

Projektarbete i kursen Energisystem 10p ES033

Miljövetenskap, Göteborgs universitet

2002-04-03

Handledere: Johan Swahn, Fysisk resursteori, Chalmers/GU

# Kartläggning av fordonsbränslen ur hållbarhetsperspektiv



[www.necar.com](http://www.necar.com)

Av: Cecilia Svensson<sup>1</sup>  
Negar Ghanavati<sup>2</sup>  
Johanna Axelsson<sup>1</sup>  
John Pettersson<sup>1</sup>  
Carl- Adam Björk<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Student på Miljövetarprogrammet (GU)

<sup>2</sup> Student på Naturvetenskaplig problemlösning (GU)

# Sammanfattning

Ett flertal problem associeras med användningen av fossila bränslen, bl a emissioner och storleken på befintliga reserver. Då en stor del av Sveriges förbrukning av fossila bränslen idag går till fordonsanvändning har det blivit aktuellt att undersöka nya bränsle- och motoralternativ. I denna litteraturstudie har tio olika bränslen undersökts och jämförts m a p energieffektivitet, resursbas och emissioner. Av dessa valdes tre ut för en mer detaljerad studie nämligen metanol, DME och vätgas eftersom dessa ansågs vara mer energieffektiva och kan produceras i stora mängder. Vidare har också bränsleceller utvärderats som alternativ till konventionella drivsystem i fordon.

Slutsatser som kan dras ur materialet är att det är svårt att utkristallisera ett definitivt bästa alternativ. Metanol är ett bränsle som inte kräver så stora förändringar av motorer och distributionssystem, bl a därför att det går att använda i både otto- och dieselmotorer. Däremot är det korrosivt mot bränslesystemet och kan orsaka högre emissioner av formaldehyd än vid bensindrift. DME kräver stora modifieringar av motorer och distributionssystem och går endast att använda i dieselmotorer. Den höga verkningsgraden vid dieseldrift bibehålls vid DME-drift och emissionerna av  $\text{NO}_x$ , partiklar, svavel och kolväten är mycket låga. Användning av vätgas ger i princip inga emissioner och resursbasen är stor. Det finns dock vissa problem associerade med distribution och lagring. Det kanske mest sannolika scenariot är att vi får se en kombination av olika bränslen och drivsystem i framtidens fordonspark. Bränsleceller uppvisar stor framtida potential för fordon, särskilt då väte används som bränsle.

# Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	1
Innehållsförteckning .....	2
1 Inledning .....	3
1.1 Metod .....	3
2 Bränsleceller .....	4
2.1 Allmänt om bränsleceller .....	4
2.2 Olika typer av bränsleceller .....	5
2.3 Val av bränsle .....	7
2.4 Bränsleceller i framtida fordon? .....	7
3 Bränslena .....	9
3.1 Bensin .....	9
3.2 Diesel .....	10
3.3 Naturgas .....	11
3.4 Biogas .....	12
3.5 Rapsmetylester (RME) .....	13
3.6 Etanol .....	14
3.7 Metanol .....	15
3.8 DME .....	17
3.9 Vätgas .....	19
3.10 Samlad slutsats .....	23
4 Diskussion .....	25
5 Källförteckning .....	27
5.1 Samtal .....	27
5.2 Hemsidor .....	27

# 1 Inledning

Idag används nästan uteslutande fossila bränslen för att driva fordon. Användningen av fossila bränslen har emellertid medfört stora problem. Ett exempel på detta är den förstärkning av växthuseffekten som bl a skett till följd av det ständiga nettotillskottet av koldioxid till atmosfären. Förbränning av bensin och diesel har också resulterat i problem som t ex större utsläpp av svaveloxider och kväveoxider, högre halter av partiklar i utomhusluft och utsläpp av flyktiga organiska kolväten. Fossila bränslen finns också i begränsad mängd. Det kan därför knappast anses vara befogat ur hållbarhetssynpunkt att basera fordonsdriften på fossila bränslen, varför alternativa bränslen bör utredas och implementeras.

I denna studie har vi undersökt möjliga alternativa fordonsbränslen som är aktuella för framtida tillämpningar. Bland annat har vi studerat egenskaper, tekniska aspekter, framställning, tillgänglighet och distributionsmöjligheter för de olika bränslena. Några bränslen har vi valt att undersöka mer noggrant, nämligen: metanol, vätgas och dimetyleter. Dessa bränslen valdes utifrån vissa kriterier såsom att:

- Bränslet bör kunna framställas från förnyelsebara energikällor.
- Råvaran bör finnas tillgänglig i så pass stora mängder att bränslet utgör ett såväl realistiskt som hållbart framtida alternativ.
- Bränslet är energieffektivt.
- Möjlighet finns att integrera bränslet i befintliga energiomvandlare och distributionssystem

Vidare studeras bränslecellen och dess möjligheter. Några olika bränsleceller jämförs och fördelar liksom nackdelar med dessa diskuteras. Avslutningsvis sammanfattas arbetet och de olika miljöanpassade lösningarna vägs mot varandra och diskuteras ur ett större perspektiv.

## ***1.1 Metod***

Studien är baserad på befintlig litteratur som täcker många olika områden och är författad utifrån olika intressen, vilket man bör ha i åtanke när man läser studien. Vi har inte haft möjlighet att kontrollera alla uppgifter som använts i arbetet.

Syftet med studien har varit att kartlägga befintliga alternativa fordonsbränslen och eventuellt föreslå ett ur ett svenskt perspektiv bra, hållbart och rimligt fordonsbränsle. Vi har inte använt oss av någon specifik tidsavgränsning vilket gör att tekniker som i dagsläget inte är färdigutvecklade fortfarande kan diskuteras som realistiska alternativ.

## 2 Bränsleceller

På senare tid har bränsleceller dykt upp som ett möjligt framtida alternativ till konventionella motorer. Nedan redogörs kortfattat för hur bränsleceller fungerar, vilka olika typer av bränsleceller som finns, hur dessa skiljer sig åt och vilka bränslen som kan användas till olika syften. Slutligen diskuteras vilka möjligheter bränslecellen har i framtida fordonstillämpningar.

### 2.1 Allmänt om bränsleceller

Bränsleceller används för att direkt omvandla kemisk energi (bränsle + oxidationsmedel) till elenergi. Flera olika bränslen kan användas, däribland vätgas, metanol och etanol. Oxidationsmedlet är i regel luft. Bränsleceller ger minskade emissioner och om vätgas används, med syre som oxidationsmedel, är vatten den enda restprodukten. Bränslecellens principiella uppbyggnad är mycket enkel. Bränslecellen är uppbyggd av flera mindre celler bestående av en anod och en katod separerade av en elektrolyt. Reaktionen sker elektrokemiskt till skillnad mot konventionella motorer. Bilden nedan illustrerar en bränslecell med vätgas som bränsle, där elektrolyten är en syra.

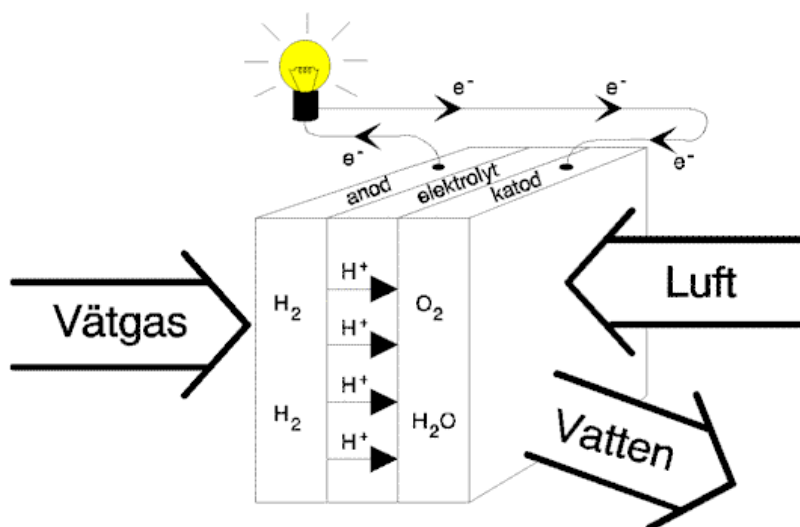
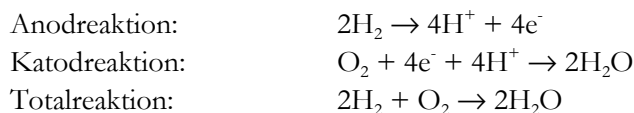


Bild 1. En bränslecell. [24]



Reaktionen mellan väte och syre är exoterm, vilket innebär att energi frigörs. Detta innebär dock inte att reaktionen sker med obegränsad hastighet. Från den klassiska kinetiken vet vi att aktiveringsenergi som regel måste tillsättas för att öka reaktionshastigheten. Huvudsakligen finns det tre sätt att göra detta på:

- Använda katalysatorer
- Öka temperaturen hos cellen
- Öka elektrodarean

Det sistnämnda kan man se exempel på i cellen ovan där elektroden är platt just för att maximera elektrodarean. Som katalysator används ofta platina eller platinametaller såsom t ex rubidium. Förekomsten av dessa metaller är dock starkt begränsade. Ofta delar man upp bränsleceller i tre kategorier: högttemperaturceller (HT), mellantemperaturceller (MT) och lågttemperaturceller (LT) beroende på deras arbetstemperatur. Högttemperaturceller arbetar vid hög temperatur (ca 500- 1000°C), varvid den tillförda värmeenergin katalyserar reaktionen. Mellan- och lågttemperaturceller (ca 20- 500°C) har lägre arbetstemperatur och kräver därför platinakatalysator.

För att bränsleceller ska kunna användas för t ex fordonstillämpningar krävs många celler i serie. En enstaka elektrod ger inte så mycket spänning i sig (ca 1,23 V i en PEM- cell [5]). Flera bränsleceller sammankopplade i serie kallas stack. Dessa kan, liksom de enstaka cellerna utformas på olika sätt, och olika tillverkare har sina egna systemlösningar.

## ***2.2 Olika typer av bränsleceller***

Det finns flera olika typer av bränsleceller med olika egenskaper och användningsområden. Vanligen klassificeras dessa utifrån vilken elektrolyt som används. Nedan redovisas några vanliga typer och i slutet av avsnittet återfinns en sammanfattande tabell.

### **2.2.1 Polymerelektrolytbränslecellen (PEM-cellen)**

En vanlig typ av bränslecell som bedöms ha stor potential är den så kallade PEM- cellen (PEM är en förkortning av proton- exchange membrane). Här består elektrolyten av en fast polymer. Ofta används sulfonerade flourpolymerer, vanligtvis flouretylen. De mest använda polymererna går under handelsnamnet Nafion och tillverkas av företaget DuPont [8]. Några fördelar med sulfonerade flourpolymerer är att de är kemiskt resistent, mekaniskt starka (kan komprimeras till tunn film), har vattenabsorberande egenskaper och har god protonkonduktans. Arbetstemperaturen för de flesta PEM- celler ligger i intervallet 50-80°C. För att reaktionen skall ske med någorlunda snabb hastighet krävs platinakatalysator.

I samband med PEM- cellen kan nämnas den så kallade *direktmetanolcellen (DMFC)*. I denna typ av bränslecell används en metanol / vatten- blandning i cellens anodreaktion istället för vätgas. I en sådan bränslecell krävs det ingen reformer (se kapitel 2.3). Några problem med direktmetanolceller är att reaktionshastigheten är låg vilket ger en låg spänning och att metanol kan absorberas in i elektrolyten (så kallad ”fuel crossover”). Dess enkla utformning gör dock DMFC- cellen intressant, men med nuvarande forskning är den inte intressant för fordonstillämpningar.

### **2.2.2 Alkalisk bränslecell (AFC)**

I den alkaliska bränslecellen är elektrolyten basisk. Ofta används kaliumhydroxid, KOH, som elektrolyt. Denna typ av bränslecell användes bland annat i Apollo- projektet. Utvecklingen av alkaliska bränsleceller har dock avstannat något. Huvudsakligen beror detta på att koldioxid i luften reagerar med elektrolyten, vilket bland annat innebär att anodreaktionen blir långsammare. Därför förutsätter tekniken att koldioxiden separeras från luften innan luften kan användas [8]. Detta är inte bara kostsamt, det ökar också

komplexiteten och storleken hos bränslecellen. Arbetstemperaturen för denna typ av bränsleceller för fordonstillämpning är ca 80-100°C [7]. En katalysator, vanligen platina, krävs också.

### 2.2.3 Fosforsyrabränslecellen (PAFS)

Fosforbränslecellens funktion liknar PEM- cellens. Även i denna teknik används en protonledande elektrolyt och om vätgas används som bränsle sker samma anod och katod reaktioner som illustrerades ovan för PEM- cellen. I fosforbränslecellen används fosforsyra som elektrolyt. Fosforsyra är termiskt, kemiskt och elektrokemiskt stabil och är, i motsats till elektrolyterna i alkaliska bränsleceller, inte reaktiv gentemot koldioxid. Även i denna teknik krävs det en katalysator och arbetstemperaturen är också något högre än hos AFC och PEM cellerna.

### 2.2.4 Fastoxidbränslecellen (SOFC)

Hos fastoxidbränslecellen är elektrolyten en keram. Denna typ av bränslecell arbetar vid mycket höga temperaturer (~1000°C). Dylka bränsleceller är något opraktiska för fordonstillämpningar och används i kraftverk och kraftvärmeverk. Möjligen kan man tänka sig denna typ av systemlösning i större fordon. I och med de höga temperaturerna är dessa celler kinetiskt effektiva och man slipper använda dyra platinakatalysatorer. Däremot uppstår materialproblem såsom korrosion.

### 2.2.5 Smältkarbonatbränslecellen (MCFC)

I denna typ av bränslecell används en karbonatsmälta som elektrolyt. Oftast är dessa avsedda för att generera en effekt på 1 MW och uppåt [8] och har hittills inte varit aktuella för fordonstillämpningar. Liksom fastoxidbränslecellen arbetar smältkarbonatcellen vid höga temperaturer (~650°C).

### 2.2.6 Sammanfattning

I tabell 1 nedan sammanfattas olika egenskaper för de olika bränsleceller som behandlats.

**Tabell 1. Egenskaper för olika bränsleceller.**

Bränslecellstyp	Arbetstemperatur	Katalysator [8]	Verkningsgrad [23]
PEMFC	50-80°C	Hög halt Pt	40-50%
AFC	80-100°C	Låg halt Pt	Uppg. Saknas
PAFC	80-200°C	Låg halt Pt	40-50%
SOFC	1000°C	Ej ädelmetaller	45-55%
MCFC	650°C	Ej ädelmetaller	50-60%

Låga arbetstemperaturer innebär mindre materialproblem. Däremot krävs det katalys för att reaktionen ska ske tillräckligt snabbt. I lågtemperaturcellerna krävs en ädelmetall, vanligen platina (Pt). Platina är dock både dyrt och förekommer i begränsad mängd i jordskorpan. I högtemperaturcellerna räcker det med enklare katalysatorer på grund av den höga temperaturen. Det gäller alltså att hitta en lagom balans genom att variera de tre hastighetsbestämmande faktorerna som nämndes ovan.

De olika typerna av bränsleceller kräver också olika renhet hos bränslet. PEM- cellen kräver mycket ren vätgas till skillnad från AFC- cellen där renhetskraven inte är riktigt så höga. Dessutom kräver PEM- cellen bränsle som är fritt från kolmonoxid. Bränslet i AFC- cellen måste, vilket tidigare nämndes, reduceras från koldioxid före användning. Vätgasen i PAFC- cellen bör inte innehålla mer än 0,5% kolmonoxid. [8]

### ***2.3 Val av bränsle***

Ofta nämns främst vätgas som bränsle när man diskuterar bränsleceller. Vätgas är det bränsle som har högst reaktivitet i anodreaktionen. Dessutom är detta bränsle mest miljömässigt motiverat då det endast ger vatten när syre är oxidationsmedel och därför kan sägas vara ett nollemissionsalternativ. Vätgas förekommer emellertid inte fritt i naturen utan måste framställas, t.ex. från andra bränslen. Detta kan göras genom reformering av andra ämnen. Man skiljer på internreformering och externreformering. Det förstnämnda är när reformeringen sker direkt i fordonet, medan externreformering innebär att bränslet förädlats fram redan innan fordonet tankats. När reformeringen sker direkt i fordonet föregås bränslecellen av en reformer.

För närvarande sker mycket forskning på vilka bränslen som kan användas utöver ren vätgas. Möjliga alternativ är metanol, bensin, DME(dimetyleter), kolgas, naturgas, gaser från förgasade kol- och vätehaltiga material, ammoniak och socker. Om naturgas eller bensin används måste avsvavling ske först. Möjligheten att använda bensin som bränsle i bränsleceller i en övergångsperiod har diskuterats. Det kan dock vara tveksamt om de effektivitetsvinster som skulle kunna uppnås väger upp kostnaderna för dessa system. Reaktionshastigheten hos bensin är dessutom onödigt långsam i bränsleceller [8]. De troligaste bränslena på en potentiell framtida marknad torde vara vätgas, flytande vätgas och metanol [4].

### ***2.4 Bränsleceller i framtida fordon?***

Det finns många fördelar med bränsleceller som energisystem. De är rena, tysta och har hög verkningsgrad. Dessutom kan många olika bränslen användas. De negativa faktorerna är att tekniken är dyr och att den kan innebära stor materialåtgång av vissa knappa metaller.

Bland de ovan nämnda bränslecellerna är det PEMFC, AFC och PAFC som oftast nämns i fråga om framtida fordon. Det finns dessutom konceptbilar som bygger på dessa tekniker. För fordonstillämpningar nämns ofta PEM- cellen som den kanske mest realistiska bränslecellen. Det kanadensiska företaget Ballard släppte under år 2000 en modul som bygger på denna teknik ("Mark 900 fuel cell stack and power module"). Den stora nackdelen med PEM- cellen är att det krävs mycket platina för katalysen. Om man tänker sig en framtida serieproduktion av privatbilar med sådana bränsleceller inser man lätt att det kommer att medföra resursproblem. Samtidigt har Ballard i och med sin forskning lyckats uppnå en effekttäthet av 1 kW/l (cellvolym) i PEM- celler vilket fordonstillverkare sägs acceptera. Dessutom har man lyckats minska kostnaderna från 10 US \$/dm<sup>2</sup> till 2 US \$/dm<sup>2</sup> aktiv cellyta [4]. Kostnadsreduceringen beror i hög grad på möjligheterna att minska användningen av platina som står för en stor del av kostnaderna i PEM- celler. Detta visar på utvecklingspotentialen som trots allt finns i bränslecellstekniken.

Man kan ändå fråga sig om PEM- cellen har potential att ersätta befintliga energiomvandlare i fordon. Vore detta hållbart ur resurssynpunkt? Ett kanske troligare scenario är att olika typer av bränsleceller kommer att dominera för olika tillämpningsområden i fordonsbranschen. Till exempel skulle PEM- celler och fosforbränsleceller kunna användas i större fordon, såsom bussar och lastbilar, medan personbilar drivs med alternativa bränslen utan bränslecellsmotorer. Möjligheten att använda högtemperaturbränsleceller i kombination med förbränningsmotor har också diskuterats. Förbränningsmotorn skulle i så fall kunna bistå med värme vilket möjliggör att dyra platinakatalysatorer kan undvikas. Sådana lösningar skulle kunna vara ett alternativ till PEM- celler.

# 3 Bränslena

En sammanställning över drivmedlens emissioner följer i tabellform sid 23. Vi har valt att se till förbränning per MJ bränsle istället för enheter per fordonskilometer då dessa starkt påverkas av vilken årgång, typ av fordon, märke och motor som används. Vidare är dagens motorer tillverkade för främst drivmedlen bensin eller diesel, vilket kan ge verkningsgrader och emissioner till fördel för de konventionella bränslena.

Nedan redovisas undersökningen av de bränslen som har valts ut. Faktorer såsom egenskaper, framställning, distribution, tekniska aspekter och tillgänglighet redovisas för varje bränsle. Dessutom följer en slutsats för varje bränsle och i slutet av kapitlet återfinnes en samlad slutsats för alla de undersökta drivmedlen.

## 3.1 Bensin

### 3.1.1. Egenskaper

Bensin består av en blandning av kolväten som har mellan 4-12 kolatomer. Bränslets kokpunkt är lägre än 175° C och kan ha varierande kvalitetsegenskaper beroende på vilken råolja det framställs ur.

### 3.1.2 Framställning

Bensin framställs ur råolja genom raffinering och krackning, då större kolvätemolekyler bryts ned till mindre. Genom reformering omvandlas därefter kolvätemolekylerna som har lågt oktantal till grenformade kolväten och aromater med höga oktantal. För att få normal bensinkvalitet tillsätts bl a pentan och butan.

### 3.1.3 Tekniska aspekter

I ottomotorn sker förbränningen vid konstant volym. En blandning av luft och bensin komprimeras, utan värmeutbyte med omgivningen. Först i kolvens övre vändläge sker tändningen. Verkningsgraden är cirka 30 % [3] I tabell 2 nedan redovisas em

**Tabell 2.** [12] En jämförelse av emissioner från olika årsmodeller samt med olika provtagare. Tabellen belyser inte bara hur stor skillnaden är mellan olika årsmodeller, utan även komplexiteten då resultaten kan skilja sig åt beroende på analysmetod och provtagare.

Utförd analys av:	EMV-modell med indata för vägverketsektorn <sup>3</sup>	EMV-modell med indata för vägverketsektorn <sup>1</sup>	Ahlvik & Brandberg
Årsmodell	-97	89-96	93-94
Kolväten g/km	0.43	0.70	0.72
CO g/km	3.3	4.5	7.3
NO g/km	0.13	0.56	0.30
Partiklar g/km	0.009	0.010	0.014
Bränsleförbrukning 1/100 km	8.7	9.2	8.5

<sup>3</sup> Redovisning 2000 (avser år 2000)

### **3.1.4 Tillgänglighet**

Tillgångarna på råolja beräknas vara kraftigt begränsade om ca 40 år [10].

### **3.1.5 Distribution**

Distributionsnätet är väl utbyggt och fungerande.

### **3.1.6 Slutsats**

Bensin är inte långsiktigt hållbart då det framställs ur råolja, som är ett fossilt bränsle. Drivmedlet är väletablerat på marknaden, är lätthanterligt, har ett konkurrenskraftigt pris och har en väl utbyggd infrastruktur. Detta medför att det är svårt för alternativa drivmedel att komma in på marknaden. Den vanliga bensinmotorn kan anpassas till att klara hälsoaspekten men den kan knappast bli tillräckligt bränslesnål [12].

## ***3.2 Diesel***

### **3.2.1 Egenskaper**

Diesel består av kolväten med mellan 9-27 kolatomer och med en kokpunkt på 170-370° C. Bränslets kokpunkt är lägre än 350° C och kan ha varierande kvalitetsegenskaper beroende på vilken råolja den framställs ur. Diesel är inte lika tryckkänsligt som bensin vilket medför att en dieselmotor kan arbeta under högre tryck och uppnå högre verkningsgrad.

### **3.2.2 Framställning**

Diesel framställs ur råolja genom raffinering och krackning, då större kolvätemolekyler bryts ned till mindre. Diesel har något tyngre kolväten än bensin och kokar vid temperaturer mellan 230-350° C, vilket kan jämföras med bensins 15-175° C. Detta bidrar till att diesel fraktioneras ut tidigare än bensin i fraktioneringskolonnen.

### **3.2.3 Tekniska aspekter**

I cylindern komprimeras till en början bara luft, först när kolven når sitt högsta läge börjar insprutning av diesel. Bränslet självantänds på hög temperatur hos den komprimerade luften. Verkningsgraden hos dieselmotorn kan komma upp till ca 45 % [12].

### **3.2.4 Tillgänglighet**

Tillgångarna på råolja beräknas vara kraftigt begränsade om ca 40 år [12].

### **3.2.5 Distribution**

Distributionsnätet är väl utbyggt och fungerande.

### **3.2.6 Slutsats**

Diesel är liksom bensin väletablerad på marknaden, är lätthanterligt, har ett konkurrenskraftigt pris samt en väl utbyggd infrastruktur. Detta medför att det är svårt för alternativa drivmedel att komma in på marknaden. Diesel framställs dock ur ett fossilt bränsle och måste därför på sikt fasa ut om vi ska uppnå en långsiktig hållbar utveckling. Dieseln har högre verkningsgrad än bensinmotorn och kan utvecklas ytterligare för att minska emissionerna [12]. Slutsatsen blir att nya drivmedel måste utvecklas eftersom varken bensin eller diesel kan uppfylla kraven på både renhet och bränslesnålhet i tätort.

## **3.3 Naturgas**

### **3.3.1 Egenskaper**

Naturgas består av metan till 85-98 %. Den svenska gasen har ett metaninnehåll på cirka 91 %, samt några procent etan, propan, kväve och koldioxid. Metan är ogiftig och har en mycket låg reaktivitet i atmosfären. Bildning av marknära ozon bör därför inte utgöra något problem vid ett ev. utsläpp. Däremot läckage kan metan kraftigt bidra till växthuseffekten. Dessutom är det explosivt. Naturgas höga innehåll av väte i förhållande till kol ger vid förbränning ett högre energivärde samt mer vatten och mindre koldioxid jämfört med bensin och diesel. Vidare genererar naturgas också mycket låga utsläpp av svavel, tungmetaller och partiklar.

### **3.3.2 Framställning**

Naturgas är ett fossilt bränsle som liksom olja är lagrat i fickor och porösa bergarter i jordskopan och utvinns genom borrhning.

### **3.3.3 Tekniska aspekter**

Teknologin för att använda naturgas är välutvecklad och det finns redan idag bussar och bilar på marknaden. Naturgas kan användas efter justeringar i både otto- och dieselmotor, dock förlorar bränslet verkningsgrad i ottoprocessen. Den insparade koldioxidreduktionen genom att använda naturgas istället för bensin, går nästintill förlorad och koldioxidutsläppen blir av samma storleksordning som diesel. [10]

### **3.3.4 Tillgänglighet**

Naturgas utgör cirka 2 % av den tillförda energin i Sverige<sup>4</sup>. Importen av naturgas är cirka 9 TWh vilken kan höjas till 30 TWh. I Sverige används cirka 50 GWh per år, mindre än 1 %, av den totala energitillförseln av naturgas, till fordons drift. Naturgas skulle kunna användas som fordonsbränsle i 50-100 år till [12].

### **3.3.5 Distribution**

Till fordonsdrift används naturgas främst i komprimerad form. För att komprimera gasen krävs ledningar och kompressionsstationer för distribution till tankstationer. Det

---

<sup>4</sup> Energikommissionen.

ligger höga investeringskostnader i att bygga ett nytt nät, därför förkommer naturgas för fordon endast i södra och västra Sverige där nätet redan är utbyggt.

För att få naturgas i vätskeform krävs nedkylning till  $-162\text{ °C}$  [12], vilket ger hantering liknande den för dieselolja och bensin. Det krävs dock speciell utrustning för lagring och transport av vätskan till tankstationen. Vidare måste fordonet ha en isolerad lagringstank ombord.

### **3.3.6 Slutsatser**

Naturgas är ett fossilt bränsle och är alltså ingen långsiktig lösning. Emissionerna från bränslet är visserligen lägre än diesel och bensin, men ger fortfarande ett nettotillskott av  $\text{CO}_2$  samt ökat utsläpp av  $\text{CH}_4$ . Naturgas skulle kunna användas dels som råvara till metanol och dels under en övergångsperiod för att underlätta introduktion av biobränsle.

## **3.4 Biogas**

### **3.4.1 Egenskaper**

Biogas består liksom naturgas främst av metan, vilken är en mer potent växthusgas än koldioxid. Emissionerna blir därför mycket likt naturgas, med undantaget av att biogas som framställs från biomassa inte innebär någon nettotillförsel av koldioxid.

### **3.4.2 Framställning**

Biogas kan bli bildas naturligt på soptippar (deponigas), då ett omhändertagande av gasen är fördelaktigt ur växthussynpunkt. Gasen kan också tillverkas dels genom förgasning av organiskt material och vidare syntes till metan, och dels genom biokemisk rötning, då organiskt material bryts ned av bakterier i en syrefrimiljö. Rågasen som bildas består endast av 55-75 % metan och kräver därför rening och koncentrerings för att komma upp i värden motsvarande naturgas. Efter uppgraderingen har metanhalten höjts till 95 %.

### **3.4.3 Tekniska aspekter**

Biogas passar bäst i ottomotor pga sitt oktantal på 120. För att biogas ska kunna användas i en konventionell bensinmotor, krävs det ett aggregat i motorn som blandar gas och luft i rätt proportioner. Energiinnehållet är på cirka  $9,5\text{ kWh/Nm}^3$  [12].

### **3.4.4 Tillgänglighet**

I Sverige används 1.2 TWh biogas per år. Dock är det bara en liten del av detta som används till fordonsdrift. Biogasen produceras i Sveriges 220 anläggningar, vilka består av slamrötning vid kommunala reningsverk, avfallsdeponier och anläggningar för behandling/rening av spillvatten. Den årliga potentialen för biogasproduktion från organiskt avfall och industriellt spillvatten är 6-8 TWh gas. Om 20 % av dagens åkermark tas i anspråk för odling av råvara till biogas skulle energipotentialen bli cirka 12 TWh gas per år. Detta ger en samlad energipotential på cirka 20 TWh per år, vilket motsvarar 25 % av fordonsbränslenas totala marknad [12].

### **3.4.5 Distribution**

Distributionen och användningen liknar naturgasens. Det finns dock inte lika stora kvantiteter av biogas som naturgas. Biogasen är dessutom utspridd på flera små enheter i hela landet. Detta gör det svårt att etablera biogas på andra ställen än där det redan finns naturgasnät. I dagsläget är det dock effektivast att inte distribuera biogasen, utan använda den direkt där den produceras t ex av lokala transportfordon.

### **3.4.6 Slutsats**

Samhället går mer mot biobaserat bränsle, vilket i förlängningen skulle kunna leda till en råvarubrist, genom konflikter mellan olika markanvändningsintressen. Eftersom detta antas ligga allt för långt fram i framtiden tags ingen hänsyn till detta. Biogas kommer på g a för små råvarutillgångar aldrig kunna ersätta en väsentlig del av bensin- och dieselmärknaden men kommer ändå att vara viktig som ersättningsbränsle till t ex stadsbussar och renhållningsfordon.

## ***3.5 Rapsmetylester (RME)***

### **3.5.1 Egenskaper**

RME en vätska som klassas som ett mindre farligt bränsle. Det har dock hög flampunkt, vilket gör det brandfarligt. Riskerna vid utsläpp är små, då den är biologiskt lättnedbrytbar och inte innehåller några aromater. Emissionerna av partiklar och kolväten är något lägre än för diesel, däremot kan utsläppen av kväveoxider vara uppemot 30 % högre än miljöklass 1 diesel [13].

### **3.5.2 Framställning**

Råvaran till RME i Sverige kommer främst från rapsfrön. Rapsolja framställs genom pressning och/eller extraktion av rapsfrön.

### **3.5.3 Tekniska aspekter**

Energiinnehållet per volymenhet är cirka 6 % lägre än diesel. Detta medför att det krävs 6 % större volym av bränslet för att utföra samma transportarbete som med diesel. RME kan användas i dieselmotorer efter små motorjusteringar. Nya motorer är ofta redan ändrade för att även passa till RME. Idag används RME dock främst för inblandning, då den har en smörjande effekt, med 5 % i dieselolja [12]. Vidare påverkar inte heller RMEs lägre energiinnehåll lika mycket som vid fordonsdrift på ren RME.

### **3.5.4 Tillgänglighet**

Bränslet förekommer idag som fordonsbränsle i flera europeiska länder t ex. Tyskland, Österrike, Frankrike och Italien. I Sverige kan RME maximalt ersätta 3 % av dagens dieselförbrukning [12].

### **3.5.5 Distribution**

RME är vätskeformig och kan använda det befintliga distributionsnätet. Vidare är RME ett mer aggressivt bränsle än diesel och därför behövs en del justeringar göras på slangar och packningar.

### **3.5.6 Slutsats**

RME kommer aldrig kunna ersätta en väsentlig del av bensin- och dieselmärknaden. Däremot kommer den liksom biogasen kunna spela en viktig roll inom mer begränsade tillämpningsområden som en liten samlad fordonspark.

## ***3.6 Etanol***

### **3.6.1 Egenskaper**

Etanol är inte klassad som giftig och kräver därför mindre omfattande säkerhetsåtgärder än vid hantering av metanol och bensin. Ångtrycket är cirka två gånger högre för etanol än för bensin, vilket ökar avdunstning från t ex tankar, ledningar och motorer. Etanol utgör inget direkt miljöproblem och bryts ned relativt lätt vid utsläpp. Emissionerna av kväveoxid och partiklar är lägre än för diesel, medan utsläppen av kolväten och alkoholer och aldehyder är högre.

### **3.6.2 Framställning**

Etanol kan framställas både på teknisk och biokemisk väg. Tekniskt genom att eten tillverkas från råolja eller genom förgasning av fossila eller biobaserade råvaror. Biokemiskt då sockerarter som sockerrör, sockerbetor, majs eller vete genom jäsningsomvandling till jäsbart socker. Vidare ger den biokemiska framställningen av etanol ingen tillförsel av koldioxid.

### **3.6.3 Tekniska aspekter**

Energiinnehållet per liter etanol är cirka 2/3 jämfört med bensin [12]. På grund av dess höga oktantal kan man genom ökad kompression höja energieffektiviteten i motorn. Etanol kan med sitt höga oktantal och avsaknad av aromater med fördel ersätta bensin. Alkoholen kan användas både i otto- och i dieselmotorer.

### **3.6.4 Tillgänglighet**

Idag produceras etanol som fordonsbränsle främst på biokemisk väg, varav Brasilien och USA är stora producenter. Sverige har genom sin skogsindustri en mycket stor tillgång på cellulosa som kan användas till produktion av etanol. Produktionen av etanol har dock en låg energieffektivitet, på grund av den stora biprodukten lignin. Tekniken för jäsningsomvandling av träråvara finns men ger ett lågt utbyte. Ny teknik är dock under utveckling [12]. Resursbasen är stor men eventuellt kan konflikter med livsmedelsproduktion och annan markanvändning uppstå.

### 3.6.5 Distribution

Etanol är i vätskeform och kan distribueras som bensin och diesel. Efter justeringar kan detta ofta ske i redan befintliga system.

### 3.6.6 Slutsats

Etanol kommer aldrig kunna ersätta en väsentlig del av bensin- och dieselmärknaden, då främst med avseende på den låga energieffektiviteten vid produktion av bränslet. Dessutom spelar den höga kostnaden för etanol samt begränsningarna när det gäller odlingsareal och distribution en avgörande roll. [22]

## 3.7 Metanol

### 3.7.1 Egenskaper

Metanol, även kallad träsprit, är en lättantändlig färglös vätska som används som drivmedel idag. Metanol är giftigt och brinner med osynlig låga. Kokpunkten är  $65^{\circ}\text{C}$  och smältpunkten är  $-98^{\circ}\text{C}$ . Metanol löser sig lätt i vatten och självantänder vid  $385^{\circ}\text{C}$ .

### 3.7.2 Framställning

Metanol framställs ur naturgas, restolja, stenkolk, brunkolk eller metangas från avfallsdeponi. Metanol kan även framställas genom torrdestillation av trä, genom att koloxid och vätegas får reagera under värme med zinkoxid-kromoxid som katalysator eller som biprodukt vid tillverkning av sulfitsprit. [21] Reaktionen är en exoterm jämviktsreaktion och missgynnas därför av hög temperatur p g a jämviktslägets förskjutning åt reaktantsidan. Trots den termodynamiska begränsningen blir man kanske tvungen att låta reaktionen ske vid hög temperatur och högt tryck då katalysatorn har låg aktivitet vid låga temperaturer.

### 3.7.3 Tekniska aspekter

Energiinnehållet i metanol, räknat per liter, är cirka hälften jämfört med bensin. För att kompensera detta kan kompressionen höjas och därmed även energieffektiviteten. Bränslet kan användas både i otto- och dieselmotor. Metanol är lämplig som ersättare till bensin, eftersom den har ett mycket högt oktantal och inte innehåller några aromater. På grund av högre oktantal är det möjligt att höja kompressionsförhållandet eller tidigarelägga tändtidpunkten och därigenom öka verkningsgraden. En motor optimerad för metanol kan reducera energianvändningen med ca 10%. [19]

Cetan-talet, d v s tändvilligheten är låg hos metanol. Detta medför att i en dieselmotor måste mer bränsle sprutas in, vilket ger högre bränsleförbrukning jämfört med konventionella drivmedel. Metanol framförs ibland som ett bättre alternativ än etanol. En anledning är att med dagens teknik blir utbytet större vid framställning av metanol ur skogsråvara. Hittills har satsningarna främst skett på etanol. Bland annat på grund av att metanolproduktion kräver mycket stora anläggningar för att få bra ekonomi. Metanolen är dessutom giftig, mer aggressiv mot material i motorn och har lägre energiinnehåll än etanol. Metanol är aktuellt som tänkbart bränsle för bränslecellsbilar. Om tändförbättrare används kan metanol användas i en dieselmotor. 1 liter diesel motsvaras av 2,2 liter

metanol, vilket betyder att det krävs större tankar för samma räckvidd. Metanol är aggressivt mot vissa metaller och plastmaterial varför många komponenter i bränslesystemet måste bytas ut om metanol i ren form eller som blandningskomponent ska användas. [22]

### **3.7.4 Emissioner**

Om naturgas används som råvara blir påverkan på atmosfären, i form av utsläpp av växthusgaser, ungefär lika stor som vid förbränning av diesel. Drift med metanol ger upphov till mer kolväten än diesel, speciellt ökar emissioner av formaldehyd, som är giftigt. Kväveoxid-, kolmonoxid- och partikelutsläpp minskar jämfört med diesel. Avgaserna från metanol innehåller myrsyra som kan ge upphov till korrosionsskador i motor och avgassystem. För att minska risken för skador måste smörjoljan anpassas för metanoldrift.

Ångtrycket är betydligt lägre än för bensin. Det medför att åtgärder måste vidtas för att möjliggöra kallstarter. En metod är att blanda metanol med bensin. Blandningar mellan bensin och metanol är inte stabila under alla omständigheter och det finns risk för fassetparation om vatten läcker in eller kondenserar i bränsleförråd eller tankar. Metanol påverkar sammansättningen hos avgaserna och ger även lägre avgastemperatur. Kväveoxidemissionerna är lägre på grund av lägre förbränningstemperatur. Andelen av det cancerogena ämnet formaldehyd är emellertid högre än vid bensindrif. Den låga avgastemperaturen i kombination med det låga ångtrycket och mycket högt ångbildningsvärme medför att det är svårare att nå låga utsläpp av oförbränt bränsle under kallstarter.

### **3.7.5 Tillgänglighet**

Av den idag framställda metanolen används 25 % som fordonsbränsle i Sverige [10]. Det finns stora tillgängliga kapaciteter för framställning av metanol ur naturgas. I Sverige har metanolen dock inte många förespråkare. Ett skäl kan vara att metanol är svår att hantera eftersom den är giftig för människor. Ett annat att metanol tillverkad från naturgas inte ger några större miljövinster. Ett tredje skäl skulle kunna vara att vi i Sverige har fokuserat forskningen så hårt på det konkurrerande etanolbränslet. Resursbasen är stor men eventuellt kan konflikter med livsmedelsproduktion och annan markanvändning uppstå.

### **3.7.6 Distribution**

Metanol i vätskeform kan distribueras som bensin och diesel. Efter justeringar kan detta ofta ske i redan befintliga system.

### **3.7.7 Slutsats**

I och med att metanol även kan framställas ur biogas är dess potential som framtida bränsle stort, även i bränsleceller. Gentemot etanol finns det flera fördelar med metanol. Metanol är till exempel mer energieffektivt, både som bränsle och i framställningsprocessen. Dessutom är det lättare att spjälka till vätgas, vilket har betydelse vid eventuell användning i bränsleceller.

En nackdel är att det går åt större volymer metanol jämfört med bensin och diesel vid förbränning för att få ut samma arbete. Detta är emellertid fallet även för DME och etanol.

## 3.8 DME

### 3.8.1 Egenskaper

DME eller dimetyleter är en gas vid atmosfärstryck då den har en kokpunkt på  $-25,1^{\circ}\text{C}$ . Idag används gasen som drivgas i sprayburkar innehållande bl a färg och kosmetika. Dess kemiska formel är  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  och är således den enklaste etern. Vätskan är färglös och brinner med en blå flamma. Gasen är färglös, luktfri och tyngre än luft.[13]

DME är en välkänd och icke-toxisk kemikalie som i atmosfären omvandlas till  $\text{CO}_2$  och vatten. Gasen är färglös och luktfri vilket kan orsaka problem då den samtidigt är tyngre än luft och lätt kan ansamlas i fördjupningar och håligheter. DME har en mycket låg flampunkt ( $-41^{\circ}\text{C}$ ) och explosionsgränserna i luft är 3,4 – 17 vol%. Problem kan uppstå vid läckage då explosioner skulle kunna uppstå där gasen ansamlats. Detta då den är tyngre än luft och är mycket lättantändlig och antänds mycket lätt av gnistor. Vilket leder till att åtgärder bör tas för att förhindra gnistor som kan uppkomma vid statisk elektricitet. En luktvarning kommer sannolikt att vara ett krav i framtiden för att kunna upptäcka läckor. Vidare kan nämnas att DME vid koncentrationen 5 – 10% i luft ger påverkan på centrala nervsystemet [25]. För övrigt är gasen inte särskilt reaktiv, är inte frätande och brinner med en synlig blå flamma. DME ger inte upphov till peroxidbildning vilket högre etrar gör. [18]

### 3.8.2 Framställning

DME kan framställas från biomassa eller från naturgas. Framställningsproceduren för DME är fram till syntessteget exakt den samma som för metanol. Där har katalysatorn modifierats så att en direkt avvattnings sker av den bildade metanolen till DME. På grund av mer gynnsamma förhållanden i syntesen av DME fås ett något högre utbyte, ca 5 % högre än med metanol som produkt. Energiverkningsgraden för framställning med naturgas som råvara är 74 % i självförsörjande anläggningar och 57 % med biomassa som råvara. [2]

I en eventuell provanläggning där DME produceras från biomassa finns det möjlighet att också producera metanol. Detta är möjligt eftersom framställningsprocedurerna är så lika. Detta vore en attraktiv lösning eftersom metanol liksom DME ses som attraktiva framtida drivmedel i en övergångsfas.

**Tabell 3:** Kemiska reaktioner vid syntes av DME. Reaktion 4 är en summa av de övriga reaktionerna. [17]

(1)	$2\text{CO} + 4\text{H}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{OH}$	Metanolsyntes från syngas
(2)	$2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	Dehydratiseringsreaktion
(3)	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	CO – skifte
(4)	$3\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO}_2$	1 + 2 + 3

### 3.8.3 Tekniska aspekter

Energiinnehållet i DME är lägre än diesel då 1 liter diesel motsvarar 1,9 liter DME. DME har egenskaper som gör att det har en förmåga att lätt självantända vid kompression, ett

s k högt cetantal. Detta medför att bränslet lämpar sig bra för att användas i dieselmotorer där en hög verkningsgrad behålls även vid DME-drift. Dock behövs relativt omfattande modifieringar av dieselmotorn för att den ska kunna drivas med DME. Dessa modifieringar medför att motorn inte går att köra på något annat än DME. Den blir alltså inte bränsleflexibel vilket annars är en stor fördel för alternativa bränslen som vill ta sig in på marknaden.[2]

### 3.8.4 Tillgänglighet och distribution

Det finns idag inget utvecklat distributionsnät för DME. Men stora likheter finns med den typ av nät som används för gasol (LPG). Samma typ av teknik skulle här kunna användas men vissa modifieringar behövs. Till exempel behöver man byta ut fogmaterialet mellan rören till teflon eftersom DME är mer aggressivt än LPG. För att DME ska kunna bli ett storskaligt fordonsbränsle i ett framtida hållbart samhälle krävs det att produktionen sker med en förnyelsebar råvara som t ex biomassa. Den DME som produceras i världen idag produceras uteslutande från naturgas och den årliga produktionen i världen är ca 150 000 ton[17]. DME:n som produceras idag kan således inte räknas till de förnyelsebara bränslena. Dock kan fossil-DME ses som ett alternativ för att få en ren stadsmiljö, då utsläppen blir mycket mindre än för bensin och diesel drift. Men på längre sikt i ett hållbart samhälle krävs ett drivmedel som inte har ett fossilt ursprung.

Planer finns bl a i Sverige på att börja producera DME med biomassa som råvara. I Växjö kommun har man som mål att inom 2 – 5 år kunna producera 10 000 ton DME från biomassa (trä). Produktionskostnaderna då råvaran är biomassa blir avsevärt större än med naturgas som råvara. Dock är priset för bio-DME lågt i jämförelse med andra biobaserade drivmedel för fordon, det billigaste enligt Lennart Gårdmark på Växjö kommun. Produktionskostnaderna med naturgas som råvara är i nivå med diesel. [15]

I konsumentledet kommer DME:n med all sannolikhet distribueras i vätskeform. Den kan då förvaras i trycktankar under 5 – 10 bars tryck vid normal temperatur. Kanske kommer vätskan finnas i utbytbara standardiserade kassetter i fordonet, vilka fylls på vid tankstationen och hämtas där av konsumenten.

### 3.8.6 Miljöpåverkan

Då DME framställs ur biomassa sker inget nettotillskott av CO<sub>2</sub> till atmosfären. Vid framställning ur naturgas är skillnaden liten i fråga om nettotillskottet av CO<sub>2</sub> jämfört med diesel. Vidare har DME vid försök visat sig ge lägre emissioner av kolväten, kväveoxider och partiklar än diesel. Partikelutsläppen är mycket låga. De rena avgaserna är en av DME:s stora fördelar. Dock har Volvo Lastvagnar i en rapport angivit något högre emissioner av kolmonoxid än vid vanlig dieseldrift. Men andra nyare källor säger motsatsen.[13][20]

### 3.8.7 Slutsatser

Med DME som drivmedel i fordon kan mycket låga utsläppsnivåer nås av NO<sub>x</sub>, kolväten, svavel och partiklar vilket är en stor fördel gentemot diesel. En annan positiv miljöaspekt är möjligheten att producera DME från biomassa. Säkerhetsaspekterna vid hanteringen av DME kommer främst att handla om explosionsrisker. DME har dock stora likheter med gasol då det gäller flampunkt och explosionsgränser i luft. Man kan

således anta att samma säkerhetsåtgärder kommer att tas vid hantering av DME som vid hantering av gasol, vilket ofta påpekas av tillverkare och andra intressenter. Säkerhets- och hälsoaspekten är dock något som bör utredas grundligt innan en introduktion av DME kan ske på den allmänna marknaden.

Vidare är det positivt att en hög verkningsgrad bibehålls med DME-drift i dieselmotorer. En sak som talar emot DME är att det krävs omfattande modifieringar i konventionella dieselmotorer för att anpassa dem till DME-drift. Dessa är så omfattande att det skulle krävas nyproduktion av bilar för DME-drift. Detta är förstås en stor nackdel för DME då det som ett alternativt bränsle ska introduceras i en övergångsfas. En annan negativ egenskap hos DME är att den kräver ca dubbelt så stor tank som med dieseldrift, vilket är en klar nackdel. [20] [18]

## 3.9 Vätgas

### 3.9.1 Egenskaper

Räknat per viktenhet har vätgas det högsta värmevärdet av alla bränslen. Ser man till volymen är det dock utrymmeskrävande, det krävs till exempel en 3,5 gånger större volym flytande väte än för motsvarande energimängd bensin. Tabell 4 nedan visar en jämförelse mellan olika lagringsvarianter av vätgas (se även kap 3.9.5) och bensin.

**Tabell 4.** Jämförelse mellan olika sätt att lagra väte och bensin. [4]

Bränsle	Lagrings temperatur	Tryck kPa	Densitet g/l	Energiinnehåll (LHV)	
	K			MJ/l	MJ/kg
Vätgas vid 17,3 Mpa	300	17300	14	1,7	119,9
Flytande väte, LH <sub>2</sub>	<20,3	102	70,8	8,4	119,9
Väte i metallhydrid Mg <sub>2</sub> NiH <sub>x</sub>	567/612	>200		9,7	3,8
Väte i metallhydrid FeTiH <sub>x</sub>	263	>200	3420	11,4	2,1
Bensin	288	7,65	750	31,0	41,3

Observera att för metallhydriderna gäller data endast för själva hydridmaterialet, inneslutningstankar och så vidare är ej medräknat. [4]

Om vätgas blandas med syrgas kan den explosiva blandningen ”knallgas” bildas. Eftersom gasen är så lätt kan detta endast bli ett problem i slutna utrymmen, gasen stiger så snabbt att farliga koncentrationer aldrig hinner bildas i öppna utrymmen. Att gasen är så lätt kan dock ge andra problem vid storskalig användning, då gasen stiger upp i stratosfären och kan läcka ut i rymden.

### 3.9.2 Tekniska aspekter

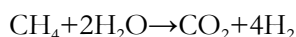
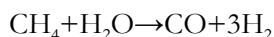
Vätgas kan användas som drivmedel i både otto- och dieselmotorer. Det finns möjligheter att köra en motor med en mycket mager vätgas-luftblandning vilket kan ge en hög verkningsgrad. Effekten tas dock ut av att vätgasen upptar stor volym, vilket ger att man kan anta samma verkningsgrad som för en bensindriven ottomotor. [1] Det främsta användningsområdet i framtida bilar anses dock vara i bränsleceller där kemisk energi används för att producera el.

### 3.9.3 Framställning

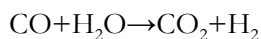
År 1994 var världens årsproduktionen av vätgas mellan 350 och 500 miljarder Nm<sup>3</sup>, vilket som bränslevärde (LHV) motsvarade ungefär 1165-1665 tWh/år eller drygt 1% av den mänskliga energianvändningen då. Nästan all produktion, 99%, sker från fossila bränslen, ca 76% baseras på naturgas (via ångreforming) och 23% från petroleum. En ytterst liten del av produktionen sker genom elektrolys av vatten och då främst som biprodukt vid annan kemisk industri. [4] Det finns flera metoder för att framställa väte. Vissa används idag medan andra ännu är under utveckling eller endast befinner sig i planeringsstadiet.

#### 3.9.3.1 Framställning av vätgas ur fossila råvaror

Ångreforming är idag den vanligaste metoden att producera vätgas. Oftast används naturgas men även andra lätta kolväten som butan eller propan går bra. För att framställa 1 ton väte krävs 2 ton metan samtidigt som 5 ton koldioxid bildas.

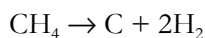


Kolmonoxiden tas sedan bort genom



I den varmaste delen av reformern är temperaturer på 800-1100°C och tryck på 3-4 MPa vanliga. Teoretiskt ligger energiverkningsgraden på 86%, i verkliga anläggningar når man nu ca 75%. [4]

Andra metoder att producera vätgas ur kolväten är kolförgasning, ång-järnprocessen eller genom pyrolys. Alla dessa processer medför dock emissioner av CO<sub>2</sub>. En metod för att producera vätgas ur fossila bränslen (naturgas och kol) utan några större CO<sub>2</sub>-emissioner är genom termisk krackning. Metoden används idag för att producera så kallad kimrök, ”carbon black” eller CB, som främst används för vulkanisering inom gummiindustrin. Processen baseras på reaktionen

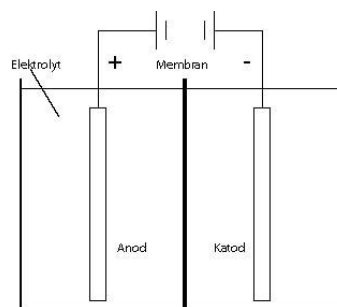
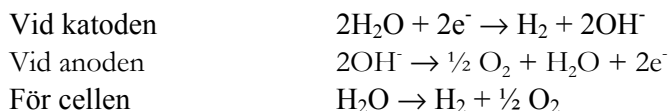


där kimrök är huvudprodukten och vätgas erhålls som en biprodukt. En sådan process är den så kallade Kvaernerprocessen där det specifika energibehovet är 1,01 kWh/Nm<sup>3</sup>, cirka en fjärdedel av vad som behövs vid konventionell elektrolys. [4]

#### 3.9.3.2 Framställning av vätgas utan fossila råvaror

Idag produceras en väldigt liten del av all vätgas genom elektrolys av vatten. I takt med att andelen uthålliga energikällor såsom vindkraft och solenergi ökar tros elektrolys få större betydelse. Idag används två elektrolysmetoder, alkalisk elektrolys (med alkalisk elektrolyt, elektroderna åtskiljs av ett membran) och fast polymer elektrolys (SPE eller PEM, elektrolyten fungerar även som membran). Praktiskt åtgår ca 1 l vatten/Nm<sup>3</sup> vätgas. Om havsvatten används måste det först avsaltas vilket konsumerar cirka 40-100 kWh/m<sup>3</sup> vatten.

Vid alkalisk elektrolys sker generellt följande reaktioner:

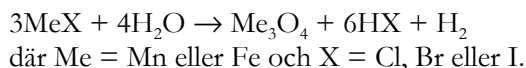


**Bild 2.** Elektrolys

Dagens teknik har i stora anläggningar en ungefärlig verkningsgrad på 80% och en elförbrukning på 3,9 till 4,5 kWh/Nm<sup>3</sup> vätgas. Typiska arbetstemperaturer ligger kring 70-90°C med cellspänningar runt 1,8 V. Utvecklingsarbete på går för att öka arbetstemperaturen och därmed minska cellspänningen.

PEM elektrolys bygger på samma teknik som PEM bränslecellen. Fördelar gentemot alkalisk elektrolys anses vara att PEM anläggningar potentiellt kan tillverkas i små storlekar, uppnå högre verkningsgrader och få längre livslängd än alkaliska anläggningar.

Ytterligare en metod att framställa väte är genom termolys. När ånga överhettas till över 1400°C påbörjas spjälkning till vätgas och syrgas. Även hydroxylradikaler och fria väte- och syreatomer bildas. Processen blir effektiv vid ca 3000°C. På grund av praktiska problem med de höga temperaturerna och separation av de olika gasfraktionerna anses dock praktiska processer avlägsna. Genom introduktion av någon kemikalie som cirkuleras och återvinns kan processen ske vid lägre temperaturer. Det blir då också rimligt att använda solenergi som primär energikälla. Ett exempel är användning av metallhalider där den vätgasproducerande reaktionen är:



Slutligen kan vatten dissocieras genom högenergibestrålning, radiolys, vilket idag till viss del sker i kärnkraftverk.

Det pågår även försök med fotobiologisk vätgasproduktion där alger eller bakterier producerar vätgas när de utsätts för solljus. Metoden kan eventuellt få betydelse långsiktigt men kan bli problematisk att tillämpa i ett land som Sverige. [4]

### 3.9.4 Tillgänglighet

Om vätgasen framställs ur fossila bränslen såsom naturgas är tillgängligheten densamma som för dessa. Framställs gasen ur vatten är tillgångarna i princip obegränsade. Vid användningen bildas ju vattenånga som sedan återgår till vattnets kretslopp. Den enda begränsande faktorn i detta fallet är eventuellt läckage av vätgas till rymden vilket vid stora volymer skulle kunna leda till en dehydrering på lång sikt<sup>5</sup>. [4]

<sup>5</sup> Avser vid storskalig global användning. Området är inte särskilt undersökt och mer forskning torde krävas. [4]

### 3.9.5 Distribution

Både för att lagra och transportera vätgas finns det ett antal speciella problem. Ett är att den låga tätheten och de små molekylerna gör att det är svårt att få lagringssystem täta. Ett annat är att väte kan påverka vissa stålsorter vilket medför så kallad vätesprödhet. Dessutom finns risken för explosioner om gasen läcker i stängda utrymmen, då knallgas bildas vid vissa proportioner mellan vätgas och luft. I öppna utrymmen anses detta inte vara ett problem eftersom gasen stiger så snabbt att farliga koncentrationer aldrig hinner bildas.

Vätgas kan transporteras i pipelines. Dessa behöver då endast ha en diameter som är 30% större än om samma energimängd hade transporterats som naturgas. Jämfört med naturgas skulle inte lika många kompressorstationer behövas, kostnaden skulle dock för ledning och kompression bli ca 80% högre än för naturgas. Flytande väte kan också transporteras i pipelines. Förlusterna blir då mycket lägre än för gasformigt väte men rören behöver isoleras. [4] Flytande väte kan även transporteras i tankbilar eller i tankfartyg. Jämfört med råolja blir drivmedelsförbrukningen för transport med fartyg cirka 5 ggr högre för vätgas på grund av det lägre energiinnehållet. Dessutom tillkommer avdunstning med 0,3% per dygn, vilket kan vara mer än vad drivmaskineriet för fartyget gör av med. [1]

Om vätgas ska tankas i fordon behövs dels täta lagringsmöjligheter i fordonen, dels större lager och tankningsmöjligheter vid tankstationer och slutligen ett större distributionsnät ut till de olika stationerna. På grund av gasens speciella egenskaper kan inte alltid redan existerande distributionsnät för naturgas användas [16]. Det finns olika sätt att lagra vätgas: som gas i trycksatta tankar, som flytande väte, i metallhydrider och även i kolfibrer. För närvarande är ett problem med metallhydrider och kolfiber att de degraderas vid användning och alltså inte kan användas flera gånger. Ett fördelaktigt alternativ är att istället lagra ett vätebärande bränsle, som metanol. Fördelarna är att det har relativt hög energitäthet, räknat både efter volym och densitet, och kan lagras i flytande form vid atmosfärstryck. Metanolen kan enkelt distribueras och tankas i bilarna och behöver bara reformeras antingen på tankstationen eller i bilen innan den används i en bränslecell. [4] Etanol anses inte vara ett alternativ eftersom det är mer komplicerat att reformera och ger större förluster. Om DME blir intressant att använda i kolvmotorer och senare i bränsleceller kan även det användas på liknande sätt som metanol. [1]

### 3.9.6 Slutsatser

Eftersom vätgas kan tillverkas ur en i princip obegränsad resurs och eftersom användning av vätgas i förbränningsmotor eller bränslecell inte ger några särskilda utsläpp (ingen koldioxid, svaveldioxid eller partiklar) anses väte av många vara ett bra alternativ till bensin i framtiden. Det kommer dock behövas viss utveckling av hållbara produktionsmetoder så de blir ekonomiskt rimliga. Man kommer även behöva bestämma sig för om man vill distribuera vätgas (i trycktankar, som flytande väte eller i metallhydrider/kolfiber) eller om man ska använda sig av t ex metanol som sedan reformeras vid behov.

### 3.10 Samlad slutsats

I tabell 5 nedan sammanfattas den totala miljöpåverkan från råvaruutvinning till förbränning för olika bränslen. Observera att både energianvändningen vid tillverkningen och emissionerna anges per MJ, alltså den energi som utvinns vid förbränningen av bränslet, för att jämförelsen skall bli så rättvis som möjlig.

**Tabell 5.** Total miljöpåverkan från råvaruutvinning till förbränning per MJ bränsle för personbilar [6]. ”-” betyder att uppgift saknas i litteraturen

Resursanvändning	Bensin <sup>6</sup>	Diesel <sup>7</sup>	Naturgas Danmark <sup>8</sup>	Etanol E5, spannmål <sup>9</sup>	Etanol E85 <sup>10</sup> , vinetanol	RME	Biogas
Total energi-användning, MJ	0.10	0.06	0.067	0.1221	0.95	0.30	0.52
<b>Utsläpp till luft, mg</b>							
NO <sub>x</sub>	68	280	48	64	290	370	46
SO <sub>x</sub>	30	19	3.3	29	120	18	4.2
CO	180	160	35	160	330	180	36
NMVOG	69	54	21	65	49	52	660
CO <sub>2</sub>	79 000	78 000	56 000	75 000	26 000	9 000	3 480
N <sub>2</sub> O	20	4.0	0.10	-	-	67	-
CH <sub>4</sub>	9.0	4.0	12	-	-	31	1 100
Partiklar	4.5	26	2.1	5.7	15	23	3.5
NH <sub>3</sub>	-	-	-	0.12	0.95	-	-
<b>Verkningsgrad</b>	0.17	0.2	0.17	0.17	0.17	0.2	0.17

Utav de undersökta drivmedlen anses följande bränslen ha hög framtida potential: metanol, etanol, DME, biogas och naturgas, varav samtliga i ett begynnande skede kan användas i konventionella motorer. Naturgas är dock ett fossilt bränsle och kommer endast att verka under en övergångsperiod, i form av nischbränsle eller råvara, till ett system med alternativa bränslen. Biogasens råvarutillgång är allt för knapp och kommer därför främst att vara ett nischbränsle. Metanol och DME:s utbyte är 32-39 % [13] bättre än etanols vid tillverkning från cellulosa. Etanol kommer även sannolikt att bli dyrare att tillverka.

Ur syntesgas (vätgas och kolmonoxid) kan metanol, DME och vätgas framställas. Detta möjliggör en stegvis överfasning från fossila råvaror till ett uthålligt vätgasbaserat system. Produktion av vätgas kan anpassas från nationellnivå ända ner till lokalnivå, då vätgas kan framställas från naturgas, biogas eller genom elektrolys av vatten. Dagens fordon är tillverkade med motor ursprungligen avsedda för drift med dieselolja eller bensin. Det är därför troligt att de alternativa drivmedlen med enkla strukturer och homogena sammansättningar, kommer att utvecklas mot mycket låga emissionsnivåer.

Möjligheten att producera RME är begränsad och bränslet uppfyller inte kraven på hälsoeffekter, då det ger höga halter av bl a partiklar. Bränslet behandlas därför inte vidare i rapporten.

<sup>6</sup> Avser blyfri bensin.

<sup>7</sup> Avser diesel Mk 1.

<sup>8</sup> Naturgasen som används i Sverige kommer uteslutande från de danska Nordsjöfälten.

<sup>9</sup> E5 avser 5 % etanol och 95 % bensin.

<sup>10</sup> E85 avser 85 % etanol och 95 % bensin.

### 3.10.1 Pris

Priset för biobaserade drivmedel överstiger kraftigt de konventionella fordonsbränslenas produktions- eller importkostnader, skattelättnaden på RME och biogas eliminerar dock skillnaden. Till kostnaderna tillkommer en ökad distributions- och inköpskostnad för fordon, samt högre driftskostnader. Naturgas och metanol framställt ur naturgas är de drivmedel som kan närma sig bensin och diesels distributions- och inköpskostnad. Det krävs därför ekonomiska styrmedel för att biobaserade drivmedel ska kunna konkurrera med konventionella drivmedel.

I tabellerna 6 och 7 nedan sammanfattas priserna för ett antal olika bränslen.

**Tabell 6.** [13] Pris per liter bensin (motsvarande energiinnehåll). Inklusive distribution, exklusive skatt.

	<b>Bensin<sup>11</sup></b>	<b>Diesel<sup>12</sup></b>	<b>Naturgas Danmark<sup>13</sup></b>	<b>Etanol E5<sup>14</sup></b>	<b>Etanol E85<sup>15</sup></b>	<b>RME</b>	<b>Biogas</b>
<b>Bränslepris (öre/MJ bränsle)</b>	7.3	6.1	-	7.3	15.7	20	21.4 <sup>16</sup>
<b>Skatt (öre/MJ bränsle)</b>	14.1	7.4	-	14.1	5.7	0	0
<b>Totalt (öre/MJ bränsle)</b>	21.4	13.5	-	21.4	21.4	20	21.4

**Tabell 7.** [13] Pris per liter bensin (motsvarande energiinnehåll). Inklusive distribution, exklusive skatt.

<b>Drivmedel</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Cirkapris*</b>
Diesel	Råolja	1:50 kr
Bensin	Råolja	2 kr
Gas	Naturgas	2 kr
Metanol	Naturgas	2 kr
Metanol	Vedråvara	5 kr
Etanol	Vete	6 kr

<sup>11</sup> Avser blyfri bensin.

<sup>12</sup> Avser diesel Mk 1.

<sup>13</sup> Naturgasen som används i Sverige kommer uteslutande från de danska Nordsjöfälten.

<sup>14</sup> Framställt från spannmål.

<sup>15</sup> Framställt från vinetanol

<sup>16</sup> Stora variationer förekommer.

## 4 Diskussion

Enda sättet att minska nettotillskottet av koldioxid är genom en minskad förbrukning av drivmedel eller genom att använda biobaserade fordonbränslen. För fossila drivmedel härstammar främst emissionerna av koldioxid, från förbränningen av drivmedlet. För biobaserade drivmedel är även koldioxidemissionerna från odling och omvandling av betydelse.

Målsättningen är att minska fordonstrafikens klimat- och hälsopåverkan på ett långsiktigt hållbart sätt. Vilka krav bör man då ställa på ett drivmedel som ska få bred genomslagskraft? Det ska vara anpassat till miljön m a p klimat- och hälsoeffekter samt inte tära på ändliga resurser. Ur ett globalt perspektiv ska det finnas god tillgång på råvaror och energikällor, så att de kan produceras, distribueras och användas till en rimlig kostnad över hela världen. De ska tillåta en successiv övergång, genom att de kan tillverkas av fossiliråvaror, såväl som av biomassa och passa i både konventionella och nya drivsystem. I tabell 8 nedan jämförs de undersökta drivmedlen med bensin.

**Tabell 8.** Samlad bedömning av fordonbränslen.

Drivmedel	Miljöpåverkan jämfört med bensin	Verkningsgrad jämfört med bensin	Distributionsnät	Tillgång
<b>Bensin</b>	-	-	Ja	God <sup>17</sup>
<b>Diesel</b>	-	Högre	Ja	God <sup>8</sup>
<b>Etanol</b>	Lägre <sup>18</sup>	Lägre	Ja	Medel <sup>19</sup>
<b>RME</b>	Något lägre <sup>20</sup>	Lägre	Ja	Låg
<b>Naturgas</b>	Lägre	Högre	Ja i Västsverige	Medel <sup>2</sup>
<b>Biogas</b>	Lägre	Lägre	Ja i Västsverige	Medel <sup>21</sup>
<b>DME</b>	Lägre	Högre	Nej	Medel <sup>22</sup>
<b>Metanol</b>	Lägre	Högre	Ja	Medel
<b>Vätgas</b>	Lägre	Högre	Nej	God

Det är mycket svårt att i dagens läge utse en vinnare bland våra kandidater till framtidens fordonbränsle. Vi befinner oss för närvarande i en övergångsperiod där en utfasning av fossila bränslen till förmån för mer miljömässigt motiverade alternativ börjar ses som nödvändig. Av alla de möjliga alternativa fordonlösningar som vi ser idag kommer några troligtvis att dominera den framtida marknaden. Kanske kommer det att finnas flera olika alternativ att välja då man ska köpa en personbil i framtiden, medan det för tyngre transporter finns andra lösningar. En viktig egenskap hos ett alternativt bränsle som vill ta sig in på marknaden i detta skede är att det är flexibelt ihop med andra äldre bränslen. Alltså att det går att samköra med nuvarande drifts- och distributionssystem.

Det kommer sannolikt att vara svårt för Sverige att använda sig av ett fordonbränsle som resten av världen inte använder. Detta p g a att den internationella marknaden för fordonbränslen är så stor i förhållande till den svenska marknaden. Detta kommer

<sup>17</sup> God tillgång nu, men frågan är hur många år till det kommer att finnas olja.

<sup>18</sup> Etanol antas vara framställt från biomassa.

<sup>19</sup> Sverige har god tillgång på råvaran cellulosa och tekniken för jäsning av träråvara finns men ger ett lågt utbyte. Ny teknik är under utveckling.

<sup>20</sup> Men inte låg p g a dess höga utsläpp av NO<sub>x</sub>.

<sup>21</sup> Om 20 % av dagens åkermark används för odling av råvara till biogas skulle det motsvara 25 % av fordonbränslenas totala marknad.

<sup>22</sup> Är idag kopplat till naturgastillgång, kommer dock sannolikt snart kunna produceras från biomassa.

sannolikt att vara fallet i ett längre tidsperspektiv. Men i en övergångsfas där flera bränslen används parallellt kommer det kanske att vara aktuellt för Sverige att under en begränsad period satsa på ett bränsle som kan produceras och konsumeras i Sverige, t ex ett biobaserat bränsle såsom DME, metanol eller etanol. Vid produktion av biomassa för framställning av biobränslen kan det uppkomma konflikter med andra intressen som t ex livsmedelsodling och markanvändning. Ur ett svenskt perspektiv är detta kanske inget större problem, det kan dock vara en viktig frågeställning globalt.

Andra kanske något undervärderade faktorer som spelar in i valet av framtida drivmedel är användarvänlighet och säkerhet. Användarvänligheten kan bli en avgörande egenskap då det trots allt är konsumenten som bestämmer i slutändan om han vill tanka och köra med bränslet. Dagens och framtidens konsumenter är de mest bekväma och krävande konsumenter som någonsin funnits. Detta kan bli avgörande vid introduktion av nya bränslen och distributionslösningar. Som exempel kan nämnas problem med ökade risker vid tankning av vätgas. Dessutom är energinnehållet per volymenhet lågt hos vätgas och flytande väte. Detta innebär antingen att bilarna behöver större bränsletankar, vilket påverkar utseende och prestanda, eller att man måste tanka oftare. Man kan tänka sig att en introduktion på marknaden av en ny miljövänlig lösning på fordonsbränsleproblemet skulle få mycket höga krav på sig. Det kanske t o m kommer att ställas högre krav på användarvänlighet, säkerhet och bekvämlighet i konsumentledet än vad det gjordes på föregångarna.

Naturligtvis är teknikutvecklingen av avgörande betydelse. En ny banbrytande teknik eller en kraftig effektivisering i redan befintlig teknik skulle få mycket stort inflytande på valet av ett hållbart fordonsbränsle för framtiden. Men en helt ny teknik kan få svårt att finna acceptans bland tillverkare och konsumenter inom en rimlig tid. Som exempel på detta kan nämnas att bränslecellen uppfanns 1839 tillämpades första gången 1955 i alkaliska celler och har kanske inte nått full acceptans förrän idag. Detta trots att den ansetts som en framtidsteknik med mycket stora potentialer.

Trots de svårigheter och problem som nämns ovan framstår ändå DME, metanol och på längre sikt även vätgas som attraktiva framtida fordonsbränslen. DME och metanol är kanske mest aktuella i en övergångsfas mot ett vätgasdrivet samhälle eftersom de både fungerar bra i förbränningsmotorer men även går att använda med bränsleceller.

## 5 Källförteckning

- [1] Ahlvik, Peter och Åke Brandberg, *Systemeffektivitet för alternativa drivmedel*, 2001, Vägverket 2001:39
- [2] Ahlvik, Peter och Åke Brandberg, *Wheel to wheel efficiency*, 2001, Vägverket 2001:85
- [3] Beckman O, m.fl. *Energilära* 1991
- [4] Gröndalen, Ola; *Väte – Framtidens energibärare*, 1998; Elforsk rapport 98:19
- [5] *Energimagasinet* nr3, 2000 (G. Sidén)
- [6] IVL rapport, *Miljöfaktabok för bränslen* 2001
- [7] Kordesch, K, *Fuel cells and their applications*, VCH 1996
- [8] Larminie, J, *Fuel cell systems explained*, Wiley 2001
- [9] Naturskyddsföreningen, *Fakta 14*, Nov 1996
- [10] SOU 1996:184, *Bättre klimat, miljö och hälsa med alternativa drivmedel*
- [11] Vägverket Myndighetsgruppen, *Strategiska bränslefrågor*, Olle Hädell Utkast 2001-11-07
- [12] Vägverket, *Strategier för alternativa bränslen i vägtransportsektorn*
- [13] Volvo lastvagnar AB, *Alternativa bränsle*, 1997-09-03
- [14] Sammanfattning från internationell miljökonferens i Växjö, “*Local Action for Global Climate Protection*” 2001

### 5.1 Samtal

- [15] Lennart Gårdmark, Växjö kommun, dec 2001 – jan 2002
- [16] Bengt-Erik Mellander, Professor i fysik, Chalmers, december 2001

### 5.2 Hemsidor

- [17] India DME Project, [www.dmeformpower.com](http://www.dmeformpower.com)
- [18] NKK, [www.nkk.co.jp/en/environment/dme/index.html](http://www.nkk.co.jp/en/environment/dme/index.html)
- [19] IVL Svenska Miljöinstitutet AB, [www2.ivl.se/vv/ber/flik3/flik3\\_1/flik\\_315.htm](http://www2.ivl.se/vv/ber/flik3/flik3_1/flik_315.htm)

- [20] International DME Association, [www.aboutdme.org](http://www.aboutdme.org)
- [21] Svenska Naturskyddsföreningen, [www.snf.se/pdf/dok\\_trafik\\_drivmedel.pdf](http://www.snf.se/pdf/dok_trafik_drivmedel.pdf)
- [22] VOLVO, [www3.volvo.com/environment/pdf/altbrans.pdf](http://www3.volvo.com/environment/pdf/altbrans.pdf)
- [23] Institutionen för kemiteknik KTH, [www.chemeng.kth.se](http://www.chemeng.kth.se), 2002-01-06
- [24] Elektrofysik Chalmers, [www.fy.chalmers.se/ef/Brcell.htm](http://www.fy.chalmers.se/ef/Brcell.htm), 2002-01-06