan ieder uit 13 statische meetpunten waar verbruik en emissies bepaald worden. Door nu de resultaten van de afzonderlijke meetpunten bij elkaar op te tellen (waarbij bepaalde meetpunten zwaarder meewegen dan andere) wordt een totaalresultaat verkregen, uitgedrukt in [g/kWh]. In Figuur 2 zijn de meetpunten van de ACEA en de ECE R49 13-mode testen weergegeven.



Figuur 2: Gemeten statische punten in de R49 13 mode test en de ACEA test

In de Figuren in Bijlage C zijn voor deze statische meetpunten als functie van het vermogen respectievelijk het specifiek brandstofverbruik, de NO_x -emissie, de CO-emissie, de CO_2 -emissie, de HC-emissie en de PM-emissie weergegeven. Bij deze metingen is geen gebruik gemaakt van de Warren-Spring tunnel.

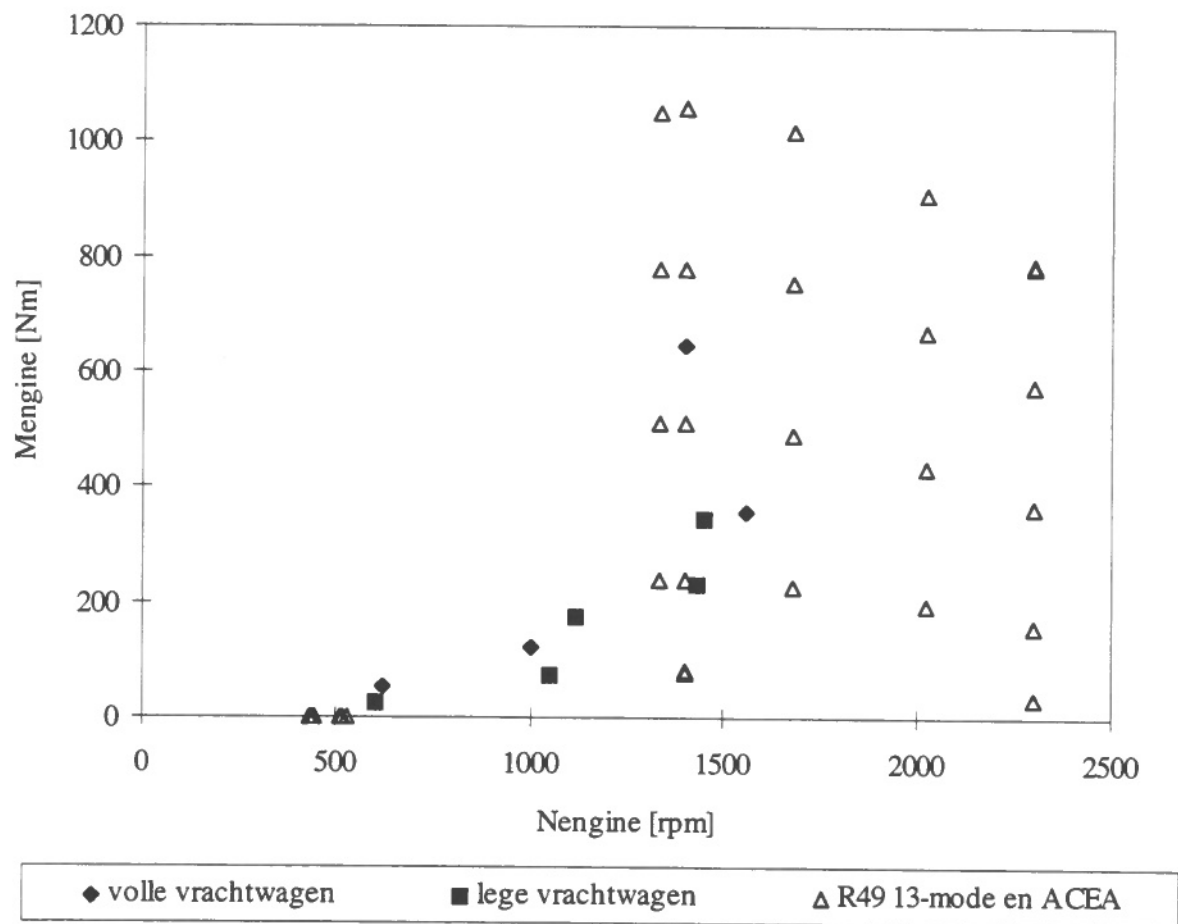
In Bijlage D zijn alle opgenomen ritten weergegeven. Uit deze ritten zijn gedeelten genomen welke gebruikt zijn voor de metingen op de motorproefstand. In Bijlage E zijn de gebruikte ritpatronen weergegeven als functie van de tijd. Een aantal gegevens van de ritten, die nagebootst zijn op de motorproefstand, staan in Tabel 2.

Tabel 2: Karakteristieken van de nagebootste ritten

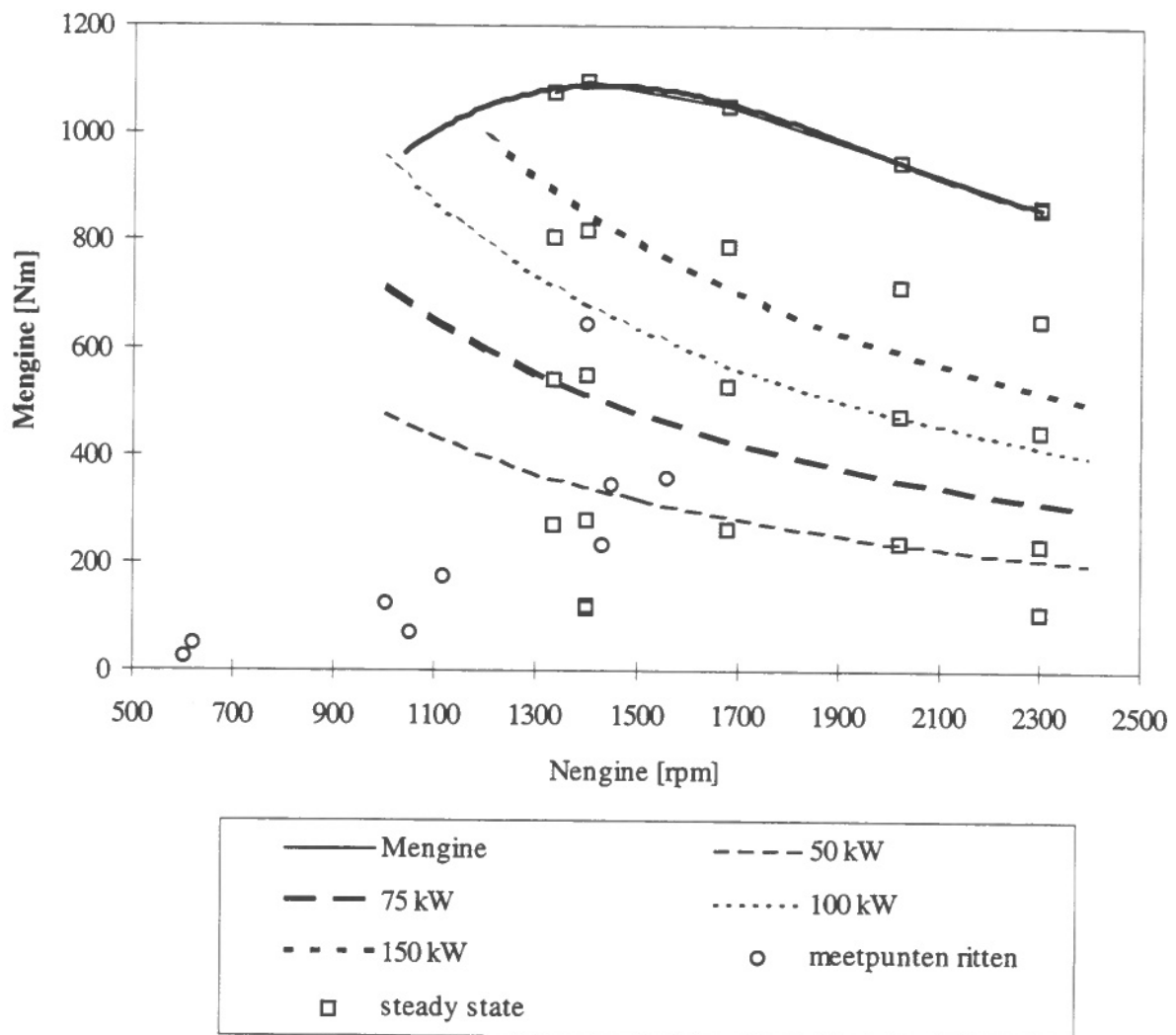
	V_{gem} [km/u]	P_{gem} [kW]	M_{gem} [Nm]	n_{gem} [t/min]	afstand [m]	tijd [s]
volle vrachtwagen						
90 km/u	88.3	94.15	643.0	1400	8434.4	344
70 km/u	67.0	58.05	357.0	1560	8951.9	481
file 1	2.4	5.32	51.0	621	209.2	316
file 2	10.2	16.15	123.1	1000	714.0	252
lege vrachtwagen						
90 km/u	89.1	52.60	346.3	1450	7254.2	293
70 km/u	66.8	34.00	231.9	1430	4584.2	247
file 1	10.6	7.80	72.2	1049	1991.3	675
file 2	3.6	1.85	24.5	602	302.0	302
file 3	24.8	20.35	173.0	1115	2325.2	338

In Bijlage F zijn de emissie-resultaten van de opgenomen ritten weergegeven in de vorm van uitgewerkte meetdata. In Figuur 3 zijn de meetpunten grafisch weergegeven.

Wat opvalt in Figuur 3 is het relatief lage gemiddelde motor-toerental ten opzichte van het maximum motor-toerental. Hetzelfde geldt voor het gemiddelde motor-koppel. Dit heeft alles te maken met de manier waarop de chauffeur rijdt en de overbrengingsverhouding (versnelling) die hij kiest. In Figuur 4 zijn Figuur 2 en Figuur 3 gecombineerd. Ook zijn in deze figuur de lijnen van constant vermogen weergegeven.



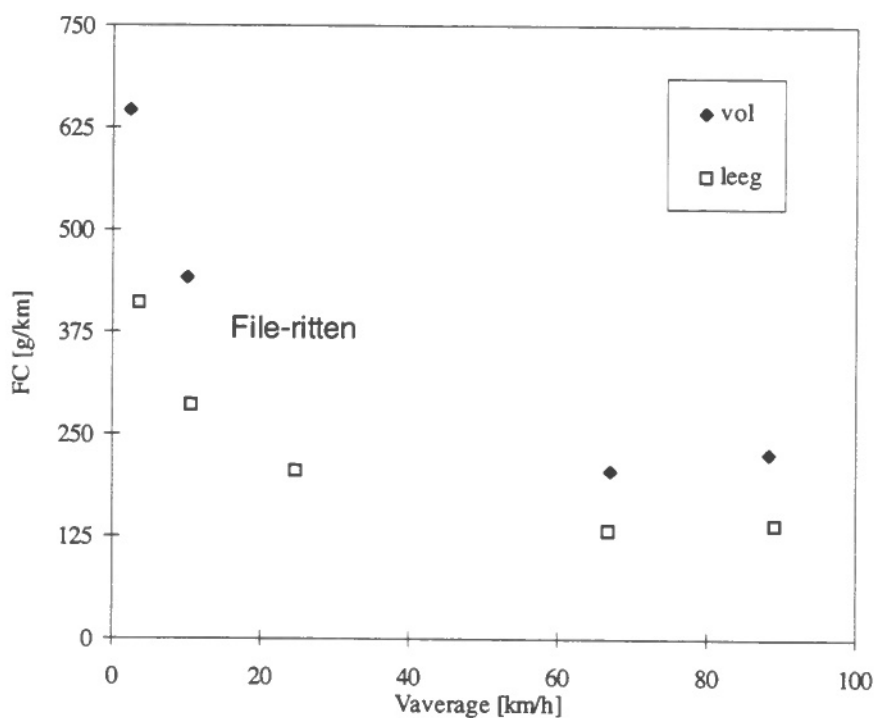
Figuur 3: Gemiddeld motorkoppel als functie van het toerental van de nagebootste ritten, vergeleken met de steady-state meetpunten van de R-49 en ACEA 13-mode tests



Figuur 4: Meetpunten uit Figuren 2 en 3 gecombineerd

7 Brandstofverbruik

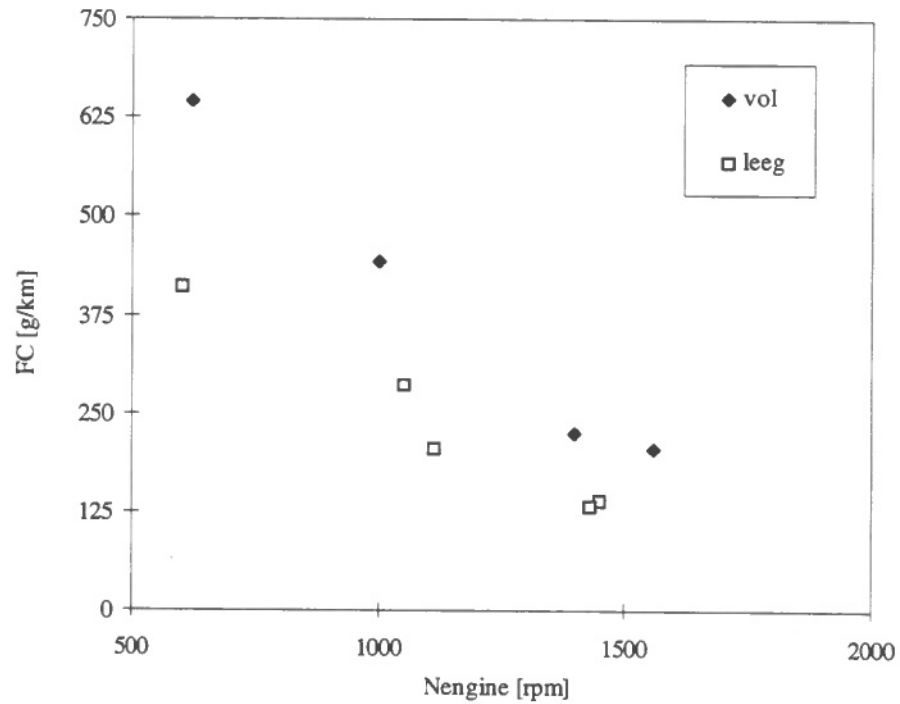
Hoofddoel van het onderzoek was het bepalen van de invloed van congestie op het brandstofverbruik. Er zijn diverse manieren om deze invloed weer te geven. De eerste manier is het uitzetten van het brandstofverbruik als functie van de gemiddelde snelheid. Dit is gedaan in Figuur 5 voor zowel de volle als de lege vrachtwagencombinatie.



Figuur 5: Brandstofverbruik als functie van de gemiddelde snelheid

In Figuur 6 is het brandstofverbruik weergegeven als functie van het gemiddelde motortoerental.

Uit Figuur 5 blijkt dat het verschil in brandstofverbruik tussen gemiddeld 70 en 90 km/u niet extreem groot is (leeg 4.2 %, vol 10.5 % meerverbruik bij 90 km/u t.o.v. 70 km/u). Bij het rijden in files kan het brandstofverbruik meer dan verdubbelen ten opzichte van 70 km/u (zie Tabel 3).



Figuur 6: Brandstofverbruik als functie van het gemiddeld toerental

Tabel 3: Brandstofverbruik (FC) van de nagebootste ritten

	V_{oem} [km/u]	n_{oem} [t/min]	FC [g/km]	verschil FC t.o.v. 70 km/u [-]	verschil FC t.o.v. 90 km/u [-]
volle vrachtwagen					
90 km/u	88.3	1400	225.8	10.5 %	----
70 km/u	67.0	1560	204.4	----	- 9.5 %
file 1	2.4	621	645.7	215.9 %	186.0 %
file 2	10.2	1000	441.7	116.1 %	95.6 %
lege vrachtwagen					
90 km/u	89.1	1450	138.2	4.5 %	----
70 km/u	66.8	1430	132.6	----	- 4.1 %
file 1	10.6	1049	285.0	115.4 %	106.2 %
file 2	3.6	602	410.8	210.5 %	197.3 %
file 3	24.8	1115	205.2	55.1 %	48.5 %

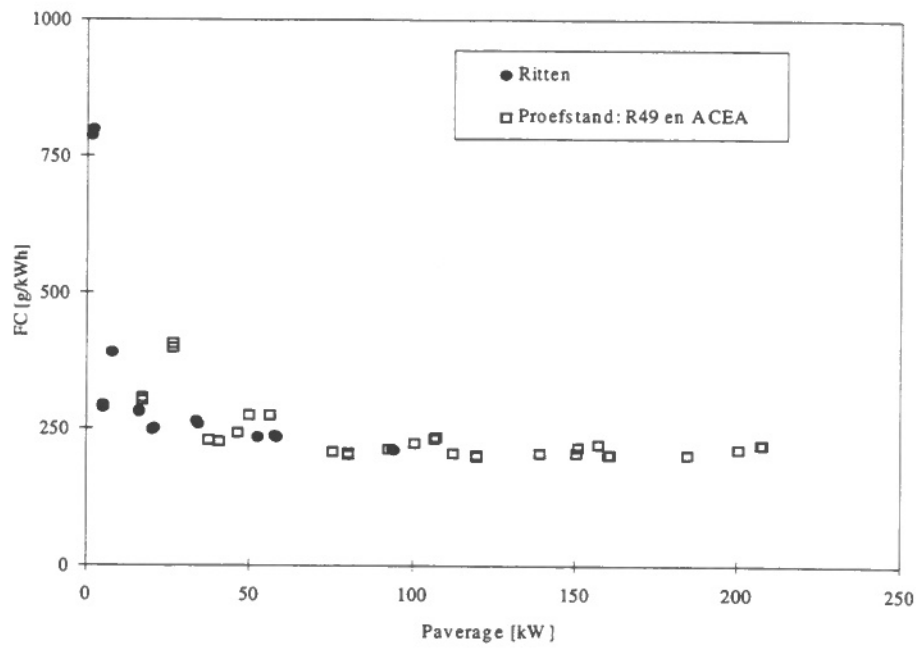
Wat opvalt is dat het brandstofverbruik bij het rijden in een file met een gemiddelde snelheid van ± 10 km/u bij volle en bij lege wagen rond de 116 % hoger is dan bij rijden met een constante snelheid van 70 km/u. Bij rijden in een file met een gemiddelde snelheid van ± 3 km/u ligt in beide gevallen het verbruik 210 % hoger dan bij rijden met een constante snelheid van 70 km/u.

In het kader van het uitgevoerde onderzoek is geen onderzoek gedaan naar de mate van transiënt gedrag van de diverse ritten (fluctuaties in koppel, toeren en snelheidssignalen). Ook is niet gekeken naar de invloed van de keuze van de versnelling op het brandstofverbruik. De ritten zijn opgenomen in reële bedrijfsomstandigheden en er is gereden met een chauffeur met meerdere jaren (internationale) ervaring.

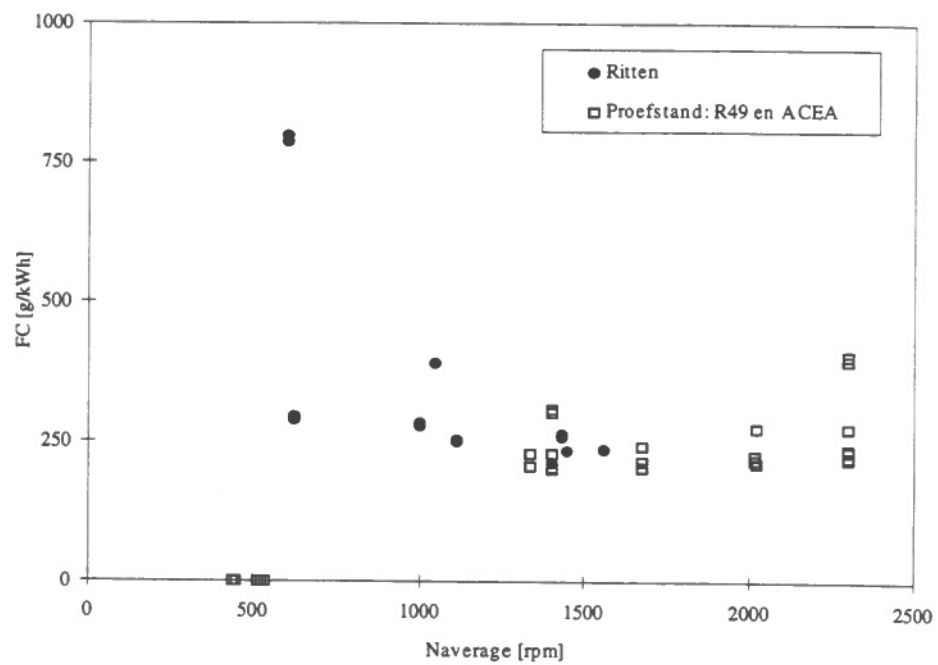
De conclusies die uit de bovenstaande resultaten getrokken kunnen worden, zijn de volgende:

- het brandstofverbruik kan bij het rijden in een file met een factor 3 toenemen in vergelijking met het rijden met een constante snelheid van 70 of 90 km/u;
- Het brandstofverbruik lijkt erg afhankelijk van het "type" file. Met name de gemiddelde snelheid is van belang, evenals de mate waarin en de manier waarop het voertuig accelereert.

Eén van de aandachtspunten in een vervolgonderzoek zou het onderzoeken van de invloed van het transiënt gedrag van de motor op het brandstofverbruik kunnen zijn. In Figuur 7 en Figuur 8 is het specifiek brandstofverbruik (in g/kWh) weergegeven als functie van het (gemiddelde) motorvermogen en motortoerental van de proef-standmetingen en de gesimuleerde wegmetingen.



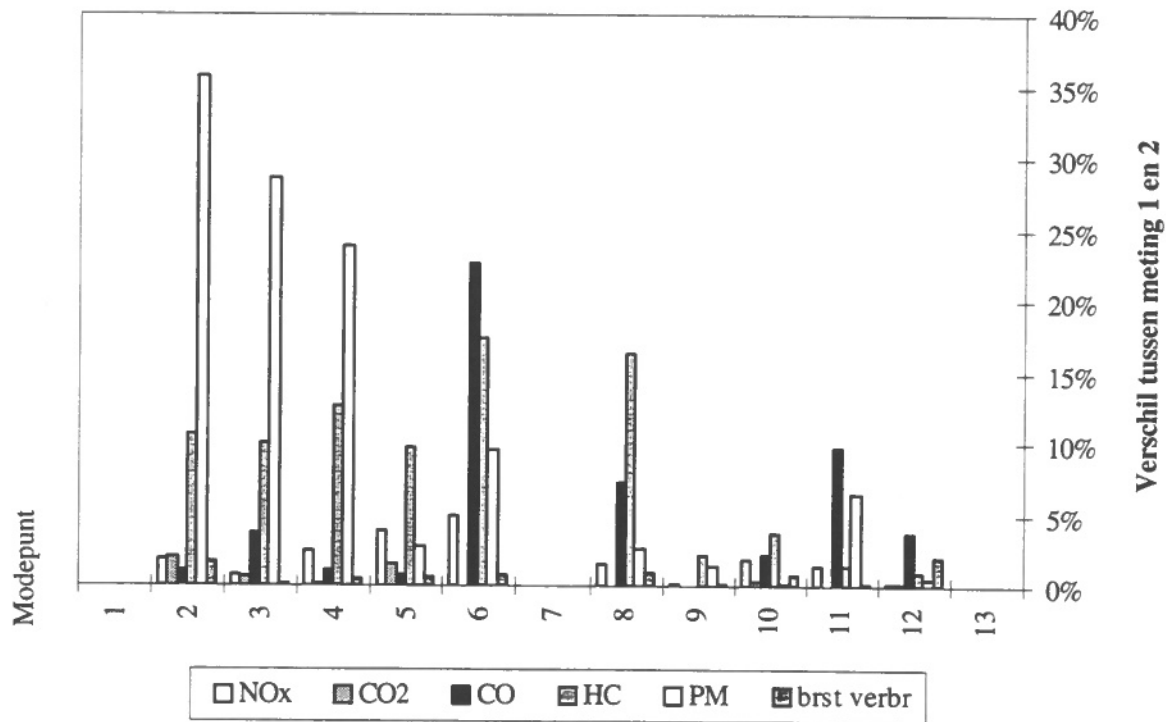
Figuur 7: Specifiek brandstofverbruik als functie van het vermogen



Figuur 8: Specifiek brandstofverbruik als functie van het motortoerental

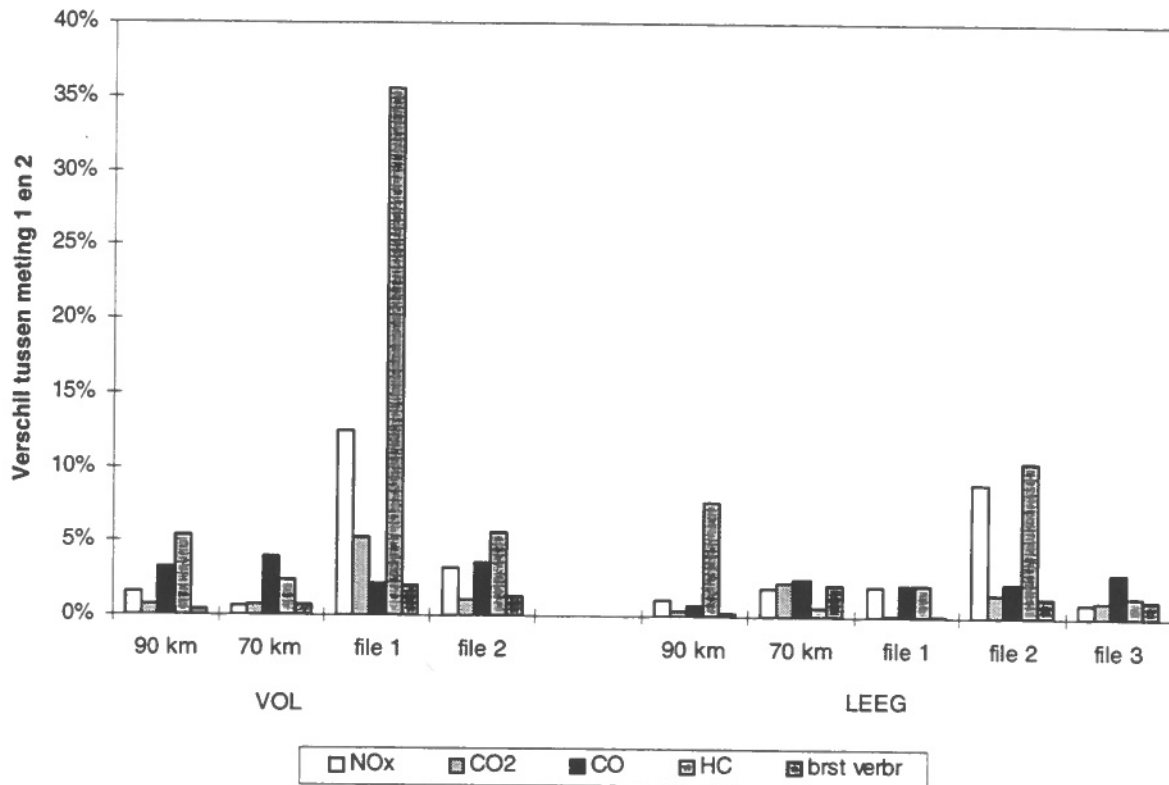
8 Reproduceerbaarheid van de metingen

Het brandstofverbruik is bepaald door de tank waaruit diesel wordt betrokken op een balans te wegen. De reproduceerbaarheid van het brandstofverbruik in de ECE R49 13 mode test was goed (behalve bij stationair draaien): het verschil tussen meting 1 en meting 2 varieerde tussen 0 en 2% (stationair tussen 8 en 17%). Door het ongedefinieerde gedrag van de motor bij stationair draaien en het lage brandstofverbruik zijn de verschillen tussen de twee ECE R49 13-mode metingen groot. Voor de belaste punten (mode 2-6 en mode 8-12) zijn de verschillen tussen meting 1 en meting 2 (g/kWh) weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Verschil in emissie en verbruik van meting 2 ten opzichte van meting 1 in de ECE R49 13 mode test

De reproduceerbaarheid van brandstofverbruik, NO_x- en CO₂-uitstoot is goed. Hetzelfde geldt voor de meeste meetpunten voor CO. Voor HC en PM is de reproduceerbaarheid slecht.



Figuur 10: Verschil in emissie en verbruik van meting 2 ten opzichte van meting 1 in de transient testen

In de nagebootste cycli was de reproduceerbaarheid van het brandstofverbruik ook goed (zie Figuur 10). Het verschil tussen meting 2 en meting 1 was maximaal 2%. Voor de componenten CO, HC en NO_x is de reproduceerbaarheid matig tot goed. De twee fileritten met de laagste gemiddelde snelheid (vol 2.4 km/u, leeg 3.6 km/u) hebben de grootste afwijkingen. Dit komt omdat er in deze cycli relatief veel stationair gedraaid wordt met de motor. Ook zijn deze cycli meer transient dan de andere cycli. De brandstofpomp van de DAF-motor is voorzien van een RQ-regeelaar. Dit heeft tot gevolg dat het wisselen van belastingspunt waar zowel toeren als koppel veranderen niet altijd gedefinieerd gebeurt; alleen begin en eindpunt liggen vast. Dit komt de reproduceerbaarheid niet ten goede.

In Bijlage G zijn voor Filerit nummer 1 (volle combinatie) het gewenste toerental en het werkelijke toerental weergegeven. Duidelijk is te zien dat de toerentallen wat afwijken rond stationair draaien.

Omdat de deeltjesuitstoot in de nagebootste cycli in enkelvoud gemeten is, kan voor deze component geen uitspraak over de reproduceerbaarheid gedaan worden.

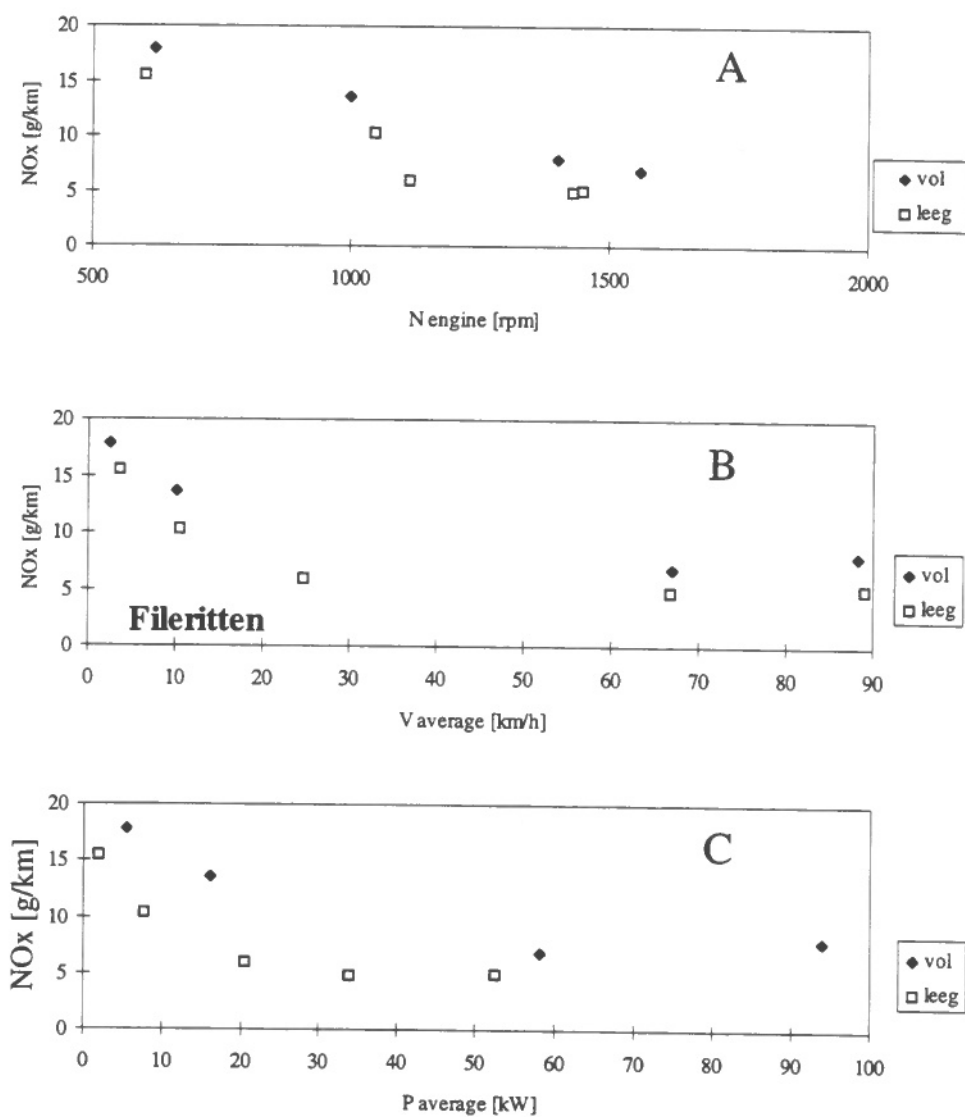
9 Emissies van NO_x, CO, HC en PM

Zoals in hoofdstuk 5 reeds gemeld laat de meetnauwkeurigheid voor de (gereguleerde) componenten NO_x, CO, HC en PM te wensen over. De oorzaak hiervan ligt in het gebruik van een mini-CVS-systeem. Dit is een compact systeem dat is ontwikkeld door het Warren Spring Laboratory om mee te nemen aan boord van voertuigen voor het uitvoeren van wegmetingen. De beperkingen van het systeem waren bij uitvoering van dit project bekend, maar gebruik ervan was noodzakelijk omdat het het nieuwe emissiemeetsysteem ten tijde van dit experiment nog niet operationeel was.

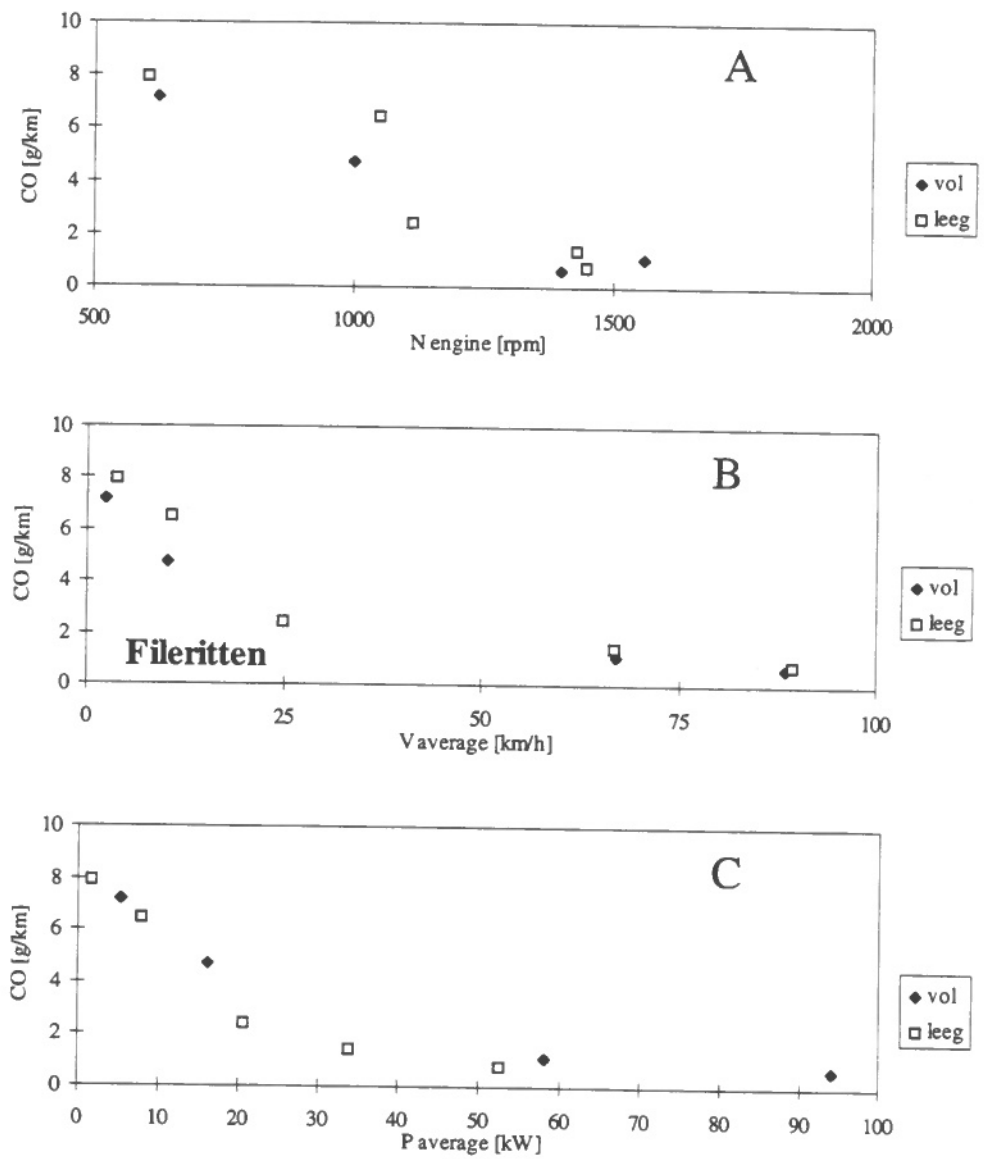
In de Figuren 11 tot en met 14 staan de NO_x, CO, HC en PM emissie in de verschillende cycli weergegeven [g/km] als functie van respectievelijk het gemiddelde motortoerental [rpm] (grafiek A), de gemiddelde snelheid [km/u] (grafiek B) en het gemiddelde vermogen [kW] (grafiek C). In Bijlage F staan de volledige emissieresultaten weergegeven.

Uit de Figuren 11A, 12A, 13A en 14A (emissie als functie van het gemiddelde motortoerental) kan weinig verband gehaald worden, ook omdat er geen motorbelasting uit is af te leiden. Het doel van dit onderzoek was ook niet om te kijken of er een lagere uitstoot haalbaar was met een andere overbrengingsverhouding. De conclusies die uit de Figuren 11 t/m 14 getrokken kunnen worden, zijn (de beperkingen van het meetsysteem en de meting aan slechts één motor niet uit het oog verliezend):

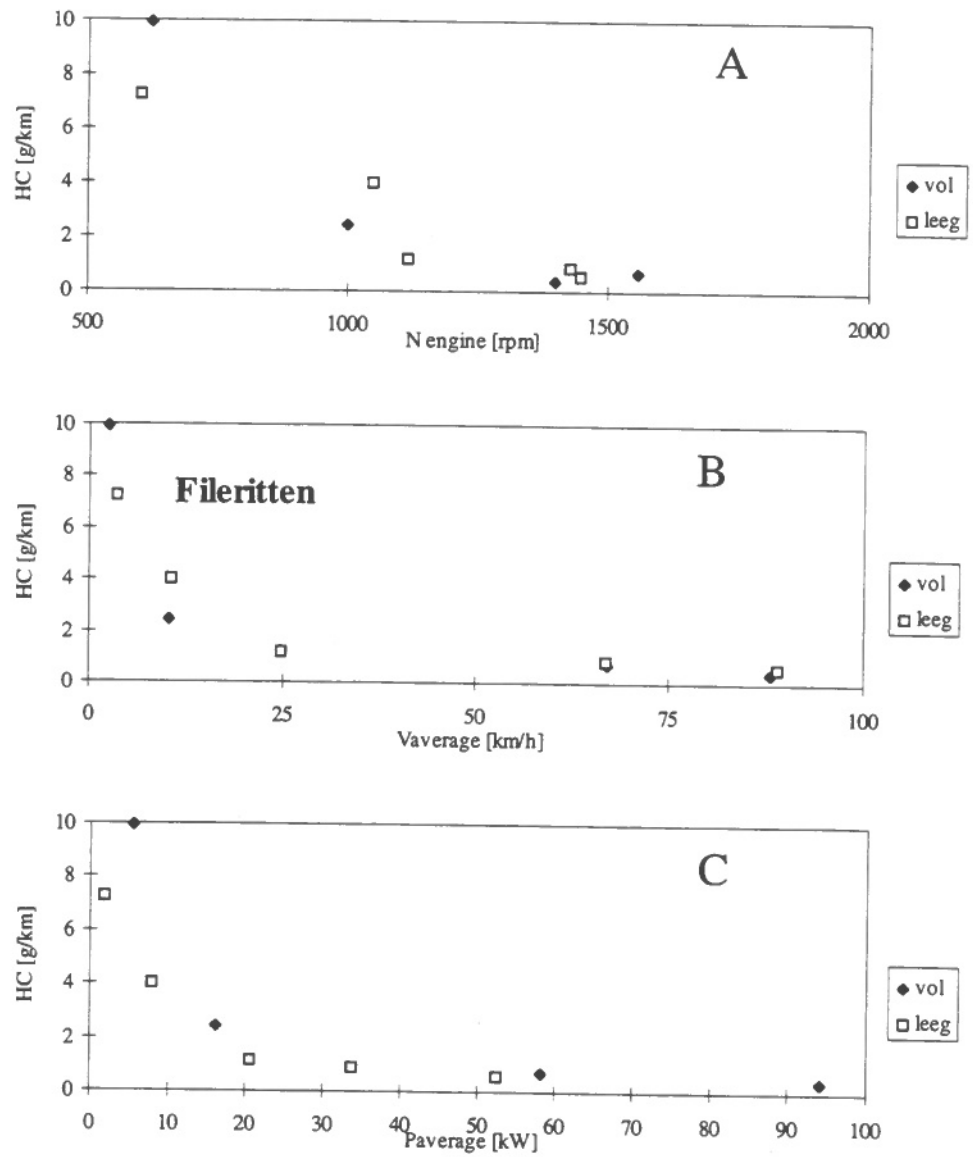
- De uitstoot van de componenten CO, HC en PM [g/km] neemt af bij toenemende voertuigsnelheid, zowel bij volle als bij lege vrachtwagencombinatie;
- De uitstoot van de component NO_x [g/km] is bij normaal snelweg verkeer lager dan bij het rijden in een file. De uitstoot is bij 70 km/u lagere dan bij 90 km/u, vermoedelijk ten gevolge van hogere verbrandingstemperaturen in de cilinder. De motortemperatuur is bij 70 en 90 km/u zowel vol als leeg nagenoeg gelijk.



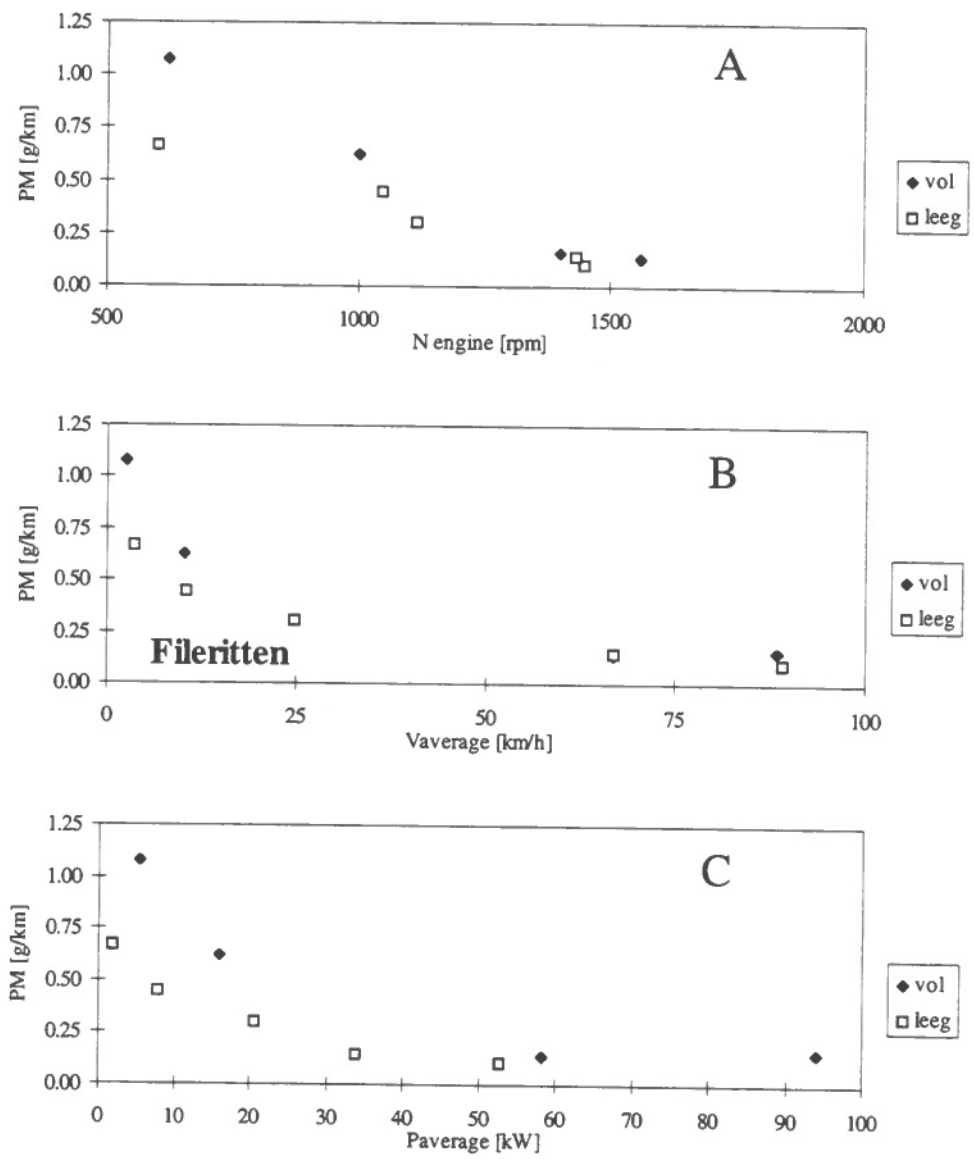
Figuur 11: NO_x-emissie als functie van gemiddeld motortoerental, gemiddelde snelheid en gemiddeld vermogen



Figuur 12: CO-emissie als functie van gemiddeld motortoerental, gemiddelde snelheid en gemiddeld vermogen



Figuur 13: HC-emissie als functie van gemiddeld motortoerental, gemiddelde snelheid en gemiddeld vermogen



Figuur 14: PM-emissie als functie van gemiddeld motortoerental, gemiddelde snelheid en gemiddeld vermogen

10 Invloed van files op het gemiddeld brandstofverbruik en de gemiddelde emissies van vrachtwagens

Uit de voorgaande hoofdstukken is duidelijk geworden dat brandstofverbruik en emissies van vrachtwagens in de file significant hoger kunnen zijn dan bij normale doorstroming op de snelweg. Congestie wordt algemeen als een belangrijk probleem ervaren en de milieu-effecten van files worden regelmatig genoemd als een van de redenen om iets aan het probleem te doen. Het is derhalve interessant om met de gegevens uit deze studie een inschatting te maken van de effecten van files op de totale emissies door vrachtwagens op de Nederlandse snelwegen.

In [12] worden de economische gevolgen van files berekend op basis van het aantal verliesuren dat personen- en vrachtauto's ondervinden als gevolg van het rijden in de file. Het aantal verliesuren is berekend op basis van een inventarisatie van het totale aantal en de lengte van files op het hoofdwegennet en een meting van de verliestijd per gereden kilometer in de file. Deze laatste bedraagt volgens [12] 4 minuten per filekilometer. Uitgaande van een gemiddelde snelheid voor vrachtwagens bij normale doorstroming van zo'n 80 km/h levert dat een gemiddelde snelheid in de file op van 12,6 km/h. Met behulp van een trendanalyse is uit de in dit rapport beschreven metingen geschat hoe verbruik en emissies zich verhouden bij 80 km/h en 12,6 km/h gemiddeld. Tabel 4 geeft de resultaten van deze analyse. Wat opvalt in de tabel is dat de verhoudingsgetallen voor de volle en de lege vrachtwagen nagenoeg gelijk zijn. Aannemend dat deze verhoudingen ook voor andere vrachtwagens gelden, kan nu een schatting worden gemaakt van het effect van filerijden op de gemiddelde emissies en het gemiddeld verbruik op de snelweg.

		door- stroming	v_gem [km/h]	verbruik [g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]	CO [g/km]	HC [g/km]	PM [g/km]
volle vrachtwagen	snelweg	normaal	80.0	215	692	7.4	0.89	0.56	0.15
	snelweg	file	12.6	391	1391	13.8	4.24	2.36	0.45
verhouding				1.8	2.0	1.9	4.8	4.2	3.0
lege vrachtwagen	snelweg	normaal	80.0	135	440	4.9	1.10	0.71	0.13
	snelweg	file	12.6	263	937	9.4	5.30	3.45	0.45
verhouding				1.9	2.1	1.9	4.8	4.9	3.6

Tabel 4: Emissies en verbruik van vrachtwagens bij normale doorstroming en in files op de weg

Uit [12] en uit opgaven van CBS kunnen de volgende kentallen worden afgeleid voor vrachtwagens op Nederlandse snelwegen:

totaal aantal kilometers van vrachtwagens op snelwegen:	$4.33 \cdot 10^9$ km
totale verliestijd vrachtwagens:	$1.52 \cdot 10^6$ uur
totale tijd in files op snelwegen:	$1.80 \cdot 10^6$ uur
totaal aantal kilometers van vrachtwagens in files op snelwegen:	$2.77 \cdot 10^7$ km
percentage van tijd in files op snelwegen:	2.7 %

percentage van kilometers in files op snelwegen: 0.53 %

Hieruit blijkt dat vrachtwagens wel een significant deel van hun tijd in de file doorbrengen, maar dat het aandeel van de filekilometers op het totaal aantal gereden kilometers op de snelweg zeer gering is. De effecten van een verhoogd verbruik en hogere emissies in files op het totale verbruik en de totale emissies door vrachtwagens op Nederlandse snelwegen zullen dus navenant gering zijn.

	verbruik [g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]	CO [g/km]	HC [g/km]	PM [g/km]
toename gemiddeld verbruik en emissies	0.46%	0.56%	0.47%	2.0%	1.9%	1.2%

Tabel 5: Toename van de gemiddelde emissies en het brandstofverbruik door vrachtwagens op de Nederlandse snelwegen als gevolg de aanwezigheid van files, in vergelijking met een situatie zonder files.

Tabel 5 geeft de geschatte toename van de gemiddelde emissies en het verbruik van vrachtwagens op de snelweg als gevolg van de aanwezigheid van files. Deze getallen zijn berekend door middeling van verbruik en emissies bij normale doorstroming en verbruik en emissies in de file, gewogen over de door vrachtwagens in normale doorstroming en in files afgelegde kilometers. Geconcludeerd kan worden dat het totale brandstofverbruik, alsmede de emissies van CO₂ en NO_x, door vrachtwagens op de Nederlandse snelwegen als gevolg van congestie met ongeveer een half procent toenemen. De emissies van CO, HC en deeltjes nemen tussen de 1 en de 2 % toe. De effecten op de totale emissies en verbruik van het vrachtverkeer, inclusief verkeer in stedelijk gebied en op buitenwegen, zullen waarschijnlijk kleiner zijn.

Dit neemt niet weg dat de effecten op lokale schaal wel aanzienlijk kunnen zijn. Wanneer in MER's ten behoeve van bijv. de aanleg van nieuwe snelwegen wordt gerekend met een normale doorstroming, dan kunnen de lokale emissies, en daarmee de milieuschade in de directe omgeving, met een factor twee of meer worden onderschat. Ook de blootstelling van weggebruikers aan uitlaatgasemissies tijdens het rijden in files kan aanzienlijk zijn. Deze aspecten verdienen zeker nader onderzoek.

11 Slotconclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Slotconclusies

1. Uit de voorgaande hoofdstukken kan geconcludeerd worden dat het brandstofverbruik van vrachtwagens bij het rijden in files tot 3 maal zo hoog kan zijn als bij een ongehinderde doorstroming over hetzelfde traject. Voor de componenten NO_x, CO, HC en PM kan gesteld worden dat de uitstoot in g/km significant toeneemt bij door congestie veroorzaakte afnemende gemiddelde snelheid.
2. Uit de uitgevoerde metingen blijkt dat er met de aanleg van doelgroepstroken voor vrachtwagens een reductie van de emissies en het brandstofverbruik behaald kan worden als dit een verhoging van de gemiddelde snelheid voor deze voertuigen en voor de personenauto's op de overige stroken tot gevolg heeft.
3. Berekeningen op basis van een schatting van de totaal door vrachtwagens in files gereden kilometers tonen aan dat het effect van de verhoogde emissies (in g/km) tijdens filerijden op de over de totaal verreden kilometers gemiddelde emissies (in g/km) tamelijk gering is. Verhoogde emissies tijdens filerijden kunnen echter wel een significante invloed hebben op de lokale luchtkwaliteit in de buurt van snelwegen met ernstige congestie.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

1. Het is zinvol om de gemeten en "nagespeelde cycli" nogmaals te meten met een ± 225 kW motor als het emissiemeetsysteem op de transiënt proefstand operationeel is. Dit vanwege de reeds genoemde beperkingen van de Warren-Spring mini-CVS. Gezien de voortschrijdende techniek en de constante vernieuwing van het wagenpark is het raadzaam om een Euro 2 motor te testen (met lage emissies in de 13-mode test).
2. De opgenomen cycli zouden vertaald kunnen worden naar de R49 13-mode of ACEA-OICA meetpunten met aangepaste weegfactoren volgens de methode beschreven in [1]. Dit biedt een eenvoudige methode om de effecten van filerijden ook voor andere voertuigen en motortypen in te schatten.
3. Vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op de vraag in hoeverre het toepassen van zwaardere motoren een toename van het brandstofverbruik tot gevolg heeft. Mogelijk dat een 45 tons combinatie met een 200 kW motor lagere emissies [g/km] en brandstofverbruik [l/100 km] heeft dan dezelfde combinatie met een 400 kW motor.

4. Het is zinvol om het model Versit HD nader te valideren met de beschikbare meetgegevens.
5. Op basis van de huidige metingen kunnen geen conclusies worden getrokken over de invloed van de dynamiek van rijpatronen op verbruik en emissies. Rijden in een hortende danwel vloeiend doorstromende file zal bij dezelfde gemiddelde snelheid andere resultaten opleveren voor verbruik en emissies.

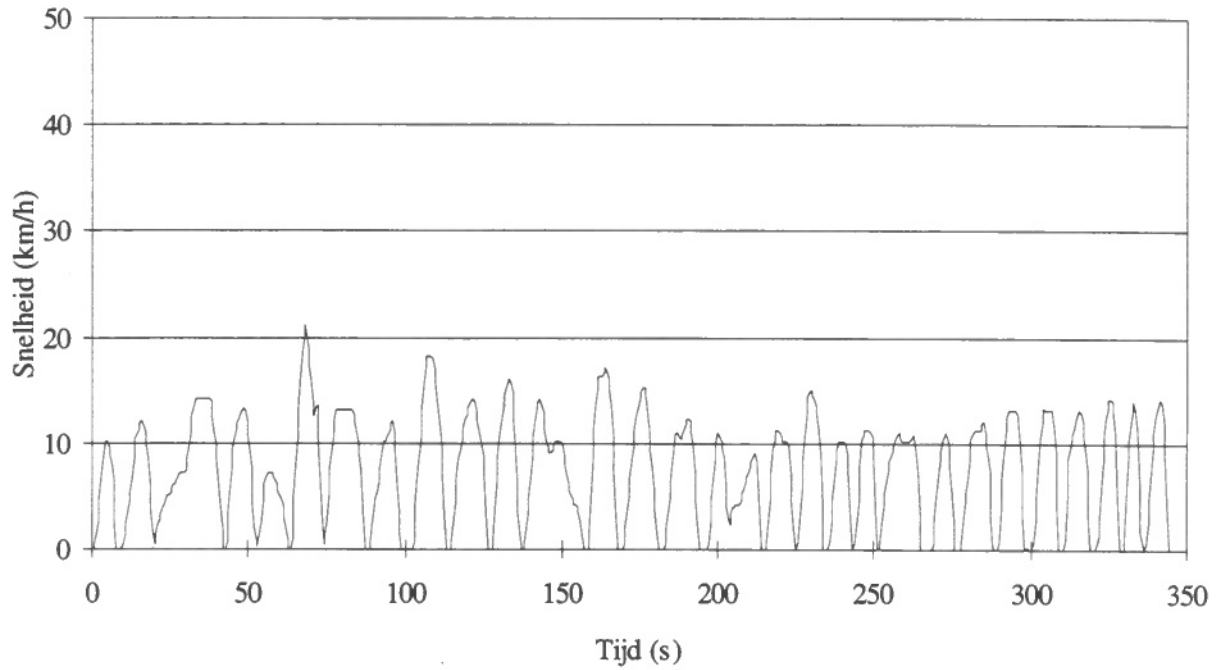
12 Referenties

- 1 Prediction of Urban Bus Cycle Emissions
C.J.T. van de Weijer MSc and R.S. Baert PhD MSc
Presented at IMechE - Autotech 95
Birmingham, November 7, 1995
- 2 The emissions of cars under real world driving conditions
R. Rijkeboer/K.J. van Steensel
TNO-rapport 735060117 van mei 1991
- 3 Richtlijn 91/441/EEG
Publikatie van de Europese Gemeenschappen
Aanhangsel 1, Tabel III.I.2
- 4 Diesel emissiefactoren II
TNO-rapport 731030007 van 7-02-1991
Figuur 26 en punt 4.3 op Blz.19
- 5 Emissiefactoren van zware dieselloertuigen
TNO-rapport 731930011 van mei-1990
Annex 2
- 6 Validation of the TNO modified Warren Spring mini dilution tunnel
TNO rapport 93.OR.VM.039.1/DH van 27-07-1993
Hoofdstuk 4
- 7 Richtlijn 91/441/EEG
Publikatie van de Europese Gemeenschappen
Bijlage III, punt 4.3.2
- 8 Richtlijn 91/441/EEG
Publikatie van de Europese Gemeenschappen
Aanhangsel 5, punt 2.4.3
- 9 Document VE/ACEA/26 van 10-01-1996
Draft annex amending 88/77/EEC
- 10 Evaluatie-onderzoek SDG-strook voor het vrachtverkeer op de A16 bij
Rotterdam
Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, directie Zuid Holland
januari 1994
- 11 Berekening van de optimale rijnsnelheid van personenauto's en vrachtwagens
minimale emissies en verbruik) op wegen met verschillende snelheidslimieten

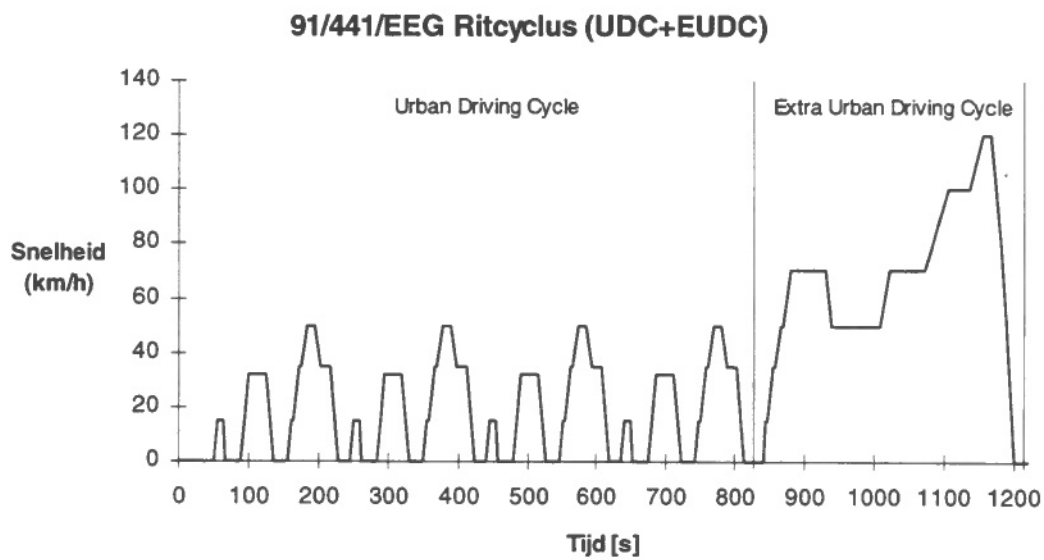
TNO-IMW
R91/315 1991

12 Filekosten op het Nederlandse hoofdwegennet in 1996
NEA, Rijswijk
970084\12576

Bijlage A Snelheids-tijddiagrammen

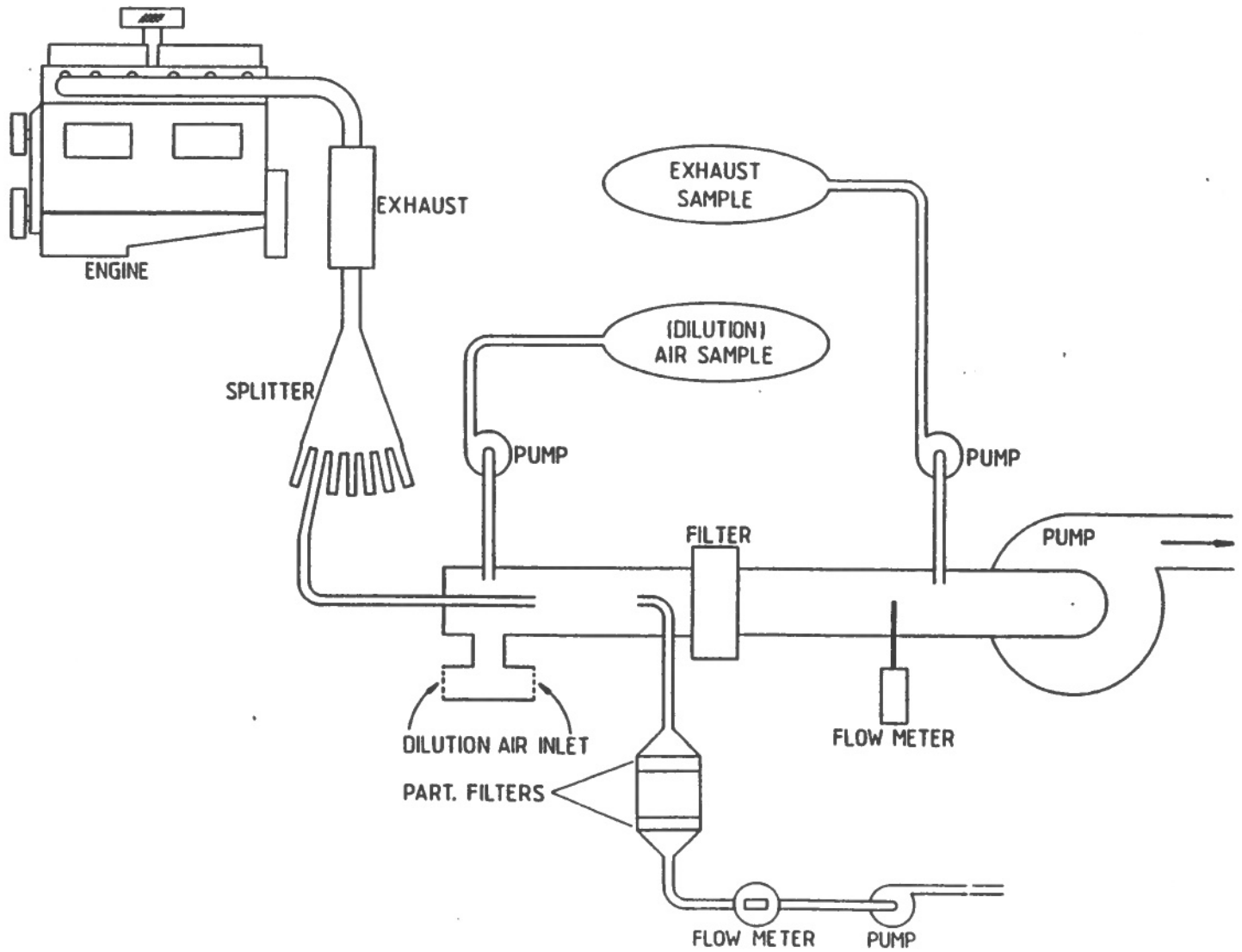


Figuur 15: Opgenomen file rit van een personenauto



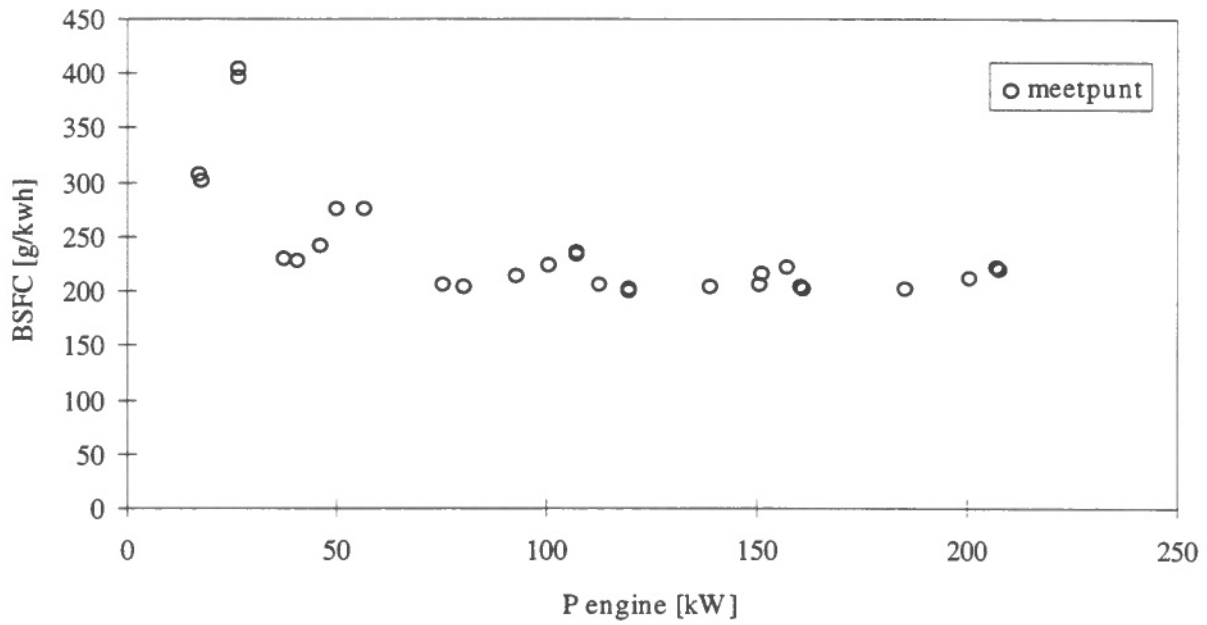
Figuur 16: Urban Driving Cycle(UDC) is het eerste deel van deEurotest (91/441/EEG)

Bijlage B Schematische voorstelling Warren-Spring mini-CVS-systeem

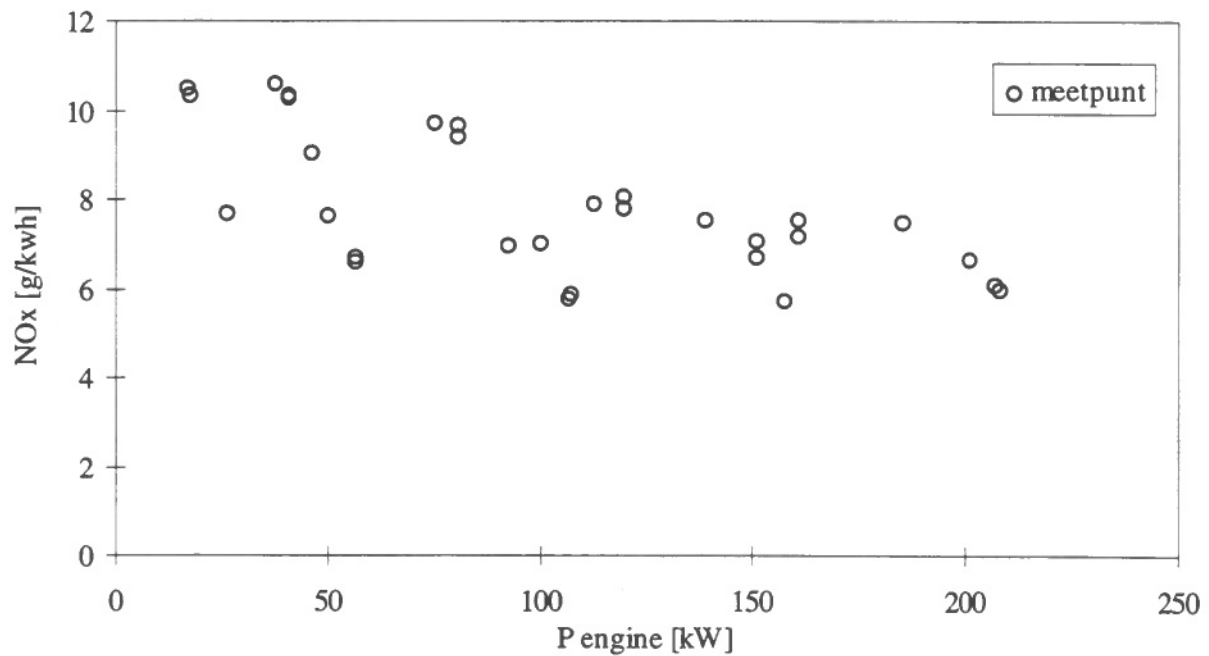


Figuur 17: Schematische voorstelling Warren-Spring mini-CVS systeem

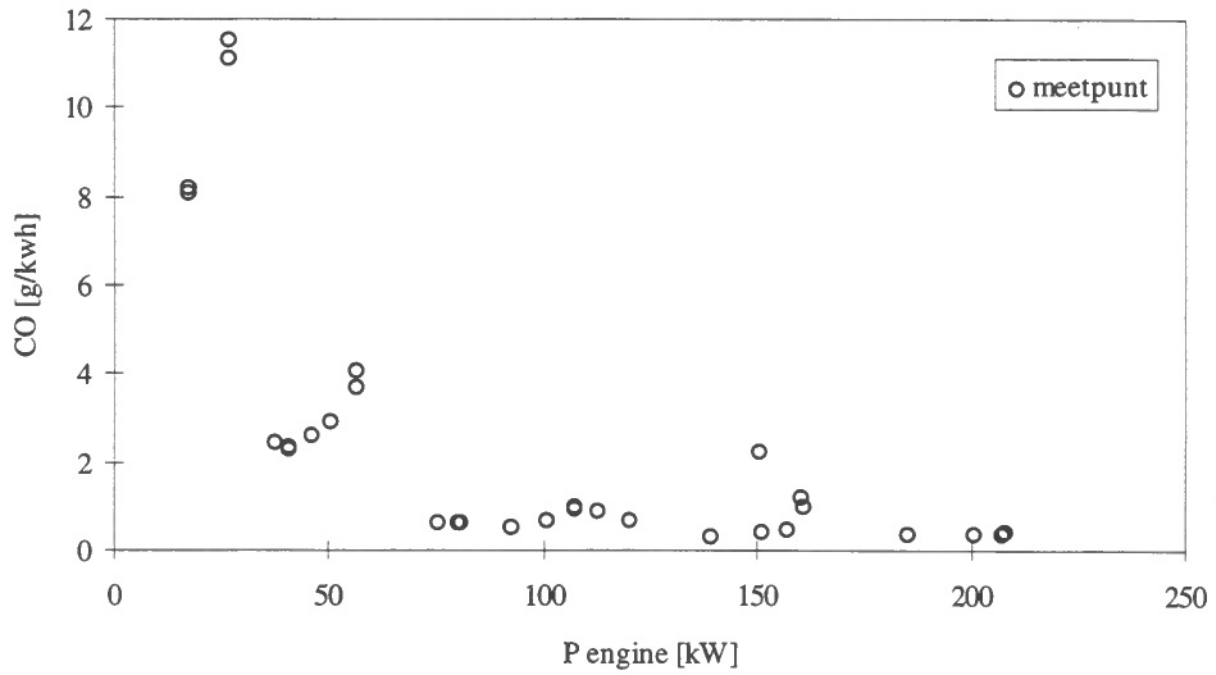
Bijlage C Meetresultaten van de statische metingen: R-49 en ACEA 13-mode testen



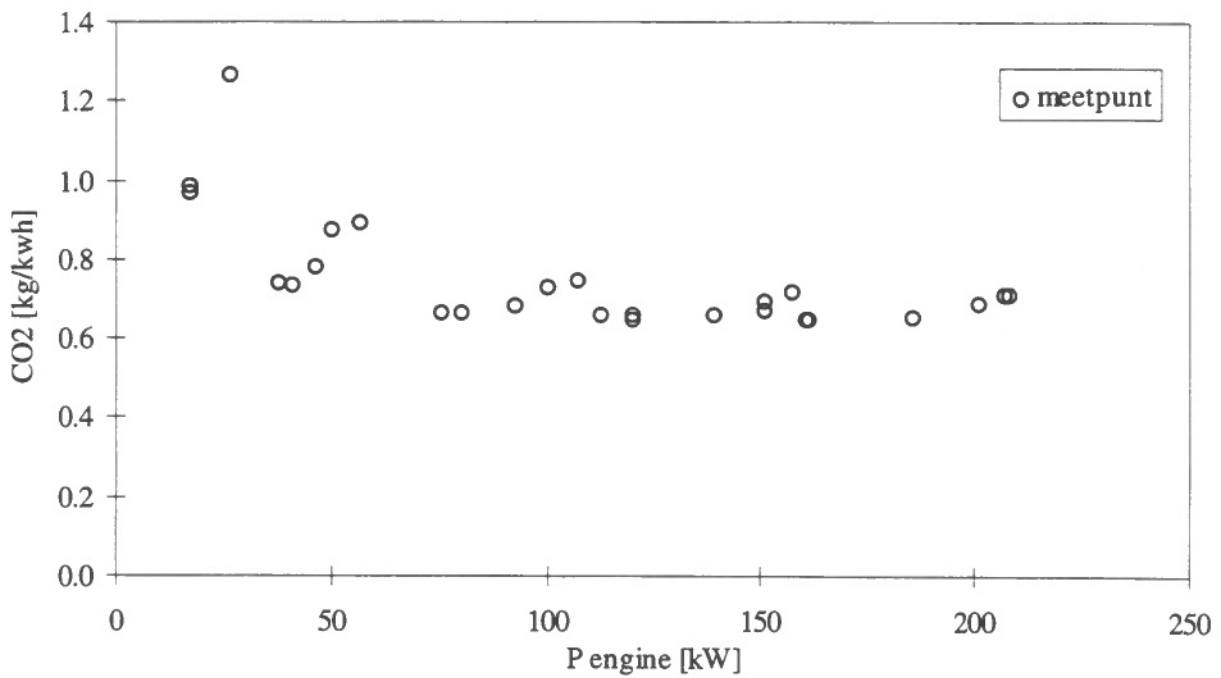
Figuur 18: Specifiek brandstofverbruik



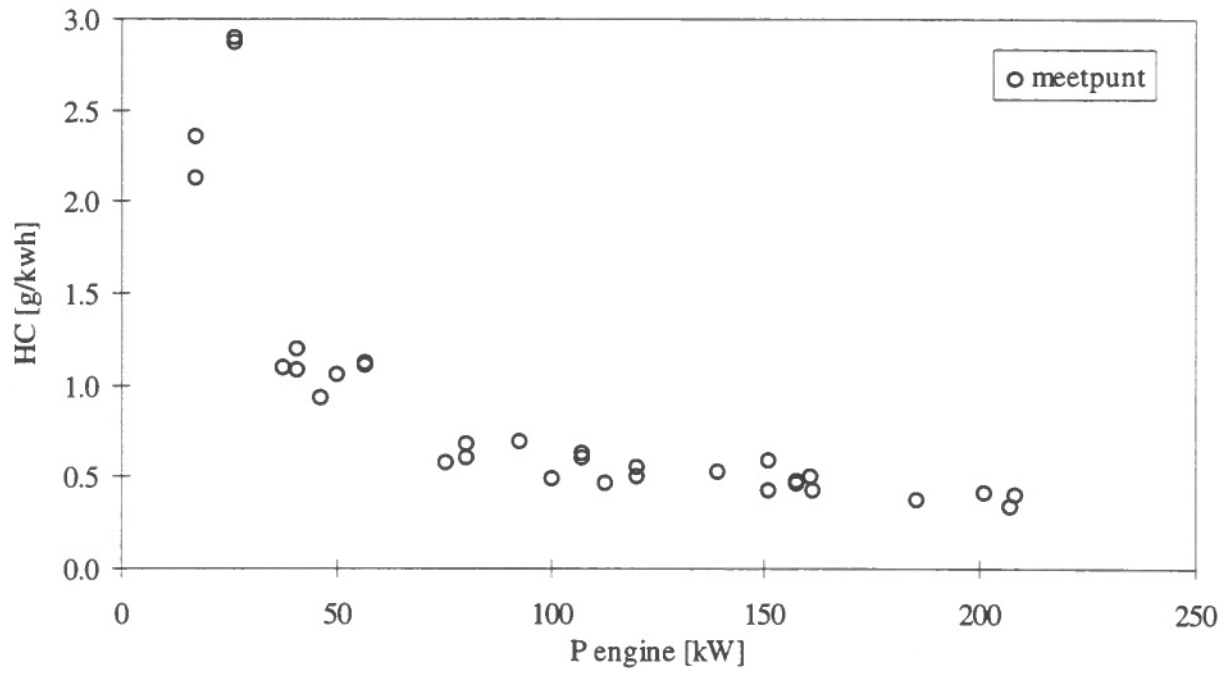
Figuur 19: NO_x-emissie



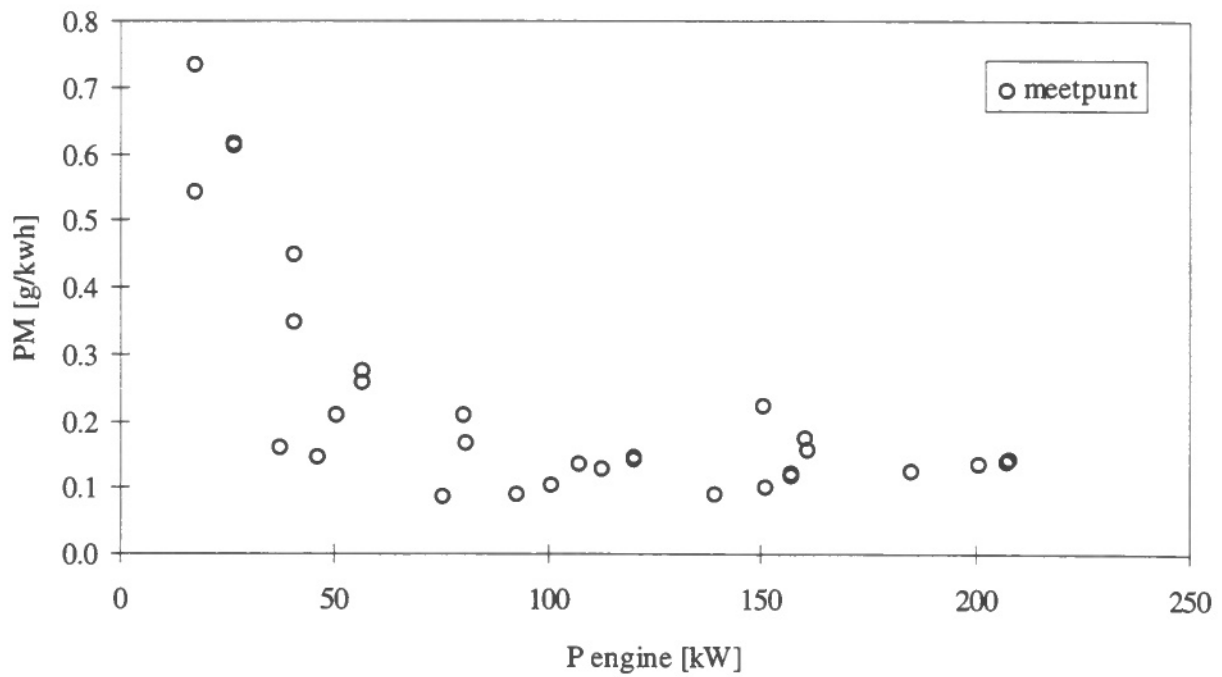
Figuur 20: CO-emissie



Figuur 21: CO₂-emissie



Figuur 22: HC-emissie

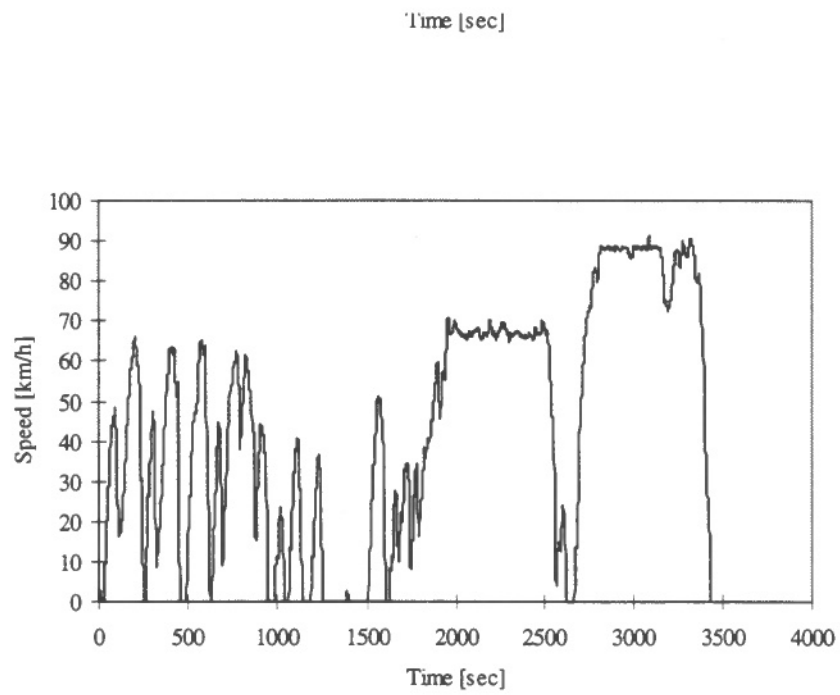


Figuur 23: PM-emissie

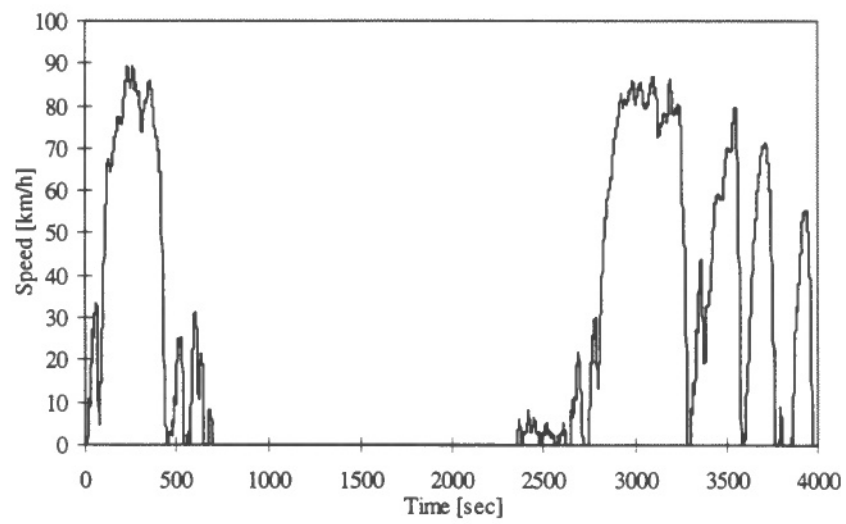
Tabel 6: Resultaten Steady State

		CO g/h	HC g/h	NOx g/h	PM g/h	brst verbr kg/h	CO2 kg/h
proefstand	13-mode test no 1	94.72	46.92	670.10	15.14	19.06	61.33
	13-mode test no 2	105.34	53.11	656.82	16.64	19.08	61.46
	ACEA test	90.98	55.56	742.36	13.06	21.13	68.30
rollenbank	13-mode test no 1	117.18	37.63	645.75	15.40		
	13-mode test no 2	104.64	28.78	639.18	13.95		
	ACEA test	83.49	32.26	780.86	11.67		
		CO g/kWh	HC g/kWh	NOx g/kWh	PM g/kWh	brst verbr g/kWh	CO2 g/kWh
	typekeuring	0.9	0.43	7.6	0.13		
	grenswaarden	4.5	1.1	8	0.36		
proefstand	13-mode test no 1	1.07	0.53	7.57	0.171	215.3	692.8
	13-mode test no 2	1.19	0.6	7.42	0.188	215.6	694.3
	ACEA test	0.989	0.604	8.07	0.142	229.7	742.5
rollenbank	13-mode test no 1	1.37	0.44	7.55	0.18		
	13-mode test no 2	1.2	0.33	7.33	0.16		
	ACEA test	0.88	0.34	8.23	0.123		

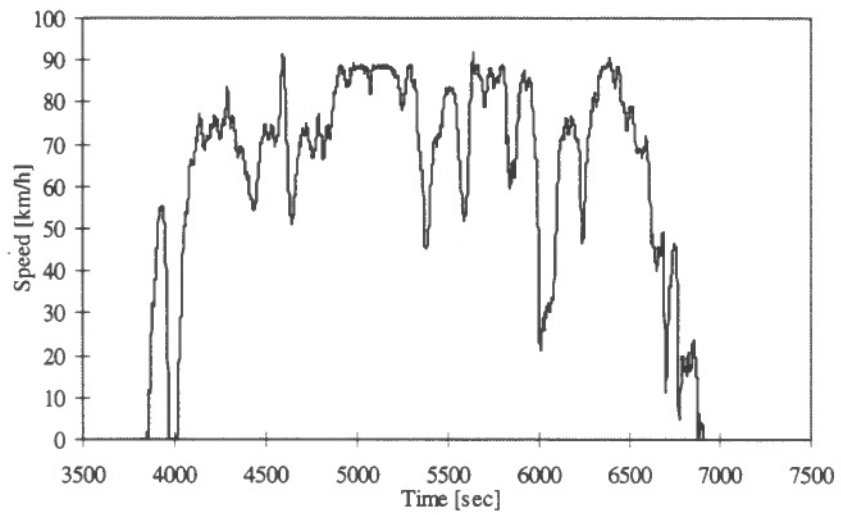
Bijlage D Alle opgenomen wegmetingen



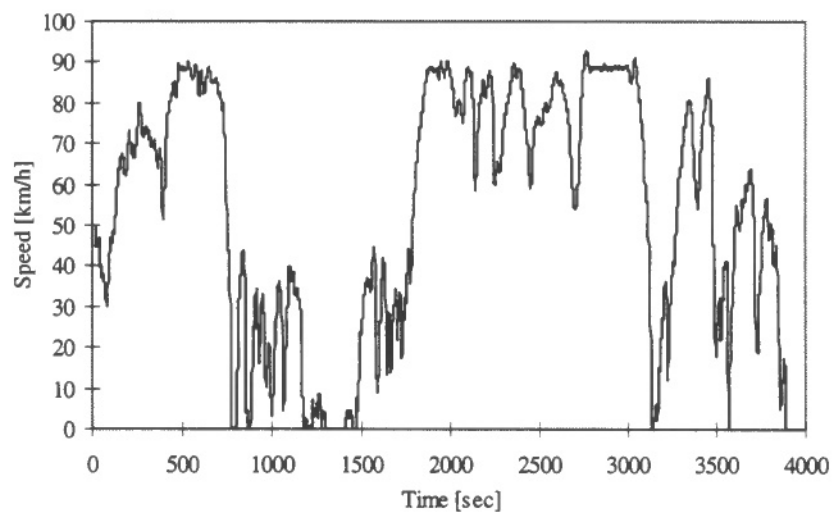
Figuur 24



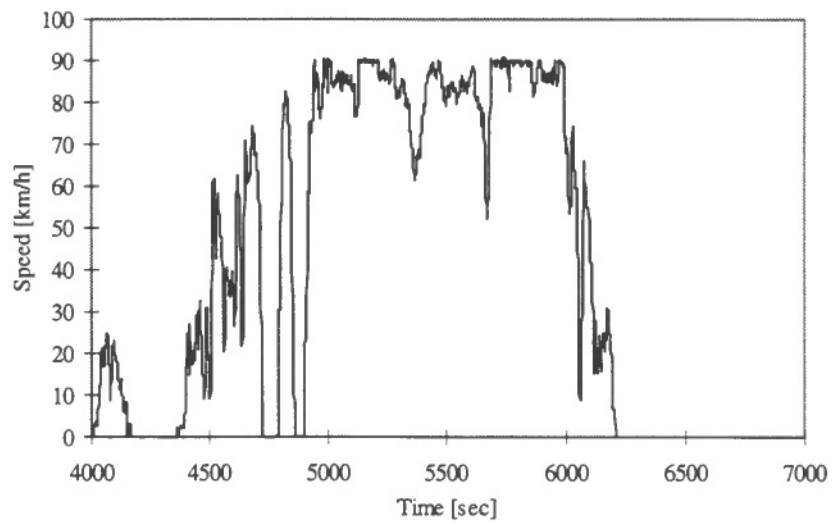
Figuur 25



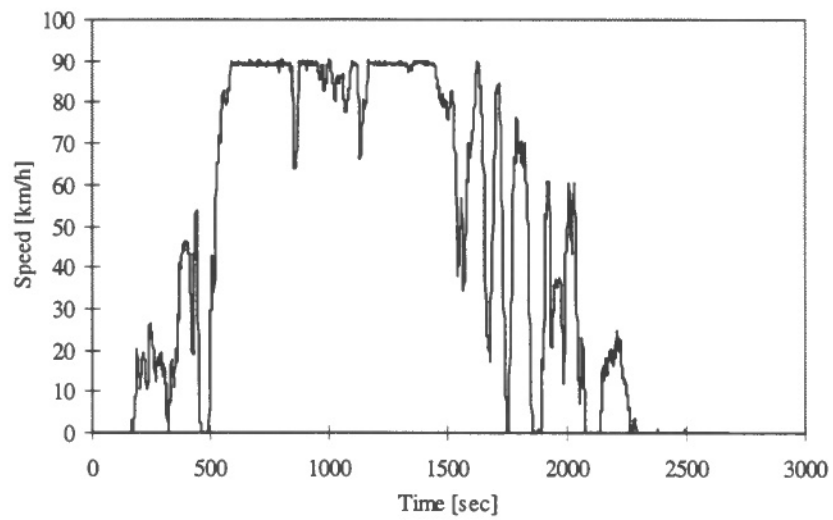
Figuur 26



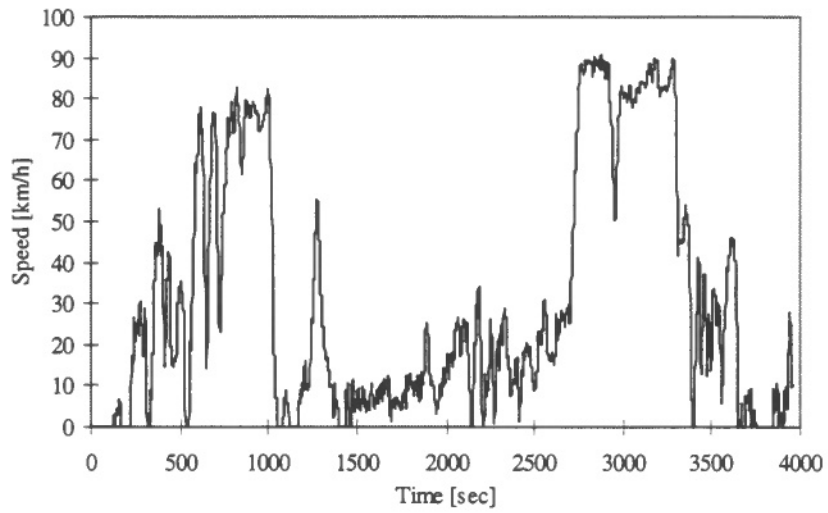
Figuur 27



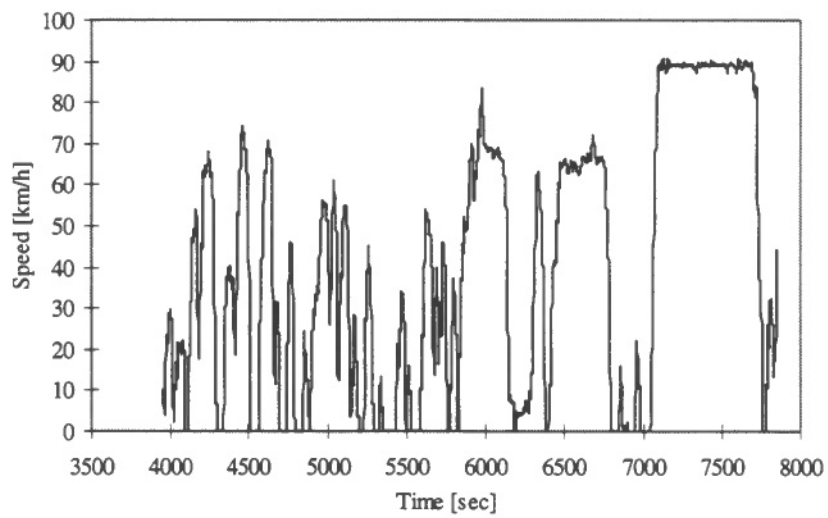
Figuur 28



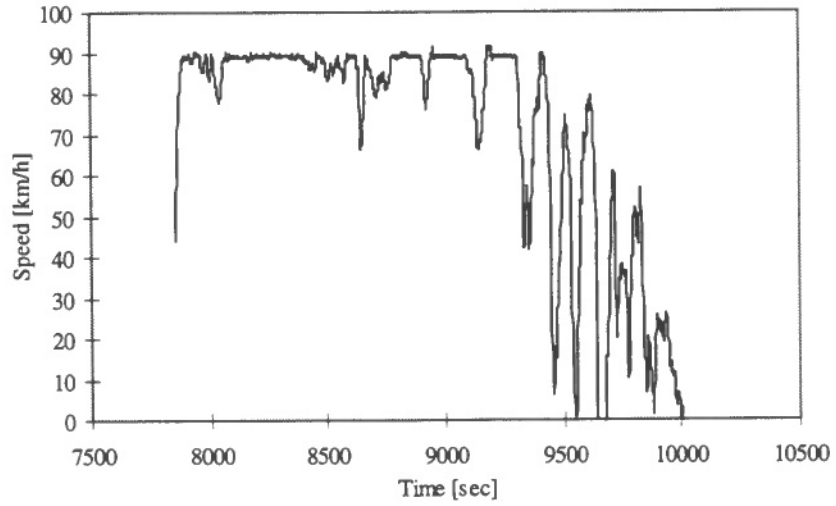
Figuur 29



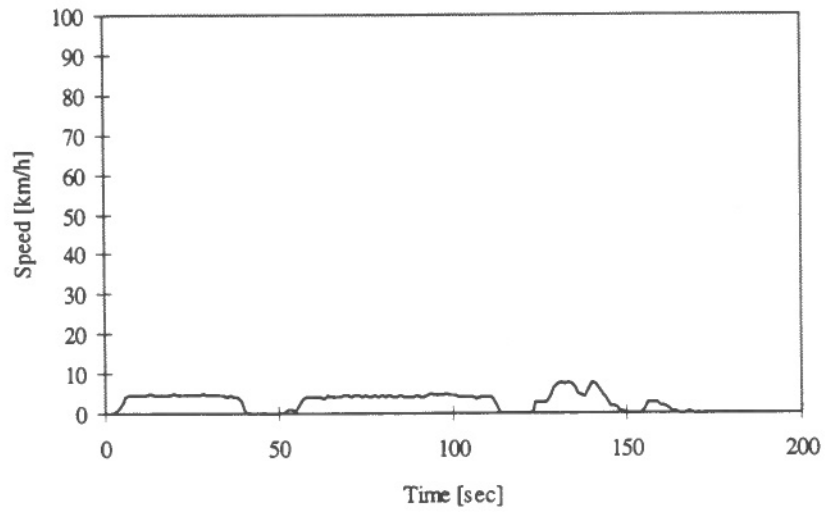
Figuur 30



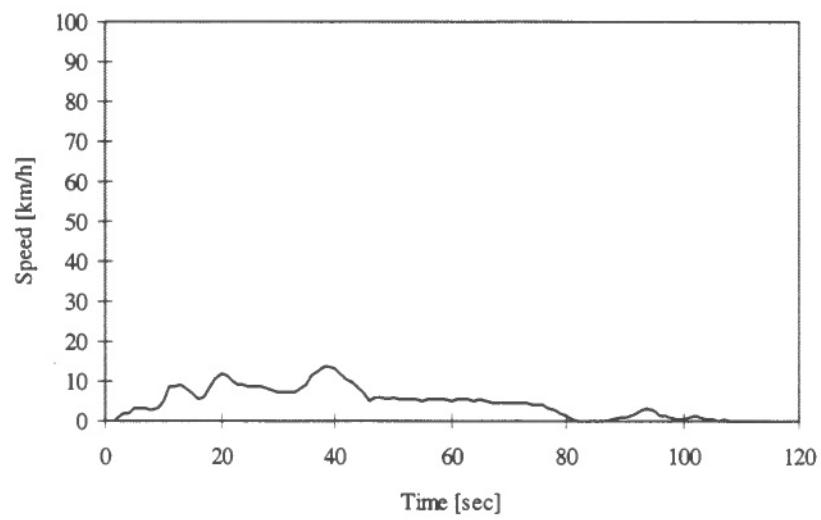
Figuur 31



Figuur 32

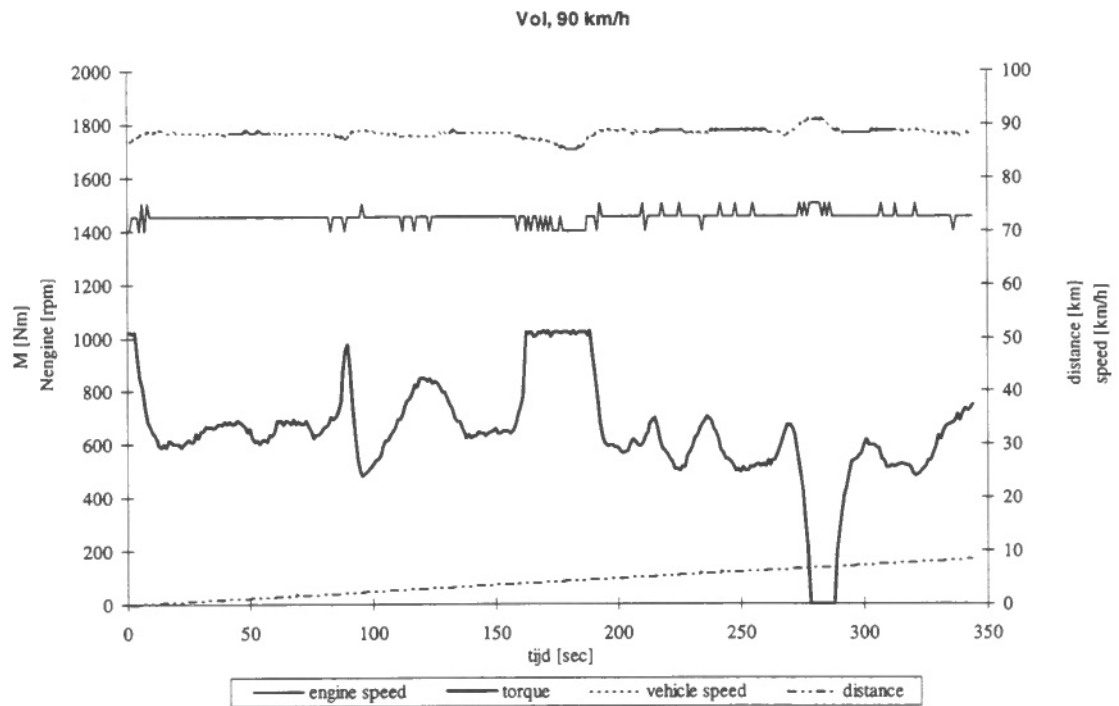


Figuur 33

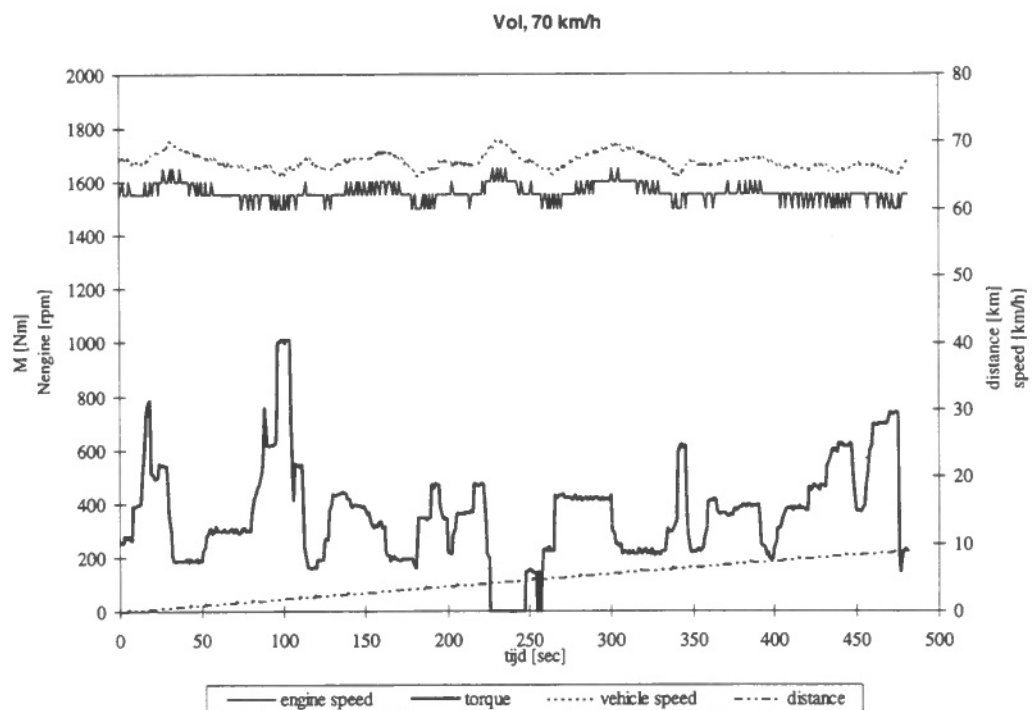


Figuur 34

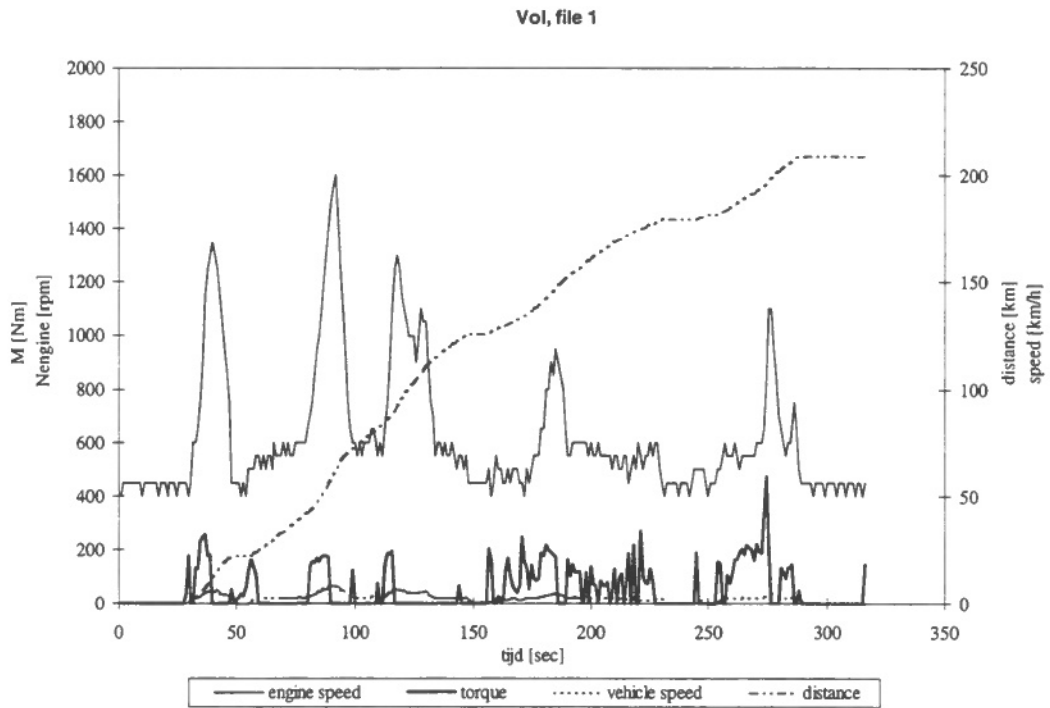
Bijlage E Wegmetingen gebruikt voor simulatie op transient proefstand



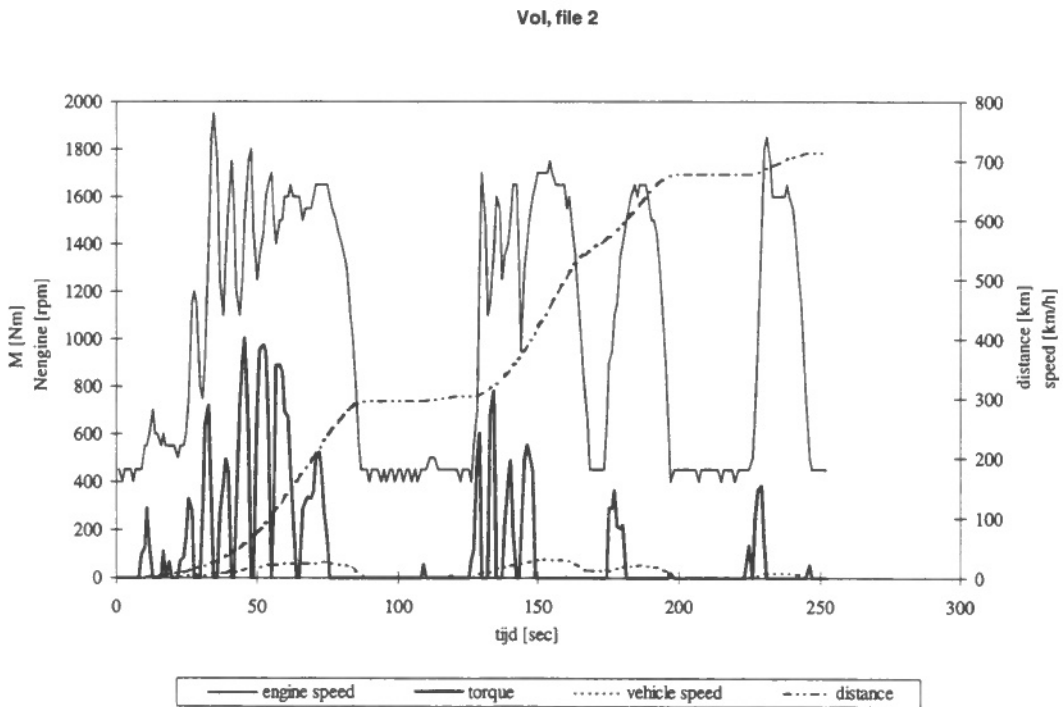
Figuur 35: Ritnummer 1, volle combinatie, gemiddelde snelheid 90 km/h



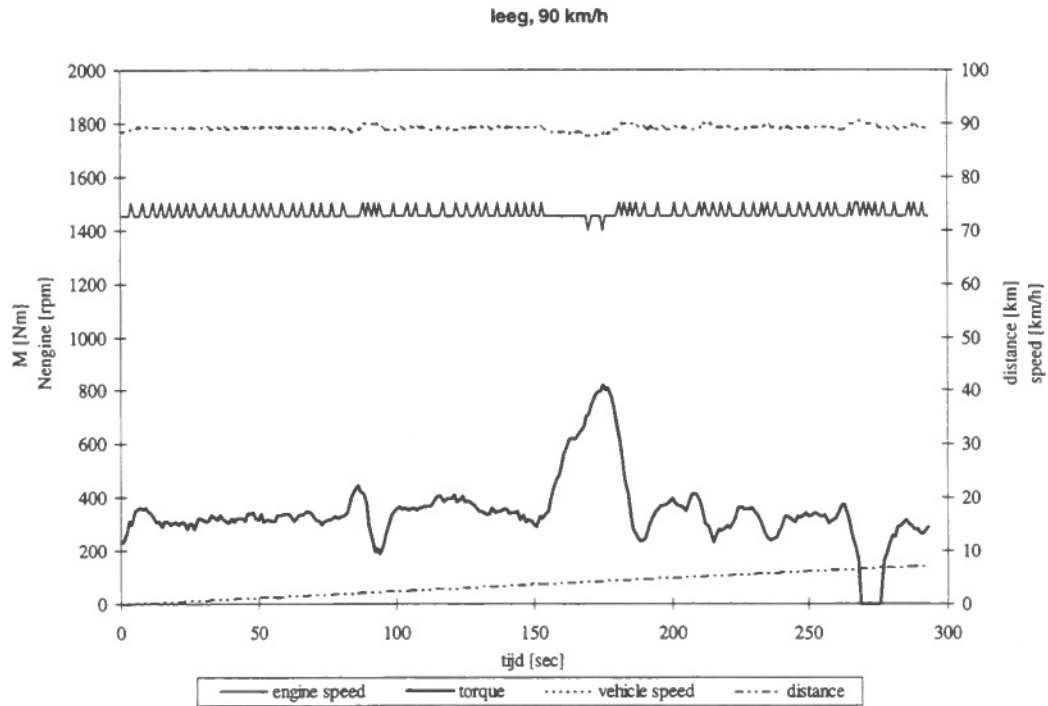
Figuur 36: Ritnummer 2, volle combinatie, gemiddelde snelheid 70 km/h



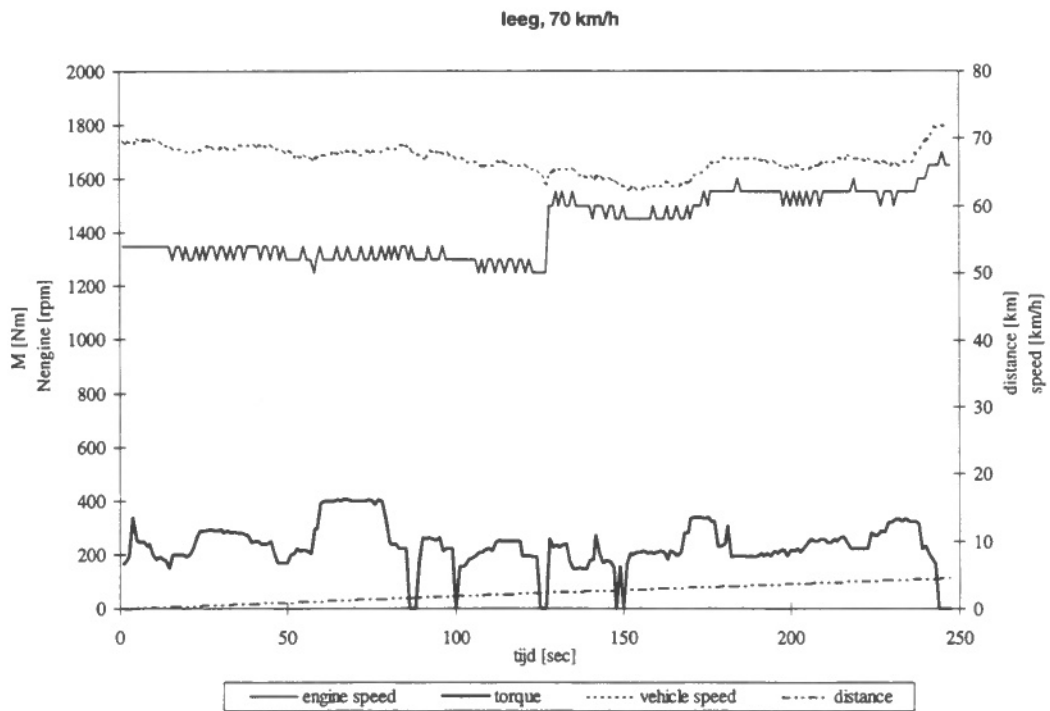
Figuur 37: Ritnummer 3, volle combinatie, file nummer 1



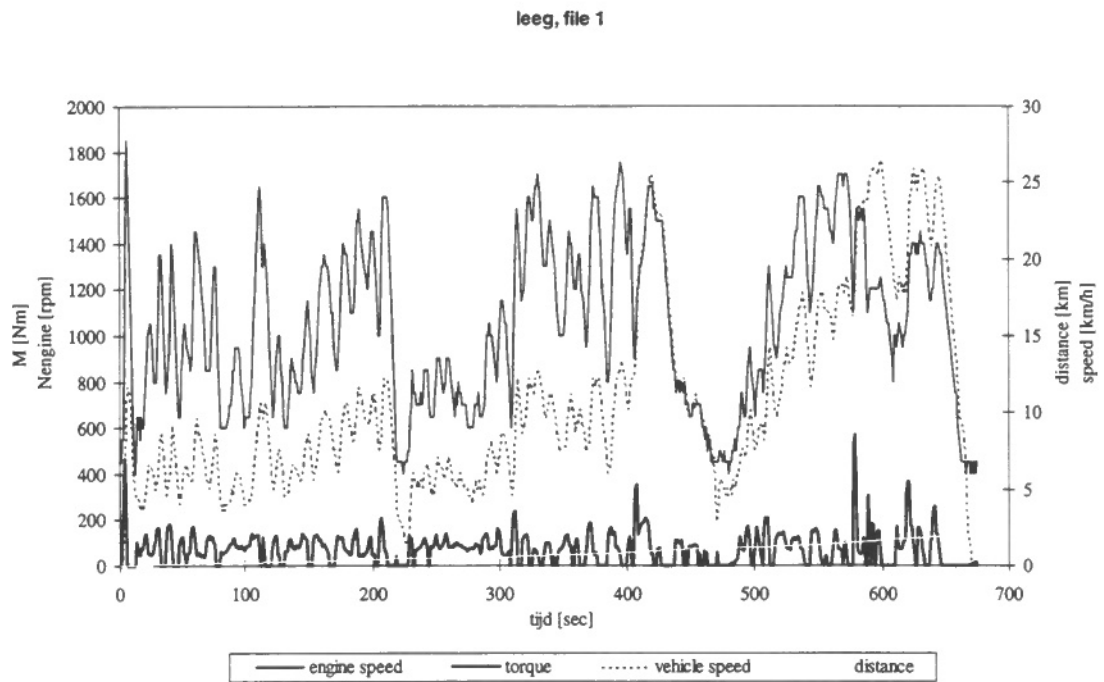
Figuur 38: Ritnummer 4, volle combinatie, file nummer 2



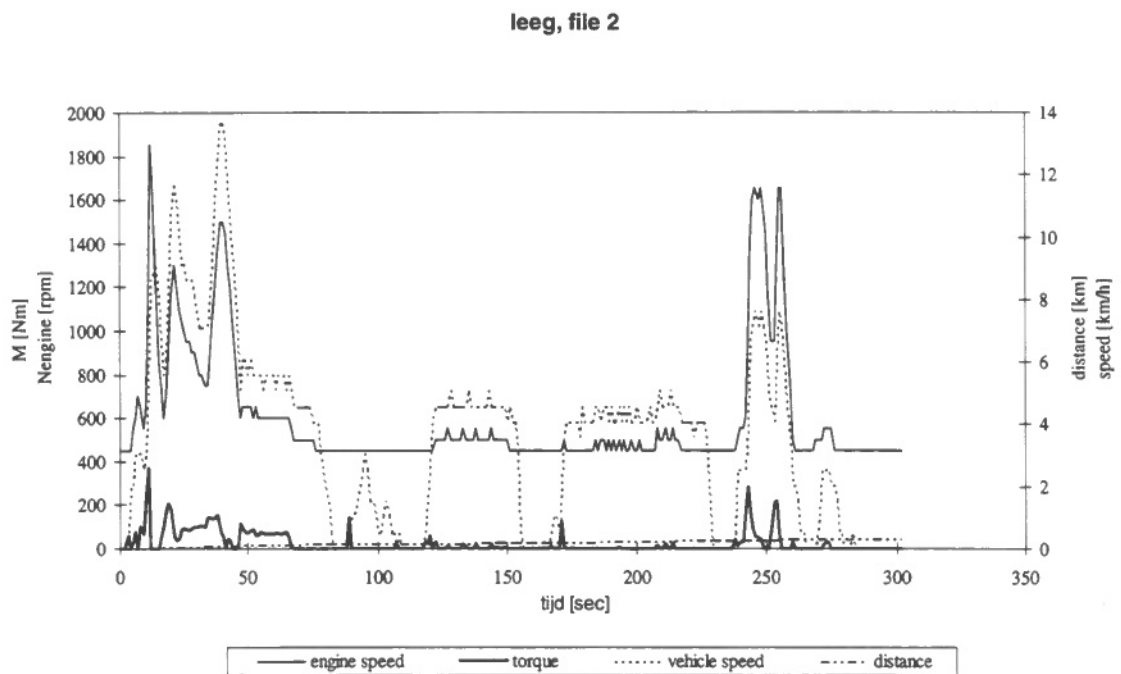
Figuur 39: Ritnummer 5, lege combinatie, gemiddelde snelheid 90 km/h



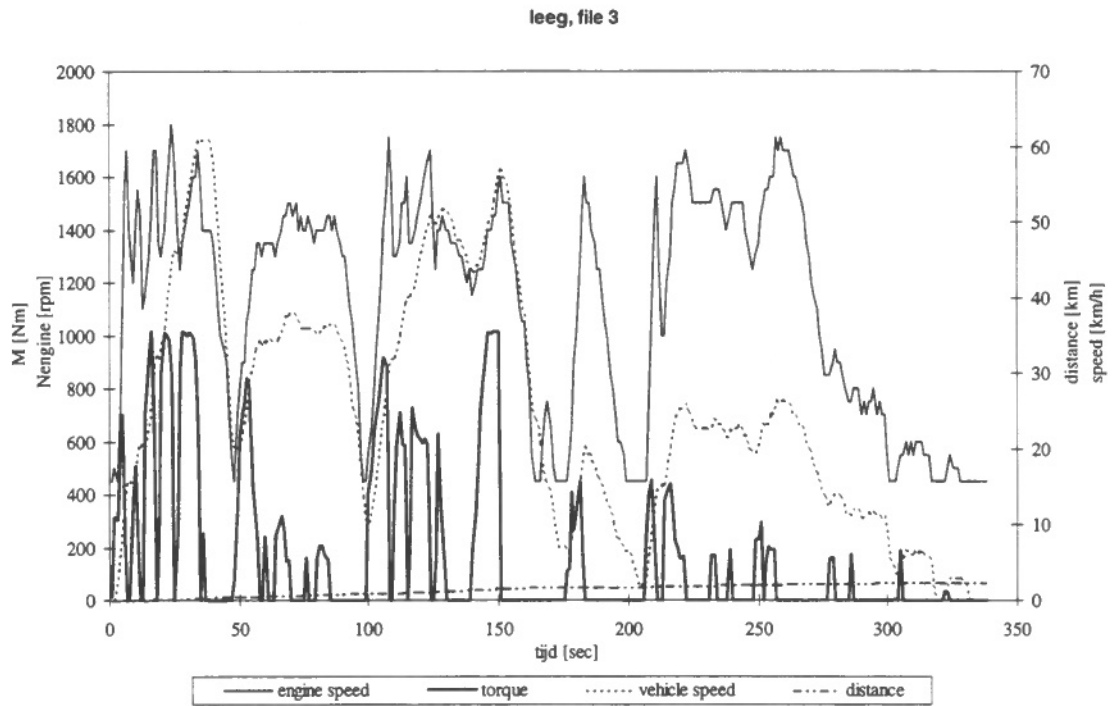
Figuur 40: Ritnummer 6, lege combinatie, gemiddelde snelheid 70 km/h



Figuur 41: Ritnummer 7, lege combinatie, file nummer 1



Figuur 42: Ritnummer 8, lege combinatie, file nummer 2



Figuur 43: Ritnummer 9, lege combinatie, file nummer 3

Bijlage F Meetresultaten van de op de transient proefstand gesimuleerde wegmetingen

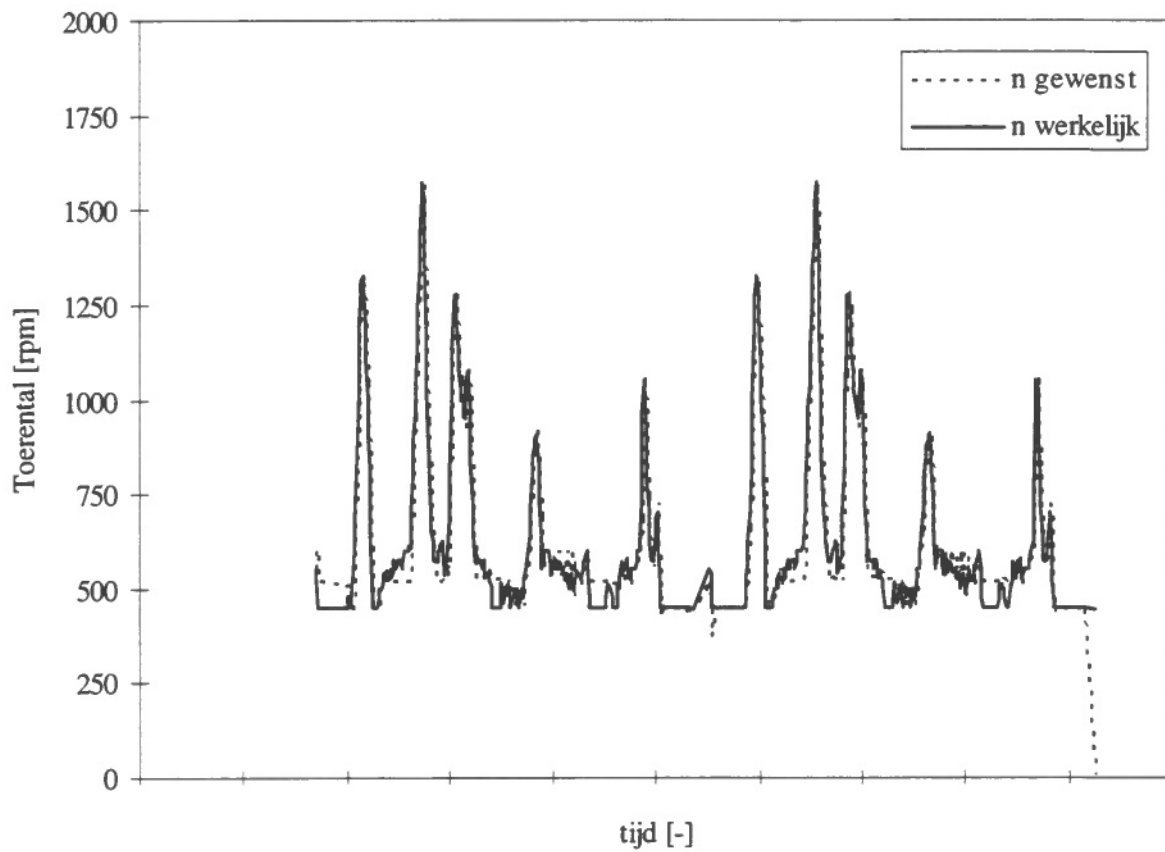
Tabel 7: Meetresultaten volle vrachtwagen

		90 km	70 km	file 1	file 2
engine speed	rpm	1400	1560	621	1000
vehicle speed	km/h	88	67	2	10
engine torque	Nm	643	357	51	123
distance	m	8410	8933	209	714
NOx	g/h	698.58	457.14	71.78	139.85
CO ₂	g/h	63.98	44.15	6.28	15.46
CO	g/h	58.37	74.59	17.16	48.53
HC	g/h	35.78	48.18	23.69	25.11
PM	g/h	14.15	9.31	2.62	6.32
brst verbruik	kg/h	71.77	49.30	5.56	16.32
NOx	g/kWh	7.42	7.88	13.51	8.66
CO ₂	g/kWh	679.58	760.60	1180.83	957.53
CO	g/kWh	0.62	1.29	3.23	3.01
HC	g/kWh	0.38	0.83	4.47	1.56
PM	g/kWh	0.15	0.16	0.50	0.39
brst verbruik	kg/kWh	211.74	235.93	290.21	280.71
NOx	g/km	7.91	6.82	17.87	13.62
CO ₂	g/km	724.66	658.97	2626.38	1506.77
CO	g/km	0.66	1.11	7.18	4.73
HC	g/km	0.40	0.72	9.91	2.45
PM	g/km	0.16	0.14	1.08	0.62
brst verbruik	g/km	225.79	204.41	645.65	441.72
	l/100 km	26.98	24.43	77.16	52.79
	1 op	3.71	4.09	1.30	1.89

Tabel 8: Meetresultaten lege vrachtwagen

		90 km	70 km	file 1	file 2	file 3
engine speed	rpm	1450	1430	1049	602	1115
vehicle speed	km/h	89	67	11	4	25
engine torque	Nm	346	232	72	24	173
distance	m	7230	4565	1994	300	2325
NOx	g/h	448.94	323.66	110.41	55.19	147.24
CO ₂	g/h	39.83	28.86	10.65	5.74	17.17
CO	g/h	69.70	95.02	69.15	28.29	60.55
HC	g/h	50.23	57.63	42.82	25.81	28.89
PM	g/h	8.94	9.80	4.76	2.36	7.62
brst verbruik	kg/h	44.35	31.86	10.94	5.27	18.35
NOx	g/kWh	8.54	9.52	14.16	29.80	7.24
CO ₂	g/kWh	757.27	848.77	1365.47	3104.00	843.82
CO	g/kWh	1.33	2.80	8.87	15.29	2.98
HC	g/kWh	0.96	1.70	5.49	13.97	1.42
PM	g/kWh	0.17	0.29	0.61	1.31	0.37
brst verbruik	kg/kWh	234.21	260.33	389.47	791.62	250.42
NOx	g/km	5.04	4.85	10.36	15.48	5.93
CO ₂	g/km	446.93	432.34	999.25	1610.62	691.59
CO	g/km	0.78	1.42	6.49	7.93	2.44
HC	g/km	0.56	0.86	4.02	7.24	1.16
PM	g/km	0.10	0.15	0.45	0.67	0.31
brst verbruik	g/km	138.23	132.60	285.01	410.75	205.25
	l/100 km	16.52	15.85	34.06	49.09	24.53
	1 op	6.05	6.31	2.94	2.04	4.08

Bijlage G Gewenst en werkelijk toerental van file nummer 1 met volle combinatie



Figuur 44: Gewenst en werkelijk toerental van filerit nummer 1 met volle combinatie