# Synopsis

Als laatste stap naar het aanbieden van klimaatneutrale passagiersreis per 2020, wil de Nederlandse Spoorwegen (NS) een duurzame invulling geven aan het vervangend busvervoer, zonder dat dit ten koste gaat van de betrouwbaarheid van de dienstverlening. Door de karakteristieken van het treinvervangend busvervoer – sterk variërende busvloot, sterk variërende plaats van inzet en, in geval van verstoringen, hoge tijdsdruk – lijkt de inzet van zero emissie aandrijvingstechnologieën vooralsnog lastig haalbaar. Het rijden op 100% renewable diesel biedt een kansrijke en betaalbaarder ontwikkelroute. In de Nederlandse busmarkt is echter nog beperkt ervaring met deze geavanceerde biobrandstof. Zodoende is NS samen met GoodFuels en de huidige uitvoerders van het treinvervangend busvervoer voor NS: Jan de Wit en Munckhof een pilot gestart. In die pilot hebben zeven bussen (Euro 3 tot en met Euro 6) ruim 130.000 kilometer afgelegd. In het bijbehorende meetprogramma is gekeken naar brandstofverbruik, technische prestaties van de motoren en operationele ervaring van de chauffeurs. Doel was het verkrijgen van inzicht in de geschiktheid van renewable diesel als klimaatneutrale oplossing. In de operatie bleek de inzet van renewable diesel zoals de inzet van een reguliere fossiele dieselbrandstof. De motoren presteerden goed en de chauffeurs merkten geen verschil. Hoewel de één-op-één vergelijking van verbruik niet eenvoudig is

– immers zijn deze praktijkwaarden een resultante van de complexe interactie tussen vele factoren en is verandering niet direct toe te schrijven aan enkel het type brandstof – lieten de deelnemende bussen tijdens deze pilot vergelijkbaar verbruik noteren als tijdens de referentieperiode. Al met al wordt geconcludeerd dat renewable diesel een eenvoudig te implementeren klimaatneutrale oplossing is zonder aanwijsbare negatieve consequenties voor de betrouwbaarheid van de dienstverlening en/of onderhoud aan het voertuig. Hernieuwbare diesel lijkt daarmee een realistische optie voor busvervoer met zeer variabele inzetlocaties en op langere afstanden.

# Achtergrond

De Nederlandse Spoorwegen (NS) heeft als ambitie haar reizigers per 2020 een klimaat-neutrale reis te bieden. Nu al rijdt de helft van de treinen op groene stroom afkomstig van steeds meer nieuwe windmolens die stapsgewijs in gebruik worden genomen. Per 2018 rijden alle elektrische treinen op windenergie. Daarmee is de ambitie echter nog niet waargemaakt. NS heeft namelijk altijd vervangend vervoer nodig. Enerzijds worden bussen ingezet tijdens geplande werkzaamheden, waaronder meerdaagse werkzaamheden op bepaalde spoortrajecten. Anderzijds dient busvervoer als achtervang wanneer door onvoorziene omstandigheden een bepaald baanvak tijdelijk niet beschikbaar is, bijvoorbeeld in geval van een aanrijding of een defect aan de infrastructuur of treinmaterieel.

Momenteel verzorgt Jan de Wit dit vervangend vervoer in de noordwestelijke regio van Nederland en neemt Munckhof de zuidoostelijke helft van het land voor haar rekening. Hoge mate van flexibiliteit is de belangrijkste vereiste die wordt gesteld aan de gecontracteerde busvervoerders. Immers moet het reizigersaanbod overal en op ieder moment opgevangen kunnen worden. Dit heeft een tweetal implicaties:

* Er is sprake van een **sterk variërende busvloot** en sterk variërende plaats van inzet. Veelal wordt de benodigde buscapaciteit bij derde partijen in de nabije omgeving gezocht (zgn. ‘charters’). Deze dynamiek bemoeilijkt inzet van zero emissie materieel.
* Er is in geval van verstoringen sprake van **hoge tijdsdruk**. Bussen dienen dan zo snel mogelijk ter plaatse te zijn. Er is geen tijd om eerst accubatterijen op te laden of te verwisselen of om het dichtstbijzijnde waterstof-laadstation te bezoeken.

NS wil weten hoe een duurzame invulling gegeven kan worden aan het vervangend busvervoer als laatste stap naar het aanbieden van een klimaat-neutrale passagiersreis, zonder dat dit te koste gaat van de kwaliteit van dienstverlening. In dat kader is een pilot en meetprogramma gestart naar de inzet van vloeibare biobrand-stoffen.

*Beleid: transitie naar een duurzamer brandstofmix*

Deze casus met vervangend busvervoer van NS geeft een vernieuwende interpretatie aan het nationale beleid ten aanzien van duurzame mobiliteit. In het kader van het SER Energieakkoord (2013) is een adaptieve en gerichte meersporenstrategie ontwikkeld, waarmee Nederland streeft naar een positie in de Europese voorhoede qua duurzame mobiliteit. Er is een reductie van 25Mton CO2 in 2030 ten opzichte van 1990 (-17%) gesteld voor alle mobiliteit op Nederlands grondgebied. Touringcars en OV-bussen wordt, ten opzichte van andere vormen van wegverkeer, een voortrekkersrol toegeschreven wat betreft het leveren van een positieve bijdrage aan zowel het mondiale klimaatprobleem als aan de lokale luchtkwaliteit.

*Praktijkinzichten ten aanzien van de transitieaanpak*

In dit kader heeft Tweede Kamerlid Stientje van Veldhoven heeft op 30 oktober 2014 een motie ingediend, waarin zij de regering onder meer verzocht heeft een uitrol- en investeringsagenda uit te werken ten aanzien van de transitie naar uitstootvrij openbaar busvervoer, waarin knelpunten in regelgeving en praktijk onderzocht en opgelost worden. In 2015 reageerde toenmalig Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu W.J. Mansveld (2015) per brief over de voortgang van deze uitrol. Hierin wordt het algemene beeld bevestigd dat in 2025, ondanks uitgesproken ambities, naar verwachting slechts 35 procent van de OV-bussen uitstootvrij kan rondrijden. Een drietal uitdagingen staat snelle uitrol van zero emissie busvervoer in de weg:

1. Financieringsbehoefte:
	* Gewenst eindbeeld is dat zero emissie bussen een zodanige Total Cost of Ownership (TCO) hebben dat zij concurrerend zijn met conventionele dieselbussen.
	* Er bestaat geen gedeeld beeld van de kosten van de transitie naar ZEB. Tot dusver is het overheersende beeld dat het verschil in TCO dusdanig groot is, dat nog onbekend is hoe die financieringsbehoefte voor verduurzaming van de Nederlandse busvloot afgedekt moet worden.
2. Technisch-operationele haalbaarheid:
	* Door de actieradius zijn zero emissie aandrijvingstechnologieën nu weinig kansrijk voor busvervoer over langere afstanden en nog niet beschikbaar voor dubbelgelede voertuigen.
	* Toegang tot / aanwezigheid van laadinfrastructuur
	* Impact van laadproces op de flexibiliteit en betrouwbaarheid van de dienstverlening.
3. Duurzaamheid:
	* Elektriciteit en waterstof zijn weliswaar schoon aan de pijp en dragen daarmee bij aan de luchtkwaliteit op de plek van inzet, maar deze energie wordt niet altijd opgewekt uit hernieuwbare bronnen. Bovendien worden duurzaamheidseisen continu aangescherpt, zoals van grijze stroom naar groene stroom naar ‘donkergroene’ stroom.

Deze praktijkinzichten zijn in lijn met het verwachte ontwikkelpad naar duurzaam wegverkeer zoals geschetst tijdens het SER visietraject (2014). Elektrificatie ligt voor de hand in een stedelijke omgeving, maar is vooralsnog geen kansrijke oplossing voor het bus- en vrachtvervoer over langere afstanden, zo concludeert de SER. Kortom, er is behoefte aan zowel overbruggings- en terugvalopties als aanvullende lange termijn oplossingen. Hier komen biobrandstoffen, inclusief (bio)LNG, in beeld als een meer aannemelijke route. Dit derde spoor – stapsgewijs een steeds schonere verbrandingsmotor draaiend op een hernieuwbare brandstof – wordt in recent onderzoek van DUINN (2015) tevens gepresenteerd als de meest betaalbare route naar duurzaam busvervoer.

De karakteristieken van het busvervoer zoals wordt verzorgd in opdracht van NS maakt dat met grote interesse wordt gekeken naar het bewandelen van dit derde spoor. Ervaringen in de Nederlandse busmarkt met het rijden op pure biobrandstof zijn echter beperkt. Met bussen aangedreven door elektriciteit en waterstof zijn daarentegen vele proeven gedaan. Om die reden heeft NS eigen initiatief genomen tot verder verkennen van het derde spoor. Gezien de middels deze unieke pilot opgedane ervaringen van toegevoegde waarde worden geschat voor bredere verduurzaming van het (zware) wegverkeer, deelt NS deze graag in de vorm van dit rapport.

# Pilot

## Opzet

|  |  |
| --- | --- |
| **Brandstof** | GoodFuels Renewable Diesel |

**Looptijd** 5 maanden

**Gereden afstand** >130.000 kilometer

**Projectpartners** Opdrachtgever / Initiatiefnemer

Brandstofleverancier / Projectcoördinator

Busvervoerders

Busfabrikanten

**Deelnemende bussen**

(zie bijlage I)

4 Scania Euro 6 bussen van Jan de Wit

1 VDL Euro 5 bus van Munckhof

 2 Volvo Euro 3 bussen van Munckhof

**Tankinfrastructuur** Home-based pompinstallaties:

* In Haarlem bij het hoofdkantoor van Jan de Wit

  In Horst bij het hoofdkantoor van Munckhof

De inzet van een geavanceerde biobrandstof stond centraal in deze pilot. De renewable diesel zoals geleverd door GoodFuels is een pure Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) volledig geproduceerd uit afgewerkt frituurvet. Bij inzet van deze paraffinische dieselbrandstof gemaakt uit afval, zoals industriële vetten, worden tank-to-wheel CO2 emissies tot nul gereduceerd. Deze reductie – zo ook de nationale klimaatdoelstellingen – gelden volgens de IPCC definitie. Zoals ook uitgelegd in de Brandstofvisie (2014), geldt voor de verkeerssector de inzet van biobrandstoffen, elektriciteit en waterstof als zero-emissie.

Behalve aan het klimaat draagt renewable diesel bij inzet in motoren tot en met EURO V bovendien bij aan verbetering van de lokale luchtkwaliteit. Zoals onderstreept in TNO rapport R10588 hebben de verschillende paraffinische dieselbrandstoffen – o.a. renewable diesel en GTL – een gelijksoortig effect op de verbranding in dieselmotoren. Inzet resulteert in lagere NOx- en PM-emissies en een lager motorgeluid Kitano (2005).

Renewable diesel is in haar pure vorm (100%) direct inzetbaar in bestaande dieselmotoren. Er zijn geen aanpassingen aan voertuig nodig. Ook de tankinfrastructuur vereist geen aanpassingen om op beperkte schaal op hernieuwbare diesel te gaan rijden. Uiteraard vraagt aantoonbaar op 100% hernieuwbare diesel rijden wel een aparte tankvoorziening bij de betreffende vervoerder . Bovendien betekent de zgn. ‘drop-in’ kwaliteit dat vrijelijk gemengd en afgewisseld kan worden met fossiele diesel. Renewable diesel voldoet aan de EN15940 norm voor synthetische diesel en geblend met fossiele diesel kan de blend voldoen aan de EN590 norm. Bepalend voor de hoeveelheid renewable diesel die nog binnen de EN590 kan worden toegevoegd is met name de dichtheid van de fossiele diesel, gezien renewable diesel lichter is dan de ondergrens van de EN590 (0.82 kg/liter). In geval van afgewerkt frituurvet kan momenteel tot 30% renewable diesel worden bijgemengd binnen de grenzen van de EN590. Het staat de vervoerder vrij om deze ‘lage blends’ in te zetten in haar dieselmotoren, ongeacht fabrikant. Het merendeel van de motorfabrikanten zelf stelt zich bovendien proactief op in het vrijmaken van de weg voor verregaander verduurzaming. In hun uitgebreide laboratorium- en praktijktesten wordt de hoogwaardige kwaliteit van renewable diesel bevestigd. Zodoende heeft een aantal van de motorfabrikanten in het bussegment per 2015 of 2016 al toestemming gegeven voor het gebruik van hogere blends (tot aan 100% renewable diesel) in Euro 5 motoren, met behoud van motorgarantie. Na het doen van de vereiste emissietesten voor Europese typegoedkeuring heeft een aantal koplopers, waaronder Scania, inmiddels ook haar goedkeuring gegeven voor bussen met Euro 6 motoren.

Voor de pilot gold een tweetal uitgangspunten. Allereerst dat deze uitgevoerd zou worden in samenwerking met beide contractpartners van NS en met een representatieve mix van bussen. Het zevental voertuigen zoals

geselecteerd verschilt sterk in leeftijd en type motor (zowel fabrikant als emissienormering). Een tweede uitgangspunt was continuïteit van de inzet van 100% renewable diesel. Om dit te kunnen garanderen is gekozen voor bussen die point-to-point routes rijden, oftewel: bussen die na hun dienst te allen tijde terugkeren op het hoofdkantoor waar de bio-tankinstallatie staat. Zodoende zijn de bij de pilot gereden kilometers niet direct gekoppeld aan het vervangend vervoer voor de NS.

## Doelstellingen

Doel van de pilot en het bijbehorende meetprogramma was inzicht te krijgen in de geschiktheid van renewable diesel als klimaat-neutrale oplossing ten behoeve van het vervangend busvervoer, alsmede het doen van een inventarisatie van te treffen implementatiemaatregelen.

Allereerst biedt een live pilot de betrokken partijen in de gelegenheid om operationele ervaring op te doen. Speciale aandacht ging uit naar de technische prestaties van de motoren bij gebruik van renewable diesel en eventuele consequenties daarvan voor de betrouwbaarheid van de dienstverlening en onderhoud van het voertuig. Hiertoe werd operationele feedback vanuit de deelnemende chauffeurs verzameld, smeerolie getest en data uit het motormanagementsysteem geanalyseerd. Daarnaast ging de interesse van NS uit naar veranderingen in het brandstofverbruik, om zo een beter beeld te krijgen van de meerkosten van een overstap op renewable diesel. Startpunt voor het onderzoek naar de geschiktheid van renewable diesel was het betrekken van een aantal relevante stakeholders. In aanloop naar de pilot is GoodFuels in nauw contact geweest met de deelnemende busfabrikanten Scania, Volvo en VDL om te zorgen dat de inzet van renewable diesel ook door hen ondersteund zou worden.

Wat niet is gemeten in deze pilot is de gerealiseerde emissiereductie aan de uitlaatpijp. Hoewel het elimineren van broeikasgassen voor NS de primaire reden is tot overweging van een overstap op biobrandstof, is besloten dat er geen directe aanleiding was tot opname van Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) testen in het meetprogramma. Recentelijk (2011) is dit type test door VTT uitgevoerd met 100% renewable diesel tijdens een grootschalige trial (>1.5 mln km) met OV-bussen in Helsinki. Hierover zijn de volgende resultaten bekend:

“*Regarding urban air quality and health effects, nitrogen oxides (NOx) and particulate matter (PM) are the most critical emission components. The response of older Euro II and Euro III engines to HVO is quite straightforward, as both NOx and PM emissions are reduced when switching to pure HVO. For the newer Euro IV, Euro V and EEV certified vehicles, there are more variables affecting the response to HVO fuel. Based on 11–17 vehicles, half of them Euro IV or newer, the average reduction in regulated emissions of were found -30% PM and -10% NOx. For diesel engines, carbon monoxide (CO) and total hydrocarbons (THC), although not as critical, are regulated as they are unwanted emissions with health effects, but the regulatory limit values are normally easily met. The average reduction measured in Helsinki was -30% CO and -40% THC.”*

Tevens heeft TNO in 2014 PEMS testen uitgevoerd specifiek met motoren tot en met Euro 5. Zoals gepresen- teerd in de Factsheet Brandstoffen voor het Wegverkeer (2014), zoals opgesteld door CE Delft en TNO, werden bij gemengde inzet (10% stad, 20% buitenweg en 70% snelweg) van Euro 5 bussen op 100% renewable diesel een reductie van -10% NOx en -20% fijnstof geconstateerd. Deze externe meetresultaten zijn representatief en betrouwbaar en derhalve als gegeven en verondersteld voor deze pilot. Als zodanig heeft NS besloten dat deze emissiereducties voldoende rechtvaardiging geven wat betreft de effectiviteit van de oplossing. De pilot zoals geïnitieerd richt zich daarom op de geschiktheid en haalbaarheid van inzet van renewable diesel in de dagelijkse praktijk van haar contractpartners voor het vervangend busvervoers.

# Meetprogramma

## Meetmethodiek

*Brandstofverbruik*

Tijdens de pilot is brandstofverbruik op een tweetal manieren gemeten om zo dicht mogelijk de werkelijkheid te kunnen benaderen. Ten eerste is door de chauffeurs de tankadministratie bijgehouden, zowel handmatig als via het systeem op de pomp met niveausignalering. Bij iedere tankbeurt dient de chauffeur zich met de bij de bus behorende elektronische sleutel te identificeren en de kilometerstand in te voeren voordat de slang wordt

vrijgegeven. Vervolgens bepaalt de flowmeter in de tankinstallatie hoeveel brandstof er wordt ingenomen. Daar waar er sprake was van incorrecte of ontbrekende waarden in de uitgelezen data van de tank, is dit vergeleken en zo nodig aangevuld met de data op basis van de handmatige administratie. Doorgaans geldt voor dergelijke, geijkte tankinstallaties een maximale onnauwkeurigheid van ±0.2%.

Ten tweede is bij de Scania Euro 6 bussen verbruiksdata verzameld via het motormanagementsysteem (MMS). Dit verbruik betreft echter geen meetwaarde, maar een berekende waarde. Deze berekende waarde is indien gewenst wel te corrigeren in het MMS middels een kalibratiefactor, echter is dat niet gedaan om zo een zuiver beeld te houden ten opzichte van de referentieperiode in 2015 waarin het MMS ook niet gekalibreerd was op actuele dichtheid. Om te corrigeren voor het verschil in dichtheid tussen renewable diesel en fossiele diesel is het door het MMS berekende verbruik voor de pilotperiode, conform de wet van Bernoulli, met 2.5% naar boven bijgesteld (voor toelichting zie bijlage IV). Met andere woorden, bij de hierna gepresenteerde conclusies is uitgegaan van een hoger verbruik van renewable diesel dan aangegeven door het MMS.

Veranderingen in verbruik zijn berekend ten opzichte van dezelfde winter-voorjaars periode (medio januari tot medio mei) in 2015. Hierbij is gecontroleerd voor inzet en rijgedrag. Om een valide vergelijking te kunnen maken zijn bussen geselecteerd die zoveel mogelijk vaste routes, of in ieder geval een vergelijkbare inzet, zouden gaan/kunnen rijden als het jaar ervoor, een gegeven dat na afloop van de pilot is gecontroleerd op basis van het overzicht van gereden ritten (zie bijlage II). Bussen die significant anders ingezet zijn – denk aan gemiddelde snelheid, gebruik cruise-control, aantal (harde) beremmingen – dan in de referentieperiode zijn niet meegenomen in de evaluatie, omdat er dan geen eerlijk vergelijk mogelijk is. Bovendien is gestreefd naar een beperkt aantal vaste chauffeurs per bus en is via MMS data achteraf gecontroleerd op substantiële andere verdeling van tijd per bedrijfsmodus, i.e. rijden versus stationair draaien (zie bijlage IV).

Tot slot is van belang te vermelden dat tijdens die referentieperiode de bussen van Jan de Wit wel op een reguliere EN590 diesel hebben gereden, maar de bussen van Munckhof op XMILE, een EN590 diesel met zgn. enzymatisch additief wat volgens de leverancier een lager verbruik zou opleveren. Vanwege het gebrek aan wetenschappelijk bewijs voor het effect van die additief, zijn verbruikswaarden hier niet voor gecorrigeerd.

*Technisch: smeerolie*

Smeerolie is ververst bij aanvang van de pilot om bij nabehandeling van de bussen monsters te kunnen nemen van de smeerolie zoals gebruikt tijdens de pilot. Smeeroliemonsters zijn uitgebreid getest in het Inspectorate laboratorium op vervuiling door metaalslijtage en neergeslagen roet, Totale Acid Number (TAN), Total Base Number (TBN), watergehalte, vlampunt en viscositeit conform de daarbij behorende analysevoorschriften.

## Hypothesen

*Operationeel*

De verwachting was dat de chauffeurs, behalve het moeten tanken vanuit een separate installatie, weinig zouden merken van de pilot. Een eventueel verschil in het door de motor geleverde vermogen bij inzet van renewable diesel is volgens de busfabrikanten dusdanig klein dat het kunnen opmerken daarvan onwaarschijnlijk is. Immers beschikken de motoren over aanzienlijk meer vermogen dan nodig is voor het type vervoer waar de bussen nu ingezet worden. De verwachte vermindering van pluim uit de uitlaat vanwege de schonere verbranding zal alleen waarneembaar kunnen zijn bij de Munckhof bussen. Immers zijn de Euro 6 bussen van Jan de Wit af-fabriek voorzien van een roetfilter.

*Brandstofverbruik*

Het verbruikscijfer is een resultante van de complexe interactie tussen vele factoren. Het bepalen van de invloed van één enkele maatregel – in dit geval overstap op brandstof met iets andere specificaties – is niet eenvoudig. Verandering in brandstofverbruik is grotendeels terug te voeren op de energie-inhoud per volume-eenheid. Enkel lettende op vijf procent lagere calorische waarde (in MJ/l) van renewable diesel ten opzichte van fossiele diesel, zoals volgt uit onderstaande tabel, is de theoretische verwachting voor de pilot dat het brandstofverbruik circa vijf procent toeneemt bij de overstap van fossiele diesel naar renewable diesel.

Van belang is dat deze theoretische verwachting berust op de specificaties van de juiste biobrandstof. Renewable diesel is een geavanceerde biobrandstof en behoort niet tot deze zgn. Fatty Acid Methyl Esters (FAME). Deze eerste generatie FAME biodiesels, zoals in lage percentages worden bijgemengd in fossiele diesel voor gebruik in het Europese wegverkeer, heeft een aanzienlijk hogere dichtheid maar lagere energie-inhoud per volume- eenheid dan zowel fossiele diesel als renewable diesel.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Fossiele diesel**1 | **Renewable Diesel** | **Biodiesel (FAME)** |
| Soortelijk gewicht | *kg/l* | 0.820 | 0.780 | 0.880 |
| Calorische waarde | *MJ/kg* | 43.1 | 44.1 | 37.2 |
| Calorische waarde | *MJ/l* | 36.0 | 34.3 | 32.7 |
|  | ***– 5%*** | ***– 9%*** |

1 zomerkwaliteit zonder bijmenging van bio-component

*Smeerolie*

Normaliter lekt er via de zuigerringen van de motor een minieme hoeveelheid brandstof naar het carter, waardoor de samenstelling van de smeerolie langzaam verandert. Bovendien kan de weggelekte diesel leiden tot teervorming en afzettingen in het carter. Omdat renewable diesel een iets lagere viscositeit heeft, zou er infinitesimaal meer brandstof kunnen lekken naar het carter. Daar staat tegenover dat renewable diesel een veel stabielere brandstof is, minder teervorming geeft en minder afzettingen. Gezien de relatieve korte periode van deze test, is de verwachting dat analyses van de smeerolie geen merkbare verandering laten zien ten opzichte van de referentieperiode.

## Meetresultaten

*Operationeel*

De pilot heeft het algemene beeld bevestigd dat voor de chauffeurs het rijden met een bus op renewable diesel is als het rijden zoals altijd (i.e. op fossiele diesel). Bij Munckhof gaf één van de chauffeurs die met bus 5 reed aan een vermindering van het vermogen te merken. Voor bus 6 constateerde de chauffeur eenmalig dat de motor slecht leek te starten bij een warme motor. Deze constatering werd gedaan op de eerste dag na reparatie van de motorschade zoals ontstaan kort na start van de pilot. Wat betreft deze motorschade is door een onafhankelijk expert geconcludeerd dat de oorzaak lag bij materiaalbreuk in een van de klepstelen en niet bij inzet van renewable diesel. Wat betreft het slechte starten is een mogelijk verklaring een tijdelijke belemmering van de brandstoftoevoer/-inspuiting door vervuiling van het brandstofsysteem tijdens de reparatiewerkzaamheden. Omdat het symptoom slechts eenmalig is opgetreden, lijk het aannemelijk dat de vervuiling tijdens het starten is weggespoeld en dat zo het probleem zich vanzelf heeft opgelost. Kortom, noemenswaardige verschillen werden enkel sporadisch bemerkt. Bij Jan de Wit was het overgrote deel van de deelnemende chauffeurs positief. Ook het technische hoofd van de werkplaats van Jan de Wit heeft zelf een proefrit gemaakt met renewable diesel en heeft geen significante verschillen kunnen vaststellen.

*Brandstofverbruik*

Zowel tijdens de pilotperiode als van de referentieperiode in 2015 zijn verbruiksdata verzameld. Het betreft praktijkwaarden, geen wetenschappelijke testwaarden. Daarmee, alsook door de relatief beperkte schaal van de pilot, is één-op-één vergelijking niet eenvoudig omdat kleine veranderingen in praktijkomstandigheden waaronder gemeten wordt, kunnen leiden tot een vertekend beeld. Op meerdere manieren is geprobeerd omstandigheden gelijk te houden (zie paragraaf Meetmethodiek: Brandstofverbruik). Desalniettemin zijn de veranderingen in verbruik niet met zekerheid toe te schrijven aan de overstap van fossiele diesel naar renewable diesel. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de berekende verandering in verbruik.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *bus* | Jan de Wit | Munckhof |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Gereden afstand (km) | 17.346 | 18.570 | 15.548 | 23.532 | 19.462 | 14.433 | 17.862 |
| **Verandering verbruik** | **+3%\*** | **-4%\*** | **-1%\*** | **-** | **-12%\*\*** | **-2%\*\*** | **-4%\*\*** |

* *vergelijking op basis van gecorrigeerde MMS data (zie bijlage IV), ten opzichte van reguliere EN590 diesel*

*\*\* vergelijking op basis van tankadministratie, ten opzichte van XMILE*

Op basis van deze meetresultaten lijkt de inzet van renewable diesel een licht positief effect gehad te hebben op het brandstofverbruik tijdens de pilot. Dit is niet in lijn met de 5% verhoging die theoretisch werd verwacht. Welke veranderingen in meetomstandigheden kunnen het verschil in verbruik per bus (deels) verklaren? Bus 4 is tijdens de pilot niet op hetzelfde traject ingezet als tijdens de referentieperiode het jaar ervoor. Dit verschil in gereden ritten kwam dusdanig duidelijk naar voren op basis van MMS data, dat de sterke vermindering van verbruik (-19%) als niet aannemelijk is verondersteld. Deze waarde is daarom buiten beschouwing gelaten bij het formuleren van de conclusies. De inzet van bus 1, bus 2 en bus 3 is wel vergelijkbaar met de referentieperiode. Dit drietal bussen laat aanzienlijke schommelingen zien (tussen -4% en +3%) wat betreft verandering in verbruik. Dit is te wijten aan het feit dat er andere doorslaggevende factoren zijn die het verbruik beïnvloeden dan enkel

de calorische waarde van de brandstof waarop is overgestapt. De grootste verschillen in meetomstandigheden (inzet en rijgedrag) ten opzichte van de referentie periode leken te liggen bij de tijd die met cruise control is gereden en de gemiddelde snelheid en de tijd die een bus stationair heeft gestaan. Zo is bijvoorbeeld duidelijk te zien dat bus 1 erg weinig met cruise control heeft gereden in vergelijking met de referentieperiode (88% minder) en deze bus laat ook een hoger verbruik zien dan de referentieperiode.





Bij de bussen van Munckhof is de vergelijking gemaakt op basis van de tankadministratie. Opgemerkt dient te worden dat de bussen 5, 6 en 7 echter niet zijn toegewezen aan één en dezelfde klant. Desalniettemin is het merendeel van de ritten in zowel de pilot- als referentieperiode binnen 30km van de standplaats uitgevoerd. Wat betreft gereden ritten, wat het meeste noemenswaardige verschil gezien bij bus 6. Ten opzichte van 2015 zijn er iets meer ritten over lange afstand, ofwel snelwegkilometers, gemaakt (zie bijlage II). Bovendien is deze bus vanwege motorschade enkele weken uit de roulatie geweest. Tot slot dient te worden opgemerkt dat bij Munckhof geen sprake was van vaste chauffeurs. Vanwege het ontbreken van MMS gegevens ten aanzien van rijgedrag, was het niet mogelijk om de verbruikscijfers hiervoor te corrigeren.

Over het geheel genomen bleek het verbruik van de deelnemende bussen tijdens de pilot gemiddeld 3.5% lager te liggen dan tijdens de referentieperiode. Kortom, het verbruik lag tijdens de pilot iets lager dan verwacht op

basis van de calorische waarde van renewable diesel. Gelet op de onnauwkeurigheidsmarge van de meetmethodiek en de veranderingen in meetomstandigheden, is deze vermindering in brandstofverbruik zeer beperkt. Bovendien is dit meetresultaat aanzienlijk beter dan dat werd gemeten tijdens de grootschaliger praktijktest met OV-bussen in Helsinki door VTT in 2011. Daar werd geconcludeerd dat door overstap op 100% renewable diesel het volumetrisch verbruik, i.e. aantal liter brandstof per gereden kilometer, 3.5% *toeneemt* in vergelijking met winterkwaliteit fossiele diesel. Al met al dient geconcludeerd te worden dat onbekend is of en in hoeverre het tijdens de pilot gemeten verschil van –3.5% kan worden toegeschreven aan de overschakeling op renewable diesel.

*Technisch: smeerolie*

Volgens ir. A.D. Romein, Senior Laboratorium Coördinator en smeerolie-expert bij Inspectorate, zijn de analyse resultaten van de smeerolie van alle bussen binnen normale grenzen. Bij een tweetal bussen van Jan de Wit is een enigszins verhoogd kopergehalte aangetroffen. Volgens Scania is deze lichte verhoging een verschijnsel samenhangend met de inwendige coating van de oliekoeler zoals aanwezig in Scania bussen van het type Higer Touring Euro 6 en het lijkt dan ook zeer onwaarschijnlijk dat dit enig verband heeft met de inzet van renewable diesel. Voor resultaten en toelichting, zie bijlage III.

## Conclusies

De operationele en technische meetresultaten zijn in overeenstemming met de gestelde hypotheses. Wat betreft brandstofverbruik waren de prestaties tijdens de pilot aanzienlijk beter dan theoretisch verwacht op basis van de lagere energiedichtheid (in MJ / liter) van renewable diesel en beter dan geregistreerd tijdens eerdere praktijkproeven in Finland. Immers werd, ondanks vergelijkbaar rijgedrag en inzet van de bussen, een vermindering van gebruik van gemiddelde 3.5% gemeten, terwijl een verhoging van gebruik van vijf procent de verwachting was op basis van de lagere energie-inhoud per liter brandstof. Een verklaring hiervoor zou kunnen liggen bij het hoge cetaangetal van renewable diesel. Zoals tevens wordt beschreven door (2005), zorgt deze eigenschap van paraffinische dieselbrandstoffen ervoor dat de ‘ontstekingsvertraging’ van de verbranding wordt ingekort en brandstof gelijkmatiger verbrandt. Dit leidt tot een vollediger verbranding, waardoor er minder roetdeeltjes gevormd worden (PM), minder onverbrande koolwaterstoffen (HC) en minder CO ontstaat. Bovendien wordt op deze manier meer energie gewonnen uit de brandstof, ofwel is sprake van hogere energie- efficiëntie, en gaat er minder ‘onverbrande brandstof’ naar de uitlaatpijp. Dit betekent dus minder emissies en meer opbrengst, waardoor blijkbaar de lagere energiedichtheid meer dan gecompenseerd wordt, wat tot uiting komt in een gunstiger verbruik.

# Algemene conclusies en aanbevelingen

In het licht van de huidige ontwikkelingen in de busmarkt is deze pilot en meetprogramma in opdracht van NS van grote toegevoegde waarde. Met de huidige operationele en financiële uitdagingen die een snelle uitrol van zero emissie technologieën voor busvervoer in de weg staan, zijn terugval- en overbruggingsopties gewenst en neemt de behoefte van inzicht in de haalbaarheid en kosten hiervan toe.

Speciale aandacht ging uit naar de technische prestaties van de motoren bij gebruik van renewable diesel en eventuele consequenties daarvan voor de betrouwbaarheid van de dienstverlening en onderhoud van het voertuig. Hiertoe werd operationele feedback vanuit de deelnemende chauffeurs verzameld, smeerolie getest en data uit het motormanagementsysteem geanalyseerd. Daarnaast ging de interesse van NS uit naar veranderingen in het brandstofverbruik, om zo een beter beeld te krijgen van de meerkosten van een overstap op renewable diesel.

Gebleken is dat in de operatie het gebruik van renewable diesel is zoals gebruik van een reguliere fossiele dieselbrandstof. Ook heeft deze biobrandstof geen negatief effect op de (prestaties van de) motor. Kortom, voor busvervoerders is dit een eenvoudig te implementeren oplossing zonder aanwijsbare negatieve consequenties voor de betrouwbaarheid van de dienstverlening en/of onderhoud aan het voertuig.

Eventuele meetonnauwkeurigheden in beschouwing genomen, blijven de verbruikscijfers min of meer gelijk en kan geconcludeerd worden dat de kosten van een transitie naar klimaatneutraal passagiersvervoer beperkt zijn tot de meerprijs van renewable diesel ten opzichte van fossiele diesel en eventuele kosten voor het uitbreiden van de tankfaciliteiten. Dit inzicht biedt NS de nodige houvast voor het uitvragen van klimaatneutraal vervangend vervoer via de busconcessies die per 2018 ingaan.

Geconcludeerd mag worden dat renewable diesel een aantrekkelijke ontwikkelroute is naar het busvervoer van de toekomst, zowel voor NS als voor de OV-bedrijven en touringcar operators. Immers is renewable diesel een uiterst praktisch en relatief kosteneffectief alternatief voor reductie van klimaatbelastende uitstoot daar waar de samenstelling van de vloot erg wisselend is en een hoge mate van flexibiliteit en responsiviteit van belangrijke vereisten aan de busvervoerders zijn, zoals bij het vervangend vervoer in opdracht van NS. Ook voor andere typen busvervoer biedt de inzet van geavanceerde biobrandstof perspectief. Daar waar de zero emissie technologieën momenteel nog niet altijd haalbaar is – bijvoorbeeld bij sterk wisselende locatie van inzet, vermogen en/of actieradius, bij inzet van bijvoorbeeld (dubbel)gelede bussen in de streek – zou renewable diesel uitkomst kunnen bieden. Het is daarmee een terugval- of overbruggingsoptie daar waar de inzet van elektrische of waterstofbussen operationeel of financieel te uitdagend blijkt. Kortom, met renewable diesel als noemenswaardig derde ontwikkelpad, is een transitie naar duurzaam openbaar busvervoer goed en per direct te realiseren.

# Bronnen

* + 2014 Brandstofvisie met LEF
	+ 2014 Motie Van Veldhoven aangenomen op 30 oktober (Kamerstuk 34 000 XII, nr. 35).
	+ 2015 Brief Mansveld 23 645 Openbaar Vervoer Nr. 604
	+ 2014 persbericht NS Eneco treinen op windenergie ([http://groenetrein.ns.nl/)](http://groenetrein.ns.nl/%29)
	+ 2014, Ruud Verbeek, TNO rapport 2014 R10588: Assessment of pollutant emissions with Shell GTL fuel as a drop in fuel for medium and heavy-duty vehicles, inland shipping and non-road machines
	+ 2005 Koji Kitano, Ichiro Sakata, Richard Clark: Effects of GTL Fuel Properties on DI Diesel Combustion.
	+ Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä, Matti Ahtiainen, Timo Murtonen, Pirjo Saikkonen, Arno Amberla & Hannu Aatola. Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel. OPTIBIO. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2604. 167 p. + app. 5 p.
	+ 2015. DUINN. DuurzaamOV in Gelderland: Verduurzaming van 15 openbaar vervoer corridors tot 2025.
	+ 2014 Factsheet brandstoffen voor het wegverkeer TNO / CE Delft. Ruud Verbeek.

# Legal Notices

Dit rapport is samengesteld door GoodFuels in opdracht en ten behoeve van de NS Reizigers B.V., en bevat informatie uit verschillende bronnen en partners die bij de proef betrokken zijn geweest. Het rapport is as-is; de inhoud of delen daarvan kunnen onvolledig, onnauwkeurig en/of reeds verouderd zijn. GoodFuels is niet verantwoordelijkheid voor de juistheid en volledigheid van de in het rapport vermelde data, de berekeningen die hiermee gedaan zijn en de conclusies die hier door partijen uit getrokken worden.

# Bijlagen

## Technische kenmerken per bus

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Vervoerder* | Jan de Wit | Munckhof |
| *Busnummer* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| **Aspect** | **Waarde** |
| Merk bus | Scania | Berkhof | Berkhof | VDL BOVA |
| Fabrikant motor | Scania | Volvo | Volvo | DAF |
| Type | Higer Touring HD | Berkhof Axial 70 | Berkhof Axial 50 | Futura FHD 120 |
| Bouwjaar | 2014 | 2004 | 2005 | 2012 |
| Euro-normering | Euro 6 | Euro 3 | Euro 3 | Euro 5 |
| As-configuratie | 4x2 | 4x2 | 4x2 | 4x2 |
| Leeggewicht | 14470 kg | 13780 kg | 13960 kg | 12216 kg |
| Maximaal toelaatbaar gewicht | 18600 kg | 19000 kg | 19000 kg | 18900 kg |
| Effectieve inhoud brandstoftank(s) | 530 liter | 750 liter | 550 liter | 380 liter |
| Slagvolume motor | 12.742 cm3 | 12.130 cm3 | 12.130 cm3 | 9.186 cm3 |
| Maximaal koppel motor | 2350 Nm | 1.850Nm | 1.850Nm | 1.450 Nm |
| Maximaal vermogen motor | 331 kW | 279kW | 279kW | 265 Kw |

1. **Gereden ritten**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | Jan de Wit |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Inzet bus** |  |
| Pilot | Soort ritten | Alles gecombineerd (bebouwde kom / autosnelweg)Enkel bus 4 kent een verandering wat betreft inzet; tijdens de pilot ingezet op een traject met meer snelwegkilometers |
|  | Straal werkgebied |
| Referentieperiod e | Soort ritten |
|  | Straal werkgebied |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | Munckhof |  |
| 5 | 6 | 7 |
| **Inzet bus\*** |  |
| Pilot | Soort ritten | Groepsvervoer en dagritten | Activiteiten en dagritten | Groepsvervoer |
|  | Straal werkgebied | Gevarieerd, meestal <30km | Sterk variërend 15 - 400 km | Gevarieerd, meestal <30 km |
| Referentieperiode | Soort ritten | Groepsvervoer |
|  | Straal werkgebied | Gevarieerd, meestal <30km |

\* *Van toepassing voor het merendeel van de gereden ritten. Werkelijke inzet is gevarieerder.*

## Laboratoriumanalyse smeerolie

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Vervoerder* |  | Jan de Wit |  |  | Munckhof |  |
| *Busnummer* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| *Type smeerolie* | AVIA Turbosynth LSP 10W40 | AVIA Turbosynth LSP 10W40 | AVIA Turbosynth LSP 10W40 | AVIA Turbosynth LSP 10W40 | Mobil Delvac MX ESP 5W40 | Mobil Delvac MX ESP 5W40 | Mobil Delvac XHP Extra 10W40 |
| **Test** | **Method** | **Unit** | **Results** |
| Wear Metals | ASTM D5185 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| - Silver as Ag | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Aluminium as Al | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Boron as B | ASTM D5185 | mg/kg | 340 | 350 | 340 | 320 | 10 | 12 | 210 |
| - Chromium as Cr | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Copper as Cu | ASTM D5185 | mg/kg | **25** | **53** | 13 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| - Iron as Fe | ASTM D5185 | mg/kg | 4 | <1 | 3 | 2 | 12 | 16 | 5 |
| - Manganese as Mn | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| Molybdenum | ASTM D5185 | mg/kg | 84 | 86 | 82 | 80 | 35 | <1 | <1 |
| - Sodium as Na | ASTM D5185 | mg/kg | 3 | 3 | <1 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| - Nickel as Ni | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Lead as Pb | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Silicon as Si | ASTM D5185 | mg/kg | 5 | 7 | 11 | 6 | 9 | 31 | 1 |
| - Tin as Sn | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Titanium as Ti | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Vanadium as V | ASTM D5185 | mg/kg | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| Additive Metals | ASTM D5185 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| - Barium as Ba | ASTM D5185 | % m/m | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| - Calcium as Ca | ASTM D5185 | % m/m | 0,19 | 0,21 | 0,2 | 0,19 | 0,12 | 0,13 | 0,48 |
| - Magnesium as Mg | ASTM D5185 | % m/m | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | <0.01 |
| - Phosphorus as P | ASTM D5185 | % m/m | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,11 |
| - Zinc as Zn | ASTM D5185 | % m/m | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,12 |
| Total Base Number (TBN) | ASTM D2896 | mg KOH/g | 8,60 | 8,60 | 8,75 | 8,80 | 8,51 | 9,42 | 15,43 |
| Total Acid Number (TAN) | ASTM D664 | mg KOH/g | 2,45 | 2,47 | 2,56 | 2,58 | 4,88 | 2,43 | 3,37 |
| Soot loading absorbance | IR | % m/m | 0,20 | 0,24 | 0,19 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,18 |
| Water content | ASTM D6304- 07 | % m/m | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | <0.05 | <0.05 |
| Flash Point | ASTM D3828 | °C | >200.0 | >200.0 | >200.0 | >200.0 | >200.0 | >200.0 | >200.0 |
| Kinematic Viscosity (100°C) | ISO 3104 | mm2/s | 12,14 | 12,10 | 12,16 | 12,02 | 11,98 | 11,99 | 12,25 |

Volgens ir. A.D. Romein, Senior Laboratorium Coordinator, Inspectorate, lijken de smeerolie-analyse resultaten van alle bussen binnen normale grenzen. Enige uitzonderingen hierop is dat bij Jan de Wit het kopergehalte van bus 1 enigszins en van bus 2 aanzienlijk verhoogd is. Op advies van Inspectorate is dit overlegd met Scania, de fabrikanten van de betreffende bussen. Dit blijkt een veelvoorkomend verschijnsel. De waarden 25 en 53 mg/kg zijn geen uitzonderlijke waarden voor het kopergehalte bij de Scania bussen van het type Higer Touring Euro 6 en hangt samen met inwendige kopercoating van de oliekoeler. Verondersteld kan worden dat deze afwijking geen direct verband houdt met het gebruik van renewable diesel.

## Gegevens Scania motormanagementsysteem

De gegevenstabellen in deze bijlage zijn afkomstig uit het Scania MMS systeem, welke is uitgelezen voor zowel 2015 als 2016, beide jaren voor de periode medio januari tot medio mei. Hieraan zijn regels toegevoegd met corrigeerde veranderingen tijdens de pilot in 2016 ten opzichte van de referentieperiode in 2015.

*Correctie berekende MMS waarden*

Het verbruik zoals uitgelezen uit het Scania motormanagement-systeem (MMS) betreft geen meetwaarde, maar een berekende waarde. Op basis van de gemeten injectie-druk in combinatie met de injectietijd berekent het MMS de hoeveelheid brandstof die door alleen de motor wordt verbruikt. Indien de standaard invoerparameters van het MMS niet worden herijkt bij overstap op een alternatieve brandstof, dienen de gerapporteerde uitvoerwaarden gecorrigeerd te worden voor deze berekeningsfout. Zodoende is achteraf gecorrigeerd voor de lagere dichtheid van de gebruikte renewable diesel ten opzichte van fossiele diesel, conform de wet van Bernoulli.

Wet van Bernoulli:

1

𝑃 + 𝜌ℎ + 𝜌𝑣 = 𝑐𝑜𝑛𝑠𝑡𝑎𝑛𝑡

2

𝑎 𝑎 𝑎

2

Waar:

Pa = druk op punt a

ρ = dichtheid

ha = hoogte van punt a va = snelheid in punt a

Hieruit volgt:

∆𝑣𝐻𝑉𝑂 = ∆𝑣𝑓𝑜𝑠𝑠𝑖𝑒𝑙

𝜌𝑓𝑜𝑠𝑠𝑖𝑒𝑙

𝐻𝑉𝑂

𝜌

= ∆𝑣𝑓𝑜𝑠𝑠𝑖𝑒𝑙∗ 1,0253

Waar:

ΔvHVO = snelheidsverhoging over injectiepunt bij HVO

Δvfossiel = snelheidsverhoging over injectiepunt bij fossiel

ρHVO = dichtheid HVO = 0.78 kg/liter

ρfossiel = dichtheid fossiele diesel = 0.82 kg/liter (ondergrens

Gezien de stroomsnelheid van de brandstof recht evenredig is met het debiet, volgt uit het bovenstaande dat het werkelijke verbruik van renewable diesel circa 2.5% hoger ligt dan door het Scania MMS berekend wordt. Naast de dichtheid is ook de viscositeit van renewable diesel iets lager dan van reguliere fossiele diesel. Gezien dit niet-lineaire effect op de berekening van het verbruik vele malen kleiner is dan het effect van het verschil in dichtheid, is besloten dit niet mee te nemen bij het bepalen van de correctiefactor.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Voertuig |  | Brandstof- verbruik | Brandstof- verbruik | Motorbedrijfsuren |
|  |  | gemiddeld | totaal | totaal | stationair draaien |
|  |  | (liter/100km) | (liter) | (uur:min) | (uur:min) | (% van motor bedrijfsuren) |
| 4\* | 2015 | 35,5 | 6169 | 647:02 | 242:43 | 37,50% |
| 4\* | 2016 | 28 | 6781 | 695:43 | 237:37 | 34,20% |
| verschil |  | -21% | 10% | 8% | -2% | -9% |
| 4\* |  | 28,7 | 6951 |  |  |  |
| **Gecorrigeerd verschil** |  | **-19%** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 2\* | 2015 | 31,4 | 5099 | 545:32 | 227:12 | 41,60% |
| 2\* | 2016 | 29,4 | 5725 | 574:59 | 207:00 | 36,00% |
| verschil |  | -6% | 12% | 5% | -9% | -13% |
| 2\* |  | 30,135 | 5868 |  |  |  |
| **Gecorrigeerd verschil** |  | **-4%** | **15%** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 1\* | 2015 | 29,1 | 5590 | 628:08 | 268:02 | 42,70% |
| 1\* | 2016 | 29,2 | 5165 | 490:28 | 146:09 | 29,80% |
| verschil |  | 0% | -8% | -22% | -45% | -30% |
| 1\* |  | 29,93 | 5294 |  |  |  |
| **Gecorrigeerd verschil** |  | **3%** | **-5%** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 3\* | 2015 | 30,3 | 4494 | 446:54 | 156:32 | 35,00% |
| 3\* | 2016 | 29,2 | 4595 | 446:03 | 139:05 | 31,20% |
| verschil |  | -4% | 2% | 0% | -11% | -11% |
| 3\* |  | 29,93 | 4710 |  |  |  |
| **Gecorrigeerd verschil** | **-1%** | **5%** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Voertuig |  | Snelheids- | Aantal | Aantal harde | Vrijloop | Gereden | Afstand met |
| overschrijding | beremmingen | beremmingen | afstand | cruise control |
|  |  | (% van bedrijfsuren) | (#/100km) | (#/100km) | % van afstand | (km) | (km) |
| 4\* | 2015 | 3,60% | 268,8 | 6,2 | 3,60% | 17399 | 1376 |
| 4\* | 2016 | 8,50% | 171,7 | 1,6 | 3,50% | 24188 | 3464 |
| verschil |  | 136% | -36% | -74% | -3% | 39% | 152% |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2\* | 2015 | 8,40% | 233,6 | 3,9 | 2,90% | 16264 | 2252 |
| 2\* | 2016 | 10,70% | 199,5 | 4,6 | 3,10% | 19490 | 2985 |
| verschil |  | 27% | -15% | 18% | 7% | 20% | 33% |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1\* | 2015 | 9,80% | 173,7 | 2,9 | 15,40% | 19201 | 4985 |
| 1\* | 2016 | 10,20% | 193 | 2,3 | 3,60% | 17691 | 594 |
| verschil |  | 4% | 11% | -21% | -77% | -8% | -88% |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3\* | 2015 | 10,50% | 217,1 | 2,7 | 2,70% | 14834 | 1426 |
| 3\* | 2016 | 9,80% | 194,8 | 2,5 | 3,20% | 15708 | 1878 |
| verschil |  | -7% | -10% | -7% | 19% | 6% | 32% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Voertuig |  | Gemiddelde | Maximale | Maximaal | Gemiddeld | Transport werkzaamheden |
| rijsnelheid | rijsnelheid | motortoerental | gewicht |
|  |  | (km/uur) | (km/uur) | (omw/min) | (ton) | (ton-km/liter) | (ton-km) |
| 4\* | 2015 | 26,9 | 112 | 2460 | 14 | 41 | 237842 |
| 4\* | 2016 | 34,8 | - | 2320 | 14 | 51 | 329367 |
| verschil |  | 29% | 63% | -6% | 0% | 24% | 38% |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2\* | 2015 | 29,8 | 113 | 2400 | 14 | 49 | 228011 |
| 2\* | 2016 | 33,9 | 111 | 2500 | 16 | 58 | 310116 |
| verschil |  | 14% | -2% | 4% | 14% | 18% | 36% |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1\* | 2015 | 30,6 | 114 | 2400 | 14 | 53 | 273804 |
| 1\* | 2016 | 36,1 | 111 | 2340 | 16 | 57 | 279069 |
| verschil |  | 18% | -3% | -3% | 14% | 8% | 2% |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3\* | 2015 | 33,2 | 112 | 2400 | 14 | 50 | 209388 |
| 3\* | 2016 | 35,2 | 110 | 2340 | 16 | 59 | 254092 |
| verschil |  | 6% | -2% | -3% | 14% | 18% | 21% |