

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

Rapport nr. 773002 010

**Bijdragen aan het Colloquium
'Verkeer, Milieu & Techniek'**

24 september 1997, RIVM, Bilthoven

Redactie: J.A. Annema, R.M.M. van den Brink

oktober 1997

Dit colloquium is onderdeel van het project 'Verkeer en Vervoer', projectnr. 773002, dat in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieubeheer aan het RIVM wordt uitgevoerd.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA, Bilthoven, tel: 030-2749111, fax: 030-2742971

Voorwoord

Het voor u liggende rapport bevat de 34 bijdragen voor het Colloquium 'Verkeer, Milieu & Techniek' dat op 24 september 1997 op het RIVM heeft plaatsgevonden. Het doel van dit colloquium was het creëren van een overlegplatform voor onderzoekers die zich richten op de relatie tussen verkeer, milieu en techniek. De opzet van het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk (CVS) is door ons als voorbeeld gekozen. De deelnemers hebben papers geschreven die kort werden gepresenteerd in thematische blokken zodat relatief veel tijd voor discussie overbleef. De verantwoordelijkheid voor de inhoud van de papers ligt uiteraard bij de auteurs.

Op dit colloquium waren naast onderzoeksinstituten ook de ministeries VROM en V&W, universiteiten en het bedrijfsleven vertegenwoordigd. De onderwerpen waren zeer uiteenlopend en strekten zich uit van hybride personenauto's tot geavanceerde vaartuigen. Ook het energiegebruik en de emissies ten gevolge van de aanleg van infrastructuur, de externe kosten ten gevolge van verkeer en vervoer en de geluidsbelasting door wegverkeer werden in de verschillende papers behandeld.

Speciale dank gaat uit naar Simone Poldermans die veel secretariael en organiserend werk heeft verricht. Ook bedanken wij de dagvoorzitters Pieter Janse van het Centrum voor energiebesparing en schone technologie uit Delft en Bert van Wee van het RIVM.

Wij wensen u veel leesplezier.

Inhoudsopgave

Titel, Auteur(s), Instantie:

Pagina:

- De ontwikkeling van de milieubelasting door verkeer en vervoer in de MV4 <i>Annema, J.A., R.M.M. van den Brink, K.T. Geurs, G.P. van Wee</i> Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)	5
- IJzer- en Koperemissie door Railverkeer; huidige stand van zaken en ontwikkelingen <i>Berg, J. ten</i> NS-Technisch Onderzoek	17
- Levensduurverlenging bij personenauto's <i>Besseling, H.</i> Rijkswaterstaat - Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV)	35
- Goederenvervoer voor een leefbare stad <i>Binsbergen, A.J. van</i> TU-Delft	47
- Het indirecte energiegebruik en de indirecte emissies van het transportsysteem <i>Bos, S, H.C. Moll</i> ECN-Beleidstudies, IVEM	61
- Dynamische levenscyclusanalyse van personenauto's: de betekenis van materiaalgebruik <i>Bouwman, M.E., H.C. Moll</i> IVEM	75
- Effecten van substitutie tussen personenvervoerwijzen <i>Brink, R.M.M. van den</i> Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)	89
- Effecten van technologische ontwikkelingen op verbrandingsemissies door het wegverkeer <i>Bus, L., M. van Schijndel-Pronk</i> Nederlands Economisch Instituut (NEI)	103
- Schoon Schip in de Nederlandse Binnenvaart <i>Dijkstra, W., J. Dings</i> Centrum voor energiebesparing en schone technologie (CE)	113
- Optimale brandstofmix voor het wegverkeer <i>Dings, J.</i> Centrum voor energiebesparing en schone technologie (CE)	125
- External Costs and Transport Technology; comparing the external costs of different transport options <i>Dorland, K., X. Olsthoorn</i> Instituut voor Milieuvraagstukken (IVM)	137
- Integrating EV's in a Sustainable Transport System; Strategic Niche Management as an New Policy-Instrument <i>Elzen, B., J. Schot, R. Hoogma</i> TU-Twente	149

Titel, Auteur(s), Instantie:

Pagina:

- Marktonderzoek nieuwe lichtgewicht oplegger <i>Engel, A.W. van den</i> NEA	161
- PIONT: energiegebruik en emissies in het goederenvervoer <i>Francke, J.</i> NEA	173
- The Fuel-Cell technology: changing perspectives <i>Geerlings, H.</i> Erasmus Universiteit	187
- Hoe het wegdek de belangrijke 'bron' van voertuig-geluid is geworden <i>Graaff, D.F. de</i> M+P Raadgevende Ingenieurs	205
- De toekomst van de vrachtwagenmotor <i>Kruithof, J.</i> DAF-Trucks N.V.	215
- European transport: emission trends and policy responses <i>Bleijenberg, A.N., J.M.W. Dings, P. Janse</i> Centrum voor energiebesparing en schone technologie (CE)	229
- Afstromend wegwater, een probleem? <i>Janssen v.d. Laak, W.H.</i> Rijkswaterstaat - Dienst Weg- en Waterbouwkunde	245
- Brandstoffen voor het wegverkeer <i>Kattenwinkel, H.D.</i> Shell Nederland	251
- Groei CO₂-emissies en de upgrading in modellen <i>Kroon, M., L. Zuidgeest</i> VROM-DGM-Directie Geluid en Verkeer	257
- Nederlandse voertuigtechniek: economisch op weg naar een schone praktijk <i>Meel, J. Van</i> NOVEM	265
- De traagheid van massa; over de invoering van nieuwe technieken <i>Molemaker, R-J</i> Nederlands Economisch Instituut (NEI)	269
- The electric car: a car of tomorrow for another century to come? <i>Mom, G.</i> HTS-Autotechniek	279
- Invloed van technische maatregelen wegverkeer op geluidhinder <i>Nijland, H.</i> Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)	293

Titel, Auteur(s), Instantie:

Pagina:

- Luchtvaarttechniek en Milieu	
Peeters, J.H.A.M.	
VROM-DGM-Directie Geluid en Verkeer	301
- Van Luchtschip tot Marine Expresse	
Peeters, P.	
Peeters Advies	313
- Advanced marine Vehicles: impact on transport, environment and technique	
Pinkster, J.	
TU-Delft, Faculteit voor Marine Techniek.....	329
- Het EcoDrive voertuig: de ontwikkeling van een geoptimaliseerde aandrijflijn voor personenvoertuigen	
Spijker, E.	
Van Doorne's Transmissie	349
- Het EEB-project	
Kusse, B., M. Storm	
Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV), Cap Volmac	359
- Intelligente snelheidsadaptatie in Tilburg	
Uden, J.H.A. van	
Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV)	363
- Buisleidingentransport: een technologische oplossing voor een verkeers- en milieuprobleem	
Visser, J.G.S.N., A.J. van Binsbergen	
TU Delft - Onderzoeksinstituut OTB	369
- Beheersing van railverkeersgeluid	
Vos, P.H.	
NS-Technisch Onderzoek	385
- Milieuvergelijking van brandstofketens; noodzaak en verrassingen	
Walwijk, M. Van	
INNAS	397

De ontwikkeling van de milieubelasting door verkeer en vervoer in de nationale milieuverkenning 4

Auteurs:

Jan Anne Annema (presentatie)

Robert van den Brink

Karst Geurs

Bert van Wee

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

Laboratorium voor Afvalstoffen en Emissies (LAE)

Postbus 1

3720 BA Bilthoven

tel: 030-274 3680

fax: 030-274 4417

email: Jan-Anne.Annema@rivm.nl

versie: 14 augustus 1997

Samenvatting

In de nationale milieuverkenning 4 (MV4) zijn de emissieniveaus van onder andere CO₂ en NO_x door het wegverkeer in 2010 en 2020 uitgerekend. Vergeleken met de regeringsdoelstelling voor deze twee stoffen in 2010 worden met het huidige beleid met name de doelstellingen voor CO₂ voor wegverkeer en voor NO_x door vrachtvoertuigen niet gehaald. Voor CO₂ is de groei in de periode 1995-2010 15-45%, terwijl de doelstelling een daling met 10% is. Voor de NO_x-emissie van vrachtvoertuigen wordt de doelstelling met circa een factor 4 overschreden. Voor CO₂ blijken de voorziene brandstofefficiency-verbeteringen onvoldoende om de voorziene volumegroei van het wegverkeer te compenseren. Voor NO_x blijkt de techniek-verbetering van vrachtvoertuigen ook onvoldoende om de zeer sterke volumegroei teniet te doen. In beide gevallen lijken met name technologische doorbraken nodig om de doelstelling te halen.

1. Inleiding

Medio 1997 is de vierde Nationale Milieuverkenning (MV4) verschenen (RIVM, 1997). Daarin wordt voor de periode tot 2020 aangegeven welk niveau van emissies en milieukwaliteit in Nederland verwacht mag worden bij uitvoering van het huidige, vastgestelde beleid, uitgaande van de recent verschenen nieuwe macro-economische scenario's van het Centraal Planbureau (CPB, 1997). Deze 'vastgesteld beleid'-scenario's worden de referentiescenario's genoemd. In de MV4 wordt het niveau van emissies en milieukwaliteit vergeleken met de regeringsdoelstellingen. Voor de belangrijkste gesignaleerde knelpunten zijn in de MV4 mogelijke oplossingsrichtingen beschreven. De MV4 wordt beleidsmatig beantwoord door het Nationale Milieubeleidsplan 3.

In dit paper worden de resultaten van de berekeningen voor verkeer en vervoer uit de MV4 beschreven, met nadruk op de emissie-ontwikkeling voor CO₂, NO_x en VOS van het wegverkeer en de bijdrage van de technische ontwikkeling. Sectie 2 gaat in op de huidige trends. In sectie 3 worden de regeringsdoelstellingen en de algemene uitgangspunten en berekeningswijzen van de MV4 besproken. In sectie 4 worden de resultaten gegeven van de berekeningen met het huidige vastgestelde beleid. Mogelijke oplossingsrichtingen voor een tweetal belangrijke knelpunten worden besproken in sectie 5.

2. Huidige trends

Verkeer en vervoer draagt aanzienlijk bij aan de milieudruk in Nederland. In tabel 1 wordt de bijdrage van verkeer aan de totale emissie in Nederland in 1996 naar lucht gegeven. Verkeer veroorzaakt ook milieubelasting naar water en geluidshinder. Aangezien deze onderwerpen aan bod komen in de papers van Janssen van de Laak (1997) en Nijland et al. (1997) op dit colloquium, wordt hier verder niet op ingegaan. De belangrijkste componenten van milieubelasting door de doelgroep Verkeer en Vervoer zijn de emissies van CO₂, SO₂, NO_x, VOS, CO, fijn stof, benzeen en lood (tabel 1). Ten opzichte van 1985 zijn de emissies van N₂O, CO₂ en SO₂ toegenomen. De emissies van NO_x, VOS, CO, fijn stof, benzeen en lood zijn afgenomen. De toename van de SO₂-emissie wordt veroorzaakt door zeescheepvaart. De SO₂-emissie door wegverkeer is in deze periode wel afgenomen (met 38%).

Tabel 1: Bijdrage van verkeer aan de totale emissie naar lucht in Nederland en de emissieverandering van verkeer per stof in de periode 1985-1996 (RIVM, 1997).

Milieuthema	stof of component	bijdrage aan totale emissie in 1996 (%)	emissieverandering t.o.v. 1985 (%)
Klimaatverandering	koolstofdioxide (CO ₂)	18	29
	distikstofoxide (N ₂ O)	10	105
Verzuring	zwaveldioxide (SO ₂)	19	7
	stikstofoxiden (NO _x)	60	-12
Verspreiding	koolmonoxide	58	-47
	koolwaterstoffen (VOS)	41	-37
	benzeen	49	-45
	fijn stof (PM ₁₀)	37	-33
	lood	40	-96

Wegverkeer is in het algemeen de belangrijkste bron van milieudruk door verkeer: voor CO₂, NO_x en VOS is de bijdrage van wegverkeer bijvoorbeeld 70-95% ten opzichte van de totale doelgroep verkeer en vervoer. Daarom richt dit paper zich vanaf nu met name op wegverkeer.

Per (groep van) stof(fen) was de bijdrage van de techniek in de ontwikkeling in de periode 1985-1996 als volgt:

- de brandstofefficiency-ontwikkeling bij wegverkeer vormt de belangrijkste verklaring voor de ontwikkeling van de CO₂-emissie per prestatie-eenheid (voertuigkilometer, tonkilometer). In de periode 1985-1996 is de brandstofefficiency van voertuigen weliswaar iets verbeterd (voor bijvoorbeeld het personenautopark met 6%), maar deze technische verbetering blijkt onvoldoende om de sterke volumegroei te compenseren. De volumegroei en een verschuiving van goederenvervoer van binnenvaart- en rail richting weg heeft geresulteerd in de periode 1985-1996 in stijging van de CO₂-emissies door wegverkeer met 29% (RIVM, 1997). Het aantal personenautokilometers nam met 31% toe, het aantal bestelautokilometers met 122% en het aantal vrachtvoertuigkilometers met 45% in de periode 1985-1996.
- voor lood en SO₂ heeft de aanpassing van de brandstofsamenstelling (loodarme en -vrije benzine, zwavel-armere diesel) geresulteerd in een absolute daling van de emissies door het wegverkeer, ondanks de hierboven genoemde volumegroei.
- voor NO_x, VOS (koolwaterstoffen), CO, benzeen en PM₁₀ heeft de techniek een belangrijke rol gespeeld in verlaging van de emissies in deze periode. Met name het gebruik van de driewegkatalysatoren bij personenauto's (sinds 1986) en de schonere vrachtwagenmotoren (vooral sinds circa 1990) zijn verantwoordelijk voor de absolute emissiedaling.

Belangrijke beleidsvragen zijn: worden de lange termijn-milieudoelen gehaald? Is het huidige beleid in staat de tegenvallende trends (bijvoorbeeld voor CO₂) om te buigen? Zetten de op zich gunstige trends van de periode 1985-1995 (bijvoorbeeld voor NO_x en VOS) zich voort zodat de doelen bereikt worden? Om deze vragen te beantwoorden heeft het RIVM in samenwerking met een aantal andere instituten¹ de vierde Nationale Milieuverkenning (MV4) uitgevoerd.

¹ onder andere het Centraal Planbureau, de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV) en de Rijksplanologische Dienst (RPD)

3. Regeringsdoelen en uitgangspunten van de MV4

Tabel 2 geeft de belangrijkste regeringsdoelstellingen voor verkeer en vervoer (beperkt tot emissiedoelstellingen). In de MV4 is voor verkeer en vervoer op basis van scenario's en vastgesteld beleid het niveau van emissies berekend. De emissies zijn vervolgens vergeleken met deze regeringsdoelstellingen.

Tabel 2: *Belangrijkste doelstellingen en realisaties voor de sector verkeer*

	1986 ^{a)}	2010
CO ₂ -emissie wegverkeer	23 Mton	20,7 Mton
NO _x -emissie personenauto's	163 kton	40 kton
NO _x -emissie 'vrachtwagens' ^{b)}	122 kton	25 kton
VOS-emissie personenauto's	136 kton	35 kton
VOS-emissie 'vrachtwagens' ^{b)}	46 kton	12 kton

a) De emissieniveaus uit 1986 zijn de niveaus zoals aangegeven in het NMP-plus. Na het verschijnen van het NMP-plus zijn door het CBS diverse waarden met terugwerkende kracht gewijzigd.

b) inclusief bestelwagens, bussen, speciale voertuigen

De uitgangspunten van de berekening waren een drietal nieuwe CPB-scenario's en het huidige vastgestelde beleid.

CPB-scenario's

De nieuwe CPB-scenario's ('Divided Europe' (DE), 'European Coordination' (EC) en 'Global Competition' (GC)) verschillen van elkaar ten aanzien van veronderstellingen in mondiale economische ontwikkeling, de (West-)Europese economische en politieke ontwikkelingen, de demografische, de sociaal-culturele en de technologische ontwikkelingen. Globaal gesteld is DE het 'lage-groei'- en GC het 'hoge-groei'-scenario. EC zit in het 'midden'. Voor nadere informatie over de scenario's wordt verwezen naar CPB (1997).

De belangrijkste beleidsveronderstellingen zijn de volgende:

Beleid gericht op techniek

Verondersteld is dat de emissienormen voor personenauto's in 2000 worden aangescherpt (alle scenario's) en in 2005 (alleen EC), en voor bestelwagens in 1997 en in 2000 (alle scenario's), conform de voorstellen die begin 1997 circuleerden bij de diverse lidstaten. De verdergaande aanscherpingen in EC zijn het gevolg van het feit dat in dit scenario wordt verondersteld dat de Europese samenwerking voorspoedig verloopt. Voor vrachtwagens en bussen is verondersteld dat de emissienormen in 2000 worden aangescherpt (Stage III). In verband met technologische onzekerheden zijn de stage IV normen niet meegenomen. Voor motoren en bromfietsen is verondersteld dat de normen in 1998 en in 2000 worden aangescherpt, voor werktuigen en motoren in 1997 (alle scenario's) en in 2001 (alleen EC). Bijlage I vat de veronderstelde emissienormering voor wegverkeer samen.

Volumebeleid wegverkeer

De uitbreidingen in het hoofdwegen- en openbaarvervoernet zijn conform het Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport (MIT) 1997 (V&W, 1996). De ontwikkelingen in de brandstofaccijnzen zijn conform de nota 'Samen werken aan bereikbaarheid'. Verondersteld is verder een beperkte mate van implementatie van het in de nota 'Samen werken aan bereikbaarheid' voorgestelde flankerende (volume)beleid. Het gaat hierbij om een beperktere implementatie van het locatiebeleid, het vervoermanagement en het parkeerbeleid. Bij het goederenvervoer is verondersteld dat de overheid een ondersteunende rol speelt bij de verbetering van de efficiency in het wegverkeer, evenals bij het stimuleren van het vervoer per

spoor en binnenschip (ten koste van het goederenwegvervoer), conform de nota 'Transport in balans'.

Voor een beschrijving van de gehanteerde modellen bij de MV4-berekening wordt verwezen naar Geurs et al. (1997).

4. Resultaten bij vastgesteld beleid

Uitdrukkelijk zij vermeld dat de resultaten gelden bij de gehanteerde beleidsveronderstellingen. Voor de periode na 2005 is geen additioneel beleid verondersteld, waardoor de scenario's vanaf dat jaar relatief beleidsarm zijn.

Tabel 3 en 4 geven de ontwikkelingen in volume en in energiegebruik en emissies.

Tabel 3: Volume-ontwikkeling voertuigkilometrages EC, GC en DE in 2000, 2010, 2020

	2000			2010			2020		
	DE	EC	GC	DE	EC	GC	DE	EC	GC
	index 1995 = 100								
personenauto's ^{a)}	108	109	108	119	121	117	123	134	131
motortweewielers	100	100	100	100	100	100	100	100	100
bromfietsen	100	100	100	100	100	100	100	100	100
bestelauto's	115	120	120	138	167	183	164	212	253
vrachtauto's	117	125	125	136	158	173	164	211	253
trekkers	98	105	105	120	150	167	141	221	272
speciale voertuigen	106	106	107	112	114	118	118	122	128

^{a)} 2000 waarden verkregen door niet-lineaire interpolatie

Bron: AVV en RIVM

Energiegebruik en CO₂

Uit tabel 4 blijkt, dat het energiegebruik en de CO₂-emissie door het wegverkeer, evenals door de totale sector verkeer en vervoer tussen 1995 en 2020 zal toenemen met circa 15 tot 45%. De regeringsdoelstelling voor de CO₂-emissie door het wegverkeer (in 2010 -10% ten opzichte van 1986) zal niet worden gehaald. De belangrijkste oorzaken voor het niet halen van de doelstelling zijn (in volgorde van belangrijkheid): (a) de sterke groei van het vrachtwagengebruik (zie tabel 3), (b) het achterblijven van de verbetering van de brandstofefficiency van het personenautopark bij hetgeen in het NMP is verondersteld, (c) de hogere groei van het personenautogebruik dan de regeringsdoelstelling en (d) het achterblijven van de efficiencyverbetering van vrachtauto's bij hetgeen in het NMP is verondersteld. Het stijgende aandeel van zwaardere voertuigen in het wagenpark is één van de oorzaken achter de tegenvallende verbetering van de brandstofefficiency.

NO_x

In tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de voertuigtechniek zoals die is ingeschat in de referentiescenario's. Deze technische ontwikkeling heeft ook invloed op andere emissies (deeltjes, CO, VOS e.d.), maar de analyse beperkt zich hier tot NO_x. Uit de tabel blijkt dat wordt ingeschat dat met het huidige EU-beleid voertuigtechnische milieuverbeteringen tot stand komen die redelijk conventioneel zijn. De meerkosten per nieuw aangeschafte voertuig (alle kosten zijn uitgedrukt in prijzen 1995) zijn ten opzichte van de aanschafkosten dan ook niet hoog. Relatief kosten-effectieve maatregelen zijn de Euro- 2 en -3 bij zware bedrijfsvoertuigen. Echter door de relatief geringe reductie van de emissiefactoren bij

deze voertuigen, nemen de absolute emissieniveaus van deze voertuigcategorieën onvoldoende af (zie verder).

De NO_x-emissie door personenauto's zal tussen 1995 en 2020 sterk dalen, ondanks de toename van het autogebruik. Doordat in EC in 2005 verdere aanscherpingen van de normen zijn verondersteld en in DE en GC niet, is de daling van de NO_x-emissie door personenauto's in EC sterker dan in beide andere scenario's. De regeringsdoelstelling voor 2010 (40 miljoen kg) wordt naar verwachting ruimschoots gehaald, vooral dankzij de succesvolle penetratie van de driefwegkatalysator in het personenautopark en de verdere verbeteringen door verdere emissie-aanscherpingen (zie tabel 5). De NO_x-emissie door vrachtwagens (inclusief bestelwagens, bussen, speciale voertuigen en trekkers) zal ondanks de voorziene technische ontwikkeling (zie tabel 5) in 2010 in beperkte mate afnemen (DE; afname ruwweg 10%) of toenemen (EC en GC; met ruwweg 25 tot 45%). Door de technische verbeteringen is de toename van de NO_x-emissies in GC en EC wel minder dan de toename van het kilometrage. Naar verwachting zal de NO_x-emissie van vrachtverkeer in 2010 tenminste vier maal zo hoog zijn als de doelstelling (van 25 miljoen kg). Dit komt enerzijds door de veel sterkere groei van het vrachtwagengebruik dan de regeringsdoelstelling, en anderzijds doordat de daling van de NO_x-emissie per kilometer bij het veronderstelde beleid achterblijft bij hetgeen nodig is om de doelstelling te halen. Als de stage IV (Euro 4) normen voor vrachtwagens omstreeks 2005 van kracht zouden worden, zullen de emissies in 2020 ongeveer de helft bedragen van de in de tabel weergegeven emissies (ofwel ruim 60 miljoen kg minder dan in EC). Ook dan is de NO_x-emissie door vrachtwagens aanzienlijk hoger dan de doelstelling.

Tabel 4: Energiegebruik en emissies naar lucht voor de doelgroep verkeer voor de jaren 2000, 2010 en 2020

	1995	2000			2010			2020		
		DE	EC	GC	DE	EC	GC	DE	EC	GC
Energiegebruik (PJ)										
(a)										
personenauto's	239	246	248	246	246	246	240	241	254	254
bestelauto's	38	40	42	42	41	49	54	47	61	73
vrachtauto's + trekkers	87	92	98	98	102	122	134	121	170	207
bussen	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7
vrachtverkeer ^(c)	135	143	151	151	154	183	200	179	243	290
overig wegverkeer ^(d)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
totaal wegverkeer	378	393	404	401	404	433	443	424	500	549
niet-wegverkeer ^(f)	76	78	80	81	82	90	95	84	99	108
totaal verkeer	454	471	484	483	485	523	538	508	600	657
CO₂ (Mton) ^(b)										
personenauto's	17.8	18.3	18.5	18.3	18.4	18.3	17.7	18	19	19.1
bestelauto's	2.9	3.2	3.3	3.3	3.2	3.8	5.9	3.7	4.7	5.6
vrachtauto's + trekkers	6.8	7.2	7.7	7.7	8	9.6	9.3	9.6	13.4	16.3
bussen	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6
vrachtverkeer ^(c)	10.6	11.2	11.9	11.9	12.1	14.4	16	14.1	19	22.8
overig wegverkeer	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
totaal wegverkeer	28.7	29.8	30.7	30.5	30.8	33	34	32.4	38.3	42.2
niet-wegverkeer	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.8	4	3.6	4.2	4.5
totaal verkeer	31.9	33.1	34.1	33.9	34.2	36.8	37.9	36	42.6	46.7
NO_x (kton) ^(a)										
personenauto's	114	62	62	62	28	26	28	29	19	31
bestelauto's	14	10	10	10	10	12	13	11	15	17
vrachtauto's + trekkers	85	84	90	90	66	80	88	79	112	136
bussen	9	9	9	9	6	7	6	6	6	6
vrachtverkeer ^(c)	110	105	112	111	84	100	109	98	135	162
overig wegverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
totaal wegverkeer	225	167	174	174	113	126	138	127	155	194
niet-wegverkeer	89	85	87	87	78	84	89	74	87	96
totaal verkeer	314	252	261	261	190	210	227	202	241	289
VOS (kton) ^(a)										
personenauto's	95	56	57	56	32	27	31	28	22	30
bestelauto's	7	3	4	4	3	3	3	3	4	5
vrachtauto's + trekkers	17	15	17	17	12	15	16	14	21	25
bussen	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1
vrachtverkeer ^(c)	27	22	23	23	17	20	21	19	26	32
overig wegverkeer	18	14	14	14	7	7	7	7	7	7
totaal wegverkeer	140	92	94	93	55	54	59	54	55	68
niet-wegverkeer	11	10	10	10	8	8	9	7	8	9
totaal verkeer	151	102	104	103	63	62	68	61	63	77

a) berekend op basis van het brandstofverbruik op Nederlands territorium

b) berekend op basis van de IPCC-methode (emissieberekening gebaseerd op brandstofafzet binnen Nederland)

c) bestelauto's, vrachtvoertuigen (= vrachtauto's + trekkers), bussen en speciale voertuigen

d) bromfietsen en motortweewielers

e) luchtvaart, binnenvaart, zeescheepvaart, rail, overige mobiele bronnen

f) exclusief emissies als gevolg van het gebruik van autoprodukten (verf e.d.)

Bron: CBS, RIVM

Tabel 5 Nieuwe voertuigtechniek in referentiescenario's (beschreven voor NO_x) (o.a. gebaseerd op Dings, 1996)

Voertuigtype	Technieken	Ten opzichte van vorige generatie		
		Reductie emissie-factor NO _x	Meer-kosten per voertuig (in Hfl. 1995)	Kosten-effectiviteit (f/kg vermeden NO _x)
Personenauto's benzine +lpg				
'1997'-voertuigen: in DE, EC en GC, 1995-2000	voertuigen met geregelde katalysator met aangescherpte emissie-eisen, conform 94/12/EEC. Normen zijn met bestaande technieken te halen.	30%	0	0
'2001'-voert. midden variant: in DE en GC, vanaf 2001, in EC 2001-2005	voertuigen die voldoen aan aangescherpte emissie-eisen (midden-variant). Verbeterd elektronisch motormanagement, betere EGR, verlaging light off-temperatuur van de katalysator, verbeterde brandstofinjectie, betere luchtmenging van de brandstof, etc.	40%	375	20
'2001'-voertuigen strenge variant: in EC, vanaf 2005	voertuigen die voldoen aan aangescherpte emissie-eisen (strenge variant). Idem als 'midden'-variant, wellicht met voorverwarmde katalysator.	65%	775	35
Personenauto's diesel				
'1997'-voertuigen: in DE, EC en GC, 1995-2000	voertuigen die moeten voldoen aan emissie-eisen, conform 94/12/EEC. Normen zijn met bestaande technieken te halen (verder ontwikkelde brandstofpompen, een hogere penetratie van EGR en oxykat., verfijnder motorontwerp).	20%	0	0
'2001'-voert. variant 'midden': in DE en GC, vanaf 2001, in EC 2001-2005	voertuigen die voldoen aan aangescherpte emissie-eisen (midden-variant). Allerlei 'kleine' verbeteringen: verhoogde injectiedruk, een volledig elektronisch motormanagement en kleinere motorspelingen.	35%	975	5
'2001'-voertuigen. variant 'streng': in EC vanaf 2005	voertuigen die voldoen aan aangescherpte emissie-eisen (strenge variant). Idem als 'midden'-variant, alleen vergaander.	50%	1325	10
Bestelauto's benzine en diesel				
'1997'-voertuigen: in DE, EC en GC, 1996-2001	zie personenauto's '1997'	30%	0	0
'2002'-vrt. var. 'licht': in DE, EC en GC, vanaf 2002	zie personenauto's variant 'midden'	20%	175	2
Zware bedrijfsvoertuigen				
Euro-2: in DE, EC en GC, 1995-2000	brede introductie van elektronische gestuurde inspuitsystemen, allerlei optimalisaties	15%	1300-1500	0,5-1
Euro-3: in DE, EC en GC, vanaf 2000	verdere optimalisaties	33%	2500-4000	1

De VOS-emissie door de totale sector verkeer daalt met circa 40 tot 55%. De regeringsdoelstelling voor de VOS-emissies door personenauto's voor het jaar 2010 (35 miljoen kg) wordt in alle drie de scenario's naar verwachting gehaald. De daling is in EC sterker dan in beide andere scenario's, doordat in EC in 2005 verdere aanscherpingen van de normen zijn verondersteld en in DE en GC niet. De doelstelling voor vrachtwagens (inclusief bussen, bestelwagens en speciale voertuigen) wordt naar verwachting (bij het veronderstelde beleid) in geen van de drie scenario's gehaald. De forse volumegroei en het achterblijven van de technische verbeteringen zijn - net als bij NO_x - de belangrijkste oorzaken.

5. Oplossingsrichtingen

Het gat tussen doelstelling en de geprognoseerde emissieniveaus is met name bij CO₂ (totaal wegverkeer) en bij NO_x (vrachtvoertuigen) groot: respectievelijk 10-14 Mton en 60-85 kton. In de MV4 zijn diverse oplossingsrichtingen verkend om deze 'gaten' te dichten, vooral in de context van het EC-scenario. In dit paper wordt volstaan met een overzicht van de belangrijkste conclusies uit deze verkenningen, uitgaande van het EC-scenario.

Het blijkt bijzonder moeilijk om de CO₂-doelstelling voor het wegverkeer te halen. Zelfs indien door strenge EU-regelgeving personenauto's veel zuiniger zullen worden (40% zuiniger dan in 2020 in de referentiescenario's, oftewel 65% zuiniger dan in 1995), de maximum snelheid van personenauto's wordt beperkt tot 90 km/u en van vrachtwagens tot 70 km/u, en de variabele autokosten fors worden verhoogd, mag in 2010 een emissieniveau van 22,6 Mton worden verwacht, hetgeen meer is dan de regeringsdoelstelling van 20,7 Mton voor 2010. Op de langere termijn (2020) is een niveau van 20 Mton mogelijk, maar dan is een vergaand maatregelenpakket nodig die bestaat uit een combinatie van technische bron- en volumemaatregelen: 1) introductie van een quoteringsysteem voor fossiele brandstoffen, waardoor het autogebruik met conventionele verbrandingsmotoren sterk wordt gereduceerd, 2) verhoging van de rijbewijsgerechtigde leeftijd, 3) vergaande ruimtelijke en infrastructurele maatregelen, 4) in steden verbod op voertuigen met verbrandingsmotor (Annema *et al.*, 1997).

De NO_x-doelstelling voor vrachtwagens lijkt alleen haalbaar indien zeer snel doorbraaktechnologieën (bijvoorbeeld waterstofmotoren) beschikbaar komen en worden toegepast, of indien een zeer fors volumebeleid wordt gevoerd. De NO_x-emissiefactor van vrachtauto's met een waterstofmotor is 95% lager dan die met een conventionele dieselmotor. Gezien de relatief korte periode tussen nu en 2010 lijkt het onmogelijk een dergelijke doorbraak in technologie te verwachten, laat staan dat de technologie reeds op grote schaal kan worden toegepast. Ook een fors volume-beleidseffect is binnen 15 jaar niet te voorzien, zodat het voor NO_x waarschijnlijk meer tijd dan de resterende tijd in de periode 1997-2010 kost om de 25 kton-doelstelling te halen.

Literatuur

Annema, J.A., R.M.M. van den Brink, K.T. Geurs en G.P. van Wee (1997, in voorbereiding), *Verkenning van vergaande maatregelen en maatregelpakketten voor reductie van CO₂-emissie wegverkeer*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

CPB (1997), *Economie en fysieke omgeving. Beleidsopgaven en oplossingsrichtingen 1995 - 2020*, Den Haag: Centraal Planbureau

Dings, J. M.W. (1996), *Kosten en milieu-effecten van technische maatregelen in het verkeer*, Delft: Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie (CE)

Geurs, K.T., R.M.M. van den Brink, J.A. Annema, G.P. van Wee (in voorbereiding), *Verkeer en vervoer in de Nationale Milieuverkenning 4*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

RIVM (1997a), *Nationale Milieuverkenning 4, 1997-2020*, Alphen aan der Rijn: Samson H.D. Tjeenk Willink

RIVM (1997b), *Milieubalans 1997*, Alphen aan der Rijn: Samson H.D. Tjeenk Willink

V&W (1996), *Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport*, Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Bijlage I

	Personenauto (g/km)				Vrachtwagens en bussen (g/kWh)			
	benzine		diesel		1996		in DE, EC & GC stage 2000 (III)	
	1996 ^{a)}	in DE, EC, GC idee norm 2000 ^{b)}	alleen in EC idee norm 2005	in DE, EC, GC idee norm 2000 ^{b)}	alleen in EC idee norm 2005			
CO	2,7	2,3	1,00	1,06	0,64	0,50	4,0	2,8
VOS + NO _x	0,593	0,35	0,18	0,71	0,56	0,30		
VOS	0,341	0,20	0,10				1,1	0,8
NO _x	0,252	0,15	0,08	0,566	0,50	0,25	7,0	4,9
PM ₁₀				0,08	0,05	0,025	0,15 ^{c)}	0,11

Bestelauto (g/km) in DE, EC en GC

	<1250 kg				>1250 kg en <1700 kg				>1700 kg			
	benzine		diesel		benzine		diesel		benzine		diesel	
	1993	1997 ^{a)}	idee norm 2000 ^{b)}	'1997 , 1993	1993	1997 ^{a)}	idee norm 2000 ^{b)}	'1997 , 1993	1993	1997 ^{a)}	idee norm 2000 ^{b)}	1997 ^{b)} , 1993
CO	2,72	2,7	2,3	2,72	1,06	0,64		5,17	4,91	4,18	5,17	1,33
VOS + NO _x	0,97	0,593	0,35	0,97	0,71	0,56		1,4	0,71	0,42	1,4	1,01
VOS		0,341	0,20					0,41	0,41	0,24		0,80
NO _x		0,252	0,15		0,566	0,50		0,30	0,30	0,18		0,81
PM ₁₀				0,14	0,08	0,05		0,19	0,12	0,075		0,17

a) norm voor 1996 is gecorrigeerd voor wijziging van de testcyclus die is gepland voor 2000. Het gaat om het weglaten van de 40 seconden stationair draaien bij de start waarbij geen emissie-meting plaatsvindt. Door weglaten van deze 40 seconden worden de normen strenger.

b) behalve aanscherping van de emissie-eisen worden meer maatregelen actief: verplichte uitrusting met OBD, recall en repair-verplichtingen, verbeterde testmethode voor verdampingsemissie, verscherpte periodieke keuring

c) voor motoren met kleinere vermogens en cilinderinhouden geldt tot 1/10/97 een eis van 0,25 g/kWh.

IJzer- en Koperemissie door Railverkeer

Huidige stand van zaken en ontwikkelingen

Auteur:

Jos ten Berg

NS-Technisch Onderzoek

Tribotechniek, Corrosiewering en Chemie

Concordiastraat 67

3551 EM Utrecht

tel: 030-235 3946

fax: 030-235 7329

versie: 19 september 1997

1. Inleiding

Emissies uit de stoomtijd: het luide ritmische kedèng-kedèng kedèng-kedèng bij elke 18 meter, het puffen en sissen, het stof van kolen, de geur van zwavel, de wolken van stoom en rook en roet, roepen warme nostalgische gevoelens op en gedachten aan romantische reizen naar verre oorden.

Hoe anders is de reactie op modern railverkeer, met langgelast spoor en schone elektrische tractie.

Zo roept het resterende railverkeersgeluid geen gevoelens van bekoring op, maar van verstoring en hinder. Het krijgt de naam railverkeerslawaaï; en veel moeite, tijd en geld wordt besteed aan het terugdringen er van.

De verkeersintensiteit is groter dan voorheen en groeit nog steeds, er komen nieuwe lijnen, aslasten en snelheden zijn groter. Meer mensen wonen nabij het spoor en worden in hun rust gestoord. En tenslotte, maar niet in de laatste plaats, onze opvattingen en normen zijn in de loop der jaren sterk gewijzigd. We zijn ons meer bewust geworden van onze omgeving en letten scherp op milieu-effecten. De burger gaat meestal af op wat hij hoort, ziet, ruikt, proeft, voelt of vindt; de overheid op systematisch onderzoek en studie, op beleid en regelgeving.

Het stof van kolen, de geur van zwavel en de wolken van stoom, rook en roet zijn vervangen door centrale opwekking van elektrische energie. Efficiënt en clean.

Voorbij is de, audio-visueel en organoleptisch, zo opvallende emissie van stoffen door railverkeer.

Maar toch, er rest nog wat. Wie goed kijkt naar de spoorbaan en zijn omgeving ziet de karakteristieke bruine kleur van "spoorwegstof". Dit stof is ook waarneembaar op gebouwen, ramen en auto's nabij het spoor. Wie het wil verwijderen ontdekt dat dit alleen met een speciaal middel mogelijk is. Dit stof komt ook terecht op de bodem en op gewassen.

Vanzelfsprekend vraagt menigeen zich vervolgens af: Wat is de samenstelling van dit stof? Wat zijn de eigenschappen? Hoeveel is het? Hoe ver verspreidt het zich? Waar blijft het? Wat betekent het voor de volksgezondheid? Wat betekent het voor de bodem en voor gewassen langs de baan?

Deze vragenstroom begint omstreeks 1975, wanneer het TNO in opdracht van de rijksoverheid inventarisaties maakt van de emissie van milieuvervuilende stoffen in Nederland, zwelt aan rond het verschijnen van het Ontwerp Basisdocument Koper en bereikt een top bij de MER-procedure Betuweroute en de inspraak voor de HSL Zuid.

Voor NS werd in een eerste schatting een jaarlijkse emissie berekend van 1500 ton ijzer door gietijzeren remblokken en van 17,8 ton koper door slijtage van de bovenleiding [1].

Op grond van latere beschouwingen wordt nu uitgegaan van jaarlijks 2000 tot 3000 ton ijzer, door corrosie en slijtage van wiel en rail en mechanisch remmen en van 20 tot 40 ton koper door slijtage van de bovenleiding en koperhoudende sleepstukken van de stroomafnemers [2,3,4,8,9,11]. Analyse van het karakteristieke spoorwegstof laat zien dat ijzer(oxide) kwantitatief het belangrijkste bestanddeel vormt, waarbij de verhouding koper/ijzer in overeenstemming is met de verhouding bij de emissie (1:50 tot 1:100).

In de komende 15 jaar komen belangrijke uitbreidingen van het spoorwegnet tot stand (Rail 21, Betuweroute, HSL Zuid, HSL Oost) en er wordt gerekend met een verdubbeling van het railverkeer.

Door deze ontwikkelingen zal de emissie toenemen, maar naar verwachting niet verdubbelen. Deze verwachting is gebaseerd op de overweging dat de inzet van moderner materieel (schijfremmen en rustiger loopgedrag), een grotere inzet van dubbeldekkers (minder assen per reiziger), de inzet van materieel met minder stroomafnemers en de invoering van 25kV wisselspanning factoren zijn die leiden tot minder slijtage.

2. IJzeremissie en verspreiding

2.1. IJzeremissie

De emissie van ijzer berust op slijtage van wiel en rail door roesten en mechanische inwerkingen.

Met een aandeel van ca. 98% vormt ijzer, kwantitatief gezien, het belangrijkste bestanddeel van het karakteristieke spoorwegstof. De jaarlijkse emissie aan ijzer wordt, door NSTO en Grontmij-de Weger, (zeer) globaal geschat op 3000 ton/jaar, waarvan circa 1000 ton door remmen [2,3,4].

Het dynamisch gedrag (loopgedrag) van het materieel heeft grote invloed op de mate van slijtage van wiel en rail. Het loopgedrag van het materieel is in de loop der jaren sterk verbeterd. Modern materieel schokt en stoot veel minder. Het effect hiervan is een groter comfort voor de reiziger, maar ook verminderde slijtage.

Bij een slechte ligging van de baan en bij bochten en wisselstraten is het loopgedrag veel minder rustig en is de slijtage groter. Op de plaatsen waar geremd wordt treedt extra ijzerslijtage op. In het bijzonder wanneer er sprake is van de klassieke gietijzeren blokkenrem, welke tegenwoordig alleen op goederenmaterieel nog algemeen gebruikelijk is.

De ijzeremissie kan niet rechtstreeks worden bepaald door meting van de slijtage van de spoorstaven en de passerende wielen. Daarom is, ten behoeve van de Aanvulling MER Betuweroute [2], gebruik gemaakt van de NSTO-metingen van de ijzerdepositie op en nabij de vrije baan te Veenendaal en te Harmelen [3,4]. Met behulp van deze gegevens is een verspreidingsmodel (curve) opgesteld, voor zowel een lage als een hoge schatting, waaruit vervolgens door integratie de ijzeremissie ter plaatse is berekend.

Door deze emissiewaarden te relateren aan de verkeersgegevens (het aantal gepasseerde wielassen) is een lage en een hoge schatting voor de ijzeremissie per strekkende meter per wielas afgeleid:

0,5 - 1 mg/m.as, voor de eerste 2,5 miljoen assen, en daarboven 0,05 - 0,1 mg/m.as.

Op basis van deze waarden kan vervolgens voor iedere verkeersintensiteit de ijzeremissie op de vrije baan globaal worden berekend (lage en hoge schatting).

Voor remtrajecten is een aanvullende berekening mogelijk, op basis van het aantal remmingen en het aantal (blokberemde) wielen.

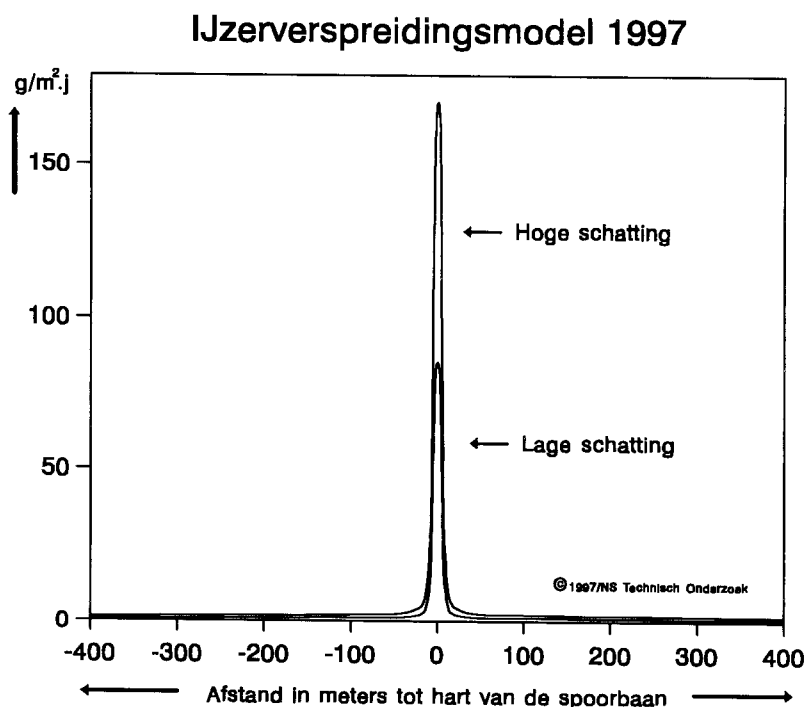
2.2. IJzerimmissie

Zoals hierboven al is uiteengezet kon uit metingen van de ijzerdepositie te Veenendaal en Harmelen een model worden opgesteld van de verspreiding van ijzer ten opzichte van het hart van de spoorbaan.

Met dit model kan voor iedere lokatie, op basis van de verkeersintensiteit ter plaatse, een verspreidingscurve worden opgesteld voor de lage en de hoge schatting.

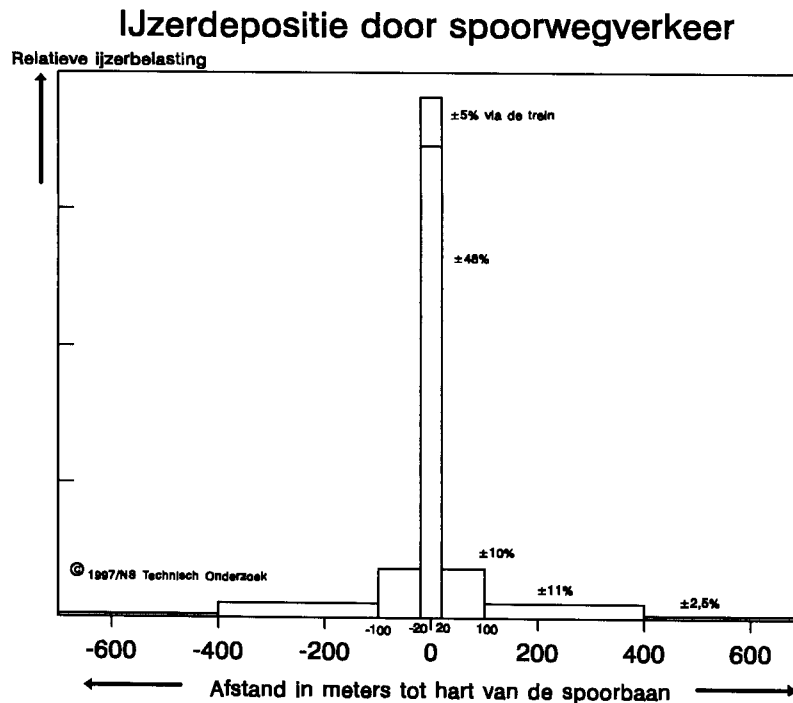
De werkelijke immissiewaarden zullen tussen beide schattingen in liggen, op de vrije baan meestal in de buurt van de lage schatting. Op rechte stukken met een goede ligging van de baan vertoont het materieel een rustige loop en is de emissie lager dan op gedeelten waar de trein onrustig loopt. In bochten en vooral op plaatsen waar treinen remmen ligt de emissie in het gebied van de hoge schatting.

Afbeelding 1 toont de jaarbelasting van de bodem in g/m^2 op verschillende afstanden tot het hart van de dubbele spoorbaan. Kenmerkend is het steile klokvormige verloop (Gauss-verdeling) van de verspreiding op en nabij de baan, aan weerszijden overgaand in langzaam afnemende uitlopers naar het verre veld (omgekeerd evenredig met de afstand). Het betreft hier een voorbeeld van een lokatie met een hoog emissieniveau.



Afbeelding 1: Ijzerverspreidingsmodel 1997 (dubbelspoor; emissieniveau 1800-3600 g/m.j)

Om voor een (nieuwe) lokatie of een gewijzigde verkeersintensiteit snel de globale belasting op een bepaalde afstand tot de spoorbaan te kunnen schatten, is onderstaand procentueel model een handig hulpmiddel; zie *Afbeelding 2*.



Afbeelding 2: Model voor de ijzerdepositie; relatieve belasting in % van de emissie

Hoe het ijzer in de loop der tijd in de bodem ophoopt is te berekenen uit de jaarlijkse depositie. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de Betuweroute [2,3] en de HSL-Zuid [4].

Beoordeling van deze theoretische ijzeraccumulatie is echter niet mogelijk, omdat er door het ontbreken van streef- en interventiewaarden voor ijzer geen referentiekader beschikbaar is.

2.3. IJzerdepositie op gewassen

Op spoortuinen te Utrecht en te Harmelen is onderzoek gedaan naar de ijzerdepositie op verschillende groenten [4,18]. Daarbij werden de groenten geteeld op verschillende afstanden tot het hart van de spoorlijn; te Harmelen zelfs óp de spoorbaan.

Het betrof hier drukbereden baanvakken met een ijzeremissie in de grootte orde van 2600 g/m.j.

Het boven besproken verspreidingsmodel laat zien dat het meeste ijzer neerslaat op de baan. De depositie neemt sterk af bij toenemende afstand. Dit zelfde beeld wordt ook teruggevonden voor de neerslag op gewassen die op en nabij de baan zijn geteeld, zoals **Tabel 2.1** laat zien.

Tabel 2.1 *IJzerdepositie op groenten, die op of nabij de spoorlijn zijn geteeld; ijzergehalte in mg/kg (Fe) van de verse ongewassen plant.*

	5m (1)	7-8m	7-13m	13-19m	norm(2)
sla	430	160-130	130-50	61-10	7.000
spinazie	530	310-280	80-70	90-30	7.000
boerenkool	1.000	640-590	300-60	180-30	7.000

(1) Afstanden in meters tot het hart van de dubbele spoorbaan.

(2) Er zijn geen normen voor het ijzergehalte van groenten geformuleerd.

Het Additievenboekje (pg 248, SDU 1985) vermeldt voor kleurstoffen op basis van ijzeroxiden een "No-toxic-effect-level" van 1% van het voedsel (dit correspondeert met 0,7% ijzer of 7.000 mg/kg Fe).

De hoogste waarden treden op bij gewassen die vrijwel óp de spoorbaan zijn geteeld. Ondanks deze extreme situatie - spoortuinen liggen doorgaans op afstanden groter dan 10m - zijn deze waarden nog ruim onder het no-toxic-effect-level, dat wordt opgegeven voor de toepassing van ijzeroxiden als voedselkleurstof.

Hierbij wordt opgemerkt dat de ijzerdepositie vooral aan het buitenste oppervlak plaatsvindt. De buitenste bladeren of de schil worden meestal verwijderd en in ieder geval gewassen, wat resulteert in een lager ijzergehalte van het geconsumeerde gedeelte.

Een verhoogd ijzergehalte kon voor spinazie en sla nog worden aangetoond op een afstand tussen 7m en 13m uit het hart van de spoorlijn. Voor boerenkool, een gewas dat langer op het veld staat, is de verhoging van het ijzergehalte nog aantoonbaar tot op ca. 15m uit het hart van de spoorlijn.

Op grotere afstanden is geen verhoging gevonden.

2.4. Milieueffecten en normen

Ijzer is geen prioritaire stof voor het milieubeleid.

Er zijn geen milieunormen voor ijzeremissie en -immissie.

Ijzer is een essentieel element voor planten, mensen en dieren.

Het is onderdeel van haemoglobine en van verschillende enzymen .

De dagelijkse behoefte aan ijzer ligt bij 5-9 mg/dag voor mannen en bij 14-28 mg/dag voor vrouwen (WHO).

Bij hoge emissieniveau's, met name bij halteplaatsen, kan de ijzeremissie echter een bron zijn van hinderlijke vervuiling in de omgeving van de spoorweg. Reiniging van auto's, treinen, ramen e.d. is mogelijk met behulp van een speciaal reinigingsmiddel op basis van oxaalzuur. Voor architecten en constructeurs is van belang dat de afzetting van ijzeroxides bij onvoldoende beschermde metalen oppervlakken versnelde corrosie kan veroorzaken.

2.5. Technische ontwikkelingen

De emissie van ijzer door corrosie en slijtage van ijzeren wielen en rails is inherent aan railverkeer. Wijziging van deze situatie is niet te verwachten.

3. Koperemissie en verspreiding

3.1. Koperemissie

Bij geëlektrificeerde baanvakken komt koper vrij door slijtage van de bovenleiding en het sleepstuk van de stroomafnemer. De bovenleiding bestaat in de meeste gevallen uit 100% zuiver koper.

Op nieuwe lijnen vereist het ophangstelsel een bovenleiding van een hogere treksterkte. Daar wordt koper met 0,1% zilver toegepast. Het sleepstuk van de stroomafnemer bevat tot 25% koper.

Er zijn, afhankelijk van de gehanteerde methode, verschillende schattingen van de jaarlijkse emissie van koper. De hoge schatting door NS/Is [5] bedraagt 40 ton/jaar en is overgenomen door het RIVM in [6] en het CBS in [7]. De lage schatting door NSTO [1,8,9,11] bedraagt ca. 20 ton/jaar.

Bij enkele nauwkeurige metingen van de draadslijtage door NSTO [8,9,10] bleek op die lokatie een emissie in het gebied van de lage schatting. Sindsdien gaan zowel NS als het RIVM [15] er vanuit dat de werkelijke emissie zich bevindt in een bandbreedte van 20 tot 40 ton/jaar.

In de cijfers voor de jaarlijkse koperemissie is de koperemissie uit de sleepstukken van de stroomafnemers verdisconteerd. NSTO schat deze bijdrage van de sleepstukken van de stroomafnemers op ca. 2,5 ton/jaar [8].

De slijtage is afhankelijk van de verkeersintensiteit (het aantal passerende stroomafnemers). Voor de emissie per stroomafnemerpassage wordt gerekend met 0,13 mg per strekkende meter voor de lage en 0,26 mg voor de hoge schatting.

Daarnaast is de slijtage nog afhankelijk van verschillende andere factoren, zoals het dynamisch gedrag van de trein, de ligging van de baan, de ophanging van de draad en de corrosiviteit van het milieu. Er is nog weinig bekend over het belang van de overige factoren, daarom wordt de slijtage per traject voornamelijk berekend op basis van de verkeersintensiteit [8,9,2,4].

Op de 2000 km geëlektrificeerde spoorbaan is sprake van grote verschillen in verkeersintensiteit. Slechts een klein gedeelte van het net wordt gekenmerkt door een hoge intensiteit met een daarbij berekende hoge koperemissie.

Onderstaande **Tabel 3.1** is gebaseerd op de gegevens uit [9] en geeft een overzicht van de netlengten, zowel absoluut als procentueel, ingedeeld naar verkeersintensiteit met de daarvan afgeleide berekende koperemissie, zowel bij lage als hoge schatting.

Tabel 3.1 *Overzicht netlengten, verkeersintensiteit en koperemissie*

km's van het net	% van het net	stroomafnemers per dag	emissie lage schatting g/m.j	emissie hoge schatting g/m.j
482	24	<105	< 5	< 10
789	39	105 - 210	5 - 10	10 - 20
302	15	210 - 315	10 - 15	20 - 30
259	13	315 - 420	15 - 20	30 - 40
104	5	420 - 525	20 - 25	40 - 50
36	2	525 - 630	25 - 30	50 - 60
24	1	630 - 735	30 - 35	60 - 70
5	0,2	>735	> 35	> 70

3.2. Koperimmissie

Op basis van metingen door CTO/NSTO van de koperdepositie te Veenendaal en Harmelen kon een verspreidingskromme worden opgesteld voor afstanden tot 50 meter uit de baan [11]. De kromme wordt gekenmerkt door een klokvormig en steil verloop met een maximum ter hoogte van het hart van de dubbelsporige baan (Gauss-kromme), aan weerszijden overgaand in langzaam dalende uitlopers naar het verre veld (omgekeerd evenredig met de afstand). Een vergelijkbaar patroon vond Beker in 1977 voor wegverkeer [12].

De totale depositie is berekend door integratie van de depositiekromme. Tijdens de meetperiode werd de emissie ter plaatse bepaald door nauwkeurige meting van de draadslijtage.

Uit deze twee gegevens volgt een depositieopbrengst van ongeveer 90% [10] en [11]. Naar schatting 10% van het koper wordt via de trein afgevoerd naar de treinwasinstallaties.

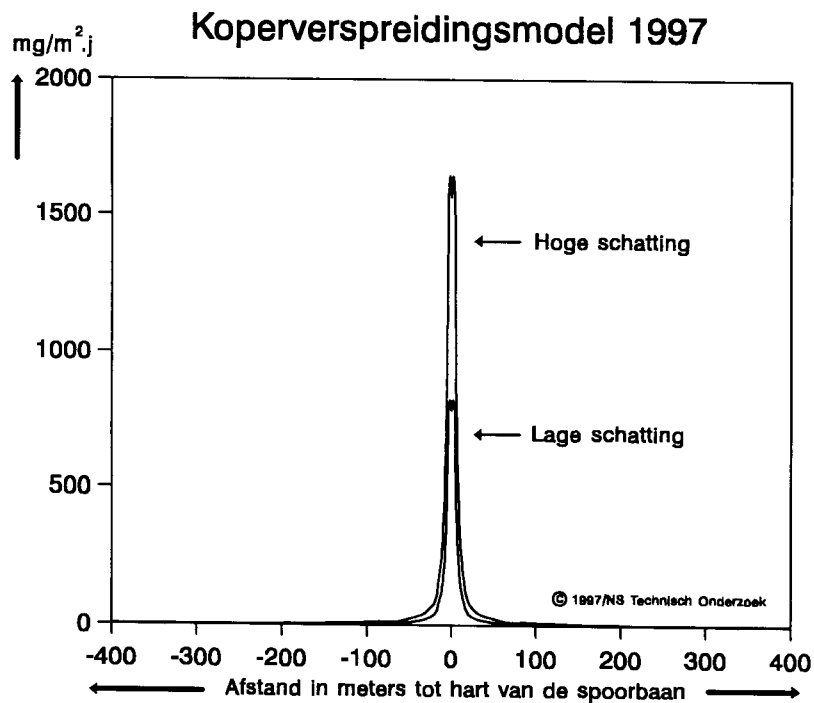
Wat betreft deze hoge stofbalans is nog van belang dat door Hoeve en Lexmond [14] is gesteld dat de CTO/NSTO-opvangmethode een veel te hoge opbrengst oplevert (een factor 4x!), omdat de berekening van het effectief oppervlak van de NSTO-opvang eenheid onjuist zou zijn. Ter verificatie, is in een vervolgonderzoek gemeten met opvangenheden van verschillende diameter-diepte-verhoudingen. Daarbij is de juistheid van de CTO/NSTO-berekening aangetoond [10].

Overigens gebruikt CTO/NSTO dezelfde methode als die voor het wegverkeer werd toegepast [12].

Later kon op een tweede lokatie bij Harmelen een fijnmaziger en symmetrische reeks van meetpunten worden uitgezet tot op 400 meter afstand tot het hart van de spoorbaan. Deze opstelling maakte het zelfs mogelijk twee afzonderlijke pieken, afkomstig van de twee sporen, waar te nemen [10]. Deze mogelijkheid was voorspeld door Verbeek [13], die met berekeningen aantoonde dat het koper door een snel depositieproces, gedomineerd door de luchtstromingen rond de trein, wordt neergeslagen.

Opvallend is dat een kleine hoeveelheid koper nog tot op grote afstanden wordt verspreid. Waarschijnlijk is hier een secundair depositiemechanisme werkzaam, waarbij door verwaaiing

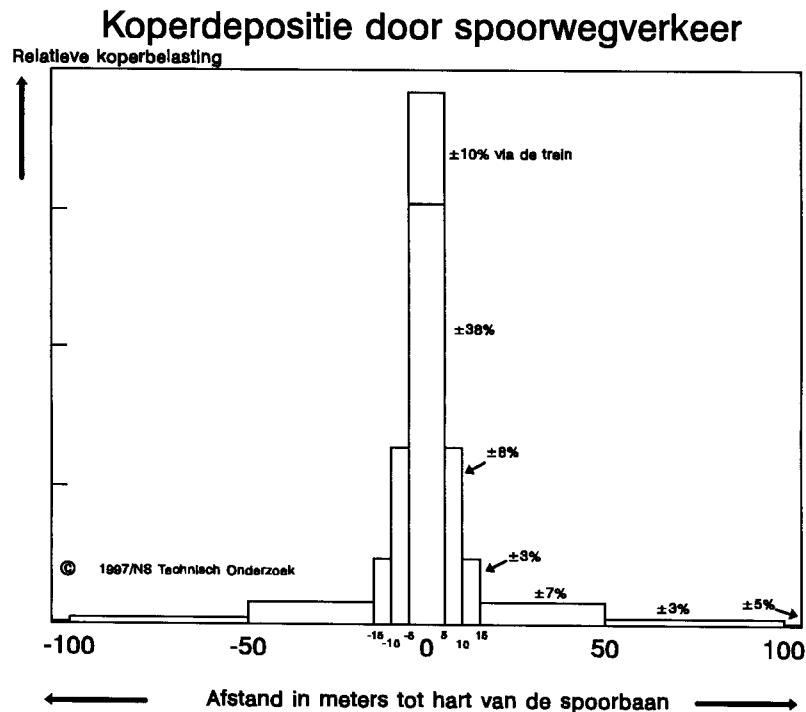
een verdere verspreiding optreedt. Bij extrapolatie van de flanken naar de achtergrondwaarde nadert de curve de achtergrondwaarde asymptotisch op circa 700 meter; zie *Afbeelding 3*.



Afbeelding 3: Koperverspreidingsmodel 1997 (dubbelspoor; emissieniveau 20-40 g/m.j).

Voor een (nieuwe) lokatie of een gewijzigde verkeersintensiteit kan de globale belasting op een bepaalde afstand tot de spoorbaan snel worden geschat met het procentueel model:

Afbeelding 4.



Afbeelding 4: Model voor de koperdepositie; relatieve belasting in % van de emissie)

3.3. Koperaccumulatie in de bodem en interventiewaarde

Voor de (theoretische) accumulatie van koper in de bodem zijn drie punten van belang:

- de emissie ter plaatse (paragraaf 3.1.)
- de verspreiding/depositie ter plaatse (paragraaf 3.2.)
- het gedrag in de bodem (bodemsoort/mobliteit).

De binding van koper in de bodem is afhankelijk van veel factoren. Koper wordt vooral gebonden aan organisch materiaal [6]. Bij diverse onderzoeken van oude ballast van de spoorbaan werd gevonden dat het gedeponeerde koper zich ophoopt in de "fijne fractie" van de ballast. In het algemeen is de mobiliteit van koper in de bodem beperkt. Dat blijkt ook bij de vergelijking van de uitkomst van een eenvoudig model met het resultaat van verfijnde modellen voor de theoretische accumulatie van koper in de bodem.

Het aller eenvoudigste model gaat uit van volledige binding in de bovenste 20 cm van de ongestoorde bodem, dus zonder enige afvoer naar de omgeving.

Volgens dit simpele model zal bij, bijvoorbeeld, een bodem uit humusarm zand in 100 jaar tijd de interventiewaarde worden bereikt bij een jaarlijkse bodembelasting van 305 mg/m².

Het model SOILBOX komt bij dit voorbeeld uit op een jaarlijkse belasting van circa 360 mg/m².j (volgt uit de grafieken van [15] pg 127). Het verschil met het simpelste model is niet groot (±15%).

Evenzo zijn de verschillen voor andere bodemsoorten - humeus zand ±10%, veen ±20% en klei ±4% - niet groot. Een dergelijke beeld levert ook het model SOACAS (minimum [=20 cm diep] voor Kd2, [17] grafiek pg 74).

Met het model SOILBOX heeft het RIVM [15] voor vier modelbodems de theoretische koperaccumulatie langs de spoorbaan berekend voor zowel een gemiddeld hoge als een gemiddeld lage koperemissie. Volgens deze berekeningen wordt bij alle modelbodems binnen 20 jaar de streefwaarde overschreden. Bovendien blijkt dat voor veen de interventiewaarde wordt overschreden binnen 45 jaar (hoge schatting; 40 ton/j) respectievelijk 90 jaar (lage schatting; 20 ton/j). Voor humusarm zand is de uitkomst respectievelijk 70 en 140 jaar, voor humeus zand 60 en 130 jaar en voor klei 105 en 210 jaar.

Bij deze berekeningen is voor de emissie en de verspreiding van het koper een simpel model gehanteerd. Uitgangspunten van dit eenvoudige model zijn een gelijkmatige verdeling van 80% van de koperemissie over een gemiddelde zone van 40 meter breed, dus zonder rekening te houden met de gradiënt, en een gelijkmatige verdeling over het gehele spoorweginet (2000 km), dus zonder rekening te houden met de verschillen in verkeersintensiteit. Ook wordt het ballastbed (het "wegdek") als bodem meegerekend.

Dit model impliceert een gelijkmatige verdeling van jaarlijks 32 ton over 8000ha. Beschouwingen in [16,17], met als grondslag 28 ton over 8000ha, leiden vervolgens tot de conclusie dat theoretisch bij 8000ha de interventie-waarde wordt bereikt binnen 100 jaar (hoge schatting).

Echter, ook volgens [15], hangt de werkelijke belasting af van de verkeersintensiteit en de gradiënt.

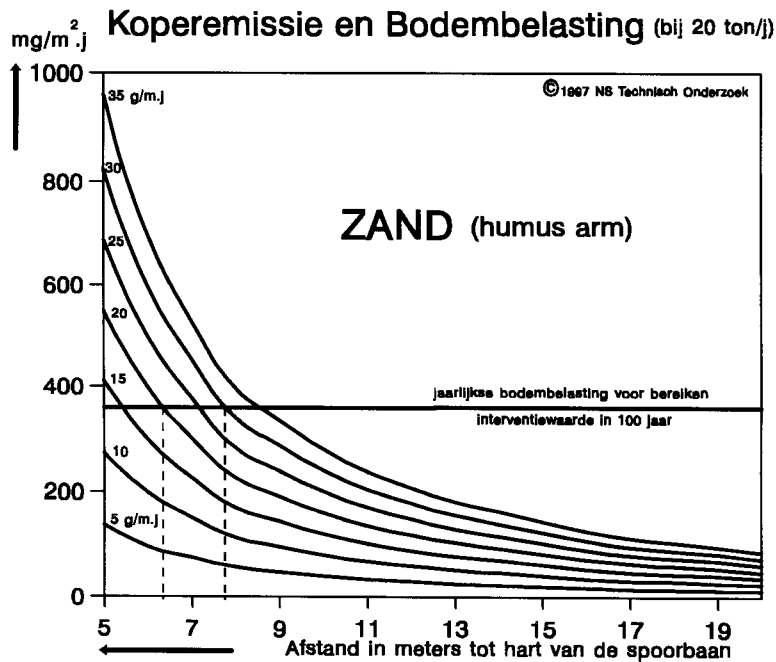
Daar deze twee factoren grote invloed hebben, verdienen ze een plaats in de modelbeschouwingen.

De **Afbeeldingen 5 en 6** laten zien hoe groot de invloed is van de gradiënt op de werkelijke bodembelasting. Voor de lage respectievelijk de hoge schatting zijn de gradiënten weergegeven bij de verschillende emissieniveaus, behorend bij de verschillende verkeersintensiteitsklassen (zie paragraaf 3.1.; *Tabel 3.1*).

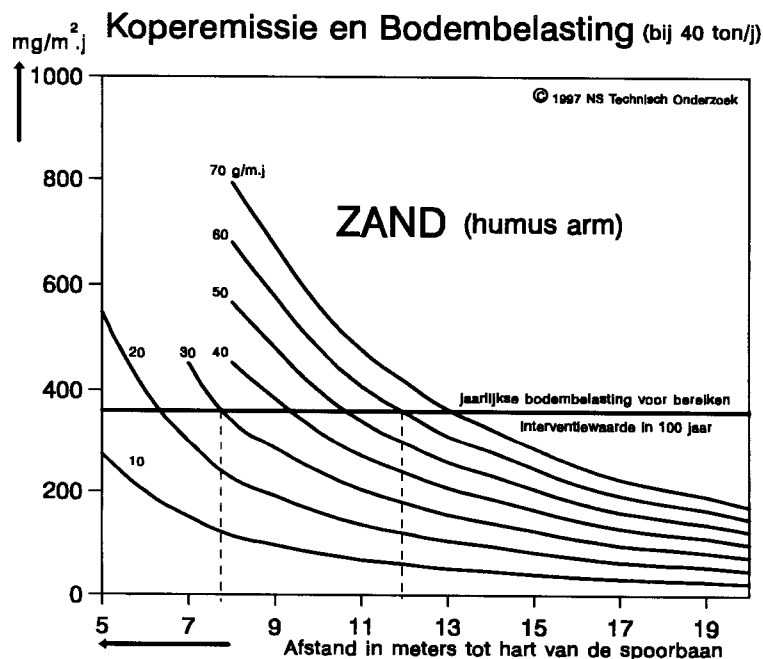
De horizontale lijn geeft aan bij welke jaarlijkse bodembelasting de interventiewaarde theoretisch wordt bereikt in 100 jaar. Vanwege de overzichtelijkheid is in dit voorbeeld alleen de lijn voor humusarm zand weergegeven. In het geval van een spoordijk is humusarm zand overigens een realistisch uitgangspunt.

Een loodlijn vanuit de snijpunten markeert de grens van het gebied waarin binnen 100 jaar theoretisch de interventiewaarde wordt bereikt. Zelfs in het geval van de hoogste koperbelasting zal dit punt gelegen zijn binnen de grens van het NS-terrein. De NS-grens ligt minimaal op ± 15 m.

Afbeelding 6: Invloed gradiënt bij hoge schatting van de emissie (40 ton/j landelijk)



Afbeelding 5: Invloed gradiënt bij lage schatting van de emissie (20 ton/j landelijk)



Wanneer we dan ten slotte ook nog rekening houden met de verschillen in verkeersintensiteit op het spoorwegnet en met het feit dat het ballastbed (het "wegdek") niet als bodem kan en mag worden beschouwd, dan berekent NSTO dat in 100 jaar de interventiewaarde theoretisch wordt bereikt bij 45ha (lage emissieschatting; 20 ton/j) of bij 900ha (hoge emissieschatting; 40 ton/j).

3.4. Koperdepositie op gewassen

De koperdepositie op verschillende groenten is onderzocht op spoortuinen te Utrecht en op de lokatie te Harmelen [4,18]. Daarbij werden de groenten geteeld op verschillende afstanden tot het hart van de spoorlijn; te Harmelen zelfs óp de spoorbaan.

Het betrof drukbereden baanvakken met een koperemissieniveau van ongeveer 34 g/m.j. Het meeste koper slaat neer op de baan. De depositie neemt sterk af bij toenemende afstand (paragraaf 3.2.). Dit zelfde beeld wordt teruggevonden bij de neerslag op gewassen die op en nabij de baan zijn geteeld, zoals **Tabel 3.2** laat zien

Tabel 3.2 Koperdepositie op groenten, die op of nabij de spoorlijn zijn geteeld; kopergehalte in mg/kg (Cu) van de verse ongewassen plant.

	5m (1)	7-8m	7-13m	13-19m	litt. (2)	norm (3)
sla	8,5	2,8-2,2	0,9-0,8	1,0-0,5	0,2-1,6	20
spinazie	4,3	6,5-3,2	2,7-2,2	1,9-0,9	0,4-2,3	20
boerenkool	12,9	10,5-9,8	6,1-2,0	3,4-0,8	0,7-2,4	20

(1) Afstand tot hart dubbele spoorbaan.

(2) Contaminantenboekje SDU 1991

(3) Beschikking residuen van bestrijdingsmiddelen 31 januari 1984; nr 254588.

Zoals we ook al bij ijzer hebben gezien, treden de hoogste waarden op bij gewassen die vrijwel óp de spoorbaan zijn geteeld. Ondanks deze extreme situatie - spoortuinen liggen doorgaans op afstanden groter dan 10m - zijn deze waarden nog ruim onder de norm voor voedingsgewassen.

Omdat de koperdepositie vooral aan het buitenste oppervlak plaatsvindt en de buitenste bladeren of de schil worden meestal verwijderd of gewassen, zal het kopergehalte bij consumptie van de groenten over het algemeen lager liggen.

Voor spinazie en sla kon een verhoogd kopergehalte nog worden aangetoond op een afstand van ca. 8m uit het hart van de spoorlijn. Voor boerenkool, een gewas dat langer op het veld staat, is de verhoging van het kopergehalte nog aantoonbaar tot op ca. 15m uit het hart van de spoorlijn.

Op grotere afstanden is geen verhoging gevonden.

3.5. Milieu-effecten en normen

Koper is een prioritaire stof voor het milieubeleid.

Voor koper gelden normen ten aanzien van het gehalte in bodem, water, lucht en voeding.

In het milieubeleid wordt de koperemissie door het spoorwegverkeer nog steeds toegerekend aan het compartiment lucht, waarvoor in het kader van het Noordzee Actie Plan en Rijn Actie Plan reductiedoelstellingen zijn geformuleerd.

De verspreidingsonderzoeken tonen echter aan dat het koper terecht komt op de baan of de naaste omgeving. Geheel in overeenstemming hiermee rekent het RIVM in de rapporten [15,16,17] de koperemissie door het spoorwegverkeer tot de bronnen van lokale bodembelasting.

Bij het beoordelen van de bodembelasting moet men zich in relatie tot aspecten van de volksgezondheid wel realiseren dat de tegenwoordig gehanteerde interventiewaarden gebaseerd zijn op de ecotoxiciteit. Voorheen werd zowel de humaan toxiciteit als de ecotoxiciteit beschouwd. Met de humaan toxiciteit als uitgangspunt zouden de interventiewaarden een factor 25 maal hoger kunnen liggen dan op basis van de ecotoxiciteit. De relatief geringe toxiciteit van koper voor de mens blijkt ook uit de toetsingswaarde voor gestandaardiseerd bodemgebruik; volgens [19] treden in de situatie "gewas uit eigen tuin"/"wonen met moestuin" beneden een kopergehalte van 2600 mg/kg geen actuele humane risico's op.

Bodemleven is daarentegen heel gevoelig voor koper, zo gevoelig dat sommige onderzoekers op basis van nieuwe inzichten in de ecotoxiciteit pleiten voor verlaging van de streefwaarde.

Koper is een onderdeel van verschillende enzymen en is een essentieel element voor planten, mensen en dieren.

In Nederland ligt de dagelijkse opname van koper door de mens op 0,2-5,9 mg/dag.

De aanbevolen dagelijkse inname bedraagt 1,5-3,0 mg/dag (Voedingsraad 1989).

De meeste warmbloedige dieren en ook de mens zijn veel minder gevoelig voor koper dan menig bodem- of waterorganisme. Schapen, met name de Texelaar, zijn gevoeliger voor koper en in verband daarmee bedraagt de signaalwaarde voor grasland 30 mg/kg d.s., vergelijk voor rundvee 80 mg/kg d.s. [20].

De mobiliteit van koperverbindingen in de bodem is betrekkelijk gering en daardoor nemen planten koper ook moeilijk op. Maar koper dat gebonden is aan chelaten of dat in de vrije ion-vorm aanwezig is wordt wel gemakkelijk door de wortels opgenomen. Vaak wordt geen duidelijk verband gevonden tussen het kopergehalte van de bodem en het kopergehalte in de plant [20].

Volgens een literatuurstudie van het RIVM [21], blijkt uit teelt op verontreinigde bodems, waaraan nog extra zouten van koper en andere zware metalen waren toegevoegd, geen effect bij sla en weinig effect bij snijbonen. Bij spinazie werd een duidelijke verlaging van de opbrengst en een verhoging van het kopergehalte gevonden.

Het lijkt volgens [21] onwaarschijnlijk dat de mens wordt blootgesteld aan gehalten groter dan 100 mg/kg (droge stof) en in het algemeen zullen de kopergehalten van groenten geteeld op verontreinigde grond lager liggen en variëren van 5-30 mg/kg d.s.

3.6. Technische ontwikkelingen

De huidige treinen worden van energie voorzien met 1500 Volt gelijkstroom bij 4000 Ampère. Een dergelijke stroomsterkte vraagt een rijdraad met het hoogst mogelijke geleidingsvermogen.

Dat betekent dat alleen zuiver koper of koper met 0,1% zilver in aanmerking komen.

Hogesnelheidslijnen opereren op 25 kV wisselspanning met stroomsterkten tussen 500 en 1000 A.

Om bij het rijden met hoge snelheid het contact tussen draad en stroomafnemer te verzekeren, hebben draad en stroomafnemer een zo laag mogelijke massa. Bovendien wordt de draad

bevestigd met een hoge afspankracht. De daarvoor vereiste treksterkte kan alleen worden gerealiseerd met legeringen van koper. Het elektrisch geleidingsvermogen van deze materialen ligt lager dan dat van zuiver koper, maar de toepassing is bij 25kV toch mogelijk vanwege de lagere stroomsterktes.

Voor de Franse hogesnelheidslijnen was destijds alleen rijdraad uit koper-cadmium(0,7-1%) beschikbaar.

Uit milieu-overwegingen is later voor de Duitse hogesnelheidslijnen een grote inspanning gepleegd om een alternatieve rijdraad te ontwikkelen. Het resultaat is een draad uit koper-magnesium(0,5%).

Vanzelfsprekend is de koper-magnesium rijdraad geadviseerd voor de Nederlandse hogesnelheidslijnen.

De slijtage van de rijdraden bij de hogesnelheidslijnen zal naar verwachting ten hoogste gelijk zijn aan die van de huidige draden, maar zal mogelijk tot 25% lager liggen. Deze verwachting berust op het feit dat, door de maatregelen aan de ophanging van de rijdraad en de uitvoering van de stroomafnemer, de verticale statische en dynamische krachten tussen de rijdraad en de stroomafnemer lager zijn dan bij de conventionele constructies.

In Japan gaat de ontwikkeling naar hogere snelheden verder, naar 400 tot 500 km/uur.

Deze snelheden vereisen nog hogere afspankrachten. Zo hoog dat de daarvoor benodigde treksterkten niet meer met koperlegeringen gerealiseerd kunnen worden. Er lopen studies naar de fabricage en de toepassing van rijdraden die vervaardigd zijn uit een stalen kern met een omhulsel van koper of aluminium.

Volgens geruchten zijn de moeilijkheden bij de praktische toepassing groot.

Vooralsnog ziet het er niet naar uit dat er op afzienbare termijn alternatieven voor de koperen rijdraad beschikbaar komen, zeker niet voor het systeem van 1500V gelijkspanning.

4. Verder onderzoek

Vervolgonderzoek zal zich allereerst moeten richten op de onzekerheid ten aanzien van de werkelijke omvang van de totale jaarlijkse koperemissie door de spoorwegen. Daarbij moet ook de vraag worden betrokken, in hoeverre de verkeersintensiteit en de lokale factoren invloed hebben op het lokale emissie niveau. Vervolgens is het van belang de vragen te onderzoeken die voortvloeien uit het ALARA-beginsel.

Het gaat dan om de volgende onderzoeks thema's:

- * nauwkeuriger bepalen van de werkelijke omvang van de jaarlijkse koperemissie;
- * onderzoeken in welke mate de koperemissie afhangt van de verkeersintensiteit;
- * onderzoeken in welke mate de koperemissie afhangt van andere lokale factoren, zoals gunstige of ongunstige ligging van de baan, lokale snelheid, etc.
- * inventariseren welke andere factoren van invloed zijn op de koperemissie, zoals constructie van de bovenleiding en de stroomafnemer; materiaalkeuze rijdraad-sleepstuk; contactkrachten draad-stroomafnemer; invloed omgevingsklimaat op de corrosieve slijtage.
- * onderzoeken hoe groot de invloed is van deze factoren;
- * onderzoeken van ideeën en mogelijkheden om die factoren gunstig te beïnvloeden;
- * onderzoeken van de technische, economische en praktische haalbaarheid daarvan.

Daarnaast is er aandacht nodig voor de volgende punten:

- * Wat zijn de werkelijke milieu-effecten van de koperdepositie op en nabij de spoorbaan?
- * Hoe zwaar wegen deze effecten, mede gezien bestemming en gebruik als spoorbaan?
- * Welk deel van de spoorbaan is te rekenen tot de "baan" en welk deel tot de "bodem"? Bijvoorbeeld: de grens met de oorspronkelijke bodem?
- * Wat is er, eventueel, te doen aan het koper op de baan en in de bodem? Bijvoorbeeld: bij het baanonderhoud afzonderen van de koperrijke fijne fractie van oude ballast?
- * Wat is de technische, economische en praktische haalbaarheid van dergelijke maatregelen?

5. Literatuur

- [1] Onderzoek naar de emissies van Koper en IJzer langs het NS-Spoorwegnet.
CTO/4/T/10.263/2 maart 1976.
- [2] Aanvulling MER-Betuweroute:
Verspreiding van spoorwegmaterialen; hoofdstuk C3. door Grontmij-de Weger
1994.
- [3] Niet gepubliceerd onderzoek door CTO. Brief aan Grontmij-de Weger [zie 2].
- [4] Hoge Snelheidslijn Emissie van stoffen.
Berg, Drs.J.F.A.M. ten;
NSTO/4/10.402/055; februari 1996.
- [5] NS/Is9/540.00; 11 februari 1987.
- [6] Ontwerp Basisdocument Koper.
Slooff, W.; Cleven, R.F.M.J.; Janus, J.A.; Ros, J.P.M.
RIVM rapportnr. 758474003 oktober 1987.
- [7] Koper in Nederland 1985; CBS 1988.
- [8] Project koperemissie spoorwegverkeer (I)
Ontwikkeling directe meetmethode koperslijtage van de bovenleiding.
Markestijn, A.J. van; CTO/4/10.402/0026, mei 1993.
- [9] Project koperemissie spoorwegverkeer (II)
Overzicht gegevens landelijke koperemissie.
Markestijn, A.J. van; CTO/4/10.402/0027, juni 1993.
- [10] Project koperemissie spoorwegverkeer (IV)
Onderzoeken naar de koperdepositie op de bodem.
Inclusief de meest recente metingen (1995-1996)
Geplande verschijning 1997.
- [11] Project koperemissie spoorwegverkeer (III)
Verspreidingsmodel koperemissie.
Berg, Drs.J.F.A.M. ten; CTO/4/10.402/0020, juni 1993.
- [12] Belasting van de wegbermen van rijksweg 12 met zware metalen.
Beker, D.; Inst. voor cultuurtechniek en waterhuishouding nota nr 1978;
Wageningen, juni 1977.
Citaat uit:
Gebruik en verspreiding van Koper in Nederland, een stofbalans.
Feenstra, J.F. en Anzion, C.J.M.
VU Instituut voor Milieuvraagstukken, Amsterdam, 1980.

- [13] Natuurkundige onderbouwing van het verspreidingsmodel van koperdepositie van de bovenleiding .
Verbeek, B.E.J.M.; NSTO/7/10.402/0053, november 1995 (versie 2).
- [14] De verspreiding van Koper langs geëlectrificeerde spoorwegen.
Hoeve, Rolf-Jan, Doctoraalonderzoek Landbouw Universiteit Wageningen;
november 1991.
- [15] Bronnen van lokale bodembelasting.
Lijzen, J.P.A.; Franken, R.O.G.;
RIVM rapportnr. 950011002; november 1994.
- [16] Kritische bodembelasting voor prioritaire stoffen; afleiding en toepassing.
Deel 1. Afleiding van een maat voor maximale bodembelasting op basis van streefwaarden.
Lijzen, J.P.A.; Franken, R.O.G.;
RIVM rapportnr. 7158100015; maart 1996.
- [17] Kritische bodembelasting voor prioritaire stoffen; afleiding en toepassing.
Deel 2. Afleiding van emissiereductiedoelstellingen voor bodem met behulp van modelsituaties.
Lijzen, J.P.A.; Franken, R.O.G.;
RIVM rapportnr. 7158100017; juni 1996.
Rapport KIWA, SWO-87.329 november 1987
- [18] Notities koper- en ijzeremissie ten behoeve van inspraak op basis van nog te rapporteren CTO/NSTO-onderzoek.
Project koperemissie spoorwegverkeer (VI)
Onderzoeken naar koperdepositie op gewassen.
Geplande verschijning 1997.
- [19] Urgentie van bodemsanering
De handleiding; Bijlage 3; Tabel 1; SDU, maart 1995; ISBN 90 12 08221-8
- [20] Schadelijke stoffen voor land- en tuinbouw, Koper.
Stoop, J.M.; Leemans, R.J.D.; Rennen, A.J.M.
Centrum voor Landbouw en Milieu; CLM 117-1993.
- [21] De accumulatie van sporenmetalen in groenten geteeld op verontreinigde bodems. Een literatuurstudie.
Bockting, G.; Berg, R.van den;
RIVM rapportnr. 725201009; december 1992.

Levensduurverlenging bij Personenauto's

In Europa worden jaarlijks tussen de
10 en 13 miljoen auto's gesloopt. What a waste!

Auteur:
Hans Besseling

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat - Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV)
Postbus 1031
3000 BA Rotterdam
tel: 010-282 5725
fax: 010-282 5643

versie: 23 september 1997

Abstract

De overheid zou, vanuit een duurzaamheidsperspectief, gericht beleid moeten voeren op het verlengen van de gemiddelde levensduur van personenauto's. Dat kan door middel van het verbeteren van het onderhoud. Optimaliseren van onderhoud vereist echter ook een andere kijk op particulier eigendom van personenauto's.

Inleiding

Deze paper gaat niet over uitvalcurves van het wagenpark of over de techniek van katalysatoren, maar over de ontwikkeling in het denken, de laatste paar jaar, bij de beleidsministeries VROM en V&W ten aanzien van het beïnvloeden van de gemiddelde levensduur van personenauto's. Die ontwikkeling verloopt van het denken aan een sloopregeling, naar het verlengen van die gemiddelde levensduur, via verbeterd onderhoud. Momenteel loopt een tweede fase van het onderzoek naar de optimale levensduur van personenauto's. De resultaten daarvan kan ik u nog niet geven, maar ik kan u wel schetsen wat fase 1 inhield, en in welke richting het onderzoek zich beweegt. De centrale vraag van fase twee is namelijk:

Welke strategieën of beleidsinstrumenten kunnen succesvol bijdragen aan het verlengen van de levensduur van personenauto's, waarbij tegelijkertijd de uitstoot van milieuschadelijke stoffen wordt teruggedrongen?

Hoewel dat laatste er een beetje achteraanbongelt is het essentieel. Doel is steeds geweest: het terugdringen van de schadelijke effecten van de personenauto. Twee uitgangspunten staan daarbij centraal.

In de eerste plaats gaat het hier niet zo zeer om de uitstoot van schadelijke stoffen tijdens de gebruiksfase alléén, maar staat de gehele levenscyclus van de personenauto centraal. In die hele cyclus is een aantal zaken de laatste jaren verbeterd: er is een tendens om milieuvriendelijker met het autowrak om te gaan. De verwijderingsbijdrage is daarvan een goed voorbeeld. Ook de uitstoot van schadelijke gassen door personenauto's tijdens de gebruiksfase neemt af. Aan de andere kant: zorgelijk is de ontwikkeling dat energiegebruik niet afneemt. In de productie-fase neemt die zelfs toe. In de gebruiksfase neemt energiegebruik niet af, ondanks efficiëntere motoren. Oorzaak is in beide gevallen het toenemende gewicht van auto's. Bovendien: de afvalberg die personenauto's veroorzaken wordt nog steeds groter. Een vraag die daarbij gesteld kan worden is: hoe voorkom je dat de auto een wegwerpartikel wordt?

Een tweede uitgangspunt is: De overheid kan de markt niet aan z'n lot overlaten waar het betreft beslissingen omtrent hoe lang een auto op de weg blijft, hoe het onderhoud moet plaatsvinden, etc. Zaken als veiligheid zijn daarmee gemoeid, maar ook: zorgen om verwerking van de afvalberg, bescherming van de mobiliteit van zwakkere groeperingen, etc. Met andere woorden: het is van belang dat de overheid een standpunt inneemt ten aanzien van de levensduur van de personenauto. Niet zozeer is de vraag: "Moet de overheid zich wel bezighouden met het beïnvloeden van de levensduur?", maar de vraag is meer: "Op welke manier moet de Overheid zich ermee bezighouden?" De sloopregelingen in Italië, Frankrijk, Denemarken, Spanje, Ierland, maar ook buiten Europa, maken dat duidelijk. De markt is bovendien niet zelf in staat om te reguleren dat schadelijke effecten worden teruggedrongen. Het opnemen van strengere milieu-eisen, roettests en

viergastest, in de APK recentelijk, is daar een voorbeeld van. In dit kader zijn vragen relevant zoals: "Wie lijden er schade, en wie hebben er voordeel bij beleid, dat de levensduur van auto's beïnvloedt?" En dan gaat het zowel om instanties als RAI en BOVAG, als om individuen en groepen mensen, zoals minder draagkrachtigen en ouderen.

In de volgende paper wil ik u schetsen hoe het traject verliep bij beleidsmakers ten aanzien van het denken over levensduur van personenauto's. In het eerste hoofdstukje wordt ingegaan op de nog altijd populaire sloopregeling, die centraal stond in de eerste fase van ons onderzoek. In het tweede hoofdstukje schets ik een aantal ontwikkelingen in het onderhoud, en tenslotte wil ik een denkbeeld schetsen van hoe verbeterd onderhoud kan leiden tot auto's die 30 jaar of langer op de weg blijven. Dat laatste is geen onderzoeksresultaat, maar wil de discussie stimuleren over hoe het zóu kunnen. Het kan natuurlijk ook altijd anders.

Hoofdstuk 1: Sloopregeling?

Laat ik u eerst vertellen waar het volgens mij naar toe gaat met de auto. Onderhoud is niet iets wat je kunt afdwingen. Als een eerste eigenaar denkt: "over een jaar of twee doe ik 'm tóch van de hand", is er geen enkele motivatie om de auto extra te laten tectyleren of goed onderhoud te plegen: binnen twee jaar zullen er zich in het algemeen geen problemen voordoen die niet binnen de garantie te verhalen zijn op de fabrikant. Maar wie heeft er dan wél belang bij goed onderhoud in die eerste fase? Nou, de tweede en, nog waarschijnlijker, de derde of laatste eigenaar. Maar ja, die heeft er het geld niet voor, anders kocht hij wel een nieuwe. Probleem, dus: in de eerste fase gebeurt extra onderhoud niet omdat de bezitter er geen belang bij heeft, in de laatste fase is de auto het niet meer waard.

't Probleem valt weg als je de verschillende eigenaren tot één eigenaar maakt tijdens de gehele levensfase van de auto. Dan heeft die eigenaar er wel degelijk belang bij dat al in de eerste fase onderhoud wordt gepleegd dat pas later zijn vruchten afwerpt. Mijn stelling is dus dat als je onderhoud wilt verbeteren en optimaliseren, je ook zal moeten kijken naar het autobezit. Sterker nog: ik stel dat er een ander systeem nodig is dan het huidige van auto-eigendom om onderhoud aan personenauto's te optimaliseren.

Als we dat nu eens dóórdenken: zo'n soort constructie bestaat natuurlijk al, bij bijvoorbeeld kopieerapparatuur. Je leest zo'n apparaat voor de levensduur van het ding. Als er wat aan mankeert dan bel je de dealer, die een reparateur stuurt, die het probleem ter plaatse oplost. Als 't apparaat versleten is wordt er een nieuwe geïnstalleerd. De leaseprijs hangt af van het aantal exemplaren dat gekopieerd wordt, op jaarbasis. Als we dat voor de auto doen, betekent dat dat de fabrikant, of de dealer, er belang bij heeft de auto zo lang mogelijk in goede staat te houden. Want zolang de auto probleemloos opereert verdient hij eraan.

Particulier autobezit zou daarmee een andere dimensie krijgen. Dat geeft, naast een aantal praktische problemen (wie wast het karretje, bijvoorbeeld, elke zaterdag?), ook een aantal sociaal-culturele barrières. Ten eerste is het nou niet bepaald de huidige lease-rijder die zijn auto het best onderhoudt en er het voorzichtigst mee rijdt. In tegendeel, zou ik bijna zeggen. Juist de trotse bezitter staat hem elke week te wassen en oh wee, als er iemand dreigt ook maar een schrammetje op de lak aan te brengen. We zijn nl. nogal aan het beestje gehecht, de meeste mensen willen dingen waar ze aan gehecht zijn ook bezitten. We laten ons dat speeltje niet zomaar afpakken, etc. Maar de constructie heeft onmiskenbaar ook een groot aantal voordelen, en daar kom ik straks op terug.

Maar nu dan eerst wat dichterbij huis. Laat ik bij het begin beginnen: in november 1994 vroeg de Directie Individueel Personenvervoer van DGV aan AVV: "Wat zijn de consequenties van een sloopregeling voor Nederland?" Frankrijk was net als eerste begonnen met een sloopregeling, en afficheerde het aanvankelijk als een groot succes voor het milieu: de vuilste auto's werden van de weg gehaald door een premie uit te loven voor sloop van een 10 jaar oude, of oudere, auto.

Nou is dat onmiskenbaar een voordeel van een sloopregeling: als je, zoals in Frankrijk, aan een sloopregeling de voorwaarde verbindt dat er een nieuwe auto gekocht moet worden, voordat je voor een slooppremie in aanmerking komt, dan vervang je dus oude, vuilere, en minder efficiënte motoren door modernere, nieuwere, schonere, en energiezuinigere. Er kleven echter ook nadelen aan en die zal ik in het kort noemen.

Ten eerste: uit een evaluatie van de Franse sloopregeling bleek al gauw dat het niet de vuilste auto's waren die werden ingeruild, maar de tweede autootjes van mensen die zich konden veroorloven een nieuwe te kopen. De echte vervuilers, eigendom van mensen op het platteland en minder welgestelden, bleven gewoon rijden. De auto's die gesloopt werden waren notabene auto's die i.h.a. klein en zuinig waren, nog geen 100.000 km gereden hadden, en in redelijk goede technische staat verkeerden. Enorme kapitaalvernietiging, dus.

Ten tweede: Wat vaak wordt vergeten is dat het enorm veel energie en grondstoffen kost om een nieuwe auto te fabriceren. Weliswaar valt dat in het niet bij het energiegebruik tijdens de levensfase², maar als de keus is: een oude auto op de weg houden t.o.v. het vervangen van de auto door een nieuwe, is intussen uit onderzoek wel duidelijk dat vanuit energie- en milieu-oogpunt de voorkeur uitgaat naar het laatste, zeker als de auto goed wordt onderhouden. Echter, vanuit economisch standpunt is het aantrekkelijk om een nieuwe auto te verkopen en de oude te verschroten: zeker zolang geen kosten worden doorberekend van uitputting van materialen en werkelijke kosten van de vervuiling die energieopwekking kost.³ Omdat er werkgelegenheid mee gemoeid is geldt dat vooral voor landen met een eigen auto-industrie, zoals Spanje, Frankrijk, en Italië. Behalve werkgelegenheid speelde in Frankrijk ook de economische situatie, vier jaar geleden, mee: de autoverkopen waren op een dieptepunt en de parkeerplaatsen van de autodealers stonden overvol met nieuwe auto's die niemand kocht.

Ten derde: een belangrijk neveneffect is dus dat een sloopregeling een enorme economische stimulans betekent. Mensen worden gestimuleerd nu een auto te kopen (de sloopregeling heeft bijna altijd een beperkte duur). Hieraan zijn echter twee voor de hand liggende nadelen gekoppeld. Het effect is tijdelijk. Dat wil zeggen: als de sloopregeling afloopt keert de malaise in de verkopen weerom⁴. Het andere effect is er een van psychologische aard: een dergelijke regeling versterkt het consumentisme en creëert de sfeer van de auto als wegwerpproduct. Speciaal als men, zoals in Frankrijk, de premie pas krijgt als men een slooppbewijs in handen heeft, en het gaat om redelijk goed onderhouden en technisch nog prima functionerende auto's die naar de sloop gaan.

^{Noot 2} Het energiegebruik van een gemiddelde personenauto over diens gehele levenscyclus bedraagt ongeveer 600 Giga Joules. Circa 85% ervan is gerelateerd aan het brandstofgebruik, 15% aan het produceren van de auto, en 3% aan het onderhoud, terwijl recycling ongeveer 3% oplevert.

^{Noot 3} Berekeningen wijzen uit dat tegenwoordig ongeveer 50% van de NOx-vervuiling ten laste komt van de productiefase.

^{Noot 4} In Frankrijk, zowel als in Spanje, werd de regering er door de auto-industrie dan ook min of meer toe gedwongen om de termijn van de sloopregeling met nog eens anderhalf jaar te verlengen, de premie te verhogen en de leeftijdseis van 10 jaar terug te brengen naar 8 jaar.

Ten vierde: Bij de sloopregeling in Denemarken, waar veel oude auto's rondrijden, (vooral omdat de kosten van een nieuwe auto zo hoog zijn), had men niet de voorwaarde gesteld dat een nieuwe auto moest worden aangeschaft. Je kreeg een premie bij het slopen van een oude auto. Denemarken heeft immers geen eigen autoindustrie en had dus geen belang bij het stimuleren van de verkoop van nieuwe auto's. Doel van de sloopregeling daar was om daadwerkelijk de wat oudere en viezere auto's van de weg te krijgen en het autopark te verkleinen. Niet alleen de verkoop van tweede-hands auto's, maar ook die van nieuwe auto's vlóóg na de invoering van de regeling omhoog. Kennelijk was de premie voor veel mensen hoog genoeg om de financiële barrière van de aanschaf van een nieuwe auto te overbruggen. Maar ook hier waren het niet de grootste vervuilers die werden ingeleverd en bovendien: het autopark nam fors toe, in plaats van te verminderen. Branche blij, overheid minder.

Tot slot van dit eerste hoofdstuk en misschien ten overvloede wil ik hier wijzen op het feit dat de gemiddelde levensduur van de auto iets heel anders is dan de gemiddelde leeftijd. Verwarrend is vooral dat ze wel met elkaar verband houden, maar niet in een simpel lineair verband. Het makkelijkst is het om een vergelijking te trekken met de Nederlandse bevolking. In Nederland ligt de gemiddelde levensduur van mensen, ofwel de levensverwachting zoals dat zo mooi heet, op zo'n jaar of 75. D.w.z. dat er mensen zijn die op zeer jeugdige leeftijd overlijden, en er zijn er ook die 100 worden, maar omdat er veel meer mensen 80 worden dan er op 10 jarige leeftijd overlijden, komen we op een gemiddelde van 75 jaar. Betere medische verzorging zal er bijvoorbeeld toe leiden dat de gemiddelde levensduur langzaam stijgt. (En U begrijpt al wel waar ik heen wil).

De gemiddelde leeftijd van de Nederlandse bevolking is echter, oh, laat ik eens schatten: 45 jaar, d.w.z.: je neemt dan een momentopname van de leeftijd van alle inwoners, gooit die op een hoop en deelt dat door het aantal inwoners. Elk volgend moment is die gemiddelde leeftijd weer anders, maar toch vrij constant, tenminste, wanneer, zoals in Nederland, er ongeveer net zoveel mensen overlijden als er geboren worden. Zoals de geboortegolf na de tweede wereldoorlog aantoonde is die gemiddelde leeftijd slechts ingrijpend te veranderen als er een drastische trendbreuk plaatsvindt. Bij een geboortegolf zal de gemiddelde leeftijd fors zakken, en vervolgens gebeurt er een tijd niet zo veel, tot de geboortegolf de gemiddelde leeftijd bereikt. Dan vergrijsst de Nederlandse bevolking in rap tempo, d.w.z.: elk jaar ligt de gemiddelde leeftijd hoger omdat er steeds meer mensen aan de 'verkeerde' kant van de 45 jaar komen, terwijl de aanwas van jongeren geen gelijke tred houdt. Leggen we dit beeld op het Nederlandse autopark, dan zien we het volgende. De gemiddelde leeftijd van de Nederlandse auto is zo'n jaar of 6.⁵ De gemiddelde levensduur is op het moment al 13,5. Tien jaar geleden was dat nog maar 10 jaar. De gemiddelde levensduur van het park wordt dus in rap tempo hoger. Dat komt omdat auto's technisch steeds beter worden. Was het voorheen speciaal als de kilometerteller 100.000 km aanwees, tegenwoordig gaat een motor minstens 200.000 km mee, en vaak langer. Maar omdat er steeds meer nieuwe, 'jonge' auto's bijkomen elk jaar, blijft de gemiddelde leeftijd ongeveer constant. Met andere woorden: het Nederlandse autopark vergrijsst niet, maar wordt beter en auto's worden vaker oud.

Net zoals de bevolking dus kan vergrijzen zonder dat de levensduur omhoog gaat, kan bij het autopark de gemiddelde leeftijd ongeveer gelijk blijven terwijl de gemiddelde levensduur snel toeneemt. De pointe van dit betoog is dat levensduur rechtstreeks beïnvloed kan worden door verbeterd onderhoud, dat de gemiddelde leeftijd van het park voor onze doelstelling om die levensduur te verlengen niet of nauwelijks van belang is, en dat een sloopregeling voornamelijk de gemiddelde levensduur beïnvloedt, maar dan in de verkeerde richting.

⁵ Dat is wat lager dan het gemiddelde in de wereld, dat 7 jaar bedraagt. Opvallend is dat er in Nederland nauwelijks echt oude auto's (ouder dan 12 jaar) zijn. (Bron: RAI)

Hoofdstuk 2: Inspection and Maintenance.

Als die gemiddelde levensduur toch al omhoog gaat is het dan nodig om er beleid op te voeren, zou de volgende vraag kunnen zijn. Het antwoord is ja, want een hogere gemiddelde levensduur is middel, geen doel op zich, en er kan nog veel verbeterd worden. Bovenstaande voorbeelden m.b.t. de sloopregeling tonen echter aan dat er nog al eens ongewenste, of in elk geval onverwachte, effecten kunnen optreden bij het voeren van beleid op een zo massaal consumptiegoed als de auto. Voorzichtigheid is dus geboden, vooral ten aanzien van het feit dat het Nederlandse autopark nogal verschilt van andere landen, wat vergelijken moeilijk maakt. Een ander aspect is: gebruikers van oude auto's zijn niet dezelfde als aanschaffers van nieuwe auto's en ook hun rijgedrag is verschillend.

De nadelen van een sloopregeling, zoveel lijkt wel duidelijk geworden, zijn voor een land als Nederland, zonder eigen auto-industrie en met een relatief jong park, groter dan de voordelen. Er was daarnaast bovendien nog een extra element dat invoering van een sloopregeling in Nederland ongewenst maakte: zowel de RAI als de BOVAG waren tegenstander. Begin 1995 werd een verwijderingsbijdrage ingevoerd van 1250,-, en er was nog allesbehalve duidelijk hoe dat zou uitpakken. Men wilde vooral rust op het front van autosloop en afvalverwerking, omdat deze maatregel waarschijnlijk aanzienlijke gevolgen zou hebben voor de sanering van de slopersbranche. En dat bleek ook het geval.

Sloopregeling dus niet. Als we er vervolgens van uitgaan dat je vanuit de overheid de levensduur van personenauto's wilt verlengen, om daarmee het energiegebruik en de afvalberg terug te dringen, ofwel: de duurzaamheid rond de auto te bevorderen, dan kan je je vervolgens afvragen: welke andere opties heeft het beleid beschikbaar? 't Wordt tijd dat ik u toch enig idee geef wat zoal de andere opties zijn die in fase 1 van ons onderzoek aan de orde zijn geweest. Eerst even de belangrijkste conclusies van fase 1 van ons onderzoek kort op een rijtje.⁶

- Energiegebruik tijdens de drie levensfasen is als volgt
 - productiefase: 15%
 - gebruiksfase: 85%
 - onderhoud/afvalfase: 3% / -3%
- In de periode 1986 tot 1996: wel technische verbeteringen van de motor, geen lager energiegebruik. Geheel te wijten aan een toename van het gemiddelde gewicht met meer dan 100 kg.
- Technisch is het goed mogelijk bij oudere auto's een (ongeregelde) katalysator aan te brengen. Ook is vervanging mogelijk van slecht werkende katalysatoren na een aantal jaren.
- Gemiddelde levensduur pa's in Nederland is in 1987: 10 á 11 jaar, in 1997: 13,5 jaar. In mei 1997 was 28% van het park van 5,7 miljoen pa's ouder dan 10 jaar, in 1995 nog minder dan 25%, en in 1990 slechts 19%. Gemiddelde leeftijd is 6 jaar (en al een aantal jaren constant).

⁶ Fase 1 werd uitgevoerd door dr Henk Moll, van de Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieu, IVEM, van de Rijksuniversiteit te Groningen

- **Conclusie:** vanuit energiebeleid: verlengen van levensduur, niet verkorten; vanuit afvalbeleid: verleng de levensduur; vanuit beleid emissies te beperken: spoor de supervervuilers op, retrofit katalysatoren en sloop de auto's waarbij dat niet kan.
- Hoe verleng je de levensduur van een personenauto? Het **advies** vanuit het onderzoek, fase 1 luidde: retrofit, technisch onderhoud verbeteren en corrosiepreventie verbeteren. Verhoog de economische waarde van tweede hands auto's en verlaag de BTW op onderhoud. Maak afspraken met fleetowners en garages over corrosiepreventie.

Je komt dus uit bij verbeteren van onderhoud. In het vervolg zal ik ingaan op een aantal aspecten hiervan, en wat er in de onderhoudswereld zoal speelt. Een belangrijke voorwaarde voor het langer op de weg houden van personenauto's blijft dat het geen nadelen voor het milieu mag opleveren.

Ten eerste bestaat de mogelijkheid om vanuit de overheid retrofit van katalysatoren te stimuleren. Zo zou je de auto's die nu nog zonder katalysator rondrijden met behulp van een fiscale stimuleringsregeling kunnen laten voorzien van een katalysator. Eind 1996 reed nog plusminus 25% van het Nederlandse wagenpark rond zonder enig katalysatorsysteem.⁷ In vrijwel alle gevallen is retrofit technisch mogelijk. Deze groep zal meer dan 50% van de vervuiling met CO, NOx en VOS door het personenautopark voor zijn rekening nemen, zo is de schatting. Aanzienlijk, dus. In het jaar 2000 zal het aantal auto's zonder kat nog maar minder dan 10% van het wagenpark uitmaken, en zal het aandeel in de emissies geslonken zijn tot circa 25%. Het aanbrengen van een ongeregelde katalysator kost zo'n f1000,-, een geregelde katalysator is in lang niet alle gevallen mogelijk en kost tussen de f3000 en f4000,-, meestal te veel voor de economische waarde die de auto nog heeft.

In het algemeen is men het er in de onderzoekswereld over eens dat retrofit van katalysatoren kosteneffectiever zal zijn dan een sloopregeling.⁸ Echter: het is ook een uitstervend probleem. Bovendien is het aantal supervervuilers (vergeleken bijv. met de V.S. of Australië), in Nederland relatief klein. Duitsland lost het anders op: sinds 1 juli van dit jaar wordt op auto's die niet zijn uitgerust met een geregelde katalysator DM 20,- extra Motorrijtuigenbelasting geheven per 100cc cilinderinhoud. Dat is voor een middenklasser al gauw zo'n f500,- per jaar. Dat zou de retrofit met katalysatoren moeten stimuleren, zo is de opzet. Ervaring is er nog niet mee opgedaan, maar de verwachting is eigenlijk dat de meerderheid van de eigenaren die boete toch gewoon betaalt. En dan schiet het milieu er natuurlijk weinig mee op. De minister van Verkeer en Waterstaat heeft overigens aangekondigd dat ze er niet aan denkt een dergelijke regeling ook in Nederland te overwegen. Dat heeft o.a. te maken met tekortkomingen in de Nederlandse kentekenregistratie.

Een tweede optie voor het beleid is het verbeteren van roestpreventie. Hier zal een vervolg van ons onderzoek zich met name op richten. Allereerst is het belangrijk om vast te stellen welk deel van de sloopauto's eigenlijk gesloopt wordt vanwege roestvorming. Het vermoeden is dat dat % relatief hoog is. Vaak is er aan de motor nog wel wat te reviseren en aan onderdelen nog wel wat te herstellen, maar dodelijk voor de levensduur van een auto is over het algemeen roest van vitale en dragende onderdelen. Maar er is momenteel niet bekend in welke percentages, welke technische

^{Noot 7} Naast 10% dieselauto's, waarvoor nog geen katalysatorsysteem bestaat, heeft dus 65% een ongeregelde, een geregelde of een drie-weg katalysator. Ongeveer 40% van het personenautopark is uitgerust met een geregelde drie-weg katalysator.

^{Noot 8} Een extra bezwaar bij het subsidiëren van een sloopregeling is nog dat het moeilijk is te voorkomen dat er geld gaat naar de sloop van auto's die ook zonder die premie wel gesloopt zouden worden.

mankementen er voor zorgen dat de economische waarde van auto's dermate laag is dat ze gesloopt worden.

Iets wat wél duidelijk is, is dat de anti-roestbranche niet bepaald een goed georganiseerde club is. Er is geen overkoepelende belangenorganisatie voor roestpreventie, en de middelen die in de handel zijn verschillen nogal van kwaliteit. Ook de uitgevoerde behandeling laat nogal eens te wensen over en van kwaliteitscontrole van behandeling komt helemaal niets terecht.

Interessant is ook om na te gaan wat er in de Scandinavische landen op dit gebied gebeurt. In Zweden, het land waar de ML-tectylbehandeling is uitgevonden, hebben auto's bijvoorbeeld een veel hogere gemiddelde levensduur dan in Nederland.

In elk geval is duidelijk dat er op dit gebied veel winst valt te behalen. Onduidelijk is echter hoe de Nederlandse overheid hier het beste op in kan spelen. In de APK worden wel richtlijnen gegeven waar en hoeveel roest er aan auto's op bepaalde plaatsen mag vóórkomen, maar om vanuit de APK preventieve maatregelen te gaan bepalen is wel weer iets anders. Het stellen van strengere eisen op het gebied van roestpreventie blijft echter een serieuze optie.

Een derde optie is het aanscherpen van emissienormen, die er tevens voor zorgen dat werking van motor en onderdelen beter gecontroleerd en onderhouden wordt. Het zal duidelijk zijn dat dat moet gebeuren in Europees verband. De tendens in Europese regelgeving is om steeds strengere eisen te stellen aan de uitstoot van nieuwe auto's. Daarnaast is er aandacht voor het terugdringen van benzene- en zwavelgehalte in brandstof (verbetert de werking van de katalysator en verlengt de levensduur ervan!), en wordt er ook meer nadruk gelegd op het testen van de motor in belaste staat (dus op de rollenbank), en "in-use", dat wil zeggen, tijdens werkelijk gebruik. Men wil garanties dat na de type-keuringstest auto's ook na een aantal jaren de emissies van vervuilende stoffen nog binnen de normen houden. Hiertoe zijn in de V.S. en tweetal nieuwe instrumenten ontwikkeld, nl: On Board Diagnostics (OBD) en Remote Sensing (RS).

On board diagnostics (OBD)

Op Europees niveau is een richtlijn op komst die erin voorziet dat auto's in het jaar 2000 een computer aan boord moeten hebben die, in het kader van het milieu, het functioneren van de motor controleert. Als de concentraties van schadelijke emissies te hoog worden gaat er een waarschuwingsslampje branden, zodat de bestuurder het euvel kan laten verhelpen. Ervaringen met OBD in de VS wijzen uit dat bestuurders inderdaad vrijwillig gehoor geven aan de waarschuwing: als de afstelling van de motor niet goed is kost dat immers ook meer brandstof, bovendien kan er iets ernstigers aan de hand zijn. De ANWB pleit ervoor om, evenals in de VS, de fabrikanten te verplichten de gegevens en de codes van de boordcomputer ter beschikking te stellen aan alle belanghebbenden (en niet alleen maar aan de eigen dealers). Hierbij treden mogelijk wel privacy-aspecten op.

Remote sensing

Nu de Inspection & Maintenance programma's in de V.S. wat teleurstellend verlopen heeft men daar de hoop gevestigd op de remote sensing techniek. Het idee is om op uitgekiende locaties de uitlaatgassen van personenauto's te meten en de eigenaars van de auto's die de normen overschrijden een oproep te geven hun auto naar de garage te brengen. Geen gehoor geven aan zo'n oproep leidt tot een boete en uiteindelijk tot inhouding van het rijbewijs. De eigenaar mag de auto niet meer rijden tot de emissies weer binnen de grenswaarden liggen. Problemen zijn bij dit systeem vooral te verwachten bij de opstelling van RS-apparatuur. Koude start, optrekken en ander rijgedrag beïnvloeden de metingen dermate, dat vaak bij een tweede test blijkt dat met de motor niets aan de hand is. De techniek van RS gaat echter vooruit.

Hoofdstuk 3: Toekomstperspectief⁹

De vraag blijft natuurlijk: moet je als overheid mensen die genoeg geld hebben om elke twee jaar een nieuwe auto te kopen proberen over te halen hun auto beter te onderhouden? Moet je tweede eigenaren verplichten hun auto een extra tectylbeurt te geven? Ik denk dat het antwoord op die vraag is: Nee, dat moet je als overheid niet. Niet willen en niet proberen. Dat is niet des overheids en 't lukt je bovendien ook niet. Wat dan? We moeten, denk ik, toe naar een andere systeemopzet van autobezit en onderhoud. Een aantal trends die momenteel plaatsvinden ondersteunen dat. Ik zal die hieronder beschrijven.

Historisch gezien kwam de wegwerp-cultuur tot stand toen de massa-productie werd uitgevonden. Milieu-groeperingen brachten, veel later, duurzaamheid weer onder de aandacht. Specifiek v.w.b. auto's : een onderzoek van Porsche, al gedaan in de jaren 70, toonde aan dat een levensverwachting van 25 tot 30 jaar niet onrealistisch, en in elk geval vanuit technisch oogpunt, mogelijk is. Sindsdien zijn er flinke stappen in die richting gezet. Motoren kunnen moeiteloos 240.000 km mee, en roest is behoorlijk teruggedrongen. Overigens: vroeger wist men er ook al wel weg mee; de meeste Rolls Royces, gebouwd in 1904, rijden nog steeds.

In Europa is op het moment de gemiddelde levensduur van personenauto's zo'n 10 tot 12 jaar, en de relatie tussen aankoopprijs en levensduur, zoals het voorbeeld van de Rolls Royce aantoon, is sterk. Daarom worden in arme landen auto's ook veel ouder: ze zijn relatief duur in aanschaf, vergeleken met het inkomen van mensen. Er kunnen ook andere redenen zijn voor een hoge levensduur. In Denemarken is 31% van het park ouder dan 10 jaar, omdat de BTW bij aanschaf van een nieuwe auto zo hoog is: onderhoud en reparatie van auto's wordt dan aantrekkelijker.

Beter onderhouden 2e hands auto's, maakt ze aantrekkelijker en de vraag zal toenemen. Vooral merken als Volvo en Mercedes houden hun verkoopwaarde goed vast. Autofabrikanten kunnen zich aan dit verschijnsel niet onttrekken: 't imago van de auto en de merknaam hangt ermee samen. Fabrikanten moeten zich, naast de verkoop van nieuwe auto's, ook gaan bezighouden met wat er daarna met hun producten en gebruikers gebeurt. Auto's worden bovendien steeds duurder, ook relatief gezien: het wordt voor mensen steeds moeilijker het geld voor een nieuwe auto op te brengen.

Van recente datum is de discussie in Duitsland over een einde-levensloop terugname verplichting voor fabrikanten van duurzame consumptie-artikelen, zoals auto's. Van die discussie gaat vanzelfsprekend een impuls uit die van invloed is op de levensduur van die consumptie-artikelen. Dat legt het probleem van de afvalberg terug bij de fabrikant en dwingt hem erover na te denken.

De trend wordt daarmee gezet: autofabrikanten zullen meer en meer gedwongen worden om zichzelf te gaan zien als "mobiliteitsaanbieders" en dat betekent een verschuiving van hun rol van fabrikanten naar dienstverleners. De verzadigde markt van West-Europa is toch al geen vetpot meer: de winstmarges lopen al jaren terug, speciaal voor de dealers. De auto wordt langzaam van doel op zich tot 'bron van inkomsten'. Zoals de producenten van foto-kopieer-apparatuur hun producten begeleiden van productie, via gebruik en hergebruik, naar recycling, zo zal de zorg van de fabrikant van duurzame en dure consumptie-artikelen steeds meer worden dat het product zo lang mogelijk blijft werken. Vervangen kost namelijk geld.

⁹ Dit hoofdstuk is afgeleid van ideeën van Günther Hömändinger's report "Congested roads, crowded markets - profitable solutions for the automotive sector".

De branche onderkent die trend ook wel. Bij het afscheid van Frans Sevenstern als president van NedCar, zei onlangs Ruud van Yperen, vice-voorzitter van de afdeling 'Auto's' van de RAI, letterlijk het volgende. "Maar het dealerbedrijf zal zich ook breder gaan ontwikkelen. Op den duur zal niet de verkoop centraal staan, maar de dienstverlening. In plaats van het product 'auto', zal het product 'mobiliteit' aangeboden worden."

Het lijkt er bovendien op alsof voor een groeiend aantal consumenten de mogelijkheid om van A naar B te kunnen gaan in een daarvoor geschikte auto, belangrijker wordt dan het bezit van een auto. Voor een bevestiging van die trend verwijs ik hier naar het relatieve succes van "Call a car" en andere deel-auto-projecten.

Zo kun je de mobiliteitsmarkt zien als bestaande uit tenminste een groep consumenten die behoefte heeft aan verschillende typen auto's én uit een groep consumenten die slechts af en toe een auto nodig heeft. Die consument hoeft dus niet zijn eigen auto te bezitten. Integendeel: hij heeft voordeel bij een ander arrangement. Dit is geredeneerd vanuit het perspectief van de producent. Zo is er natuurlijk ook het perspectief van de consument. Niet te onderschatten aspecten van psychologische aard, zoals privacy, status en individualiteit spelen een grote rol.

Een laatste aspect is nog het volgende. Een hoge aanschafprijs, als gevolg van hoge materiaal en/of productiekosten wordt veel minder bezwaarlijk als de consument of de gebruiker de auto niet hoeft te kopen en alleen het gebruik ervan maar koopt. De producent kan dan ook zijn kosten over een veel langere periode verhalen op verschillende gebruikers. Concepten zoals dure elektrische auto's en bijvoorbeeld het 'hyper-car' concept van Amory Lovins¹⁰, komen dan ook binnen bereik. De EV-1 van General Motors wordt om die reden op het moment alleen maar geleased en niet verkocht. Overigens is de rol van de overheid in de V.S. bij die ontwikkeling groot: de federale overheid betaalt 10% van de lease prijs¹¹, terwijl (bijv.) de State of California \$ 5000 bijdraagt.

Naast het producenten- en het consumenten-perspectief zijn er ook andere economische consequenties van dit concept. Levensduurverlenging van personenauto's zal leiden tot productie-uitval en dat zal vervolgens langzaamaan leiden tot verlies van banen en sluiting van fabrieken. Ook bestaat het risico dat nieuwe technologie trager zijn weg zal vinden, omdat nieuwe modellen minder gretig aftrek vinden. Daar staat tegenover dat een betere service en klantgerichte onderhoudsaanpak nieuwe banen zal creëren.

Mede daarom is het van belang dat de overheid zich niet terugtrekt op dit beleidsterrein. Er ligt een taak in het bevorderen van de overgang van het dealernetwerk zoals we dat nu kennen, naar een meer service-gerichte opzet.¹² Het retrofitten van technische vindingen kan gestimuleerd worden. Hierbij hoeft trouwens niet alleen gedacht te worden aan katalysatoren, air-bags en revisie van motoren en versnellingsbakken, maar ook aan bekleding en stoffering van het interieur, naar nieuwe trends en modes.

Dit perspectief dat ik u schets van een wereld waarin beter onderhoud gekoppeld wordt aan één eigenaar, ligt ook nog wel een generatie van ons weg. Zo lang duurt een culturomslag in het

^{Noot 10} De hyper-car bestaat uit super lichte composiet-materialen en een hybride aandrijving. De technologie is daarvoor al aanwezig. In de toekomst zal de krachtbron bestaan uit een waterstof-brandstofcel.

^{Noot 11} De leaseprijs van de EV1 bedraagt momenteel \$ 30.0000 per 3 jaar, d.w.z. zo'n \$ 850,- per maand.

^{Noot 12} Overigens zijn ook hier al vorderingen gemaakt: een dealer zal graag uw auto, na verkoop, blijven onderhouden. De marges op het onderhoud tijdens het leven van de auto zijn hoger dan die op de verkoop.

algemeen wel. Maar daarmee moeten dit soort visies niet naar het rijk der fabelen worden verwezen. Visies hebben de neiging hun eigen draagvlak te verwerven, naar gelang ze serieuzer ter discussie worden gesteld en voor grote groeperingen wenselijk zijn. Momenteel is de nood van luchtvervuiling, van uitputting van grondstoffen, van afvalbergen, onnodig energiegebruik en kapitaalvernietiging, van files en ruimtegebrek, van lawaai-overlast en stank kennelijk nog niet groot genoeg om een kentering te veroorzaken in het denken over hoe we met onze auto's omgaan. Maar over 20 jaar, en misschien wel eerder, zal dat anders zijn. Ik hoop dat deze paper een bijdrage heeft kunnen leveren aan het denken over toekomstconcepten van onderhoud en autobezit. Dank voor uw aandacht.

Referenties

Azcutt, M.Z. en J.S. Dodgson: Controlling the environmental impacts of transport: Matching instruments to objectives. In: **Transportation Research**, vol. 2, No. 1, 1997, pp 17 - 33

Chase, Adam: Planning anything? Lessons for the future from the recent past. In: **FT Automotive Environment Analyst**, Issue 28, May 1997, pp 19 - 23

Jolly, E.R.: Voertuigwrakken, 1995 In: **Kwartaalbericht Milieu**, CBS. 97/2, pp 33 - 35

Moll, H.C en K.J. Kramer: Naar een optimale levensduur van de personenauto. Technische factfinding in het kader van het project "Levensduurverlenging personenauto's". IVEM, Groningen, juni 1996

Nieuwenhuis, Paul en Peter Wells: Product durability. Stewardship and the long-life car. In: **FT Automotive Environment Analyst**. Issue 29, June 1997, pp 21 - 23

Nouwen, Pieter: Nieuwe brandstofformule biedt weinig milieu-winst. In: **De ingenieur** nr 19. 20 november 1996, pp 31 - 33.

Rijkeboer, R.C.: Schoner dan schoon. Emissies moeten nog verder omlaag. In: **Auto- & Motortechniek**, 57, 1997.4, pp. 46 - 49

Goederenvervoer voor een leefbare stad

Auteurs:

A.J. van Binsbergen

Technische Universiteit Delft

Faculteit Civiele Techniek,

Vakgroep Infrastructuur*

Postbus 5034

2600 GA Delft

tel: 015-278 1681

fax: 015-278 5263

* maakt deel uit van TRAIL Onderzoekschool

Samenvatting

Verkeer en vervoer in en voor stedelijke gebieden levert veel overlast op, reden voor veel gemeenten om verkeersmaatregelen te nemen. Tegelijkertijd beperkt de concentratie van activiteiten, die een stad is, de verplaatsingsafstanden of maakt de inzet van efficiënte vervoerssystemen (collectief vervoer) mogelijk. Maatregelen moeten er dus niet toe leiden dat steden onaantrekkelijk worden voor bijvoorbeeld winkelbedrijvigheid.

Verschillende maatregelen die genomen kunnen worden om de hinder in stedelijke gebieden te verminderen, worden in de paper besproken. Het gaat daarbij om verkeers(circulatie)-maatregelen, toegangsbeperkingen, logistieke oplossingen, maar vooral ook over voertuig-technische oplossingen en infrastructurele oplossingen.

De nadruk ligt op technische aspecten, maar zeker komt ook aan de orde aan welke bestuurlijke/organisatorische randvoorwaarden moet worden voldaan om de technieken toe te kunnen passen. Van de verschillende opties worden de voors- en tegens op een rijtje gezet, daarbij lattend op het effect op de leefbaarheid (zowel emissies en geluidhinder als bijvoorbeeld benodigde grondstoffen), het effect op de 'bereikbaarheid' en de haalbaarheid.

I. Leefbaarheidsproblemen in steden en goederenvervoer

Stedelijke gebieden zijn concentratiepunten van activiteiten: er zijn veel mensen bij elkaar en zij hebben behoefte aan vervoer voor zichzelf en voor de goederen die ze nodig hebben. Dit vervoer veroorzaakt verkeersstromen van voertuigen die hinder opleveren. Juist door de concentratie van mensen en activiteiten zijn er veel gehinderden.

De aantasting van de leefbaarheid wordt veroorzaakt door verschillende typen problemen:

- geluidhinder;
- luchtverontreiniging (lokale effecten);
- ruimtegebruik;
- verkeersonveiligheid;
- trillinghinder - beschadigingen;
- 'gevolg-effecten'.

geluidhinder

Bij lage snelheden zijn het vooral het motor- en transmissiegeluid (geëmitteerd door de trilling van de motor zelf en via de uitlaat) en het eventuele rammelende geluid van de vervoerde lading die hinder opleveren. Bekend is dat dieselmotoren (nog steeds) relatief luidruchtig zijn en dat zware motoren meer hinder veroorzaken dan lichte, althans als we spreken van vrachtvoertuigen en bestelauto's. Vast staat ook dat de meerderheid van de (stads-) bevolking in meer of minder ernstige mate gehinderd wordt door verkeersgeluid. Het is lastiger om te bepalen wel voor welk 'aandeel' in de totale geluidhinder het vrachtvervoer verantwoordelijk is.

luchtverontreiniging

De verbranding van (diesel-) brandstof levert een groot aantal verbrandingsproducten die een (lokaal) effect kunnen hebben. Aërosolen en PAK zijn daar bekende voorbeelden van. De uitstoot van zwavelverbindingen is door een andere samenstelling van de brandstoffen aanmerkelijk afgenomen. Ook de uitstoot van onverbrande deeltjes (ook vaak PAK) levert lokale problemen op. Tenslotte verliezen voertuigen olie, stofdeeltjes uit remvoeringen, rubber van de banden e.d., maar hierop wordt in dit artikel niet verder ingegaan.

ruimtegebruik

Een belangrijk 'omgevingsprobleem' in stedelijke gebieden is het ruimtegebruik (of - gebrek). In stedelijke gebieden zijn veel activiteiten geconcentreerd en voor adequate infrastructuur blijft er daardoor relatief weinig ruimte over. Dit leidt enerzijds toe dat gehinderden dicht op de hinder-veroorzakers zitten, waardoor de hinder-ervaring groot is. Door de beperkte ruimte-beschikbaarheid zijn er ook niet veel mogelijkheden om gehinderden tegen hinder te beschermen door bijvoorbeeld geluidswerende constructies.

verkeersonveiligheid

Het (zware) vrachtverkeer draagt in belangrijke mate bij aan de verkeersonveiligheid. Indien zich ongevallen voordoen, zijn de gevolgen door de grote massa van de vrachtvoertuigen vaak ernstig. Door de traagheid van zware vrachtautocombinaties (manoeuvreren, remmen) en het toch altijd beperkte overzicht, zijn ongevallen soms moeilijk te vermijden.

trillinghinder en beschadigingen

Over schade door trillingen, veroorzaakt door verkeer, is relatief weinig bekend. Toch lijkt het waarschijnlijk dat (zwaar) verkeer in stedelijke gebieden op den duur schade zal aanrichten aan gebouwen. Dat schade aangericht wordt aan de infrastructuur is evident. Het gaat daarbij niet alleen om de wegverharding, maar bijvoorbeeld ook om rioolstelsels, kademuren en straatmeubilair.

gevolg-effecten

Vrachtvoertuigen bewegen zich in een verkeersruimte die moet worden gedeeld met andere verkeersdeelnemers. Deze verkeersdeelnemers leveren wederzijdse hinder op, die bijvoorbeeld kan resulteren in laad- en losproblemen of congestie. Het is lastig een eenduidige oorzaak-gevolg relatie vast te stellen met betrekking tot de bijdrage aan de veroorzaakte hinder (laat staan een nut/noodzaak versus overlast relatie). Vast staat echter dat gemengde verkeersstromen instabiel zijn en daardoor relatief meer overlast veroorzaken dan homogene verkeersstromen.

II. Ontwikkelingsmogelijkheden en samenhangen

interventieniveau's

Overheden kunnen op verschillende niveau's ingrijpen om uiteindelijk de ongewenste effecten van het goederenvervoer te beperken.

Tabel 1: interventieniveau's, mogelijke maatregelen en beoogde effecten		
interventieniveau	mogelijke maatregelen	soort beoogde effecten
vervoeromvang	prijsmaatregelen verpakkingsrichtlijnen	reductie van vervoerde hoeveelheid goederen
verkeersomvang	herverdeling lading homogeniseren verkeersstromen routegeleidingssystemen automatische voertuigbesturingssystemen	reductie van voertuigkilometrage, concentratie van verkeer
effecten van verkeer	schonere motoren verbrandingsgascatalysatoren lichtgewicht voertuigen vormgeving van voertuigen geavanceerde transmissiesystemen geluidswallen ondergrondse infrastructuur	reductie van geluidhinder en emissies

In deze paper gaan we vooral in op de laatste twee niveau's van interventie.

onderlinge relaties tussen maatregelen

Zoals we in het vervolg van deze paper zullen zien, zijn bepaalde maatregelen aan elkaar gekoppeld. De effectieve inzet van elektrische voertuigen is bijvoorbeeld (vooralsnog) gekoppeld aan een reorganisatie van het vervoer (andere logistiek) en dit geldt bijvoorbeeld ook voor ondergrondse infrastructuur. Verder vergt de implementatie van veel technologieën een aangepaste regelgeving: om de nieuwe technologieën te kunnen gebruiken (veiligheidsvoorschriften aanpassen) of om gebruik min of meer af te dwingen.

Sommige maatregelen kunnen zonder 'flankerend beleid' ook juist averechtse effecten hebben. Het gaat daarbij om maatregelen die het goederenvervoer kosten-efficiënter maken. Dat geldt al een beetje voor brandstof-gebruik besparende maatregelen, die theoretisch zouden kunnen leiden tot een grotere inzet van voertuigen. Het geldt zeker voor doorstromingsmaatregelen die beogen congestie op te heffen: de kwaliteit van het verkeerssysteem wordt daardoor beter, waarvan een verkeersaantrekkende werking kan uitgaan. Dit effect geldt zeker niet alleen bij het personenvervoer: ook het goederenverkeer zal bij een verbeterde infrastructuur-kwaliteit kunnen toenemen. Hoewel de omzet (en dus de vervoeromvang) niet heel veel zullen veranderen, kan wel degelijk gekozen worden voor een andere bevoorradingsstrategie (hogere frequentie) en een gewijzigde voertuiginzet (i.h.a. lagere beladingsgraden).

III. Aanpassen en verder-ontwikkelen

voortbewegingstechniek

dieselmotoren

De dieselmotor techniek laat nog steeds aanzienlijke verbeteringen toe in het ontwerp, waardoor aanmerkelijk zuiniger of emissie-armere motoren kunnen worden ontwikkeld. Fabrikanten tonen regelmatig hun kunnen. Over technische duurzaamheid van deze geavanceerde technologieën en bijvoorbeeld het verloop van energiegebruik en emissies gedurende de gebruiksperiode is nog weinig bekend.

De belangrijkste reden dat de nieuwe technologieën nog niet massaal op de markt komen, lijkt toch vooral te worden ingegeven door de (veronderstelde) klanten-wensen. Prestatievermogen lijkt nog steeds een belangrijk criterium, naast onderhoudsgevoeligheid en overigens ook wel het brandstofverbruik. Zolang voertuigen voldoen aan emissie-eisen, is het voor de klant veelal voldoende. Het potentieel is echter groot. Bij bestelauto's lijken kosten-effectieve besparingen van 30% (tot 2010) mogelijk, voor vrachtauto's tot zo'n 15% [Janse e.a. 1995].

De ontwikkeling van katalysatoren voor dieselmotoren lijkt nog steeds niet echt goed van de grond te komen, hoewel voor personenauto's tests worden verricht.

benzinemotoren

Ook bij benzinemotoren zijn verbeteringen nog mogelijk, zowel wat betreft de motor zelf (efficiëntie-verbeteringen) als voor wat betreft de uitlaatgasreinigingssystemen. De indruk bestaat echter dat bij benzinemotoren de ontwikkelingsstappen kleiner zullen zijn dan bij dieselmotoren. Voor de door benzinemotoren aangedreven bestelauto's zijn reducties met zo'n 17-23% denkbaar [Martin, 1991].

Het blijft onduidelijk of op de lange termijn de voorkeur gegeven moet worden aan diesel-aandrijving of aan benzine-aandrijving.

alternatieve brandstoffen

Aardgas, LPG en in de toekomst wellicht ethanol en methanol bieden energetische voordelen en ook milieuvordelen, deels vanwege het winningsproces (de brandstoffen zijn een bijproduct en zouden anders worden afgefakkeld of zijn een vorm van 'biobrandstof'), deels ook vanwege de eigenschappen van de stoffen zelf. Wat betreft emissies ontlopen moderne, met katalysator uitgeruste, benzinemotoren de alternatieve-brandstofmotoren niet zo heel veel meer, vooral met betrekking tot de NO_x-uitstoot zijn er effecten te verwachten. Overigens wordt LPG nog niet toegepast in zware voertuigen. Aardgas weer wel, maar hierbij is het compressieproces weer omslachtiger (en energie-intensief). Methanol en ethanol leiden vooral tot aanmerkelijke emissiereducties voor wat betreft smogvormende en kankerverwekkende stoffen en zouden dus in een stedelijke omgeving goed bruikbaar zijn. Nadeel vormt wel het hoge kostenniveau [Janse e.a., 1995].

elektrische motoren

Elektrische motoren zijn tot op heden slechts toepasbaar voor autoparken van vervoerders die in beperkte gebieden opereren (postdiensten bijvoorbeeld). De actieradius en het prestatieniveau van de voertuigen, maakt ze vooral geschikt voor vervoer binnen stedelijke gebieden. Accu's zijn nog steeds zwaar en omvangrijk en beperken daardoor de praktische toepasbaarheid voor het stedelijk goederenvervoer enigszins. Een veel grotere beperking is de nog steeds hoge mate van onbetrouwbaarheid. Maar heel weinig proefprojecten met (zwaardere) elektrische voertuigen zijn een succes. Hoewel de keten-efficiëntie van accu-elektrische voertuigen (nog) niet veel beter is dan die van verbrandingsmotor-voertuigen, is het grote voordeel het vrijwel ontbreken van lokale effecten. Elektrische voertuigen zijn bijzonder stil (op het gevaarlijke af) en produceren geen lokale emissies. Ze zijn daarom wel bij uitstek geschikt voor een stedelijke omgeving [Van Binsbergen e.a., 1993].

overig voertuigtechniek*nieuwe materialen*

Toepassing van nieuwe materialen kunnen het voertuiggewicht terugdringen, waardoor minder energie nodig is voor de voortbeweging. Daarnaast kunnen nieuwe materialen meer dan voorheen gerecycled worden. Hoewel een zorgvuldige analyse van de voordelen op termijn noodzakelijk is (denk aan de 'controversie' met betrekking tot toepassing van recyclebaar aluminium), lijkt toepassing aanbevelenswaardig.

banden

Nieuwe typen banden (ander profiel, andere materiaalsamenstelling) kunnen de brandstofverbruikcijfers enigszins terugdringen (1-3%) en ook bijvoorbeeld het geluidsniveau reduceren. Omdat er nauwelijks negatieve (milieu-) effecten zijn van deze banden, verdient toepassing aanbeveling.

vormgeving

Door de vormgeving van voertuigen is een lagere luchtweerstand te bereiken met een overall-effect een brandstofbesparing tussen de 3 en 7%. Voor verkeer binnen stedelijke gebieden heeft de vormgeving eigenlijk nauwelijks effect vanwege de lage snelheden die gehaald worden in een stad. Geen reden om dit soort maatregelen het na te laten overigens.

telematica

Op het gebied van telematica zijn binnen afzienbare termijn systemen te verwachten die betrouwbare informatie verschaffen over verkeerscondities (files e.d.). Tot de doelstellingen van deze ontwikkelingen behoren ondermeer het verminderen van congestie voor met name het vrachtverkeer. Hierdoor worden niet alleen economische efficiëntie-voordelen bereikt, maar zullen er ook positieve gevolgen voor het milieu zijn.

Bepaalde telematica-toepassingen zullen dus indirect leiden tot een minder grote milieubelasting. Overigens gaat het daarbij vooralsnog om hoofdwegen en nog niet om wegen in de stad: de problematiek in de steden wordt er dus niet echt minder door.

Snelheidsverlaging en, in het algemeen, aanpassingen in rijgedrag kunnen besparingen opleveren tot zo'n 4% in het brandstofverbruik [Janse e.a., 1995; Van Binsbergen e.a., 1993]

infrastructuur

Op het hoofdswegetennet worden in toenemende mate voorzieningen getroffen om de doorstroming van het vrachtverkeer te verbeteren (zie ook onder telematica). Vrije stroken en, op den duur wellicht vrije banen, zullen de doorstroming verbeteren en daarmee ook positieve effecten op energiegebruik en emissies laten zien. Ook hier geldt echter dat dit voor stedelijke gebieden nauwelijks effecten heeft.

conclusie

Op korte termijn zijn, voor de stedelijke distributie, vooral ontwikkelingen op het vlak van voertuigtechniek van belang. De potenties zijn daar groot, het probleem lijkt vooral de implementatie te zijn.

In principe is elektrische tractie bij uitstek geschikt voor een stedelijke omgeving: de globale milieu-effecten zijn vergelijkbaar met die van traditionele voortbewegingstechnieken, maar de lokale effecten zijn bijzonder positief. Helaas zijn de nadelen van de huidige elektrische voertuigen zodanig, dat ze maar mondjesmaat kunnen worden ingezet.

Van ontwikkelingen in telematica en infrastructuur zijn voor stedelijke gebieden zelf nog niet heel veel positieve effecten te verwachten, hoewel op hoofdwegen (in eerste instantie) wel gunstige effecten kunnen worden bereikt (minder brandstofverbruik en minder emissies).

IV. Nieuwe technologieën

voortbewegingstechniek*nieuwe typen verbrandingsmotoren*

Hoewel nog steeds op diverse plaatsen gezocht wordt naar nieuwe typen brandstofmotoren (zoals voorheen de wankelmotoren en meer recentelijk de vrije-zuiger motoren) lijken hier op afzienbare termijn geen doorbraken te verwachten. Het doorontwikkelen van bestaande typen motoren levert vooralsnog voldoende besparingspotentieel.

geavanceerde elektrochemische accu's

Geavanceerde elektrochemische accu's hebben een hoger rendement en een hoger prestatieniveau per gewicht en volume (zink/lucht, natrium-zwavel, lithium). Met de moderne accu's neemt de bruikbaarheid van vervoermiddelen dus toe. Nadeel van de accu's blijft echter toch het hoge gewicht, de relatief grote omvang en de blijvend beperkte actieradius van de voertuigen (ten opzichte van door brandstof aangedreven voertuigen). Bijkomende nadelen zijn

de noodzakelijk hoge bedrijfstemperatuur (vergt ook energie om die in stand te houden resp. te brengen) en vooralsnog ook de onveiligheid: er wil er wel eens een exploderen of in brand vliegen.

Dat veiligheidsprobleem zal op den duur wel beperkt blijven, maar de overige kenmerken van de accu's noodzaken toch toepassing in voertuigparken voor praktisch uitsluitend stedelijke gebieden [zie o.a. Van Binsbergen e.a., 1993].

brandstofcellen

In brandstofcellen wordt waterstof na een 'omgekeerde elektrolyse' direct omgezet in elektrische energie. Voordeel van brandstofcel-voertuigen is dat ze de voordelen van traditionele brandstof-voertuigen (het meenemen van een energiedrager met een hoge energiedichtheid) combineren met dat van een elektrische auto (nauwelijks lokale emissies, laag geluidsniveau). Omdat waterstof een moeilijk te hanteren en transporteren gas is, wordt er ook gezocht naar de toepassing van methaangas en combinatie met een 'reformer' (die het gas omzet in waterstofgas, waarbij dan wel CO₂ vrijkomt). Daarmee wordt meteen één van de zwakke punten van het concept aangeduid: het waterstofgas moet wel worden geproduceerd en dit kost uiteraard ook energie en levert ook emissies op.

De grootste nadelen van de brandstofcel zijn echter de grote omvang en het hoge gewicht (hoewel daar in gunstige zin ontwikkeling in zit) en de vooralsnog enorm hoge kosten.

Deskundigen zijn het er nog lang niet over eens of deze kosten op den duur tot een aanvaardbaar niveau zullen afnemen. Tenslotte blijft het probleem van de brandstof-opslag en -handling, zeker bij waterstof, maar toch ook wel bij methaan. Hiervoor zijn relatief grote en zware cilinders nodig. Al met al is de ontwikkeling van een brandstofcel werkelijk revolutionair te noemen, maar kleven er toch ook nog wel erg grote nadelen aan.

externe toevoer elektrische energie

Een externe aanvoer van elektrische energie zou de minste verliezen met zich meebrengen. In de stedelijke omgeving kennen we al trams en trolleybussen die beide met bovenleidingssystemen werken. Een dergelijk systeem is niet zondermeer geschikt voor het goederenvervoer: goederen kunnen niet worden afgezet bij haltes, maar moeten daadwerkelijk tot aan het bestemmingsadres worden gebracht. Er zal dus een systeem moeten komen waarbij de voertuigen tijdelijk ook zonder externe aanvoer van elektrische energie kunnen rijden (anders zouden alle wegen in een stad voorzien moeten worden van bovenleiding). Dergelijke systemen zijn in principe goed denkbaar en worden bij trolleyssystemen ook wel toegepast. Zeker in combinatie met kleinere vrachtvoertuigen zijn bovenleidingsystemen echter weinig 'elegant' te noemen, derde railsystemen zouden dan de voorkeur genieten. Belangrijk nadeel hiervan is echter het beveiligingsaspect: voetgangers mogen de stroomgeleider immers niet eenvoudig kunnen bereiken. In een stedelijke omgeving zou dit tot grote praktische problemen leiden.

Een derde alternatief zou draadloze overdracht van energie zijn, bijvoorbeeld door inductie. De ontwikkeling van deze techniek staat echter nog in de kinderschoenen en over veiligheidsrisico's en het (energetisch) rendement is weinig bekend.

De meest reële optie lijkt nog om op hoofdverbindingen (toch) bovenleidingsystemen toe te passen en de voertuigen daarnaast uit te rusten met een elektromotor of een aggregaat. Bij gebruikmaking van trolleyssystemen vindt stroomopname en afdracht van de retourstroom dan plaats via de (dubbele) bovenleiding. Bij gebruikmaking van tramsystemen zal de retourstroom moeten worden afgevoerd via de tramrails, hetgeen een extra (ook meer complexe) technische voorziening aan het voertuig vergt.

andere vormen van energieopslag

Her en der wordt nagedacht over het op een andere wijze opslaan van energie, bijvoorbeeld in een 'mechanische accu' (vlieg wiel) of in drukcilinders (met vloeistof of gas onder druk).

Potentiële voordelen van deze systemen is de afwezigheid van lokale emissies.

Het vlieg wiel wordt reeds (sporadisch) toegepast, vooral in combinatie met recuperatieve remsystemen: het voordeel van een vlieg wiel is immers dat er zeer snel energie in kan worden opgeslagen. Het geluidsniveau ligt uiteraard hoger dan bij normale accu's, maar is toch nog altijd geringer dan bij brandstofmotoren. Over druksystemen is nog maar weinig bekend over geluidsniveau en energetisch rendement.

overig voertuigtechniek

recuperatieve remsystemen

Bij remmen van voertuigen wordt bewegingsenergie normaliter omgezet in warmte (en geluid). Bij recuperatieve rem-energie systemen, wordt de bewegingsenergie van het voertuig omgezet in bewegingsenergie van een vlieg wiel in dat voertuig. Die opgeslagen energie kan dan weer worden gebruikt om mee te helpen bij het accelereren (de meest energie-intensieve actie van een voertuig). Zeker in een stedelijke omgeving, met vele starts en stops, is een dergelijk systeem zinvol, hoewel het massa aan het voertuig toevoegt. Voor bestelauto's worden brandstofbesparingen van maximaal 10% verwacht (2015), voor vrachtauto's ongeveer 3%. De emissies zullen daardoor ook wat lager kunnen zijn, zonder aanvullende maatregelen kan het geluidsniveau echter hoger komen te liggen.

De systemen zijn vooralsnog relatief kostbaar, maar worden al wel toegepast in bussen. Een andere manier om energie te hergebruiken is het remmen te gebruiken om elektrische energie op te wekken (via een generator) en deze op te slaan. Nu is dat met accu's niet goed mogelijk, omdat de opnamecapaciteit onvoldoende is. Denkbaar is echter wel de toepassing van supercondensatoren waarmee dit makkelijker lijkt te zijn. Een andere mogelijkheid is het terugvoeren van de gegenereerde energie naar het (bovenleiding-) net.

geavanceerde transmissiesystemen

Door geavanceerde transmissiesystemen, eventueel (half-) automatisch lijken beperkte brandstofbesparingen haalbaar (1% voor vrachtauto's tot 5% voor bestelauto's met CVT), ook indien rekening gehouden wordt met het hogere gewicht van de voertuigen. Deze besparingen komen vooral voort uit het op de optimale snelheid laten draaien van de motor, niet zozeer vanwege besparingen op interne wrijvingsverliezen in de transmissie.

Juist in zwaardere vrachtvoertuigen worden halfautomatische transmissies al veelvuldig toegepast, naar verwachting zullen in de toekomst ook systemen voor bestel- voertuigen beschikbaar komen.

telematica

routegeleidings & toewijzingssystemen

In vervolg op de huidige ontwikkelingen, zijn verdergaande routegeleidings en zelfs route-toewijzingssystemen denkbaar. Congestie kan zo in betere mate worden vermindert of voorkomen, vertrektijdstippen kunnen worden aangepast en de toegankelijkheid van steden kan worden gelimiteerd. Per saldo zou dit alles kunnen leiden tot een afname van

energiegebruik en emissies, want in de toekomst zal een trip vóóraf kunnen worden gepland en zullen omwegen niet langer noodzakelijk zijn.

goederenstroom-management systemen

Door goederenstroom-management systemen is een veel hogere graad van consolidatie (samenladingvervoer) haalbaar. Daardoor kan de voertuiginzet aanmerkelijk worden beperkt. Bij stedelijke distributie worden kleine(re) voertuigen gebruikt dan nu meestal het geval is. Door een verhoging van de beladingsgraad en een nauwkeuriger routing, zijn ondanks deze kleinere voertuigen toch grote besparingen in termen van brandstofverbruik en emissies te realiseren.

voertuigbesturingssystemen

Uiteindelijk zou het kunnen komen tot voertuigbesturingssystemen, vormen van automatische voertuigen dus. De directe milieuconsequenties zijn vooral ruimtelijk van aard: infrastructuur neemt minder ruimte in en de mogelijkheden voor ondergronds transport worden bij automatisering vergroot. Verder leidt automatisering echter tot gelijkmatiger vervoerstromen en dit heeft zeker ook consequenties voor brandstofverbruik en emissies.

infrastructuur

vrije banen en stroken

Bekeken wordt of ook in stedelijke gebieden vrije banen of stroken voor het vrachtverkeer kunnen worden gerealiseerd. Voor permanente vrije banen zal in de meeste gebieden de ruimte ontbreken, maar door moderne informatiesystemen moet het ook mogelijk zijn 'tijdelijke' vrije banen te creëren (temporele reservering rijstroken of -banen). Het voordeel van dergelijke banen is de gelijkmatiger vervoerstroom en het daardoor afnemende brandstofgebruik.

ondergrondse infrastructuur

In sommige steden zal het in de verdere toekomst wellicht zelfs kunnen komen tot ondergrondse infrastructuur. Diverse studies in binnen- en buitenland zijn gaande om de mogelijkheden te onderzoeken. Technisch en organisatorisch zijn er problemen, maar deze lijken overkomelijk (ondergrondse systemen vergen nieuwe organisatievormen die op zich wel weer efficiënter zijn in relatie tot voertuiginzet). Een groot knelpunt is de bouwfase, indien er sprake moet zijn van open-bouwput bouwmethoden. Zelfs bij geboorde tunnels zullen toch ergens toegangen moeten komen, die wel degelijk bouwactiviteiten op maaiveldniveau vergen. Het allergrootste probleem lijken toch de kosten te vormen. De problemen en grondprijzen in stedelijke gebieden zijn (nog) niet zodanig groot/hoog om grote investeringen in ondergrondse infrastructuur in overweging te nemen.

conclusie

Ook op de langere termijn lijken veel opties te liggen op het vlak van voertuigtechniek. Elektrische tractie is het meest aantrekkelijk. Tegelijkertijd is het riskant om alle kaarten op elektrische tractie te zetten omdat uit vrijwel alle praktijktests een grote onbetrouwbaarheid van met name accu's blijkt.

Telematicatoepassingen zullen in de toekomst ook steeds belangrijker worden om goederenvervoerstromen en -verkeersstromen in goede banen te leiden. Het effect op brandstofgebruik- en emissiereducties moet niet onderschat worden.

Van infrastructurele aanpassingen valt helaas niet veel te verwachten, tenzij zeer ingrijpende maatregelen worden genomen (ondergronds bouwen) die dan wel weer zeer positieve, lokale, effecten hebben.

Opmerkelijk is dat zowel de ontwikkeling van (elektrische) voertuigen, als de effectieve toepassing van telematica en de invoering van nieuwe infrastructuur, aanpassingen aan de organisatie van het vervoer werken. Met techniek alleen redden we het niet.

V. Overzicht concepten en randvoorwaarden

overzicht

In de onderstaande overzichten zijn de genoemde ontwikkelingen opgenomen en voorzien van een korte beschrijving van voor- en nadelen.

tabel 1: voor- en nadelen ontwikkelingen in voortbewegingstechniek			
voortbewegingstechniek	milieu-voordeel	milieu-nadeel	haalbaarheid
geavanceerde verbrandingsmotoren	red. lokale emissies en brandstofverbruik	mondiale milieueff., geluid	doorontwikkeling
geavanceerde accu's*	red. lokale emissies, geluidloos	mondiale milieueff., afvalmateriaal	beperkte inzetbaarheid
brandstofcellen*	red. lokale emissies, geluidloos	afvalmateriaal?	kosten?
externe toevoer*	red. lokale emissies, geluidreductie	mondiale milieueff., afvalmateriaal, veiligheid	praktische problemen
andere vormen van energie-opslag**	reductie lokale emissies	mondiale milieueffecten	meer fiction dan science
* keten-efficiency bij elektrisch aangedreven voertuigen hangt van vele factoren af, eventuele voordelen zijn vaak lastig aan te geven			
** perslucht etc.; keten-efficiency is afhankelijk van wijze van energie-opslag, daar zijn moeilijk algemene uitspraken over te doen			

tabel 2: voor- en nadelen ontwikkelingen in voertuigtechniek (overig)			
voertuigtechniek	milieu-voordeel	milieu-nadeel	haalbaarheid
nieuwe materialen	lager brandstofverbruik, minder afval	materialen?*	in toenemende mate toegepast
recuperatieve remsystemen	lager brandstofverbruik	materialen?*	kostbaar
vormgeving	lager brandstofverbruik	-	reeds toegepast
banden	enigszins lager brandstofverbruik	-	reeds toegepast
bestuurders-assistentie	lager brandstofverbruik	-	in toenemende mate toegepast
geavanceerde transmissiesystemen	lager brandstofverbruik	-	reeds toegepast in zware voertuigen
* bepaalde materialen blijken na verloop van tijd toch niet zo gunstig te zijn voor milieu en/of gezondheid (denk bijvoorbeeld aan asbest)			

tabel 3: voor- en nadelen ontwikkelingen in telematica			
telematica	milieu-voordeel	milieu-nadeel	haalbaarheid
informatiesystemen	lager brandstofverbruik door minder congestie	omwegen?	reeds toegepast
routekeuze-beïnvloeding (in steden)	lager brandstofverbruik door minder congestie	omwegen?	voortgaande ontwikkeling
routemanagement (in steden)	lager brandstofverbruik door minder congestie	omwegen?	relatief kostbaar
lading-afstemming	lager brandstofverbruik door efficiëntere voertuiginzet	omwegen?	vergt grote aanpassingen in logistiek

tabel 4: voor- en nadelen ontwikkelingen in infrastructuur			
infrastructuur	milieu-voordeel	milieu-nadeel	haalbaarheid
vrije stroken/banen op hoofdwegen	lager brandstofverbruik, concentratie hinder	omwegen en daardoor extra energieverbruik?	voortgaande ontwikkeling
tijd-restricties	afname fysieke hinder	extra energieverbruik?	voortgaande ontwikkeling
gereserveerde infra in steden	afname fysieke hinder	omwegen en daardoor extra energieverbruik?	ruimtegebrek
ondergrondse infra	praktisch geen lokale effecten meer	infra-aanleg, uitkomende grond	kostbaar
ondergronds geavanceerd vervoersysteem	praktisch geen lokale effecten meer	infra-aanleg, uitkomende grond	kostbaar

conclusie

De meest veelbelovende *voortbewegingstechniek* voor stedelijke gebieden is toch de elektrische aandrijving, waarbij op zich geen voorkeur is voor het soort energievoorziening (accu, brandstofcel, extern). Elektrische voertuigen dragen het meest bij aan de reductie van milieuproblemen in stedelijke gebieden. De inzet van elektrische voertuigen opent echter ook de weg naar toepassing van andere energiebronnen voor het verkeerssysteem. Aandacht verdient het opkrikken van het relatieve lage rendement van het elektriciteits-productie proces: hier zijn dringend ontwikkelingen gewenst. Momenteel is de keten-efficiency van elektrische voertuigen wellicht nog iets minder goed dan die van verbrandingsmotoren. Gezien de hoge investeringskosten per voertuig en de beperkingen aan de inzetbaarheid, vergt de toepassing van elektrische voertuigen feitelijk een andersoortige logistieke organisatie. Dit zal nog een belangrijk implementatie-probleem worden.

Verdere ontwikkeling van de verbrandingsmotor kan tot aanzienlijke brandstofgebruik- en emissiereducties leiden (15-30%). Voordeel van dit soort ontwikkelingen is dat organisatorische aanpassingen niet noodzakelijk zijn, waardoor de implementatie eenvoudig is. In vergelijking met elektrische tractie zullen verbrandingsmotoren echter altijd meer hinder blijven veroorzaken.

Omdat andere ontwikkelingen ten aanzien van de *voertuigtechniek* feitelijk alleen maar voordelen hebben, moeten deze worden gestimuleerd. De effecten voor het milieu in de stedelijke gebieden zijn echter zeer beperkt.

Ontwikkelingen op het gebied van *telematica* kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het verminderen van milieu-effecten op lokaal (straat-, wijk-) niveau. Daarbij zal in sommige gevallen een wat groter energieverbruik op de koop toe genomen moeten worden (vanwege

eventuele omwegen). Vooral de verdere ontwikkeling van (geavanceerd) samenladingvervoer kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het reduceren van voertuigkilometers. Hiertoe is behalve een belangrijke technologische ontwikkeling ook een belangrijke organisatorische (logistieke) ontwikkeling noodzakelijk.

De ontwikkelingsmogelijkheden voor infrastructuur zijn in stedelijke gebieden relatief beperkt. Gedacht kan worden aan temporele of permanente reservering van wegen, waardoor overlast tenminste wordt geconcentreerd (dat leidt overall tot minder overlast, lokaal tot meer overlast en 'globaal' tot een enigszins hogere brandstofverbruik).

Toepassing van ondergrondse logistieke problemen biedt een definitieve oplossing voor allerlei lokale problemen, inclusief het ruimtegebruik. Deze oplossing is echter bijzonder kostbaar en zal in de praktijk waarschijnlijk slechts bij uitzondering haalbaar zijn. De vraag bij dit soort ingrijpende infrastructurele projecten is overigens ook hoe het zit met de 'energie-inhoud' van de constructies. Die kan wel eens groter zijn dan de 'globale' besparingen die geboekt worden. Problemen in stedelijke gebieden zijn vooral lokale milieuproblemen. Het oplossen van deze problemen kan wel eens leiden tot een (geringe) toename van de 'globale' milieuproblemen. De functie van een stad, ook uit milieu-technische oogpunt, is echter van een zodanig groot belang, dat dit wisselgeld geaccepteerd zal moeten worden.

Veelbelovende ontwikkelingen op het gebied van voortbewegingstechniek, telematica en ook infrastructuur zijn slechts te implementeren na een betrekkelijk fundamentele aanpassing van het logistieke systeem en de (lokale en landelijke) regelgeving. Techniek alleen zal slechts in zeer beperkte mate een oplossing kunnen bieden!

Bronvermelding

Biesiot W., A.J.M. Schoot Uiterkamp (red., 1993), *Transitie naar duurzaamheid en kwaliteit, tien jaar onderzoek naar duurzaamheid en (milieu-) kwaliteit*, IVEM onderzoeksrapport no. 63, IVEM/Rijksuniversiteit Groningen

Binsbergen A.J. van, A. Erkens, B. Hamel (1994), *Long-term energy efficiency improvement for transport, technology assessments*, TU-Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Delft

Catling I (1994) *Advanced technology for road transport: IVHS and ATT*

ECMT (1991) *Freight Transport and the environment*, OECD/ECMT Parijs

ECMT (1995) *Urban travel and sustainable development*, OECD/ECMT Parijs

Feola M., V. Rocco (1991), *Strategies toward clean and fuel efficient automobile*, in: *proceedings Toward clean and fuel efficient automobiles*, OECD, Parijs

Janse P., J.H.J. Roos, M. Bos, F.J. Lamaker (1995), *Meer milieu voor je geld in het goederenwegvervoer, integratieproject milieu en economie in de transportsector*, Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft

Kram T., P.A. Okken (1989), *Kansen voor alternatieve brandstoffen in het wegverkeer in Nederland onder invloed van de olieprijs, NO_x- en CO₂-plafonds*, Energie studiecentrum Nederland, Petten

Kroon M., R. Smit, J. van Ham (red., 1991) *Freight Transport and the environment*, Studies in environmental science 45, Elsevier, Amsterdam

Sachs H.M., J.M. DeCicco, M.Ledbetter, U. Mengelberg, (1992) *Heavy truck fuel economy, a review of technologies and the potential for improvement*, *proceedings Transportation Research Board* (71th annual meeting), TRB, Washington

Swan D.H., A.J. Appleby (1992), *Fuel cells and other long range technology options for electric vehicles, knowledge gaps and development priorities*, in *The Urban Electric Vehicle*, OECD Parijs

Het indirecte energiegebruik en de indirecte emissies van het transportsysteem

Auteurs:

Sandra Bos * (presentatie)

Henk Moll **

*

ECN-Beleidstudies

Postbus 1

1755 ZG Petten

tel: 0224-56 4347

fax: 0224-56 3338

**

Rijksuniversiteit Groningen

Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde (IVEM)

Nijenborgh 4

9747 AG Groningen

Abstract

Bij de analyse van het personenvervoersysteem en het goederentransportsysteem zijn zowel het directe als het indirecte energiegebruik en de directe en indirecte emissies van belang. Het directe energiegebruik en de directe emissies (ten gevolge van het verplaatsen in de vervoermiddelen) wordt mede bepaald door de stand van de technologie (voertuigtechniek en het type brandstof). Daarnaast bepaalt de inzet van gas, olie, kolen en elektriciteit en de stand van technologie in de productiesectoren het energiegebruik en de emissies t.g.v. de productie en onderhoud van vervoermiddelen en infrastructuur, vanaf hier verder aangeduid met het indirecte energiegebruik en de indirecte emissies.

Dit paper richt zich voornamelijk op de indirecte aspecten van personen- en goederenvervoer. Voor beide vormen van vervoer wordt het vervoer per auto (personenauto, vrachtauto) en het vervoer per trein beschouwd; daarnaast wordt aandacht besteed aan het vrachtvervoer over het water. Naast de indirecte aspecten van de vervoermiddelen worden de indirecte aspecten van de infrastructuur bestudeerd.

Allereerst wordt beknopt een tweetal methoden besproken waarmee de indirecte energie- en emissie-effecten kunnen worden berekend. De eerste methode, input-output-energie-analyse (IOEA), heeft een economische grondslag. De tweede methode, levens-cyclus-analyse (LCA), heeft een fysieke grondslag.

Vervolgens worden resultaten van diverse analyses getoond. Voor alle analyses is de situatie anno 1990 uitgangspunt. Dat geldt o.a. voor de materialensamenstelling van de vervoermiddelen en infrastructuur, de efficiency van de productie van materialen en de mate van gebruik van primaire en secundaire grondstoffen.

De resultaten tonen aan dat de indirecte aspecten van vervoer - in vergelijking tot de directe aspecten - relevant zijn. De gevolgen van deze conclusie voor middellange-termijn beleid wordt besproken.

Inleiding

De transportsector draagt bij aan diverse milieuproblemen. Geluidsoverlast en emissies zijn hiervan zijn het meest besproken. Daarnaast is ook het hoge totale energiegebruik door de sector verontrustend. Het brandstofverbruik en elektrisch verbruik bedroeg in 1992 409 PJ. Dit was 14% van het primair Nederlandse energiegebruik (1).

Energie wordt echter niet alleen gebruikt en emissies ontstaan niet alleen tijdens het rijden van de voertuigen. Ook de aanleg en onderhoud van de infrastructuur en de productie en onderhoud van de voertuigen kost energie en veroorzaakt emissies. Hetzelfde geldt voor het verwerken van oude voertuigen. Een volledige energie- en milieuanalyse van een transportsysteem dient een analyse van de productiefase, gebruiksfase en afvalfase te omvatten (2).

Dit paper bespreekt het energiegebruik en de emissies gerelateerd aan de productiefase van het transportsysteem (= infrastructuur + voertuigen), vanaf hier verder aangeduid met het indirecte energiegebruik en de indirecte emissies. Hierbij komen het vervoer over het spoor, over de weg en over water aan de orde. Het energiegebruik en de emissies van het personen- en goederenvervoer in Nederland worden gescheiden gepresenteerd. De methoden van analyse van de systemen is echter dezelfde en de analyses zijn overlappend daar waar sprake is van gezamenlijk gebruik van de infrastructuur. Voor alle analyses dient de technologische stand van 1990 als uitgangspunt.

Zowel methoden als resultaten zijn tot stand gekomen in het kader van een tweetal promotie-onderzoeken. In het kader van het eerste promotie-onderzoek is een analyse gemaakt van het directe en indirecte energiegebruik van het Nederlandse personenautopark over de periode 1960 - 2020 (2). Het tweede promotie-onderzoek betreft een omvattende bepaling van de indirecte

energie- en milieu-effecten van het goederenvervoer voor het jaar 1990 en zal in de eerste helft van 1998 verschijnen. Een deel van de bevindingen zijn reeds gerapporteerd in (3). De resultaten van het tweede onderzoek zijn gebruikt om gecombineerd met de gegevens van (2) een vergelijkbare beschrijving omtrent het personenvervoer voor het jaar 1990 af te leiden. Voor meer achtergrondinformatie wordt naar deze proefschriften verwezen.

Deze paper bespreekt allereerst kort de hoofdlijnen van een tweetal analysemethoden die ontwikkeld zijn voor het bepalen van het indirecte energiegebruik en een tweetal methoden die ontwikkeld zijn voor het bepalen van de indirecte emissies; Input-Output-Energie-Analyse (IOEA)/ Input-Output-Energie-Emissie-Analyse (IOEEmA) en Proces-Energie-Analyse (PEA)/ Proces-Emissie-Analyse (PEmA). Vervolgens worden de vervoersystemen met de hierbij behorende belangrijke uitgangspunten kort besproken. Hierna wordt overgegaan op de presentatie van de resultaten. De discussie gaat vervolgens in op het belang van het meenemen van het indirecte energiegebruik en de emissies in het middellange-termijn milieubeleid.

Analysemethoden voor het bepalen van het indirecte energiegebruik en de indirecte emissies.

Input-Output-Energie-Analyse (IOEA) en Proces-Energie-Analyse (PEA) zijn een tweetal methoden waarmee het energiegebruik kan worden bepaald dat nodig is voor de aanleg en onderhoud van de infrastructuur en de productie en onderhoud van de vervoermiddelen.

IOEA (zie figuur 1) heeft een economische grondslag: de methode combineert kennis m.b.t. de energie-efficiëntie van de economische sectoren (zie figuur 1, stap 1) met kennis betreffende de investeringen in infrastructuur en vervoermiddelen (zie figuur 1, stap 2). De energie-intensiteiten van de economische sectoren worden berekend door het energiegebruik E van de sectoren, verdeeld over de verschillende energiedragers, en de productiewaarde W van de sectoren te koppelen: E/P , het energiegebruik per geproduceerde gulden en uitgedrukt in MJ/Dfl kenmerkt de diverse economische sectoren. De stappen 1 en 2 zijn afgeleid van Wilting (4) en Noorman (5); hun methoden zijn aangepast voor deze specifieke studie. Op deze wijze zijn IOEA-resultaten voor de infrastructuur, de spoorvervoermiddelen en vrachtauto's verkregen. IOEA-resultaten voor personenauto's zijn verkregen met behulp van berekeningen in het analyse-programma EAP (6), zoals beschreven in (7). De EAP-berekeningen komen dan in de plaats van de stappen 1 en 2. De EAP-methode is een hybride methode, die materiaalbalansen combineert met IOEA sector-resultaten.

PEA (zie figuur 2) heeft een fysieke grondslag: de methode combineert kennis m.b.t. de energie-efficiëntie waarmee materialen geproduceerd (2, 8) worden met kennis over het materiaalengebruik in de infrastructuur en vervoermiddelen, kennis over de opbouw van het infrastructurele netwerk (km wegen, etc.) en de samenstelling van de voertuigenvloot (aantallen personenauto's en trucks, etc.) (9).

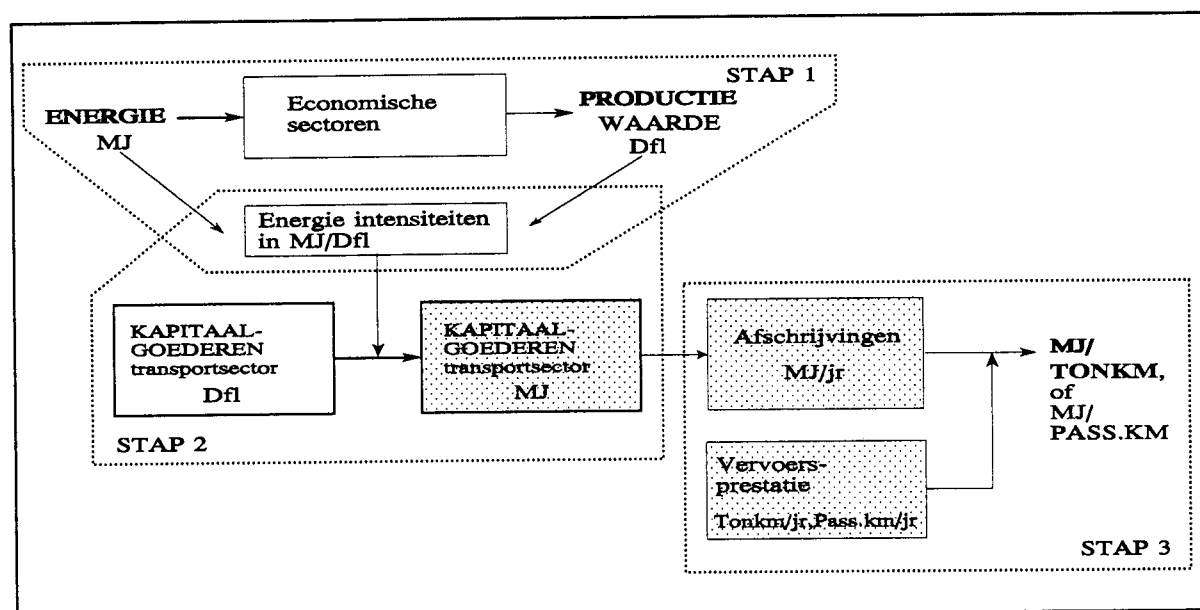
Het resultaat van stap 1 en 2 in IOEA en van stap 1 in de PEA is een schatting van de hoeveelheid energie die vastligt in de infrastructuur en de vervoermiddelen, de zogenaamde 'embodied energy'. Op basis van kennis over de levensduur en het gebruik van infrastructuur en de vervoermiddelen, wordt de afschrijving van het energiegebruik tot slot gerelateerd aan de vervoersprestatie. Voor personen en goederenvervoer leidt dit tot energiekentallen uitgedrukt in MJ per passagierkilometer (MJ/pass.km) en MJ per tonkilometer (MJ/tonkm).

Input-Output-Energie-Emissie-Analyse (IOEEmA) en Proces-Emissie-Analyse (PEmA) zijn emissie-analyse-methoden die dezelfde grondslag hebben als de energie-analyse-methoden IOEA en PEA. Maar resultaat van de methoden is in dit geval niet de 'embodied energy' maar de som van de emissies die zijn ontstaan bij de productie van het infrastructurele netwerk en de vervoermiddelenparken.

Een schematische weergave van de emissie-analyse methoden toont grote overeenkomsten met de figuren 1 en 2. De schema's worden daarom hier niet getoond. Er wordt volstaan met op te merken dat in de IOEEmA, de economische sectoren gekarakteriseerd worden door de kentallen 'kg emissies/ Dfl' (als tegenhanger van de sectorspecifieke energiekentallen in IOEA weergegeven in MJ/Dfl) en de materialen in PEmA gekarakteriseerd worden door de kentallen 'kg emissies/kg materiaal' (als tegenhanger van de MJ/kg kentallen in PEA).

De kg emissies per kg materiaal in de PEmA zijn i.t.t. in de PEA niet rechtstreeks uit andere bronnen af te leiden. De kentallen zijn in het kader van deze studie berekend hierbij gebruik makend van diverse bronnen (10, 11, 12, 13, 14).

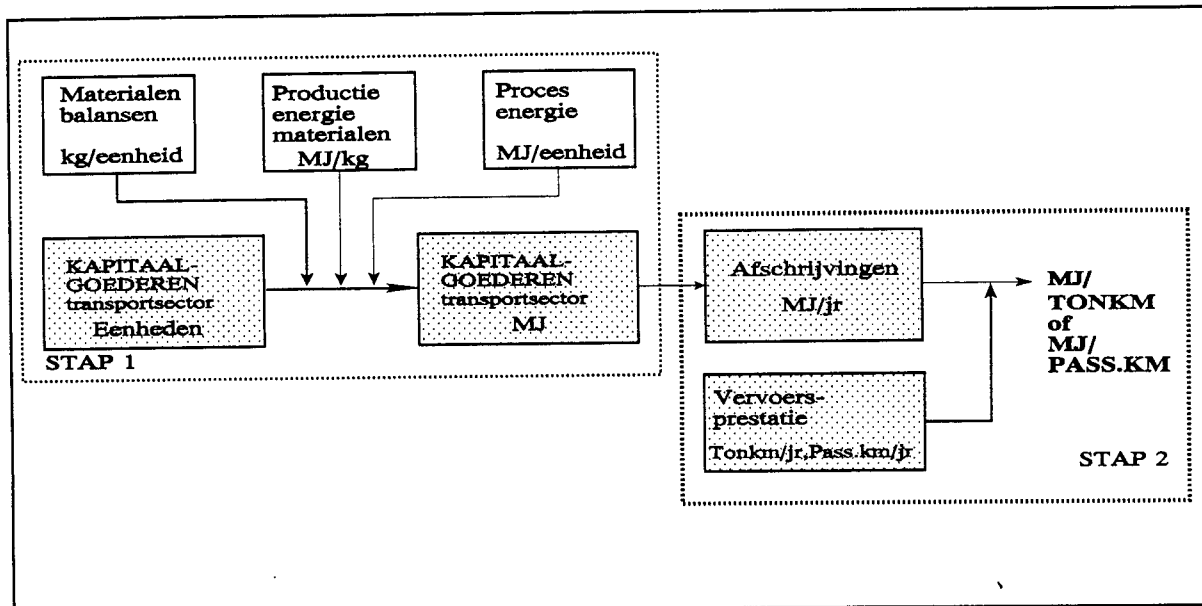
De kg emissies per kg materiaal in de IOEemA zijn bepaald door het energiegebruik van de economische sectoren verdeeld over de energiedragers olie, kolen en gas, aan de brandstof-gerelateerde emissies CO₂ en SO₂ en de productiewaarde van de sectoren te koppelen (15, 16, 17).



Afbeelding 1 Input-Output-Energie-Analyse (IOEA)

Systeembeschrijving

In dit gedeelte worden kort de Nederlandse transportsystemen beschreven die in het kader van dit onderzoek zijn geanalyseerd. Voor alle analyses is 1990 het uitgangsjaar. Dit geldt voor de beschrijvingen aangaande de infrastructurele netwerken en de vervoermiddelenparken. Dit geldt ook voor de bij IOEA- en IOEEmA benodigde data over de energie-efficiëntie van de economische sectoren, de emissies door de economische sectoren, de investeringskosten. Dit geldt ook voor de bij PEA- en PEmA benodigde data aangaande de efficiëntie waarmee materialen geproduceerd worden, de emissies die bij de productie van de materialen vrijkomen, de mate waarin de materialen worden hergebruikt en de materiaalbalansen van vervoermiddelen en infrastructuur. De gegevens die aan de analyses ten grondslag liggen zijn afgeleid uit vele bronnen, o.a. uit vele CBS-statistieken (18). In onderstaande beschrijvingen zijn slechts enkele belangrijke bronnen vermeld.



Afbeelding 2 Proces-Energie-Analyse (PEA)

Railvervoer

Transport over het spoor betreft zowel het personen- als goederenvervoer.

Voor zowel infrastructuur als vervoermiddelen zijn financiële als materiaalgegevens beschikbaar zodat diverse IOEA's/IOEEMA's en PEA's/PEmA's zijn uitgevoerd.

De financiële gegevens betrekking hebbende op de Nederlandse Spoorwegen zijn afkomstig uit de statistieken van de kapitaalgoederenvoorraad (19). De materiaalgegevens van spoor en vervoermiddelen zijn afkomstig van een aantal bronnen waaronder de NS (20).

Het energiegebruik en de emissies ten gevolge van de aanleg van het spoor is aan personen- en goederenvervoer toegewezen op basis van het aantal askilometers op de rails en de bijbehorende asdruk (in de verhouding 25% goederenvervoer en 75% personenvervoer). De tonkilometer prestaties op de rails betreft die van Nederlandse treinen en buitenlandse treinen. De levensduur van diverse onderdelen van de infrastructuur varieert tussen de 25 jaar (rails en houten dwarsliggers) en 50 jaar (onderbouw).

In de voertuigenvloot worden diverse typen wagons en locomotieven onderscheiden. De tonkilometerprestaties van de treinen betreft zowel voertuigkilometers in Nederland als in het buitenland. De levensduur van wagons en locomotieven is op 25 jaar gesteld. Voor de voertuigenvloot ten behoeve van het goederenverkeer is een omvattende analyse uitgevoerd. Met betrekking tot de embodied energy (en de indirecte emissies) van de voertuigenvloot ten behoeve van het personenvervoer is in deze paper aangenomen dat de verhouding 25% goederen - 75% personen die voor infrastructuur geldt ook gebruikt kan worden voor de voertuigenvloot van de spoorwegen.

Wegvervoer

Transport over de weg betreft zowel het personen- als goederenvervoer.

Net als voor het vervoer per spoor zijn diverse IOEA's/IOEEMA's en PEA's/PEmA's uitgevoerd omdat voor infrastructuur en vervoermiddelen financiële en materiaalgegevens beschikbaar zijn.

De investeringen in de infrastructuur zijn gebaseerd op schattingen m.b.t. de investeringskosten per km weg en de totale weglengte van het infrastructurele netwerk. Schattingen van het materiaalgebruik in het wegennet zijn gebaseerd op truckintensiteiten op de wegen (18) en de hierbij bijbehorende constructiedikten en onderhoudsregimes (21).

Het energiegebruik ten gevolge van de aanleg van wegen is aan het personen- en goederenvervoer toegewezen op basis van het aantal voertuigkilometers door personenauto's en vrachtauto's en het beslag op de weg door deze voertuigen; 1 truck is gelijk verondersteld aan 3 personen-auto's op basis van zowel zijn lengte als de wijze waarop de truck aan het verkeer deelneemt (bron); 1 truck = 3 personen-auto-equivalenten (PAE) (22). Het energiegebruik ten gevolge het onderhoud van wegen binnen de bebouwde kom wordt aan het personen- en goederenvervoer toegewezen in een verhouding 1:1. Buiten de bebouwde kom komt het onderhoud geheel ten laste aan het goederenvervoer. De levensduur van een weg is op 50 jaar gesteld.

Het goederenwegvervoer over de weg betreft het vervoer per vrachtauto en het vervoer per trekker-oplegger-combinatie door het Nederlands beroepsgoederenvervoer: er worden onderscheid gemaakt tussen 20-tons-trucks en 40-tons-trucks. Goederenvervoer per bestelbus is dus geen onderdeel van het onderzoek. De tonkilometerprestaties van de trucks betreft zowel voertuigkilometers in Nederland als in het buitenland. De levensduur van een vrachtauto is 10 jaar. Voor personenauto's is aangenomen dat deze gemiddeld 175.000 km rijden (resultierend in een levensduur van 12 jaar).

Transport over water

Transport over water betreft alleen het vervoer van goederen per motorvrachtschip of per duwboot-duwbak combinatie over de Nederlandse binnenwateren (23).

Daar m.b.t. de infrastructuur slechts financiële gegevens beschikbaar zijn, (24) is hiervoor alleen een IOEA en IOEEmA uitgevoerd. De analyse van de binnenwateren maakt onderscheid tussen de vaarwegklassen <4, 4, 5, 6 en onderscheidt investeringen in dijken, oevers, kunstwerken en waterbodembodem. Investerings in dijken zijn slechts voor 50% aan de binnenwateren toegewezen. De levensduur van de infrastructuur is op 50 jaar gesteld.

M.b.t de vaartuigen zijn alleen materiaalgegevens beschikbaar. Derhalve is hiervoor alleen een PEA en PEmA uitgevoerd. De motorvrachtschepen worden onderscheiden in de klassen 0-1000 ton, 1000-2000 ton en >2000 ton; zij worden gerepresenteerd door schepen van 500, 1400 en 3000 ton. De levensduur van schepen is op 30 jaar gesteld.

Resultaten

Voor bovenbeschreven transportsystemen worden hier diverse resultaten gepresenteerd. Tabel 1 toont de totale vastgelegde energie in infrastructuur en vervoermiddelen voor het vervoer over het spoor, de weg en het water. De figuren 3, 5 en 7 tonen het indirecte energiegebruik en de indirecte SO₂, CO en NO_x emissies per tonkilometer voor het goederenvervoer. De figuren 4, 6 en 8 tonen het indirecte energiegebruik en de indirecte SO₂, CO en NO_x emissies per tonkilometer voor het personenvervoer. Deze resultaten worden vergeleken met het directe energiegebruik en de directe emissies (25, 26). Alvorens op de bespreking van de resultaten over te gaan is het van belang te weten dat de energie-analyses van het weg- en railvervoer op gedetailleerde analyses gebaseerd (met uitzondering van de vervoermiddelen voor het personenpoorvervoer [zie de eerder beschreven aanname]) zijn en dat de energieresultaten van de scheepvaart op een beknoptere globale analyse gebaseerd zijn. (De oorzaak hiervan is het gebrek aan data en het feit dat dit vervoersysteem complex en weinig homogeen is.) De emissieresultaten van alle vervoerwijzen kunnen daarnaast slechts als indicatief beschouwd worden. De emissie-analyse-methoden dienen verder ontwikkeld te worden maar bovenal behoren de aan de methoden onderliggende datasets aanzienlijk verbeterd te worden.

Tabel 1 *Het vastgelegde energiegebruik in de infrastructurele netwerken en de vervoermiddelenparken van het spoor, weg en watervervoer (1990).*

	Infrastructuur goederenvervoer PJ	Infrastructuur personenvervoer PJ	Vervoermiddelen goederenvervoer PJ	Vervoermid- delen personenvervoer PJ
Rail IO	20	62	5,9	17,7
Rail PEA	25	75	6,6	19,8
Weg IO	888	2190	54,3	555
Weg PEA	800	1560	64,1	615
Water IO	323			
Water PEA			82	

Het totale vastgelegde energiegebruik voor het wegennet is 3471 PJ (IO) en 2638 PJ (PEA). Het aandeel wat toegerekend is aan bestel- en service-busjes bedraagt 292 PJ (IO) en 278 PJ (PEA). Het aandeel voor bestel- en service-busjes is noch aan het personenvervoer noch aan het goederenvervoer toegekend.

De hoeveelheid energie die vastligt in de infrastructuur is aanzienlijk (zie tabel 1). Ter vergelijking: de hoeveelheid energie die vastligt in het wegennet komt ongeveer overeen met het jaarlijks primair energiegebruik in Nederland. De hoeveelheid energie per km weg of km spoor komen redelijk overeen: deze is 22.1 TJ voor 1 km spoor en 25.2 TJ voor 1 km weg (indien beide bepaald met PEA). Het feit dat er zo'n 2800 km spoor ligt en zo'n 105000 km weg veroorzaakt het grote verschil in de totale vastgelegde energie. Interessant is verder dat van de energie die vastligt in de binnenlandse vaarwegen meer dan 90% opgeslagen ligt in de vaarwegen van de klassen 5 en 6 en meer dan 50% vastligt in de kunstwerken.

De embodied energy in de vervoermiddelen is veel lager dan de embodied energy voor infrastructuur. Bij rail- en watervervoer en personenvervoer op de weg is de embodied energy van de vervoermiddelen 25% - 40% van de embodied energy van de bijhorende infrastructuur. De embodied energy van vrachtauto's is 6% - 8% van de embodied energy van de bijhorende infrastructuur. Wordt het energiegebruik per tonkilometer (zie figuur 3) beschouwd dan blijkt echter dat ook het indirecte energiegebruik van de voertuigen sterk meetelt in een van wieg-tot-graf analyse van het vervoersysteem. De korte levensduur van vervoermiddelen vergeleken met die van de infrastructuur ligt ten grondslag aan het relatief grote aandeel van de vervoermiddelen in een tonkm-vergelijking.

Voor het goederenrailvervoer en het goederenwatervervoer bedraagt het totale indirecte energiegebruik meer dan 50% van het direct gebruik, zoals getoond in figuur 3. Voor wegvervoer ligt dit op ongeveer 25%. De resultaten van de vervoermiddelen per tonkm voor rail en wegvervoer zijn vrijwel gelijk en bedragen tussen de 0.10 en 0.12 MJ/tonkm. Het aandeel van de vervoermiddelen is 30 à 40% van het totale indirecte energiegebruik. Het aandeel van de infrastructuur is in alle analyses dus groter dan 50%.

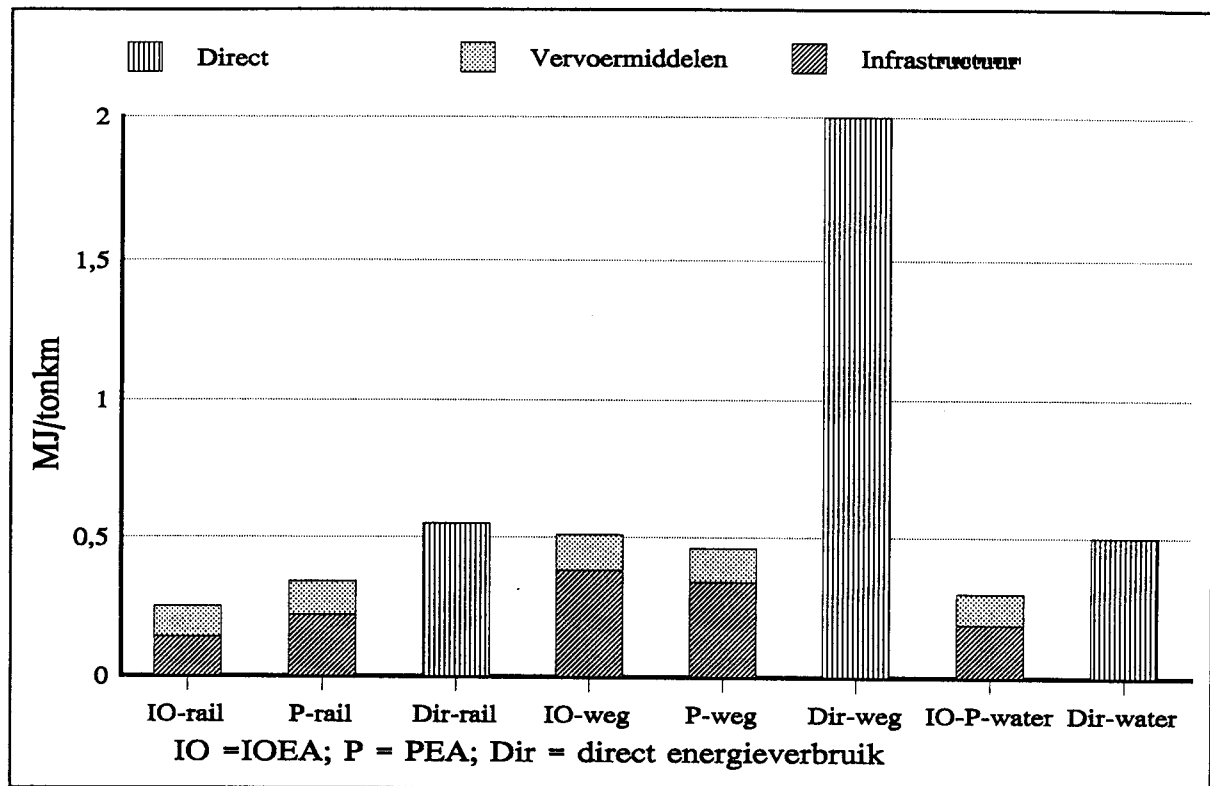
Voor het personenrailvervoer en het personenautoverkeer bedraagt het totale indirecte energiegebruik 20% respectievelijk 40% van het direct gebruik, zoals getoond in figuur 4. Het aandeel van de

vervoermiddelen in het totale indirecte energieverbruik varieert: bij railvervoer circa 40% en bij wegverkeer 55% - 65%.

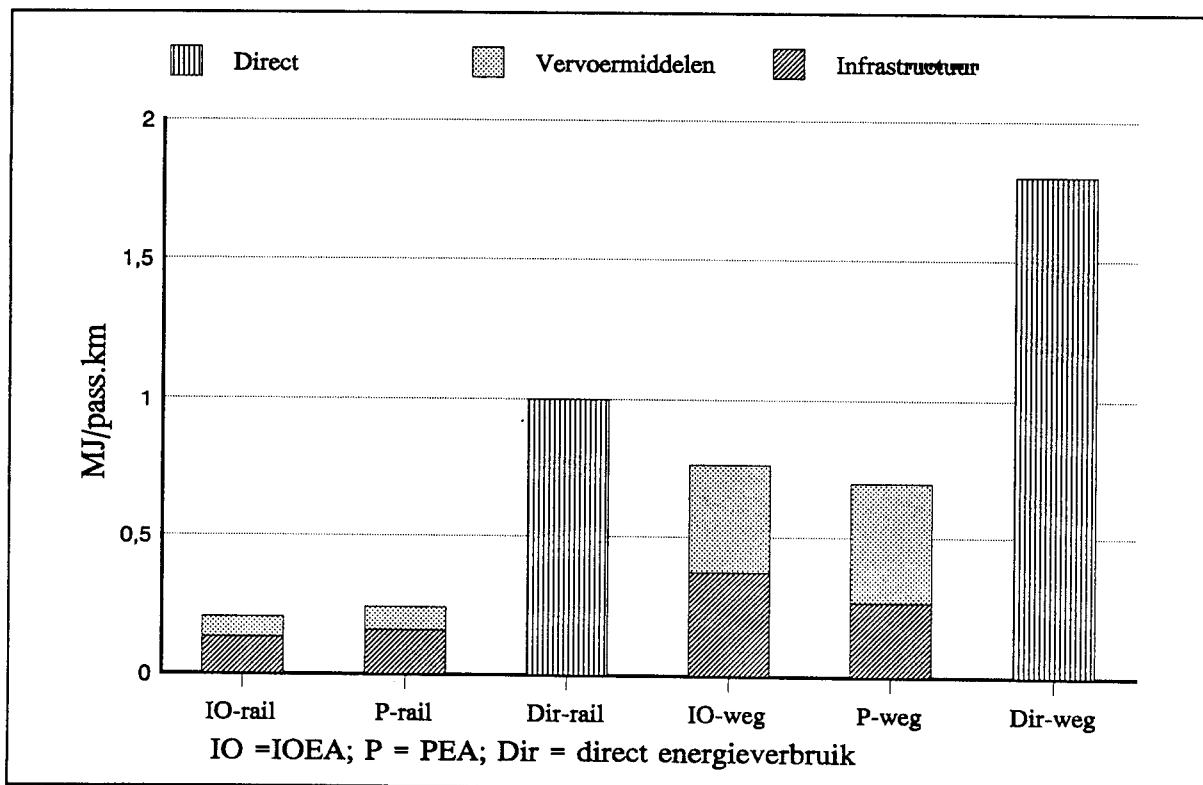
De resultaten op basis van IOEA en PEA komen in redelijke mate overeen. Met name de energie-analyses van de vervoermiddelen in het spoor- en wegvervoer tonen een sterke overeenkomst. Voor het vervoer over water is een vergelijking tussen de methoden niet te maken daar zowel voor infrastructuur als vervoermiddelen slechts één analyse is uitgevoerd.

De hoeveelheid emissies ontstaan tijdens de productie van infrastructuur en de vervoermiddelen voor het gehele wegvervoer bedragen 546 miljoen kg SO₂, 610 miljoen kg CO en 950 miljoen kg NO_x (berekend op basis van PEmA). Deze bedragen voor het gehele railvervoer respectievelijk 25, 52 en 47 miljoen kg. Ter vergelijking, in 1993 waren de totale landelijke emissies van SO₂, CO en NO_x respectievelijk ongeveer 200, 1110 en 580 miljoen kg (27). De SO₂ en NO_x die ontstaan zijn tijdens de productie van wegennet en de wegvoermiddelen zijn dus een factor 2.7 en 1.6 respectievelijk groter dan de jaarlijkse emissies van deze stoffen.

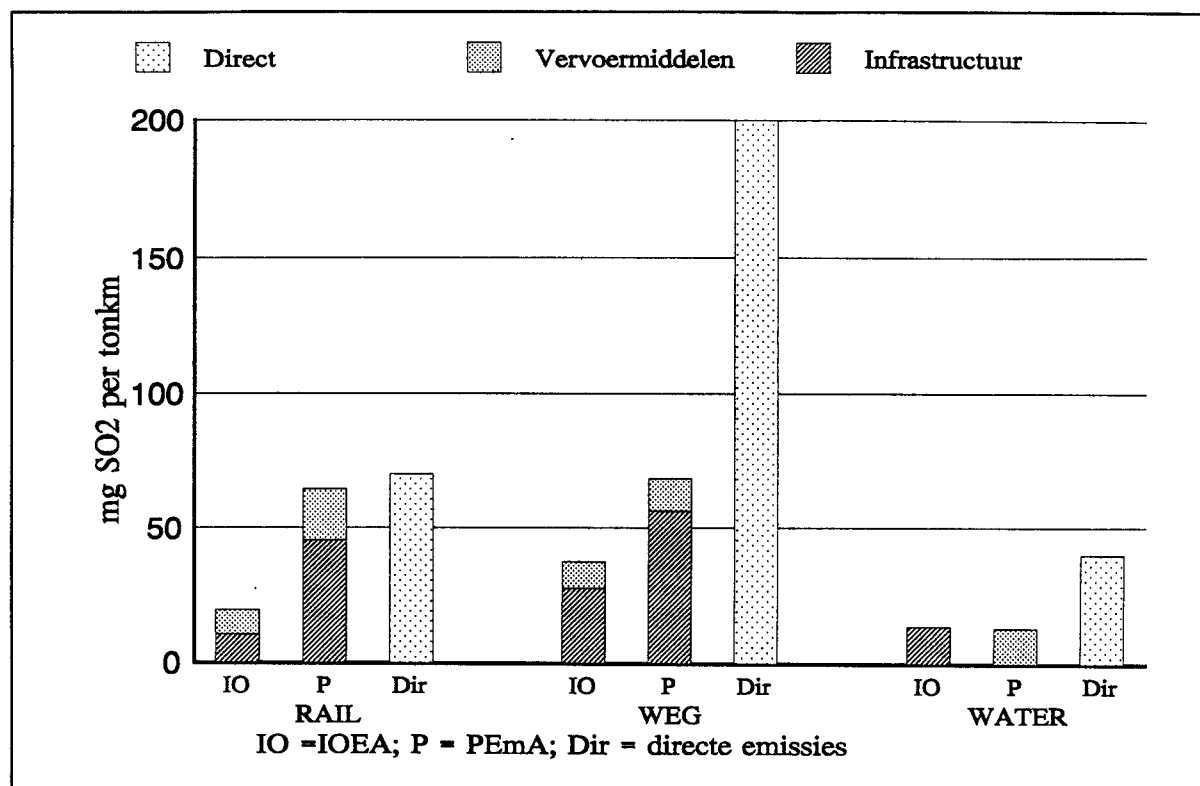
De figuren 5 en 6 tonen dat de IOEEmA en PEmA van de SO₂ resultaten sterk verschillen. IOEEmA-resultaten zijn gebaseerd op de gemiddelde emissiefactoren van de economische sectoren en de SO₂-component van de energiedragers olie, gas en kolen. PEmA-resultaten zijn gebaseerd op proces-specifieke emissies. De PEmA-resultaten zijn derhalve theoretisch van meer waarde. Zwakke aan deze analyse onderliggende datasets maken deze resultaten echter helaas ook niet echt betrouwbaar. Dergelijke zwakke datasets liggen ook ten grondslag aan de CO en NO_x resultaten, zoals getoond in de figuren 7 en 8. De resultaten kunnen derhalve slechts als indicatief worden beschouwd.



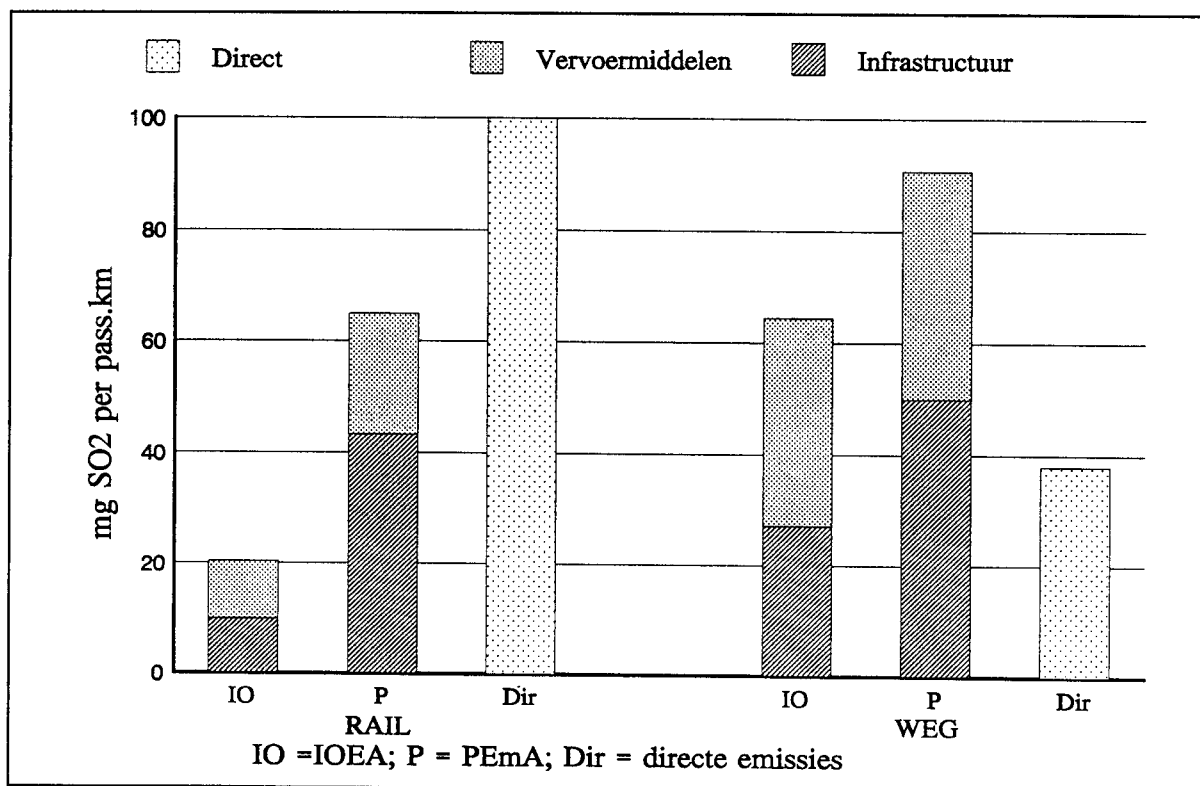
Afbeelding 3 Het indirecte energiegebruik van het goederenvervoer over het spoor, de weg en het water (1990).



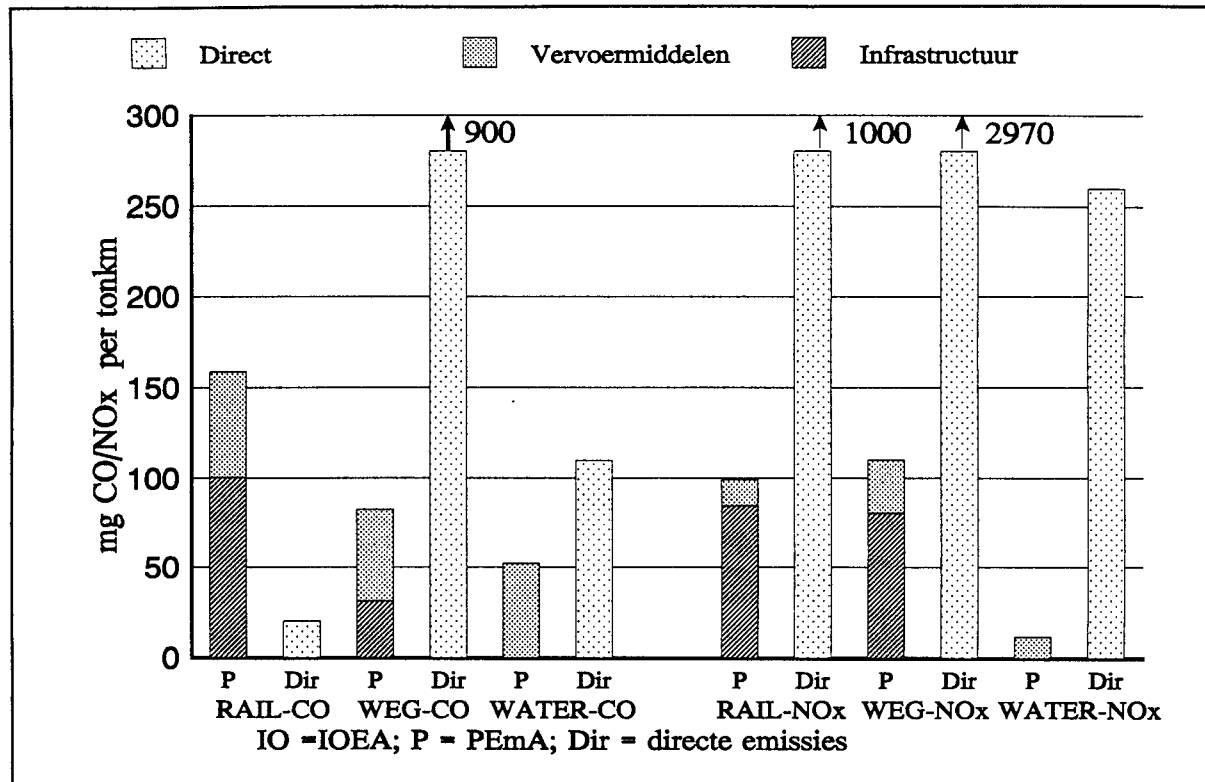
Afbeelding 4 Het indirecte energiegebruik van het personenvervoer over het spoor en de weg (1990).



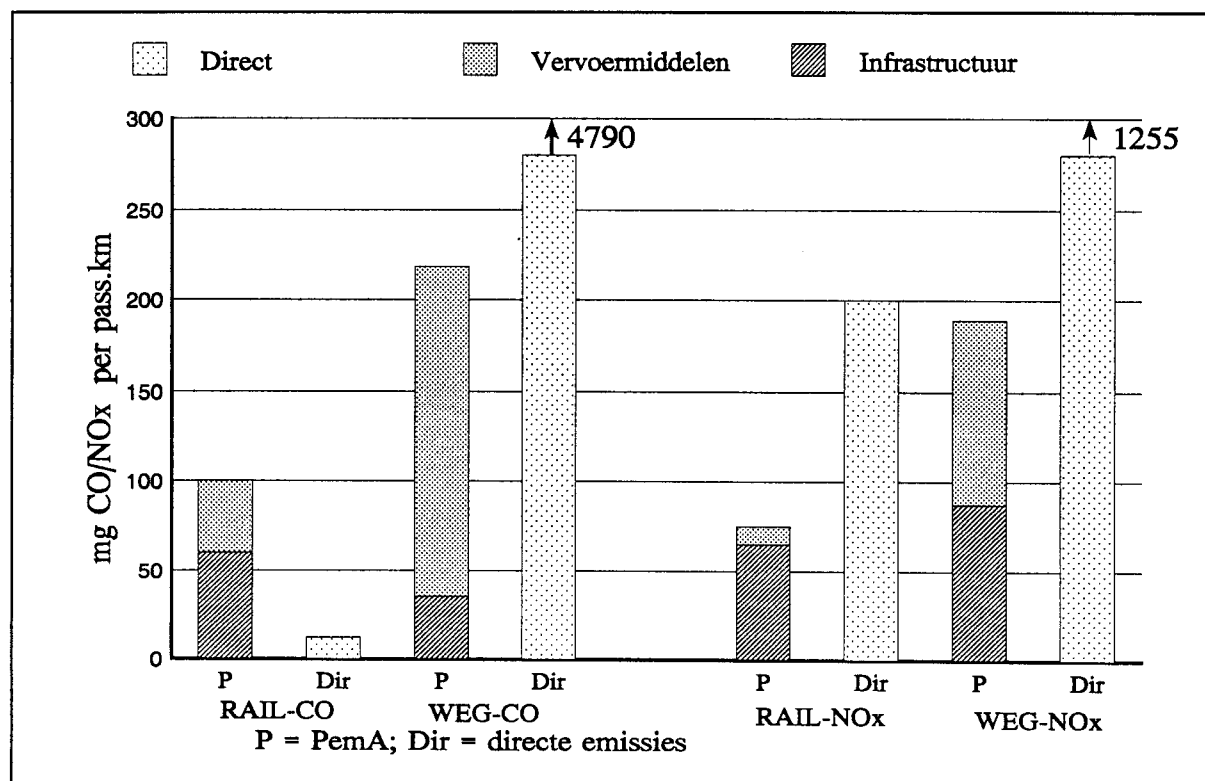
Afbeelding 5 De indirecte SO₂-emissies van het goederenvervoer over het spoor, de weg en het water (1990).



Afbeelding 6 De indirecte SO₂-emissies van het personenverkeer over het spoor en de weg (1990).



Afbeelding 7 De indirecte CO en NO_x-emissies van het goederenvervoer over het spoor, de weg en het water (1990).



Afbeelding 8 De indirecte CO en NO_x-emissies van het personenverkeer over het spoor en de weg (1990).

De indirecte NO_x emissies lijken van gering belang: deze bedragen meestal 10% - 20% van de directe emissies en anders nog minder. Dit staat in tegenstelling tot de situatie voor de SO_2 en CO emissies. De indirecte CO-emissies overtreffen de directe CO-emissies ruimschoots bij het railverkeer. De indirecte CO-emissies zijn grotendeels ontstaan tijdens de productie van staal, een materiaal dat veel gebruikt wordt in de railvoertuigen én railinfrastructuur. De indirecte SO_2 -emissies overtreffen de directe SO_2 -emissies ruimschoots bij het personenautoverkeer. Het lage gemiddelde zwavelgehalte van de brandstofmix voor personenauto's verklaart dit gegeven. Voor CO en NO_x zijn de directe emissies van het personenautoverkeer veel hoger dan de indirecte emissies. Het in beschouwing nemen van de volledige introductie van de drie-weg-katalysator zou een reductie van de directe emissies van CO en NO_x met circa een factor 4 betekenen: hiermee blijven de directe emissies hoger dan de indirecte emissies.

Samengevat kan geconcludeerd worden dat het indirecte energiegebruik van het vervoer t.o.v. het directe energiegebruik voor alle vervoerswijzen aanzienlijk is en dat de indirecte emissies, met name SO_2 en CO emissies, ook relevant lijken. Daarnaast kan worden geconcludeerd dat IOEA en PEA geschikte methoden zijn voor het analyseren van het indirecte energiegebruik.

De methoden IOEmA en PEmA, met name de hieraan ten grondslag liggende datasets behoren echter nog aanzienlijk verbeterd te worden.

Bij het gebruik van deze resultaten dient nog wel een tweetal kanttekeningen geplaatst te worden. Allereerst dient men zich te realiseren dat de gepresenteerde waarden systeem-gemiddelde waarden zijn. In specifieke situaties, zoals bij het gebruik van van het gemiddelde afwijkende voertuigen, bij het gebruik van een beperkt gedeelte van de infrastructuur (b.v. alleen het hoofdwegennet), en bij afwijkende bezettings- en beladingsgraden van de vervoermiddelen wijken de indirecte en de directe energiegebruikswaarden en de emissiewaarden per tonkilometer of passagierkilometer af van de hier gepresenteerde resultaten. Overigens kunnen wel analoge berekeningen worden uitgevoerd met de besproken methodes mits de specifieke systemen voldoende gedetailleerd gekarakteriseerd zijn.

In de tweede plaats zijn deze waarden van toepassing op het peiljaar 1990. De waarden betreffende de infrastructuur zijn sterk afhankelijk van de grootte van jaarlijkse vervoersprestatie en de verdeling daarvan over vrachtvervoer en personenverkeer. De groei van het wegverkeer sinds 1990 (sneller dan het aantal km weginfrastructuur) betekent waarschijnlijk een afname van energiewaarden en emissiewaarden gerelateerd aan infrastructuur. De waarden betreffende de vervoermiddelen zijn ondermeer afhankelijk van technologische vernieuwing, van de toename van milieu- en veiligheidsvoorzieningen en van veranderende voorkeuren van autobezitters. Waarschijnlijk neemt hierdoor de indirecte bijdrage van de vervoermiddelen aan energiegebruik en emissies wat toe en de directe emissies wat af.

Discussie: consequenties conclusies middel-lange energie- en milieubeleid ?

Zolang de bestaande infrastructuur toereikend blijft en deze hoogstens gereviseerd moet worden om de gevolgen van slijtage op te vangen of worden aangepast om de gevolgen van stadsuitleg op te vangen zal het hierboven geschetste beeld niet drastisch veranderen. In dit geval zullen het directe energiegebruik en de directe emissies van het verkeer- en vervoersysteem dominant blijven en daarmee ook het voornaamste aandachtspunt voor het toekomstige energie- en milieubeleid.

Echter het politiek-maatschappelijke debat (en deels inmiddels ook de praktijk) wijst in een andere richting. In de Agenda van de volgende eeuw staan grote infrastructurele werken geprogrammeerd: het opwaarderen van vaarwegen en het uitbreiden van het vaarwegenstelsel; uitbreiding van het spoorstelsel (Betuwelijn, HSL als meest beeldbepalende maar niet enige voorbeelden); en uitbreidingen van het wegenstelsel nu het wegverkeer op diverse plaatsen van de wegen-

infrastructuur vastloopt ten gevolge van de 'onverwacht' hoge groei van de mobiliteitsbehoefte en de behoefte aan goederentransport.

De berekeningen laten zien dat veel energie is vastgelegd in de infrastructuur in het verleden. Forse uitbreiding en vernieuwing van de infrastructuur betekent dus een navenante toename van het energiegebruik in de weg- spoor- en waterbouw en de toeleverende (b.v. materiaalproductie) sectoren. Omdat bij infrastructurele werken nu meer voorzieningen getroffen moeten worden dan vroeger in verband met de hoge infrastructuur-dichtheid in Nederland en met de wens tot beperking van de milieu-gevolgen en het ruimtebeslag van nieuwe infrastructuur, is het energiebeslag per kilometer nieuwe infrastructuur veel hoger dan in het verleden. Met name ondergronds bouwen en de aanleg van kunstwerken hebben een hoog energiebeslag. Indicatieve berekeningen laten zien dat met de aanleg van de HSL evenveel energie gemoeid zal zijn als het directe energiegebruik gedurende enige jaren van het personenrailvervoer. Voor de Noord-Zuid-metro in Amsterdam geldt dat de energie die nodig is voor haar aanleg gelijk is aan het directe energiegebruik van enige jaren Amsterdams openbaar vervoer.

Wij bepleiten daarom nadrukkelijk in de discussie over de gevolgen van infrastructuuruitbreiding het energiegebruik en de emissies bij de productie en aanleg van infrastructuur mee te nemen en na te gaan of de energie-investeringen die feitelijk gedaan worden bij de aanleg van nieuwe infrastructuur te beoordelen op hun energie- en milieukundig rendement c.q. te vergelijken met andere alternatieven.

Referenties

1. CBS. *Algemene milieustatistiek 1992*. 's-Gravenhage, SDU/uitgeverij, 1992.
2. H. C. Moll. *Energy counts and materials matter in models for sustainable development*. Groningen, 1993.
3. S. Bos. *Towards sustainable freight transport: considering both direct and indirect energy requirements*, paper presented at OECD International Conference "Towards Sustainable Transportation", Vancouver March 24-27 1996.
4. H. C. Wilting, W. Biesiot. *Het berekenen van energie- en CO₂-emissie-intensiteiten met behulp van input-outputanalyse*. Groningen: IVEM, 1993. Rapportnr. 64.
5. K.J. Noorman. *Exploring futures from an energy perspective*. Groningen, 1995.
6. H. C. Wilting, W. Biesiot, H.C. Moll. *EAP. Energie Analyse Programma. Handleiding versie 2.0*. Groningen: IVEM, 1995. Rapportnr. 76.
7. H.C. Moll, K.J. Kramer. *Naar een optimale levensduur van de personenauto*. Groningen: IVEM, 1996 Rapportnr. 88.
8. R.J.J. van Heyningen et al. *Meer energiekentallen in relatie tot Preventie en Hergebruik van Afvalstromen*. Amersfoort: CCE, december 1992.
9. IFIAS. *Energy analysis*. Stockholm, Zweden, 1974. Workshop report no 6.
10. TNO-emissieregistratie. *Data m.b.t de capaciteiten en de jaarlijkse productie en emissies van vele industriële processen in Nederland*. Staatstoezicht op de volksgezondheid. Hoofddirectie milieuhygiëne. Den Haag, 1992.
11. R. Frischknecht, P. Hofstetter, M. Ménard, B. Anhang. Transporte und Bauprozesse. In: *Ökoinventare für energiesysteme*. ETH Zürich, Zwitserland, 1994.
12. P. Fraanje et al. *Milieubelasting van twee aanbruggen*. Een pilot study. IVAM-onderzoeksreeks nr.57. Amsterdam, mei 1992. ISBN 90-72011-20-1.
13. K. Habensatter. *Oekobilanz von packstoffen stand 1990*. Bundesamt für Umwelt, wald und Landschaft (BUWAL). Schriftenreihe Umwelt Nr. 132. Abfälle. Bern, Zwitserland, 1994.

14. F. Hoefnagels, V. de Lange. *De milieubelasting van houten en betonnen dwarsliggers*. CREM, Amsterdam, februari 1993.
15. H.C. Wilting. *Databases; cumulatieve leveringen, productiewaarden, etc.* 1996.
16. CBS. *Lijst met energiedrager-gekoppelde directe emissiecijfers van de economische sectoren*. 1993
17. H.C. Wilting. *An energy perspective on economic activities*. Groningen, 1996.
18. CBS. Diverse verkeers-en vervoersstatistieken. *Statistiek van de aan- af- en doorvoer. Maandstatistieken verkeer- en vervoer. Statistiek van de wegen. Uitgaven voor de land- en binnenscheepvaartwegen. Het bezit and verbruik van bedrijfsvoertuigen. Verkeersprestatie op het verharde Nederlandse wegennet*. Heerlen/Voorburg. Diverse jaren.
19. CBS. *Kapitaalgoederenvoorraad*. Centraal Bureau voor de statistiek. Voorburg/Heerlen. 1993.
20. *Materiaal balansen*: beschikbaar gesteld door de Nederlandse Spoorwegen en Railbouw. 1993.
21. RWS. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. *Handleiding Wegenbouw Ontwerp Verhardingen*. Delft, Nederland, 1987.
22. Transport Research Board. *Highway capacity manual*. Washington D.C, USA: National Research Council, 1985. Special report 209.
23. Veenstra, A. *Indirect energieverbruik van de binnenvaart in Nederland*. Groningen: IVEM-doctoraalverslag, november 1996. Rapportnr. 49.
24. NEI. *Economische waarde natte infrastructuur*. Conceptrapport. 1992.
25. Mensinga, P., Bleijenberg, A.N. *Vergelijking emissies en energieverbruik weg- en railvervoer*. CE, Delft, juli 1995
26. CBS. *Luchtverontreiniging emissies door wegverkeer 1980 - 1990* Centraal Bureau voor de statistiek. Voorburg/Heerlen. 1992.
27. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieubeheer. Directoraat-Generaal Milieubeheer. 1993. Emissies in Nederland. *Trends, thema's en doelgroepen*. Vijfde inventarisatieronde - 1990. Nr.13, september 1993.

Dynamische Levenscyclusanalyse van Personenauto's: de betekenis van materiaalgebruik

Auteurs*:

M.E.Bouwman (presentatie)

H.C.Moll

Rijksuniversiteit Groningen

Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde (IVEM)

Postbus 72

9700 AB Groningen

tel: 050-363 4612

fax: 050-363 7168

Email: m.bouwman@fwn.rug.nl

* De auteurs werken samen met andere instituten (ECN, NWS/UU, CAV/VU, B&G) in het MATTER project, waarin een dynamische analyse wordt gemaakt van de milieueffecten (met name energiegebruik en emissie van broeikasgassen) van diverse nieuwe technologieën.

Abstract

Materiaalsubstitutie in personenauto's wordt regelmatig genoemd als mogelijkheid voor de reductie van het energiegebruik van personenauto's. De mogelijkheden van materiaalsubstitutie kunnen onderbouwd worden met een levenscyclusanalyse, waarin mogelijk extra energiegebruik in de productiefase afgezet wordt tegen mogelijk energiewinsten in de gebruiksfase. De uitkomsten van dergelijke levenscyclusanalyse vertonen onderling sterke variaties door de verscheidenheid in de gemaakte aannames.

Met behulp van een dynamische levenscyclusanalyse kunnen de inzichten verder worden vergroot. Op deze manier kunnen technische en sociale ontwikkelingen meegenomen worden in de analyse en wordt een indruk verkregen van de ontwikkeling van het totaal energiegebruik van het voertuigpark, waar dit bij een statische levenscyclusanalyse beperkt blijft tot een vergelijking tussen twee of meer individuele producten.

Uit de in deze paper beschreven dynamische levenscyclusanalyse blijkt dat zowel een kunststof als een aluminium auto een energetisch voordeel op kunnen leveren. Bij de vervanging van de huidige stalen auto door een kunststof variant valt het energiegebruik in 2050 negen procent lager uit, bij een aluminium auto is dat 17 procent. In beide gevallen is het energiegebruik in 2050 echter hoger dan in 1990. Materiaalsubstitutie levert bij de verwachte ontwikkelingen van het vervoerssysteem dus niet zozeer een besparing op ten opzichte van het huidige gebruik, maar vormt wel een mogelijkheid om de groei van het energiegebruik te beperken.

1. Inleiding

Tussen 1980 en 1995 is het energiegebruik door personenauto's met dertig procent gestegen (CBS, 1996). Deze toename is veroorzaakt door een toename van het bezit en gebruik van personenauto's. Het totaal aantal afgelegde kilometers is in dezelfde periode met 47% toegenomen. Het verschil tussen de toename in het energiegebruik en het aantal afgelegde kilometers wordt verklaard door efficiencyverbeteringen in de voertuigen.

In de loop van de jaren is het energiegebruik van voertuigen verminderd door verbeteringen in de motortechniek, aerodynamica en door het gebruik van nieuwe materialen. Een deel van deze efficiencyverbetering van de afgelopen jaren is echter tenietgedaan door de keuze voor steeds grotere auto's. Tussen 1990 en 1995 is het brandstofgebruik per kilometer nagenoeg ongewijzigd gebleven doordat de efficiencyverbeteringen volledig gecompenseerd werden door de toename van het gemiddeld voertuiggewicht (Moll *et al.*, 1996). Zwaardere voertuigen gebruiken meer energie per kilometer voor acceleratie en aandrijving dan lichtere voertuigen. Over het algemeen wordt aangenomen dat een gewichtstoename van honderd kilogram een brandstoftoename van 0,5 liter per 100 km veroorzaakt. Over de gehele levensduur van de auto komt het er op neer dat iedere kilo gewichtstoename een extra brandstofverbruik van 10 liter tot gevolg heeft.

De toename van het voertuiggewicht heeft twee oorzaken. Enerzijds is er de trend om steeds grotere auto's te kopen, veroorzaakt door het toegenomen besteedbaar inkomen in de afgelopen jaren. Anderzijds worden afzonderlijke modellen in de loop van de jaren steeds zwaarder door de toevoeging van extra accessoires en veiligheidsvoorzieningen.

In de effecten van gewicht op het totale energiegebruik ligt natuurlijk ook een energiebesparingsmogelijkheid opgesloten. Door het voertuiggewicht te verminderen kan een lager energiegebruik per kilometer gerealiseerd worden. De eerste twee voor de hand liggende manieren om dat te doen (het bouwen van kleinere auto's en het gebruiken van minder

accessoires) vallen in de praktijk meestal af, omdat deze niet overeenkomen met de wensen van de consument. Het gebruik van lichtere materialen is echter een derde optie die fabrikanten kunnen toepassen om het gewicht van hun voertuigen te beperken. Onder lichtere materialen worden daarbij materialen verstaan die een zelfde sterkte kunnen realiseren met inzet van een lager materiaalgewicht. Zo is het soortelijk gewicht van aluminium bijvoorbeeld ongeveer een derde van het soortelijk gewicht van staal. De maximale gewichtsbesparing bij de substitutie van staal door aluminium bedraagt zo'n vijftig procent, doordat een aluminium onderdeel dikker moet zijn om dezelfde sterkte te bereiken als staal. In de afgelopen jaren is het aandeel staal in personenauto's langzaam gedaald, ten gunste van aluminium en kunststoffen (Moll, 1993).

Naast de afweging van sterkte en soortelijk gewicht speelt ook het energiegebruik van de productie en afdanking een rol. De benodigde energie voor de productie van staal ligt beduidend lager dan die van aluminium (40 vs. 190 MJ/kg). De maximale gewichtsbesparing ligt in de orde grootte van 50%, zodat bij de vervanging van staal door aluminium het energiegebruik in de productiefase hoger uitvalt. Bij het gebruik van kunststoffen is het energieverval in de productiefase kleiner (40 vs. 80 MJ/kg), maar daar staat tegenover dat in de afdankingsfase staal uitstekend gerecycled kan worden, terwijl dat bij kunststoffen veel lastiger ligt. Het is hierbij dus van belang om te weten of het extra energiegebruik in de productiefase opweegt tegen het verminderd energiegebruik tijdens het gebruik van het voertuig. Een voor de hand liggend instrument om deze afweging te maken is de levenscyclusanalyse.

In de komende paragrafen zal hierop verder ingegaan worden. Paragraaf 2 begint met een korte introductie van de theorie achter de levenscyclusanalyse (LCA) en laat vervolgens aan de hand van enkele literatuurvoorbeelden zien wat de gevolgen zijn qua energiegebruik van de introductie van nieuwe materialen. De paragraaf wordt afgesloten met een overzicht van de aannames en conclusies van deze LCA's. In paragraaf drie wordt vervolgens ingegaan op de beperkingen van de LCA en de theorie achter de dynamische LCA. Paragraaf vier beschrijft de resultaten van een dergelijke dynamische levenscyclusanalyse van de introductie van alternatieve modellen personenauto's.

2 Statische levenscyclusanalyse van materiaalgebruik in personenauto's

2.1 Levenscyclusanalyse

Bij een levenscyclusanalyse van een product wordt systematisch informatie verzameld en geordend over een bepaald product. Door het inventariseren en aggregeren van alle in- en outputs 'van wieg tot graf' van een bepaald product, wordt een goed inzicht verkregen in de belangrijke levensfasen en belangrijkste processen die een rol spelen bij dat product. Een dergelijke analyse kan op velerlei gebieden gemaakt worden (financiën, arbeid), maar de LCA methodiek is met name bedoeld om de milieubelasting van een product in kaart te brengen. Daarbij is het gangbaar een vergelijking te maken tussen twee of meer substitueerbare en qua functie gelijkwaardige producten, zoals in dit geval een standaard personenauto en een personenauto met een veranderde materiaalstelling.

2.2 Enkele resultaten van levenscyclusanalyses van personenauto's

In het rapport getiteld "Competition between steel and aluminium for the passenger car" (International Iron and Steel Institute, 1994) wordt een vergelijking gemaakt tussen

energiegebruik, CO₂ emissies en kosten van een stalen en aluminium personenautoframe gedurende de gehele levensduur. Hierin wordt gebruik gemaakt van twee scenario's; een ten gunste van aluminium en een ten gunste van staal. In het eerste scenario wordt een mogelijke gewichtsbesparing voor aluminium van 40% verondersteld ten opzichte van staal, in het tweede scenario is dat 30%. Ook de totale gereden afstand varieert; 160 000 km in het aluminium scenario tegenover 120 000 in het staal scenario. De brandstofbesparing bij gewichtsreductie is 0.53 resp. 0.23 liter per 100 km per 100 kg gewichtsreductie. Met deze aannames heeft een stalen frame in het staal scenario een duidelijk energievoordeel op het aluminium frame (84.3 MJ vs. 99.9 MJ), terwijl het aluminium frame in het aluminium scenario maar net gunstiger uitpakt dan het stalen frame (95.5 MJ vs. 96.1 MJ). In de analyse van de CO₂ emissies vallen de verschillen gelijk uit. Wanneer vervolgens echter naar de kosten van beide frames gekeken wordt, wordt duidelijk dat het aluminium frame tussen de zestien (aluminium scenario) en 21 (staal scenario) procent duurder uitvalt. Dit rapport concludeert dan ook dat vanuit milieu oogpunt een stalen frame valt te verkiezen boven de aluminium variant.

Een dergelijke analyse van de afweging tussen een aluminium en een stalen frame is beschreven in een artikel van Han (1996). In deze analyse wordt een gewichtsbesparing van bijna 50% gehanteerd, en een totaal kilometrage van 206.075 km (16.486 km gedurende 12,5 jaar). De brandstofbesparing is 0.4 liter per 100 km per gewichtsbesparing van 100 kg. In dit artikel wordt echter het brandstofgebruik van het hele voertuig berekend, terwijl in de berekening van het IISI alleen het brandstofgebruik dat toe valt te rekenen aan het frame mee wordt genomen. Han komt in haar artikel uit op een energiebesparing van 40 MJ per voertuig wanneer gebruik gemaakt wordt van een aluminium frame (ongeveer 5% van het totaal gebruik). In een voorgaand artikel (Han *et al.*, 1995) werd al berekend dat voor deze besparing een extra investering in de productie van ruim 500 dollar nodig is, waarvan tijdens de gebruiksfase en afdankingsfase zo'n \$175 teruggewonnen kan worden door verminderd brandstofgebruik en hogere materiaalwaarde van het autowrak. Het energetisch voordelige aluminium autoframe kost de consument dus ruim \$ 350.

In het artikel van Schuckert (Schuckert *et al.*, 1996) worden niet alleen diverse materiaalstukken van personenauto's met elkaar vergeleken, maar wordt tevens een vergelijking gemaakt van een standaardauto met een elektrische variant. We zullen ons hier beperken tot de resultaten op materiaal gebied. In deze LCA wordt gewerkt met een standaardauto van 1395 kg met een totaal kilometrage van 193.000 km. Wanneer alle staal uit deze standaardauto vervangen wordt door 50% gerecycled aluminium, levert dit een gewichtsbesparing van 350 kg op en daarmee neemt het totale energiegebruik van het voertuig over de levensduur met 12% af. Wanneer gebruik gemaakt wordt van glasvezel versterkte kunststoffen is het gewichtseffect geringer (250 kg), maar levert dit door de lagere productieenergie toch een energiebesparing van 9% op ten opzichte van de standaardauto. Met koolstof versterkte kunststoffen is de gewichtsbesparing aanzienlijk (470 kg), maar is het energetisch voordeel even groot als bij gebruik van aluminium (12 %). Bij alle substitutie opties geldt echter dat de voertuigkosten toe zullen nemen. Tabel 1 geeft een overzicht van de resultaten van deze LCA.

Tabel 1. Overzicht energiegebruik diverse levensfasen

	Gewicht (kg)	Productie (GJ)	Onderhoud (GJ)	Gebruik (GJ)	Sloop (GJ)	Recycling (GJ)	Totaal (GJ)
Standaard	1395	80.8	15.5	788	1.5	-2.3	883.5
Aluminium	1045	96.8	15.7	668	1.2	-2.3	779.4
Glasvezel verst. kunststof	1145	85.8	15.6	704	1.3	-2.3	804.4
Koolstof verst. kunststof	925	137.4	16.1	624	0.9	-2.3	776.1

Bron: (Schuckert *et al.*, 1996)

Schäper volgt een enigszins verschillende benadering. Deze auteur vergelijkt niet bij een standaardlevensduur het totale energiegebruik van de diverse alternatieven, maar berekent bij welk kilometrage de ene variant gunstiger uitvalt dan de andere. In deze studie wordt een aluminium space frame als alternatief voor het gangbare stalen frame gebruikt. Hiermee werd een gewichtsbesparing van 227 kg (=17%) gerealiseerd (Schäper, 1996). Bij een energiebesparing van 0,6 l/100 km per 100 kg gewichtsreductie levert dit een break-even point op van rond de 70.000 km. Bij voertuigen met een hoger aantal kilometers gedurende de levensduur is de aluminium variant energetisch gunstiger dan de conventionele stalen variant.

2.3 Conclusies

De vier beschreven voorbeelden maken duidelijk dat de uitkomsten van de diverse levenscyclus analyses sterk afhangen van de gemaakte aannames. De belangrijkste overeenkomst in de vier aangehaalde voorbeelden is dat de aluminium en/of kunststof varianten een extra energie investering in de productiefase vragen, die tijdens het gebruik teruggewonnen kan worden. Naar mate er meer kilometers met het voertuig gereden worden, wordt het waarschijnlijker dat de energie investering aan het begin van de levensduur rendabel is.

Op de overige gebieden valt er een grote verscheidenheid weer te nemen in de aannames. Voor wat betreft het totaal kilometrage van een voertuig lopen de schattingen uiteen van 120.000 km tot 206.075 km. Ook de waardering van de effecten van gewichtsvermindering varieert sterk in de beschouwde studies. De gebruikte schattingen lopen uiteen van 0.23 tot 0.6 liter per 100 km per 100 kg gewichtsbesparing; hetgeen inhoudt dat bij de laatste waarde een energie investering 2,5 maal zo snel wordt terugverdiend bij het gebruik als bij de eerste waarde. Tot slot hebben de aangehaalde voorbeelden afwijkende inschattingen van de maximale gewichtsbesparing die mogelijk is met materiaalsubstitutie.

Door de grote diversiteit in aannames zijn de conclusies uit de bovenstaande studies niet eenduidig. Slechts op deelgebieden (zie bijvoorbeeld de productieinvestering) zijn de studies het met elkaar eens.

3 Dynamische levenscyclusanalyse van materiaalgebruik in auto's

3.1 Statische vs. dynamische levenscyclusanalyse

Met de in de voorgaande paragraaf beschreven LCA's wordt een indruk gegeven van de voordelen van de ene variant ten opzichte van de andere variant. Het gaat hierbij in alle gevallen om een momentopname. Het wordt nooit duidelijk wat voor effecten de beide varianten hebben op de totale energie- en materialen consumptie op een bepaald moment. Hierbij zijn zowel de hoeveelheid voertuigen als het moment van consumptie van belang. Beide argumenten spelen in de statische levenscyclusanalyse geen rol. Daarnaast is er in de standaard statische

levenscyclusanalyse geen aandacht voor technische en sociale ontwikkelingen. In de loop van de jaren veranderen diverse factoren op dat gebied die van belang zijn bij het maken van een levenscyclusanalyse. Door voortgaande technische ontwikkeling verlaagt het energiegebruik per kilometer, terwijl de voortgaande trend naar grotere auto's het energiegebruik per kilometer juist doet stijgen.

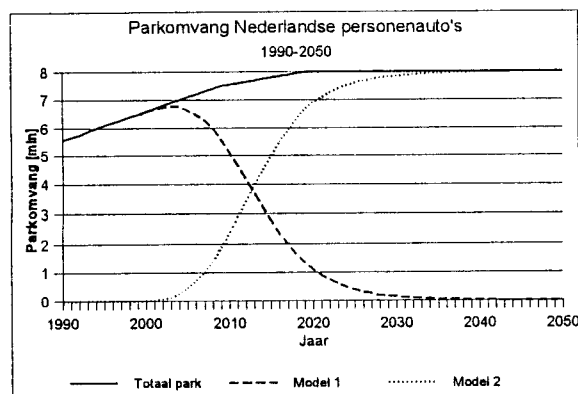
Deze problemen kunnen ondervangen worden door een dynamische levenscyclusanalyse te maken. Hierbij wordt een bestaand product langzaam vervangen door een alternatief. Op die manier wordt in kaart gebracht welke extra materiaalstromen er vereist zijn en op welk moment materialen weer vrij komen. Ook wordt een indicatie gegeven van de absolute grootte van het probleem, de totale energie- en materialenbehoefte van een samenleving die samenhangen met dat ene product kan berekend worden. Daardoor kan het belang van het product in de totale milieuproblematiek aangegeven worden.

In deze paper wordt een dynamische levenscyclusanalyse uitgevoerd voor personenauto's^{**}. ervoor is gebruik gemaakt van het dynamische levenscyclusanalyse programma DYMOS. Dit model wordt uitgebreider beschreven in (Moll, 1993). Met dit programma kunnen de effecten van de introductie van een nieuw product met een lange levensduur berekend worden. In dit geval worden de effecten van de introductie van een alternatieve auto bekeken.

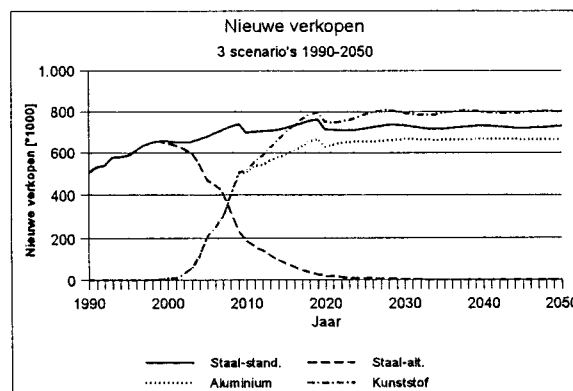
3.2 *Gebruikte gegevens en aannames*

In het model wordt gewerkt met het Nederlandse voertuigpark. De omvang van dat park is tot 1995 gebaseerd op historische gegevens. Voor de parkomvang na 1995 zijn aanvullende veronderstellingen gemaakt. Er is een groei verondersteld tot aan het jaar 2020 wanneer de vloot een omvang van acht miljoen voertuigen heeft bereikt. Na die tijd blijft het voertuigpark constant. De ontwikkeling van het Nederlandse voertuigpark is weergegeven in figuur 1. Voor het model zijn drie verschillende auto's gedefinieerd, een standaard stalen auto, een aluminium en een kunststof variant. Vervolgens is in drie scenario's steeds een van de drie modellen volledig ingegroeid. Dat betekent dat er een referentiescenario is waarin de stalen auto voorkomt, en twee alternatieve scenario's waarin de aluminium resp. de kunststof auto in het park ingroeit. Figuur 1 laat zien hoe de alternatieve modellen na 2000 ingroeien. De langzame vervanging van de standaard auto door een alternatief model heeft ook gevolgen voor de nieuwe verkopen van de diverse modellen. De jaarlijkse hoeveelheid nieuwe verkopen staan weergegeven in figuur 2.

^{**} Een soortgelijke oefening als in deze paper is ook al uitgevoerd in (Moll, 1993). Er zijn in deze paper echter een aantal essentiële dingen aan toegevoegd. Ten eerste zijn de gebruikte historische gegevens bijgewerkt tot 1995. Belangrijker zijn echter de aanvullende aannames die in deze paper gemaakt zijn ten aanzien van de dynamiek van het voertuiggewicht, de materiaalsamenstelling, de motorefficiëntie en het resulterende energiegebruik.



Figuur 1. Substitutie van standaardauto voor alternatief model 1990-2050



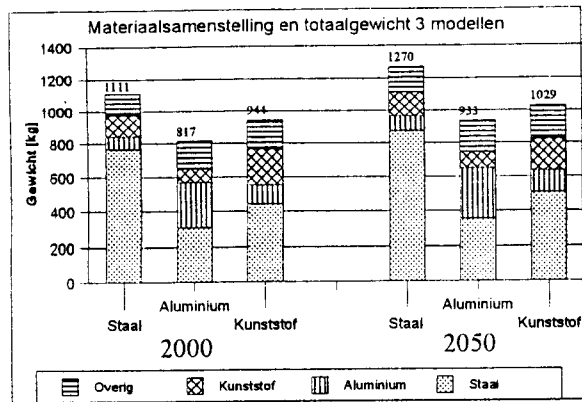
Figuur 2. Nieuwe verkopen diverse modellen bij drie scenario's

De doorgetrokken lijn in figuur 2 geeft de nieuwe verkopen van het staal model weer in het staal scenario. Hierbij groeit er dus geen alternatief model in. De onderbroken lijn geeft de verkopen van het staalmodel weer bij de twee andere scenario's. Hierbij nemen de verkopen van het staalmodel snel af en wordt het totale park aangevuld met de verkoop van aluminium of kunststof voertuigen. Binnen twintig jaar zijn de verkopen van het aluminium en kunststof model in de resp. scenario's op hetzelfde niveau als de verkopen van het staalmodel in het staalscenario.

Ieder van de drie gemodelleerde modellen heeft een andere levensduur. De standaard stalen auto heeft een levensduur van elf jaar, het huidige Nederlandse gemiddelde. De aluminium auto heeft met twaalf jaar een iets langere levensduur, van de kunststof auto wordt verondersteld dat deze al na tien jaar wordt afgedankt. De verschillen in het absolute niveau van de nieuwe verkopen in figuur 2 worden veroorzaakt door het verschil in levensduur van de drie modellen.

In het model wordt gewerkt met een jaarkilometrage van 16.000 km per voertuig. Dit houdt in dat de stalen auto een totale levensduur heeft van 176.000 km. (Voor aluminium en kunststof is dat resp. 192.000 en 160.000 km). De toename van het voertuigpark tot 2020 impliceert dus een toenemend gebruik van personenauto's in die tijd.

De levensduur en het jaarkilometrage van voertuigen blijven gedurende de gehele periode van 1990 tot 2050 gelijk. Dit geldt niet voor de samenstelling van de diverse voertuigen. Aangezien er de afgelopen jaren sprake is geweest van een behoorlijke stijging in het gewicht van de nieuwe personenauto's, wordt een dergelijke trend ook voor de komende vijftig jaar aangenomen. De auto in 2050 weegt aanzienlijk meer dan hetzelfde model in 1990. Deze verschuiving treedt niet sprongsgewijs op, maar per jaar. Figuur 3 geeft een overzicht van de materiaalsamenstelling en het totaalgewicht van de drie gedefinieerde modellen in het jaar 2000 en 2050. Hierin is duidelijk te zien dat de rangorde qua gewicht niet verandert in de loop van de tijd, omdat alle drie de gedefinieerde modellen in gewicht toenemen in de loop van de tijd.

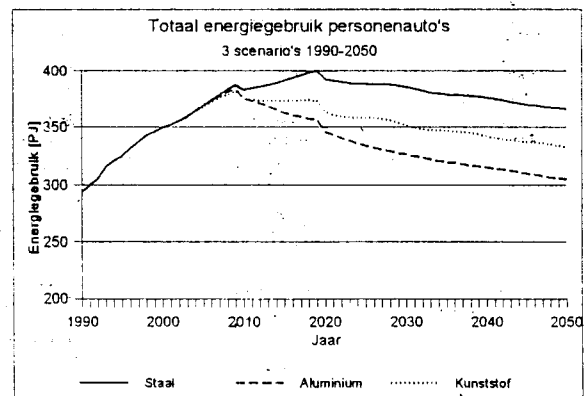


Figuur 3. Materiaalsamenstelling diverse modellen 2000 en 2050

de voertuigen. Deze ligt zo rond de 1% per jaar en neemt langzaam af tot 0,5% in het jaar 2050.

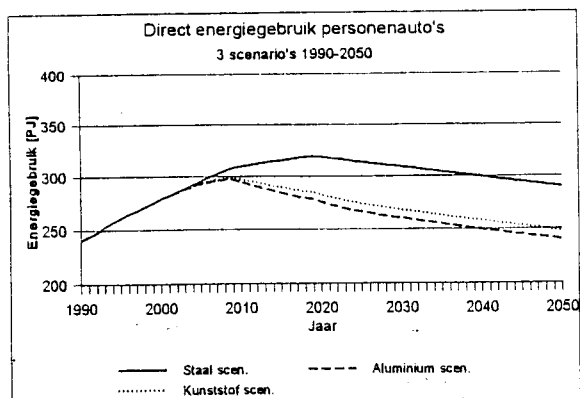
4 Resultaten

Met de gegevens uit de bovenstaande subparagraaf is het model doorgerekend. Het totaal energiegebruik van het Nederlandse park (dit betreft zowel de productie, gebruik en afdankingsfase) is berekend voor de drie gedefinieerde scenario's. Figuur 4 geeft een overzicht van het totaal energiegebruik. Hierin is goed te zien dat het energiegebruik voor het referentiescenario in eerste instantie stijgt door de toename in het aantal auto's. Na 2020 stijgt de parkomvang niet meer en daalt het energiegebruik langzaam, door de verbeterde efficiency van de nieuwe voertuigen. Bij de substitutiescenario's daalt het totale energiegebruik in beide gevallen vanaf circa 2010. In de eerste tien jaar na de invoering (2000-2010) is het kunststofscenario licht in het voordeel door een lager energiegebruik bij de productie. Daarna is de aluminium variant energetisch de meest gunstige, aangezien er dan ook secundair aluminium gebruikt kan worden in de productie. In 2050 is het totaal energiegebruik in alle drie de scenario's hoger dan in 1990, door de groei in de totale mobiliteit. Met de beide substitutiescenario's kan het verschil echter beperkt gehouden worden. De daling van het totale energiegebruik in 2050 van het kunststofscenario ten opzichte van het referentiescenario bedraagt 9%. Voor aluminium ligt dat op 17%. Met de inzet van meer aluminium in de autoproduktie zou de groei van het energiegebruik van het personenautopark dus beperkt kunnen worden.

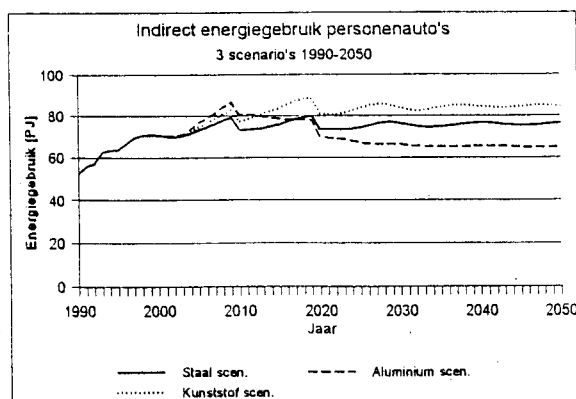


Figuur 4. Energiegebruik (direct+indirect) van voertuigvloot voor 3 scenario's

Het totaal energiegebruik uit figuur 4 bestaat uit twee delen. Enerzijds is dat het energiegebruik van het gebruik van de auto, anderzijds is dat het energiegebruik van de productie en afdanking van de auto. Het eerste wordt ook wel aangeduid met de term direct energiegebruik, de tweede met de term indirect energiegebruik. In figuur 5 en 6 wordt het totale energiegebruik opgesplitst in resp. een direct en een indirect deel. In figuur 6 is het beschreven effect van recycling in de productiefase nog duidelijker te zien. Na ongeveer tien



Figuur 5. Direct energiegebruik van het voertuigpark voor drie scenario's

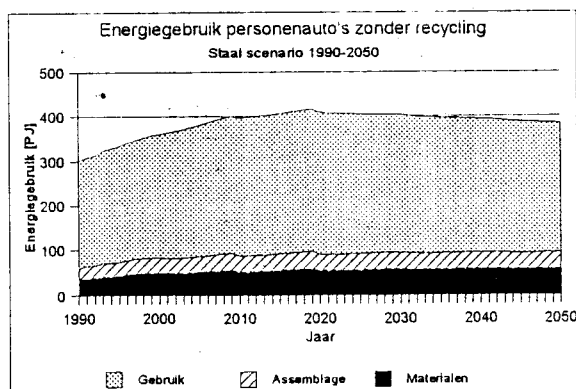


Figuur 6. Indirect energiegebruik van het voertuigpark voor drie scenario's

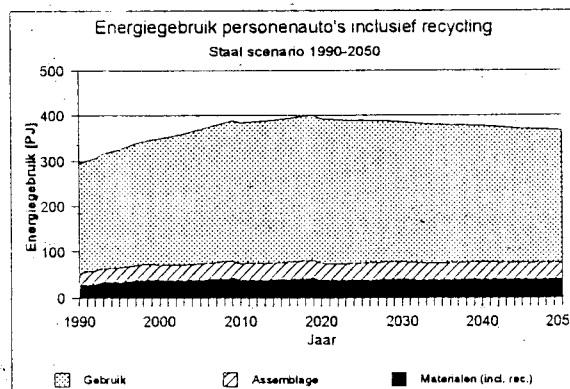
jaar daalt het energiegebruik in de productiefase door een verhoogde inzet van gerecycled aluminium. Twintig jaar na de introductie van de aluminium auto daalt het energiegebruik tijdens de productiefase zelfs tot onder het niveau van de stalen personenauto. Deze gunstige positie wordt versterkt door de veronderstelde gunstiger levensduur van aluminium auto's. Voor wat betreft het direct energiegebruik zijn zowel de kunststof als de aluminium auto beduidend gunstiger dan de stalen personenauto. De twee varianten schelen onderling niet zoveel in de gebruiksfase. Het totaal van figuur 5 en 6 komt overeen met figuur 4.

Het indirecte energiegebruik kan nog nader gespecificeerd worden in een materialen en een assemblage deel. Dit is te zien in figuur 7 en 8. In figuur 7 is recycling als energierugwinoptie niet meegenomen, in figuur 8 wel. In deze figuren is het energiegebruik van het standaard staalscenario nader gespecificeerd.

De bovenstaande figuren maken duidelijk dat het energiegebruik van de assemblage en materialen beide op een kleine tien procent van het totale energiegebruik liggen. De invloed van recycling lijkt beperkt op het totale energiegebruik maar heeft wel een duidelijk effect op het energiegebruik voor materialen. Wanneer er geen sprake is van recycling hebben de materialen een aandeel van 15% in de totale energievraag, met recycling neemt dat af tot 11 procent.

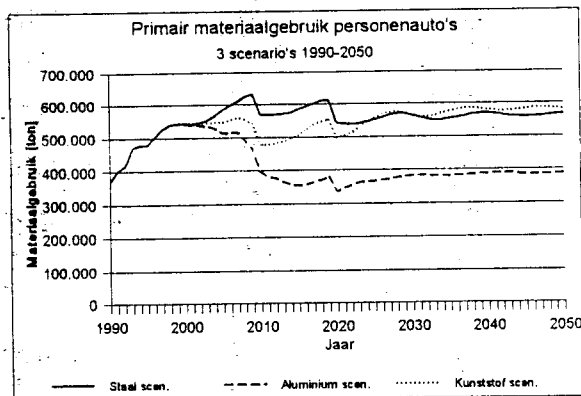


Figuur 7. Energiegebruik personenauto's zonder recycling

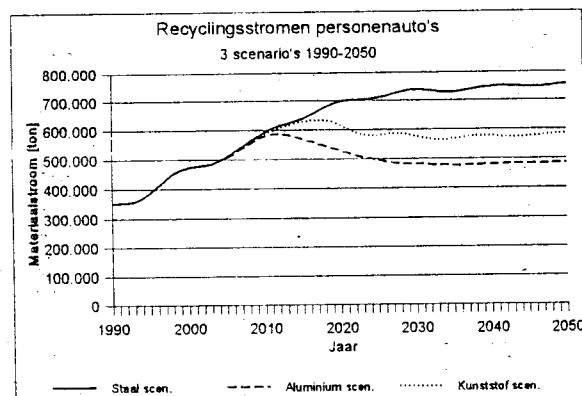


Figuur 8. Energiegebruik personenauto's met recycling

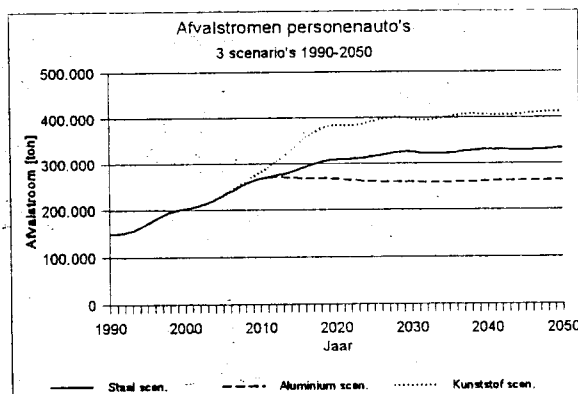
Naast een overzicht van het energiegebruik van de Nederlandse personenautopark levert DYMOS ook informatie over het totale materiaalgebruik in de diverse scenario's. Hierbij zijn drie verschillende materiaalstromen te onderscheiden. Ten eerste is er de primaire materiaalbehoefte voor de bouw van voertuigen. Deze staat weergegeven in figuur 9. Daarnaast is er bij de afdankingsfase een materiaalstroom, die valt onder te verdelen in een



Figuur 9. Primair materiaalgebruik



Figuur 10. Recyclingsstromen



Figuur 11. Afvalstromen

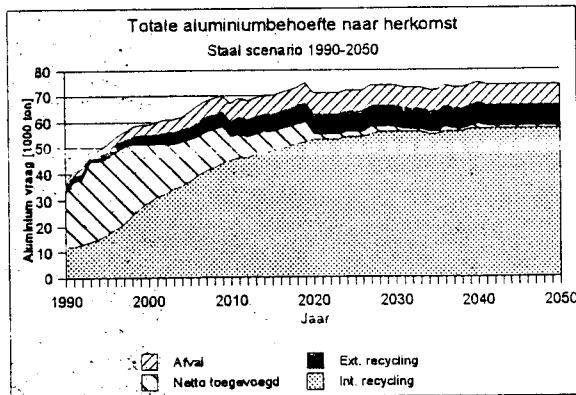
gedeelte dat gerecycled wordt en een gedeelte dat als afval beschouwd wordt. Deze twee stromen staan weergegeven in figuur 10 en 11. In alle drie de figuren wordt voor drie scenario's de totale materiaalstroom in tonnen uitgedrukt, waarbij er geen onderscheid gemaakt wordt naar het type materiaal.

De schommelingen in de materiaalbehoefte tussen 2000 en 2020 worden veroorzaakt door vrij abrupte veranderingen in de omvang van de productie (zie figuur 2). De totale materiaalbehoefte in het staal en

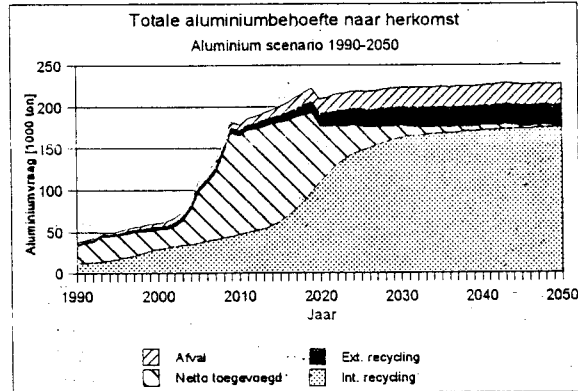
kunststofscenario zit na 2020 op hetzelfde niveau. Dit wordt veroorzaakt doordat de kunststofauto weliswaar lichter is, maar ook een kortere levensduur heeft, zodat er meer auto's geproduceerd moeten worden.

Bij zowel het recycling- als het afvalstromen plaatje zijn de grote schommelingen in materiaal hoeveelheid uitgedempt. Dit komt doordat personenauto's niet allemaal op hetzelfde moment afgedankt worden, maar met een normaalverdeling rond de gemiddelde leeftijd. Variaties in de productie zijn daardoor bij de afdanking afgezwakt. Bij de recyclingsstromen wordt duidelijk dat de stalen variant de hoogste absolute recycling heeft. De relatief hoge hoeveelheid recyclebaar materiaal in het kunststof scenario wordt veroorzaakt door het hoge gehalte staal en aluminium in dit model. In het aluminium scenario ligt de absolute recyclingshoeveelheid lager, door de lagere totaalvraag van materiaal (zie figuur 9). De afvalstromen vallen tamelijk ongunstig uit bij het kunststofscenario, deze liggen zo'n vijftig procent boven het niveau bij het aluminium scenario.

In de bovenstaande figuren is de totale materiaalbehoefte weergegeven. Ook deze kan in meer detail bekeken worden. Figuur 12 en 13 geven de aluminiumbehoefte weer, in resp. het stalen en het aluminium scenario.



Figuur 12. Aluminium vraag in het stalen scenario



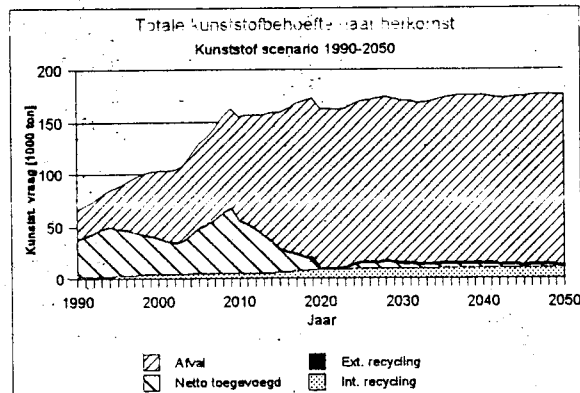
Figuur 13. Aluminium vraag in het aluminium scenario

De vergelijking van de twee figuren maakt duidelijk dat de vraag naar aluminium in het aluminium scenario een factor 3 hoger ligt dan in het stalen scenario (let op de verschillende assen). Er zijn vier herkomsten onderscheiden in de figuren. De bovenste stroom representeert de afvalstroom. Dit materiaal is dusdanig vervuild dat het op geen enkele wijze weer hergebruikt kan worden en dus verloren is voor het productieproces. De stroom daaronder is de externe recycling. Deze aluminium stroom is van te slechte kwaliteit om opnieuw te gebruiken in het productieproces van personenauto's, maar kan nog wel gebruikt worden in andere toepassingen. De derde stroom van boven geeft de hoeveelheid netto toegevoegd materiaal weer. Het betreft hier altijd materiaal dat toegevoegd moet worden omdat er een toename is in de hoeveelheid aluminium per auto of de hoeveelheid auto's. Bij een gelijkblijvend voertuigpark met een gelijkblijvende materiaalsamenstelling is deze term nul. De bovenste drie stromen vormen samen de hoeveelheid primair toegevoegd materiaal. Deze hoeveelheid materiaal moet aan het productieproces toegevoegd worden om in de autovraag te voorzien. De onderste stroom in figuur 12 en 13 geeft de interne recycling aan. Het betreft hier materiaal dat gewonnen wordt uit afgedankte auto's en dat na bewerking wederom in de autoproduktie gebruikt kan worden.

In figuur 12 is er tussen 1990 en 2010 sprake van een behoorlijke netto toevoeging van aluminium. Dit wordt veroorzaakt door de veranderende samenstelling van de stalen personenauto tussen 1990 en 1995, wanneer het aandeel aluminium licht stijgt. Door de stijgende standaard van de personenauto wordt de netto toegevoegde hoeveelheid nooit nul, omdat er ieder jaar meer materiaal nodig is om het nieuwe model te produceren. De hoeveelheid interne recycling neemt langzaam toe in figuur 12, met een vertraging van ongeveer elf jaar na de extra toevoeging van aluminium. Na die elf jaar komt het aluminium vrij uit afgedankte auto's en kan de hoeveelheid netto toegevoegd materiaal verminderd worden. Zowel de hoeveelheid afval als de hoeveelheid externe recycling vormen een vast percentage van de materiaalhoeveelheid van afgedankte auto's.

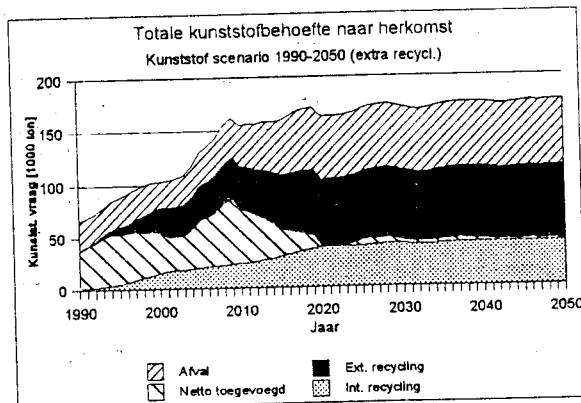
In figuur 13 neemt de hoeveelheid primair toegevoegd aluminium met name na het jaar 2005 toe. Voor die tijd wordt de toename veroorzaakt door het hoger aluminiumgebruik in de stalen auto, zoals dat ook te zien is in figuur 12. Na 2005 begint de substitutie naar de aluminium auto echt een rol te spelen en is er gedurende een periode van vijftien jaar een enorme extra vraag naar aluminium. Rond 2020 stabiliseert dat, omdat op dat moment de interne recycling in een groot deel van de vraag kan voorzien. Ook in figuur 13 wordt de netto toevoeging van materiaal nooit nul, doordat de auto's steeds groter worden.

Ook voor de introductie van de plastic auto is een dergelijk materiaalgebruiksdiagram te maken. In figuur 14 staat de kunststofbehoefte weergegeven bij de introductie van een kunststofvoertuig.



Figuur 14. Kunststof vraag in het kunststof scenario

verschilt echter nog al van de situatie bij de aluminium auto. De hoeveelheid interne recycling van kunststoffen is zeer beperkt. Dit heeft tot gevolg dat er na 2010 ruim 150 duizend ton plastic als afval gestort moet worden. De totale hoeveelheid primair toegevoegd materiaal is ook veel groter dan in het aluminium scenario. Overigens werd in figuur 11 al duidelijk dat de verschillen in afvalstromen tussen de diverse varianten in relatieve zin kleiner zijn dan ze bij figuur 12, 13 en 14 lijken. Bij alle drie de scenario's is er namelijk sprake van een goed recyclebare staal en aluminium stroom en een slecht verwerkbare kunststof stroom. Alleen de verhoudingen onderling van deze stromen verschilt sterk.



Figuur 15. Kunststof vraag in het kunststof scenario bij een verhoogde recycling

aan primair materiaal (kunststof en overige materialen) is met 100 kton afgenomen, doordat de 'verliezen' van externe recycling aangevuld moeten worden.

Overigens heeft een dergelijke verhoging van de recyclingsmogelijkheden van kunststoffen en overige materialen natuurlijk ook gevolgen voor het totale energiegebruik van personenauto's in het kunststof scenario. Dit energiegebruik is in 2050 10 PJ gedaald ten opzichte van de situatie met een gematigder recycling perspectief. Betere recycling van kunststoffen en overige materialen levert circa 10% besparing op het energiegebruik van de materialen en ongeveer 3% op het totale energiegebruik. Verhoogde recycling heeft geen gevolgen voor de rangorde van de diverse scenario's.

In deze figuur is uitgegaan van de recyclingsmogelijkheden voor kunststoffen zoals deze in 1990 bekend waren. Op dit moment lijkt dat een vrij pessimistische voorstelling van zaken. Figuur 14 heeft qua vorm dezelfde opbouw als figuur 13. Ook hier is tussen 1990 en 2005 een stijging van de kunststofvraag te zien door de toegenomen hoeveelheid kunststoffen in de stalen personenauto. Na 2005 stijgt de totale kunststofbehoefte nog sneller doordat dan de kunststof auto in het park komt. De onderverdeling in de diverse herkomsten

In figuur 15 is de invloed van een verhoogde recycling te zien. Deze figuur gebruikt positievere aannamen voor wat betreft de recyclingsmogelijkheden van kunststoffen en overige materialen. De totale vraag naar kunststof voor voertuigen verandert niet ten opzichte van figuur 14, maar de herkomst van het materiaal wel. De hoeveelheid materiaal die zowel in- als extern gerecycled kan worden is sterk toegenomen. De hoeveelheid afval is verminderd met zo'n 200 kton per jaar, waarvan de helft kunststofafval is en de andere helft overige materialen. De behoefte

5 Conclusies

Om de effecten van materiaalsubstitutie op het totaal energiegebruik van het Nederlandse wegverkeer te bepalen is het van belang de effecten 'van wieg tot graf' in kaart te brengen. Een geëigende methode daarvoor is de levenscyclusanalyse. Het nadeel van deze methode is echter dat een vergelijking gemaakt wordt op basis van twee voertuigen, en niet op basis van het gehele Nederlandse park. Bovendien wordt er geen rekening gehouden met technische en sociale ontwikkelingen.

Met de statische levenscyclusanalyse kan in eerste instantie een goede indruk gegeven worden van een antwoord op de vraag of een extra energie investering in de productiefase teruggewonnen kan worden in de gebruiksfase. De gemaakte aannames op het gebied van levensduur, substitutiepotentieel en effect van gewichtsbesparing op het energiegebruik van een voertuig zijn daarbij van groot belang.

Met een dynamische levenscyclusanalyse wordt met name informatie verkregen over de effecten van materiaalsubstitutie op het totale voertuigpark. Hierbij worden ook technische en sociale ontwikkelingen in de analyse betrokken. De totale energiebesparing bij de substitutie naar een kunststof auto is 9% in 2050, bij de overstap naar aluminium bedraagt het voordeel 17%. Overigens is in alle drie de scenario's het energiegebruik van het Nederlandse voertuigpark in 2050 hoger dan in 1990 door de groei van het voertuigpark. Daarmee lijkt materiaalsubstitutie niet zozeer het energiegebruik te kunnen verminderen, maar kan het de groei van het energiegebruik wel behoorlijk remmen.

Het aandeel van het materiaalgebruik in het totale energiegebruik bedraagt ongeveer 15% zonder recycling en 11% wanneer de recycleopbrengsten meegenomen worden. Het effect van de invoering van een alternatief model op het materiaalgebruik kan goed worden onderzocht met een dynamische levenscyclusanalyse. In het geval van de introductie van een aluminium model stijgt de vraag naar aluminium behoorlijk. Pas ruim tien jaar na de introductie komt er extra aluminium vrij uit deze modellen, zodat de hoeveelheid intern gerecycled materiaal toeneemt. Vanaf dat moment daalt de totale primaire vraag naar aluminium.

Zowel de aluminium als de kunststof auto vanuit energieoogpunt een aantrekkelijk alternatief voor de op dit moment gangbare stalen auto. Daarbij scoort de aluminium auto beduidend beter dan de kunststof variant. In de diverse besproken LCA's kwam ook het kostenaspect nog wel eens aan de orde. Dit aspect is bij de dynamische levenscyclusanalyse volledig buiten beschouwing gelaten. Gezien de conclusies uit de diverse LCA's mag geconstateerd worden dat een stijging van de autoprijs bij de introductie van een nieuw model niet onwaarschijnlijk is.

Literatuur:

Centraal Bureau voor de Statistiek en Kluwer Voertuigtechniek (1996)

Auto's in Nederland

Heerlen, Deventer: Centraal Bureau voor de Statistiek, Kluwer BedrijfsInformatiebeheer BV.

Han, H. N., and Clark, J. P. (1995)

Lifetime costing of the body-in-white: steel vs. aluminum

In: JOM, May 1995, p.22-28.

Han, H. N. (1996)

The environmental impact of steel and aluminum body-in-whites

In: JOM, February 1996, p.33-39.

International Iron and Steel Institute (1994)

Competition between steel and aluminium for the passenger car

Brussels:International Iron and Steel Institute.

Moll, H. C. (1993)

Energy counts and materials matter in models for sustainable development. Dynamic lifecycle modelling as a tool for design and evaluations of long-term environmental strategies

Groningen: RuG.

Moll, H. C., and Kramer, K. J. (1996)

Naar een optimale levensduur van de personenauto. Technische factfinding in het kader van het project "Levensduurverlenging Personenauto's".

Groningen:IVEM, IVEM Onderzoeksrapport nr. 88.

Schäper, S., 1996

PKW-Lebenszyklus und Energieverbrauch

In proceedings of Umweltschutz in der Automobilindustrie, Technische Akademie Esslingen, .

Schuckert, M., Saur, K., Florin, H., Eyerer, P., Beddies, H., Sullivan, J., and Hu, J. (1996)

Life cycle analysis: Getting the total picture on vehicle engineering alternatives

In: Automotive Engineering, March 1993, p.49-52.

Effecten van een substitutie tussen personenvervoerwijzen

Auteur:

Robert van den Brink

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

Laboratorium voor Afvalstoffen en Emissies

Postbus 1

3720 BA Bilthoven

tel: 030-274 3727

fax: 030-274 4417

email: robert.van.den.Brink@rivm.nl

Inleiding

De milieubelasting als gevolg van reizen van personen wordt veelal uitgedrukt per reizigerkilometer. Voor het berekenen van deze milieubelasting worden over het algemeen landelijk gemiddelde waarden voor het energiegebruik, de emissies en de bezettingsgraad van het vervoermiddel gehanteerd. Op die manier wordt een globaal beeld verkregen van de rangorde van een vervoerwijze op de 'milieuladder'. Deze waarden voor de milieubelasting van vervoerwijzen worden ook veelvuldig gebruikt om de milieu-effecten van substituties van de ene naar de andere vervoerwijze te berekenen. In veel studies wordt met deze zogenoemde *gemiddelde effecten benadering* 'aangetoond' dat de personenauto het op dit moment, vergeleken met het openbaar vervoer, nog zo slecht niet doet en wordt een gouden toekomst weggelegd voor het individuele personenvervoer gezien het versneld schoner worden van de personenauto in vergelijking tot zijn concurrenten. In deze *gemiddelde effecten benadering* worden impliciet en expliciet echter bepaalde aannames gedaan die deze benadering ongeschikt maken voor de beantwoording van beleidsvragen gericht op de effecten van substitutie. De aannames hebben betrekking op:

1. Specifieke versus gemiddelde waarden

In de *gemiddelde effecten benadering* wordt gebruik gemaakt van landelijk gemiddelde waarden voor bijvoorbeeld energiegebruik en emissiefactoren van een vervoerwijze. Bij beleidsvragen die gericht zijn op een specifieke toepassing van een bepaalde vervoerwijze kunnen geheel andere waarden gelden, denk aan de verschillen tussen de gemiddelde bezettingsgraad van personenauto's en die tijdens recreatief (vakantie) gebruik, of aan de verschillen tussen de emissies tijdens korte stadsritten met koude of opwarmende motor en die tijdens lange ritten met warme motor.

2. Contante versus variabele bezettingsgraden

In het geval van een substitutie zal de bezettingsgraad van vervoerwijzen in het algemeen niet constant blijven, in tegenstelling tot wat is verondersteld in de *gemiddelde effecten benadering*. Bij beleidsvragen omtrent de effecten van substitutie is het voor een juiste inschatting van de effecten belangrijk een goede inschatting te maken voor de verandering van de bezettingsgraad, ofwel de zogenoemde marginale veranderingen te beschouwen.

3. Huidige versus toekomstige effecten

Afhankelijk van de onderzoeksvraag moet voor een inschatting van de effecten van een substitutie met huidige of juist met toekomstige waarden voor energiegebruik en emissies worden gerekend. Zo zullen vraagstukken over het milieu-effect van aanleg van ruimtelijke infrastructuur, gezien de tijdspanne tussen idee en realisatie, meer gediend zijn met een inschatting van het milieu-effect ten tijde van de realisatie dan met een inschatting voor dit moment. Voor onderzoek naar het effect van maatregelen die een direct effect op vervoerwijzekeuze hebben, zijn huidige waarden ook relevant.

Naast bovenstaande aannames worden, meestal expliciet, aannames gedaan over de 'scope' van de effecten (effecten tijdens alleen de gebruiksfase of tijdens gehele levenscyclus, over de effecten van generatie naast die van substitutie, en over de tijdshorizon (korte- versus

langetermijn effecten). De invloed van deze laatstgenoemde aannames wordt in dit kader verder niet besproken.

In het vervolg van dit paper wordt aan de hand van twee voorbeelden de kwantitatieve invloed van de drie eerstgenoemde aannames op het effect van een substitutie duidelijk gemaakt. Voor een meer kwalitatieve beschouwing van het verschil tussen het beschouwen van marginale veranderingen versus het gebruik van de gemiddelde-effecten-methode wordt verwezen naar Kroon (1997).

De gegevens voor de huidige milieubelasting van huidige milieubelasting van vervoerwijzen zijn afkomstig van het CBS (1996), uit het rapport 'Energiegebruik en emissies per vervoerwijze' (van den Brink en van Wee, 1997) en uit het luchtvaartmodel LUMIS (Moorman en Dings, 1996). De prognoses zijn afgeleid op basis van de resultaten van de 4^{de} Milieuverkenningen (Geurs *et al.*, 1997).

VOORBEELD 1: Substitutie van auto naar trein

In dit voorbeeld wordt het milieueffect van een substitutie van auto naar een vorm van regulier openbaar vervoer, in dit geval de trein, berekend. Het voorbeeld betreft recreatief vervoer tussen twee grote steden, verbonden door een rechtstreekse spoorverbinding en een autosnelweg. De vraag is nu: wat is de milieuwinst wanneer een x aantal automobilisten overstapt naar de trein en wat is de invloed van de drie in de inleiding genoemde aannames op het antwoord op de gestelde vraag? Omdat het voor het begrip van het probleem niet noodzakelijk is alle milieu-effecten van de substitutie te beschouwen, is alleen het effect op energiegebruik en NO_x-emissie berekend.

Allereerst wordt met de *gemiddelde effecten benadering* een soort referentie-uitkomst gegenereerd. Hiervoor is het nodig het huidig landelijk gemiddelde energie-efficiency (in MJ/km) en NO_x-emissiefactor (in g/km) van zowel de personenauto als dat van de trein te weten, evenals het huidige gemiddeld aantal passagiers dat van beide vervoerwijzen gebruik maakt. In tabel 1 is zijn energie-efficiency en de emissiefactoren van de personenauto (park) en de intercity opgenomen. In tabel 2 is vervolgens de capaciteit en de gemiddelde bezetting vermeld.

Tabel 1: *Energiegebruik (MJ/km) en NO_x-emissie (g/km) per kilometer 1995*

vervoerwijze	energiegebruik	NO _x -emissie
personenauto		
<i>park</i>	2.7	1.26
<i>benzine met kat. (park)</i>	2.7	0.58
<i>benzine met kat. (nieuw)</i>	2.7	0.35
trein		
<i>intercity (elektrisch)</i>	97	8.0

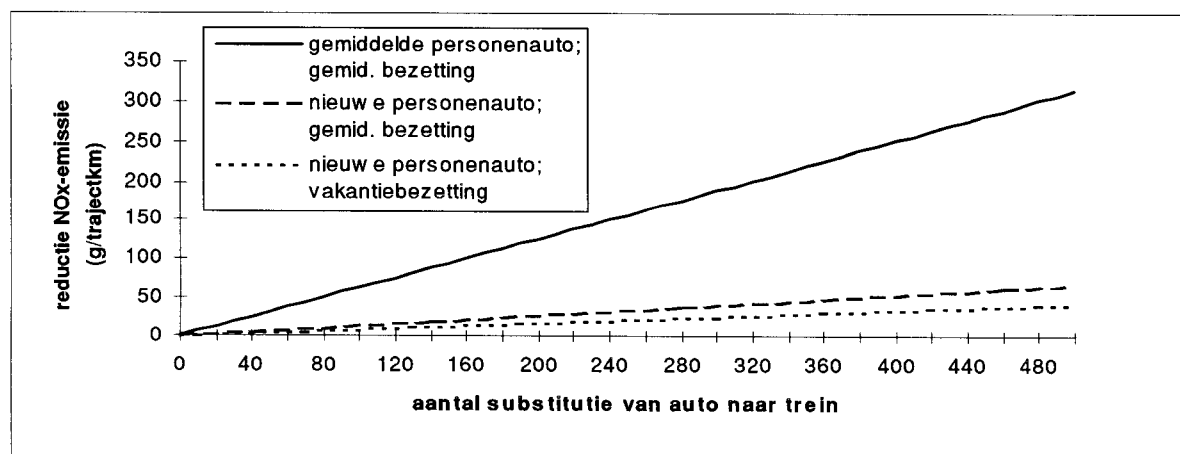
bron: CBS (1996), van den Brink en van Wee (1997)

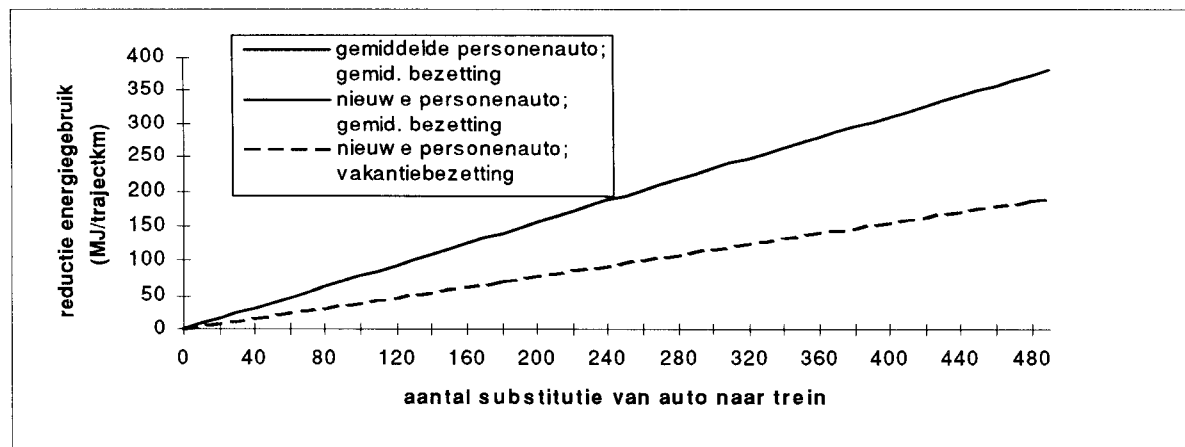
Tabel 2: *Capaciteit en bezetting van personenauto en trein 1995*

vervoerwijze	capaciteit	aantal passagiers
personenauto gemiddeld	4.5	1.65
personenauto vakantie	4.5	2.5
intercity	349	155

bron: CBS (1996), van den Brink en van Wee (1997)

De *gemiddelde effecten benadering* gaat uit van gemiddelde waarden voor energiegebruik en emissies per vervoerwijze en van gemiddelde constante bezettingsgraden. Zoals in tabel 1 is te zien verschillen de resultaten van de berekening aanmerkelijk als in plaats van een gemiddelde personenauto een nieuwe personenauto in de berekening wordt gebruikt. Als bovendien de bezettingsgraad van de personenauto tijdens vakantiedoeleinden wordt gebruikt, worden de gemiddelde verschillen tussen auto en trein nog eens kleiner. Figuur 1 en 2 maken dit duidelijk voor het effect van een substitutie op de NO_x-emissie en het energiegebruik.

Figuur 1: *NO_x-reductie door substitutie van auto naar trein, berekend met gemiddelde effecten benadering*



Figuur 2: Reductie energieverbruik door substitutie van auto naar trein, berekend met gemiddelde effecten benadering

Naast aanname 1 uit de inleiding, die betrekking heeft op verschillen tussen gemiddelde en specifieke waarden, speelt aanname 2 in dit voorbeeld ook een grote rol. In aanname 2 wordt benadrukt dat de werkelijk optredende effecten van een substitutie zeer veel kunnen verschillen van de effecten berekend met de *gemiddelde effecten benadering*. De reden hiervoor is dat als gevolg van een substitutie van auto naar trein de bezettingsgraad van de trein verandert, in tegenstelling tot wat in de *gemiddelde effecten benadering* wordt verondersteld.

In het navolgende worden voor de veranderingen van de bezettingsgraad van de trein drie verschillende veronderstellingen gedaan. Voor het begrip van dit aspect kan worden volstaan met het effect op het totale energieverbruik. De veronderstellingen voor de verandering van de bezettingsgraad van de trein zijn:

1. bezettingsgraad stijgt maar er hoeft (nog) geen extra materieel te worden ingezet

De veronderstelling is dat de bezettingsgraad van de trein een dusdanig lage waarde heeft dat, ongeacht het aantal substitutiepassegeers, er geen extra materieel hoeft te worden ingezet. De energiewinst is gelijk aan de energie-efficiency van de personenauto maal het aantal passagiers dat overstapt van auto naar trein. Deze aanname is realistisch wanneer slechts een relatief klein (t.o.v. het aantal treinreizigers) aantal autopassegeers de overstap maakt van auto naar trein.

2. bezettingsgraad stijgt en op den duur moet extra materieel worden ingezet

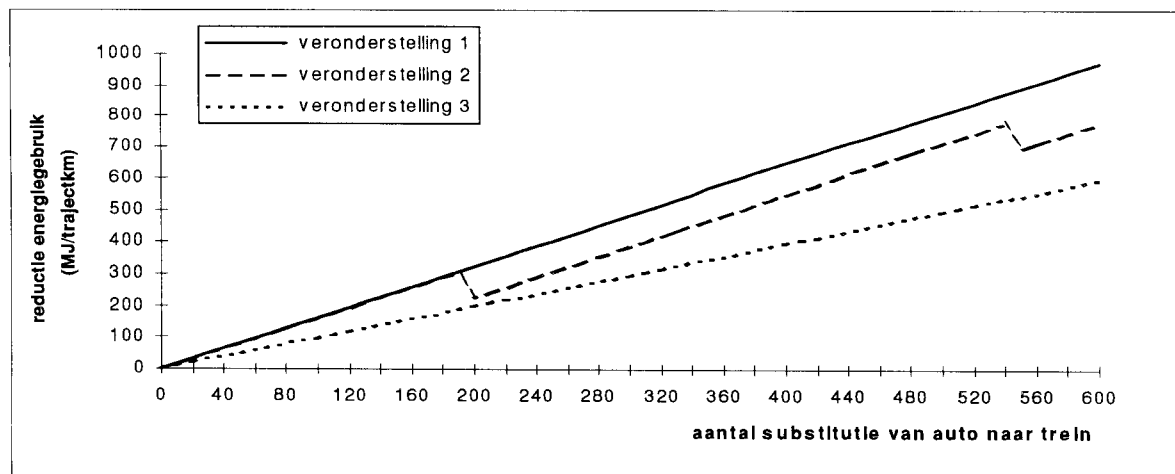
De veronderstelling is dat de bezettingsgraad van de trein nog kan stijgen zonder dat in eerste instantie extra materieel hoeft te worden ingezet. In tegenstelling tot veronderstelling 1 bereikt de bezettingsgraad van de trein nu wel de maximale waarde en moet een complete trein aan de dienstregeling worden toegevoegd. Hierna kan de bezettingsgraad weer stijgen. Deze veronderstelling voor de bezettingsgraad is realistischer dan veronderstelling 1 wanneer relatief grote aantallen autopassegeers overstappen van auto naar trein.

3. bezettingsgraad is constant

De veronderstelling is dat de bezettingsgraad van de trein momenteel een praktisch en economisch optimum is. De gemiddelde bezettingsgraad kan niet stijgen omdat anders capaciteitsproblemen ontstaan en zal niet of nauwelijks dalen omdat, wanneer dat wel gebeurt, de verbinding niet meer rendabel is voor de exploitant. Deze veronderstelling wordt impliciet

ook gebruikt in de *gemiddelde effecten benadering*. De energiewinst van een substitutie is gelijk aan het onderlinge verschil in energie-efficiency vermenigvuldigd met het aantal substitutiepassagiers.

Aan de hand van deze drie verschillende veronderstellingen voor wat betreft de veranderingen van de bezettingsgraad is de energiewinst per trajectkilometer berekend. Figuur 3 toont het resultaat voor het energiegebruik. De lijn 'veronderstelling 3' in figuur 3 is gelijk aan de referentielijn 'gemiddelde personenauto; gemiddelde bezetting' in figuur 2.



Figuur 3: Reductie energiegebruik door substitutie van auto naar trein bij verschillende veronderstellingen voor de verandering van de bezettingsgraad van de trein

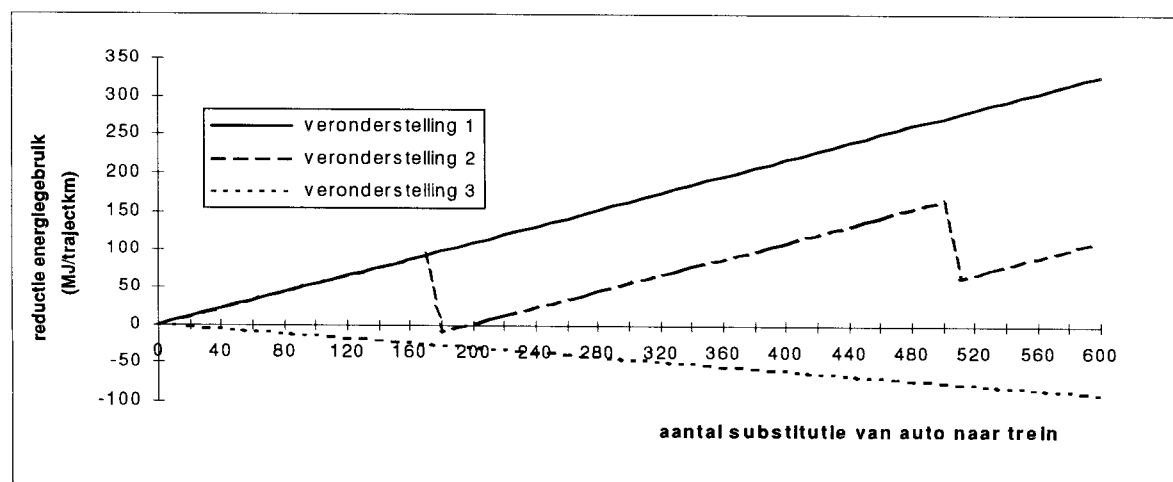
In figuur 3 is te zien dat bij kleine aantallen substitutie passagiers veronderstelling 1 en 2 dezelfde resultaten geven. Pas wanneer de trein bij veronderstelling 2 zijn maximale bezettingsgraad bereikt neemt de energiewinst af. Veronderstelling 3, de *gemiddelde effecten benadering*, leidt tot een ca. 40% lagere energiewinst dan veronderstelling 1. De oorzaak hiervoor is het feit dat het energiegebruik per reizigerkilometer van de trein ca. 40% is van die van de gemiddelde personenauto bij gemiddelde bezetting.

Als laatste is het van belang bij substitutievraagstukken eerst vast te stellen op welke termijn de veronderstelde substitutie zal zijn gerealiseerd (aanneme 3 uit de inleiding). De tijdsduur tussen de plannen voor en de ingebruikname van nieuwe infrastructuur is 10 tot 20 jaar en in die periode kunnen de gemiddelde waarden voor energiegebruik en bezettingsgraad wel sterk veranderd zijn. Uit de MV4 blijkt dat personenauto's tussen nu en 2020 ca. 20% zuiniger worden en ca. 85% minder NO_x per kilometer emitteren (Geurs *et al.*, 1997). De daling van het energiegebruik van elektrische treinen¹³ is met 25% vergelijkbaar met de daling bij personenauto's. De daling van de NO_x-emissie bij elektrische treinen, 55% tussen 1995 en 2020, wordt daarentegen in de MV4 minder optimistisch ingeschat dan de daling bij personenauto's (RIVM, 1997).

¹³

als gevolg van de verhoging van de efficiency van elektriciteitscentrales van 43% in 1995 naar 57% in 2020 (RIVM, 1997)

Als eerste wordt, om de invloed van toekomstige ontwikkelingen te illustreren, het scenario beschouwd waarin een zeer zuinige personenauto (verbruik: 3 l/100km) wordt geïntroduceerd. Wat is dan de uitkomst van de substitutieberekeningen? In figuur 4 is het resultaat weergegeven.



Figuur 4: *Energiewinst bij gemiddelde bezettingsgraden in 1995 (auto 37%; trein 44%); personenauto verbruikt ca. 65% minder brandstof (verbruik: 3 l/100km)*

Uit figuur 4 wordt duidelijk dat zelfs in het geval de personenauto 65% zuiniger wordt, een substitutie van auto naar trein uit energie-oogpunt voordelig is bij veronderstelling 1 en 2. Bij veronderstelling 3, dus als de bezettingsgraad van de trein niet verandert, is de substitutie niet voordelig voor het energiegebruik. De vraag dient zich hiermee aan of een substitutie van trein naar auto dan wellicht beter te propageren is dan een substitutie van auto naar trein. Om dit te beantwoorden moet worden beschouwd wat deze substitutie voor de bezettingsgraad van de trein tot gevolg heeft. Stel dat alle inzittenden (155) van de trein overstappen en de trein dus niet meer hoeft te rijden dan bedraagt de energiewinst ca. 13 MJ/trajectkm. Stel daarentegen dat er minder passagiers overstappen en de trein toch blijft rijden dan zal de substitutie per definitie het energiegebruik verhogen.

Naast het energiegebruik per reizigerkilometer kan ook de bezettingsgraad van zowel auto als de trein in de toekomst gaan veranderen. Om het effect hiervan duidelijk te maken zijn de effecten op energiegebruik in drie verschillende situaties uitgerekend (zie tabel 3).

Tabel 3: *Bezettingsgraden trein en personenauto (%)*

	trein ⁽¹⁾		personenauto ⁽²⁾	
	bezettingsgraad (%)	aantal reizigers	bezettingsgraad (%)	aantal reizigers
situatie 1 (Nederlands gemiddelde)	44	155	37	1.65
situatie 2 (hoog trein, laag auto)	85	297	22	1.00
situatie 3 (laag trein, hoog auto)	15	53	89	4.00

⁽¹⁾ Nederlandse treinen hebben gemiddeld 349 zitplaatsen.

⁽²⁾ personenauto's gemiddeld hebben 4.5 zitplaatsen.

Bron: CBS (1996), NS (1996)

In tabel 4 is de energie-efficiency van trein en auto in de drie voorbeeldsituaties weergegeven.

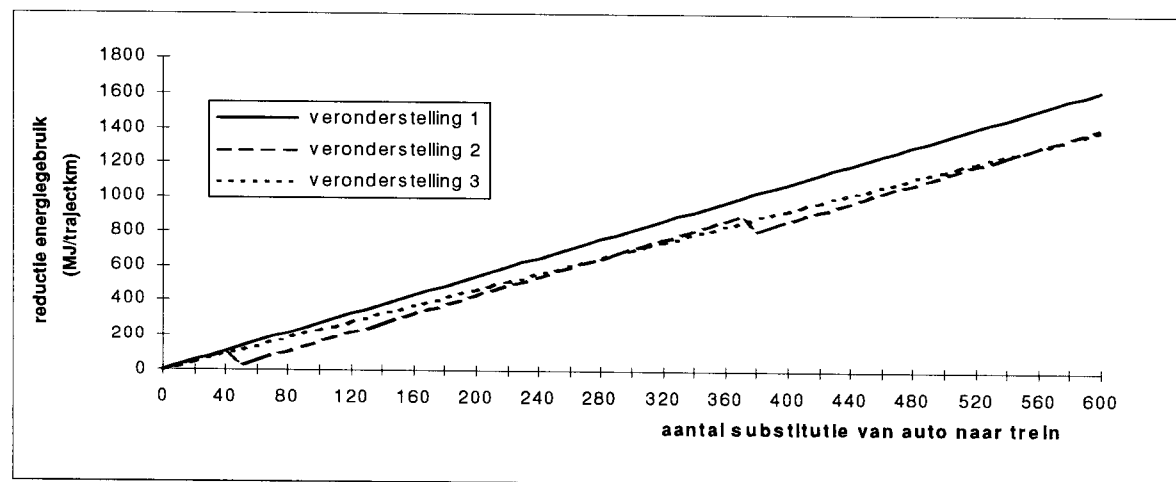
Tabel 4: *Energie-efficiency trein en personenauto (MJ/rkm)*

	trein ⁽¹⁾	personenauto ⁽²⁾
scenario 1 (Nederlands gemiddelde)	0.63	1.61
scenario 2 (hoog trein, laag auto)	0.33	2.66
scenario 3 (laag trein, hoog auto)	1.83	0.67

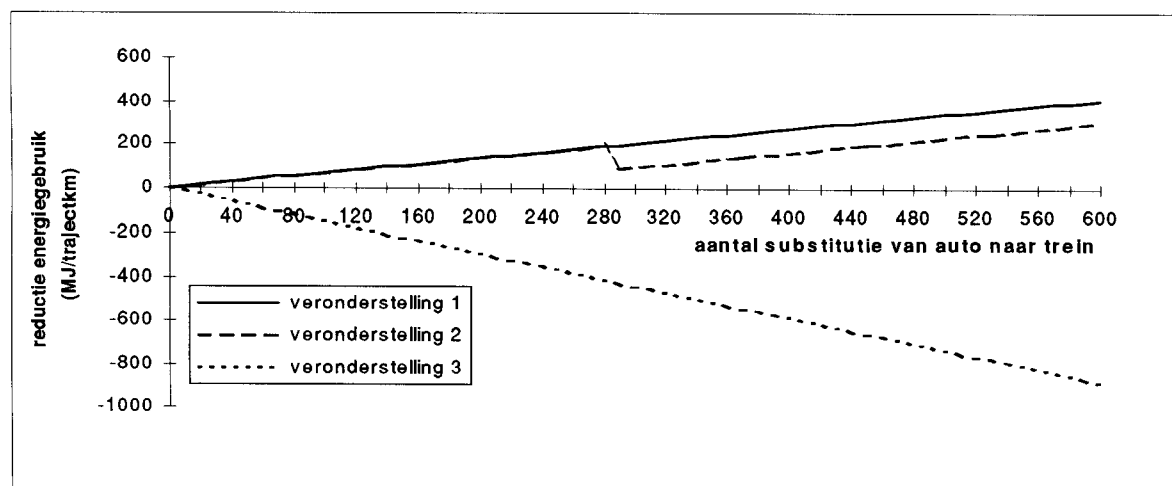
⁽¹⁾ Nederlandse treinen hebben gemiddeld 349 zitplaatsen, het energiegebruik is 97 MJ/km (van den Brink en van Wee, 1997)

⁽²⁾ personenauto's gemiddeld hebben 4.5 zitplaatsen, het energiegebruik is 2.66 MJ/km (CBS, 1997).

Scenario 1 komt overeen met de huidige (1996) situatie en het resultaat is reeds weergegeven in figuur 3. De resultaten van scenario's 2 en 3 zijn weergegeven in de figuren 6 en 7.



Figuur 6: *Reductie energiegebruik bij 22% bezettingsgraad auto en 85% bezettingsgraad trein*



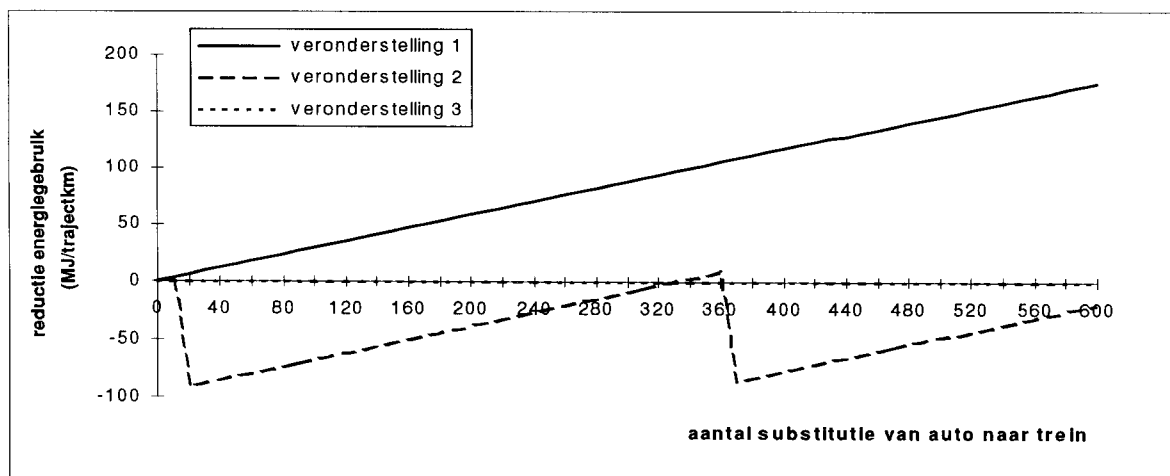
Figuur 7: Reductie energiegebruik bij 89% bezettingsgraad auto en 15% bezettingsgraad trein

Figuur 6 laat zien dat bij hoge bezettingsgraad van de trein en een lage bezettingsgraad bij de personenauto de resultaten bij de verschillende veronderstellingen nagenoeg aan elkaar gelijk zijn. De oorzaak hiervoor is dat het energiegebruik per reizigerkilometer van de trein in dit hypothetische geval zeer veel lager is (ca. 85%) is dan dat van de personenauto. In figuur 7 zijn de verschillen tussen de veronderstellingen daarentegen zeer groot. Bij veronderstelling 3 leidt de substitutie zelfs tot een toename van het energiegebruik. Veronderstelling 3 impliceert dat de bezettingsgraad van de trein niet verder kan stijgen hetgeen bij een 15% bezettingsgraad niet realistisch is.

Wanneer in dit geval veronderstelling 3 niet wordt beschouwd lijkt het erop dat zelfs bij zeer lage bezettingsgraad van de trein een verschuiving van auto naar trein moet worden gepropageerd. Bovenstaande bewering geldt echter alleen wanneer de huidige dienstregeling als uitgangspunt wordt genomen. In geval het energiegebruik per reizigerkilometer bij de trein hoger is dan bij de auto, zoals in situatie 3 het geval is, moet bij een objectieve benadering van de substitutie-effecten ook het effect van een substitutie van trein naar auto in ogenschouw worden genomen. Ofwel, wat is de energiewinst wanneer de treinverbinding wordt opgeheven en alle treinpassagiers overstappen naar de auto. Bij het voorbeeld van figuur 3 blijkt dat de substitutie van de 53 overgebleven treinpassagiers ($15\% \cdot 349$) naar de auto (4 passagiers) een reductie van het energiegebruik van ca. 60 MJ/trajectkm oplevert. Dezelfde energiewinst wordt ook behaald wanneer 90 mensen van de auto naar de trein overstappen. Uit energie-oogpunt lijkt in deze situatie een substitutie van trein naar auto verkiesbaar boven een substitutie van trein naar auto. Er moet echter bedacht worden dat de trein nog capaciteit over is wat een verdere reductie van het energiegebruik mogelijk maakt.

De vraag die zich nu aandient is of zich een situatie kan voordoen waarbij het marginale effect van een substitutie van auto naar trein negatief is. Deze situatie doet zich voor als de personenauto zeer zuinig wordt en zowel de bezettingsgraad van de auto als die van de trein zeer hoge waarden aannemen. In figuur 8 is als voorbeeld genomen de substitutie van een '3 liter personenauto' (verbruikt 3 l/100km) met een gemiddelde bezettingsgraad van 75% (3.4

inzittenden) naar de trein met een bezettingsgraad van 95%. Het energiegebruik per reizigerkilometer van de auto is in dit voorbeeld gelijk aan dat van de trein. Door de hoge bezettingsgraad van de trein zal echter bij een kleine substitutie van auto naar trein extra treinmaterieel moeten worden ingezet waardoor het marginale effect van de substitutie negatief is (zie figuur 8). De beschreven situatie zal zich in de praktijk echter waarschijnlijk niet op korte en middellange termijn (25 jaar) kunnen voordoen omdat 1) grote penetraties van de zeer zuinige (3 l/100km) auto niet op deze termijn worden verwacht en 2) omdat dermate hoge gemiddelde bezettingsgraden vooral bij de personenauto zeer moeilijk te realiseren zijn.



Figuur 8: Reductie energiegebruik bij 75% bezettingsgraad auto (3 l/100km) en 95% bezettingsgraad trein

Conclusies: substitutie auto naar trein

- de juiste veronderstelling voor de verandering van de bezettingsgraad van de trein is belangrijk voor een correcte inschatting van de effecten van substitutie van auto naar trein;
- zelfs als het energiegebruik per reizigerkilometer van de auto lager is dan dat van de trein kan een substitutie van auto naar trein uit energie-oogpunt wenselijk zijn;
- op korte en middellange termijn is het niet te verwachten dat de marginale effecten op energiegebruik van een substitutie van auto naar trein negatief zullen zijn.

VOORBEELD 2: Substitutie van vliegtuig naar HST

Voorbeeld 2 beschouwt effecten van de substitutie tussen twee vormen van openbaar vervoer met commerciële bedrijfsvoering. Dit in tegenstelling tot voorbeeld 1 waar substitutie naar een vorm van regulier (gesubsidieerd) openbaar vervoer werd besproken. Het regulier openbaar vervoer moet minimaal voorzien in een bepaald niveau aan dienstverlening zodat ook zogenaamde onrendabele lijnen moeten worden geëxploiteerd. Voor het vliegtuig en de HST is verondersteld dat het rendement van verbindingen sturend is in de bedrijfsvoering.

Ook in het geval van substitutie tussen vliegtuig en HST geeft een berekening op basis van gemiddelde waarden niet altijd de juiste voorstelling van zaken. Ten eerste is het energieverbruik per afgelegde kilometer van een vliegtuig sterk afhankelijk van de grootte en van de afgelegde afstand (tabel 5). Bovendien geldt net als bij de personenauto in voorbeeld 1 dat een nieuw vliegtuig in de vloot minder energie gebruikt en NO_x emitteert dan het gemiddelde vliegtuig in zijn grootte-klasse. Daarentegen gebruikt een gemiddeld vliegtuig minder energie dan een vliegtuig uit de grootste klasse (zie tabel 5). Hetzelfde geldt voor de NO_x-emissie.

Tabel 5: *Energiegebruik (MJ/km) en emissie (g/km) per kilometer 1995*

vervoerwijze	energiegebruik	NO _x -emissie
trein		
HST	176	14.5
vliegtuig		
vloot (gemiddeld)	200	54.5
vloot, (klasse 3)	135	26.5
vloot, (klasse 6)	412	120.4
nieuw (klasse 6)	403	117.7

bron: CBS (1996), van den Brink en van Wee (1997), Moorman en Dings (1996)

Tabel 6: *Capaciteit en bezetting van HST en vliegtuig 1995*

vervoerwijze	capaciteit	aantal passagiers
trein		
HST	400	260
vliegtuig		
vloot (gemiddeld)	140	80
vloot klasse 3 (70-120 zitpl.) bestemming London	100	57
vloot klasse 6 (> 250 zitpl.) bestemming London	400	228

bron: CBS (1995), van den Brink en van Wee (1997), Boose *et al.* (in voorbereiding)

Voor wat betreft aanname 2 uit de inleiding geldt dat in deze casus ook naar de verandering van de bezettingsgraden van beide vervoerwijzen moet worden gekeken om de werkelijke effecten van een substitutie te kunnen bepalen. In dit geval zijn er twee mogelijkheden:

1. bezettingsgraden veranderen niet

De veronderstelling is dat de huidige gemiddelde bezettingsgraad (65%) van de HST waarschijnlijk een soort optimum is tussen maximaal bezette treinen tijdens de piekuren in de hoofdstroomrichting¹⁴ en minder bezette treinen in de tegenstroomrichting of tijdens daluren. Zo ook wordt verondersteld dat de bezettingsgraad van het vliegtuig een soortgelijk optimum is. Een afname van het aantal passagiers leidt in dat geval tot een afname van het aantal op een bepaald traject ingezette vliegtuigen omdat de bestemming anders niet meer rendabel is voor de luchtvaartmaatschappij. Bij deze veronderstelling kan het effect worden berekend door het onderlinge verschil in energiegebruik te vermenigvuldigen met het aantal substitutiepassagiers (*gemiddelde effecten benadering*).

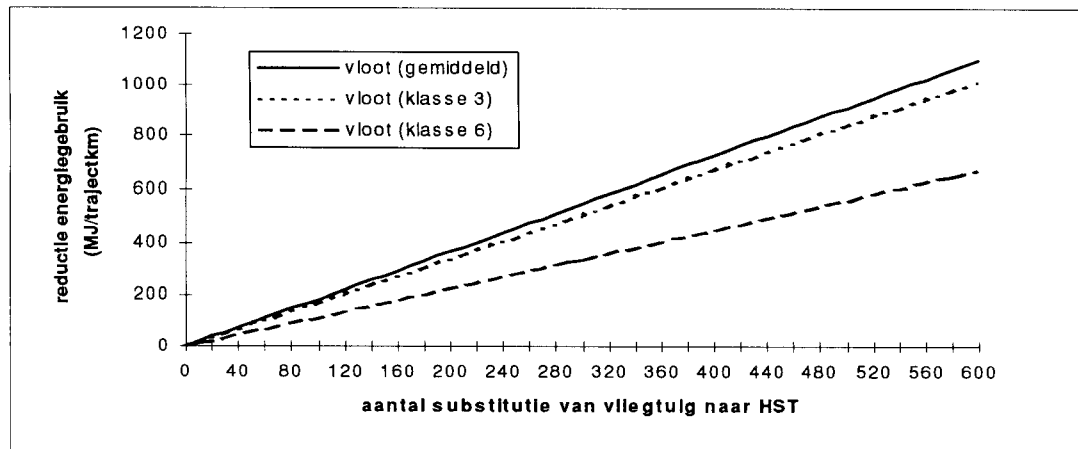
2. bezettingsgraden veranderen

De veronderstelling is dat door substituties de bezettingsgraden van beide vervoerwijzen veranderen. Hierdoor zullen in eerste instantie geen daadwerkelijke veranderingen van het aantal vliegbewegingen of het aantal treinkilometers merkbaar zijn. Er is dus geen verandering in energiegebruik door de substitutie. Wel verandert is het energiegebruik per reizigerkilometer van de vervoerwijzen.

Veronderstelling 2 geldt waarschijnlijk alleen op korte termijn. Blijkt de verandering van de bezettingsgraden structureel, dan zal de luchtvaartmaatschappij op het desbetreffende traject waarschijnlijk minder vliegtuigen inzetten om hiermee de bezettingsgraad en daarmee het rendement weer te verhogen. Zo ook zal de HST-exploitant meer HST's inzetten omdat waarschijnlijk in piekuren de capaciteit tekort schiet. De bezettingsgraad op langere termijn wordt op deze manier gelijk aan de uitgangssituatie. Voorgaande impliceert dat bij een voorbeeld als deze de energiewinst van een substitutie op middellange tot lange termijn berekend kan worden met de *gemiddelde effecten benadering* (veronderstelling 1).

In figuur 9 is voor verschillende aannames voor het type vliegtuig (zie tabel 5) de reductie van het energiegebruik berekend volgens de *gemiddelde effecten benadering*. Een soortgelijke figuur kan voor de NO_x-emissie worden gemaakt.

¹⁴ de hoofdstroomrichting is de vervoersrichting waar het reizigersaanbod op een bepaald moment van de dag groot is, de tegenstroomrichting is de tegengestelde vervoersrichting waar op hetzelfde moment het reizigersaanbod over het algemeen veel lager is.



Figuur 9: Reductie energiegebruik door substitutie van vliegtuig naar HST, berekend met gemiddelde effecten benadering

Uit figuur 9 blijkt dat een substitutie van vliegtuig naar HST minder energie per trajectkilometer oplevert wanneer het een groot type vliegtuig betreft dan wanneer het een gemiddeld type betreft. De oorzaak hiervoor is dat het energiegebruik per reizigerkilometer van een groot type vliegtuig lager is dan dat van een gemiddeld vliegtuig.

Conclusies: substitutie vliegtuig naar HST

- in geval van substitutie tussen twee vormen van openbaar vervoer met commerciële bedrijfsvoering, wordt de energiewinst van een bepaalde substitutie op lange termijn bepaald door het verschil in energie-efficiency maal het aantal gesubstitueerde passagiers (*gemiddelde effecten benadering*);
- een substitutie van vliegtuig naar HST geeft op lange termijn een reductie van het energiegebruik en de NO_x-emissie;
- op korte termijn kunnen kleine substituties wel leiden een verandering van de bezettingsgraden van HST en vliegtuig en leidt substitutie niet in een verandering in het vervoersaanbod, het marginale effect is nul.

Referenties

Boose, J.J.E.C., G.P. van Wee, F.M.C. Gommers (in voorbereiding), *Geaggregeerd model voor volume-ontwikkelingen in de luchtvaart, aggregatie van het IEE-model*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Brink, R.M.M. van den, G.P. van Wee (1997), *Energiegebruik en emissies per vervoerwijze*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

CBS (1996), *Emissies mobiele bronnen, gegevens 1995*, Voorburg: Centraal Bureau voor de Statistiek

CBS (1996a), *Statistiek van het personenvervoer 1995*, Heerlen: Centraal Bureau voor de Statistiek

Geurs, K.T., R.M.M. van den Brink, J.A. Annema, G.P. van Wee (1997), *Verkeer en Vervoer in de Nationale Milieuverkenning 4*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Kroon, M. (1997), *De Milieufunctie van het Openbaar Vervoer: statistiek of gezond verstand?*, Verkeerskunde, nr.5, pp. 48-51

Moorman, S.A.H., J.M.W. Dings (1996), *LUMIS emissiemodel voor de luchtvaart*, Delft: Centrum voor Energiebesparing en schone technologie

NS (1996), *Jaarverslag 1995*, Utrecht: Nederlandse Spoorwegen

Effecten van technologische ontwikkelingen op verbrandingsemissies door het wegverkeer

Auteurs:

Leo Bus (presentatie)

Marjan van Schijndel-Pronk

Nederlands Economisch Instituut (NEI)

Postbus 4175

3006 AD Rotterdam

tel: 010-453 8797

fax: 010-452 3680

email: bus@nei.nl

1 Inleiding

Het wegverkeer zorgt voor verschillende milieu problemen. Onder andere genoemd kunnen worden luchtverontreiniging, aantasting leefomgeving door rijdende en geparkeerde voertuigen in verblijfsgebieden en de afval- en grondstoffenproblematiek (autowrakken en banden). Ter illustratie geeft tabel 1 een overzicht van het aandeel van het wegverkeer in de uitstoot van een aantal stoffen (in Nederland) in 1985 en het aandeel zoals dat in 2010 verwacht wordt.¹

Tabel 1.1 Aandeel verkeersbijdrage in de uitstoot van een aantal stoffen in Nederland (in %)

	1985			2010		
	Wegverkeer	Overige mobiele bronnen (a)	Totaal mobiel	Wegverkeer	Overige mobiele bronnen	Totaal wegverkeer
CO2	11	3	14	11	3	14
Nox	47	14	62	43	29	72
SO2	4	8	13	6	11	16
VOS	44	2	45	40	5	45
CO	70	3	73	0	0	0
PM	18	10	28	-	-	-

a) Landbouwwerktuigen, vorkheftrucks, diepladers etc.

Bron: Verkeer en vervoer in de Nationale Milieuverkening 2 1990-2010, RIVM, februari 1992.

In deze paper wordt ingegaan in hoeverre de techniek in personenauto's en bedrijfsvoertuigen een rol speelt in de verandering van de toekomstige milieudruk door het verkeer. Dit gebeurt aan de hand van het FACTS en het ATTACK model. Beide modellen zijn door het NEI ontwikkeld en worden onder andere door het RIVM gebruikt bij het opstellen van de Nationaal Milieubeleids Plannen (NMP) en voor ad-hoc beleidsondersteuning.

Begonnen wordt met een korte beschrijving van de structuur van het FACTS en ATTACK model (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de technologische ontwikkelingen die in beide modellen zijn ingebouwd en de invloed van deze ontwikkelingen op de milieudruk door het verkeer. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de effecten van het overheidsbeleid ten aanzien van technologische eisen die aan wegvervoermiddelen worden gesteld.

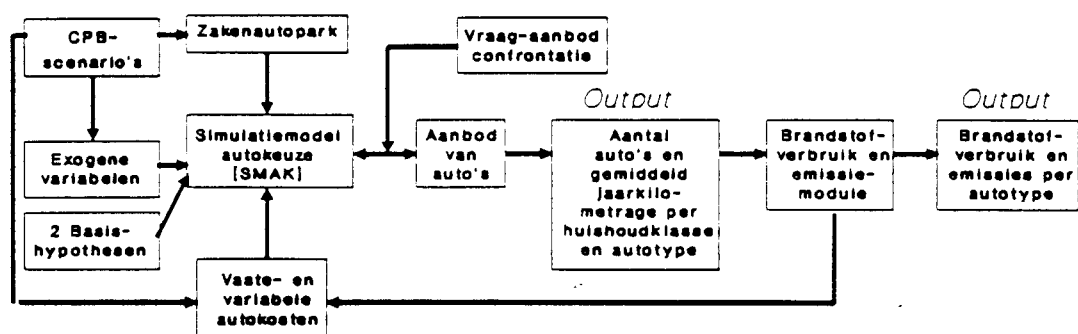
¹ Aandelen voor 2010 gebaseerd op het midden-scenario van het CPB.

2 Modelstructuur FACTS en ATTACK model

2.1 FACTS

Met FACTS kunnen prognoses worden gemaakt van personenautobezit, -gebruik en emissies onder alternatieve scenario's van economische en demografische ontwikkeling, emissienormering alsmede (ad hoc) overheidsmaatregelen op verkeers- en vervoersterrein. Het meest recente FACTS model (FACTS 2.0) heeft het jaar 1990 als basis en het jaar 2015 als uiterste prognosejaar. De structuur van FACTS 2.0 kan als volgt vereenvoudigd worden weergegeven:

Figuur 2.1 Vereenvoudigde FACTS-modelstructuur



Het 'hart' van het model bestaat uit de simulatie van het keuzegedrag inzake de auto in privé-bezit van huishoudens. Dit keuzegedrag wordt onder andere beïnvloed door de vaste- en variabele autokosten per autotype, de eventuele aanwezigheid van een zakenauto en een aantal exogene variabelen (zoals de hoogte van het huishoudinkomen) alsmede de twee basishypothesen van het model. Deze twee hypothesen luiden:

het budgetaandeel van uitgaven aan het bezit en gebruik van de auto in privébezit in het inkomen is voor homogene groepen van huishoudens in de tijd constant;
huishoudens streven naar behoud van (auto)mobiliteit.

Nadat alle huishoudens een keuze hebben gemaakt uit de 18 autotypen² die FACTS onderscheidt (of besloten hebben geen auto aan te schaffen), volgt een confrontatie van de vraag naar en het aanbod van de verschillende autotypen. Bij eventuele onevenwichtigheden tussen vraag en aanbod volgt een correctie. Na de vraag-aanbodconfrontatie is de omvang van het autopark naar autotype en de daarmee afgelegde afstand bekend. Met behulp van de brandstofverbruiks- en emissiemodule³ wordt vervolgens het brandstofverbruik en de uitstoot aan emissies bepaald. Veranderingen in het brandstofverbruik hebben daarbij tevens gevolgen voor de variabele autokosten en daarmee op het autobezit en -gebruik.

² De auto's worden onderscheiden naar brandstof (3), gewicht (3) en leeftijd (2).

³ Beiden opgesteld door TNO.

2.2 ATTACK

In tegenstelling tot wat de naam *Analysis of Truck Traffic, Airpollution, Cargo and Kilometrage* doet vermoeden, is *ATTACK* geen prognose-model voor het goederen(weg)vervoer. *ATTACK* geeft prognoses van de verkeersprestaties, parkomvang, brandstofverbruik en emissies van *bedrijfsvoertuigen*. Behalve voor goederenvervoer worden bedrijfsvoertuigen ook ingezet voor personenvervoer, dienstverlenend vervoer (zoals vuilnisophaaldiensten, brandweer en takeldiensten) en particulier gebruik (bestelauto's met grijs kenteken, kampeerwagens e.d.).

Met *ATTACK 2.0* zijn tot en met 2020 (met eens per 5 jaar een steekjaar vanaf 2000) de prognoses van de verkeers- en vervoersprestaties, parkomvang, brandstofverbruik en emissies in de onderstaande tabel in te vullen:

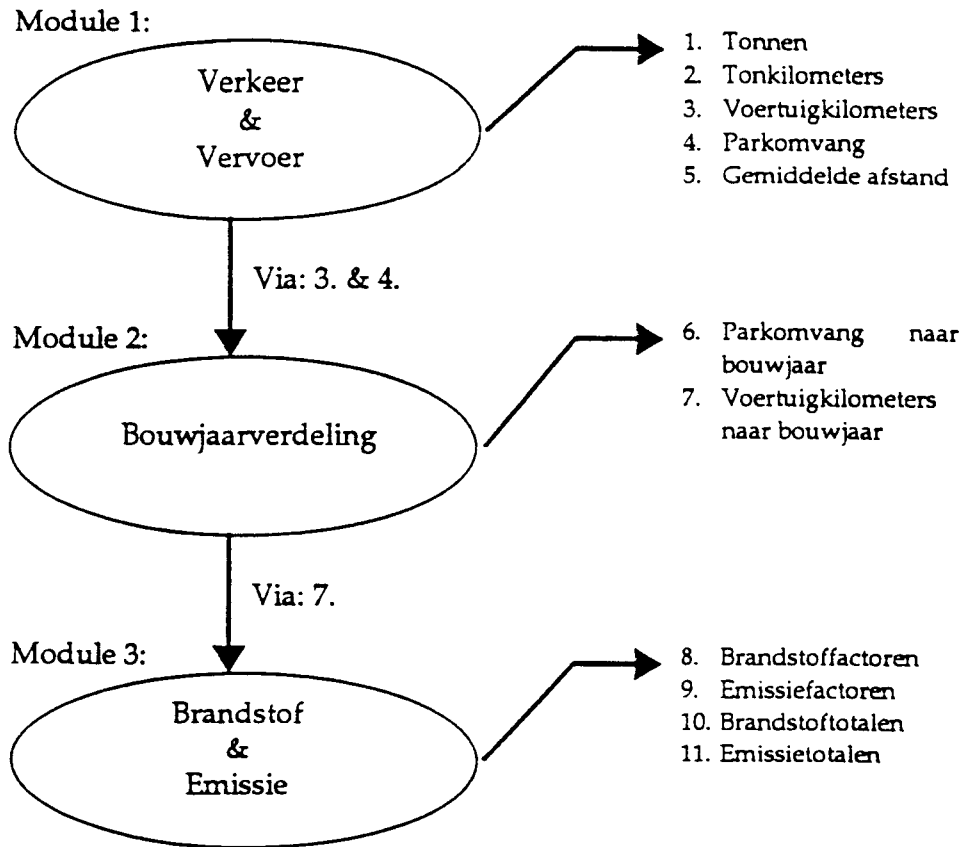
Tabel 2.1 Voertuigtypen en gebruikerscategorieën in *ATTACK 2.0*

	goederen- vervoer	personen- vervoer	dienstverlenend vervoer	particulier gebruik	Totaal
Bestelauto's (naar brandstofsoort)
Vrachtauto's (naar GVW-klasse)	...	n.v.t.	...	...	...
Trekkers	...	n.v.t.	...	...	...
Speciale voertuigen (naar brandstofsoort)	...	n.v.t.	...	...	...
Autobussen (o.a. naar brandstofsoort)	n.v.t.	...	...	...	...

In deze paper wordt alleen aandacht besteed aan de technologische ontwikkelingen binnen de voertuigtypen bestelauto's, vrachtauto's en autobussen (stad- en streekbussen).

Het basisjaar van *ATTACK 2.0* is 1993. Gegevens omtrent de verkeersprestaties en de parkomvang zijn de ontleend aan de Bedrijfsvoertuigenquête, die het CBS éénmaal per 4 jaar houdt onder eigenaren van bedrijfsvoertuigen. De vervoersprestaties zijn afgeleid uit de verkeersprestaties. Via een bouwjaarverdeling van de parkomvang en de voertuigkilometers zijn het brandstofverbruik en de emissies afgeleid.

Figuur 2.2 Opbouw van het ATTACK 2.0 model



Net als voor FACTS 2.0 geldt dat de uitkomsten van ATTACK 2.0 afhankelijk zijn van de wijze waarop de modelgebruiker de inputset heeft gedefinieerd. ATTACK 2.0 maakt het de gebruiker mogelijk van een zeer groot aantal exogene variabelen de waarde vast te stellen. Afgezien daarvan heeft het NEI voor elk van de exogene variabelen een defaultwaarde gegeven.

3 Technologische ontwikkelingen en effecten op verbrandingsemissies

3.1 Technologische ontwikkelingen

In de default scenario's zoals deze in FACTS 2.0 en ATTACK 2.0 zijn ingebouwd wordt uitgegaan van bepaalde technologische ontwikkelingen in de periode 1990-2015 respectievelijk 1993-2020. Deze ontwikkelingen hebben betrekking op het verwachte brandstofverbruik en de verbrandingsemissies. De belangrijkste ontwikkelingen betreffen (voor wat betreft FACTS 2.0 het ongewijzigde beleid en ATTACK 2.0 het autonome scenario):

Tabel 3.1 Belangrijkste technologische ontwikkelingen in FACTS 2.0 en ATTACK 2.0

FACTS 2.0 (personenauto's)	ATTACK 2.0 (bedrijfsvoertuigen)
<ul style="list-style-type: none"> ▲ een zeer snelle toeneming van de mate waarin benzine- en LPG-auto's worden uitgerust met geregelde driefwegkatalysatoren; ▲ een dalend leeg gewicht van personenauto's tot het jaar 2005, daarna blijft het gewicht constant; ▲ een dalende rolweerstand; ▲ een dalende luchtweerstand; ▲ introductie van de dieselauto met inspuiting alsmede een toenemend aandeel van dit type auto's binnen het segment dieselauto's; ▲ een (eenmalige) daling van het zwavelgehalte in de brandstof diesel vanaf 1995; ▲ een dalend vast brandstofverbruik.. 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ vanaf het bouwjaar 1996 zijn alle bestelauto's uitgerust met geregelde driefwegkatalysatoren; ▲ tot en met 2020 een daling van de lege voertuigmassa van alle bedrijfsvoertuigtypen, m.u.v. autobussen ▲ een dalende rolweerstand bij vrachtauto's en trekker/opleggers; ▲ een dalende luchtweerstand bij vrachtauto's en trekker/opleggers; ▲ introductie van direct ingespoten dieselmotoren bij bestelauto's alsmede een toenemend aandeel van dit type motoren; ▲ een daling van het zwavelgehalte in brandstof; ▲ geen dalend vast brandstofverbruik en geen rendementsverbeteringen.

Daarnaast wordt in FACTS verondersteld dat specifieke technologische ontwikkelingen bij de bouw en onderhoud van personenauto's tot een voortgaande levensduurverlenging van auto's (in Nederland) leidt. Naast bovenstaand overzicht bevat ATTACK ook nog een tijdpad omtrent de ontwikkeling van de emissiewetgeving: ingangsjaar van EURO-2 motoren is 1996, EURO-3 = 2000; EURO-4 = 2005 en EURO-5 = 2010.

3.2 Effect technologische ontwikkelingen op verbrandingsemissies

3.2.1 FACTS

Om een indicatie te verkrijgen van de effecten van de technologische ontwikkelingen op de emissies door personenauto's heeft een vergelijking plaatsgevonden tussen de emissie per gereden kilometer van een auto met bouwjaar 2015 versus een auto met bouwjaar 1995. Het verschil in emissies kan worden toegeschreven als zijnde veroorzaakt door technologische ontwikkelingen. In tabel 3.2 kan het resultaat worden afgelezen. Bij het interpreteren van de resultaten moet echter wel met nadruk worden vermeld dat de emissies in tabel 3.2 niet gecorrigeerd zijn voor een verandering in de gemiddelde zwaarte van het autopark. Uit de

output gegevens van het FACTS model blijkt namelijk dat de samenstelling van het autopark naar gewicht in de periode 1995-2015 verandert. Ook binnen de afzonderlijke bouwjaar 1995 en 2015 is deze verandering in samenstelling te zien. Deze toename van het aandeel zwaardere auto's heeft uiteraard gevolgen voor de omvang van de emissies: deze zullen toenemen. Wegens gebrek aan (output)gegevens kon voor deze ontwikkeling echter geen correctie plaatsvinden. De in tabel 3.2 gepresenteerde effecten van technologische ontwikkelingen op de verbrandingsemissies zullen dan ook als minimaal op te treden effecten moeten worden gezien.

Tabel 3.2 Verandering in verbrandingsemissies per gereden kilometer door personenauto's met bouwjaar 2015 versus 1995 (=100) bij ongewijzigd overheidsbeleid (niet gecorrigeerd voor veranderingen in gemiddelde zwaarte van de auto's)

Emissie	Personenauto met bouwjaar 2015 (bouwjaar 1995=100)
CO	97
HC	98
Nox	96
PM	91a)
SO ₂	96
CO ₂	93

a) betreft alleen diesel auto's.

3.2.2 ATTACK

Teneinde de effecten van de technologische ontwikkelingen op de emissies door bedrijfsvoertuigen te kunnen bepalen heeft soortgelijke vergelijking plaatsgevonden zoals vermeld in voorgaande paragraaf: er heeft een vergelijking plaatsgevonden tussen de emissie per gereden kilometer van een bedrijfsvoertuig met bouwjaar 2020 versus eenzelfde type bedrijfsvoertuig met bouwjaar 1993. Het verschil wordt veroorzaakt door technologische ontwikkelingen (zie tabel 3.3).

Tabel 3.3 Verandering in verbrandingsemissies per gereden kilometer door bedrijfsvoertuigen met bouwjaar 2020 versus 1993 (=100) bij autonoom scenario

Emissie	Vrachtauto	Bestelwagen	Autobus
CO	15	96	14
HC	14	94	14
Nox	19	83	18
PM	99	95	97
SO ₂	5	5	5
CO ₂	31	83	31

Geconcludeerd kan worden dat door technologische ontwikkelingen de verbrandingsemissies van vrachtauto's en autobussen sterk afneemt, met uitzondering van de emissies van PM. De emissies door bestelwagens nemen door technologische ontwikkelingen veel minder af, met uitzondering van SO₂.

4 Effect van technologische eisen binnen overheidsbeleid op verbrandingsemissies

4.1 FACTS

In FACTS worden twee beleidsscenario's onderscheiden ten aanzien van de emissies door personenauto's gedurende de periode 1990-2015, te weten:

- ▲ ongewijzigd overheidsbeleid;
- ▲ te verwachten overheidsbeleid.

In het te verwachten overheidsbeleid worden door de overheid, ten opzichte van het ongewijzigde overheidsbeleid, additionele technologische eisen aan de emissies door personenauto's gesteld. Tabel 4.1 laat de effecten van deze additionele technische eisen op de uitstoot van schadelijke stoffen zien.

Tabel 4.1 Effecten op verbrandingsemissies in 2015 door personenauto's bij uitvoering van 'verwacht' overheidsbeleid in relatie tot 'ongewijzigd' overheidsbeleid (=100)

Emissie	Personenauto's
CO	63
HC	76
Nox	88
PM	88
SO ₂	100
CO ₂	100

Uit tabel 4.1 blijkt dat de additionele technische eisen die in het te verwachten overheidsbeleid worden gesteld alleen eisen betreffen die van invloed zijn op de uitstoot van CO, HC, Nox en PM, de uitstoot aan CO₂ en SO₂ wordt niet beïnvloed. De additionele technische eisen in het te verwachten overheidsbeleid leiden in vergelijking tot het ongewijzigde overheidsbeleid tot een daling in de uitstoot van CO met ruim 35%, tot een daling in de uitstoot van HC met bijna 25% en tot een daling in de uitstoot van Nox en PM met ruim 20%.

4.2 ATTACK

In ATTACK worden eveneens twee beleidsscenario's onderscheiden ten aanzien van het brandstofverbruik en de uitstoot aan schadelijke stoffen door bedrijfsvoertuigen gedurende de periode 1993-2020, te weten:

- ▲ autonoom scenario;
- ▲ optimistisch scenario.

In het autonome scenario vindt geen stimulatie door de overheid plaats ten aanzien van brandstofgebruik en emissies, in het optimistische scenario vindt deze stimulatie wel plaats. In het optimistische scenario vindt dan ook een ontwikkeling plaats zoals deze technische mogelijk is. Tabel 4.2 laat de effecten van het stimulerende overheidsbeleid op de verbrandingsemissies zien.

Tabel 4.2 Effecten op verbrandingsemissies in 2020 door bedrijfswagens bij uitvoering van 'optimistisch' scenario in relatie tot 'autonoom' scenario (=100)

Emissie	Vrachtauto	Bestelwagen	Autobus
CO	91	99	88
HC	91	100	89
Nox	86	98	85
CO2	86	87	92
SO2	86	87	86
PM	87	74	86

Geconcludeerd kan worden dat stimulerend overheidsbeleid voor de vrachtauto's tot een maximale reductie in de uitstoot van de zes onderscheiden stoffen leidt van tussen de 9 en 14%. Voor de autobus ligt de maximale reductie tussen de 8 en 15%. Ten aanzien van de bestelwagen geldt dat er met name een reductie valt te behalen in de uitstoot van CO₂, SO₂ en PM, te weten een reductie van 13% (CO₂, SO₂) en 26% (PM).

Schoon Schip in de Nederlandse Binnenvaart

Auteurs:

Wieger Dijkstra (presentatie)

Jos Dings

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015-2150 148

fax: 015-2150 151

email: wd@antenna.nl

Samenvatting

De binnenvaart is momenteel ten opzichte van het concurrerende wegvervoer een modaliteit met voordelen op het gebied van energiegebruik, luchtverontreinigende emissies, geluidhinder, ruimtebeslag en versnippering. Veel van deze voordelen zullen ook in de toekomst overeind blijven. Echter het voordeel op het gebied van luchtverontreinigende emissies neemt langzaam af als gevolg van snelle milieutechnische innovatie in het wegvervoer. De voorsprong van de binnenvaart op het gebied van de NO_x-emissie (nu ca 50%) zal onder invloed van strenger wordende emissie-eisen van het wegverkeer, in de toekomst waarschijnlijk slinken en mogelijk zelfs omslaan in een nadeel. Op het gebied van de CO₂-emissies zal het milieuvoordeel van de binnenvaart blijven bestaan.

In opdracht van het ministerie van VROM heeft het CE de mogelijke maatregelen om de emissies te reduceren op een rij gezet en beoordeeld op kosteneffectiviteit en haalbaarheid. Hierbij wordt in deze paper de nadruk gelegd op een gefaseerde aanscherping van de toekomstige emissienormstelling van nieuwe scheepsdieselmotoren. Emissienormstelling voor nieuwe motoren is een kosteneffectieve maatregel de NO_x-emissies te verminderen.

De studie 'Schoon Schip In de Nederlandse binnenvaart' is verkrijgbaar bij Milieubook
Plantage Middenlaan 2h, Postbus 18169
1001 ZB Amsterdam
tel. 020 6244989, fax 020 6235203

1 Inleiding

Op dit moment is de binnenvaart een relatief schoon vervoersalternatief voor het wegvervoer. Per eenheid van vervoersprestatie (meestal de tonkilometer) zijn de emissies van binnenschepen lager dan die van het concurrerende wegvervoer.

In het goederenwegvervoer zijn en worden echter tal van initiatieven ontplooid om tot een stiller, schoner en zuiniger wagenpark te komen. Concrete voorbeelden zijn de Europese emissienormstelling voor vrachtwagenmotoren, de stapsgewijze verbetering van de kwaliteit van de diesel voor het wegvervoer, de Europese normstelling voor geluidemissie van vrachtwagens en het op logistieke efficiency inzettende project Transactie. Verder worden naar verwachting de Europese eisen voor nieuwe vrachtwagenmotoren en dieselkwaliteit in de jaren 2000 en 2005 verder aangescherpt.

In de binnenvaart zijn initiatieven om tot emissiereductie te komen in veel geringere mate genomen. Zo is er nog geen emissienormstelling voor nieuwe motoren voor binnenvaartschepen en zijn de eisen voor brandstofkwaliteit lager dan in het wegvervoer. De noodzaak van dergelijke maatregelen werd niet sterk gevoeld omdat de binnenvaart toch van oudsher een zuinige en schone vervoerswijze was.

De hierboven geschetste ontwikkelingen leiden er echter toe dat de emissies per tonkm van wegvervoer en binnenschip langzaam maar zeker dichterbij elkaar komen te liggen. Deze constatering leidde tot de volgende onderzoeksvraag:

Onderzoeksvraag

Het inventariseren en beoordelen (op met name kosteneffectiviteit) van de verschillende technische mogelijkheden om de emissies (vnl NO_x) terug te dringen, zodat de binnenvaart ook in de toekomst een relatief 'schone' modaliteit kan blijven.

2 Emissies binnenvaart en wegverkeer nu en in de toekomst

Als illustratie van het verschil in energiegebruik en emissies tussen het wegvervoer en de binnenvaart is de vergelijking gemaakt tussen de emissies van het wegvervoer en de binnenvaart, die ontstaan bij het vervoer nmet een nieuw Europaschip en met nieuwe zware trucks in 1990, 1995, 2000, 2005 en 2010.

Belangrijke aannamen hierbij zijn de volgende:

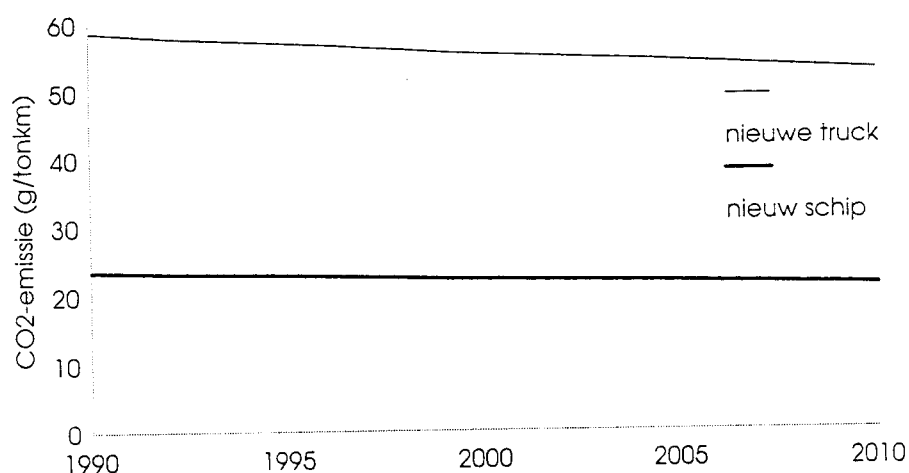
- De truck heeft een laadvermogen van 25 ton waarvan 60% wordt benut (15 ton). In het internationale vervoer liggen zowel de beladingsgraad naar afstand (= percentage niet-lege km) als de beladingsgraad naar massa (percentage laadvermogen benut bij niet-lege ritten) net boven de 75%. De benuttingsgraad van 60% is het product van deze twee.
- Voor beide modaliteiten is een vermindering van het specifieke brandstofverbruik van 10% verondersteld in het jaar 2010.
- Het schip heeft een laadvermogen van 1.500 ton waarvan 1.000 ton wordt benut. Ook dit is statistisch een goed gemiddelde voor deze categorie schepen.
- Het eventuele voor- of natransport bij de binnenvaart is niet in de beschouwing meegenomen.
- prognoses energiegebruik en emissies hebben betrekking op nieuwe voer- en vaartuigen.
- verder is een inschatting gemaakt van het verloop van de emissiefactoren

Bepalen emissiefactoren.

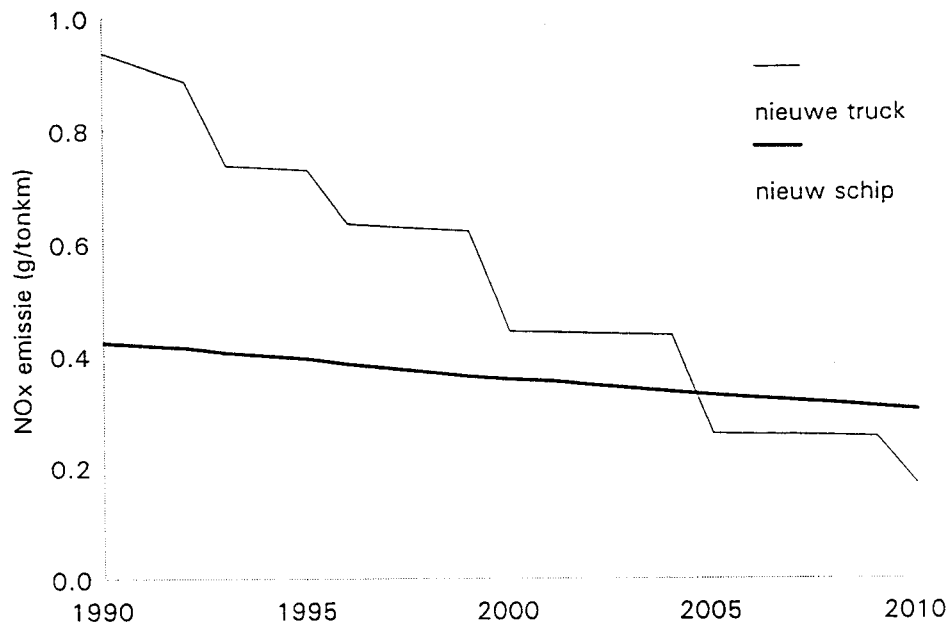
De inschatting van de toekomstige ontwikkeling is gebaseerd op een verwachte verdere aanscherping van de emissienormen voor truckmotoren en een autonome daling van de emissiefactoren van scheepsmotoren, zonder wettelijke dwang. Hierbij wordt verondersteld dat de emissiefactor van NO_x zonder regelgeving niet zal dalen. De emissiefactor van Pm₁₀ daalt sneller zonder regelgeving omdat deze emissie lager wordt naarmate de verbranding beter verloopt. Voor het kunnen halen van substantieel lage waarden is net als bij NO_x een duurder motorontwerp en dus regelgeving nodig.

Emissies per tonkm tussen 1990 en 2010

Aan de hand van de inschattingen van het huidige en toekomstige energiegebruik en de ontwikkelingen in de emissiefactoren zijn de emissies per tonkilometer uitgedrukt. Dit is voor CO₂ en NO_x grafisch uitgezet in figuur 2.1 en 2.2.



Figuur 2.1: Resulterende ontwikkeling van CO₂-emissies per tonkm in de tijd, bij gebruik van een nieuwe zware truck en een nieuw binnenschip.



Figuur 2.2: Resulterende ontwikkeling van NOx-emissies per tonkm in de tijd, bij gebruik van een nieuwe zware truck en een nieuw binnenschip.

Uit deze cijfers blijkt dat de binnenvaart ook in de toekomst zijn voorsprong ten opzichte van het (zware) wegvervoer op het gebied van CO₂-emissie (en energiegebruik) zal behouden. Per tonkilometer blijft de CO₂-emissie van de binnenvaart ruim de helft lager dan die van het wegvervoer.

Voor de NOx-emissie per tonkilometer geldt een andere ontwikkeling. Er blijkt dat rond het jaar 2005 een tonkm vervoerd met een nieuwe truck minder NOx-emissie tot gevolg zal hebben dan een tonkm vervoerd met een nieuw schip. De autonome daling van de NOx-emissie van nieuwe scheepsmotoren zal niet voldoende zijn om in de toekomst de huidige milieuvoorsprong op het wegvervoer te behouden. Hier komt bij dat een (intensief gebruikte) scheepsmotor ongeveer tweemaal zolang meegaat als een vrachtwagenmotor. Dit betekent dat de binnenvaartsector tijdig maatregelen zal moeten treffen om op het gebied van NOx-emissie schoner te blijven dan het concurrerende wegvervoer.

Op macro-niveau betekenen de bovenstaande ontwikkelingen dat, bij het uitblijven van emissiebeleid voor de binnenscheepvaart, het aandeel van de binnenvaart in de Nederlandse emissies zal toenemen.

3 Maatregelen aan schepen en brandstoffen

De emissies van de Nederlandse binnenvaart kunnen op verschillende manieren worden teruggebracht. Deze worden kort besproken. Maatregelen aan dieselmotoren en een gefaseerde emissienormstelling voor nieuwe scheepsdieselmotoren worden meer uitgebreid behandeld in het hoofdstuk 4.

Technische maatregelen aan bestaande schepen

In de literatuur wordt een aantal mogelijkheden genoemd om via scheeps technische maatregelen de emissies te verlagen. Dit betreft o.a. maatregelen zoals het verhogen van het schroefrendement door het aanbrengen van een straalbuis, aanstroomvereffeningsbuis, verbeteringen van de schroef, benutting van uitlaatwarmte. Het effect van dergelijke maatregelen op het brandstofverbruik varieert van enkele procenten tot enkele 10-tallen procenten. Ook ontwikkelingen in automatisering zoals een stuurautomaat, een diagnosesysteem voor brandstofverbruik kunnen bijdragen tot brandstofbesparing. Een belangrijke factor die van invloed is op dergelijke maatregelen is de lage prijs van dieselolie voor de binnenschepen van 25 tot 30 cent per liter. De brandstof is vrijgesteld van accijns en de lage prijs is een rem op de bovengenoemde toepassingen.

Maatregelen in de nieuwbouw

Maatregelen liggen vooral in de motorkeuze. Door bij nieuwbouw te kiezen voor een medium speed in plaats van een high-speed motor kan aanzienlijk op brandstof worden gespaard (5-10%).

Vaargedrag

Maatregelen op het gebied van vaargedrag kunnen energiegebruik en emissies verlagen. De wens tot hoger vaarsnelheden leidt tot een vraag naar grotere motorisering. Dit leidt tot een toenemend brandstofverbruik.

Economymeter

Een aantrekkelijke maatregel die extra aandacht verdient is de economymeter. Met dit instrument kan de vaarsnelheid afgesteld worden op het optimum tussen energiegebruik en tijd, zodat onnodig snel varen wordt voorkomen. Momenteel zijn dergelijke meters standaard leverbaar op nieuwe motoren die voorzien van elektronische besturing. Deze instrumenten geven echter het brandstofverbruik per uur weer. Belangrijk is om de relatie van brandstofverbruik met de scheepssnelheid te kunnen leggen. Op deze manier is het mogelijk de vaarsnelheid naar energieverbruik te optimaliseren.

Brandstoffen

De belangrijkste milieumaatregel op het gebied van brandstoffen is het verlagen van het zwavelgehalte. Dit bedraagt momenteel maximaal 0,2% (massaprocent) voor de binnenvaart. In Brussel is momenteel discussie over het verlagen tot 0,1 %.

Van de totale verzuring door de binnenvaart is op dit moment ca 8% afkomstig van de zwavel uit de brandstof. Een halvering van het zwavelgehalte vermindert de verzuring door de binnenvaart in één keer dus met ca 4%. Betrokken op de Nederlandse vracht-, tank- en duwvloot met een totaal energiegebruik van ca 600 mln kg gasolie wordt ruim 1 kton SO₂ bestreden met de maatregel.

Alternatieve brandstoffen

Alternatieve brandstoffen (CNG, LPG, LNG) bieden een hoog potentieel voor emissiereductie maar zijn op korte en middellange termijn moeilijk grootschalig toepasbaar.

4 Emissienormstelling nieuwe scheepsmotoren

Inleiding

Het potentieel van 'schone' motoren is groot. Onder invloed van regelgeving emitteren nieuwe zware vrachtwagenmotoren (die technisch grotendeels vergelijkbaar zijn met scheepsmotoren) ca 40% minder NOx en 60% minder Pm10 (per eenheid van geleverde energie) dan nieuwe motoren voor binnenschepen. In het jaar 2000 moeten nieuwe truckmotoren naar verwachting nog eens 30% schoner worden en in het jaar 2005 gaat er naar verwachting nog eens ca 50% vanaf (voor NOx). Daarmee zouden ze dan 80-85% lagere NOx-emissie hebben dan hun ongereguleerde voorgangers. Dergelijke reducties zijn ook voor scheepsmotoren op termijn mogelijk.

'Schoon' is op dit moment nog geen verkoopargument voor motorfabrikanten in de binnenvaart. Daarnaast geldt dat voor het vinden van het optimale compromis tussen de emissies van NOx en Pm10 en het brandstofverbruik (CO2-emissie) geavanceerdere en (dus) duurdere motortechniek onontbeerlijk is. Om deze redenen is regelgeving in de praktijk de enige manier om lage motoremissies af te dwingen. Het is precies deze regelgeving waar het in de binnenvaart aan ontbreekt.

Wijze van invoering

Om de markt de kans te geven zich aan te passen is een lange termijn-perspectief van de ontwikkeling in de eisen wenselijk. In dit hoofdstuk wordt een driefasen-benadering uitgewerkt die leidt tot motoren met gemiddeld ca 25, 50 resp. 80% lagere NOx-emissies dan de huidige generatie.

Driefasen-benadering

Het is mogelijk en wenselijk om op dit moment reeds drie fasen van normstelling aan te kondigen. Een tweefasige wetgeving is in het verleden al vaker vertoond zoals de wetgeving voor truckmotoren en de wetgeving voor mobiele machines in de EU. Gezien de verwachte ontwikkelingen bij de emissie-eisen van truckmotoren is het echter mogelijk om reeds een derde fase van normstelling voor de middellange termijn (2005-2010) aan te kondigen.

Door al voor een dergelijk lange termijn emissie-eisen aan te kondigen kunnen de motorfabrikanten de planning van hun productontwikkeling zo efficiënt mogelijk vormgeven. Dit is uitermate belangrijk omdat de ontwikkeling van nieuwe generaties dieselmotoren voor een groot gedeelte afhankelijk is van de ontwikkeling van de emissie-eisen.

Fasering qua eisen

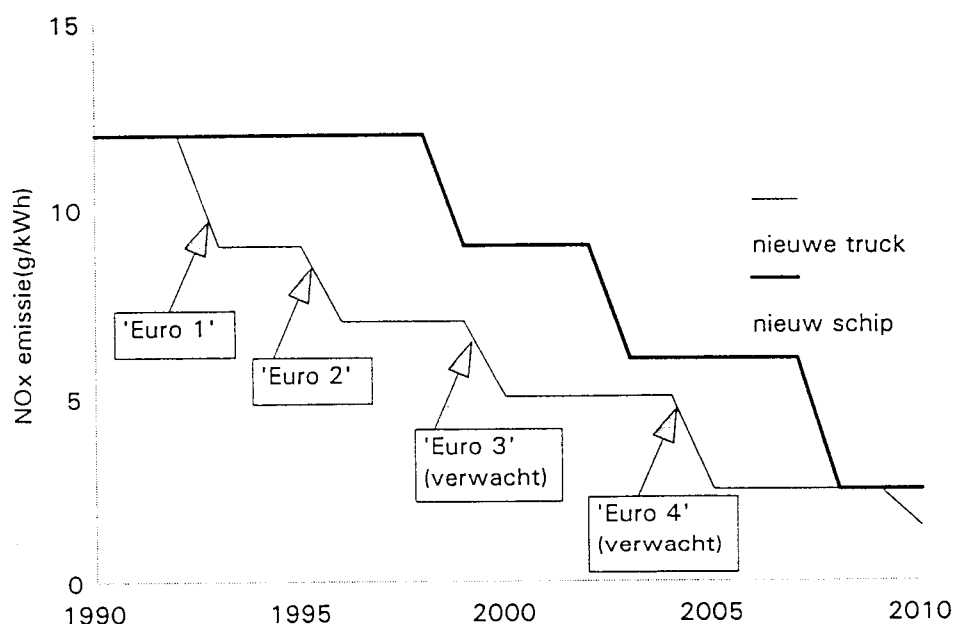
De eerste fase is een soort 'harmonisatieslag' die beoogt de emissies van de nieuw verkochte scheepsmotoren op het niveau van de 'beste in de markt' te brengen. Een indicatief emissieniveau is 9 g NOx per geleverde kWh energie, analoog aan de eerste fase emissie-eis voor mobiele werktuigen in de EU.

De tweede fase is een echte aanscherping die beoogt de emissies van alle nieuw verkochte scheepsmotoren met ca 30% ten opzichte van de eerste fase te verlagen. Indicatief emissieniveau is 6 g NOx per geleverde kWh energie, analoog aan de tweede fase emissie-eis voor mobiele werktuigen in de EU. Volgens de huidige kennis is dit een emissieniveau dat de

dieselmotor kan halen zonder grote verhogingen van het brandstofverbruik of Pm10-emissie, én zonder uitlaatgasnabehandeling (die op korte termijn nog niet commercieel beschikbaar is). In de derde fase is het waarschijnlijk zinvol de eisen in één keer fors aan te scherpen naar bijvoorbeeld 2,5 g NOx per kWh. Immers bij tussenliggende NOx-eisen van bijvoorbeeld 4-4,5 g/kWh zullen waarschijnlijk de meeste fabrikanten kiezen voor katalytische nabehandeling van de NOx-emissie, omdat een motorinwendige oplossing teveel problemen oproept. Echter volgens de huidige perspectieven zal de NOx-emissie bij toepassing van katalytische nabehandeling veel lager kunnen zijn dan deze 4-4,5 gram.

Fasering in de tijd

De fasering in de tijd is afhankelijk van het karakter van de wetgeving. Betreft het een wettelijke verplichting zonder flexibiliteit dan is de tijdfasering zeer belangrijk om fabrikanten de tijd te geven zich aan te passen. Een redelijk tijdschema lijkt dan een verplichting van de eerste fase rond 1999, een verplichting voor de tweede fase rond 2003 en een verplichting voor de derde fase rond 2008. Het stelsel van limieten voor alle drie de fasen inclusief de bijbehorende financiële prikkel kan in principe vanaf nu ingaan. Invoering van dit voorstel leidt tot de volgende ontwikkeling van de NOx emissie-eisen van binnenschepen ten opzichte van vrachtwagens (zie fig 4.1)



Figuur 4.1 Ontwikkeling van de NOx-emissie-eisen voor nieuwe scheepsdieselmotoren (voorstel) ten opzichte van de normen voor vrachtwagenmotoren

Testprocedure

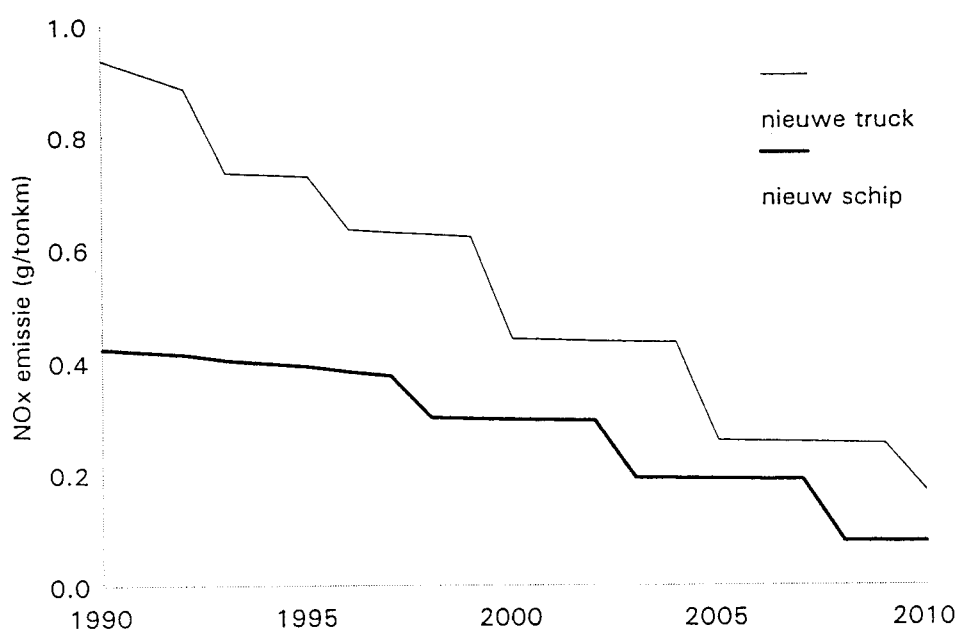
Naast de hoogte van de eisen is ook de te volgen testprocedure voor meting van de emissies van belang.

In ISO-verband (ISO 8178) is een serie testprocedures ontwikkeld voor vele verschillende typen verbrandingsmotoren. Deze procedures vinden steeds meer ingang. Zo is de huidige

Amerikaanse en toekomstige Europese emissienormstelling voor mobiele werktuigen en de door IMO voorgestelde emissienormen voor motoren van zeeschepen gebaseerd op ISO 8178.

Kosten en emissie-effecten

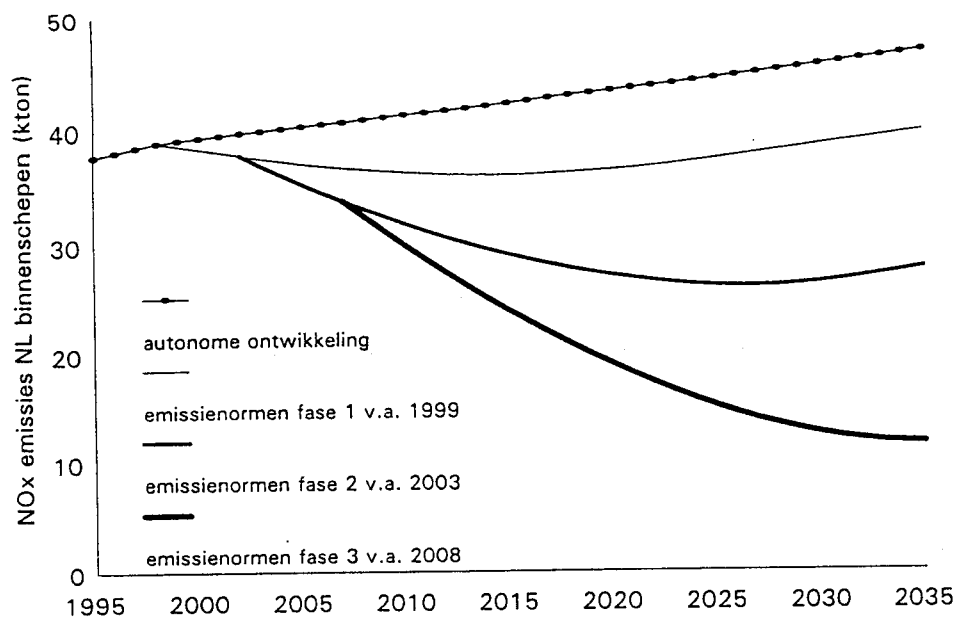
Op basis van de in dit project verzamelde gegevens wordt geschat dat de motoren die aan de hierboven genoemde eisen van de eerste, tweede en derde fase voldoen ca 25%, 50% resp. 80% lagere NO_x-emissies hebben dan de huidige niet-gereguleerde motoren. Dit wordt weergegeven in figuur 4.2 (NO_x-emissies per tonkm van nieuwe schepen en nieuwe vrachtwagens) en in figuur 4.3 (de ontwikkeling van de NO_x-emissies van de Nederlandse binnenschepen).



Figuur 4.2: Ontwikkeling van de NO_x-emissies per tonkm van nieuwe vrachtwagens en nieuwe schepen (voorstel)

De meerkosten per motor bedragen resp. 10%, 25% voor fase 1 en 2. Voor fase drie zijn nog geen kosten bekend.

De totale motorenmarkt heeft een omvang van jaarlijks ca 300 motoren met een vermogen boven de 250 kW waarvan ca 250 in bestaande schepen en ca 50 in nieuwe schepen. Hiermee is een jaarlijks bedrag van ca 150 mln gulden gemoeid. Stimulering van schonere motoren kost jaarlijks maximaal 10 tot 25% van dit bedrag extra, ofwel 15-13 miljoen.



Figuur 4.3: Ontwikkeling van de NOx-emissies van de Nederlandse binnenschepen zonder en met invoering van verschillende fasen van emissienormstelling aan nieuwe motoren.

Kosteneffectiviteit

Wanneer de meerkosten worden uitgedrukt per kg verminderde NOx-emissie levert dit bestrijdingskosten van f0,70 resp. f0,90 per vermeden kg NOx-emissie. Dit is zeer goedkoop in vergeleken met NOx-maatregelen in andere sectoren. Zo schommelen de NOx-reductiekosten bij vrachtwagens momenteel rond de f3,- tot f4,- per kg en bij personenwagens rond de f10,-.

4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Nieuw verkochte scheepsmotoren zijn momenteel niet onderworpen aan emissiewetgeving. Dit in tegenstelling tot nieuwe motoren voor wegvoertuigen. Bij het uitblijven van emissiebeleid voor de binnenscheepvaart zal het wegvervoer op het gebied van NOx-emissies in de toekomst zijn achterstand inlopen en mogelijk zelfs ongedaan maken. Voor CO₂ is een dergelijke ontwikkeling niet te verwachten.

Momenteel zijn de emissies per tonkilometer van de binnenvaart gemiddeld de helft van die van (concurrerende segmenten van) het wegvervoer. Er zijn in de binnenscheepvaart nog vele (technische) mogelijkheden om het brandstofverbruik, en daarmee emissies van CO₂ en meestal ook van NOx, te reduceren. De lage brandstofprijzen in de binnenvaart maken deze maatregelen vaak niet rendabel. Een 'economymeter' die het brandstofverbruik (en eventueel hieraan gerelateerde kosten) per gevaren 'land'kilometer en 'water'kilometer on line bijhoudt is voor schippers een goed hulpmiddel om de meest economische vaarsnelheid aan te kunnen houden.

Introductie van een emissienormstelling voor nieuwe scheepsmotoren is een zeer kosteneffectieve maatregel om de NO_x-emissie van de binnenscheepvaart te verminderen. Ten eerste is de specifieke emissietechnologie voor dieselmotoren reeds ontwikkeld voor toepassing in andere sectoren dan de scheepvaart, waardoor de meerkosten per motor bescheiden zijn. Ten tweede zijn de te behalen emissiereducties per motor groot omdat één motor gedurende zijn lange levensloop en zijn grote aantal draaiuren zeer veel emitteert. Met de gefaseerde emissie-eisen voor nieuwe scheepsmotoren kan worden bewerkstelligd dat de NO_x-emissie per tonkilometer van de binnenvaart óók in de toekomst lager is dan die van het wegvervoer. Het is raadzaam nu reeds drie fasen van strenger wordende emissie-eisen aan te kondigen die de NO_x-emissie van nieuwe motoren (per geleverde eenheid van energie) met 25, 50 resp. 80% reduceren. Per saldo zullen de eerste-, tweede- en derde fase-eisen zorgen voor ongeveer een stabilisatie, een eenderde resp. een tweederde reductie van NO_x-emissie van Nederlandse binnenschepen. Invoering van de eisen van fase 1 en fase 2 zullen leiden tot 5 resp. 13 miljoen per jaar aan technische meerkosten van de motoren.

Voor de motoren van Rijnschepen is de Centrale Commissie Rijnvaart (CCR) in Straatsburg de aangewezen instantie voor het stellen van emissie-eisen. Vooruitlopend op eventuele regelgeving in CCR-verband kan Nederland een stelsel van vrijwillige emissie-eisen met een financiële stimuleringsregeling voor de aanschaf van schone scheepsmotoren opzetten.

Aanbevelingen

Nederland kan bij de CCR (Centrale Commissie Rijnvaart) in Straatsburg aandringen op snelle invoering van emissienormstelling voor nieuwe motoren voor Rijnschepen. Vooruitlopend op deze regelgeving kan Nederland op korte termijn zelfstandig een aanvang maken met stimulering van de verkoop van 'schone' motoren boven 'vuile'.

Aanbevolen wordt de emissienormstelling in drie fasen vorm te geven, leidend tot motoren met 25%, 50% resp. 80% lagere NO_x-emissies (9, 6 resp. 2,5 gram NO_x per geleverde kWh). Als testprocedure wordt ISO 8178, deel 4, cyclus E3 aanbevolen. Gezien het trage 'vervangings tempo' van de vloot en de toegepaste motoren is nader onderzoek naar de mogelijkheden van uitlaatgasnabehandeling aan relatief jonge, zware en veel gebruikte motoren wenselijk.

Het is wenselijk om een actieplan te ontwikkelen om veelvarende schepen op grote schaal te voorzien van een 'economymeter' die het brandstofverbruik en/of -kosten per 'land'kilometer en per 'water'kilometer 'on line' aangeeft. Een dergelijk instrument maakt zuinig vaargedrag en snelle diagnose van eventuele technische defecten mogelijk. Hiermee kunnen grote brandstofbesparingen (CO₂-reducties) worden gerealiseerd.

Literatuur

- 1 CE (Centrum voor energiebesparing en schone technologie)
Kosten en milieu-effecten van technische maatregelen in het verkeer
J.M.W. Dings
Delft, mei 1996
- 2 CE (Centrum voor energiebesparing en schone technologie)
Schoon schip in de Nederlandse binnenvaart
J.M.W. Dings en W.J. Dijkstra
Delft, mei 1997
- 3 Europese Commissie
Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad betreffende de onderling aanpassing van de wetgevingen van de Lid-staten inzake maatregelen tegen de uitstoot van verontreinigende gassen en deeltjes van inwendige verbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines
Brussel, januari 1996
- 4 Europese Commissie
Mededeling van de Commissie aan de Raad en het Europees Parlement betreffende een strategie voor de vermindering van de emissies van het wegvervoer met inachtneming van de resultaten van het Auto/Olieprogramma
Brussel, juni 1996
- 5 Klok, S.N.
Measures for Reducing NOx Emissions from Ships paper voor 'Workshop on Control Technology for Emissions from Off-road Vehicles and Machines, Ships and Aircraft
Marintek
Oslo, 8-9 juni 1995
- 6 UmweltBundesAmt (UBA)
papers for International Workshop 'HDV 2000'
Berlijn, 1-2 juli 1996

Optimale brandstofmix voor het wegverkeer

Auteur:

J. Dings

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015-2150 147

fax: 015-2150 151

email: jd@antenna.nl

Samenvatting

Optimale brandstofmix voor het wegverkeer

Het CE heeft voor de ministeries van Economische Zaken, VROM en Verkeer en Waterstaat een studie uitgevoerd naar de vanuit milieu-oogpunt op middellange termijn wenselijke brandstofmix. De brandstofmix is de verdeling van de inzet van de drie fossiele transportbrandstoffen benzine, diesel en LPG in de diverse segmenten van het Nederlandse wegverkeer. Kosteneffectiviteit is de leidraad van de studie. Daartoe zijn voor ieder type voertuig de milieu-effecten en de kosten als gevolg van toepassing van de drie alternatieven in kaart gebracht. Om 'milieu' en 'economie' met elkaar te kunnen vergelijken zijn de milieu-effecten financieel gewaardeerd met zogenoemde 'schaduw prijzen'. Om consistentie met het gevoerde milieubeleid te garanderen zijn de schaduw prijzen gebaseerd op de kosten voor het halen van overheidsdoelstellingen.

De studie laat zien dat met de huidige praktijk van het achteraf inbouwen van LPG in benzine-auto's weliswaar milieuwinst kan worden geboekt, maar dat deze milieuwinst te klein is in vergelijking met de prijs die ervoor betaald moet worden. Toepassing van LPG in grote stedelijke vervuilers op diesel (bussen, distributietrucks e.d.) is een stuk kosteneffectiever.

Voor auto's is benzine aantrekkelijk. Diesel in auto's past alleen in een beleid dat serieus werk maakt van de klimaatproblematiek, en is dan alleen voor 'veelrijders' op de snelweg de optimale brandstof.

Door optimalisering van de brandstofmix kan direct de stedelijke milieukwaliteit sterk worden verbeterd en tegelijkertijd indirect het halen van landelijke milieudoelen honderden miljoenen guldens per jaar goedkoper worden gemaakt. Dit laatste kan door de, als gevolg van kostenbesparing vrijkomende, economische baten in te zetten op alternatieve kosteneffectieve milieumaatregelen. De lasten voor de burger hoeven hierbij niet te stijgen.

De studie 'Optimale brandstofmix voor het wegverkeer' is verkrijgbaar bij Milieubook

Plantage Middenlaan 2h, Postbus 18169

1001 ZB Amsterdam

tel. 020 6244989, fax 020 6235203

1 Inleiding

Deze paper geeft een samenvatting van de CE-studie 'Optimale brandstofmix voor het wegverkeer'. De brandstofmix is de verhouding van de inzet van benzine, diesel en LPG in de diverse voertuigcategorieën in het (Nederlandse) wegverkeer. Let wel, het gaat dus om de verhouding tussen de drie, en dus niet om wenselijke totale inzet van brandstoffen in het wegverkeer !

Over dit onderwerp in relatie tot milieu is veel geschreven en nagedacht, en ook over dit onderwerp in relatie tot fiscaal instrumentarium (accijns, MRB, BPM).

Echter, vanuit het oogpunt van milieu-kosteneffectiviteit is de brandstofmix nog niet eerder serieus bestudeerd. Dit is ook lastig omdat iedere brandstof weer een heel eigen scala aan milieu-effecten heeft (wegingsprobleem) en omdat de directe economische kosten als gevolg van inzet van de drie brandstoffen nogal versluierd zijn (juist door het fiscale regime).

De CE-studie had tot doel de twee hierboven genoemde lacunes op te vullen, waardoor een uitspraak over kosteneffectiviteit mogelijk zou zijn. Immers de kosteneffectiviteit is dan: de totale milieu-effecten (gewogen optelling van de effecten) gedeeld door de totale kosten. Hieruit volgend is als kernvraag van de studie geformuleerd:

Welke brandstofmix maakt het mogelijk de voor 2010 gestelde milieudoelen tegen de laagst mogelijke kosten te halen ?

De rest van de paper gaat zeer beknopt in op de gehanteerde methode en de resultaten ervan. Precieze cijfers over kosten, emissies en dergelijke zijn terug te vinden in de rapportage van de studie.

2 Uitgangspunten

Als zichtjaar voor de studie is gekozen het jaar 2010. Dit is weliswaar 13 jaar van hier, maar is toch relevant voor studie die nu wordt verricht. Immers het park van 2010 zal grotendeels bestaan uit voertuigen die tussen 1997 en 2010 worden verkocht, en dit zijn precies de voertuigen waarop toekomstig 'brandstofmixbeleid' (in de vorm van een verandering in het belastingstelsel) stuurt. Verondersteld is overigens dat de emissies van voertuigen die verkocht worden tussen 2000 en 2005 representatief zijn voor die van het park van 2010. De emissies van deze voertuiggeneratie kunnen vrij goed worden ingeschat omdat emissie- en brandstofwetgeving voor deze jaren al in een vergevorderd stadium is. Er is gewerkt met 16 verschillende voertuigcategorieën: 4 soorten auto's ('boodschappenauto's', 'middenklassers', 'zakauto's' en taxi's), 3 soorten bestelwagens (klein, middel, groot), 4 soorten vrachtwagens (klein, middel, groot en distributie), 3 soorten bussen (stad, streek, touringcar), inzamelvoertuigen en overige voertuigen. Brommers, scooters en motorfietsen zijn niet beschouwd. Van de zestien categorieën zijn bepaald: % van de kilometers binnen en buiten de bebouwde kom, de emissies binnen en buiten de bebouwde kom, de referentie-brandstofmix, de economische kostenposten, en voor personen- en bestelwagens op diesel het aandeel DI-diesels.

Binnen elke voertuigcategorie hebben we steeds drie (benzine, diesel, LPG) precies gelijke (fictieve) voertuigen genomen die als enige verschil van elkaar het brandstof/motorsysteem hebben. Op deze manier konden we de effecten van het huidige fiscale structuur buiten beschouwing laten. Deze fiscale structuur zorgt er bijvoorbeeld voor dat de gemiddelde

benzine-auto (veel 'boodschappenauto's') veel kleiner en lichter is dan de gemiddelde diesel- of LPG-auto (veel lease-auto's), wat de vergelijking tussen de brandstoffen oneerlijk zou maken. Overigens is de brandstofmix in het 'referentiescenario' voor 2010, waartegen we effecten van eventuele alternatieve brandstofmixen afzetten, gelijk aan de brandstofmix van 1995. Vanzelfsprekend zijn de volumes wel aangepast.

3 Milieu-effecten

Uitgangspunt bij de vaststelling van milieu-effecten van de drie brandstoffen is dat de alleen dié effecten zijn meegenomen die per brandstofsoort wezenlijk verschillen. Om deze reden is bijvoorbeeld de milieubelasting bij productie van de voertuigen niet in de beschouwing meegenomen, en bijvoorbeeld de emissies als gevolg van het transport van de brandstoffen ook niet. Wel meegenomen zijn emissies bij productie, distributie en (vooral) gebruik van de brandstoffen.

Er is verder onderscheid gemaakt tussen emissies met milieu-effect op nationaal/regionaal niveau en emissies met milieu-effect op lokaal (stedelijk) niveau. In het laatste geval gaat het om emissies die bij relatief hoge concentraties in de lucht schadelijke effecten op de menselijke gezondheid hebben en om die reden specifiek in steden bestreden dienen te worden.

Uit het rijtje van verkeersemissies met milieu-effect op landelijk niveau (CO₂, NO_x, HC, SO₂, lood) zijn SO₂ en lood niet meegenomen. Lood is (in Nederland) sinds 1996 geen probleem meer en SO₂ zal dit ook nauwelijks meer zijn omdat transportbrandstoffen de komende jaren veel verder onttwavelde zullen worden.

Het rijtje van verkeersemissies met effect op stedelijk niveau is minder eenduidig. In relatie tot menselijke gezondheid spelen NO₂, Pm₁₀, SO₂, CO, lood en een groot aantal verschillende koolwaterstoffen (HC, zoals aromaten, polycyclische aromaten en aldehyden) een rol. Zoals gezegd worden SO₂ en lood niet meegenomen. Na bestudering van literatuur (onder andere de luchtkwaliteitsanalyses in het kader van het Europese Auto/Olieprogramma) en na enkele aanvullende analyses door het RIVM zijn vier stoffen geselecteerd waarvan de toekomstige concentraties in de buitenlucht het meeste aanleiding geven tot zorg: NO_x, Pm₁₀, benzeen en formaldehyde. In eerste instantie is ook benzo(a)pyreen meegenomen maar gebleken is dat deze emissie zich echt aan deeltjes en dus niet apart hoeft te worden meegenomen.

Samenvattend zijn de meegenomen milieu-effecten en de schakels in de keten weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1: De in het project meegenomen emissies.

emissies in de levenscyclus van de brandstoffen in het wegverkeer	emissies met effect op landelijk niveau			emissies met effect op stedelijk niveau			
	CO ₂	NO _x	HC	NO _x	Pm ₁₀	benzeen	HCHO
productie (raffinage)	x	x	x				
distributie op/overslag			x				
lossen bij pomp			x			x	
tanken			x			x	
gebruik uitlaat	x	x	x	x	x	x	x
verdamping			x			x	

4 Weging / waardering van milieu-effecten

Het wegen en waarderen van de milieu-effecten speelde een cruciale rol in de studie. Immers, iedere brandstof heeft zo z'n specifieke milieukeurmerken. Zo is diesel ca 10% zuiniger dan benzine en veroorzaakt ook ca 10% minder CO₂-emissie, maar daarentegen zorgt het wel voor een hogere NO_x- en Pm₁₀-uitstoot. Hoe kunnen we deze effecten nu onder één noemer brengen (= wegen) en dan ook nog afzetten tegen 'normale' economische kosten (waarderen) ?

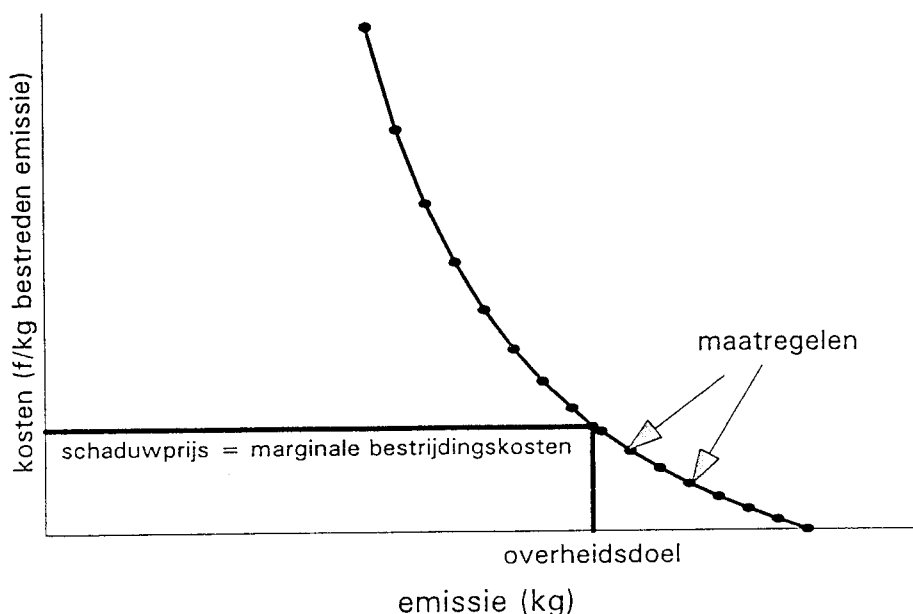
4.1 Schaduw prijzen

Er zijn verschillende manieren om milieu-effecten te wegen en/of waarderen. Het CE heeft naar dit onderwerp de laatste jaren het nodige onderzoeks- en advieswerk verricht.

Het gedefinieerde doel van de studie (zoek de brandstofmix die het mogelijk maakt de gestelde milieudoelen tegen de laagst mogelijke kosten te halen) legt eigenlijk de te gebruiken waarderingsmethode al vast. Dit is namelijk:

het financieel waarderen van de verschillende milieu-effecten met 'schaduw prijzen' die zijn gebaseerd op marginale kosten van maatregelen die genomen moeten worden om de milieudoelen te halen.

De financiële waardering stoelt op de gedachte dat er naar gestreefd wordt voor iedere emissie het gestelde doel tegen minimale kosten te halen. De goedkoopste maatregel zal het eerst worden getroffen, vervolgens de één-na-goedkoopste etc. De kosten van de laatste (duurste) maatregel die nodig is om het doel te halen (de schaduw prijs) is dan maatgevend voor de kosten die de maatschappij over heeft voor het halen van het doel. Immers, iedere maatregel die goedkoper is dan deze laatste maatregel zou dan in principe getroffen moeten worden (de extra kosten van de duurdere maatregel kunnen dan worden uitgespaard). Daarnaast moet iedere maatregel die duurder is in principe achterwege blijven aangezien het doel hiermee voorbijgestreefd zou worden, met onnodige kosten als gevolg. Zie 1.



Figuur 4.1: Visualisering schaduw prijs van een emissie.

Regelmatig komt de vraag op hoe deze schaduw prijzen zich eigenlijk verhouden tot de externe kosten van het verkeer. Welnu, ze hebben wel met elkaar te maken maar hoeven niet gelijk te zijn. In het (ideale) geval dat de overheidsdoelen zodanig zijn vormgegeven dat ze de welvaart maximaliseren is de schaduw prijs gelijk aan de externe kosten. Wanneer immers onder deze voorwaarden een emissie tot het doelniveau is teruggebracht zullen de extra kosten van het verder terugdringen van deze emissie hoger zijn dan de extra baten (de vermindering van externe kosten). Met andere woorden: het is op dit punt te duur geworden om het laatste stuk milieuvervuiling te bestrijden. De som van de kosten van milieumaatregelen en de overblijvende externe kosten is dan precies in het punt van het overheidsdoel minimaal, en de welvaart maximaal.

Natuurlijk is het maar net de vraag in hoeverre overheidsdoelen welvaartsmaximaliserend zijn opgesteld. Wetenschappelijke onzekerheden en politieke factoren kunnen roet in het eten gooien. Echter een overheid die het algemene belang goed behartigt zal in ieder geval wel streven naar welvaartsmaximaliserende milieudoelen.

Door de hoeveelheid emissie te vermenigvuldigen met zijn schaduw prijs komen we op zogenoemde 'milieukosten'. Wanneer inzet van brandstof 1 leidt tot lagere milieukosten dan inzet van brandstof 2 levert inzet van brandstof 1 in plaats van brandstof 2 dus 'milieubaten' op. Het werken met emissie-schaduw prijzen die zijn gebaseerd op de kosten van maatregelen om doelen te halen heeft twee grote voordelen. Een eerste voordeel is dat ze consistentie met het door de overheid gevoerde beleid garanderen. Het tweede is dat de resulterende 'milieukosten' één op één vergelijkbaar zijn met 'gewone' economische kosten (vooropgesteld dat milieudoelen gehaald moeten worden). 'Milieu' krijgt aldus een gewone 'economische' prijs.

In de praktijk blijkt dat voor sommige milieuproblemen schaduw prijzen tamelijk gemakkelijk en consistent af te leiden zijn. Voorbeelden in deze studie waren NO_x en HC.

Voor CO₂ geldt dat er grote verwarring is over de precieze te hanteren doelstelling, en dus nog in sterkere mate over de kosten die we ons zullen moeten getroosten om de doelstelling te halen. Dit is opgelost door de werken met drie verschillende varianten voor doelstellingen en waarderingen voor CO₂.

Voor de emissies met effect op stedelijk niveau ontbreken bruikbare doelstellingen eigenlijk volkomen. Er zijn luchtkwaliteitseisen maar de precieze interpretatie ervan is niet geheel duidelijk. Daarnaast is het effect van emissiereductie in steden op de luchtkwaliteit vaak niet duidelijk. Wel zijn er nogal wat gegevens beschikbaar over kosten van maatregelen die specifiek verbetering van de stedelijke luchtkwaliteit tot doel hebben. Met name het Europese Auto/Olieprogramma levert waardevolle gegevens op. Dit programma levert het technisch-wetenschappelijk fundament voor verscherpte emissie-eisen aan nieuwe voertuigen en brandstofkwaliteitseisen vanaf het jaar 2000. We hebben ervoor gekozen de schaduw prijzen voor emissies op stedelijk niveau te baseren op de duurste op het Auto/Olieprogramma gebaseerde maatregelen die de Europese Commissie voor het jaar 2000 heeft voorgesteld. Overigens vormen deze maatregelen een goed gemiddelde voor de kosten van maatregelen die vanaf het jaar 2005 genomen kunnen worden.

4.2 'Milieubaten per gulden'

De term 'milieubaten per gulden' wordt gebezigd wanneer de inzet van een 'schonere' brandstof (met minder milieukosten) in plaats van een 'vuilere' extra geld kost. Als gevolg van de definitie van milieukosten past toepassing van de 'schonere' brandstof in een kosteneffectief milieubeleid wanneer geldt:

milieubaten per gulden ³ 1.

Natuurlijk is het ook mogelijk dat de schoonste brandstof tevens leidt tot de laagste directe economische kosten. In dit geval is er geen twijfel mogelijk over de optimale brandstof.

5 Directe economische kosten

Naast de financieel gewaardeerde milieu-effecten (milieukosten) zijn ook de 'gewone' economische kosten van de inzet van de diverse brandstoffen in diverse voertuigcategorieën beschouwd. Vooral de verschillen in kosten van toepassing van de drie brandstoffen waren voor dit project interessant. Daarnaast is het erg belangrijk om alleen 'kale' kosten mee te nemen (belastingen en heffingen leiden in een maatschappelijke kosten/batenanalyse namelijk alleen maar tot verschuiving van lasten).

We hebben vier verschillende kostenposten onderscheiden: aanschafkosten, onderhoudskosten, brandstofkosten en zogenoemde 'comfortkosten'. Deze laatste post is in feite een financiële waardering voor (al dan niet terecht) ervaren 'ongemak' dat de burger ondervindt wanneer hij voor een bepaalde brandstof kiest, en waar fiscale prikkels (= maatschappelijke kosten) tegenover moeten staan ter compensatie.

6 Resultaten

De resultaten van de studie vallen uiteen in twee gedeelten. Het eerste gedeelte gaat in op de vraag welke brandstof voor welke voertuigsoort optimaal is. In het tweede gedeelte worden op basis van deze informatie drie varianten van een optimale brandstofmix ontwikkeld en de effecten van deze brandstofmixen beschreven.

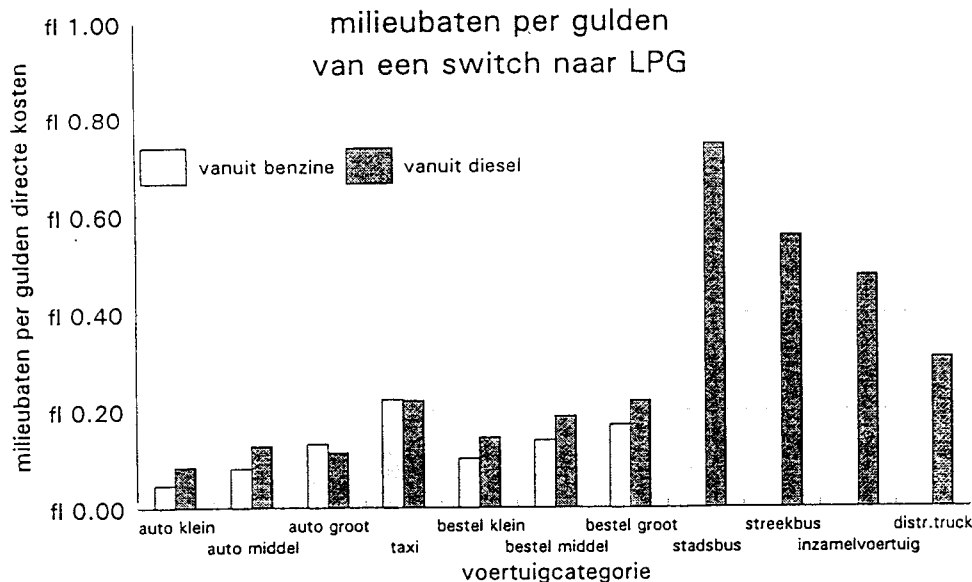
6.1 Voertuigniveau

De opvallendste punten uit de analyse op voertuigniveau volgen hier.

- De toepassing van LPG op 'retrofit'-basis (inbouw in een benzinemodel) in auto's en ook bestelwagens kan weliswaar leiden tot milieubaten, maar deze zijn veel te laag in vergelijking tot de economische kosten ervan. De milieubaten per gulden liggen in de orde van grootte van 0,15. Alleen een zeer sterke kostendaling van toepassing van LPG (orde van grootte 70%), gecombineerd met een forse verbetering van de milieuprestaties, kan de milieubaten per gulden boven de 1 doen uitkomen (grens voor een kosteneffectief milieubeleid).
- Toepassing van LPG in plaats van diesel in zware voertuigen die veel in stedelijk gebied rijden (bussen, distributietrucks e.d.) is veel aantrekkelijker. Hier zijn slechts beperkte kostendalingen noodzakelijk voor kosteneffectiviteit en dit lijkt mogelijk omdat de technologie nog niet is ingeburgerd.

- Voor personenauto's met een lage tot gemiddelde jaarkilometrage is benzine optimaal. Diesel is alleen voor veelrijders optimaal wanneer het klimaatbeleid een hoge prioriteit heeft (het CO₂-doel moeten echt gehaald worden).

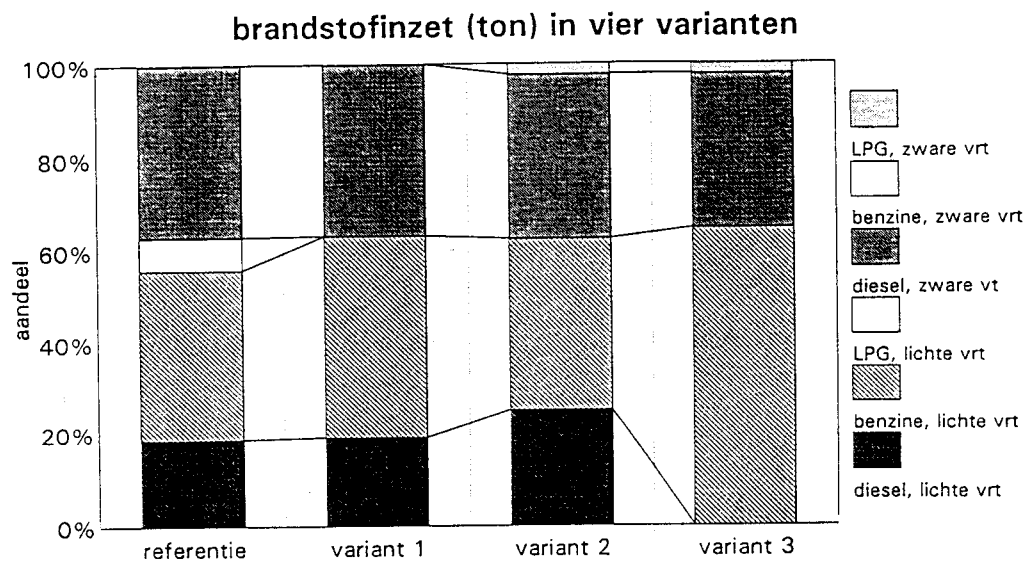
De milieubaten per gulden als gevolg van toepassing van LPG in plaats van benzine of diesel zijn getoond in 1.



Figuur 6.1: Milieubaten per gulden van toepassing van LPG.

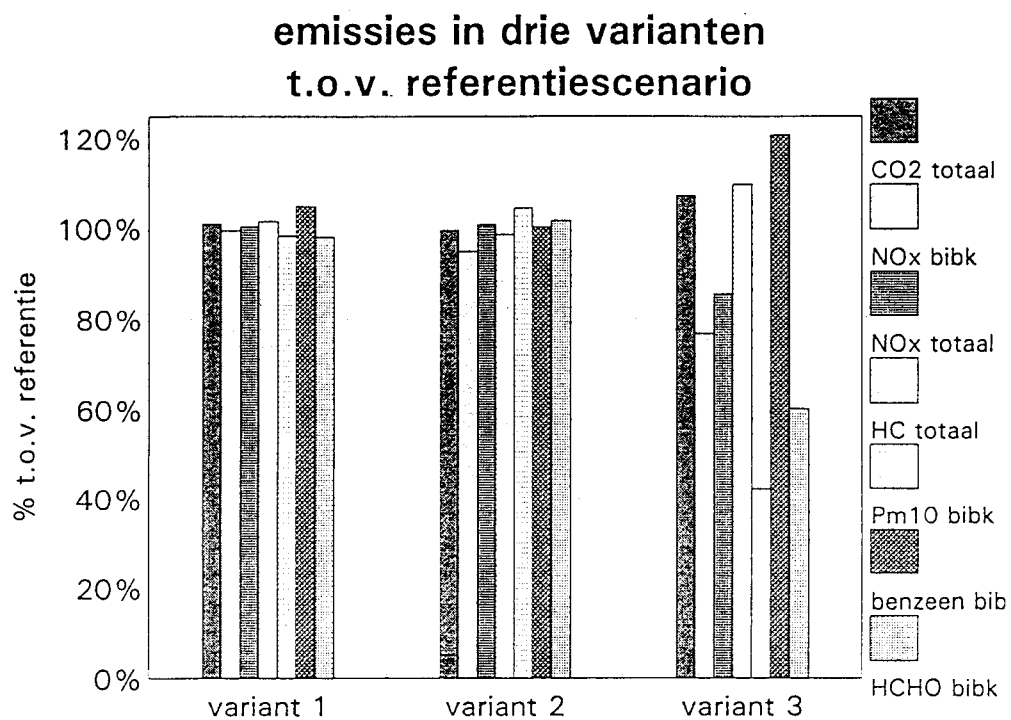
6.2 Macro-niveau

In de studie zijn drie varianten van een optimale brandstofmix uitgewerkt. De varianten kennen verschillende externe randvoorwaarden. In variant 1 mag de stedelijke milieukwaliteit van het wegverkeer niet lager zijn dan in het referentiescenario. In variant 2 mogen stedelijke én landelijke milieukwaliteit van het wegverkeer niet lager zijn dan in het referentiescenario. In variant 3 moet de stedelijke milieukwaliteit van het wegverkeer zoveel mogelijk verbeterd worden zonder dat het halen van de landelijke milieudoelstellingen duurder wordt. In alle drie de varianten daalt het aandeel van LPG bij personen- en bestelwagens (zogenoemde lichte voertuigen) tot 0. De variatie zit hem in de wijze van opvang van dit wegvallende LPG-gedeelte bij de auto's met hogere kilometrage (benzine of diesel) en in de penetratie van LPG in zware voertuigen die in het stedelijke gebied rijden (bussen, inzamelvoertuigen en distributietrucks). De brandstofafzet in de vier varianten (inclusief het referentiescenario) is gegeven in 2.



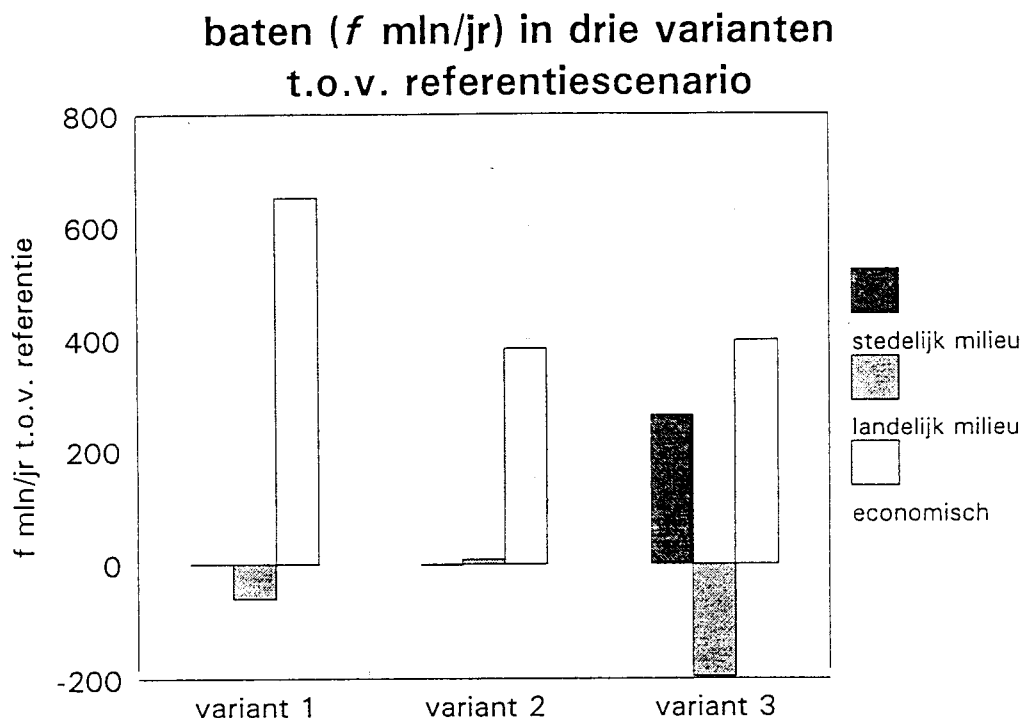
Figuur 6.2: Brandstofafzet in de drie varianten.

De emissies in de drie varianten, ten opzichte van de referentie, zijn getoond in 3.



Figuur 6.3: Emissies in de drie varianten.

De resulterende stedelijke en landelijke milieubaten en de economische baten van de drie varianten zijn getoond in 4.



Figuur 6.4: Resultierende baten van de drie varianten.

De laatste figuur laat zien dat de brandstofmix als beleidsinstrument op directe wijze de stedelijke milieukwaliteit kan verbeteren en op indirecte wijze het halen van landelijke milieudoelstellingen met honderden miljoenen guldens goedkoper kan maken, door met vrijkomende economische baten alternatieve, goedkopere, milieumaatregelen te treffen.

Naarmate stringenter randvoorwaarden worden opgelegd aan de milieu-effecten van de brandstofmix zelf (in de varianten 2 en 3), nemen per saldo de kosten om met name de landelijke milieudoelen te halen toe.

7 Evaluatie

7.1 Kosteneffectief milieubeleid: over sectorgrezen heen

Het is gebleken dat de huidige brandstofmix niet spoort met een kosteneffectief milieubeleid. Door optimalisering van de brandstofmix kan de stedelijke milieukwaliteit direct worden verbeterd en de landelijke milieukwaliteit indirect worden verbeterd door de vrijkomende opbrengsten wel kosteneffectief te besteden.

Bij gelijkblijvend lasten voor burger en bedrijfsleven kan de kostenbesparing als gevolg van optimalisering van de brandstofmix worden verzilverd in de vorm van een hogere belastingopbrengst in de schatkist. Om de met name landelijke milieuwinst van optimalisering van de brandstofmix daadwerkelijk te boeken moet deze extra belastingopbrengst op kosteneffectieve wijze aan andere milieumaatregelen worden besteed. Een voorbeeld voor een

dergelijke maatregel is een permanente 'CO₂-pot', waaruit kosteneffectieve CO₂-projecten (bij)gefinancierd kunnen worden. Voor een kosteneffectief milieubeleid is dus het 'over de sectorgrenzen heen kijken' een vereiste.

We gaan in een voorbeeld uit van brandstofmixvariant 1, die in 2010 1 650 mln per jaar kostenbesparing oplevert naast 1 60 mln extra landelijke milieukosten (met name als gevolg van 0,5 Mton meer CO₂). Wanneer we uitgaan van een prijs van CO₂-reductie van 100 1/ton is jaarlijks dan ca 6 Mton CO₂ te besparen ten opzichte van het referentiescenario. Wanneer we rekenen met reductiekosten van de in de huidige 'CO₂-pot' gesponsorde projecten (ca 30 1/ton) loopt de haalbare besparing zeer snel op naar ca 20 Mton per jaar.

Dit geeft aan dat de mogelijke directe winst in landelijk milieukwaliteit van de brandstofmix lager ligt dan de mogelijke indirecte winst door vrijkomende gelden slim te spenderen.

7.2 Hoog aandeel CO₂ in milieukosten

Overigens is het opvallend dat CO₂ een groot gedeelte van de financieel gewaardeerde milieueffecten uitmaakt. Bij een waardering van 100 1/ton is het CO₂-aandeel in de milieukosten bij vrijwel alle voertuigcategorieën hoger dan 50% en bij benzine- en LPG-auto's zelfs meer dan 80%. Dit geeft aan dat de voertuigen van generatie 2000-2005 al relatief vrij schoon zijn, maar nog niet erg zuinig. Per eenheid van brandstofverbruik (CO₂) zijn zware dieselmotoren het vuilst, daarna komen de lichte dieselmotoren (personen- en bestelwagens), daarna benzine- en LPG-motoren.

7.3 Bruikbaarheid schaduw prijzen

De schaduw prijzenmethodiek, met schaduw prijzen gebaseerd op door de overheid vastgestelde milieudoelen, is zeer geschikt gebleken om een probleem als de optimale brandstofmix te kraken. Ten eerste is het brandstofmixbeleid bij uitstek overheidsbeleid en garanderen de gehanteerde schaduw prijzen een hoge mate van consistentie met het 'algemene' milieubeleid van de overheid. Ten tweede zijn de beschouwde technologieën reeds lang commercieel toegepast waardoor er goed inzicht bestaat in milieupotentieel en kosten. Ook dit is een voorwaarde voor kwantitatieve implementatie van de schaduw prijsmethodiek.

External costs and transport technology

Comparing the external costs of different transport options

Auteurs:

Kees Dorland

Xander Olsthoorn (presentatie)

IVM-VU Amsterdam

De Boelelaan 1115

1081 HV Amsterdam

tel: 020-444 9555

fax: 020-444 9553

email: secr@ivm.vu.nl

juli 1997

1 Introduction

Economic theory explains technological change as the result of competition between firms, changes in costs patterns (e.g. changes in costs of substitute materials, changes in labour costs and capital costs) and the establishment of (environmental) standards. Over the last decades, most the origins of important changes in transport technology can be traced back to the increase in the costs of oil products and to limits to the environmental performance of transport technologies (e.g. limits to exhaust pollution and requirements to materials use from the waste management point of view).

Economic theory also indicates that imposing limit values on the environmental performance of products and processes is the result from the fact that the economic costs of environmental impacts from vehicles (e.g., pollution, noise, visual amenity) are not incorporated in the costs of transport through market mechanisms. Imposing standards is an attempt of the government to reduce these so-called external environmental costs. How strict these should be depends on the costs incurred: the optimal level of emission abatement is found when external costs equal the costs of imposing the limit values. Thus knowledge on external costs is a prerequisite for designing economically efficient environmental policies.

The trend in environmental policy to better taking into account the external costs of pollution, is summarised as 'getting the prices right' (e.g. in the EU's 5th Environmental Action Programme). Clearly, eventually this will influence the direction of technological change.

The present paper presents some results of IVM research (Dorland and Jansen, 1997) on the external costs of transport. This research is carried out within the framework of a large EU-wide DGXII project under the Joule programme; the ExternE project. In this paper we compare the environmental external costs associated to performing a number of concrete transport tasks by a number of 'transport technologies', and attempt to draw some conclusions on with respect to the direction of technological change.

The next section gives a brief overview of the methodology used to calculate external costs, then we briefly describe the cases that were analysed. Section 4 presents the results and section 5 discusses.

2 Methodology

The estimation of the external environmental costs of a specific activity (e.g. performing a transport task) involves several steps:

- Defining the activity (what kind of activity, place and time). These activities - performing a transport task with a specific technology on a specific route - are described in Section 2;
- Estimating the emissions that result from the activity (emissions along the route). We used emission factors that are used in various other studies (Auto-oil, CBS, TNO, RIVM and CE).
- Dispersion modelling resulting in maps with the incremental increases of the concentrations of the pollutants that are considered (annual averages resulting from average Dutch meteorology). We used different models: a dispersion model for long-range (50-3000 km) dispersion, a model for describing local (0-50 km) dispersion along road, and a model for local dispersion of emissions from point sources (e.g., to estimate pollution from electricity production that is attributed to the use of electric vehicles);
- Spatially detailed calculation of impacts of the increased concentrations to 'stock-at-risk' using appropriate dose-response relations (e.g. change of morbidity and mortality related to changes in annual average concentrations of fine particulate matter).

- Monetary valuation of the impacts. This step - Table 1 gives an overview of the impacts that are considered - proves to be most controversial, in particular the monetary valuation of the impacts of pollution on mortality, as political elements are involved (the concept of the value of statistical life (VSL)).

Table 1 Overview of impacts considered

Type of impact	Description
Health impacts - local	Effects on morbidity and mortality calculated from spatially detailed modelling (up to 50 km from emission source)
Health impacts - regional	Effects on morbidity and mortality beyond locally modelled area (e.g., due to secondary aerosols from SO ₂ and NO _x)
Regional impacts (other)	Acidification, episodic ozone
Ozone impacts	Long-range pollution. Effects on health and vegetation.
Global warming impacts	Impact indicators derived from results of global models.

In discussions of the external environmental costs the uncertainties in the estimations are invariably the main topic. Indeed the uncertainties are very high, results usually indicate only the scale of the external costs; the indicated range of confidence may span two orders of magnitudes. Still, results, although only indicating the scale of the external costs, can still be useful and improve decision making in particular for comparing.

3 Case studies: transport tasks and transport technologies

External costs associated with specific atmospheric emissions depend on the location of the emission in relation to the location of the population and other receptors (e.g., crops, buildings) at risk (see next section), therefore we analyse concrete situations. The cases that are studied up to now are indicated in Table 2.

Table 2 Cases

Route	Transport mode
Amsterdam Central Station to Schiphol Airport	Road and train
Amsterdam Central Station to the Vrije Universiteit.	Road, tram, metro and train
Passing through and around the town of Tiel	Road
Schiphol Airport to Rotterdam Central Station	Train and road transport
Rotterdam docks to Nijmegen docks	Shipping, train and road (only goods transport)

Table 3 lists the transport technologies that are considered in this paper. The Table does not show LPG-technologies. For reasons of brevity we selected the more contrasting cases.. The environmental performance of vehicle with engines fuelled with LPG is over most pollutants better than comparable petrol engine powered engines.

Table 3 Transport technologies considered

Transport technology	Description
Passenger cars	Petrol, cylinder capacity 1.4-2.0, closed loop exhaust emission control. 1990 and 2000
	Diesel, cylinder capacity 1.4-2.0, direct injection. 1990 and 2000
Lorry	Diesel engines
Bus	Diesel engines
Tram and metro	Electrical tram Amsterdam
Train	Commuter train (Mat 1964)
Push tug	Diesel engines > 1 MW power.

The pollutants of which the impacts were calculated are: PM_{2.5} (particulate matter with an average size less than 2.5 µm), CO, SO₂, Benzene, Butadiene, Benzo(a)pyrene, NO_x, NMVOC, CH₄, CO₂ and N₂O. The dispersion models that we used take account of the conversion of SO₂ and NO₂ to sulphates and nitrates (secondary aerosols). This is an important feature, as the impacts of aerosols have a major share in the total impacts. Lead was considered not relevant in view of the coming ban on its use as a petrol additive.

4 Results

Comparing pollutants. Table 4 presents external costs related to the magnitude of emissions and by type of impact. These impacts are calculated for vehicle emissions from a trip from Amsterdam Central Station to Schiphol Airport and for a trip from Rotterdam docks to Nijmegen.

The table shows that, if compared on a mass basis, impacts vary greatly between pollutants. Less obvious is how the impacts are spatially distributed. Table 4 distinguishes local impacts (up to 50 km from the source of the emission), regional impacts (50-3000 km), and global impacts (climate change). The distribution over local and regional impacts is dependent on the location of the emissions relative to the location of the receptor (e.g. population). As relatively more people live near the road that links Amsterdam Central Station with Schiphol than in the vicinity of the route Rotterdam-Nijmegen the impacts per kg pollutant are less in the latter case.

Table 4 External costs of emissions (ECU per kg) related to type of impact and location of emissions.

Pollutant	Type of impact				
	Climate change (global)	Ozone (regional)	Health-regional	Health -local. Amsterdam CS-Schiphol	Health -local. Nijmegen-Rotterdam
Methane	0.33	0.13			
CO ₂	0.015				
N ₂ O	4.8				
NO _x		1.5	4.7 (as nitrate)		
SO ₂			6.5 (as sulphate)	2.9	2.2
PM _{2.5}			19.3	365	274
Benzene			0.054	0.74	0.57
NM VOC		0.93			
PAH			527	7291	5632

In particular for PM_{2.5} for calculation of the impacts of its emissions it is important to take account of its dispersion in relation with the spatial distribution of the population. It is of interest that for SO₂ and NO_x the regional impacts are more important than the local impacts; in the atmosphere SO₂ and NO_x are converted into sulphates and nitrates respectively (harmful particulate matter) at rates that are slow compared to atmospheric transport. Note that the external costs associated with acidification and eutrophication from SO₂ and NO_x are not included.

Comparing engine technologies (passenger cars).

Taking account of the variations in the economic impact per pollutant, the question is how do different technologies perform?. Figure 1 shows the relative distribution of the impacts over various categories for a petrol engine driven car - make 2000 - (left pane) and a comparable car driven by a diesel engine (diesel oil fuel), also complying with future exhaust gas limit values (right pane). The impacts relate to a trip in an urban area. The figure does not show that the absolute impacts of a future petrol engine powered passenger car are a factor eight **below** the impacts of the otherwise similar diesel car (see also Table 5). This difference is mainly due to the impacts of particulate matter.

The figure gives also already a clue to the likely sensitivities of eventual conclusions: the reliability's of the external costs of the impacts of particulate matter and of the impacts of incremental global warming from carbon dioxide and N₂O (see Section 5).

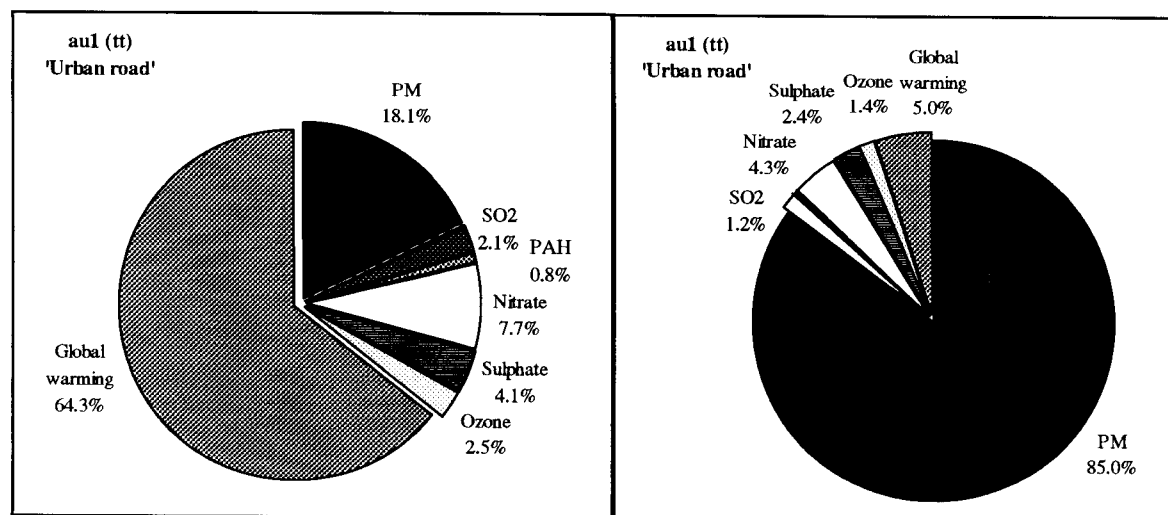


Figure 1 Different air pollution impacts from different technologies. Impacts - expressed as external costs - calculated for a trip in an urban area. The total impact diesel car (right panel) is a factor eight over the impact of the future petrol engine powered car.

However, knowing that the impacts of diesel oil fuelled might be an order of magnitude over petrol, it seems clear that the topic of particulate matter from engines¹⁵ fuelled with diesel oil should be a priority in discussions in the area of environmental pollution and transport.

The issue of pollution by vehicles is usually approached within a wider framework: the pollution of a transport system, including elements such as the role of rail transport and traffic management systems (e.g. road pricing and the like). Within this context it is of interest to compare the external environmental costs of different modes of transport, (e.g., rail transport versus passenger transport).

Comparison of modes of persons transport.

Table 5 gives an estimation of the external costs of performing a transport task (passenger) between Amsterdam Central Station and the Vrije Universiteit using different transport modes. Occupancy rates are 1.3 for the passenger car, 30% for the bus, 41% for the commuter train (electric) and 30.3% for both metro and tram.

The table suggest two major conclusions. First, as already alluded to above, the external costs of passenger cars with diesel engines are clearly over the same costs for petrol fuelled cars, in spite of all improvements compared to the technologies of the eighties. Second, in urban areas public transport is not clearly preferable over the use of the petrol fuelled passenger car from the point of view of external costs of atmospheric emissions, that is under the assumption that there is little scope for reduction of emissions of means of public transport. It should be noted however, that the use of LPG or CNG powered engines for buses result in a markedly reduction of emissions, notably of particulate matter, thus reduction of external costs from air pollution.

¹⁵ Note that diesel engines themselves are not blamed: when fuelled with LPG or natural gas environmental impacts of a diesel engine are a factor five to ten less than in the case of diesel oil fuelling.

Table 5 A comparison between different options for passenger transport between Amsterdam Central Station and the Vrije Universiteit Amsterdam. External costs of emissions.

Transport technology	External costs (mECU) ¹⁶
Passenger car. Petrol. No catalyst. Make 1990	108
TWC (catalyst). Make 1990	38
Make 2000	26
Passenger car. Diesel. Average. Make 1990	424
Make 2000	205
Bus. Diesel. Average make 1990	446
Bus. Diesel Average make 2000	58
Commuter train 1964	33
Tram	25
Metro	37

The case of a car powered with an LPG-fuelled engine is not shown for brevity: the result is the same as for the petrol case.

Currently the share of diesel cars in the total performance of the Dutch fleet of passenger cars (about 90 billion km in 1993) is close to 20%. Combining this information with the data indicates that currently petrol driven cars do cause most of the external costs of air pollution from passenger road transport. However, in the future, diesel cars will take over this position given the relatively large improvements in the environmental characteristics of petrol cars (other factors being equal).

Comparing goods transport. Figure 2 shows the result for a similar comparison of different modes for non-urban (in a Dutch context) transport of goods. We assumed no change in the environmental performance of trains and barges. Nevertheless, also in the future the electric train stands out as the transport mode that is most preferable from the air pollution point of view. In addition, the figure points at the expected improvements in air quality due to improvements in the environmental performance of lorries equipped with diesel oil fuelled engines. Finally, one may conclude that, with respect to air pollution impacts, inland shipping loses much of its advantage over road transport of goods.

¹⁶

Data are presented in detail only to preserve arithmetic consistency, details do not imply levels of confidence

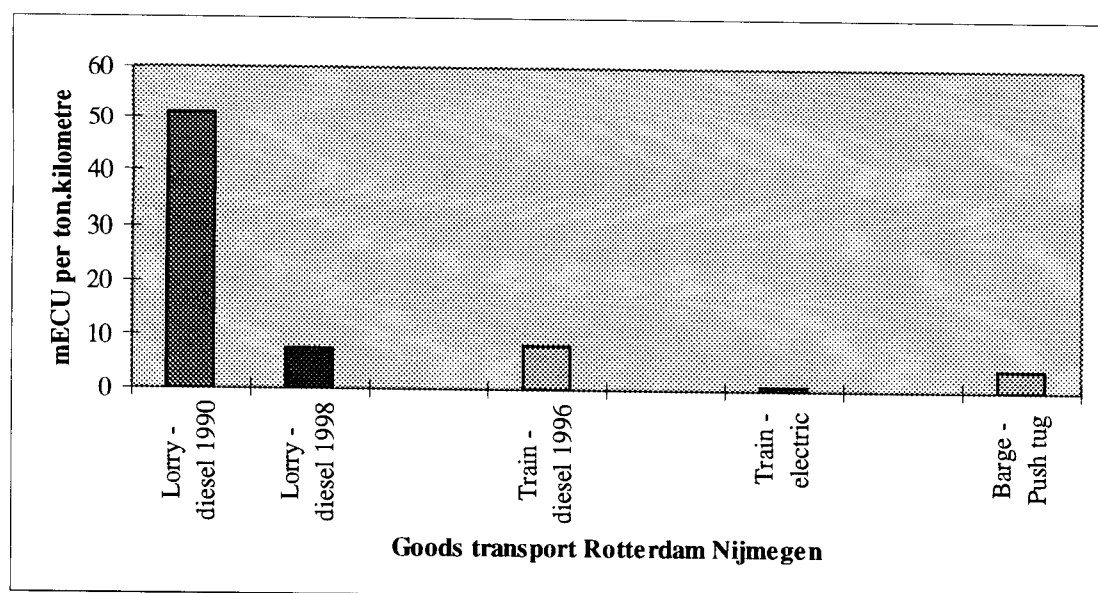


Figure 2 A comparison of goods transport by external costs of air pollution.

Spatial effects.

Figure 3 and Figure 4 show the external costs of air pollution (per person kilometre) for driving a car on different routes in the case of a petrol fuelled car (make 2000) and of a diesel fuelled car (make 2000) respectively. The main difference between the routes is the population density of the area in which the trip is supposed to be made¹⁷. Comparison of these figures shows that in the case of the petrol fuelled car the difference are relatively small, reflecting the fact that the global external effects are the most important.

¹⁷

A second difference relate to the distances that are assumed to be driven in city traffic, on highways and on 'other roads'. However, these differences are of less importance and do not alter conclusions..

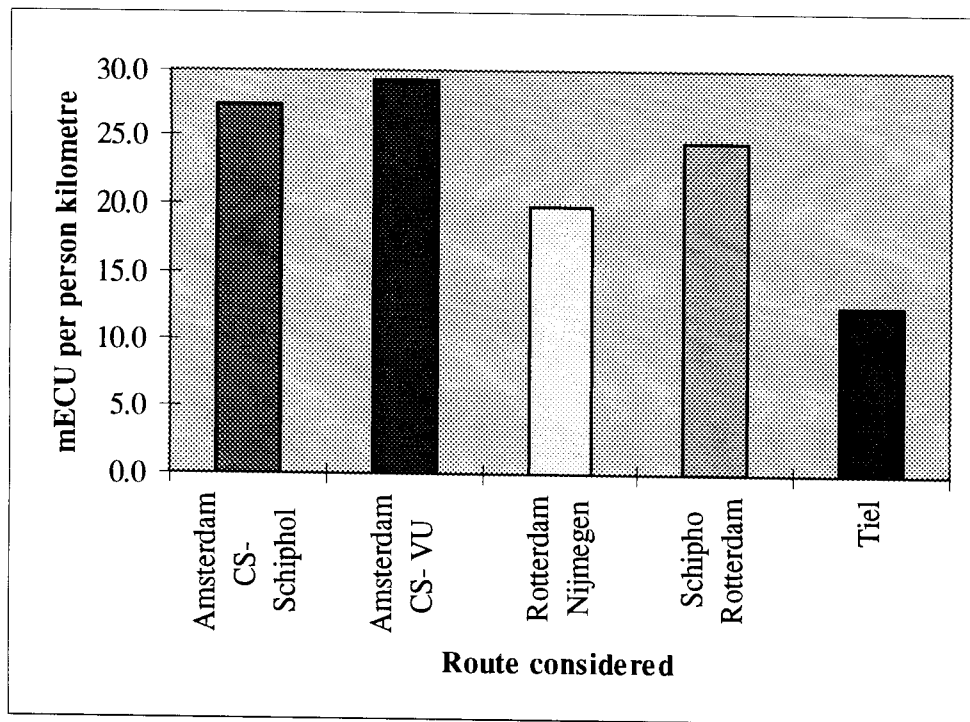


Figure 3 External costs of air pollution due to diesel oil fuelled cars in relation to location of emission.

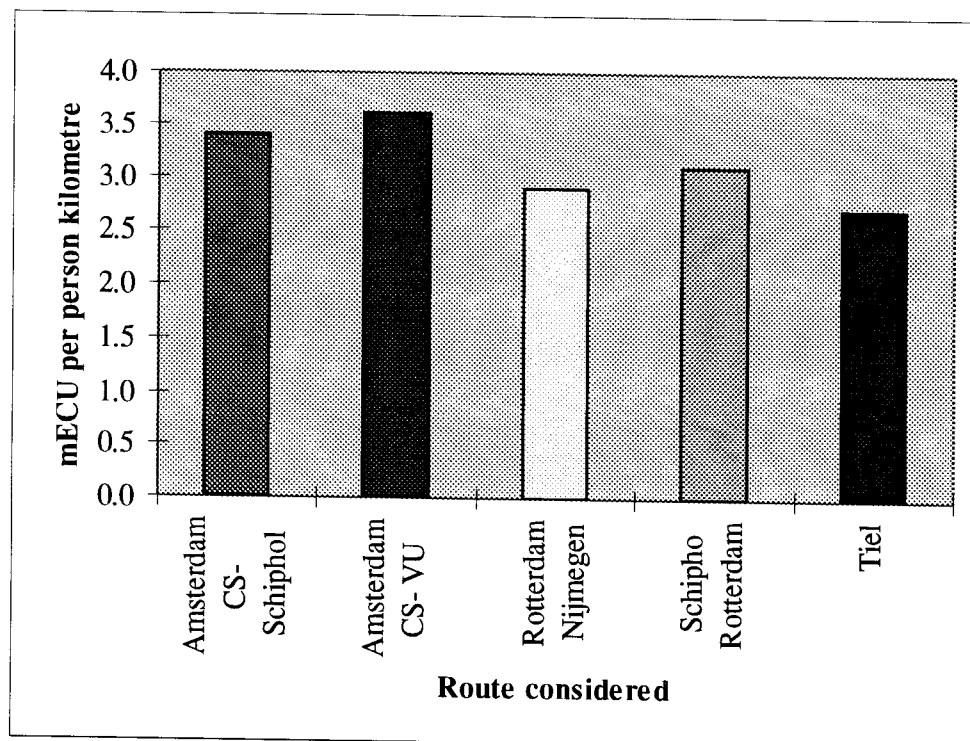


Figure 4 External costs of petrol fuelled cars in relation to location of emission

In the case of diesel oil fuelled cars the differences are more pronounced, which indicates the importance of the spatial dimension for analysis of the effects of emissions from particulate matter.

5 Discussion

Earlier studies. The present study is the first effort to calculate fully the external costs of atmospheric pollution associated with transport technologies, through attempting to be comprehensive in both taking into account all pollutants and the spatial aspects. Our estimates of the externalities tend to be an order of magnitude then the externalities earlier calculated (e.g., Boneschanker and t'Hoen, 1993). A part of the explanation is that the health impacts of particulate matter was not accounted for.

Uncertainties. As indicated earlier, the external costs estimates of atmospheric emissions give only an indication of the scale of the costs considering the uncertainties - random errors, systematic errors and political and ethical ranges of values - involved in each step of the calculation. Table 1 gives an assessment, or an appraisal, of the type and source of uncertainties that are involved when performing comprehensive calculations of external costs.

Table 1 Uncertainties in calculating external costs of atmospheric pollution

Source of uncertainty	Magnitude of uncertainty
Comprehensiveness of analysis (type of impacts considered and scope of analysis)	Effects may not be accounted for due to lack of dose response relations and/or lack of possibilities for monetary valuation. Magnitude of uncertainty unknown.
Monetary valuation of impacts	The major issue is the economic meaning of a change in mortality rates. Value of a statistical life or value of years of life lost. What value to assign? Estimations vary with two orders of magnitude.
Estimation of emissions	Well known comparatively. Errors of 20 to 50%
Dispersion modelling	Range of confidence order of magnitude
Dose-response relations	Range of confidence two orders of magnitude

Extension of the analysis. The data presented relate to the external costs of the atmospheric emissions only. One may raise the issue about the relevance of externalities of production and maintenance of vehicles, production and marketing of fuels, the construction and maintenance of roads and railways and the discarding of the a transport systems elements at the end of their lifetime. A preliminary analysis indicated that these externalities are of comparable order of magnitude as the externalities of the direct emissions (technologies 2000).

External costs and the direction of technical change in transport.

Although the present study is an improvement over earlier Dutch studies (e.g., Boneschanker and 't Hoen, 1993) with respect to comprehensiveness and methodology for addressing external costs of atmospheric emissions, results are still preliminary. Further studies will be carried out in order to reduce uncertainties and design methods for practical application in policy making (physical planning, environmental policies). However, these preliminary results allow to draw some conclusions:

- Although improvements are being implemented, diesel oil powered vehicles continue to have unfavourable environmental characteristics - expressed in the external costs - compared to vehicles powered with spark ignition engines (petrol and gaseous fuels). The relative difference will increase.

- For person transport we observe that the external costs of future petrol fuelled cars will approach the external environmental costs of public transport systems. One may conclude that the environmental argument for public transport will become less strong.
- For goods transport, the environmental disfavour of road transport will continue to be valid, unless new technologies - e.g. LPG and CNG fuelled diesel engines, will become available.

References.

Boneschansker, E. and A.L.'t Hoen, (1993), External costs of goods transport (In Dutch), Instituut voor Onderzoek van Overheidsuitgaven, nr 47, Den Haag

Dorland, C. and H.M.A. Jansen (Forthcoming), and references mentioned therein. Dutch case studies on transport externalities, DGXII, Brussels

Kaegeson, P. (1993), Getting the prices right, European Federation for Transport and Environment, Brussels

Integrating EVs in a Sustainable Transport System Strategic Niche Management as a New Policy-Instrument

Auteurs:

Boelie Elzen (presentatie)

Johan Schot

Remco Hoogma

Universiteit Twente

Center for Science, Technology and Society

TWRC-gebouw, Kamer D312

Postbus 217

7500 AE Enschede

tel: 053-489 4221

fax: 053-489 4775

email: b.elzen@wmw.utwente.nl

Abstract

To solve the problems of the current transportation system (environmental as well as congestion problems) two different approaches can be followed, notably *system-optimization* and *system-renewal*. System-optimization aims at making cars cleaner and enhancing traffic flow. System-renewal implies the development of new modes of transport. In such an approach new technologies (like EVs) are not only seen as a replacement for existing technologies (e.g. gasoline vehicles) but as a stepping stone towards a new use of vehicles. It is argued that system-optimization can reduce the societal problems of current transportation systems but, with the expected increase in transportation demand, the problems will not be solved. To develop more fundamental solutions, i.e. to move towards a sustainable transportation system, system-renewal is needed. As traditional policy-approaches have been developed with the aim of system-optimization rather than system-renewal, we have developed a new typology of policy approaches which consists of the following three strategies: *technology forcing*, '*strategic niche management*' (SNM) and *networkmanagement*. We will present a brief overview of EV-policies and developments in five countries to illustrate the point that in present approaches the emphasis is on system-optimization which is not likely to render fundamental solutions to the traffic and transport problems of modern societies. To optimize the chances for system-renewal, it is then argued, SNM should be the primary policy instrument but it should be applied in a well-tuned combination with the two other approaches mentioned above.

Introduction

Over the past half-century, industrialized nations have become more-and-more dependent upon motor vehicles as one of the basic ingredients of (economic) prosperity. Since the 1960s, however, it has become apparent that the car, the ultimate symbol of modernity, also causes major societal problems which appear to be extremely difficult to solve. Since the 1960s, congestion has become a growing source of nuisance which initially led to the construction of more roads and highways. In many cases, however, there is literally no more space to do so. In the mid-1970s, the oil-crises stimulated awareness that the dependence upon petroleum is a serious hazard. This triggered a widespread interest in alternative transportation fuels which, however, had virtually no impact on petroleum use. On the contrary, increased numbers of motor-vehicles and passenger kilometers travelled have only increased the dependency. In the 1980s, air pollution became widely recognized as a major threat to human wellbeing implying that emissions by motor vehicles would have to be reduced - quite drastically even. Also CO₂ emissions, inherently resulting from the combustion of fossil fuels, become more and more recognized as a problem in connection with the greenhouse effect.

Especially the air-pollution problem has stimulated an increased interest in cleaner fuels and alternative vehicles. The single biggest turning point in this was the adoption by the state of California of the 'low-emission vehicle' regulations, part of which was a mandate for the automotive industry to start selling ZEVs (zero-emission vehicles) as of 1998. These regulations stimulated an enormous array of actors around the world to work on improved and alternative vehicle fuels and technologies, including reformulated fuels, improved gasoline and diesel engines, methanol, ethanol, natural gas, electric vehicles, hybrid electric vehicles and fuel cells. In this paper, we focus on EVs because, as we have argued elsewhere, electric drive

technology is a key enabling technology in solving many of the problems of traffic and transport.¹⁸

On the basis of an extensive analysis of recent developments in the area of 'Cleaner Cars and Transport' in five countries (notably France, Germany, Japan, Sweden and the U.S.A.) we conclude that activities in the area of EVs have been quite successful in the sense that it can be expected that tens or hundreds of thousands of EVs will hit the road in various countries shortly after the turn of the century.¹⁹ At the same time, however, we conclude that this is not likely to solve the traffic and transport problems indicated above unless additional measures are taken. In this paper we will develop some suggestions how this can be achieved.

In this paper, we will first sketch some general barriers new technologies face that seek to replace existing ones. We will use the concept of a *technological niche* that has to grow within an existing system. We will briefly describe development of the EV-niches in the five countries mentioned above from which we conclude that EVs are likely to get substantial market-shares in various countries shortly after the turn of the century. This does not imply, however, that the major problems in connection with traffic and transport will become solved. We will illustrate this by sketching two scenarios for a future traffic and transport system. The first scenario, which we call system optimization, is the one most likely to develop. It may imply a growth of various EV-niches, but it will not solve the problems mentioned. In the second scenario, called system renewal, the increased use of EVs is accompanied by more fundamental changes of the traffic and transport system. This scenario is less likely to develop although it has a larger potential to solve the problems mentioned. We will then discuss three general strategies that could help to trigger more fundamental changes. We will conclude by giving some specific recommendations to stimulate development and use of EVs such that system renewal becomes more likely which will render more fundamental solutions to traffic and transport problems.

Alternative Technologies Competing with a System

Currently, transportation technology is dominated by vehicles running on petroleum-based fuels, notably diesel and gasoline. This has led to the development of a large technical system which ties together roads, refilling stations, oil companies, automobile retailers and car drivers, to name just a few elements. The system as a whole has gone through a long period of learning during which the technology and its conditions of use are optimized. Accordingly, any alternative to (parts of) this system has to overcome a series of connected barriers, including:

- The sheer novelty makes various actors a priori skeptical. They tend to judge new options, in this case EVs, against the performance of the present solutions which they favor;
- The new technology is not known to the customer and various suppliers. The meaning and implications of new technologies need to be articulated and specified through practical use;
- The new technology is far from optimized as it has not yet gone through a learning process. Complementary skills and technologies need to be developed as well;

¹⁸ See Boelie Elzen, Johan Schot and Remco Hoogma. *Mobiliteit met Toekomst: Naar een Vraaggericht Technologiebeleid* ('Mobility with a Future: Towards a Demand-Oriented Technology Policy') for the Dutch Ministry of Traffic and Transport. An English version will be available late 1997.

¹⁹ Boelie Elzen. *Towards Cleaner Cars and Transport - Country Study Japan*, Enschede: University of Twente (April 1995); Boelie Elzen. *Towards Cleaner Cars and Transport - Country Study U.S.A.*, Enschede: University of Twente (September 1995); Remco Hoogma. *Towards Cleaner Cars and Transport - Country Study France*, Enschede: University of Twente (April 1995); Remco Hoogma and Johan Schot. *Towards Cleaner Cars and Transport - Country Study Sweden*, Enschede: University of Twente (April 1995); and Remco Hoogma, Adri de la Bruhèze and Johan Schot. *Towards Cleaner Cars and Transport - Country Study Germany*, Enschede: University of Twente (September 1995).

- The new technology may solve some problems but it is likely to introduce new ones as well.. It may take considerable work to find out whether and how these can be solved. In the mean time, these problems influence the image and performance of the new technology;
- The new technology typically cannot simply replace the old technology because the latter is part of a system: some elements may have to be adapted, others may become superfluous.

Vested interest in parts of the old system will trigger opposition to changes.

Thus, new technologies are confronted with a series of interrelated barriers which constitute what we call a *socio-technical system*. To get enough room for development, new technologies need a protected environment that we call a *technological niche*. In such a niche, the development is protected by a coalition of cooperating actors who are prepared to invest in terms of money, time and learning. This currently happens in connection with EVs. In various niches, EV-technology is improved; complementary skills and technologies are developed; users and others gain a more precise understanding of the technology; misfits with the societal and political system are accommodated and, in a while, production scale effects are to be reached.²⁰ Below, we will illustrate this by a brief sketch what is happening in the EV-niches in five countries and how this is likely to affect growth of the market share of EVs in the future.

Brief description of EV-development in Five Countries

U.S.A.

In 1989, the California Air Resources Board (CARB) adopted the so-called ZEV-regulation, which mandated the sale of 2% of zero-emission-vehicles (in practice, EVs) in California by 1998, implying that about 25,000 EVs would have to be sold that year. By 2003 this fraction would have to go up to 10%. The automakers were very skeptical that the mandate could be met. They stressed that EV-performance was poor, especially because the range would be limited by the low-energy density of the batteries. Furthermore, EVs would be expensive in view of the high cost of the battery and because EVs would initially be made by converting internal combustion engine vehicles (ICEVs) which would add to the cost. In the automakers' view this would make it very difficult to develop a market for EVs.

In 1996, CARB became convinced that the 1998 target could not be met because EV-technology was still in large flux and it would be risky for the automakers to 'freeze' the technology for larger volumes of production. CARB remained convinced, however, that the 10% share for 2003 did remain within reach and started to negotiate with the automakers. The outcome was a memorandum of agreement (MOA), signed by both CARB and the major automakers, to sell 10% EVs in the state as of 2003. Until that date the automakers obliged to selling sufficient EV for testing and demonstration purposes.

While the automakers expressed large skepticism, many others did not agree that EV-market perspectives would remain gloomy. Especially the electric utilities in California, as well as in other parts of the U.S., came to the conclusion that many users can be satisfied with a limited range vehicle. A variety of fleet vehicles, including their own, drive daily distances that can easily be met by an EV. The problem, in their view, is to make fleet-owners acquainted with EVs and to make sure that the technology satisfies their needs. This approach is supported by various local and federal incentives for EV-testing and purchase. Furthermore, the federal

²⁰ The concept of a 'technological niche' should not be mixed up with a 'market niche'. The latter refers to a subsection of a larger economic market with specific characteristics, like the market for advanced sportcars. These characteristics are taken to more-or-less fix the size of that market. A technological niche, by contrast, initially needs 'outside protection' to survive. After a period of development and learning, however, the protection needs to be taken away after which one of the main targets becomes market expansion.

'Energy Policy Act' mandates utility, government and private fleets to buy increasing numbers of alternative fuel vehicles, including EVs, in the second half of the 1990s.

With these incentives, many believe that a large market for EVs is looming in the near future. This has stimulated R&D companies and small firms to develop and produce a variety of different EVs and to put much effort in developing high performance batteries and vehicles. Mid-1997, various EV conversions of ICEVs are offered for sale, that, with incentives, are close to being price-competitive to their ICEV-counterparts. Some manufacturers claim that by the year 2000, EVs can be price-competitive, even without incentives. Furthermore, work progresses on a variety of different battery-technologies for some of which it becomes more-and-more likely that they can double or triple EV-ranges by that year at a price (on a vehicle-lifetime basis) comparable to that of lead-acid.

Next to retrofitted ICEVs, different types of ground-up EVs were demonstrated in the mid-1990s. Because of the low-energy density of batteries, these vehicles were designed to be very energy efficient through weight-savings (partially, by using composite materials for the vehicle body) and efficient drivetrains and batteries. Electric shuttle-buses are already offered for sale at a price that makes their life-time operating cost lower than for their diesel counterparts. A ground-up electric van and an electric sedan are claimed become price competitive when they will be produced in larger numbers. This implies that cost-effective, dedicated EVs could appear in the market place much sooner than has been anticipated in the early 1990s.

At the same time, user interest in EVs is going up markedly. In a wide variety of experiments it has become clear that various fleet-owners, as well as private persons, are eager to own one that satisfies their needs. EVs are also used to explore new mobility concepts, for instance by combining small EVs (called neighborhood EVs or stationcars)²¹ with mass transit. In one concept, explored in various U.S. cities, employees use a small electric vehicle in addition to a train-journey with which they make the major part of their daily commute.

With increasing demand, and given proven and likely further technological improvements in the next few years, it seems that a 1% EV-market share around the year 2000 is well within reach provided that the automakers will indeed supply sufficient numbers of vehicles. A 10% market share in 2003 should then also be possible. Whether this will be served by battery EVs only, however, remains to be seen. Fuel cell vehicles (FCVs) would also count as a ZEV while the California Air Resources Board will also give (partial) ZEV-credits to hybrid electric vehicles (HEVs). Given current and planned activities in these areas in the U.S. it can be expected that prototypes of such vehicles will be demonstrated in the next few years. With incentives in place, HEVs and/or FCVs might subsequently attain rapidly growing market shares.

Japan

The California ZEV mandate also spurred EV-interest in Japan. Four Japanese automakers (Honda, Mazda, Nissan and Toyota) were affected by the mandate and under the MOA have agreed to sell several tens of thousands of EVs annually from 2003 onward. Seeking to introduce EVs in Japan as well, MITI, in 1991, set the goal of introducing 200,000 EVs in Japan by the year 2000. This target is part of a MITI program supporting R&D, market development and infrastructure development. Various actors took up the challenge to achieve this goal. Some high-performance cars have been developed to demonstrate that EV-technology does not have to be inferior to conventional vehicles. The automakers have developed a variety of EVs, most of which are conversions from regular production-line

²¹ See e.g. Daniel Sperling, *Future Drive - Electric Vehicles and Sustainable Transportation*, Washington, DC: Island Press (1995).

vehicles. In cooperation with others (especially electric utilities and local governments) they try to evaluate what further work needs to be done to make EVs market ready.

The generally shared conclusion in Japan is that EVs are much too expensive and that their performance is too poor, especially because of the low energy-density of batteries. To solve the problem, Japanese battery manufacturers are working on new types of batteries (especially nickel-metal-hydride) for vehicles for the near-term market. For the long-term market, lithium is considered to be the most promising battery technology which is developed by a national consortium called LIBES with participation from various industries and CRIEPI (Central Research Institute of the Electric Power Industry). The first vehicles with lithium-ion batteries have already been announced.

In view of the cost and performance problems, there is general agreement that the MITI target of 200,000 EVs by the year 2000 is far too optimistic. The Japanese automakers, like their U.S. competitors, also claim that EVs will be much too expensive. An important difference between the two countries is that the American claims are disclaimed by retrofit companies who offer vehicles that are moderately more expensive than their ICE counterparts (on a vehicle lifetime basis). Furthermore, many actors in the U.S. cooperate in a variety of experimental programs to identify and involve users that can be satisfied with a limited range vehicle. These two characteristics largely absent in Japan as a result of which growth of the EV niche is likely to be slow compared to the U.S. Most actors involved in Japan do not have a clear vision of a future EV market which has led to a rather wide-spread 'wait-and-see' attitude. In view of this it is expected that the EV-niche in Japan will grow significantly slower than in the U.S.

France

All relevant actors in France agree that EVs are very desirable from the environmental standpoint. EVs are also a good opportunity to reduce CO₂ emissions as almost all of French electricity is generated by nuclear and hydro-power. Given their limited range, EVs are considered to be most efficient in urban traffic. Various actors have started to develop this market, including car makers, EDF (the national electric utility), cities, the national government, and component industries. They work closely together in various programs. Contrary to the U.S. and Japan, the French automakers think EV-technology is ready for the market. Start-up companies as well as the large French car makers - Peugeot SA (PSA) and Renault - offer EVs, including a variety of vans, sedans, and sub-compact cars. The automakers aim at introducing EVs with sufficient performance to travel between the suburbs and the city center ('Véhicule routier' or 'voiture moyenne'). These cars must be able to reach a speed of 100 km/h (60 mph) and have sufficient acceleration. Initially, the market should be served with converted ICEVs but after some years, when sales volumes have gone up, purpose-built EVs will be produced, optimized for electric drive.

The automakers think EVs should be phased in as follows:

1. converted vans for use in fleets;
2. converted small passenger cars;
3. purpose-built EV;
4. hybrid drive with gas turbine;
5. fuel cell vehicles (after 2005).

Many French cities see EVs as an important option to reduce traffic noise and pollution. EVs also offer opportunities for local production, and they contribute to a positive environmental image. Several cities have purchased EVs and try to stimulate others to use them, for instance by offering free parking places for EVs. Some also consider banning all vehicles but EVs from

the city center. French cities have set-up a variety of experiments (the largest is in La Rochelle) in which various relevant actors participate.

The purchase of EVs by cities and other fleet operators is subsidized by EDF and the government. Another incentive is the possibility of early amortization. The government also supports R&D and coordinates initiatives in the field of EVs. In 1992, a framework agreement was concluded between Renault, PSA, EDF and the government, in which arrangements were made to install charging stations in cities, recycling facilities for batteries, a maintenance network, and information programs.

To attain market expansion, it is considered essential to interest private users. PSA explicitly aims at the market for 'second car in households', because the substitution potential of 'first cars' is taken to be small. New mobility concepts are also explored in connection with EVs, for example self-service systems in two programs under the name of Praxitèle and TULIP. These systems are based on short term rental of small EVs for short distances that can be dropped off at any place. They will be collected and redistributed by a fleetmanager.

The cost of vehicles and infrastructure are considered to be the major barriers. Eventually, costs can decrease by scale effects in production, but large sums are needed to develop the initial market. Next to subsidies, another way to reduce purchase costs for users is the battery leasing system set up by PSA, Renault, EDF, and the battery producers SAFT and CEAC.

It seems that in France all actors involved have established good working relationships to realize a substantial growth of the EV market in the coming years. Peugeot-Citroën S.A. and Renault expect that, shortly after the year 2000, EVs will have a 1-2% market share. This share is likely to grow further in later years but, given the limited range of EVs, EDF expects it will never grow beyond 10%. Hybrid and Fuel Cell technology are then expected to make electric drives applicable for all-round vehicles.

Germany

The German automakers have demonstrated various EVs in the early 1990s but, until the mid-1990s, they did not see serious market opportunities for such vehicles. In their view, EVs only offer disadvantages for the users - small range, low speed and high cost. Since the early 1990s, the main reason for industry to develop EVs was the California ZEV-mandate under which some of the German companies would have to offer EVs, starting in 2003. Since 1995, however, the German car industry has stressed other arguments to continue EV research, including the desire to attain (or keep) leadership in the EV-field and to offer products that can compete with EVs that will soon be produced in the U.S., Japan and France. Together with the battery producers and the electric utilities, the car industry presented a position paper to the government, in April 1994, which claimed that 550,000 EVs could be in use in Germany by the year 2000, provided the government would take appropriate action to create incentives and a recharging infrastructure.

The German federal government, however, is reluctant to do so. Thus far, the government has supported EV development mainly from the standpoint of industry-policy and to a much lesser extent because it has faith in EVs as part of a solution to environmental problems. The Ministry of Environment (BMU) can even be called an opponent to EVs because the German electricity is largely produced with coal and, therefore, overall emissions are not decisively better than emissions from gasoline and diesel cars.

The German electric utilities realize that they have an important role to play when EVs become used in larger numbers. Still, although they are prepared to lend support wherever they can, the utilities are not a prime mover in the German EV niche.

On the demand side, interest in EVs in Germany has been comparatively low. Some cities favor ICEVs from the city center but this has not led to concrete action. A noticeable exception is

the large experiment initiated by the 'Deutsche Bundespost Postdienst'. The Postdienst (Postal Service) explores the use of EVs in its own fleet in a large-scale field test. Various cities and Telekom (supplier of telecommunication services) also participate in this experiment by testing EVs in their fleets. An interesting aspect of this experiment is that the users set the criteria and standards for the vehicles to be used, rather than the carmaker.

In Germany, the car industry currently sets the pace for the development of EVs, primarily for reasons of international competition. To reduce the cost of EVs (as well as of other vehicles), in some cases a 'modular design' approach is taken: a vehicle platform is designed for different drives - gasoline or diesel engine, electric or a hybrid drive. Examples are the Mercedes A-class and the Smart micro-compact car which is planned to be introduced in the European market around 1998. These are 'life-style' cars that target specific market niches.

It is difficult to assess the potential growth of the EV-niche in Germany. Many in the German EV niche think the lack of government stimulation (e.g. lack of incentives and lack of support for infrastructure development) is the major barrier towards market expansion. Recently, activities on both the supply-side and the demand-side have intensified but various actors have widely diverging views on the future of the EV niche. Many things are happening but there is little coordination between the various efforts. A noticeable exception is the experiment carried out by the Postdienst that attempts to get the various actors together that are needed to explore the opportunities of making a vehicle that can be used in practice. If this would set an example to be followed by others, the EV-niche could grow quite rapidly, comparable to the U.S. and France, with a 1% market-share shortly after the turn of the century. Otherwise, growth of the EV niche in Germany is likely to stay behind, at least in the next few years.

Sweden

Of all alternatives, electric vehicles are considered the cleanest option for Sweden because hydro and nuclear plants each supply about half of the electricity. EV's have only limited potential, however, because EVs are most suited for city-driving while Sweden has only few large cities and distances between settlements are large. Many actors in Sweden therefore think that hybrid electric vehicles should get as much, if not more, emphasis as EVs. The leading Swedish car-maker, Volvo, almost exclusively works on HEVs rather than EVs.

There are many activities aimed at the development of EVs and HEVs, including R&D, product development, and market development. Examples of the latter are experimentation and demonstration programs, incentives, and the procurement program of a consortium of fleet-operators advised by NUTEK, the Swedish national agency for technological innovation. In the procurement program, several dozen organizations and companies have formed a consortium to coordinate the purchase of EVs. A request for proposals was sent to various car-makers to develop and supply vehicles that would meet certain specifications. Although the initial target was 1000 vehicles, the consortium later committed to buy at least 150 vehicles from the winner. In evaluating the proposals, one consideration was that the Swedish car industry has no serious plans to manufacture larger numbers of EVs. Smaller start-up manufacturers also submitted tenders but it was feared they would have problems finding financial backing, and lack service and maintenance networks. Eventually, the French Renault Clio was chosen.

Stockholm, Gothenburg and Malmö/Lund are experimenting with EVs to get users acquainted with them, gather practice experience, and to try out infrastructural aspects and maintenance facilities. For each of these towns, the target is to use 1000 vehicles which should be tested by various fleet operators, including government agencies, utilities and private businesses. The electric utilities take care of the electricity infrastructure, including recharging equipment. In the initial phases, demonstration projects will be carried out with up to 50 EVs in each of the

cities. The government will subsidize users by paying the extra cost of the EVs compared to conventional vehicles. The remaining costs of the experiments will be paid by the other parties involved, like the city authorities, utilities, fleet operators, etc.

Most Swedish actors expect that EVs will be used by utility and commercial users in cities only, while private users and bus operators will use HEVs. Price and weight might constitute barriers but Volvo expects that the cost of HEVs will be less than that of EVs because the much smaller battery. Volvo is active in developing the series-hybrid technology and has made a concept car with a gas turbine (although it has no production plans for this vehicle) as well as a conversion model of a production car with diesel-electric drive. In Sweden there are start-up manufacturers of hybrids as well. As a result, it is expected that the EV-niche in Sweden will not grow much beyond several thousand vehicles by the year 2000. The share of HEVs is likely to be of the same order of magnitude although this may grow quite rapidly in later years.

Where will this lead EV-markets: Two possible Scenarios

Most of the activities described above aim at replacing ICEV-use by EV-use. The EV would either be the principal vehicle for a user that would never drive more than a limited daily distance or it would be a second vehicle (either owned or leased) for short, inner-city trips. On a per-trip basis this would have a positive effect on air pollution but this might be offset by increasing numbers of vehicles and increased vehicle-kilometers travelled in the coming years. The same reasoning applies for CO₂-emissions while, because of increased numbers of vehicles, congestion problems might even get worse. The problem-solving potential of EVs is much larger, however, if these vehicles would be used in different ways. We will illustrate this by sketching two scenarios for the near future (say, the next 5-10 years) of cars and transport. The starting point of both scenarios is the current dominance of the petroleum-based cars and an expected increase in passenger-kilometers travelled.

Scenario 1: System-Optimization

In the first scenario, the existing technology for cars (gasoline and diesel) is made cleaner. The share of natural gas vehicles (NGVs) and electric vehicles would show limited growth (e.g. for both NGVs and EVs a 5-10% share in the next 10 years) and the traffic and transport system as a whole would not change significantly. Emphasis is on optimizing the existing system by increasing the efficiency of individual technologies and by introducing alternatives in specified niches. Individual technologies may become considerably cleaner (perhaps a factor of two on several pollutants) but these benefits are partially offset by the growth of the number of vehicles and vehicle-kilometers. As a result, this scenario will only lead to limited reductions of emissions of HC, CO, NO_x, and particulates. Furthermore, the increase of mobility implies that other problems are not solved, such as congestion, noise, CO₂ emissions and dependence upon petroleum. Most actors in the transportation world consider this scenario to be the most likely one to develop.

Scenario 2: System-Renewal

In the second scenario, existing cars are also improved, but here niche-growth of various alternatives is taken to lead to more fundamental changes of the traffic and transport system. NGVs, EVs and hybrids are introduced in larger numbers and become preferred over existing cars for various forms of use (inner-city trips, connections with public transport). There are more and improved interfaces between different modes of transportation, leading to increased integration of public transport and private transport, and to hybrid forms of public and private transport (e.g. the stationcar concept explored in the U.S.). The existing car will no longer be

an all-round car but becomes a car for specific functions, especially for travelling long distances. In about 10 years, fuel-efficient hybrids and fuel cell vehicles will enter the market in large numbers and compete with the (optimized) gasoline, diesel and, especially in the U.S., natural gas vehicles. They may also replace a considerable number of battery EVs, but for short distances battery EVs may be the most attractive solution, depending on cost and performance of batteries, advanced flywheels and fuel cells at the time. The growth of the niches will lead to new economic activity by start-up vehicle manufacturers and service suppliers. The automotive industry could try to counter the threat of these growing alternative technology niches by offering cars with modular design as is explored in Germany and by offering mobility services rather than just selling vehicles.

Many actors in the traffic and transportation world agree that this scenario would be desirable from the societal standpoint but, for a variety of reasons, they also consider it unrealistic.

Three Approaches for Technology Policy

As the second scenario holds more promise to solve the societal problems related to traffic and transport, a relevant question is whether and, if so, how it is possible to stimulate development of this scenario. To affect the system changes needed to realize this scenario, the following conditions have to be satisfied:

- New technologies should be developed and optimized;
- It should be ensured that various characteristics of the technology and the way in which it is used, are tuned towards each other so that it indeed triggers system changes (rather than just replacing an existing technology);
- The new technology niche should grow at the expense of (part of) the existing system.

To satisfy these conditions, we suggest that three different types of strategies can be used, notably technology forcing, experimentation and network building. These approaches are characterized as follows:

1. *technology forcing*: by special measures (e.g., setting emission standards) public authorities seek to create an environment in which industry feels compelled to develop new technologies with specific characteristics. The measures can have either a 'stick' or a 'carrot' nature. Examples would be the California ZEV-regulation or the Swedish buyers consortium in connection with the procurement program.
2. *'strategic niche management'* (SNM): SNM concerns the controlled development of technological niches up to the point that new technologies and their use are sufficiently tuned towards each other to facilitate market-growth. Through experimentation with the technology in settings that resemble 'real life' as close as possible an attempt is made to learn how the technology can be made to function in practice. This information is fed back into the development process.
3. *network building*: To affect a system change, new actors need to become involved and/or activities of, and interactions between, existing actors need to change. New network relations need to develop in which the new technology can function in the desired way.

These strategies are related to the two scenario-objectives distinguished above. To stimulate system optimization, the emphasis in technology policy should be on technology forcing. For system renewal, by contrast, the main strategy should be strategic niche management, accompanied by selective technology forcing and by active network management. Table 1 indicates how these policy measures relate to the two objectives.²²

²²

The approach is elaborated in depth in Elzen et al; op. cit. note 1.

Table 1
Mix of policy strategies for two development scenarios

Development Scenario	Policy Strategy		
	Technology Forcing	Network Management	Strategic Niche Management
System Optimization	+++	+	+
System Renewal	++	++	+++

Meaning of scores:

- + = important
- ++ = quite important
- +++ = very important

In current practice, government policies in most countries are typically seek to stimulate the introduction of already demonstrated technologies. Since the characteristics of these technologies are known, a good estimate can be made of their effects on emissions and/or energy efficiency. Such an approach could reduce vehicle emissions in the short term (say, over the next decade) significantly. At the same time, however, it is clear that in the long term this policy can only lead to a reduction and not to a solution of the problems. The latter requires an approach that is aimed at system renewal.

Stimulating System Renewal through Strategic Niche Management

The efforts to stimulate system renewal should be based on a vision of what should constitute the vital characteristics of a sustainable system for passenger mobility. We suggest the following characteristics should be considered as such:²³

1. *Customized Mobility*: the supply of transportation services (both vehicles and infrastructure) should be well adjusted to a range of mobility needs; the following changes would be needed in comparison to the current situation:
 - development and introduction of new transport-modalities;
 - diversification of mobility services and technologies;
 - adaptation to travellers' demands.
2. *Mobility as a service*: travellers with a specific mobility need should be able to contact a single 'mobility provider' that can offer information on the whole trip, make the necessary reservations, and collect payment for the whole trip. Thus informed, the traveler merely needs to get into the right vehicles at the right places;
3. *Integration of the parts into a system*: the different parts of the system must be adjusted to each other so that passengers can travel conveniently, safely and swiftly. Transferring from one modality to another should be quick and convenient.

Strategic niche management (SNM) is the principal policy instrument to stimulate system renewal. SNM attempts to optimally adjust technology to societal needs through socio-technical experimentation. In the case of passenger traffic, these experiments should be aimed at electric drives and mobility information systems, which are considered to be key technologies for system renewal. Furthermore, the experiments should provide information on how the different parts function together in a mobility system. Examples of such experiments could be:

²³

These characteristics are worked out further in Elzen et al.; op.cit note 1.

- experiments with small and relatively slow lightweight EVs in urban areas that have been (largely) closed for other passenger vehicles;
- car-sharing experiments with pools of different types of vehicles (neighborhood vehicles, sedans, vans, pick-ups) as well as different drive-trains including, for instance, electric, hybrid, natural gas, etc.;
- experiments with electric or hybrid van-services 'on demand' (dial-a-bus);
- experiments in which selected mobility consumers make reservations at home by means of a computer and modem. Modalities available might include:
 - a local system of car-sharing
 - taxi
 - local public transportation (buses, light rail)
 - local dial-a-bus
 - train
- mobility pass: development of a system in which different mobility-services offered by different providers can be paid with one single pass (chipcard). These services might include taxi, tram, train, bus, bus-on-demand, etc. Such an experiments have begin on a small scale and can be scaled-up.
- experiments with transfer stations (*transferia*) where various modes of transport meet: participants use a variety of modalities mentioned above, together with bicycles;
- experiments with car-free urban residential areas.

Experimentation by means of strategic niche management will not lead to system renewal by itself. Technology forcing and network management must accompany this approach to optimize the possibilities for system renewal. For instance, information gained through experimentation should influence the R&D process; novel technological options should be experimented with; results of both R&D and experimentation may require involvement of new actors in the network building process; etc. Although, in specific situations, emphasis can be on one strategy rather than on another, only a coordinated approach can lead to an optimal system renewal. Such a coordinated approach should be rooted in a vision about certain crucial characteristics of sustainable mobility system an example of which was sketch at the beginning of this section.

Conclusion

With all current and planned activities in the area of EVs in various countries it is likely that EV niches will grow considerably in the next 5 years and attain market shares of 1-3% in various countries. These shares are expected to grow even more rapidly in the following years. However, without additional policies, these vehicles are merely likely to replace trips that are currently made with ICEVs. This solves some of our current traffic and transport problems (especially in relation to inner-city air quality) but with the expected increase in mobility it is also likely that congestion problems get worse. To solve the problem, fundamental changes of the traffic and transport system are needed. EVs have specific attributes that may give us some unique chances to trigger developments in that direction. The recommendations, developed in this paper, are intended to explore how this can be affected in practice. The approach is not so much aimed at the introduction of a certain *quantity of vehicles* in the short term but, rather, at achieving a certain *quality of mobility* in the longer term.

Marktonderzoek nieuwe lichtgewicht oplegger

Managementversie

Auteur:

A.W. van den Engel

NEA

Postbus 1969

2280 DZ Rijswijk (ZH)

tel: 070-398 8380

fax: 070-395 4186

© Het gebruik van cijfers en/of tekst uit deze managementversie en vermenigvuldiging is niet toegestaan

INLEIDING

In deze managementversie worden de belangrijkste resultaten gepresenteerd uit het onderzoeksrapport "Economische haalbaarheid van composietopleggers²⁴ in isothermvervoer".

De toegelaten gewichten voor trekker-opleggercombinaties zijn in Nederland met 50 ton al jaren hoger dan de toegelaten gewichten in het grensoverschrijdend verkeer in Europa, waar de wettelijke norm van 40 ton gehanteerd wordt. Combinaties die in het Nederlandse binnenlandse verkeer kunnen worden ingezet zijn dus al gauw te zwaar voor het internationale verkeer. Daarbij komt dat de marges in de vervoersbranche door de toegenomen concurrentie meer dan ooit onder druk staan, terwijl het grensoverschrijdend vervoer sterk groeit. Het is dus niet verwonderlijk dat de transporteur zoekt naar rendementsverbetering van voertuigcombinaties. Eén van de wegen die daartoe openstaat is vergroting van het laadvermogen. Bij de grootste voertuigen kan dit alleen gerealiseerd worden via verlaging van het eigen gewicht van de voertuigcombinaties. Met name in het koel- en vriesvervoer is een dergelijke gewichtsvermindering zinvol, omdat het huidige draagvermogen van dergelijke combinaties vaak volledig wordt benut.

De toepassing van nieuwe, lichte materialen biedt oplossingen voor deze uitdaging, vooral in combinatie met de allernieuwste technieken uit bijvoorbeeld de vliegtuigbouw.

De ontwikkeling van een nieuwe lichtgewicht oplegger heeft uiteraard weinig zin als de toekomstige gebruikers (de vervoerders) hiervoor géén interesse blijken te hebben. NEA heeft daarom opdracht gekregen onderzoek te verrichten naar het nut ofwel de economische haalbaarheid van deze extreem lichte (kunststof)oplegger. In eerste instantie is het onderzoeksterrein hierbij beperkt tot de deelmarkt van het (internationale) isothermvervoer.

MARKTOMVANG ISOTHERMVERVOER

De deelmarkt van het zogenaamde isothermvervoer betreft het vervoer van aan bederf onderhevige produkten met geïsoleerde voertuigen. Hierbij kan gedacht worden aan diepvriesprodukten, vlees, vis, fruit, groente, zuivelprodukten, bloemen en planten.

Binnen het onderzoek naar lichtgewicht kunststofopleggers is deze deelmarkt interessant om de dikke (isolatie-)wanden van deze opleggers efficiënt gebruikt kunnen worden als primaire constructie in het zelfdragende ontwerp. De (zware stalen) langsliggers kunnen bijvoorbeeld worden weggelaten wanneer de wanden op de juiste wijze worden versterkt.

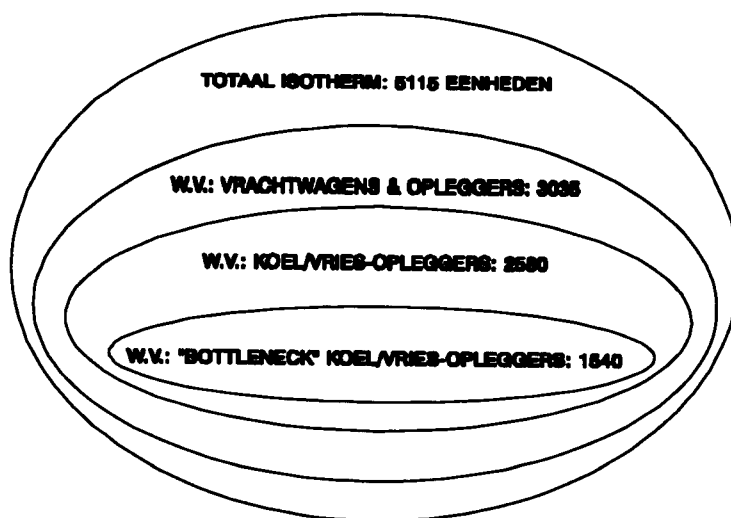
Het aantal koel/vriesopleggers dat hiervoor in aanmerking komt ("bottle-neck"-opleggers) kan worden gesteld op 1.540 eenheden²⁵ (zie figuur 1).

Figuur 1 Aantal "bottle-neck" koel/vriesopleggers

²⁴ Composiet(materiaal) = (in dit kader) constructiemateriaal dat bestaat uit een combinatie van materialen met verschillende fysische eigenschappen.

²⁵ In dit kader is een (laad)eenheid:

- vrachtauto-voorwagen
- vrachtauto-aanhangwagen
- oplegger



Bron: NEA, CBS

BEDRIJFSKARAKTERISTIEKEN ISOTHERMVERVOER

In Nederland zijn er in totaal 1.070 bedrijven die binnenlands en/of internationaal vervoer verrichten met isothermmaterieel (inclusief isothermwagens zonder koelaggregaat). De meeste bedrijven beperken zich tot een aantal produkten.

De vervoerders zijn meestal gespecialiseerd in één van de te onderscheiden soorten geconditioneerde lading, te weten:

- het vervoer van complete wagenladingen (45%) of
- het vervoer van deelladingen (30%).

De resterende 25% valt onder beide categorieën.

Problemen bij de belading

Ongeveer éénderde van alle grensoverschrijdende isothermvervoerders ondervindt veel problemen bij de belading van de voertuigcombinaties in verband met de beperking van het maximaal toegelaten gewicht.

Bedrijven waarvan het wagenpark voornamelijk bestaat uit vrachtwagen/aanhanger-combinaties hebben, in vergelijking met bedrijven met merendeels trekker/opleggercombinaties, weinig of geen gewichtsproblemen.

VOERTUIGKARAKTERISTIEKEN ISOTHERMVERVOER

Inzetkarakteristieken

In tabel 1 wordt een aantal specifieke voertuiggegevens vermeld.

Tabel 1 Karakteristieken isotherme voertuigcombinaties (gemiddelden)

	Trekker+oplegger		Vrachtwagen+aanhanger	
voertuigtype	trekker	oplegger	vrachtwagen	aanhanger
leeftijd in jaren	1,8	2,1	2,9	4,5
aantal assen	2	3	3	2
motorvermogen in PK	385		382	
leeggewicht in kg	6.900	9.100	11.750	6.650
laadvermogen in kg		28.000	12.950	13.050
totaal gewicht in kg		37.100	24.700	19.700
jaarkilometrage	145.000		140.000	
beladingsgraad ²⁶	77%			
% beladen kilometers	80%			

Bron: NEA-enquête "Isothermvervoer"

Leeg voertuiggewicht

Het gemiddeld eigen gewicht van de oplegger zonder laadklep, thans 9.100 kg, is de laatste jaren gedaald. Voor de meest recente bouwjaren ligt het gemiddeld eigen gewicht ca. 350 kg lager, namelijk op 8.750 kg. De gewichtsbesparing bij overgang op een kunststofoplegger van ca. 6.500 kg, is derhalve gemiddeld 2.250 kg.

Aanschafprijs

De gemiddelde aanschafprijs voor nieuw materieel komt voor een trekker op bijna f 180.000,- en voor een oplegger op f 145.000,- (samen f 325.000,-). Voor een vrachtwagen/aanhangercombinatie is dit f 370.000,-.

Voor de prijsstelling van de kunststofoplegger is enig inzicht in de ontwikkeling van de aankooprijzen van nieuwe koel/vriesopleggers van belang.

Om een goed beeld te geven is gekozen voor de ratio aankooprijzen per ton (leeg) opleggergewicht.

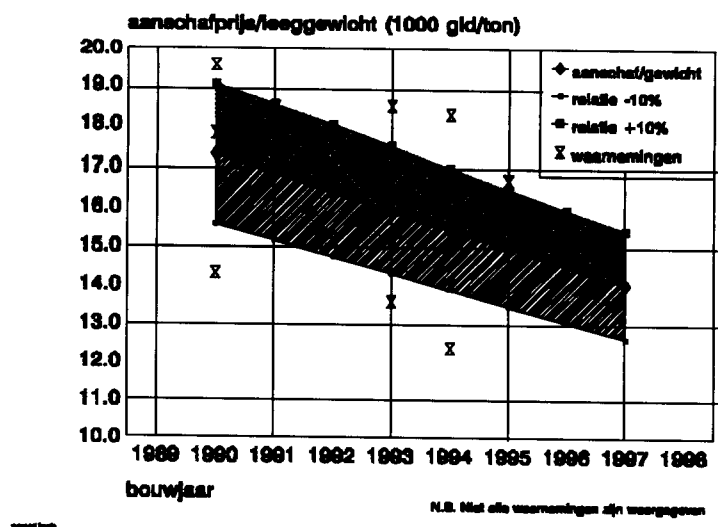
De waarde van deze ratio lag in 1990 nog op ruim f 17.500,- per ton opleggergewicht; in 1995 is deze gedaald naar f 15.000,- en voor 1997 wordt een prijs verwacht van ruim f 14.000,- per ton.

Een koel/vriesoplegger mag dan, volgens de ratio in 1996, niet meer dan ruim f 133.000,- (f 14.500,- x 9,2 ton²⁷) kosten.

²⁶ Beladingsgraad is de verhouding vervoerd gewicht gedeeld door het maximum laadvermogen.

²⁷ Gemiddeld leeggewicht

Figuur 2 Relatie tussen bouwjaar en netto aanschafprijs van de isothermoplegger



Bron: NEA-enquête "Isothermvervoer"

ANALYSE KOSTEN EN BATEN

Om de invloed van verschillen in voertuigkosten tussen de bestaande typen voertuigcombinaties en een trekker met kunststofoplegger te kunnen beoordelen is inzicht in de structuur van de totale exploitatiekosten van belang.

De gemiddelde kostenstructuur voor het koel/vriesvervoer wordt in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 Kostenstructuur koel/vriesvervoer in % (situatie 1995)

kosten rijdend personeel	37,7
motorbrandstof	16,6
algemene bedrijfskosten	12,6
afschrijving voertuig	11,2
onderhoud en reparatie	7,1
rente voertuig	4,2
kosten koel/vriesmotor	3,3
verzekering	3,2
banden	2,5
motorrijtuigenbelasting	1,6
totaal	100,0

Bron: NEA-bedrijfsvergelijking wegvervoer

Uit dit overzicht blijkt dat de kosten van het brandstofverbruik ongeveer even belangrijk zijn als de totale investeringskosten (afschrijving plus rente voertuig). Het hoge aandeel van de brandstofkosten hangt voor een belangrijk deel samen met de hoge jaar- kilometrages in het gespecialiseerde internationale vervoer.

Van de totale investeringskosten heeft tweederde betrekking op de trekkende eenheid en éénderde op de getrokken eenheid.

Effecten op voertuigkosten

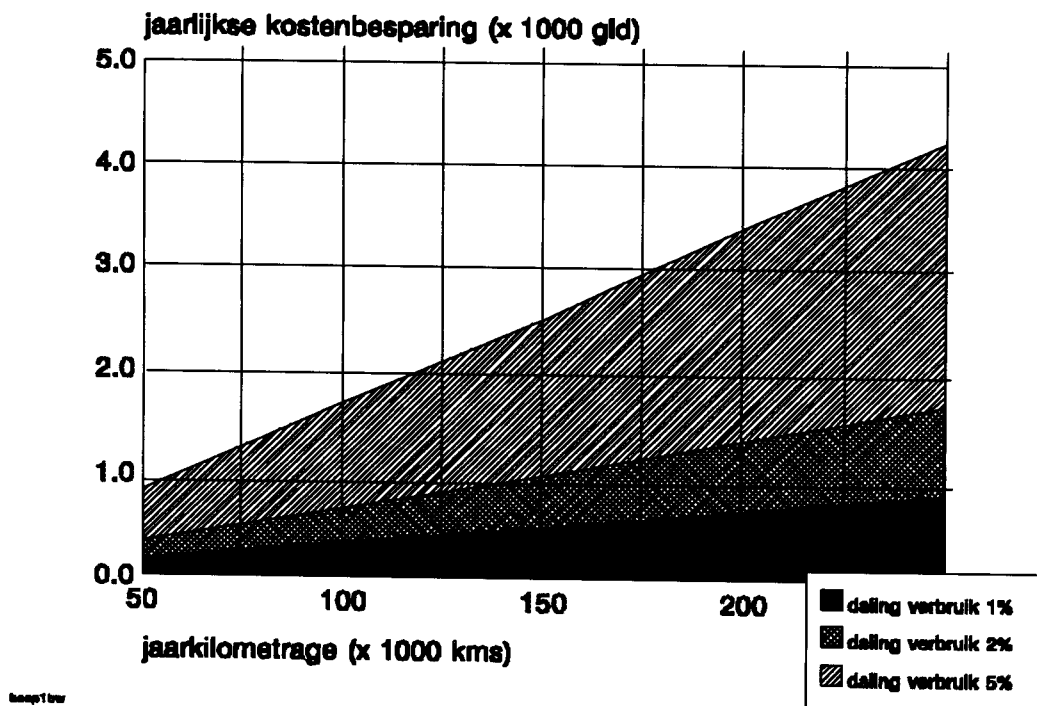
De voertuigkosten bestaan niet alleen uit investeringskosten (afschrijving plus rente), maar ook uit verzekeringskosten, motorrijtuigenbelasting, brandstofkosten en kosten van bandenslijtage.

Hieronder volgt een opsomming van de effecten op voertuigkosten als gevolg van de verlaging van het voertuiggewicht.

- *Effect van mogelijk lager brandstofverbruik op de exploitatiekosten*

Uit figuur 3 blijkt dat zelfs bij een lager brandstofverbruik van -1% de jaarlijkse kostenbesparing bij 150.000 km ca. f 500,- bedraagt. Bij een jaarkilometrage van 100.000 km en 200.000 km wordt respectievelijk f 340,- en f 680,- bespaard.

Figuur 3 Relatie tussen kostenbesparing door vermindering brandstofverbruik en jaarkilometrage



Bron: NEA, DAF

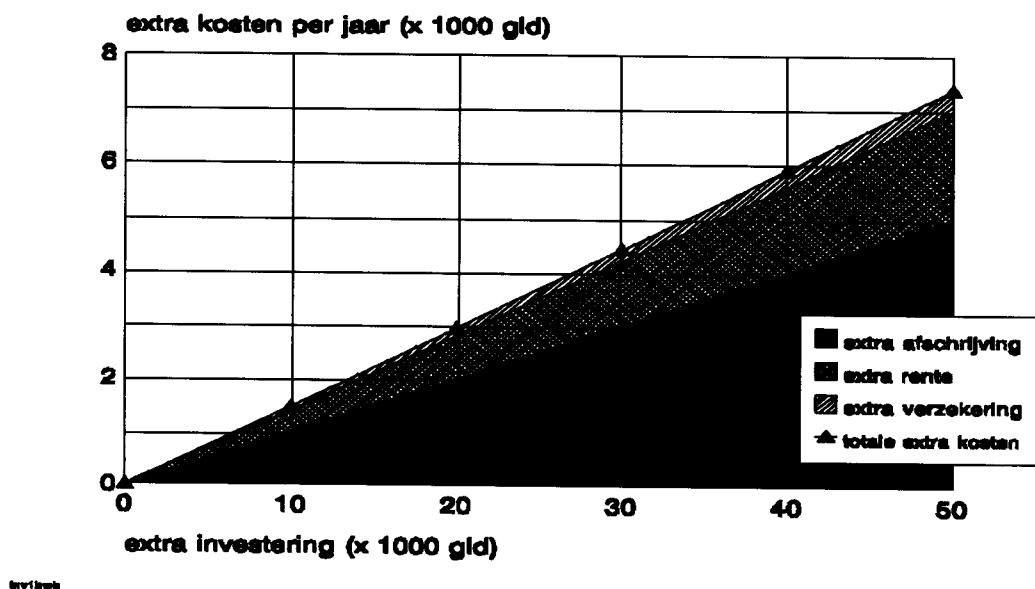
- *Effect van lagere motorrijtuigenbelasting op de exploitatiekosten*

Een lager leeggewicht resulteert in een lager tarief motorrijtuigenbelasting, namelijk -/- f 100,- voor elke 1.000 kg minder leeggewicht.

- *Effect van hogere aanschafprijs op de exploitatiekosten*

Bij een hogere aanschafprijs van ca. f 10.000,- voor een kunststofoplegger stijgen zowel de investeringskosten (rente plus afschrijving) als de verzekeringskosten; in totaal gemiddeld met f 1.475,- per jaar (zie figuur 4).

Figuur 4 Relatie tussen hogere aanschafprijs en toename van de jaarlijkse investerings- en verzekeringskosten

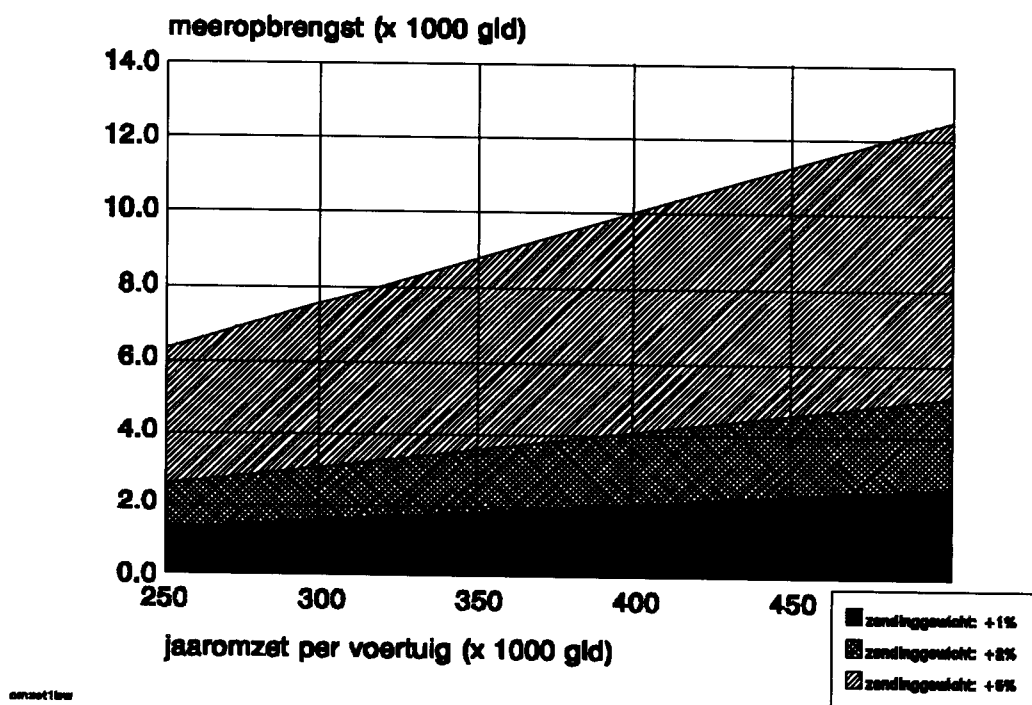


Bron: NEA-bedrijfsvergelijking wegvervoer

Berekende en verwachte meeropbrengsten

In het internationale vervoer met isothermvoertuigen is gebleken dat de invloed van het zendinggewicht op de vrachtopbrengst over het geheel gezien beperkt is. Een toename van het zendinggewicht met 1% geeft een meeropbrengst van gemiddeld 0,5% (zie figuur 5).

Figuur 5 Relatie tussen toename zendinggewicht en gerelateerde meeropbrengst



Bron: NEA

Aan de hand van de geschatte meeropbrengsten is nagegaan wat de mogelijke voordelen voor de geïnteresseerde bedrijven zijn. De opgegeven minimale meeropbrengst bedraagt per oplegger gemiddeld f 5.000,- per jaar, de maximale meeropbrengst gemiddeld f 15.000,- per jaar en de gemiddelde meeropbrengst f 10.000,- per jaar²⁸.

Terugverdiëntijd (TVT)

In principe dient iedere investering zich binnen de (economische) levensduur van het aangeschafte object te hebben terugverdiend.

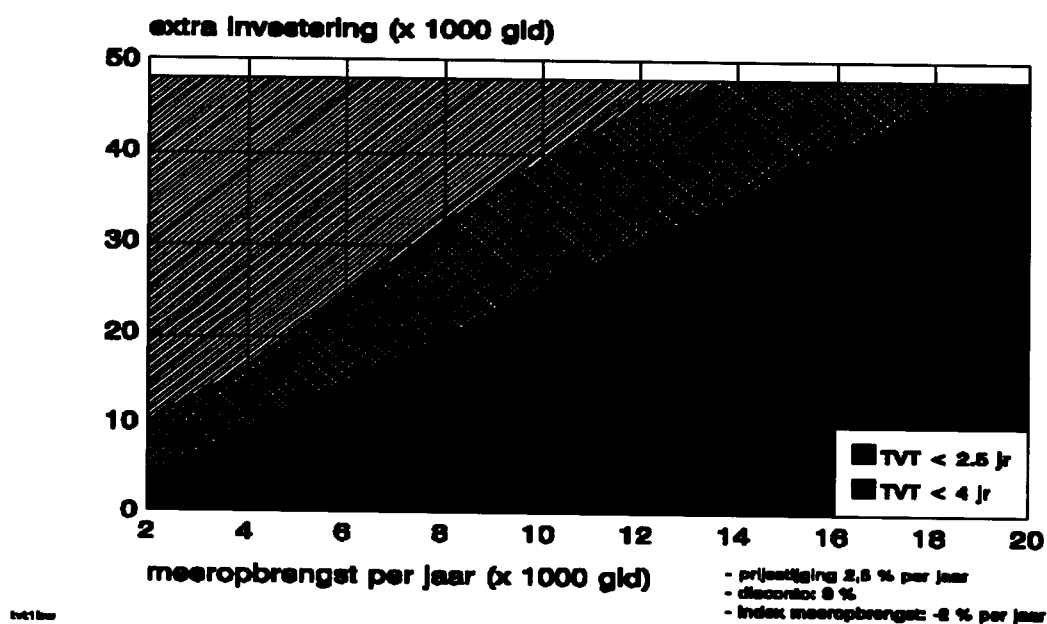
De economische levensduur van een isotherm oplegger is vastgesteld op ca. elf jaar. Een eventuele extra investering - bijvoorbeeld in een kunststofoplegger - dient zich in maximaal elf jaar terug te verdienen.

In figuur 6 is de relatie tussen een gerealiseerde meeropbrengst en de extra investering afgebeeld.

Voor beide scenario's (TVT 2,5 en 4 jaar) is bij de berekeningen rekening gehouden met (inflatoire) prijsstijgingen, te betalen rente en waardering voor nog te realiseren opbrengsten.

Vastgesteld kan worden dat bij een extra investering van f 30.000,- (gedefinieerd als de hogere aanschafprijs van de kunststofoplegger ten opzichte van een conventionele isothermoplegger) en een TVT van 2,5 resp. 4 jaar, een meeropbrengst van f 12.000,- resp. f 7.500,- per jaar gerealiseerd dient te worden.

Figuur 6 *Terugverdiëntijd*



Bron: NEA

²⁸ De door de vervoerder verwachte toename van het netto laadvermogen van de kunststofoplegger ligt op minimaal 2 à 2,5 ton.

CONCLUSIE

Met de toepassing van een constructiemethode waarbij maximaal gebruik wordt gemaakt van composieten in de bouw van koel/vriesopleggers, kan een aanzienlijke gewichtsbesparing worden bereikt. Ten opzichte van de meest recent gebouwde conventionele opleggers bedraagt deze gewichtsbesparing gemiddeld ca. 2.250 kg.

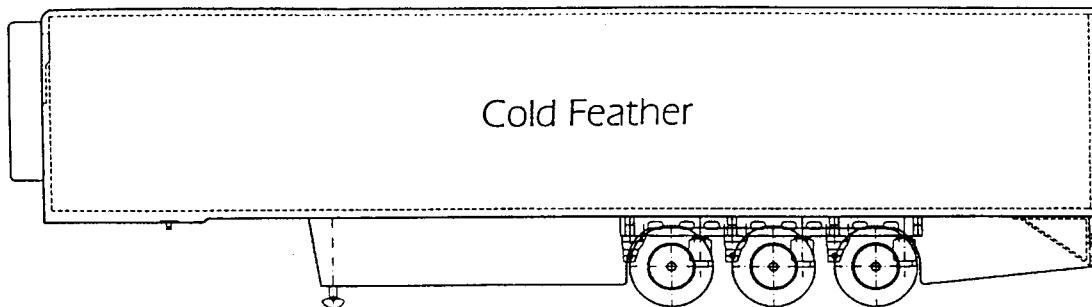
Gezien de hoeveelheid brandstof die jaarlijks worden verbruikt, levert een geringe besparing in het brandstofverbruik per gereden kilometer in zijn totaliteit een niet onaanzienlijke besparing op.

Niet alleen een lager eigen gewicht maar ook de stroomlijnvorm draagt bij tot een verdere verlaging van een brandstofverbruik. De positieve invloed van het lagere gewicht op de motorrijtuigenbelasting is daarentegen beperkt.

Het toepassingsgebied van de koel/vriesoplegger betreft weliswaar een beperkt deel van het totaal aantal ingezette voertuigen maar is nog altijd 1.540 eenheden. De jaarlijkse vervangingsvraag wordt geschat op 140 eenheden.

De mate van belangstelling bij de vervoerders voor een kunststofoplegger en met name bij de middelgrote en grote bedrijven is hoog. Zeker 80% van geënquêteerde grotere bedrijven heeft veel belangstelling voor de kunststofoplegger. Bij de kleinere bedrijven is dit percentage wat lager, namelijk 60%.

Uitgaande van een gewichtsvermindering van 2.250 kg en een gewenste terugverdientijd van ca. tweeënhalf jaar van de extra investering (ad f 10.000,- per oplegger), is bij een voorzichtig gestelde mogelijke brandstofkostenbesparing van f 1.000,- per jaar de vereiste meeropbrengst uit vervoer f 3.000,-. In de praktijk worden door de geïnteresseerde vervoerders duidelijk hogere minimale meeropbrengsten verwacht en kan de extra investering dus navenant hoger zijn.

Figuur 7(Kunststof)oplegger

conventionele vriesoplegger:

max. wettelijk totaalgewicht:	40,0 ton
eigen gewicht:	15,5 ton (7,0+ 8,5)
netto laadvermogen:	24,5 ton

Cold Feather:

max. wettelijk totaalgewicht:	40,0 ton
eigen gewicht:	13,0 ton (7,0+ 6,5)
netto laadvermogen:	27,0 ton

- lichtere voertuigen ?
- hogere maximumgewichten ?

Deelnemers:

ABN AMRO
AKZO Nobel Aramid Products
Burg
CINTEC
DAF
FOCWA
IC Rijnpoort
Koninklijk Nederlands Vervoer
MKB Nederland
Ministerie van Economische Zaken
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
NEA Transportonderzoek en -opleiding
Rynart-Transport
Transport en Logistiek Nederland
TU Delft
Visbeen

Sponsoren:

Alcoa International
Comhan Holland B.V.
Henkel Nederland B.V.
Holland Composites v.o.f.
Hyva B.V.
Michelin
Rhiwa-Hartomex B.V.
Vego Trans B.V.
Wabco Westinghouse B.V.
Weweler N.V.

POINT:
energiegebruik en emissies
in het goederenvervoer

Auteur:
Jan Francke

NEA Transportonderzoek en -opleiding
Postbus 1969
2280 DZ Rijswijk
tel: 070-3988402
email: jfr@nea.nl

augustus 1997

1 INLEIDING

In deze bijdrage aan het Colloquium "Verkeer, milieu en techniek" wordt de methodiek beschreven van het POINT-model. POINT staat voor **P**OLLUTION **I**NDICATORS OF **T**RANSport en is een rekenmodel dat door NEA Transportonderzoek en -opleiding ontwikkeld is in het kader van het onderzoek Trendbreukscenario Goederenvervoer²⁹. Het model berekent het energiegebruik en de emissie van schadelijke stoffen door het goederenvervoer over de weg, per spoor en binnenschip in Nederland. Naast gebruik in het Trendbreukscenario Goederenvervoer is het POINT-model, in een vereenvoudigde versie, door NEA toegepast voor de Vervoer-Economische Verkenningen (VEV) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat³⁰. In deze bijdrage staat de methodiek ten behoeve van de VEV-prognose centraal. In hoofdstuk 2 worden de grote lijnen geschetst van manier waarop de VEV-prognoses door NEA opgesteld worden. Vervolgens bevat hoofdstuk 3 een beschrijving van de POINT-methode voor het berekenen van verkeers- en vervoerprestaties en hoofdstuk 4 voor het berekenen van het energiegebruik en de emissies van schadelijke stoffen. Afsluitend worden in hoofdstuk 5 enkele resultaten gepresenteerd van de berekeningen met het POINT-model. Door een verschil in basismateriaal, methodiek en veronderstellingen wijken de resultaten van de berekeningen met het POINT-model af van de berekeningen van het CBS en berekeningen met het ATTACK-model.

2 VEV-prognoses

In het kort zal hier toegelicht worden hoe de VEV-prognoses opgesteld worden. De prognose van de groei in vervoerd gewicht wordt gemaakt met het Transport Economisch Model, een model dat in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat door NEA ontwikkeld is. Aan het TEM-model ligt de veronderstelling ten grondslag dat het goederenvervoer een afgeleide activiteit is van de ruimtelijke spreiding en omvang van economisch handelen van producenten en consumenten. De groeiverwachtingen voor het vervoerd gewicht worden in TEM berekend voor de vervoerwijzen weg, binnenvaart en spoor, onderscheiden naar verschillende goederensoorten en vervoerstromen.

De TEM-groeicijfers voor het vervoerd gewicht worden vervolgens toegepast op een gedetailleerd VEV-databestand met verkeers- en vervoerprestaties (zie tabel 2.1) op basis van de meest recente CBS goederenvervoerstatistieken:

- vervoerstroom:
 - 1) binnenlands goederenvervoer;
 - 2) invoer;
 - 3) inkomende doorvoer met overlading (dmo-in);
 - 4) uitvoer;
 - 5) uitgaande doorvoer met overlading (dmo-uit);

²⁹ P.M. Peeters, *Goed op weg: Naar een trendbreuk in het Goederenvervoer*, Werkgroep '2duizend, Amersfoort, 1993.

³⁰ NEA, *Vervoer-Economische Verkenningen 1991-1996*, Rijswijk, 1992.

NEA, *Vervoer-Economische Verkenningen 1992-1998*, Rijswijk, 1993.

NEA, *Vervoer-Economische Verkenningen 1993-1999*, Rijswijk, 1994.

AVV, *Vervoer-Economische Verkenningen 1997-2002*, SDU, Den Haag, 1997.

AVV, *Achtergrondrapportage Vervoer-Economische Verkenningen 1997-2002*, SDU, Den Haag, 1997.

- vervoerwijze:
 - 1) zeevaart (alleen internationaal vervoer);
 - 2) binnenvaart;
 - 3) spoorvervoer;
 - 4) wegvervoer, in binnenlands vervoer nog nader onderverdeeld in
 - 4) beroepsvervoer over de weg;
 - 5) eigen vervoer over de weg;
 - 6) pijpleidingvervoer (alleen internationaal vervoer);
- herkomst- en bestemmingsregio:
14 Nederlandse regio's en 20 landen;
- goederensoorten:
53 NSTR 2-digit-goederengroepen;
- verschijningsvorm:
al dan niet in containers (alleen internationaal vervoer).

De historische gegevens in de VEV-databestanden zijn voor het vervoer binnen Nederland gebaseerd op de CBS Statistiek van het binnenlands goederenvervoer en voor het internationale vervoer op de CBS Statistiek van de aan-, af- en doorvoer. Deze statistieken bevatten geen informatie over de doorvoer zonder overlading. Dit transitovervoer over Nederlands grondgebied maakt gebruik van de Nederlandse infrastructuur maar wordt in de VEV niet meegenomen omdat voor het goederenvervoer over de weg geen statistische informatie bestaat. De genoemde CBS-statistieken bevatten niet alle benodigde gegevens voor de VEV-databestanden. Daarnaast is de registratie van het CBS niet altijd volledig of consistent in de loop der jaren. Daarom zijn door NEA berekeningen gemaakt voor de ontbrekende variabelen en zijn sommige gegevens bijgeschat.

Tabel 2.1 *Verkeers- en vervoerprestaties in de VEV-databestanden per vervoerwijze*

variabelen	weg	binnenvaart	spoor	zee	pijp
vervoerd gewicht	B/U	B/U	B/U	B/U	B/U
vervoerde waarde	B/U	B/U	B/U	B/U	B/U
beladen ritten	U	U	U	-	-
ladingtonkilometer Nld	U	U	U	-	-
ingezet laadvermogen	U	U	-	-	-
beladen voertuigkilometers Nld	U	U	U	-	-
lege voertuigkilometers Nld	U	U	U	-	-
laadvermogentonkilometer beladen Nld	U	-	-	-	-
laadvermogentonkilometer leeg Nld	U	-	-	-	-
beladen voertuigkilometers totaal	U	U	-	-	-
lege voertuigkilometers totaal	U	U	-	-	-
laadvermogentonkilometer beladen totaal	U	-	-	-	-
laadvermogentonkilometer leeg totaal	U	-	-	-	-

B staat voor de *Beperkte bestanden* waarbij de "realisaties" beschikbaar zijn voor alle jaren in de periode 1986 tot en met 1995, de raming voor 1996 en de prognoses voor 1997, 2000 (behoedzaam en gunstig scenario) en 2002 (behoedzaam en gunstig scenario).

U staat voor de *Uitgebreide bestanden* waarbij de 'realisaties' beschikbaar zijn voor de jaren 1986, 1991, 1992, 1994 en 1995, de raming voor 1996 en de prognoses voor 1997, 2000 (behoedzaam en gunstig scenario) en 2002 (behoedzaam en gunstig scenario).

Na het vaststellen van de prognose van het vervoerd gewicht wordt voor de VEV gebruik gemaakt van procedures van het POINT-model om de volgende berekeningen te kunnen maken:

- een vertaalslag van vervoerontwikkeling (tonnen) naar ontwikkeling van overige verkeers- en vervoerprestaties (ritten, kilometers, etc.);
- een vertaalslag naar milieu-indicatoren (energiegebruik en emissies).

Deze vertaalslagen worden in de hoofdstukken 3 en 4 beschreven. In de laatst verschenen VEV voor de periode 1997-2002 zijn geen uitkomsten gepresenteerd voor de milieu-indicatoren. De reden hiervoor is dat de scenario's die de basis vormen voor de betreffende VEV niet ontworpen zijn met nadrukkelijke aandacht voor het milieu. Daardoor hebben de milieucijfers niet de kwaliteit van andere studies zoals de Nota Milieu en Economie en de recente Lange termijn Verkenning van het CPB.

3 METHODIEK PROGNOSE Verkeers- en vervoerprestaties

Voor de prognose van de ontwikkeling van de verkeers- en vervoerprestaties zijn aannames gemaakt over de toekomstige veranderingen voor een drietal efficiencyparameters. Als efficiencyparameters worden in POINT de volgende variabelen gebruikt:

1. het ingezet laadvermogen per binnenschipsreis c.q. vrachtwagenrit;
2. de gemiddelde belading als de verhouding tussen het vervoerd gewicht en het ingezet laadvermogen;
3. de verhouding tussen het aantal lege vaar- of voertuigkilometers en het aantal beladen vaar- of voertuigkilometers.

De aannames over de toekomstige ontwikkeling van deze parameters zijn gemaakt voor het binnenlands en internationaal vervoer per vervoerwijze en ABCD-goederencategorie³¹ op basis van de ontwikkelingen in het verleden en beleidsmaatregelen om de efficiency te verbeteren. Deze beleidsmaatregelen zijn met name gericht op het wegvervoer. In tabel 3.1 is de ontwikkeling van deze parameters in de periode 1986-1995 weergegeven.

Bij de binnenvaart en het binnenlandse wegvervoer is in de afgelopen jaren sprake geweest van een voortgaande schaalvergroting in termen van ingezet laadvermogen per reis c.q. rit. Aangenomen is dat deze ontwikkeling zich in de toekomst zal voortzetten.

De gemiddelde belading gemeten in vervoerd gewicht per ton laadvermogen is bij het wegvervoer in de afgelopen jaren gedaald. Voor de komende jaren is aangenomen dat deze trend omgebogen wordt en dat voor het binnenlands en internationaal wegvervoer bij de afzonderlijke goederencategorieën de gemiddelde belading niet verder daalt. Voor het totale wegvervoer kan het 'macrocijfer' van de gemiddelde belading dan nog wel dalen of stijgen onder invloed van groeiverschillen tussen binnenlands en internationaal vervoer of tussen de goederencategorieën. Bij de hoogwaardige goederencategorieën (B en C) ligt de gemiddelde belading in het wegvervoer aanzienlijk lager dan bij de laagwaardige goederencategorieën.

Voor wat betreft het leegrijden is er in het afgelopen decennium bij het binnenlandse beroepsvervoer over de weg en het internationale wegvervoer sprake van een positieve ontwikkeling omdat bij alle goederencategorieën sprake is van een daling van de verhouding tussen lege en beladen kilometers. Mede onder invloed van de beleidsmaatregelen die gericht zijn op een verder terugdringen van het leeg rijden, wordt aangenomen dat deze positieve ontwikkeling in de toekomst voortgaat.

³¹

Deze indeling is gebaseerd op de waarde- en volumedichtheid: A = laagwaardig massagoed, B = hoogwaardig massagoed, C = hoogwaardig stukgoed en D = laagwaardig stukgoed.

Tabel 3.1 *Ontwikkeling efficiëncyparameters POINT in het binnenlands en internationaal goederenvervoer 1986-1995 per vervoerwijze*

efficiëncyparameters			binnenlands vervoer				internationaal vervoer			
mode	abcd	factor	1986	1991	1992	1995	1986	1991	1992	1995
laadvermogen per reis/post/rit			in ton				in ton			
binnenvaart	A	lvm/reis	815,0	865,9	868,8	967,3	1.269,5	1.361,7	1.391,4	1.371,3
binnenvaart	B	lvm/reis	515,2	713,8	746,9	871,0	917,1	893,4	943,9	1.129,1
binnenvaart	C	lvm/reis	439,1	502,0	898,3	1.044,6	995,4	1.088,6	1.149,6	1.364,6
binnenvaart	D	lvm/reis	477,2	683,4	746,3	827,1	1.464,7	1.231,3	1.291,8	1.633,1
spoor	ABCD	lvm/post								
weg beroeps	A	lvm/rit	17,3	20,2	20,5	22,0	26,3	27,8	27,2	27,3
weg beroeps	B	lvm/rit	16,1	18,2	19,1	20,7	23,4	24,4	24,4	24,4
weg beroeps	C	lvm/rit	15,4	16,4	17,2	17,6	24,0	25,4	25,4	24,7
weg beroeps	D	lvm/rit	20,3	21,0	21,8	23,1	25,2	26,1	26,3	25,6
weg eigen	A	lvm/rit	12,3	13,7	14,2	14,5				
weg eigen	B	lvm/rit	4,9	5,5	6,4	6,6				
weg eigen	C	lvm/rit	6,9	7,8	8,0	7,5				
weg eigen	D	lvm/rit	8,3	9,6	9,6	11,2				
verv. gewicht per laadvermogen			in %				in %			
binnenvaart	A	ton/lvm	85,6	85,5	84,4	87,0	82,5	79,7	80,5	81,9
binnenvaart	B	ton/lvm	73,2	74,9	78,8	86,8	57,8	56,7	52,2	47,9
binnenvaart	C	ton/lvm	31,2	50,4	21,7	13,8	57,6	48,7	37,5	39,8
binnenvaart	D	ton/lvm	91,2	85,6	79,5	90,1	30,7	54,7	54,7	38,4
spoor	ABCD	ton/lvm								
weg beroeps	A	ton/lvm	93,9	90,5	91,5	89,7	86,1	83,3	83,6	78,5
weg beroeps	B	ton/lvm	66,8	61,4	60,6	58,9	69,0	68,3	68,4	62,0
weg beroeps	C	ton/lvm	62,1	59,4	58,8	57,2	70,2	67,0	67,5	61,6
weg beroeps	D	ton/lvm	84,8	77,0	78,2	74,5	75,1	72,2	71,3	69,3
weg eigen	A	ton/lvm	87,6	79,5	79,8	78,0				
weg eigen	B	ton/lvm	57,9	53,8	53,6	55,8				
weg eigen	C	ton/lvm	57,2	51,4	47,4	47,8				
weg eigen	D	ton/lvm	74,9	73,4	71,6	70,3				
lege kilometers per beladen km			in %				in %			
binnenvaart	A	kml/kmb	79,7	84,6	85,1	83,4	48,7	45,7	48,1	40,5
binnenvaart	B	kml/kmb	50,3	51,4	51,2	52,6	11,3	11,4	16,0	10,2
binnenvaart	C	kml/kmb	54,0	57,4	54,0	51,8	12,9	11,3	18,0	14,5
binnenvaart	D	kml/kmb	98,6	90,5	87,6	80,3	17,1	26,2	27,8	21,4
spoor	ABCD	kml/kmb	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
weg beroeps	A	kml/kmb	79,3	75,7	75,0	69,2	37,3	32,7	34,1	29,2
weg beroeps	B	kml/kmb	41,4	39,2	36,8	38,4	29,0	23,9	23,9	18,7
weg beroeps	C	kml/kmb	27,9	27,4	27,6	27,1	24,7	27,2	24,9	17,8
weg beroeps	D	kml/kmb	59,7	53,5	53,5	53,5	30,1	27,2	27,4	25,1
weg eigen	A	kml/kmb	33,6	42,0	44,3	60,7				
weg eigen	B	kml/kmb	33,7	42,9	45,3	40,1				
weg eigen	C	kml/kmb	32,0	43,2	44,9	35,8				
weg eigen	D	kml/kmb	33,8	43,0	45,0	57,9				

Voor het binnenlands eigen vervoer over de weg is echter sprake van een toename van het gemiddelde leegrijden. Wellicht dat dit een gevolg is van het uitbesteden van delen van het eigen vervoer aan het beroepsvervoer over de weg in de afgelopen jaren. Bij de keuze voor

eigen vervoer zijn in veel gevallen niet de kosten, die weer samenhangen met de efficiency, doorslaggevend maar andere argumenten. Voor het binnenlandse eigen vervoer is daarom verondersteld dat ook in de komende jaren deze negatieve trend optreedt en dat het gemiddelde leegrijden verder toeneemt.

Uitgaande van deze aannames voor de ontwikkeling van de efficiencyparameters is de verwachte groei in het vervoerd gewicht vertaald naar de andere verkeers- en vervoerprestaties. Deze berekening wordt in POINT uitgevoerd per vervoerwijze, herkomst-bestemmingsrelatie, goederensoort, verschijningsvorm en vervoerstroom zoals beschreven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 *Berekeningswijze prognoses verkeers- en vervoerprestaties*

Vervoerprestatie	Berekeningswijze
beladen ritten	groei vervoerd gewicht gecorrigeerd voor de ontwikkeling in het ingezet laadvermogen per rit en de ontwikkeling in de gemiddelde belading (vervoerd gewicht/laadvermogen)
ladingtonkilometers	groei vervoerd gewicht
ingezet laadvermogen	groei vervoerd gewicht gecorrigeerd voor de ontwikkeling in de gemiddelde belading (vervoerd gewicht/laadvermogen)
beladen voertuigkilometers	conform beladen ritten
lege voertuigkilometers	conform beladen ritten gecorrigeerd voor de ontwikkeling in de verhouding tussen lege en beladen kilometers
laadvermogen tonkilometers beladen	conform ingezet laadvermogen
laadvermogen tonkilometers leeg	conform ingezet laadvermogen gecorrigeerd voor de ontwikkeling in de verhouding tussen lege en beladen voertuigkilometers

4 Methodiek berekening energiegebruik en emissies CO₂ en NO_x

4.1 Inleiding

Voor de berekening van het energiegebruik en de emissies van CO₂ en NO_x op Nederlands grondgebied zijn voor het wegvervoer, de binnenvaart en het spoorvervoer afzonderlijke energiegebruiksfuncties toegepast met daarbij emissiefactoren per eenheid energiegebruik. Daarbij is een vergelijkbare methodiek toegepast als in het project Trendbreukscenario Goederenvervoer. In grote lijnen komt deze methodiek erop neer dat het energiegebruik wordt bepaald op basis van het aantal voertuigkilometers en de belading van het voertuig. Voor het wegvervoer zijn de energiegebruiksfuncties (zie 4.2) gedetailleerder dan voor de binnenvaart en het spoorvervoer en wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met een verdeling van de ritafstand over snelheidsklassen. De specifieke aannames over veranderingen in energiegebruiksparameters en emissiecoëfficiënten zijn beschreven in paragraaf 4.3.

4.2 Energiegebruiksfuncties en emissiefactoren

Voor de berekeningen van het energiegebruik en de emissie van CO₂ en NO_x is gebruik gemaakt van een aangepaste versie van het POINT-model dat door NEA ontwikkeld is. Achtereenvolgens worden voor het wegvervoer, de binnenvaart en het spoorvervoer de uitgangspunten bij deze 'milieuberekeningen' beschreven.

4.2.1 Wegvervoer

Er is gebruik gemaakt van de zogenaamde Rijkeboerformule (TNO) voor het berekenen van het energiegebruik per kilometer. Deze formule is als volgt opgebouwd:

$$B = b_r \cdot M + b_1 \cdot A \cdot (25/v + v^2/1000) + b_k \cdot (1-v/100) \cdot M + b_{kr} \cdot (100/v - 1) \cdot M_b + b_0 \cdot (M_b + 10) \cdot 1/v$$

waarbij: B	=	brandstofgebruik (in gram per kilometer)
M	=	massa op de weg (in tonnen)
M _b	=	bruto massa (in tonnen)
A	=	frontaal oppervlak (in m ²)
v	=	snelheid (in kilometer per uur)
b _r	=	coëfficiënt overwinning rolweerstand
b ₁	=	coëfficiënt overwinning luchtweerstand
b _k	=	coëfficiënt kinetische energie voertuig
b _{kr}	=	coëfficiënt kinetische energie roterende delen
b ₀	=	coëfficiënt verbruik per tijdseenheid

De waarden van de coëfficiënten voor de verschillende jaren zijn weergegeven in tabel 4.1. Voor de jaren 1991 tot en met 2002 is uitgegaan van constante coëfficiënten.

Tabel 4.1 Coëfficiënten energiegebruiksfunctie voor het vrachtverkeer 1986-2002

coëfficiënt	1986	1991-2002
b _r rolweerstand	5,700	5,250
b ₁ luchtweerstand	1,950	1,750
b _k kin. Energie voertuig	12,20	11,80
b _{kr} kin. Energie roterende delen	0,340	0,320
b ₀ verbruik per tijdseenheid	58,00	55,50

Omdat de berekeningen niet uitgevoerd kunnen worden op basis van het verloop van een individuele rit maar op basis van geaggregeerde ritgegevens, zijn veronderstellingen gemaakt voor het bepalen van de andere variabelen in de Rijkeboerformule, te weten:

- M = (0,29 * (gemiddeld laadvermogen) + 1,8) + gemiddeld vervoerd gewicht
- M_b = (1,29 * (gemiddeld laadvermogen) + 1,8)
- A = (0,12 * (gemiddeld laadvermogen) + 6,95) met een maximum van 10

Voor het bepalen van de snelheid (v) is aangenomen dat de geaggregeerde ritgegevens opgebouwd zijn uit deeltrajecten met verschillende (gemiddelde) snelheden (v). Deze deeltrajecten zijn in tabel 4.2 opgenomen. Vermenigvuldiging van het energiegebruik uit de formule (in gram per kilometer) met de beladen en leeg afgelegde afstand op Nederlands grondgebied geeft het totale energiegebruik.

De totale emissie van CO₂ is berekend met een constante emissiefactor van 3.130 gram CO₂ per kilogram brandstofgebruik. Voor berekening van de emissie van NO_x is gebruik gemaakt van emissiefactoren per snelheidsklasse (c.q. deeltraject) en het gewicht volle wagen (GVW = M_b bruto massa). Deze emissiefactoren zijn opgenomen in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Emissiefactoren NO_x in gram per kilogram brandstofgebruik per snelheidsklasse en gewicht volle wagen 1986-2002

GVW	deeltrajecten	snelheid	1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000	2002
1 <= 20 ton	1 0 - 4 km.	8,4 km/uur	55,0	55,0	54,0	51,5	50,2	49,0	47,7	43,9	41,4
1 <= 20 ton	2 4 - 8 km.	22,3 km/uur	55,0	55,0	54,0	51,5	50,2	49,0	47,7	43,9	41,4
1 <= 20 ton	3 8 - 20 km.	30,0 km/uur	55,0	55,0	54,0	51,5	50,2	49,0	47,7	43,9	41,4
1 <= 20 ton	4 20 - 60 km.	45,1 km/uur	55,0	55,0	54,0	51,5	50,2	49,0	47,7	43,9	41,4
1 <= 20 ton	5 60 - 200 km.	62,3 km/uur	70,0	70,0	68,0	65,2	63,5	61,8	60,1	55,1	51,8
1 <= 20 ton	6 > 200 km.	90,4 km/uur	70,0	70,0	68,0	65,2	63,5	61,8	60,1	55,1	51,8
2 > 20 ton	1 0 - 4 km.	8,4 km/uur	50,0	48,0	47,0	44,7	43,5	42,3	41,1	37,6	35,3
2 > 20 ton	2 4 - 8 km.	22,3 km/uur	50,0	48,0	47,0	44,7	43,5	42,3	41,1	37,6	35,3
2 > 20 ton	3 8 - 20 km.	30,0 km/uur	50,0	48,0	47,0	44,7	43,5	42,3	41,1	37,6	35,3
2 > 20 ton	4 20 - 60 km.	45,1 km/uur	50,0	48,0	47,0	44,7	43,5	42,3	41,1	37,6	35,3
2 > 20 ton	5 60 - 200 km.	62,3 km/uur	65,0	63,0	62,0	58,8	57,2	55,6	54,0	49,1	45,9
2 > 20 ton	6 > 200 km.	90,4 km/uur	65,0	63,0	62,0	58,8	57,2	55,6	54,0	49,1	45,9

4.2.2 Binnenvaart

Het energiegebruik in de binnenvaart is berekend aan de hand van het aantal beladen en lege vaaruren. Het aantal vaaruren is afgeleid uit de afgelegde afstand op Nederlands grondgebied en een veronderstelde gemiddelde snelheid. Voor het binnenlands vervoer is een gemiddelde snelheid van 10,3 km/uur aangenomen voor de beladen vaart en 12,6 km/uur voor de leegvaart. In het internationale vervoer is uitgegaan van een hogere gemiddelde snelheid en wel 11,8 km/uur bij de beladen vaart en 16,3 km/uur bij de leegvaart. Op basis van het gemiddeld laadvermogen is het gemiddelde motorvermogen in kilowatt bepaald volgens de vergelijking:

$$\text{vermogen (kW)} = 0,39 * (\text{gemiddeld laadvermogen}) + 31,5$$

Het totale gebruikte vermogen in kilowattuur (kWh) volgt uit de vermenigvuldiging van het gemiddelde motorvermogen met een gemiddelde belasting van 75% en de totale vaartijd. Aangenomen is dat het energiegebruik per kWh voor de komende jaren een dalende tendens vertoont conform tabel 4.3.

Tabel 4.3 Energiegebruik in gram brandstof per kilowattuur belast motorvermogen voor de binnenvaart 1986-2002

	1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000	2002
energiegebruik in gram per kWh	214,3	214,3	213,2	211,1	210,0	209,0	207,9	204,8	202,8

De totale emissies van CO₂ en NO_x zijn berekend met een constante emissiefactor van 3.685 gram CO₂ per kilogram brandstofgebruik respectievelijk 37,8 gram NO_x per kilogram brandstofgebruik.

4.2.3 Spoorvervoer

De berekening van het energiegebruik in het spoorvervoer is gebaseerd op de beladen en lege 'wagonkilometers' zoals deze opgenomen zijn in de bestanden van het CBS. Bij het goederenvervoer per spoor is sprake van elektrische en dieselelektrische tractie. Verondersteld is dat 80% van de 'wagonkilometers' met elektrische tractie plaatsvindt en de resterende 20% met dieselelektrische tractie. Voor beide tractiesoorten en voor het onderscheid tussen beladen

en lege 'wagonkilometers' zijn verschillende energiegebruiksparementers gebruikt. Aangenomen is dat het energiegebruik per 'wagonkilometer' in de komende jaren een dalende tendens vertoont conform de gegevens in tabel 4.4. In deze tabel zijn tevens de emissiefactoren van CO₂ en NO_x weergegeven in gram per kilogram brandstofgebruik (dieselelektrische tractie) respectievelijk in gram per kilowattuur (elektrische tractie). Bij het dieselgebruik is een constante emissiefactor gebruikt van 3.130 gram/kg voor CO₂ en 35,21 gram/kg voor NO_x. Voor het elektriciteitsgebruik is aangenomen dat de emissiefactoren in de loop der tijd enigszins afnemen als gevolg van de verminderde inzet van steenkolen bij de elektriciteitscentrales en de vernieuwing van dieselelektrische locs.

Tabel 4.4 *Energiegebruiksparementers en emissiefactoren voor spoorvervoer 1986-2002*

	eenheid	1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000	2002
dieselelektrische tractie										
energiegebruik beladen	gr/km	486,2	486,2	483,8	479,0	476,5	474,2	471,8	464,8	460,1
energiegebruik leeg	gr/km	238,9	238,9	237,7	235,4	234,2	233,0	231,8	228,3	226,1
emissiefactor CO ₂	gr/kg	3.130	3.130	3.130	3.130	3.130	3.130	3.130	3.130	3.130
emissiefactor NO _x	gr/kg	35,21	35,21	35,21	35,21	35,21	35,21	35,21	35,21	35,21
elektrische tractie										
energiegebruik beladen	kWh/km	1,2718	1,2718	1,2693	1,2642	1,2617	1,2592	1,2567	1,2491	1,2441
energiegebruik leeg	kWh/km	0,6248	0,6248	0,6236	0,6211	0,6198	0,6186	0,6174	0,6137	0,6612
emissiefactor CO ₂	gr/kWh	622,6	622,6	611,1	639,3	660,2	625,9	619,2	599,5	586,7
emissiefactor NO _x	gr/kWh	1,575	1,575	1,529	1,414	1,343	1,276	1,212	1,039	0,938

5 Resultaten POINT

In de voorgaande hoofdstukken is de POINT-methodiek uiteengezet voor het berekenen van de verkeers- en vervoerprestaties, het energiegebruik en de emissies van CO₂ en NO_x van het goederenvervoer op Nederlands grondgebied. In de tabellen 5.1 tot en met 5.4 de resultaten van de berekeningen samengevat zoals deze opgesteld zijn in het kader van de *Vervoer-Economische Verkenningen 1997-2002*.

Tabel 5.1 Verkeers- en vervoerprestaties, energieverbruik en emissies op Nederlands grondgebied door het wegvervoer 1986-2002

wegvervoer	eenheid	1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000BEH	2000GUN	2002BEH	2002GUN
vervoerd gewicht	mln ton	455.1	511.6	539.8	541.6	545.2	560.2	570.4	599.5	636.7	617.3	680.4
ladingtonkilometers	mln tkm	26,090	33,128	35,733	37,268	38,727	39,978	40,954	43,453	46,183	45,092	49,801
voertuigkilometers	mln km	3,659	4,352	4,559	4,391	4,589	4,710	4,753	4,938	5,277	5,070	5,622
energiegebruik	TJ	46,591	55,119	58,803	59,832	61,866	63,752	64,967	68,349	72,834	70,631	78,132
emissie CO ₂	Kton	3,415	4,040	4,310	4,386	4,535	4,673	4,762	5,010	5,339	5,177	5,727
emissie NO _x	ton	60,950	70,163	73,082	70,502	70,967	71,149	70,451	67,704	72,163	65,622	72,607
gemiddelde afstand	tkm/ton	57.3	64.8	66.2	68.8	71.0	71.4	71.8	72.5	72.5	73.0	73.2
energie/tkm	KJ/tkm	1,786	1,664	1,646	1,605	1,597	1,595	1,586	1,573	1,577	1,566	1,569
CO ₂ /tkm	gr/tkm	130.9	122.0	120.6	117.7	117.1	116.9	116.3	115.3	115.6	114.8	115.0
NO _x /tkm	gr/tkm	2.34	2.12	2.05	1.89	1.83	1.78	1.72	1.56	1.56	1.46	1.46
energie/km	MJ/km	12.7	12.7	12.9	13.6	13.5	13.5	13.7	13.8	13.8	13.9	13.9
CO ₂ /km	gr/km	933	928	946	999	988	992	1,002	1,015	1,012	1,021	1,019
NO _x /km	gr/km	16.7	16.1	16.0	16.1	15.5	15.1	14.8	13.7	13.7	12.9	12.9
CO ₂ /energie	gr/MJ	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3
NO _x /energie	gr/MJ	1.31	1.27	1.24	1.18	1.15	1.12	1.08	0.99	0.99	0.93	0.93
index 1986=100		1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000BEH	2000GUN	2002BEH	2002GUN
vervoerd gewicht		100	112	119	119	120	123	125	132	140	136	150
ladingtonkilometers		100	127	137	143	148	153	157	167	177	173	191
voertuigkilometers		100	119	125	120	125	129	130	135	144	139	154
energiegebruik		100	118	126	128	133	137	139	147	156	152	168
emissie CO ₂		100	118	126	128	133	137	139	147	156	152	168
emissie NO _x		100	115	120	116	116	117	116	111	118	108	119
gemiddelde afstand		100	113	115	120	124	124	125	126	127	127	128
energie/tkm		100	93	92	90	89	89	89	88	88	88	88
CO ₂ /tkm		100	93	92	90	89	89	89	88	88	88	88
NO _x /tkm		100	91	88	81	78	76	74	67	67	62	62
energie/km		100	99	101	107	106	106	107	109	108	109	109
CO ₂ /km		100	99	101	107	106	106	107	109	108	109	109
NO _x /km		100	97	96	96	93	91	89	82	82	78	78
CO ₂ /energie		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
NO _x /energie		100	97	95	90	88	85	83	76	76	71	71

Tabel 5.2

[illegible]

Tabel 5.3 *Verkeers- en vervoerprestaties, energiegebruik en emissies op Nederlands grondgebied door het spoorvervoer 1986-2002*

spoor	eenheid	1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000BEH	2000GUN	2002BEH	2002GUN
vervoerd gewicht	mln ton	17.1	15.8	14.9	15.9	16.6	17.0	17.5	18.6	20.1	19.7	21.9
ladingtonkilometers	mln tkm	2,816	2,746	2,548	2,684	2,704	2,768	2,855	3,055	3,250	3,163	3,540
"voertuigkilometers"	mln km	163	157	144	151	157	161	166	180	192	188	211
energiegebruik	TJ	948	914	838	869	899	919	948	1,016	1,085	1,066	1,180
emissie CO ₂	Kton	114	110	99	106	113	111	114	120	128	124	137
emissie NO _x	ton	609	588	534	540	550	554	563	579	618	588	656
gemiddelde afstand	tkm/ton	164.7	174.0	170.9	168.3	163.3	163.2	163.0	164.6	161.9	160.9	161.4
energie/tkm	KJ/tkm	336	333	329	324	333	332	332	333	334	337	333
CO ₂ /tkm	gr/tkm	40.4	39.9	39.0	39.6	41.6	40.1	39.9	39.1	39.2	39.3	38.7
NO _x /tkm	gr/tkm	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19
energie/km	MJ/km	5.8	5.8	5.8	5.8	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6	5.7	5.6
CO ₂ /km	gr/km	699	699	689	706	719	691	684	664	664	662	650
NO _x /km	gr/km	3.7	3.7	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.2	3.2	3.1	3.1
CO ₂ /energie	gr/MJ	120.0	120.0	118.6	122.4	125.2	120.8	120.0	117.6	117.6	116.7	116.1
NO _x /energie	gr/MJ	0.64	0.64	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.57	0.57	0.55	0.56
index 1986=100		1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000BEH	2000GUN	2002BEH	2002GUN
vervoerd gewicht		100	92	87	93	97	99	102	109	117	115	128
ladingtonkilometers		100	98	90	95	96	98	101	108	115	112	126
"voertuigkilometers"		100	96	89	93	96	99	102	111	118	116	130
energiegebruik		100	96	88	92	95	97	100	107	114	113	125
emissie CO ₂		100	96	87	94	99	98	100	105	112	109	120
emissie NO _x		100	96	88	89	90	91	92	95	101	97	108
gemiddelde afstand		100	106	104	102	99	99	99	100	98	98	98
energie/tkm		100	99	98	96	99	99	99	99	99	100	99
CO ₂ /tkm		100	99	97	98	103	99	99	97	97	97	96
NO _x /tkm		100	99	97	93	94	92	91	88	88	86	86
energie/km		100	100	100	99	99	98	98	97	97	97	96
CO ₂ /km		100	100	98	101	103	99	98	95	95	95	93
NO _x /km		100	100	99	96	94	92	90	86	86	84	83
CO ₂ /energie		100	100	99	102	104	101	100	98	98	97	97
NO _x /energie		100	100	99	97	95	94	92	89	89	86	86

Tabel 5.4 Verkeers- en vervoerprestaties, energieverbruik en emissies op Nederlands grondgebied door weg, binnenvaart en spoor 1986-2002

som	eenheid	1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000BEH	2000GUN	2002BEH	2002GUN
vervoerd gewicht	mln ton	710.2	760.9	776.5	791.1	791.0	809.3	822.7	862.5	911.8	882.4	972.0
ladingtonkilometers	mln tkm	57,295	64,022	65,307	65,888	67,365	69,106	70,564	74,662	78,682	76,555	84,474
voertuigkilometers	mln km	3,873	4,558	4,749	4,585	4,788	4,913	4,961	5,161	5,514	5,300	5,880
energiegebruik	TJ	60,590	68,979	72,252	72,450	74,671	76,703	78,051	81,862	87,017	84,244	93,135
emissie CO2	Kton	4,655	5,267	5,498	5,506	5,675	5,823	5,923	6,208	6,597	6,385	7,057
emissie NOx	ton	73,113	82,211	84,780	81,442	82,057	82,354	81,757	79,346	84,377	77,318	85,499
gemiddelde afstand	tkm/ton	80.7	84.1	84.1	83.3	85.2	85.4	85.8	86.6	86.3	86.8	86.9
energie/tkm	KJ/tkm	1,058	1,077	1,106	1,100	1,108	1,110	1,106	1,096	1,106	1,100	1,103
CO2/tkm	gr/tkm	81.3	82.3	84.2	83.6	84.2	84.3	83.9	83.2	83.8	83.4	83.5
NOx/tkm	gr/tkm	1.28	1.28	1.30	1.24	1.22	1.19	1.16	1.06	1.07	1.01	1.01
energie/km	MJ/km	15.6	15.1	15.2	15.8	15.6	15.6	15.7	15.9	15.8	15.9	15.8
CO2/km	gr/km	1,202	1,156	1,158	1,201	1,185	1,185	1,194	1,203	1,196	1,205	1,200
NOx/km	gr/km	18.9	18.0	17.9	17.8	17.1	16.8	16.5	15.4	15.3	14.6	14.5
CO2/energie	gr/MJ	76.8	76.4	76.1	76.0	76.0	75.9	75.9	75.8	75.8	75.8	75.8
NOx/energie	gr/MJ	1.21	1.19	1.17	1.12	1.10	1.07	1.05	0.97	0.97	0.92	0.92
index 1986=100		1986	1991	1992	1994	1995	1996	1997	2000BEH	2000GUN	2002BEH	2002GUN
vervoerd gewicht		100	107	109	111	111	114	116	121	128	124	137
ladingtonkilometers		100	112	114	115	118	121	123	130	137	134	147
voertuigkilometers		100	118	123	118	124	127	128	133	142	137	152
energiegebruik		100	114	119	120	123	127	129	135	144	139	154
emissie CO2		100	113	118	118	122	125	127	133	142	137	152
emissie NOx		100	112	116	111	112	113	112	109	115	106	117
gemiddelde afstand		100	104	104	103	106	106	106	107	107	108	108
energie/tkm		100	102	105	104	105	105	105	104	105	104	104
CO2/tkm		100	101	104	103	104	104	103	102	103	103	103
NOx/tkm		100	101	102	97	95	93	91	83	84	79	79
energie/km		100	97	97	101	100	100	101	101	101	102	101
CO2/km		100	96	96	100	99	99	99	100	100	100	100
NOx/km		100	96	95	94	91	89	87	81	81	77	77
CO2/energie		100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
NOx/energie		100	99	97	93	91	89	87	80	80	76	76

The Fuel-Cell technology: changing perspectives¹

Auteur:

Harry Geerlings

Erasmus University Rotterdam

Erasmus Center for Environmental Studies

Postbus 1738

3000 DR Rotterdam

tel: 010-408 1886

¹ This paper is based on the book *Towards Sustainability of Technological Innovations in Transport; the role of government in generating a Window of Technological Opportunity* (Geerlings, 1997).

Introduction

Many of the environmental problems caused by transportation are a direct result of the use of hydrocarbon fuels during the operation of transport modes. One of the contributions technology can make to reduce these problems is to have a close look at fuel technology. In this context, the fuel-cell is a promising technology that could significantly reduce the environmental impacts.

This paper analyses the extent to which the development of the mobile application of fuel-cells corresponds to the broadery leading of creating a the Window of Technological Opportunity². Section 1 deal with the history of the fuel-cell and the application possibilities for the transportation sector. Section 2 deals with a number of characteristics of the fuel-cell, such as the technical aspects and the environmental aspects. Section 3 discusses the conditions that have to be met concerning both strategic considerations for the realisation of a Window of Technological Opportunity.

1 The historical context

1.1 *The history of the fuel-cell*

A fuel-cell (FC) can be considered as an electrochemical device that converts, on a direct and continuous basis, the chemical energy of a fuel and an oxidant into electrical energy. The overall electrochemical reaction takes place in the cell electrodes of FCs, primarily between the hydrogen content of the fuel and oxygen from the air. The main difference between an FC and a storage battery is the uninterrupted nature of the fuel and oxidant supply. Similar to a battery, an FC consists of two electrodes - the anode and the cathode - separated by an electrolyte. An FC's clean form of energy production is explained by an isothermal process within the FC, implying that it is not limited by Carnot thermodynamics, as is the case with combustion processes (Blomen, 1989). Consequently, FCs have a high fuel to power conversion efficiency, ranging between 30 and 70 percent (See Figure 1).

The principle of the FC has been known for more then 150 years. It was Grove who started the development of the FC in 1832³, and as early as 1842 he succeeded in developing in his laboratory an experimental prototype consisting of 50 serially connected FCs. The first 'practical' FC device was built in 1889 by Ludwig Mond and Charles Langer using industrial coal gas and air. This promising demonstration led to a growth spurt in the research into the FC, particularly focusing on increasing the output. However, it did not lead to a technological breakthrough. Concerning performance, no single FC could compete with the dominant sources of power of those days: steam, water power and the (emerging) combustion engine.

² The idea of generating a 'Window of Technological Opportunity' is a part of a strategic approach to stimulate sustainability-sound technological development.

³ In an epilogue to an article Grove described an experiment, in which two platinum strips were placed in sulphuric acid, one was brought into contact with hydrogen gas and the other with oxygen gas. By accident he discovered an electrical current between the two strips.

Shortly after World War II, the research was resumed. Most progress was reported in Great Britain, the former U.S.S.R. and Western Germany. In Germany Justi worked on a low-pressure hydrogen-oxygen cell and fused carbonate cells using carbon monoxide and hydrogen. Other promising results were reported by Davtyan in the former U.S.S.R. on high-temperature cells using alkali carbonates. Davtyan's work was a follow-up of the work of Bauer in Switzerland. These results were later improved in Great Britain and the Netherlands.

In 1952, Bacon was able to demonstrate a 5kW system capable of powering a welding machine. Proceeding from an electrolyte of caustic potash (potassium hydroxide solution; KOH) and nickel electrodes, hydrogen and oxygen were mixed at a temperature of 200 °C and at a pressure of 30-40 atmospheres. The success of Bacon's alkaline cell encouraged a strong increase of research into the practical applicability of the FC.

Already at the end of the 1950s, Harry Ihrig of *Allis Chalmers Manufacturing Company* had demonstrated an FC-powered tractor based on the prototype of Bacon. This development led to the first symposium on FCs in 1959, organised by the Gas and Fuel Division of the American Chemical Society in Georgia. One year later the first economic analysis was published, entitled *Fuel-cells Power of the Future* (Harvard University, 1960). From this moment onwards, the interest of companies was raised and systematic research started into the FC's applicabilities.

However, for a variety of reasons of a technical and non-technical nature, FC R&D for terrestrial applications proceeded relatively slowly. It was only in the early 1980s that concrete efforts toward the terrestrial application of FCs were undertaken. The tide definitely turned when the environmental problems linked with conventional sources of energy and the internal combustion engine and the perceived risks linked with nuclear power and nuclear waste became a political item. This development was reinforced by the strategic necessity to have less dependence on important energy sources, which was also becoming a political issue. Since then on numerous occasions electricity-producing companies, distributors of fuels, research institutes, manufacturers and others, in several industrial and industrialising countries, have advocated the formulation of an R&D policy for FCs as a promising alternative.

In the early 1960s, the research was initially focused on the development of large-scale stationary applications for the purpose of electricity supply. This kind of use is known as *on-site application*, in which the FC is used in power stations⁴. Consequently, an important role was reserved for the electricity producing companies and related suppliers like the manufacturers of generators. Motivation for research into small-scale applications followed from defence considerations because the Department of Defence (DOD) in the United States needed relatively small and noiseless sources of energy.

At the same time, the U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) decided to fund research on FC-technologies in order to identify a compact way to generate electricity on board manned spaceships. FCs in space exploration, with their high efficiency, small size and minimal emission, were considered as a promising technological innovation. Besides, the FC would produce water in the reforming process as a by-product, which could be used as drinking-water and cooling water⁵.

⁴ Two other potential fields of stationary application are on-site applications for buildings, like hospitals, schools, offices and military bases, and co-generation of energy for industrial purposes.

⁵ A 1kW PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) was used in the 1965 Gemini space flight. This was the first practical application of the FC. Due to a number of technical defects (instability of the

In a later phase (the end of the 1960s), the applicability of FCs was also explored for mobile (defence) applications such as aircraft and submarines. Nevertheless, the high cost as well as the technical problems became a barrier for a real breakthrough, and the chances of success for the FC in mobile applications were not rated very highly.

The second half of the 1980s saw a renewed increase of interest in the FC. The motivation was no longer solely in the energy characteristics of the FC-technology, but also environmental arguments and political factors became important. This attention led to research into the possibilities of *mobile application* of FC-technology for the purpose of transportation aims⁶. Many of the environmental problems of transportation are a direct result of the use of hydrocarbon fuels during the operation of transport modes. Besides these pollution aspects, and the increasing concern about the effects of these impacts, perceptions associated with crude oil have changed dramatically since the first world oil crises of the early 1970s and the Gulf War of 1991. The need for diversification of industrial activities, conservation of energy and strategic planning have been shaping the direction of R&D towards innovative energy technologies that would have the capability not only to reduce pollution but also to decrease national dependence on uncertain sources of supply. It is for this reason that a great interest in the development of alternative and clean energy generation came into being, the FC being one of the options.

Meanwhile, the FC has a great number of stationary applications and in addition the first (small-scale) mobile demonstration projects are being effected in the transport sector. In keeping with Kondratieff's terminology, some researchers are even tempted to announce the dawning of the *age of electrochemistry* after the *age of fire* (Kelly and Williams, 1992). This optimistic opinion is based on the rapidly advancing technological development in the field of the FC, the globalisation of the world economy which offers a new perspective for experimental technologies, and the increasingly urgent argument concerning the need to attain a sustainable society, given the increasing shortage of energy and the environmental problems.

1.2. A competitive technology?

As stated in the introduction of this study, damage to the environment caused by traffic and transportation, especially the emissions to the air during the use of the various modalities, is a source of increasing concern. It is for this reason that there was an urgent need to look for alternatives in order to achieve a reduction of the emissions. The 'end-of-pipe' solutions, like the three-way catalyst, have yielded important results. Another focal point concerns the measures directed at reducing the loss of energy that occurs (this is mainly heat during energy conversion processes). In the transportation sector, where the Internal Combustion Engine

membrane, the costly platinum and the low power density), it was necessary to find an alternative. The alkaline FC (AFC), as developed by Bacon, became such an alternative. Technologies developed by *United Technology Corporation* (UTC) were used during the Apollo flights. For the Space Shuttle flights in the 1970s and 1980s, FCs were developed by UTC and *International Fuel Cells* (IFC).

⁶ Here one should think of the application of FCs in the field of road transport (lorries and private cars). At a later stage, water transport and rail transport could be considered.

Vehicle (ICEV) is the basis of the transportation system, the output (performance, efficiency) of the conversion processes is very small (varying from 5 percent to 15 percent).

It is for this reason that Van de Veer and Van Gerven (1993) argue that a great deal of the energy loss can be avoided by taking the electro-chemical process as a starting-point for the generation of energy, instead of the combustion process, as has been usual up until now. This is because the heat that is released in this process can immediately be used efficiently. This creates a closed system (circuit) which can increase the output by 30 percent to 80 percent. This high output in the transportation sector can be achieved by means of the introduction of the Electric Vehicle (EV) powered by fuel-cells (FCEV).

In competition with battery power. The concept of the electric vehicle, using battery power, has been the focus of attention for quite some time. The battery technology works on the principle of electrical energy being supplied by a chemical reaction. The amount of energy that a battery can supply is determined by the amount of chemical reactant stored in the battery itself. The reactant, which can consist of different compounds, ceases to supply energy when the chemical reactant is used up. In the case of rechargeable batteries, this chemical reactant can be regenerated by means of an external source of energy, after which the reactant can be used again for the generation of energy.

All car manufacturers are involved with consortia that apply themselves to researching, developing and producing batteries. In the United States, three large car manufacturers, General Motors, Ford and Chrysler, cooperate in the consortium *United States Advanced Battery Consortium* (USABC) which aims at developing a commercially feasible battery technology. The USABC's budget is US\$ 262 million for a five-year period, evenly distributed between the government and trade and industry.

Also, the car manufacturers have developed initiatives based on a battery technology using a specific type of chemical reactant. It is striking that several of the actors working on battery technology are also involved with the development of FC-technology. A case in point are companies such as the *Electric Power Research Institute (EPRI)*, *Westinghouse* and *Allied Signal*.

The research into battery technology takes place on a wider basis than merely the United States. The research priorities of the European Commission are: a) the development of cheap, lightweight and compact storage media; b) battery improvement aimed at developing low cost batteries with rapid charging capability; c) optimum rating of the diesel engine and the demonstration of alternative motor configurations for hybrid vehicles⁷.

Currently, battery technology is technically unable to store a sufficient amount of energy in units of reasonable size and weight. Moreover, there appear to be great differences between the characteristics of the various types of reactant that makes it unclear which type will eventually be used on a large scale. Recently, the lithium battery has been mentioned as being an energy carrier of great potential because the technical aspect as well as the economic aspect of lithium show a favourable combination of a high electrochemical potential, and a low equivalent of weight. Moreover, lithium is lightweight and it is also the most reactive metal

⁷ The priorities of research and policy are concerned with the integration of the electric motor (for use on short distances and in cities) and the conventional motor (for long distances). This is called the concept of hybrid vehicles.

but, as opposed to other batteries, lithium is not yet developed enough for use in transportation. This is why, despite high expectations, the results of the R&D efforts concerning the battery powered electric vehicle (BPEV) are disappointing. Experts say that if there is to be a large-scale introduction of battery technology, this will not take place before the year 2010. It is for this reason that a fervent search is taking place for alternative possibilities to power the EV, one of which is the FC. Compared with battery technology, the FC shows important advantages in the following areas: a) its electrical efficiency, b) the characteristic presence of current in the energy supply (as opposed to the battery, whose characteristic is storage) and, coupled to this, c) the flexibility of the fuel consumption: the FC can use different sources of energy for the conversion of chemical energy into electrical energy as long as fuel and oxidants are added to the electrodes.

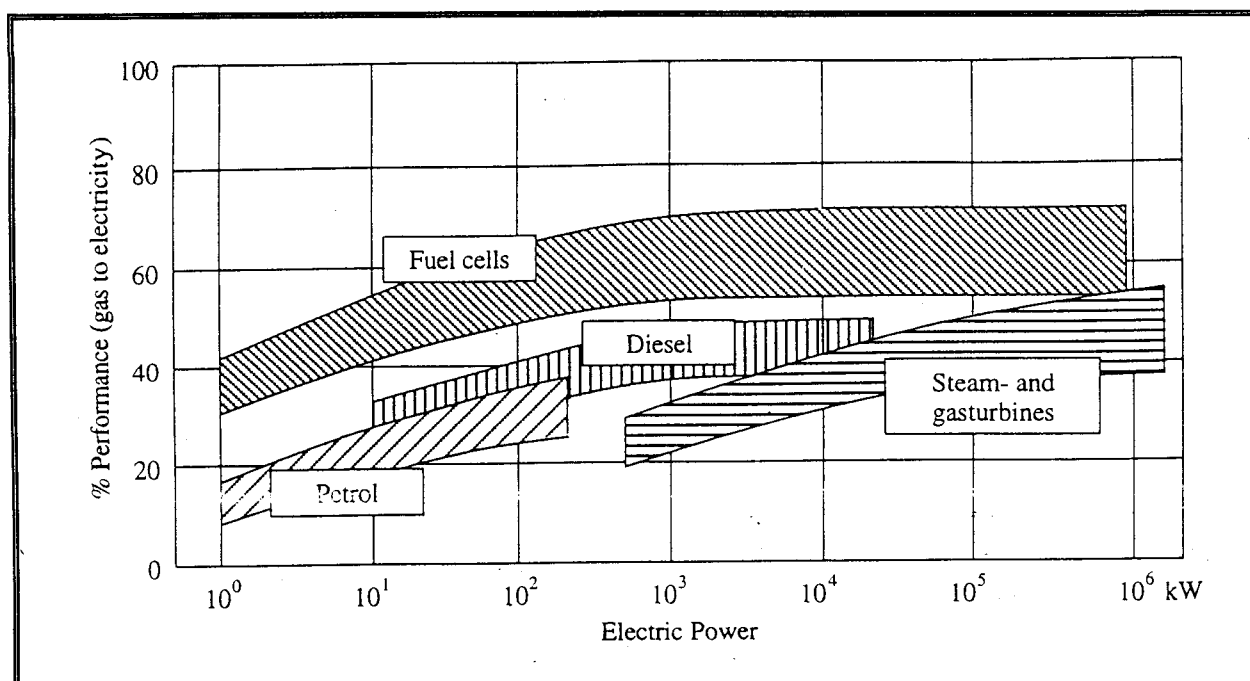
In competition with internal combustion. For the application of the FC in the transportation sector a number of specific requirements have to be met because the development of the technology occurs in competition with the currently dominant ICEV. Moreover, even greater results will be achieved by incremental improvements to the conventional ICEV. International competition is an important stimulant in this respect - take for example the Japanese car manufacturers who were the first to succeed in developing an engine that can meet the very strict Californian Ultra-Light-Electric-Vehicle (ULEV)-standards. Other technologies that could still contribute to the improvement of the ICEV are those which can play a part in system modernisation. One should think of flywheel technology, turbo-generators, development of hybrid vehicles, using catalytic processes etc. Concerning the heavier applications, the steam turbine generator is noted as being a promising option. An interesting development is the car developed by Greenpeace in 1996⁸, which proves that even by applying existing knowledge and technologies, a 35 percent improvement of performance can be achieved in comparison with the existing ICEV.

From the environmental point of view, there is great pressure for the rapid application of the FC in passenger cars. In absolute terms, the pollution caused by transportation is significant and plays a dominant role in the public debate as well as in the requirements laid down in the Clean Air Act. This law states that by 1998 2 percent of new cars must meet the so-called 'zero-emission' standard, which means that when used, the cars are not allowed to produce emissions. It does not appear to be possible to reach this objective by means of employing system optimising technology, based on the use of fossil fuels. This objective can be attained only by using system modernising technology such as the electric car).

This makes the FC's perspectives look good, in particular because of the high output (performance) compared with other (energy carriers) fuels.

⁸ The car carries the name SMILE, which stands for SMart, Intelligent, Light and Economic.

Figure 1 Energy efficiency of different systems



Source: Van der Veer and Van Gerven, 1993

In order to analyse the applicability of the FCs in the transportation sector it is important to know how much power the FCs can yield. Their application in *heavy-duty vehicles* (lorries, boats, buses and locomotives) demands a minimum of 200kW while for *lightweight vehicles* (private cars and delivery vans) 70kW is sufficient.

Because the FC is being developed as a technology derived from its stationary applications in power stations, the first prototypes for transportation purposes are relatively heavy, large and costly. The systems also yield a relatively large capacity of energy. This was also the case with the first demonstration projects carried out in buses⁹. In order to serve the commercially attractive passenger vehicles market, the challenge for R&D subsequently focused on the process of down-scaling and down-sizing. However, this process has taken place very rapidly.

2 The potentials of fuel-cell technology

2.1 The state of development

In undertaking the overview and current development of FC-technology, it is important to point out that there is more than one type of FC-technology and each technology differs in characteristics, development progress and potential applicability. The classification of the FC-technologies could be based on their working ambient temperature or according to the atmospheric pressure of operation. Further classification is determined by the fuels and/or oxidants used and by the nature of the electrolyte used. In this study for practical purposes the classification used is based on the type of electrolyte used. The electrolyte type is instrumental

⁹ The first applications of FCs took place in articulated buses: the rear of these buses was entirely taken up with the technical installation.

in determining the FC-type and its operating temperature (Kordesch and Simader, 1995; Woods and Benjamin, 1995).

At the present there are four types of FC in development which are close to being commercialised. These are:

- The Polymer Electrolyte Membrane Fuel-cell (PEMFC)
- The Phosphoric Acid Fuel-cell (PAFC)
- The Molten Carbonate Fuel-cell (MCFC)
- The Solid Oxide Fuel-cell (SOFC).

Two promising types of FCs, but as yet far from being ready for commercialisation, are the Acid Fuel-cell (AFC) and the Direct Methanol Fuel-cell (DMFC)¹⁰.

Generally, the problems of FC-applications in transportation concern the heavy weight as well as the large size. Earlier it was argued that these problems would only be of a temporary nature because the manufacturers have put in great R&D efforts aimed at down scaling and down sizing, with promising results¹¹.

Furthermore, the temperature of FC operation is important for the intended application. For example, high temperature conditions benefit the combined heat and power generation application. Low-temperature FC-technologies are the indicated choice for transport applications because they enable short start-up times. Low temperature FCs are also safer for transport applications. The usage of clean fuels and in particular the usage of hydrogen are important preconditions for low-temperature FC operation. Finally, the desired temperature level determines the selection of materials for most FC-technologies (IACT, 1996).

For transportation purposes, safety considerations demand the lowest possible temperature. The operating temperatures differ greatly between the various types of FC. The PEMFC has a running temperature of 80°C. The AFC works at 100°C, the PAFC at 200°C, the MCFC at 650°C and finally the SOFC at 650-100°C.

It is striking that, when the various types are compared, the PAFC turns out to be the one furthest developed and it is already commercially deployed in stationary applications. Improvements only appear to be possible in the field of reliability. The low power density as well as the relatively large size are the problems of the PAFC. Together with the high cost of the electrolyte that is used as well as the high running temperature, the possibilities for implementation in transportation appear to be limited.

The MCFC-technology is still struggling with a number of technical problems such as corrosion of the electrode and the separator plate, the power density is too low, and problems with the supply and the removal of heat because of the high temperature and the liquid

¹⁰ The DMFC could become an optimal application for electric vehicles. From 1960-1970 Shell and Exxon studied the DMFC extensively. Unfortunately, the current density obtained was much too low because of the high over-potential of the CH₃OH anode. Also, the operation of the Pt-Ru catalyst soon declines due to self-contamination. The achieved current density of only 15mA/cm² at 0.5V at 60°C was not enough for the required performance. Recently, Hitachi in Japan and the European Commission have initiated renewed investigations of the DMFC (Ketelaar, 1993).

¹¹ The demonstration projects with FC installations in buses, showing an 80 percent reduction in size compared to the first prototypes, are a good example.

electrolyte. All of these problems increase the safety risks. It seems unlikely that the MCFC will eventually be applied in transportation.

The SOFC is a type of FC that has various designs each with their own specifications, depending on the manufacturer (Westinghouse, Allied Signal, etc.). A common characteristic of all SOFC-prototypes is the use of a thick electrolyte (which makes it very costly). For the time being, the SOFC is aimed at a stationary application, but application in transportation is not ruled out. It is true that the SOFC has a high operating temperature but it uses a solid electrolyte. This removes a number of difficulties that apply to the MCFC. Another advantage of the SOFC's application in transportation could be the fact that the fuel can be reformed internally, which makes the engines both smaller and simpler.

The AFC's applications are solely restricted to space travel application and they are not mentioned in the surveys as being commercially attractive.

The most likely candidate for implementation in the transportation sector is the PEMFC, because it concerns a lightweight FC with a solid electrolyte as well as a low running temperature. The fuel is reformed externally, because the operating temperature is too low for this to occur within the cell. The PEMFC is thought ideal for application in private cars, where weight and size play an important part. At a later stage, application in lightweight vehicles might be possible. There still are a number of specific problems with the water balance and with the leakage of gas through the electrolyte. Then there is the problem of CO contamination of the catalyst, but this problem will soon be averted by technical adaptations of the fuel supply.

Table 1 compares the various FCs in terms of their technical specifications and possibilities for application.

Table 1 Main fuel-cell types/systems

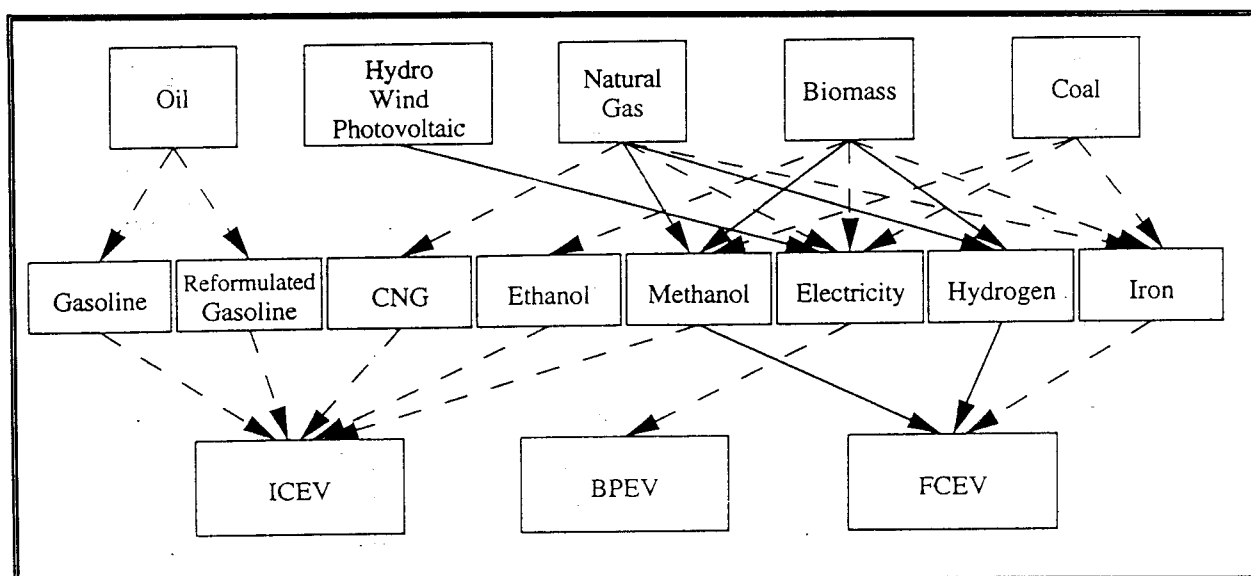
FC type	Electrolyte used	Major application potential	Fuel used	Estimated commercialisation	Operating temperature °C	Stack efficiency future (expected)
Phosphoric Acid (PAFC)	concentrated phosphoric acid	dispersed electric, cogeneration systems	natural gas	1995	170–210	55%
Molten Carbonate (MCFC)	mixture of molten carbonates ($\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3$)	dispersed electric central power, cogeneration systems	natural gas and coal	1996–1998 2000+	600–650	65%
Solid Oxide (SOFC)	ceramic solid $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$	on-site cogeneration central power, dispersed electric	natural gas and coal	2002	1000	60%
Polymer Membrane, Solid Polymer, Electrolyte (SPE, PEMFC, SPFC) (PEFC)	polymer membrane	electric vehicles, space, military, stationary power	methanol and hydrogen	1998–2005 2005+	80–200	60%
Alkaline (AFC)	aqueous KOH solution	electric vehicles, space, military, chemical industry	hydrogen	2005+	80–120	65%

Based on: IACT, 1996

The process of power generation of the FC requires the deployment of a fuel. The preferred fuel in nearly all types is hydrogen (H_2) because it reacts fast and easily. Moreover, no other noxious substances are emitted during the reforming process. The reason that hydrogen, although a promising option, is not actually used yet, is mainly because of technical, economic and safety reasons (there is a safety risk in both its storage and the use). Moreover, the application of hydrogen is restricted by the fact that it will require drastic changes in the infrastructure. For the time being, hydrogen will have to be considered as a secondary source of energy that comes into being with the conversion of other (primary) sources of energy. So, the production of hydrogen also involves pollution. That is why all hopes are set on a breakthrough in the field of nuclear fusion because that would make the chances of a 'hydrogen economy' into a serious option. It is for this reason that in stationary applications the chosen fuel is mostly natural gas. Here natural gas is adapted to the FC. This process takes place with the aid of steam.

The options for the choice of fuel in the FC for application in transportation are still open. Methanol could be an attractive option and it has good properties that facilitate its use, however, the fuel system on board the vehicle is complicated. At present there is research being carried out in the U.S. into the possibility of using diesel and synthetic fuels (DOE, 1993). If the findings of the study are positive, this will also offer opportunities for application in heavy duty vehicles. Finally, there is research into the possibility of using LNG and LPG as fuels. These researches also appear to be promising.

Figure 2 Alternative energy options for passenger transport



Source: Kelly and Williams, 1992

2.2 Technical performance

Figure 2 shows that each type of FC has its own technical specifications; the PEMFC appears to meet the transportation sector's requirements best. It is for this reason that this section will stress the PEMFC.

The PEMFC-technology can make it possible for car manufacturers to produce a vehicle that will be safer to drive, with no or low emissions, with the capability to consume energy from secure sources and with a cost structure comparable to that of the ICEV's. This is partly due to the fact that the PEMFC is primarily developed for transportation application and can achieve energy efficiencies up to 60 percent and has high power densities (more than 1 W/cm², according to Appleby, 1992).

The main reason according to Hörmandinger (1996) why PEMFCs are not yet widespread is that they are at an early stage in their development, so until recently the cost was prohibitive for any real-world application. However, this might change as progress continues to be made in material science, engineering techniques and in the development of better system designs. For example, while the platinum catalyst implied a major cost burden until recently, the amount of platinum required has been reduced significantly in the last few years from a total of 4mg/cm² to less than 0.4 mg/cm², down to values as small as 0.1 mg/cm² (Swathirajan, 1994) or even 0.05 mg/cm² (Prater, 1994; Barbir, 1994), so the cost of the catalyst is no longer a prohibitive factor. New, cheaper polymer materials have been developed for use as a membrane electrolyte. The bulky and expensive graphite bipolar plates are being replaced by metallic ones that are made of cheaper materials as well as being easier to manufacture. These metallic plates also play a role in the reduction of the volume and consequent increase of the power density that has been reported recently. There is now an FC-engine for a bus that fits

into the engine compartment of the diesel drive it replaces (Prater, 1994). Recently, a power density of 1kW/l has been achieved (Prater, 1995) which implies that the threshold for use in automotive applications has been crossed.

2.3 Environmental impacts

Energy use and impacts. The strict environmental laws in the State of California are an important incentive for the development of the electric vehicle. Chapter 2 indicated that it is sensible to distinguish, during the operational stage of the vehicle, between global effects, non-global effects and quality-of-life aspects. The Clean Air Act standards are particularly aimed at reducing the non-global emissions during the use of the vehicle.

Trials with the FC show a number of big advantages, especially compared with the state-of-the-art ICEV technology, and show that it can contribute to reducing the environmental impacts during the use of the vehicle.

The FC shows a good performance within all three categories of effects. The *global pollution* is reduced, by means of reductions of both CO₂ and NO_x by more than 80 percent (ETSU, 1992; E.U., 1992). Moreover, because of the large-scale conversion into technologically high quality installations, the conversion is relatively clean and reductions of CO₂ and NO_x of respectively 0-20 percent and 10-40 percent can be realised. However, an important fact is that secondary energy carriers are deployed during its use. The energy generated in this earlier process also releases emissions.

The *non-global pollution* is also substantially reduced. CO and SO₂ emissions will be reduced by more than 40 percent, emissions of VOCs and HCs by more than 50 percent and the emission of particles by more than 80 percent.

When comparing the *quality-of-life* aspects one of the lesser external aspects can be noted. It is expected that the sound level will be reduced by 0-2dB per vehicle, while the vibrations will diminish by more than 80 percent. Worryingly, experience with a number of pilot projects shows that noiseless transportation causes a trade-off with pedestrian safety. Therefore, if no counter measures are taken, the number of pedestrian victims will increase by 12-24 percent. However, working against this trend is the fact that, because the average speed of the vehicles will be lower, the number of victims of motorists will probably decrease - and so far that matter will the number of motorists' deaths and injuries.

The above analysis is limited to the use of the FC. It is to be expected (see Section 1.) that from the view point of the concept of sustainability, the aspect of scarcity of certain types of electrolytes will influence the possibilities of implementation of the different types of FC-technology. Yet, it is unclear how this aspect of shortage/scarcity will eventually manifest itself.

Another important aspect to consider is any change in the infrastructure that will be necessary when the FC is introduced on a large scale. However, the use of the existing infrastructure (roads, railways) will not change, and neither will the external effects linked with this, such as fragmentation of the landscape, visual intrusion and accessibility. Neither is large-scale introduction expected to lead to a changing supra-structure (changes in behaviour, lifestyle, etc.) and *vice versa* the influence of the supra-structure on the use of the infrastructure will not

be changed by the introduction of the FC. Still adjustments of the infrastructure may have to be made, especially in relation to safety standards for the distribution of energy carriers.

3 The fuel-cell: a great future?

3.1 *The strategy framework*

The development of the FC-technology for the transportation sector is to a considerable extent dictated by an environmental heuristic.

From a technological-dynamic perspective, there is, in the first place, a 'technology pull', as the Clean Air Act sent out a clear signal regarding the environmental requirements that the technological innovations in the transportation sector in California had to meet. Despite the public debate and the resistance of the car manufacturers, an innovation process developed aimed at meeting such indicated standards. Priority was especially given to the reduction of non-global emissions.

For a long time, the development of the BPEV seemed to be a promising technological trajectory for the reduction of non-global pollution as, through the process of energy transformation, the non-global emissions would be practically eliminated.

The failings of the battery technology with, on the one hand, the changing social circumstances (Gulf War, U.S. energy policy) and, on the other hand, the perspectives of FC-technology, made the attention shift towards a technology push. The FC, already being familiar from its (successful) stationary uses, was embraced as a promising technology that could meet the requirements of the CAA despite the fact that the development of the technological trajectory for FCEV had moved forward far less than was the case for BPEV. In Japan and Europe, too, it was understood that FC-technology was a serious development as a result of which international technological cooperation projects came into being right from the start.

In summary, the most important positive environmental characteristics of the FC in transportation applications are:

In comparison with ICEV:

- approved negligibly low non-global 'tailpipe' emissions¹²,
- expected less CO₂ per unit energy from electrochemical power generation systems than per unit energy from fossil fuel based power-generation systems,
- safe and comfortable, with the same driving characteristics as conventionally driven vehicles,
- low noise and low vibration during operation

In comparison with BPEV:

- highly efficient ('well to wheels'),

Uncertainties exists about:

¹² The U.S. Department of Energy (DOE) fuel-cell bus was evaluated during the demonstration phase. Identified emissions were: trace NO_x and hydrocarbons and zero particulates. The FC was operated with natural gas.

- the total impacts in the global environment due to upstream-downstream effects. The FC-technology embraces no structural reduction of CO₂ emissions.
- the life-cycle effects of FCs. Currently, there is a shortage of some types of electrolyte. FCs are not likely to be discarded after use due to the high value of certain recyclable components, but an alternative would still be welcomed. The life-cycle analysis (LCA) of the alternatives is uncertain.
- the life-cycle effects of the fuels used.

For that matter, there will be no trade-offs or side-effects, as discussed in Chapter 2, with the introduction of the FCs, which makes the introduction of the FC very desirable from the sustainability point of view.

3.2 *Prospects for implementation*

The strategy which as introduced by Geerlings (1996) contains a number of general and specific conditions which the policy has to meet and a number of steps according to which the objectives of the policy can be realised. The government's role as a director is used to indicate which policy objective can be set, proceeding from the sustainability concept, and it also has a role as a co-actor in the realisation of this objective.

In the innovation process associated with FC-technology, government responsibilities are changing in a dynamic process. This can partly be explained by the shift of attention in the FC-innovation process from the R&D stage (with special emphasis on fundamental research), via pilot and demonstration projects (with an applied-scientific nature) and commercialisation (with the focus on economic aspects), to its implementation (i.e. from an environmental and transportation perspective). The question is what significance this shifting emphasis has for the strategy, which, despite the various complexities, will lead to the realisation of the concept of Window of Technological Opportunity (WTO).

The FC-powered vehicle has to be considered as a realistic option. Firstly, it will be possible to develop such a vehicle that will be safe and comfortable to drive and provide all the other amenities of a conventional gasoline-powered automobile. Secondly, it is designed to produce virtually no global and non-global pollution. Thirdly, the vehicle should consume only energy from secure sources, and finally the driving costs are likely no more than those of the traditional automobile. A vehicle with these characteristics would be attractive to many markets throughout the world.

Nevertheless, there are still many barriers that prevent the fast dissemination of FC-technology. Caerlsmith *et al.* (1989) mention structural barriers, such as the distortion in the present fuel prices, uncertainty about future prices, limited access to capital, government fiscal and regulatory policy, existing codes and standards and infrastructural limitations. Some of these aspects need further elaboration.

It has to be noted that fundamental research into the FC was in particular aimed at its application for energy-production companies in relation to its use in the energy generating industry. From a technological-dynamic perspective, the FC can be considered an 'enabling technology', which means that though the technology was initially developed for one purpose, it has at a later stage become used in related sectors, i.e. the transportation sector. It is therefore to be expected that the technological trajectory needs to be adjusted according to the particular use of the FC.

A number of imperfections are of a technical nature. The uncertainties constitute a barrier in the FC's competition with the internal-combustion engine. As to R&D, priority must be given to make the FC as well as its reformer easier to use and less costly. Realisation of the environmental heuristic paves the way for entrance to a 'niche' market.

Moreover, a number of economic conditions have to be satisfied as the production costs are currently too high to enable the FC to be commercialised. This adverse effect is further reinforced by the fact that, on the one hand, the availability and quality of alternative fuels have not yet been established, and, on the other hand, the current cost structure of the energy carriers does not reflect their actual cost price.

A major point of attention in this respect should be that cost reduction will lead to a spin-off to other industrial sectors and high-technology devices may be expected to contribute materially to a country's exports and to a favourable trade balance.

All these barriers can hamper and delay the penetration and dissemination of FC-technology. It is obvious that the present legislation is considered in the context as a barrier in the sense that it preserves the existing situation.

Therefore at this stage it is crucial that governments develop a strategy to stimulate the implementation of the FC. A political vision is a powerful instrument to bring together the many dispersed competencies and disciplines required for the commercialisation of the FC, thus avoiding overlap of activities and allowing an efficient use of available resources. A common commercialisation strategy is highly desirable in view of the importance of this technology for energy savings and clean energy conversion, the impact it may have on employment in the long term and industrial competition on the world scale.

Williams (1993) argues that for the introduction strategy of the FC it is best to start from the energy use as the main factor. He subsequently distinguishes three phases. The significance of hydrogen is the starting-point, as this energy carrier is the determining factor for attaining the stated heuristic (see also Dutch Ministry of Economic Affairs, 1992).

The strategy consists of three phases:

Table 2 Introduction strategy

Phase 1	Introduction of the FC, using LPG and natural gas, generating hydrogen
Phase 2	Switchover to methanol as source for generating hydrogen
Phase 3	Switchover to solar and/or wind energy as source for generating hydrogen

It has to be noted that the classification is based on the technological and energy competencies which can only be realised in relation to social and infrastructural issues (the socio-technical configuration).

Despite the optimistic analysis, some caution is called for. Earlier it was indicated that a number of issues still need to be settled. The government's conception of its task and its strategy are important in this respect. The government can contribute pro-actively by bringing

together the various key actors and can play a facilitating part in this (adhering to standards, backing experiments, etc.). This actually underlines its role as director.

But what matters is the acceptability by the market that has to take over the distribution of FC-technology, as a result of which the government, being responsible as co-actor, can take a step back.

Moreover, successful implementation of the FC does not only depend on competition on the basis of sustainability requirements. There is also competition with ICEV with respect to sustainability objectives. In this innovation competition, the actors are partly similar, from the side of both the government and the private sector, and there are huge vested interests. The outcome of this selection process is very uncertain.

It can, however, be argued that the process, whatever the outcome may be, will bring closer a more sustainable transportation system. If this occurs, it should not be forgotten that it is a result which will have come about in a cooperation process between the government and the private sector in which the government has indicated what sustainability is understood to mean.

From the perspective of the concept of the Window of Technological Opportunity it can be concluded that the environmental aspects of the FC are fully recognised. Still there is a need for a well-defined strategy to stimulate the large-scale implementation of sustainably-sound innovations in this area of technology, because for the moment the favourable prospects for FC-technology depend too much on a fortunate coincidence of events and unforeseen developments.

References

Appleby, A.J. and F.R. Foulker (1992) *Fuel Cell Handbook*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Arthur D. Little (1995) *Report of Fuel Cell Technology for Transportation Applications: Status and Prospects*.

Blomen, L.J.M.J. (1989) Fuel Cells: A review of fuel cell technology and its applications. In: T.B. Johansson, T.B., Bodlund, B. and R.H. Williams (eds.) *Electricity-Efficient end use and the new generation technologies - their planning implications*. Lund University Press, Lund.

Caerlsmith, R.S., W.U. Chandler, J.E. McMahon and D.J. Santini (1989) *Energy Efficiency: How Far Can We Go?* Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.

Geerlings, H. (1996) Technological innovations in the transport sector; the need for cooperation to meet environmental interests. *Transportation Planning and Technology*. Vol. 19, pp. 235-245.

Geerlings, H. (1997) *Towards Sustainability of Technological Innovations in Transport; the role of government in generating a Window of Technological Opportunity*. Erasmus University, Rotterdam.

Hörmandinger, G. and N.J.D. Lucas (1996) Is clean enough? The influence of environmental externalities on markets for fuel cells in transport. *Transportation Research D*. Vol. 1D (1), pp. 63-78.

Hydrogen Newsletter (1993) Vol. VIII (6).

International Association of Clean Technology (1996) *Fuel Cell Report II: Brennstoffzellen Technologien und Strategien de Zunkunft*. IACT, Vienna.

Kelly, H. and R.H. Williams (1992) *Fuel cells and the future of the U.S. Automobile*. Office of Technology Assessment, Washington D.C.

Kordesch, K.V. and G.R. Simader (1995) Environmental Impact of Fuel Cell Technology. *Chemical Review*. Vol. 71, pp. 191-207.

Prater, K.B. (1994) Polymer electrolyte fuel cells: a review of recent developments. *Journal of Power Sources*. Vol. 19, pp. 129-42.

Prater, K.B. (1995) *SPFC fuel cells for transport and stationary applications*. Paper for 4th Grove Fuel Cell symposium, London.

Swathirajan, S. (1994) *General Motors program on fuel cell R&D for vehicles*. Paper for Fuel Cell Seminar, San Diego.

U.S. Department of Energy (1993) *National Program Plan Fuel Cells in Transportation*. Executive Summary, Office of Propulsion Systems and Energy Conservation, Washington D.C.

Veer, J.H.C. van der and R.J.F. van Gerwen (1993) Brandstofcellen. *Energietechniek*, no.2.

Williams, R.H. (1993) *Fuel Cells, Their Fuels and the U.S. Automobile*. Center for Energy and Environmental studies, Princeton University, Princeton. Paper presented to The First Annual World Car 2001 Conference, June 20-24. (This paper has also been presented under the title *Fuel cells and their fuels for transportation* at the University of Utrecht, 1993).

Williams, R.H. and E.D. Larson (1988) Materials, Affluence and Industrial Energy Use. In: *Annual Energy Review*. Vol. 12, pp. 99-144.

Woods, R.R. and Th.G Benjamin (1995) Economic Analysis of Fuel Cell System Options in Cogeneration Applications. *International Journal of Global Energy Issues*. Vol. 7 (3/4), pp. 122-136.

Hoe het wegdek de belangrijkste “bron” van voertuig-geluid is geworden

Auteur:

D.F de Graaff

M+P Raadgevende ingenieurs b.v.

Postbus 344

1430 AH Aalsmeer

tel: 0297-320651

fax: 0297-325494

1. SAMENVATTING

Het geluid van wegverkeer is de belangrijkste bron is van hinder door milieuverontreiniging voor de Nederlandse bevolking. Het Europese beleid om deze hinder te beperken is tot nu gericht geweest op bronreductie aan voertuigen. Hiertoe zijn in de afgelopen 25 jaar de grenswaarden voor typekeuring met gemiddeld 11 dB(A) verlaagd. Een wereldwijd onderzoek van de I-INCE heeft aangetoond dat het effect van dit beleid op het verkeersgeluid tot nu toe uitermate teleurstellend is.

Aan de hand van recente meetresultaten wordt aangetoond dat de belangrijkste reden hiervoor is dat niet het voertuig, maar het band-wegdek contact de belangrijkste bron van wegverkeersgeluid is, zowel in buitenstedelijke als binnenstedelijke situaties. Het wegdek heeft hier duidelijk het grootste potentieel om het rolgeluid te reduceren.

Het onderzoek naar geluidsarme wegdekken staat nog in de kinderschoenen, maar het is nu al duidelijk dat er met bestaande technologie een significante reductie van het verkeersgeluid mogelijk is en dat een verdere reductie zeker in het verschiet ligt. Diverse akoestisch geoptimaliseerde wegdekken zijn al op kleine schaal aangelegd en geven ter plaatse een geluidsreductie van 5 tot 10 dB(A).

Deze ontwikkelingen geven aan dat het Nederlandse beleid met betrekking tot de toepassing van geluidsarme wegdekken een terechte aanvulling vormen op de 25 jaar bronreductie van voertuigen: het is nu tijd om aan de weg te timmeren!

2. INLEIDING

Diverse onderzoeken hebben aangetoond dat het geluid van wegverkeer veruit de belangrijkste bron is van hinder door milieuverontreiniging voor de Nederlandse bevolking [1]. In Europa worden 125 miljoen!! mensen ernstig gehinderd door verkeersgeluid [2].

Het Europese beleid om deze hinder te verminderen, is de afgelopen 25 jaar gericht geweest op bronreductie aan voertuigen. Alle voertuigen worden hiertoe onderworpen aan een typekeuring, waarbij het geluid wordt gemeten van een volgas accelererend voertuig. De hierbij toegestane grenswaarden worden regelmatig aangescherpt. Afhankelijk van het voertuigtype is de gemiddelde grenswaarde met 11 dB(A) gereduceerd (fig. 1). Als gevolg hiervan is de gemiddelde geluidsproductie van voertuigen tijdens typekeuringsomstandigheden met circa 6 dB(A) gereduceerd.

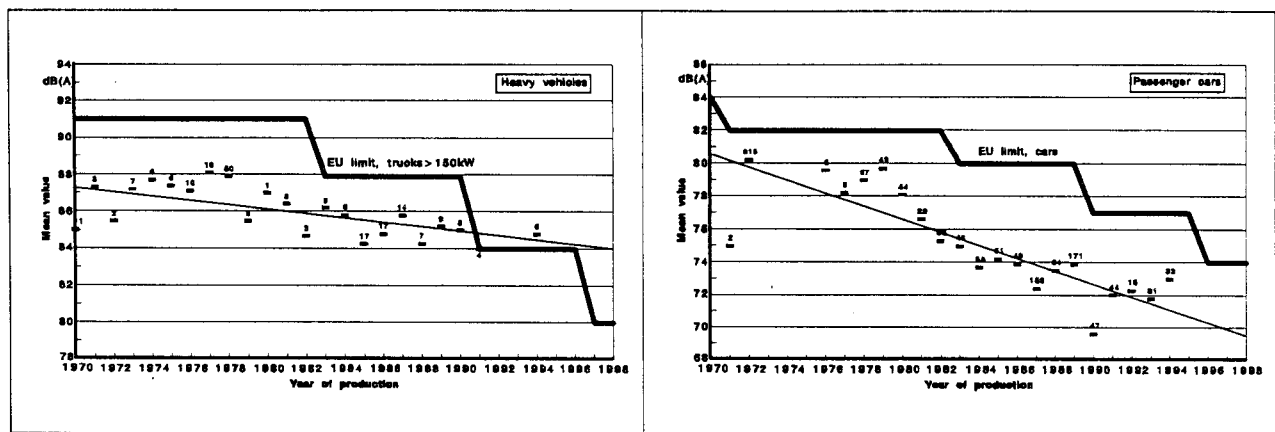


Fig. 1 Gemeten geluidsniveaus en grenswaarden tijdens de typekeuring, ontwikkeling in de tijd volgens een Noors onderzoek (overgenomen uit [3]). De meetpunten representeren gemiddelde waarden uit het door het cijfer aangeduide aantal metingen.

Een I-INCE commissie heeft onlangs een wereldwijd onderzoek gedaan naar het effect van dit beleid op het verkeersgeluid [3],[4]. Gecorrigeerd voor de groeiende verkeersintensiteit, was er sprake van een lichte toename van het geluid van personenauto's op snelwegen en een lichte afname van het geluid van vrachtwagens in binnenstedelijke situaties. De overige categorieën en omstandigheden waren niet significant gewijzigd.

De reden voor deze teleurstellende resultaten moet met name worden gezocht in de slechte representativiteit van de typekeuring voor de omstandigheden zoals die in de praktijk een rol spelen bij de geluidsofwekking van wegverkeer. De volgas acceleratie tijdens de typekeuring is bedoeld als een "worst case" benadering voor stedelijke situaties, waarbij de drijflijn de dominante geluidsbron is. Het is algemeen aanvaard dat bij hogere rijsnelheden het rolgeluid van banden dominant wordt boven het geluid van de drijflijn (motor, uitlaat e.d.). De rolgeluidniveau's van banden zijn over de afgelopen 50 jaar niet wezenlijk afgenomen. Het mag dan ook geen bevreemding wekken dat verlaging van grenswaarden tijdens typekeuringsomstandigheden niet leidt tot verlaging van de geluidsemissie op snelwegen. De geringe reductie in stedelijk verkeer is wel verbazend en de mate van representativiteit van de typekeuring voor stedelijke omstandigheden is momenteel onderwerp van een wereldwijde discussie.

3. BRONNENONDERZOEK VERKEERSGELUID

Categorie onderzoek: geluidmetingen aan de kant van de weg

Door M+P zijn metingen uitgevoerd in de berm van de weg, met als doel de (wijziging van de) geluidsemissie van voertuigcategorien op een standaard DAB 0/16 wegdek vast te stellen. Hierbij zijn meer dan 2000 voertuigen op 11 locaties in Nederland bemeten. Figuur 2 laat zien dat, hoewel de A-gewogen emissie van wegverkeersgeluid niet is gewijzigd, de spectrale samenstelling van de emissie een significante wijziging vertoont.

- Laagfrequent is er sprake van een forse reductie. In dit gebied zijn typische drijflijn gebonden geluidsbronnen zoals de uitlaat en inlaat dominant. De emissie van deze bronnen is duidelijk gereduceerd (mede als gevolg van de aanscherping van de grenswaarden).
- Hoogfrequent is er sprake van een lichte stijging. In dit gebied is rolgeluid dominant. Door het gebruik van steeds zwaardere auto's met bredere banden is hier de emissie gestegen (brede banden zijn gemiddeld luider dan smalle banden).

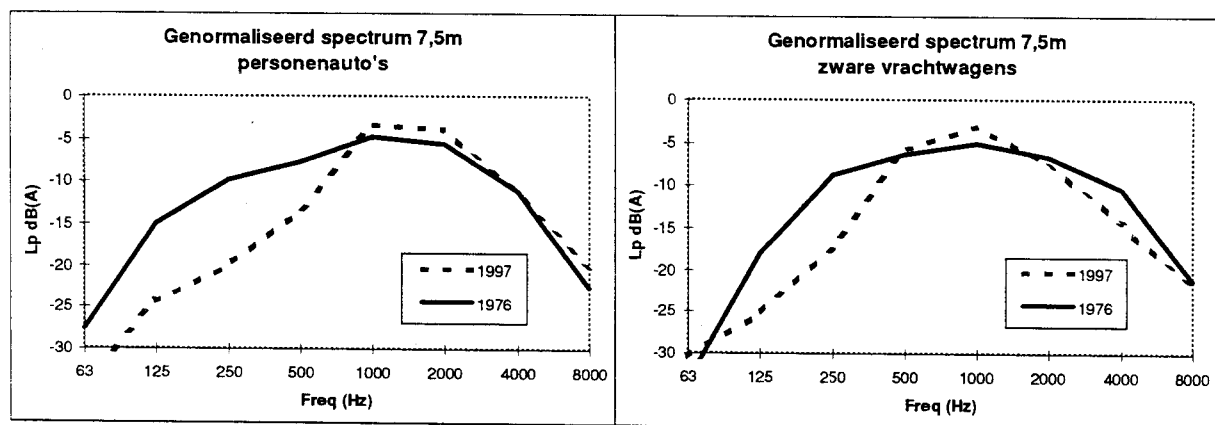


Fig. 2 Spectrale verandering van de emissie van wegverkeersgeluid

Detailonderzoek: geluidmetingen meerrijdend met individuele voertuigen

Recentelijk [5] zijn door M+P metingen uitgevoerd aan diverse individuele personenauto's met benzinemotor. Het doel van deze metingen was om te bepalen wat de verhouding is van rolgeluid en drijflijn geluid onder de omstandigheden zoals die in de praktijk het verkeersgeluid bepalen.

Per voertuig zijn tijdens het rijden continu de volgende vijf signalen geregistreerd: gasklepstand, motortoerental, voertuigsnellheid, rolgeluidemissie en drijflijn geluidemissie. Deze laatste twee signalen zijn herleid uit geluidmetingen in het nabijheidsveld en de betreffende overdrachtsfuncties naar 7,5 meter afstand (inclusief kruisverbanden).

Met de voertuigen zijn ritten in het normale verkeer uitgevoerd in drie verkeerssituaties: stadsverkeer (snelheidslimiet 50 km/h), buitenweg (snelheidslimiet 50 en 80 km/h) en snelweg (snelheidslimiet 100 en 120 km/h). Verder zijn er twee rijstijlen aangemeten: "net als iedereen" en "sneller dan de meeste anderen". De ritten in stadsverkeer zijn een combinatie van het rijden over wijkontsluitingswegen, rijden in woonwijken en stadscentrum verkeer (veel stop en go).

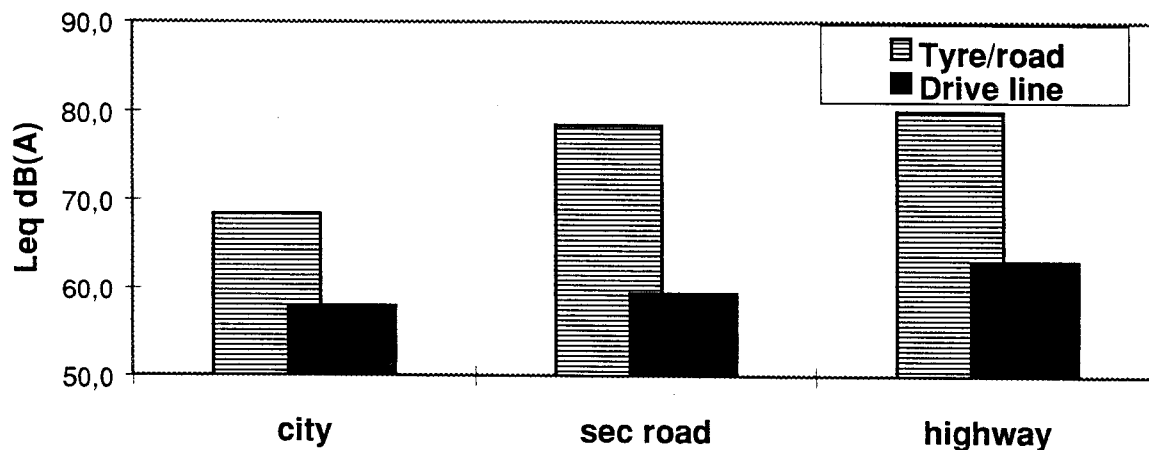


Fig. 3 De totale equivalente geluidsemissie per verkeerssituatie, uitgesplitst naar de deelbronnen rolgeluid en drijflijn geluid; gemiddelde voor alle onderzochte personenauto's.

In figuur 3 is te zien dat het rolgeluid dominant is in alle onderzochte verkeerssituaties; niet alleen bij op snelwegen en buitenwegen, hetgeen algemeen aanvaard is, maar ook in stedelijk verkeer!

Deze laatste conclusie werpt een geheel nieuw licht op de bestrijding van verkeersgeluid in stedelijke situaties. Tot voor kort werd aangenomen dat een verlaging van het drijflijn geluid (middels typekeuringen) automatisch zou leiden tot een verlaging van de geluidsemissie van wegverkeer in stedelijke situatie. Met dit onderzoek is duidelijk geworden dat ook in stedelijk verkeer het rolgeluid aanzienlijk moet worden gereduceerd alvorens een verdere verlaging van drijflijn geluid effect zal hebben op de equivalente geluidsemissie van wegverkeer. Overigens is dit onderzoek (nog) niet uitgevoerd aan andere voertuigen dan personenauto's met benzinemotor. De indruk bestaat dat bij andere voertuigen, met name vrachtwagens in stedelijk verkeer, het rolgeluid minder uitgesproken dominant is boven het drijflijn geluid. In buitenstedelijk verkeer blijft ook hier het rolgeluid dominant.

In figuur 4 is een voorbeeld van een gemeten geluidssignaal in stedelijk verkeer gegeven. In figuur 5 is de geluidsofopwekking in stedelijk verkeer nader geanalyseerd als gemiddelde van alle voertuigen. In figuur 5a is te zien dat de voertuigen bijna 50% van de tijd minder dan 25 km/h rijden. In figuur 5b is te zien dat de geluidsemissie bij deze lage rijsnelheden dermate veel lager is dan bij hogere snelheden, dat de betreffende bijdrage aan de totale equivalente geluidsemissie slechts 5% is. Verder is te zien dat het rolgeluid duidelijk de dominante geluidsbron in stedelijk verkeer is.

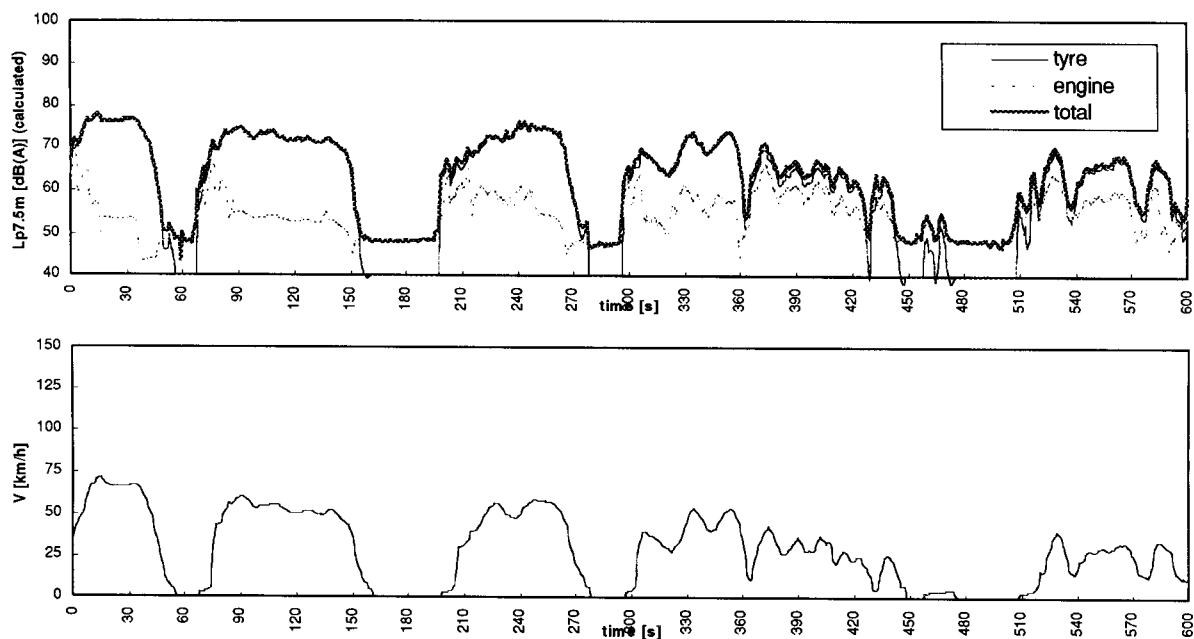


Fig. 4 Voorbeeld van een gemeten tijdssignaal van geluid en snelheid in stedelijk verkeer. Voertuig Volkswagen Golf.

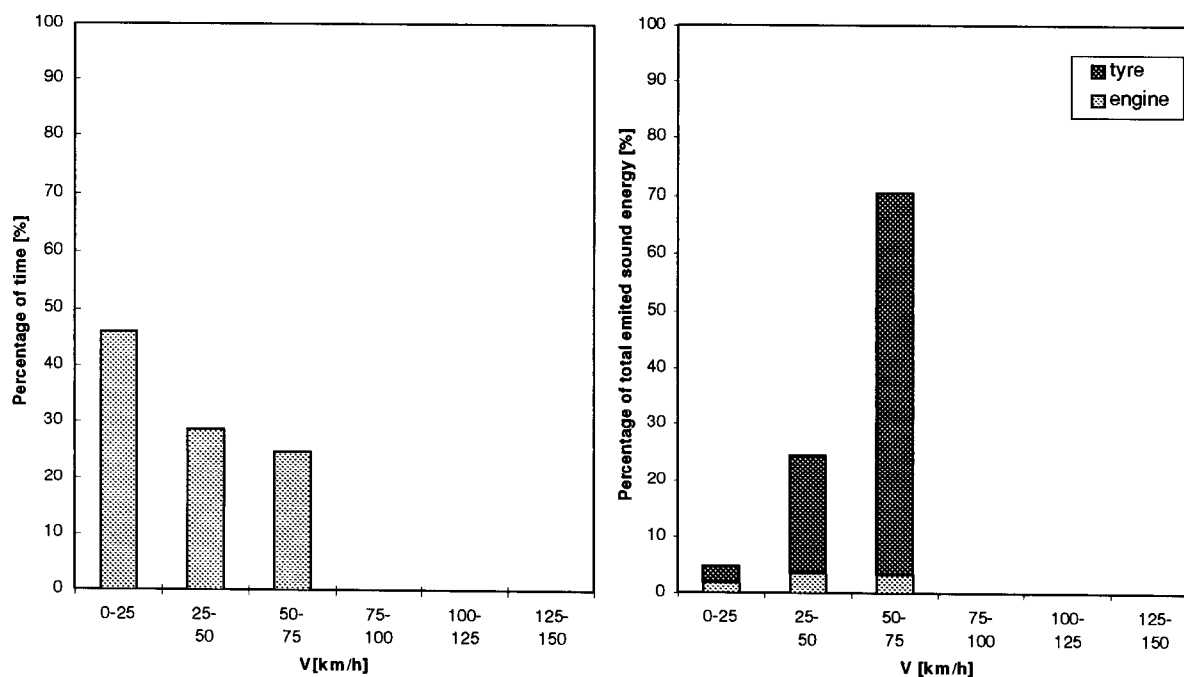


Fig. 5 Nadere analyse van de geluidsofwerking in stedelijk verkeer; rijstijl "net als iedereen".
 5a) percentage van de totale rijtijd dat een bepaalde snelheid wordt gereden.
 5b) het percentage van de totale geluidsemissie uitgesplitst naar snelheid en deelbron
 Snelheden lager dan 25 km/h vertegenwoordigen 50% van de rijtijd, maar slechts 5% van de geluidsemissie. Rolgeluid overheerst vanaf snelheden vanaf circa 20 km/h.

4. INVLOEDSFACTOREN BAND/WEGDEK GELUID

Rolgeluid wordt opgewekt door de interactie tussen band en wegdek. Zonder afbreuk te doen aan de vele ingewikkelde mechanismen die een rol spelen bij de geluidsofopwekking (bijv. [6]), kunnen er in hoofdzaak twee mechanismen worden onderscheiden die van belang zijn bij de reductie van rolgeluid binnen de speelruimte van de huidige stand der techniek:

- Door textuur (oneffenheden) aangestoten bandtrillingen. In het algemeen geldt: hoe kleiner de macrotextuur (in het golflengte bereik $l > 1$ cm) des te lager het geluidsniveau.
- Aerodynamisch geluid opgewekt in de kleine holtes tussen bandprofiel en wegdek. In het algemeen geldt hoe groter de micro textuur ($l < 1$ cm) des te groter de holtes en des te lager het geluid.

Deze mechanismen houden verband met de volgende band- en wegdek parameters:

- textuur van de band
- textuur van het wegdek
- dynamische eigenschappen van de band (met name breedte maat, hoogte/breedte verhouding en karkas stijfheid)
- akoestische absorptie van het wegdek.

M+P heeft onderzoek uitgevoerd [7] naar de interactie van bandeigenschappen en wegdekeigenschappen met betrekking tot de potentiële geluidsreductie. In figuur 6 is te zien dat hier sprake is van een duidelijke positieve interactie: stille banden zijn extra stil op geluidsarme wegdekken en viceversa. Anderzijds is er weinig onderscheid tussen een stille band en een luidruchtige band als deze over een lawaaiig wegdek rollen. Zo is er ook weinig onderscheid tussen geluidsarme wegdekken en luidruchtige wegdekken als hierover en lawaaiige band rolt.

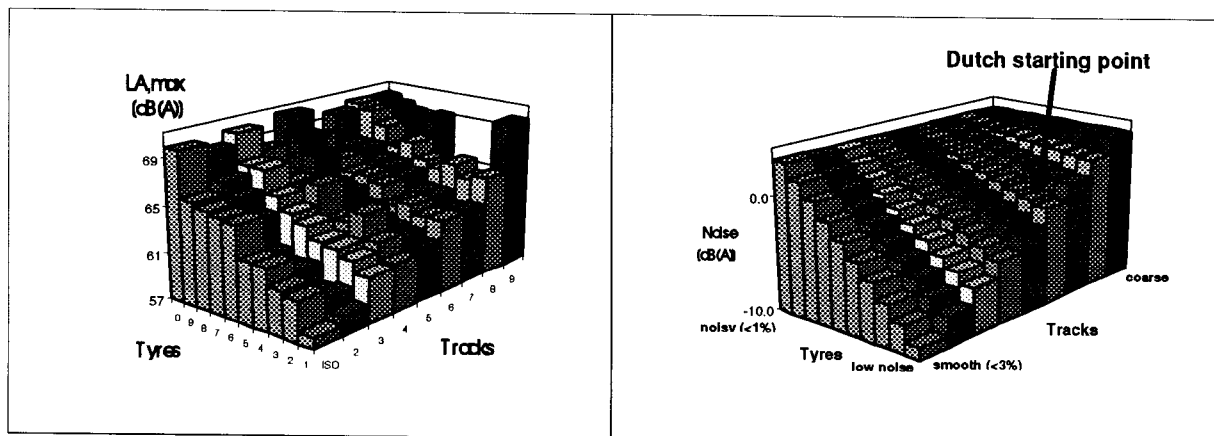


Fig. 6. Rolgeluidsniveau van 10 banden gemeten op 9 wegdekken. A) metingen B) interpretatie

De totale technisch beschikbare range, van geluidsarm tot luidruchtig, bedraagt voor zowel banden als wegdekken ruim 10 dB(A). Gemiddeld over Nederland is het aantal lawaaiige banden (Off the Road banden met een grof noppenprofiel) minder dan 1% en het aantal

geluidsarme wegdekken minder dan 3%. Dit betekent dat de gemiddelde band al relatief stil is en dat het gemiddelde wegdek nog relatief luid ten opzichte van de meest geluidsarme stand der techniek. Een voorzichtige schatting van de, met de huidige stand der techniek, te behalen geluidsreductie is:

- banden: 1½ dB(A)
- wegdekken: 6 dB(A)

Dit betekent dat het wegdek de belangrijkste invloedsfactor is om het verkeersgeluid te verminderen.

5. ONTWIKKELING GELUIDSARME WEGDEKKEN

Bij de ontwikkeling van geluidsarme wegdekken zijn er twee "stromingen" te onderscheiden: de dichte wegdekken en de poreuze wegdekken [8].

De werking van de geluidsarme dichte wegdekken is met name gebaseerd op een zo optimaal mogelijke textuur. In deze categorie vallen met name de SMA (Steen Mastiek Asfalt) wegdekken met steengradaties 0-6 mm en 0-8 mm. Deze wegdekken combineren een lage macro textuur met een grote microtextuur. Ten opzichte van het standaard wegdek DAB 0/16 (Dicht asfalt beton met steengradatie 0-16 mm dat standaard in Nederland wordt toegepast) hebben deze wegdekken een geluidreductie tot 2½ dB(A). Deze wegdekken reduceren alleen het rolgeluid en niet het drijflijngeluid. Omdat bij lage snelheid het drijflijngeluid belangrijker wordt neemt de geluidsreductie van deze wegdekken af bij lage snelheid.

De geluidreductie van poreuze wegdekken is gebaseerd op hun akoestische absorptie. Zowel het rolgeluid als het drijflijngeluid wordt geabsorbeerd. Daarom hebben poreuze wegdekken ook bij zeer lage snelheden een geluidreducerende werking. Het traditionele ZOAB 6/16 zoals dat op veel snelwegen is aangelegd, heeft naast een goede absorberende werking echter ook een zeer grove oppervlaktetextuur. Dit betekent dat de geluidreducerende werking deels teniet wordt gedaan door een hoger aanstootniveau. De snelheidsafhankelijkheid van de diverse mechanismen zorgt er voor dat de geluidreductie van ZOAB bij zeer lage snelheden en zeer hoge snelheden 3 a 4 dB(A) bedraagt, terwijl rond 50 km/h slechts sprake is van een reductie van ca. 1 dB(A).

Het dubbellaags ZOAB 4/8-6/16 is een verdere akoestische optimalisatie van het standaard ZOAB. Bij de wegdek is zowel de textuur geoptimaliseerd als de absorptie beter afgestemd op de feitelijk te onderdrukken frequentiecomponenten. Ten opzichte van DAB 0/16 geeft dubbellaags ZOAB een geluidsreductie van 4 tot 6 dB(A) over het gehele snelheidsbereik. Dit wegdek is de afgelopen jaren op een aantal proeflokaties uitgetest en wordt in steden al op uitgebreidere schaal toegepast. Binnenkort zullen ook enkele rijkswegen op grotere schaal worden voorzien van dubbellaags ZOAB (bijv. A4 gedeelte Rijswijk- Delft noord).

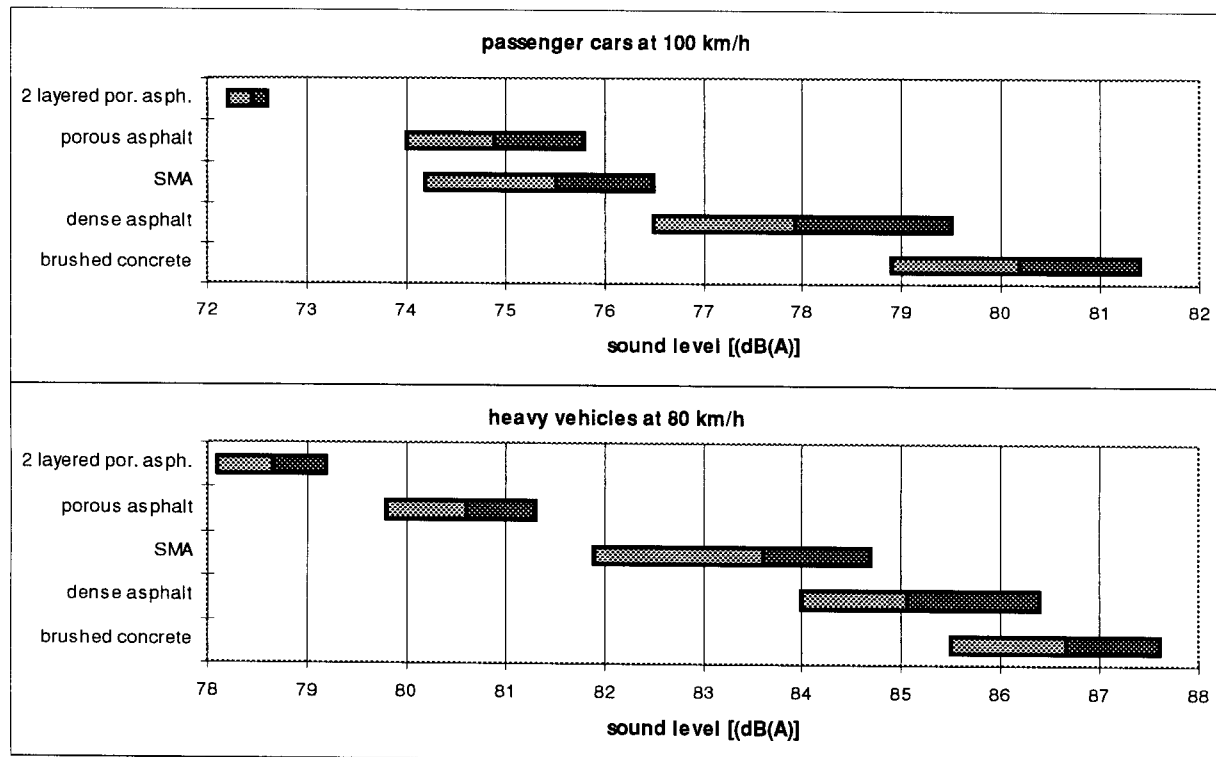


Fig. 7 Geluidsniveau van verschillende wegdekken, gemeten met de SPB methode (ISO 11819-1)

6. VOORUITZICHTEN

Op laboratorium schaal wordt momenteel gewerkt aan een verdere optimalisatie van het dubbellaags ZOAB. De eerste metingen op proeflokaties geven indicaties dat het geoptimaliseerde dubbellaags ZOAB nog eens 1 tot 2 dB(A) stiller is, zodat de totale geluidreductie ten opzichte van DAB 0/16 uitkomt op 5 tot 8 dB(A). De research gaat echter nog verder. Momenteel worden de eerste modellen gevormd voor wegdekken die nog een stap verder gaan. Geluidsreducties van 10 dB(A) moeten met deze nieuwe concepten mogelijk zijn.

Voor de drie belangrijkste “bronnen” (voertuig, banden en wegdekken) wordt in Europees kader gewerkt aan een verbeterd systeem van typekeuringen:

- Voor voertuigen wordt gewerkt aan een gewijzigde meetmethode die de representativiteit van de bestaande typekeuring voor praktijkomstandigheden moet verbeteren.
- Voor banden is de invoering van een type keuring tot in een vergevorderd stadium voorbereid.
- Voor wegdekken zijn adviezen gelanceerd om ook tot een Europees geharmoniseerd systeem van typekeuringen te komen. Een tweetal standaard meetmethoden worden in ISO verband uitgewerkt. Dit zijn de SPB meetmethode: ISO(CEN) 11819-1 en de (binnenkort verwachte) trailer meetmethode: ISO 11819-2

7. CONCLUSIES

Rolgeluid is de belangrijkste bron van wegverkeersgeluid van personenauto's, zowel in buitenstedelijke als in binnenstedelijke situaties. Vanaf snelheden van ongeveer 20 km/h is het band-wegdek geluid dominant boven het drijflijngeluid. Voor andere voertuigcategorien is deze conclusie nog niet kwantitatief onderbouwd.

Binnen de speelruimte van de huidige stand der techniek is de bereikbare geluidsreductie van wegdekken vele malen groter dan van banden. Het wegdek is daarmee de belangrijkste invloedsfactor voor de reductie van wegverkeersgeluid.

Op dit moment zijn er wegdekken beschikbaar die het verkeersgeluid reduceren met 4 tot 6 dB(A) ten opzichte van het standaard wegdek. Naar verwachting is er voldoende ontwikkelingspotentieel aanwezig om wegdekken nog aanzienlijk stiller te kunnen maken.

Deze ontwikkeling geeft aan dat het Nederlandse beleid met betrekking tot stille wegdekken een terechte aanvulling vormt op het Europese beleid met betrekking tot stille voertuigen.

Referenties

1. **H.M.E. Miedema, R.G. de Jong, C.H.J.M. Opmeer;** "Hinder door milieu verontreiniging in Nederland", Ministerie VROM DGM, Publikatie reeks verstoring nr. 8/1995, Maart 1995.
2. **A. von Meier;** "Europe's environment 1993 noise pollution"; M+P report EG.93.1.1 prepared for the european commission DG XI; jan 1994
3. **Sandberg, U.;** "Noise emission of road vehicles, effect of regulations" I-INCE publication 95-1 in Noise/News International, Juni 1995;
4. **A. von Meier;** "Geluidemissie van wegvoertuigen, wat is het milieurendement van internationale regelgeving?"; Geluid no. 1/96; Maart 1996
5. **D.F. de Graaff, G.J. van Blokland;** "Level of driveline noise and tyre/road noise of passenger cars in urban and sub-urban driving, a pilot study"; M+P rapport MVM.95.3.1; Juni 1997
6. **G. Roik;** "Reifen/Fahrbahn Geräusche - Entstehungsmechanismen und Einflussgrößen"; VDI Tagung "Innovative Ideen zur Minderung der Kfz-Rollgerausche"; Juni 1996
7. **D.F. de Graaff, G.J. van Blokland;** "The effect of low noise road surfaces on the noise of truck tyres"; ICA Trondheim Norway, June 1995
8. **G.J. van Blokland, W. van Keulen;** "Stand der techniek geluidarme wegdekken"; VBW-asfalt no.4/1996;

De toekomst van de vrachtwagendieselmotor

Auteur:

J. Kruithof

DAF-Trucks N.V.

Ontwikkelingsafdeling

Postbus 90065

5600 PT Eindhoven

tel: 040-2142 575

De ontwikkeling van de dieselmotor voor het wegtransport is de laatste jaren hoofdzakelijk gedreven door de emissiewetgeving. Deze bepaalt de introductiedata van nieuwe motorengeneraties, aangezien hiermee de toelating tot het wegverkeer moet worden zekergesteld. Binnen een bepaalde ontwikkelingsstap bepalen echter aspecten als brandstofverbruik, specifieke prestaties, onderhoudsgevoeligheid en het minimaal handhaven van levensduur en betrouwbaarheid de uiteindelijke acceptatie door de gebruiker.

De gasvormige- en deeltjesemissie van zware dieselmotoren voor vrachtwagens in Europa wordt gereguleerd door de zgn. 13-mode cyclus. Dit is een stationaire cyclus welke in het begin van de tachtiger jaren is ontwikkeld, en die bestaat uit 13 belasting-toerencombinaties waarbij de emissie worden gemeten. Op basis van het rijgedrag van vrachtwagens in Europa in die tijd worden de gemeten waarden gewogen, en het resultaat wordt uitgedrukt in gram per kilowatt-uur voor de betrokken emissiecomponenten.

Voor dieselmotoren zijn NO_x en deeltjes de belangrijkste bestanddelen van het uitlaatgas. In het algemeen bestaat er een afwegingspatroon tussen deze componenten, zodat een vermindering van NO_x resulteert in een toename van de deeltjesuitstoot. Dat geldt zelfs des te meer voor de trade-off tussen NO_x en brandstofverbruik. Naast de economische factor wordt hiermee tevens een emissiefactor beïnvloed, aangezien iedere kg verbruikte brandstof resulteert in een uitstoot van 3 kg CO_2 , en daarmee een bijdrage levert aan het broeikas effect. Daarom vereist iedere verdere verlaging van NO_x het invoeren van nieuwe technologieën in de dieselmotor ter compensatie van de toename in de particulatesemissie en het brandstofverbruik, en vormt daarmee de belangrijkste graadmeter voor de dieselmotorontwikkeling (zie fig. 1).

Uitgaande van een basisniveau van ca. 18 g/kWh NO_x in 1984 heeft de huidige "EURO-II"-wetgeving de grenswaarden teruggebracht tot 7 g/kWh NO_x . De deeltjeslimiet, die eerst in 1992 is geïntroduceerd met 0,36 g/kWh is inmiddels teruggebracht tot 0,15 g/kWh. DAF-Trucks behoorde tot de eerste truckfabrikanten die EURO-II motoren kon aanbieden. Tot nu toe, met inbegrip van de EURO-II limiet, heeft DAF-Trucks deze verlagingen kunnen realiseren met mechanische systemen, dus zonder elektronische regelingen. Gezien de zeer conservatieve markt voor bedrijfswagens, welke een zeer laag acceptatieniveau voor elektronica vertoont, kan dit als een voordeel worden gezien.

Om dit te kunnen realiseren was een veelomvattend ontwikkelingsprogramma benodigd voor het verbrandings- en inspuitsysteem, gezien de beperkte vrijheden die met hydraulisch-mechanische middelen mogelijk zijn. Een complicerende factor hierbij is dat de beschikbare parameters een aanzienlijke interactie met elkaar vertonen. Intensief gebruik maken van statistische procedures bleek hierbij zeer behulpzaam te zijn om uiteindelijk een optimale combinatie te vinden.

De volgende stap in de emissiewetgeving zal EURO-III zijn, welke volgens de huidige verwachtingen eind 1999/begin 2000 zal worden ingevoerd. Hierbij zal een nieuwe cyclus worden geïntroduceerd, waarin de veranderingen in het gebruikspatroon in het hedendaagse bedrijfswagenpark zijn verwerkt. Ook zullen naar verwachting de limieten weer een forse verlaging te zien geven. De daaropvolgende stap wordt verwacht in 2004/2005, met opnieuw een aanpassing van de testcyclus en een verdere verlaging van de limieten (fig.2).

Door de wetgever worden deze ontwikkelingen vaak gestimuleerd door middel van bijvoorbeeld subsidies om vooruitlopend op de wetgeving reeds milieuvriendelijke voertuigen aan te schaffen. Ondanks de sympathieke achtergrond dient men hierbij wel te beseffen dat deze volgende emissiestap met de technologie van vandaag moet worden gerealiseerd, hetgeen in het algemeen ten koste gaat van de prestaties. Mede daardoor gaat hier om een betrekkelijk gering aantal motoren die naast de "gewone" motoren ontwikkeld moeten worden.

Het gevolg hiervan is dat op het moment dat de betreffende wetgeving echt in werking treedt, e.e.a. nog eens overnieuw gedaan kan worden om met de dan wel beschikbare technologie een motor op de markt te zetten die voor de "gewone" klant acceptabel is. Dat betekent in de praktijk een verdubbeling van de benodigde ontwikkelingscapaciteit.

Bovendien riskeren de fabrikanten, wanneer op vermeende marktvoordelen van deze zgn. "incentives" te gemakkelijk wordt ingespeeld, dat bij de wetgever de indruk zou kunnen ontstaan dat men wellicht de lat niet hoog genoeg heeft gelegd, en dat leidt een volgende keer tot irreële verwachtingen t.a.v. de haalbare grenswaarden. Zo langzamerhand echter raken de mogelijkheden uitgeput om op relatief eenvoudige wijze nog incentives te kunnen realiseren, en zijn voor verdere stappen compleet nieuwe technologieën nodig die dus niet vooruitlopend toepasbaar zijn. Deze situatie dreigt reeds op te gaan treden bij de invoering van de volgende emissiestap, EURO-III dus.

Om aan de toenemende eisen te kunnen voldoen zal dus fors geïnvesteerd moeten worden in de verdere ontwikkeling van de zware vrachtwagendieselmotor.

In de eerste plaats zijn het verbrandings- en inspuitsysteem de voornaamste kandidaten voor verdere ontwikkeling, door middel van:

- Hogedruk-inspuiting in combinatie met meergatsverstuivers
- Low-swirl cilinderkoppen in combinatie met brede, ondiepe verbrandingskamers
- Beperking van het olieconsumptie teneinde de deeltjesemissie laag te houden.

De invoering van vierkleps-cilinderkoppen moet in alle gevallen worden gezien als een basis voor alle verbeteringen. Los van de verminderde spoelverliezen welke het gevolg zijn van de verbeterde doorstroomeigenschappen is het grote voordeel van een vierklepskop gelegen in een verticale centrale plaatsing van de verstuiver in de verbrandingskamer. De verbetering van het verbrandingsproces ten gevolge hiervan heeft minstens een zelfde effect als de vermindering van de spoelverliezen.

Met de nieuwe cilinderkop kan het brandstofverbruik met 4 a 5 % worden verlaagd bij konstante NO_x-uitstoot. Omgekeerd kan bij gelijkblijvend brandstofverbruik de NO_x-uitstoot aanmerkelijk worden gereduceerd. In alle gevallen kan het rookcijfer zeer laag worden gehouden.

Zoals reeds gezegd zal voor EURO-III een nieuwe testcyclus worden geïntroduceerd, omdat de bestaande 13-mode cyclus niet meer representatief is voor het huidige gebruik van dieselmotoren in zware vrachtwagens. Eén van de voorwaarden voor een goede testcyclus is dat deze representatief is voor het gebruik in de praktijk. In fig. 3 wordt het resultaat getoond van een studie die is uitgevoerd naar de tijdsgemiddelde toerental- en belastingsverdeling bij een groot aantal bedrijfswagens in Duitsland en Engeland. De figuur vertoont een karakteristieke "double-T"-verdeling waarbinnen de motor meer dan 85 % van de tijd wordt gebruikt.

Een andere eis is dat een nieuwe cyclus geschikt moet zijn om om te gaan met nieuwe technologieën die in de voorzienbare toekomst zullen worden geïntroduceerd, zoals uitlaatgasrecirculatie en/of uitlaatgasnabehandeling.

De nieuwe cyclus, die door de industrie is ontwikkeld in samenwerking met de overheid, is opnieuw een steady-state cyclus, echter met gewijzigde belasting-toerencombinaties en andere weegfactoren. Ter vermijding van "cycle-by-passing" wordt de keuringsinstantie de mogelijkheid geboden om drie extra willekeurige meetpunten te kiezen binnen het bedrijfsgebied van de motor.

Daarbovenop is een step-load bij drie motortoerentallen geïntroduceerd om de rookstoot te controleren die optreedt bij lastopname van een dieselmotor.

Voor EURO-III zal een nieuw inspuitstelsel benodigd zijn om tegemoet te komen aan de eisen die door het verbrandingssysteem worden opgelegd. In dit kader zullen elektronica en hogedruk-brandstofinspuiting uiteindelijk ook hun weg vinden naar de DAF-motoren.

Om een keuze te kunnen maken werd in eerste instantie een vergelijking gemaakt van alle mogelijke inspuitstelsels. Als resultaat heeft DAF-Trucks voor de heavy-duty-toepassingen op korte- en middellange termijn gekozen voor het Bosch PLD-systeem. Dit systeem bezit alle kwalificaties voor EURO-III: mogelijkheden tot flexibele inspuitstrategie en geschikt voor hoge inspuitdrukken.

Vergeleken met unit-injectorsystemen zijn de inbouwvoorwaarden van PLD-systemen reeds bijzonder gunstig, aangezien de noodzaak ontbreekt om bovenliggende nokkenassen te introduceren.

DAF-Trucks heeft echter het originele concept aangepast door zelfs niet de aandrijfnok voor de unit pomp te integreren in de bestaande nokkenas, maar door de oorspronkelijke lay-out van de brandstofpompaandrijving te handhaven met een separate behuizing voor de PLD-nokkenas en groepering van de pompelementen in deze behuizing. In fig. 4 is de installatie van het systeem op de motor te zien.

Een licht nadeel is de lengte van de inspuitleidingen, maar onze berekeningen hebben aangetoond dat een bevredigend inspuitverloop mogelijk is, zij het met een iets hoger pompaandrijfsvermogen.

Uit deze figuur van de PLD-motor is te zien dat het PLD-systeem à la DAF, dat inmiddels UPEC is gedoopt, kan worden beschouwd als een "grote lijnpomp" opzij van de motor.

Voor lichtere dieselmotoren betekent het PLD-systeem een te hoge investering. In dit segment is een elektronische geregelde hogedruk rotatiepomp zoals de Bosch VP-44 de juiste keuze.

Het ultieme systeem voor toekomstige ontwikkelingen na EURO-III lijkt echter het CommonRail-systeem te zijn. Het grote voordeel van het systeem is dat de inspuitdruk vrij kan worden gekozen onafhankelijk van belasting en toerental van de motor. Daarnaast kunnen voorinspuiting en gedeelde inspuiting worden gerealiseerd, hetgeen de mogelijkheid biedt om het verbrandingsproces een meer gewenste vorm te geven.

Ook zijn de inbouwvereisten voor een CommonRail-systeem zeer gunstig, aangezien voor de aandrijving geen hoge koppels benodigd zijn. In dit kader geeft de keuze die is gemaakt voor de lay-out van het PLD-systeem nu de flexibiliteit om zonder enig probleem op het CommonRail-systeem over te gaan indien zou blijken dat dit het systeem van toekomst is.

De installatie van een CommonRail-systeem lijkt dus geen al te groot probleem te worden. De echte problemen schuilen natuurlijk in de mechatronica en het regelsysteem.

Het zal echter duidelijk zijn dat zelfs indien gebruik wordt gemaakt van de meest flexibele en hoogwaardige inspuitstelsels, er een grens is aan het potentieel van motorinterne maatregelen ter verlaging van het emissieniveau.

Daarom zullen aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn om tegemoet te komen aan nog zwaardere eisen t.a.v. emissiereductie. In dat opzicht wordt de zware vrachtwagendieselmotor nu geconfronteerd met de drempel die reeds jaren geleden is overschreden door de ottomotor, namelijk de introductie van motorexterne emissiereductiesystemen als uitlaatgasrecirculatie en/of uitlaatgasnabehandeling. Door toepassing van dergelijke systemen kan een verdere grote stap in het terugdringen van de uitstoot van dieselmotoren worden verwacht. Zonder dergelijke technologieën zijn NO_x -waarden die onder 5 -5,5 g/kWh liggen niet zonder een voor de klant onacceptabele brandstofverbruiksverslechtering te bereiken.

Omdat echter deze technologieën bij de invoering van EURO-III nog niet beschikbaar zullen zijn zou de wetgever er verstandig aan doen om de grenswaarden voor NO_x niet lager dan dit niveau vast te leggen, en dan voor de volgende stap in 2004/2005 een verder forse verlaging

tot 2,5 a 3 g/kWh door te voeren, welke dan met motorexterne maatregelen gerealiseerd zou kunnen worden (zie fig. 5).

Als eerste stap vormt uitlaatgasrecirculatie de meest logische keuze. In ottomotoren, en zelfs in sommige personenwagendieselmotoren wordt EGR reeds toegepast. Toch is de invoering van EGR bij zware vrachtwagendieselmotoren een heel andere zaak, en wel om de volgende redenen;

- In de eerste plaats in de belasting van een vrachtwagenmotor veel zwaarder dan bij een light-duty motor, hetgeen resulteert in een hoger roetgehalte van de uitlaatgassen. Aangezien de testmethode representatief is voor het gebruik dicteren de weegfactoren dat EGR ook bij vollast dient te worden toegepast om aan de eisen te voldoen, in tegenstelling tot de light-duty motor.
- EGR moet worden gekoeld om een acceptabele trade-off tussen NO_x en brandstofverbruik en particulates te bereiken. Dat resulteert in een nog hogere belasting van het voertuigkoelsysteem, dat o.a. ten gevolge van inkapseling om aan de geluidswetgeving te voldoen reeds zwaar onder druk staat.
- Zware vrachtwagendieselmotoren zijn vrijwel voor 100 % turbocharged/intercooled, hetgeen aanleiding geeft tot vervuilingproblemen indien de uitlaatgassen worden teruggevoerd vóór de turbocompressor. Dat wordt een zeer groot probleem als men bedenkt dat de eisen die worden gesteld aan de levensduur meer dan 1.000.000 km bedragen.
- Het hoge rendement van moderne drukvulgroepen voor vrachtwagenmotoren, waaraan deze o.a. zijn zeer lage brandstofverbruik dankt, resulteert anderzijds in een positief drukverschil over de cilinder over een groot deel van het bedrijfsgebied van de motor, en verhindert daarmee een directe terugvoer van uitlaat naar inlaat.
- Last-but-not-least, in het bijzonder wanneer het gas wordt teruggevoerd naar achter de intercooler moet worden zorggedragen voor een goede mixing tussen het uitlaatgas en de inlaatlucht naar de cilinder.

Daarom moeten speciale EGR-systemen worden ontwikkeld om de benodigde hoeveelheid EGR terug te voeren zonder dat dit ten koste gaat van prestaties, betrouwbaarheid en levensduur van de motor.

Hierdoor zal EGR niet op tijd zijn ontwikkeld om bij te dragen aan het bereiken van de doelstellingen van EURO-III. Het zal echter een belangrijke bouwsteen vormen voor EURO-IV en verder.

Een andere technologie voor een substantiële verlaging van de uitlaatgasemissies is het gebruik van uitlaatgasnabehandelingssystemen zoals katalysatoren. Bij ottomotoren is toepassing van katalysatoren reeds stand der techniek. In light-duty-dieselmotoren worden katalysatoren ook steeds meer toegepast. Ook bij zware dieselmotoren, welke bijvoorbeeld worden gebruikt in stadsbussen, kunnen aanzienlijke reducties in CO en HC worden verkregen. De hoge belastingen tijdens de homologatietest, in het bijzonder bij de huidige 13-mode cycle, verhinderen echter het gebruik van actieve katalysatoren omdat de uit de zwavel in de brandstof afkomstige SO_2 in het uitlaatgas wordt doorgeoxideerd tot SO_3 . In combinatie met waterdamp ontstaat hieruit zwavelzuur, welke op het particulatesmeetfilter neerslaat en zodoende bijdraagt tot de particulatesmassa. Hierdoor kan de meting achter de katalysator een twee keer zo hoge PM-uitstoot aangeven in vergelijking met de motoruitlaat. Daarom zijn speciale "13-mode"-katalysatoren ontwikkeld, met enigszins verlaagde CO- en HC-omzetting, maar die in ieder geval de emissietest kunnen halen m.b.t. particulates. Desalniettemin zijn de reducties die kunnen worden bereikt toch nog altijd aanzienlijk.

Reduktie van de stikstofoxiden m.b.v. een passieve driewegkatalysatoren zoals bij (personenwagens)benzinemotoren is bij een dieselmotor niet mogelijk, omdat deze altijd werkt met een luchtvermaat om de rookuitstoot laag te houden. Daarom bevat het uitlaatgas van een dieselmotor vrije zuurstof, en is als gevolg daarvan een passieve reductie van NO_x niet mogelijk.

Het toevoegen van actieve componenten in de uitlaatgasstroom maakt het toepassen van een DeNO_x -katalysator echter ook bij dieselmotoren mogelijk. De beste resultaten worden verkregen met zogenaamde Selective Catalytic Reduction (SCR), waarbij ureum of ammonia als actieve komponent wordt toegepast. Zulke systemen kunnen echter vooralsnog alleen worden toegepast in zgn. niche-markten, bijvoorbeeld met "captive fleets". Voor algemeen gebruik in wegvoertuigen dient hiervoor echter een aparte infrastructuur te worden opgezet. Een aantrekkelijker alternatief hiervoor zou de toepassing zijn van "Non-Selective Catalytic Reduction" (NSCR), waarbij gebruik wordt gemaakt van koolwaterstoffen die worden verkregen door brandstof toe te voegen aan de uitlaatgasstroom. De ontwikkeling van NSCR-systemen staat echter nog in de kinderschoenen.

Behalve op de verscherpte eisen t.a.v. uitlaatgasemissies moet ook op andere gebieden met verzwaring van de eisen rekening worden gehouden, welke deels het gehele voertuig betreffen. Een voorbeeld hiervan betreft het geluidsniveau, waarbij de grenswaarden in 1996 van 83 naar 80 dB(A) zijn verlaagd, en verdere verlagingen, al dan niet gepaard gaande met een aanpassing van de testprocedure, in het vooruitzicht zijn gesteld.

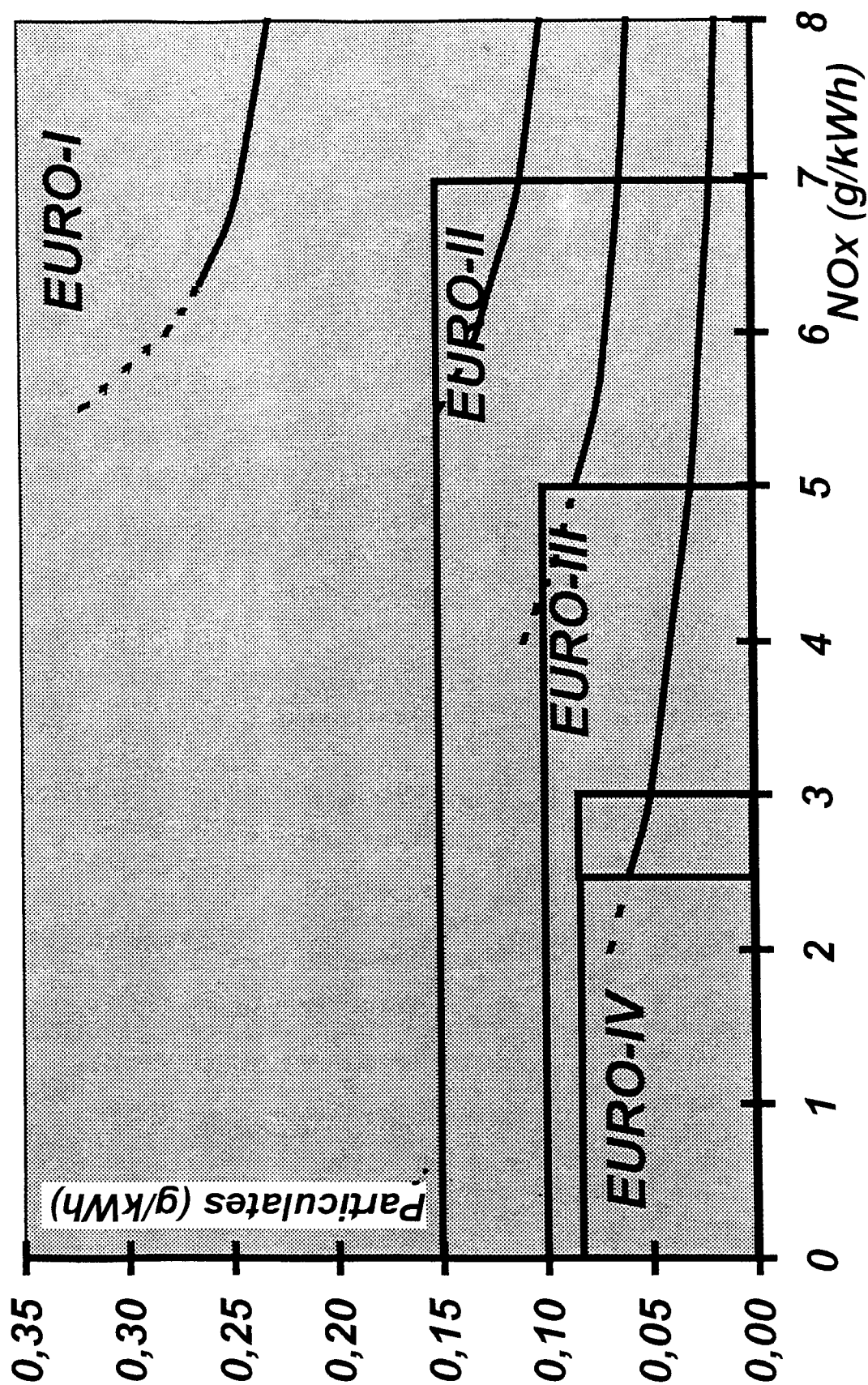
Dergelijke lage waarden kunnen niet meer uitsluitend door inkapseling worden gerealiseerd; ook levert een te ver doorgevoerde omkapseling problemen op t.a.v. inbouw, onderhoud, en niet in de laatste plaats koeling. Daarom moet ook de motor als één van de dominante geluidsbronnen worden aangepast.

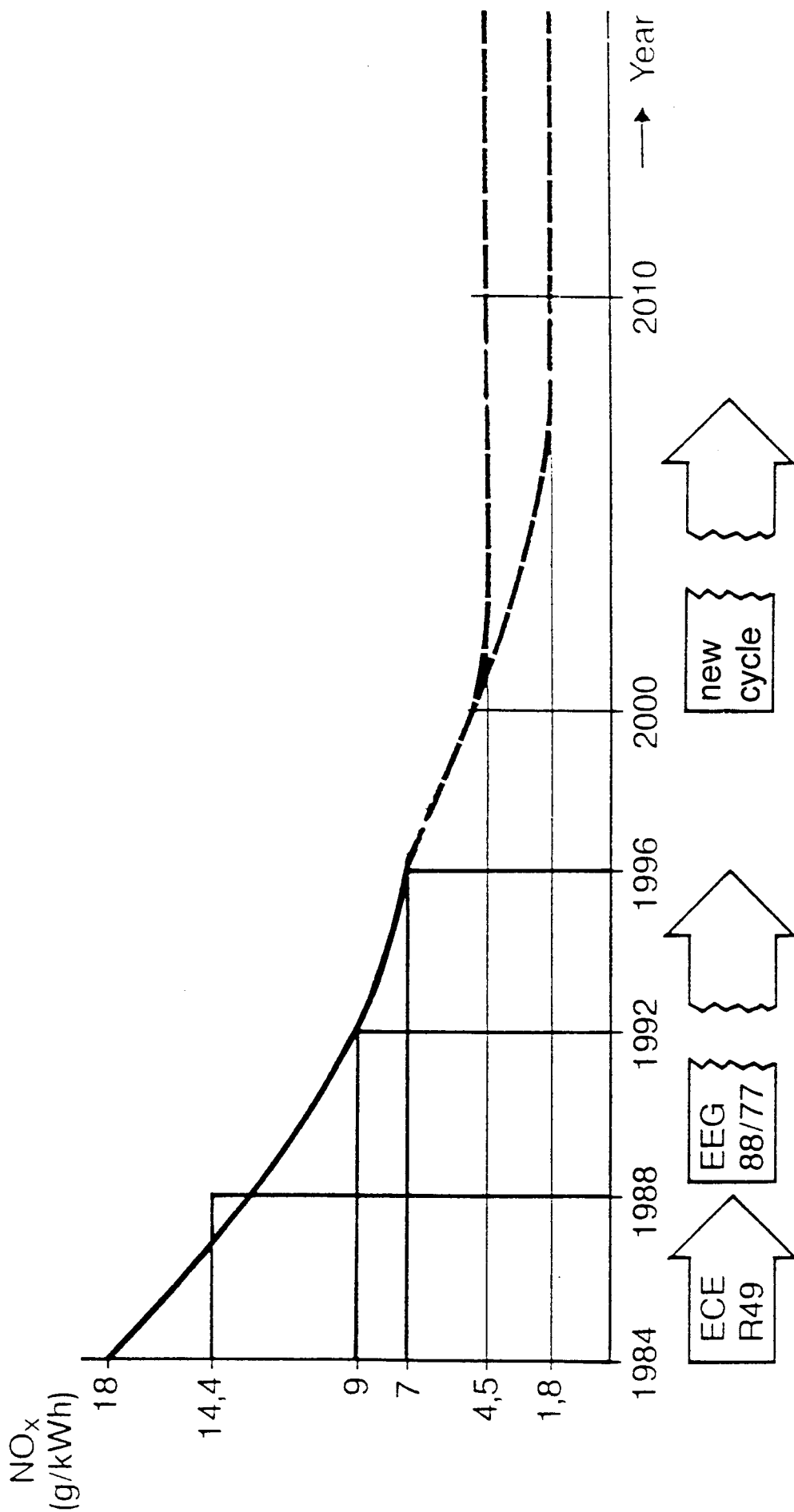
Naast geluidsreducerende maatregelen aan geluidsafstralende oppervlakken zijn ook structurele maatregelen aan de krachtdoorleidende constructie benodigd. Het cilinderblok is hierbij uiteraard het belangrijkste component. Met behulp van FEM-methodieken kon het aandeel van het cilinderblok op de totale geluidsafstraling van de motor met 5 a 6 dB(A) worden verminderd.

Voor niche-markten zoals stedelijk vervoer vormt het gebruik van LPG en/of CNG een andere mogelijkheid om de uitlaatgasemissies te verlagen, en tevens het geluids- en trillingsniveau van de motor. Momenteel wekt DAF-Trucks aan een gasversie van onze 9-liter motor. In fig. 6 worden de emissiewaarden getoond die met deze motor mogelijk zijn. De toepassing is echter begrensd door de beperkte actieradius en het hogere benodigde koelvermogen, hetgeen het te installeren motorvermogen beperkt. Daarom is voor interstedelijk en internationaal transport de toepassing van gasmotoren geen goed alternatief.

En hoe zal de krachtbron voor de zware bedrijfswagen er in de toekomst dan uit gaan zien? Wij denken dat voor het leeuwedeel van het wegtransport toch de dieselmotor de krachtbron van de zware bedrijfsvoertuigen zal blijven. In fig. 7 wordt het resultaat getoond van een studie die is verricht naar de toekomstige krachtbron voor een vrachtauto. Hieruit blijkt dat alternatieve krachtbronnen met een zeer laag emissiepotentieel ofwel een sterk verhoogd brandstofverbruik vertonen, ofwel - zoals bij de Stirlingmotor het geval is - andere eigenschappen vertonen die toepassing ervan in wegvoertuigen minder aantrekkelijk maken. Daarom zijn wij ervan overtuigd dat ook in het komende decennium de dieselmotor de algemeen toegepaste krachtbron zal zijn voor zware bedrijfswagens, zij het in een sterk geavanceerde vorm.

Emission technology vs NOx - PM trade-off

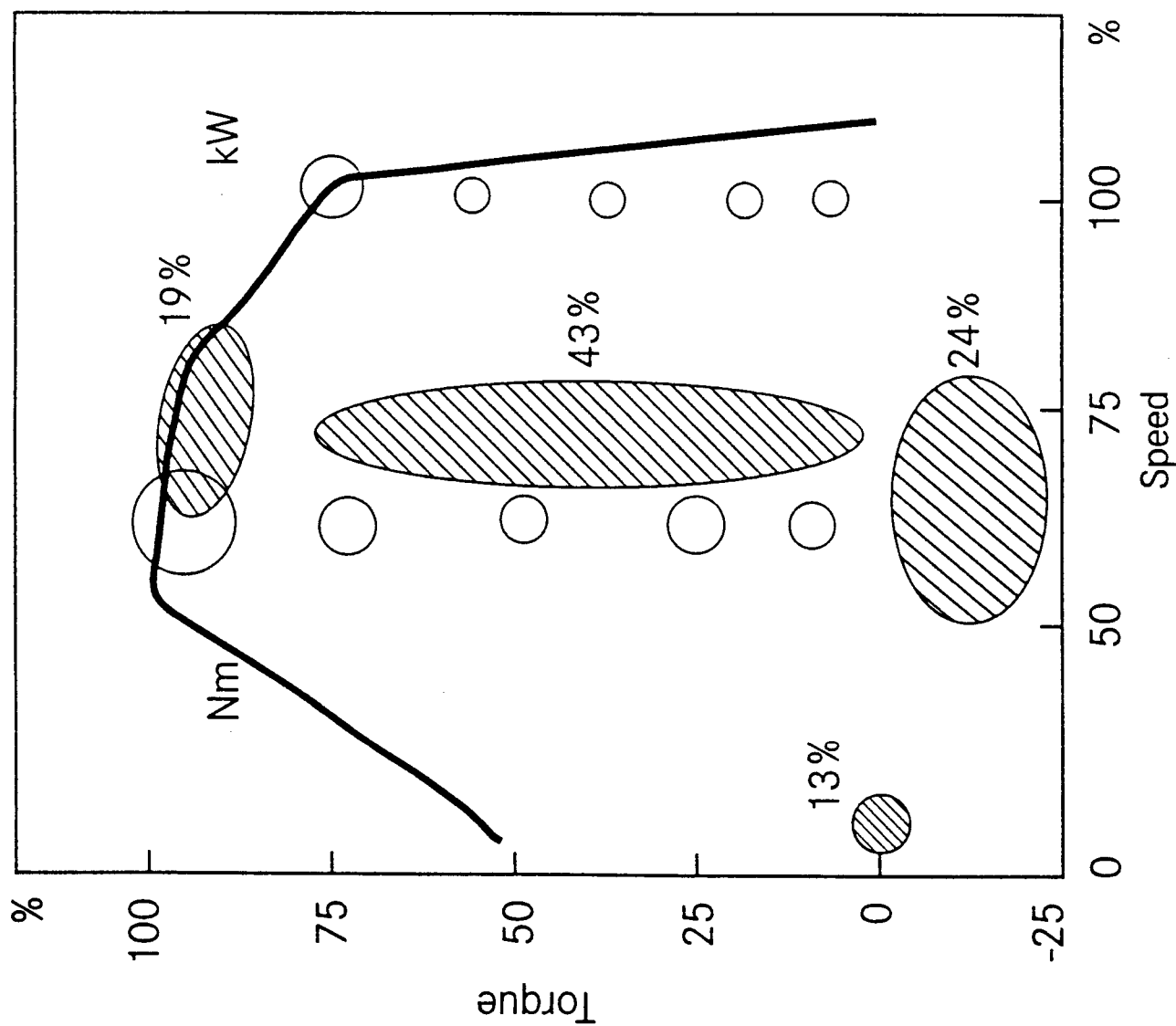




EVOLUTION OF NO_x EMISSION LIMITS

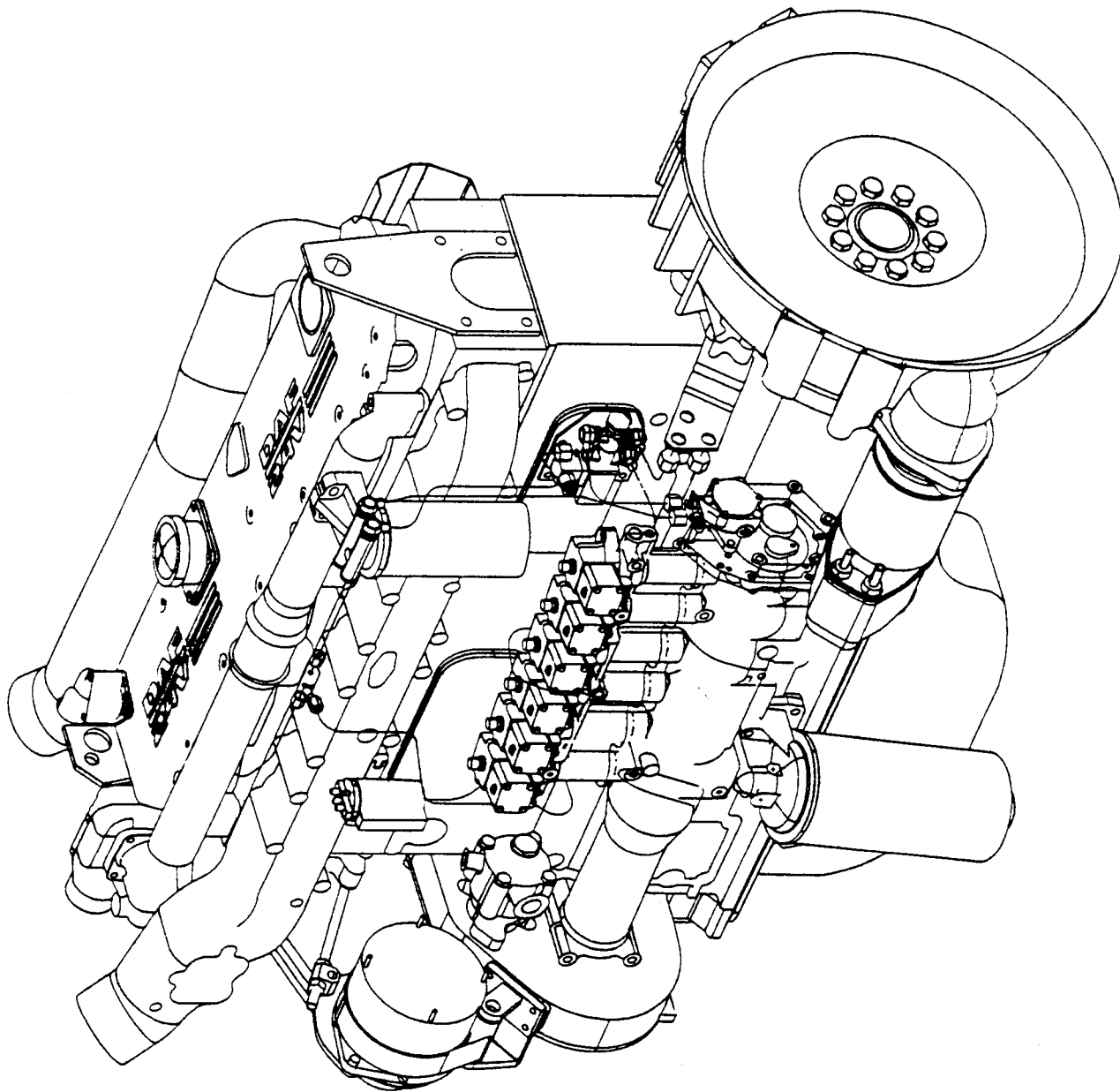
DAF

○ ECE-R49
13-mode-Test



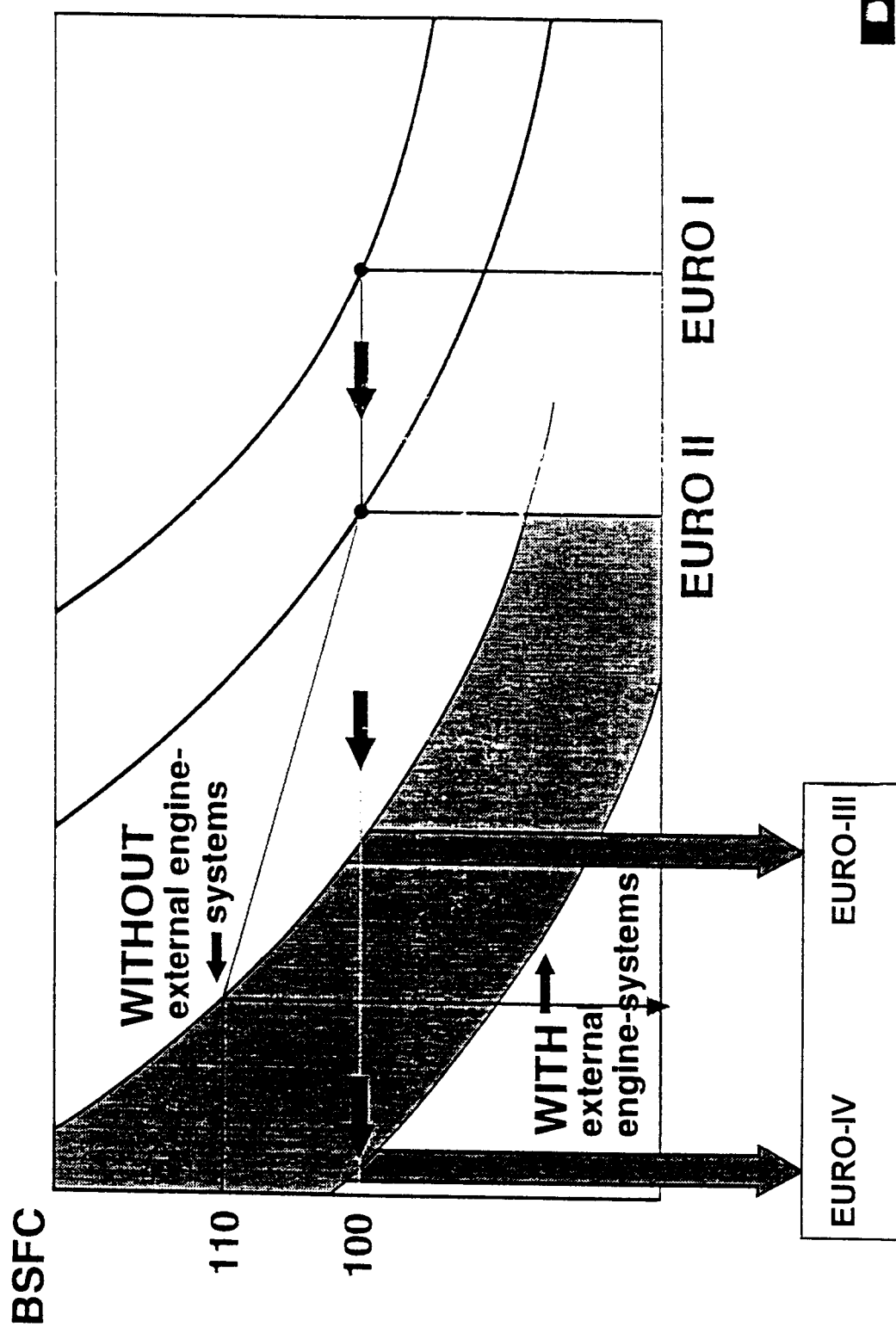
OPERATING CHARACTERISTICS ACCORDING FIGE
COMPARED WITH ECE-R49 WEIGHTING FACTORS

DAF



**DAF EURO-III ENGINE; FUEL INJECTION SYSTEM WITH
SEPARATE PLD-HOUSING**

EMISSION POTENTIAL OF EXTERNAL ENGINE SYSTEMS

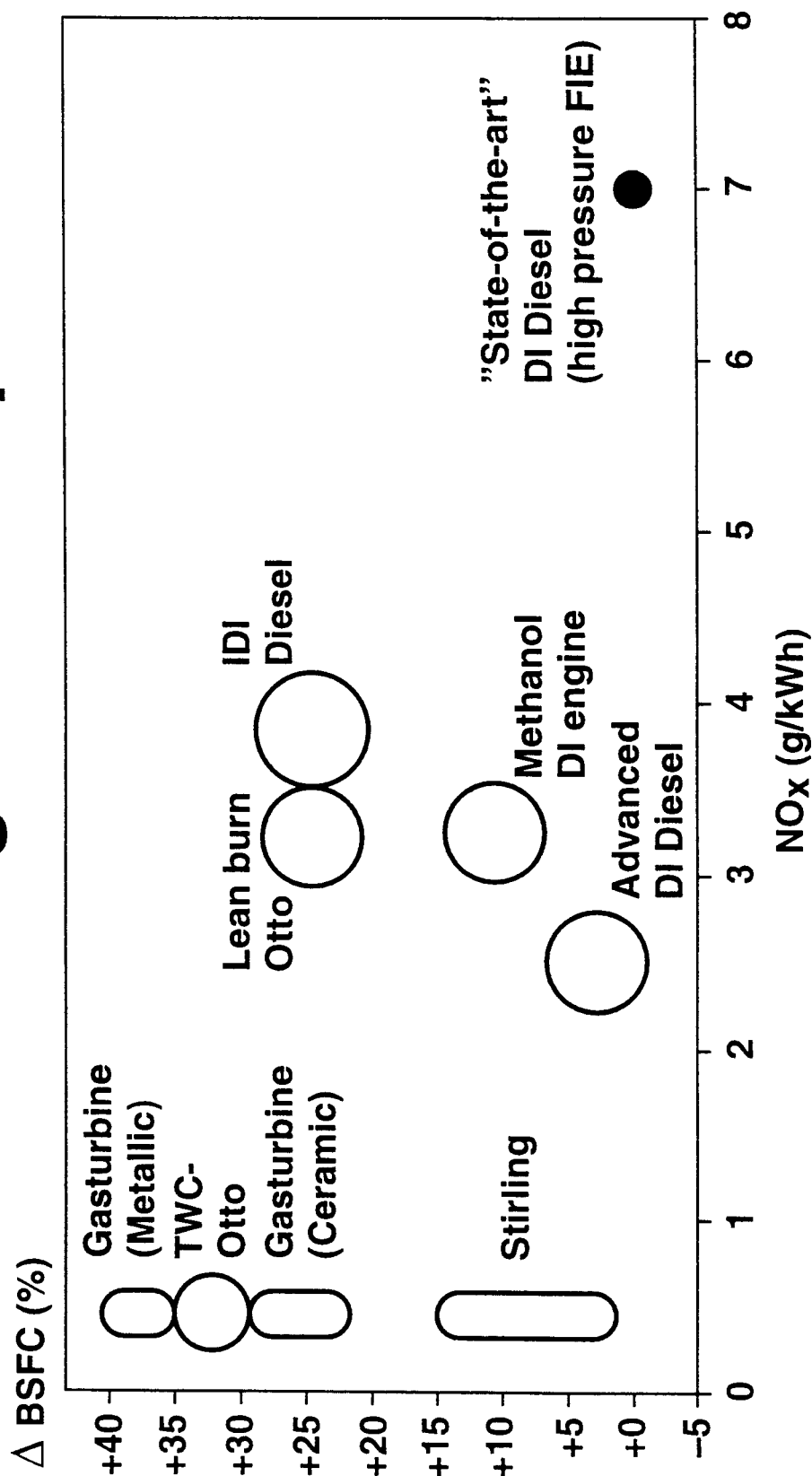
**DAF**

Engine emission performance subject to legal requirements

Emissions R49 (13m)	Euro II	DAF "M" engines	DAF LT LPG + 3-WAY CAT. CONVERTER
NO _x	7.0	< 6.8	< 1.0
CO	4.0	< 1.5	< 1.0
CH	1.1	< 0.75	< 0.6
Pm	0.15	< 0.15	< 0.05
Acceleration smoke R24	2 m ⁻¹	< 1 m ⁻¹	0



Emission capabilities of future engine concepts


DAF

European transport: emission trends and policy responses

Ontwikkeling emissies wegverkeer, mobiele werktuigen en tractoren

Auteur:

A.N. Bleijenberg

J.M.W. Dings

P. Janse (presentatie)

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015-2150 148

fax: 015-2150151

Email: pj@antenna.nl

Abstract

This paper describes the trends in the main emissions to air by European road transport. Following this overview, policy options are discussed which can bring the emissions down to levels which meet environmental targets.

Of the so called "classical" pollutant emissions (NO_x, HC, CO, particulates and SO₂) HC, CO and SO₂ can both quite well be tackled by technical measures. The current trend towards lower emissions will continue, provided extra policy measures will be taken. NO_x is a more persistent problem. A strong technical effort improvement of diesel technology is required to bring this emission to acceptable levels.

Policy instruments are emission and fuel standards. Stringent fuel standards and check of conformity of vehicles in use become increasingly important. Special emphasis is required for cold start standards, two wheelers and off road machinery.

The trend in CO₂-emissions from road transport shows a different picture: an annual growth of 2 to 3%. This might slow down a little in the coming decades, because traffic growth could diminish somewhat. For CO₂ technical progress is clearly slower than traffic growth.

A strong government interference in the car sales market is suggested to achieve a reduction in CO₂-emissions. A 'downsizing' trend of the car can be forced and/or high additional costs are needed for the car. Both consequences are expected to reduce mobility growth somewhat. For freight transport the answer is a drastic increase in efficiency of road haulage. Load factors are currently rather low and should go up. Next, the growth in transport intensity of economic production should be slowed down. Higher prices for road haulage seem the best policy instrument to achieve this.

1 Classical pollutants: NO_x, HC, CO, Pm, SO₂

1.1 Introduction

This chapter describes the development of the so called 'classical' emissions from mobile sources in Europe. These are the emissions that are covered by regulation: NO_x, HC, CO, Pm (particulate matter) and SO₂.

It describes the original emission situation, the current regulatory and technological developments and it gives an outlook to the future.

Volume developments will not be explicitly addressed in this chapter as they are treated in the next chapter on CO₂-emissions. It must be said that, as long as engine and fuel technology are not into play, measures to reduce CO₂-emissions mostly bring the same reduction of the 'classical' emissions. The measures discussed in this chapter must therefore be considered as additional to the measures presented in the 'CO₂' chapter.

1.2 Developments in new vehicle technology

Gasoline (petrol) cars

Historically the gasoline car has been the primary source of traffic pollution, due to the large share of total kilometres driven and the high emissions per kilometre driven.

Regarding the latter aspect, the reduction of emissions per kilometre from new SI (Spark Ignition, i.e. gasoline, LPG and CNG) vehicles is quite spectacular. The application of the three way catalyst on this type of engines has made over 90% emission reduction per km possible (except, of course, for CO₂). The first generations of catalyst equipped cars in the 80s faced quite some problems in the area of driveability and durability, increased fuel consumption and odd phenomena like a 'rotten egg' smell with certain catalyst types. The Dutch 'in use compliance' testing programme shows that improvements in catalyst technology, fuel injection and engine management systems have largely eliminated these initial shortcomings.

The emissions of NO_x and HC from a modern well functioning gasoline car with a warm catalyst are practically negligible, a few hundredths of grammes per kilometre (compared to a few grammes per km in the early 80s). This equals to a few tenths of grammes per litre of gasoline burnt. New emission standards as proposed by the European Commission for the year 2000 and 2005 are even 60 to 70% stricter.

However, the cold start emission behaviour of gasoline cars is still poor, especially at low ambient temperatures, when an excess of fuel is injected into the cylinders to get enough evaporation. As a result even modern cars have excess HC and CO emissions in the first 2 kilometres after a cold start at lower ambient temperatures. The effect can be noticed very well on winter mornings in traffic peaks. Inclusion of a special cold test in the type approval procedure, which makes fuel pre-heating at low temperatures necessary, is therefore most desirable. This item is currently under discussion in Europe, but the outcome is still uncertain. The United States already have a low temperature test but the standards are fairly weak. The costs of emission reduction of new gasoline cars amount to about 5 to 10 ECUs per kg of NO_x and HC emission reduced.

Diesel cars

The emissions from new diesel cars, especially NO_x and Pm₁₀, are generally considered more problematic than those from new gasoline cars. A modern passenger car diesel engine

produces about 10 grammes of NO_x per litre of diesel fuel burnt, about two thirds of the older generations' emissions. For the next five years only a 20% reduction in new cars is foreseen and this is not enough to compensate for the rapid growth in diesel car use.

Several NO_x after treatment technologies are currently under development but they are not expected to enter the market before about 2002. The other diesel car problem, the Pm₁₀ emission, will be treated later on in this article. This emission gives especially rise to worries in countries with a large share of cars running on diesel, like France.

HC and CO emissions from diesel cars are not of great concern.

It must be said that the diesel car offers about 15% fuel consumption/CO₂-emission advantage compared to gasoline cars. However, careful analysis points out that this CO₂ advantage of diesel cars does not fully compensate for their NO_x and Pm₁₀ disadvantage¹¹.

The costs of emission reduction of new diesel cars amount to about 5 ECUs per kg of NO_x emission reduced.

Heavy trucks and buses

Without any new legislative measures the heavy truck will without competition be the main polluter on the road in the year 2010. The modern 'Euro 2' truck engine's NO_x emission is about 30 grammes per litre of diesel fuel burnt, which is three times as much as the diesel passenger car and about 40% lower than the 80s generation of truck engines. Basic calculations indicate that traffic growth will more than compensate for this reduction, resulting in an unacceptable rise of total NO_x emissions from trucks and a 'market share' for trucks in NO_x emissions from road traffic in 2010 of about 70%. It is clear that either major technology steps or major volume reductions are necessary to move towards environmental targets for ozone formation, acidification and eutrophication.

The most promising concept currently under development to achieve a very substantial reduction of NO_x emission per unit of fuel burnt is Selective Catalytic Reduction or SCR. The technology is almost in the demonstration phase of development and seems to have about a 60 to 70% NO_x reduction potential over the current generation of trucks. It gives this performance without sacrifices in terms of fuel consumption or particulate emission.

Besides the uncertainty about the 'on the road' performance, this technology faces two main obstacles for a rapid and massive penetration on the market. The first obstacle is probably the need of an extremely low sulphur diesel fuel and the second obstacle is the need of a reducing agent like urea. This implies a substantial effort from the refining industry, the introduction of an extra product in the fuel distribution system and anti-tampering provisions. It must be ensured that a) the trucker will not 'forget' to fill the urea tank when driving in the EU, and b) is not prohibited from driving in non-EU states where no urea is sold.

Strong joint action of engine designers, catalyst manufacturers, oil industry and policy makers is needed to overcome these obstacles.

The costs of emission reduction of new trucks and buses amount to about 2 ECUs per kg of NO_x emission reduced.

Mopeds and motorcycles

Two wheelers (mopeds and motorcycles) deserve far more attention than they are currently given.

Mopeds, especially the two stroke versions, are a serious threat for urban air quality.

Measurements show that HC emissions from mopeds can rise up to 10 grammes per km and they can even double when the engine has been tampered with. This is about a hundred times more than a modern gasoline car with a hot catalyst. Combining this with the knowledge that mopeds mostly drive in urban areas it is clear that they are a key factor in future urban air

quality improvement. This is especially the case in southern parts of Europe where mopeds are used extensively in cities.

The motorcycle problem is a bit different. They cover more kilometres in total but the emissions per kilometre are lower and they drive less in urban areas. BMW shows that low motorcycle emissions are very well possible by offering bikes equipped with injection engines and closed loop three way catalyst systems. Other manufacturers however still use carburettor systems and do not use any catalytic conversion.

Off road equipment

This extensive category of machinery includes ships, trains, tractors, shovels, forklift trucks, cranes etcetera. Altogether they have a surprisingly high emission 'market share' in the EU. They emit about 30% of NO_x emissions and 40% of Pm₁₀ from mobile sources. For example, the NO_x emission from Dutch inland vessels is about one third of the NO_x emission from Dutch trucks.

Technically the off road diesel engines' emissions can be reduced in the same way as the truck emissions. However, these sources are not subject to any form of emission regulation yet. As volume growth rates are not likely to be smaller than those of road traffic it is expected that the share of total EU emissions will grow quite rapidly.

The first EU legislation on mobile machinery is expected to come into force from 1998.

However, it does not cover ships, diesel trains and agricultural and forestry tractors. This leads to the odd conclusion that from the NO_x emission point of view it could in 2005 be better to transport goods by a new truck than by a new inland vessel !

This indicates that a lot of policy work will have to be done in the coming years.

The costs of emission reduction of new mobile machinery are relatively low. Even the first cheap emission measures have not been taken yet. However, cost effectiveness is highly dependent on the area of engine application. For example emission reduction of new engines of inland vessels is very cheap, about 0.4 ECUs per kg of NO_x emission reduced.

1.3 The issue of particulate emission

The issue of the emission of particulate matter (Pm) requires some extra attention. Pm emission is caused by poor fuel combustion, poor fuel quality, especially a high sulphur content, and by lube oil burn. Pm consists of soot (unburnt C atoms) and sulphate (from sulphur), often with very large polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) sticking to it. In the earlier generation of trucks the problem is very much visible: thick black clouds of smoke coming from the exhaust pipes of diesel cars and trucks, especially in acceleration. The particulate emission factor from earlier generation diesel engines is about 3 grammes per litre of diesel fuel burnt.

At first sight an enormous progress has been made in reducing particulate emissions. Current truck engines emit only about half a gramme of particulates per litre of diesel fuel, which is 80 to 90% less than before. This progress is mainly caused by a spectacular improvement of combustion circumstances: a much higher injection pressure and electronic injection timing and quantity control, resulting in a much better air/fuel mixing. Also the lower diesel fuel sulphur content made a substantial contribution.

However, closer analysis points out that mainly the particulate size has been reduced, not so much the number of particulates. Evidence is growing that especially these small particulates can cause great health damage as they enter the lungs very deeply. Some people even say that

gasoline engines' particulate emissions (which are fairly negligible in terms of mass) are therefore at least as harmful as the diesel engines' particulate emissions.

If the relationships as described above appears to be true the classical way of measuring and regulating emissions (by mass) would be not effective at all. The particulate problem becomes a very hard nut to crack. It is yet very unclear how emission policy is going to react to this phenomenon. Size related emission limits could be a consequence.

1.4 Control of 'in use' emissions

With increasing complexity of emission control equipment to be installed on new vehicles it becomes increasingly important to check whether the 'on the road' or 'in use' performance of the technology is still satisfactory. In the case of advanced emission technology (as applied in gasoline cars) the emissions from a malfunctioning vehicle can be ten or twenty times higher than the emissions from a correctly tuned and maintained vehicle.

There is a wide range of possible measures to ensure that every vehicle on the road remains well below the emission limits for that vehicle type. There are two main categories of measures.

In the first category every vehicle is inspected individually once in a while. These so called 'Inspection and Maintenance' (I&M) programmes are generally quite costly. Mostly the costs are passed to the consumer. This makes these programmes politically sensitive and therefore practically every country has got its own regime. It is obvious that these programmes are potentially the key to ensure low emissions in every day reality. A major technology currently being implemented on new vehicles in the US and planned to be implemented in the EU in the year 2000 is the so called OBD (On Board Diagnostics) system. This system gives information on the functioning of the emission control devices. With this information checks and repairs in the I&M programme become much easier. Probably the main effect of the OBD system is a more careful and robust design of emission control technology, as every manufacturer will try to avoid any fault indication.

In the second category a statistical sampling method is used to check a limited number of vehicles of every vehicle type. Generally this is called an In Use Compliance (IUC) procedure. If any systematic production faults appear to occur within a certain vehicle type appropriate measures can be taken. In the most extreme case a recall campaign could be the consequence with major costs for the manufacturer. This makes a IUC strategy a very effective tool to improve the quality of emission control devices, at the same time being a form of consumer protection.

Both types of, programmes to control 'in use' emissions play a crucial role in actually ensuring low emission performance of vehicles 'on the road'. Limitations to the stringency of such programmes are determined more by economics and politics than by technology.

1.5 The role of fuel quality

The role of fuel quality in attaining low emission performance is often not very well understood. Fuel quality influences a vehicle's emission performance in multiple ways. The first way is the one-on-one link between fuel quality and vehicle emissions, independent of vehicle technology. This is the case for carbon/sulphur content of the fuel and CO₂/SO₂ emissions respectively.

The sulphur content of the EU main transport fuels has been reduced substantially to 0.03%*m* for gasoline and 0.04%*m* for diesel respectively. New desulphurization steps will be taken (see below). With these values the SO₂ emission from road traffic is not a major issue any more. The carbon content cannot be influenced substantially. Therefore CO₂ is a very persistent problem which will be treated in the next chapter.

The second way is a direct influence of fuel quality on vehicle emissions, dependent on vehicle technology. Typical parameters here are benzene content, aromatics content, volatility (for gasoline) and cetane number, density and aromatics (for diesel fuel). The emission effects of changes in these parameters are different for every vehicle type but reductions achievable are as high as about 20%. These effects may be counterbalanced by increases in energy use (CO₂-emissions) by refineries. Studies have led to the introduction of cleaner burning RFG (reformulated gasoline) in certain zones in the United States and the EU wide introduction of a set of environmental specifications for gasoline and diesel fuel by the year 2000.

A third way is the fuel quality being a prerequisite for proper functioning of emission abatement technology. This effect is most important when catalysts come into play. For example lead in gasoline used to be a main issue in relation to poisoning of the three way catalyst. At the moment sulphur in gasoline as well as in diesel fuel is widely discussed for its effect on the three way catalyst and on future diesel DeNO_x catalyst systems. Especially the latter category of catalysts seems to be very sensitive to fuel sulphur, as described in an earlier paragraph.

1.6 Conclusions per emission

NO_x

From the description in the previous paragraphs it appears that in the future NO_x will be about the most persistent of the 'classical' emissions. Though gasoline vehicles' NO_x emissions are decreasing with several per cents per annum total NO_x emissions from traffic only slowly decrease. The diesel engine is responsible for this unsatisfactory development.

First, there still is a technical problem. The non-catalytic NO_x reduction techniques for diesel engines do not offer enough potential and there is quite some uncertainty about the future success of catalytic systems. Therefore it is not expected that NO_x emissions from diesel cars and trucks will decrease substantially until 2005.

Secondly, there is a political problem. A major part of today's heavy duty diesel engine sales does not face any emission legislation at all. Introduction of legislation for all types of diesel engines will at least take 5 more years. It will take about 10 more years before any substantial reduction of total NO_x emissions from these yet unregulated engines will be seen.

Summarizing, total NO_x emissions from mobile sources will decrease by only about 30% till the year 2005 and a 50% reduction will not be seen before 2010. Under the conditions that technology develops well and that continuous stringent regulation is applied to all new diesel engines NO_x emission targets (80% reduction) could be attained in the long term, about 2020 or 2025.

Particulate matter

This emission gives rise to worries for other reasons. In terms of tonnes of total emissions per annum a satisfactory improvement can be seen due to technical progress of the diesel engine. However, scientific evidence is growing that human health effects do not seem to correspond with the total load in tonnes of emission but merely with a combination of total load and particle size. Is therefore very uncertain whether the effects of particulate emissions are

decreasing as well.

HC and CO

Currently the HC and CO emissions from historically the most important source, the gasoline car, are decreasing by about four per cent per annum as a result of the very low emissions of new gasoline vehicles entering the market. As a result, today's total HC and CO emissions from mobile sources are already about 50% lower than 15 years ago.

A lot of people are convinced that CO air quality targets will be met with the existing regulation only. HC emissions are more dangerous because these can have long term health effects and cause the quite persistent ozone problem.

Future strategies to reduce HC emissions from mobile sources are:

- Controlling 'cold start' emissions from gasoline vehicles, especially at low ambient temperatures.
- Keeping the existing fleet in good emission shape by a stringent inspection and maintenance policy and by 'in use compliance' monitoring.
- Reducing the (urban) HC emissions from two wheelers.

If these issues will be tackled effectively the necessary 80% HC and CO emission reduction from 1990 levels could be met somewhere around 2010 or 2015.

SO₂

This issue has quite effectively been tackled by the desulphurization of diesel fuel. Emissions will be further reduced as a result from new desulphurization steps in 2000 and 2005.

Emissions from combustion of high sulphur heavy fuel oil in marine diesel engines give most rise to worries.

2 CO₂-emissions

2.1 Introduction

The UN Framework Convention on Climate Change (FCCC - signed by most European countries - states as its main aim to stabilize the atmospheric concentration of green house gases on a level which avoids dangerous anthropogenic distortions of the climate system. The UN Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is a little more specific and concludes that the rise in global temperature should be limited to 2o C, with a maximum increase per decade of 0.1o C [2]. With these limits it is estimated that the industrialised countries need to reduce their emission of green house gases with 1 to 2% each year [3]. For this estimate it is assumed that developing countries have some scope to increase their emissions, while industrialized countries have to cut back. This paper takes the desired reduction in green house gases with 1 to 2% per year as starting point.

Current trends, however, reveal a growth in CO₂-emission in the industrialized world. For Europe the trend can be roughly estimated at an annual growth of 1% [4]. Road transport has a higher growth rate than average, which can be estimated at around 2-3% per year (see next sections).

2.2 Trends in passenger transport

The CO₂-emissions from passenger traffic increase by 2 to 3% each year. The main underlying trends in the distinguished factors will be discussed hereafter [4].

Population size

Although the population in Europe has grown in the last decades - and centuries - this is not a major factor in explaining the fast growing environmental pressure from passenger transport. According to current trends for the coming years the European population grows with roughly 0.3% per annum, for both West and Central Europe.

Travel distance per person (per day)

Statistics from the ECMT show that the volume of passenger kilometres in Europe has grown on average with 3.1% per year in the period 1970-1994. Part of this growth, however, is caused by population growth, estimated at 0.7% per year in this period. This results in a trend in growth of travel distance per person of around 2.4%.

Modal split

The share of car traffic in total passenger traffic has increased from around 76% in 1970 to 82% in 1994 (excluding walking, cycling and aviation). This implies that the share of car traffic rose each year on average with 0.3 to 0.4%. Assuming that emissions per passenger kilometre of public transport are roughly half of those of cars, this modal shift corresponds with an annual increase in emissions of around 0.1 to 0.2%.

Occupancy

Because car traffic is dominant with respect to pollution from passenger transport, only the load factor of cars will be discussed.

It seems that the occupancy of cars tends to decline slowly. This can be illustrated by data for

the Netherlands. In 1980 on average 1.73 persons were seated in a car, which went down to 1.65 in 1994. This correspond with an average reduction of the occupancy by 0.3% per year in this period. The average fuel consumption per passenger kilometre went up almost the same rate.

Efficiency

Again, only the efficiency of cars will be reviewed. Efficiency improvements of the cars have been achieved and resulted in a reduction of specific energy consumption of 0.5 to 1.0% per annum. This outcome is, however, a combination of two opposite trends. For it is well known that cars have become faster, heavier and more comfortable over time. This development can be summarized as upgrading. Several studies estimate that this upgrading trend results in 0.5% higher specific fuel consumption per year. This implies that technical progress is around 1 to 1,5% per year, but that roughly half of the technical achievements are offset by upgrading of the car.

Overview

Table 2.1 summarizes the main influences resulting in an annual growth of CO₂-emissions from passenger traffic of 2 to 3% per year. The dominant factors are the growth in travel distances and the efficiency improvement of the car. Next, the upgrading of cars is important as well. The other factors - population size, modal split and load factor - only explain the growth in CO₂-emissions for a small part.

Table 2.1 Estimated main trends behind the growing CO₂-emissions from passenger traffic.

Factor	Impact on CO ₂ -emissions
Population size	+0.3%/year
Travel distance per person	+2.0 - 2.5%/year
<i>Mobility</i>	+2.3 - 2.8%/year
Modal shift	+0.1 - 0.2%/year
Occupancy car	+0.2 - 0.3%/year
Upgrading car	+0.5%/year
Technological improvement car	-1.0 - 1.5%/year
<i>CO₂-emissions passenger traffic</i>	+2.1 - 2.8%/year

Underlying forces

Two important underlying forces behind the growth in CO₂-emissions can be identified [4]. The first is increased travel speed. The introduction of the car and later of the aircraft allowed for higher travel speeds. This did, however, not result in time savings, but instead in increased travel distances, as economic research shows [5]. There appears to be a roughly Constant Travel Time Budget implying that a higher speed generates longer average travel distances. This is in the long run the main force behind the growth in mobility.

The second underlying force is income growth. Since 1965 real income per person has

increased by around 2,5% a year in Western Europe, resulting in roughly doubling the total real income. The income growth generated both the large penetration of the (faster) car and allowed for a continuous 'upgrading' of the car. Maximum speed, acceleration, weight and size of the average car have increased over the last decades and are expected to continue to do so.

2.3 Trends in freight transport

The most familiar trend in the realm of freight transport is probably that the number of tonne kilometres of all modes of transport is growing at the same rate as GDP. This means that the tonne kilometres of road transport are growing faster than GDP, since the relative share of road transport is increasing. However, there are variety of factors behind this trend.

Growing transport distances

The underlying causes of the growth in freight transport can be illustrated with a description of trends in the UK food and drink sector [6]. The logistical changes taking place between 1983 and 1991 are shown in figure 2.1.

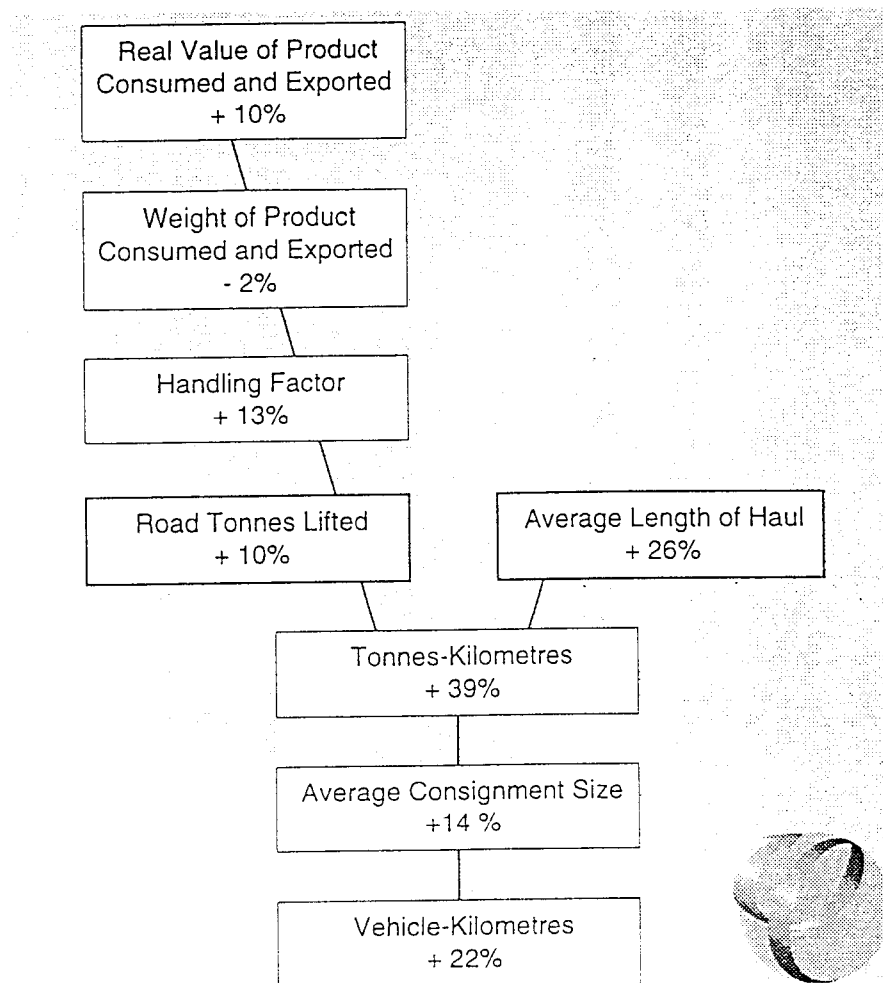


Figure 2.1 Logistical changes in the UK food and drink sector, 1983-1991 (Source: McKinnon and Woodburn, 1995)

It can be seen from the figure that the ultimate growth of 22% in the number of vehicle-kilometres is the result of trends in opposing directions. The main cause of the growth is a 26% increase in the average length of haul: an average increase of 3% per annum. A secondary cause of the growth in vehicle-kilometres is the increase in the number of hauls involved in the production chain as a whole, reflected in the 13% rise in the handling factor. This is due to the fact that the production process has become more complex and takes place at various different locations. Taking these two causes together, growth in freight transport is the result of more and longer hauls per unit end product. This growth is tempered by two other trends, however. In the first place, the average load per haul has increased by 14%, so that fewer vehicle-kilometres are required for a given number of tonne kilometres. In addition, the average value of a kilogram of product (food and drink) increased by 12%. The product value is tied to GDP (growth).

These trends in the food and drink sector provide a neat summary of the various factors behind the growth of freight transport. This sector is not representative of the economy as a whole, however, and similar analyses of other sectors are lacking. It is possible to give a rough indication, though. Over the past few decades, the number of tonne kilometres has been growing at about the same rate as GDP. Growth in the number of tonnes of end product has been far lower, however: at an estimate, only one-quarter of GDP growth. This is not surprising, because the service sector is responsible for a growing share of economic activity. The share of industrial production is steadily declining and the economy is thus in a process of 'dematerialization'. However, this trend is not reflected in the flow of goods through the economy, because of the growth in length of supply and distribution lines and consequently transport distances. The growth in the number of links and associated hauls in the production chain and in the average length of haul are together responsible for an estimated three-quarters of the growth in tonne kilometres observed. It is thus above all the spatial reorganization of the production process that has caused the increase in tonne kilometres and far less the growth of GDP per se.

Several underlying economic and logistical trends contribute to the growth of transport distances⁷¹: The main factors are:

- Less stocks (Just-in-Time)
- Upscaling in production and distribution
- Larger geographical market areas (both for resources and products).

Rising share of road transport

Another trend that can be discerned is the rising share of road transport. In the ECMT countries the share of road transport grew from 45% in 1970 to almost 60% in 1989. Assuming that road transport (long distance) uses 2 to 3 times more energy per tonne kilometre than rail freight and inland waterways, this modal shift implies an annual 0.5 to 0.8% increase in CO₂-emissions. A further illustration is provided by the case of the UK, where the share of road transport increased from 42% to 68% over the period 1953-1989 (measured in tonne kilometres). Under the assumption of unchanged policy, all future projections indicate a continuation of this trend. An underlying reason is that little further growth is anticipated for bulk transport - much of which is transported by rail and waterway - while 'Other goods' will continue to grow substantially. Moreover, the aforementioned logistical trends also point towards further growth of the share of road transport.

Load factor

The average load factor of trucks has not changed substantially over the last decades and thus did not influence growth in CO₂-emissions.

Truck size

The average truck size tends to increase. Although statistical data are lacking, it is estimated that this development towards larger trucks reduces CO₂-emissions by around 0.5% per year.

Energy efficiency

Truck fuel consumption can be reduced by improving engine and drivetrain efficiency, reducing aerodynamic drag, lowering empty weight, and lowering rolling resistance. Statistical material gives not the right information to exactly calculate this technical improvement rate, but it can quite well be estimated from existing market knowledge. The fuel consumption per 100 km driven by a fully loaded 40 tonne truck evolved from about 50 litres in 1970 to about 40 litres in 1980 (about 2% p.a.) to about 35 litres in the second half of the 80s (1.5% p.a.). Since then progress has slowed down further to the current 1% per annum.

Overview

Table 2.2 summarizes the main trends behind the growth in CO₂-emissions from freight transport of 2 to 3% a year.

Table 2.2 Estimated main trends behind the growing CO₂-emissions from freight transport.

Factor	Impact on CO ₂ -emissions
GDP	+ 0.8%/year
Transport distance	+ 2.2%/year
<i>Tonne kilometres</i>	+ 3.0%/year
Modal split	+ 0.6%/year
Load factor	0%/year
Truck size	- 0.5%/year
Efficiency truck	- 1.0%/year
<i>CO₂-emissions freight transport</i>	+ 2.1%/year

Table 2.2 shows that the growth in annual transport distance is the dominant factor. The main cause seems to be the decrease in the price of road freight transport. For the Netherlands the real price decrease is estimated at 1.6% per year for the period 1984-1992. In the same period other production factors, as labour and storage, have become more expensive. These changes in relative prices promote a shift towards transport and away from other production factors. The transport intensity of the economy increases.

2.4 Policy recommendations

Passenger traffic

A reduction in CO₂-emission from passenger traffic can only be achieved with the use of fierce policy instruments and thus after clear political choices. The reason for this is that a reduction of CO₂-emissions conflicts with two powerful trends: faster transport and growing income.

The main effective policy instruments to counterbalance these forces are:

- Strong government interference in the car sales market, to force the introduction of the very fuel efficient car against existing consumer preferences. Two main options are available. The first is a - possibly modified - version of the standards for Corporate Average Fuel Economy (CAFE), which have been successfully applied in the USA. The second policy option is a drastic increase in the fuel price, by e.g. doubling or tripling the current level of fuel excise duty in Europe. This will mainly promote the introduction of cars with a better fuel economy, but will also reduce mobility growth somewhat.
- Reduced average speed of car traffic will bring specific energy consumption down by around 10%, counteracts the 'upgrading' trend in the car market and slows mobility growth. This combination of effects makes speed management a powerful policy instrument. Setting and enforcing proper speed limits - probably with the use of electronic speed limiters in the vehicle - is the main element of such a policy.

Other policy instruments can support these two main approaches, but can not replace them [4]. It is clear that both policy lines are currently not political acceptable. Main reason for this is the 'price' attached to a reduction of CO₂-emissions: reduced growth in mobility and travel speed a substantial downgrading of the car and/or higher prices for mobility e.g., caused by the use of advanced environmental technology.

Freight transport

Reduction of CO₂-emissions from freight transport can mainly be achieved by some further improvements of the trucks, by changes in logistics (higher load factor) and by a higher transport efficiency of the economy (less transport per unit of GDP) [7]. Only for technical improvements direct regulation might be considered as policy instrument, although the effectiveness seems limited for the promotion of energy efficiency.

The other two options to reduce CO₂-emissions - logistics and transport efficiency - can mainly be promoted by the use of financial incentives. An increase in fuel price is attractive because it stimulates all types of CO₂-reduction, including driving behaviour. It is estimated that the average price of diesel in the EU should be roughly doubled to come in line with the total marginal costs of a truck kilometre in rural areas [8]. An alternative policy option is to introduce an electronic kilometre charge for trucks, based on registration of the number of kilometres driven in each country. This assures that the country where the truck has driven, and thus caused the costs, receives the revenues, which is not fully the case with the diesel tax. Additional to these general cost related charges for trucks, it is needed to have extra charges in urban areas. Because congestion is higher and more people are exposed to air pollution and noise nuisance in urban areas, the marginal costs in urban areas are roughly twice as high as in rural areas [8]. Systems of urban road pricing can incorporate these additional urban costs.

References

- 111 J.M.W. Dings, M.D. Davidson and G. de Wit
Optimale brandstofmix voor het wegverkeer (Optimal fuel mix in road traffic)
CE, Delft (to be published in May 1997)
- 121 J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums
Climate Change: the IPCC Scientific assessment
Cambridge University Press (1996)
- 131 Dutch Government
Second Memorandum on Climate Change
The Hague (1996)
- 141 A.N. Bleijenberg and J. van Swigchem
Efficiency and sufficiency
CE, Delft (1997)
- 151 P.B. Goodwin
Empirical evidence on induced traffic
in: Transportation 23: 35-54 (1996)
- 161 A.C. McKinnon and A. Woodburn
Logistical restructuring and road freight traffic growth: An empirical assessment
Herriot-Watt Business School, Edinburgh (1995)
- 171 A.N. Bleijenberg
Freight transport in Europe: In search of a sustainable course
CE, Delft (1996)
- 181 ECMT Task Force on the Social Costs of Transport
Draft report
ECMT, Paris (1997)

Afstromend wegwater, een probleem?

Auteur:

W.H. Janssen v.d. Laak

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Postbus 5044

2600 GA Delft

tel: 015-2699 111

fax: 015-2611 361

Inleiding

Het autoverkeer veroorzaakt door verbranding en slijtage van auto's dat het milieu met verontreinigende stoffen wordt belast. Gasvormige stoffen als CO₂ en NO₂, die de luchtverontreiniging veroorzaken zullen in dit artikel verder buiten beschouwing worden gelaten. Wel aan de orde komen de verontreinigende stoffen als zware metalen, PAK (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen) en minerale olie die door verbranding, lekkage en slijtage aan het voertuig vrijkomen. Daarnaast kan nog verontreiniging ontstaan door corrosie van het wegmeubilair. Deze verontreinigingen komen uiteindelijk in de bodem of in het grond- en oppervlaktewater terecht.

Door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) zijn studies uitgevoerd om te bezien of er sprake is van een zodanige verontreiniging dat beschermende maatregelen moeten worden genomen.

Afvoer van wegen

De depositie van de verontreinigende stoffen in de directe omgeving van de weg geschiedt door een tweetal mechanismen. Verwaaiing is het proces waarbij door het verkeer opgewervelde stoffen via de lucht naast de weg terecht komen. Daarbij wordt droge en natte verwaaiing onderscheiden. Afstromend wegwater of runoff, de term die ik verder zal gebruiken, is de benaming voor het regenwater dat van het wegdek afstroomt met daarin de opgeloste en aan het slib gebonden verontreinigingen.

De manier van verspreiden, via runoff of verwaaiing, heeft zowel invloed op de wijze waarop verontreinigingen zich verder in het milieu verspreiden als op de mogelijke preventieve maatregelen. Runoff beïnvloedt voornamelijk de eerste meters van de wegberm. Het water infiltreert zeer lokaal in de bodem. Verwaaiing daarentegen verspreidt de verontreinigingen over een grotere afstand van tientallen tot honderden meters.

Runoff is goed op te vangen en af te voeren door bv. de weg te voorzien van een goot met riolering. Verwaaiing is slechts te bestrijden door de bermen te voorzien van een slecht waterdoorlatende laag bv. een folie of een dichte kleilaag.

Het probleem van runoff

Is de runoff nu zodanig verontreinigd dat het noodzakelijk is om maatregelen te treffen teneinde te voorkomen dat de bodem en het water worden verontreinigd. Aan het nemen van maatregelen, zoals het rioleren van wegen en het nazuiveren van het water, zijn hoge kosten verbonden. De provincie die verantwoordelijk is voor de bescherming van de bodem stelt dan ook meestal de eis dat bij aanleg van nieuwe wegen in beschermingsgebieden (bodembeschermingsgebieden, waterwingebieden) maatregelen worden genomen. In het verleden zijn dan ook in deze gebieden in meer of mindere mate maatregelen getroffen. Maar er zijn vragen. Sorteren ze ook voldoende effect? Zijn ook maatregelen nodig buiten deze genoemde gebieden? Ik hoop in dit artikel antwoord op deze vragen te kunnen geven, zei het slechts voor een deel.

Hoe verontreinigd is runoff?

Door de DWW zijn in eerste instantie onderzoeken verricht om na te gaan in welke mate verontreiniging van de wegbermen optreedt. Uit het onderzoek [1] blijkt dat de hoogste concentraties in de eerste meters naast de verharding optreden. In de monsters op 10 m afstand van de weg waren de concentraties al gelijk aan de referentiepunten op 200 m afstand van de weg. Ook is geconstateerd dat de verontreiniging zich beperkt tot bovenste 30 cm van

de bodem. De metingen zijn verricht langs een aantal al oudere druk bereden rijkswegen (A2-Maarssen, A4-Leiden, en A13-Delft) en de recentere, doch wel druk bereden A27-Utrecht. Al deze wegen waren voorzien van een dicht asfaltbetonverharding (DAB).

Uit de onderzoeken blijkt dat de wegbermen van de oudere rijkswegen voor een aantal zware metalen (lood en zink) en PAK licht tot sterk verontreinigd zijn. Dit wordt veroorzaakt door de accumulatie van de zware metalen. Om deze accumulatie te volgen worden langs een nieuwe rijksweg (A58-Breda) periodiek metingen verricht. Bij dat wegvak blijkt dat na ca. 6 jaar nog nauwelijks sprake is van een verontreiniging. Dit wegvak is overigens voorzien van een zeer open asfaltbeton verharding (ZOAB).

Hoe zit het nu met de verontreiniging in de runoff.

Door de DWW is op een vijftal locaties langs rijkswegen onderzoek verricht naar de kwaliteit van de runoff [2]. Drie van de wegen waren voorzien van DAB, twee van ZOAB. Uit de metingen kwamen verrassende resultaten naar voren. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de totale massastromen van zware metalen en PAK (mg/meter weg/week).

Tabel 1.

Totale massastromen van zware metalen en PAK (mg/m weg-1.week-1) op vijf onderzoeklokaties (bron DWW-1995)

	chroom	zink	lood	cadmium	nikkel	koper	PAK
Akersloot	3.8	89	45	0.69	3.1	17	3.42
Badhoevedorp	2.4	56	27	0.55	1.5	9.5	3.84
Krabbendijke	2.7	69	35	0.45	2.4	16	2.20
Nijkerk	0.19	3.1	0.93	0.02	0.35	1.2	1.86
Spaarnwoude	0.36	4.9	0.84	0.01	0.03	1.3	0.64

In de tabel valt het grote verschil tussen de DAB- en de ZOAB-wegen (Nijkerk en Spaarnwoude zijn ZOAB). Van de gevallen regen komt bij ZOAB slechts 20-25% via runoff tot afstroming. Ook de mate van verontreiniging is minder dan bij DAB vooral minerale olie wordt nauwelijks gevonden. De reden is dat door de open poriën in het ZOAB een grote buffering optreedt, waardoor regenwater sneller kan verdampen en de verontreinigingen voor een deel achterblijven in het asfalt. Een ander positief effect van ZOAB is dat de verwaaiing bij ZOAB veel minder is. Dit verschil wordt zeer duidelijk geconstateerd als bij regenweer wordt gereden en het opstuiven van het water bij ZOAB achterwege blijft.

Kan verontreiniging in runoff worden teruggedrongen?

Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden. Ten eerste maatregelen aan de bron, dus het verkeer zelf. Een belangrijke maatregel is geweest de overschakeling in loodvrije benzine. Op basis van deze maatregel zal lood dus nauwelijks meer in de runoff worden gevonden. Ook door de katalysatoren is een beperking van de stoffen via de uitlaat beperkt. Zink komt vooral uit de banden of via corrosie van de geleiderail. Inmiddels lopen studies naar andere beschermingstechnieken voor de geleiderail.

Maatregelen aan de bron kosten over het algemeen veel tijd en beslissingen in EG-kader.

Een tweede optie is het versneld aanleggen van ZOAB-verharding. Eind 1996 was 37% van het hoofdwegennet voorzien van ZOAB. Bij nieuwe wegen en in het kader van het onderhoud is het de bedoeling dat op termijn nagenoeg het gehele hoofdwegennet van ZOAB wordt

voorzien. In specifieke situaties bv. grondwaterbeschermingsgebieden, zou aanleg van ZOAB kunnen worden versneld.

Een ander mogelijkheid voor verbetering van de runoff is de toepassing van nageschakelde zuiveringstechnieken. In dat geval is het wel noodzakelijk dat voorzieningen worden aangebracht om de runoff op te vangen door goten of riolering. Aan maatregelen wordt in eerste instantie gedacht aan bezinking en zandfiltratie, maatregelen die reeds toepassing hebben gevonden, doch waar weinig bekend is van de effectiviteit.

Door het RIZA is daarom een onderzoek [3] uitgevoerd naar de effectiviteit van deze reinigingstechnieken. De conclusie van het onderzoek waren vrij duidelijk. De vastgestelde zuiveringsrendementen blijken voor behandeling van de runoff bij ZOAB voor zowel bezinking als zandfiltratie een stuk lager te liggen dan bij DAB (tabel 2).

Tabel 2.

Rendement bezinking en zandfiltratie op runoff (%) (bron RIZA 1996)

component:	bezinking (%)		zandfiltratie (%)	
	DAB	ZOAB	DAB	ZOAB
zwevend stof	85	40-80	niet-bepaald	niet-bepaald
koper	50	20	70	32
lood	70	58	83	51
zink	42	18	60	14

De oorzaak voor deze lagere rendementen is het veel lagere zwevend stofgehalte in de runoff van ZOAB (2-70 mg/l). Voordat de runoff aan de zijkant van de weg uittreedt, stroomt het immers eerst door de holten in het ZOAB. Deze "filtratiestap" vangt waarschijnlijk het meeste zwevend stof af uit het water. Het resultaat hiervan is runoff met metalen die voor een groot deel in opgeloste vorm voorkomen die niet door bezinking of zandfiltratie zijn af te vangen.

Bij runoff van DAB is sprake van een veel hoger zwevend stofgehalte (155-350 mg/l). Deze runoff blijkt dan ook met een behoorlijk hoog rendement te kunnen worden gezuiverd.

Workshop "Afstromend wegwater"

De verontreinigde runoff komt in wegbermen, grond- en oppervlaktewater terecht. Daarmee is deze problematiek van belang voor zowel wegbeheerders als water- en bodemkwaliteitsbeheerders. Om deze redenen hebben de Rijkswaterstaat en het IPO, bij monde van de provincies Gelderland en Overijssel, het initiatief genomen een workshop te organiseren.[4] De doelstelling was elkaar wederzijds te informeren over de onderzoeken en het te voeren beleid op elkaar af te stemmen. Dit zou de basis kunnen zijn voor mogelijk nader vast te stellen aanbevelingen die door RWS, IPO, CIW/CUWVO en VNG worden gedragen.

Vooralsnog heeft de workshop een aantal relevante conclusies opgeleverd.

1. Runoff wordt nationaal en "milieubreed" niet als een groot probleem aangemerkt, maar in plaatselijke situaties wel degelijk. Er dienen dus maatregelen te worden genomen, lattend op kosten-effectiviteit en milieurendement.
2. Het beleid van RWS om op grote schaal ZOAB als maatregel op het autosnelwegen met vluchtstrook te realiseren wordt uit oogpunt van kosten-effectiviteit en milieurendement als afdoende maatregel gezien. Voor overige wegen en kwetsbare gebieden is nader onderzoek nodig.

3. Voor kwetsbare gebieden (o.a. bodembeschermingsgebieden, waterwingebieden) zijn gebiedsgerichte maatregelen nodig. Dit vereist wel maatwerk.

Wat wordt de aanpak

Uit de workshop is gebleken dat van de runoff vooral kennis beschikbaar is gericht op het autosnelwegennet. Dit resulteert dan ook tot instemming met de al genoemde beleiditspraak over de toepassing van ZOAB op het hoofdwegennet. Hoewel al een aantal beschermende maatregel zijn genomen bij de doorsnijding van waterwingebieden, wordt over de effectiviteit van een aantal maatregelen een zekere twijfel uitgesproken. Aan wegen zonder vluchtstrook, zowel met DAB als ZOAB, is nagenoeg geen onderzoek verricht. Er dient dus nog het nodige gedaan te worden.

Om aan bovenstaande vorm te geven is nu in het kader van de CIW/CUWVO-6 een sub-werkgroep ingesteld die als taak de volgende taakopdracht heeft meegekregen:

het ontwikkelen van richtlijnen voor het omgaan met runoff, rekening houdend met een aantal specifieke aandachtspunten: soorten wegdek, kwetsbaarheid van gebieden, onderscheid landelijk-stedelijk gebied, aanwezigheid vluchtstroken, nieuwe/bestaande wegen, verzorgingsplaatsen, inpasbaarheid in bestaand wettelijk kader en te komen voorstellen voor vervolgonderzoek.

Op 17 juni 1997 is de sub-werkgroep gestart met de werkzaamheden. Over ca. 3/4 jaar heeft de sub-werkgroep zich ten doel gesteld met een rapportage te komen.

Literatuur :

- [1] Onderzoek naar de bodemkwaliteit van wegbermen op lokaties langs rijkswegen in de Randstad. TAUW Infraconsult i.o.v DWW, 1990
- [2] Microverontreinigingen langs rijkswegen: een evaluatie. DWW, 1995
- [3] Behandeling afstromend wegwater van snelwegen. RIZA, 1996
- [4] Workshop "Afstromend wegwater", 21 november 1996, verslag. DWW, 1997

Brandstoffen voor het Wegverkeer

Auteur:

H.D. Kattenwinkel

Shell Nederland

Verkoopmaatschappij B.V.

Postbus 1414

3000 DN Rotterdam

tel: 010-469 6368

fax: 010-469 6715

De verbrandingsmotor zoals wij die kennen in de personenauto en vrachtwagen heeft inmiddels een historie van meer dan honderd jaar. Zo ook de motorbrandstoffen. Voor de conventionele verbrandingsmotor met zuigers en cilinders wordt nog een goede toekomst van vele decennia voorzien. Hoe zit dat met zijn energiedrankjes; benzine, diesel en LPG ?

Fossiel of alternatief

Wanneer wij over de ontwikkelingen van motorbrandstoffen spreken, dienen wij allereerst stil te staan bij de vraag of er nog wel een toekomst is voor brandstoffen gemaakt uit aardolie. Hebben deze niet het bezwaar dat zij middels CO₂ vorming bijdragen aan het broeikas-effect en dat de voorraden uitgeput raken ?

Hun bijdrage aan het broeikasfenomeen is waarschijnlijk het grootste bezwaar dat kleeft aan deze brandstoffen. Reden om te blijven werken aan alternatieven. Er is tot nu toe evenwel nog geen vervanger die voor relatief weinig geld zoveel voordelen biedt. Brandstoffen als benzine en diesel hebben een hoge energiedichtheid (veel joules per liter), zijn als vloeistof makkelijk op te slaan en te transporteren en kennen een kostprijs van slechts enkele dubbeltjes. (de prijs die u aan de pomp betaalt voor bijv. benzine bestaat voor meer dan 70% uit belastingen en allerlei heffingen die vnl. de minister van financiën ten goede komen).

Voor wat betreft het uitgeput raken van de wereld olievoorraden is er sprake van een wijd verbreid misverstand. Met de huidige voorraden kunnen wij zeker nog veertig jaar vooruit. Maar wat belangrijker is; er blijken nog voldoende reserves opgespoord te kunnen worden. Een paar cijfers ter illustratie: dertig jaar geleden schatten wij de wereld olievoorraad op 48 miljard ton. Sindsdien is er ca. 90 miljard ton verbruikt. Er is in die periode echter voor ca. 180 miljard ton aan nieuwe reserves ontdekt, waaronder die in de Noordzee. Er wordt dus meer gevonden dan geconsumeerd en er is geen reden aan te nemen dat dit morgen stopt. Daarnaast ontwikkelen de winningstechnieken zich zodanig dat ook kleine velden economisch winbaar worden. Een mogelijk probleem is wel de spreiding van de reserves. De rol van enkele OPEC landen is groot en blijft dat waarschijnlijk ook, met de kans dat dit als een politieke factor wordt gebruikt.

Kijken wij 20 jaar vooruit dan kan er, ondanks het CO₂ nadeel van fossiele brandstoffen, geen andere conclusie zijn dan dat zij als motorbrandstof nog een grote toekomst hebben. Daarbij onder fossiel ook te verstaan aardgas en LPG. Alternatieven als elektriciteit, waterstof of biobrandstoffen bieden in een beperkt aantal toepassingsgebieden voordelen. Maar buiten deze niches is hen door de te hoge kostprijs en het ontbreken van de vereiste infrastructuur geen grote rol toebedeeld. Pas op de langere termijn zullen mogelijk biobrandstoffen, op zeer efficiënte wijze gewonnen uit bijv. hout, een rol kunnen spelen. Een situatie als in Frankrijk of Brazilië, waar biobrandstoffen reeds in zekere mate toepassing vinden, heeft weinig te maken met milieubeleid, maar alles met landbouw- of sociaal-beleid waarbij middels forse subsidies een markt voor deze brandstoffen wordt gecreëerd.

Welke fossiele brandstof

Fossiele motorbrandstoffen blijken dus nog een toekomst te hebben. Wij kennen ze in verschillende soorten; benzine, diesel, LPG en aardgas. De eerste drie gewonnen uit aardolie, terwijl aardgas zo uit de grond komt. Zijn hier de komende decennia verschuivingen te voorzien? Wij moeten ons hierbij bedenken dat de mate van toepassing van de verschillende typen volledig door de overheid wordt gestuurd. Middels differentiaties in accijnzen kan in principe elke verhouding bijna tot op de procent nauwkeurig worden ingesteld. De vraag dient dan ook gesteld te worden; wat gaat de overheid doen ? Bepalend daarbij zullen zijn; het

milieubeleid en de het op orde houden van het huishoudboekje dat zwaar leunt op de inkomsten uit brandstofaccijnzen.

Onze overheid heeft zich een aantal milieudoelen gesteld voor het jaar 2010 (NMP-Plus). Daarin zijn een paar knelpunten te onderscheiden. Ten eerste het milieu in de steden dat zowel op basis van objectieve metingen als op basis van de publieke perceptie te wensen overlaat. Daarbij te denken aan stank, lawaai, deeltjes (roet), smog, e.d.. Ten tweede het landelijke milieu; hier lijken de emissies van totaal CO₂ en NO_x de gestelde doelen niet te halen. Variaties in brandstofkeuzes kunnen bijdragen aan het bereiken van de gestelde doelen.

Het stedelijke milieu

Het milieu in de steden is gebaat met een groter aandeel van gas, hetzij aardgas, hetzij LPG. Voertuigen op gas zijn schoner, ook al werken de fabrikanten van diesel- en benzinevoertuigen hard aan het inlopen van de achterstand. Een bijkomend voordeel van LPG ten opzichte van diesel is dat voertuigen op gas behalve schoner, gemeten naar schadelijke emissiecomponenten, ook minder stank en lawaai produceren. Dit is met name in het stedelijke milieu van groot belang. Een eerste stap in de richting van meer gas is het overschakelen van stadsbussen. Daarmee is niet alleen het milieu gediend, maar ook het imago van het openbaar vervoer. Zij stinken minder, maken minder lawaai en geven veel minder uitstoot van deeltjes (roet) en de aan smog bijdragende NO_x. Na de stadsbussen kunnen de overige bussen, taxi's en voertuigen van stedelijke distributiebedrijven, reinigingsdiensten e.d. worden overgeschakeld. In hoeverre de keus moet vallen op aardgas dan wel op LPG is milieutechnisch niet zo interessant. Beiden zijn zeer schoon, mits gebruik gemaakt wordt van moderne injectie-apparatuur. Ook discussie over veiligheid en toepasbaarheid zijn weinig relevant omdat zowel aardgas als LPG zich in allerhande toepassingen als betrouwbaar hebben bewezen. Het wijd verbreide idee dat er onvoldoende LPG zou zijn berust, evenals bij de aardoliereserves, op onvoldoende informatie. De finale keuze zal vnl. bepaald worden door kostenoverwegingen. Daar waar reeds een goede en kostbare infrastructuur bestaat voor de opslag en distributie van LPG, zoals in Nederland, mag worden verwacht dat LPG gunstiger uitvalt dan aardgas. In landen waar dit niet het geval is kan een kostenvergelijking mogelijk in het voordeel van aardgas uitvallen.

Het landelijke milieu

Ook het landelijke milieu is gediend met een groter aandeel gas, met name waar het gaat om reducties van deeltjes en NO_x. Vervanging van diesel door LPG als brandstof voor personenauto's kan hieraan bijdragen. Dit is onderkend en heeft met ingang van 1997 geleid tot een aanpassing van de belastingtarieven ten gunste van LPG. In hoeverre dit leidt tot een substantiële toename van LPG in personenauto's zal nog moeten blijken. Dit zal o.a. afhangen van mate waarin de LPG auto haar milieuvoordelen tegen acceptabele kosten blijft waarmaken (ombouw relatief duur en steeds complexer) en de mate waarin de dieselpersonenauto zijn achterstand weet in te lopen met behoud van het CO₂ voordeel. Slaagt de dieselauto daar binnen 10 jaar niet in dan moet voor zijn toekomst worden gevreesd. Dan eindigen wij in Europa met de Amerikaanse situatie waar men nauwelijks dieselpersonenauto's kent. Datzelfde lijkt trouwens het lot van de LPG auto wanneer op termijn de benzine-auto haar achterstand inloopt.

Voor het internationale goederentransport blijft, op basis van zwaarwegende economische redenen, diesel de brandstof bij uitstek.

Samengevat leidt dit tot het volgende beeld voor de komende 15 jaar: een grotere rol voor LPG/aardgas in het stedelijke transport, een onzeker afloop van de milieu-strijd tussen de

personenauto op LPG dan wel diesel en een blijvend dominante rol voor diesel in het vrachtwagensegment.

Schone brandstoffen ten dienste van de voertuigtechnologie

Vanaf de introductie van de verbrandingsmotor en de ontwikkeling daarvan heeft ook de brandstof een ontwikkeling gekend. Was deze in eerste instantie gericht op het verbeteren van de prestatie van de motor, de laatste decennia is deze vooral gericht op een schonere prestatie. Daarbij is de hoofdrol weggelegd voor de voertuigtechnologie en dient de brandstof alle beletselen weg te nemen voor het toepassen van die technologie. Een voorbeeld daarvan vormt de katalysator die mogelijk werd door invoering van de ongelode benzine.

De rol van de brandstof is weliswaar belangrijk, maar toch bescheiden. Dit is recent nogmaals aangetoond door een groot Europees onderzoek waarin de auto-industrie, de olie-industrie en de Europese Commissie samenwerkten. Doel van deze studie was na te gaan hoe de Europese milieudoelen voor het jaar 2010 op het gebied van luchtkwaliteit het beste en meest kosteneffectief gerealiseerd kunnen worden middels brandstoftechnische of voertuigtechnische maatregelen. Het voertuig blijkt dan een relatief veel grotere bijdrage te kunnen leveren mits haar maar niets in de weg wordt gelegd door de brandstofkwaliteit.

Schoon, schoner, schoonst

Het maken van schonere brandstoffen vergt meer energie en veroorzaakt daarmee meer uitstoot van CO₂ van de raffinaderij. Dit nadeel dient altijd afgewogen te worden tegen de voordelen. Toch is er al veel gebeurd aan het brandstoffront. Wij kijken even apart naar de benzine en de diesel.

Benzine

De veranderingen die de afgelopen jaren de toon hebben gezet waren vrijwel allemaal milieu gericht. Een kleine opsomming geeft het volgende beeld; introductie van loodvrije benzine; meervoudige verlaging van het max gehalte aan benzeen, lood en zwavel, eliminatie van chloor en broom-verbindingen in gelode benzine en een volledig uitverkoop van gelode benzine per september 1996. De komende jaren zullen verdere aanpassingen verlangd worden. Per 2000 worden de maximale benzeen- en zwavel-gehalten opnieuw verlaagd en worden limieten gesteld aan vluchtigheid, aromaten en olefinen. Deze eisen zijn veelal bedoeld om de voertuigconstructeur bij te staan in zijn taak voertuigen te ontwerpen die voldoen aan de steeds strenger wordende emissie-eisen. Een voorbeeld daarvan is het feit dat zwavel de effectiviteit van de katalysator nadelig beïnvloedt. Hoe meer zwavel in de benzine, hoe slechter de omzettingsgraad in de katalysator. De laatste reductiestap lijkt dan ook nog niet gezet. Het verlagen van het benzeen- en aromaat-gehalte leidt indirect tot een lagere uitstoot van benzeen uit de uitlaat en een verlaging van de vluchtigheid helpt de verdampingsverliezen te beteugelen.

De constructeur eist daarnaast ook goede reinigende additieven om de motor in optimale conditie te houden, zodat de emissies over de hele levensduur van het voertuig laag blijven.

Diesel

Voor diesel werd stapsgewijs de limiet van het zwavelgehalte verlaagd van 0,7% mm in 1972 naar de huidige 0,05% mm (= 500 ppm) per oktober 1996. Deze laatste stap naar laag zwavelige diesel is nodig om de emissie-eisen voor nieuwe zware dieselmotoren (Euro II) te kunnen halen. Per 2000 zal het maximum gesteld worden op 350 ppm. Hoe lager het zwavelgehalte, hoe minder deeltjes (particulates) er in de motor worden gevormd. Mocht in de komende eeuw de "De-NO_x" katalysator voor dieselveertuigen doorbreken, dan zal gevraagd

worden het zwavelgehalte verder te verlagen omdat ook de effectiviteit van dit type katalysator nadelig wordt beïnvloed door zwavel in de brandstof.

Behalve aan minder zwavel heeft de constructeur behoefte aan een lagere soortelijke massa, minder polycyclische aromaten, minder zware koolwaterstoffracties, een hoger cetanaantal en effectief reinigende additieven. Allemaal wensen waaraan de olie-industrie zoveel mogelijk tegemoet zal komen.

Waar doen wij het voor

Er ligt dus nog een schone taak voor de olie-industrie: enerzijds de wensen van de auto-industrie zoveel mogelijk te honoreren maar anderzijds het eigen energieverbruik (CO₂ emissies) laag te houden waardoor ook de kostprijzen voor deze economisch zo belangrijke sappen laag kunnen blijven. Het grote economische belang vereist ook dat voor alle verdere aanscherpingen een goede afweging wordt gemaakt tussen kosten en baten en de eventuele alternatieven.

De consument zal nauwelijks voordelen hebben van de lage kostprijzen, want de pompprijzen zullen door hogere belastingen nog in aanzienlijke mate stijgen.

Een voordeel voor ons allen van de samenwerking tussen brandstoffabrikant en voertuigconstructeur is dat deze leidt tot voertuigen die op basis van geavanceerde verbrandingsmotoren en brandstoffen nagenoeg geen schadelijke uitlaatgassen meer zullen produceren. Wellicht dat wij in 2010, sprekend over schadelijke stoffen, ons meer zorgen moeten maken over de sigaret dan over de moderne auto, om over de open haard nog maar te zwijgen. Te hopen is dan wel dat er met deze schone auto's en brandstoffen nog kan worden gereden. Het mobiliteitsprobleem kan wel eens groter blijken te zijn dan het emissieprobleem.

Conclusies

De rol van de fossiele brandstoffen is nog lang niet uitgespeeld. De lage kosten, de grote voorraden en de goede toepasbaarheid in vergelijking met alternatieven staan daarvoor garant. Binnen de reeks fossiele brandstoffen zijn uit milieu oogpunt de meest vluchtige (aardgas en LPG) te prefereren. In hoeverre zij ook daadwerkelijk een substantiële rol gaan spelen wordt door zeer veel factoren bepaald. De mate waarin en de snelheid waarmee de auto-industrie de benzine- en diesel-motor weet te schonen zullen daarin zeker meewegen.

De ontwikkeling van de brandstof dient gelijke tred te houden met die van de motoren, waar deze laatsten de belangrijkste bijdrage leveren aan een schoner milieu. Uiteindelijk zal dit leiden tot zeer schone voertuigen die meer belastend zijn vanwege de ruimte die ze innemen dan vanwege de emissies.

Groei CO₂-emissies en de upgrading in modellen

Auteurs:

M. Kroon (presentatie)

L. Zuidgeest

Ministerie van VROM

DGM/Directie Geluid en Verkeer

Postbus 30945

2500 GX Den Haag

tel: 070-339 4368

fax: 070-339 1281

Uitgangssituatie

De in NMP Plus en SVV 2 vastgelegde CO₂-reductiedoelstelling van 10% tussen 1986 en 2010 voor wegverkeer zal bij lange na niet gehaald worden. Integendeel, een forse toename van de CO₂-emissies wordt verwacht, zelfs met volledige uitvoering van het voorgenomen beleid. Er dreigt na 2010 een 'beleidsgat' van ruim 30% te ontstaan. De lopende verkenningen van de extra maatregelen die het 'beleidsgat' tussen doel en verwachte trends moeten dichten, wijzen uit dat alleen radicale 'alles uit de kast' maatregelen het doel dichterbij kunnen brengen. Met name forse brandstofprijshogingen, snelheidsreducties, normering aan de CO₂-uitstoot per voertuig en een restructureel stedelijk beleid vormen de ingrediënten van zo'n aanpak. Zie verder het RIVM-rapport nr. 773002 (concept september '97) "Verkenning van ver gaande maatregelen en maatregelpakketten ter reductie van CO₂-emissie wegverkeer".

Wanneer we ons beperken tot de personenauto en de wijze waarop de auto-CO₂-emissies totstandkomen, dan zien we dat de voertuigemissiefactor, de kilometrage en de snelheids/-rijgedrag-factor de uiteindelijke gecumuleerde uitstoot van CO₂ bepalen (zie figuur 1). Uitgaande van groei of standstill bij één of twee van deze factoren, betekent dit dat een extra afname bij de overige factor(en) nodig is om tot een netto afname van 10% te geraken. Stel dat de volumegroei in voertuigkilometrage de beoogde 35% bedraagt en dat het snelheidsgedrag niet verandert, dan zal het gemiddeld brandstofverbruik per voertuig in de periode 1986-2010 met 35% + 10% moeten afnemen. Wanneer de volumegroei echter 45% bedraagt, dan zou tevens de factor snelheid en rijgedrag met 10% moeten afnemen. Met andere woorden, alle automobilisten zouden per 2010 een 10% zuiniger rijgedrag moeten vertonen, wat overeenkomt met een daartoe al in 1989 geformuleerde doelstelling. Bij onveranderd rijgedrag daarentegen zou het gemiddeld brandstofverbruik met nog eens 10% moeten afnemen. Duidelijk is dat alleen een cumulatie van reducties op verschillende 'sporen' zoden aan de dijk zet. Deze voorbeelden geven aan dat een meersporenbeleid nodig is om een zo ver gaande CO₂-reductiedoelstelling te halen. Dit temeer, daar het zeker is dat een groei in de factor kilometrage zal plaatsvinden, die de vooruitgang in de andere factoren deels teniet zal doen.

Upgradingtrends

Wie na de hoge verwachtingen die er eind jaren '80 bestonden een verklaring wil vinden voor het achterblijven van de efficiencyverbeteringen van personenauto's, doet er goed aan om naar de concrete ontwikkelingen in de automarkt te kijken. In eerdere publicaties van OECD, IEA en CEMT¹³) is dat samengevat in het begrip 'upgrading': de continue groei van de voertuigeigenschappen die het brandstofverbruik en de CO₂-emissie van personenauto's bepalen. Om het effect van de upgrading beter te begrijpen moeten we over de statistieken heen de showrooms binnenstappen en de heilige koe bij de horens en de uiers vatten en het beest diep in de halogeen-ogen kijken.

¹³ CEMT-resolutie no. 91/5 "on the power and speed of vehicles": CEMT/INRETS: "Trends in the Power Ratings of Cars and Heavy Goods Vehicles" (Parijs, 1995); Kroon (Verkeerskunde 1994, 3).

Net als bij de echte koeien, die elk jaar een steeds grotere hoeveelheid melk uit dezelfde hoeveelheid voedsel produceren, bieden moderne auto's steeds meer bij eenzelfde brandstofverbruik. Binnen de automarkt lopen verschillende trends door elkaar, die deze 'upgrading' belichamen en die op zich veelal ongunstig uitwerken op de CO₂-uitstoot. Doordat het NMP-SVV-beleid niet in staat is om deze trends te beïnvloeden en er ook geen internationaal beleid op dat punt bestaat, ligt hier een belangrijke oorzaak van het beleidsgat. De vraag moet derhalve worden gesteld of en hoe tegentrends beleid op deze specifieke oorzakelijke factoren ontwikkeld kan worden.

De upgradingtrend wordt zichtbaar in de volgende parameters, die zowel in de statistieken (gemiddeld vloot-breed) als in individuele modellengeneraties zichtbaar worden.

Het gaat dan om de groei van de parameters:

- lengte x breedte
- hoogte
- gewicht
- cilinderinhoud
- vermogen
- topsnelheid
- praktijkverbruik (# EU testcyclus).

Naast deze parameters gaat het om trends binnen de markt, zoals de groei van MPV's, 4WD's en pick-up trucks en mengvormen daarvan, zoals "funcars", die een boven-gemiddeld verbruik hebben. Daarnaast bevat het uitrustingsniveau steeds meer zaken die het verbruik verhogen, zoals brede banden, stuurbekrachtiging en de airco.

Er is geen nauwkeurige statistische vastlegging van al deze parameters in het NL park, maar wat wel bekend is geeft het volgende beeld: lengte x breedte is fors gestegen de laatste decennia; idem gewicht, cilinderinhoud, vermogen en prestaties. Deze trends bestaan niet alleen op papier, maar ook in de werkelijkheid van de showroom en de straat. Enkele voorbeelden van bekende modellengeneraties uit ± 1962 t/m 1997 (zie bijlagen) bevestigen dit. Zie onderstaande tabel en figuur 1 t/m 6 van Bijlage A, waarin voor 4 generaties van de VW Golf het brandstofverbruik, het vermogen en het gewicht wordt weergegeven met als referentie de gemiddelde nieuwwloot-waarden voor 1996.

Ter verdere referentie zijn in Figuur 4 tot en met 7 van Bijlage A het brandstofverbruik, het vermogen, het gewicht en de grootteverdeling van de in 1996 nieuw geregistreerde benzinepersonenauto's weergegeven.

Tabel 1 Auto's worden in de loop der jaren steeds groter en zwaarder, gerekend naar merk, model en marktsegment. (1.=1962, 2.= 1978, 3.= 1994)

Merk en type	Cilinder-inhoud [cc]	Gewicht [kg]	Vermogen [DIN pk]	Top-snelheid [km/u]	Praktijk-verbruik [l/km]
BMW					
1.: 1500	1500	900	75	150	1:10
2.: 520	1990	1310	122	180	1:8,5
3.: 520i	1990	1445	150	216	1:8,5
Citroën					
1.: Ami 6	600	620	22	105	1:17
2.: GS Club	1220	880	59	151	1:10,5
3.: ZX Aura	1580	926	88	180	1:10,5
Fiat					
1.: 600	770	580	29	110	1:17
2.: 127	1050	715	50	140	1:12,5
3.: Punto 75ELX	1240	873	74	172	1:12,5
Mercedes Benz					
1.: 190D	2000	1225	55	125	1:14
2.: 200D	2000	1375	55	130	1:13
3.: C 250D	2500	1407	113	190	1:12,5
1.: 220SE	2195	1327	120	172	1:8,5
2.: 280SE	2750	1615	177	200	1:7,5
3.: S 420	4200	1990	279	245	1:6,5

Parameters

De upgrading in al deze parameters is gepaard gegaan met een kwalitatieve upgrading in technische en functionele parameters, zoals veiligheid, wegligging, comfort, binnenruimte en uitrustingsniveau. De met overcapaciteit kampende autoindustrie is gericht op continue verandering en incrementele (zij het vaak vooral optische) verbetering van het produkt auto. De daarmee gepaard gaande kunstmatige veroudering en versnelde afschrijving van "verouderde" modellen heeft alles te maken met de keiharde concurrentiestrijd tussen de mondiaal opererende fabrikanten, die elk nieuw autotype in elk marktsegment zo moeten ontwerpen en uitrusten dat dat nieuwe model net iets meer te bieden heeft dan de concurrentie.

Een eerste uitzondering hierop vormt de nieuwe Mazda 626, die kleiner is dan zijn voorganger, maar wel meer binnenruimte biedt. Een model dat minder biedt of presteert dan de concurrentie en flopt, kan het einde van de fabrikant betekenen. Dit mechanisme van haasje-over-biedende (geforceerde) modelvernieuwing en segmentverbreding is een fundamentele oorzaak van de voortgaande upgradering en van de achterblijvende CO₂-reductie in het autopark. Het gaat overigens niet aan, om de consument hiervan de schuld te geven. De consument koopt gewoon het lekkers dat hem/haar wordt voorgehouden en vraagt per definitie niet of het een onsje minder mag zijn. Dit betekent op zich al dat maatregelen die op de consumentenkeus gericht zijn per definitie een beperkt effect hebben en weinig kunnen veranderen aan de algemene trends in de markt. Daar zijn dus ingrijpendere maatregelen voor nodig dan fiscale stimulering, accijnsverhogingen of communicatie. Maatregelen om upgradering tegen te gaan zullen vooral op de fabrikanten gericht moeten zijn.

Soorten maatregelen

De te treffen maatregelen zullen moeten aangrijpen op die parameters die - bij een gegeven stand van de techniek - een direct effect op de CO₂-uitstoot hebben. CO₂-normering is daarbij de voor de hand liggende aanpak. In termen van de 'drie-liter-auto' e.d. is hier al jaren sprake van. CO₂-normering heeft de voorkeur, maar de complicaties die een evenwichtige toedeling aan autotypen en fabrikanten met zeer uiteenlopende modellen meebrengt, mag niet worden onderschat. Zie de ervaringen met de Amerikaanse CAFE-regeling, die overigens indertijd wel een radicale downsizing van de gemiddelde "Brontocar" gebracht heeft. Het voordeel van een zodanige aanpak is uiteraard dat elke fabrikant zelf kan bepalen op welke wijze de reducties bereikt moeten worden. Over een Europese CO₂-normering wordt - zonder resultaat tot nu toe - al jaren binnen de EU onderhandeld met de autoindustrie. Dit blijft beleidsprioriteit nr. 1.

Een geheel andere aanpak is een regulering van de voertuigparameters die oorzakelijk zijn voor de hoogte van de CO₂-emissies van auto's en die tot nu toe 'ongereguleerd' zijn, d.w.z. geheel bepaald worden door het vrije spel van de marktpartijen, de fabrikanten voorop. Het gaat daarbij om de parameters die we al in de vergelijkingen van verschillende automodelgeneraties zijn tegengekomen.

De parameter lengte x breedte is zeer relevant voor het verbruik en de CO₂-emissie. Een gereguleerde lengte x breedte zal veel effect hebben, doordat op die manier een park met gemiddeld kleinere voertuigen ontstaat. Door het lagere gewicht en geringer frontaal oppervlak zal zo'n park gemiddeld aanmerkelijk zuiniger zijn dan het huidige. Beperking van lengte x breedte betekent 'body downsizing', wat de facto in de VS gebeurd is a.g.v. de CAFE-regeling.

De afmetingen van auto's hangen nauw samen met de functionaliteit, het soort van gebruik dat de consument ervan maakt, met name bepaald door de gezinsomvang en de zakelijke eisen. Beperking door de overheid van lengte x breedte kan betekenen dat een essentiële functie van de auto wordt aangetast en dat bepaalde segmenten uit de markt moeten verdwijnen. Daarom zal deze aanpak niet veel kans maken en leiden tot ongewenst verlies van functionaliteit binnen de automarkt. De emotionele functionaliteit van auto-afmetingen blijft hierbij buiten beschouwing.

Reductie van het gewicht, door bijvoorbeeld afhankelijk van de grootteklasse (lengte x breedte) een maximum vast te stellen, zou evenzeer een groot effect kunnen hebben. De eerste autotypen met gereduceerd gewicht (t.o.v. het voorgaande model) zijn al op de markt, bijv. de BMW5-serie en de komende Mercedes S-klasse.

Wettelijke beperking van het gewicht lijkt evenwel een moeilijk begaanbare weg vanwege de spanning die dit oplevert met de eisen aan de botsveiligheid en omdat omschakeling op bijv. aluminium en lichtere constructies productie-technisch bijzonder ingrijpend is.

Reductie van vermogens en prestaties

Bij het zoeken van andere, effectieve beleidsopties kunnen we ervan uitgaan dat autonome, technische verbeteringen aan motoren, carrosserie en aandrijving zullen doorgaan en tot de incrementele 1% reductie per jaar leiden die de laatste decennia bereikt is. Deze technische verbeteringen worden, zoals aangegeven in de inleiding, door de autonome marktontwikkelingen opgesoupeerd, wat tot een standstill in het gemiddeld praktijkverbruik sinds midden jaren '80 geleid heeft.

Om tot het door de EU-Commissie gewenste niveau van 120 gram CO₂ per km te komen - laat staan tot de 3 liter-norm als "fleet average fuel efficiency" - zal er niet aan ontkomen kunnen worden om in te grijpen in de voertuigeigenschappen: vermogen, cilinderinhoud en prestaties. De CEMT - de Raad van Europese Verkeersministers - heeft dat al in 1991 bepleit. De taboesfeer die dit onderwerp omgeeft en de onbespreekbaarheid ervan van de kant van de autofabrikanten hebben ervoor gezorgd dat er sinds 1991 op dit vlak niets bereikt is, integendeel: de upgradering van vermogens en prestaties is onverminderd doorgegaan: elk nieuw automodel bewijst het (zie figuur 1 t/m 6 van Bijlage A).

De eerder bepleite aanpak via "Engine Downsizing" (Kroon, Verkeerskunde 1994) krijgt nog extra betekenis als de koppeling gelegd wordt met de door het RIVM doorgerekende extra CO₂-maatregelen op het vlak van snelheidsreductie en kilometerreductie. De maatregelen op dat vlak zullen meer effect hebben en gemakkelijker na te leven zijn als auto's in de toekomst minder uitlokkend zijn door hun prestaties en het gemak waarmee grote afstanden overbrugd kunnen worden. Een gematigder prestatieniveau leidt niet alleen tot betere naleving van (eventueel te verlagen) snelheidslimieten, maar ook tot afname van triplengtes, tripfrequentie en - indirect - tot modal shift.

Met het oog op de autofabrikanten zou de volgende redenering e.e.a. mogelijk uit de taboesfeer kunnen halen:

1. als de dimensies van auto's niet (mogen) afnemen
 2. als de gewichten niet afnemen
 3. als het aantal auto's of de kilometrages niet (mogen) afnemen
 4. als motor-technologische revoluties zich niet aandienen
- zou "engine & performance downsizing" (EPD) dan niet de effectiefste en goedkoopste weg naar CO₂-reductie en "3 liter" kunnen vormen?

De reductiepotentie van EPD kan voorkómen dat de autoindustrie op langere termijn met maatregelen wordt geconfronteerd die veel ingrijpender zullen zijn doordat het totale marktpotentieel (aantallen auto's, omzet) wordt aangetast. Op termijn is EPD mogelijk een kans voor de autoindustrie om in veelvormigheid te blijven voortbestaan.

EPD alleen heeft te weinig potentie om het verbruik zeer radicaal te verlagen. Een totaal-aanpak met verdere reductie van de lucht- en rolweerstand, gewichtsreductie, motortecnische revoluties én EPD is nodig om tot de 3 liter-auto te komen.

Rest de vraag hoe EPD bereikt kan worden en wat dat concreet betekent voor de motorisering van de toekomstige auto's. Het staat welhaast op voorhand vast dat EPD nog onvoldoende draagvlak heeft bij consumenten, producenten, politiek en professionals. Er zal tenminste een nieuwe oliecrisis nodig zijn om het gewenste probleembesef en bereidheid tot EPD bij alle betrokkenen teweeg te brengen.

De structuur en praktijk op de automarkt (met een dominantie van de aanbieders en een attitude bij consumenten van "meer is beter") bewijst dat relatief "softe" maatregelen als voorlichting en fiscale stimulering op dit vlak niet tot de substantiële veranderingen kunnen leiden, die nodig zijn vanuit het klimaatbeleid..

Blijven over de weg van het covenant en de weg van (internationale) regulering, zoals die ook bij de emissie-eisen al decennia gevolgd wordt. Alleen al het voorkómen van "free riders" en het gegeven dat de mondiaal opererende autoindustrie intern te verdeeld is om op dit soort cruciale punten tot een accoord te komen, maken dat wettelijke regeling onontkoombaar is om EPD tot stand te brengen.

Wij eindigen met de stelling:

Uitgaande van een blijvende groei van de automobiliteit en van een blijvende consumenten-voorkeur voor grotere auto's in de loop van een mensenleven (resp. gezinscyclus), is radicale vermindering van vermogens en prestaties een onmisbaar element in een totaal-aanpak gericht op een 3-liter-norm resp. een 10% CO₂-reductie.

**Nederlandse Voertuigtechniek:
economisch op weg naar een schone praktijk**

Auteur:
J. van Meel

NOVEM
Postbus 8242
3503 RE Utrecht
tel: 030-2393 440

Wat vermag voertuigtechnologie van Nederlandse bodem voor verbetering van het milieu? Niet veel, zal menigene antwoorden. We hebben immers nauwelijks enige automobiellindustrie in Nederland. Dat is juist. Toch mogen we op het gebied van Verkeer en Vervoer geen enkele mogelijkheid onbenut laten om de milieudoelen dichterbij te brengen, zeker niet als dat kan op een manier die gunstig is voor de economie. Ik zal u laten zien dat Nederlandse technologie meer vermag dan u wellicht denkt.

Dit laat onverlet dat er heel wat meer nodig is om de milieudoelen werkelijk te realiseren: buitenlandse techniek, logistieke maatregelen, gedragsaanpassingen, innovatie in de vervoersystemen, aanpassingen in infrastructuur en ruimtelijke ordening.

Aangezien dit symposium zich concentreert op technisch onderzoek zal ik ingaan op twee aspecten van Nederlands onderzoek op het gebied van voertuigtechnologie in relatie tot milieu en economie:

- Resultaten tot nu toe
- Uitdagingen voor de toekomst

Resultaten tot nu toe

DAF vrachtwagens behoren tot de zuinigste ter wereld. Jaren van kennisopbouw door instituten en industrieel onderzoek door DAF zelf hebben hiertoe geleid. Het milieuvoordeel van een laag brandstofverbruik (en dus ook lage CO₂ emissie) blijkt ook een economisch voordeel. Vervoerbedrijven kiezen op grond van lage brandstofkosten voor zuinige vrachtwagens. Gunstig voor de concurrentiepositie van de vervoerbedrijven én die van de industrie.

VDT heeft de CVT aandrijving voor personenauto's nu zo ver doorontwikkeld dat deze zuiniger voertuigen oplevert dan mogelijk is met andere automatische transmissie of handgeschakelde versnellingsbak. Ook in dit geval blijkt het lage brandstofverbruik een argument voor de internationale automobiellindustrie om gebruik te maken van deze vinding van Nederlandse bodem. Goed voor het milieu én de economie.

Al jarenlang wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een vliegwiel als onderdeel van een hybride aandrijflijn, allereerst voor bussen, op termijn wellicht ook voor distributievoertuigen. Het vliegwiel accumuleert energie voor de acceleratie en recupereert een deel van de remenergie. Een stadsbus met een dergelijk systeem zal 30% zuiniger zijn dan een conventionele stadsbus, 90% minder NO_x uitstoten en niet meer geluid maken dan een personenauto. Afhankelijk van de ontwikkeling van de brandstofaccijnzen zijn de economische vooruitzichten goed.

Op LPG gebied is Nederland toonaangevend. De concurrerende opties van diesel en benzine motoren ontwikkelen zich zeer snel. Toch heeft Nederlands onderzoek de Nederlandse industrie in staat gesteld deze ontwikkeling met LPG bij te houden en zelfs te overtreffen. Met de derde generatie LPG systemen is de LPG industrie volledig bij de tijd. De milieuvoordelen zijn genoegzaam bekend. Onderzoek naar kwaliteit en betrouwbaarheid heeft de Nederlandse LPG industrie een positie verschaft als toeleverancier van LPG systemen voor eerste montage door de internationale automobiellindustrie. Een voorbeeld van milieutechnologie als exportprodukt.

Nederland kent een carrosserie- en opbouwindustrie van kleinere en grotere bedrijven die produceert voor Nederlandse en West-Europese transportondernemingen. Door het ontwikkelen van voertuigen met een lager eigen gewicht kan men meer betalende lading vervoeren met minder voertuigen. Gunstig voor het milieu. Maar ook gunstig voor de concurrentiepositie van de transportsector en van de industrie.

Uitdagingen ofwel leemten in het huidige onderzoek

Op deze plaats zal ik geen systematisch en volledig overzicht geven van het onderzoek naar voertuigtechnologie en milieu dat in Nederland nodig is, zoals gasvormige brandstoffen, aandrijftechniek. Wel zal ik u een drietal gebieden aanduiden waar naar mijn mening sprake is van een leemte in het onderzoek

Marketing

Naast technisch onderzoek is vooral aandacht nodig voor marketing van nieuwe technologie. Keer op keer is gebleken dat technisch en economisch superieure produkten het niet halen als onvoldoende aandacht wordt besteed aan marketing.

Voor het onderzoek ligt een uitdaging in het verschiet om visies te ontwikkelen op:

- Marketing van nieuwe technologie zoals zuinige auto's richting consumenten
- Marketing van nieuwe logistieke concepten voor verladers en vervoerders
- Marketing van nieuwe beleidsopties voor lagere overheden

Verduurzaming energievoorziening op de lange termijn

Windenergie, zonne-energie en energie uit biomassa zijn snel in opkomst. Voor de transportsector spelen deze energiebronnen vooralsnog geen rol van betekenis. De olievoorraden zijn evenwel eindig. Naar verwachting zal de transportsector één van de laatste zijn die zal overschakelen op duurzame bronnen. We ontkomen er niet aan een toekomst onder ogen te zien waarin ook de transportsector zal moeten overschakelen. Bij onderzoek op dit gebied is met name aandacht nodig voor het overgangsproces. Het heeft geen zin toekomstscenario's te ontwerpen waarbij de overgang op geen enkele manier voorstelbaar is. Daarnaast is het criterium "handigheid" van belang. Het meevoeren van een grote hoeveelheid waterstof onder hoge druk in een kleine personenauto lijkt op dit moment niet erg "handig". Misschien ligt de toekomst in synthetische brandstoffen die worden gesynthetiseerd in installaties op de terreinen van de huidige raffinaderijen en die worden gedistribueerd via het bekende kanaal van tankstations. De synthese zou kunnen worden gebaseerd op koolstof uit biomassa en waterstof uit wind- en zonne-energie. Verkennend onderzoek naar diverse van dit soort "voorstelbare en handige" scenarios is nodig.

Kennis voor het midden en kleinbedrijf in de carrosserie- en opbouwindustrie

Een laatste leemte ligt weer veel meer op de korte termijn.

Studies en een beperkt aantal projecten hebben aangetoond dat voor bedrijfswagens maar liefst 30% brandstofbesparing mogelijk is door vermindering van luchtweerstand, rolweerstand en voertuigmassa. De carrosseriebranche heeft de sleutel voor deze verbeteringen in handen. De carrosseriebranche is een sterk ontwikkelde deelcluster binnen de Nederlandse economie bestaande uit 400 bedrijven, waarvan 50 met meer dan 20 werknemers. Innovatie is relatief beperkt, er is slechts een beperkt besef van de mogelijkheden voor brandstofbesparing. Uitdaging voor het technische onderzoek is om kennis te ontwikkelen die tegemoet komt aan de behoeften van deze bedrijfstak en om samen te gaan werken met deze bedrijfstak.

De traagheid van de massa

over de invoering van nieuwe technieken

Auteur:

Roelof Jan Molemaker

Nederlands Economisch Instituut

Divisie Transport

Postbus 4175

3006 AD Rotterdam

tel: 010-453 8800

versie: augustus 1997

1 Inleiding

Met de regelmaat van de klok worden in publicaties nieuwe technieken naar voren gebracht, die ieder op hun beurt een bijdrage kunnen leveren aan een schoner vervoer van goederen en personen. Echter in het denken over schoner vervoer wordt vaak een groot optimisme ten toon gespreid ten aanzien van de effecten van deze nieuwe of verbeterde technieken. Nog los van de periode die veelal zit tussen de aankondiging van nieuwe technieken en de werkelijke marktintroductie, zal het effect van invoering pas na geruime tijd merkbaar worden, als gevolg van de traagheid die optreedt in de vervanging van het voertuigenpark. In deze paper wordt nader ingegaan op deze vertraging aan de hand van een aantal scenario's met betrekking tot ontwikkelingen in het openbaar vervoer. Hierbij komen zowel vraag- als technologische ontwikkelingen aan bod.

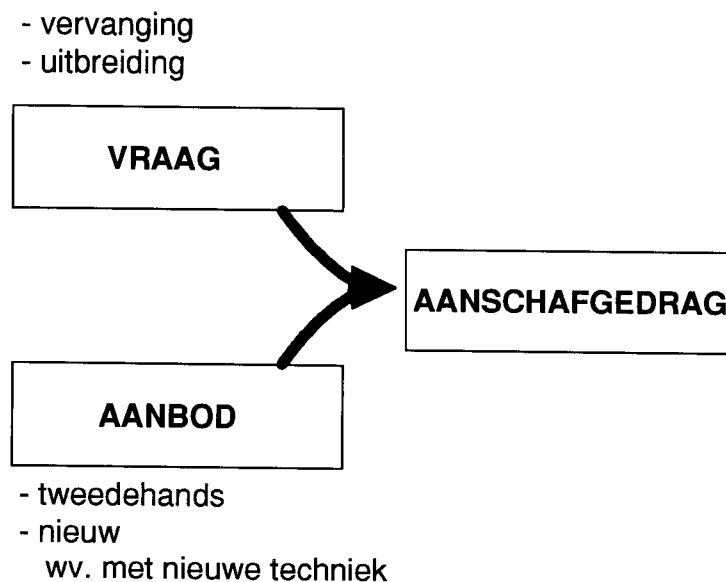
2 De traagheid van de invoering

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de voornaamste aspecten die de traagheid van de invoering van nieuwe technieken beïnvloeden. Eerst zal kort aandacht worden besteed aan een aantal theoretische overwegingen, waarna een en ander wordt toegelicht aan de hand van een aantal scenario's voor het stedelijk openbaar vervoer.

2.1 Enige theoretische overwegingen

Het effect van nieuwe technieken wordt over het algemeen pas merkbaar na geruime tijd. Dit is het geval van de slechts geleidelijke invoering van nieuwe technieken in het voertuigenpark. Van invloed zijn zowel ontwikkelingen aan de vraagzijde, als ontwikkelingen aan de aanbodzijde (waaronder technologische ontwikkelingen). De confrontatie tussen vraag en aanbod zal leiden tot het aanschafgedrag en de uiteindelijke penetratie van nieuwe technieken in het voertuigenpark. Dit is in hoofdlijnen weergegeven in figuur 2.1.

Figuur 2.1 De traagheid van de invoering: schematische weergave van de voornaamste aspecten

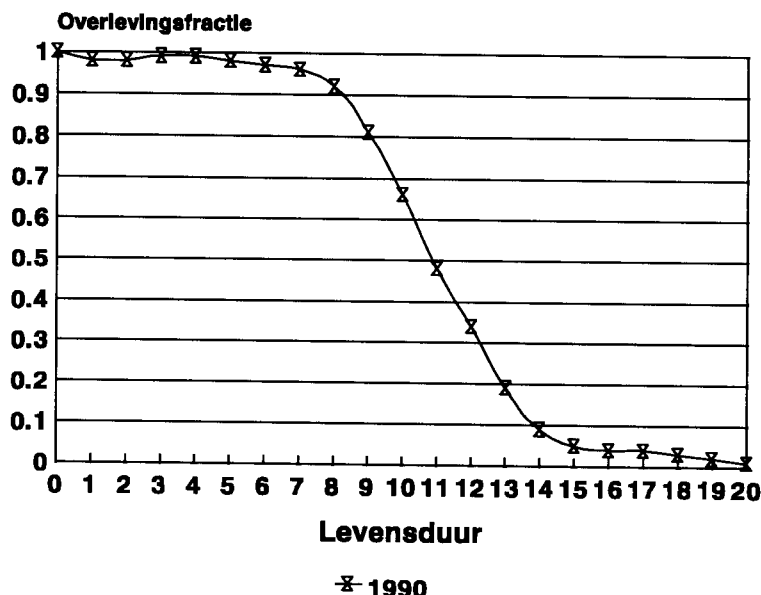


Vraagaspecten

De invoering van een nieuwe techniek wordt vanzelfsprekend beïnvloed door de vraag naar voertuigen. Deze vraag bestaat zowel uit een vervangings- als uitbreidingsvraag. De vervangingsvraag wordt in hoge mate bepaald door de economische levensduur van een voertuig. Stel dat de gemiddelde levensduur 10 jaar is, dan zal gemiddeld per jaar 10% van het voertuigenpark vervangen worden. In werkelijkheid is het beeld iets gecompliceerder, aangezien sommige voertuigen langer dan gemiddeld dienst blijven doen. Dit is grafisch weergegeven in figuur 2.2 voor personenauto's in 1990. In de modellen FACTS en ATTACK (zie paper van Schijndel-Pronk, Bus en Bozuwa), die mede door het NEI zijn ontwikkeld,

wordt het aandeel auto's van een gemiddelde leeftijd dat nog rondrijdt (de overlevingsfractie) benaderd met behulp van de zogenaamde Barbee-formule¹⁴.

Figuur 2.2 Overlevingscurve van personenauto's in Nederland (1990)



Bron: CBS.

Naast de vervangingsvraag kan een uitbreidingsvraag een rol spelen. Met name wanneer er sprake is van een sterk groeiende omvang van het voertuigenpark, kan de uitbreidingsvraag invloed uitoefenen op de totale vraag. Over het algemeen is het effect hiervan overigens beperkt ten opzichte van de vervangingsvraag. Voor personenauto's bijvoorbeeld ligt de vervangingsvraag rond de 10-11% van het totale voertuigenpark, terwijl de uitbreidingsvraag zo'n 2% bedraagt.

Aanbodaspecten en aanschafgedrag

De invoering van een nieuwe techniek wordt behalve door de vraag naar voertuigen, bepaald door het aanbod (in kwantiteit en kwaliteit) van voertuigen. Overigens is dit in de praktijk niet alleen het aanbod van nieuwe voertuigen, maar ook het aanbod van tweedehandsvoertuigen. Een groot aanbod van tweedehandsvoertuigen zal de vraag naar nieuwe voertuigen indammen. In hoeverre nieuwe voertuigen zijn voorzien van de nieuwe techniek, hangt af van de technologische ontwikkelingen (de beschikbaarheid van de nieuwe techniek), de stand van zaken wat betreft de marktintroductie en natuurlijk aspecten als aanschafprijs en operationele kosten.

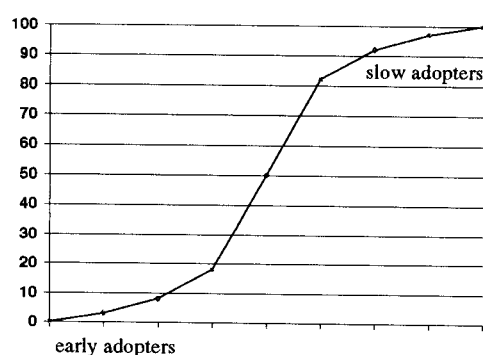
In de aanschafprijs en de operationele kosten gaat het niet uitsluitend om financiële kosten, maar kunnen ook psychologische kosten een rol spelen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht wor-

¹⁴ OVERLEV = $\frac{((\arctan(\text{MEDLEV}-T))/1.5)+1}{2} \cdot 50$, waarbij:
 ▲ OVERLEV = de overlevingsfractie van voertuigen van T jaar oud.
 ▲ MEDLEV = de op het peiltijdstip waargenomen mediaan levensduur van het voertuigpark
 ▲ T = de leeftijd van het betreffende bouwjaar op het peiltijdstip.

den aan imago van een voertuig (een “snel scheurijzer” versus een “bejaardenbak”), maar ook zaken als comfort van de auto, etc. De invloed van prijs en kosten op het aanschafgedrag zal veelal verschillen als gevolg van verschillende karakteristieken van de koper (bijvoorbeeld inkomensniveau).

Zelden zal één (nieuwe) voertuigtechniek in 100% van de aangeschafte voertuigen worden toegepast. Meestal zal hierbij sprake zijn van de gebruikelijke S-vormige adoptiecurve (zie figuur 2.3). Uitzondering hierop vormen door de overheid verplicht gestelde technieken, zoals de katalysator.

Figuur 2.3 Adoptiecurve van nieuwe technologie



2.2 Enkele scenario's voor het openbaar vervoer

Ter illustratie van bovenstaande overwegingen wordt een aantal scenario's gepresenteerd voor de ontwikkeling van het grootstedelijk openbaar vervoer. Hierbij wordt vooral ingegaan op de positie van de bus binnen het stad- en streekvervoer. De voorbeelden zijn ontleend aan een studie die het NEI, in samenwerking met Innas, heeft uitgevoerd voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in 1996¹⁵.

Vraagontwikkelingen

Ten aanzien van de vraagontwikkeling is een drietal scenario's onderscheiden. De kern van deze vraagscenario's is:

- hoog : conform prognoses Ministerie van V&W ten behoeve van SVV-II;
- midden : conform kabinetsstandpunt inzake Commissies de Boer en Brokx;
- laag : dalend vervoersvolume door verdwijnen studenten OV-kaart.

¹⁵ NEI/Innas, *De milieufunctie van het openbaar vervoer in stedelijke gebieden: op weg naar een groene toekomst*, mei 1996.

Kader 2.1 Vraagscenario's op hoofdlijnen

Hoog scenario:

De jaarlijkse vervoergroei voor het stad- en streekvervoer in de vier grote steden bedraagt gemiddeld 3% per jaar. De groei wordt in hoge mate opgevangen door groei van railgebonden verkeer (metro, tram, light rail). Deze laatste groep neemt nog sterker toe doordat ook de groei van de trein binnen de Randstad wordt opgevangen door light rail concepten. Als gevolg van een verdergaande rationalisatie blijft de groei van de capaciteit achter bij de groei van het vervoersvolume.

Midden scenario:

Het stad- en streekvervoer groeit in de periode 1992 tot 2004 met 19% in de vier grote steden en zet zich in een zelfde tempo voort over de periode tot 2010. Ook in dit scenario wordt deze groei in de grote steden voor een groot deel opgevangen door de metro en tram. Het OV-voertuigenpark (capaciteit) toont ook in dit scenario een lagere groei dan het passagiersvolume, als gevolg van een rationalisatieslag.

Laag scenario:

In het lage scenario is sprake van een openbaar vervoersysteem waarin de vervoersvraag daalt door het wegvallen van de studenten OV-jaarkaart. Voor het stads- en streekvervoer leidt dit tot het wegvallen van een derde van de door studenten afgelegde kilometers (25% binnen het totaal). Als gevolg van de dalende vervoersvraag wordt ook het OV-aanbod ten dele verkleind.

De uitgangspunten zoals geformuleerd in de scenario's resulteren voor bus, tram & metro in de kengetallen zoals weergegeven in tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kengetallen vraagscenario's (index, 1994 = 100)

	Laag scenario	Midden scenario	Hoog scenario
Vervoerde reizigers 2010			
bus	92	121	143
tram/metro	92	136	174
Capaciteit (omvang voertuigenpark) 2010			
bus	96	107	111
tram/metro	96	112	118

Bron: NEI/Innas 1996.

De gemiddelde levensduur van bussen is als gevolg van overheidsregulering 12,5 jaar. Dit leidt tot een gemiddelde vervangingsvraag van 8% van het voertuigenpark per jaar. Duidelijk is dat ook in het hoge scenario de invloed van uitbreiding van het voertuigenpark op de totale jaarlijkse vraag zeer beperkt blijft (gemiddeld 0,7% per jaar). Voor trams en metro's is als gevolg van de lange levensduur van de voertuigen (gemiddeld 30 jaar) speelt de uitbreiding van het voertuigenpark een grotere rol (gemiddeld 1% versus 3,3% gemiddelde jaarlijkse vervangingsvraag). Duidelijk is overigens dat voor metro's en trams de rol van nieuwe technologieën beperkt blijft. Voor deze modaliteiten is met name de wijze van electriciteitsopwekking van belang in het realiseren van een schoner openbaar vervoer.

Aanbodontwikkelingen en aanschafgedrag

Ten aanzien van de aanbodontwikkelingen en het aanschafgedrag onderscheiden de drie scenario's zich vooral van elkaar in de snelheid waarin nieuwe technieken worden toegepast, emissienormering wordt verscherpt en "milieu-vriendelijkere" brandstoftypes worden ingezet.

De ontwikkeling van emissiefactoren van nieuwe bussen wordt sterk gestuurd door ontwikkeling van de verbrandingsmotor in het kader van Europese emissiewetgeving. Overigens zijn de Europese normen veelal gericht op een of enkele emissiecomponenten, hetgeen tot gevolg heeft dat ze niet voor alle emissies richtinggevend zijn. Zo zal voor een dieselmotor de CO- en VOS-emissienorm geen enkel probleem opleveren, maar zal vooral de NO_x-norm richtinggevend zijn. Voor het lage en midden scenario wordt ervan uitgegaan dat aan de normen wordt voldaan op het moment dat ze worden geïntroduceerd, terwijl voor het hoge scenario reeds twee jaar eerder aan de norm wordt voldaan. De verwachte ontwikkeling van de emissiefactoren van nieuwe bussen is, per brandstoftype, weergegeven in tabel 2.5¹⁶.

Tabel 2.5 Ontwikkeling emissiefactoren van nieuwe bussen ten tijde van het ingaan van de Euro-normering, per voertuigkm

brandstof	energie-gebruik MJ/km	CO ₂ g/km	CO g/km	VOS g/km	PM g/km	NO _x g/km	SO ₂ g/km
Diesel							
▲ gemiddeld nu	14,4	1.052	7,5	5,8	1,58	16,0	0,48
▲ Euro I	14,4	1.052	1,2	0,5	0,24	6,8	0,28
▲ Euro II	14,4	1.052	1,2	0,5	0,10	5,6	0,28
▲ Euro III	14,4	1.052	1,2	0,5	0,10	4,0	0,28
LPG							
▲ gemiddeld nu	18,3	1.090	2,5	1,9	0,10	4,3	0,01
▲ Euro I	18,2	1.082	1,5	0,6	0,10	1,5	0,01
▲ Euro II	17,9	1.065	1,5	0,6	0,10	1,5	0,01
▲ Euro III, laag/midden scenario	17,0	1.011	1,4	0,6	0,09	1,4	0,01
▲ Euro III, hoog scenario	17,0	1.011	0,6	0,02	0,01	0,4	0,01
Aardgas (CNG)							
▲ gemiddeld nu	19,2	1.077	3,3	2,1	0,05	5,8	0,0
▲ Euro I	19,1	1.069	1,6	2,1	0,05	1,6	0,0
▲ Euro II	18,8	1.053	1,6	2,1	0,05	1,6	0,0
▲ Euro III, laag/midden scenario	17,8	999	1,5	1,0	0,05	1,5	0,0
▲ Euro III, hoog scenario	17,8	999	0,4	0,4	0,03	0,5	0,0
DME							
▲ Euro III	13,4	974	1,7	0,2	0,04	3,0	0,0

Bron: NEI/Innas 1996.

Voor het aandeel van de verschillende brandstoffen in het voertuigenpark is per scenario een inschatting gepresenteerd van het percentage nieuw aangekochte bussen dat in een bepaalde brandstofcategorie valt. Wat betreft dit aanschafbeleid is een duidelijk onderscheid gemaakt tussen de scenario's. In het lage scenario worden in de periode tot 2010 alleen nog maar diesalbussen aangeschaft, terwijl in het hoge scenario in 2010 uitsluitend bussen die op gasvormige brandstoffen rijden (LPG, aardgas, DME) worden aangekocht. Het midden scenario gaat uit van een gemixed beeld. Een en ander staat toegelicht in tabel 2.6.

¹⁶ Dit zijn emissiefactoren zoals die in genoemde studie voor binnenstedelijke ritten zijn ingeschat.

Tabel 2.6 Aandeel van brandstoftypes in aankoop van nieuwe bussen, per scenario

	1995	2000	2005	2010
Laag scenario: ▲ diesel	100%	100%	100%	100%
Midden scenario: ▲ diesel	90%	84%	46%	40%
▲ LPG	8%	14%	35%	40%
▲ aardgas	2%	2%	17%	5%
▲ DME	-	0%	2%	15%
Hoog scenario: ▲ diesel	90%	60%	30%	0%
▲ LPG	8%	30%	45%	60%
▲ aardgas	2%	10%	20%	30%
▲ DME	-	0%	5%	10%

Bron: NEI/Innas 1996.

Naast de invloed van normering en de penetratie van “schonere” brandstoffen bij bussen wordt binnen het stadsverkeer in een tweetal scenario's de invoering verwacht van remenergie-terugwinningssystemen. Het besparingspotentieel van deze techniek is ingeschat op 25%. In tabel 2.7 wordt weergegeven hoe de verwachtingen verlopen met betrekking tot de introductie van deze techniek in de verschillende scenario's.

Tabel 2.7 Percentage van nieuwe stadsbussen dat is uitgerust met remenergie-terugwinningssystemen

scenario	1995	2000	2005	2010
▲ laag	0%	0%	0%	0%
▲ midden	0%	0%	15%	25%
▲ hoog	0%	0%	30%	50%

Bron: NEI/Innas 1996.

Resultaten

De combinatie van een geleidelijke vervanging van het voertuigenpark en een minder dan volledige adoptie van nieuwe technieken, leidt er toe dat de invoering van nieuwe technieken slechts een traag verloop kent. Zo is in het meest optimistische scenario voor het grootstedelijk OV, dat zeer sterk inzet op de introductie van relatief schone gasvormige brandstoffen (LPG, aardgas, DME), in 2010 het aandeel van dieselmussen nog steeds 40% binnen het totale voertuigenpark. In het middenscenario is dit dieselaandeel zelfs nog hoger dan 60%. Hierbij moet nog bedacht worden dat, bij afwezigheid van overheidsregulering ten aanzien van de levensduur van bussen, deze invoering nog veel trager zou verlopen. Dit valt te constateren uit het feit dat het merendeel van de bussen na zijn productieve leven in Nederland nog vele jaren tegemoet ziet in landen buiten West-Europa. Ook de invoering van remenergie terugwinningssystemen bevestigt de traagheid van de invoering. In hoge scenario is in 2010 is nog slechts 20 % van de stadsbussen uitgerust met een dergelijk systeem (10% in het middenscenario). Dit resulteert in een effectieve brandstofbesparing van het voertuigenpark van 5% procent ten opzichte van de huidige situatie in een periode van 15 jaar ondanks het hoog ingeschatte potentieel van de techniek.

3 Aangrijpingspunten voor beleid

Aan de hand de geïdentificeerde factoren die de snelheid van invoering beïnvloeden kunnen maatregelen worden geformuleerd die de traagheid kunnen versnellen. In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op een aantal van deze mogelijke beleidsinstrumenten.

Beïnvloeding van het aanbod

Instrumenten die op dit vlak zouden kunnen aangrijpen zouden, enerzijds de ontwikkeling van nieuwe technieken ten goede moeten komen (met een grote potentie) en anderzijds het stadium tussen uitvinden en marktintroductie moeten bekorten.

Relevante instrumenten zijn bijvoorbeeld het bevorderen van R&D activiteiten op het gebied van schone technologie, maar ook activiteiten die de commerciële haalbaarheid van nieuwe technieken bevorderen (markt en marketingstudies en -activiteiten, nadrukkelijke aandacht voor de kosten van nieuwe technieken etc.). Belangrijk is hierbij vooral dat producenten de juiste prikkels ontvangen om schone technologieën te ontwikkelen en toe te passen bij hun productaanbod. Dit kunnen zowel positieve prikkels zijn, zoals subsidies of R&D programma's, gunstige aanschafcondities creëren voor schone auto's (fiscale vergroening), etc., als negatieve prikkels (hogere BPM voor zware auto's en relatief weinig zuinige voertuigen). Een sterk wapen hierbij is regulering in de vorm van normering of wetgeving. Een voorbeeld hiervan is de invoering van de katalysator (introductie vanaf midden jaren '80)¹⁷. Maar ook de invloed van (scherpe) Europese normering kan relatief effectief zijn, zoals ook aan de hand van de scenario's voor de bus is aangetoond. Het voordeel van normering is hierbij dat de last van het vinden van de meest effectieve en efficiënte oplossing die ook nog eens verkocht dient te worden bij de producent wordt gelegd.

Beïnvloeding van de vraag en het aanschafgedrag

Maatregelen die de vraag beïnvloeden kunnen worden opgedeeld in maatregelen die de omvang van de vraag beïnvloeden en maatregelen die aangrijpen op de richting van de vraag (het aanschafgedrag).

De omvang van de vraag is de resultante van een uitbreidingsvraag en een vervangingsvraag. Men moet zich afvragen of het bevorderen van een uitbreidingsvraag (anders dan het gevolg van een verschuiving van de modal split) bevorderd zou moeten worden. Weliswaar vergroot dit (in beperkte mate) de vernieuwing van het voertuigenpark, maar de som van de milieubelasting kan wel eens hoger uitpakken.

Een snellere vervanging van voertuigen zou beïnvloed kunnen worden door maatregelen als strengere APK-keuringen, verhogen van vaste belasting op voertuigen naarmate voertuigen ouder worden, regulering (vergelijk bussen in het openbaar vervoer), verwijderingssubsidies (vergelijk scheepvaart in de EU) en dergelijke.

Ook hier moeten vraagtekens worden gesteld bij het uiteindelijke effect van deze maatregelen. Als dit er namelijk toe leidt dat voertuigen geëxporteerd worden naar landen buiten de EU betekent dit weliswaar een verlichting op EU niveau maar er de facto slechts sprake van een

¹⁷ Sinds de introductie van de katalysator is het aandeel van auto's met katalysator in het totale autopark gestegen tot 58% in 1995 (CBS).

verschuiving van de problemen. Ook bij verwijdering van voertuigen uit de markt (sloop) is het de vraag of de balans van de maatregelen op alle aspecten positief zal uitpakken. In een paper van Van Wee en Geurs¹⁸ wordt geconcludeerd dat dit voor CO2 emissies zelfs een negatief resultaat laat zien.

Maatregelen die de invloed uitoefenen op het aanschafgedrag (richting schone technieken) dienen ertoe te leiden dat het schone produkt gunstig op de markt wordt gepositioneerd. Dat kan bijvoorbeeld door prijsmaatregelen (zowel aanschafprijs als operationele vaste en variabele kosten) als door beïnvloeden van de niet financiële (psychologische) kosten door bijvoorbeeld voorlichting of reclame. Deze laatste kosten zijn echter slechts moeizaam te sturen. Bij de invoering van prijsmaatregelen die een goede analyse gemaakt te worden van het totaal effect van de maatregel. Zo wordt het effect van een fiscale vergroeningsmaatregel als een korting op de BPM voor relatief zuinige auto's mogelijk uitgehold doordat er een verschuiving optreedt naar zwaardere auto's of wordt een extra accessoire als airconditioning aangeschaft.

Conclusies

Concluderend moet worden gesteld dat er weliswaar maatregelen zijn die de snelheid van invoering van nieuwe technieken positief kunnen beïnvloeden, maar dat het effect van de meeste maatregelen niet overschat dient te worden. Binnen het huidige toegepaste instrumentarium lijkt directe regulering die aangrijpt op het producentengedrag vooralsnog het meest effectief. Echter de traagheid van de massa is groot en zal altijd een belangrijke demper zijn op al te hoog gestemde verwachtingen.

¹⁸ B. van Wee, H. Geurs, "*Levensduurverkorting personenauto's goed voor het milieu?*", in CVS 1994.

The electric car: a Car of Tomorrow for another century to come?

Auteur:
G. Mom

Steenheuvelstraat 69
6578 AB Leuth
tel: 024-663 2802
fax: 024-663 2986

Introduction

Can history of technology generate insights that can be put into practical use when analysing present day phenomena? More specifically, can the history of car technology, and, especially, the history of electric vehicle technology, provide such insights?

Certainly not in the sense that extrapolation of historical chains-of-events provides a blueprint for future action. But in a more general sense, 'learning from history' can have a beneficial effect on the engineering community, in that it provides the means to relativize the present position as part of a tradition. This is the more true in the realm of current vehicle technology where, so it seems, historical knowledge has a very low priority and every engineer seems possessed by the desire to reinvent the wheel. Why this is so remains an enigma for the time being, but it is remarkable that many research and development projects start from scratch, as though there doesn't exist a rich tradition upon which these efforts could be based, resulting in much time and energy savings.

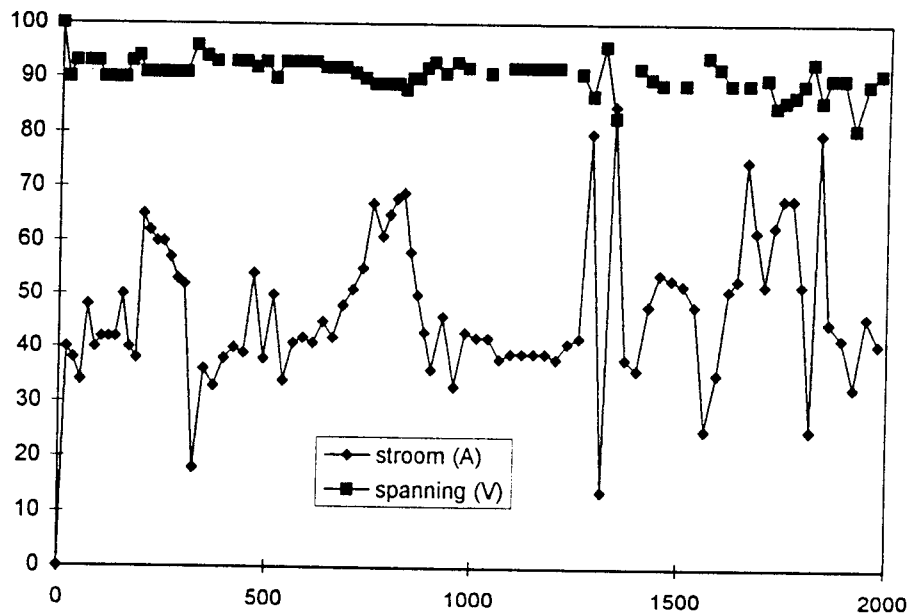
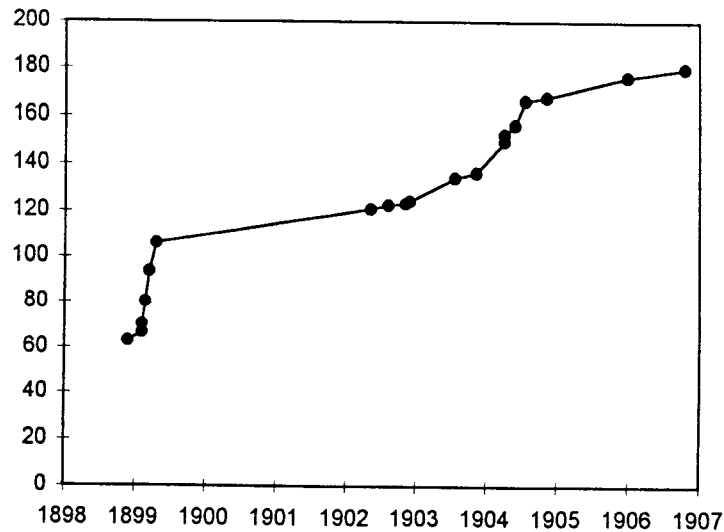
In this presentation, I will apply historical insights of early electric vehicle technology¹⁹ upon the debate in California on the forced market introduction of EV technology, emphasizing the role of advanced battery technology in this debate.

Why did the early electric fail?

Post war doubts about the viability of the internal combustion engine automobile in a changed society reached their first apogee in the sixties, first of all in the United States, where in 1965 the Clean Air Act was accepted by Congress. During the hearings for the Amendments of this Act, in the spring of 1967, the Big Three (General Motors, Ford and Chrysler) were explicitly asked about their willingness to come to the rescue of the rapidly deteriorating local air quality, especially in the South Californian basin.

¹⁹ These insights have been gathered during my research for a doctoral dissertation at the Technical University of Eindhoven, Faculty Technology Management (prof.dr.ir. H.W. Lintsen), which has been published recently as *Geschiedenis van de Auto van Morgen; cultuur en techniek van de elektrische auto* (Deventer, 1997). An English translation is in preparation. I thank Dr. Ariejan Bos (ECN) for his assistance in composing the first five graphs of this paper.

2



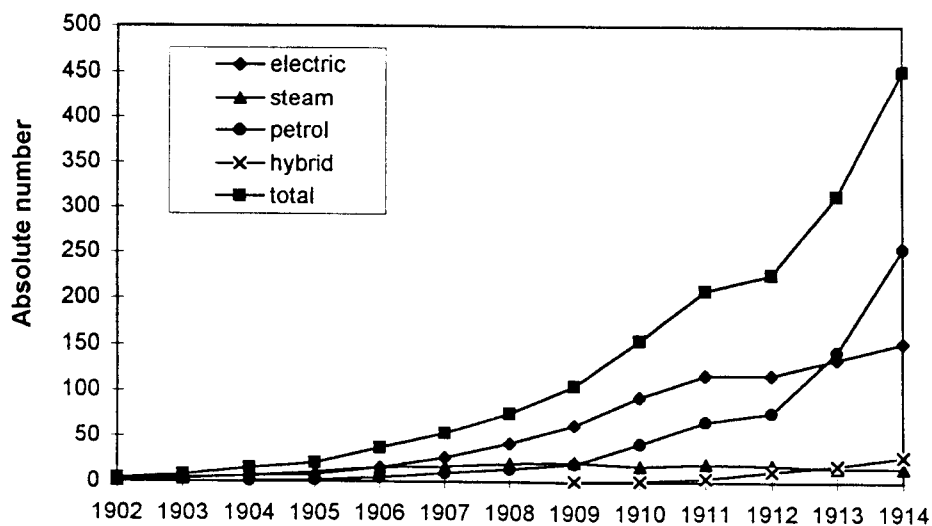
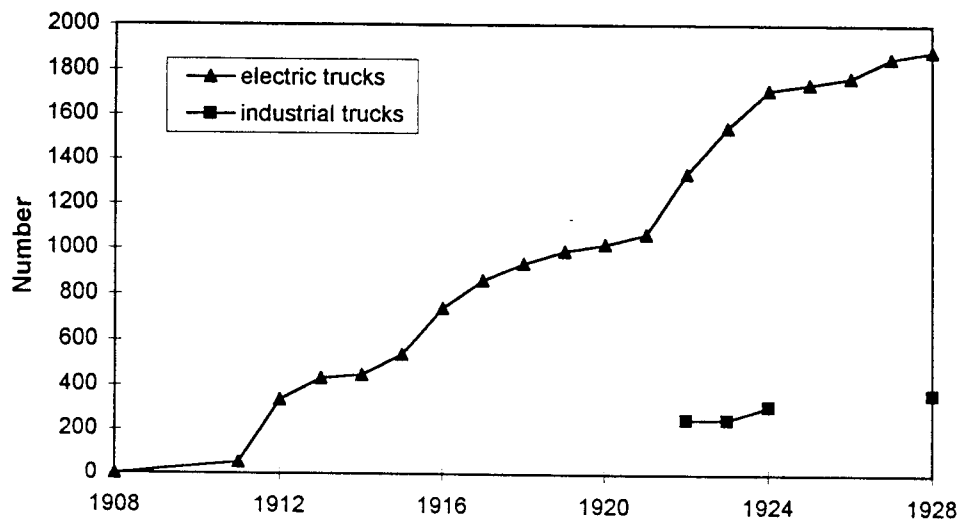
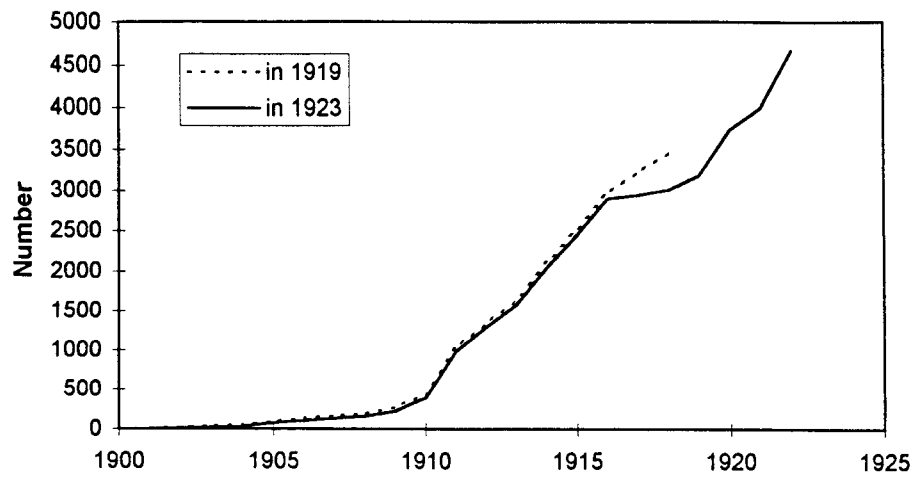
Top: The first land speed records on the 'flying kilometer' were all by electric vehicles, until April 29, 1899. On this date Camille Jenatzy crossed the magic 100 km/h borderline with a speed of 105,882 km/h on a specially prepared stretch of road in the Agricultural Park of Achères near Paris. This record stood for nearly three years, and then it was beaten by Serpollet, in a steam car (*Allgemeine Automobil-Zeitung* (ed. Vienna), 28 October 1906, p. 36).

Bottom: A test ride with an electric taxicab on 5 October 1899 in New York. During the test, which took 2000 seconds, current and tension values were manually recorded, together with a time notation and a notation of the condition of the roads. For this graphic representation the current and tension notations were assumed to be on regular intervals between the time notations (William F.D. Crane Collection, New Jersey Historical Society, Boston).

Reconstruction of the electric truck registrations in New York City, on the basis of two overviews (from 1919 and 1923) of the age distributions of the truck fleet. For this reconstruction it is assumed, that during the time frame described here no truck was taken out of service, which, certainly after 1908, is not an exaggerated assumption (F.F. Sampson, 'The proper application of the commercial vehicle', National Electric Light Association, 42nd convention, 19 - 22 mei 1919, *Electric Vehicle Section sessions; papers, reports and discussions* (New York, n.y. [1919]) p. 98-127, here: 101; *NELA; Proceedings, 46th convention, Hotel Commodore, New York City, June 4 to 8, 1923. Containing the Proceedings of the General and Executive, Public Policy, Customer Ownership, Accounting Section and Commercial Section sessions* (New York, 1923) Vol. 79, p. 512).

Growth of the electric truck fleet of the biggest American fleet owner, the American Railway Express Company, and its predecessors, the Adams, American and Southern Express Company and Wells Fargo & Co. Reconstruction on the basis of an overview of the age distribution of the fleet in 1928; in 1924 the AREC fleet also included 8200 horse wagons and 2500 petrol trucks (John W. Lieb, *Electric vehicles; Report prepared for the Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique, Paris Meeting, July 5th to 10th, 1928* (n.p., n.y.)).

Motorisation of the German fire engine fleet: until 1913 the electric and hybrid fire engine reigned supreme, because of its excellent acceleration characteristics and its reliability. The petrol engine driven fire engine took the lead in 1913 because of the motorisation of fire departments in smaller towns with a large surface area and because of the legal obligation for fire departments of 'neighbourly support' in case of a fire in a nearby village ('Zusammenstellung der seit dem Jahre 1902 bei den deutschen Feuerwehren in Betrieb gestellten bzw. definitiv in Auftrag gegebenen Automobil-Fahrzeuge bis zum Anfang des Betriebsjahres 1911' (Annex to *Zwölfter Verbandstag am 12. bis 14. Juni 1912 in Cöln a. Rhein* (Hamburg, n.y.); Hüpeden, 'Statistik der Kraftfahrzeuge im Dienste deutscher Feuerwehren', *Feuerpolizei* (1914 nr 8) 113-117; 'Automobilgeräte und Fahrzeuge bei Deutschen Feuerwehren; Stand vom 1. April 1914' (Verein Deutscher Berufsfeuerwehroffiziere (bisher Verband Deutscher Berufsfeuerwehren): *Bericht der 14. Tagung der "Vereinigung Deutscher Berufsfeuerwehroffiziere" am 9. bis 11. Juni 1914 in München* (Hamburg, n.y.), 26-28), completed with data on Berlin, Mainz and Offenbach from firemen's magazines).



The discussions at the hearings tended towards the amelioration of existing car technology, mainly in the realm of exhaust gas aftertreatment (catalytic converter). The electric car, the final report of these hearings stated, was not yet ready for production, but '(c)urrent research activities indicate that significant technical advances may be expected in the development of improved electric energy storage and conversion devices.'²⁰

In view of the historical evidence, this statement was quite remarkable, because at the beginning of car history, and especially during the first two decades of the twentieth century, the electric vehicle reigned supreme in many market segments. It is all the more remarkable because of the belief in a 'better battery', which has a very long tradition. Taxicab fleets in Berlin and Amsterdam, street cleansing trucks, ambulances and police cars in many European cities, a whole fleet of more than a hundred fire engines in Germany and, most spectacularly, about 30 to 40 000 electric passenger cars and more than 10 000 electric trucks in the United States cast at least some doubt on the validity of this statement.

A detailed analysis of these early projects indicates, that technology was not the main issue in the failure of the electric vehicle to conquer the whole market. In spite of the widespread belief among automotive engineers and the general public opinion, the lead acid battery was not to blame for this failure: when applied in big, centrally attended and overhauled fleets, these batteries functioned without any problems and gave the electric vehicles they propelled a performance which the petrol engined competitor couldn't match. Energy densities of 25 to 30 Wh/kg were normal, not much lower than today. Although the purchase price of the electrics was higher, their maintenance costs were lower and, given a proper battery exchange or battery charging system, their performance as a city vehicle was unequalled.

The question, then, is: why did all these projects fail in the end, and why did the petrol car take the lead until the present day? A full analysis would have to distinguish between car types, applications and market segments, as well as temporal and geographical differences, but some general statements are nonetheless possible without going into too much detail.

First of all, the battery as an energy storage device didn't fit in the general machine-like character of the time, even within the realm of electrical technology. As an electric technology magazine of the time concluded: 'The principal defect in a storage battery is its modesty. It does not spark, creak, groan, nor slow down under overload. It does not rotate. It stays where it is put, and will silently work up to the point of destruction without making any audible or visible signs of distress. If it does not cry for attention none will be given it.'²¹ This was in marked contrast to the general attitude towards the petrol engine with its many, but mostly futile defects, which could easily being detected and repaired, provided one studied the mechanism as was very popular among the earliest motorists. This technical property made the petrol car a welcome means to explore the countryside despite its apparent unreliability. In fact, this mechanical unreliability rather heightened the challenge of the automobile sport: while the electric vehicle

²⁰ David A. Kirsch, 'The electric car and the burden of history; studies in automotive systems rivalry in America, 1890-1996' (unpubl. diss., Stanford University, September 1996) 259.

²¹ 'The importance of the storage battery', *Electrical Review* (New York) (21 June 1902) 815-816, here: 815.

started to replace the city horse, the petrol car became an 'adventure machine' for use outside of the city. For the 'sporty' early users of this adventure machine the electric vehicle was not very attractive, not so much despite but rather just because the petrol car was *less reliable*. As the Englishman T.G. Chambers stated: 'Apart altogether from its limitations of range and speed, it is certain that there is not much sport in driving an electric carriage. It is far too simple and too unexciting to be attractive. The fascination of the petrol engine to the man who is born with an engineering instinct is largely due to its imperfections and its eccentricities. In these respects, it possesses a soul that has much in common with the human, and one may safely prophesy that when the day arrives that every motor-car shall run with monotonous certainty, the main attraction of driving will have departed, and the amateur will turn his attention to balloons or airships.'²²

Secondly, this fundamental difference between a city car and an 'adventure machine' was soon blurred from the general opinion, because of two chains-of-events:

1. Several electric car producers tried to develop their own 'electric adventure machine'. That is why the first car ever to drive faster than 100 km/h was an electric (Camille Jenatzy, 1899), but this feat was performed during a 'flying kilometer', where a quick burst of energy was enough to reach this remarkable performance.

Also, around 1900, plans were revealed to build a network of battery charging stations along major European country roads, which would make an 'electric tourism' possible. In fact, between some major eastern American cities, such a tourism was relatively popular during 1915 and 1916 and there were even plans to 'electrify' the whole, 5475 km long Lincoln Highway which traversed the North-American continent from West to East.

2. At the same time, however, the petrol car underwent a development in the direction of a universal car, including the ability to perform as a reliable city car. This became especially acute after the 'crisis of 1907', when the luxury market of the high speed touring car became saturated, and the market of anti-cyclic taxicab and other fleets became all the more attractive for petrol car producers.

The 'taming of the adventure machine' nearly took a decade or two and in the process several properties of the electric city car were absorbed into the technical structure of the petrol car. Among these properties, the best known is the ease of starting (which was solved by introducing an electrical starter motor), but also the closed car body, a quieter running engine and, in general, a higher degree of mechanical reliability were taken over from the electric competitor. This phenomenon, which I have called the Pluto effect²³, seems to be a general mechanism in technical change: the main stream technology absorbs decisive aspects of the threatening alternative technology and, in doing so, diminishes the difference between both technologies, making it harder to decide to develop the alternative technology further.

²² Lord Montagu of Beaulieu and F. Wilson McComb, *Behind the wheel; the magic and manners of early motoring* (New York/London, 1977) 111-112.

²³ G. Mom, 'Gasturbine als alternatieve voertuigaandrijving', *Polytechnisch tijdschrift, editie Werktuigbouw* (November 1991) 44-47.

In this process, the petrol vehicle appeared to be more 'flexible': it could absorb many aspects of the electric vehicle without totally losing its adventurous character. In fact, it became a universal vehicle, which, because of its lower purchase price, was especially attractive for non-fleet use: for the single user who *had* to choose between the two competing drive systems, the quality issue (which caused big fleet owners to choose in favor of the electric) was not an issue at all.²⁴ If one doesn't have the money to buy a kitchen appliance for each separate task, the universal kitchen apparatus is the only option, although the cream will take longer to get thick. In other words, although our present main stream car is in many respects an 'electrified car', the historical roots of this car type have disappeared from collective memory. And although, despite attempts to try otherwise, the electric never has been anything other than a city car, people continue to make comparisons between both car types without taking this important fact into account.

Thirdly, the competition between electric and petrol vehicle manufacturers led to a remarkable belief in a 'miracle battery' on the side of the former. The first time this belief in a miracle battery became apparent was shortly after 1900, when Thomas Alva Edison announced his famous nickel iron alkaline battery. 'If the new type of battery is all that is claimed', the American magazine *Electrical Review* wrote in 1901, 'it may indeed be said that the automobile problem is practically solved.'²⁵ Edison introduced his new battery as a clean, machine-like (shiny steel) contraption, which would place the electric on equal footing to the petrol car in terms of performance.

'You are not going in for high-speed machines, are you?', *Electrical Review* asked him in 1903. "'No", said Mr. Edison, "I have had enough of that. These machines will be geared for twenty-five miles an hour, and they will make it right along. I believe that with one of these machines I will be able to beat, or, at any rate, keep up with any gasoline machine on a long run. If they run faster than my machine on a level, I will be able to go down hill just as fast as they will dare to, and for hill climbing, the electric motor is just the thing, so I will beat them there. On rough roads they will not dare to go any faster than I will; and when it comes to sandy places, I am going to put in a gear of four to one which I can throw in under such circumstances, and which will give me 120 horse-power of torque [sic], and I will go right through that sand and leave them away behind! If the gasoline machine is stopped for any reason at all I will beat it easily. If they have no trouble whatever they may possibly beat me, though I doubt it. My machine will not break down at all."²⁶

In the end, when Edison's battery came on the market in the winter of 1908/1909, it didn't become the supplanter of the lead acid battery, mainly because the Ni-Fe battery was more expensive without offering a 'quantum leap' in energy density. But during his decade-long campaign there is some evidence that would-be car buyers were waiting for his miracle battery to come, in the mean time frustrating the electric vehicle producers and the petrol vehicle producers alike. Since then, several other proposals have been forwarded to leapfrog the 'gap' between the electric and the petrol vehicle, every time blurring the distinction between these two car types a bit more.

It is, in my opinion, in this tradition, that the recent debate in California should be analysed.

²⁴ Michael Brian Schiffer (with Tamara C. Butts and Kimberly K. Grimm), *Taking charge; the electric automobile in America* (Washington/London, 1994).

²⁵ 'Storage battery traction', *Electical Review* (8 June 1901) 715.

²⁶ 'The situation regarding the Edison storage battery', *ER* (8 augustus 1903) 198-199, here: 198.

The Californian debate

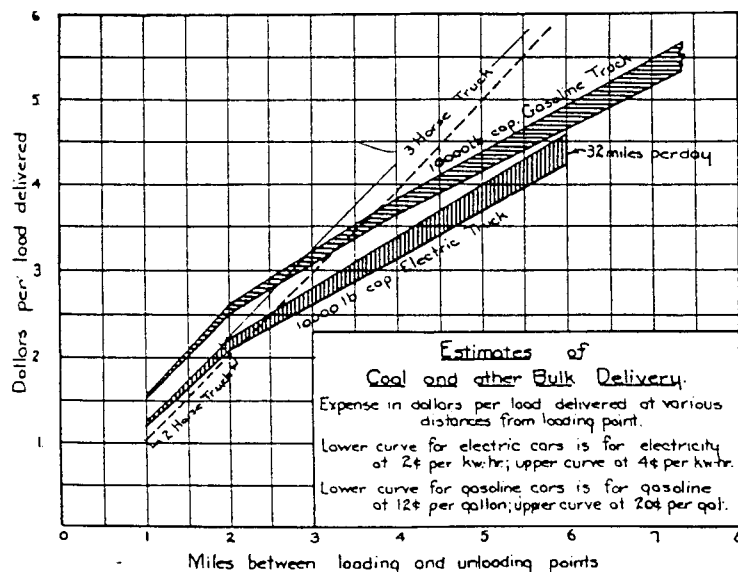
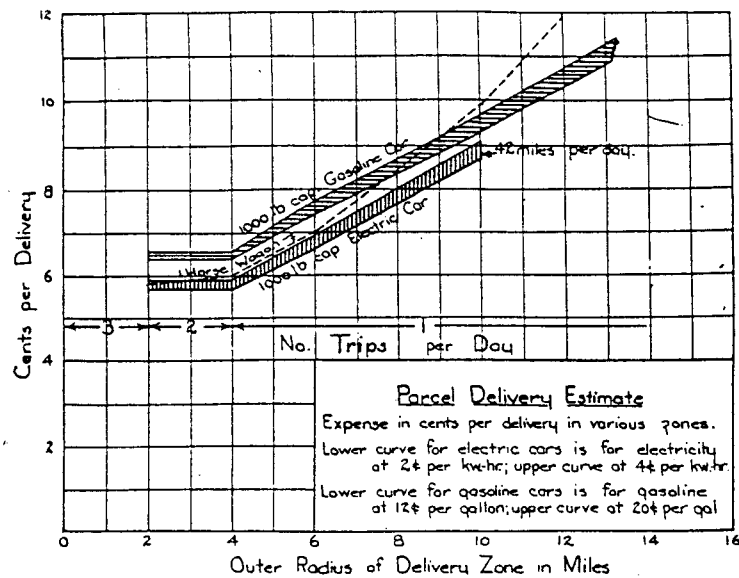
According to a recent journalistic account of what happened behind the scenes of the California EV debate²⁷, the General Motors Impact concept car played a decisive role. Developed and supported by engineers who had been involved in the development of the Chevrolet Corvette, the Impact can be seen, in the light of history, as the ultimate 'adventure machine', in which the electric drive is hidden from sight and from feel, because it is 'the world's only electric vehicle that drives like a *real* car, (...) sporty, aggressive and clean.'²⁸ And although the subsequent series model, the EV1, was more modest in its performance, this feat was achieved on the basis of proven lead battery technology. As the Impact and the EV1 accelerate just like, and even faster than most petrol cars, it is clear what kind of message this electric car sends out to the world: the only thing that is lacking is a battery with gives this car the same performance as a *real car*, i.e. a main stream petrol or diesel car.

This is exactly the message, which the California Air Resources Board (CARB) picked up. Although CARB at first wanted to introduce the electric vehicle by force of legislation (in 1998 2 % of the sold cars from the major car providers on the Californian market should be EV's), the mandate was postponed and replaced by a gentleman's agreement with the big car manufacturers, which stated that they voluntarily would bring a certain amount of EV's to the market. However, the original goal of 10 % EV's on the market by 2003 was kept intact. The reason for this postponement, so it was said, was that EV technology was not yet ready for market introduction, the main culprit for this being battery technology. The recent start of the PNGV program (Program for a New Generation of Vehicles), which apart from aiming on hybrid vehicle technology also addresses the topic of advanced and even exotic battery technologies, confirms this. People who were wondering how General Motors could introduce the EV1 shortly *after* CARB had agreed to postpone the 1998 mandate, do not understand that there is, in

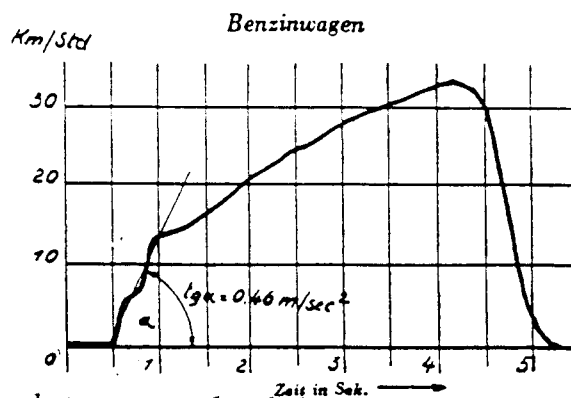
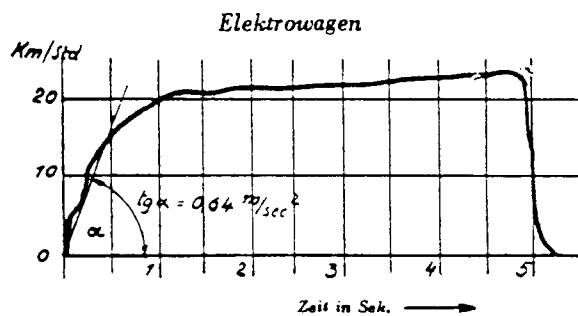
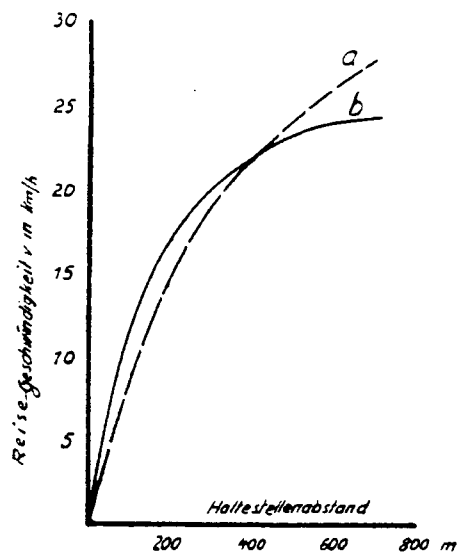
fact, no contradiction here: the message of EV technology not being ready for market introduction would have been far more difficult to transmit, if the vehicle introduced

²⁷ Michael Shnayerson, *The car that could; the inside story of GM's revolutionary electric vehicle* (New York, 1996). See also: Hans Fogelberg, 'The electric car controversy: a social-constructivist interpretation of the California zero-emission vehicle mandate' (Göteborg, 1996) (unpubl. thesis, Chalmers University of Technology, Department of History of Technology and Industry).

²⁸ Shnayerson, *The car that could*, 183, 274 (note 18) (my emphasis).



Between 1911 and 1914 The Massachusetts Institute of Technology (MIT) conducted a survey on transportations costs among 107 enterprises. Ordered by the utility Boston Edison company and widely publicised by the Electric Vehicle Association of America (with a membership of more than 1000 in 1914), professor Harry F. Thomson and director Harold Pender of the Electrical Engineering Department of MIT based their survey on 1181 trucks and 5787 horses. Here are two of the results: a cost comparison of parcel delivery in dollarcent per delivery (top) and of coal delivery in dollars per load delivered (bottom). In both cases electric city trucks were cheaper than gasoline trucks, although coal delivery by horse remained the cheapest for loading intervals up to 2 miles (Harry F. Thomson, *Relative fields of horse, electric, and gasoline trucks* (n.p. [Boston], August 1914) (Vehicle Research Bulletin No. 4)).



One of many comparisons between petrol and electric trucks in Germany between the wars: up to a distance of 400 metres between stops the electric vehicle is the faster, because of its better acceleration (top). Bottom: acceleration and top speed characteristics of electric and petrol trucks after 5 seconds (Ketelhohn, *Das Elektrofahrzeug in der deutschen Kraftverkehrswirtschaft* (Heft 1 of: W. Schuster (ed.), *Wirtschaft und Technik*) (Berlin, 1940) p. 28-29).

would have been a normal van, to be used in city traffic as part of a fleet.

In this respect it is remarkable, that the European EV scene shows a somewhat different picture. Of course, European car producers also present showcase vehicles with predictions about possible, future battery concepts. But the emphasis in Europe lays on fleet tests and concentrated fleet-like tests, such as is the case in La Rochelle, the German island of Rügen, and the Swiss city of Mendrisio.²⁹ Apart from the German Rügen test, most other tests rely on well-proven battery technology (lead acid and nickel cadmium), or, if they go beyond this point (like the German mail van tests on the basis of the zinc air battery concept of Electric Fuel Ltd.), they are clearly intended to prove the viability of these new concept within the framework of big fleets.

This is not to say that work on advanced battery concepts is pointless. On the contrary: this kind of work should continue, even if it only generates - through a modern form of the Pluto effect - the main stream petrol and diesel car to evolve into an even more 'electrical' car concept, such as seems the case with the newly introduced direct injection petrol engine. By deminishing the energy use of the combustion engine further, the *overall* energy and emission advantages (determined on the basis of so called 'cradle-to-grave-calculations') of the EV over its competitors becomes smaller, but, of course, this will not lessen the necessity of *local* zero emission in the case of smog areas like the Southern California basin. In this sense, as a constant threat to the main stream technology, there is no problem of the EV ever being a Car of Tomorrow, albeit a Car of Tomorrow on the basis of an ill-conceived historical concept. But this work on advanced battery concepts should not deter from the basic fact, that the electric vehicle for city use, whether in big fleets or supported by a local infrastructure of charging stations, already exists, as it did already one century ago. Even if the car industry decided, just to copy one of these historical cars (say the electric city car as designed by the French electrical engineer Louis Kriéger) in series, it would perform satisfactorily in our modern cities. It is hard to believe that the car industry cannot do better than that.

²⁹ Gijs Mom, 'De moderne elektro-auto', in: Gijs Mom and Vincent van der Vinne, *De elektro-auto: een paard van Troje?* (Deventer, 1995) 11-110.

1998 Lexus GS400

The Good: Astounding performance and handling from a five-passenger sedan for the family—the Andretti family, that is. Styling that breaks molds, technology that busts convention. Luxury and quality that now are a Lexus norm.

The Bad: A little pricey.

The Ugly: Frowns at BMW and Mercedes-Benz.

A Lovely New Lexus— Va-va-va-Vroom



LEXUS

By PAUL DEAN
TIMES STAFF WRITER

Here's a sedan that slips its moorings and coasts from rest with the silence of an electric vehicle.

Such eerie quiet. Could be a Lexus.

Here's the same car unleashed in Fontana, growling along the front straight at the California Speedway at 120 mph with much more underfoot. But Turn 1 is ahead. It is tricky, has two apexes and is quick to punish the mentally loose attempting high entry speeds in a passenger car shod

Please see WHEEL, E8

BEHIND
THE WHEEL

The Pluto effect in California, 1997: the threatening alternative propulsion system generates a typical reaction among main stream producers, voiced here by an automotive journalist in California. The petrol car is characterised as coasting 'with the silence of an electric vehicle' (*Los Angeles Times*, September 12, 1997; courtesy Dr. David A. Kirsch, Anderson School, University of California, Los Angeles).

Additional literature

- W. Bernard Carlson, 'Thomas Edison as a manager of R&D: the case of the alkaline storage battery, 1898 - 1915', *IEEE Technology and Society Magazine* (December 1988) 4-12
- Scott A. Cronk, *Building the E-motive industry; essays and conversations about strategies for creating an electric vehicle industry* (Warrendale, 1995)
- Nick Georgano, *Electric vehicles* (Princes Risborough, 1996) (Shire Album 325)
- H. de Graffigny, *La locomotion électrique* (Paris, n.y.)
- J.A. Grégoire, *50 ans d'automobile; 2: la voiture électrique* (Paris, 1981)
- H.W. Hellmann, *Der elektrische Kraftwagen; Theoretisch-praktisches Handbuch für Konstruktion, Bau und Betrieb elektrisch bewegter Fahrzeuge* (Berlin, 1901)
- Stanley M. Hills, *Battery-electric vehicles; dealing with the construction and operation of all types of battery-operated electric vehicles and accessory equipment* (London, 1943)
- Gardner D. Hiscox, *Horseless vehicles; automobiles, motorcycles operated by steam, hydro-carbon, electric and pneumatic motors; a practical treatise...etc* (New York, 1900)
- Albert Kloss, *Elektrofahrzeuge; vom Windwagen zum Elektromobil* (Berlin/Offenbach, 1996)
- Edward E. La Schum, *The electric motor truck; selection of motor vehicle equipment, its operation and maintenance* (New York, 1924)
- Louis Lockert, *Les voitures électriques avec Supplément aux voitures à pétrole et Note sur les moteurs à acétylène et à alcool; traité des véhicules automobiles sur route*, Vol. 4 (Paris, 1897)
- Josef Löwy, *Das Elektromobil und seine Behandlung* (Leipzig, 1906)
- Henri Petit, *La voiture électrique à accumulateurs* (Paris, 1943)
- W. Rödiger, *Der elektrische Kraftwagen; Handbuch für Bau und Betrieb von Elektromobilen und Elektrokarren* (Berlin, 1927)
- Virginia Scharff, *Taking the wheel; women and the coming of the motor age* (New York/Toronto/Oxford/Singapore/Sydney, 1991)
- Gaston Sencier and A. Delasalle, *Les automobiles électriques* (Paris, 1901)
- Sheldon R. Shacket, *The complete book of electric vehicles* (Chicago/New York, 1979)
- Daniel Sperling, *Future drive; electric vehicles and sustainable transportation* (Washington, D.C., 1995)
- E.J. Wade, *Secondary batteries; their theory, construction and use* (London, 1908²)
- Ernest H. Wakefield, *The consumer's electric car* (Ann Arbor, 1977)
- Ernest Henry Wakefield, *History of the electric automobile; battery-only powered cars* (Warrendale, 1994)
- Luth Westerkamp, *Das Elektro-Fahrzeug* (Berlin, 1928) (Autotechnische Bibliothek, Band 83)
- Gerhard Wilke (ed.), *Denkschrift Elektrospeicherfahrzeuge (Im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Teil 11/1969)* (Wiesbaden, 1970)
- Roland Wolf, *Le véhicule électrique gagne le coeur de la ville* (n.p., n.y. [Paris, 1995])
- C.E. Woods, *The electric automobile, its construction, care and operation* (Chicago/New York, 1900).

Invloed van technische maatregelen wegverkeer op geluidhinder

Auteur:
Hans Nijland

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
tel: 030-274 3626
fax: 030-274 4417
e-mail: hans.nijland@rivm.nl

1. Inleiding

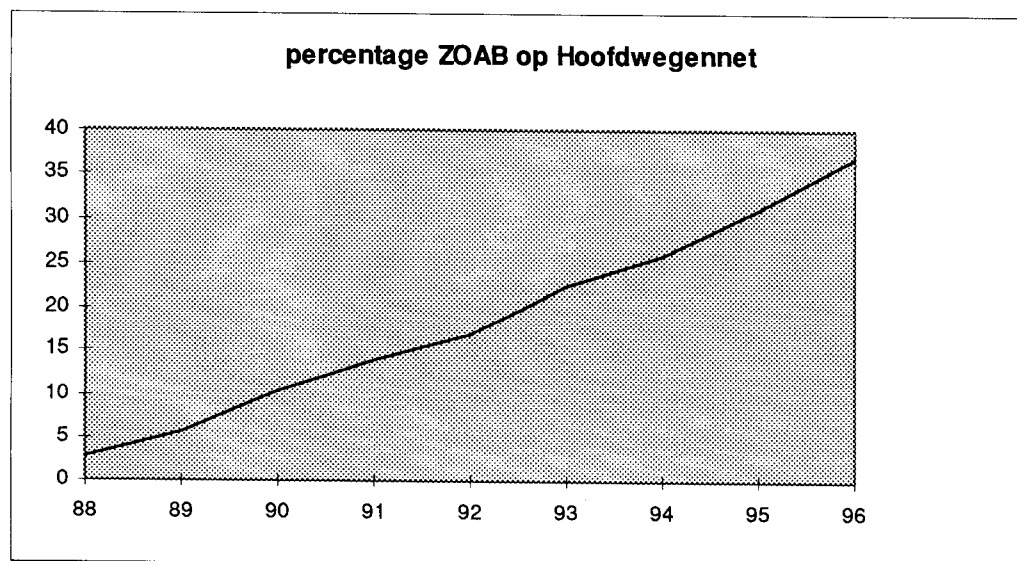
Geluidhinder wordt in Nederland met name veroorzaakt door wegverkeer, buren en vliegverkeer. Het percentage van de Nederlandse bevolking dat hinder dan wel ernstige hinder ondervindt van geluid geldt als indicator voor de omvang van de geluidhinder. Afhankelijk van de vraagstelling en de gevolgde methodiek komen verschillende onderzoeksinstellingen op verschillende geluidhinderpercentages uit. (TNO: ca. 60%, CBS: ca. 40%, RIVM³⁰: ca. 25%). Hoewel de percentages gehinderden dus verschillen komt uit alle onderzoeken wegverkeer als belangrijkste bron van geluidhinder naar voren. Dit artikel zal nader ingaan op de geluidhinder veroorzaakt door wegverkeer, de technische maatregelen die genomen worden om deze geluidhinder te beperken en de effecten van die maatregelen op de ondervonden geluidhinder.

2. Maatregelen

Verkeerslawaaï wordt geproduceerd door zowel de motor als de banden. Bij lagere snelheden overheerst het motorgeluid, bij hogere snelheden overheerst met name bij personenauto's het bandengeluid. Technische maatregelen zijn dan ook deels gericht op reductie van de emissie van motor- en bandengeluid (bronmaatregelen), deels op de reductie van de overdracht van geluid (wegschermen) en deels op het verminderen van geluid bij de receptor (effectgerichte maatregelen, b.v. gevelisolatie)

2.1. Wegdek

Sinds 1987 is er op het rijkswegennet ZOAB (= Zeer Open Asfalt Beton) aangelegd [1].



Hoewel dit nieuwe type wegdek in eerste instantie bedoeld is ter verbetering van de verkeersveiligheid heeft het tevens een gunstig effect op de geluidemissie. Met name bij hogere

³⁰ In de RIVM-modelberekeningen is de hinder door buren niet meegenomen. Bovendien wordt met name de hinder door wegverkeer onderschat wegens het ontbreken van geschikte gegevens en methodes voor de berekening van binnenstedelijk wegverkeer.

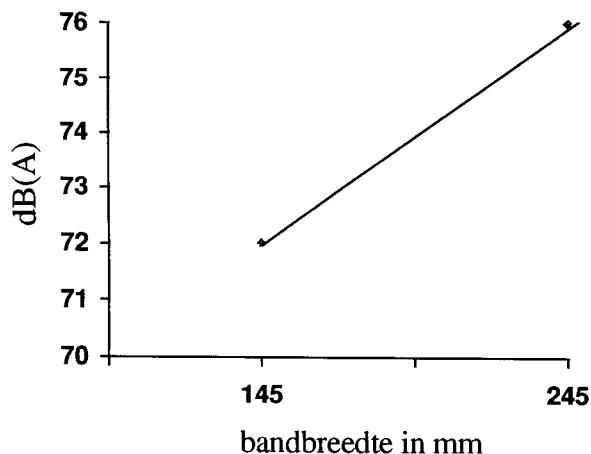
snelheden is een reductie van 2-3 dB(A) haalbaar. Recentelijk wordt ook meer en meer ZOAB aangelegd binnen de bebouwde kom, met name op geluidgevoelige plaatsen zoals bij scholen, ziekenhuizen etc. Daarnaast wordt er de laatste jaren op beperkte schaal geëxperimenteerd met twin-lay, een type wegdek waarmee geluidemissiereducties tot ca. 5 dB(A) haalbaar zijn.

2.2. Bandengeluid

De laatste jaren is er een groeiende aandacht voor het geluid dat banden produceren bij contact met het wegdek. Maatregelen spitsen zich toe op de invoering van nieuwe, 'gladdere' types wegdek (zie 2.1.) en op de vervaardiging van stillere banden. Daarbij moet een onderscheid gemaakt worden naar personen- en vrachtauto's.

2.2.1. personenauto's

Bij hogere snelheden (boven 50 km/h) overheerst het bandenlawaai bij personenauto's. Onder standaard-condities (80 km/h, ISO-wegdek etc.) is de geluidemissie van personenautobanden vooral afhankelijk van de breedte van de banden[2]. Dikke banden produceren ca. 4 dB(A) meer geluid dan dunne banden (zie figuur)³¹.



2.2.2. vrachtauto's

De dikte van de band speelt hier nauwelijks een rol, daarentegen is vooral het type band bepalend voor de geluidemissie. Gemiddeld zijn lijnprofiel-banden 2 dB(A) stiller dan blokprofiel-banden.

Aangezien de verdere reductie van motorlawaai d.m.v. aanscherping van de typekeuringseisen (zie 2.3) eerst dan zinvol is als tegelijkertijd ook het bandenlawaai wordt gereduceerd dringt de Europese Commissie aan op de vaststelling van limieten voor bandenlawaai [3].

³¹ Op niet-standaard wegdekken zullen de effecten geringer zijn.

2.3. Aanscherping typekeuringeisen

In EU-verband worden eisen gesteld aan de geluidemissie van *nieuwe* auto's, de typekeuringeisen. De laatste aanscherping van de typekeuringeisen werd van kracht in 1995 (EU-richtlijn 92/97) en resulteerde in de volgende toegestane maximale geluidniveaus:

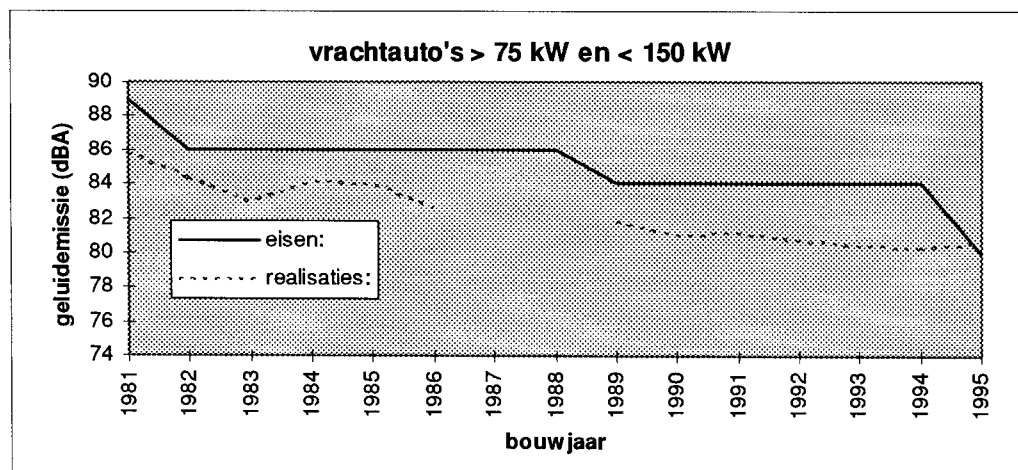
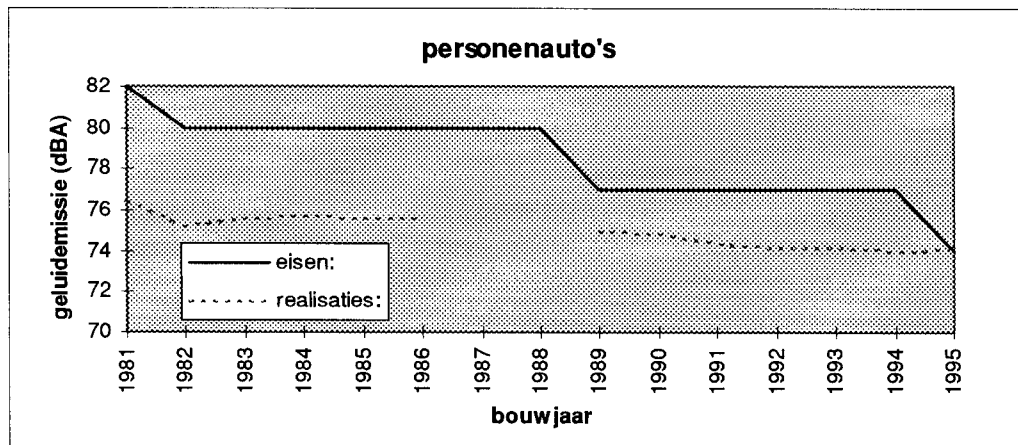
<i>voertuigcategorie</i>		<i>maximum niveau in dB(A)</i>
personenauto		74
bus	< 2 ton	76
	<3.5 ton	77
	>3.5 ton <150 kW	78
	>150 kW	80
vrachtwagen	< 2 ton	76
	< 3.5 ton	77
	> 3.5 ton < 75 kW	77
	< 150 kW	78
	> 150 kW	80
motorrijwiel	< 80 cc	75
	< 175 cc	77
	> 175 cc	80

De doorwerking van de typekeuringeisen in de geluidemissie van het bestaande wagenpark is moeilijk te doorgronden. Deels komt dit doordat de eisen opgelegd worden aan nieuwe auto's, oudere auto's vallen nog onder het regime van eerdere typekeuringeisen. De doorwerking van de typekeuringeisen heeft daardoor te maken met de levensduur en vervanging van het wagenpark. Verder speelt een rol dat naarmate auto's ouder worden ze (zeker bij slecht onderhoud) meer geluid produceren.

Uit recente onderzoeken [4, 5] waarbij de geluidemissie van het wagenpark is gemeten is niet gebleken dat het wagenpark in de loop der jaren stiller is geworden. Daaruit mag overigens *niet* de conclusie getrokken worden dat de opeenvolgende aanscherpingen van de typekeuringeisen geen effect gehad zouden hebben en dat inspanningen gericht op verdere aanscherping niet de moeite zouden lonen. Er zijn namelijk trends die het mogelijk effect van de aanscherpingen tegenwerken.

- personenauto's hebben de afgelopen decennia steeds bredere banden gekregen
- het wagenpark bestaat nu uit personenauto's met gemiddeld zwaarder motorvermogen dan een aantal decennia geleden.

Bovendien lagen de gemeten geluidemissies tot nu toe steeds duidelijk onder de maximaal toelaatbare geluidniveaus. De laatste aanscherping van 1995 heeft ertoe geleid dat de feitelijke niveaus en de toelaatbare niveaus nu voor het eerst ongeveer gelijk zijn. Verdere aanscherping van de eisen zou vanaf nu dus moeten resulteren in duidelijk stillere auto's.

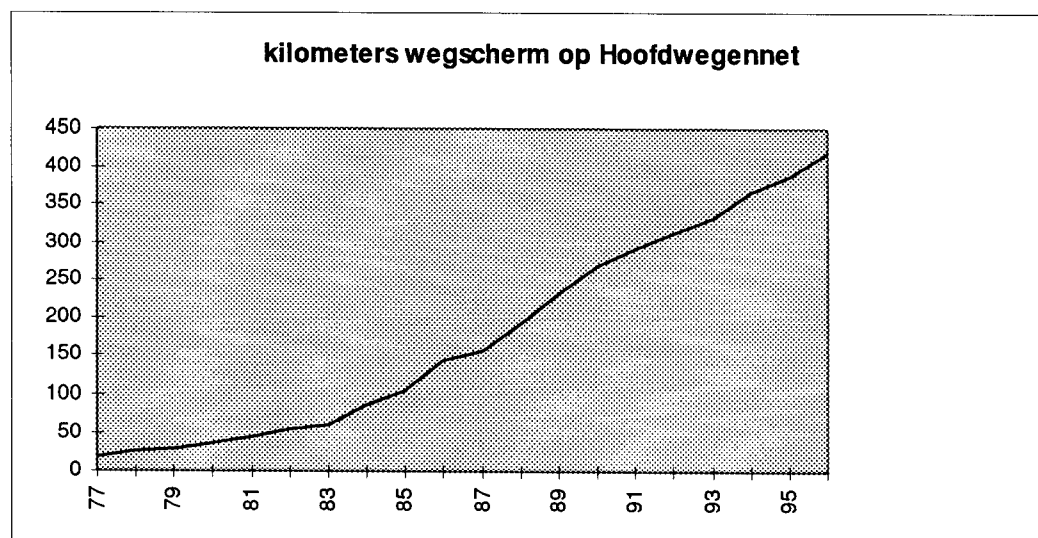


2.4. Beperking maximum-snelheid

In april 1988 is besloten tot een snelheidsdifferentiatie op de autosnelwegen. Daarbij werden limieten van 100 en 120 km/h ingesteld. Hoewel handhaving van de maximumsnelheden een probleem is, zijn de gemiddelde rijksnelheden van personenauto's op wegvakken met een maximum-snelheid van 100 km/h duidelijk lager dan op wegen met een maximum van 120 km/h, resp. 102 en 115 km/h [6]. Het effect hiervan op de geluidemissie is ca. 1 dB(A). Verdere verlaging *en handhaving* van de limiet naar 90 km/h zou nogmaals 1-2 dB(A) reductie opleveren. Tevens zou dit nog andere gunstige milieu- en economische effecten hebben. Zo wordt de uitstoot van stoffen lager en is de vervoerscapaciteit van een weg bij 90 km/h optimaal, zodat er minder congestie optreedt.

2.5. Wegschermen

De afgelopen decennia is er ruim 400 km. wegscherm geplaatst op het hoofdwegennet [1]. Het plaatsen van wegschermen kan, afhankelijk van type scherm en type weg, de geluidsemissies reduceren met ca. 12 dB(A) [7]. Hierdoor is het een zeer effectieve, zij het niet goedkope maatregel (gemiddeld kost een kilometer wegscherm ca. 2 miljoen gulden; de totale investeringen in de loop der tijd in wegschermen bedragen dus grofweg 800 miljoen gulden).



2.6. Gevelisolatie

Met name door de lokale overheden worden individuele woningen op sterk geluidbelaste plaatsen geïsoleerd. Sinds 1983 zijn ca. 78.000³² woningen geïsoleerd. Hiermee is een bedrag gemoeid van grofweg 800 miljoen gulden.

3. Handhaving en wettelijk kader

Voor de beperking van de maximum-snelheid is invoering alleen niet voldoende, maar is zeker ook aandacht nodig voor de handhaving ervan. Het wettelijk kader daarvoor is aanwezig en duidelijk.

Bij typekeuringseisen is het beeld iets gecompliceerder. Vooral de situatie m.b.t. de wettelijke eisen die aan motoren en bromfietsen (de meeste hinder opleverende voertuigcategorie) gesteld worden verdienen aandacht. De typekeuringseisen voor nieuwe (zware) motoren schrijven een maximum geluidsniveau van 80 dB(A) voor. Volgens onderzoek door de motorindustrie zelf [8] rijdt in Nederland echter 34% van de motoren en 65% van de brommers met 'aangepaste'³³ uitlaten. Deze aanpassingen hebben gemiddeld een effect van 10 dB(A) verhoging van de geluidemissie, waardoor een aldus 'aangepaste' motor qua geluidsniveau te vergelijken is met ca. 30 personenauto's. Het is duidelijk dat dit aandacht behoeft (die dan meer in de handhavingssfeer zal liggen).

Reeds langer rijdende motoren daarentegen vallen onder het regime van de typekeuringseisen die golden in het jaar dat ze van de fabriek kwamen. Voor 1978 waren er geen geluidsnormen opgenomen in de typekeuringseisen. Deze oudere motoren vallen daarmee onder de Algemene Maatregel van Bestuur Voertuigenreglement van de Wegenverkeerswet. Dit geldt evenzeer voor (oude en nieuwe) 'grijze import' en zelfbouw-motoren (ca. 20 % van het motorenpark).

³² Uitsluitend als gevolg van lawaai van wegverkeer, dus exclusief b.v. isolatie als gevolg van luchtvaart

³³ De aanpassing bestaat bij brommers veelal uit het zelf sleutelen aan de uitlaat ('opvoeren'), bij motoren veelal uit het vervangen van de standaard uitlaat door een 'sportiever' model

In het voertuigenreglement worden maximale geluidniveaus vastgesteld voor (oudere) motoren en bromfietsen. Voor de zwaardere categorieën motoren gelden de volgende maximale geluidniveaus:

500 cc	97 dB(A)
750 cc	100 dB(A)
1000 cc	103 dB(A)
>1000 cc	106 dB(A)

In de praktijk betekent dit dus dat een oudere zware motor (evenals een nieuwe zelfbouw c.q. grijze import motor) wettelijk een geluidsniveau mag produceren dat vergelijkbaar is met het lawaai van meer dan 1000 nieuwe auto's. Aangezien de hierboven genoemde maximale geluidniveaus bovendien gekoppeld zijn aan een bepaald toerental en er geen meetapparatuur beschikbaar is die juridisch sluitend zowel toerental als geluidniveau kan meten is het wettelijk kader niet toereikend. Sinds begin 1996 voert de politie dan ook geen geluidcontroles bij motoren meer uit.

4. Effecten op hinder

Een aantal van de bovenstaande maatregelen zijn op het RIVM in het kader van de Milieuverkenningen '97 [9] doorgerekend op hun effecten op (ernstige) hinder. Daarbij is gebleken dat de maatregelen relatief meer effect hebben op de reductie van het percentage ernstige hinder dan op de reductie van het percentage hinder. Beperking van de maximumsnelheid tot 90 km/h komt daarbij als een van de meest effectieve maatregelen naar voren. Bovendien is uit de berekeningen duidelijk geworden dat doorvoering van de technische maatregelen alleen onvoldoende zal zijn om de ernstige geluidhinder tot een verwaarloosbaar niveau te doen dalen (doelstelling uit NMP2). Daarvoor zijn naast technische maatregelen tenminste ook volumemaatregelen en maatregelen in de sfeer van ruimtelijke ordening noodzakelijk.

5. Conclusies

- *aanscherping van typekeuringseisen heeft nauwelijks effect gehad op de reductie van geluidemissies van het voertuigenpark.*
- *toekomstige aanscherping van typekeuringseisen daarentegen heeft waarschijnlijk wel het beoogde effect*
- *het wettelijk kader om de geluidemissies bij motoren te controleren is onvoldoende*
- *snelheidsbeperking tot 90 km/h is een van de meest effectieve maatregelen om geluidhinder te beperken*
- *technische maatregelen alleen zijn onvoldoende om de geluidhinder door wegverkeer tot een aanvaardbaar niveau terug te brengen*

Literatuur

- [1] Min. van Verkeer en Waterstaat (1997), Weggegevens hoofdwegennet, jaarrapport 1996, Delft
- [2] dr. G. J. van Blokland, ir. D.F. de Graaff (1995), Effect of tyre noise limits on traffic noise, M+P raadgevende ingenieurs b.v., 's Hertogenbosch
- [3] European Commission (1996), Green paper on future noise policy, Brussel
- [4] H. Steven (1995), Ermittlungen der gerauschemissionsänderung von Kraftfahrzeugen im Strassenverkehr, FIGE GmbH, Herzogenrath
- [5] ir. J.D. van der Toorn, drs. ing. T.c. van den Dool (1997), geluidemissie door motorvoertuigen - klassieke metingen en analyses met de Syntakan-, TNO-TPD, Delft
- [6] Min. van Verkeer en Waterstaat (1996), Verkeersgegevens, jaarrapport 1995, Rotterdam
- [7] H.M.E. Miedema et al. (1997), Naar een Landelijk Beeld van Verstoring, VROM, publicatiereeks verstoring, Den Haag
- [8]. IMMA (1996), Motorcycle noise: the curious silence, Geneve
- [9] RIVM (1997), Nationale Milieuverkenning 4, 1997-2020, Bilthoven

Luchtvaarttechniek en Milieu

Auteur:

J.H.A.M. Peeters

VROM

DGM/Directie Geluid en Verkeer

Postbus 30945

2500 GX Den Haag

tel: 070-339 4529

fax: 070-339 1281

VLIEGTUIGTECHNIEK EN LUCHTVERONTREINIGING IN HISTORISCH PERSPECTIEF

door ir. J.H.A.M. Peeters

Ministerie van VROM, directie Geluid en Verkeer, Den Haag

1. Algemeen

De luchtvaart heeft een enorme groei-ontwikkeling doorgemaakt. Daardoor zijn ook de emissies toegenomen. Hoewel vliegtuigen en vliegtuigmotoren zuiniger en schoner zijn geworden hebben technische verbeteringen de grotere verkeersvolumes niet kunnen compenseren. Ook in de toekomst zal hiervan volgens alle prognoses sprake zijn. Luchtverontreinigende emissies door de luchtvaart vormen daarom een groter wordend milieuprobleem. Dit probleem kan worden onderscheiden in de volgende milieu-aspecten:

- ozonaantasting in de stratosfeer
- versterkt broeikaseffect
- verzuring
- lokale luchtverontreiniging

Op basis van de huidige wetenschappelijke inzichten over milieu-effecten zijn CO₂ en NO_x de belangrijkste emissieprodukten van vliegtuigmotoren. Voor lokale luchtverontreiniging kunnen ook CO en VOS een rol van betekenis spelen. Over de effecten van CO-, VOS-, waterdamp- en SO₂-emissies door de luchtvaart tijdens de kruisvlucht op ozonaantasting en het broeikaseffect bestaan nog veel wetenschappelijke onzekerheden. Ook over de PAK- en deeltjesemissie door vliegtuigmotoren op en rond luchthavens is weinig bekend.

In deze notitie wordt ingegaan op de rol van techniek bij het reduceren van de luchtemissies door de luchtvaart. Daarbij wordt vanwege de relaties van de emissieprodukten met de diverse milieu-aspecten ingegaan op het brandstofverbruik (en dus CO₂ emissie) en NO_x-emissie tijdens de kruisvlucht en de CO- en VOS-emissie tijdens de start- en landingcyclus.

De opzet van dit artikel is als volgt. Eerst wordt ingegaan op internationale emissienormen voor vliegtuigmotoren en worden certificatiegegevens van in Nederland geregistreerde vliegtuigtypen gepresenteerd. Hierna wordt een pleidooi gehouden voor een onderscheid tussen kruisvlucht en start en landing cyclus. Vervolgens wordt de historische ontwikkeling geschetst en wordt een korte doorkijk gepresenteerd naar mogelijke toekomstige technische verbeteringen en hun effecten.

2. Internationale emissie-eisen

De ICAO definieert sinds de jaren tachtig emissienormen voor nieuwe subsone straalmotoren met een maximale stuwkracht groter dan 26,7 kiloNewton. Deze motoren worden gebruikt in vliegtuigen met een capaciteit van meer dan circa 50 passagiers. De normen hebben betrekking op CO, VOS, NO_x en rookdeeltjes en zijn vastgelegd in een bijlage bij het Verdrag van Chicago dat de internationale civiele luchtvaart regelt. De normen zijn oorspronkelijk bedoeld voor het terugdringen van de emissies in de omgeving van luchthavens en zijn gebaseerd op een genormaliseerde start- en landingscyclus (Landing and Take-Off cycle: LTO-cyclus). Bij de genormaliseerde cyclus wordt gebruik gemaakt van een vliegptraan beneden 3000 voet (ongeveer 900 meter). In tabel 1 zijn de vluchtfasen, de stuwdrukniveaus en de tijdsduren van de LTO-cyclus vermeld. De emissies van nieuwe motoren moeten op basis hiervan worden gemeten op een motorproefstand.

Tabel 1. Vluchtfasen, stuwkracht en tijdsduur van de gestandaardiseerde LTO-cyclus

Vluchtfase	Stuwkracht t.o.v. maximum	Tijdsduur (minuten)
Start	100%	0,7
Klim	85%	2,2
Nadering	30%	4,0
Taxiën	7%	26,0

Voor CO en VOS zijn eenmalig eisen vastgesteld met 1 januari 1986 als ingangsdatum. Voor CO bedraagt de eis $D_p/F_{oo} = 19,6$ en voor VOS is deze $D_p/F_{oo} = 118$. D_p is daarbij de gemeten hoeveelheid in gram en F_{oo} een maat voor de maximale stuwkracht van de motor in kiloNewton.

De eis voor NO_x bestaat uit een formule waarbij de norm stijgt met toenemende drukverhouding. Tot 1 januari 1995 bedroeg de eis $D_p/F_{oo} = 40 + 2\pi_{oo}$. Met ingang van januari 1996 bedraagt deze $D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$.

In lijn met de verbetering van het specifiek brandstofverbruik en de door de ICAO opgestelde emissienormen zijn de emissies van CO en VOS per kilogram brandstof in het algemeen verminderd. De emissies van NO_x zijn daarentegen toegenomen per kilogram brandstof. Deze ontwikkeling is veroorzaakt door, als gevolg van het stijgende brandstofrendement, steeds hoger wordende temperaturen in de verbrandingskamers van vliegtuigmotoren. In ICAO-verband wordt geprobeerd de negatieve ontwikkeling van de NO_x-emissies tegen te gaan met behulp van steeds verdere aanscherping van emissienormen. Op dit moment wordt de mogelijkheid van een verdere aanscherping met ingang van 2000 of 2005 besproken. De vooruitzichten op internationale overeenstemming hierover zijn echter mager.

Van de bij de Rijksluchtvaartdienst per augustus 1997 geregistreerde vliegtuigen van Nederlandse luchtvaartmaatschappijen hebben er 123 een "maximum take-off weight" van 50

ton en hoger. Bij deze grens wordt een Fokker 100 niet meegenomen en een Boeing 737 wél. Overwegend gaat het hier om Boeing 737, Boeing 747, Boeing 757, Boeing 767 en McDonnell Douglas MD11 vliegtuigen. De meest voorkomende motortypen op deze vliegtuigen zijn de CFM56 van Snecma/General Electric, de CF6-50 en -80 van General Electric, de RR211-535 van Rolls Royce en de PW4060 van Pratt&Whitney. In onderstaande tabel worden enkele afgeronde certificatiegegevens van geselecteerde emissiemetingen van deze motortypen gepresenteerd. De gegevens zijn bedoeld ter illustratie.

Tabel 2. Enkele certificatiegegevens van in Nederland geregistreerde vliegtuigen. Zie tekst voor verklaring. Bij motortype is tevens het certificatiejaar en maximale stuwdruk in kiloNewton genoemd (bron: ICAO emissiedatabase)

Motortype (jaar-kN)	Vliegtuigtype	D_p/F_{∞} (g-LTO/kN)			Emissie-index (g/kg)					
		NO _x	CO	VOS	85% stuwkracht			7% stuwkracht		
					NO _x	CO	VOS	NO _x	CO	VOS
CFM56 (1983-105)	Boeing 737	45.8	53.5	2.8	17.8	0.9	0.0	4.3	26.8	1.4
CF6-50 (1979-224)	Boeing 747	60.2	95.1	35.2	29.0	0.5	0.7	3.5	62.3	23.0
CF6-80 (1995-254)	Boeing 747, B767, MD11	43.7	24.8	2.0	19.7	0.0	0.1	4.7	19.2	1.5
RR211-535 (1984-176)	Boeing 757	76.9	28.6	7.1	36.2	1.2	0.9	4.3	15.4	2.9
PW4060 (1987-267)	Boeing 767	52.7	27.1	2.2	24.7	0.5	0.0	4.9	20.3	1.7

3. Onderscheid kruisvlucht en start- en landingcyclus

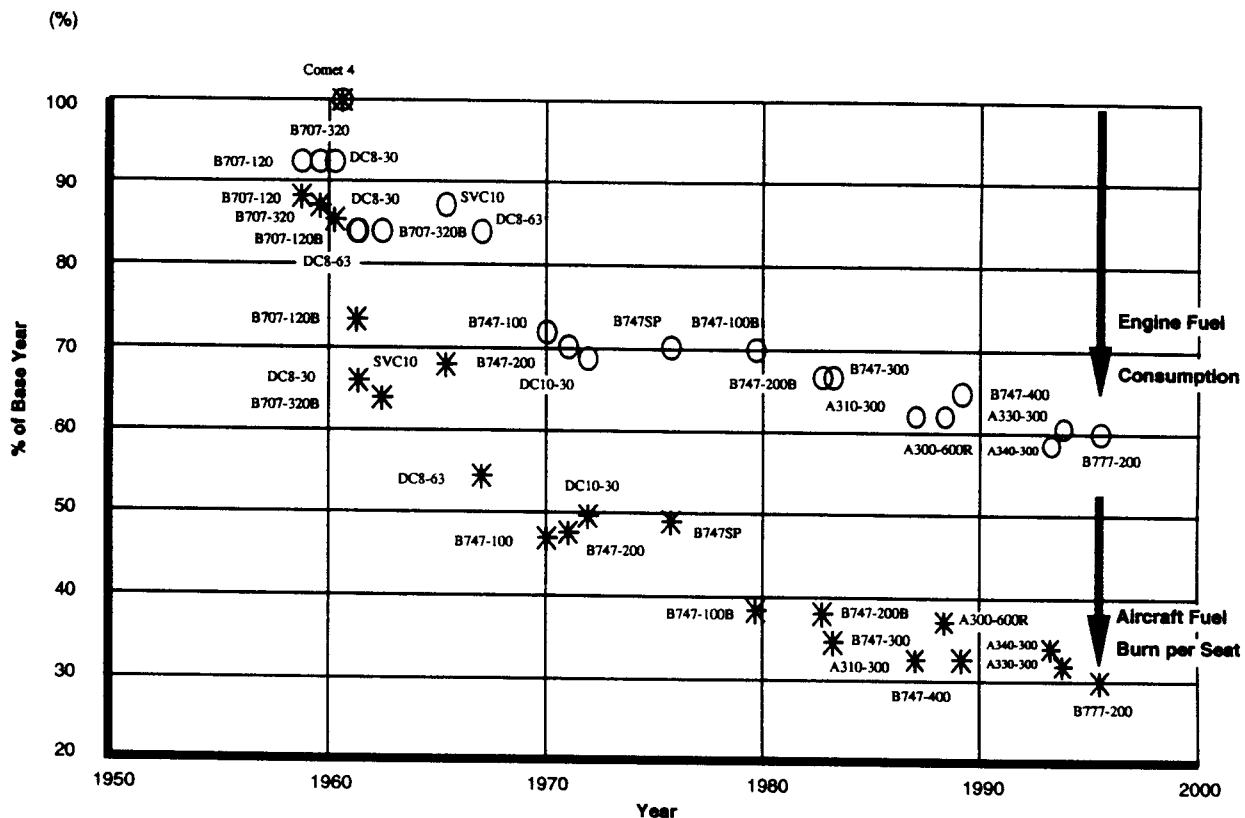
Een onderscheid tussen kruisvlucht enerzijds en start- en landingcyclus anderzijds is om twee redenen van belang. Allereerst verschillen de milieu-effecten. Tijdens de kruisvlucht gaat het vooral om internationale milieuproblemen: aantasting van de ozonlaag, versterking van het broeikaseffect en verzuring. Tijdens de start- en landingcyclus zijn vooral de lokale effecten op de luchtkwaliteit van belang. De effecten van de emissies tijdens de start- en landingcyclus op internationale milieuproblemen zijn van ondergeschikte betekenis omdat het grootste deel van de luchtvaartemissies tijdens de kruisvlucht plaatsvindt.

Een tweede reden voor dit onderscheid is dat de motorparameters aanzienlijk kunnen verschillen en daardoor ook de emissies. De belangrijkste verschillen hebben te maken met het motorvermogen dat tijdens de kruisvlucht hoog is wanneer de motor optimaal werkt. Dit verschil werkt ongeveer als volgt uit voor de emissies. Tijdens de kruisvlucht heeft de motor een hoog (verbrandings)rendement met als gevolg lage CO- en VOS- en hoge NO_x-emissies. Tijdens de start- en landingcyclus wordt een variërend vermogen gevraagd met een corresponderend gemiddeld lager rendement, hogere CO- en VOS-emissies en lagere NO_x-emissies. Dit beeld kan

ook worden afgeleid van tabel 2.

4. Historische ontwikkeling

Het brandstofverbruik per stoelkilometer is in de loop der jaren aanzienlijk gedaald. In onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van de daling van het motorrendement ("Engine Fuel Consumption") en van het brandstofverbruik per stoel van het vliegtuig. Uit de figuur (uit Virginia Beach, 1996) kan worden afgeleid dat de in 1996 gecertificeerde Boeing 777-200 een 70% lager brandstofverbruik per stoel had dan de in 1960 gecertificeerde Comet 4.

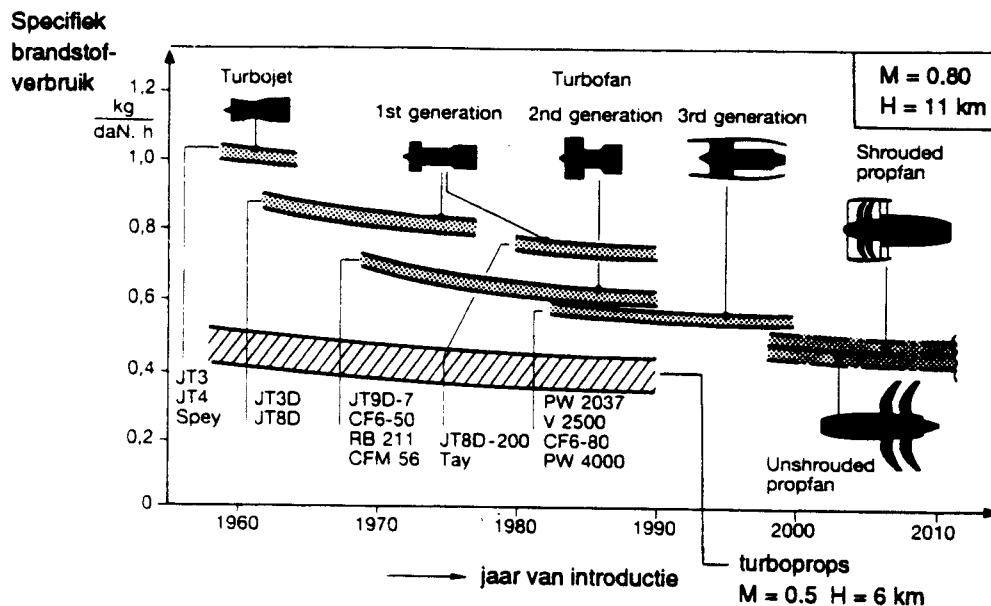


De verbeteringen zijn vooral bereikt door de volgende drie sporen technische verbeteringen:

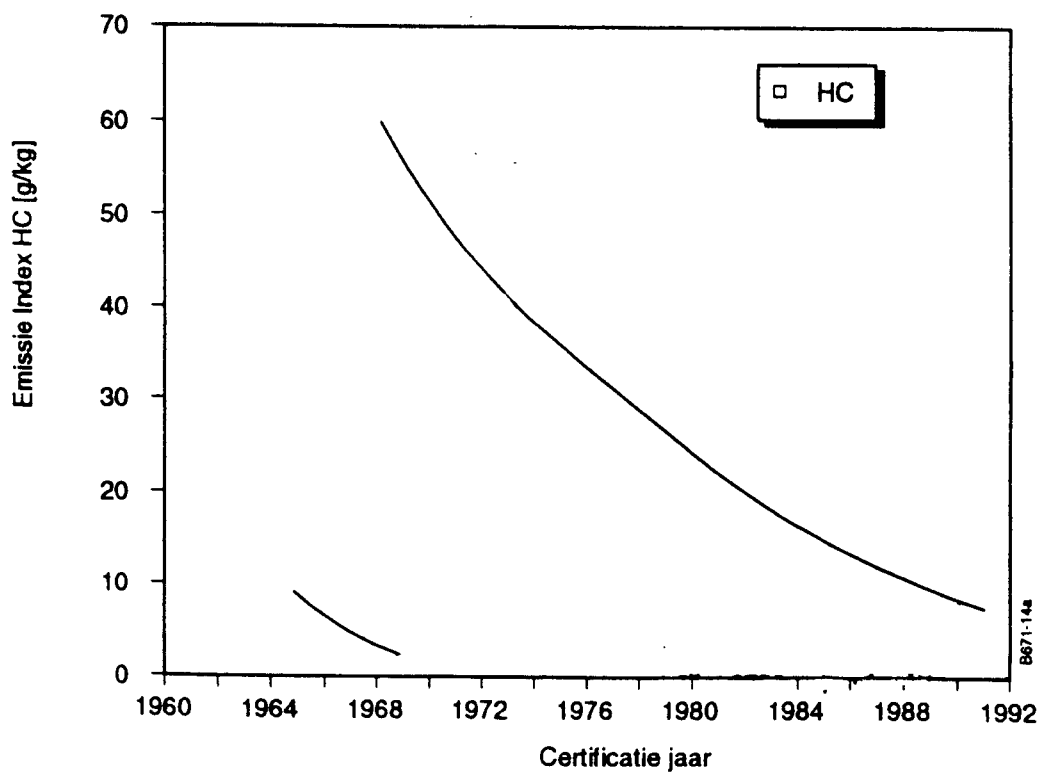
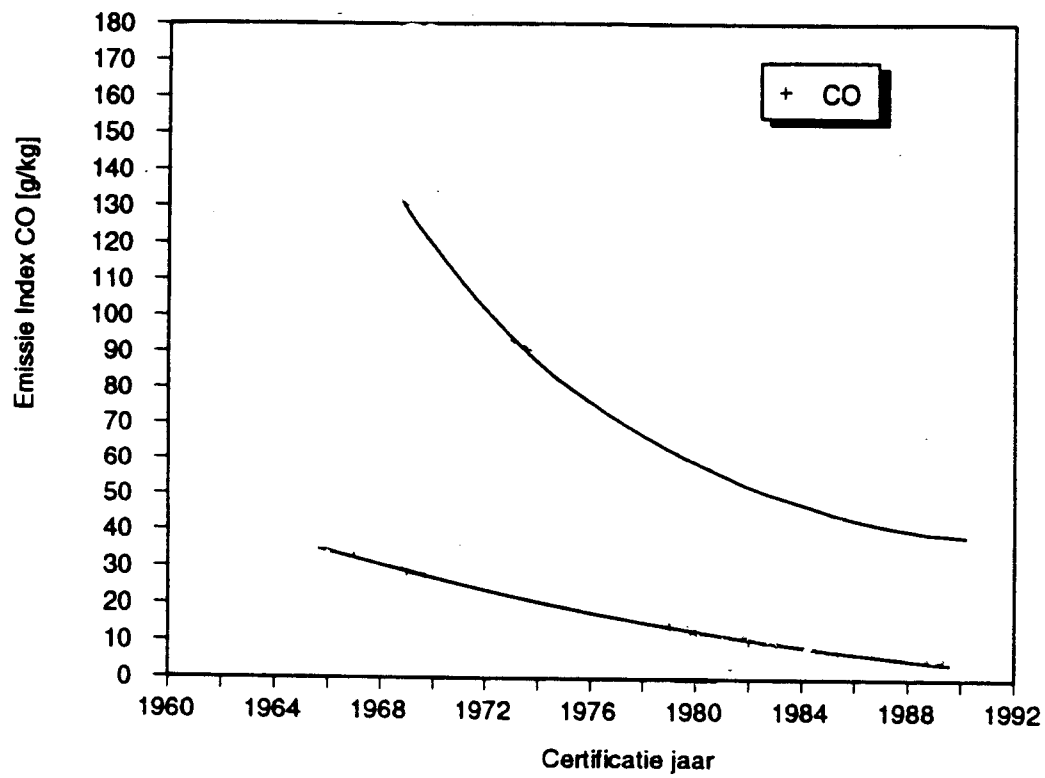
- lichtere materialen;
- minder weerstand (betere aerodynamica);
- lager specifiek brandstofverbruik van de motor.

Van de genoemde 70% is circa 30% bereikt door verbetering van het vliegtuig en 40% door verbetering van de motor (Virginia Beach, 1996). Verbetering van de motor, ofwel een lager specifiek brandstofverbruik (liter brandstof per kiloNewton stuwdruk), is bereikt door een hoger thermisch rendement door toepassing van tegen hogere temperaturen bestendige materialen en

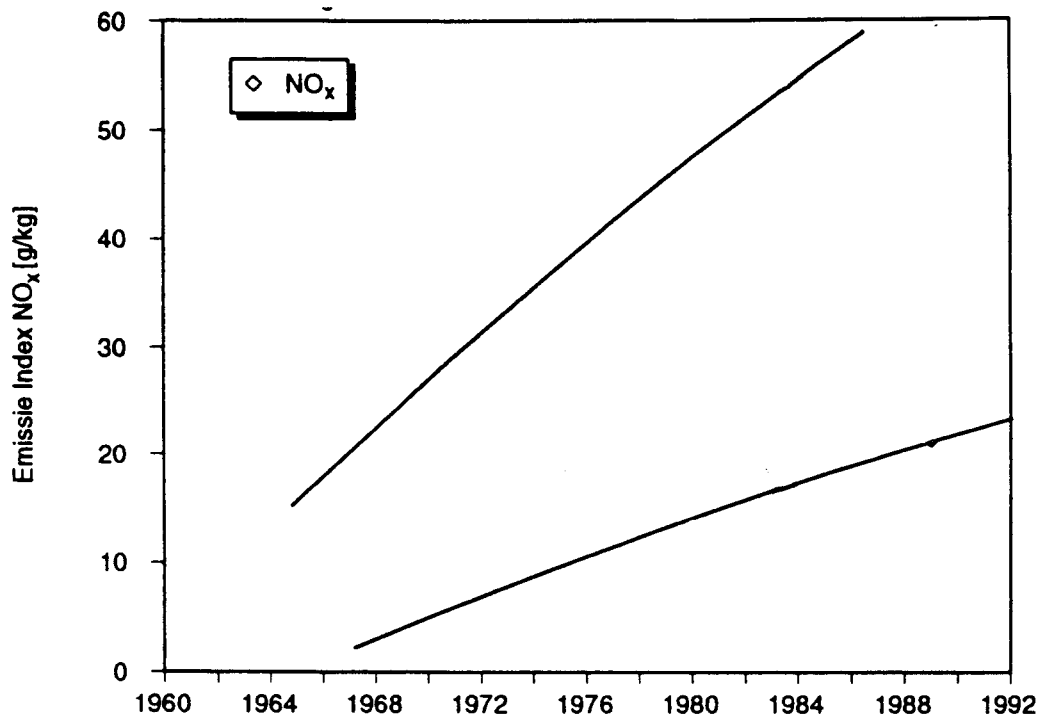
betere koelsystemen en een hoger voortstuwingsrendement door een hogere omloopverhouding. Hogere omloopverhoudingen hebben ook het uiterlijk van vliegtuigmotoren veranderd, zoals wordt geïllustreerd in onderstaande figuur (VROM, 1995). In deze figuur worden 4 generaties vliegtuigmotoren schematisch weergegeven. Een turbojet is een straalmotor zonder omloopstroom. Bij een turbofan wordt een gedeelte van de stuwkracht verkregen door een omloopstroom ("by-pass"). Achtereenvolgende generaties turbofans hebben steeds grotere omloopverhoudingen gekregen en daardoor een steeds hoger rendement. Propfans zouden, wanneer toegepast, een vijfde generatie vliegtuigmotoren kunnen vormen. Dergelijke motoren hebben een of twee grotere propellers waarmee hogere vliegsnelheden kunnen worden bereikt die daarmee geschikt zijn voor commerciële toepassing op de grotere verkeersvliegtuigen.



Voor verbeteringen op CO- en VOS-gebied moet vooral worden gekeken naar lagere vermogens (bij nullast en tijdens taxiën en landen) omdat hier, naast het streven tot lager brandstofverbruik, ICAO-regulering het meeste effect heeft gehad. Ook was de verbranding bij straalmotoren tijdens de kruisvlucht bij hoge vermogens al in de jaren 70 redelijk optimaal. In onderstaande figuren worden bandbreedten gegeven van emissiemetingen voor CO en VOS (in de figuur aangeduid met HC) in gram per kilogram brandstof tijdens nullast tussen 1960 en 1990 (NLR, 1993).



Dan NO_x . In paragraaf 2 is het mechanisme van het ontstaan van NO_x al gedeeltelijk beschreven: hogere temperaturen en drukken leiden tot een hoger rendement maar tevens tot vorming van NO_x . In de onderstaande figuur wordt de bandbreedte van emissiemetingen tijdens vollast getoond. Hieruit kan worden afgeleid dat de NO_x -emissie per kg brandstof in de loop der tijd is toegenomen.



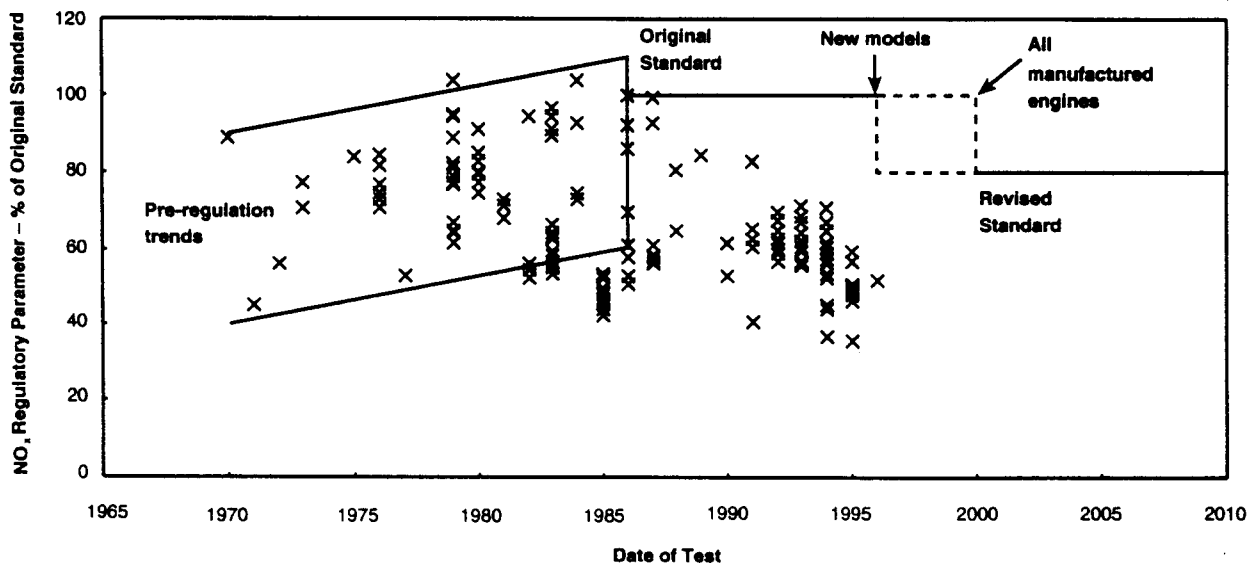
Een hoger rendement hoeft echter niet ten koste te gaan van de NO_x -emissie per stoelkilometer omdat een hoger rendement van vliegtuig en motor de hogere NO_x -emissie per kg brandstof of kN stuwdruk kan compenseren. Deze samenhang wordt geïllustreerd in tabel 3 waarin cijfers uit een studie voor de Amerikaanse EPA worden getoond (EPA, 1995). Hieruit kan worden afgeleid dat de NO_x -emissie tijdens de LTO-cyclus per vliegtuigstoel in de jaren tachtig gemiddeld lager was dan in de jaren zeventig. De tabel toont ook aan dat er uitzonderingen op deze regel zijn.

Tabel 3. NO_x -emissies tijdens de LTO-cyclus van 300 zitters (EPA, 1995)

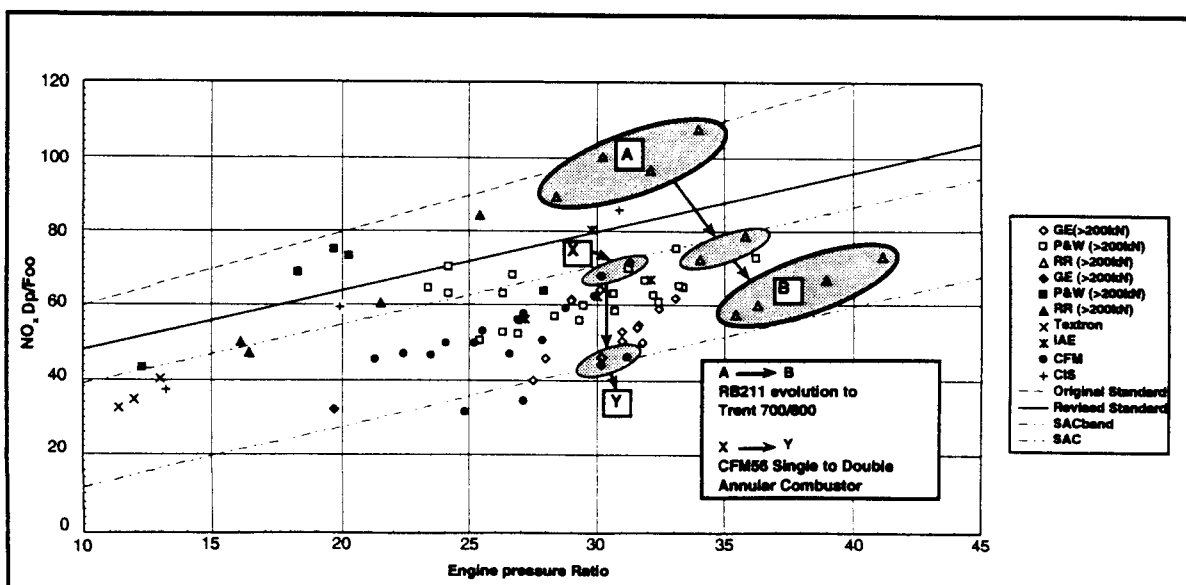
Vliegtuigtype	Motortype	Certificatiejaar	NO_x -emissie (gram tijdens LTO-cyclus per vliegtuigstoel)
A340	CFM56-5A1	1987	0.0540
A330	CF6-80C2A1	1985	0.1630
A330	PW4158	1987	0.1701
A300B	CF6-50C2	1978	0.2000
L1011-50	RB211-22B	1973	0.2219
DC10-10	CF6-6D	1969	0.2595
MD11-11	CF6-80C2D1F	1985	0.2611
DC10-40	JT9D-59	1974	0.2748

De emissie per vliegtuigstoel hangt voor een bepaald motortype tevens sterk samen met het vliegtuigtype en het aantal motoren. Ter illustratie kunnen een B777-200 met 350 tot 400 stoelen en een B747-400 met meer dan 400 stoelen, beiden met PW4056 motoren worden genoemd. Bij de B777 met twee motoren bedraagt de NO_x emissie per vliegtuigstoel tijdens de LTO cyclus 0.1438 gram, terwijl dit bij de B747 met vier motoren dit 0.2792 gram bedraagt. Alles bij elkaar is het uitdrukken van de NO_x reductie per vliegtuigstoel dus geen eenvoudige opgave.

NO_x -emissies door vliegtuigen zijn pas sinds kort (eind jaren tachtig) een aandachtspunt in het motorontwerp, vooral vanwege de effecten op het versterkte broeikaseffect en op ozonafbraak in de stratosfeer. Lagere NO_x -emissies kunnen momenteel alleen worden bereikt door aanpassingen in de verbrandingskamer. Nabehandeling met katalysatoren, zoals bij personenauto's is ondenkbaar. Bij deze aanpassingen is er sprake van trade-off issues, zoals met brandstofverbruik, betrouwbaarheid en veiligheid. Bovendien ontbreekt er een marktmechanisme voor lagere NO_x -emissies. De enige drijfveer voor fabrikanten motoren te produceren met lagere NO_x -emissie is regulering. In onderstaande figuur wordt een overzicht gepresenteerd van de effecten van ICAO-eisen op de NO_x prestaties van vliegtuigmotoren (bron: Virginia Beach, 1996).



Omdat NO_x emissies pas een aandachtspunt zijn van de laatste jaren zijn de verschillen tussen motorfabrikanten als het gaat om de NO_x prestatie nog relatief groot. Dit wordt onder andere duidelijk uit de onderstaande figuur.



Alles bij elkaar kan worden geconcludeerd dat in de luchtvaart belangrijke verbeteringen zijn bereikt op het gebied van brandstofbesparing en emissiereductie voor CO en VOS. Tegelijkertijd heeft zich een opwaartse trend voorgedaan als het gaat om de NO_x emissie. Onder invloed van (zorgen over) de groeiende milieuproblematiek en regulering door ICAO besteden vliegtuigmotorfabrikanten sinds de tachtiger jaren aandacht aan reductie van NO_x. Hoewel dit zeker gunstige effecten heeft gehad, laat de NO_x winst hiervan zich niet eenvoudig vertalen naar voor het beleid bruikbare parameters. Hogere rendementen van vliegtuigen en vliegtuigmotoren hebben, min of meer toevallig, kunnen compenseren voor de stijging van de NO_x emissie per kg brandstof. In hoeverre sprake is van een af- of toename van de NO_x emissie per stoelkilometer is op basis van deze exercitie echter niet voldoende duidelijk geworden.

6. Mogelijke toekomstige ontwikkelingen

In de nota Luchtverontreiniging en Luchtvaart wordt een overzicht gepresenteerd van kansrijke toekomstige technische verbeteringen aan vliegtuigen en vliegtuigmotoren. Daarbij is onderscheid gemaakt in de volgende categorieën:

- veranderingen in het totale ontwerp van de motor, zoals propfans
- verbetering van het verbrandingsproces in de verbrandingskamer, zoals getrapte verbranding ("staged combustion" en "double annular combustors")
- nieuwe revolutionaire verbrandingskamerconcepten (m.n. voor lagere NO_x emissies)
- nieuwe vliegtuigontwerpen (zoals grotere vliegtuigen en vliegtuigen voor lagere snelheden)

In het binnenkort te publiceren eindrapport van het Dutch Green Aircraft Intelligence project zijn kwantitatieve voorspellingen gedaan over brandstof- en emissiebesparingen die kunnen worden bereikt met technische ingrepen. In tabel 4 wordt een samenvatting van deze voorspelling gepresenteerd.

Tabel 4. Mogelijke toekomstige brandstof- en emissiebesparingen door technische ingrepen (V&W, 1997)

Techniek	Besparingspotentieel	Ontwerprisico	Marktintroductie
Turbofans met conventionele techniek	10 - 15 % lager specifiek brandstofverbruik	laag	huidig
Geavanceerde turbofans	25 - 50 % lager specifiek brandstofverbruik	hoog/zeer hoog	2015 +
Single stage combustion	30 - 40 % lagere NO _x emissie	laag	huidig
Staged combustion	50 - 80 % lagere NO _x emissie	gemiddeld	2005
Revolutionaire verbrandingskamerontwerpen	80 - 90 % lagere NO _x emissie	hoog/zeer hoog	2010 +

Literatuurlijst

EPA, 1995. Technical Data to Support FAA's Advisory Circular on Reducing Emissions from Commercial Aviation. September 1995. Environmental Protection Agency, USA.

NLR, 1993. Brandstofverbruik en emissies door vliegtuiggasturbinemotoren. Door J.A. Peper. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Amsterdam.

Virginia Beach, 1996. Global Atmospheric Effects of Aviation. Reports of the Proceedings of the Symposium, Virginia Beach, 15-19 April 1996. NASA, USA.

VROM, 1995. Nota Luchtverontreiniging en Luchtvaart. Tweede Kamer, vergaderjaar 1994-1995, 24 213 nrs. 1 en 2. SDU, Den Haag.

V&W, 1997 (nog te publiceren). Eindrapport Dutch Green Aircraft Intelligence project. Den Haag.

Van Luchtschip tot Marine Expresse

Auteur:

Paul Peeters

Peeters Advies

Witte Herenstraat 18

2011 NV Haarlem

tel. 023-5316176

juli 1997

Samenvatting

Is de hypothese dat voertuigen met een hogere snelheid altijd slechter zijn voor het milieu dan die met een lage snelheid wel juist? Om dat vast te stellen bekijken we eerst het theoretisch verband tussen de gebruikssnelheid en het energiegebruik voor verschillende categorieën voertuigen voor personenvervoer behandeld. Daarna volgt een toetsing van de hypothese aan de hand de milieukosten en kruissnelheid van 28 vervoerwijzen. Vervolgens wordt een aantal van deze vervoerwijzen nader besproken. Daarbij gaat het om vervoerwijzen die op dit moment volop worden gebruikt (bijvoorbeeld snelle schepen) en om nieuwe vervoerwijzen als het “eco-vliegtuig” en het luchtschip. Ook zal worden stilgestaan bij de mogelijke invloed van de invoering van nieuwe vervoersmodaliteiten aan het bestaande pakket. Een case daartoe vormt het luchtschip. Het paper besluit met enkele conclusies aangaande de snelheid van een vervoerwijze en de milieubelasting en de invloed van nieuwe vervoerstechnieken op de milieubelasting.

1 INLEIDING

Vaak wordt gedacht dat langzame vervoerwijzen beter voor het milieu zouden zijn dan snelle. Recent zijn daar diverse publicaties over uitgekomen (bijvoorbeeld Baaijens et al, 1997 en Peters, 1996). In de studie "langzaam maar Zeker" (Peters, 1996) is een poging gedaan om bovenstaande hypothese te toetsen. Daarbij is de totale milieubelasting bepaald door energiegebruik, emissies, afvalproductie en ruimtegebruik te monetariseren. Voor de snelheid van de vervoermiddelen is de gemiddelde kruissnelheid genomen. Door voor- en natransport, de net-dichtheid en de bedieningsfrequenties kunnen de gemiddelde reissnelheden aanzienlijk hoger liggen.

Bij de berekening van de milieubelasting is gekeken naar energiegebruik, emissies van CO, CO₂, NO_x, C_xH_y en aerosolen, afvalproductie en ruimtegebruik. Alle cijfers zijn bepaald op basis van de eenheid stoelkilometer. Geluid is uit de berekeningen weggelaten omdat de geluidsproductie van toekomstige vervoerwijzen te onzeker is. Bovendien is het - niet zelden subjectief gewaardeerde - effect van geluid zeer moeilijk onder één noemer voor alle (26) vervoerwijzen te monetariseren.

Bij de berekeningen de volgende achtergronden:

- Energiegebruik is gehaald uit totalen voor het hele park (met name openbaar vervoer en auto) of uit gegevens (bijvoorbeeld het vermogen) over individuele voertuigen (met name luchtvaartuigen en schepen).
- De emissies zijn zoveel mogelijk bepaald op basis van bronnen. Waar geen bronnen beschikbaar waren zijn de emissies geschaald met het energiegebruik voor een vergelijkbaar voortstuwingssysteem van een vervoerwijze waarover wel gegevens beschikbaar waren.
- Voor ruimtegebruik bleek geen eenduidige methode voor handen te zijn. Voor de weg- en railgebonden voertuigen is uitgegaan van het dynamisch ruimtegebruik, dat als functie van de remweg en de ruimte bij stilstand. Voor water- en luchtvoertuigen is de ruimte voor havens respectievelijk vliegvelden gedeeld door de actuele vervoersprestatie.
- Het afval is afgeleid uit de gemiddelde levensduur, het gemiddelde gewicht en het gemiddelde jaarkilometrage. In sommige gevallen is de jaarlijkse verkoop en het jaarkilometrage als uitgangspunt genomen voor de berekeningen (bijvoorbeeld voor bussen).
- De kosten voor ruimtegebruik zijn als volgt bepaald. Volgens Bleijenberg (1988) gaat het om zo'n 600 miljoen gulden per jaar voor de auto. Bij een jaarkilometrage van 74.100 miljoen vtgkm en 4,5 stoel gemiddeld maakt dat 333 miljard stoelkilometers en dus f0,0018/stlkm. Met de micro-aanpak is berekend dat een auto 0,004025 m²/stlkm nodig heeft. Dat levert dan een gemiddelde externe kosten per m² van $0,0018/0,004025 = f0,447/m^2$. Dit bedrag is uiteraard fictief, omdat het geschaald is voor de specifieke methode van bepaling van het ruimtegebruik.

Op basis van bovenstaande gegevens over de milieubelasting per stoelkilometer en gegevens over de externe kosten van emissies, energiegebruik, productie en ruimtegebruik zijn de totale milieukosten per stoelkilometer te berekenen. De waardering van de externe kosten van emissies en energiegebruik is gehaald uit Peeters en Van Asseldonk (1996) en Boneschansker (1994). Die voor materiaalgebruik zijn gerelateerd aan de externe kosten van het energiegebruik bij de productie van het betreffende materiaal.

2 THEORETISCH VERBAND TUSSEN MILIEUBELASTING EN SNELHEID

2.1 ENERGIEGEBRUIK

Fysisch gezien kost het verplaatsen van een massa geen energie: weliswaar is energie nodig om een massa vanaf stilstand te versnellen tot de beoogde verplaatsingssnelheid (de massa verkrijgt daarbij *kinetische* energie), maar in principe komt deze energie weer vrij bij het afremmen. Een massa met een eenparige snelheid voortbewegen kost theoretisch helemaal geen energie.

Toch verbruikt de transportsector grote hoeveelheden energie. Dat komt allereerst omdat bij het afremmen bijna altijd alle kinetische energie wordt omgezet in warmte, die verloren gaat. Ten tweede moet bij het verplaatsen allerlei soorten weerstand overwonnen worden. Weg- en railvoertuigen moeten rolweerstand en luchtweerstand overbruggen, schepen golfweerstand en wrijvingsweerstand

met zowel water als lucht en vliegtuigen moeten luchtweerstand overwinnen. Ten derde gaat energie verloren in het voortstuwingssysteem zelf: de brandstof levert veel meer Joules bij de verbranding dan uiteindelijk aan de wielas vrijkomt.

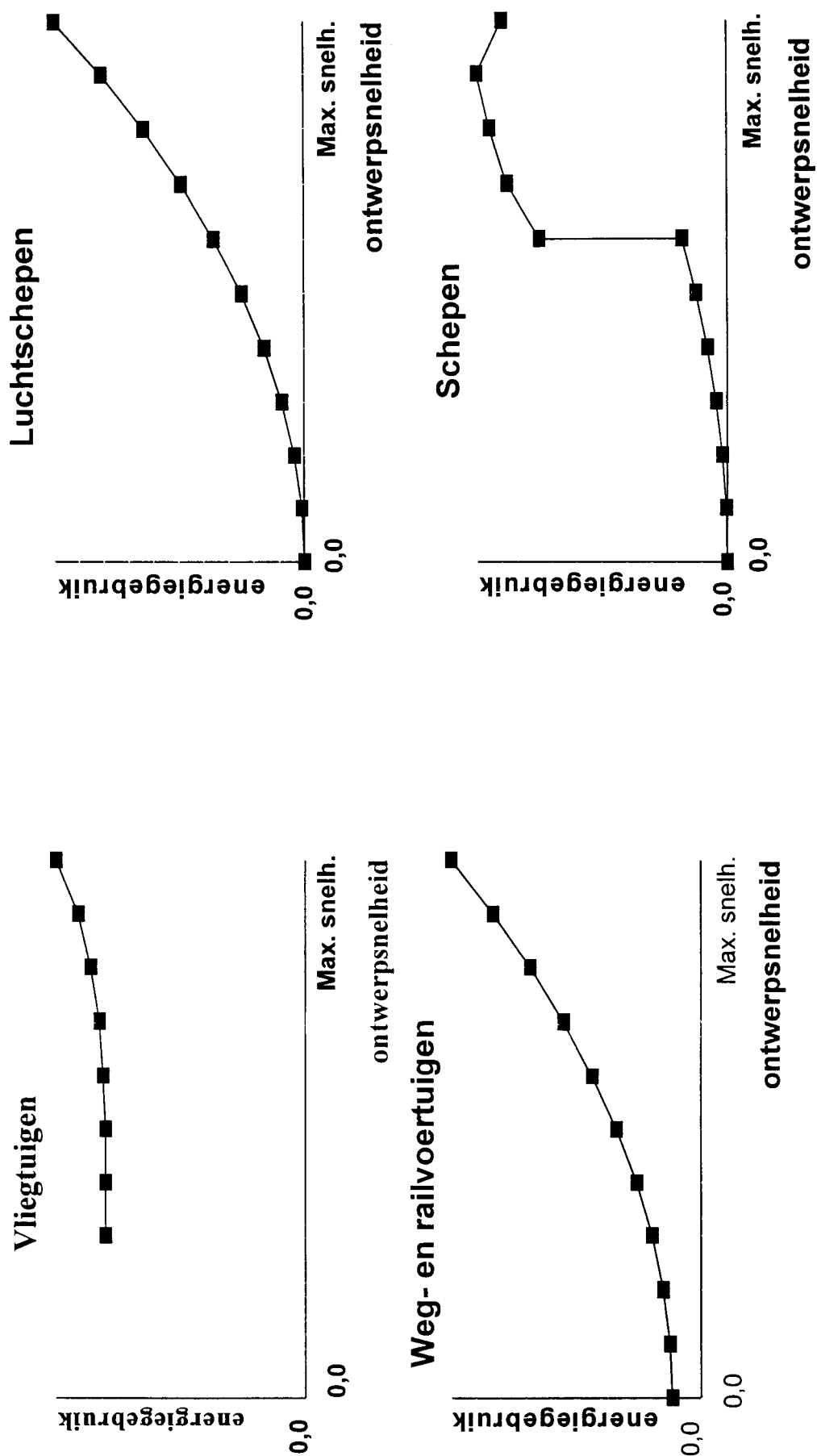
Het energiegebruik per stoelkilometer hangt voor de verschillende soorten vervoerwijzen nogal verschillend samen met de ontwerp- ofwel kruissnelheid. In afbeelding 1 is dat weergegeven. Voor elke categorie vervoerwijzen is telkens het verloop van het energiegebruik tussen minimum snelheid (meestal nul, behalve bij vliegtuigen) en maximum ontwerp-kruissnelheid weergegeven.

De lijntjes in de figuur laten zich als volgt verklaren. *Weg- en railvoertuigen* hebben te maken met rolweerstand en luchtweerstand. Omdat de rolweerstand alleen een functie is van het gewicht van het voertuig en een constante (de rolweerstandcoëfficiënt) moeten rijdende voertuigen altijd een weerstandskracht overwinnen, die min of meer constant is met de snelheid, maar ook relatief klein. De luchtweerstand daarentegen is evenredig met het kwadraat van de snelheid. De luchtweerstand is bij rijdende voertuigen dan ook bij de meeste snelheden het belangrijkste voor het energiegebruik.

Schepen zullen wrijvingsweerstand met water en lucht moeten overwinnen en daarnaast de zogenaamde golfweerstand. Bij de snelheden waar schepen mee varen is de luchtweerstand bijna verwaarloosbaar klein. De wrijving van het water speelt ook een relatief geringe rol. Blijft over de golfweerstand. Het bijzondere van de golfweerstand is dat, wanneer de snelheid van het schip (in knopen) groter wordt dan de wortel uit de romplengte (in voeten), het schip als het ware tegen zijn eigen boeggolf op moet klimmen. Dat kost uiteraard veel energie en dat verklaart de sprong in de grafiek. Pas wanneer het schip zich tot bovenop het wateroppervlak heeft kunnen verheffen (zoals bij bijvoorbeeld speedboten) zal de weerstand weer afnemen (de golven verdwijnen dan immers grotendeels). Dit effect is aan het uiteinde van het grafiekje geschetst.

Voor *vliegtuigen* geldt dat deze uitsluitend luchtweerstand kennen. Deze is evenredig met het kwadraat van de snelheid. Maar vliegtuigen hebben ook snelheid nodig om in de lucht te blijven. Nu wil het geval dat de lift van de vleugel ook een functie is van de snelheid in het kwadraat. Wanneer men met een vliegtuig op de optimale ontwerp-snelheid vliegt (de snelheid waarbij de verhouding tussen weerstand en lift het kleinst is) dan gebruikt men de minste energie. Zowel een hogere als een lagere snelheid leiden tot een hoger energiegebruik. Zeker deze grafiek wordt sterk bepaald door het uitgangspunt van alle grafieken dat elk punt een ander voertuig met een andere ontwerp-snelheid voorstelt. In dit geval dus een vliegtuig met een andere ontwerp-snelheid en bijpassende dimensies (met name van de vleugel) om het gewicht in de lucht te kunnen houden. In dat geval is het energiegebruik voor al deze vliegtuigontwerpen min of meer constant. Pas bij ontwerp-snelheden in de buurt van de geluidssnelheid zal de luchtweerstand snel toenemen door het ontstaan van compressibiliteitsweerstand. Overigens zijn er nog allerlei redenen waarom vliegtuigen met een lagere ontwerp-snelheid zuiniger met energie zullen kunnen zijn. Bijvoorbeeld de mogelijkheid om bij een lagere snelheid een efficiënter voortstuwingssysteem te kiezen.

Voor *luchtschepen* geldt dat het energiegebruik alleen afhankelijk is van de luchtweerstand en dus evenredig met de snelheid in het kwadraat. De lift ontleent het luchtschip immers aan het zeer lichte helium. Daardoor biedt het luchtschip het meest geprononceerde verband tussen snelheid en energiegebruik. Een luchtschip is dan ook alleen 'milieuvriendelijk' te noemen als men het met een beheerste snelheid inzet (ergens tussen de 100 km/u en de 140 km/u). De technisch haalbare maximum snelheid (200 km/u of wellicht zelfs meer) zal leiden tot een energiegebruik dat in de buurt van dat van een auto komt.



Afbeelding 1: overzicht van het energiegebruik van vier soorten vervoerwijzen als functie van de ontwerpsnelheid. Het gaat per soort dus om veel verschillende ontwerpen.

2.2 RUIMTEGEBRUIK

Bij de berekening van het specifieke ruimtegebruik (dus oppervlak per stoel- of passagierskilometer) zijn twee methodes mogelijk: de *micromethode*, die gebruik maakt van het zogenaamde 'dynamische ruimtegebruik' en de *macromethode* die het feitelijk ruimtegebruik voor infrastructuur, stalling, etc als uitgangspunt neemt. In alle gevallen wordt het ruimtegebruik gerelateerd aan het jaarlijkse stoelkilometrage. En dat is, bij een gegeven aantal uren dienst per jaar, evenredig met de snelheid, waardoor het ruimtegebruik omgekeerd evenredig met de snelheid zal zijn.

Het dynamisch ruimtegebruik, de ruimte nodig om vanaf de kruissnelheid tot stilstand te komen, is voor het grootste deel evenredig met het kwadraat van de snelheid, zodat de relatieve dynamische ruimte, dus gedeeld door het jaarlijks stoelkilometrage, ongeveer evenredig is met de snelheid.

Voor vliegtuigen, schepen en luchtschepen geldt dat alleen de ruimte voor stalling en havens een probleem kunnen vormen en meegerekend hoeven te worden. In de lucht of op open zee zitten vliegtuigen en schepen geen andere vervoerswijzen of activiteiten in de weg. Hoewel luchthavens grote oppervlakten in beslag nemen zijn moderne vliegtuigen zo snel en vliegen ze over dermate grote afstanden dat ze een zeer grote vervoerscapaciteit per start leveren en dus het totale specifieke ruimtegebruik juist relatief laag is.

2.3 MATERIAALGEBRUIK

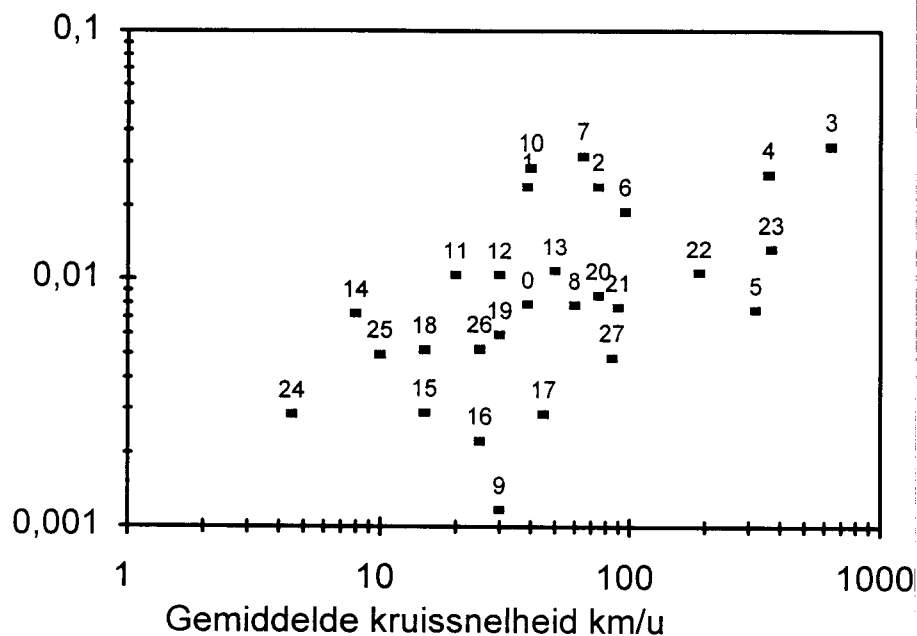
Voor materiaalgebruik gelden twee effecten: enerzijds is het omgekeerd evenredig met de snelheid, doordat een gegeven voertuig bij een hoge snelheid een hogere vervoersprestatie zal leveren; anderzijds zullen voertuigen met een hoge ontwerpsnelheid vaak meer materiaal gebruiken dan die met een lage ontwerpsnelheid om de optredende hogere krachten te kunnen weerstaan. Dit laatste effect zal pas bij abnormaal hoge ontwerpsnelheden overheersen. Tussen de vervoerwijzen onderling kan het gewicht van het voertuig per stoel zeer sterk uiteenlopen door de toepassing van totaal verschillende ontwerp uitgangspunten. Luchtvaartuigen worden bijvoorbeeld veel sterker op laag gewicht ontworpen dan treinen en schepen.

3 SNELHEID VERSUS MILIEUBELASTING IN DE PRAKTIJK

Uit Peters et al (1996) zijn de figuren 2 en 3 overgenomen. Daarin staat de gemonetariseerde milieubelasting als functie van de typische kruissnelheid van 28 verschillende vervoerwijzen. Een deel daarvan is op dit moment in gebruik, enkele andere zijn in ontwikkeling. Wanneer voor een bestaande vervoerwijze het voorvoegsel 'eco-' staat wordt een nieuwe ontwikkeling van de betreffende vervoerwijze bedoeld met veel aandacht voor de milieubelasting. Zo is een eco-auto een auto die 1:30 rijdt en gebruikt een eco-bus aardgas of LPG als brandstof en is 30% zuiniger.

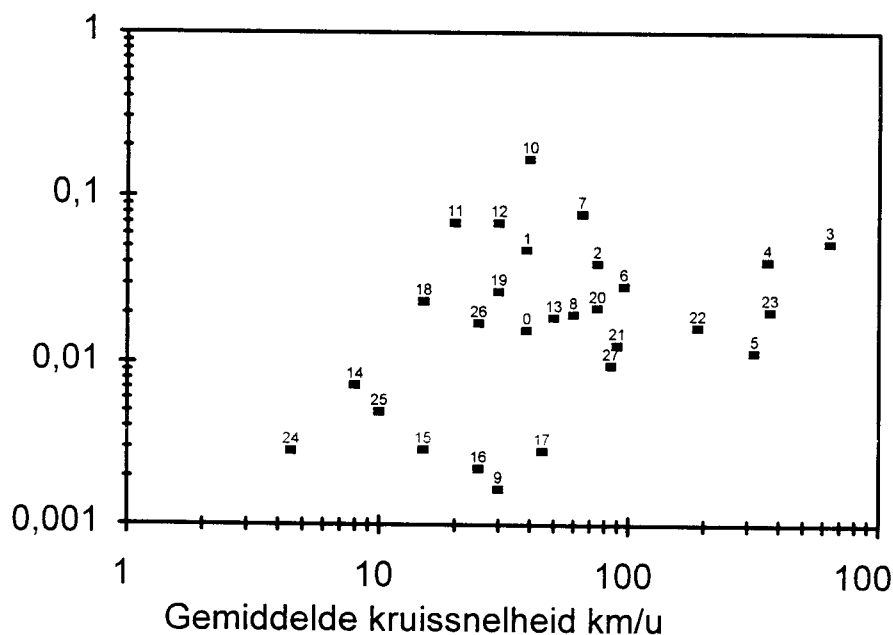
Wie de figuren bekijkt ziet al direct dat het verband niet sterk is. Een statistische analyse (lineaire regressie) bevestigt dat beeld. De oorzaak moet voor een deel worden gezocht in het gegeven dat het om zeer ongelijksoortige vervoerwijzen gaat. Wanneer we binnen een bepaalde categorie vervoerwijzen kijken (bijvoorbeeld luchtvaartuigen) nemen de milieukosten wél toe met het toenemen van de operationele snelheid. Een turboprop gebruik minder energie dan een straalvliegtuig. Een hypersonisch vliegtuig (dat bijvoorbeeld mach 6 vliegt) gebruikt tien keer zoveel energie per zitplaatskilometer als een conventioneel vliegtuig (Brewer, 1991).

Ook voor wegvoertuigen geldt dat een hoge (ontwerp-) kruissnelheid leidt tot een hoger energieverbruik. Bij treinen is dit verband er niet. Dat komt doordat in de moderne snelle treinen ook een betere techniek wordt verwerkt, waardoor deze relatief efficiënter met energie omgaan. Ook kost het vaak stoppen en optrekken bij de "langzame" stoptrein relatief veel energie. Daardoor zijn IC-treinen in Nederland wat zuiniger dan stoptreinen.

Milieukosten/stlkm en snelheid**LEGENDA**

- 0 passagiersschip
- 1 autoferry
- 2 snel passagiersschip
- 3 straalvliegtuig
- 4 turboprop
- 5 eco-vliegtuig
- 6 zeppelin
- 7 auto
- 8 eco-auto (1:30)
- 9 zonne-auto
- 10 taxi
- 11 stadsbus
- 12 streekbus
- 13 toerwagen
- 14 stadsfiets
- 15 racefiets
- 16 ligfiets
- 17 innovatieve fiets
- 18 stadstram
- 19 metro/sneltram
- 20 trein binnenlands
- 21 EC-trein
- 22 HST
- 23 maglev
- 24 lopen
- 25 rennen
- 26 eco-bus
- 27 eco-trein

Afbeelding 2: Milieukosten per stoelkilometer als functie van de snelheid voor alle vervoerwijzen.

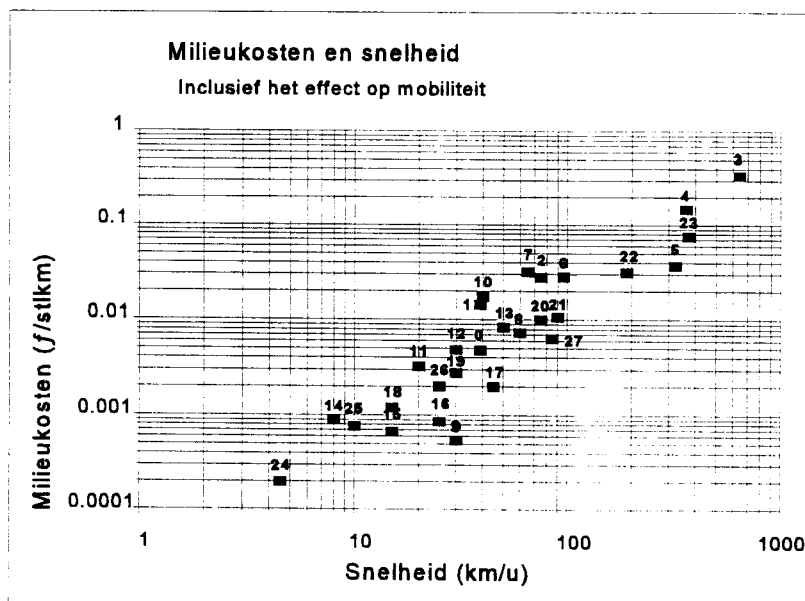
Milieukosten/rkm en snelheid

Afbeelding 3: Milieukosten per reizigerskilometer als functie van de snelheid voor alle vervoerwijzen.

We zouden nu de conclusie kunnen trekken dat de ontwerp-snelheid geen doorslaggevende invloed op de milieubelasting heeft. Deze conclusie geldt echter alleen bij constant veronderstelde vervoersvraag. Snelle vervoermiddelen maken het echter mogelijk en zinvol om grotere afstanden in één keer af te leggen. Introductie van een snellere vervoerwijze genereert extra vervoersvraag. Dit verschijnsel werd al in de jaren zeventig door Hupkes beschreven in zijn

BREVER-wet (Hupkes, 1977). Hij stelt dat het aantal verplaatsingen en de totale reistijd voor een bevolkingsgroep globaal constant is in de loop van de tijd.

Gevolg van de wet is dat de introductie van een snellere vervoerwijze die niet al te duur is zal leiden tot een gemiddeld grotere afstand per verplaatsing. De massale groei van de auto in de jaren zestig en zeventig is daarvan een voorbeeld, evenals de snelle groei van de luchtvaart in de afgelopen decennia. Bij die laatste heeft het enige tijd geduurd voordat de kosten van een vliegticket binnen het bereik kwam van de modale burger (met een immer groeiende bestedingsruimte), maar de groei is op dit moment explosief, met name in het aantal afgelegde reizigerskilometers. Kortom: hoe sneller een vervoerwijze hoe groter de *vervoersgeneratie* en dus de milieubelasting. Wanneer we rekening houden met dit generatie-effect ontstaat afbeelding 4.



LEGENDA

- 0 passagiersschip
- 1 autoferry
- 2 snel passagiersschip
- 3 straalvliegtuig
- 4 turboprop
- 5 eco-vliegtuig
- 6 zeppelin
- 7 auto
- 8 eco-auto (1:30)
- 9 zonne-auto
- 10 taxi
- 11 stadsbus
- 12 streekbus
- 13 toerwagen
- 14 stadsfiets
- 15 racefiets
- 16 ligfiets
- 17 innovatieve fiets
- 18 stadstram
- 19 metro/sneltram
- 20 trein binnenlands
- 21 EC-trein
- 22 HST
- 23 maglev
- 24 lopen
- 25 rennen
- 26 eco-bus
- 27 eco-trein

Afbeelding 4: Het verband tussen milieukosten en snelheid indien rekening wordt gehouden met het mobiliteitsgenererende effect van een hogere snelheid volgens de BREVER-wet.

Nu blijkt het verband veel duidelijker te zijn wat ook weer niet hoeft te verbazen: we hebben immers een deel van het verband in de formules gestopt.

4 ENKELE VOORBEELDEN

4.1 SNELLE SCHEPEN

Soorten

Snelle schepen zijn vaartuigen met een hoge kruissnelheid ten opzichte van de lengte van de waterlijn (hoe langer de waterlijn hoe groter de snelheid kan worden zonder nadelige golfverschijnselen op te roepen). Door technische 'trucs' vermijdt men de nadelige gevolgen van golfverschijnselen. Bij hoge snelheidsvaartuigen gaat het om Catamarans, Hovercrafts, 'Surface effect Ships', Draagvleugelboten, SWATH's (Small Waterplain Area Twin Hull) en ook normale schepen met hoog vermogen. De kruissnelheden liggen in het algemeen boven de 60 km/u, maar kunnen zelfs in de buurt van 117 km/u komen.

Tot in de jaren tachtig deden diverse scheepsbouwers met snelle modellen een gooi naar de markt. Veel van de ontwerpen mislukten. De schepen bleken te duur om te exploiteren. Bovendien waren ze vaak oncomfortabel

bij ruwe zee en daardoor niet populair bij het publiek. Ook werden ze bij te slecht weer slecht bruikbaar. Pas het afgelopen decennium is men in staat gebleken om snelle schepen te maken die ook comfortabel zijn en niet te sterk weersafhankelijk. Het gebruik ervan zien we vooral in Scandinavië, maar ook bijvoorbeeld in Australië om de toeristenmassa's naar het Great Barrier Riff te transporteren, op Het Kanaal tussen Frankrijk en Engeland en tussen eilanden in de Middellandse Zee. Voor een beschrijving van de genoemde typen wordt verwezen naar Baaijers et al, 1997).

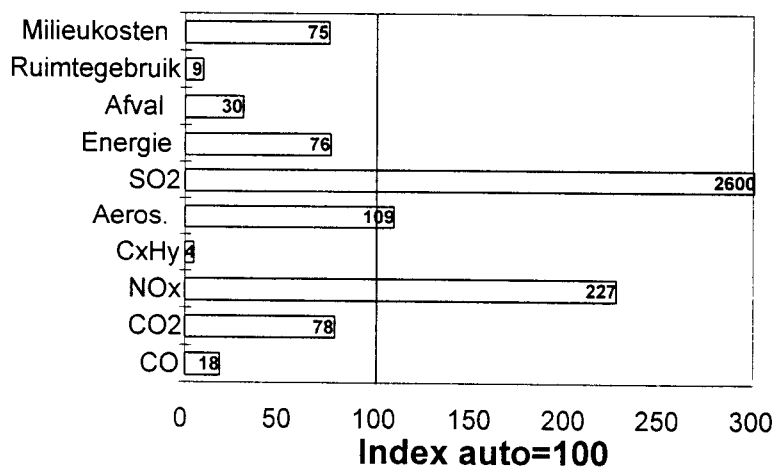
Milieubelasting

De totale milieukosten per stoelkilometer voor een gemiddeld snel schip zijn ongeveer 25% lager dan voor de auto. Dat geldt alleen voor passagiersschepen. Wanneer er ook auto's mee kunnen (ferry's) zullen de milieukosten ver boven die van de auto uitkomen.

Toch zijn snelle schepen op verschillende deelterreinen beter voor het milieu dan auto's. Afbeelding 5 maakt dat duidelijk. Op de meeste milieu-thema's blijkt dat snelle schepen relatief goed scoren. Alleen voor zwaveldioxide, stikstofoxiden en Aërosolen is de milieubelasting aanzienlijk meer dan voor de auto. Wanneer de dieselmotoren omgebouwd worden naar (aard-)gas is dat probleem verholpen. Het energiegebruik neemt dan echter wel weer iets toe.

Afbeelding 5: De milieubelasting van snelle schepen vergeleken met die van de auto (index is 100). Per saldo is een snel schip een kwart minder milieu belastend als een gemiddelde auto.

Milieubelasting snelle schepen Vergeleken met auto



Snelle schepen in Nederland

In Nederland bestaan initiatieven in de regio's van Amsterdam en Rotterdam voor de inzet van snelle schepen. Marktonderzoek is daarvoor uitgevoerd door Traffic Test (zie bijvoorbeeld Zoutendijk en Salverda, 1995-1, 1995-2 en 1995-3). Volgens Zoutendijk en Salverda (1995-3) zijn snelle schepen relatief goed voor de milieubelasting, heeft de 'droge openbaar vervoerreiziger' voordelen op het gebied van comfort en soms van reistijd en prijs en is de verwachte kostendeckingsgraad tussen de 35% en de 43% in de regio Amsterdam-Lelystad. Deze is overigens gunstiger dan in het huidige streekvervoer, maar lager dan de overheidsdoelstelling voor het streekvervoer (50%).

Uit het onderzoek naar de verbindingen Almere-Amsterdam, Almere-Huizen en Lelystad-Amsterdam valt op dat bij de tweede verbinding bijna alle huidige buspassagiers over zullen stappen. Dat komt door de veel kortere route die het schip kan nemen en de daardoor zeer gunstige reistijd vergeleken met de bus. Van de autobestuurders, waarvoor ook een grote reistijdwinst geldt, zal niettemin toch de helft nooit gebruik maken van de scheepverbinding tegen 28% altijd. Al met al lijkt er een behoorlijke (lokale) markt voor snelle schepen in Nederland weggelegd te zijn.

4.2 NIEUWE VOERTUIGEN DOOR DE LUCHT: ECO-VLIEGTUIG EN LUCHTSCHIP

Inleiding

In deze paragraaf behandelen we een tweetal luchtvaartuigen: het eco-vliegtuig en het luchtschip. Deze twee verschillen fundamenteel van elkaar: elk vliegtuig maakt gebruik van *dynamische lift* waardoor een vliegtuig altijd snelheid en daarmee energie nodig zal hebben om in de lucht te blijven. Een luchtschip daarentegen blijft in de lucht door *statische lift*. Deze lift ontstaat door de romp van het luchtschip (de sigaar) te vullen met een gas dat een lager soortelijk gewicht heeft dan lucht. Het verschil in gewicht tussen dat gas en de hoeveelheid door het gas buiten de romp gehouden lucht is gelijk aan de opwaartse kracht en geeft dus het gewicht dat je kunt optillen. Indien gewicht en statische lift gelijk zijn (het evenwicht waar men bij een luchtschip naar streeft) is er geen energie nodig om in de lucht te blijven. Nadeel is wel dat het grote benodigde volume van de sigaar noodzaakt tot een grote romp met derhalve een vrij grote wrijvingsweerstand, waardoor hoge snelheden (boven de 150 km/u) aanleiding geven tot een sterk toenemend energiegebruik.

Eco-vliegtuig

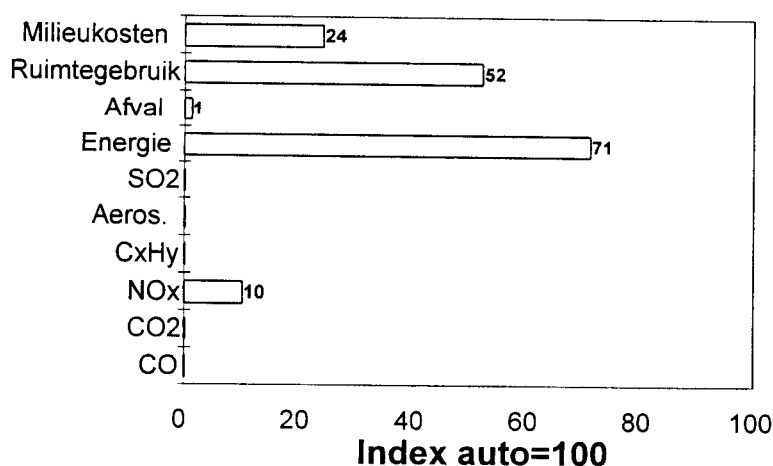
Een eco-vliegtuig is hier gedefinieerd als een vliegtuig dat vanaf de ontwerptafel wordt ontwikkeld vanuit strenge eisen aan de milieubelasting. Hoe een dergelijk vliegtuig er feitelijk uit zal zien is nog niet te zeggen voordat deze exercitie is uitgevoerd. Gedacht wordt aan een vliegtuig met de volgende eigenschappen

- het vliegt langzamer dan nu gebruikelijk is (bijvoorbeeld 400-600 km/u in plaats van 800-980 km/u)
- voortstuwing door contra-rotating fans (deze zijn nog in ontwikkeling)
- gebruik van een waterstofgas als brandstof
- het ontwerp is sterk naar een lage milieubelasting geoptimaliseerd i.p.v. lage kosten (dus bijna 100% kunststoffen, een slanke vleugel en een zo laag mogelijk constructie-gewicht)
- het heeft een redelijk forse omvang (200 tot 800 passagiers)

De lagere snelheid is op twee fronten belangrijk. Allereerst zal het energiegebruik per stoelkilometer lager uitvallen (geen compressibiliteitsweerstand en betere kansen voor energiezuinige voortstuwing en ontwerp). Ten tweede zal, door het toenemen van de vervoersweerstand (het kost meer tijd), de populariteit van lange (intercontinentale), de mobiliteit door de lucht kunnen afnemen, zodat de huidige sterke groei van de luchtvaart ten dele weggenomen zou kunnen worden (mits natuurlijk de bestaande snelle vliegtuigen worden afgeschaft of aanzienlijk duurder worden).

Afbeelding 6: De milieubelasting van een eco-vliegtuig vergeleken met die van een gemiddelde auto.

Milieubelasting ecovliegtuigen Vergeleken met auto



De voordelen van waterstofgas als brandstof zijn:

- het lagere gewicht van de brandstof (5-10% minder energiegebruik)
- de mogelijkheid voor *cryogeen koelen* van de vleugelvoorrand, waardoor de luchtweerstand van de vleugel met 40% af kan nemen (Brewer, 1991)
- de enige emissies bestaan uit H₂O en (relatief weinig) NO_x; de productie van waterstofgas kan emissievrij mits men gebruik maakt van zonne-energie

Het resultaat kan behoorlijk goed zijn, zoals blijkt uit figuur 6. Hierbij moet wel worden bedacht dat voor dit eco-vliegtuig een zeer hoog gehalte aan nieuwe technologie is voorgesteld. Voor een deel technologie die nog niet commercieel beschikbaar is. Daardoor zal een eco-vliegtuig er alleen komen wanneer de overheid hard ingrijpt in de huidige luchtvaartmarkt. Bijvoorbeeld door ontwikkelingssubsidies en forse heffingen op kerosine.

Luchtschepen

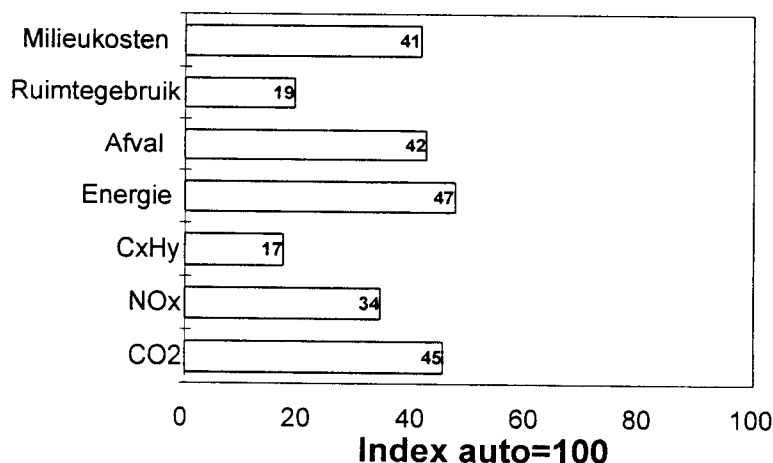
Een recente studie naar luchtschepen (Peeters et al, 1996) blijkt de milieukosten aanzienlijk lager zijn naarmate van een wat groter model wordt uitgegaan. Omgekeerd kun je ook stellen dat de kruissnelheid voor een gegeven energiegebruik toeneemt met de omvang. Een 100-zitter met een energiegebruik als dat van een IC-trein vliegt 96 km/u. Voor een 400-zitter is deze 'zuinige' snelheid 130 km/u.

Uitgaande van een 400-zitter is het luchtschip vergeleken met de auto (zie afbeelding 7). Daarbij moet worden bedacht dat bij het luchtschip uitgegaan is van conventionele technieken en materialen. Uit deze studie blijkt dat 10-20% extra reductie van milieubelasting technisch goed mogelijk lijkt te zijn.

Afbeelding 7: de milieubelasting per stoelkilometer van luchtschepen vergeleken met de auto. Bij het luchtschip is uitgegaan van conventionele technieken.

Milieubelasting luchtschepen

Vergeleken met auto



Eco-vliegtuigen en luchtschepen in Nederland

De Rijksluchtvaartdienst heeft een studie naar het "Dutch Green Aircraft" opgestart. Bij het schrijven van dit paper was daar nog geen rapportage van ontvangen. Uit gesprekken met de betrokken ambtenaren van de Rijksluchtvaartdienst bleek dat men vooral wilde proberen door verbetering aan bestaande vliegtuigen de emissies van uitlaatgassen en geluid en het energiegebruik te verlagen.

Daarbij was het de bedoeling langs relatief conventionele weg verbeteringen aan te brengen. Bijvoorbeeld door het toepassen van lichtere materialen, zuinigere motoren en een verbeterd aërodynamisch ontwerp van het vliegtuig. Aan meer revolutionaire technologische veranderingen en operationele aanpassingen, zoals voorgesteld in het 'eco-vliegtuig' denkt men in deze studie niet. Na het faillissement van Fokker staan de ontwikke-

lingen op het gebied van milieuvriendelijke vliegtuigen in Nederland op een laag pitje.

Op het gebied van luchtschepen gaan de ontwikkelingen sneller. In 's Gravenland is het bedrijf Rigid Airship Design gevestigd dat tot doel heeft een luchtschip te ontwikkelen met een lengte van 150 m en een capaciteit van ongeveer 100 passagiers of 20 ton vracht. In het jaar 2000 zou deze 'Millenium Flyer' moeten vliegen. De commerciële invulling en financiering van dit project blijkt tot op heden een probleem te zijn. Toch neemt de belangstelling steeds verder toe. In het voorjaar van 1997 leidde dat onder andere tot een openbare uitgebreide commissievergadering voor de Tweede Kamer commissies Economie, Verkeer & Waterstaat en Milieu over de mogelijkheden van het luchtschip.

Verder bestaat er binnen de reiswereld een groeiende belangstelling voor het luchtschip als mogelijke vervanger van een deel van het vervoer per bus en per eigen auto op lange afstanden. De toerwagenbedrijven zouden op die manier hun marktaandeel kunnen vergroten en hun rendement verbeteren. Nader onderzoek naar de mogelijkheden en marktkansen van luchtschepen voor zowel goederen- als personenvervoer staat in de steigers en zal naar verwachting eind 1997 van start gaan.

De Europese Commissie heeft op 22 mei j.l. een Airships Concepts Expert Meeting georganiseerd. Het ligt in de bedoeling na te gaan of de EC zich actief met luchtschepen zal moeten bemoeien. Mogelijk zal men daarvoor binnen enkele jaren een onderzoeksprogramma opzetten. Belangrijke onderwerpen van gesprek waren de invloed op de ruimte in het luchtruim en de capaciteit van vliegvelden, het milieu en toepassingsmogelijkheden.

4.3 SNELLE TREINEN

HST

Pas met de introductie van de Japanse Shinkansen ('Kogeltrein') is de gangbare reistijd per trein duidelijk verkort sinds de jaren dertig. De Fransen zetten echter met hun TGV in de jaren zeventig de nieuwe trend in Europa, gevolgd door Duitsland en Zweden met de ICE, Italië met de Pendolino en Spanje met de AVE.

Een relatief nieuwe ontwikkeling is de dubbeldeks TGV. Deze trein heeft een ruim 40% hogere capaciteit maar gebruikt, bij een gelijk vermogen, vrijwel evenveel energie als de gewone TGV (Rollet, 1993). Per stoelkilometer komt de dubbeldeks-TGV daardoor globaal op dezelfde milieukosten als de IC-trein.

De milieu-vriendelijkheid van de TGV is mede te danken aan de grote capaciteit. Pogingen om een (bijna) individueel milieuvriendelijk hoge snelheidsvoertuig te ontwikkelen, zullen doorgaans stranden op fysische grenzen. Een voorbeeld vinden we in een recent 'bericht aan de Club van Rome' van Von Weizsäcker en Lovins (Weizsäcker et al, 1996). Daarin wordt de CyberTran® opgevoerd als mogelijk alternatief voor de HST. De CyberTran® zou per passagierskilometer slechts 10% van de energie nodig hebben als een auto en maar de helft van dat voor een IC-trein. Dat ondanks de snelheid van 240 km/u, die op een railbaan wordt bereikt. Een oorzaak voor het lage energiegebruik zou het tien keer lagere specifieke gewicht zijn.

Wanneer we echter de gegevens van een 12-zits CyberTran® vergelijken met die van een gewone TGV (Rollet, 1993) is de conclusie dat deze laatste niet tien, maar slechts tweeëneenhalf keer zoveel weegt per stoel. Daar komt nog bij dat bij de genoemde hoge snelheden niet het specifieke gewicht, maar vooral de luchtweerstand het energiegebruik bepaald. De luchtweerstand van de CyberTran® per zitplaats zal hoger zijn dan van een trein omdat de CyberTran® per stoel een aanzienlijk groter frontaal oppervlak heeft dan een trein. Hoe de auteurs dus aan de helft van het energiegebruik van een trein komen is onduidelijk. Het twee- tot drievoudige lijkt waarschijnlijker. Een ander punt van zorg is het idee om de CyberTran®-baan op palen boven de straten aan te leggen en daarbij de rails te fixeren door ze op stalen platen te lassen. Dat lijkt een uitstekende manier om een hele hoop herrie te produceren. Conclusie: een CyberTran® kan bijna niet milieuvriendelijker zijn dan wat we al hebben: de (dubbeldeks-) hoge snelheidstrein.

Maglev

Een Maglev (magnetic levitation) is een vervoermiddel dat door middel van magnetische krachten boven de baan zweeft en daardoor geen rolweerstand ondervindt. Daardoor kan een dergelijk vervoermiddel nog veel hogere snelheden bereiken dan de HST zonder dat het energiegebruik sterk toeneemt. Een nadeel van de Maglev is dat volledig nieuwe infrastructuur vereist is, waardoor de integratie met het bestaande railnet problemen oplevert.

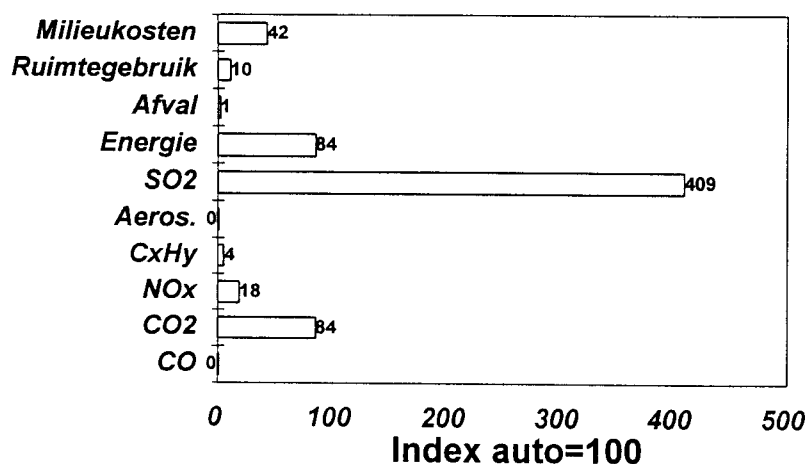
Er bestaan diverse plannen voor magneetbanen. Met name tussen Hamburg en Berlijn zijn deze plannen

inmiddels ver gevorderd. Maar er wordt ook op gestudeerd in bijvoorbeeld Canada (zie A.M. Kahn, 1993) en de Verenigde Staten (M.H. Kahn, 1993). Het energieverbruik van een Maglevtrein is volgens M.H. Kahn (1993) zo'n 25% hoger dan van een TGV die met 300 km/u rijdt.

Ook op het gebied van Meglevs is een poging gedaan de trein tot een individueel vervoermiddel te maken. Een voorbeeld vormt de Knolle Magnetrans (Knolle, 1993). Deze met behulp van permanente magneten zwevende voertuigjes worden door een lineaire inductie motor voortbewogen. Knolle claimt een sterke reductie van het energieverbruik: namelijk een achtste van dat van een vol bezette middenklasse auto. Ook nu weer is de vraag waar dit lage energieverbruik vandaan moet komen. De snelheid van de wagentjes is 320 km/u. Er gaan vier mensen in. Dat maakt het energieverbruik per stoelkilometer als gevolg van de luchtweerstand 2,5 keer zo hoog als van een gewone auto bij een gegeven weerstandscoefficiënt. Er is geen reden aan te wijzen waarom een Magnetrans een lagere weerstandscoefficiënt zal kunnen hebben dan een met zorg ontworpen auto. Dus ook nu weer: waar komt dat lage energieverbruik vandaan?

Het meest exotische snelle voertuig dat in de literatuur wordt besproken is wel de Marine Express (Otha et al, 1994). Wanneer de magneetbaan van deze Japanse uitvinding een stukje zee tegenkomt duikt hij gewoon onder water. De voertuigen kunnen namelijk ook onder water door zweven. Men heeft er zelfs al proeven in een waterbak mee gedaan. Uit het feit dat men vooral van nachstroom gebruik wil maken om de kosten te drukken blijkt wel dat de Marine Express niet erg zuinig met energie om zal gaan.

Afbeelding 8: de milieubelasting van de Maglev vergeleken met de auto. Het vliegtuig heeft per saldo dezelfde milieukosten per stoelkilometer als de auto, hoewel het energieverbruik is aanzienlijk hoger is.



In afbeelding 8 is aangegeven hoe de milieubelasting door de Maglev uitpakt ten opzichte van de auto. Voor de productie van de benodigde elektriciteit is uitgegaan van het huidige park aan elektriciteitscentrales in Nederland. Duidelijk is dat de totale milieukosten behoorlijk afnemen, vooral door de elektrische voortstuwing met veel lagere emissies, ondanks dat het energieverbruik slechts weinig lager ligt dan voor de auto. Overigens gaat het ten opzichte van het vliegtuig, de markt waarop de Maglev sterk zal concurreren, wel om een forse reductie in met name het energieverbruik. Het straalvliegtuig gebruikt ruim tweeëneenhalf maal zoveel als de Maglev.

5 CONCLUSIES

Uit het voorgaande kunnen de volgende (tentatieve) conclusies worden getrokken:

- de hypothese dat vervoerwijzen met een hoge ontwerpsnelheid doorgaans het milieu zwaarder belasten dan voertuigen met een lage ontwerpsnelheid blijkt onjuist te zijn wanneer alleen naar de milieubelasting per eenheid product wordt gekeken bij constant veronderstelde vervoersvraag
- indien men het vervoersvraag genererende effect van hoge snelheden wel meerekent is het verband tussen ontwerpsnelheid en milieubelasting sterker, doch nog steeds niet éénvoudig
- introductie van nieuwe vervoerwijzen zal alleen slagen wanneer deze voor de reiziger duidelijke voordelen biedt ten opzichte van bestaande vervoerwijzen; indien een lagere milieubelasting het enige voordeel van een nieuwe vervoerwijze is zal de overheid de introductie ervan stevig moeten ondersteunen
- snelle schepen kunnen op een beperkt aantal deelmarkten vooral vervoerstechnische voordelen bieden; de milieuvoordelen zijn gering, zij het dat door kortere routes ten opzichte van de landgebonden alternatieven in sommige gevallen ook belangrijke milieuvoordelen te behalen zijn.
- het luchtschip maakt binnen afzienbare tijd een behoorlijke kans op een (her-)introductie en biedt relatief milieuvriendelijk vervoer; de markten voor luchtschepen zijn echter niet bijzonder groot
- het eco-vliegtuig biedt als alternatief voor de huidige generatie vliegtuigen een milieu-technisch gezien zeer interessant alternatief; helaas is binnen de sector het begin van een dergelijke ontwikkeling nog nauwelijks zichtbaar

LITERATUURLIJST

- Baaijers, S., F. Bruinsma, P. Nijkamp, P. Peeters, P. Peters en P. Rietveld; Slow motion: een andere kijk op snelheid; reeks Infrastructuur transport en logistiek nr. 25; Delftse Universitaire Pers, Delft, 1997.
- Bleijenberg, A.: Waardering van negatieve effecten van het autoverkeer, CE/Delft, 1988
- Boneschansker, E.: Externe kosten van het personenverkeer, IOO onderzoeksreeks nr. 56/Den Haag, 1994
- Brewer, G.D., Hydrogen Aircraft Technology, CRC Press, Boca raton, 1991.
- Hupkes, G.: Gasgeven of afremmen: toekomstscenario's voor ons vervoerssysteem, Kluwer/Deventer/Antwerpen, 1977
- Kahn, A.M., High speed rail vs. Maglev in the Quebec City-Windor corridor: a comparison of energy impact and emissions, pp 166-175 in Proceedings of High Speed Grounds Transportation Systems I, ASCE, 1993.
- Kahn, M.H., High Speed Ground Transportation on US East coast, pp 103-115 in Proceedings of High Speed Grounds Transportation Systems I, ASCE, 1993.
- Knolle, E.G., Knolle magnetictrans: a magnetically levitated train system, pp 760-770 in Proceedings of High Speed Grounds Transportation Systems I, ASCE, 1993.
- Ohta, T., K. Yoshida, N. Fukuchi, W. Koterayama en K. Hiwada, A conceptual research on 'Marine Express': an Amphibious Train, pp853-860, Strait Crossings, Proceedings of the third symposium on strait crossings, Ålesund, Noorwegen, 12-15 juni, 1994.
- Peeters, P.M., Y. Van Asseldonk, A.J. van Binsbergen, Th.J.H. Schoemaker, C.D. van goeverden, R.G.M.M. Vermijs, P. Rietveld en S. Rienstra; Mag het ietsje minder snel? Een onderzoek naar de maatschappelijk economische kosten en baten van verlaging van de snelheden van personenauto's; PbIVVS, Den Haag, 1996
- Peeters, P.M., D.K. Tensen, M. Sleurink en A. Van Timmeren, Revival van het luchtschip, een verkenning naar de mogelijkheden van een herinvoering van het luchtschip voor passagiers- en vrachtvervoer in Nederland, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Rotterdam, september 1996.
- Peters, P.F., P.M. Peeters, P. Rietveld en F. Bruinsma; Langzaam maar zeker, Een onderzoek naar de meerwaarde van trage vervoerssystemen; Projectbureau IVVS, Den Haag, 1996.
- Rollet, H., The TGV rolling stock, Its evolution and capabilities, pp 751-759 in proceedings of High Speed Grounds Transportation Systems I, ASCE, 1993.
- Weizsäcker, E.U. von, A.B. Lovins en L.H. Lovins, Faktor Vier, Doppelter Wohlstand - halbiert Naturverbrauch; der neue Bericht an den Club of Rome; Droemer Knaur Verlag, München, 7de editie, 1996.
- Zoutendijk, drs. D.C. en drs. J.C. Salverda; Personenvervoer te water, een oriënterende studie voor de regio Rotterdam; TT95-27; Veenendaal, 1995-1
- Zoutendijk, drs. D.C. en drs. J.C. Salverda; Waterbus Drechtoevers, TT95-58; Veenendaal, 1995-2
- Zoutendijk, drs. D.C. en drs. J.C. Salverda; Passagiersvervoer over water, Haalbaarheidsonderzoek regio Flevoland-Amsterdam/Huizen; TT95-45; Veenendaal, 1995-3

Advanced Marine Vehicles: impact on transport, environment and technique

Auteur:

J. Pinkster

Assistant Professor of Ship Design

Department of Marine Technology

Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology

Delft University of Technology

Mekelweg 2

Postbus 5035

2600 GA Delft

tel: 015-278 6606

Abstract:

A short introduction is given in which a description is given of modern Advanced Marine Vehicles. Thereafter the impact on transport, environment and technique of these AMVs are dealt with. This is done sea-going and, if possible, inland waterway applications of these vessels as a part of the transport chain.

With regard to impact on transport, an attempt is made to state the size of the market which these AMVs may be expected to be able to seize from other modes such as planes, trucks, cars and trains. From this market share, the expected profit in terms of savings of the environment are estimated.

Furthermore, the different techniques are reviewed that should be used in designing, fabricating, exploiting and scrapping such vessels in order to be able to be looked upon as an environmentally-friendly transportation mode.

Introduction Advanced Marine Vehicles:

AMVs are considered to have been initially introduced around about the early 1900's by racing fanatics. In the beginning of their development, speed was of the only interest and this was, in essence, the driving force. It was only later, with the advent of the second world war, that the navies really became very interested in these types of marine vehicles for strategic purposes. From then on, a lot of effort was made in their development by many of the worlds navies. Roughly speaking, it was the early 1970's which saw a new breed of AMVs entering the merchant marine environment. In the beginning this was purely as a fast, short sea, passenger service. Later, this was to be expanded to the carriage of cars and, in some cases, buses and trucks. Presently their are shipowners and shipyards etc. who are also looking into the viability of AMVs for the carriage of merchant goods alone.

One of today's largest AMVs is the Stena Lines HSS 1500. This hybrid AMV with a total deck area of approx. 4000 m² is able to carry 1500 passengers, 375 cars or 100 cars and 50 trucks / trailers at a speed of 40 knots. The vessel has a deadweight capacity (i.e. payload and fuel etc.) of 1500 tonnes. The first HSS 1500, "Stena Explorer", see figure 1, started a service sailing across the treacherous Irish Sea in April 1996 between Liverpool (England) and Dun Laoghaire (Ireland). The actual crossing with this HSS 1500 is made in a mere 90 minutes and thus reduces the previous conventional ferry sailing time by 50%!

Since the advent of AMVs into the commercial market, much extra design efforts have had to be made to ensure that, besides the usual demand of high service speed, the vessels are extremely safe, have good seakeeping (shipmotion) characteristics as well as low noise and vibration signatures, wash, etc. The problem with the demand of higher speeds is that generally high vessel resistance is incurred as well as significantly higher levels of acceleration due to shipmotions. The high resistance leads to high levels of installed propulsion power (in the HSS 1500, four gas turbines totalling 100000 hp!). The high speeds tend to produce wash problems behind the vessel; in [8] it has been mentioned by Kovoed-Hanson, H. et al. how wake wash (waves generated by the passage of a marine vehicle) was different and far more severe from fast ferries than from conventional ferries and that the environment as well as people on beaches etc. should be protected / saved from effects of such wash due to AMVs. Indeed, attempts to reduce high levels of acceleration due to shipmotions and, in some cases, the wish to avoid excessive wash generation, lead to novel designs of hulls. The high levels of installed propulsion power present problems with regard to noise and vibration levels which, in turn, also have to be identified and dealt with (preferably) in the design stage. All in all, these are the reason why we naval architects prefer to talk about Advance Marine Vehicles instead of Fast Marine Vehicles.

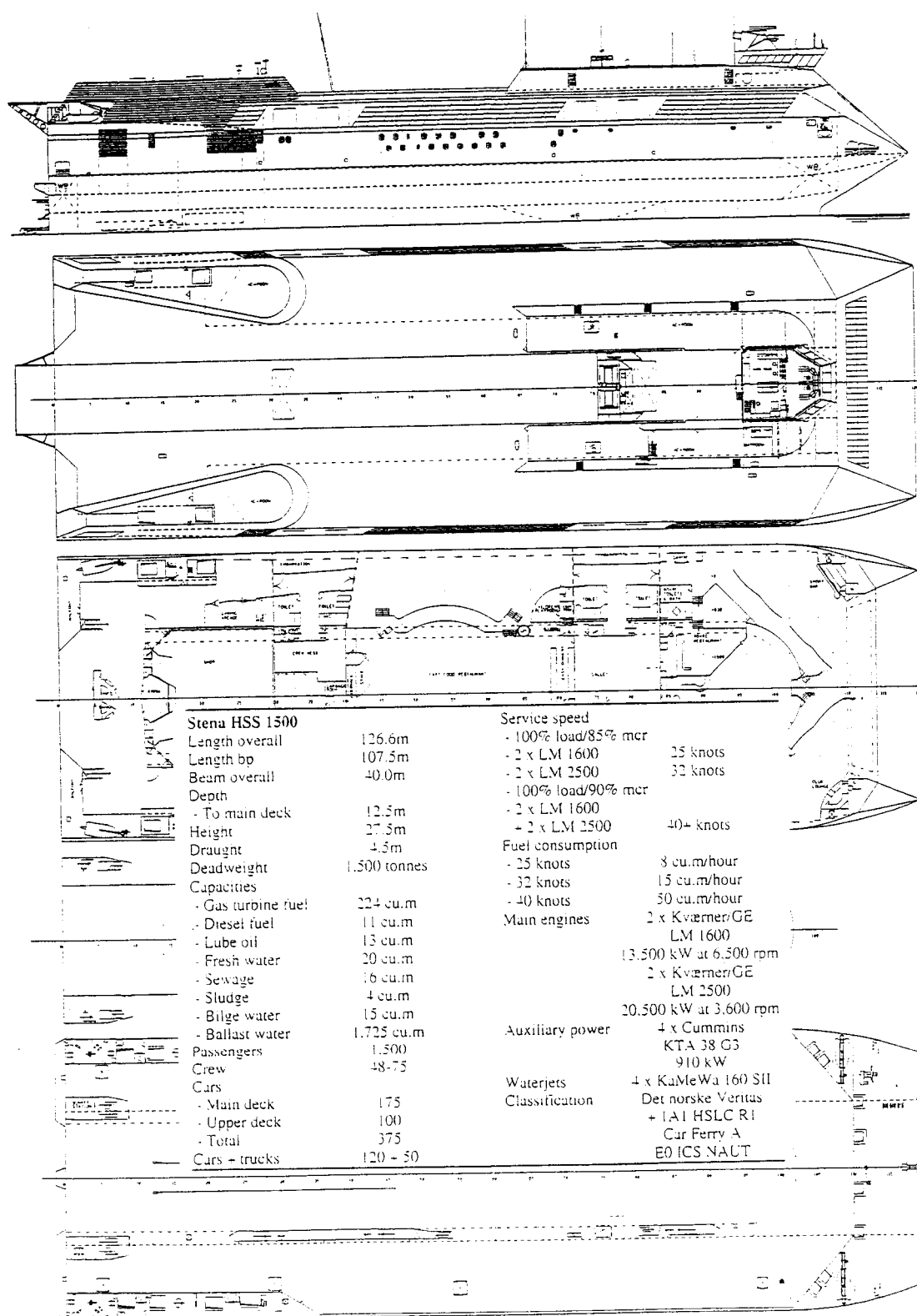


Figure 1. Stena Line HSS 1500, "Stena Explorer",
(Source: Fast Ferry International, April 1996)

Modern Advanced Marine Vehicles:

Today, these vessels may be categorised as follows:

- a) Monohulls
- b) Multihulls
- c) Hydrofoils
- d) Air Cushion Vehicles
- e) Surface Effect Vessels
- f) Wing-In-Ground-Effect
- g) Hybrid Vessels

a) Monohulls:

The monohulls may be categorised as being round bilge or hard chine hull type vessels. The hard chine vessel has definite advantages when compared to a round bilge vessel with regard to vessel resistance, i.e. power required to propel the vessel at a certain high speed. The idea behind this is that the hard chine vessel experiences a hydrodynamic lift force due to planning of the hull at high speed. Due to this hydrodynamic lifting force, the hull is (partially) lifted out of the water and thereby a reduction of the both the wave making and frictional resistance of the hull is brought about. However the hard chine vessel generally has poor seakeeping characteristics and thereby may give a bad ride at high speeds in poor sea conditions. In order to reduce this adverse seakeeping characteristic, a design compromise has been found in the form of the round bilge monohull. An interesting recent development in monohulls, the so-called Rigid Inflatable Boat (RIB), utilises a large thick durable rubber fender-like air filled ring fitted around the upper part of the vessel, just above the waterline, furthermore the lower hull of the vessel is made of, for example, composite or aluminium material. This concept gives a light vessel with exceptionally good properties with regard to reserve buoyancy and seakeeping characteristics when diving into the waves at high speed. At the moment this type of vessel is very popular for patrol, rescue and life boats of around a length of about 20 m. and exceeding approx. 30 knots speed.

Examples of a hard chine monohull are shown in figure 2. A typical resistance curve of a hard chine planning hull is shown in figure 3. Note the typical AMV hump in the resistance curve.

b) Multihulls:

Driven by the desire to reduce vessel resistance and improve shipmotion characteristics the multihulls entered the AMV scene. The multi-hulls are vessels which may consist of two or more hulls. Twin hull vessels are named catamarans and triple hulled vessels, trimarans. Nowadays, even four and five hulled vessels are in an early stage of investigations, the idea being that there are even larger resistance profits and better ride comforts to be expected from this concept. The question is what will be the shipmotions in a large scale of seaways and, in particular, how susceptible is the vessel to broaching. Interesting developments in this area are the SWATH (small waterline twin hull) concepts and the SLICE (Slender) concepts. Both of these concepts are aimed at an even better seakeeping performance. One of the main advantages of the multi-hulled vehicles, compared to monohulls, is the large deck area available for use.

Examples of a popular wave-piercing catamaran type is shown in figure 4 along with some resistance and shipmotion characteristics.

Rodriquez Aquastrada	
Corsica Express version	
Length overall	103.5m
Length waterline	87.0m
Beam overall	14.5m
Depth	9.5m
Draught	
- Lightship	1.9m
- Full load	2.3m
Displacement	
- Lightship	890 tonnes
- Full load	1,170 tonnes
Deadweight	
- Passengers	41.25 tonnes
- Cars	180.00 tonnes
- Luggage	2.50 tonnes
- Fuel	45.00 tonnes
- Lube oil	1.50 tonnes
- Fresh water	4.00 tonnes
- Catering	4.50 tonnes
- Total	278.75 tonnes
Fuel capacity	
- Standard	89 cu.m
Passengers	507
Cars	
- Lower deck	32
- Main deck	80
- Mezzanine decks	38
- Total	150
Cars + coaches	132 + 3
Crew	13
Full load speed	
- 100% mcr	37 knots
- 90% mcr	35 knots
Fuel consumption	
- 100% mcr	5,040 kg/hour
- 90% mcr	4,490 kg/hour
- Generators	165 kg/hour
Main engines	4 x MTU
	20V 1163 TB73L
	6,000 kW at 1,200 rpm
Auxiliary power	3 x 230 kW
Waterjets	1 x KaMeWa 160 SII
	2 x KaMeWa 112 SII
Classification	Bureau Veritas
	1 3/3 E

General arrangement of Rodriquez Aquastrada in Corsica Ferries configuration

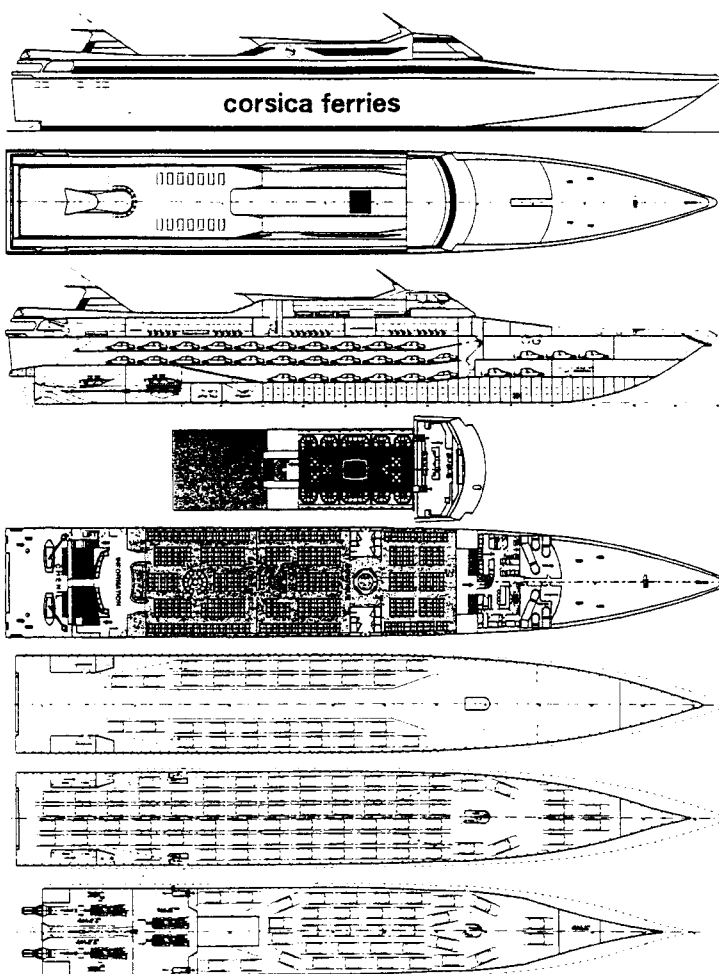


Figure 2. Monohull AMV: Rodriquez "Aquastrada",
(Source: Fast Ferry International, September 1996)

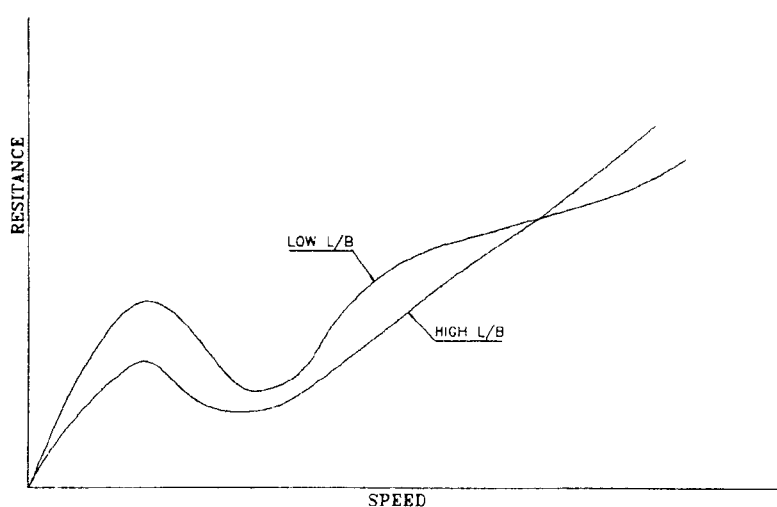


Figure 3. Typical resistance curve of a monohull AMV.

Ferries Australia Auto Express 86	
Length overall	86.6m
Length waterline	74.2m
Beam	24.0m
Depth moulded	7.3m
Draught	
- Without ride control	3.2m
- With ride control	4.1m
Typical deadweight	
- 100% passengers	60.00 tonnes
- 100% cars	240.00 tonnes
- 100% crew + effects	3.00 tonnes
- 55% fuel	32.00 tonnes
- 100% lube oil	0.85 tonnes
- 100% hydraulic oil	0.34 tonnes
- 75% fresh water	3.00 tonnes
- 10% black/grey water	0.40 tonnes
- Stores + consumables	0.41 tonnes
- Total	340.00 tonnes
Maximum deadweight	400.00 tonnes
Capacities	
- Fuel	70.000 litres
- Lube oil	1.000 litres
- Hydraulic oil	400 litres
- Fresh water	4.000 litres
- Black/Grey water	4.000 litres
- Bilge	1.000 litres
- Sludge	500 litres
Passengers	800
Cars	200
Cars + coaches	84 + 10
Crew	30
Service speed	
- 90% mcr	37 knots
Fuel consumption	
- 100% mcr	218 g/kW/hr
Range	
- 90% mcr/20% reserve	350 n miles
Main engines	4 x MTU
	20V 1163 TB73L
	6.500 kW at 1.275 rpm
Auxiliary power	4 x MTU
	8V 183 TE52
	269 kW at 1.500 rpm
Waterjets	4 x KaMeWa 112 SII
Classification	Germanischer Lloyd
- Hull	+ 100AS HSC-B OC3
	High Speed Passenger
	Craft / Ro-Ro Type
- Machinery	+ MC HSC B

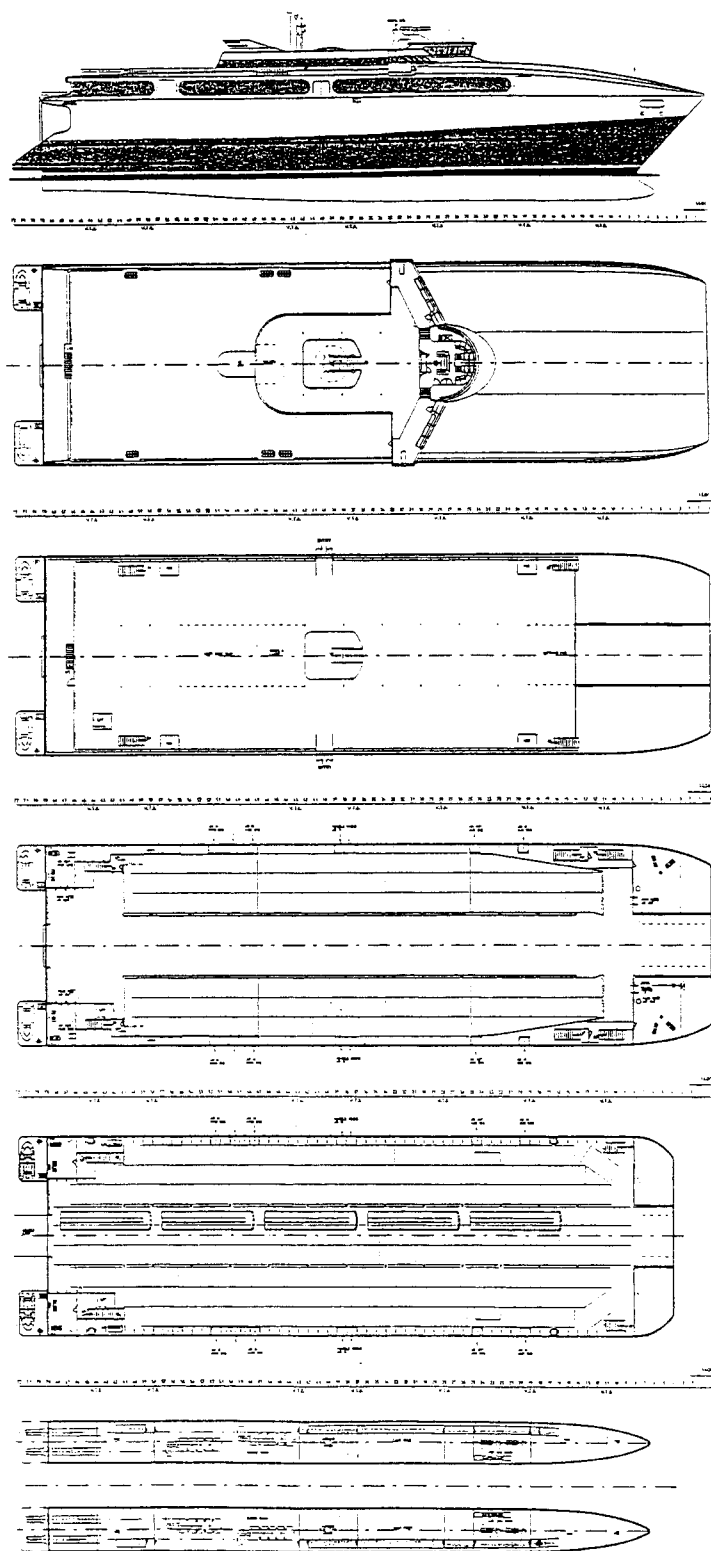


Figure 4. Catamaran AMV: Ferries Australia Auto Express 86,
(Source: Fast Ferry International, September 1997)

c) Hydrofoils:

Again the wish to reduce vessel resistance and improve shipmotion characteristics drove some designers into the field of the hydrofoils. In the case of hydrofoils, the vessel's weight in "on foil condition" is fully borne by hydrodynamic lift which is produced by airfoil type profiles which are situated below the vessel's hull. These hydrofoils are connected to the hull by means of struts. There are two type of hydrofoil vessels i.e. the partially submerged hydrofoil and the fully submerged hydrofoil. One of the main disadvantages of this type of AMV is the extra draft of the vessel due to the protruding foils in the "off foil condition". In this latter condition the vessel is sailing at such low speeds that the hydrodynamic lift of the foils is not enough to support the weight of the vessel and therefore the hull sinks down into the water to such a level that buoyancy forces once again bear the full weight of the complete system. This can present a problem in cases of applicability of this type of AMV in shallow draft waters such as inland waterways, etc.

Examples of such hydrofoils are shown in figure 5.

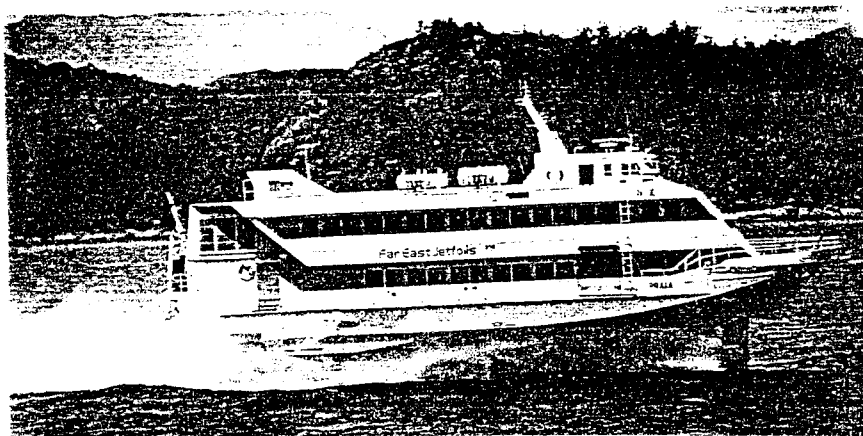
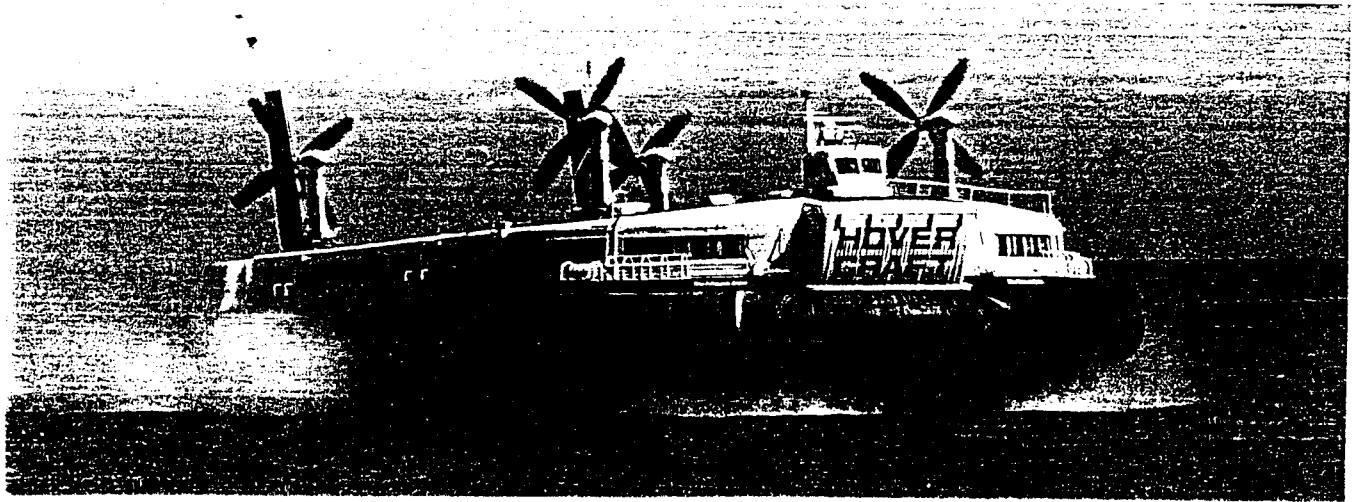


Figure 5. Wave piercing hydrofoil and fully submerged hydrofoil AMVs
(Source: Fast Ferry International, July-August 1996, April 1997)

d) Air Cushion Vehicles:

In the case of the ACV's there is an air cushion which separates the vessel from the sea in the "on cushion condition". For practical reasons, i.e. to prevent too much air from escaping from the air cushion, there is a flexible skirt placed around the air cushion between the hull and the sea. This bottom part of the skirt (slightly) comes into contact with the sea. The amphibious character of the ACV is one of the main advantages of this type of AMV. A main disadvantage, however, is the space required for manoeuvring, for example while taking a corner.

Examples of ACV's is shown in figure 6.

**BHC AP.1-88/400 hovercraft**

Length overall	28.5m
Beam overall	12.0m
Length well deck	15.5m
Width well deck	4.6m
Operating weight	
- Maximum	70.000 kg
Disposable load	
- Maximum	20.000 kg
Maximum speed	50 knots

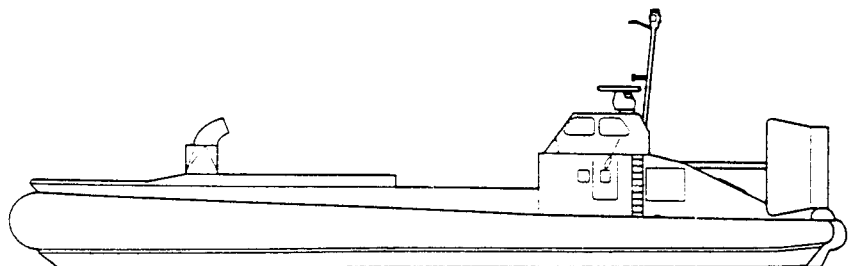
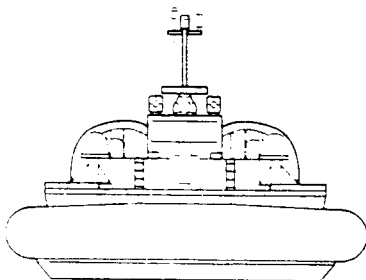
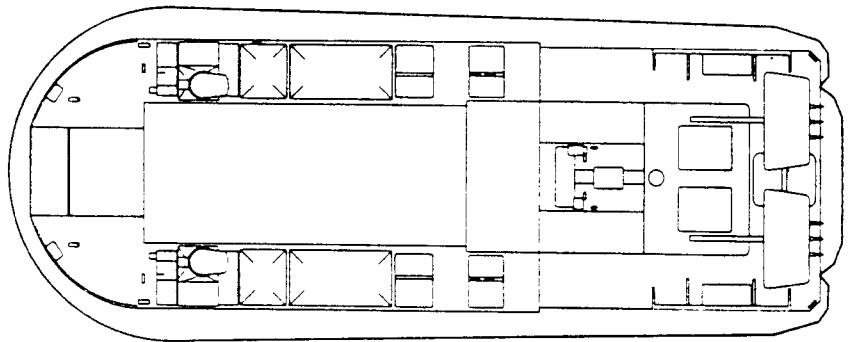


Figure 6. Air cushion vehicles: Top: Hoverspeed SR.N4 Mark 3 "The Princess Anne" approaching Dover Harbour
Bottom: British Hovercraft Corporation AP.1-88/400
(Source: Fast Ferry International, November 1996 and November 1995)

e) Surface Effect Vessels:

The SES's are very much alike to ACV's with the exception that the flexible skirting now only may be found in the front and aft ends of the cushion. The fixed sides of the SES's has been continued on into the water and thereby forms a rigid boundary between cushion pressure and the direct environment. An advantage gained by this change in cushion skirting is that the directional straight line stability of the SES is superior to that of the ACV. In this respect space required for manoeuvring around corners with the SES is more predictable than the same with an ACV. Obviously, however, the SES has lost the amphibious characteristic of the AMV.

Examples of SES's are shown in figure 7.

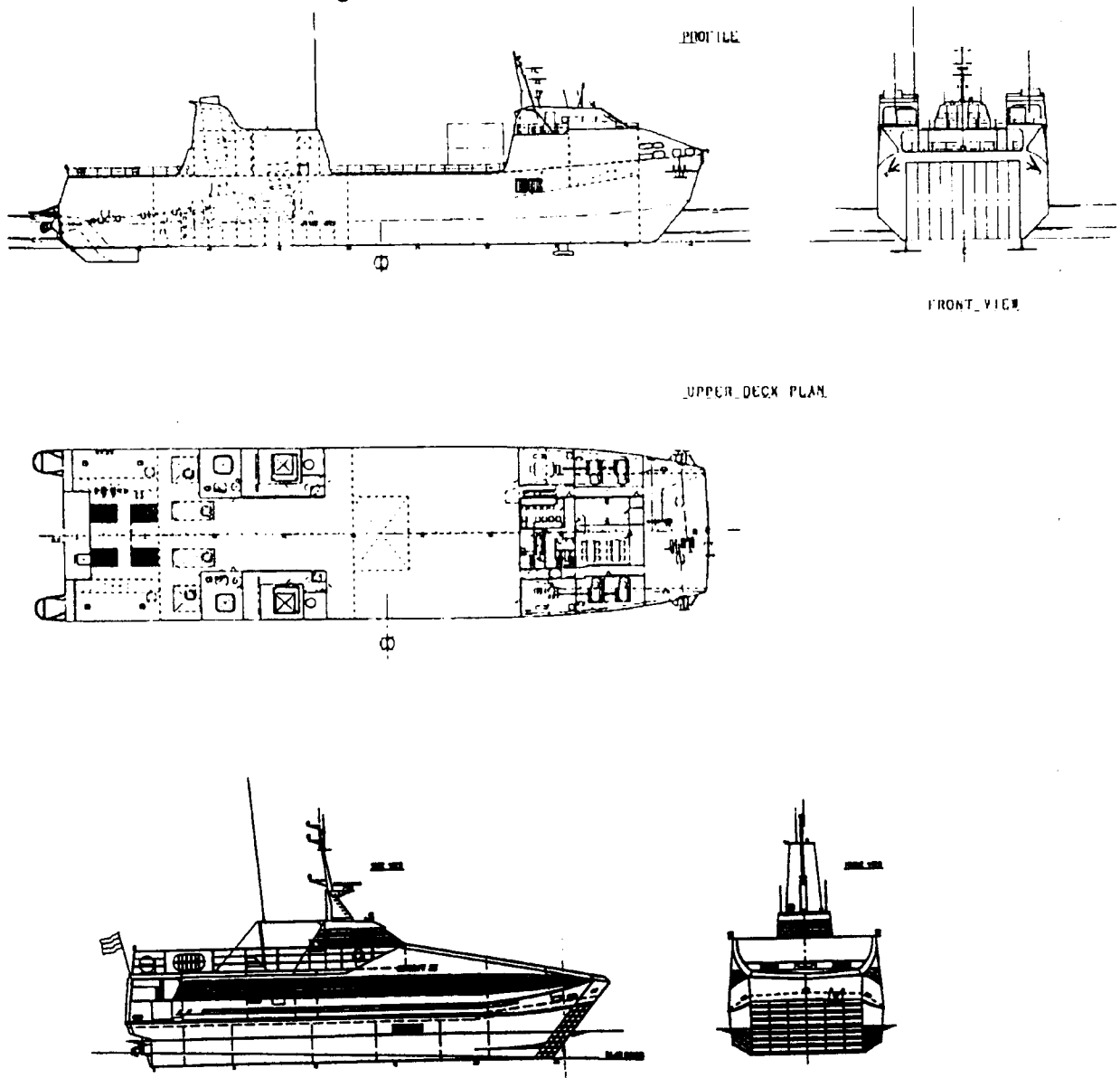


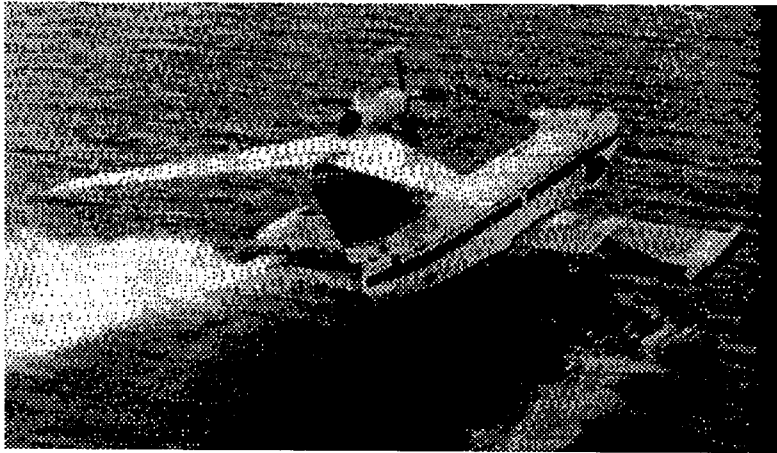
Figure 7. Surface Effect Ships: Top: TSL-A 50 knot cargo vessel "Hisho"
 Bottom: Dutch 23 m. 35 knot "Seaswift 2300"
 (Source: Fast Ferry International, November 1996 and November 1995)

f) Wing-In-Ground-Effect vehicle:

The WIG effect vehicle is classified as a marine vehicle and is certainly an advanced one in itself. One may look at this type of vessel as being a highly sophisticated flying vessel. This type is derived from the boat and aeroplane industry and makes use of extra induced airfoil lift which is to be gained when an aeroplane flies very close to the ground (or sea). By very close one has to think of altitudes of flight in the region of 2 to 10 m. The EKCRANOPLAN (the former USSR "THE CASPIAN SEA MONSTER") is an example of a large passenger (and also a cargo version) WIG.

By the advent of WIG's with power assisted lift off at more or less zero forward speed which is produced by the power augmented ram (PAR) phenomenon, this type of AMV has become amphibious and thereby significantly enhanced its performance potential. When not flying the vessel has sufficient static buoyancy to support the complete system weight. WIG's have previously been developed by the military industry in the former USSR, however, at present there is a growing interest in the viability of this type of AMV for both passenger and/or cargo purposes as can be seen from Chun et al. , [7].

Examples of such WIG's are shown in figure 8 a) and b).



The EKRANOPLAN (the former USSR "THE CASPIAN SEA MONSTER") has the following design data:

Length:	58.0m
Wingspan:	31.5m
Height:	16.0m
Weight	normal take-off: 110t overload take-off: 125t (with restriction on wave height during take-off)
Engines:	two Kuznetsov NK-8 turbo-fans, up to 10.5t thrust, for take-off one Kuznetsov NK-12, 11000 kW, turboprop for sustained cruising
Passenger cabin	length: 25.0m; width: 3.3m; height: 3.0m; volume: 240m ³
Passengers:	single-deck version: 100 to 150; twin deck version: up to 350
Speed cruising:	400km/h, 216 knots
Range:	2000 km, 1080 n.miles
Fuel load:	for normal take-off weight: 15t for overload take-off weight: 28t
Sea flying limit:	take-off and landing: Force 4 while afloat and flying: Force 4 to 5

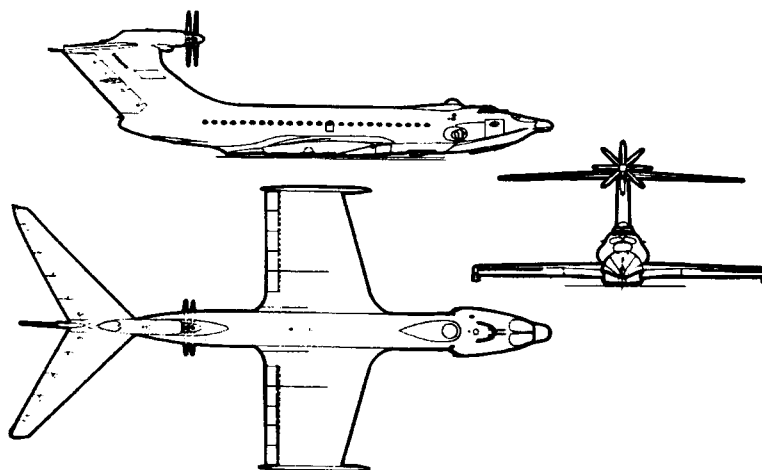


Figure 8 a. Wing In Ground vehicles: Top: Ekranoplan from former USSR
Bottom: Small 20 passenger model WIGPAR

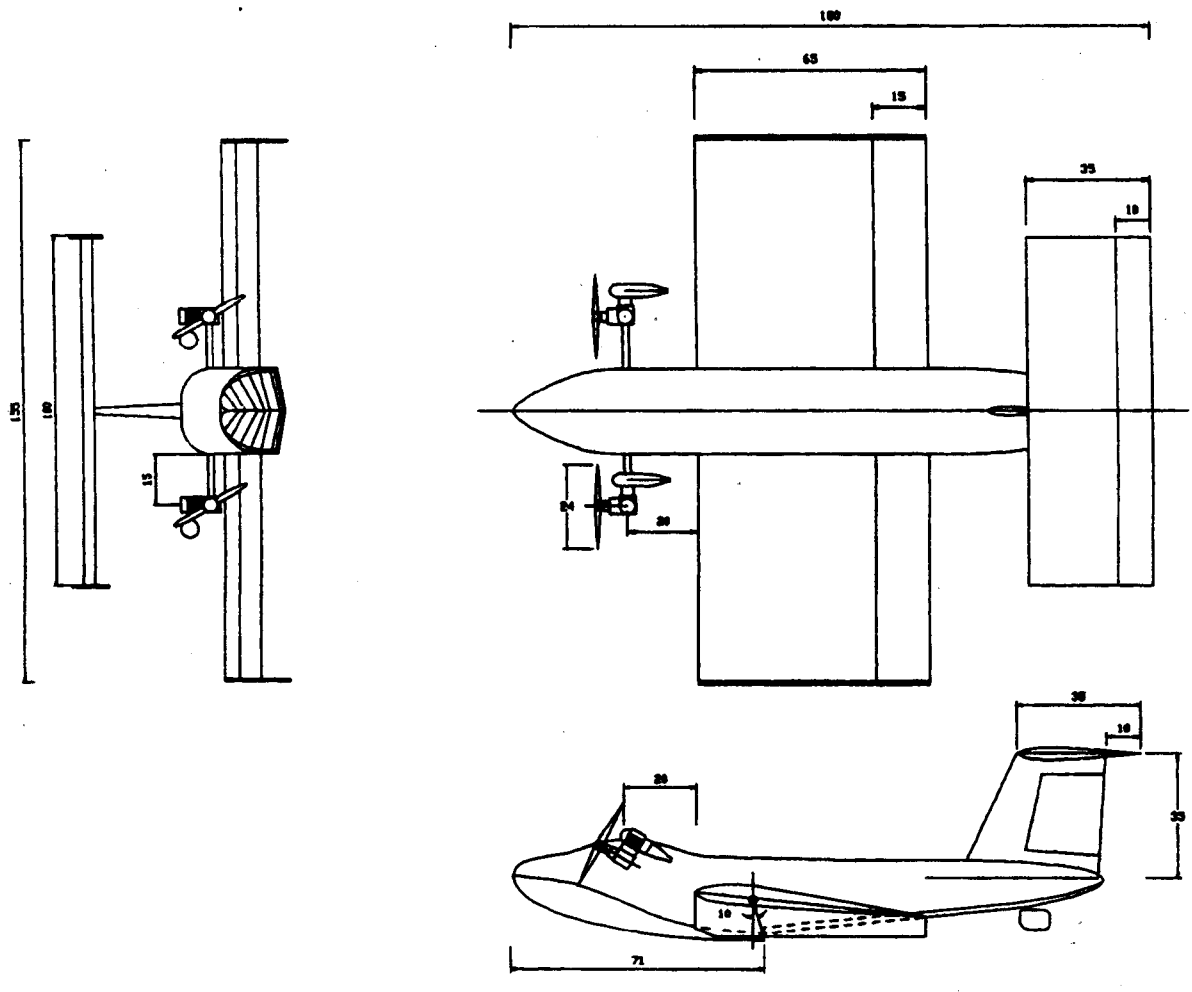
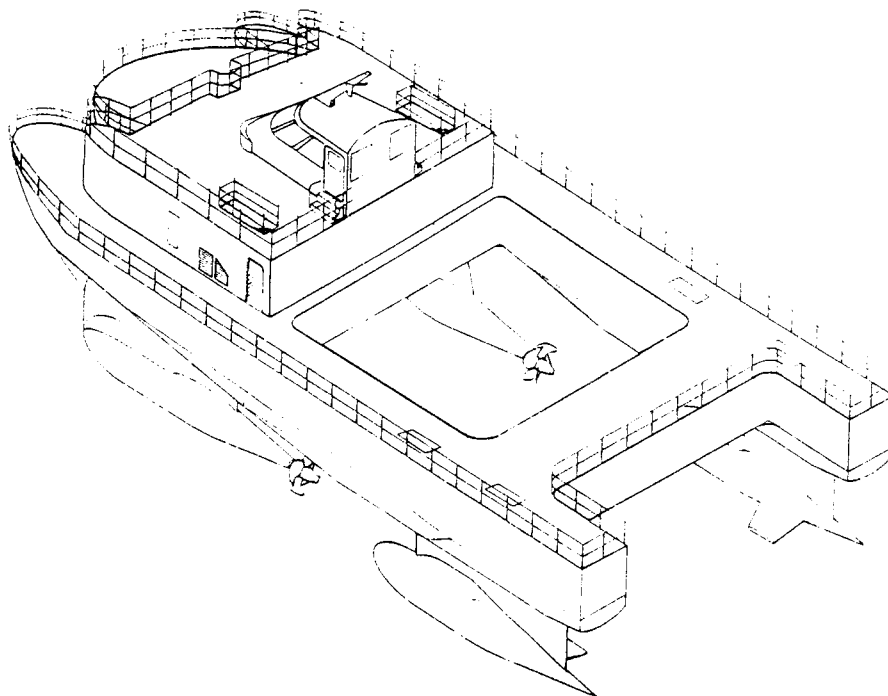


Figure 8 b. Wing In Ground vehicle:
 Prototype model of a small 20 passenger model WIGPAR
 (Source: Chun, H.H et al., [7])

g) Hybrid AMVs

These are AMVs which incorporate one or more of the concept mechanisms of the aforementioned AMV groups. For example a catamaran fitted with fully submerged foils is a hybrid which has been designated as a FoilCat. In essence, the total weight support of any given marine transport system may be realised by either static buoyancy (Archimedes), hydrodynamic effects or air lift (static and/or dynamic) or a combination of any of these. It is the latter combination capabilities which form the hybrid types of AMVs.

An example of a hybrid AMV, the first Stena Line HSS 1500, M.V. "Stena Explorer" has already been shown in figure 1. Yet another example of such a hybrid is the SLICE shown in figure 9, which is at present in the experimental prototyping stage.



SLICE testcraft	
Length overall	31.7m
Maximum beam	16.8m
Draught	
- Full load	4.3m
Displacement	183 tonnes
Maximum payload	51 tonnes
Payload area	
- Length	17.4m
- Width	13.1m
Speed	30 knots
Range	
- 30 knots	400 n. miles
Main engines	2 x MTU 16V 396 TB94 6.850 bhp
Auxiliary power	2 x Caterpillar 3306 DITA 360 kW

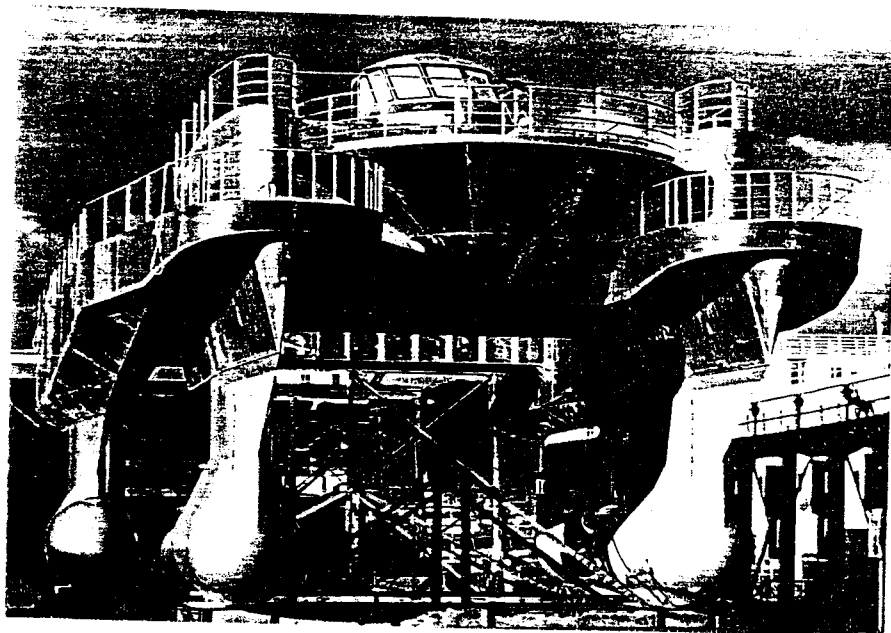


Figure 9. Hybrid AMV testcraft using SLICE swath technology
(Source: Fast Ferry International, January-February 1997)

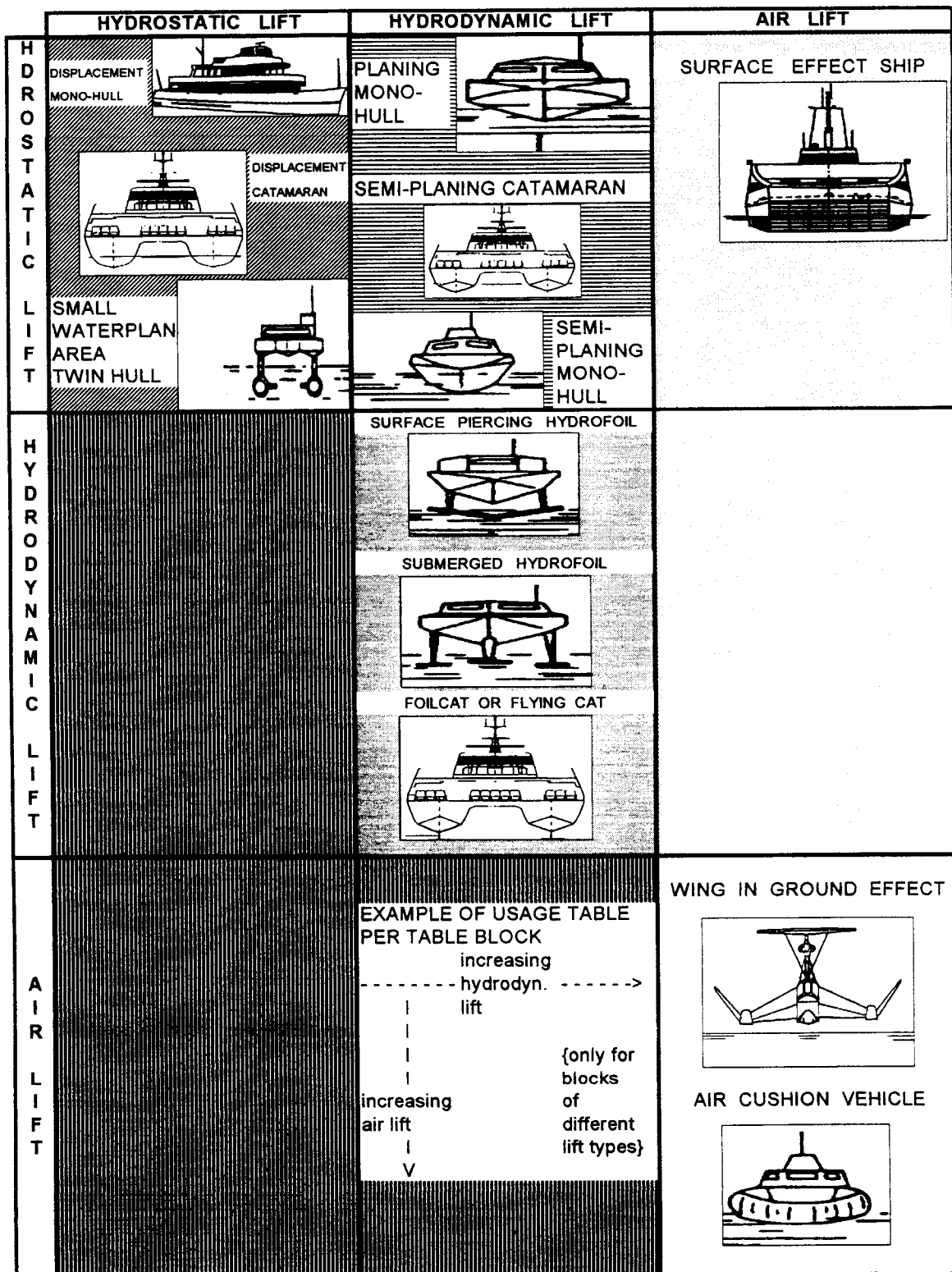


Figure 10. Different types of AMVs classified according to the method of total weight support utilised.

Impact AMVs on transport, environment and technique:

A statement of fact is that in today's world no one says no to safe, environmentally friendly, fast, comfortable, reliable and high frequency travelling services that is offered to them at an affordable price. This holds true for people as well as different commodities. *The question is, are AMVs able to compete with other modes of transport?, let us consider the following:*

Due to non-ceasing (and indeed ever increasing) efforts of governments, universities, research institutes, shipowners and shipbuilders etc., large leaps are being made in reducing vessel resistance and increasing seakeeping performance of AMVs.

Also much work has been done in evolving classification rules and regulations for the construction and maintenance of such ships as well as legislation for immense improvement regarding on board safety levels. With regard to the sailing environment of the AMVs, and indeed for all seagoing vessels, new International Maritime Organisation (IMO) Search and Rescue requirements demand that, when called for, aid is to be given to all within a 50 nautical mile zone stretching out from and along a given coastline. Furthermore, this SAR aid is to be given within 2.5 hours after the call for assistance has been made.

Not only are voyage port to port times, fuel usage etc. been heavily looked into but also the door to door operation itself. The actual vessel and terminal logistics themselves have been subjected to in-depth studies which in turn result in adaptation of internal infra structure of the vessels and the terminals in question. The HSS 1500 "Stena Explorer" discharges and loads her full cargo within 30 minutes at either Holyhead or Dun Laoghaire. Not a stone has been left unturned in this quest for fast door to door times as is witnessed by the aircraft cockpit like navigation bridge (and new crewing approach) on board of these new breed of vessels. Other silent reminders of the transition into aircraft Technology is the use of weight saving aluminium as construction materials, aeroplane seating arrangements and alleyways for the passengers and the rapid evacuation system which has been developed to quickly remove all passengers in the case of any emergency. The HSS 1500 "Stena Explorer" has proved that it is possible to evacuate all passengers via such a rapid marine evacuation systems within 18 minutes.

Looking at the other non-AMV transport modes available to potential AMV clients, we may note the following: in some cases clients are increasingly becoming bogged down with the ever increasing problems relating to aspects such as road congestion and /or increased operation costs due to government legislation pressures etc. This decreases, on a maximum of two accounts in this example, the willingness of the consumer to utilise such a poorly performing and / or increasingly non competitive mode of transport. It is a well known fact that, at present, much effort is being spent investigating the possibilities of utilising AMVs on inland waterways due to the aforementioned congestion problems, etc.

Indeed, it is due to all these types of AMV and non-AMV developments, in particular in the last decade, that many short sea transport routes have now been opened which are seriously competing with other transport modes such as short haul aeroplane, conventional (slow speed) ship ferry, tunnel, bus, trucks / trailer services. One only has to look at the short sea passenger / ferry services between Great Britain and North West Europe. A good example is to be found by the introduction of the latest HSS 1500 "Stena Discovery" which has been introduced on the Hook of Holland-Harwich service by Stena Line. This vessel clears the voyage from port to port in around 3 hours. This is half the time previously taken by the conventional ferry sailing on the same route.

In short, one may comfortably state that some of today's AMVs are in a position to offered a safe, fast, comfortable, reliable and high frequency liner terms travelling services at an affordable price; the advent of low wash catamarans also underlines the good possibilities of AMVs for use on the inland waterways. All this in turn has proven to attract even more

potential customers. After some initial running in problems the "Stena Explorer" booked an increase in the number of passengers on the Holyhead-Dun Laoghaire route in the final quarter of 1996 of 9% and in cars of 6% when compared to the fourth quarter of 1997, [1]. On another AMV route, Stranrear-Belfast, in the same period a 28% increase in the number of passengers and 14% increase in the number of cars were noted, [1]. The exact amount of customers that may utilise AMVs in the neat future is difficult to estimate may well grow substantially if the marketability of these AMVs continues to be so attractive and profitable new routes for these vessels are found.

High speed AMVs have, under certain circumstances, a large impact on the environment. From [5] (Jensen, Jürgen et al. (1997)), one may deduce that with regard to emissions per pax.km into the environment, i.e. SO_2 , NO_x , CO etc., fast sea transport with subsequently large values of installed power have, in general, great difficulty in being better in terms of some of these emissions than for example trains, buses, tram/subway and planes - (see figure 11) -; in some cases however these vessels produced less emissions than cars; one debatable question within the study carried out in their paper, as mentioned by the authors themselves, was the assumed (low?) utilisation factor used for the fast ferry in question. The same type of conclusion, yet along slightly different lines, is drawn by Kato in [6] - (see figure 12) - in which a comparison is made between the performance of high speed craft and air craft. Both [5] and [6] maintain however that when correctly balanced as a part of a total transport system design, AMVs may well be able to show acceptable emission levels into the environment; - [5] looks for the answer in a lower level of vessel speed while, at the same time, creating a total transport system whereby all elements co-operate together in such a way that a short, and thus competitive, throughput time can still be achieved, (eg. cargo/passenger infrastructure, reduce waiting time, manoeuvring in/out of port etc.) - [6] considers the answer to lie in a closer co-operation between naval architects, engine designers, hydrodynamicists and universities. Fruitful results in this latter answer is shown by [3] Keuning, J.A. et al. ,[3], where an AMV design is optimised using the enlarged ship concept; a result of a reduction of approx. 40% in installed power and an increase of approx 68% operability is the profit of the co-operative design exercise.

AMVs have, in general, a large impact on technique. The desire to develop AMVs drives technology for these types of vessels. First comes the desire for a given vessel concept, then follows the required technolgy. Examples of such technology pushes are the development of high speed (high power to weight ratio) diesel engines, the improvement of gas turbines, greatly improved vessel lines for higher speeds, better seakeeping performance and lower wake levels etc. Indeed, one only needs to look at the many fast sea transportation conferences and monthly publications that are to be found on the development of AMVs and related technologies to verify this.

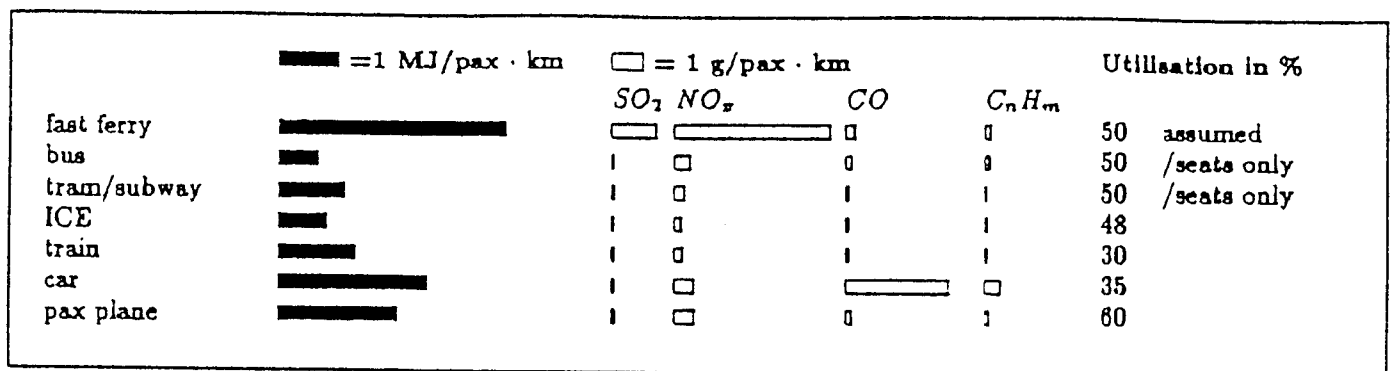


Figure 11. Typical energy consumptions (black) and emissions (white) for passenger transport, for actual utilisation (assumed 50% for a fast ferry) (Source: [5])

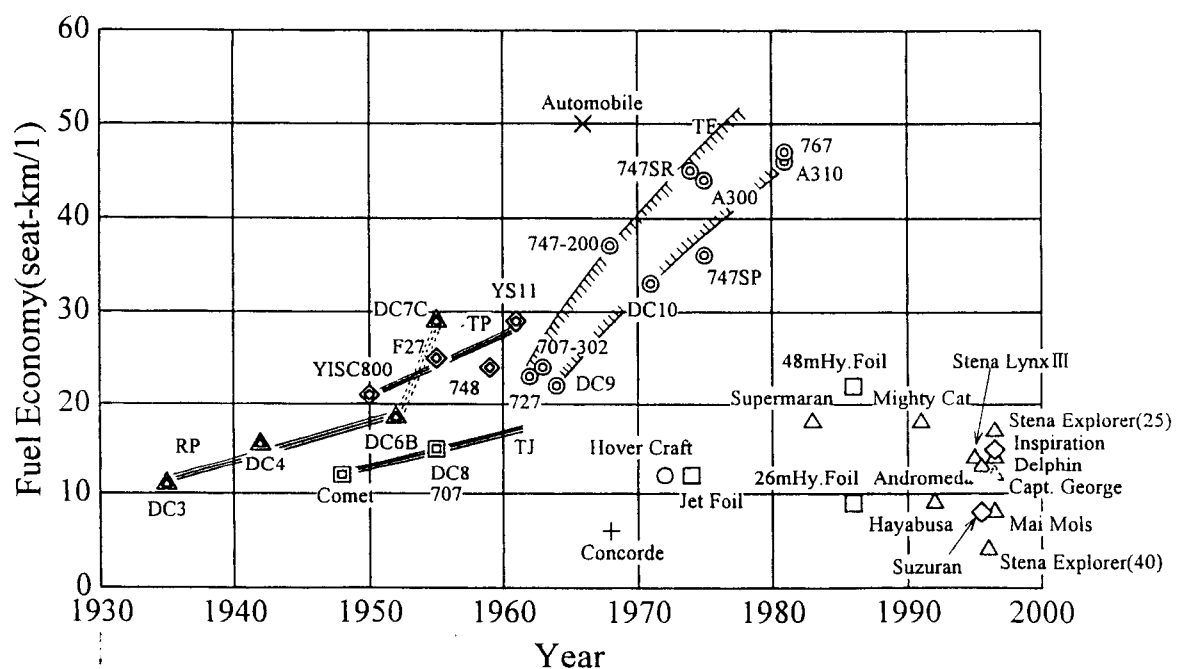


Figure 12. Typical fuel economy values for different modes of transport (Source: [6])

Possible scenario related to market share of AMVs taken from other transport modes:

It is the author's opinion that AMVs should be considered as being able to win a considerable market share from all other modes of transport there where these vessels offer a safe, environmentally friendly, fast, comfortable, reliable and high frequency travelling services at an affordable price to the potential customers. This holds true for both sea-going and inland waterway routes. The types, materials, sizes, speeds, number of vessels, ride comfort, resulting operability etc. of the AMVs, as well as the types of terminals in question, can only be determined from exhaustive in-depth door to door design studies based on the exact (sea) route in question. Of equal importance to the study itself, is that any assumptions made within this context are to be well noted at all times. Only a tailor-made AMV solution for a given transportation problem can give one the best results with regard to such factors as the technical feasibility, building costs, operating costs, expected market, emissions to the environment, revenues etc. Then, and only then, can the correct decision to invest millions of dollars be taken based on the proper profit projection figures and assumptions made. One does well to remember that the path of development of AMVs and related routes have, in the past anyhow, left a wave of bankruptcy behind it of, at the very least, shipowners, operators and shipbuilders. Such sad events need not necessarily have been due to the inability of AMVs to compete with other transport modes, but may well be sought in the lack of a proper approach to the development question of the AMV and related route.

Different techniques designing, fabricating, exploiting and scrapping AMVs:

Designing AMVs is a very difficult task indeed. To mention but a few problem areas for the designers: for most AMVs mentioned in this paper, sufficiently accurate design tools are lacking with regard to problems such as the estimation of vessel resistance, propulsion performance, shipmotions, wash caused by the vessel, suction effects caused by the vessel, vessel structural loading, vessel structure, resulting mechanical stresses, fatigue performance of complex structures, noise and vibration signatures. Assessment of extensive testing of scale models in towing tanks as well as prototype (scaled or non scaled) building and testing, (see [2]), go along way in compensating for some of the aforementioned lack of design tools. Indeed such extensive test results may (and are) used in order to propose an appropriate solutions for such missing design tools.

Fabrication of AMVs requires different techniques depending on the construction materials used. Favourite materials for AMVs are the light weight materials such as rubber tubes filled with air, aluminium alloys, many different type of composites and, if need be, the heavier material steel and in some cases even the high tensile type.

Exploiting AMVs should be done in such a way as to generate profit for the sake of continuity of the operation while at the same time also taking into account a sufficient level of safety etc. for all concerned while minimising the following by-products in order to protect the environment: on board emissions of Nox's and Sox's, wash and / or suction generated by the hydrodynamic performance of the vessel, noise and vibration levels etc.

In order to save the environment as much as possible when it comes to the scrapping of an AMVs one should bare this final stage in the life of an AMV in mind at the beginning of the whole design phase and use as much environmentally friendly material as possible in the construction and during the actual life cycle of the vessel. For example, materials with a high degree of recycling should have preference above those that have a lesser degree of the same. It may well be required that governments give subsidies to those shipowners who are willing

to use such (more expensive?) construction materials. The actual scrapping should also take place in a yard that is set up to undertake such an activity in an environmentally friendly manner,[4].

Conclusions & Recommendations:

Conclusions:

At present there is much world wide effort being put into the development of AMVs and related routes.

The potential of AMVs are increasing as the development of these vessels continues and the competitiveness of other forms of transport diminishes. This holds true for both sea-going and inland waterway application of these types of vessels. Already, a number of AMVs have proven themselves world-wide to be viable concerns from a profitability point of view.

The battle to produce environmentally friendly AMVs that are, as good as, or better than other forms of transport is a difficult one. The question in the comparisons being made is whether or not all aspects that play a role are really accounted for in the final review; i.e. has an aeroplane the same level of comfort (space etc.) as a catamaran with its large available deck area? Is this accounted for in emissions per pax.(space).km?, Which utilisation level of transport modalities are we using in the comparisons?

Recommendations:

Regarding the right AMV designs for a given sea or inland waterway route: the types, materials, sizes, speeds, number of vessels, ride comfort, wash prediction, resulting operability etc. of the AMVs, as well as the types of terminals in question, are to be determined from exhaustive in-depth door to door design studies based on the exact (sea) route in question. These studies are to jointly be carried out by research institutes, universities, shipowners, operators, shipyards etc.

Of equal importance to this, more research is to be carried out into the AMV related fields such as vessel resistance, propulsion performance, shipmotions, wash caused by the vessel, suction effects caused by the vessel, vessel structural loading, vessel structure, resulting mechanical stresses, fatigue performance of complex structures, noise and vibration signatures, etc.

In field measurements should be made on board of new AMVs while performing their day to day port to port routine in order to collect real time design performance data, environmental emission and such for AMVs.

References:

- [1] Stena Line reviews HSS 1500 performance, Fast Ferry International, June 1997.
- [2] Pinkster, Jakob and Journeé, J M J (1997): "Sea trials with regard to design and operational limits of fast pilot tender MS Voyager", SURF IV International Conference in Gothenburg, Sweden, 13th and 14th May 1997
- [3] Keuning, J.A, Pinkster, Jakob (1995): "Optimisation of the seakeeping behaviour of a fast monohull", Fast '95 International Conference, Lubeck-Travemunde, Germany, October, 1995
- [4] Jankipersad, K. J. (1997): "Life cycle management of ships", Masters Thesis, Department of Marine Technology, Technical University of Delft.
- [5] Jensen, Jürgen, Bertram, Volker and Keil, Harald (1997): "Energy efficiency and air pollution: a comparison of ships and other vehicles", Fast '97 International Conference, Sydney, Australia, July 21st - 23rd, 1997
- [6] Kato, H. (1997): "Performance of high-speed craft in comparison with air craft", Fast '97 International Conference, Sydney, Australia, July 21st - 23rd, 1997
- [7] Chun, H. H., Chang, C. H., Paik, K. J., Chang, S. I.: (1997): "Preliminary design of a 20 passenger PARWIG craft and construction of a 1/10 scale radio controlled model", Fast '97 International Conference, Sydney, Australia, July 21st - 23rd, 1997
- [8] Kovoed-Hansen, H., Mikkelsen, A. C.: (1997): "Wake wash from fast ferries in Denmark", Fast '97 International Conference, Sydney, Australia, July 21st - 23rd, 1997

Het EcoDrive voertuig, de ontwikkeling van een geoptimaliseerde aandrijflijn voor personenvoertuigen

Auteur:

E. Spijker

Van Doorne's Transmissie

Postbus 500

5000 AM Tilburg

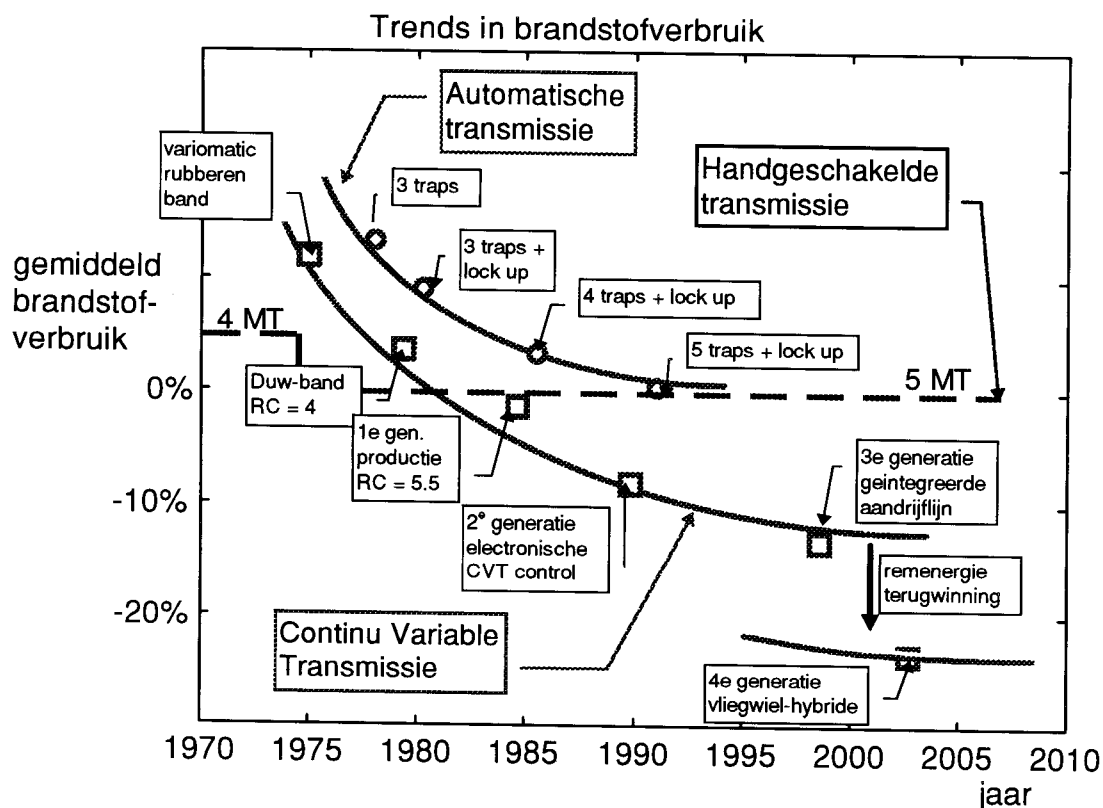
tel: 013-464 0333

fax: 013-463 6590

Inleiding

Het brandstofverbruik in verkeer en vervoer neemt, ondanks maatregelen van diverse overheden, nog steeds toe. De schadelijke emissies vormen een steeds grotere aanslag op ons leefmilieu. In dit paper wordt een technologische oplossing gepresenteerd om het brandstofverbruik en de emissies van voertuigen te verminderen.

Vermindering van het brandstofverbruik van personenvoertuigen door toepassing van de Continu Variabele Transmissie (CVT) vormt de rode draad in de missie van VDT. Dit is geïllustreerd in Figuur 1. Hier is de trend in het brandstofverbruik weergegeven van conventionele automaten (AT) en CVT's ten opzichte van een handgeschakelde 5 traps transmissie (5MT). In deze grafiek zijn twee zaken duidelijk weergegeven. Ten eerste dat conventionele automaten altijd meer brandstof zullen blijven verbruiken dan een handgeschakelde transmissie en ten tweede dat de CVT een lager brandstofverbruik heeft dan de 5MT. In deze figuur is de ontwikkeling van de CVT derde en vierde generatie genoemd. De derde generatie is een verdere ontwikkeling en optimalisatie van de huidige techniek. De ontwikkeling van een vierde generatie CVT wordt gezien als een technologische stap waarbij een hybride aandrijving noodzakelijk is.



Figuur 1. VDT Strategie

De VDT organisatie is in 1972 opgericht met de missie om de technische ontwikkeling en commercialisering van de duwband CVT te realiseren. Uitgangspunt daarbij was een zeer belangrijk basispatent namelijk dat van de duw-band. Een breed gedefinieerd octrooi dat mogelijkheden bood om een gehele bedrijfsactiviteit aan op te hangen. Anno 1996 is dit basispatent verlopen. Terwille van de continuïteit dekt nu een groot aantal octrooien het

duwband ontwerp en de produktie af. Ook deze octrooien zullen in de toekomst aflopen en het wordt steeds moeilijker om door middel van verfijning van huidige concepten bescherming te blijven garanderen in de zeer concurrerende markt van de autoindustrie.

Om staande te blijven en te kunnen groeien in deze omgeving is een lange termijn ontwikkelingsvisie noodzakelijk. In lijn met de potentie van het CVT systeem ten opzichte van conventionele versnellingsbakken (handgeschakeld of automatisch) is de VDT produktontwikkelingsstrategie gericht op substantiële brandstofbesparing en emissie-verlaging met behoud van soepel rijgedrag en concurrerende prijs.

Brandstofverbruik en emissie van het voertuig

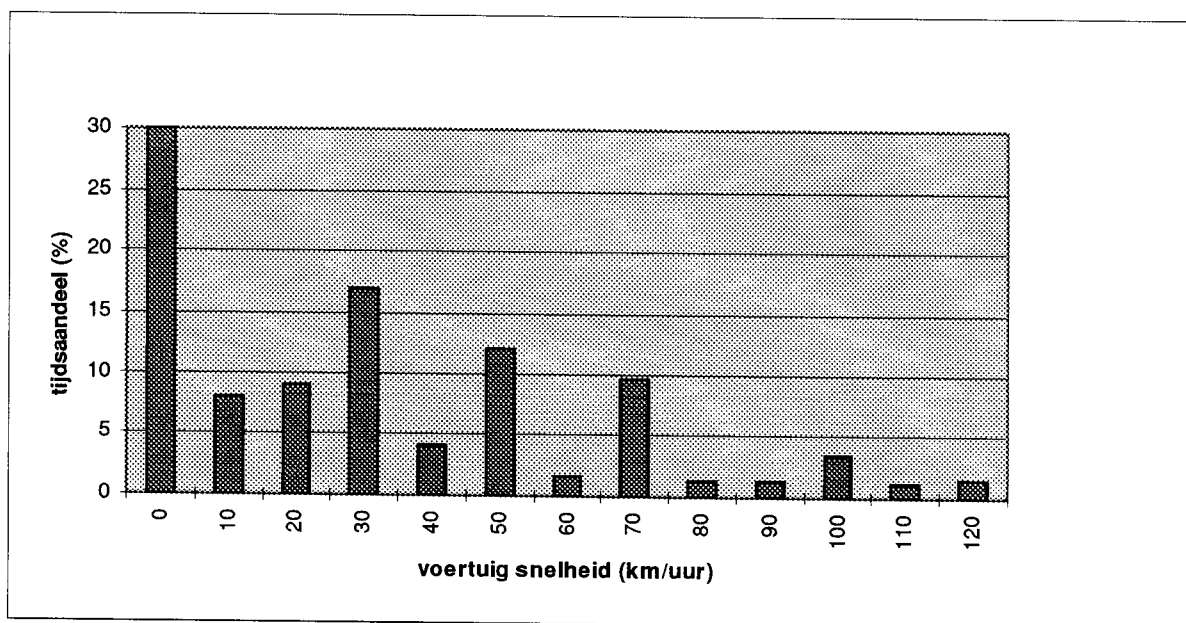
Om het brandstofverbruik van personenvoertuigen te kunnen verbeteren is een analyse van het lastproces een goed hulpmiddel. Hiermee kunnen de prioriteiten worden vastgesteld en ook het belastingscollectief voor de aandrijving. Als voorbeeld zijn enkele gegevens van een ritcyclus gegeven voor een voertuig van 1150 kg in

Tabel 1. De belangrijkste kenmerken zijn de grote spreiding tussen de gemiddelde waarden en de maximum waarden voor de snelheid en het vermogen. De prestaties van het voertuig eisen dat hoge vermogens moeten worden geïnstalleerd die bij normaal stadsverbruik nooit worden aangesproken. Aan deze tegenstrijdige eisen moet door de ontwerper van de aandrijflijn worden voldaan, waarbij het brandstofverbruik als belangrijkste criterium wordt aangenomen.

Tabel 1. Samenvatting van eisen voor het geïnstalleerd vermogen.

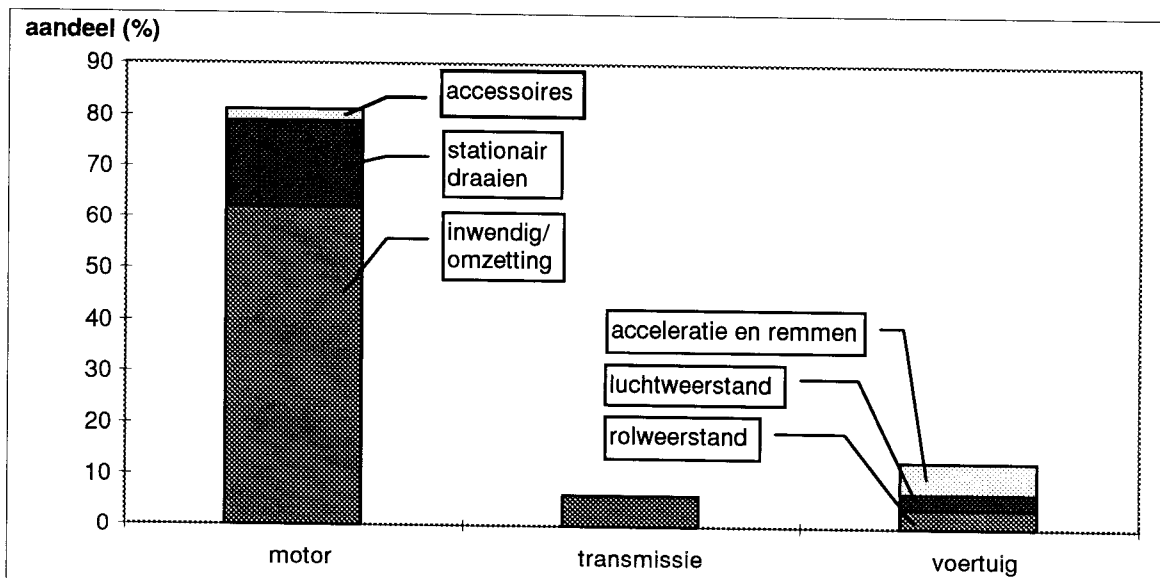
ritcyclus (NEDC)	maximum snelheid	120 km/uur
	gemiddelde snelheid	32 km/uur
	maximum vermogen	32 kW
	gemiddelde vermogen	3.5 kW
prestaties	maximum snelheid	≈190 km/uur
	vermogen voor topsnelheid	≈70 kW
	vermogen voor 0-100 km/uur acceleratie	≈70 kW

Verder is in Figuur 2 de snelheidsverdeling van een voertuig gegeven. Ook hier valt uit af te leiden dat de gemiddelde voertuigsnelheid laag is en dat het voertuig zelfs een substantieel deel van de tijd stilstaat.



Figuur 2. Snelheidsverdeling van een voertuig voor een ritcyclus (NEDC).

Het energieverbruik in huidige aandrijflijnen van voertuigen kan uitgesplitst worden naar het verbruik van een aantal belangrijke componenten. Uit de onderstaande figuur kunnen twee belangrijke conclusies worden getrokken. Als eerste dat de motor de belangrijkste oorzaak is van het hoge brandstofverbruik van voertuigen. Als tweede kan worden geconcludeerd dat verbeteringen aan voertuigzijde relatief weinig opleveren. De taak van een CVT is dan ook het efficiënt benutten van de motor door het aanbod aan motorzijde zo goed mogelijk af te stemmen op de vraag aan voertuigzijde.



Figuur 3. Het energieverbruik van een voertuig verdeeld over de componenten (samen 100%).

Er is door VDT gekozen voor een stapsgewijze ontwikkeling van een schone en zuinige aandrijflijn voor personenvoertuigen. Als eerste stap wordt de vrijheidsgraad, die ontstaat bij de toepassing van een CVT met groot regelbereik, benut om bij het ontwerp van de verbrandingsmotor tot een maximaal systeemrendement te komen. De uitgangspunten zijn hierbij de voertuigspecificatie zoals in Tabel 2 weergegeven. Bij de tweede stap worden de

ontwikkelde technieken en expertise vervolgens aangewend voor de ontwikkeling van een aandrijflijn waarbij met een vliegwiel remenergie kan worden teruggewonnen en de motor dankzij het gebruik van het vliegwiel in het werkgebied van maximaal rendement bedreven kan worden.

Tabel 2. Voertuigspecificaties voor de verschillende concepten.

voertuig specs		otto motor	diesel motor	hybride
massa voertuig		1150 kg	1150 kg	1150 kg
frontaal oppervlak	$C_w A$	0.65 m^2	0.65 m^2	0.65 m^2
rolweerstandscoefficiënt	f_r	0.011	0.011	0.011
acceleratie	0-100 km/uur	10 sec	12 sec	
	80-120 km/uur	10 sec	10 sec	
topsnelheid		190 km/uur	190 km/uur	
brandstofverbruik	tov 5 MT	- 10%	- 5%	- 25%
emissies		Euro 2000	Euro 2000	Euro 2005
kosten aandrijflijn	t.o.v. AT	als AT	als AT	

De driveability, de voertuigresponsie op het gaspedaal, van de vliegwiel-hybride dient vergelijkbaar te zijn met eenzelfde type voertuig met CVT. Ook geldt dat de veiligheid op hetzelfde niveau moet zijn van de huidige geldende standaard.

Tabel 3. Marktsituatie voor personen voertuigen in Nederland.

	1996	2004 e.v.
Verbruik autos uitgerust met huidige CVT	als 5MT	25% zuiniger dan 5MT
wagenpark geschikt voor CVT toepassing	960.000 personenauto's met benzinemotor	<ul style="list-style-type: none"> • 3.250.000 personenauto's met benzinemotor • 275.000 auto's met dieselmotor

Als de reductie in het brandstofverbruik voor de voertuigen wordt geprojecteerd op het nederlandse wagenpark, zie Tabel 3, dan kan een schatting worden gemaakt voor de potentiële brandstofbesparing. Uitgaande van een de marktsituatie, Tabel 3, zijn de volgende perspectieven ten aanzien van brandstofverbruik te verwachten:

Tabel 4. Potentielle brandstofbesparing in Nederland

Potentiele besparing t.o.v. 5MT	1996	2004 e.v.
Benzine (13.300 km/jaar; 14 km/l x 25%)		770 mln. liter/jaar
Diesel (28.000km/jaar; 20 km/l x 25%)		96 mln. liter/jaar

De emissies zullen minimaal moeten voldoen aan de normen zoals die gelden op het moment van het gereedkomen van het hybride voertuig. De verwachte emissie-eisen voor de perioden na 2000 en 2005 zijn, naar voorstel van de Europese commissie, als volgt:

Tabel 5. Verwachte emissie-eisen voor personenvoertuigen.

brandstof	emissie [g/km]	1996	vanaf 2000	vanaf 2005
benzine	CO	2.2	2.2	1.0
	HC + NO _x	0.5	0.35	0.18
diesel	CO	1.0	0.64	0.50
	HC + NO _x	0.9	0.56 (NO _x : 0.50)	0.30 (NO _x : 0.25)
	partikels	0.1	0.05	0.04

Voor het brandstofverbruik en de emissies wordt een voertuig met een handgeschakelde 5 versnellingsbak (5 MT) als referentie genomen. Als belangrijke randvoorwaarden geldt dat de prestaties van het voertuig niet negatief mogen worden beïnvloed. De kosten zijn een belangrijk aspect en de gehele aandrijflijn dient een kostprijs te hebben die vergelijkbaar is met een conventionele automaat (AT).

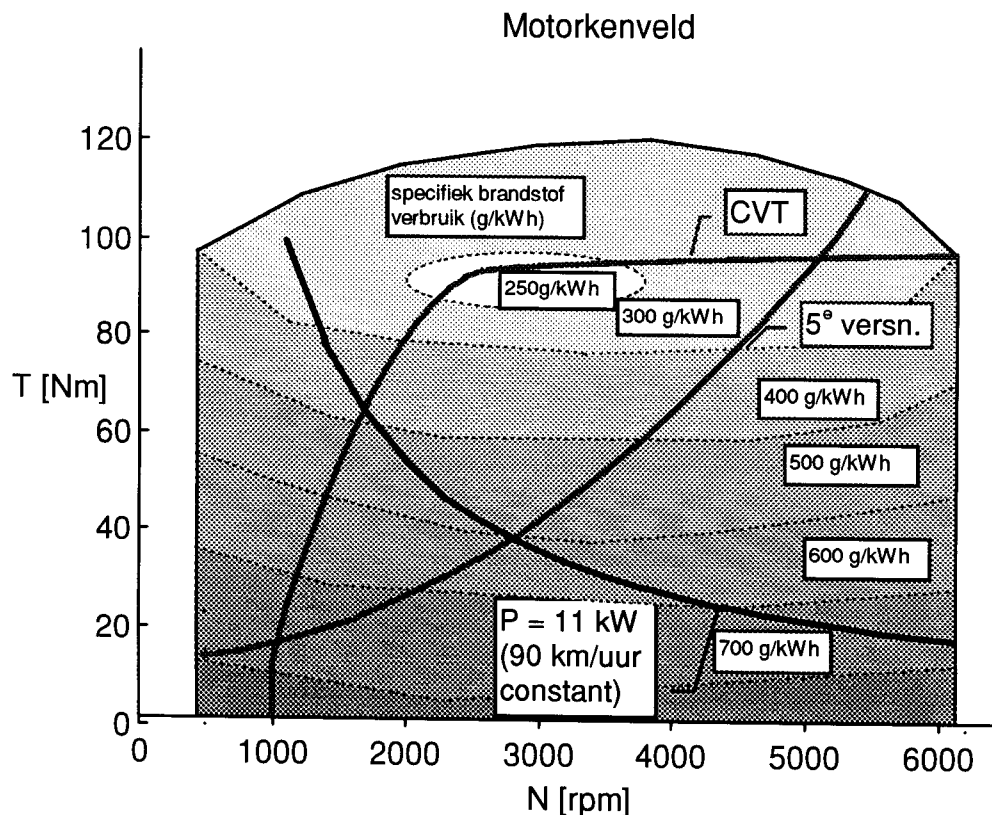
Eerste ontwikkelstap: de systeem geïntegreerde aandrijving

Waarom systeem geïntegreerd?

De huidige motoren zijn geoptimaliseerd voor handgeschakelde transmissies, waarbij een laag brandstofverbruik gepaard gaat met emissies die aan de huidige wettelijke eisen voldoen. Deze optimalisatie is een compromis van allerlei tegenstrijdige eisen tussen brandstofverbruik, emissies, kosten en voertuiggedrag. Het is daarom noodzakelijk eerst de aandrijflijn met verbrandingsmotor en CVT te integreren op systeemniveau. Hierbij wordt vanaf het ontwerpstadium getracht de basiscomponenten, verbrandingsmotor en CVT, nauwkeurig op elkaar af te stemmen. Het einddoel moet een nieuw compromis zijn tussen de voorgenoemde tegenstrijdige eisen waarbij het eindresultaat een substantieel lager brandstofverbruik en lagere emissies oplevert. Omdat de eigenschappen van een otto- en een dieselmotor sterk verschillen, wordt er voor beide motoren typen een systeemoptimalisatie uitgevoerd.

Waarom CVT?

Het voordeel van een CVT ten opzichte van een handgeschakelde transmissie is het beste te illustreren met behulp van een voorbeeld. In Figuur 4 is de relatie tussen de vermogensvraag van het voertuig, bij een constante snelheid, en de bijbehorende vermogenslijn van de motor gegeven. Bij een gegeven constante voertuigsnelheid van bijvoorbeeld 90 km/uur moet er een vermogen van 11 kW worden geleverd. Voor een gegeven transmissie overbrenging, de 5^e versnelling, ligt het werkpunt van de motor vast op 2700 rpm. Wat hierbij opvalt is dat het werkgebied met een gunstig brandstofverbruik van de motor nooit wordt bereikt.



Figuur 4. De combinatie van motor en CVT levert een 20% gunstiger motorbelasting in vergelijking met een 5MT.

De werking van de CVT kan eenvoudig omschreven worden als een transmissie die een willekeurige overbrenging kan instellen. De CVT onderscheidt zich van een handgeschakelde transmissie door het feit dat er nu altijd de meest gunstige overbrenging kan worden ingesteld over een groter toerenbereik van de motor. Bij het voorbeeld met 90 km/uur voertuigsnelheid kan een 1700 rpm worden ingesteld, dat wil zeggen het werkpunt wordt nu verplaatst naar een lager toerental, op dezelfde vermogenslijn van 11 kW, zie Figuur 4. Het nieuwe werkpunt levert nog steeds hetzelfde vermogen maar met een substantieel lager brandstofverbruik (van 500 g/kWh naar 400 g/kWh oftewel 20% verbruiksreductie). Echter, omdat een CVT een lager rendement heeft dan een handgeschakelde transmissie zal de uiteindelijke brandstofreductie kleiner zijn dan de voorspelde 20%.

Toepassing van een CVT met een groot regelbereik opent ontwerpvrijheden voor de ontwikkelaars van de verbrandingsmotor, doordat de benodigde toerenband wordt verkleind en de motor anders wordt bedreven. Toevoeging van een vliegwiel als energiebuffer maakt het zelfs mogelijk de verbrandingsmotor een groot gedeelte van de tijd in één werkpunt te laten draaien.

Tweede ontwikkelstap: de vliegwiel-hybride aandrijving

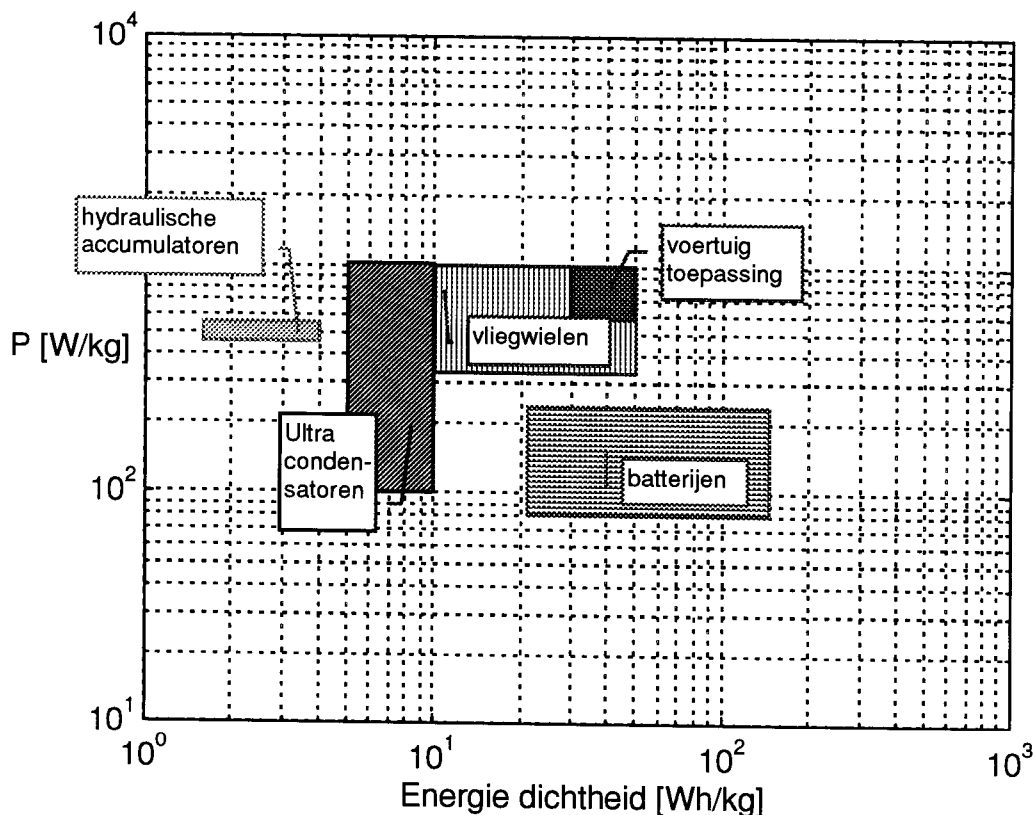
Aansluitend op deze ontwikkeling van een systeemgeïntegreerde aandrijflijn vindt de ontwikkeling van een hybride aandrijflijn plaats. Hiervoor wordt één motor verderontwikkeld; onderzoek moet uitwijzen welke hiervoor het meest geschikt is, een benzine- of een dieselmotor. De vliegwielontwikkeling wordt in zijn geheel uitgevoerd door de TUE, de CVT-

ontwikkeling door VDT en de ontwikkeling van het hybride aandrijflijnbesturingssysteem in een samenwerking tussen de TUE en VDT.

Waarom hybride?

Zoals bij de beschrijving van de systeem geïntegreerde aandrijving al is genoemd, kan het werkpunt van de motor worden verschoven naar een bedrijfspunt met een beter specifiek brandstofverbruik. Het werkpunt met het minimale brandstofverbruik wordt echter niet bereikt. Een mogelijke oplossing hiervoor is het gebruiken van de motor in start-stop bedrijf. Hierbij wordt de motor alleen in het optimale werkpunt bedreven of afgeschakeld. Om dit te realiseren is een energiebuffer nodig om de overmaat van het motorvermogen op te nemen en gedurende langere tijd af te geven aan de wielen als de motor afgeschakeld is.

Een tweede toepassingsmogelijkheid van een hybrideaandrijflijn is het terugwinnen van de remenergie van het voertuig. Dit terugwinnen van energie geeft onmiddellijk een besparing op het brandstofverbruik van het voertuig.



Figuur 5. De specifieke energie en de vermogensdichtheid van verschillen systemen.

Waarom vliegwielen-hybride?

De verschillende technische oplossingen voor de energiebuffer zijn in Figuur 5 weergegeven. Hierbij zijn een aantal criteria van belang:

- de specifieke inhoud en de vermogensdichtheid,
- het systeemrendement,
- de kosten.

Specifieke inhoud en vermogensdichtheid

De specifieke energieinhoud of opslagcapaciteit en de vermogensdichtheid die kan worden bereikt met dit opslagelement, bepaalt of het geschikt is voor tractie toepassingen. Praktisch uitgedrukt is de opslagcapaciteit en de vermogensdichtheid gekoppeld aan de extra massa die aan de aandrijving moet worden toegevoegd. Deze massa is erg nadelig voor het brandstofverbruik van een voertuig. Een vuistregel is dat 10% additionele voertuigmassa ook 10% extra brandstofverbruik oplevert. Als we de eisen voor toepassingen in voertuigen betrekken in de beoordeling dan volgt hieruit dat alleen vliegwielen geschikt zijn.

Systeemrendement

Een ander criterium waaraan moet worden voldaan is een hoog systeemrendement. Als het vermogen door een motor wordt geleverd, eerst in de energiebuffer wordt opgeslagen om vervolgens naar de wielen te worden getransporteerd, mogen er geen grote verliezen optreden. Dit kan worden samengevat als het rendement van het gehele systeem. Uit meerdere studies komen vliegwielen als de beste kandidaat te voorschijn. De belangrijkste reden hiervoor is dat er in een vliegwiel-CVT combinatie geen energieconversie hoeft plaats te vinden.

Kosten

Als laatste, maar essentieel, criterium zijn de extra kosten die de gekozen technologie met zich meebrengt. Hierbij zijn de materiaalkosten (hfl/kg) doorslaggevend. Deze kosten zijn laag in vergelijking met andere technologieën.

Status en vooruitzichten

De ontwikkeling van de aandrijflijnen wordt gefaseerd uitgevoerd waarbij ook nog onderscheid wordt gemaakt tussen de systeemgeïntegreerde aandrijving en de vliegwiel-hybride aandrijflijn. De specificatiefase van de systeemgeïntegreerde aandrijving zal voor het einde van de zomer worden afgerond. De ontwikkeling van de componenten, de CVT en de motor kan dan worden gestart. Volgens planning zullen eind 1998 de componenten gereed zijn en kan de systeem optimalisatie van de gehele aandrijflijn starten. Vervolgens moet eind 1999 het demonstratie voertuig met de geoptimaliseerde aandrijflijn gereed zijn.

De ontwikkeling van de vliegwiel-hybride volgt twee jaar na de systeem geïntegreerde aandrijflijn, deze zal dan begin 2002 gereed zijn.

Samenwerking met partners binnen het EcoDrive project

Het project wordt uitgevoerd door een samenwerkingsverband bestaande uit de partijen: VDT, TNO en TUE. VDT is verantwoordelijk voor de algehele projectcoördinatie, de ontwikkeling van de CVT en het aandrijflijnbesturingssysteem. TNO neemt de ontwikkeling van de benzinemotor en de dieselmotor voor zijn rekening, terwijl de TUE zal zorgdragen voor de ontwikkeling van het vliegwiel en het aandrijflijnbesturingssysteem voor de hybride aandrijflijn.

Het gehele project wordt financieel ondersteund door het ministerie van Economische zaken in het kader van de EET subsidieregeling.

Samenvatting

Om een lange termijn doelstelling te realiseren wordt er een stapsgewijze ontwikkeling in gang gezet. Hierbij wordt door middel van een samenwerkingsverband met kennis instituten, namelijk TNO en de TUE, gewerkt naar een gezamenlijke einddoel. Dit einddoel is het realiseren van een vlieg wiel-hybride voertuigaandrijving met een 25% brandstofverbruiksreductie in het jaar 2002.

Het EEB-project

Energie-, Emissie- en Brandstofactoren in het verkeer en voervoer

Auteurs:

Bart Kusse *

Martje G.A. Storm **

**

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat - Adviesdienst Verkeer en Vervoer

Postbus 1031

3000 BA Rotterdam

tel: 010-282 5738

*

Cap Volmac, Utrecht

Postbus 2575

3500 GN Utrecht

tel: 030-252 6526

fax: 030-254 3244

Inleiding

EEB is een informatiesysteem op het gebied van luchtverontreiniging door verkeer.

EEB is ontwikkeld omdat bij diverse studies en projecten bleek dat er behoefte was aan vlot toegankelijke, hanteerbare en eenduidige gegevens over emissie-, energie- en brandstoffactoren voor verkeer en vervoer; gegevens voor verleden, heden en toekomst. Deze behoefte bleek zowel beleidsniveau als planniveau te bestaan.

Voorgeschiedenis EEB

CBS heeft in 1995 in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer een informatiesysteem ontwikkeld over emissiefactoren van verkeer en vervoer. Dat informatiesysteem is bekend onder de naam Infosys. Het bleek echter dat dat systeem nog niet de gebruiksvriendelijkheid en functionaliteit leverde, die gewenst was bij een dergelijk informatiesysteem. Op beleidsniveau en op planniveau moest immers inzicht gegeven kunnen worden in de emissiefactoren van verkeer en vervoer.

Het voorgaande heeft de AVV er toe gebracht een nieuw informatiesysteem te ontwikkelen; het EEB. In de eerste helft van 1996 heeft Cap Gemini een definitiestudie uitgevoerd waarin de wensen van de potentiële gebruikers en de mogelijkheden van een dergelijk informatie- systeem onderzocht zijn. Eind 1996 is van start gegaan met de ontwikkeling van EEB versie 1.0. Ook deze keer was Cap Gemini de opdrachtnemer.

Gaande het proces bleek het niet mogelijk alle elementen, die gewenst waren in EEB te implementeren. De versie, die hier gepresenteerd wordt is daarom niet EEB 1.0, maar EEB versie 0.2.

Achterliggende doelstellingen van EEB

De functie van EEB is tweeledig. De belangrijkste functie is te voorzien in een bepaalde informatiebehoefte van beleids- en plannenmakers op het gebied van verkeer, vervoer en luchtvervuiling. De AVV heeft met EEB een adviesinstrument dat ze kan gebruiken voor advisering naar de verschillende ministeries (V&W, VROM). Met behulp van EEB kan op een vlotte manier geaggregeerde informatie opgezocht worden en op een heldere manier gepresenteerd worden.

Met het ontwikkelen van EEB is de gelegenheid aangegrepen met de belanghebbenden³⁴ af te stemmen over het gebruik van emissiecijfers. Het blijkt in de praktijk dat er verschillende soorten cijfers gehanteerd worden. Het CBS hanteert bijvoorbeeld cijfers, die geharmoniseerd zijn met de CORINAIR³⁵. Naast genoemde CBS-data zijn er meer emissiefactoren in gebruik. Welke factoren is

³⁴ De belanghebbenden in het EEB-project zijn RIVM, CBS, VROM en AVV.

³⁵ CORINAIR is een project in opdracht van de Europese commissie ten behoeve van het inventariseren van emissies.

mede afhankelijk van de toepassing, zoals bijvoorbeeld het onderscheid tussen directe en indirecte factoren³⁶. Uniformering van gegevensinformatie over emissies en verkeer en vervoer is daarmee het tweede doel van EEB.

Doelgroep EEB

EEB is nog in ontwikkeling en daarom een 'intern' project. Een aantal uitbreidingen zal pas de komende jaren ontwikkeld worden. Daarom zal de gebruikersgroep van het datasysteem EEB voorlopig beperkt blijven tot AVV, VROM, RIVM en CBS.

De keuzes, die gemaakt worden over de datagegevens, die in EEB komen, worden afgestemd met de Coördinatie Commissie Doelgroepen Monitoring (CCDM)³⁷ van VROM. Er moet immers bij alle potentiële gebruikers overeenstemming bestaan over het juistheid van de gebruikte data.

Wat kan EEB?

Met behulp van EEB is het mogelijk op om een vrij eenvoudige manier, op verschillende aggregatieniveau's, gegevens over emissiefactoren op te vragen. Deze informatie is per voertuig, brandstofsoort, bouwjaar, gebruiksjaar en rittype specifiek voor handen. Door een keuzemenu te doorlopen kan de gewenste uitsnijding van gegevens samengesteld worden. Deze gegevens kunnen in tabellen gepresenteerd worden. Het is ook mogelijk de gegevens uit EEB te transporteren naar Ms Excel en daar tot een grafiek te verwerken. De gemaakte uitsnijdingen kunnen telkens apart bewaard worden, zodat niet telkens het gehele menu doorlopen hoeft te worden. Cap Gemini zal op 24 september een demonstratie geven van het programma.

Vernieuwende elementen in EEB

In EEB is ten opzichte van Infosys meer aandacht besteed aan een aantal elementen. Hieronder worden de elementen opgesomd, die in EEB versie 1.0 hun beslag hadden moeten krijgen. Het bleek niet mogelijk alle wensen in EEB te implementeren. Daarom is nu gewerkt aan versie 0.2.

- Uitbreiding van de gegevens over de personenauto. Het is mogelijk op brandstofsoort, bouwjaar, gebruiksjaar, katalysator en gewichtsklasse te kiezen.
- De IPCC-toedelingsmethodiek³⁸ is aan de gegevens toegevoegd. De gegevens zijn inclusief en exclusief bunkering op te vragen.

³⁶ De directe emissie van een elektrische trein is gering. De indirecte emissie, als gevolg van de productie van electriciteit, is wel van betekenis.

³⁷ De CCDM is een overkoepelend orgaan, waaronder een aantal werkgroepen ressorteren. Tezamen dekken deze werkgroepen het gehele werkveld op het gebied van luchtvervuiling af.

³⁸ In de zomer van 1996 is op politiek niveau besloten dat de grote milieu-jaarrapportages gebruik zullen maken van de op mondiaal niveau over eengekomen CO₂-toedelingsmethodiek van de IPCC. Dit betekent dat de CO₂-emissies minder gedetailleerd worden gerapporteerd in vergelijking met de huidige CBS-methodiek.

- Er zijn verschillende ritprofielen toegevoegd aan de gegevens. Het gaat daarbij om een stadswegen, landelijke wegen en autosnelwegen. (Dit element kan nog niet opgenomen worden in EEB versie 0.2)

Verder is er in de opbouw van het programma zelf het een en ander veranderd. Met name aan het gebruiksgemak is veel zorg besteed.

Wat staat er nog op de rol met betrekking tot EEB?

1. De plannen zijn een evaluatie uit te voeren over EEB versie 0.2, zowel inhoudelijk als functioneel. De resultaten van de evaluatie worden in een volgende versie van EEB meegenomen.
2. Tijdens de ontwikkeling van EEB 0.2 is een onderzoek uitgezet bij het Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie (CE) naar de gebruikte methoden voor bepaling van energieverbruik en emissies van personenauto's.³⁹ De resultaten van het onderzoek zijn nog niet beschikbaar en worden ten dienste gesteld van EEB versie 1.0.
3. Een verdere uitbreiding van gegevens in EEB lijkt wenselijk. Daarbij kan gedacht worden aan uitbreidingen op het gebied van vrachtauto's, bestelauto's, collectief personenvervoer, goederenvervoer en overig vervoer (pijp, vliegtuig). De volgende versie van EEB (1.0) zal meer gegevens bevatten over de personenauto.

Bij de Adviesdienst Verkeer en Vervoer is ook een datasysteem met betrekking tot geluidhinder in ontwikkeling.

³⁹

In het onderzoek van CE is aandacht gevraagd voor verschillende onderwerpen;

- het functioneren van de moderne voertuigen in het wagenpark
- de verfijning van de methodiek voor bepaling van brandstofverbruik en co2-emissie
- aanvulling van gegevens over de snelheden en de ritprofielen
- de invloed van brandstofsamenstelling op emissies
- de invloed van (natuurlijke en incidentele) veroudering van het wagenpark

Intelligente snelheidsadaptatie in Tilburg

Auteur:

Drs. J.H.A. van Uden

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat - Adviesdienst Verkeer en Vervoer

Boompjes 200

3001 XD Rotterdam

tel: 010-402 6600

Te hard rijden belangrijke oorzaak van veel problemen in het verkeer.

Te hard rijden van het gemotoriseerde wegverkeer heeft een bewezen nadelig effect op zowel de verkeersveiligheid (aantallen ongevallen en slachtoffers), het energieverbruik (brandstof) en de uitstoot van schadelijke stoffen in het milieu. Een recente studie in opdracht van het Projectbureau IVVS naar de kosten en baten van het verlagen van snelheden van personenauto's in Nederland leidde onder andere tot de conclusie dat alleen al het maximaal handhaven van de huidige limieten zou resulteren in een afname van het aantal ziekenhuisopnamen met 15% en van het aantal doden met 21%; het brandstofverbruik en de uitstoot van CO₂ zouden met 11% afnemen, en de uitstoot van NO_x met 15%. Deze voordelen zouden in Nederland resulteren in maatschappelijke baten van in totaal 520 miljoen gulden per jaar.

Noodzaak van een meer structurele aanpak

Na zeven jaar actief snelhedenbeleid in Nederland jaar kan objectief worden vastgesteld, dat de 'traditionele' benadering van het snelheidsprobleem zijn grenzen kent. Nog altijd is sprake van aanzienlijke overschrijdingspercentages van de diverse snelheidslimieten, schommelend tussen de 30 en ruim 50!

Tijdens overleg over het verkeersveiligheidsbeleid tussen de minister van Verkeer en Waterstaat en de Tweede Kamer in maart 1995 bleek er dan ook een breed politiek draagvlak aanwezig te zijn om in Nederland een actief beleid te ontwikkelen in de richting van technologische snelheidsbegrenzing van personenauto's. De minister werd concreet gevraagd om op korte termijn een proef te ontwikkelen met de zogenoemde intelligente snelheidsbegrenzer: een voorziening in de personenauto, die op basis van informatie over de wegomgeving de snelheid van de auto automatisch begrenst tot de te plaatse geldende limiet.

In het verlengde hiervan is in het vierde meerjarenprogramma verkeersveiligheid als actie opgenomen om in samenwerking met de gemeente Tilburg een onderzoek uit te voeren naar de haalbaarheid van een pilot-implementatie van de intelligente snelheidsbegrenzer - inmiddels omgedoopt in intelligente snelheidsadaptor (ISA). Tilburg bleek grote interesse te hebben in het opzetten van een dergelijke pilot: Enerzijds omdat daarmee de mogelijkheid ontstaat om zich als moderne industriestad verder te profileren, anderzijds omdat men de mogelijkheid onderkent om via het instrument ISA specifieke stedenbouwkundige doelen in een geplande nieuwbouwwijk te realiseren. De resultaten van deze studie zijn inmiddels bekend en worden hierna op hoofdlijnen belicht.

Haalbaarheidsstudie voor een pilot-invoering van intelligente snelheidsadaptatie in Tilburg

De centrale vraag van de studie luidt, of een pilot-invoering van intelligente snelheidsadaptatie in een nog te bouwen stuk nieuwbouwwijk in Tilburg mogelijk is. Het gaat daarbij om de bebouwing van een gebied in West Tilburg. Hier zal in de periode 1997 - 2001 de uitbreiding van de woonwijk Reeshof worden gerealiseerd. Achtereenvolgens zullen hieronder de verschillende deelvragen van de haalbaarheidsstudie en de antwoorden erop nader worden belicht.

Is in 1998 een intelligente snelheidsadaptor in operationele vorm beschikbaar?

In eerste instantie is het concept ISA vertaald in een aantal denkbare varianten. In alle gevallen is het principe, dat informatie over de actuele maximum snelheid ter plaatse van waar het voertuig zich bevindt, wordt gecommuniceerd naar het voertuig. Vervolgens verschillen de varianten op het punt van wat het voertuig met die informatie doet. De drie meest elementaire mogelijkheden zijn:

- a. het via een geluids- en/of visueel signaal feedback geven aan de bestuurder op het moment dat de maximum snelheid wordt overschreden (informatieve variant);
- b. het geven van feedback via actieve tegendruk op het gaspedaal bij overschrijding van de limiet (de semi-ingrijpende variant)
- c. het direct ingrijpen in de snelheid van het voertuig, waardoor overschrijding van de maximum snelheid onmogelijk wordt (de autonome interventie-variant).

Gekozen is voor de uitwerking van variant c., de meest ingrijpende, met name omdat het primaire effect hiervan (snelheidsreductie en daarmee grotere verkeersveiligheid en minder emissies en energieverbruik) het grootst is. De voor deze ISA benodigde deeltechnieken zijn beschikbaar. De integratie van deze deeltechnieken tot een functionerend ISA systeem dient via een ontwikkelings- en testtraject tot stand te worden gebracht. Op basis van contacten met researchinstellingen en de industrie kan de conclusie worden getrokken dat een dergelijke ISA in 1998 operationeel kan zijn.

Basis voor dit systeem zijn auto's, uitgerust met een variabele snelheidsbegrenzer die wordt aangestuurd via de snelheidsmeter van het voertuig. Bij het bereiken van de limietsnelheid zal langs elektronische weg de snelheid begrensd worden. Verder intrappen van het gaspedaal heeft dan geen effect meer op de snelheid van de auto.

De auto beschikt over een zender-ontvanger die zorgt voor de ontvangst van snelheidslimietsignalen en voor de herkenning van de auto als ISA-voertuig door de centrale. Dit laatste is van belang voor begeleidend evaluatie-onderzoek.

Voor de communicatie naar het voertuig kunnen meerdere principes worden gehanteerd, waarbij wordt uitgegaan van CEN-standaarden. Daarmee is in de toekomst Europese aansluiting mogelijk en kan een koppeling met andere telematica-toepassingen tot stand worden gebracht.

Er zal een bemande centrale worden voorzien, van waaruit de gewenste snelheidslimieten op de verschillende lokaties via bakens worden aangestuurd en eventueel naar omstandigheden worden aangepast.

Inpasbaarheid in de beoogde nieuwbouwwijk in Tilburg

De betreffende nieuwbouwwijk beslaat een min of meer rechthoekig gebied van circa 1 bij 3 kilometer. Dwars hier doorheen in de lengterichting is een rechte doorgaande weg ('De Lange Laan') geprojecteerd ter ontsluiting van de te realiseren woongebieden. Startpunt voor de in te richten pilot met ISA is, dat de ISA in het hele gebied zal werken. Voorzien is tevens in een gefaseerde implementatie, synchroon met het bouwschema binnen het gebied. In de aanloopfase, waarin nog geen woningen zijn opgeleverd, is het plan om de genoemde doorgaande weg

in te richten als een testsite, waarop potentiële toekomstige deelnemers aan de pilot reeds vroegtijdig bekend kunnen worden gemaakt met het fenomeen ISA.

Een aantal woongebieden zal worden ingericht voor exclusief gebruik door ISA-auto's. Daartoe zal bij de toegang tot die gebieden een fysieke afsluiting (bijvoorbeeld pollers) worden gerealiseerd. Auto's van bezoekers en van bewoners die niet van ISA apparatuur zijn voorzien zullen geparkeerd moeten worden op parkeerterreinen aan de rand van deze exclusieve ISA-gebieden. Ook op de Lange Laan zullen dergelijke afsluitingen worden gerealiseerd. De overwegingen daarbij zijn tweërlei: Niet ISA-rijders worden zodoende niet in de verleiding gebracht om deze straat als race-baan te benutten, en anderzijds krijgen deelnemers aan de pilot een 'beloning' omdat zij wel de Lange laan over de volle lengte mogen gebruiken.

Teneinde met name in de exclusieve ISA gebieden zoveel mogelijk uitspraken te kunnen genereren over de effecten van ISA, is voorzien in vergelijkbare woongebieden waarin geen exclusieve toegang voor ISA rijders geldt, zodat vergelijkingen tussen 'experimentele' en 'controlegebieden' mogelijk worden.

Bij de inrichting van de exclusieve ISA gebieden zal tevens rekening moeten worden gehouden met de mogelijkheid om na beëindiging van het pilotproject op eenvoudige wijze de wegprofielen te kunnen aanpassen aan niet-ISA gebruik (snelheidsremmers e.d.), zonder dat dit gepaard moet gaan met al te hoge kosten.

Is er zicht op voldoende draagvlak (maatschappelijk én bij toekomstige bewoners) voor een pilot in Tilburg?

In de haalbaarheidsstudie zijn verschillende sporen bewandeld om zicht te krijgen op de vraag, in welke mate een pilot met ISA positief zal worden bejegend door relevante partijen. Allereerst is een werkconferentie georganiseerd, waaraan hebben deelgenomen vertegenwoordigers van overheid, bedrijfsleven, belangenorganisaties en wetenschappers. Voorts zijn interviews gehouden met vertegenwoordigers van Royal Nederland Schadeverzekeringen, Centraal Beheer Verzekeringen, ANWB, Voetgangersvereniging VBV, VVN, ENFB, Kinderen Voorrang, Bouwfonds Woningbouw en Bovag. En tenslotte is een aantal bewoners van een bestaande nieuwbouwwijk telefonisch geënquêteerd om een indicatie te verkrijgen van draagvlak voor deelname aan een pilot door toekomstige bewoners van de Tilburgse nieuwbouwwijk.

De volgende conclusies zijn op basis van deze activiteiten geformuleerd:

Zeker voor stroomwegen in het onderliggende wegennet buiten de bebouwde kom en verkeersaders binnen de bebouwde kom verdient op de lange termijn invoering van een interveniërende variant van ISA (die dus actief ingrijpt in de actuele snelheid van het voertuig) de voorkeur. Er is sprake van een bestuurlijk draagvlak voor ISA, maar men is beducht voor maatschappelijke weerstand. Op lokaal niveau zal een pilot met ISA op voldoende draagvlak kunnen rekenen, ook onder toekomstige bewoners. Men blijkt weliswaar een voorkeur voor een niet-interveniërende variant (feedback over te hoge snelheid), maar onderkent tevens dat alleen een interveniërende variant het gewenste effect zal sorteren. Tenslotte wordt aanbevolen om te werken met een lease-auto constructie, waarbij de eigen auto van de deelnemers gedurende het proefproject wordt opgeslagen. Daarbij zou ervan moeten worden uitgegaan dat de deelnemers de 'normale' autokosten zelf betalen. Voordeel van zo'n constructie is, dat

technische problemen worden vermeden die het gevolg zijn van een grote diversiteit in soorten en leeftijden van particuliere auto's waarin de ISA zou moeten worden ingebouwd.

Met welke juridische randvoorwaarden moet rekening worden gehouden?

Een in Tilburg uit te voeren pilot dient terdege rekening te houden met een aantal juridische implicaties.

Allereerst geldt dit de afsluiting van de exclusieve ISA-gebieden voor niet-ISA gebruikers. De studie komt tot de aanbeveling, om te werken met een geslotenverklaring in combinatie met een ontheffingsregeling. Dit houdt in, dat via een verkeersbesluit van de gemeente het gebied gesloten wordt verklaard voor alle gemotoriseerde verkeer en via beschikking ontheffing te verlenen aan auto's die zijn toegerust met ISA. Daarnaast kan tevens ontheffing worden verleend aan bijvoorbeeld lijnbussen en bezorgingsverkeer. Deze oplossing verdient de voorkeur boven het hanteren van de mogelijkheid op grond van artikel 15 van de wegenverkeerswet om het gebruik van de wegen in het ISA-gebied te beperken tot één of enkele categorieën weggebruikers. In die variant kan immers onduidelijkheid ontstaan over de definitie van de categorie 'auto met ISA'. Benadrukt is, dat de geslotenverklaring tijdig - nog vóór de verkoop of verhuur van de woningen in het betreffende gebied - plaatsvindt. Potentiële bewoners moet bovendien aantoonbaar gewezen zijn op de geslotenverklaring en de gevolgen ervan, om het met succes aantekenen van bezwaar achteraf te voorkómen.

De aansprakelijkheid voor de toekomstige deelnemers aan een pilot dient zodanig te worden afgeregeld, dat de deelnemers zelf geen risico's lopen als gevolg van hun deelname. Daarnaast dienen ook heldere afspraken te worden gemaakt met de leveranciers van de ISA-apparatuur over de aansprakelijkheid.

In de voorgestelde opzet van de pilot is sprake van registratie van gedragingen van deelnemende voertuigen ten behoeve van begeleidend evaluatie-onderzoek. Er zal volstrekt voor moeten worden gewaakt, dat geregistreerde gegevens kunnen worden herleid tot personen. Zelfs het herleiden van gegevens tot kentekens is al te veel. Er dienen dus op dit punt garanties te worden ingebouwd tegen schendingen van de wet op de privacy.

Hoe ziet een optimale pilot er organisatorisch uit en wat zijn de kosten die ermee gemoeid zijn?

Op hoofdlijnen zijn de volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor een in Tilburg uit te voeren pilot:

- De doelstelling van een in te richten pilot is tweeledig:
 - a. Het bevorderen van de acceptatie van en vergroten van het draagvlak voor het instrument ISA door in de praktijk de werking ervan zichtbaar te maken en te laten ervaren door gebruikers
 - b. Het vaststellen van de effecten van ISA in een praktijksituatie, voor zover dit in de Tilburgse situatie mogelijk is

Deze doelstelling levert randvoorwaarden voor de vereiste kwaliteit van een praktijkimplementatie van ISA. O.a. is voor a. essentieel, dat een mislukking van het project uitgesloten wordt. Voor a. zowel als b. is van belang, dat een substantieel aantal

deelnemers voor de pilot wordt gevonden. De inzet is om in de eindfase van het project 600 ISA-rijders in de wijk te hebben.

- De pilot wordt in fasen ingericht, waarbij parallel aan de gefaseerde bouw van de betreffende wijk het aantal exclusieve ISA gebieden en het aantal deelnemers toeneemt. Dit impliceert een duur van de pilot van minimaal vier à vijf jaar (1997 t/m 2001).
- In de pilot is sprake van twee belangrijke op elkaar af te stemmen sporen. Het technische traject betreft het ontwikkelen en testen van de ISA, aanleg van wegkantapparatuur en centrale, en uitrusten van voertuigen met de on board units; Het maatschappelijke traject betreft de op maatschappelijke inbedding van de pilot gerichte activiteiten, waarbij een uitgebreide set van goed geplande communicatie- en voorlichtingsactiviteiten wordt ontwikkeld.

In de haalbaarheidsstudie is een globale raming gemaakt van met name de kosten die gemoeid zijn met het bovengenoemde technische en maatschappelijke traject van een pilot:

Uitontwikkelen en testen van de ISA, inzetten van 600 lease-auto's die zijn uitgerust met de ISA on-board-unit, inrichting van de wegkantvoorzieningen (centrale, toegangs- en pas-seerpunten), communicatie, voorlichting en PR, monitoring en begeleidende evaluatie. Het hiervoor geschatte bedrag komt uit op circa 28 miljoen gulden. Hierin zijn niet opgenomen de specifieke kosten die gemoeid zijn met de inrichting van de exclusieve ISA-gebieden en de eventuele herstelkosten na afloop van de pilot.

Tot slot

De besluitvorming naar aanleiding van de resultaten van de haalbaarheidsstudie was nog niet afgerond ten tijde van het schrijven van dit paper. Of en zo ja in welke opzet daadwerkelijk een pilot zal worden gestart is daarom nog een onbeantwoorde vraag. De minister heeft de Tweede Kamer laten weten dat uitvoering van een pilot afhankelijk is van inbedding in een Europees samenwerkingsverband en actieve bijdrage vanuit het Nederlandse bedrijfsleven. Vanuit het departement zijn acties in gang gezet om deze voorwaarden vervuld te krijgen. Een definitief besluit wordt in oktober verwacht.

Buisleidingentransport:

Een technologische oplossing voor een verkeers- en milieuprobleem

Auteur:

ir. J.G.S.N. Visser (presentatie)

ir. A.J. van Binsbergen

Technische Universiteit Delft

Onderzoeksinstituut OTB

Thijsseweg 11

2629 JA Delft

tel: 015-278 3005

Samenvatting

Het binnenlandse goederenvervoer is nagenoeg volledig afhankelijk van het vervoer over de weg. De introductie van intermodaal korte afstandsvervoer als alternatief voor het wegvervoer biedt belangrijke maatschappelijke voordelen. Ontwikkelingen als stadsdistributie, korte afstandrailvervoer (RDN), en dergelijke kunnen bijdragen tot een ontkoppeling van lokale/regionale distributie en interlokaal of interregionaal transport.

De paper is ingegaan op de laatste schakel van nieuwe intermodaal vervoersconcepten op de korte afstand, namelijk de distributie van goederen in steden. Het betreft de duurste en meest vervuilende schakel in transport. Buisleidingtransport (BLT) is een toekomstige optie en biedt mogelijkheden om de maatschappelijke voordelen van ondergronds vervoer te combineren met de economische voordelen van transportautomatisering. Bij transportautomatisering wordt het mogelijk om goederen direct en terstond vanuit het distributiecentrum te leveren bij de winkel c.q. klant. Het verlies aan tijd als gevolg van de overslag kan worden gecompenseerd door een snellere beleving. Automatisering leidt tevens tot kostenbesparingen.

Er zijn momenteel geen buisleidingtransportsystemen die kunnen worden gebruikt voor stedelijke distributie. De technologie is wel beschikbaar. Door middel van demonstratieprojecten zal de techniek moeten worden getest in de praktijk.

Intermodale distributie zal een belangrijke ruimtelijke consoliderende werking hebben. Ruimtelijke concentratie is wel een belangrijke voorwaarde. Intermodale distributie zal een belangrijke functie kunnen hebben bij het verbeteren van het verblijfsklimaat in en versterken van de economische functie van de binnenstad.

Probleemstelling

Buisleidingtransport (BLT) is een interessant transportmiddel. De bekende toepassingen zijn vloeistof- en gastransport, buizenpost en capsuletransport van ertsen. In Nederland en daarbuiten wordt steeds maar nagedacht om buisleidingtransport te gaan toepassen voor het transport van stukgoederen (OLS, UTP, DTO), bijvoorbeeld voor de distributie van goederen in stedelijke gebieden.

Er zijn twee belangrijke drijfveren voor de ontwikkeling van een BLT in een stad. De eerste drijfveer is het behoud en versterking van de economische (winkel-)functie van binnensteden ondanks de toename van de problemen omtrent bereikbaarheid en leefbaarheid in relatie tot het stedelijk goederenvervoer. Deze functie staat onder druk door de groei van de winkelvoorraad in steden met name in winkelcentra aan de rand van stad en de afnemende bereikbaarheid van binnensteden. Momenteel is er een constante dreiging dat de beter bereikbare winkelvoorzieningen, bijvoorbeeld aan de rand van de stad zich ontwikkelen ten koste van het kernwinkelgebied in de binnenstad.

Een BLT kan ruimtelijk consoliderend werken voor de winkelstructuur in steden.

Ondergrondse distributie draagt bij tot het aantrekkelijk maken van het verblijfsklimaat en een betere bereikbaarheid van binnensteden. Hiermee kan worden voorkomen dat activiteiten als winkelen verder naar buiten verplaatsen.

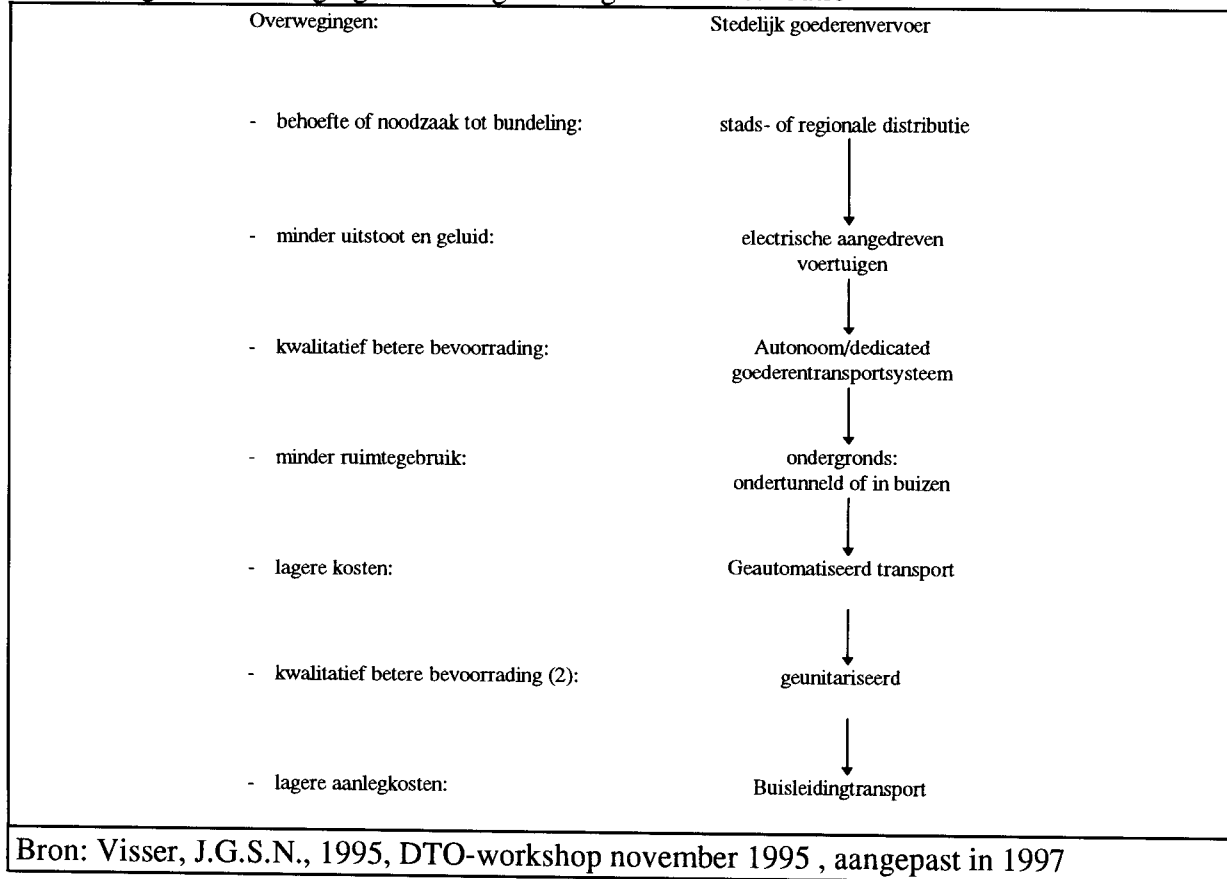
De tweede drijfveer bestaat uit de behoefte aan toepassing van nieuwe technieken, zoals bijvoorbeeld transportautomatisering. Het toepassen van nieuwe technieken kan leiden tot een betere logistieke prestaties en kostenvoordelen. Gezien het feit dat het 'stedelijke' traject naast de meest vervuilende schakel van de distributieketen ook de duurste schakel van het transport vormt is het aannemelijk dat hier wordt gezocht naar kostenvoordelen. Transport-automatisering kan zo'n drijfveer zijn.

Ondanks dat er een neiging bestaat om aan grotere buisdiameters (3,5 meter en groter) te denken, zijn juist de kleinere buisdiameters met een interne diameter van ongeveer 1 tot 2,5 meter interessant. Deze zijn aanzienlijk goedkoper in aanleg dan grotere buisdiameters en zijn gemakkelijker ruimtelijk in te passen. Daarentegen vergen deze aanpassingen in de logistiek van goederen (nieuwe, en kleinere gestandaardiseerde laadeenheden) en worden de kostenvoordelen en ruimtebesparingen teniet gedaan indien meerdere buizen naast elkaar moeten worden geboord.

Er zijn geen concrete voorbeelden van een dergelijke toepassing te vinden, noch bestaat er een transportstelsel dat geschikt is om direct in een buisleiding te worden toegepast. Dit betekent dat deze moet worden ontwikkeld, uitgetest en worden toegepast.

Keuze voor stedelijk of regionaal goederenvervoer

In de DTO-studie is gekozen voor de uitwerking van stedelijk of regionaal goederenvervoer. Hiervoor zijn verschillende argumenten aan te voeren. Het belangrijkste argument is dat voor deze vorm van transport nauwelijks of geen alternatieve modaliteiten voorhanden zijn. Voor het lange afstandvervoer kan intermodaal vervoer per spoor of per binnenvaart een alternatief zijn. Dit is niet het geval bij korte afstandvervoer, zoals de bevoorrading van winkels en horecagelegenheden. Het huidige vervoer binnen steden is weinig efficiënt o.a. door een lage beladingsgraad (maximaal 50 procent) en de onregelmatige, lage snelheid.

Afbeelding Overweging tot ondergrondse goederendistributie**Stedelijke of regionale distributie**

Door middel van bundeling kan de efficiëntie van het huidige transport worden verbeterd. Omdat de herkomsten van de transporten naar de stad verschillend zijn, ligt het voor de hand om aan de rand van de stad of regio een overslagpunt te creëren waar goederen worden overgeslagen en gebundeld per bestemming om vervolgens naar de eindbestemming te worden vervoerd.

Door een min of meer centrale regie kan de voertuiginzet worden geoptimaliseerd, waardoor minder voertuigkilometers worden gemaakt.

Electrisch aangedreven voertuigen

Het voertuig waarmee de goederen worden vervoerd moet per eenheid prestatie een lagere aantasting van de leefomgeving met zich meebrengen (minder emissies en minder geluid) en minder energie- en grondstoffenverbruik. De toepassing van electrische voertuigen draagt hiertoe bij.

Autonoom/dedicated goederentransportsysteem

De kwaliteit van de bevoorrading moet worden verbeterd. De impuls van nieuwe weginfrastructuur aan een toename van het autogebruik wordt onacceptabel geacht. Om deze reden is het logisch te kiezen voor een aparte (autonoom/dedicated)infrastructuur voor goederentransport. Aparte banen voor het goederentransport verbeteren de betrouwbaarheid en de snelheid van het transport.

Ondergronds

De schaarste aan ruimte in stedelijk gebied zal ertoe dwingen dat bepaalde functies ondergronds zullen verdwijnen. Goederentransport is mogelijk een van deze functies waar dit voor zal gelden. Een vergelijking met de huidige nutsvoorzieningen dringt zich op.

Geautomatiseerd transport

Doordat het transport in een afgescheiden ruimte plaatsvindt wordt het mogelijk het transport te automatiseren. Hierdoor kunnen kostenbesparingen worden gerealiseerd.

Geunitariseerd transport

Vervoer in kleinere en frequentere zendingen en behoeften aan sneller maar vooral betrouwbaarder vervoer maakt het nodig om daarbij te kijken naar unitarisering van het transport. De kostenbesparing door middel van automatische voertuigbesturing vermindert de noodzaak tot bundeling van goederen voor verschillende bestemming. Het transport kan worden geunitariseerd. Het voordeel daarvan is dat direct wordt geleverd.

Buisleidingstransport

Unitarisering van het transport leidt tot kleinere zendinggroottes. Kleinere ladingdragers worden hierdoor mogelijk. Dit maakt de weg vrij voor toepassing van kleinere buisdiameters. Toepassing van kleinere buisdiameters leidt tot besparing van aanlegkosten.\

Ondergrondse aanleg

De volgende overwegingen spelen rol bij de keuze voor een ondergrondse aanleg van een BLT:

Ruimtebeslag

Een ondergrondse BLT heeft een bescheiden direct ruimtegebruik maar wel een indirect ruimtegebruik. De bovengrondse ruimte kan worden benut voor stedelijke activiteiten. Dit biedt mogelijkheden voor de stedelijke inrichting. Bovengronds is in veel stedelijke gebieden de ruimte niet meer aanwezig.

Leefomgeving

De leefomgeving wordt minder aangetast. Een ondergrondse BLT produceert minder lawaai dan een bovengrondse BLT (bij bepaalde BLT-systemen speelt dit een rol). Daarnaast zijn bij ondergrondse aanleg geen voorzieningen nodig om de fysieke hinder van een buisleiding te beperken.

Kruisingsvrij

Een ondergrondse BLT heeft meer vrijheden ten aanzien van het tracé dan bovengronds. Deze vrijheid is echter beperkt omdat ook in de ondergrond obstakels aanwezig zijn. Deze vrijheid vertaalt zich in een gunstigere (kortere en vloeiende) baan met minder ongelijkvloerse kruisingen of zijwaartse uitwijkingen. Hierdoor zijn minder kunstwerken nodig (besparing van investeringskosten). Daarnaast heeft het een gunstige invloed op het energieverbruik en de verplaatsingssnelheid.

Kwetsbaarheid

Een bovengrondse BLT is kwetsbaarder voor schade van buitenaf.

Maatschappelijk draagvlak en weerstand

Vanwege de bescheiden invloed in kwantitatieve en kwalitatieve zin op het bovengrondse ruimtegebruik zal de realisatietermijn (besluitvorming en aanleg) korter kunnen zijn. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het draagvlak en de maatschappelijke weerstand sterk bepaald worden door de (negatieve) beïnvloeding van het bovengrondse ruimtegebruik. Oftewel: hoe minder men het werkt, hoe lager de weerstand. Anderzijds tellen de voordelen van het BLT systeem, namelijk een snelle en storingvrije bevoorrading mee bij de ontwikkeling van het benodigde maatschappelijke draagvlak.

Toegankelijkheid

Een ondergrondse BLT is minder toegankelijk dan een bovengrondse. Speciale verticale transportvoorzieningen zijn nodig (hellingen of liften). Dit werkt kostenverhogend (investerings- en exploitatiekosten). In de regel leidt dit tot minder (bovengrondse) aansluitingen.

Onderhoud en veiligheid

Een bovengrondse BLT is in geval van nood van buiten af beter bereikbaar. Bij een ondergrondse BLT zal daarom hogere eisen worden gesteld aan de veiligheid en de onderhoudsvrijheid van het systeem.

Deze argumenten spelen een rol bij de keuze voor een ondergrondse of bovengrondse BLT.

Stedelijke Distributie met behulp van buisleidingtransport

Twee alternatieven met buisleidingtransport zijn denkbaar:

- unimodaal van deur-tot-deur buisleidingtransport. Dit vergt een nagenoeg landelijk dekkend buisleidingnetwerk.
- intermodaal buisleidingtransport. Dit betreft een combinatie van interregionaal vervoer over de weg, rail of Combiroad) in combinatie met stadsdistributie.
- bimodaal buisleidingtransport. Dit betreft een voertuig die van meerdere infrastructuren gebruik kan maken, bijvoorbeeld weginfrastructuur en buisleidingen. Een voorbeeld hiervan is het Dual Mode-concept in Japan (Koshi, 1992).

Intermodaal transport wordt mogelijk indien een multimodaal netwerk voor goederenvervoer in en tussen stedelijke gebieden wordt ontwikkeld, d.w.z. dat naast traditioneel wegvervoer zowel binnen als buiten de stad bestaande of nieuwe modaliteiten worden gecombineerd (bijvoorbeeld railvervoer in combinatie met stadsdistributie in het concept Rail Distributie Nederland). Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van geautomatiseerd goederenvervoer door buizen in stedelijke gebieden en over aparte banen of per spoor tussen stedelijke gebieden.

Het Interdepartementaal onderzoeksprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO) richt zich op het uitzetten van implementatietrajecten voor duurzame technologieën teneinde deze technieken te kunnen toepassen in het jaar 2040. Een van de thema's betreft buisleidingtransport. Heidemij, DHV en TRAIL hebben studies uitgevoerd voor DTO waaruit blijkt dat goederenvervoer door buizen in stedelijk gebied mogelijk een duurzaam alternatief is voor het traditionele stedelijk goederenvervoer.

Buisleidingtransport (BLT), zoals dat in DTO-verband is uitgewerkt betreft een netwerk van ondergrondse, of deels bovengrondse buisleidingen voor goederenvervoer in stedelijk gebied. Het betreft een dedicate systeem. Dit betekent dat de infrastructuur niet wordt gedeeld met bijvoorbeeld personenvervoer. De buisleidingen zijn geschikt voor het transport van

laadeenheden ter grootte van ongeveer een pallet of kleiner. De diameter is, afhankelijk van de maten van de gekozen laadeenheid en transportsysteem tussen de 1-1.4 meter, gebaseerd op een collomodule (bijvoorbeeld 125x60x60 (lxbxh)) of tussen de 2-2.4 meter bij een 80x120 pallet (125x125x125).

De goederen worden geunitariseerd (d.w.z. in kleine standaardeenheden, bestemd voor één adres) getransporteerd met behulp van een geautomatiseerd transportsysteem. Bij BLT worden de zendingen dus niet gebundeld met zendingen voor meerdere bestemmingen. Dit is dan ook een belangrijk verschil met traditionele stadsdistributie, waarbij zendingen voor een groot aantal adressen worden gebundeld. Als transportsysteem kan worden gedacht aan bandtransporteurs, automated guided vehicles (agv's), multitrailer agv's of capsuletransport. Het BLT bestaat verder uit multimodale terminals op logistieke bedrijfsterrainen die toegang bieden tot het BLT en waarbij allerlei logistieke activiteiten plaatsvinden (Value Added Logistics), Logistieke Stadsparken (LSP's) geheten. De bestemmingen, zoals winkelcentra, warenhuizen en dergelijk hebben aansluiting door middel van een kleine terminal, waar de goederen tijdelijk kunnen worden opgeslagen, afgehaald of daar vanuit beleverd, WDW's (WijkDistributieWinkels) in de DTO-studie genoemd.

Voor het netwerk zijn verschillende structuren mogelijk. Ringvormige of stervormige structuren zijn eenvoudig van opzet. Webstructuren zijn complexer en vergen daardoor om complexere besturingsystemen. De voor- en nadelen van diverse netwerkstructuren zijn reeds in andere studies aangegeven.

Een ondergrondse BLT heeft maatschappelijke voordelen, zoals minder overlast aan de omgeving (geluid, uitstoot, hinder, verkeersonveiligheid), en minder ruimtegebruik. Daarnaast zijn er energiebesparingen te verwachten:

<i>Energiebesparingen</i>	<i>Logistieke voordelen</i>
kruisingsvrij en dus ongehinderd transport elektrische aandrijving	efficiënt door bundeling van stromen betrouwbaarder (uitschakeling van externe invloeden)
centrale order assignment dus optimale voertuiginzet	stuurbaar door volledige procesbeheersing
kleinere voertuigeenheden geconditioneerde omstandigheden	24-uurs dienstverlening niet afhankelijk van venstertijden kostenbesparing door automatisering van overslag en transport

De aanleg van de ondergrondse infrastructuur vergt waarschijnlijk meer energie dan bij bovengrondse aanleg. Dit aspect dient in de energievergelijking te worden meegenomen.

De vergelijking van de investeringen en de exploitatiekosten van wegtransport, stedelijke distributie en BLT geven enige indicatie van de kosten. Wegtransport is relatief goedkoop omdat de weginfrastructuur wordt gedeeld met andere weggebruikers. Op deze wijze hoeft de vervoerder niet volledig de kosten van de infrastructuur te dragen. Een punt van discussie betreft de externe kosten (geluid, emissies, enzovoorts). Wegtransport wordt naar verwachting duurder indien de externe kosten worden geïnternaliseerd.

De kosten zijn niet helemaal vergelijkbaar omdat bij het wegvervoer de infrastructurele kosten moeilijk toe te delen zijn als gevolg van het medegebruik door ander verkeersdeelnemers. Bij het BLT zijn de infrastructuurkosten wel meegenomen.

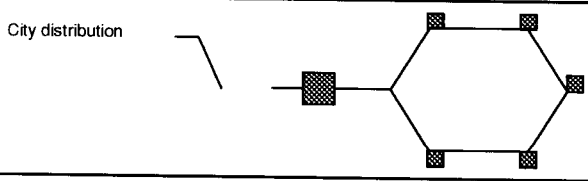
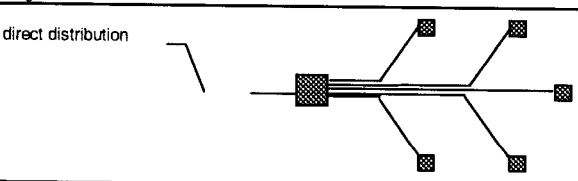
<i>prijsniveau 1996 [mln gulden]</i>	<i>direct transport</i>	<i>stadsdistrib. bij autonome ontw.</i>	<i>BLT met kleine buisdiameter</i>	<i>BLT met grote buisdiameter</i>
investeringen	*	300	850	1100
exploitatiekosten	136	170	136	170
exploit.kost per volume-eenh. [fl./m3]	16,-	25,-	18,-	17,-

* toerekening van de infrastructurele investeringen is niet mogelijk vanwege het medegebruik van de infrastructuur. Deze kosten zijn indicatief.

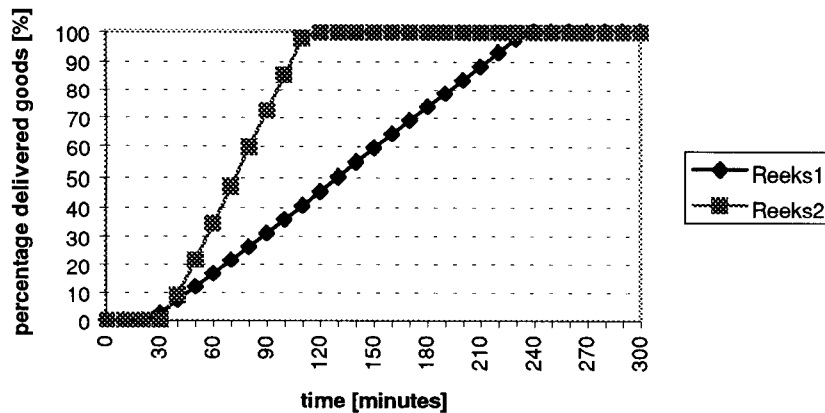
Een capaciteitsberekening van een verbinding is opgesteld om een indicatie te krijgen van de capaciteit van een BLT. Met behulp van de Brick-wall methode (DHV/TRAIL, nog te verschijnen) is vastgesteld dat overnemen een verbinding in het BLT-systeem een optimale transportcapaciteit van ongeveer 1550 voertuigeenheden per uur bij een transportsnelheid tussen de 12-18 km/uur. De capaciteit is voldoende voor 27000 leveringen in 18 uur. Een BLT zal mogelijk meer dan één verbinding omvatten. Ondanks dat het een ruwe berekening betreft en niet alle invloedsfactoren zijn meegenomen geven deze cijfers een indicatie.

Het BLT is niet geschikt voor alle goederen, de te vervoeren goederen worden beperkt o.a. door de buisdiameter. Goederen, als witgoed kunnen niet met een BLT worden vervoerd. Mogelijk kunnen beperkingen zijn ten aanzien van het vervoer van gevaarlijke goederen, of VVV-(vies, vers, vervelend, volumineus). Deze goederen kunnen enkel worden vervoerd met speciale voorzieningen of onder specifieke condities.

Het voordeel van het BLT, dat zendingen direct naar de bestemming gaan kan worden aangegeven met een rekenvoorbeeld. In dit rekenvoorbeeld wordt aangegeven binnen welke tijd welk deel van de zendingen bij de bestemming aangekomen zijn. De volgende gegevens worden gebruikt.

<i>Bij stadsdistributie</i>	<i>Bij BLT</i>
	
<ul style="list-style-type: none"> • 20 minuten laden • 5 minuten heen/terug van het SDC naar het winkelcentrum • 2 minuten lostijd per adres • 15 km/uur rijdsnelheid • 0,5 km/levering 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 km/uur (gemiddeld) snelheid • 1 minuut opvolgtijd • 1,5 colli per zending • 3 km afstand (gemiddeld) tussen LSP en klant • 15 minuten (gemiddeld) van WDW naar klant

Afb. 1 Levertijd van goederen [minuten]



reeks 1 = stedelijke distributie

reeks 2 = BLT

Een BLT heeft gemiddeld kortere aflevertijden dan stadsdistributie. Eventuele reistijdsverliezen door overslag kunnen hierdoor worden gecompenseerd.

Een BLT is betrouwbaarder door de uitsluiting van externe factoren als congestie en weersinvloeden in combinatie met de volledige beheersbaarheid van het transportproces. Een BLT is echter kwetsbaar voor systeemfouten. Het gebrek aan alternatieven (zoals alternatieve routes) vermindert de betrouwbaarheid in noodsituaties.

Een BLT biedt 24-uurs service en kan een gedifferentieerde dienstverlening aanbieden (direct, op aanvraag, of buiten de piekuren). De flexibiliteit wordt echter beperkt door bij de beschikbaarheid aan infrastructuur. In het begin zal een buisleidingennetwerk niet fijnmazig zijn.

Een BLT heeft verschillende voordelen boven traditionele stedelijke distributie over de weg en kan daarom een component zijn in het korte afstand intermodale transport. Het volgende hoofdstuk beschrijft de ontwikkeling van het huidige buisleidingtransport.

Substitutie door Buisleidingtransport

Relatief een groot deel van de leveringen wordt geleverd vanuit de groothandel (1) en distributiecentra van fabrikanten, importeurs, filiaalketens en logistieke dienstverleners (2).

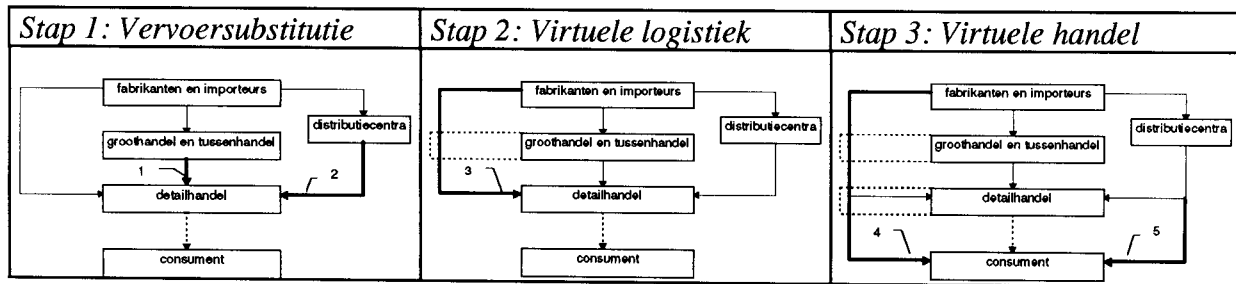
Dit transport vindt voor honderd procent over de weg plaats. Een BLT kan een deel van het huidige transport substitueren of een deel van de groei in deze goederenstroom op zich nemen (stap 1).

Herkomst van afleveringen (aandeel in leveringen) per branche

[procenten]	<i>verse food</i>	<i>kruideniers- waren</i>	<i>modische artikelen</i>	<i>duurzame artikelen</i>
via fabrikant	8,8	34,9	21,1	43,1
via groothandel/ importeur	74,8	43,8	76,2	51,7
via DC's	16,4	21,3	2,7	5,2
totaal	100	100	100	100

Bron: bewerking HBD, 1995

Mede door de ontwikkeling van telematica biedt BLT de mogelijkheid voor de groothandel logistieke functies af te stoten en goederen rechtstreeks van de fabrikant/importeur bij de detailhandel (3)levert (stap 2). De volgende stap (stap 3) kan zijn dat goederen aan huis bij de consument wordt beleverd (4 en 5) doordat de detailhandel logistieke functies afstoot. De detailhandelsvestiging heeft dan enkel een balie- en etalagefunctie.



Met de huidige inzichten en gegevens is enkel berekeningen te maken voor stap 1.

Met de huidige gegevens is het niet eenvoudig buisleidingtransport als onderdeel van een intermodaal stedelijke distributie. Bij deze berekening wordt daarom enkel het unimodaal BLT-systeem doorgerekend en wel met de twee buisdiameters (1.0-1.2 meter en 2.0-2.2 meter)

Het HBD schat dat in totaal jaarlijks 1.572.700 km verreden wordt met 47,8 mln ton goederen ten behoeve van de bevoorrading van de detailhandel in Nederland. De bevoorrading van de detailhandel beslaat zo'n 30 procent van het totale kilometrage van het binnenlands vervoer.

Verzameltabel

<i>Nederland, 1994</i>	<i>verse food</i>	<i>kruideniers</i>	<i>modische</i>	<i>duurzame</i>	<i>totaal</i>
		<i>waren</i>	<i>artikelen</i>	<i>artikelen</i>	
vestigingen	25.787	14.779	19.565	46.738	106.869
inkoopwaarde	16,7	50,8	21,7	38,8	128,1
goederen[mld gld/jaar]					
leveringen [#mln/jaar]	6,8	7,7	6,7	20,2	41,4
gewicht [mln ton/jaar]	22,7	19,0	1,0	5,2	47,8
gereden afstand [mln km/jaar]	185,8	182,8	120,1	1.084,0	1.572,7

Bron: HBD, 1995

Tabel Aandeel goederenvervoer met bestemming detailhandel in het totale binnenlandse goederenvervoer

	<i>totale binnenlandse goederenvervoer over de weg</i>	<i>aandeel van het goederenwegvervoer met bestemming detailhandel</i>
afgelegde afstand [mln km/jaar]	3.700	30-35 %
gereden ritten [mln ritten/jaar]	37,9	7-10 %
vervoerd gewicht [mln ton/jaar]	393,4	12-15 %

Bron: HBD, 1995

Voor buisleidingtransport geschikte goederen zijn met name:

- tijdkritische goederen
- goederen met een hoge waardedichtheid (hoge betalingsbereidheid)
- goederen met een hoog kilometrage

Zelf opgehaalde goederen komen mogelijk niet voor buisleidingtransport in aanmerking komen. Achtergrond hiervan is dat een groot deel van deze goederen worden zelf worden opgehaald omdat de rit wordt gecombineerd met bijvoorbeeld inkopen. Een onbekend deel van het zelf ophalen is mogelijk wel geschikt.

Zelf ophalen

	<i>verse food</i>	<i>kruideniersw</i>	<i>modische</i>	<i>duurzame</i>	<i>totaal</i>
		<i>aren</i>	<i>artikelen</i>	<i>artikelen</i>	
ritten [mln ritten/ jaar]	2,54	0,35	0,59	1,89	5,37
gereden afstand [mln km/jaar]	141,3	11,1	96,3	133,3	382,0
percentage van alle leveringen	37,4 %	4,6 %	8,8 %	9,4 %	13,0 %

Bron: HBD, 1995

In de DTO-studie (DHV/TRAIL, 1996) wordt gesteld dat circa 25 procent van de beschouwde goederen “moeilijk hanteerbaar” zijn vanwege aanvullende condities met betrekking tot koeling, ruimtebeslag, positionering, handling, gevoeligheid en veiligheid.

Buisdiameter 1-1,2 meter 72 procent van de goederen (in eenheden)

buisdiameter 2-2,2 meter 93 procent van de goederen (in eenheden)

De Coopers & Lybrandstudie (Aken e.a., 1993) concludeert dat 10 procent behoort tot de categorie vies, vers, vervelend en 30 procent is groter dan 1 m³. Tot de 30 procent van goederen die groter dan 1 m³ zijn worden ook volle pallets of rolcontainers gerekend. In de DTO-studie wordt geconcludeerd dat deze zijn opgebouwd uit kleinere verpakkingseenheden. Deze kunnen in kleinere laad- of transporteenheden worden vervoerd.

Als aanname wordt nu gehanteerd dat zeventig procent van de leveringen fysiek geschikt is om per BLT te worden vervoerd.

Logistieke en marktstrategische factoren kunnen eveneens een rol spelen. Bijvoorbeeld het tarief of de vervoersprestaties van een BLT sluit niet aan bij de wensen van de verlader of aanleverende vervoerder. Bijvoorbeeld een belangrijk aandeel van het vervoer wordt door de leverancier verzorgd (zie Heidemij, 1995). De reden die veelal wordt genoemd is dat een beroepsvervoerder niet de dienstverlening en de kwaliteit biedt die men voor het goed of de de bedrijfsvoering gewenst is. Daarnaast is het mogelijk dat men om marktstrategische redenen, bijvoorbeeld omdat men een BLT als een concurrent ziet, geen gebruik wil maken van een BLT.

Aandeel vervoerders per branche over het totaal aantal leveringen in Haarlem

<i>In procenten</i>	<i>Modisch</i>	<i>niet-modisch</i>	<i>horeca</i>	<i>overig</i>	<i>kantoren</i>	<i>totaal</i>
zelf	3,3	13,3	21,0	5,0	0,9	12,9
keten	32,4	8,8	1,7	0,0	25,5	10,9
beroepsverv.	64,3	56,2	9,8	45,8	63,9	48,5
leverancier	0,0	21,8	67,5	49,2	9,6	27,8

Bron: Heidemij, 1995

Hoe groot dit aandeel zal zijn is op dit moment onmogelijk in te schatten. Het hangt tevens van een groot aantal maatschappelijke factoren af. We stellen het aandeel dat om logistieke of marktstrategische redenen niet voor buisleidingtransport in aanmerking komt ter indicatie op 10 procent van alle leveringen.

De referentiesituatie (1994) wordt vergeleken met toepassing van een kleine buissysteem en een grote buissysteem. Aan de hand van de berekende jaarlijkse kilometrages kan tevens het energieverbruik worden berekend.

Ten aanzien van de kilometrages (2e kolom) is op te merken dat het kilometrage met een BLT aanmerkelijk hoger ligt. Daarenten is het energieverbruik aanmerkelijk lager. Bij beide systemen is de energiebesparing ongeveer 50%. Indien we de energieverbruik per levering bekijken dat er een besparing van ongeveer 92 procent optreedt bij belevering met een BLT.

	<i>kilometers [mln km/jaar]</i>	<i>E-verbruik [mln MJ/jaar]</i>	<i>E.verbr/levering [MJ/levering]</i>
totaal over de weg (ref.situatie)	1572,7	10545	255
restant over de weg	714,42	4790	242
vervangen door BLT	858,28	5755	266
BLT-km's kleine buis	8938	447	21
BLT-km's grote buis	1915	383	18
Besparing kleine buis	-514%	50%	92%
Besparing grote buis	-67%	51%	93%

De volgende energiefactoren zijn gebruikt:

<i>factor energieverbruik wegvtg</i>	<i>modal split</i>	<i>energief.[mJ/km]</i>
personenauto	10%	3
bestelauto	62%	5
vrachtauto	27%	12
gemiddeld		6,705237
kleine BLT		0,05
grote BLT		0,2

Bepaling investeringsniveau

Er zijn drie belangrijke kostenposten, namelijk de investeringskosten, de exploitatiekosten en de logistieke kosten. Deze laatste groep bestaat uit investeringskosten en kosten tijdens de exploitatie in apparatuur en arbeid in het logistieke traject voor en na het buisleidingtransport. De toepassing van buisleidingtransport vraagt dusdanige logistieke veranderingen in de keten dat hieraan naast baten ook aanmerkelijke kosten kunnen kleven. Kostenposten zijn bijvoorbeeld de aanschaf van BLT-laadeenheden en aanvullende op- en overslagsystemen.

Kengetallen

Bij een buisdiameter kleiner dan 3 meter is het voor de hand liggend om de buis te persen.

In de DTO-studie worden de volgende kostencijfers gehanteerd voor een geperste buis:

buisleiding diameter 1,2 meter 7000,- fl/m'

buisleiding diameter 2,2 meter 18000,- fl/m'

De kosten zijn in deze studie vrij hoog ingeschat omdat in dat geval de buis in stedelijk gebied moet worden gelegd en de bouwputten zijn meegerekend. In de OLS-studie wordt bijvoorbeeld voor een buisdiameter van 2,85 m een prijs gerekend tussen de 7000 en 9000 gulden per m'.

Bij een geperste buis moet om de kilometer een bouwput worden gerealiseerd. De kosten hiervan zijn 750 fl/m³. Een bouwput is ongeveer 150 m² met een diepte van 15 m. De kosten per bouwput zijn dus: $750 \times 150 \times 15 = 1.687.500$ fl. per bouwput. Per m' is dit dus ongeveer 1700 fl.

Volgens de DTO-studie kosten een BLT-terminal 100 mln gulden. Voor een wijkterminal wordt in de DTO-studie gerekend met 5 mln gulden.

In de DTO-studie wordt uitgegaan van 25.000 gulden per voertuig bij 1,2 meter buisdiameter en 100.000 gulden per voertuig bij 2,2 buisdiameter. Deze kosten liggen echter te hoog.

Ter indicatie van de exploitatiekosten kan worden gemeld dat in de DTO-studie deze kosten over 20 jaar ongeveer 15 % van de investeringskosten bedragen.

Indien het aantal terminals en de totale netwerklengte bekend is kan een investeringsberekening worden gemaakt.

Ontwikkeling van buisleidingtransport

Ontwikkelingen op het gebied van ondergrondse transportsystemen vinden plaats in de Verenigde Staten, Japan en het Verenigd Koninkrijk. Een groot deel van deze projecten heeft betrekking op ondergrondse transport-systemen met een buisdiameter groter dan 2.5 meter. Bijvoorbeeld in Londen vindt een studie (Metrofreight) plaats naar het gebruik van de ondergrondse verbindingen tussen postkantoren voor de distributie van goederen. In Japan wordt onderzoek verricht naar een eigen ondergrondse infrastructuur voor goederentransport met behulp van lichte vrachtauto's die onbemand door tunnels kunnen rijden (Dual Mode Truck). People moversystemen zijn in principe ook geschikt voor goederenvervoer. Uit navraag bij de producenten van dergelijke transportsystemen blijkt dat tot op heden geen belangstelling voor een dergelijke aanpassing te bestaan. Tevens zijn er diverse concepten ontwikkeld in de Verenigde Staten met betrekking tot capsuletransport van maritieme containers. De meeste projecten zijn vanwege de grotere buisdiameter in dit kader niet relevant.

Capsuletransportsystemen zijn transportsystemen die specifiek voor het transport door buisleidingen zijn ontwikkeld. De vorm van het capsulevoertuig is aangepast aan de maten en vorm van de buisleiding. Voor de beschrijving van deze techniek en de toekomstwaarde kan worden verwezen naar Visser en Van Binsbergen (1997). De conclusies voor de toepasbaarheid van deze technieken bij buisleidingtransport in stedelijk gebied zijn de volgende:

Hoge snelheden zijn voor toepassing in stedelijk gebied niet relevant, vooral vanwege de korte afstanden. De voordelen van een verlaagde druk capsuletransportsysteem kunnen dus niet worden benut. De toepassing van capsuletransport in stedelijk gebied is dus niet afhankelijk van de ontwikkeling van deze technologie.

De bestaande pneumatische capsuletransportsystemen hebben een te beperkt bereik en een te lage capaciteit. Daarnaast produceren deze veel geluid bij toepassing in grotere buis-diameters

(1 meter). Elektrische aandrijving ligt voor de hand. De LIM of LSM aangedreven capsule-transportssystemen zijn qua snelheid en capaciteit geschikt voor toepassing in stedelijk gebied. Om de ruimte in een kleine diameter buis zo goed mogelijk te benutten zal de vorm van het voertuig de vorm van een capsule benaderen. De keuze voor het type LIM of LSM-aandrijving wordt bepaald door het logistieke concept van het BLT-systeem. Indien het BLT door de intensiteit van de voertuigen de karakteristieken heeft van bijvoorbeeld een bagage-afhandelingsysteem dan zal worden gekozen voor een externe aandrijving. Bij een lagere frequentie zal toepassing van interne aandrijving meer voor de hand liggen. De plannen met betrekking tot het Ondergronds Logistiek Systeem (OLS) Schiphol zijn de betreffen de meest concrete plannen op dit gebied in Nederland. Ondanks dat deze vorm van ondergronds transport geheel andere dimensies en toepassing zal kennen, zal dit project een belangrijke trekkersrol fungeren in de ontwikkeling van de buisleidingtransporttechnologie.

Gevolgen voor de ruimtelijke structuur en verkeer en vervoer

Buisleidingtransport ten behoeve van stedelijke distributie veronderstelt een ruimtelijke bundeling van de goederenstromen. Dit betekent een ruimtelijke concentratie van logistieke activiteiten (de herkomsten en de tussentijdse bestemmingen van de goederenstromen) en een zekere mate van concentratie van winkel-, kantoren en horecagelegenheden (bestemmingen van de goederenstromen). Ruimtelijke concentratie is nodig voor een goede bediening met het BLT vanuit de genoemde WDW's. Aan de bestemmingszijde wordt hieraan reeds voldaan (winkelcentra, kantorenparken, uitgaanszones). Hierdoor zijn de WDW's te integreren in de huidige winkelcentra.

Aan de herkomstzijde is echter nog nauwelijks sprake van ruimtelijke concentratie (LSP's) op lokaal of regionaal niveau. Ruimtelijke concentratie van logistieke activiteiten, gericht op distributie op een of meerdere bedrijventerreinen, bijvoorbeeld met mogelijkheid tot spoor-aansluiting, vindt in Nederland onvoldoende plaats. In Duitsland, Engeland en Italië zijn interessante voorbeelden hiervoor te vinden. Het concentreren van logistieke activiteiten nabij infrastructurele voorzieningen is per definitie essentieel voor een goede ontsluiting. Tegen de regel wordt in de praktijk nog al eens gezondigd.

De combinatie van concentratie van logistieke dienstverleners, transportbedrijven en vervoers-intensieve bedrijvigheid op een bedrijventerrein, een railterminal en een stadsdistributiecentrum of bedrijven die stadsdistributie verrichten is voor het intermodale stedelijke distributiekoncept een noodzakelijke ontwikkeling.

Een ondergronds distributiesysteem maakt de weg vrij om de bovengrondse openbare verkeersruimte te herinrichten. De inrichting van winkelstraten en horecagebieden is nu afgestemd op het ontvangen van vrachtauto's. Door het verdwijnen van de vrachtauto uit het straatbeeld wordt het mogelijk deze in te richten voor voetgangers.

De bereikbaarheid voor het vrachtverkeer vormt momenteel nog een belangrijke beperking voor de ontwikkeling van autoluwe zones.

Een BLT kan ruimtelijk consoliderend werken voor de winkelstructuur in steden. Momenteel is er een constante dreiging dat de beter bereikbare winkelvoorzieningen, bijvoorbeeld aan de rand van de stad zich ontwikkelen ten koste van het kernwinkelgebied in de bestaet.

Ondergrondse distributie draagt bij tot het aantrekkelijk maken van het verblijfsklimaat en een betere bereikbaarheid van binnensteden.

Hiermee kan worden voorkomen dat activiteiten als winkelen verder naar buiten verplaatsen. Ondergronds transport vergt echter wel een driedimensionale ruimtelijke planning. Uit de huidige praktijkvoorbeelden van ondergronds bouwen blijkt dat de ondergrond in binnensteden al behoorlijk vol zit.

Een belangrijke vraag betreft de rol van de overheid bij de ontwikkeling een dergelijk systeem. Met behulp van het ruimtelijk beleid is het mogelijk om logistieke bedrijvenparken te creëren. Hier is dan ook een duidelijke rol voor de lokale of regionale overheid weggelegd. Bij ondergrondse distributie speelt de vraag (zie de ervaringen bij Ondergronds Logistiek Systeem Schiphol) of de infrastructuur door de overheid of door het bedrijfsleven moeten worden aangelegd en geëxploiteerd. Exploitatievormen zoals nu voor het spoorvervoer, waarbij de overheid de infrastructuur financiert, zijn denkbaar. Voorop staat dat buisleidingtransport een 'openbare' voorziening is en de exploitant geen monopolist wordt ten aanzien van het gebruik.

Buisleidingtransport: Een 'Technological Fix'?

De vraag is nu in hoeverre buisleidingtransport werkelijk een oplossing biedt of een zoveelste poging tot het vinden van een technologische oplossing voor een maatschappelijk probleem ('technological fix').

Tot op heden reageren de marktpartijen afwachtend positief. Het vooruitzicht van een speciaal voor het goederenvervoer gereserveerde infrastructuur, mogelijk ontwikkeld door de overheid en het nog onvoldoende bekend zijn van de 'ins' en 'outs' van dergelijke systemen verklaren zowel de afwachtende als de positieve houding van de marktpartijen.

Een dergelijke oplossing, een vijfde vervoersmodaliteit, veronderstelt een nieuw nagenoeg landelijk dekkend netwerk. Dit betekent dat vele honderden kilometers infrastructuur moet worden aangelegd. Aangezien we nu slechts enkele kilometers geperste tunnels per jaar boren, zal de boorcapaciteit fors opgevoerd moeten worden. Daarnaast zijn de investeringen enorm. Het is dan ook de vraag of de samenleving een dergelijke inspanning kan leveren en of vervoerders bereid zijn hiervoor te betalen.

Daarnaast betekent het gebruik van een dergelijk systeem door de verlader een forse reorganisatie van de logistiek, zowel de omvang en de lokatie van opslag, overslag, groupage en transport zullen moeten worden aangepast. Voor veel verladers zullen de baten daardoor niet opwegen tegen de kosten.

Een massale overstap naar buisleidingtransport, oftewel volledige substitutie is mogelijk niet te verwachten. De lijn der verwachting is eerder dat het toekomstige goederenstromen zal bedienen, en daardoor complementair zal fungeren aan bestaande modaliteiten.

Literatuur

Binsbergen, A.J., en Th.J.H. Schoemaker, 1993, **Morgen bezorgen, Distributie in stedelijke gebieden van morgen**, Delft (TU-Delft).

Centrum voor Transport Technologie, 1997, **Ondergronds Logistiek Systeem, hoofdrapport deel 1: definitiestudie**, Rotterdam (CTT-publicatiereeks 23).

DHV/TRAIL, nog te verschijnen, **Illustratieproces buisleidingen voor stedelijke distributie**, Amersfoort/ Delft.

EAC/TRAIL, 1996, **Research plan for an analysis of tactics for underground freight transport**, Delft.

Heidemij/TRAIL, 1996, **Definitiestudie buisleidingengoederentransport**, DTO, Delft.

Koshi, M., 1992, An automated underground tube network for urban goods transport, **IATSS research**, jrg. 16, nr 2, pp 50-56.

Schoemaker, Th.J.H., A.J. van Binsbergen, 1993a, 'Niet bij de pakken neerzitten: stedelijke goederendistributie in breed perspectief', **Proceedings Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 1993**, Rotterdam.

Visser, J.G.S.N., 1993, Bevoorrading van bedrijven in de binnenstad, in: Th.A.M. Reijs & P.T. Tanja (red.), 1993, **Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk -1993- Grenzen aan de vervoersplanologie**, Delft (C.V.S), 1175-1194.

Visser, J.G.S.N en A.J. van Binsbergen, 1997, Underground Networks for Freight Transport: A dedicated Infrastructure for Intermodal Short-Distance Freight Transport, in: **3th TRAIL PhD Congress**, Delft (TRAIL).

Visser, J.G.S.N. en A.J. van Binsbergen, nog te verschijnen, Naar een infrastructuur voor intermodaal stedelijk goederenvervoer, in: Nethur-studiedag **Steden van Morgen vanuit vervoersplanologisch perspectief**, Utrecht.

Beheersing van Railverkeersgeluid

Auteur:

ir. P. H. de Vos

NS Technisch Onderzoek

Concordiastraat 67

3551 EM Utrecht

tel: 030-235 3016

1. Het belang van railverkeersgeluid

Het milieuthema verstoring, waarin geluid (naast trillingen, stank, externe veiligheid en licht) een belangrijke plaats inneemt, vertoont nog een nauwelijks dalende lijn en wijkt daarmee af van de doelstellingen uit het NMP. Naast woongeluiden vormt het geluid van wegverkeer de belangrijkste bron van geluidhinder in Nederland. De voortdurend toenemende intensiteit van het wegverkeer en de druk op schaarse woningbouw-lokaties zijn mede aanleiding tot deze ongewenste ontwikkeling. De laatste jaren heeft ook de groei van het luchtverkeer tot een duidelijke toename van de hinder door lucht-vaartlawaai gezorgd. In vergelijking daarmee is de hinder door railverkeer bescheiden en is er ook nauwelijks sprake van een werkelijke toename. Wel wordt een dergelijke ontwikkeling gevreesd op het moment dat de grote infrastructurele projecten (Betuweroute, Noord Oostelijke Verbinding, Hoge snelheids lijnen Zuid en Oost) gerealiseerd zullen zijn en de verkeersintensiteit op deze nieuwe lijnen de ontwerp-waarde gaat benaderen.

Bij dezelfde geluidbelasting leidt railverkeer tot een duidelijk lager percentage geluidgehinderden dan wegverkeer, luchtvaart of industriële activiteiten. Verklaringen daarvoor kunnen worden gezocht in de spectrale samenstelling van het geluid, de aanwezigheid van stille periodes tussen de lawaaiige gebeurtenissen in, en de binding die de geluidgehinderde al of niet voelt met de veroorzaker van het geluid.

Ondanks al deze positieve aspecten is er geen reden tot juichen. Terwijl railvervoer ten opzichte van wegvervoer op een aantal aspecten (zoals energieverbruik, uitlaatgassen, en in elk geval veiligheid) nog duidelijk positief afsteekt, is dat bij het aspect geluid veel minder het geval. Terwijl personenauto's en vooral vrachtauto's de laatste decennia door een gerichte aanpak aanzienlijk stiller zijn geworden, is de ontwikkeling bij railvoertuigen soms toevallig tot stand gekomen (zoals de toepassing van schijfremmen in plaats van blokkenremmen) en soms nauwelijks merkbaar (zoals bij goederenvervoer).

2. Wettelijk kader

Railverkeerslawaai wordt in Nederland geregeld in:

1. het Besluit Geluidhinder Spoorwegen dat onderdeel uitmaakt van de Wet geluidhinder (voor treinen, metro's en sneltrams op doorgaande sporen),
2. het onderdeel wegverkeerslawaai van de Wet geluidhinder (voor trams),
3. de wet Milieubeheer (voor emplacements, opstel terreinen en rangeerterreinen).

Het Besluit Geluidhinder Spoorwegen (BGS) is van toepassing op nieuwe en bestaande situaties. Onder nieuwe situaties kan zowel een nieuwe woonbestemming binnen de zone van een bestaande spoorlijn als een nieuwe spoorlijn in de buurt van een geluidgevoelige bestemming worden begrepen. Bij nieuwe situaties is de zogenaamde *voorkeursgrenswaarde* van toepassing.

Aan de voorkeursgrenswaarde wordt voldaan door bijv. voldoende afstand aan te houden tussen spoorlijn en geluidgevoelige bestemming of door het plaatsen van schermen. Als deze maatregelen onvoldoende effectief blijken te zijn, kan - onder bepaalde voorwaarden - een beroep worden gedaan op een ontheffingsregeling, waarbij dan een zogenaamde *hogere grenswaarde* wordt toegestaan. In dat geval zal meestal extra gevelisolatie moeten worden aangebracht om binnen in de woning een goede situatie te kunnen garanderen.

In bestaande situaties kan sprake zijn van een saneringssituatie, die door de gemeente dient te worden gemeld. Saneringssituaties worden opgelost door het plaatsen van schermen of door het aanbrengen van gevelisolatie of door een combinatie van beide.

Bij sanering is er sprake van het al of niet overschrijden van een *drempelwaarde*. Een grenswaarde is niet gedefinieerd.

Het BGS geeft ook regels in het geval van "wijziging van een spoorlijn" (bij wegverkeer wordt deze situatie "reconstructie" genoemd). Bij alle uitbreidingen in het kader van Rail21 in de afgelopen jaren is sprake geweest van deze situatie; daarbij geldt het zogenaamde stand-still principe: de geluidbelasting, die vóór de wijziging of op het moment van inwerking treden van het BGS aanwezig was, mag door de wijziging niet verhoogd worden. Het blijkt in veel gevallen mogelijk, om de intensiteit van het treinverkeer (of de snelheid) van jaar tot jaar geleidelijk te laten groeien zonder dat er formeel sprake is van een wijziging in de zin van het BGS. Vaak zal de procedure pas gevoerd worden op het moment dat er ook fysiek en planologisch een ingreep nodig is. In veel gevallen zijn wijzigingen gepaard gegaan met een zogenaamde gekoppelde sanering, waarbij bestaande saneringssituaties meteen werden opgelost.

In de praktijk van de grote infraprojecten ontstaan nieuwe afspraken met lokale en nationale overheden, die vaak veel verder gaan dan het formele wettelijke kader. Daarbij kunnen we denken aan:

- andere bestemmingen dan de wettelijk aangemerkte worden als geluidgevoelig beschouwd,
- er wordt ook gekeken naar de invloed in stiltegebieden en natuurgebieden,
- er wordt een lagere maximale hogere waarde aangehouden dan de wettelijk vastgestelde,
- de voorkeursgrenswaarde wordt ook op wijzigingen en bestaande situaties van toepassing verklaard.

Bij de uitvoering van de wettelijke regelingen wordt gebruik gemaakt van het Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaaï. In beginsel wordt de geluidbelasting op basis van een berekening vastgesteld. Hierbij zijn de uitgangspunten, d.w.z. de verkeersgegevens (snelheid, materieeltype, aantallen treinen per uur, baantype) van groot belang. Deze uitgangspunten zijn voor elk baanvak in Nederland vastgelegd in een databank, het zogenaamde *akoestisch spoorboekje*. Dit geeft inzicht in de cijfers voor het peiljaar 1987 (d.w.z. het jaar dat het BGS in werking is getreden; deze situatie is uitgangspunt voor het stand-still beginsel), alsmede voor de toekomst (peiljaar 2005) en voor de lopende jaren. Er wordt gewerkt met drie-jaarsgemiddelden, waardoor plotselinge schommelingen worden uitgemiddeld.

3. Beheersingstechnieken

Lawaaibeheersing vindt plaats in de voorkeursvolgorde:

1. aan de bron,
2. in de overdracht
3. bij de ontvanger

Maatregelen *aan de bron* kunnen in principe bestaan uit verkeersmaatregelen, zoals:

1. beperking van de intensiteit van het aantal treinen per uur,
2. beperking van de snelheid,

3. beperking van het aantal lawaaiige voertuigtypes,
4. verschuiving van het vervoer in de nachtperiode naar vervoer in de avond en de dag,
5. introductie van stillere baanconstructies (incl. tunnels)

De strategie van de afgelopen jaren is in de meeste gevallen juist tegengesteld gericht:

- er wordt gestreefd naar een betere (d.w.z. intensievere) benutting van de (dure) infrastructuur,
- er wordt gestreefd naar hogere snelheden (tot 300 km/u op speciale hoge snelheids lijnen en op andere lijnen van 140 km/u naar 160 km/u)
- er wordt gestreefd naar een groot mogelijke toegankelijkheid van de infra voor allerlei exploitanten,
- er wordt getracht de infrastructuur ook 's nachts te benutten, en dan vooral door het (lawaaiige) goederenvervoer.
- tunnels hebben financiële en exploitatieve nadelen.

Andere maatregelen aan de bron zijn er dan ook vooral op gericht, om de geluidproductie (geluidemissie) van het railverkeer te verminderen. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk nader ingegaan.

Maatregelen *in de overdracht* bestaan uit het houden van afstand en het plaatsen van afschermende voorzieningen zoals wallen en schermen. Bij spoorwegen bestaat een voorkeur voor schermen vanwege het ruimtegebruik (schermen kunnen vaak nog op "eigen" terrein van NS geplaatst worden, soms zelfs zonder aanpassing van het bestemmingsplan "Spoorwegdoeleinden"; voor wallen is dat veel moeilijker). Geluidschermen worden aan de spoorzijde geluidabsorberend uitgevoerd.

Bij conventionele snelheden (tot 140 km/u) bevindt de belangrijkste geluidbron aan een rijdende trein zich ter hoogte van de rails en de wielen. Daarom kan dan met een vrij geringe schermhoogte al een duidelijk schermeffect bereikt worden. In saneringssituaties en bij hoge snelheden zijn ook veel hogere schermen noodzakelijk (4 tot 6 meter boven "B.S", d.w.z. boven Bovenkant Spoorstaaf). Tegen dergelijke hoge schermen bestaat vanuit omwonenden veel oppositie, en ook het uitzicht van de treinreizigers gaat ermee verloren. Transparante schermen kunnen alleen tijdelijk (n.l. zolang ze nog nieuw en schoon zijn) aan deze bezwaren tegemoet komen.

Maatregelen *bij de ontvanger* zijn vergelijkbaar met maatregelen voor andere bronnen: door middel van gevelisolatie wordt ervoor gezorgd, dat de geluidbelasting binnen in geluidgevoelige vertrekken aan de grenswaarde voldoet. Railverkeerslawaai heeft een enigszins andere spectrale samenstelling dan bijvoorbeeld wegverkeerslawaai en daarom kan een bepaalde gevelconstructie (suskast, dubbel glas) soms voor railverkeerslawaai een hogere geluidwering vertegenwoordigen dan voor wegverkeerslawaai.

4. Onderzoek

4.1 Rolgeluid

De beperking van railverkeersgeluid aan de bron is onderwerp van een groot aantal onderzoeksprojecten. Uitgedrukt in termen van aantallen gehinderden is het zogenaamde *rolgeluid* de belangrijkste bron. Rolgeluid is de dominante bron bij doorgaand treinverkeer tot

snelheden van 200 à 300 km/u. Veel andere ontstaansmechanismen spelen veel meer lokaal een rol; hierbij is te denken aan:

- het geluid van stalen bruggen,
- geluid van wissels en lassen in de spoorstaven,
- geluid van motoren bij aanzetten van de trein,
- geluid van hulpapparatuur bij het zogenaamde “overstaan” van materieel,
- het piepen in bogen (het zgn. booggeluid),
- geluid van botsen van wagens op rangeerterreinen,
- de typische geluiden van een station, zoals remgeluid, omroepen, sluitfluit, etc.
- geluid van overwegbellen.

Rolgeluid is ten opzichte van deze ontstaansmechanismen de belangrijkste bron.

4.2 *Het TWINS-model*

Sinds het midden van de tachtiger jaren is het onderzoek naar het ontstaan van rolgeluid internationaal zeer fundamenteel aangepakt. Hiervoor heeft het European Rail Research Institute (ERRI), een samenwerkingsverband van Europese spoorweg-maatschappijen, gedurende een reeks van jaren een groot deel van haar onderzoeksbudget beschikbaar gesteld. Hiermee is een groep van internationaal gerenommeerde onderzoekers gecontracteerd, die uiteindelijk een mathematisch model en een bijbehorend softwarepakket hebben ontwikkeld, waarmee het ontstaan van rolgeluid wordt verklaard en parameterstudies kunnen worden uitgevoerd. Dit model staat bekend onder de naam TWINS (Track Wheel Interaction Noise Software). Het TWINS model gaat ervan uit, dat de *ruwheid* bepalend is voor het ontstaan van rolgeluid. Wanneer het loopvlak van wielen en rails ideaal glad zou zijn, d.w.z. geen afwijkingen in verticale richting zou vertonen, dan zou er bij het rollen ook geen rolgeluid optreden; overigens zou dan ook remmen en accelereren uiterst moeilijk worden. Omdat er sprake is van afwijkingen van het ideaal gladde oppervlak, in de orde van grootte van 1 tot enkele tientallen micrometer, is er bij het rollen een verticale versnelling, waardoor zowel wiel als rail in trilling worden gebracht. Of de ruwheid zich op het wiel of op de rail bevindt, is niet relevant. Wel relevant is de *impedantie* van wiel en rail, d.w.z. de mate waarin wiel en spoorstaaf zich tegen de snelheid verzetten bepaalt de verdeling van trillingsenergie tussen wiel en rail. De impedantie is afhankelijk van de frequentie van de trilling, d.w.z. van de golflengte van de ruwheid op wiel en rail.

Het wiel is een gesloten systeem dat een groot aantal eigenfrequenties kent, de rail gedraagt zich enerzijds als een oneindig lang systeem (waarin alleen lopende golven optreden) en anderzijds (doordat de rail op discrete punten wordt vastgehouden) als een systeem met eigenfrequenties.

Belangrijke conclusie van dit model is, dat een ingreep in de rail (of het gehele systeem van de baan, in het algemeen bestaande uit een spoorstaaf met bevestigingsklemmen, een min of meer verend onderlegplaatje, een dwarsligger en een ballastbed) consequenties heeft voor het wiel en omgekeerd. Grote effecten in het ontstaan van rolgeluid zijn alleen te realiseren als:

- óf de ruwheid zelf wordt gereduceerd, waarbij het om het even is of dit de wielruwheid of de railruwheid is,
- óf tegelijkertijd de dynamische eigenschappen van infra én materieel worden gewijzigd.

Het TWINS-model is inmiddels bij een aantal gelegenheden gevalideerd en toegepast om prototypes te ontwikkelen van geluidarme spoorconstructies en geluidarme wagens (d.w.z. wielen).

4.3 *Ruwheid*

In Nederland is sinds het begin van de negentiger jaren het onderzoek naar bronbestrijding van railverkeersgeluid gestimuleerd door het Ministerie van VROM. Eén van de eerste vragen die beantwoord dienden te worden was, of de maatgevende ruwheid in Nederland op de spoorstaaf of op het materieel te vinden was. Dit onderzoek kon pas op een zinvolle manier worden aangepakt, nadat er eenduidigheid was over de grootheden waarin ruwheid zou moeten worden uitgedrukt en nadat er meetinstrumenten en meetmethoden met voldoende nauwkeurigheid waren ontwikkeld. Uit gezamenlijk onderzoek van TNO TPD en NS Technisch Onderzoek is gebleken, dat in Nederland de wielruwheid nog overheerst. Slechts voor modern schijfgeremd materieel, waar de wielruwheid aanzienlijk lager is, zou railruwheid de overheersende bron kunnen zijn.

Hiermee was tevens empirisch bewezen wat velen al jarenlang vermoedden, namelijk dat de toepassing van loopvlakberemming op de wielen de belangrijkste oorzaak is voor wielruwheid in een voor geluid belangrijk golflengtegebied. Door het remmen met gietijzeren remblokken op stalen wielen ontstaan op de wielband beschadigingen met vaak een karakteristieke golflengte van 4 tot 8 cm (men spreekt in dat geval in Nederland wel van polygonisatie, "veelhoekigheid"). Door het remmen op de wielband achterwege te laten (zoals dat bij schijfremmen het geval is) blijven de wielen gladder en kan de karakteristieke ruwheid (en dus ook de geluidproductie) zo'n 10 dB lager uitvallen. De belangrijkste geluidwinst in de ontwikkeling van nieuw materieel bij de Nederlandse Spoorwegen is dan ook geboekt door de grootschalige toepassing van schijfremmen, eventueel aangevuld met andere remsystemen (ED-rem, railrem).

Het ontstaan van ruwheid op de wielen is onderwerp van een researchproject, dat in 1996 mede op initiatief van NS is gestart in het kader van het programma Brite Euram (4e kader programma van de Europese Commissie). Aan dit project, dat de naam Eurosabot (Sound attenuation by optimised treadbrake) draagt, nemen 12 partners deel.

Doel is te komen tot een remblokmateriaal of remsysteem, dat tegen geringe meerkosten de bestaande gietijzeren remblokken bij goederenwagens kan vervangen, en dat leidt tot een geringere opruwing van de wielband. Het project moet in 1999 leiden tot een prototype wagen, die ca. 5 dB(A) stiller is dan de huidige goederenwagens. Sterk punt van dit project is, dat de "nieuwe" remblokken wellicht met een geringe technische aanpassing op bestaande wagens in te bouwen zijn.

Op het spoor is ruwheid zeer lokaal aanwezig in de vorm van zogenaamde golfslijtage, waarbij eveneens een zeer karakteristieke golflengte optreedt. Golfslijtage wordt vanwege geluid en andere problemen weggeslepen, maar keert vaak na korte tijd weer terug. Er is nog weinig kennis over het ontstaan van golfslijtage; duidelijk is dat de dynamische eigenschappen van het spoor en zijn ondergrond een belangrijke rol spelen. In landen waar schijfgeremd materieel overheeft (zoals in Duitsland op de hoge snelheids lijnen) wordt zeer frequent (bijv. jaarlijks) de spoorstaaf gladgeslepen om aan de geluidgrenswaarden te kunnen blijven voldoen.

4.4 *Andere projecten rondom rolgeluid*

Omdat modern reizigersmaterieel vrijwel zonder uitzondering wordt uitgerust met schijfremmen (hoewel de TGV in Frankrijk op de motorwagens nog steeds blokkenremmen heeft), is de nadruk van het onderzoek vooral gericht op goederenvervoer. Hier is ook op Europese schaal een groei te verwachten, die alleen gerealiseerd kan worden als het goederenvervoer per spoor ook stiller wordt.

In Nederland is in het kader van het ICES-programma (Interdepartementale Commissie voor de Economische Structuur) het project STV (Stiller Trein Verkeer) opgezet. Dit project wordt gesteund door de Ministeries van Economische Zaken en Vrom. Doel van het STV-project is te komen tot een demonstrator van een stille goederenwagen op een stil spoor, die *in combinatie* ca. 10 dB(A) stiller zijn dan een conventionele goederenwagen op een conventioneel spoor. In het STV-project neemt het Nederlandse bedrijfsleven deel via een aantal consortia, waarin kennis en ervaring gebundeld wordt om tot bepaalde modificaties te komen. Voor het spoor wordt vooral gewerkt aan een ballastloze vorm, het zogenaamde platenspoor, waarbij de spoorstaven niet meer met dwarsliggers in ballast zijn bevestigd maar direct op of in een betonnen plaat worden gelegd. Modificaties aan de wagen zelf zullen bijvoorbeeld kunnen bestaan uit het aanpassen van het remsysteem, het aanbrengen van schermen (zogenaamde schorten) rondom de draaistellen.

Enigszins vergelijkbaar met het STV-project zijn twee projecten op internationale schaal (Brite Euram) die bekend staan onder de namen Silent Freight en Silent Track.

Ook hierin worden maatregelen aan wagens en aan het spoor ontwikkeld. Verschil met STV is, dat de maatregelen aan de wagen wat ingrijpender zijn (bijv. andere wielvorm) dan in STV, en dat de spoorconstructie in beginsel een ballastspoor is.

Op nationale schaal lopen ook in andere landen onderzoeksprojecten die erop gericht zijn het goederenvervoer stiller te maken; hiervan is het meest in het oog springend het project Low Noise Train, een samenwerkingsverband van de spoorwegen van Duitsland, Oostenrijk en Italië. Maar ook in Zwitserland (Flüsterzug) zijn diverse initiatieven ontplooid.

4.5 *Overig geluidonderzoek*

In Nederland is naast het geluid van doorgaande sporen de afgelopen jaren vooral het geluid van emplacementen en opstelterreinen sterk in de aandacht gekomen. Emplacementen bij stations liggen vaak in stedelijke centra. Op emplacementen wordt materieel, dat niet in de dienstregeling wordt gebruikt, opgesteld. Daarbij blijft vaak een aantal apparaten aan boord van de trein in bedrijf, om bijvoorbeeld perslucht, laagspanning en verwarming te kunnen garanderen op het moment dat de trein weer in dienst gaat. Voorts wordt op een opstelterrein de dagelijkse service van de trein (wassen, reinigen, controleren) uitgevoerd, waarvoor ook rangeerbewegingen nodig zijn (bijv. naar en van een reinigingsperron).

Veel van deze opstelterreinen beschikken (nog) niet over een geldige Hinderwetvergunning (thans: vergunning Wet milieubeheer). Uit onderzoek is pas de laatste jaren duidelijk geworden, dat het technisch vrijwel onmogelijk is om aan de gangbare grenswaarden uit de Circulaire Industrielawaai te voldoen.

De problematiek wordt projectmatig aangepakt in het Project Industrielawaai (PRIL). De doelstelling van het project is tweërlei: in de eerste plaats wordt getracht de ergste bronnen onmiddellijk aan te pakken en inzicht te krijgen in verdergaande technische mogelijkheden, in de andere plaats wordt getracht met de vergunning-verleners en de rijksoverheid tot een overgangsregeling te komen.

In het PRIL-project spelen andere geluidbronnen dan rolgeluid een belangrijke rol, zoals remgeluid, booggeluid, stootgeluid bij het rijden door wissels en over voegen, en het geluid van apparaten in de trein. Ook hier zal de definitieve oplossing naar verwachting bestaan uit een combinatie van maatregelen aan de infrastructuur en maatregelen aan het materieel.

Een verdere typisch Nederlandse problematiek vormt het geluid van stalen spoorbruggen. Met de eerdergenoemde ondersteuning van VROM is door TNO TPD en NS Technisch Onderzoek gewerkt aan een half-empirisch rekenmodel voor het geluid van stalen spoorbruggen, waarmee parameterstudies kunnen worden uitgevoerd. Het model wordt momenteel in een softwarepakket ondergebracht. Maatregelen aan bestaande bruggen kunnen bestaan uit:

- wijzigingen in de oplegging en bevestiging van de spoorstaven op de brug (trillingsisolatie),
- verhoging van de ingangsimpedantie van de brug,
- verlaging van de afstraling van de brug.

In het kader van de PBTS-regeling is in de Stichting Stille Bruggen, een samenwerkingsverband van NS (Holland Rail consult), Grootint en Edilon, gewerkt aan concrete ontwerpen voor nieuwe stalen spoorbruggen. Eind 1996 werd een nieuwe spoorbrug opgeleverd volgens een ontwerp dat in deze stichting tot stand was gekomen. De geluidemissie van de trein op deze brug is niet hoger dan die van dezelfde trein op de aarden baan.

Er wordt nog gezocht naar mogelijkheden om het ontwerp grootschaliger toe te passen, en er wordt een bijdrage geleverd aan een internationaal onderzoeks-project (EGKS) dat werkt aan (stille) composietbruggen (staal-beton) voor hoge snelheids spoorlijnen.

Ander relevant onderzoek op het gebied van geluid wordt hier slechts puntsgewijs genoemd:

- bij NS Technisch Onderzoek is in opdracht van NS Railinfrabeheer het softwarepakket GERANO ontwikkeld, waarmee op Nederlandse schaal scenario studies kunnen worden uitgevoerd. Met dit pakket kunnen vragen beantwoord worden als bijv.: "hoeveel m² scherm wordt uitgespaard als alle intercity's 4 dB(A) stiller zouden worden?". Hiermee kan het pakket beschouwd worden als een "decision support system", een instrument voor beleidsmakers. Internationaal bestaat grote belangstelling voor dit pakket en er zijn ideeën om het pakket met Europese subsidie uit te breiden tot een Europese schaal (project Eurodecision).
- in het project Euroécran werken 3 spoorwegmaatschappijen (waaronder NS), 2 consortia van geluidschermenbouwers en onderzoeksinstituten (waaronder TPD) samen om een optimaal geluidscherm te ontwikkelen voor resp. hoge snelheids lijnen en voor goederenlijnen. Het project wordt gesponsord door de Europese Commissie (Brite Euram) en wordt eind 1997 afgesloten.
- In de European Rail Research Institute wordt gewerkt aan een project over bodemtrillingen, veroorzaakt door treinverkeer, en het eventuele secundaire geluid dat daarvan een gevolg kan zijn. Het project is recent gestart en beoogt eerst een inzicht te geven in de wijze waarop in verschillende Europese landen met de materieel wordt omgegaan.
- Bijzondere vermelding verdient het onderzoek dat in Nederland, door NS Technisch Onderzoek en anderen is verricht aan de geluidproblematiek van Hoge Snelheids Treinen.

Bij snelheden boven 200 km/u kunnen aërodynamische geluidbronnen een rol gaan spelen en in de situatie met schermen kunnen deze bronnen, die ook boven aan de trein gelocaliseerd zijn, het rolgeluid zelfs overheersen. De vraag doet zich dan ook voor, welke mogelijkheden er zijn om met name deze bronnen aan te pakken. Met subsidie van het Ministerie van VROM is onderzoek gedaan naar een modelbeschrijving van het geluid dat in de stroomafnemer ontstaat. Met een dergelijk model kunnen constructieve maatregelen worden uitgewerkt, waarmee het geluid van de stroomafnemer aanzienlijk kan worden beperkt. Uiteraard is op termijn nauwe samenwerking met de ontwerpers, fabrikanten en overige gebruikers van hoge snelheids materieel noodzakelijk om deze maatregelen ook daadwerkelijk ingevoerd te krijgen.

- Op initiatief van de Deutsche Bahn is zeer uitgebreid onderzoek gestart naar de hinderbeleving van railverkeersgeluid. Specifieke aandachtspunten zijn ondermeer het verschil in hinderlijkheid tussen rail- en wegverkeer, de vraag of dit verschil ook optreedt bij hoge snelheidsverkeer en bij drukbereden goederenlijnen, slaapverstoring, e.d. Nederland neemt aan dit onderzoek niet deel, maar volgt de resultaten.
- In Erri-verband wordt gewerkt aan verbetering van de meetmethodes van geluid van passerende treinen. Hierbij spelen verschillende invalshoeken een rol, waarop in het volgende hoofdstuk wordt teruggekomen.

4.6 *Financiering*

In de voorgaande hoofdstukken is duidelijk geworden, dat er veel geld en aandacht wordt besteed aan de beperking van railverkeersgeluid. De financiering van dit onderzoek is vaak afkomstig uit overheidsbronnen (subsidieprogramma's). Niettemin moet niet uit het oog verloren worden dat ook de spoorwegen zelf aanzienlijke inspanningen leveren.

Tegenwoordig is moeilijk definieerbaar, welke partijen allemaal tot "de spoorwegen" moeten worden gerekend. Formeel bestaat in Nederland het concern Nederlandse Spoorwegen nog steeds. De taakorganisatie NS Railinfrabeheer ontvangt een budget van Verkeer en Waterstaat voor de uitvoering van de taken, waartoe behoren de planning en uitvoering van de grote infrastructurele projecten (Hoge Snelheids Lijnen, Betuweroute, Rail 21). In al deze projecten is steeds een zeer aanzienlijk deel van de aandacht en kosten voor geluidvragen noodzakelijk. NS Railinfrabeheer is daarnaast een belangrijke medefinancier van fundamenteel onderzoek op het gebied van bronbestrijding. Maar ook de NS bedrijven (NS Reizigers en NS Cargo) leveren een bijdrage op dit gebied, zij het dat de financiële inspanning beperkt blijft omdat deze bedrijven in een gespannen markt een winstdoelstelling hebben.

NS faciliteert in NS Technisch Onderzoek een organisatie voor contractresearch, waar momenteel ca. 25 specialisten op het gebied van geluid en trillingen werkzaam zijn.

6. Ontwikkelingen in de regelgeving

In de systematiek van het huidige BGS is het mogelijk, dat de intensiteit van het railverkeer op bestaande lijnen van jaar tot jaar toeneemt (maar de toename blijft onder de drempelwaarde) zonder dat er sprake is van een wijziging. Pas als er een fysieke ingreep plaatsvindt wordt een vergelijking met het referentiejaar 1987 gemaakt en moet het standstill principe worden toegepast. Om deze ontwikkeling beter te kunnen controleren zou de wetgever jaarlijks moeten kunnen beschikken over realisatiecijfers voor alle baanvakken in Nederland, waaruit dan de groei zou moeten blijken. Dat vergt een grote inspanning, zowel van de zijde van NS als van de zijde van de wetgever.

Een enigszins verwant spanningsveld bestaat er ten aanzien van de verdeling en toedeling van capaciteit op het Nederlandse spoorwegnet. In principe is het streven om bij de toelating van nieuwe aanbieders op het net de drempel zo laag mogelijk te houden; de Nederlandse en Europese overheden willen immers de concurrentie op het spoor bevorderen. Aan de andere kant blijkt de capaciteit van een spoorverbinding allang niet meer uitsluitend bepaald te worden door de fysieke infrastructuur; immers, de milieuwetgeving beperkt de capaciteit van een lijn. Wie 's nachts meer goederentreinen wil laten rijden, zal door het plaatsen van schermen daarvoor de extra capaciteit moeten creëren. De capaciteit wordt met andere woorden steeds meer een milieucapaciteit en bij de toelating en toedeling zullen milieucriteria gehanteerd moeten gaan worden (verg. de problematiek rond Schiphol). Deze ontwikkeling werkt niet bevorderlijk voor het autonoom realiseren van bronmaatregelen door de vervoerders. Immers, bij de vervoerder leeft de vrees dat hij, door het stiller maken van zijn eigen materieel, wel eens extra ruimte op het net zou kunnen vrijmaken voor de concurrent ! Dit is één van de redenen dat het proces van praktische toepassing van de technische mogelijkheden tot lawaaivermindering maar moeizaam op gang komt.

Eén van de ontwikkelingen die bovenstaande problematieken zullen beïnvloeden is de totstandkoming van emissieplafonds. Er bestaan momenteel ideeën om op termijn te komen tot een andere wijze van handhaving, namelijk via de zogenaamde *emissie-plafonds*. Door het vaststellen van een emissieplafond per baanvak wil de wetgever het aan de capaciteitsbeheerder (Railned) overlaten, op welke wijze de emissieruimte wordt gevuld. Maar het plafond geldt daarbij als bovengrens. Er hoeft dan niet meer in detail gerapporteerd te worden over realisatiecijfers. Het is aan de capaciteitsbeheerder om de capaciteit te verdelen en eventuele toelatingscriteria te stellen. Emissieplafonds zouden ook op emplacementen toegepast kunnen worden om de wet milieubeheer problematiek het hoofd te bieden. In de systematiek van emissieplafonds past een wijze van controleren, die het best met de term monitoring kan worden aangeduid. Daarbij wordt meettechnisch langs de baan, met behulp van geautomatiseerde meetsystemen, gecontroleerd wat de totale geluidproductie van een baanvak over langere tijd is; tegelijk kan worden vastgesteld of individuele treinen voldoen aan de door de capaciteitsbeheerder gestelde voorschriften. Treinen die slecht onderhouden zijn, buitenlandse treinen of treinen van nieuwe vervoerders zouden op die manier automatisch kunnen worden gecontroleerd. In een Europees onderzoeksproject (Metarail) worden momenteel meetmethoden uitgewerkt waarmee dergelijke geautomatiseerde metingen zouden kunnen worden uitgevoerd.

Een andere ontwikkeling betreft het toestellenbeleid. Voor wegvoertuigen bestaan in Europa sinds ca. 20 jaar typekeuringseisen, waaraan voertuigen moeten voldoen om op het Europese wegennet te worden toegelaten. Deze typekeuringseisen worden geregeld naar beneden aangepast. Door deze aanpassing steeds tijdig aan te kondigen wordt een ontwikkeling op gang gebracht, die ertoe geleid heeft dat vooral het motorgeluid van zware vrachtwagens zeer aanzienlijk verminderd is. Voor railvoertuigen is een dergelijke aanpak tot nu toe achterwege gebleven, maar recent wordt er zowel vanuit de gezamenlijke spoorwegen als vanuit Brussel weer aangedrongen op het tot standkomen van uniforme "emissiegrenswaarden" voor grensoverschrijdend railverkeer. In Oostenrijk gelden sinds 1995 al typekeuringseisen voor voertuigen die in Oostenrijk worden geïmmatriculeerd, maar door de internationale afspraken kan Oostenrijk een voertuig, dat elders is toegelaten, de toegang tot het spoorwegnet niet weigeren. Vooralsnog zijn nationale initiatieven daarom krachteloos.

De invoering van emissiegrenswaarden zal gepaard moeten gaan met nieuwe meetmethodes en nauwkeurige afspraken, ondermeer over de conditie en constructie van de baan, waarop de afnamemetingen dienen plaats te vinden. Zoals recent onderzoek heeft aangetoond heeft het al of niet aanwezig zijn van railruwheid op sommige voertuigen onmiddellijk gevolgen voor de geluidemissie. Het kan niet de bedoeling zijn dat een voertuig in het ene land wordt toegelaten (omdat het daar is gemeten op gladde spoorstaven) terwijl het in het andere land niet wordt toegelaten (omdat daar de railruwheid wat hoger is). Er zullen daarom zeker nog enkele jaren voorbijgaan voordat tot invoering van uniforme Europese typekeuringseisen kan worden gekomen. Deze zullen naar verwachting in het begin alleen voor nieuw toegelaten voertuigtypen gelden.

Omdat railvoertuigen een zeer lange levensduur hebben, zal het effect van typekeuringseisen pas enkele tientallen jaren later merkbaar worden. Wanneer typekeuringseisen meteen ook op bestaand materieel zouden worden toegepast, dan is een flinke overheidssubsidie nodig om de concurrentiepositie van het spoor ten opzichte van de weg overeind te houden. Daarmee staat het onderwerp geluid van railverkeer voorlopig nog prominent op de politieke agenda.

Milieu-vergelijking van brandstofketens

Noodzaak en verrassingen

Auteur:

M. van Walwijk

INNAS

Nikkelstraat 15

4823 AE Breda

tel: 076-542 4080

fax: 076-542 4090

versie: 1 augustus 1997

Samenvatting

De voertuigbrandstof is één van de parameters die een rol spelen in het aandachtsgebied 'verkeer, milieu en techniek'. Zoals bekend vormen de emissies door wegvoertuigen een significant aandeel van de milieubelasting door menselijke activiteiten. Wanneer we trachten door maatregelen op het gebied van voertuigbrandstoffen de milieubelasting door het wegverkeer terug te dringen, dan is het niet voldoende om alleen naar de voertuigemissies te kijken. Een eerlijke vergelijking is alleen mogelijk door de hele brandstofketen -van grondstof via produktie van de brandstof en distributie tot en met het gebruik in het voertuig- te bekijken. Deze paper geeft drie voorbeelden die laten zien dat deze werkwijze noodzakelijk is en bovendien tot verrassende resultaten kan leiden.

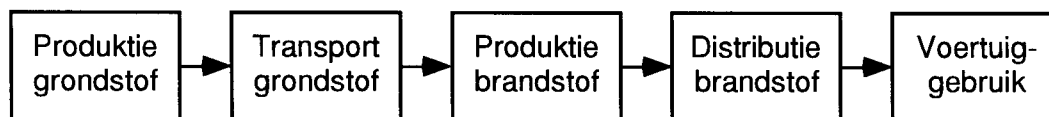
Inleiding

Voertuigbrandstoffen zijn het onderwerp van deze paper. Vanwege het thema 'verkeer, milieu en techniek', richt deze paper zich voornamelijk op de milieu-aspecten van het gebruik van voertuigbrandstoffen. Daarmee is niet gezegd dat milieu-aspecten de enige of belangrijkste parameter zijn bij het vergelijken van voertuigbrandstoffen. Kosten, veiligheid, stand van de techniek en dergelijke spelen ook een rol, ze blijven hier echter buiten beschouwing.

In deze paper wordt allereerst beknopt beschreven wat met een 'brandstofketen' wordt bedoeld. Vervolgens worden drie voorbeelden gegeven om het belang van het vergelijken van brandstofketens in plaats van alleen het voertuiggebruik te illustreren. Enkele algemene conclusies sluiten deze paper af.

De brandstofketen

Afbeelding 1 geeft een algemeen overzicht van de elementen van de brandstofketen. Bij benzine is bijvoorbeeld aardolie de grondstof en vindt de brandstofproduktie in een raffinaderij plaats. Een ander voorbeeld is de produktie van ethanol uit graan of hout. De produktie van de grondstof bestaat dan uit het verbouwen van een gewas (biomassa). De produktie van de brandstof is in dit geval een conversieproces waarmee ethanol uit biomassa wordt gemaakt. Ethanol kan als voertuigbrandstof worden gebruikt.



Afb.1 De brandstofketen, van grondstof tot en met gebruik in het voertuig.

Voor de meeste brandstoffen levert het voertuiggebruik de grootste bijdrage aan de emissies van de totale brandstofketen. Bij brandstoffen uit biomassa en bij waterstof kunnen echter de emissies bij eerdere schakels in de keten belangrijker zijn [1,2].

Zwavelarme dieselolie

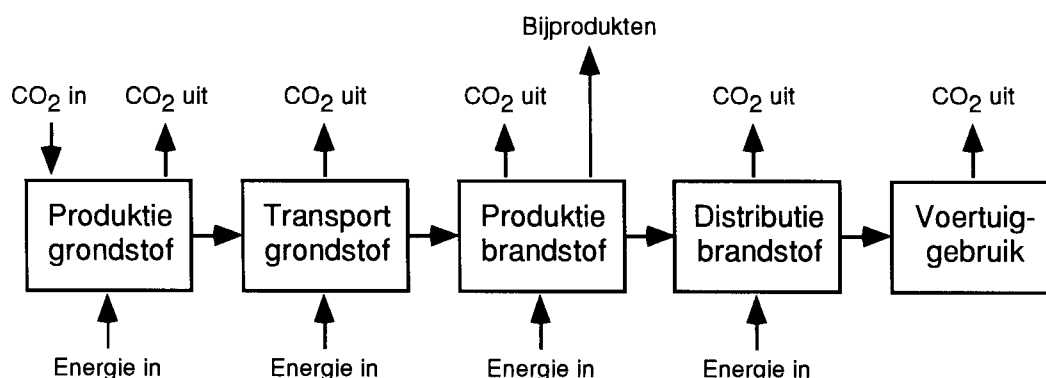
Een verlaging van het zwavelgehalte in dieselolie leidt behalve tot een afname van SO₂-emissies ook tot een reductie van deeltjesemissies (roet) van dieselmotoren. Een reductie van het zwavelgehalte van 0,14 wt% (gewichtsprocenten) tot 0,05 wt% resulteert bijvoorbeeld in een afname van deeltjesemissies tot maximaal 18%, afhankelijk van het type motor waarin de brandstof wordt gebruikt [3].

Sinds oktober 1996 is het maximaal toegestane zwavelgehalte van dieselolie in Europa 0,05 wt%. Voor veel kwaliteiten aardolie betekent dit dat er ontzwaveling moet plaatsvinden bij de produktie van dieselolie. Het verwijderen van zwavel uit aardolie kost energie. Hoe lager het vereiste zwavelgehalte in de dieselolie, hoe hoger het energieverbruik van de raffinaderij zal zijn. Dit energieverbruik neemt exponentieel toe bij afnemend zwavelgehalte. Aangezien in de energiebehoefte van de meeste raffinaderijen wordt voorzien met behulp van fossiele energiedragers, zijn de CO₂-emissies van de raffinaderij hoger naarmate het zwavelgehalte van de geproduceerde brandstof lager is. Een verdere verlaging van het zwavelgehalte van 0,05 wt% tot 0,02 wt% zal de CO₂-emissies van de raffinaderij met ruim 50% doen toenemen [4].

Een verlaging van de deeltjesemissies van dieselmotoren door het verlagen van het zwavelgehalte van de brandstof resulteert dus in een toename van CO₂-emissies van de raffinaderij. Dit laatste is ongewenst omdat er aan CO₂ een werking als broeikasgas wordt toegeschreven en het doet een extra beroep op de (eindige) aardolievoorraden. De samenleving zal in dit geval een balans moeten vinden tussen deeltjesemissies en CO₂-emissies.

Brandstof uit biomassa

Het is mogelijk om voertuigbrandstoffen uit biomassa, zoals landbouwprodukten of hout, te produceren. Hierbij is de hoeveelheid CO₂ die tijdens voertuiggebruik wordt uitgestoten in principe gelijk aan de hoeveelheid CO₂ die de plant tijdens de groei heeft opgenomen. Veel auteurs trekken hieruit de conclusie dat er zo dus een gesloten CO₂ kringloop ontstaat. Bij een nadere beschouwing van de gehele brandstofketen blijkt echter dat dit niet waar hoeft te zijn. Afbeelding 2 laat zien dat er naast gebruik in het voertuig, ook in andere stappen van de brandstofketen CO₂-emissies ontstaan. Bij de produktie van biomassa zijn dat bijvoorbeeld emissies van een landbouwtractor en emissies bij de produktie van kunstmest. Daarnaast nemen planten tijdens de groei CO₂ uit de atmosfeer op. Zowel bij het transport van de grondstof als van de brandstof wordt door de vrachtwagen CO₂ geëmitteerd. Ook de produktie van de brandstof uit biomassa vraagt energie en hierbij komt dus CO₂ vrij. Wanneer in al deze energiestromen wordt voorzien door het gebruik van biomassa, dan zal er netto geen CO₂ worden geproduceerd, maar wanneer fossiele energiedragers worden gebruikt, dan zal er wel een netto CO₂ produktie zijn. Bij de produktie van ethanol uit hout (met behulp van fossiele energiedragers) liggen de keten CO₂-emissies aanzienlijk lager dan bij de brandstofketens van fossiele brandstoffen. Bij de overige biobrandstoffen is er een kleiner CO₂ voordeel, wanneer fossiele energie voor de produktie wordt gebruikt.



Afb. 2 Brandstofketen voor brandstoffen uit biomassa.

Bij de conversie van biomassa naar voertuigbrandstof ('productie brandstof' in afbeelding 2) ontstaan ook bijprodukten. Wanneer deze verkoopbaar zijn, kan ook een deel van de CO₂-emissies aan de productie van de bijprodukten worden toegerekend. Er is nog geen consensus over de wijze waarop dit dient te gebeuren. Moet bijvoorbeeld de massaverhouding tussen geproduceerde brandstof en bijprodukten worden gebruikt of is bijvoorbeeld de energie-inhoud een betere maat? Het is duidelijk dat er met produkten uit biomassa een CO₂-voordeel kan worden behaald. Behalve als voertuigbrandstof, kan biomassa bijvoorbeeld ook als brandstof voor stationaire installaties of als grondstof voor constructiematerialen worden gebruikt. Het lijkt de moeite waard om te onderzoeken welke toepassing de grootste milieuvoordelen oplevert.

Van ZEV naar EZEV

Begin negentiger jaren heeft CARB (Californian Air Resources Board) maximale waarden vastgesteld voor de uitlaatemissies van personenauto's die de komende jaren worden geproduceerd. Vanaf het eind van deze eeuw zou een toenemend percentage van de geproduceerde auto's helemaal geen uitlaatemissies meer mogen hebben, de ZEV's (Zero Emission Vehicles). Bij het invoeren van deze wetgeving werd verwacht dat alleen elektrische auto's aan deze eisen zouden kunnen voldoen.

Nadat deze regels bekend werden gemaakt zijn belangengroepen uit de automobiel- en brandstoffenindustrie met CARB in discussie gegaan over deze eisen, naar aanleiding van beschouwingen van de gehele brandstofketen. Een elektrisch voertuig mag dan geen uitlaatgassen produceren, een elektriciteitscentrale doet dat wel. Er kan worden aangetoond dat bijvoorbeeld de ketenemissies van een aardgasvoertuig met driewegkatalysator kleiner of gelijk zijn aan de ketenemissies van een elektrisch voertuig [5]. Ook met een hybride voertuig (met zowel een elektromotor als een verbrandingsmotor) blijkt het mogelijk te zijn om deze lage ketenemissies te realiseren [6]. Daarom heeft CARB in 1995 voorgesteld om een nieuwe voertuigcategorie toe te voegen aan de regelgeving: de EZEV (Equivalent Zero Emission Vehicle). Voor een dergelijk voertuig zijn zeer lage waarden voor de uitlaatemissies toegestaan.

Conclusie

Uit deze drie voorbeelden blijkt het belang van het beschouwen van de gehele brandstofketen, wanneer de milieu-effecten van brandstoffen voor het wegverkeer worden vergeleken. Tevens wordt een indruk gegeven van de verscheidenheid aan onderwerpen die hierbij van belang kunnen zijn. Het bestrijden van emissies in één schakel van de keten kan leiden tot een toename van (soms andersoortige) emissies in een andere schakel van de keten.

Referenties

- [1] N. Elam. *Automotive fuels survey. Volume 1. Raw materials and conversion*. Publication by IEA/AFIS (Automotive Fuels Information Service), operated by Innas BV (Breda, the Netherlands) and Atrax Energi AB (Gothenburg, Sweden). December 1996.
- [2] M. van Walwijk, M. Bückmann, W.P. Troelstra, P.A.J. Achten. *Automotive fuels survey. Volume 2. Distribution and use*. Publication by IEA/AFIS (Automotive Fuels Information Service), operated by Innas BV (Breda, the Netherlands) and Atrax Energi AB (Gothenburg, Sweden). December 1996.
- [3] W. Lange, A. Reglitzky, H. Krumm, L. Cowley. *Potential des Dieselmotors zur Senkung von Partikel- und NO_x-Emissionen von Nutzfahrzeugen*. MTZ Motor Technische Zeitschrift 54 (1993) 10, p.514-520.
- [4] J. Verloop. *Hydroprocessing and future diesel quality*. Oil Gas - European Magazine 4/1994 (December), p.28-30. (International edition of Erdöl Erdgas Kohle.)
- [5] Mondelinge presentatie van J. Wallace (University of Toronto, Department of mechanical engineering) tijdens het SAE 'Fuels and lubricants' symposium in Baltimore (USA), 18 oktober 1994.
- [6] F. An, A. Frank, M. Ross. *Meeting both ZEV and PNGV goals with a hybrid electric vehicle - An exploration*. SAE paper 961718. SAE, Warrendale, USA, 1996.

