

# OMGEVING EN HET GEBRUIK VAN ALTERNATIEVEN

ANWB-themadag alternatieve brandstoffen en technieken,  
Lelystad, 27 mei 1992

P.A. OKKEN

Tijdens de themadag werd de stand van zaken met betrekking tot alternatieve brandstoffen en technieken voor auto's in Nederland toegelicht door vertegenwoordigers van ANWB, ECN, Energiebedrijven Amsterdam en Groningen, KEMA, Ministerie VROM, Stichting Natuur en Milieu, TNO en Volvo.

De ECN bijdrage gaat in op de noodzaak van alternatieven om CO<sub>2</sub>-emissies te reduceren, het belang van systeem-integratie en de sterke en zwakke punten bij introductie van de verschillende brandstof-alternatieven in Nederland.

# INHOUD

1. INLEIDING	5
2. BROEIKASEFFECT	6
3. INTRODUCTIE IN NEDERLAND	18
4. CONCLUSIES	21
LITERATUUR	22

## 1. INLEIDING

Het brandstofgebruik in auto's bestaat bijna uitsluitend uit aardolieprodukten (benzine, diesel, LPG). Deze eenzijdige afhankelijkheid maakt de transportsector kwetsbaar voor plotselinge prijsstijgingen en stagnerende aanvoer van aardolie. Daarnaast treden in de keten van oliewinning, transport van ruwe aardolie, verwerking in de olieraffinaderij en distributie via tankstations nadelige milieu-effecten op, vervuilen uitlaatgassen van auto's de lucht en leidt in het algemeen verbranding van fossiele brandstoffen tot het broeikas-effect.

Gebruik van alternatieve brandstoffen, zoals aardgas, ethanol, methanol, elektriciteit of waterstof, kan een bijdrage leveren aan het oplossen van deze problemen. Op lange termijn is het broeikas-effect bepalend voor de noodzaak van alternatieven. Aan het slot van dit artikel wordt getracht met een sterkte-zwakte analyse voor Nederland een verstandige keuze te bepalen.



## 2. BROEIKASEFFECT

Bij verbranding van brandstoffen zijn er emissies van luchtvervuilende stoffen. Bij een volledig schone verbranding bestaat de emissie uitsluitend uit water en CO<sub>2</sub> (kooldioxide). CO<sub>2</sub> is een kleurloos, reukloos, niet-giftig gas dat echter bij te grote hoeveelheden oorzaak is van het broeikas-effect: een wereldwijd milieuprobleem op lange termijn. Wereldwijd stijgen de CO<sub>2</sub>-emissies door het toenemend energieverbruik. Daardoor neemt de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer toe, waardoor het op aarde langzamerhand warmer kan worden.

Hoewel er nog grote onzekerheden zijn over het broeikas-effect, en de preciese bijdrage van CO<sub>2</sub>, is het Nederlandse beleid gericht op vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie met 3 tot 5 % in het jaar 2000 t.o.v. 1989/1990. Voor het wegverkeer is de doelstelling stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-emissie in 2000 en vermindering met 10% in het jaar 2010 ten opzichte van 1986. Voor de periode na het jaar 2000 zijn verder nog geen officiële doelstellingen vastgelegd, wel steunt het ministerie van VROM de Toronto-aanbeveling voor vermindering van de wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissie met 20% in 2005 t.o.v. 1988.

Vanuit milieu-optiek kan een verdergaande vermindering nodig zijn. De 'Science' werkgroep 1 van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) beveelt op lange termijn 60% vermindering van de mondiale CO<sub>2</sub>-emissie aan. Voor dergelijke drastische CO<sub>2</sub>-reducties zijn ingrijpende veranderingen in de energiehuishouding nodig. Op korte termijn is vooral energiebesparing belangrijk: minder fossiele brandstoffen gebruiken leidt tot CO<sub>2</sub>-reductie.

Bij voortzetting van het huidige beleid verwacht de 'Response Strategies' werkgroep-3 van IPCC een verdubbeling van de wereldwijde jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie, van 6 GtC in 1990 naar 12 GtC in het jaar 2025, vanwege de groeiende wereldbevolking en toenemende levensstandaard (zie figuur 1). Volgens de aanbeveling van de 'Science' werkgroep-1 van IPCC zou in 2025 dus tenminste 80% CO<sub>2</sub>-reductie nodig zijn. Energiebesparing alleen lijkt niet voldoende om dat te bereiken.

Een belangrijke andere mogelijkheid is brandstofsubstitutie, bijvoorbeeld vervanging van olie door aardgas. Gerekend per hoeveelheid energie komt bij verbranding van aardgas minder CO<sub>2</sub> vrij dan bij olie. Bij gebruik van duurzame energie (zon, wind, etc) of kernenergie zijn er geen directe CO<sub>2</sub>-emissies. Bij verbranding van brandstoffen uit biomassa is er wel emissie, maar bij aangroei van de biomassa is dezelfde hoeveelheid CO<sub>2</sub> middels fotosynthese door de plant uit de atmosfeer opgenomen: bij produktie van biomassa in een duurzame landbouwpraktijk is er dus netto geen CO<sub>2</sub>-emissie. Echter ook de indirecte CO<sub>2</sub>-emissies moeten worden meegeteld. Deze treden vooral op bij winning van olie, aardgas, steenkool en uranium; bij transport van olie en steenkool; bij olieraffinage; bij teelt en verwerking van landbouwprodukten en bij de fabricage en onderhoud van installaties zoals zonnecellen en windturbines. Deze 'indirecte' CO<sub>2</sub>-emissies zijn in de huidige situatie een orde van grootte kleiner dan de 'directe' CO<sub>2</sub>-emissies bij verbranding van fossiele brandstoffen (tabel 1).

Naast CO<sub>2</sub> zijn er andere broeikasgassen zoals CH<sub>4</sub> (methaan), CO (koolmonoxide), N<sub>2</sub>O (lachgas), O<sub>3</sub> (ozon) en CFK's (ChloorFluorKoolwaterstoffen). Aardgas bestaat voornamelijk uit methaan (CH<sub>4</sub>) wat een belangrijke broeikaswerking heeft, emissies kunnen ontstaan bij aardgaswinning en door lekkages uit gasleidingen en gas-apparatuur. Ook bij de andere fossiele brandstoffen treden CH<sub>4</sub>-emissies op: zoals mijngas bij kolen-winning en geassocieerd gas bij aardoliewinning (voorzover dit niet gebruikt of afgefakkeld wordt). Daarbij is van belang dat de broeikaswerking van CH<sub>4</sub> mede afhangt van de hoeveelheid koolmonoxide (CO) in de atmosfeer. CH<sub>4</sub> en CO worden beide in de atmosfeer weggevangen door het hydroxyl-radicaal (\*OH). Hoe meer CO in de atmosfeer, des te langer is de verblijftijd van CH<sub>4</sub> in de atmosfeer en daarmee evenredig de broeikaswerking groter. Uitlaatgassen van auto's zijn een belangrijke bron van CO.

N<sub>2</sub>O (lachgas) en CFK's worden in de atmosfeer slechts langzaam afgebroken en kunnen daardoor op den duur een belangrijke bijdrage aan het broeikas-effect leveren. N<sub>2</sub>O komt in kleine hoeveelheden voor bij katalytische uitlaatgasreiniging. CFK's soms (nog) in air-conditioning systemen van auto's.

Met behulp van 'global warming potentials' kunnen emissies van deze andere broeikasgasen worden omgerekend naar 'CO<sub>2</sub>-equivalenten'. De bij auto's met het brandstofgebruik samenhangende emissies van deze andere broeikasgassen (CO in uitlaatgas, N<sub>2</sub>O bij uitlaatgaskatalysatoren, CH<sub>4</sub> bij oliewinning en gaslekkages) zijn omgerekend gezamenlijk niet meer dan 5 g CO<sub>2</sub>-equivalenten per MJ brandstof, onder voorwaarde dat de gaslekage bij aardgasgebruik niet meer dan 1% bedraagt. Dit betekent (tabel 1) dat vooral de CO<sub>2</sub>-emissies belangrijk zijn als het om het broeikaseffect gaat. In dit artikel wordt verder alleen op CO<sub>2</sub> ingegaan.

Tabel 1. Broeikasgas emissiecoëfficiënten gCO<sub>2</sub>/MJ primaire energie

	Directe <sup>1</sup> CO <sub>2</sub>	Indirecte <sup>2</sup> CO <sub>2</sub>
Steenkool	94	6
Olieproducten	73	8 <sup>3</sup>
Aardgas	56	0,3
Kernenergie, zon, wind	-	3 à 5
Biobrandstoffen	-	5 à 50 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> bij directe verbranding van fossiele brandstoffen

<sup>2</sup> bij winning, transport, voorbereiding etc. van energiedragers, situatie Nederland anno 1988

<sup>3</sup> voor een belangrijk deel bij olieraffinaderijen, variërend van ca. 5 (diesel) tot 12 g/MJ (benzine)

<sup>4</sup> zie tekst

### Wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissie

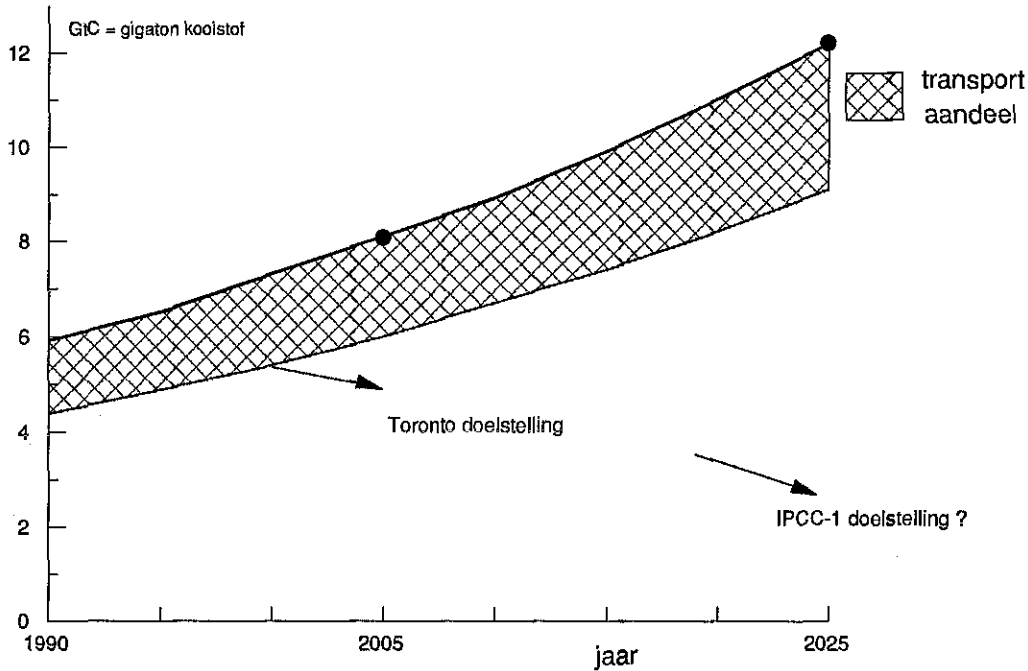
Het aandeel van de transportsector in de wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissie is 25%, waarvan 15% voor rekening van de personenauto. Volgens de eerder genoemde projectie van IPCC werkgroep-3, zou als gevolg van bevolkingsgroei, verbetering van de levensstandaard en toenemende mobiliteit, de CO<sub>2</sub>-emissie als gevolg van autogebruik toenemen. Daarbij is rekening gehouden met het huidige beleid in de afzonderlijke landen gericht op terugdringing van particulier autogebruik, en energiebesparing waardoor auto's steeds zuiniger worden: (een verbetering van het specifiek benzineverbruik van de (wereldgemiddelde) personen-auto van 1 op 12 thans, naar 1 op 16 na het jaar 2000, is verondersteld. Desondanks zou het totaal brandstofverbruik door personenauto's blijven toenemen, terwijl het transport aandeel in de wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissie ongeveer zou gelijk blijven in het jaar 2025, zie figuur 1.

### CO<sub>2</sub>-reductie bij autoverkeer

Het is duidelijk dat ook de transportsector, en in het bijzonder het autoverkeer, bij broeikasbeleid een bijdrage aan CO<sub>2</sub>-reductie moet leveren. De mogelijkheden zijn bekend: mobiliteits-vermindering, rendementsverbetering bij auto's, verschuiving naar energie-efficiëntere andere vervoermiddelen, alternatieve brandstoffen.

Mobiliteitsvermindering op lange termijn is mogelijk door verkleining van de verplaatsingsafstand bijvoorbeeld door meer tele-communicatie, locatiekeuze van wonen-werken-recreatie, verandering van leefstijl, etc.

De keuze van vervoermiddel is bepalend voor de CO<sub>2</sub>-emissie. Bij verplaatsing per fiets is de CO<sub>2</sub>-emissie nihil. Bij reizen met openbaar vervoer (bus, metro, tram, trein) is minder energie nodig dan voor een personen-auto. In Nederland is thans voor 1 persoon-kilometer met de trein 0,08 kWh nodig; dit komt overeen (ook rekening houdend met indirecte emissies en een deel dieseltreinen) met 60 gCO<sub>2</sub>. Ter vergelijking voor een persoonkilometer per auto is de CO<sub>2</sub>-emissie gemiddeld 150 gCO<sub>2</sub>. Het verschil is dus ongeveer een factor 2,5. Bij broeikasbeleid in de toekomst zal dat verschil naar verwachting groter worden omdat bij de elektriciteitsopwekking relatief veel CO<sub>2</sub>-reductie mogelijk is, waardoor de emissie per treinreizigers-kilometer nog sterk kan verminderen.



Figuur 1. Wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissie vanuit fossiele brandstoffen volgens IPCC-3 (Response Strategies Working Group/Energy and Industry Subgroup baseline scenario juni '90 /IPCC ref-91 scenario), met twee reductie-aanbevelingen

Tabel 2. Uitsplitsing reizigerskilometers Nederland-1990 naar vervoermiddel

personenauto	75 %
bus, tram, metro	8
trein	6
fiets	7
brom-, motorfiets	1
voetganger	3

Ook bij personen-auto's zijn er technische verbeteringen en gedragsaanpassingen die energie besparen en daarmee de CO<sub>2</sub>-emissie kunnen verminderen. Zoals gezegd gaat men reeds uit van een verbetering van het benzineverbruik van 1 op 12 naar 1 op 16, maar er is nog meer mogelijk. Te denken valt aan technische vernieuwingen zoals de armen-gensel motor, directe injectie dieselmotoren, rem-energie-opslag bij dieselloertuigen, continue variabele transmissie, stirlingmotoren met accu-aandrijving, gewichtvermindering door meer gebruik van aluminium, verlaging van de luchtweerstand, nieuwe keramische of fullereen smeermiddelen, verbeteringen van banden en wegdek, etc. Daarnaast zijn



er gedragsmaatregelen zoals een zuiniger rijstijl en verlaging van de maximum-snelheid. In principe zou met grote inzet van deze technische en gedragsverbeteringen een wereld-gemiddeld benzineverbruik van 1 op 25 mogelijk kunnen zijn.

Desondanks valt te betwijfelen of de combinatie van mobiliteitsvermindering, vervoermiddelverandering en efficiency-verbetering bij autoverkeer voldoende kan zijn voor vergaande reductie van CO<sub>2</sub>-emissie, bijvoorbeeld met 80%, in de transportsector.

#### CO<sub>2</sub>-emissies brandstofalternatieven

Een laatste mogelijkheid voor CO<sub>2</sub>-reductie bij autoverkeer, naast vermindering van de mobiliteitsbehoefte, verandering van vervoermiddel of efficiency-verbeteringen van het voertuig, is het gebruik van alternatieve brandstoffen. De specifieke CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende brandstofalternatieven, genormeerd op benzine-auto's, zijn weergegeven in figuur 2. Het gaat hierbij om CO<sub>2</sub>-emissies in de gehele brandstofketen ('full fuel cycle' of 'from well to wheel'), dus ook de indirecte CO<sub>2</sub>-emissies uit tabel 1 zijn meegeteld.

Het huidige gebruik van alternatieve brandstoffen is gering. Aardolie neemt wereldwijd 99% van de brandstofinzet in het wegtransport voor z'n rekening. Desondanks kan gebruik van alternatieven zoals aardgas, ethanol of methanol beschouwd worden als 'bewezen techniek'. Wereldwijd rijden momenteel 0,7 miljoen aardgasvoertuigen (o.a. Argentinië, GOS, Italië, Nieuw Zeeland), 8 miljoen ethanol-auto's (Brazilië) en enkele duizenden methanol-auto's. Daarnaast is methanol grondstof bij productie van MTBE in loodvrije benzine.

Tabel 3. *Huidig aandeel in mondiaal gebruik van autobrandstoffen: percentage in finaal energiegebruiksvoorziening wegtransport*

Aardolieprodukten (benzine, diesel, LPG)	99%
Ethanol (Brazilië, USA)	0,7%
Aardgas (Compressed Natural Gas CNG)	0,1%
Methanol (in MTBE)	0,4%

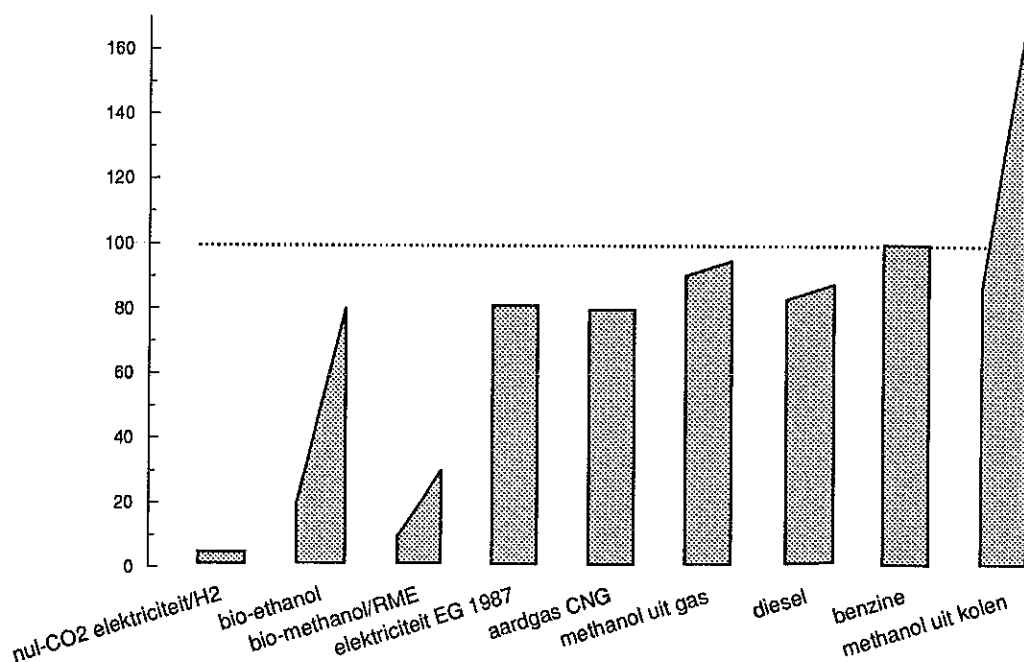
In Nederland is het gebruik van alternatieve brandstoffen in het wegverkeer gering, afgezien van enkele elektrische trolleys en aardgasbussen in het stadsverkeer, en een honderdtal CNG auto's. Bij de huidige wereldmarktprijzen van ruwe olie zijn alternatieve niet-aardolie brandstoffen niet of nauwelijks concurrerend.

#### Diesel, LPG

Hoewel diesel en LPG (liquefied petroleum gas) net als benzine afkomstig zijn uit aardolie, worden ze apart besproken omdat vervanging van benzine door diesel of LPG invloed op de CO<sub>2</sub>-emissies kan hebben.

De directe CO<sub>2</sub>-emissie bij verbranding van benzine of diesel is ongeveer gelijk (72-73 g/MJ). Bij gebruik van diesel is het rendement van de motor echter hoger dan bij benzine, zodat bij een vergelijkbaar voertuig gemiddeld zo'n 10% minder energie nodig is per gereden kilometer. Daarnaast is bij de olieraffinaderij minder energie nodig: simpele (o.a. 'straight-run') diesel-productie is mogelijk zolang de raffinaderijproductmix voor minder dan 1/5 deel uit diesel bestaat, bij benzine daarentegen is in de raffinaderij nogal wat extra energie (en dus CO<sub>2</sub>-emissie) nodig voor de alkylerings-stap; het verschil in aan benzine en diesel toe te rekenen indirecte CO<sub>2</sub>-emissie in de huidige Nederlandse olieraffinaderijen is ongeveer 7 gCO<sub>2</sub>/MJ. Bij elkaar genomen (beter motor-rendement en minder raffinaderij-verlies) betekent dit dat de 'well to wheel' CO<sub>2</sub>-emissie bij gebruik van een dieselauto bijna 20% minder is dan bij een vergelijkbare benzine-auto. In de toekomst kan dit verschil verminderen als er strenge milieu-eisen aan diesel en de diesel-auto gesteld gaan worden. Voor productie van zwavel-arme diesel is extra energie nodig in de raffinaderij, uitlaatgas-reiniging (roetfilters) af verandering van de motor-afstelling bij diesel-auto's kan ten koste gaan van het energetisch rendement.

Bij gebruik van LPG (liquefied petroleum gas) is het motorrendement ongeveer gelijk aan benzine. De directe CO<sub>2</sub>-emissie bij verbranding is lager (voor LPG 66 g/MJ), aan de andere kant is voor compressie van LPG elektriciteit nodig (indirecte emissie 2-4 g/MJ). De extra energie daarnaast nodig in de olieraffinaderij is afhankelijk van de lokale markt voor LPG. De aan LPG toe te rekenen extra energie is nihil wanneer er geen lokale markt is. Dit was het geval in het begin van de jaren '70 in Nederland toen door de snelle penetratie van aardgas de markt voor butagasflessen inzakte. De olieraffinaderijen zochten een nieuwe markt, die gecreëerd werd met LPG-auto's. In de huidige situatie is er, mede door de toegenomen produktie van MTBE, geen overschot meer aan LPG, en is de 'well to wheel' CO<sub>2</sub>-emissie bij gebruik van een LPG-auto ongeveer gelijk aan een benzine-auto. Zou het gebruik van LPG sterk toenemen dan zou de CO<sub>2</sub>-emissie vanwege raffinaderij-aanpassingen wat hoger uitvallen.



Figuur 2. Relatieve CO<sub>2</sub>-emissie brandstofalternatieven (benzine auto = 100)

### Aardgas CNG

Bij aardgas-voertuigen (CNG) is van belang dat de directe CO<sub>2</sub>-emissie bij aardgas (56 g/MJ) minder is dan bij benzine, het rendement van een gasmotor is echter iets lager en voor de compressie van het aardgas is elektriciteit nodig (indirecte emissie 3-5 g/MJ). Al met al levert gebruik van aardgas als motorbrandstof zo'n 20% CO<sub>2</sub>-reductie vergeleken met benzine.

Aardgas als autobrandstof is op grote schaal in gebruik in Argentinië, GOS, Italië en Nieuw Zeeland, waar veel tankstations zijn uitgerust met een compressor en een installatie voor tanken van CNG. Daarnaast zijn er in diverse andere landen/regio's (van Taskjent tot Texas) CNG-fleet-owners waar vaak honderden CNG voertuigen rijden. In de meeste gevallen is ter plaatse goedkoop aardgas beschikbaar waar weinig andere bestemmingsmogelijkheden voor zijn. Ook de lokale milieuproblematiek speelt een rol: aardgas levert minder luchtvervuiling dan benzine of diesel; inzet van bijvoorbeeld aardgas-bussen kan zo een bijdrage leveren aan de verbetering van de luchtkwaliteit in grote steden.

Net als aardgas is ook gebruik mogelijk van biogas, dat op beperkte schaal vrijkomt bij waterzuivering, stortplaatsen en mest- of huisvuil-vergisting. Het biogas moet wel goed gezuiverd worden van zwavel om corrosie van de motor te verminderen.

## Methanol

In plaats van benzine kan methanol gebruikt worden als motorbrandstof. Methanol is een vloeistof net als benzine. Bij gebruik van pure methanol zijn er wel enkelen aanpassingen nodig in de motor (ontsteking, menging) en in de brandstofleiding- en -tank (vanwege het corrosieve karakter van methanol). In het begin van de jaren '80 is in Duitsland een omvangrijke fleet-test gehouden waarbij (net als bij diesel) een 'zomer' en een 'winter' methanol variant werd gebruikt. Ook in Nederland zijn door TNO een tiental voertuigen op methanol getest.

Het motorrendement is gelijk of iets hoger dan bij benzine. Methanol kan goed in een z.g. arme mengsel motor (lean burn) gebruikt worden, daardoor kan het motorrendement toenemen.

In principe is ook dissociatie van methanol in koolmonoxide en waterstof mogelijk aan boord van het voertuig. Met behulp van een katalysator is dissociatie mogelijk bij 300°C onder toevoer van motor-restwarmte. Het geproduceerde gasmengsel kan in een diesel-motor of een nog te ontwikkelen brandstofcel benut worden voor aandrijving van het voertuig. In de toekomst zou daardoor het voertuigrendement verder kunnen toenemen.

Een eerdere mogelijkheid is het mengen van kleine hoeveelheden methanol met benzine. Tot zekere grenzen kan dit zonder problemen, maar thans wordt dit in Nederland niet (meer) toegepast. In de huidige situatie is methanol grondstof bij de produktie van MTBE (Methyl TertiairButyl Ether) het anti-klop middel ter vervanging van TEL (Tetra Ethyl Lood) in loodvrije benzine. MTBE bestaat voor 1/5 uit methanol en 4/5 uit aardolieprodukt. In de nabije toekomst zou een grotere inzet van methanol mogelijk kunnen zijn, bijvoorbeeld in wat oliemaatschappijen 'reformulated gasoline' noemen.

Tabel 4. Specificaties benzine Nederland (vol%)

	methanol	methanol	MTBE
maximaal toegestaan	3%	5%	15%
thans (1992)	-	-	7%

De directe CO<sub>2</sub>-emissie bij verbranding van methanol is 70 g/MJ. De indirecte CO<sub>2</sub>-emissie hangt af van de wijze waarop de methanol geproduceerd is. De huidige wereldproduktie van methanol bedraagt ongeveer 25 miljard liter per jaar, waarvan 90% uit aardgas en bijna 10% uit bruinkool of steenkool. Bij produktie van methanol uit aardgas in een conventioneel steam-reforming proces is de CO<sub>2</sub>-emissie iets lager dan bij benzine.

Uit figuur 2 blijkt dat vergeleken met benzine de produktie uit steenkool of bruinkool een toename van CO<sub>2</sub>-emissies veroorzaakt. Bij gecombineerde produktie van methanol en elektriciteit in een once-through kolenvergassingsproces, of door CO<sub>2</sub> verwijdering tijdens de methanol-produktie, is daarentegen een kleine vermindering ten opzichte van benzine mogelijk.

De mogelijkheid van methanol uit hout of stro is in onderzoek, te denken valt aan snelgroeiende populieren of olifantsgras. Bij vergassing van de droge biomassa ontstaat een synthese gas dat in methanol wordt omgezet. De CO<sub>2</sub>-balans is gunstiger dan bij benzine. Gasreiniging en constante samenstelling van synthese gas zijn belangrijke aandachtspunten bij de verdere ontwikkeling van deze technologie.

## Ethanol

Een ander alternatief is ethanol, eveneens een vloeistof net als benzine. Uit zetmeel of suiker ontstaat in een biochemisch fermentatie-proces een water-ethanol mengsel waaruit ethanol gedestilleerd wordt. Produktie van bio-ethanol uit suikerriet of mais is een bewezen

techniek die in het buitenland (Brazilië, VS) op grote schaal wordt toegepast. In deze landen is bio-ethanol als autobrandstof geïntroduceerd in het begin van de jaren '80, vanwege energie- en landbouw-politieke overwegingen.

In Brazilië werd alle aardolie geïmporteerd tegen hoge prijs, terwijl aan de andere kant de wereldmarktprijs voor suiker laag was. Sinds 1977 is in Brazilië de produktie van ethanol uit suikerriet gestimuleerd. De huidige produktie is ca. 12 miljard liter ethanol per jaar. Het grootste deel van de ethanol wordt in pure vorm gebruikt in omgebouwde benzine-auto's (8 miljoen stuks). Daarbij volstaat een 96% ethanol/ 4% water mengsel; dat eenvoudiger te produceren is dan zuivere 99,2% ethanol. In totaal zijn 374 ethanol-fabrieken in bedrijf, de meeste hebben een relatief kleine capaciteit, er zijn ook een 30-tal grotere met een produktiecapaciteit van 100 miljoen l/j. Momenteel verkeert het Braziliaanse 'pro-alcool' programma in de problemen: de wereldsuikerprijs is hoog, de wereldolieprijs is laag, en inmiddels produceert Brazilië zelf off-shore aanzienlijke hoeveelheden aardolie.

In de USA is bio-ethanol geïntroduceerd in 1979 vanwege de landbouw-overschotten in de corn-belt, en vanwege het strategische gevaar dat de binnenlandse aardolieproduktie een steeds kleiner deel van de binnenlandse markt kan voorzien (de zelfvoorzieningsgraad voor aardolie in de USA is gedaald van 75% in 1985 naar 50% in 1990). De belangrijkste agrarische grondstof voor ethanol-produktie is mais. Sinds 1979 zijn 155 ethanol-fabrieken gebouwd, waarvan thans nog 40 in bedrijf zijn, met een gemiddelde produktiecapaciteit van 100 miljoen l/j. In de jaren 85/86 zijn veel fabrieken gesloten vanwege het wegvallen van federale subsidies en de lage olieprijs, en vanwege technisch-economische problemen met name door pathologische besmettingen in de fermentatiestap en hoge kosten voor afvalwaterzuivering. In tegenstelling tot Brazilië wordt in de USA de ethanol niet puur gebruikt, maar tot 10% gemengd met benzine (gasohol). Om ontmenging van het benzine-ethanol-mengsel te voorkomen is daarvoor 'absolutering' tot 99,2% zuivere ethanol nodig. De huidige produktie is ca. 3 miljard liter ethanol per jaar.

Naast Brazilië en de USA is er enige ervaring met produktie van bio-ethanol en gebruik als autobrandstof in Canada, Zimbabwe en Zweden. Ook in deze gevallen gaat het om landen met een omvangrijke landbouwproduktie en gebrek aan inheemse aardolie-voorraden. Hoewel brandstof uit biomassa geproduceerd in een duurzame landbouw-praktijk netto geen CO<sub>2</sub> in de atmosfeer brengt (dezelfde hoeveelheid CO<sub>2</sub> die bij verbranding van de biomassa vrijkomt, wordt door het landbouwgewas door fotosynthese uit de atmosfeer opgenomen) is er wel sprake van een 'indirecte' CO<sub>2</sub>-emissie als gevolg van diesel voor landbouwtractoren, aardgas bij kunstmestproduktie en brandstof-inzet bij verwerking van het landbouwgewas (b.v. destillatie van ethanol). De hoogste waarde in figuur 2 bij bio-ethanol geeft de CO<sub>2</sub>-emissie bij een Amerikaans bio-ethanol-project uit de 70'er jaren met steenkool als (goedkope) brandstof bij de destillatie. Fermentatie en destillatie kosten relatief veel energie, belangrijke recente verbeteringen zijn de overgang van batch-processen naar continue fermentatieprocessen (b.v. met geïmmobiliseerde enzymen), gebruik van meer geavanceerde destillatietechnieken (b.v. meertraps-verdampers, mechanische dampcompressie) of andere scheidingsprocessen (b.v. membranen) en gebruik van rest-stromen van het proces voor de eigen energievoorziening. In de energie-balans zijn nog aanzienlijke verbeteringen mogelijk, zie figuur 2.

De beschikbaarheid van landbouwareaal is een harde randvoorwaarde. Zoals bekend zijn er landbouwoverschotten in Europa. Van het totale EG-akkerbouw-areaal van 50 miljoen ha, is volgens Brussel 13 miljoen ha teveel. Hiervoor gelden momenteel braakpremies. Op dit 'landbouwoverschot-areaal' zou met de huidige technieken minstens 1300 PJ bio-ethanol uit graan of suikerbiet geproduceerd kunnen worden, voldoende om 17% van de huidige EG behoefte aan motorbrandstoffen voor wegtransport te voorzien.

In Nederland is het mogelijk aandeel kleiner. Bij suikerbiet in Nederland is de ethanol-opbrengst per ha 2-3 x hoger dan het EG-gemiddelde, maar er is niet veel landbouwgrond beschikbaar (het totale Nederlandse akkerbouwareaal is 0,8 miljoen ha).

Ethanol kan puur gebruikt worden in aangepaste benzinemotoren zoals in Brazilië, of kan gemengd worden met benzine tot ca. 10%. De verbrandingswaarde van ethanol is 21,3 MJ/liter, de verbrandingswaarde van benzine is 32,8 MJ/liter. Bijmenging van ethanol met benzine heeft bij gebruik van een auto met uitlaatgas-katalysator geen invloed op het motorrendement.

Tabel 5. Stookwaarde/onderste verbrandingswaarde brandstoffen

	MJ/liter(15°C)	MJ/kg
aardgas		38,0
benzine	32,8	44,0
diesel	35,9	42,7
ethanol	21,3	26,7
methanol	15,8	19,7
RME	32,6	37,0
waterstof		121,0

### Koolzaad/raapzaad

Een andere mogelijk landbouwgewas dat vloeibare motorbrandstof kan leveren is koolzaad. Daaruit kan olie worden geperst, met veevoer als belangrijk neven-produkt. Het overblijvende stro is na briketteren geschikt als vaste brandstof. Koolzaadolie kan niet direct worden gebruikt in conventionele dieselmotoren, omdat dit leidt tot problemen met de brandstofinspuiting, vervuiling van de verbrandingskamer, e.d. Hierdoor loopt de motor na enige tijd niet (goed) meer. Door de hoge viscositeit van koolzaad-olie vergeleken met diesel (koolzaad-olie 60-90 cS, diesel 3,8 cS (=centiStokes is een maat voor de stroperigheid)) is de verstuiwing slecht. Hierdoor vindt onvolledige verbranding plaats en ontstaat een aanslag op de wanden van de verbrandingskamer en andere plaatsen waardoor verstopping optreedt. Een speciaal ontwikkelde motor voor plantaardige olie is de Elsbett-motor. Door de constructie van zuigers en inspuiting treedt weinig warmteverlies op waardoor waterkoeling overbodig is, de motor wordt alleen gekoeld met motorolie. Uit vergelijkende tests bij TNO met een conventionele directe injectie dieselmotor komt een zuiniger gebruik naar voren, veroorzaakt door het kleinere warmteverlies en het lagere gewicht van de Elsbett-motor.

Gezien de problemen met rechtstreeks gebruik van plantaardige olie in diesel-motoren en het experimentele karakter van de Elsbett-motor is verestering een aantrekkelijke mogelijkheid. Verestering van plantaardige olie is een bekend proces in de industrie, o.a. bij de produktie van zeep. Bij verestering van koolzaad-olie ontstaat een vloeistof (RME Raapzaad-olie MethylEster) die wat betreft viscositeit vergelijkbaar is met diesel (6-7 cS, diesel 3,8 cS). Conventionele dieselmotoren kunnen zonder problemen op RME draaien. Momenteel zijn in o.a. Frankrijk en Oostenrijk fleet-tests aan de gang met mengsels van 20% RME toevoeging aan diesel.

De schaal-grootte van zo'n installatie voor RME-produktie kan relatief klein zijn, bijvoorbeeld 5 miljoen liter per jaar. Bij de verestering ontstaat glycerol als nevenprodukt. De inzet van hulpenergie (elektriciteit voor pers-installaties) is relatief gering. Variaties in de opbrengsten van de bijprodukten (veevoer, glycerol en brandstofbriketten) hebben grote invloed op de economische haalbaarheid; de opbrengstprijz van deze nevenprodukten is van evengroot belang als de opbrengst van olie. De huidige prijs voor veevoer (uitgeperste koolzaad-koek, tot 25% te mengen met sojameel) is ongeveer 0,2 gld/kg, de huidige prijs voor glycerol is ca. 2-3 gld/kg, de strobriketten zijn geschikt als vaste brandstof in normale ketel-installaties.

Een marktniche voor plantaardige olie is het gebruik als motor-olie in machines in (kwetsbare) natuurgebieden, waar de biologische afbreekbaarheid een voordeel is. In b.v. Finland is gebruik van plantaardige motor-olie verplicht in de bosbouw en voor buitenboordmotoren.

### **Elektrische auto**

Elektrische auto's zijn in ontwikkeling. Iedere autofabrikant heeft op proef wel een paar elektrische auto's rondrijden. Een elektrische auto wijkt essentieel af van een benzine-auto: de benzinemotor is vervangen door een elektromotor en de auto is groter/zwaarder vanwege het gewicht van de accu voor opslag van elektriciteit; aan de andere kant is er minder motorslijtage en zijn er voordelen in stadsverkeer (geen uitlaatgas, minder geluid en de mogelijkheid van opslag van rem-energie). Een belangrijke belemmering is de beperkte opslagcapaciteit van accu's. Met de huidige types lood-accu's zou een elektrische midden-klasse personenauto slechts een geringe actieradius hebben van minder dan 100 km bij een mee te voeren accu-gewicht van 500 kg. Nieuwe accu-systemen zijn in ontwikkeling, zoals de hoge temperatuur (300 °C) Natrium-Zwavel (NaS) accu met 4 maal hogere opslagcapaciteit. Deze accu's zijn nu nog erg kostbaar ca. 40.000 gld per auto, met een gegarandeerde levensduur van 3-4 jaar. De hoge kostprijs, de beperkte levensduur en de noodzaak de accu op temperatuur te houden maken de NaS-accu geschikt in voertuigen voor dagelijks gebruikt worden in stadsverkeer (taxi's, bussen). De hoge bedrijfstemperatuur is overigens tevens een garantie voor starten bij grote koude. Verwacht wordt dat bij grootschalige serieproductie de kostprijs kan dalen.

Een elektrische auto heeft geen uitlaatgas. CO<sub>2</sub>-emissies treden alleen op bij de productie van elektriciteit ten behoeve van het voertuig. In figuur 2 is dat uitgerekend voor het gemiddelde brandstofpakket bij de elektriciteitsproductie in de EG anno 1987. Het blijkt dat in Europa gemiddeld een elektrische auto een geringe CO<sub>2</sub>-reductie oplevert vergeleken met een vergelijkbare benzine-auto. Er zijn wat betreft het brandstofpakket bij elektriciteitscentrales grote verschillen tussen technieken en landen onderling. Vaak denkt men bij elektrische auto's aan introductie in het stadsverkeer, waar de geringe actieradius geen bezwaar is en de afwezigheid van uitlaatgassen het leefklimaat in de stad gunstig kan beïnvloeden. De auto rijdt overdag, het opladen van de accu's gebeurt 's nachts, hetgeen een gunstige combinatie kan vormen met overtollige elektriciteit van bijvoorbeeld kerncentrales. Bij zo'n combinatie van elektrische stadsauto's met kerncentrales is de CO<sub>2</sub>-emissie gering (figuur 2).

In Nederland daarentegen is de helft van de elektriciteit uit steenkool en de andere helft uit aardgas afkomstig. Ondanks het relatief hoge elektrisch rendement van de elektriciteitscentrales ligt de CO<sub>2</sub>-emissie per geleverde kWh (inclusief net-verliezen en indirecte CO<sub>2</sub> emissies) zodoende boven het EG-gemiddelde van 1987 (700 respectievelijk 550 gCO<sub>2</sub>/kWh). In de huidige situatie in Nederland is de CO<sub>2</sub>-emissie bij gebruik van een elektrische auto ongeveer gelijk aan of iets groter dan bij een vergelijkbare benzine-auto.

### **Waterstof**

Een laatste alternatieve brandstof is waterstof (H<sub>2</sub>). Ook deze techniek is in ontwikkeling. Vergeleken met elektrische auto's heeft waterstof een voordeel wat betreft opslagcapaciteit. Waterstof-opslag is mogelijk in drukcilinders net als bij CNG, metaalhydrides of in vloeibare vorm.

Bij drukcilinders moet men denken aan hoge drukken (tot 300 bar wellicht) en stevige constructies van aluminium omwikkeld met supersterke vezels (koolstof, aramide) zoals gebruikelijk in de vliegtuigindustrie.

Bij vloeibare waterstof vergt de liquefactie veel elektriciteit (in finale energie evenredig met 30% van de verbrandingswaarde van de waterstof) en zijn voorzieningen nodig voor afvoer van de continue verdampende waterstof (1-2 % per dag) uit de opslagtank.

Bij absorptie van waterstof aan metaal (metaalhydrides) is de energiedichtheid lager. Per kg metaal is bij magnesium of vanadium-legeringen thans per 100 kg metaal niet meer dan 7 kg waterstof mogelijk; het voordeel vergeleken met elektrische voertuigen vermindert daardoor aanmerkelijk.

In de auto is waterstof te gebruiken in een omgebouwde benzinemotor, dit is de afgelopen jaren gedemonstreerd in diverse fleet-tests, o.a. in Duitsland. Een toekomstige mogelijkheid met een 2-3 x hoger omzettingsrendement vergeleken met een benzine-motor is gebruik van waterstof in een PEM-brandstofcel (PolyMeer Electrolyt, bij 80°C) die met een hoog rendement (55-65%) elektriciteit produceert voor een electromotor voor de wielaandrijving van het voertuig. Het uitlaatgas bestaat uit zuiver water, bij gebruik van een verbrandingsmotor komt ook NO<sub>x</sub> vrij.

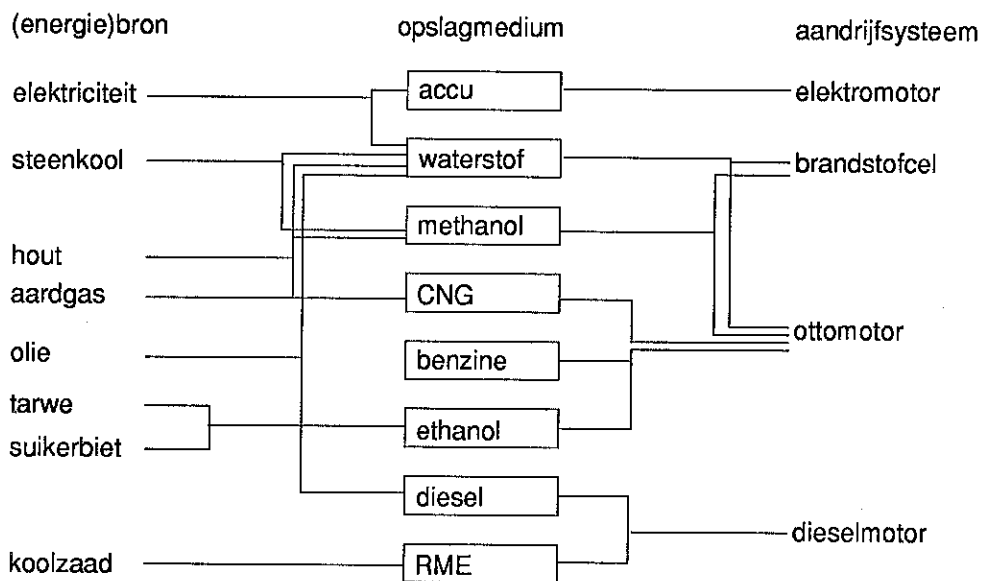
Ook hier geldt dat de CO<sub>2</sub>-emissie afhangt van de manier waarop de waterstof geproduceerd is. Voor een nul-CO<sub>2</sub> energievoorziening wordt daarbij vaak gedacht aan elektrolyse met behulp van CO<sub>2</sub>-arme elektriciteit uit kerncentrales, waterkrachtcentrales of zelfs zonne-centrales in de Sahara. Elektrolyse is een kostbaar proces waarmee waterstof van hoge zuiverheid wordt gemaakt. Veel goedkoper is productie uit fossiele brandstoffen middels kolen- of olie-vergassing of aardgas-reforming. In de industrie wordt waterstof tegenwoordig voornamelijk uit aardgas geproduceerd. Bij de productie van waterstof uit fossiele brandstof komt CO<sub>2</sub> in geconcentreerde vorm vrij. CO<sub>2</sub> zou dus gemakkelijk kunnen worden afgescheiden en opgeslagen in bijvoorbeeld lege aardgasvelden ondergronds om te voorkomen dat het in de atmosfeer komt. Productie van waterstof uit aardgas in combinatie met opslag van CO<sub>2</sub> in lege gasvelden. Dit kan een aantrekkelijke toekomstige optie zijn voor een nul-CO<sub>2</sub> energievoorziening. CO<sub>2</sub> injectie wordt reeds toegepast bij olie-velden om de olieproductie te stimuleren.

De eerste grootscheepse toepassing van waterstof in de transportsector zou wel eens bij vliegtuigen kunnen zijn. Het aandeel van luchtvaart in de wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissie is momenteel 3%. Bij gebruik van waterstof in plaats van kerosine (vergelijkbaar met diesel, zie tabel 5) is de hogere verbrandingswaarde een voordeel. Daardoor vermindert het gewicht van het vliegtuig, hetgeen enkele procenten energiebesparing op kan leveren. Nadeel is echter zoals gezegd het hoge elektriciteitsverbruik voor waterstof-liquefactie. Een heel nieuw vliegtuig-ontwerp is nodig, waarbij de volumineuze waterstof-tanks in de constructie zijn geïntegreerd. Niettemin lijkt waterstof de beste kandidaat alternatieve vliegtuigbrandstof in het geval van CO<sub>2</sub>-reductiebeleid.

### **Systematische analyse**

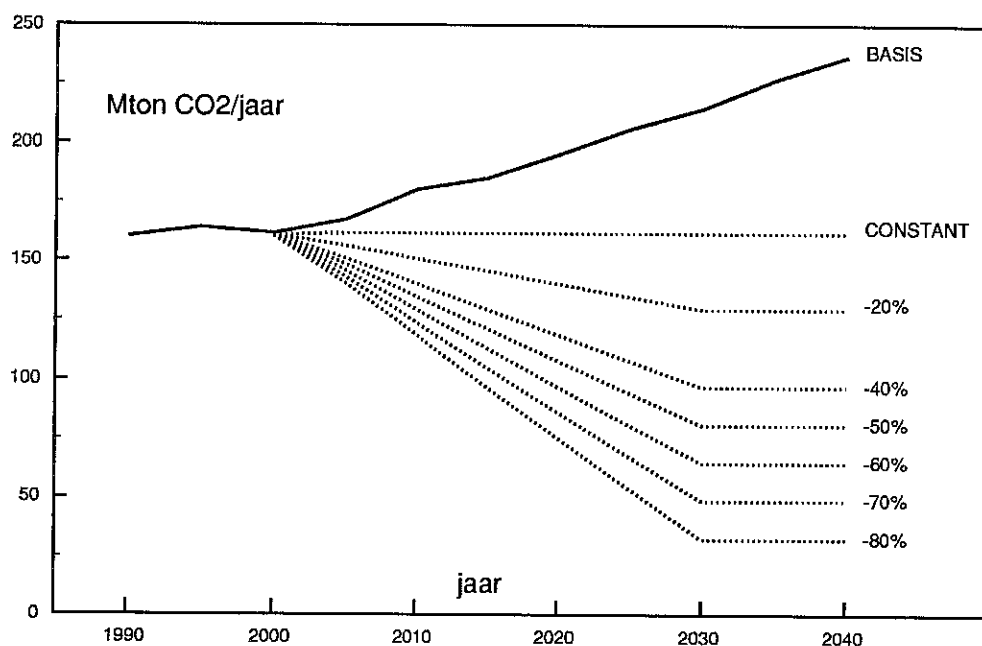
Er zijn dus heel wat alternatieven om de CO<sub>2</sub>-emissie door het autoverkeer te verminderen. Thans bestaat de brandstof-inzet voor wegtransport nog voor 99% uit aardolieproducten, maar in de toekomst zal dat moeten veranderen: is het al niet vanwege het opraken van de olievoorraden, dan is het wel vanwege het broeikas-effect. Maar wanneer en hoe dat zal gebeuren is nu nog niet duidelijk. De mogelijke inzet van alternatieven is afhankelijk van allerlei factoren, zoals de stand der techniek, acceptatie door de gebruiker, kosten en bijdrage aan CO<sub>2</sub>-reductie.

## autobrandstof alternatieven



Figuur 3. Hoofdstructuur mogelijke auto-brandstoffen bij ESC in studie

De mogelijkheden voor toekomstige CO<sub>2</sub>-reductie in Nederland worden onderzocht bij ECN in EMS (Energie- en Materiaal-gebruikScenario's ter beperking van emissies van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen) in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en het nationaal onderzoeksprogramma mondiale luchtverontreiniging en klimaatverandering. Er wordt een optimalisatiemodel (het MARKAL-model van het Internationaal Energie Agentschap (IEA) te Parijs) gebruikt van de Nederlandse energiehuishouding voor berekeningen over de tijdsperiode 2000-2040. Gerekend is met verschillende doelstellingen voor de nationale CO<sub>2</sub>-emissie, tot 80% reductie zie figuur 4. In het model zijn technisch-economische kencijfers (investeringen, onderhoud, levensduur, energetisch rendement, marktpo-



Figuur 4. Basisberekening Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissie (excl. feedstocks) en CO<sub>2</sub>-reductie-doelstellingen

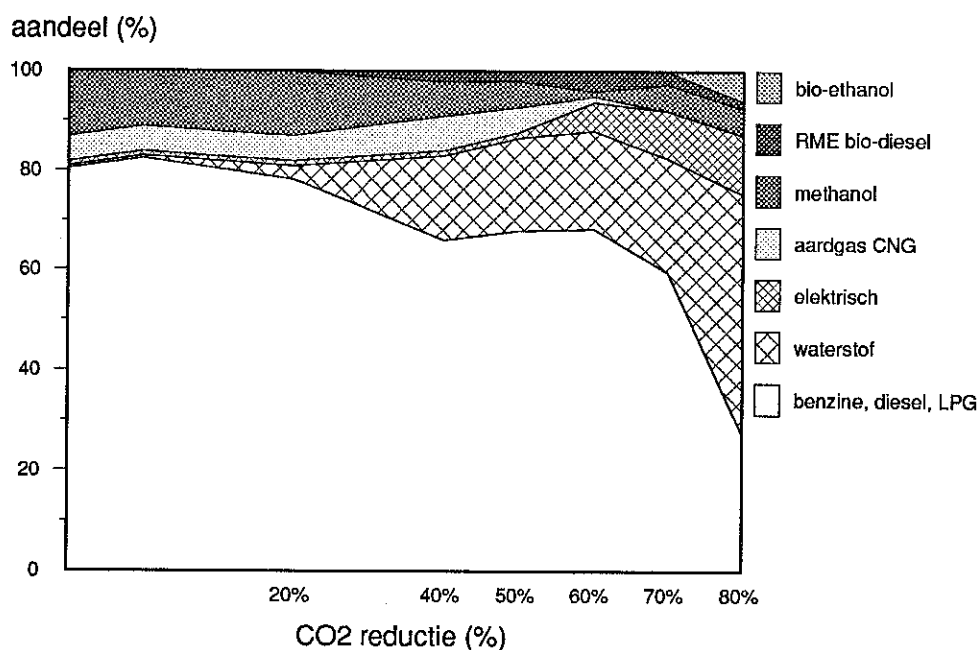


tentieel) opgenomen van een 250-tal energietechnieken, waaronder een 50-tal mogelijkheden bij wegtransport (hoofdstructuur zie figuur 3). Bij het vaststellen van technisch-economische uitgangspunten is o.a. gebruik gemaakt van praktijkgegevens van proefnemingen met alternatieve brandstoffen. Het model optimaliseert naar laagste kosten van de nationale energiehuishouding en berekent de kosten van emissie-reductie bij verschillende CO<sub>2</sub>-reductie-doelstellingen.

In figuur 5 is aangegeven wat een kosten-optimale inzet van brandstoffen, in een lage groei scenario zonder kernenergie met licht stijgende olieprijs en 85% reductie van NO<sub>x</sub>-emissies, in het wegverkeer zou zijn bij verschillende nationale CO<sub>2</sub>-reductiedoelstellingen (figuur 4).

In dit scenario zou bij 'milde' nationale CO<sub>2</sub>-reductiedoelstellingen eerst weinig veranderingen optreden in de sector wegtransport. Het is blijkbaar goedkoper eerst elders in de energiehuishouding (bij elektriciteitscentrales, woningen en industrie) te beginnen met energiebesparing en CO<sub>2</sub>-vermindering. Bij verdergaande CO<sub>2</sub>-reductiedoelstellingen zien we dat alternatieve brandstoffen uit biomassa, elektriciteit en waterstof aantrekkelijk zijn. Bij brandstoffen uit biomassa zijn kosten en het beschikbare landbouwareaal evenwel een beperking, bij elektrische voertuigen zijn actieradius en kosten een probleem, uiteindelijk zou volgens deze berekening waterstof als meest gunstig uit de bus komen. De waterstof wordt geproduceerd uit aardgas met verwijdering en opslag van CO<sub>2</sub>.

Problemen met uitputting van gasvoorraden spelen op deze termijn nog geen rol. De wereld-aardgasvoorraad is groter dan de olievoorraad, terwijl het jaarlijks gebruik van aardgas half zo groot is als het oliegebruik: bij de huidige trend zou de olievoorraad eerder zijn uitgeput dan de gasvoorraad.



Figuur 5. Brandstofmix wegverkeer periode 2020 t/m 2040 bij verschillende nationale CO<sub>2</sub>-reductiedoelstellingen

### 3. INTRODUCTIE IN NEDERLAND

Hoewel er dus louter vanuit kosten-optiek pas bij verdergaande CO<sub>2</sub>-reductie veranderingen in het wegtransport nodig zouden zijn (figuur 5), kunnen er meer redenen zijn om op alternatieve brandstoffen over te gaan. Een volledige bespreking is in dit kort bestek niet mogelijk. In tabel 6 is puntsgewijs een relatieve onderlinge beoordeling gegeven voor de verschillende brandstof-alternatieven.

Tabel 6.

	benzine, diesel	methanol	bio- massa	aardgas CNG	water- stof	elektrisch
aandeel nu	99%		0,7%	0,1%		
techniek nu	+	+	+	+	-	-
opslag brandst risico's	+	+	+	o	o	-
stadsklimaat	o	o	o	o	o	o
CO <sub>2</sub> -reductie	-	-	-	o	+	+
kosten	-	o	+	o	+	+
uitputting	+	+	-	o	-	-
raffinage NL	-	+	o	o	+	+
beschikbaar NL	+	-	o	-	o	-
	o	o	-	+	o	o

Toelichting: Het gaat in tabel 6 om een relatieve (dus geen absolute) beoordeling:  
+ = positief; o = neutraal; - = negatief.

De eerste 7 aspecten gelden algemeen, de laatste 2 aspecten specifiek voor Nederland

Techniek nu = de huidige stand der techniek: is deze nu reeds beschikbaar of nog in ontwikkeling?

Benzine, methanol, bio-ethanol brandstof uit biomassa en Compressed Natural Gas aardgas CNG zijn 'bewezen techniek'. Deze brandstoffen zijn/worden reeds toegepast op grote schaal en de onderdelen zijn commercieel verkrijgbaar. Waterstof- of elektrische auto's bevinden zich echter nog in een experimenteel stadium, en er kunnen technische doorbraken op het gebied van accu's of brandstofcellen nodig zijn.

Opslag brandstof = is de brandstof-opslag in het voertuig makkelijk of moeilijk?

Het makkelijkst is opslag in vloeibare vorm, zoals bij benzine, diesel, methanol, bio-ethanol of RME-bio-diesel. Opslag van gasvormige brandstoffen is een stuk moeilijker, er zijn hoge drukken nodig (tot 200 of meer bar) of goed geïsoleerde vloeistof-opslag bij extreem lage temperatuur met afdampvoorzieningen. De opslagtank is zwaarder en neemt meer ruimte in beslag. Het moeilijkst is opslag van elektriciteit, honderden kilo's extra accu-gewicht zijn nodig bij een desondanks beperkte actieradius.

Risico's = zijn er voor producent en gebruiker risico's verbonden aan het gebruik van de betreffende brandstof?

Hier is geen sterk verschillend oordeel gegeven. Bij alle brandstof-alternatieven zijn er risico's, zoals de risico's van ongelukken met olietankers bij benzine, de giftigheid bij methanol, de bedrijfsongevallen in de landbouw bij bio-brandstoffen, gevaren bij ondeskundig omgaan met aardgas- of waterstof-drukcyinders of met elektriciteit. De risico's van verkeersongelukken, verbonden aan het gebruik van particuliere personen-auto's in het algemeen, zullen echter groter zijn. Waarmee niet gezegd wil worden dat de risico's bij de afzonderlijke brandstof-alternatieven irrelevant zouden zijn.

Beschikbaar NL = is meer dan voldoende brandstof beschikbaar in Nederland of kan deze gemakkelijk beschikbaar worden gemaakt?

Voor aardgas het meest gunstig: er is in Nederland nog voor vele jaren aardgas beschikbaar.

Bij benzine is dit minder gunstig; weliswaar is er veel olie-raffinage-capaciteit, maar de Nederlandse aardolie-voorraden zijn te klein om de binnenlandse vraag te dekken. Voor methanol geldt eveneens dat er veel productiecapaciteit aanwezig is in Nederland, maar er zijn geen grote hout- of steenkool-voorraden. De productiecapaciteit voor waterstof zou zoals gezegd gemakkelijk uitgebreid kunnen worden, en er zijn lege gasvelden aanwezig in Nederland voor eventuele opslag van geconcentreerd CO<sub>2</sub> vrijkomend bij de waterstofproductie. Voor elektriciteit bestaat geen duidelijk overschot in Nederland, thans bestaat 15% van het elektriciteitsgebruik uit import-stroom o.a. uit Frankrijk.

Minst gunstig is de beschikbaarheid van bio-brandstof; zelfs het gehele Nederlandse akkerbouw-areaal zou niet voldoende zijn om de huidige vraag naar autobrandstoffen te dekken.

## 4. CONCLUSIES

Er is nog een lange weg te gaan voor introductie van alternatieve brandstoffen in auto's in Nederland. Wanneer het terugdringen van autoverkeer niet lukt zijn alternatieve brandstoffen nodig vanwege het broeikas-effect ( $\text{CO}_2$ -emissie), naast de problemen van opraken van olievoorraden en het stadsklimaat. Bij de huidige ontwikkelingen heeft de auto van de toekomst elektrische wiel-aandrijving met een accu of brandstofcel op waterstof of methanol als energieleverancier. In een tussenperiode lijkt een rol weggelegd voor aardgas en wellicht voor bio-brandstoffen uit bijvoorbeeld koolzaad en suikerbiet.

## LITERATUUR

G.F.Bakema, O.v.Hilten, A.D.Kant, P.Kroon.

Aardgas en elektriciteit bij het gemeentelijk voertuigpark van Amsterdam.

Rapport nr. ECN-C-90-045, ECN Petten, oktober 1990

T.Kram, P.A.Okken.

Kansen voor alternatieve brandstoffen in het wegverkeer onder invloed van olieprijs, NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> plafonds.

Rapport nr. ESC-52, ECN Petten, november 1989

B.v.d.Laken, J.A.Over.

Toepassingen voor waterstof.

Rapport nr. ECN-I-92-16, ECN Petten, juni 1992

E.H.Lysen, C.Daey Ouwens, M.J.G. v. Onna, K.Blok, P.A.Okken, J.Goudriaan.

De haalbaarheid van de produktie van biomassa voor de Nederlandse energiehuishouding.

NOVEM, Utrecht, mei 1992

Nota Klimaatverandering, Tweede Kamer 1990-1991, 22232 nrs. 1-2

P.A.Okken.

A case for alternative transport fuels in the context of CO<sub>2</sub> constraints.

Energy Policy 19 (1991) pp.400-405

P.A.Okken, P.Lako, D.Gerbers, T.Kram, J.R.Ybema.

CO<sub>2</sub> removal in competition with other options for reducing CO<sub>2</sub> emissions.

Energy Conversion and Management 33 (1992) nr.6-10

F.v.Oostvoorn, P.Kroon, A.V.M.de Lange.

SERUM: een model van de Nederlandse raffinage-industrie.

Rapport nr. ESC-49, ECN Petten, oktober 1989

R.J.J.ter Rele.

Beproeving van een Elsbett-motor, samenvatting van het TNO beproevingsprogramma.

IW/TNO Delft, oktober 1991

J.J.Seppen, J.v.d.Weide.

Exhaust emission reduction and implementation aspects of alternative fuels from fossil and renewable origin. IW/TNO Delft, februari 1992