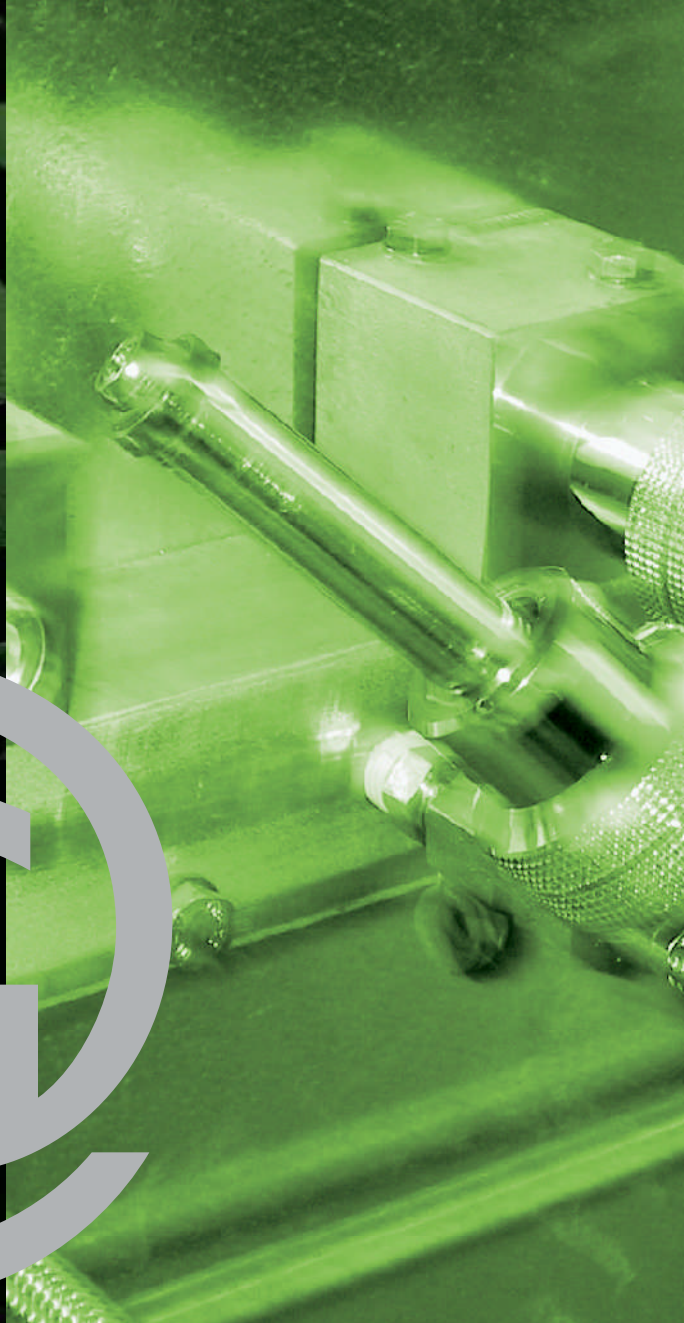
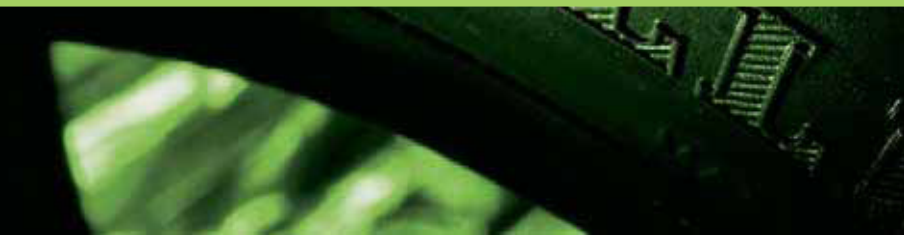




G A S D R I F T A V F O R D O N







GASDRIFT AV FORDON

Svenskt Gastekniskt Center AB
Malmö
2007



gasakademin.se

2:a upplagan 2010

Copyright © 2007, Svenskt Gastekniskt Center AB

Layout och produktion: GLN Reklambyrå AB, Malmö

i samarbete med Ringsberg & co Reklambyrå AB, Malmö

Tryckeri: Wallin & Dalholm, Lund

Typografi: Helvetica och Sabon

Papper: Tryckt på Xerox Colour Impression 100 g. Svanenmärkt. ISO 14001.

ISBN 978-91-85207-06-0



FÖRORD

Gasdrift av fordon ingår i en serie faktahandböcker som går under benämningen GasAkademin. Denna skrift redogör för tekniska, ekonomiska, miljömässiga och säkerhetsmässiga aspekter kring användning av gas som drivmedel till fordon.

Skriften har möjliggjorts genom ekonomiskt bidrag från Statens energimyndighet, E.ON Gas Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ), Öresundskraft AB, AB Fortum samägt med Stockholms stad samt Svenska Gasföreningen.

Ett speciellt tack för värdefulla synpunkter riktas till Roland Nilsson, E.ON Gas Sverige AB, Ove Drejmyr, AB Shellgas, Folke Fritzson, Scania CV AB och Lars Andén, Lunds Energi AB.

Skriften är skriven av en rad personer, med Svenskt Gastekniskt Center som redaktör. Följande författare har bidragit med underlagsmaterial till skriften:

Per Tunestål, Energivetenskaper, LTH – Kapitel 2

Ingemar Carlson, Ingenjörfirman Ingemar Carlson – Kapitel 3 och 5.2.1

Anna Pettersson, Stefan Liljemark, Michael Losciale och Ingemar Kristensson, Vattenfall Power Consultant AB – Kapitel 4 och 5.2.2

Peter Boisen – Kapitel 6

Michelle Ekman, Svenska Gasföreningen – Kapitel 7

Till såväl sponsorer, författare och aktörer som bidragit med kommentarer riktar vi ett varmt tack.

Malmö i oktober 2007

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB





INLEDNING

Gasformiga drivmedel används i allt större utsträckning i Sverige och i resten av världen. Behovet av alternativa drivmedel aktualiseras av att olja är en ändlig resurs och allt mer drivmedel behövs för att försörja den växande fordonsparken i världen. I Sverige har användningen av fordonsgas, det vill säga biogas och naturgas, ökat kraftigt varje år sedan mitten av 90-talet. Under 1970-80 talet var det istället motorgas, det vill säga gasol som användes i större omfattning. Fortfarande används motorgas i Sverige, men det finns nu endast ett mindre antal tankstationer. Gasformiga drivmedel som det pågår forsknings- och demonstrationsaktiviteter kring är vätgas och DME (dimetyleter). Innehållet i föreliggande skrift syftar till att ge läsaren fördjupade kunskaper om användning av gas som drivmedel till fordon. Fokus ligger på fordonsgas men även andra gasformiga drivmedel som motorgas och vätgas belyses.

Användning av energigaser som drivmedel medför flera miljömässiga vinster. För fordonsgas innefattar det till exempel reducerade utsläpp av reglerade emissioner som kväveoxider och partiklar, samt reducerad klimatpåverkan på grund av lägre koldioxidutsläpp. Biogas som är ett förnybart, lokalt producerat drivmedel medför även andra vinster som ökad försörjningstrygghet och fler arbetstillfällen inom landet.

Skriften inleds med en beskrivning av hur gas har använts historiskt i Sverige och hur användningen i form av fordon, tankstationer och sålda volymer ser ut i dag (2007). Därefter beskrivs typiska egenskaper för de gasformiga drivmedlen, samt hur de produceras och vad de består av.

I det andra kapitlet beskrivs olika motortyper och hur gas fungerar som drivmedel i dessa. Det tredje kapitlet behandlar hur gasformiga drivmedel kan användas i lätta och tunga fordon, samt i andra mer ovanliga fordonstyper som tåg eller truckar. Hur en tankstation för gasformigt drivmedel ser ut och hur infrastrukturen för fordonsgas är uppbyggd berörs i det fjärde kapitlet. I det femte kapitlet beskrivs miljövinster som kan ges vid användning av gasformiga drivmedel. Säkerhet är en central fråga vid all energianvändning och specifika frågor som rör energigaser som drivmedel belyses även i kapitel fem.

Det sjätte kapitlet beskriver internationellt miljösamarbete och politiska målsättningar inom EU och i Sverige för ökad användning av alternativa och förnybara drivmedel. I det sjunde kapitlet beskrivs viktiga regelverk kring fordon, som typgodkännande och regler vid import av gasbilar. Ekonomin vid användning av gasformiga drivmedel och kostnader för att bygga tankstationer berörs i kapitel åtta. I det nionde kapitlet ges en utblick över hur gas används som drivmedel i andra länder i världen och i det sista kapitlet ges definitioner av viktiga begrepp.

Skriften vänder sig till personer som på ett eller annat sätt vill veta mer om gas som drivmedel. Sådana personer kan finnas inom kommuner, fordonsindustrin, bilverkstäder, bensin- och gasbolag. Användare av gasformiga drivmedel eller uppköpare av fordon är en annan grupp som skriften vänder sig till. Dessutom anser vi att skriften kan användas för fördjupade studier inom området energigasteknik vid tekniska högskolor och liknande.





INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Förord	
1.	GAS SOM DRIVMEDEL FÖR FORDON	13
1.1	Varför gasdrivna fordon?	13
1.2	Nu och då	14
1.3	Argument kring val av drivmedel till lätta och tunga fordon	16
1.4	Fordonsgas	18
1.5	Motorgas (gasol)	22
1.6	Vätgas	22
1.7	DME	24
1.8	Energiåtgång för produktion av olika drivmedel	26
2.	MOTORTYPER	28
2.1	Ottomotorn	28
2.1.1	Förbränning i ottomotorer	30
2.1.2	Gasdrivna ottomotorer	31
2.1.3	Ottomotorers emissioner	35
2.2	Dieselmotorn	36
2.2.1	Förbränning i dieselmotorer	37
2.2.2	Gasdrivna dieselmotorer och dual-fuel	37
2.2.3	Dieselmotorers emissioner	39
2.3	Bränsleceller	39
2.3.1	Bränslecellstyper	40
2.3.2	Bränslecellens emissioner	41
2.4	HCCI-motorn	42
2.4.1	Förbränning i HCCI-motorer	42
2.4.2	HCCI-motorers emissioner	43
2.4.3	Gasdrivna HCCI-motorer	44
2.5	Hybrid	45
2.5.1.	Gasdrivna hybridfordon	46
3.	FORDON	48
3.1	Personbilar	49
3.1.1	Fordonsgas (mono-fuel, bi-fuel)	49
3.1.2	Motorgas	54
3.1.3	Vätgas (förbränningsmotor, bränslecell)	56
3.1.4	Hybrid	59
3.2	Tunga fordon	60
3.2.1	Fordonsgas (mono-fuel, dual-fuel)	60
3.2.2	LNG	71
3.2.3	Motorgas	72
3.2.4	Vätgas (bränslecell, hythane)	73
3.2.5	Hybrid	76
3.3	Övriga fordonstyper	80
3.3.1	Truckar	80



	3.3.2	Fartyg	81
	3.3.3	Tåg	82
3.4		Drift- och underhållsaspekter	82
3.5		Aktörer	84
4.		INFRASTRUKTUR	86
4.1		Fordonsgas	86
	4.1.1	Allmänt om infrastruktur för gas	86
	4.1.2	Infrastruktur fordonsgas	89
	4.1.3	CNG tankstation	91
	4.1.4	LCNG- och LNG-tankstationer	99
	4.1.5	Jämförelse mellan CNG-, LCNG- och LNG-tankstationer	102
4.2		Motorgas	104
	4.2.1	Infrastruktur	104
	4.2.2	Tankstation	105
4.3		Vätgas	108
	4.3.1	Infrastruktur	109
4.4		Leveranssäkerhet (back-up)	114
4.5		Drift- och underhållsaspekter	116
	4.5.1	Underhåll	116
	4.5.2	Drift	116
4.6		Aktörer	116
5.		MILJÖ OCH SÄKERHET	120
5.1		Miljö	120
	5.1.1	Emissioner från fordon	120
	5.1.2	Miljöpåverkan från produktion av drivmedel	122
	5.1.3	Efterbehandling av avgaser	123
5.2		Säkerhet	125
	5.2.1	Fordon	125
	5.2.2	Tankstation	129
6.		POLITIK OCH MÅLSÄTTNINGAR	133
6.1		Internationella överenskommelser	133
6.2		Europa	134
6.3		Sverige	135
7.		REGELVERK	137
7.1		Regelverksstrukturen i Sverige	137
7.2		Internationella regelverk	138
	7.2.1	Generella regler avseende bilar, bussar och skilda typer av lastfordon	138
	7.2.2	Generella regler avseende typgodkännande	139
	7.2.3	Speciella regler avseende bilar avsedda för drift med fordonsgas - ECE R110	140
7.3		Emissioner	141
7.4		Återkommande kontroll av fordon i Sverige	144

7.5	Generella regler avseende fordonskonverteringar	145
7.5.1	Speciella regler avseende bilar avsedda för drift med fordonsgas - ECE R115	145
7.5.2	Risker vid eftermarknadskonverteringar	146
7.6	Import av gasbilar till Sverige	147
7.7	Tankstationer	148
8.	EKONOMI	149
8.1	Drivmedelspris	149
8.2	Fordon	150
8.3	Ekonomiska styrmedel	151
8.3.1	Skatt på drivmedel	151
8.3.2	Fordonsskatt	152
8.3.3	Förmånsvärde	153
8.3.4	Trängsleskatt i Stockholm	153
8.4	Tankstationer	153
9.	INTERNATIONELL UTBLICK	156
9.1	Fordonsgas	156
9.2	Motorgas	157
9.3	Tyskland	159
9.4	Italien	161
9.5	Argentina	162
10.	DEFINITIONER	164
10.1	Definitioner	164
10.2	Omräkningsfaktorer	165





1 GAS SOM DRIVMEDEL FÖR FORDON

Energigas används i allt högre grad som drivmedel till lätta och tunga fordon. De gasformiga drivmedel som används i Sverige i dag (2007) är fordonsgas, det vill säga naturgas och biogas, samt motorgas. Dessutom pågår det utvecklingsprojekt avseende användning av vätgas och dimetyleter, DME, som drivmedel. Nedan beskrivs argument för användning av gasformiga drivmedel, situationen i dag och historik kring utvecklingen av gas som drivmedel i Sverige. Vidare beskrivs viktiga egenskaper för de olika gasformiga drivmedlen och hur de produceras. För DME ges lite mer utförlig information om produktion, fordon och infrastruktur, då DME inte belyses i de följande kapitlen.

1.1 Varför gasdrivna fordon?

De främsta anledningarna till att gå från bensen och diesel till gasformiga drivmedel är reduktion av hälsovådliga och miljöskadliga emissioner, minskad klimatpåverkan, minskat oljeberoende och ökad försörjningstrygghet.

Nya gasbussar som drivs med fordonsgas släpper ut cirka 50 % mindre kvävedioxid än motsvarande dieslbussar, något som kan bidra väsentligt till att skapa bättre luftmiljö i storstäderna. Dessutom reduceras utsläppen av cancerogena föroreningar och partiklar.

Gasformiga drivmedel har även fördelar när det gäller reduktion av utsläpp av växthusgaser. När naturgas ersätter bensen reduceras utsläppen av koldioxid med 20-25 %. Detta beror på att naturgas innehåller en större andel väte (H) i förhållande till kol (C) jämfört med bensen, vilket ger större mängd vattenånga och mindre mängd koldioxid vid förbränning (Ref. 1.1). Ersätter motorgas bensen blir reduktionen cirka 10 %. Ännu större reduktion fås när biogas ersätter bensen och diesel. Biogas är ett förnybart bränsle och bidrar därmed inte till nettoutsläpp av koldioxid till atmosfären vid förbränning.

I det moderna samhället blir vi allt mer beroende av transporter. Samtidigt som konsumtionen av olja stiger, är olja en ändlig resurs. Vidare finns det en rad rapporter som pekar på att efterfrågan inom en överskådlig tid förväntas överstiga tillgänglig produktionskapacitet, något som kommer att leda till ökade priser. För att möta detta behövs alternativa drivmedel, som helst ska vara förnybara av miljöskäl och inhemska av försörjningstrygghetsskäl.

Förutom miljöargument och försörjningstrygghet, är ekonomi en viktig parameter för introduktionen av gasformiga drivmedel. Lägre priser än för konventionella drivmedel har varit, och är, en viktig drivkraft för introduktionen av gasformiga drivmedel på flera håll i världen.



1.2 Nu och då

Under inledningen av 1900-talet användes stadsgas som drivmedel på några håll i Sverige. Gasen lagrades på fordonet i skrymmande ballongliknande behållare.

Under andra världskriget var det svårt med försörjning av drivmedel. Detta medförde att det blev vanligt med gengasdrivna bilar i Sverige. Gengas bildas vid ofullständig förbränning av ved eller kol. Aggregaten för förgasning av dessa fasta bränslen kopplades på vanliga fordon. De brännbara komponenterna i gengas är kolmonoxid (CO), vätgas (H₂) och lätta kolväten. Gengasen möjliggjorde fordonstrafik av såväl lätta som tunga fordon även under krigsåren. Redan ett och ett halvt år efter andra världskrigets utbrott fanns det cirka 37 000 fordon med gengasaggregat i drift i Sverige (Ref. 1.2). Efter krigsslutet skrotades aggregaten snabbt och bilisterna övergick åter till bensin och diesel. Men det fanns bilister som körde på gengas flera månader efter krigsslutet.

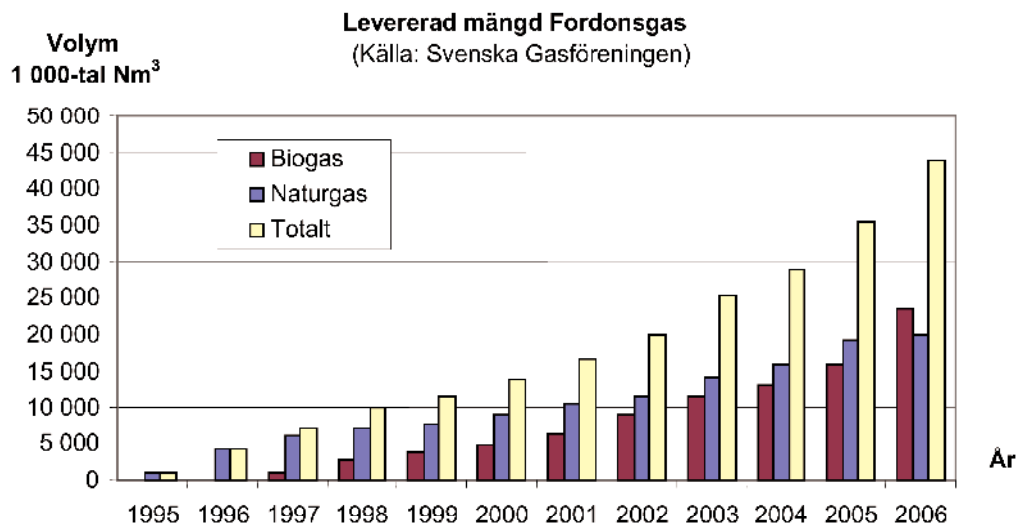
Motorgas, det vill säga gasol som används som drivmedel var populärt i Sverige under 70- och 80-talet. Drivmedlet används i ottomotorer, speciellt anpassade för gasol. Användningen drevs framför allt av de subventioner som gjorde det ekonomiskt lönsamt att använda drivmedlet. Jämfört med dåvarande bensindrivna fordon, utan katalysatorer, resulterade en övergång till motorgas i minskad miljöpåverkan. När katalytisk avgasrening infördes försvann detta miljöargument för motorgas och subventionerna slopades. De ändrade ekonomiska förutsättningarna medförde att intresset för användning av motorgas till personbilar minskade drastiskt.

I dag finns det drygt tio tankstationer för motorgas i landet från Piteå i norr till Helsingborg i söder. En stor del av förbrukningen på dessa tankstationer står turister från Europa för. I Europa används motorgas i stor utsträckning och det fanns år 2006 över 4 miljoner fordon.

Fordonsgas är ett samlingsnamn för biogas och naturgas som används som drivmedel till fordon. Under kriget fanns både lastbilar och bussar som drevs med biogas i Stockholm. Naturgas kom till Sverige först i mitten på 1980-talet och naturgas har använts till fordon sedan slutet av 1980-talet då Malmö lokaltrafik byggde om två dieselbussar till gasdrift. Därefter följde det Nordiska Gasbuss-projektet som blev starten för användning av gasbussar i bland annat Malmö och Göteborg. Under början av 1990-talet genomfördes de första försöken med att använda biogas i fordon anpassade för naturgas.

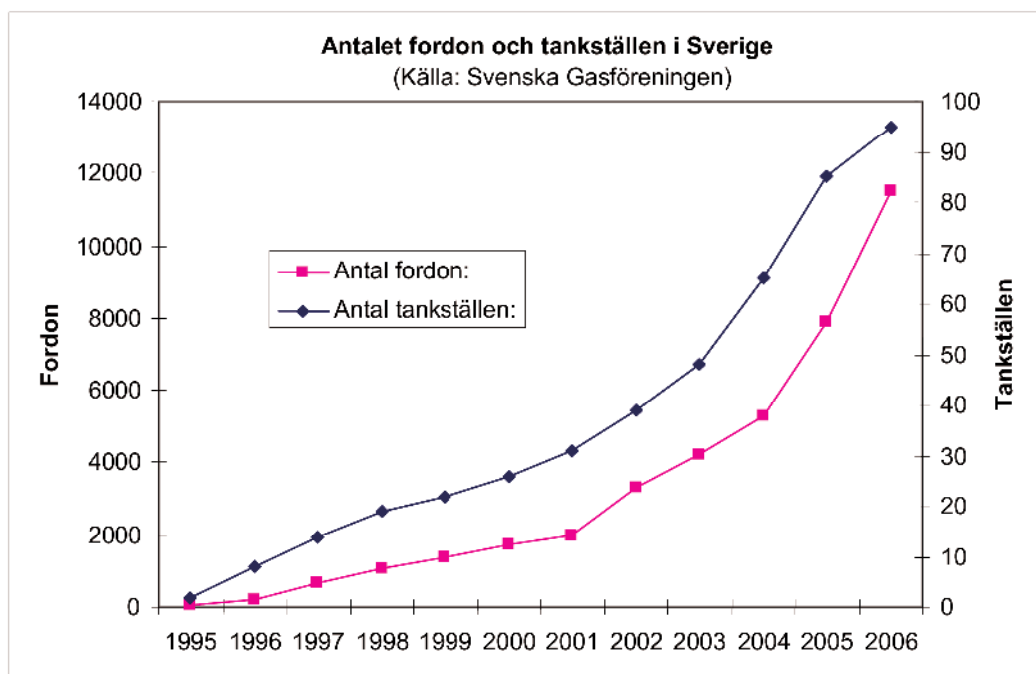
Sedan mitten av 90-talet har användningen av fordonsgas både i form av naturgas och biogas ökat stadigt. Under 2006 såldes knappt 44 miljoner normalkubikmeter fordonsgas i Sverige. Detta motsvarar cirka 50 miljoner liter bensin. Utav den totala volymen såld fordonsgas utgjorde biogas hela 54 %, se Figur 1.1.





Figur 1.1. Levererad mängd fordonsgas från 1995 till 2006.

Ökad försäljning av fordonsgas har föranletts av en ständig utbyggnad av tankstationer och fler gasdrivna fordon på vägarna. Vid utgången av 2006 fanns det totalt 85 tankstationer för fordonsgas i Sverige, 68 publika tankstationer och 27 tankställen för specifika fordonsflottor, som bussar, se Figur 1.2. Antalet fordon uppgick vid samma tidpunkt till knappt 12 000, varav cirka 340 tunga lastbilar, 750 bussar och resterande lätta fordon. Antalet fordon som använder fordonsgas i världen överstiger i dag (2007) 6 miljoner.



Figur 1.2. Antalet fordon och tankställen i Sverige för fordonsgas.

När det gäller vätgas och dimetyleter, DME, finns ingen kommersiell användning i Sverige i dag (2007). Försök har genomförts med vätgas i bränslecellsbussar i Stockholm och med inblandning i naturgas i Malmö för användning i konventionella gasbussar. Det pågår test med tunga lastbilar för DME i Växjö.

1.3 Argument kring val av drivmedel till lätta och tunga fordon

I detta avsnitt redogörs för skillnader mellan gas som drivmedel och konventionella alternativ som bensin och diesel. Vidare pekas skillnader i förutsättningar mellan lätta och tunga fordon ut. Som framgår av detta avsnitt är det en rad faktorer som påverkar en kunds val av drivmedel och fordon.

Lätta fordon

De flesta kunderna av lätta fordon är privatpersoner som använder bilen på fritiden, eller på väg till och från arbetet. En mindre andel använder även bilen i tjänsten. Den helt dominerande framdrivningskällan är förbränningsmotorn, antingen i form av en otto- eller en dieselmotor. Ottomotorer drivs huvudsakligen med bensin, men etanol, blandningar av bensin och etanol samt kombinationen fordonsgas och bensin är på stark frammarsch. Både naturgas och biogas har högt oktantal vilket innebär att en gasdriven ottomotor har potential för betydligt högre verkningsgrad än en bensin- eller etanoldriven dito. I dag pågår utveckling av gasdrivna ottomotorer med verkningsgrad i klass med dieselmotorns för tunga fordon. En liknande utveckling kan förväntas för lätta fordon.

Dieselmotorer drivs, som namnet antyder, normalt med diesel men även RME (rapsmetylester) eller blandningar av diesel och RME kan komma i fråga. Andra alternativ under utveckling är fordonsgas i kombination med diesel, även kallad dual-fuel, och syntetisk diesel framställd från naturgas eller via förgasning av biobränsle eller kol. Andelen lätta dieslbilar varierar från land till land, i första hand beroende på skatteskillnader mellan diesel och andra drivmedel.

För den presumtiva kunden av ett lätt fordon står valet mellan fordon med en otto- eller dieselmotor för flytande drivmedel eller en ottomotor för gas. Även om miljön är viktig så är det i första hand ekonomin som avgör valet.

Skillnaden mellan ottomotorer för flytande drivmedel och ottomotorer för gasformiga drivmedel är ur emissionssynpunkt (för reglerade emissioner) neutral, då samma teknik används i båda fallen. Ur växthusgassynpunkt är det stora skillnader. Gasdrivna fordon som går på naturgas släpper ut 20-25 % mindre koldioxid jämfört med motsvarande bensindrivna fordon och med biogas blir utsläppen ännu lägre. Vid jämförelse mellan en ottomotor med gasformigt drivmedel och en dieselmotor finns miljövinster vid användning av gas i form av lägre utsläpp av partiklar och kväveoxider samt i fallet biogas, lägre utsläpp av klimatpåverkande koldioxid.

I sitt val av fordon och drivmedel väger kunden in ett antal faktorer, vilka listas nedan utan inbördes prioritering:

- Inköpspris för fordon och förväntat andrahandsvärde.
- Eventuella subventioner och skatterabatter.
- Kostnad för drivmedel.
- Andra förmåner som till exempel fri parkering, befrielse från trängselavgift och reducerat förmånsvärde för tjänstebil.



- Tillgång och infrastruktur för drivmedlet (både inom och utom landet).
- Möjlighet att tanka annat drivmedel om huvuddrivmedlet inte finns tillgängligt.
- Drivmedlets inverkan på prestanda och funktion. Till exempel tändsvårigheter i kallt klimat.
- Säkerhet. Risk för brand i samband med läckage till exempel.
- Miljöaspekter

Tunga fordon

Kunder till tunga fordon är uteslutande sådana som använder fordonet i sin verksamhet. Förutom en mindre andel gasdrivna fordon är i princip alla moderna tunga fordon dieseldrivna. Det finns även etanolfordon med motorer som arbetar enligt dieselpincipen. Denna etanol måste ha en viss andel tändförbättrare för att fungera och det är inte samma drivmedel som kan köpas vid publika tankställen (E85 eller E100).

Den presumtiva kunden för tunga fordon kan alltså välja mellan att köpa ett fordon med dieselmotor för flytande drivmedel eller en gasdriven ottomotor. När dual-fuel tekniken gjort sitt intåg kommer även fordon som går på en kombination av diesel och fordonsgas att finnas tillgängliga. Vad som avgör valet är i första hand, utöver ekonomin, speciella miljökrav från uppdragsgivaren (t.ex. kan kommuner ställa krav på att ett visst drivmedel används eller att emissionsnivån är betydligt lägre än gällande lagkrav för att speditören ska få uppdraget), fordonets tillförlitlighet, behov av service och tillgång på drivmedel med mera.

Transportföretagets lönsamhet påverkas negativt om fordonets tillgänglighet minskar. Ett oplanerat stillestånd kan få stora konsekvenser. I många fall är fordonet påbyggt med en speciell utrustning som kanske är unik för just detta fordon. Därför kan man inte bara hyra in en annan bil, vilket ofta är fallet när det gäller lätta fordon.

Med känd teknik kan man ur emissionssynpunkt (för reglerade emissioner) i dag nå längre med ottoprincipen än med dieselpincipen.

I sitt val av fordon och drivmedel väger kunden in ett antal faktorer. Förutom de som listats ovan för lätta fordon tillkommer en del faktorer för tunga fordon vilka anges nedan:

- Uppdragsgivarens krav på transporten.
- Up time, det vill säga hur mycket stillestånd det blir det på grund av service, oväntade reparationer, brist på drivmedel, haverier etcetera.
- Hur väl är infrastrukturen för aktuellt drivmedel utbyggd?
- Eventuell förlust av tillgänglig transportvolym/vikt vid konvertering till gasdrift på grund av det utrymme trycktankarna kräver och den extra vikt det innebär.
- Finns motorer med tillräcklig effekt för aktuellt transportbehov att tillgå med önskad teknik?
- Miljö- och hälsoaspekter. Chaufförens arbetsmiljö förbättras högst väsentligt med gasformigt drivmedel jämfört med diesel.



Argument för gas jämfört med olja

Vid val av fordon och drivmedel är den utslagsgivande faktorn ekonomin. Är det inte ekonomiskt försvarbart att välja en viss teknik så blir den inte långvarig. När det gäller drivmedel för fordon är det globalt sett råolja eller naturgas som är basen för de drivmedel som används i dag. Några skillnader mellan naturgas och olja listas nedan:

- Med dagens produktion förväntas de kända fyndigheterna räcka i 40 år (olja) respektive 63 år (naturgas). (Ref. 1.3)
- Flytande drivmedel är enklare att hantera, transportera och exportera jämfört med gas.
- Det finns ett internationellt enhetligt pris på råolja. Ett fåtal starka oljelieferantörer kan styra den globala prissättningen.
- Det saknas ett internationellt enhetligt pris på gas. Större frihet för gasleverantörer att själva påverka pris och leveransvolym.
- Råolja behöver processas innan det kan användas som bränsle.
- Enbart mindre behandling krävs av naturgas innan användning.

Det pågår även utveckling kring förnybara drivmedel via förgasning och syntetisering av biomassa. Generellt sett är verkningsgraden vid framställning av biometan och DME betydligt högre än vid framställning av syntetiska flytande drivmedel. Å andra sidan domineras transportsektorn av flytande drivmedel och marknadspotentialen för syntetiska flytande drivmedel är därmed avsevärt större än för gasformiga drivmedel.

1.4 Fordonsgas

Fordonsgas är naturgas eller biogas som används som drivmedel till fordon. Det som utmärker båda dessa drivmedel är att de i huvudsak utgörs av gasen metan, med den kemiska beteckningen CH_4 . Den engelska benämningen på fordonsgas är CNG, Compressed Natural Gas. Kyls naturgas ner till flytande form (-160°C , vid atmosfärstryck) kallas den LNG, Liquefied Natural Gas. Fordonsgas komprimeras till cirka 200 bar innan den fylls till fordonets tankar. Högt tryck används för att få med en större mängd drivmedel och därmed öka fordonets räckvidd.

Naturgas är ett fossilt bränsle, som precis som olja, utvinns ur jordens inre. Det finns gasfyndigheter både på land och till havs. Den naturgas som används i Sverige kommer från Nordsjön och förs in i landet via Danmark. Det pågår ett flertal projekt där nya tillförselvägar av gas utreds, bland annat gas från Norge.

Biogas är ett förnybart bränsle som produceras vid nedbrytning av organiskt material utan tillgång till syre (anaerob rötning). I Sverige finns det drygt 240 biogasanläggningar, huvuddelen av dessa är belägna på reningsverk och vid deponier. Det finns även ett antal anläggningar där till exempel gödsel, avfall från livsmedelsindustrin och hushållsavfall rötas tillsammans. Vidare finns det några gårdsanläggningar.



Innan biogas kan användas som fordonsbränsle, måste gasen behandlas, det innefattar torkning, samt avskiljning av svavelväte, H_2S och koldioxid CO_2 .

Biogas som används som drivmedel i Sverige följer kvalitetskraven i SS 15 54 38 Motorbränslen – Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer. De viktigaste parametrarna i denna standard framgår av Tabell 1.1. Med biogas typ A avses gas för motorer utan λ -reglering och med typ B gas för motorer med λ -reglering.

Tabell 1.1. Kvalitetskrav på biogas som drivmedel, utdrag ur SS 15 54 38.

Egenskap	Enhet	Biogas, typ A	Biogas, typ B
Wobbeindex, min	MJ/Nm ³	44,7	43,9
Wobbeindex, max	MJ/Nm ³	46,4	47,3
Metan	vol-% *	97±1	97±2
Vattenhalt, max	mg/Nm ³	32	32
Koldioxid + syrgas + kvävgas, max	vol-%	4,0	5,0
Därav syrgas, max	vol-%	1,0	1,0
Total svavelhalt, max	mg/Nm ³	23	23
Metanol	vol-%	0	0
Max partikelstorlek	µm	1	1

* Vid 273,15 K och 101,325 kPa

År 2005 facklades 122 GWh biogas bort i Sverige, vilket motsvarade 9 % av den totala biogasproduktionen (Ref. 1.4). Fackling sker i huvudsak på sommarhalvåret då värmebehovet är lågt. Genom att mata in biogasen på gasnätet fås avsättning för all producerad biogas.

Biogasinmatning på det nationella gasnätet, där i huvudsak naturgas transporteras idag, sker på fyra platser i Sverige. Ytterligare tre anläggningar för biogasinmatning är under projektering. Precis som vid hantering av ”grön el” kan kunder sedan tanka biogas på olika ställen längs gasnätet. Leverantören garanterar att lika mycket biogas som tas ut ur nätet matas in.

Naturgasens sammansättning kan skilja sig mellan olika gaskällor. För den danska naturgas som används i Sverige anges gaskvalitet och nyckeltal i Tabell 1.2 och 1.3. Det bör påpekas att innehållet i naturgas varierar över tiden och att data nedan bara gäller för angiven tidsperiod. Siffrorna bör därför betraktas som ungefärliga utanför den tidsperiod som anges. Senaste uppgifter om den danska naturgaskvaliteten finns på www.energinet.dk.



Tabell 1.2. Gaskvalitet för dansk naturgas, årsgenomsnitt 2006 (Ref. 1.5).

Komponent	Enhet	Halt
CH ₄ (metan)	vol-%	89,7
C ₂ H ₆ (etan)	vol-%	5,8
C ₃ H ₈ (propan)	vol-%	2,3
C ₄ H ₁₀ (butan)	vol-%	0,9
C ₅ H ₁₂ (pentan)	vol-%	0,2
C ₆ H ₁₄ (hexan)	vol-%	0,1
CO ₂ (koldioxid)	vol-%	0,7
N ₂ (kväve)	vol-%	0,3
H ₂ S (svavelväte)	mg/Nm ³	2,2

Tabell 1.3. Nyckeltal för dansk naturgas, årsgenomsnitt 2006 (Ref. 1.5).

Egenskap	Enhet	Värde
Undre värmevärde	MJ/Nm ³	39,5
	kWh/Nm ³	11,0
Övre värmevärde	MJ/Nm ³	43,7
Densitet	kg/Nm ³	0,82
Specifik volym	Nm ³ /kg	1,22
Densitet relativt luft	–	0,63
Wobbetal (övre)	MJ/Nm ³	55,0
Metantal	–	72,4

Då naturgaskvaliteten varierar mellan olika gaskällor används referensbränsle för bestämning av bränsleförbrukning och emissioner vid certifiering av fordon. I Europa finns två huvudtyper av naturgas, gas med högt värmevärde, H-gas och gas med lågt värmevärde, L-gas. Även inom dessa grupper tillåts det en viss variation i gasens värmevärde.

För att möta skillnaderna i gassammansättning finns flera referensbränslen för naturgas, dessa anges för lätta fordon (vikt <3 500 kg) i det europeiska reglementet ECE R83 som G₂₀ respektive G₂₅. G₂₀ består av 100 mol-% metan och G₂₅ består av 86 mol-% metan och 14 mol-% kvävgas.

Innehållet i referensbränslet G₂₀ motsvarar i stort innehållet i biogas som drivmedel enligt SS 15 54 38. Den danska naturgasen som används i Sverige innehåller förutom metan även högre kolväten, vilket medför att energiinnehållet i gasen är cirka 10 % högre än energiinnehållet i referensbränslet G₂₀. Detta medför att den verkliga volymförbrukningen för ett fordon som körs på naturgas i Sverige är cirka 10 % lägre än de certifieringssiffror som tillverkaren anger med G₂₀.

För tunga fordon anges referensbränsle i EU-direktivet 2005/55/EG. För H-gas ska prov göras med referensbränslena G_R och G_{23} och för L-gas används referensbränsle G_{23} och G_{25} . Dessa gaser avser avspegla ytterområdena för H- och L-gas.

Tabell 1.4. Bränsle som används vid certifiering av tunga fordon med naturgas. (2005/55/EG)

Referensbränsle	Metan (mol-%)	Etan (mol-%)	N ₂ (mol-%)
G_R	87	13	-
G_{20}	100	-	-
G_{23}	92,5	-	7,5
G_{25}	86	-	14

När det gäller kvalitetskrav på naturgas som drivmedel anges sådana i den internationella standarden ISO 15403: Natural gas - Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles. För vissa föroreningar ges rekommendationer om lägsta nivåer i standarden, se Tabell 1.5. När det gäller till exempel Wobbeindex ges enbart information om vilka intervall som dessa tillåts variera mellan.

Tabell 1.5. Rekommendation om gaskvalitet för naturgas som drivmedel till fordon. (ISO 15403)

Egenskap	Enhet	Värde
Vattenhalt, max (vid 20 MPa och – 20°C)	mg/m ³	30
Total svavelhalt, max	mg/m ³	120
Koldioxid, max	vol-%	3
Syrgas, max	vol-%	3
Metanol	vol-%	0

Vid förbränning krävs bränsle, ett oxidationsmedel, oftast luftens syre, en antändningskälla och att bränslet och luftens blandningsförhållande ligger inom vissa gränser. Gränserna, som är specifika för respektive bränsle, kallas för LFL (Lower Flammability Limit) och UFL (Upper Flammability Limit). Området mellan dessa gränser kallas brännbarhetsområde. För metangas motsvarar brännbarhetsområdet en blandning av 5-15 % metan i luft (Ref. 1.6). Vidare har metangas en lägsta antändningstemperatur på 580 °C (Ref. 1.6) vilket är betydligt högre än för bensin och diesel. Notera att det kan finnas olika uppgifter för lägsta antändningstemperatur i litteraturen då den dels är tryckberoende, dels beror på den procedur som använts vid bestämningen. Till exempel kan oxider på provkärlets väggar på katalytisk väg påverka lägsta antändningstemperatur. Metanets höga antändningstemperatur innebär att risk för oönskad antändning i samband med läckage eller vid krock är lägre för fordonsgas än för bensin, etanol och diesel.

Metan har ett högt oktantal på 130, vilket är fördelaktigt för motorbränsle. För naturgas ligger oktantalet på cirka 120 (RON). Detta kan jämföras med 95-98 för bensin. Högt oktantal tillåter ett högre kompressionsförhållande i cylindrarna och därmed högre verkningsgrad utan risk för knackning.



Fordonsgas är färglös och luktfri. För att ett eventuellt läckage ska detekteras finns det lagkrav på att gasen ska innehålla ett odoriseringsämne så att en tydlig lukt känns redan vid 20 % av den undre brännbarhetsgränsen. Odoranten är vanligtvis en svavelförening som heter tetrahydrothiophen, THT, (C_4H_8S).

1.5 Motorgas (gasol)

Gasol som används som drivmedel kallas motorgas i Sverige. Det engelska namnet på gasol är Liquefied Petroleum Gas. Inom EU används oftast Autogas som beteckning på drivmedlet.

Gasol är ett samlingsnamn på kolväteföreningarna propan (C_3H_8) och butan (C_4H_{10}). Gasol är ett fossilt bränsle som framställs antingen via separation av tyngre kolväten från naturgas eller i samband med raffinering av råolja (Ref. 1.1).

Inom gruppen gasol finns handelsnamnen propan och butan. Dessa båda kan också blandas i olika blandningsförhållande och kallas då för blandgasol. Som motorgas används i norra Europa propan 95, vilket är en gas som innehåller minst 95 % propan. Anledningen till att propan 95 används är propanets låga kokpunkt vid atmosfärstryck, $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$. Detta innebär att även vid låga utetemperaturer under vintrar här i Sverige har propanet ett visst övertryck vilket gör det lättare att hantera.

Gasol är i gasform vid atmosfärstryck och rumstemperatur, men vid ökat tryck omvandlas den till flytande form. När 1 m^3 gasol i vätskefas förångas så bildas det 250 m^3 gasol i gasform. Uttryckt i energi så innerhåller 1 m^3 gasol i vätskeform lika mycket energi som 250 m^3 gasol i gasform, vilket gör det intressant att lagra och transportera gasol som vätska.

När gasolvätskan pumpas in i en behållare balanseras förhållandet mellan vätska och gas så att trycket i behållaren blir det samma som propanets förångningstryck vid den aktuella omgivningstemperaturen.

Gasolvätska är färglös och har ungefär hälften så hög densitet som vatten. Däremot är propangas tyngre än luft, cirka 1,5 ggr. Detta måste beaktas om risk för läckage föreligger. Värmevärdet för ett kilogram propan 95 är 12,9 kWh eller 46,4 MJ. Gasol i gasfas bildar en brännbar blandning vid 2-10 % i luft. Gasol är luktfri och för att ett utsläpp ska kunna luktas tillsätts en odorant, precis som för naturgas och biogas, vanligen etylmerkaptan. Precis som naturgas har även gasol ett högt oktantal, 120 (RON) för propan 95 (Ref. 1.7).

1.6 Vätgas

Vätgas, H_2 , är en färglös, luktlös, brännbar och icke giftig gas. Gasen övergår i flytande form vid en temperatur på $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid atmosfärstryck. Vätgas är lättantändlig och bildar tillsammans med luft en explosiv gas – knallgas. Brännbarhetsområdet motsvarar en blandning av 4-75 % vätgas i luft (Ref. 1.6).

Vätgas är lättast av alla gaser och cirka femton gånger lättare än luft. Per viktenhet har gasen högt energiinnehåll cirka 120 MJ/kg, vilket kan jämföras med drygt 40 MJ/kg för bensin och knappt 50 MJ/kg för metan. Energiinnehållet per volymenhet är däremot lågt, cirka tre gånger lägre än för naturgas (Ref. 1.1).

Vid atmosfärstryck är energitätheten hos vätgas mycket lägre än den hos flytande drivmedel. Vätgas komprimeras därför, liksom fordonsgas, för att hålla nere storleken på tankstationens lagertank och fordonets drivmedelstank samt ge fordonet en rimlig räckvidd mellan påfyllningarna. Normalt komprimeras vätgas till 350 bar eller 700 bar, att jämföras med 200 bar för fordonsgas. Flytande vätgas har ungefär samma energitäthet som naturgas vid 200 bar. Flytande vätgas kan användas både på tankstationer och i fordon.

Ångreformerings av naturgas är det i dag vanligaste sättet att producera vätgas. Det åtgår cirka 3,75 kWh naturgas för att producera 3 kWh väte (Ref. 1.1). Vätgas kan även produceras från elektrolys av vatten, där vattnet spjälkas till vätgas och syre. Då åtgår det cirka 5 kWh el för att producera 1 Nm³ vätgas med ett energiinnehåll om 3 kWh.

Den, för närvarande, enda svenska anläggningen i drift för produktion av vätgas som drivmedel via elektrolys finns i Malmö. Tillverkaren anger i tekniska data en total elkonsumtion om 5,5 kWh el per Nm³ producerad vätgas (Ref 1.8).

Vid förbränning av vätgas bildas i huvudsak vatten. Vilken miljöpåverkan vätgas, som drivmedel, ger upphov till är i första hand beroende av vilken primärenergi som använts vid framställningen.

En annan utmaning är kostnaden för produktion av vätgasen. Vätgas är bara en energibärare, vilket innebär att vätgas alltid behöver priskonkurrera med sin egen primärenergi, elektricitet eller metangas, som ju är en fullgod energibärare respektive bränsle/drivmedel i sig.

Ytterligare utmaningar återfinns inom lagring och distribution av vätgasen. Molekylerna i vätgas är mindre än i någon annan gas och vätgas kan diffundera in i och igenom material som normalt anses täta och ogenomträngliga. Vidare kan långvarig exponering gentemot vätgas ge upphov till spänningskorrosion, så kallad väteförsprödning.

Som drivmedel till fordon kan vätgas antingen användas i ren form, det vill säga 100 % vätgas eller som en låginblandning i metangas. En blandning av vätgas och naturgas kallas ibland hythane®, av de engelska orden hydrogen och methane, och är ett, av Brehon Energy PLC, registrerat varumärke. Varumärket ägs numera av Eden Energy Ltd som köpt upp Brehon Energy PLC.

I Malmö har försök gjorts med två bussar som gått på en blandning av naturgas och vätgas. Den ena gick på en blandning innehållande 8 volymprocent vätgas medan den andra växelvis gick på ren naturgas, 8 volymprocent vätgas och 25 volymprocent vätgas.



Bussarna krävde ingen modifiering för att kunna köras med 8 volymprocent vätgas. För 25 volymprocent vätgasinblandning krävdes omprogrammering av motorstyrsystemet och byte av ett datorchip i motorns styrdator för justering av tändvinklar och drivmedel/luft-blandning. Modifieringen tog cirka 4 timmar att genomföra.

Fordonens drivmedelsförbrukning minskade med 20-30 % vid aktuell vätgasinblandning. Störst relativ effekt gav den lägre inblandningen (8 %). Minskningen i drivmedelsförbrukning i kombination med drivmedlets lägre kolinnehåll medförde att koldioxidemissionerna minskade med 35 % vid 8 volymprocent vätgasinblandning (Ref. 1.8).

1.7 DME

Dimetyleter, DME, är den enklaste av alla etrar. Den kemiska beteckningen är CH_3OCH_3 . DME är en gas vid atmosfärstryck men redan vid 5 bar kondenserar den till en vätska, alternativt vid nedkylning till -25°C . Brännbarhetsgränsen i luft är 3-17 volymprocent.

I dag används DME framför allt som drivgas i olika typer av sprayburkar och som industriellt lösningsmedel (Ref. 1.9). Som drivmedel i sprayburkar har DME kunnat ersätta miljöfarliga freoner. I framtiden förväntas DME dock användas som bränsle för elproduktion, som ersättning för gasol och som drivmedel för fordon.

DME framställs i dag från dehydratisering av metanol producerad från naturgas. DME kan även produceras från förgasning av biomassa och svartlut, en restprodukt från pappersindustrin. En annan möjlighet är DME-produktion via förgasning av kol.

Fordon

I vätskefas är DME ett gasolliknande bränsle som är utbytbart med gasol och därför lämpar sig för till exempel låginblandning.

DME kan användas i anpassade dieselmotorer utan förlust av verkningsgrad eller effekt. DME har ett högt cetantal (mått på tändvilligheten hos dieselmotorbränslen) är fritt från svavel och ger mycket låga utsläpp av partiklar, vilket gör DME till ett attraktivt alternativ för dieselmotorer. De emissioner som uppstår vid förbränning i en motor är enligt Volvo AB lägre än kommande krav från EU och bränsleförbrukningen är i det närmaste lika stor som för diesel. DME kan också blandas med gasol i en 15 till 20-procentig blandning och användas i ottomotor anpassad för gasol utan att motorn behöver modifieras eller bytas ut.

DME anses vara ett alternativt drivmedel för fordon i flera regioner i världen, däribland Asien. I Asien är intresset för DME som drivmedel stort, speciellt i Kina, Indien, Japan och Korea. Intresset beror på dessa länders ökade energibehov och nuvarande förbrukning av diesel, gasol och LNG. Kina är särskilt intresserad av DME (Ref. 1.10) eftersom de har mycket stora kolreserver som skulle kunna användas för att producera DME.



I Växjö pågår (2007) ett EU-projekt, som syftar till att demonstrera DME-teknikens användbarhet för tunga fordon, genom att det byggs och körs fyra prototyper av DME-drivna lastbilar (Ref. 1.11). Projektet heter DME Vehicle och ingår i EU-programmet Life Environment. Lastbilarna utvecklas av Volvo AB. Ett av de fyra fordonen kommer att användas för provning och utveckling av Volvo själva och de övriga tre prototyperna kundanpassas för kommunala uppgifter i Växjö kommun. De tre åkerierna: ALWEX Transport, Duvemåla Åkeri och Smålands Logistik kommer att testa var sin av de tre kundanpassade lastbilarna. I projektet kommer också frågan om lagring och distribution av DME att tas upp. Växjö kommun kommer att bygga och driva en tankstation för DME för att demonstrera och utvärdera en infrastruktur för DME som drivmedel. DME:n som ska användas i projektet kommer att importeras och är framställd av fossil råvara.

Infrastruktur

För att introducera DME som drivmedel för fordon i stor skala måste en helt ny infrastruktur utvecklas och installeras över stora delar av marknaden (Ref. 1.12). Tre faser krävs:

- Transport från produktionsanläggningen till tankstationer.
- Regionala eller lokala möjligheter för lagring.
- Tankstation för fordon.

Utrustningen som krävs beror på de lokala förutsättningarna. Ett system för DME är mycket likt motsvarande system för motorgas. Det betyder att både tekniska och ekonomiska förutsättningar finns tillgängliga eftersom distribution, hantering och tankning av motorgas är välbeprövad teknik. Vid låginblandning av upp till 20 % DME i motorgas kan den existerande infrastrukturen för motorgas användas.

Det är enkelt att lagra och transportera DME eftersom den övergår till vätskefas vid ett lågt övertryck. Till havs kan DME transporteras med gasoltankers och på land kan distributionen ske med trailers för gasol. Det är dock inte lämpligt att använda samma trailer för transport av både DME och gasol eftersom DME har en karaktäristisk lukt som stannar kvar i trailern och kan förorena gasolen. Transport av DME till användning i exempelvis sprayburkar sker i dag med specifika trailers.

En tankstation för DME är i det närmaste identisk med en tankstation för motorgas och består av en lagertank, pump, dispenser och utrustning för betalning. För närmare beskrivning av tankstationen se kapitel 4.2.2 Tankstationer för motorgas.

En skillnad finns dock mellan en tankstation för DME och en tankstation för motorgas. Eftersom DME är ett lösningsmedel, vilket gasol inte är, ställs det högre krav på de material som används, till exempel i packningar, i tankstationer för DME.



1.8 Energiåtgång för produktion av olika drivmedel

I så kallade WTT (well-to-tank) studier analyseras systemeffektiviteten för olika drivmedel. Det innefattar produktion av råvara, omvandling till bränsle, samt distribution och tankning av drivmedlet. I WTW (well-to-wheel) studier inkluderas även användning av drivmedlet i fordonet. Just vid användningen av fordonet sker den största miljöpåverkan i form av utsläpp. För information om utsläpp från fordon se kapitel 5.1.

Nedanstående tabeller visar den totala primärenergianvändningen vid framställning av olika drivmedel. Redovisningen är gjord i ett WTT (well-to-tank) perspektiv, det vill säga den omfattar samtliga steg från produktion av råvara till och med tankning av fordonet. I siffrorna ingår endast den energi som använts för att producera en MJ av respektive drivmedel men inte den energi som återfinns i drivmedlet. Energianvändningen relaterad till själva fordonet redovisas ej. Utöver energianvändning redovisas också totala utsläpp av koldioxid-ekvivalenter i ett WTT-perspektiv. Vätgasproduktion innebär höga koldioxid-emissioner jämfört med övriga fossila drivmedel i tabell 1.6. Man måste ha i åtanke att för övriga drivmedel sker även utsläpp av CO₂ vid användningen av drivmedlet i ett fordon medan alla CO₂-utsläpp relaterade till vätgas sker i WTT-processerna.

Tabell 1.6. Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp relaterade till produktion av olika drivmedel av fossilt ursprung. (Ref. 1.13)

	Total energi MJ/MJ _f	CO ₂ g CO ₂ eq./MJ _f	Kommentarer
Bensin	0,14	12,5	
Diesel	0,16	14,2	
Naturgas (CNG)	0,12	8,4	EU-mix, 1 000 km transportavstånd
Naturgas (LNG)	0,31	19,9	Storskalig LNG import
DME	0,63	20,9	Naturgas som råvara
Vätgas	0,84	105	On-site ångreforming av naturgas

Tabell 1.7. Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp relaterade till produktion av olika drivmedel av förnybart ursprung (Ref. 1.13).

	Total energi	CO ₂ g CO ₂ eq./MJ _f	Kommentarer
RME	1,20	45,0	Restprodukt används som kemikalie
DME	1,07	5,2	Förgasning av biomassa
DME	0,66	2,2	Svartlutsförgasning
Biogas	0,87	36,2	Rötning av hushållsavfall
Biogas	0,97	-58,3	Rötning av flytande gödsel
Etanol (E100)	1,78	68,2	Vete som råvara
Etanol (E100)	1,79	10,4	Sockerrör från Brasilien som råvara

Biogas som produceras via rötning av flytande gödsel innebär negativa utsläpp av klimatgaser, det vill säga reduktionen uttryckt i koldioxidekvivalenter är större än 100 %. Detta beror på att metanavgången vid traditionell gödselhantering undviks samtidigt som den producerade biogasen ersätter fossila drivmedel. Ur klimatsynpunkt är det till stor fördel att samla ihop gödsel och producera biogas jämfört med att låta den ligga obehandlad.

Biogas från hushållsavfall har i ovanstående studie belastats med relativt höga utsläpp av klimatgaser. Det beror bland annat på att man i studien räknat med höga metanslip i processen, något som man med modern teknik nästan helt kan undvika, uppgradering med exempelvis COOAB-tekniken innebär metanslip på under 0,1 %.

Alternativet att producera bio-SNG via termisk förgasning av biomassa och ett påföljande metaniseringssteg redovisas inte i ovanstående referens. Beräkningar med hjälp av data från Energy Research Centre of the Netherlands (Ref. 1.14) och data för transport av biomassa samt tankning av metan från samma referens som ovanstående tabeller baseras på, ger ett energibehov på cirka 0,65-0,7 MJ/MJf. Det vill säga likvärdigt med specialfallet framställning av DME via svartlutsförgasning.

Referenser

- 1.1 Energigaser och miljö, GasAkademin, SGC, Malmö, 2006.
- 1.2 Peter Haventon, Gengas - dokument från en bister tid, Kristianstads boktryckeri AB, 2005.
- 1.3 BP Statistical Review of World Energy June 2007.
- 1.4 Statens energimyndighet. ER 2007:05 Produktion och användning av biogas 2005.
- 1.5 Energinet, Gaskvalitet årsgenomsnitt 2006. www.energinet.dk
- 1.6 L'Air Liquide. Gas Encyclopedia. Elsevier, 1976.
- 1.7 Statoil, Bra att veta om gasol - kurskompendium från Statoil, maj 2005.
- 1.8 SGC-rapport 170. Utveckling och demonstration av användning av metan/vätgasblandningar som bränsle i befintliga metangasdrivna bussar.
- 1.9 IDA International DME Association, oktober 2006, www.vs.ag/ida/index_welcome.htm.
- 1.10 Green Car Congress, september 2006, www.greencarcongress.com/dme/index.html.
- 1.11 Life projektet i Växjö, september 2006, www.dmevehicle.eu/projekt-beskrivning~24.php.
- 1.12 Nils Elam. Slutrapport för The Bio-DME project, phase 1, april 2002. www.atrax.se/pdf/Final_report_DME.pdf.
- 1.13 CAR/CONCAWE, Edwards, R., et al., Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Well-to-tank Report version 2b. European Commission Joint Research Centre, May 2006.
- 1.14 M. Mozaffarian and R.W.R. Zwart. Feasibility of biomass/waste-related SNG production technologies. ECN-C-03-066. Energy Research Centre of the Netherlands. July 2003.

