



LUND UNIVERSITY

Energi för vägtransporter - utsikter mot 2020 och därefter

Åhman, Max

2009

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Åhman, M. (2009). *Energi för vägtransporter - utsikter mot 2020 och därefter*. (LUTFD2/TFEM--98/3021--SE + (1-44); Vol. 68). Lunds universitet. Avdelningen för miljö- och energisystem.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUND
UNIVERSITY

Department of Technology and Society
Environmental and Energy Systems Studies

Energi för vägtransporter utsikter mot 2020 och därefter

Max Åhman

Rapport nr. 68

Feburari 2009

Förord

Denna rapport har skrivits med stöd från E.ON Business Development i Malmö AB.
Docent Pål Börjesson och Professor Lars J Nilsson, båda på miljö- och energisystem LTH, har bidragit med konstruktiv kritik.

Stockholm 11 Feburari 2008

Max Åhman

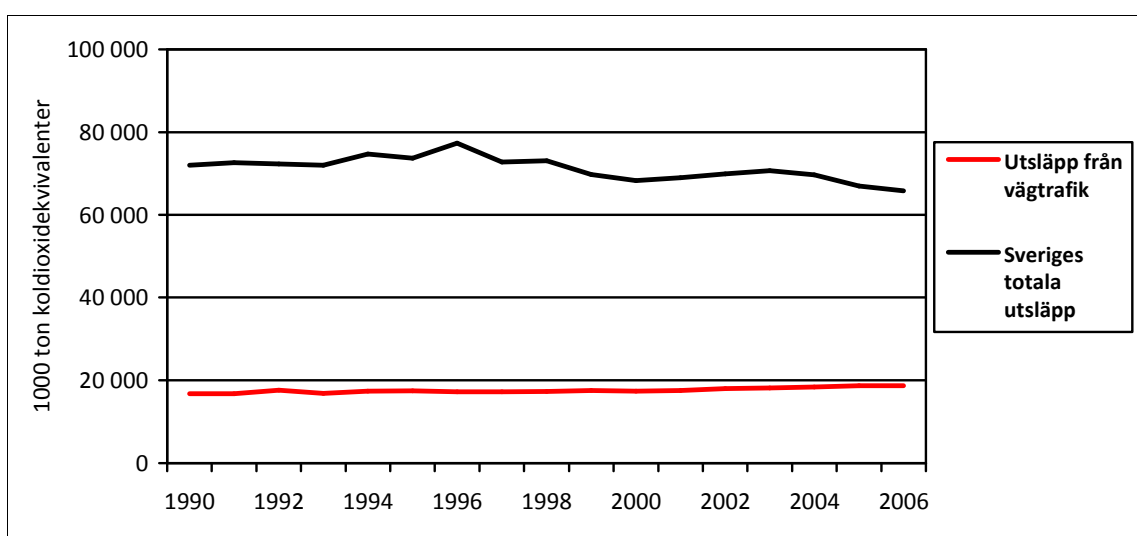
Dokumentutgivare/Organization, Dokumentet kan erhållas från/ The document can be obtained through LUNDS UNIVERSITET Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund, Sverige Telefon: int+46 46-222 86 38 Telefax: int+46 46-222 86 44		Dokumentnamn/Type of document Rapport
		Utgivningsdatum/Date of issue Feburari 2009
		Författare/Author(s) Max Åhman
Dokumenttitel och undertitel/Title and subtitle Energi för Vägtransporter utsikter mot 2020 och därefter		
Abstrakt/Abstract De senast åren har produktionen alternativa drivmedel vuxit kraftigt. Drivkrafterna kan framförallt hänföras till ett växande intresse av att skydda klimatet och de politiska initiativ som följt av detta, stigande oljepriser och industriella och jordbrukspolitiska intressen. I svallvågorna av den kraftiga expansionen av biodrivmedel har dock debatten alltmer börjat ifrågasätta nyttan och effekterna av en fortsatt expansion av biodrivmedel. Rapporten ger en översikt över kunskapsläget med avseende på klimatnytta och ekonomiskt potential för 1st generationens etanol och biodiesel, 2:a generationens biodrivmedel samt el via t.ex. plug-in hybrider. Raporten ger även olika scenarier för hur Sverige kan uppfylla det antagna EU direktivet om förnybar energi i transportsektorn till 2020. Omställningen av energitillförseln inom transportsektorn har bara börjat. Drivkrafterna, som bl.a syns i kriterierna i EUs direktiv, kommer dock att styra mot mer klimateffektiva drivmedel som baseras på avfall och skogsråvara jämfört med dagens satsningar. Effektiva spannmålsbaserade drivmedel kan dock fortfarande behålla en relativt stor nisch även på längre sikt, bl.a p.g.a av satsningarna motiveras av flera olika skäl, bl.a. jordbrukspolitik. El spås att introduceras inom en inte alltför avlägsen framtid. Dock kommer det att ta lång tid innan elanvändningen via t.ex. plug-in hybrider märks i statistiken. Ökade krav på energieffektivisering kan driva på en utveckling mot dyrare fordon och därmed också mot förändrade former för att äga och utnyttja fordon, bl.a ökade bilpooler.		
Nyckelord/Keywords Biodrivmedel, biometan, etanol, biodiesel, transport, energy, plug-in hybrid, Klimat		
Omfång/Number of pages 44	Språk/Language Svenska	ISRN ISRN LUTFD2/TFEM--09/3059--SE + (1-44)
ISSN ISSN 1102-3651		ISBN ISBN 91-88360-94-6
Intern institutionsbeteckning/Department classification Rapport nr. 68		

1. Bakgrund – drivkrafter för alternativ

De senaste åren har produktionen alternativa drivmedel vuxit rejält på marknaden. Dock står de alternativa drivmedlen fortfarande bara för några få procent av den totala energin till vägtransporter idag. Drivkrafterna för denna tillväxt kan framförallt hänföras till (i) ett växande intresse av att skydda klimatet och de politiska initiativ som följt av detta, (ii) relativt stigande oljepriser och insikten av att vi går mot permanent högre oljepriser jämfört med perioden 1990 till 2005, (iii) i ett flertal länder har även energiberoendet från mellanöstern varit drivande, liksom utsikterna till industriell utveckling.

1.1 Klimat

Oron för framtida klimatförändringar är idag ett av huvudargumenten till varför transportsektorns användning av fossilbränslen måste minska. När Sverige som helhet har lyckats minska sina utsläpp av växthusgaser med 8 % sedan 1990 har transportsektorn gått i motsatt riktning och som enda sektor ökat sina utsläpp med 9%¹, se Figur 1.1. Detta har skett trots en kontinuerlig effektivisering av fordonsflottan de senaste åren.



Figur 1.1 Vägtrafikens utsläpp av klimatgaser. Källa Naturvårdsverket 2008

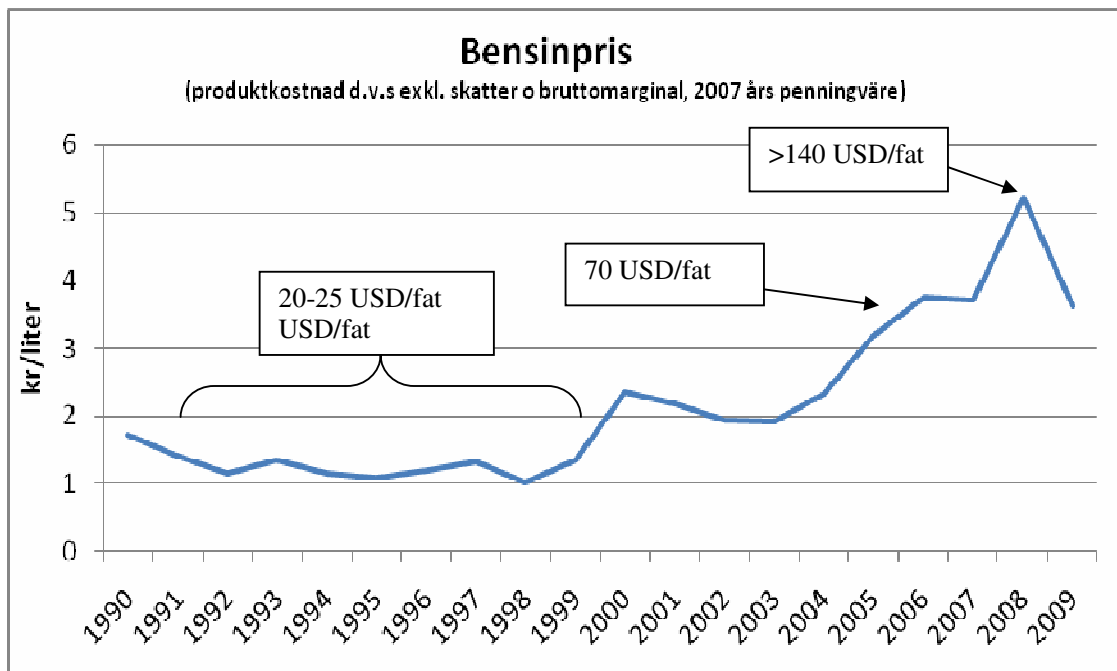
En av orsakerna till denna negativa utveckling är att transportsektorn kännetecknas av en hög tillväxt av trafikarbete samtidigt som det visat sig svårt att hitta konkurrenskraftiga alternativ till dagens fossila drivmedel. Transportsektorns energisystem (allt ifrån källan ut till hjulet) har utvecklats under lång tid och med höga och specifika krav på drivmedlets energitäthet, renhet och kompatibilitet med existerande fordonsteknik. Utvecklingen kännetecknas dessutom av långa ledtider på både fordons- och drivmedelsidan. Detta ger på kort sikt relativt höga kostnader för att ersätta fossila drivmedel jämfört med andra sektorer i samhället, t.ex. uppvärmning av bostäder.

Som en del i att minska transportsektorns användning av fossila drivmedel och utsläpp av växthusgaser har Sverige skattebefriat användningen av förnybara drivmedel. Detta har fått konsekvensen att framförallt etanol och biodiesel har introducerats på den svenska marknaden. Ytterligare stöd har varit den s.k. pumplagen som kräver att alla tankstationer över en viss storlek skall tillhandahålla åtminstone ett förnybart alternativ samt miljöbilspremien på 10 000 kr som betalas ut till alla miljöklassade bilar vid nyinköp.

1.2 Det långsiktiga oljepriset

Oljepriset och därmed även bensin- och dieselpriiset har sakta stigit sedan början på 1990-talet och med tiden då gjort alternativa drivmedel mer konkurrenskraftiga, se Figur 1.2

¹ Naturvårdsverket 2008



Figur 1.2 Produktkostnad för bensin mellan 1990 och juni 2008. Källa: SPI 2008

Huvudskälet till de ökade oljepriserna är naturligtvis den ökade efterfrågan, framförallt från Asien men även USA. I dagens situation kan inte efterfrågan mötas med ett ökat utbud lika enkelt som tidigare ("lätta upp kranen"). Den ökande efterfrågan på fossila drivmedel accentuerar istället frågan om hur mycket "konventionell" olja² som det finns kvar i jorden (den s.k. "peak-oil" debatten). Ökade oljepriser på världsmarknaden och en minskad tillgång på konventionell olja leder till en ökad produktion av bensin och diesel från "icke-konventionella" fossila resurser såsom tjärsand (i t.ex. Kanada) eller syntetiska drivmedel från kol i bl.a. Kina och Sydafrika, s.k. Coal-to-Liquids (CtL). Drivmedel tillverkat från icke-konventionella fossila resurser har betydligt högre CO₂-utsläpp per liter drivmedel än vanlig bensin och är oftast förknippat med allvarliga ekologiska konsekvenser vid brytningen. I fallet Coal-to-Liquids är växthusgasutsläppen de dubbla jämfört med konventionell fossil bensin/diesel.

Det långsiktiga priset för råolja är svårbedömt men IEA bedömde 2007 att det borde ligga mellan 60-70 USD/fat fram till 2030³ med en hög risk för plötsliga prisuppgångar givet den snåla balansen mellan den ökade efterfrågan och utbudet. Några månader efter denna utsägelse steg priset hastigt från 70 dollar/fatet upp till 140 dollar/fatet och är i nuläget (januari 2009) på väg ner igen (ca 35-45 dollar/fatet). En långsiktig kostnad på råolja (crude)" runt 50 till 70 dollar/fatet kan motiveras utifrån produktionskostnaderna för "crude" från icke-konventionella oljeresurser som t.ex. tjärsand⁴. De icke-konventionella oljeresurserna är inte fysiskt begränsade inom överskådlig tid. Det *kortsiktiga* utbudet av råolja styrs dock inte av det fysiska möjliga utbudet utan av den tekniska kapaciteten i oljeborrning, oljeraffinaderier, distribution m.m. International Energy Agency (IEA) varnade nyligen att om inte tillräckliga investeringar görs inom oljesektorn (allt från extraktion till raffinering) kan priset snart nå tillfälliga toppar uppemot 200 dollar/fatet igen⁵ när efterfrågan stiger snabbare än det faktiska utbudet.

1.3 Strategiska skäl såsom energiberoende och industriell utveckling

I ett flertal länder drivs biodrivmedelsutvecklingen av andra skäl än rent klimatmässiga. I USA har oljeberoende, luftkvalité, och jordbruksstöd varit de främsta skälen till att utveckla deras majs-etanol program. Idag motiveras framtida satsningar i USA framförallt av oljeberoende men även alltmer av klimatskäl.

² Med konventionell olja menas oftast råolja som direkt kan pumpas ur marken och raffineras. Icke-konventionell olja är fossila resurser som behöver förbehandlas (t.ex. kokas) för att få fram råolja (crude)

³ IEA 2007

⁴ Brandt and Farrel 2007

⁵ IEA 2008

Brasilien har sedan 1970-talet drivit utvecklingen av sockerrörs-etanol för att motverka en dålig handelsbalans och för att utveckla den egna industriella basen och jordbruket. Idag är Brasilien en av de främsta förespråkarna av etanol och exporterar inte bara sin etanol till t.ex. Sverige utan även hela konceptet att tillverka etanol från socker till andra utvecklingsländer i framförallt södra Afrika.

Inom EU är biodrivmedelspolitiken för ett bättre klimat sammanvävd med avregleringen av jordbruksmarknaden och möjligheterna att finna en utkomst för jordbruket. När det första EU gemensamma biodrivmedelsdirektivet förbereddes i början på 2000-talet så hade man inom EU ett överskott på jordbruksprodukter, sjunkande lönsamhet för jordbruket och krav på att anpassa produktionsvolymen neråt. Produktionsvolymerna av spannmål drevs nedåt med krav på att ca 10% av den odlade arealen skulle hållas i träda. Produktion av biodrivmedel på trädesmarken sågs som en lösning för att upprätthålla lönsamhet inom jordbruket och möta klimathotet. Idag framstår dock klimatskäl som det alltmer drivande skälet vilket bl.a. märks på de nya klimatrelaterade kriterier för biodrivmedel som antagits i EUs direktiv för 2020.

1.4 Drivmedel i Sverige

Ungefär en fjärdedel av Sveriges totala energianvändning går till vägtransportsektorn (89 TWh av totalt 402 TWh)⁶ och den förväntas att öka i takt med ett ökat transportbehov vilket i sin tur är drivet av ekonomisk tillväxt och globalisering.

Sverige använde år 2007 ca 2,1 TWh etanol, 1,2 TWh biodiesel och 0,3 TWh biogas⁷. Detta skall jämföras med de 46 TWh bensin och 40 TWh diesel som användes. Största delen av etanolen (ca 68 %) och i princip all biodiesel (>96%) användes som låg-inblandning i vanlig bensin/diesel. Resten av etanolen försörjde ca 81 000 E85-fordon och biogasen försörjde ca 12 900 bi-fuel fordon (bensin/gas). Lägg därtill ca 1 160 gasbussar, 490 etanol bussar och 2 900 lastbilar som gick på antingen etanol (E85) eller biogas⁸.

Etanolen som används som drivmedel i Sverige kommer främst från Brasilien (uppskattningsvis ca 80 %), resten tillverkas inom EU och Sverige. I Sverige sker den största tillverkningen i Norrköping och baseras på spannmål. I Örnsköldsvik tillverkas en mindre mängd etanol från sulfitmassa (ca 13 000 m³) och där drivs även en pilot/forskningsanläggning för etanol via hydrolys av vedråvara. Biodieseln tillverkades framförallt i Stenungsund och Karlshamn under 2007. Denna produktion kompletterades med ett antal mindre produktionsställen och import via EU. På grund av dålig lönsamhet lades fabriken i Karlshamn och flertalet av de mindre anläggningarna i malpåse i början av 2008. Biogasen tillverkas, uppgraderas till fordonsgas och används idag lokalt på totalt i över 55 olika kommuner i Sverige.

Den globala tillverkningen av etanol har exploderat de senaste åren med stora produktionsökningar i USA och Brasilien följt av Kina och EU. Även produktionen av biodiesel, som är koncentrerad till EU, har ökat markant de senaste åren. Den globala etanoltillverkningen domineras således av etanol från majs eller sockerrör medan biodieselproduktionen domineras av biodiesel från raps inom EU. Den globala handeln med biodrivmedel har börjat växa men är fortfarande ganska begränsad.

⁶ Energimyndigheten 2008

⁷ Energimyndigheten 2008

⁸ Data från miljöfordon.se och SIKa (2008)

2. Drivmedel och fordon

2.1 Dagens biodrivmedel

Dagens tillgängliga etanol, biodiesel och biogas har det gemensamt att de tillverkas med relativt enkla tekniska metoder och utnyttjar en råvaruresurs som redan finns tillgänglig på marknaden. Undantaget är biogas som har till stor del själv fått utveckla marknaden för att hantera våtavfall vilket varit ett hinder i utvecklingen.

Etanol och biodiesel är relativt enkla att använda i konventionella fordon. Som tidigare nämnts sker den största användningen av etanol och biodiesel i form av låginblandning som vare sig kräver nya fordon eller nya pumpar. Biogasen kräver speciella fordon som är anpassade bl.a. med ett separat tanksystem och separata distributionspumpar. Idag distribueras biogas lokalt framförallt till bussflottor men även en del bi-fuel fordon.

”Pumplagen” som introducerades i januari 2006 och krävde att alla pumpstationer skulle tillhandahålla åtminstone ett förnybart alternativ utformades så att den blev ett starkt stöd för etanolkpumpar men tyvärr så ledde den ett stopp på installation av gaspumpar (vilka är dyrare att installera). Ett extra stöd till installation av gaspumpar är nu infört som förhoppningsvis ska få fart på investeringarna igen.

Svensktillverkad etanol från vete beräknades, år 2006, kosta ungefär 7-8 kr/litern_{be}⁹ och biodieseln ungefär 6,5-7,5 kr/ litern_{d,e}¹⁰ att tillverka. Biogas säljs idag för ca 6-7 kr/ litern_{be} men tillverkningskostnaderna varierar kraftigt. Det ända biodrivmedel som är konkurrenskraftigt idag utan skattebefrielse är etanol från sockerrör i Brasilien som tillverkas för ca 2-3 kr/ litern_{be}¹¹.

De framtida spannmålspriserna kommer vara avgörande för etanolens och biodieseln överlevnad. Medan etanoltillverkningen från vete klarade av prisuppgången 2008 (tack vare, bl.a. långa kontrakt på råvaror) så lades en stor del av biodieselproduktionen i malpåse. I Tyskland, som är det ledande landet i världen på biodiesel, har biodieselproduktionen gått ner kraftigt sedan januari 2008 pga. förändrade skatteregler och subventioner och kraftigt höjda priser på raps.

2.2 Framtida biodrivmedel

Dagens etanol och biodiesel kommer från den stärkelserika delen av spannmålsväxter (t.ex. vetekärnan i vetet), från socker eller oljerika växter som t.ex. raps eller palmolja. I framtiden finns det förhoppningar om att kunna framställa biodrivmedel från vedråvara i stället. Biodrivmedel som baserar sig på vedråvara brukar kallas 2:a generationens drivmedel och som förväntas bli kommersiellt gångbart inom alltifrån 5 till 20 år. Att kunna använda vedråvara skulle potentiellt ge en större och billigare råvarubas i form av skogen, snabbväxande träsorter på jordbruksmark, restprodukter från jordbruket¹² samt restprodukter från samhället i övrigt. Snabbväxande träsorter¹³ som odlas på jordbruksmark och ger en högre energiavkastning per hektar samt kräver betydligt mindre behov av konstgödsel jämfört med 1: åriga jordbruksgrödor. Tekniskt finns det två vägar att gå om man vill framställa biodrivmedel ur vedråvara, nämligen hydrolysspåret eller förgasningsspåret. Figur 3.1 ger en översikt över råvaror, omvandlingsteknologier och drivmedel idag och i framtiden.

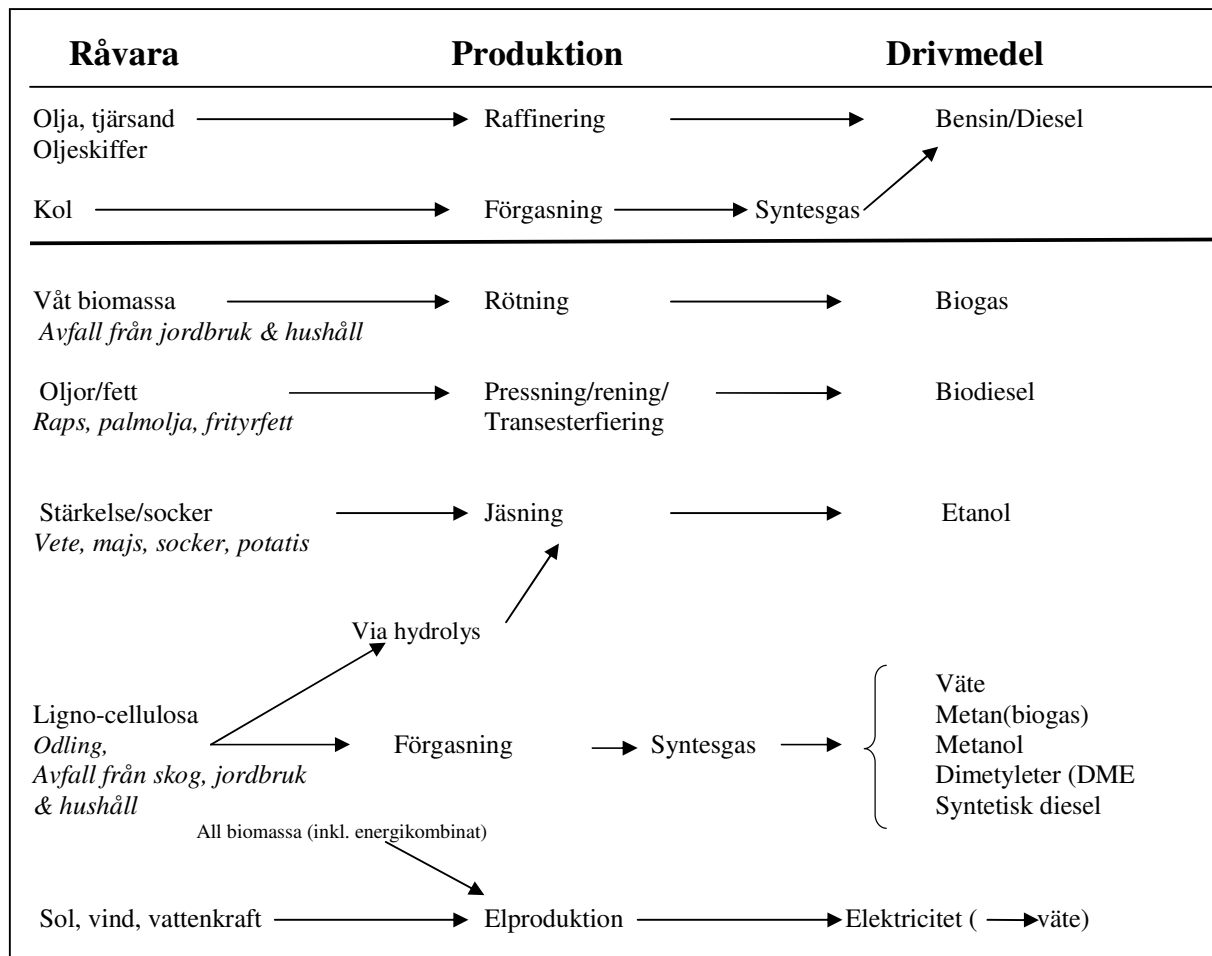
⁹ Jordbruksverket 2006, Biodrivmedel jämförs här generellt med liter bensinekvivalenter eller diesel ekvivalenter dvs. den mängd biodrivmedel som innehåller lika mycket energi som en liter bensin eller diesel. En liter etanol motsvarar ca 0,67 liter bensin i energivärde och en liter biodiesel motsvarar ca 0,92 liter diesel.

¹⁰ Jordbruksverket 2006, givet att man fick avsättning för biprodukter (glycerin och rapskaka) för 1,5-2,5 kr/litern

¹¹ Jordbruksverket 2006, SOU 2007-35, Boisen 2008

¹² Vid t.ex. etanolframställning i dag används bara stärkelsedelen av växten. Resten blir restprodukter.

¹³ T.ex. salix, hybridasp, elefantgräs, switchgrass eller eukalyptus i tropiska länder.



Figur 2.1. Omvandlingsvägar från förnybara råvaror till drivmedel för de mest aktuella drivmedlen

2.2.1 Hydrolysspåret

Vedråvara består av cellulosa, hemicellulosa och lignin. Cellulosa och delar av hemicellulosa kan brytas ned till glukos som går att jäsa till etanol. Lignin (normalt 25–30 viktprocent av skogsråvara) kan inte brytas ned till glukos men kan användas till värme och elproduktion – som delvis används i interna processer när etanolen produceras – och går på så vis inte förlorad. I dag finns tillgänglig teknik, s.k. sur hydrolys, och i framtiden hoppas man på enzymatisk hydrolys. Dagens tillgängliga teknik med sur hydrolys är för dyr för att anses kommersiellt gångbar. Enzymatisk hydrolys är potentiellt effektivare och även billigare än sur hydrolys men är fortfarande på forsknings- och demonstrationsstadiet. USA satsar mycket på denna teknik men även Sverige ligger långt framme med forskning och har bl.a. en försöks- och demonstrationsanläggning i Örnsköldsvik och forskning i Lund.

2.2.2 Förgasningsspåret

All vedråvara, och även alla fossila råvaror, går i princip att förgasa¹⁴ till en syntesgas bestående av kolmonoxid och väte. Denna syntesgas kan sedan användas för att producera ett antal biodrivmedel som väte, biometan, metanol, etanol samt syntetisk diesel och flygfotogen. Enklast är det att tillverka biometan då slutprodukten från förgasningssteget inte behöver bestå av ren syntesgas utan man kan förgasa vid en något lägre temperatur och får då en slutprodukt av ca 50% syntesgas och 50% metan, dvs. endast hälften av gasen behöver processas vidare till biometan. Den lägre förgasningstemperaturen ger också en något högre verkningsgrad. För att framställa de andra drivmedel behöver man utgå från ren syntesgas och förgasningen måste då ske vid en högre temperatur. Från ren syntesgas är det enklast att tillverka väte, därefter följer

¹⁴ Förgasning innebär att man delvis "förbränner" kol/biomassa med för lite syre, vilket resulterar i en energirik syntesgas.

metanol/DME. Syntetisk diesel ger ytterligare något lägre verkningsgrad. Syntetisk diesel tillverkas med den s.k. Fisher-Tropsch metoden och kallas därför ofta också för F-T-diesel. Etanol går teoretiskt att tillverka från syntesgas men anses i dagsläget inte speciellt lovande om man jämför med syntetisk diesel eller metanol/DME. Inom EU pågår i dag flera forsknings- och demonstrationsprojekt för att utveckla förgasningstekniken och den efterföljande Fisher-Tropsch processen. Kina satsar även mycket på att bygga ut förgasningstekniken, men dess fokus är att förgasa kol och tillverka syntetisk diesel eller metanol, vilket innebär höga utsläpp av koldioxid

2.2.3 Energikombinat

Effektiviteten och nyttan med biodrivmedel avgörs till stor del av hur effektivt man utnyttjar biprodukterna vid framställning av biodrivmedlet. Detta är framförallt tydligt för spannmålsbaserad etanol¹⁵. Därför pratar man mer idag om energikombinat, d.v.s. processer där man tillverkar och tar till vara flera olika energibärare som t.ex. drivmedel, gas, värme och el.

Vid etanolproduktion får man en restprodukt, drank, som kan utnyttjas som djurfoder och därmed ersätta sojabaserat proteinfoder. När marknaden är mättad för djurfoder kan drank rötas till biogas som också är ett utmärkt drivmedel. Det är också viktigt att t.ex. restprodukter från odling (halm) utnyttjas för processvärme för att maximera klimatnyttan. Vid Norrköpingsanläggningen för etanol tas dranken hand om idag och vid den nuvarande utbyggnaden skall man producera en mängd biogas av den överblivna dranken som inte kan säljas som djurfoder. De flesta etanolfabriker som byggs/planeras i Sverige för närvarande utgår från energikombinat av både ekonomiska och miljömässiga skäl. Den överblivna halm som fås vid odling av spannmål tas delvis hand om idag men denna andel kan ökas. En del måste dock lämnas kvar för att bibehålla jordens bördighet. Vid produktion av biodiesel fås de två biprodukterna glycerin och rapsmjöl/rapskakas om säljs vidare till industriell användning. Denna biprodukt ökar inte energieffektiviteten men är avgörande för biodieseln ekonomiska möjligheter¹⁶.

Energikombinat är även en naturlig del av framtida drivmedel, framförallt de som baseras på förgasning. Här utgår de flesta tänkta processdesigner (finns inga fullskaleanläggningar i drift ännu) från att man inte optimerar drivmedelsutbytet utan optimerar den totala energieffektiviteten och minimerar kostnaden¹⁷. Effekten blir processer där man både tillverkar drivmedel, värme och el. Värmen driver processen internt medan elproduktionen kan väntas både räcka till eget behov och för export till nätet. Energikombinat processer kan också bygga på att exportera värme men oftast är värmeunderlaget svagt i närheten av anläggningen.

2.2.3. Framtida el och väte

För att nå riktigt låga nivåer på utsläpp av CO₂ i framtiden och för att ha största möjliga flexibilitet att välja ”primärenergikälla” har man länge forskat och utvecklat om fordon som går på antingen el eller väte, två helt kolfria energibärare.

Plug-in hybrider och elbilar

De senaste 3 åren har eldrift, främst i form av plug-in hybrider, kommit i ropet igen. Med dagens snabba fordonsutveckling är det troligt att vi på den svenska marknaden kommer att se plug-in hybrider och små elbilar introduceras om 5 till 10 år. En bra plug-in hybrid med en ”el-räckvidd” på 5 mil kan på långsikt ersätta 40 till 65 % av en personbils användning av flytande drivmedel¹⁸. Plug-in hybrider kan även på sikt förväntas ta en del av den lätta lastbilsflottans elanvändning t.ex. vid stadskörning.

¹⁵ Börjesson 2008

¹⁶ Se t.ex. Jorbruksverket 2006 b

¹⁷ Se Faaij 2006 för en bra översikt

¹⁸ Åhman och Nilsson 2008

Box 2.1 Kalifornien och ZEV mandatet på 1990-talet

Utvecklingen av elbilar, hybridbilar men även bränslecellsbilar har den Kaliforniska luftvårdsmyndigheten mycket att tacka för:

Elbilarnas utveckling drevs hårt på 1990-talet av den Kaliforniska luftvårdsmyndigheten som satte tvingade mål på att 10% av nybilsförsäljningen i Kalifornien år 1998 skulle vara "nollutsläpp" fordon, det så kallade "ZEV-mandatet" (ZEV=Zero Emission Vehicle). Detta djärva mål satte igång en massiv utvecklingsinsats inom flertalet amerikanska och japanska fordonstillverkare (men inte i Europa som exporterade relativt få fordon till den Kaliforniska marknaden). Batteriutvecklingen höll dock inte vad den lovade och lagen ändrades, under stark press från biltillverkarna, och försenades ett flertal gånger innan kravet på nollutsläppsfordon slutligen helt försvann i början av 2000-talet. I början av 2000-talet var rena elbilar allmänt utdömda som ett storskaligt alternativ av fordonsindustrin på grund av otillräcklig batterikapacitet och för höga kostnader.

Effekten av Kaliforniens försök blev dock att utvecklingen av batterier, elmotorer och kraftelektronik gjorde rejäla framsteg vilket underlättade introduktionen av hybridfordon.

Batteriernas prestanda behöver dock förbättras för att göra plug-in hybrider konkurrenskraftiga, det betyder att dagens nickel-metal hydrid (NiMH) batterier kommer att bytas mot framtida litium (Li) batterier. Med en fortsatt positiv utveckling av bl.a. litiumbatterier, bör de på längre sikt kunna ta en signifikant marknadsandel trots ett även då sannolikt högt inköpspris. Plug-in hybrider testas och utvärderas idag i Sverige (Stockholm och Göteborg), i Tyskland, Frankrike, Japan samt i Kalifornien. Med en fortsatt utveckling av batteriteknik bör även mindre elbilar kunna få ett visst genomslag på marknaden i framtiden, t.ex. "neighbourhood vehicles" (NEVs) eller "shoppingbilar".

Plug-in hybrider och rena elbilar kräver ny infrastruktur i form av laddstationer. En enklare variant är dock att endast ha en vanlig sladd i hemmet och ladda över natten. För att minska förlusterna och öka användningen av el-delen så krävs dock på längre sikt dedikerade snabbladdningsstationer. Plug-in varianten av hybrider har den fördelen att de kan användas fullt ut med endast hemladdning i en första introduktionsfas.

Bränslecellsfordon

Utvecklingen av bränsleceller hade gått snabbt sedan slutet av 1980-talet då Pentagon sålde ut ett antal gamla patent till privata investerare. När svårigheterna med att utveckla tillräckligt bra batterier för rena elbilar blev uppenbara, se Box 3.1, så seglade bränslecellsfordonen upp. Flertalet biltillverkare och framförallt ett Kanadensiskt företag (Ballard) förespände en snabb utveckling av bränslecellsteknik för fordonsdrift. Mest ambitiöst var DaimlerChrysler som lovade att ha serietillverkning av personbilar för bränsleceller år 2004. Idag har "hysten" kring bränsleceller lagt sig till något mer realistiska nivåer, dock kvartstår vätedrivna bränsleceller som ett av de mest intressanta framtidsalternativen på lång sikt.

För framtida bränslecellsfordon är själva bränslecellskostnaden en stor utmaning tillsammans med kostnaden för lagring av väte ombord. Väte kommer också, ifall vätet skall produceras från biomassa eller från sol-el via elektrolys av vatten, att kosta betydligt mer än vanliga fossila alternativ. Detta kommer endast delvis att motverkas av bränslecellens höga energieffektivitet.

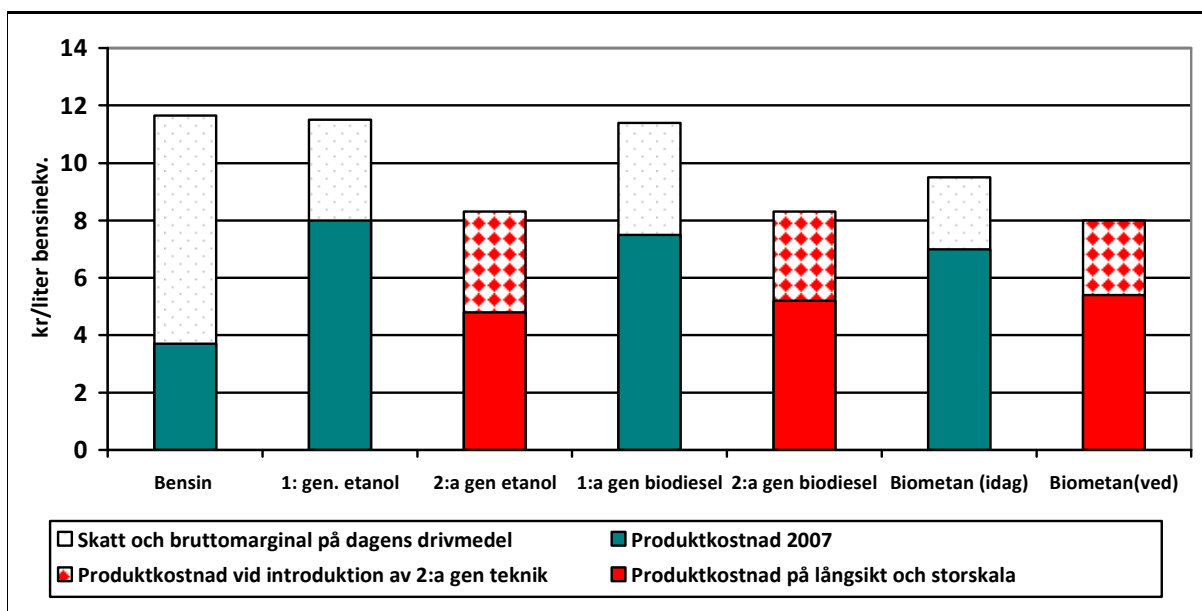
Även bränslecellsfordon kan förses med en plug-in funktion ifall man vill spara in på bränslecellsstorleken. Bränslecells plug-in fordon kan bli verklighet ifall batteriutvecklingen går snabbare och bättre jämfört med bränslecellsutvecklingen och som ett sätt att minska problemen med introduktion av en ny infrastruktur för väte.

3. Ekonomin för effektiva fordon och klimatsmarta drivmedel

3.1 Biodrivmedel

Dagens biodrivmedel kostar mellan 7 - 8 kr/litern^{bensinekvivalenter} att tillverka vilket skall jämföras med produktionskostnaderna för bensen/diesel som år 2006 låg runt 3,8 kr/litern vid ett snittpris på oljan på ca 65 USD/fat. Biodrivmedel har generellt blivit mer konkurrenskraftiga sedan 1990-talet på grund av oljans stigande världsmarknadspris (från ca 25 USD/fat upp till 50-80USD/fat). Fortfarande behöver dock nästan alla biodrivmedel ekonomiskt stöd i form av skatteundantag för att bli konkurrenskraftiga. Det mesta av dagens skatteundantag är tillfälliga åtgärder som görs för att få igång en marknad och storskalig produktion. En del av det ekonomiska stödet som t.ex. CO₂-skatten kan förväntas vara kvar även på längre sikt. Dagens CO₂ skatt på drivmedel är 2,60 kr/litern inberäknat moms. Sammanlagt är biodrivmedel undantagna skatter (CO₂-skatt, energiskatt, + momseffekt) på ca: 4,8 kr/litern.

Potentialen att på sikt sänka produktionskostnaderna för spannmålsbaserad etanol och biodiesel finns men är relativt begränsad då de till stor del bestäms av råvarukostnaden (framförallt för biodiesel). 2:a generationens biodrivmedel baserar sig på vedråvara som potentiellt kan bli en betydligt billigare råvara än spannmål. Här krävs dock en hel del teknikutveckling för att dels öka verkningsgraden, driva ner processkostnaderna samt för att utveckla en effektiv marknad för vedråvara (t.ex. en marknad för avfall). I Figur 3.1 nedan jämförs dagens försäljningskostnader för bensen (inklusive skatt och bruttomarginal) med produktionskostnaderna för dagens etanol/biodiesel samt uppskattningar för hur billigt en de utvecklade 2:a generationens drivmedel kan bli. Alla kostnaderna i Figur 3.1 inkluderar även kostnader för distribution och tankning.



Figur 3.1. Dagens och framtida produktionskostnader för biodrivmedel och bensen.

Som syns från Figur 3.1 så är 1:a gen drivmedel konkurrenskraftiga idag tack vare skattesubventioner. Vid introduktionen av 2:a generationens drivmedel kommer dessa också sannolikt vara minst lika kostsamma som dagens (tom dyrare), men det finns samtidigt en långsiktig potential att sänka priserna ner till i närheten av vad bensen kostar idag. Dessa beräknade långsiktiga kostnader antar teknikutveckling, storskalighet samt "läreffekter"¹⁹. Det är således möjligt att 2:a generationens biodrivmedel kan på långsikt bli konkurrenskraftiga med bensen, speciellt om det kvarstår en skatteskillnad i t.ex. CO₂ skatt. Det är denna

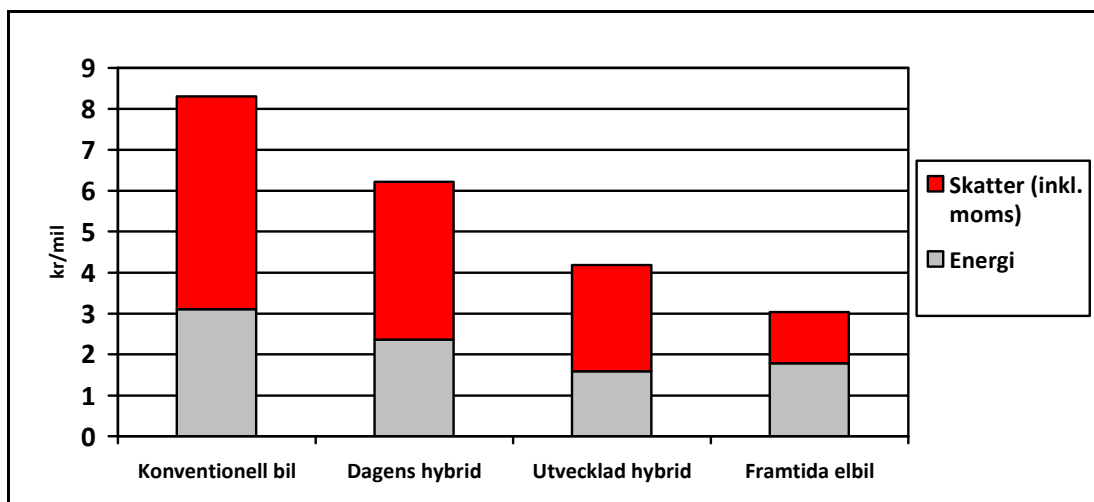
¹⁹ Lär-effekter är de kostnadsminskningar man får av erfarenhet från hela produktionskedjan och brukar vara i storleken 10-20% per dubblad ackumulerad produktion.

potential som motiverar den tro och entusiasm för 2:a generationens biodrivmedel som finns bland myndigheter, forskare och bioenergiföretag.

3.2 El och elektrifiering av fordon

El som drivmedel för elbilar och plug-in hybrider kostar idag ca 1,4 kr/kWh vilket motsvarar 12,7 kr/liter bensinekvivalent ($1 \text{ liter bensin} = 9,1 \text{ kWh}$)²⁰. El är räknat på energiinnehåll ungefär samma kostnad som bensin men energikvalitén är betydligt högre och således kan el användas betydligt effektivare.

I Figur 3.2 visas energikostnaden per körd mil istället för per kWh. Eftersom elektriciteten används så pass effektivt vid eldrift så blir den rörliga kostnaden vid normala elpriser lägre än för en konventionell bensin/diesebil.



Figur 3.2. Energikostnad per mil för olika fordon.²¹

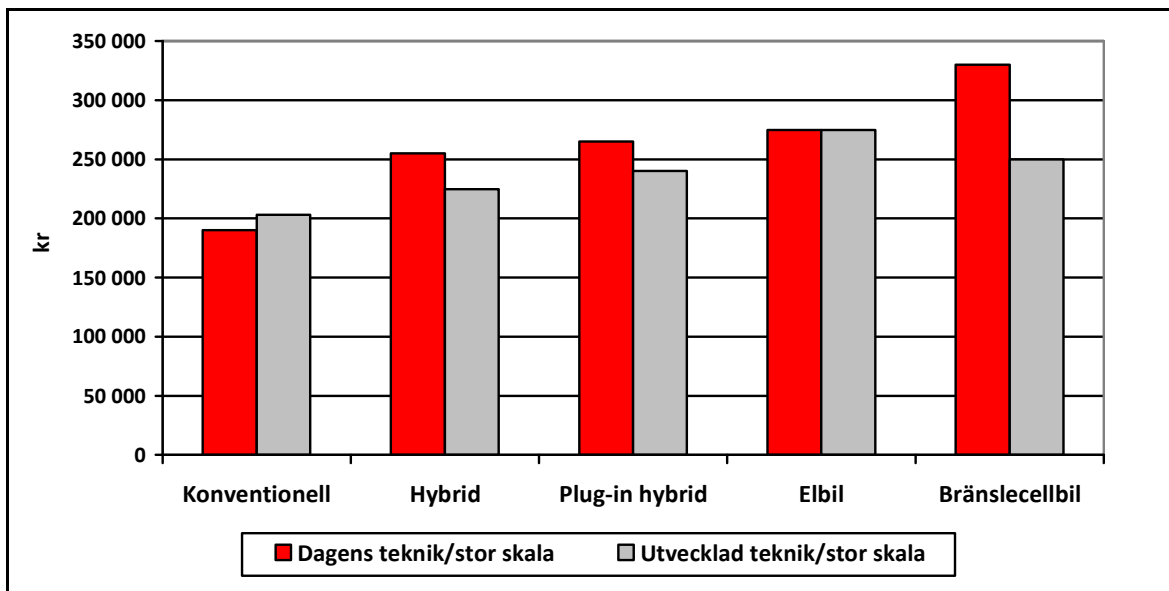
Det är delvis orättvist att jämföra framtida elfordon med dagens konventionella fordon. Därför har vi i Figur 3.2 även tagit med dagens och avancerade hybridfordon av den anledningen att utveckling av hybridteknik hänger intimt samman med utveckling av elbilar och plug-in hybrider. När vi således har elbilar och plug-in hybrider på marknaden kommer vi även att ha utvecklade och betydligt mer energieffektiva hybridfordon på marknaden att jämföra med.

Elektrifieringen av fordon i form av hybrider, plug-in hybrider, elbilar samt bränslecellsfordon kommer att göra fordonen energieffektivare men även dyrare. Figur 3.4 ger skillnaderna i uppskattade försäljningskostnader²² och baseras på ett antal studier gjorda mellan år 2000 och 2007 som analyserar dagens och framtida fordonskostnader tillverkade i stor skala (> 500 000 fordon/år). Beräkningarna i figuren visar även två nivåer, dagens teknik och en framtida tänkt nivå.

²⁰ 60-70 öre/kWh för elen + överföring om ca 15 öre/kWh. Lägg därtill energiskatt på ca 27 öre och moms på 25%

²¹ Konventionell bil antagen 0,7 liter/mil (164 gCO₂/km), dagens hybrid 0,52 l/mil (122gCO₂/km), utvecklad hybrid antagen 0,35 liter/mi (82 gCO₂/km), elbil antagen 2,5 kWhel/mil. Elpriser, bensinpriser och skatter från energimyndigheten 2008 och avser genomsnittspriser på skatter, avgifter och energi för 2007 för hushåll och transporter

²² Försäljningskostnader= rörliga produktionskostnader + marginaler för försäljning, kapital, reklam, vinst



Figur 3.3. Uppskattade försäljningskostnader för olika typer av fordonstekniker²³.

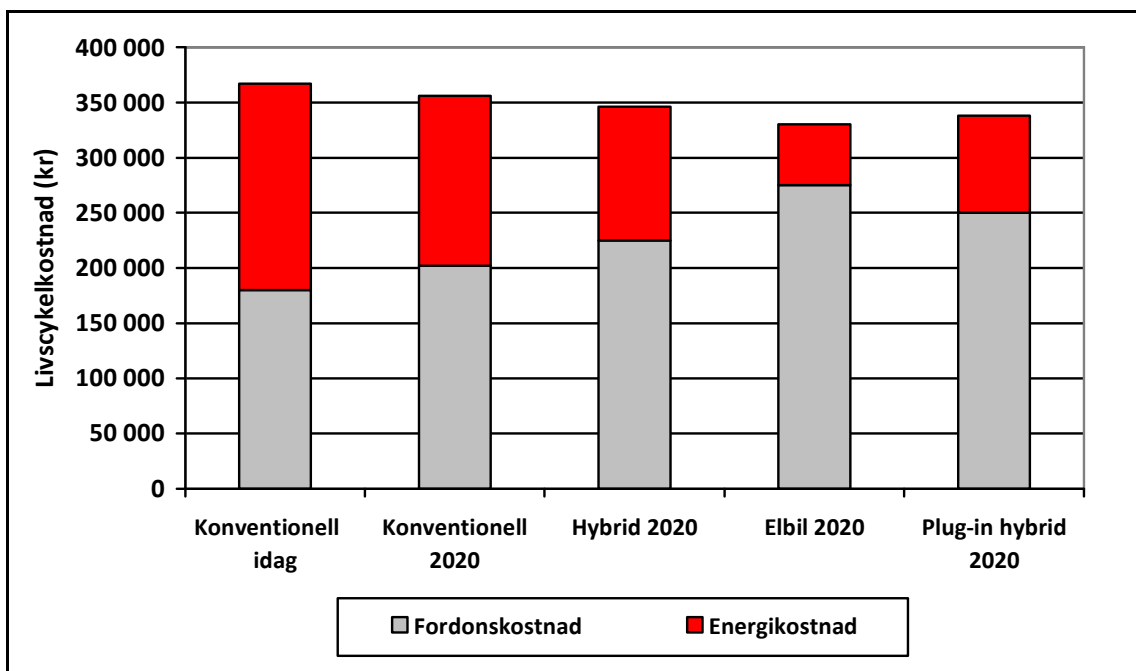
Ett konventionellt fordon med en vanlig drivlina kostar idag ca: 180 000 till 200 000 kr och kan förväntas öka något med ökade krav på energieffektivisering (med t.ex. avancerade HCCI-motorer). Hybridfordon kostar idag ca 50-60 000 kr mer men skillnaden förväntas sjunka allt eftersom teknik utvecklas och blir mer vanlig. En plug-in hybrid kan uppskattas att kosta ca 75 000 kr mer att tillverka jämfört med en konventionell bil på kort sikt och 45 000 kr på lite längre sikt. En ren elbil som har jämförbara prestanda med en konventionell bil blir ca 85 000 kr dyrare jämfört med en konventionell bil (kan bli billigare på längre sikt men utvecklingen lär snarast omsättas i bättre prestanda). Uppskattningarna är dock osäkra och antar storskalig produktion. De testbilar som provas idag är betydligt dyrare än angivet i Figur 3.3 och de elbilar som existerar i t.ex. Frankrike har inte jämförbara prestanda med en vanlig bil. Bränslecellsfordon blir 60 000 till 140 000 kr dyrare att tillverka i stor skala²⁴ jämfört med en konventionell bil.

3.3 Effekter av dyrare fordon och lägre milkostnad

Introduktionen av ny avancerad energieffektiv teknik kommer att påverka kostnadsbilden för att äga ett fordon. Med ny teknik som t.ex. hybridteknik, plug-in hybrider eller bränsleceller, kommer fordonen att bli dyrare att köpa. Däremot kan kostnaden att köra fordonet minska på grund av den höga effektiviteten vilket ger låg bränsleförbrukning. I Figur 3.5 nedan illustreras detta med några exempel på vad det skulle kosta att köpa och köra ett fordon i 20 000 mil.

²³ Källor: **Konventionella fordon:** På längre sikt antar att bensin och dieselmotorer blir allt mer lika och mer utvecklade vilket ger extra kostnader motsvarande dagens diesel (Concawe et al 2007) **Hybrider:** Concawe et al 2007 anger mellan 6 000 och 8 000 euros extra med dagens teknik. På långsikt med utvecklad teknik och storskala antaget siffror från Lipman and Delucchi 2003, 2001, Tiax 2005, DTI 200X, Weiss et al 2001. **Bränslecellsfordon:** Kostnader beror på vad bränslecellsstacken kostar. Med dagens teknik och storskala skulle den kosta ca ~330 USD/kW (Tiax 2005) vilket kan jämföras med ca 50 USD/kW för en konventionell förbränningsmotor med kringsystem. Framtida teknik kan få ner den storskaliga kostnaden till mellan 60 och 100 USD/kW. Idag emellertid ifrågasatt ifall 60 USD/kW kan nås (se NRC 2006). **Elbilar:** Dagens teknik avser NiMH batterier med begränsad räckvidd. Med utvecklad teknik avses Litium batterier med bra räckvidd (> 300 kms). Den extra kostnaden är alltså samma men prestanda är inte jämförbara. Siffror baserar sig på Lipman and Delucchi 2003, Weiss et al 2001. **Plug-in hybrider:** kostnader baserar sig på egna beräkningar baserat på kostnader för hybridfordon och extra kostnader för större batterier.

²⁴ Det finns bedömningar som visar på lägre kostnader men antingen är de icke offentliga eller så har man "glömt" vissa delar, t.ex. kringutrustning i form av pumpar e..t.c, se Åhman 2003



Figur 3.4. Illustration av livscykelkostnad för att äga och köra ett fordon 20 000 mil (ca 10-12 års normal användning).

Som visas i Figur 3.4 så *kan* den totala kostnaden för att äga och köra en el, hybrid eller plug-in hybrid bli lägre jämfört med ett vanligt fordon idag. Figur 3.5 är dock förenklad och antar t.ex. att alla fordon har samma försäkrings och underhållskostnader²⁵ samt att räntan på investeringen (inköpet av bil) är satt till noll²⁶. Att köra 20 000 mil motsvarar ca 10 års normal användning men för t.ex. en Taxi motsvarar 20 000 mil bara 2-3 års körning. Notera även att Figur 3.5 utgår från kostnaderna för de utvecklade fordonen. Vid en introduktion kommer de att vara dyrare men troligtvis även kunna dra nytta av ekonomiska incitament från staten.

Kostnadsbilden av att fordonen blir dyrare men framdriften billigare kan driva utvecklingen mot att allt fler väljer att inte äga sitt eget fordon utan antingen ingår i en bilpool eller hyr bil vid tillfällen och på så vis delar på investeringskostnaden. Idag växer bilpooler i de flesta större kommuner i Sverige och det är sen tidigare populärt i framförallt Schweiz och Tyskland.

Desto dyrare fordon blir med avancerad teknik desto mer kan man förvänta sig att fordonstillverkare fokuserar på att introducera ny teknik i bilpooler och i fordonsflottor. T.ex. har Think! (norsk elbil) planer på att starta upp egna bilpooler i storstäder för att på så vis minska tröskeln för introduktion. Detta kommer framförallt att gynna eldriften (små elbilar, plug-in hybrider) och kan även på längre sikt gynna bränslecellsfordon.

3.4 Vilka fordon kan använda vilka drivmedel?

Generellt är skillnaderna mellan fordonssystemen för flytande biodrivmedel såsom etanol/biodiesel och bensin/diesel relativt små. Vissa anpassningar i motorer och distributionssystem behövs ifall man vill tanka rena biodrivmedel, t.ex. E85 eller B100 men både biodiesel och etanol distribueras mestadels som låginblandning i vanlig bensin/diesel.

De stora skillnaderna finns ifall drivmedlet är gasformigt (biogas, naturgas eller väte) eller om vi använder el, dvs. plug-in hybrid eller en ren elbil. Gasformiga drivmedel kräver en dyrare infrastruktur som dessutom har större energiförluster i distributionen än flytande drivmedel. En ökad elanvändning med t.ex. plug-in hybrider och små elbilar kräver vissa infrastruktuursatsningar på laddstationer m.m.

²⁵ De flesta uppskattningar pekar på att el-fordon behöver mindre underhåll p.g.a. färre rörliga delar.

²⁶ "Räntan" vid investering av ett fordon följer sällan någon logik för privatpersoner. Däremot för fordonsflottor (yrkesanvändare) är "internräntan" oftast ganska hög men där finns också fler finansieringsalternativ

3.3.1 Flytande drivmedel

Alla flytande drivmedel som är aktuella inför framtiden kan användas med konventionell fordonsteknik. Syntetisk diesel är lika bra eller bättre än dagens diesel, och etanol är en utmärkt ersättare till bensin. I vissa fall behöver motorerna anpassas för driften med nya drivmedel som t.ex. etanol och metanol. För etanol handlar det mest om att optimera drivmedlet för etanoldrift i stället för bensindrift.²⁷ Metanol är betydligt mer aggressivt mot material än bensin, och man behöver därför anpassa vissa material i motorerna.²⁸ Här finns dock stor erfarenhet då flera länder hade fordon som körde på 85 % metanol i slutet på 1980-talet. Användning av etanol, metanol och metan i dieselmotorer kräver en tändförstärkare, t.ex. att man sprutar in några procent diesel tillsammans med biodrivmedlet. Kraven på infrastruktur i form av pumpstationer m.m. är för alla flytande drivmedel i princip desamma som för bensin och diesel.

3.3.2. Gasformiga drivmedel

En förbränningsmotor kan även anpassas till att köras på gasformiga drivmedel som väte, DME och metan (biogas). Lagring i fordonet och distributionen av dessa drivmedel medför merkostnader i jämförelse med flytande drivmedel (speciellt gäller detta väte). Gasformiga drivmedel får inte ta för stor plats och förvaras därför under tryck i fordonet. Trycket har stor inverkan på kostnaden och energieffektiviteten. Väte behöver komprimeras till 300–350 bar och biometan till 200 bar för att ge tillräcklig räckvidd för fordonet. Andra metoder för att lagra väte har föreslagits (t.ex. flytande väte och lagring i nanofibrer) men inget har hittills visats vara tillräckligt tekniskt utvecklat eller ekonomiskt och energimässigt bättre än att trycksätta vätet. DME är också ett gasformigt drivmedel, men trycket behöver bara vara 6–9 bar för att få det flytande, vilket kräver mindre kostsamma lösningar. DME kan jämföras med LPG (Liquified Petroleum Gases) som redan används i delar av världen i dag utan problem. En fördel med DME, som främst utgör ett alternativ för tunga fordon, är att det minskar behovet av kostsam reningsutrustning eftersom utsläppen är mindre än vid användning av diesel.

För väte som ska användas i ett bränslecellsfordon är det tekniskt möjligt att använda sig av en "vätebärare" i stället för rent väte. Man kan t.ex. tanka med bensin och med hjälp av partiell oxidation frigöra vätet från bensinen ombord på fordonet. Metanol kan också användas som "vätebärare". Fördelarna är att använda sig av befintlig infrastruktur och ett flytande drivmedel som är lättare att hantera, men nackdelarna är energiförluster samt tyngre och dyrare fordon.

3.3.3. Flexifuelfordon och bifuelfordon

I Sverige och England finns även E85, dvs. en blandning av 85 % etanol och 15 % bensin som används av anpassade bilar. Vissa startproblem har rapporterats med E85 vid kallt väder i Norrland, men numera höjs ofta andelen bensin något under vintern för att undvika detta.

Bi-fuel fordon, dvs. fordon med två olika tanksystem, har funnits för framför allt fordon med ett gasformigt och ett flytande drivmedel. Volvos bi-fuelfordon kan tanka både naturgas/biometan och vanlig bensin. Merkostnaden för dessa fordon är dock betydligt större än för flexifuelfordon som enbart har en tank där bensin och etanol kan blandas. Hur stora merkostnaderna skulle bli vid en storskalig produktion är osäkert. Concawe²⁹ uppskattar exempelvis merkostnaden för ett bi-fuel fordon som använder metan och bensin till ca 23 000 kr. Den relativa merkostnaden blir mindre för lastbilar och bussar, vilket gör att dessa fordon är speciellt intressanta vid en ökad användning av biometan.

3.3.4. Låginblandning

Vissa biodrivmedel kan låginblandas i bensin eller diesel. Upp till 5 % etanol kan låginblandas i bensin redan i dag inom EU, och man diskuterar för närvarande att höja denna gräns till 10 %. I Brasilien kör man på en 25-procentig etanolblandning men med något anpassade bilar. Metanol kan redan i dag blandas upp till 3 % i bensin inom EU. Vid högre inblandning bör man justera fordonen något eftersom metanol är mer korrosivt.

²⁷ En helt ny motor som konstrueras för endast etanol- eller metanoldrift kan tillåta högre kompression eftersom oktantalet är högt för etanol/metanol. Detta ger teoretiskt en verkningsgrad som är 10–15 % högre.

²⁸ Till exempel slangar i bränslesystemet, kolvringar och ventilsäten.

²⁹ Concawe m fl (2007).

Biodiesel blandas i dag i fossil diesel upp till 5 % inom EU och kan i princip tankas till 100 % i vanliga moderna dieselfordon i dag.³⁰ Dock har 5 % låginblandning medfört vissa problem för tyngre fordon vid kallt väder.³¹ Syntetisk diesel kan blandas fullt ut med vanlig diesel.

³⁰ IEA (2004).

³¹ Energimyndigheten (2007 b).

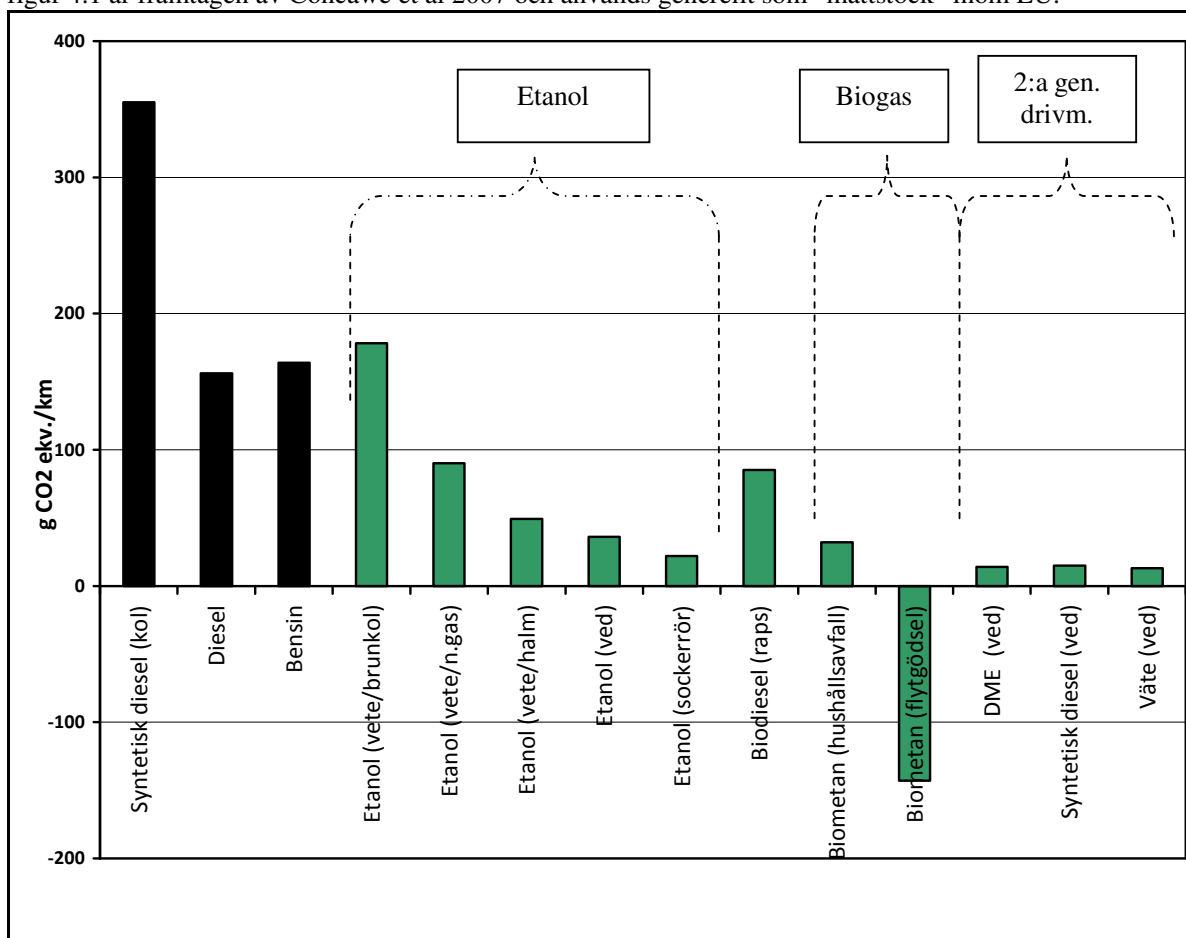
4. Drivkrafter och risker

4.1 Vilka drivmedel gör mest eller minst miljönytta?

Behovet att minska utsläppen av klimatgaser är en av de mest drivande orsakerna till framväxten av biodrivmedel. Från att ha setts som i princip CO₂ neutrala har man alltmer börjat ifrågasätta detta och granska de olika biodrivmedlen i detalj.

Det är viktigt att analysera biodrivmedels (liksom alla andra drivmedels) utsläpp av växthusgaser från ett livscykelperspektiv. Biodrivmedlens utsläpp av klimatgaser från ett livscykelperspektiv bestäms i princip av följande faktorer (i) utsläpp vid odling/insamling, (ii) utsläpp vid processen, (iii) användning av biprodukter, (iv) utsläpp från förändrad markanvändning.

Figur 4.1 nedan ger utsläppen av klimatgaser från ett livscykelperspektiv för olika biodrivmedel. Data till figur 4.1 är framtagen av Concawe et al 2007 och används generellt som "måtstock" inom EU.



Figur 4.1. Livscykelutsläpp av växthusgaser från olika drivmedel. Källa: Concawe et al 2007

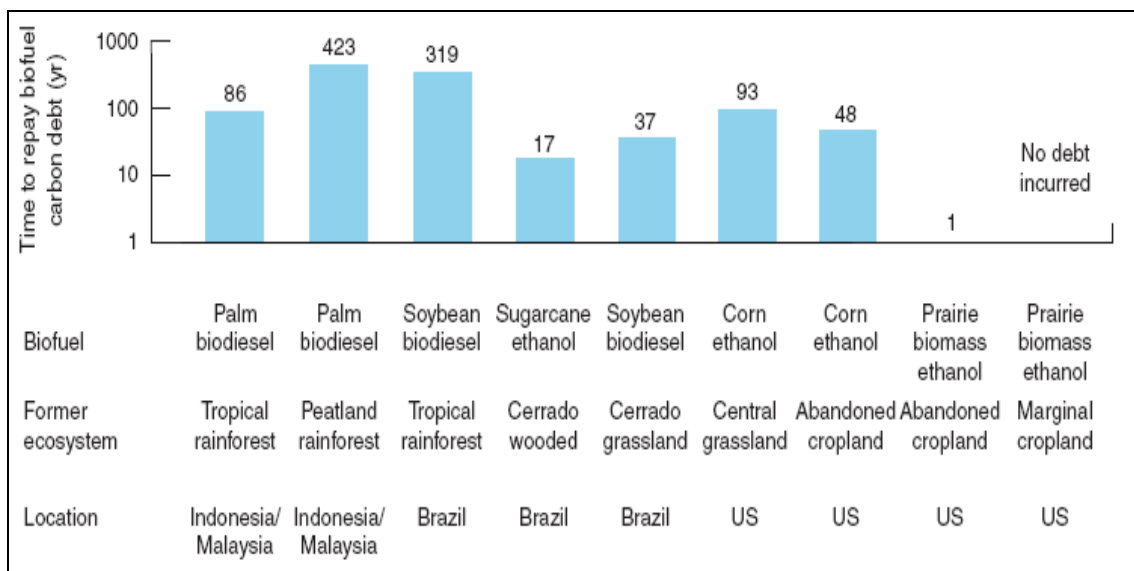
Lägg märke till hur mycket utsläppen av växthusgaser kan variera för t.ex. etanol beroende på ifall man använder kol eller biomassa i processen och vilken råvara man använder (vete, socker). Notera också att 2:a generationens biodrivmedel från ligno-cellulosa (vedråvara) har betydligt lägre utsläpp av växthusgaser. 2:a generationens biodrivmedel från vedråvara har lägre utsläpp av växthusgaser jämfört med etanol/biodiesel från jordbruksprodukter på grund av (i) mindre utsläpp vid odling av t.ex. salix (ved) jämfört med 1: åriga grödor samt (ii) en högre effektivitet vid produktionen och högre utnyttjande av hela biomassan. En annan fördel som inte syns i Figur 4.2 är att 2:a generationens biodrivmedel dessutom är mer area-effektiva d.v.s. kan producera mer biodrivmedel per area jordbruksmark. Som jämförelse längst ut på axeln visar också

figuren utsläppen från diesel tillverkad från kol. I takt med att de lättillgängliga resurserna av olja sinar så kan detta bli en alltmer vanlig produktion.

Figur 4.1 ovan utgår från att biomassan som används för att tillverka biodrivmedel inte orsakar någon väsentlig förändring i markanvändningen, d.v.s. vete/raps/socker odlas på gammal jordbruksmark och vedråvaran kommer från skogen.

Direkta effekter av markanvändning på grund av ökad andel biodrivmedel

Om man t.ex. omvandlar regnskog, torvmark, gräsbevuxen stäppmark eller andra naturmarker med högt kol-innehåll till intensivodlad jordbruksmark så frigörs mycket av kolet lagrat i marken och ger upphov till utsläpp av både CO₂ och metan (en stark växthusgas). I Figur 4.2 nedan visas resultaten från en studie av Fargione et al (2008) som fick mycket uppmärksamhet 2008. Figur 4.2 visar ett antal hypotetiska omvandlingar av naturmark till dagens etanol eller biodieselproduktion och den ”återbetalningstid”, d.v.s. den tid det tar för klimatnyttan av att ersätta bensin/diesel med etanol för att kompensera för utsläppen av växthusgaser som den förändrade markanvändningen orsakar.



Figur 4.2. Effekterna av förändrad markanvändning vid odling för biodrivmedel. Källa och figur från Fargione et al 2008. Cerrado= delvis skog/buskebevuxen savann i sydöstra Brasilien.

Slutsatserna från denna, och andra liknande studier, är att man inte ska omvandla kolrik naturmark³² för att odla bioenergi grödor ifall skydda klimatet är syftet.

Kol-lagret i marken kan dock även ökas vid omvandling av vissa kolfattiga markområden till mark för bioenergi odling. 2:a generationens biodrivmedel från odlad energiskog på gammal jordbruksmark är bra då fleråriga växter såsom Salix, till skillnad från spannmål, har förmågan att binda mer kol i mark jämfört med intensivodlade 1: åriga grödor³³, alltså ytterligare en positiv klimatinsats. I torra regioner i t.ex. Afrika har Jathropa uppmärksamats som en potentiell växt som kan användas för biodiesel samtidigt som den binder kol i marken och dessutom klara sig på mark inte lämplig för matproduktion.

Indirekta effekter av markanvändning på grund av ökad andel biodrivmedel

Utsläpp vid förändrad markanvändning gäller dock inte bara de direkta effekterna utan även de indirekta effekterna. När konkurrensen om spannmål och vegetabilisk olja ökar så ökar även trycket på att ta in anspråk ny naturmark för intensivodling, t.ex. betesmark, stäppmark eller i sämsta fall regnskog, som inte behöver

³² Mark som inte odlas intensivt bygger efter ett tag upp ett kollager. Regnskogsmark är lite annorlunda och har relativt lite kol bundet i marken men däremot mycket kol bundet i hela ekosystemet ovan jord.

³³ Se Börjesson et al 2008

vara direkt relaterade till odling för biodrivmedel. T.ex. kan nyodlingar av sockerrör för etanol i Brasilien ta betsmark i anspråk och tränga ut betesdjur och boskapsägare som i sin tur röjer regnskog för att ta igen den förlorade betesmarken. Searchinger et al (2008) gjorde en teoretisk beräkning för ett utökat majs-etanol program i USA som visade på stora utsläppen av växthusgaser orsakade av den *indirekta* förändringen av markanvändningen. Utsläppen beräknades ske framförallt U-länder när modellen antog att man odlade upp ny mark i U-länderna för att ersätta den minskande importen av spannmål från USA³⁴ med egenproducerad mat. Beräkningen är mycket teoretisk och har kritiserats av flera skäl. De viktigaste invändningarna mot beräkningarna är hur man skiljer ut effekterna av t.ex. ökad efterfrågan på övriga jordbruksprodukter, hur man tar hänsyn till den stora potential till ökad avkastning som sannolikt blir resultatet av en ökad markkonkurrens samt det faktum jordbruksmarknaden redan idag går mot minskad "överproduktion" för export i USA som följd av frihandelsavtal. Markanvändning i olika länder styrs av väldigt komplexa sammanhang och kan i dagsläget inte fångas i en enkel ekonomisk modell.

Debatten om indirekta och direkta effekter av förändrad markanvändning lyfter upp den gamla sanningen att hållbara biodrivmedel kräver en hållbar markanvändning. För en längre diskussion om markanvändning generellt, se Börjesson et al (2008), kap 4.

Markanvändning och EU:s direktiv

Inom EU idag så finns det fortfarande jordbruksmark som ligger i träda som kan användas till odling av spannmål för biodrivmedel. Dagens produktion inom EU kan således inte beräknas ge någon förändrad markanvändning jämfört med tidigare (utsläppen i Figur 4.1 tidigare är beräknade på att man använder trädesmark för etanol och biodiesel). Med en utökad produktion av biodrivmedel inom EU kan dock situationen förändras. EU har därför satt som krav att kolrik naturmark inte får uppodlas för bioenergiproduktion i sitt nyss antagna direktiv om förnybar energi. Uppfyllandet av direktivet kan således inte antas leda till någon direkt effekt på markanvändning inom EU. Av flera praktiska och politiska skäl gäller förbudet att uppodla ny kolrikmark för biodrivmedel bara inom EU, däremot arbetar EU aktivt för att inkludera liknande krav inom olika certifieringssystem för handel med biodrivmedel. De indirekta effekterna av förändrad markanvändning tas inte hänsyn till i det nya direktivet. Däremot har EU tagit initiativ till ett studera och försöka utveckla en modell som kan uppskatta de indirekta effekterna på markanvändning och denna skall redovisas år 2010.

Klimatnytta som drivkraft för olika drivmedel

Man kan förvänta sig att de biodrivmedel med störst klimatnytta kommer att få högst acceptans och mest stöd i framtida satsningar, bl.a. har EU i sitt kommande direktiv satt gränser för biodrivmedel som får räknas in till att de skall göra minst 35% klimatnytta till en början (sedan ökas kraven för tillkommande anläggningar). Hela den nuvarande svenska produktionen klarar idag dessa krav tack vare effektiv utnyttjande av biprodukter. Den säkraste klimatvinsten fås av biodrivmedel som tillverkas från restprodukter och avfall. I vissa specifika fall, t.ex. biogasutvinning från gödsel så är t.o.m. nyttan dubbel. Med stigande matpriser och ökad aktualitet om konflikten mat-bränsle så kommer framförallt biogas från vått avfall och 2:a generationens biodrivmedel från vedråvara att gynnas. Utsläppen från förändrad markanvändning ställer ökade krav på en hållbar markpolitik samt gynnar biodrivmedel från restflöden som inte har någon effekt på markanvändning.

4.2 Klimatnyttan med el

Klimateffekterna av att använda el inom transportsektorn bestäms av vilket tidsperspektiv man avser och vilka övriga åtgärder som görs inom klimatområdet. För el gäller också att den används ungefär dubbelt så effektivt (räknat på energiinnehåll) jämfört med flytande eller gasformigt drivmedel vilket också måste tas i beaktande.

El produceras av ett stort antal olika källor och distribueras till kunderna via ett gemensamt nät. Hur man allokera olika typer av elproduktion till olika användare har stor betydelse för vilka effekter en ökad elanvändning inom transportsektorn kan beräknas få. Elproduktionen kan allokeras till användare som (i) *marginalproduktion*, (ii) *dynamisk marginalproduktion* eller som (iii) *el-mix*.

³⁴ USA är världen största exportör av jordbruksprodukter, framförallt vete. Med ett ökat majs-etanol program beräknas exporten av USA spannmålsöverskott minska.

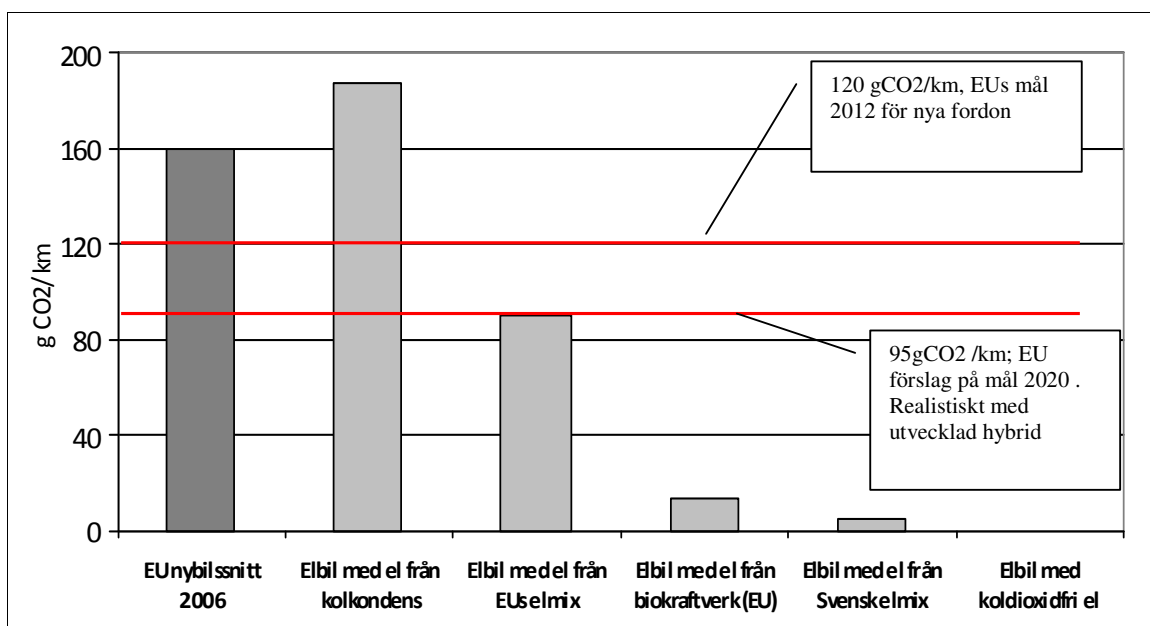
Marginalproduktionen är den el som produceras på kort sikt för att täcka en övergående ökning av elanvändningen och består av el från anläggningar med den högsta rörliga kostnaden. Ökar elanvändningen permanent leder detta dock till att elsystemet byggs ut. Den långsiktiga effekten av denna ökning blir då den dynamiska marginalen, d.v.s. skillnaden mellan det "gamla" elsystemet och det nya utbyggda elsystemet. Man kan även fördela hela elproduktionen på samtliga användare proportionerligt, d v s utifrån den existerande el-mixen. Val av allokeringsmetod beror på med vilket tidsperspektiv man har och syftet med beräkningarna.

I Figur 4.3 nedan visas effekterna av olika sätt att räkna på hur el produceras för en antagen framtida elbil. Det är svårt att jämföra elbilar med vanliga bilar då tekniken fortfarande kräver en hel del utveckling innan den kan erbjuda samma fordonskomfort. Det kan dock noteras att även om en elbil är betydligt mer energieffektiv än motsvarande konventionella bil så blir CO₂-utsläppen högre ifall man räknar med el ifrån dagens kolkondenskraftverk (t.ex. vid elproduktion på marginalen). Räknar man istället med något som kan liknas vid den dynamiska marginalen (biokraftverk och koldioxidfri el) så blir CO₂-utsläppen betydligt lägre och likaledes när man räknar med den svenska el-mixen. Det är dock en stor skillnad på EU:s el-mix och på den svenska el-mixen.

Slutsatsen är att el kan räknas på många olika sätt beroende på vad man vill ha svar på. Det viktiga är att "rätt" metod väljs utifrån den frågan som ställs och att syfte och beräkningsmetod redovisas öppet. En liknande slutsats drogs av energimyndigheten själva i september när de efter lång tid utrett frågan om hur elanvändning skall hanteras i miljöräkenskaper³⁵.

I EU:s nya direktiv om förnybar energi i transportsektorn så räknas förnybar el från den el-mix man har. Här kan man välja mellan att räkna på unionens el-mix eller på sitt lands el-mix, vilket som är fördelaktigast. För svensk del blir det naturligtvis att räkna på den svenska el-mixen som är ca 40% förnybar (vatten, vind, bioenergi).

³⁵ Energimyndigheten 2008



Figur 4.3. Effekten på CO₂-utsläpp av framtida eldrift med olika antaganden om elproduktion.³⁶

Från ett långsiktigt strategiskt synsätt finns det dock flera aspekter som talar för att el är en mycket bra energibärare för transportsektorn, oavsett hur man räknar. En stor fördel med att använda el i transportsektorn ligger framförallt i det att el som energibärare ger lokala nollutsläpp. En annan viktig aspekt är flexibiliteten som el ger att använda många olika primärenergikällor och från ett klimatperspektiv är det viktigt att energibäraren i sig är koldioxidfri. Eldrift är dessutom det enda sättet tillsammans med väte som transportsektorn i framtiden kan använda stora mängder sol, vatten eller vindenergi. El har på så vis många fördelar gemensamt med väte som energibärare. Dyra batterier med för låg energitäthet är fortfarande det största hindret för en introduktion av eldrift. Dock anses elbilar ligga betydligt närmare en marknadsintroduktion idag än bränslecellsfordon som utnyttjar väte. För bränslecellsfordon är det framförallt de höga kostnaderna för att tillverka bränsleceller av tillräcklig kvalitet som är ett hinder idag.

4.3 EU:s direktiv

EU kommissionen lade fram ett förslag till nytt direktiv om förnybar energianvändning inom transportsektorn i januari 2008. Förslaget antogs slutligen med vissa förändringar den 17 december 2008. EU:s direktiv kommer att lägga grunden för marknadsutvecklingen av förnybar energi inom transportsektorn fram till 2020.

Det gamla direktivet om att 5,75% av transportsektorn skulle använda biodrivmedel till 2012 tas bort. I det gamla direktivet (som ansågs som "frivilligt d.v.s. inga sanktioner fanns) fanns inga krav på biodrivmedlet förutom att det skulle vara framställt från biomassa. Ett flertal länder inom EU valde att i stort sett ignorera detta direktiv. Det nya direktivet innebär en skärpning, dels i ambitionsnivå och dels i fråga om vilka biodrivmedel som ska få ingå. Det nya direktivförslaget har även öppnat upp för el inom transportsektorn, dock behandlas det ganska osäkert i direktivförslaget.

Det nya direktivförslaget har målet att 10% av transportsektorns energianvändning år 2020 skall komma från förnybara energikällor på energibasis. Den senaste debatten har dock gjort att vissa krav ställs på de biodrivmedel som får räknas in.

³⁶ Antaganden om fordon: Normalstor 4-a dörrars sedan. Eldrift anger en antagen framtida el-förbrukning för samma storlek av fordon. Detta kräver en hel del teknikutveckling av batterier, elmotorer och kraftelektronik. Svensk el.mix enligt Uppenberg et al(2001)) och övriga siffror enligt CONCAWE et al (2007). El.-förbrukning för framtida elbilar antaget enligt Åhman 2001

- Klimatnyttan skall vara minst 35% räknat över hela livsrykelen i början. Efter 2017 så höjs kraven till 50% och slutligen till 60% för nya anläggningar som kommer till.
- Krav sätts att bioenergi måste komma från hållbara odlingsmetoder och får inte ta naturmark i anspråk
- Indirekta effekter av öka konkurrens om mark p.g.a. biodrivmedel skall utredas och rapporteras av kommissionen till år 2010.
- Det skall råda "balans" mellan import och export av biodrivmedel, d.v.s. vi ska inte till fullo förlita oss på import av Brasiliansk etanol.
- Biomassaråvaror som inte konkurrerar med livsmedelproduktion ska få räknas dubbelt, d.v.s. det verkliga målet på 10% kan i verkligheten bli lägre.
- På användarsidan skall drivmedelsspecifikationerna ses över så att tillåten låginblandning höjs till 10%, både för etanol och för biodiesel.
- El i transportsektorn räknas som förnybar motsvarande den del av el-mixen den förnybara elen utgör. Elanvändning räknas dessutom upp med 2,5 gg närman ska uppfylla 10% målet.

Följderna av direktivet blir i korthet ett fortsatt stöd för etanol och biodiesel från jordbruksprodukter men att användning av 2:a generationens drivmedel, biogas och även användningen av el kommer att gynnas ännu mer.

4.4 Lokala initiativ

En kraft i sammanhanget som inte får glömmas är alla de lokala flottor som idag tar initiativ till att använda förnybara drivmedel. Här är oftast motståndet till förändring mindre och de ekonomiska övervägandena ser annorlunda ut. T.ex. har biogas vuxit de senaste åren mycket tack vara lokala fordonsflottor (bussar m.m.). Lokalt kan det dessutom finnas andra fördelar för att ta hand om det våta avfallet och göra biogas som också väger in avfallsproblem, lokala arbetstillfällen m.m. och inte minst den politiska symbolkraften att göra något lokalt för klimatet och miljön. I Sverige och även inom EU som helhet kan vi räkna med att de lokala initiativen ökar i takt med att medvetenhet om klimatet ökar och att svårigheterna att nå en global eller ens national överenskommelse blir synliga.

Lokala initiativ kan ofta omfatta både lokal användning och lokal produktion. De alternativ som framförallt kan gynnas av ökade lokala initiativ är framförallt biogas och el och framförallt för de flottor som är lokala d.v.s. kommunala fordon och bussar. Exempel är Fortum och miljöförvaltningen i Stockholm testkörning av konverterade plug-in hybrider, projektet GOBiGas i Göteborg där man i stor skala ska framställa biometan från förgasning av vedråvara, den stora biogasanvändningen i Linköping m.m.

5 Vad väljer fordonsindustrin och vem utvecklar drivmedlen?

Fordonsindustrin vill idag generellt inte "välja" ett specifikt framtida drivmedel utan försöker hålla alla dörrar öppna. Flera tidigare misslyckade försök har gjorts inom EU ("Car of Tomorrow" projektet i början av 1990-talet) och i bl.a. Tyskland att enas om ett fåtal framtidsdrivmedel inom branschen. Skillnaden i framtidsstro/framtidsanalys, tradition och kompatibilitet med existerande fordonstillverkning och strategi har skiljt sig för mycket åt mellan de stora biltillverkarna för att de skulle kunna enas inom. Idag följer biltillverkarna istället marknadsutvecklingen som styrs av myndigheter baserat på bl.a. miljönytta, strategiska intressen och jordbrukspolitik.

Biltillverkarna föredrar på kort sikt drivmedel som är relativt enkla att introducera i dagens fordonsproduktion. Etanol och biodiesel är relativt enkla att anpassa till drift i förbränningsmotorer som t.ex. E85 eller B100 (ren biodiesel). I vissa regioner (t.ex. Sverige, Tyskland, Italien) eller för vissa nischer (t.ex. bussar) ses gasformiga drivmedel ett alternativ som utvecklas idag. På längre sikt och för en större skala görs strategiska insatser hos biltillverkare på väte och el. Nedan följer en genomgång av flytande, gasformiga och långsiktiga drivmedel.

5.1 Flytande drivmedel – etanol, metanol, biodiesel

För dagens flytande biodrivmedel (etanol och biodiesel) är anpassningen ingen vid låg-inblandning eller ringa vid E85/B100. Volvo säger sig beredd till vilket drivmedel som helst och har inte gjort något tydligt val medans SAAB har investerat hårt (som en av de första biltillverkare i EU) på etanol och E85 fordon. Även en hel del andra Europeiska fordonstillverkare har nu introducerat etanolmotorer vilket inte är särskilt svårt. En vanlig motor kan i princip köras på etanol efter att man har bytt ut en del i insprutningssystemet. Däremot kan det vara svårare att anpassa efterrenningsutrustning och få godkänt för EU:s allt hårdare utsläppskrav av t.ex. NOx, partiklar. Dagens avancerade efterrenningsutrustning och följande lagkrav gör att efterrenningsutrustning och testprocedurerna måste utvecklas samtidigt som nya alternativa drivmedel tas fram.

På längre sikt utvecklar man dock etanolmotorer med högre kompression vilket tillåts av etanolen som har högre oktantal än bensin. Detta kan ge ca: 10% lägre etanolförbrukning. Etanolmotorer har fått viss dispens från EU:s krav på energieffektivisering ner till 130 gCO₂/km³⁷ vilket kan tänkas främja en utveckling av etanolen för framförallt större fordon som t.ex. SAAB

Ingen inom fordonsindustrin utvecklar idag aktivt metanol som ett tänkbart spår i framtiden. Skälen är flera men metanol anklagades bl.a. i USA för att orsaka grundvattenproblem när ett metanolderivat (MTBE) användes i låg-inblandning för att göra "reformulated gasoline"³⁸. Idag används istället etanol i låg-inblandning. På längre sikt kan dock metanol komma tillbaka som ett attraktivt drivmedel ifall förgasning av biomassa blir kommersiellt³⁹. Saker kan dock ändras snabbt och anpassning av fordon och pumpinfrastruktur till metanoldrift är tekniskt inget större problem.

5.2 Gasformiga drivmedel – biometan och DME

Volvo avbröt sin satsning på bi-fuel fordon (gas/bensin) med motiveringen att marknaden var för olönsam men har i dagarna återigen flaggat för att man kan tänka sig att satsa på biogasfordon. Den svenska marknaden för gasfordon täcks idag av fordon från länder där man har en tradition av gasbränslen via CNG, bl.a. i Italien. Biltillverkare som har bi-fuel (gas/bensin) till salu i Sverige är Fiat, Citroen, Mercedes, Opel VW, Iveco. Det finns enligt miljöfordon.se 13 stycken modeller för personbilar och 7 modeller för lätta transportfordon. Utveckling pågår av lastbilar som drivs med biometan (oftast med några få procent diesel som tändmedel inblandat). I New Delhi har man t.ex. konverterat hela bussflottan från diesel till CNG med

³⁷ Dispensen gäller 25gCO₂/km högre än 130 gränsen om landet ifråga har etanolkpumpar på över 30% av alla mackar.

³⁸ "Reformulated gasoline (RFG)" innehåller 2% oxygenater (i form av etanol eller MTBE) och förbränns renare och reducerar således fotokemisk smog. RFG infördes i större städer i USA på 1990-talet. Grundvattenproblemen med MTBE har visat sig överdrivna men etanol har idag tagit över MTBEs roll.

³⁹ Se ECOTRAFFIC 2007 för en bra uppdaterad genomgång av metanol som fordonsdrivmedel

låginblandat diesel, dock utan EU:s hårda krav på avgasrening⁴⁰. För 2:a generationens biodrivmedel har Volvo tidigare satsat på att utveckla dimetyleter (DME), ett gasformigt drivmedel för dieseldrift.

Volvo lastvagnar och andra biltillverkare testar idag biometan med låginblandad diesel (som tändförbättrare/pilotbränsle). Biometan anses ha flera positiva aspekter ur klimatsynpunkt men ett problem är hittills den korta räckvidden för gasbränslen. Dock finns det en växande lokal marknad för fordonsflottor som mestadels opererar inom ett och samma område. Möjligheten finns även till bi-fuel lastbilar, d.v.s. lastbilar med både gas och dieseltankar, där gasen kan användas när man är inom ett "gasområde" t.ex. en stad. Den extra kostnaden måste dock bäras av någon (stat/kommun/ goodwill etc.). Ett annat utvecklingsspår för tunga fordon är flytande gas (metan fryses ner till -162 grader C) vilket ger en längre räckvidd men dyrare och mer komplicerad tank.

Marknaden för gasformiga drivmedel drivs idag av lokala initiativ. Detta på grund av kostnaden och inte minst tillgängligheten till drivmedlet och infrastrukturen då allt måste komma på plats samtidigt. Det är alltså betydligt lättare att samordna detta för en centraliserad flotta inom en kommun än på nationell nivå. Den relativt kortare räckvidden för de flesta gasfordon idag gör de mer anpassade till en lokal kontext.

5.3 El och väte

Den stora uppmärksamhet som väte fick för några år sedan har lagt sig när kostnader och infrastrukturproblem blivit alltmer uppenbara och konkreta för fordonsindustrin. DaimlerChrysler som hade som målsättning att serietillverka bränslecellsfordon år 2004 har kvar en satsning men har tonat ner när man ser en marknadsintroduktion. Det stora amerikanska forsknings och utvecklingsprogrammet "FreedomCar" som lanserades av G.W Bush talar idag om bränsleceller med väte om 10 till 20 år men nämner också att de kanske aldrig kommer bli konkurrenskraftiga⁴¹. Flera biltillverkare, bl.a. Toyota, fortsätter dock sina utvecklingsinsatser på bränslecellsområdet och söker nisch-applikationer (bl.a. militära) som kan bära de höga kostnaderna för själva bränslecellen.

El i transportsektorn har kommit tillbaka i debatten och intresset för framförallt plug-in hybrider är mycket stort just nu. Vattenfall tillsammans med Volvo skall testa ett tiotal ombyggda Volvo C30 Plug-in hybrider. Fortum kör sedan i somras 5 stycken efterombyggda Toyota Prius i Stockholm för att lära sig mer om hur de kan komma att användas och hur man ska kunna utveckla en affärsmodell av det hela. I Tyskland så testar VW Golf en lätt hybrid med plug-in funktion tillsammans med E.ON. Huruvida dessa tester kommer att leda till kommersiell produktion av plug-in hybrider är fortfarande osäkert men entusiasmen är stor och hindren för att introducera plug-in hybrider verkar rimliga att överkomma. Toyota har annonserat att man avser producera plug-in hybrider i serietillverkning runt år 2010 och GM har samma ambition för sin GM Volt, en plug-in hybrid med litium batterier och en batteriräckvidd på upp mot 60 kms. Sverige och Kalifornien är testmarknad för flera fordonstillverkare bl.a. på grund av ett högt politiskt intresse för plug-in hybrider och en allmänt positiv syn på el i Sverige.

För en fordonsindustri som alltmer börjat övergå till hybridmodeller (snart ingen tillverkare, förutom Volvo och SAAB) som inte har en hybridmodell på marknaden är steget till plug-in hybrider inte oöverstigligt. Det kommer att innebära en mer utvecklad elektrisk drivlina (större elmotor – mindre värmemotor) jämfört med en vanlig hybrid och troligtvis även innebära en övergång till de mer avancerad och dyrare litium-jon batterierna. Utvecklingen av litium batterier har gått snabbt de senaste åren och framförallt drivits av hemelektronikmarknaden och kostnadspotentialen på lång sikt är bättre för litiumbaserade batterier än för nickelbaserade.

⁴⁰ Skiftet från diesel till naturgas i New Dehli, Indien gjordes dock framförallt av luftkvalité skäl och har resulterat i signifikant reducerade utsläpp. Inom EU är efterkonventeringar svårare på grund av att luftkvalitets kraven redan är så svåra att nå och kräver avancerad efterreningsutrustning som skall vara kompatibelt med det specifika drivmedlet

⁴¹ NRC 2006

6 Syntes och jämförelse

Nedan har vi gjort en syntes och jämförelse mellan de olika drivmedlen i enkla matrisdiagram. Matrisen är gjord med tanke att visa på var hindren finns samt vilken möjlighet till tillväxt enskilda drivmedel har. Allt jämförs med dagens bensin och diesel där "0" betyder ingen förändring jämfört med dagens drivmedel, varken ekonomiskt, tekniskt eller med avseende på politiskt stöd

Teknik: med teknik avses hur väl tillgänglig motorteknik är/kan bli anpassad till det aktuella drivmedlet.

Ekonomi: med detta avses den extra (+) eller den lägre (-) kostnaden att använda för det aktuella drivmedlet. Medtaget är att vissa drivmedel är mer effektiva (t.ex. el) och även medräknat de skattesubventioner som finns/eventuellt finns kvar om 10 eller 20 år

Politik Sv och EU: med dessa två avses vilket stöd respektive drivmedel kan förväntas få i framtiden givet att drivkrafterna är klimat, luftföroreningar och industriell utveckling respektive.

Fordonsindustrin: med detta avses vilken inställning fordonsindustrin har, d.v.s. kommer de att driva frågan, motsätta sig eller bara anpassa sig.

<i>Personbilar</i>	<i>Teknik</i>			<i>Ekonomi</i>			<i>Politik SV</i>			<i>Politik EU</i>			<i>Fordonsindustrin</i>		
	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år
<i>Etanol</i>	0/+	+	+	+	-	-	++	+	0	+++	++	+	+	+	+
<i>Biodiesel</i>	0/-	0	0	0	-	--	+	+	0	+++	++	+	0	0	0
<i>2:a gen etanol/metanol</i>	0/-	+	+	-	0	+	++	+++	+++	++	+++	+++	+	++	++
<i>Biometan /CNG</i>	--	-	0	-/0	+	++	++	+++	+++	++	+++	+++	0/-	+	++
<i>El/plug-in hybrider</i>	--	-/0	+	--	-/0	+	++	+++	+++	+	++	+++	+	++	+++
<i>Bränslecell/H2</i>	---	-	+	---	--	-/0	0	++	+++	+	++	+++	0/+	+	++

Bussar	<i>Teknik</i>			<i>Ekonomi</i>			<i>Politiks SV</i>			<i>Politik EU</i>			<i>Fordonsindustrin</i>		
	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år
<i>Etanol</i>	0/+	+	+	+	-	-	++	+	0	+++	++	+	+	+	+
<i>Biodiesel</i>	0/-	0	0	0	-	--	+	+	0	+++	++	+	0	0	0
<i>2:a gen etanol/metanol</i>	0	++	++	-	0	+	++	+++	+++	++	+++	+++	+	++	++
<i>Biometan /CNG</i>	-	0	+	0	++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	0	++	+++
<i>El/plug-in hybrider</i>	--	-/0	+	--	-	-/0	++	+++	+++	+	++	+++	-	-/0	+
<i>Bränslecell/H2</i>	--	-	+	--	-	0	+	++	+++	+	++	+++	0/+	++	+++

Lastbilar	<i>Teknik</i>			<i>Ekonomi</i>			<i>Politiks SV</i>			<i>Politik EU</i>			<i>Fordonsindustrin</i>		
	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år	idag	10år	20år
<i>Etanol</i>	0/-	0	0	0	-	-	++	+	0	+++	++	+	+	0	-
<i>Biodiesel</i>	0/-	0	0	0	-	--	+	+	0	+++	++	+	0	0	0
<i>2:a gen etanol/metanol</i>	0/-	+	+	-	0	+	++	+++	+++	++	+++	+++	+	++	++
<i>Biometan /CNG</i>	--	-	0	-	0	+	++	+++	+++	++	+++	+++	0/-	0	++
<i>El/plug-in hybrider</i>	--	-	0	--	-	-/0	++	+++	+++	+	++	+++	-	0	+
<i>Bränslecell/H2</i>	---	-	+	---	--	-/0	0	++	+++	+	++	+++	0/+	+	++

Etanol: Etanol är fortsatt ett bra drivmedel för personbilar som kommer att fortsätta vara attraktivt, dock kommer ökningstakten att minska rejält på grund av ökade spannmålspriser och ”mat-bränsle” debatten. Bra effektiv etanolproduktion där man utnyttjar restprodukter effektivt kommer även i framtiden ha en möjlighet. Stödet för etanol kommer att finnas kvar åtminstone 10 år till men kraven på miljönytta kommer att skärpas och det ekonomiska stödet att successivt minska. Brasiliansk etanol kommer fortsätta att expandera men

efterfrågan från andra håll i världen (Sverige och USA de största importörerna) kommer att driva priserna upp mot spannmålsetanol ("efterfrågestyrt pris").

Biodiesel: Biodiesel har en stor marknad för godstransporter och alltmer dieseldrivna personbilar där det finns få alternativ idag. Dock är ekonomin sämre för en ökning av biodieseln såvida man inte förlitar sig på import från t.ex. Indonesien och Malaysia vilket inte är aktuellt på grund av regnskogsproblematiken. Utvecklingspotentialen för biodiesel är relativt liten och steget till andra generationens diesel (syntetisk Fisher-Tropsch diesel) är långt. Detta är en av anledningarna till att man börjar intressera sig alltmer för att använda t.ex. metan men även etanol i dieselmotorer.

2: gen etanol/metanol: har definitivt en framtid men utvecklingen tar tid och inom de närmaste 10 åren kommer produktionen troligtvis inte vara ekonomiskt konkurrenskraftig gentemot andra alternativ. Däremot kommer 2:a generationens etanol "tvingas in" på marknaden fram till 2015-2020 i bl.a. USA och troligtvis även i EU som del i satsningen för att nå högt uppställda krav på förnybar och helst inhemskt producerad energi i transportsektorn

Biometan uppgraderad biogas: har en stor potential då den är klimateffektiv och kan växa på ett ekonomiskt konkurrenskraftigt vis redan idag. Det finns även en lokalt initierad marknad för t.ex. bussar m.m. som fortfarande kan växa både inom EU och i Sverige och flertalet biltillverkare (bl.a. Volvo) svänger nu i frågan om gas för fordon. Biometan har även på lite längre sikt möjligheter att slå sig in i det tunga segmentet där det som tidigare nämnts finns få bra alternativ. Biogas/Biometan kan räkna med att få fortsatt ekonomiskt stöd av staten som ett klimateffektivt drivmedel med stora lokala fördelar också.

El: Användning av el inom vägtransportsektorn beror på utvecklingen av plug-in hybrider och elbilar, framförallt på den framtida kostnaden för dessa. Idag bedrivs ett intensivt utvecklingsarbete inom detta av flera biltillverkare och man kommer troligtvis kunna presentera de första plug-in hybriderna på marknaden runt 2010-2012. Huruvida och när de kommer att kunna säljas till ett pris som gör dem attraktiva även för en större publik är än så länge svårt att säga. Inom de närmsta åren kan dock plug-in hybrider räkna med att få ekonomiskt stöd vid introduktion vilket borde göra dem mer ekonomiskt attraktiva

Väte: Väte har framtiden för sig men den framtiden kan ligga väldigt långt borta. Troligt är att mycket fokus de närmaste åren kommer att förskjutas mot biodrivmedel och el. Eventuellt kan väte "låg-inblandas" i metan (hythane) men då användas i konventionella motorer. För att nå riktigt låga utsläppsnivåer på koldioxid på lång sikt är dock väte i bränsleceller tillsammans med el vara de enda alternativen som är koldioxidneutrala och kan t.o.m. vara koldioxidnegativa tillsammans med Carbon Capture and Storage (CCS).

7 Diskussion av utveckling fram till 2020 – Trendspaning

Energiutvecklingen fram till 2020 och därefter kommer att domineras av klimatfrågan. Dock kommer även frågor som berör energiberoende, industriell utveckling, jordbrukspolitik och luftföroreningar att påverka utvecklingen av alternativ energi till transportsektorn. Dessa frågor kommer att "vävas in" i klimatfrågan. Detta görs redan, se t.ex. stödet till etanol och biodiesel, där det finns inslag av stöd till energiberoende, jordbruksstöd och industriell utveckling.

Klart är att EU:s direktiv kommer att sätta ramarna för utvecklingen i stort och även här i Sverige. Globalt pågår liknande satsningar i bl.a. USA, Kina, Indien och Brasilien med lite annorlunda vinkling, som också kommer att påverka oss och framförallt den globala fordonsindustrin. Nedan följer en allmän diskussion av vilka faktorer som kommer att påverka vilka drivmedel och hur mycket av dem som behövs i framtiden.

7.1 Drivmedel med hög klimatnytta och som inte konkurrerar med matproduktion

Direktivet och de tuffare kraven på miljönytta och på att undvika direkt konkurrens med matproduktion gynnar 2:a generationens biodrivmedel från ligno-cellulosa och biogas från våt biomassa/gödsel gentemot dagens etanol/biodiesel. Etanol från sockerrör i Brasilien (eller i framtiden Afrika) kommer också att gynnas på grund av klimatnyttan och den låga produktionskostnaden (billigare än bensen idag). För dagens produktion av spannmålsbaserad etanol kommer kraven öka på att man effektivt tar till vara på bi-produkter. Detta görs redan effektivt i Sverige men det finns en stor potential till förbättring i USA.

7.2 Effektivisering av fordonsflottan

Fordonsflottan kommer att fortsätta effektiviseras (ner till 120 g/km vid 2012). På längre sikt har EU parlamentet (inte kommissionen) nyligen angivit att 95gCO₂/km bör vara riktmärke för nya fordon år 2020. Dessa ambitionsnivåer är än så länge bara förslag men kan tolkas som att 120 gCO₂/km inte är slutmålet utan att energieffektivisering kommer att fortsätta. Nivåer runt 95gCO₂/km kräver att ny teknik i högre grad introduceras på fordonsmarknaden. Hybridiseringen kommer att fortsätta och även göra inslag på den tunga fordonssidan. Framförallt bussar, vissa arbetsfordon och lättare lastbilar står på kö att introduceras som hybridvarianter. Även tunga lastbilar kommer så småningom att introduceras som lätthybrider, detta för att kunna köra effektivt och rent i stadsmiljöer.

Den fortsatta hybridiseringen av personbilsflottan och utvecklingen av batteriteknik kommer att underlätta och leda till en introduktion av plug-in hybrider. Potentialen som brukar anges på lång sikt ligger normalt till mellan att 45 till 65% av resorna kan täckas av el från elnätet för en personbil i normal användning. Ledtiderna för att introducera plug-in fordon ska inte underskattas, kostnaden är och kommer även vid en introduktion att vara väsentligt högre än för en konventionell bil. Som ett exempel kan nämnas att fortfarande 10 år efter det att hybridteknik först introducerades i stor skala så utgör hybrider fortfarande mindre än 10% av den totala fordonsflottan. Det tar ca 15 år att ersätta 90% av den rullande fordonsflottan med nya fordon. Det finns dock starka skäl till att tro att en introduktion av ny energieffektiv teknik kommer att gå snabbare i framtiden givet de starka krav som kan komma att ställas på CO₂ reduktion.

7.3 Energikvalité

Ökade krav på att substituera fossil energi kan också leda till ökade krav att värna om god energikvalité. Det kan märkas framförallt på biogassidan där man kan ifrågasätta huruvida biogas skall användas till värme. I Tyskland används den mesta biogasen till elektricitet och i Sverige används bara en mindre del till fordonsgas (0,3 TWh av 1,4 TWh totalt).

Även diskussionen om var i samhället man effektivast skall använda bioenergin kommer att påverkas av detta. Idag är det en allmän sanning att det är kostnadseffektivare att använda biomassa för att ersätta kol/olja i värmesektorn. På längre sikt så går dock allt fler drivmedelsproducenter över till energikombinat, d.v.s. de producerar både värme, el och drivmedel samtidigt som värmeunderlaget kan faktiskt förväntas minska i takt med nya hårdare krav på effektiva byggnader. Diskussionen kommer att bli annorlunda än idag och det finns flera skäl till att värna en god användning av t.ex. gas eller vete/vegetabilisk olja från raps som bägge har relativt hög energikvalité.

7.4 Sveriges position

Sverige har en stark och lång tradition av att använda bioenergi generellt jämfört med övriga EU (enda undantagen är Finland och Österrike). Detta avspeglas även i den Svenska biodrivmedelsatsningen.

Sverige biodrivmedelsatsning har hittills varit relativt ”rationell” från ett klimatperspektiv då Sverige importerar stora mängder etanol från Brasilien och verkar politiskt för att sänka tullarna inom EU. Den inhemska produktionen har dessutom redan från början haft klimatfokus vilket gjort att klimatnyttan, tack vare ett effektivt utnyttjande av restprodukter, är relativt hög jämfört t.ex. med amerikansk etanol.

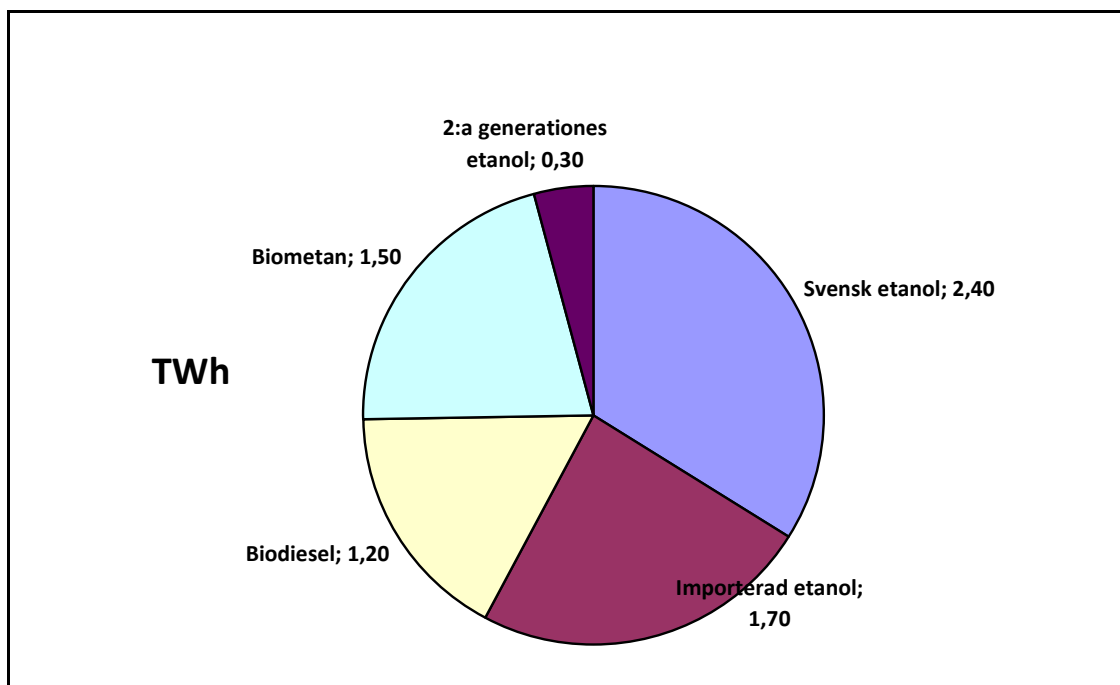
För den 2:a generationens biodrivmedel har Sverige också en relativt framskjuten position. I Sverige har vi starka forsknings- och utvecklingsmiljöer både när det gäller förgasningsspåret och hydrolysspåret. Pågående försök och demonstrationsanläggningar finns för både förgasning (t.ex. Värnamo och Piteå) och enzymatisk hydrolys (i Örnsköldsvik). Förgasningstekniken är gemensam för flera drivmedel som DME, metanol, metan och till viss del syntetisk diesel/flygbränsle. Sverige och energimyndigheten koordinerar bl.a. EU:s ”teknik och forskningsplattform” för 2:a generationens biodrivmedel⁴².

7.5 Hur kommer vi att uppfylla EU-kommissionens direktiv om 10% biodrivmedel i transportsektorn till 2020?

Enligt direktiv från EU-kommissionen ska 10 % av transportsektorns användning av bensin och diesel täckas av biodrivmedel år 2020. Enskilda länder kan dock uppfylla detta krav genom import från andra EU-länder eller från länder utanför EU (även EU totalt räknar med att vara importberoende). Biodrivmedel som baseras på restprodukter eller cellulosa och som inte direkt konkurrerar med matproduktion räknas dubbelt vilket betyder att ”10%-målet” i verkligheten är lägre. Nedan följer 2 exempel på vad EU:s direktiv skulle kunna innebära för Svensk del fram till år 2020.

Exempel 1

I exempel 1 har jag utgått från en strategi där Sverige *prioriterar inhemsk produktion* högt och ”fyller upp” resten av gapet till EU:s drivmedelsdirektiv 2020 med hjälp av brasiliansk etanol.



Figur 7.1 Exempel 1 Dagens energianvändning år 2020, fokus på egenproducerade drivmedel

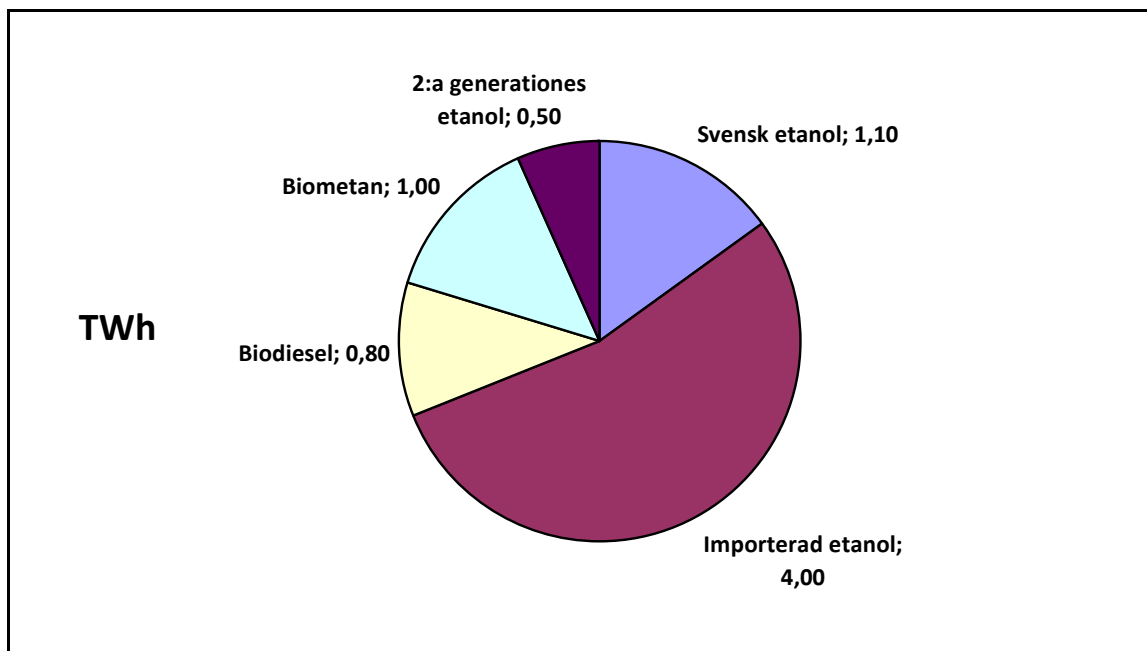
⁴² Se <http://www.biofuelstp.eu/>

I Exempel 1 ökar även den svensktillverkade etanolen från dagens nivå på ca: 0,45 TWh upp till 2,4 TWh. En del av denna ökning är redan beslutad, t.ex. Norrköpingsökning upp från 0,4 till ca: 1,1 TWh/år. Lägg därtill andra ökning som är långt framskridna i planerna. Efter att ha stannat av helt under förra årets prisrally på spannmål så börjar investerare återigen att planera för utbyggd etanolproduktion och i t.ex. Karlshamn planeras nu för en produktion motsvarande den i Norrköping (1 TWh etanol och 0,4 TWh biogas). Sedan tidigare finns det en tillverkning av etanol från sulfitmassa på ca: 0,2 TWh (som får räknas dubbelt). Jag antar ingen dramatisk ökning av 2:a generationens biodrivmedel fram till 2020 (bara ca: 0,1 TWh i diverse olika demoanläggningar). Skälet är att ledtiderna är långa från forskningslabbet till fullskaleanläggning. Efter 2020 kan dock 2:a generationens etanol/metanol/DME bli riktigt stort.

I Exempel 1 ovan utgår vi även från att inhemsk biometan ökas kraftig från 0,3 TWh upp till 1,5 TWh. Denna ökning är möjlig⁴³ och kommer delvis att täckas av biogas producerad från restprodukter vid den ökande etanoltillverkningen. Hela denna del kan täckas av rötning av ”våt biomassa” från restflöden⁴⁴ men i Sverige utvecklas också förgasning av vedråvara till biometan. I GoBiGas projektet i Göteborg är planerna att år 2016 producera 0,8 TWh biometan. Ytterligare ett sätt att öka andelen biometan i transportsektorn är att styra över en del av den ”råa” (icke uppgraderade) biogas som idag används för framförallt värme. Ett ökat fokus på att ta till vara energikvalité kan få just denna effekt.

Exempel 2

I exempel 2 visar jag på en satsning där Sverige prioriterar kortsiktigt kostnadseffektivitet mer och därför fokuserar på att importera etanol från Brasilien och att den Svenska etanolen inte antas öka i den planerade omfattningen och att biodieseln minskar på grund av lönsamhetsproblem. Ett större fokus även på 2:a generationens biodrivmedel är medräknat. Exempel 2 är mer ”rationellt” utifrån ett strikt klimat och kostnadseffektivitetsperspektiv jämfört med exempel 1 som förlitar sig mer på en fortsatt subvention av inhemskt producerad etanol.



Figur7.2 Exempel 2: Ökad energianvändning 2020, fokus på importerad etanol och 2:a generationens etanol

Det finns dock flera gemensamma drag i de bägge exemplen som redovisas nedan.

I bägge exemplen har jag räknat med att energianvändningen för vägtransporter stabiliseras runt nuvarande nivåer tack vare den accederande trenden mot allt energieffektivare fordon. Den totala nivån blir alltså 10% av 89 TWh men det är fullt möjligt att till år 2020 sänka den totala energianvändningen också. Som ett

⁴³ se t.ex. SOU 2007:36, Linne och Jönsson 2004, Linné et al 2008

⁴⁴ Den tekniska potentialen är uppskattad till 14TWh varav hälften från restflöden (Linné och Jönsson 2004).

exempel så förbrukar en svensk genomsnittsbil ca: 0,8 liter/mil idag. Inom EU mäter man i princip effektiviteten som CO₂ utsläpp per km även om man kan sänka CO₂ genom att använda t.ex etanol⁴⁵. Det svenska snittet på personbilar är 189 gCO₂/km idag. Nuvarande mål inom EU är att minska ner till 120 gCO₂/km för alla *nya* bilar till 2012 och man har även ett indikativt (inte ännu godkänt) mål på 95gCO₂/ km till 2020. Till 2020 innebär detta att en genomsnittlig bil släpper ut mellan 100 och 110 gCO₂/km, d.v.s. ca 45% lägre än idag (189gCO₂/km). Med en tillväxttakt på 1,5% per år⁴⁶ i trafikarbete så blir ökningen till 2020 runt 20% jämfört med idag.

Jag har inte redovisat någon el i tårtdiagrammen ovan. Det är möjligt att uppfylla en del av direktivet med el men givet den höga energieffektiviteten för elfordon och plug-in hybrider så blir den totala andelen vid 2020 försumbar trots ett potentiellt stort antal elfordon. Som ett exempel skulle 20 000 elbilar (eller 40 000 plug-in hybrider) som gick 2 000 mil per år använda tillsammans 0,1 TWh el. Omräknat på svensk el-mix och med direktivets uppräkningsregel så blir detta ungefär: $0,1 \times 0,4 \times 2,5 = 0,12$ TWh. Som jämförelse fanns det i Sverige år 2007 ca 9 400 elhybrider, 10 år efter att de först introducerades i Japan och USA. Den största effekten plug-in hybrider och elbilar skulle ha är att sänka den totala användningen av energi i vägtransportsektorn.

Biodieseln har jag låtit ligga på ungefär samma nivå. Skälet till detta är att marknaden för biprodukten (glycerin) anses vara ungefärligt mättad vid den nivå som råder idag, 1,2 TWh (SOU 2007:36) och att lönsamheten för biodiesel är starkt beroende på avsättning för glycerinet och rapsmjölet/rapskakan.

Biometan från vedråvara och avfall anses ha en stor och viktig roll att spela i bägge exemplen på grund av att den (i) inte konkurrerar med matproduktion och får således räknas dubbelt, (ii) går att expandera relativt snabbt jämfört med t.ex. 2:a generationens etanol. Import av Brasiliansk sockerrörsetanol är också en viktig källa till att relativt snabbt öka andelen förnybara drivmedel.

Huruvida Sverige väljer att satsa på inhemsk produktion (exempel 1) eller på import från Brasilien (exempel 2) beror troligtvis på ett antal omvärldsfaktorer:

- I. En av de viktigaste faktorerna är spannmålspriserna vilket kommer att styra den inhemskt tillverkade etanolens och biodieseln konkurrenskraft. Ökar priserna för mycket kommer man inte kunna/ha råd till att öka produktionen.
- II. En annan faktor är utvecklingen av förgasning och enzymatisk hydrolys för tillverknigen av 2:a generationens biodrivmedel. Inom de närmaste åren kommer vi att få se om utvecklingen kan gå tillräckligt fort för att bibehålla fortsatt forsknings- och utvecklingsstöd.
- III. En tredje faktor är utvecklingen av elbilar och plug-in hybrider. Om utvecklingen går snabbt kan dessa alternativ framstå som mer attraktiva och styra över satsningar från biodrivmedel mot el-drift.

Sannolikheten att EU:s mål om 10% förnybara drivmedel skulle skärpas till 2020 är mycket låg, snarare skall 10% målet ses som det mest ambitiösa och det kan mycket väl komma att förhandlas ner efter ett tag om få länder har möjlighet att klara av det. Sverige med ca 4% biodrivmedel i transportsektorn tillhör redan de ledande länderna inom EU vad gäller biodrivmedel men även för Svensk del innebär 10% målet stora utmaningar.

7.6 Vad händer sedan?

Efter 2020 när samhället förhoppningsvis åtminstone stabiliserat utsläppen av CO₂ och även påbörjat minskningen så börjar de verkligt stora utmaningarna. Fram till 2050 krävs att utsläppen av växthusgaser skall minska med åtminstone 50% på global nivå. Givet att vi måste tillåta U-länderna att öka sina utsläpp så blir den faktiska minskning som krävs för OECD länder runt 75-till 85% jämfört med 1990 års nivå⁴⁷.

⁴⁵ Svenska biltillverkare fick ett undantag med ett 20% *högre* gCO₂/km mål just på grund av god tillgång på etanol. Utsläppen i gCO₂/km räknas dock utifrån att man tankar fossilt.

⁴⁶ Sika (2008) prognostiserar att persontransporter på väg ökar med 1,3% per år och att godstransporter på väg ökar med 1,6% per år fram till 2020

⁴⁷ Se t.ex. Stern Review 2006, Miljövårdsberedningen 2007

För att klara av sådan minskning så räcker inte bioenergi till mer än som en dellösning. Energieffektivisering och minskat/ändrat transportbehov är minst lika viktiga komponenter, både på kort och på lång sikt.

El och väte, de två enda energibärare som har potential att bli helt koldioxidfria (och även teoretiskt koldioxid negativa med kollagring), är en viktig komponent i transportsektorns energiförsörjning på längre sikt. Detta betyder inte att biodrivmedel kommer att försvinna utan snarare att biodrivmedel, bensin och diesel kommer att kompletteras med el och väte i större skala och i olika nischer. Det skall mycket till för att samhället ska lyckas bibehålla några få helt dominerande drivmedlen i framtiden. Vi lär få se en betydligt ökad mångfald på energiförsörjning till transportsektorn.

El kan redan inom en snar framtid börja hitta en nisch i form av plug-in hybrider. På längre sikt kommer troligtvis även marknaden för rena elbilar, till början i nischapplikationer, att växa. För väte är hindrena större idag då tekniken fortfarande är dyr och avancerad samt att det finns ingen uppbyggd infrastruktur. Dock kan väte växa som energibärare i transportsektorn på samma sätt som biogas har vuxit de senaste åren. Lokala fordonsflottor som har ett högt utnyttjande av sina fordon (därav kan bära en hög investeringskostnad) samt kan organisera sin egen energi infrastruktur.

Att veta mer i detalj hur fördelningen mellan olika drivmedel kan komma att se ut efter 2020 är ointressant idag. Det som är intressant att veta är att det finns betydande plats för storskaliga satsningar för betydligt fler drivmedel än idag ifall transportsektorn skall på lång sikt fasa ut de fossila drivmedlen. Bara den svenska bensin och dieselmärknaden omfattar upp mot 110 miljarder kr årligen varav 63 miljarder går till skatt.

8 **Slutsatser**

- Biodrivmedelsutvecklingen har bara börjat och den kommer att fortsätta. Drivkrafterna kommer dock att styra mot mer klimateffektiva drivmedel som baseras på avfall och skogsråvara. Dock, effektiva spannmålsbaserad drivmedel kan fortfarande behålla en nisch även på lite längre sikt givet att utvecklingen drivs av flera olika skäl, bl.a. jordbrukspolitik.
- El spås att introduceras inom en inte alltför avlägsen framtid. Dock kommer det att ta lång tid innan elanvändningen via t.ex. plug-in hybrider märks i statistiken.
- Fordonsindustrin utvecklar idag de flesta alternativen och försöker i största möjliga mån hålla alla dörrar öppna. Dock väljer man helst i den nära framtiden drivmedel som är enkelt kompatibel med deras existerande teknik, d.v.s. flytande drivmedel som t.ex. etanol, biodiesel.
- Nya aktörer på transportenergimarknaden blir i framtiden elbolag och biodrivmedelstillverkare, t.ex. Agroetanol, Perstorp m.m. De traditionella bensin/diesel leverantörerna börjar idag också att intressera sig för biodrivmedel som är kompatibel med deras egna drivmedel i låg inblandning, t.ex. biodiesel (se Preem).
- På sikt ökade krav på energieffektivisering kan driva på en utveckling mot förändrade former för att äga och utnyttja fordon. Bilpooler, leasing m.m. växer redan idag på den ”privata” marknaden och ger möjligheter till att introducera dyrare teknik.

Referenser:

Boisen Peter, (2008), pers.komm.

Brandt and Farrel (2007), Scraping the bottom of the barrel: greenhouse gas emission consequences of a transition to low-quality and synthetic petroleum resources, Climatic Change (2007) 84:241–263

Börjesson et al (2008). Hållbara drivmedel – finns dom? IMES/EESS rapport no 66.-Avd.miljö-och energisystem, Lunds Tekniska Högskola. www.miljo.lth.se

Börjesson (2008), Fin eller ful etanol –vad avgör? Miljö-och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Rapport nr 65 Juni 2008. www.miljo.lth.se

Concawe, EUCAR and EU commission JRC, (2007)., Well to Wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Version 2c, March 2007. Finns tillgänglig på <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>.

Delucchi et al (2004), Electric and Gasoline Vehicle Lifecycle Cost and Energy-Use Model Report for the California Air Resources Board FINAL REPORT UCD-ITS-RR-99-04

Ecotrafic (2007). Användning av metanol som drivmedel för fordon. Tillgänglig på www.ecotrafic.se.

Energimyndigheten (2008) . Koldioxidvärdering av energianvändning, Underlagsrapport. Statens energimyndighet, Eskilstuna 28 Sep 2008

Energimyndigheten (2007); Energiläget 2006, Eskilstuna

Energimyndigheten (2008), Energistatistik för vägtransportsektorn, ES 2008:01 Eskilstuna

EU-kommissionen (2008). Proposal for a directive of the European parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources, version 15.4 , Brussels 08-01-23

Faaij A. (2006). Modern biomass conversion technologies. Mitigation and adaptation strategies for global change, vol. 11 pp. 343–375.

Fargione J., Hill J, Tilman D, Polasky S., Hawthorne P. (2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt Science 29 February 2008: 1235-1238.

IEA (2007) World Energy Outlook, IEA Paris Cedex

IEA (2008) World Energy Outlook, IEA Paris Cedex

IEA 2004. Biofuels for transport an international perspective IEA/OECD Paris Cedex.

Jordbruksverket (2006). [Marknadsöversikt för etanol 2006](#) - rapport 2006:11

Jordbruksverket (2006), [Marknadsöversikt för biodiesel 2006](#) - rapport 2006:21

Linné, M och Jönsson, M (2004). Sammanställning och analys av potentialen för produktion av förnyelsebar metan (biogas och SNG) i Sverige. Malmö maj 2004. Rev mars 2005: Johan, Rietz, SGC.

Linne´ et al (2008). Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. BioMilAB/Envirum AB. Lund. Tillgänglig från www.gasforeningen.se

Lipman and Delucchi (2003) Hybrid-Electric Vehicle Design Retail and Lifecycle Cost Analysis UCD-ITS-RR-03-01 April 2003 Energy and Resources Group University of California, Berkeley

- Miljövårdsberedningen (2007). MVB Rapport 2007:03, Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken.
- Miljofordn.se (2008). www.miljofordn.se
- Naturvårdsverket (2008), Officiella växthusgasrapporteringen. www.naturvardsverket.se
- NRC (2005). Review of the research programme of the Freedom Car and Fuel Partnership. First Report. National Academy Press, Washington, 2005
- Uppenberg et al., (2001), Miljöfaktaboken för bränslen, IVL Svenska miljöinstitutet B-rapport B1334B-2, Stockholm
- Searchinger T. et al. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change *Science* 29 February 2008: 1238-1240.
- SIKA (2005) Rapport 2005:8_Prognos för persontransporter år 2020
- SIKA (2005) Rapport 2005:8_Prognos för godstransporter år 2020
- SPI (2008) www.spi.se.
- SOU 2007:36. Bioenergi från jordbruket – en växande resurs.
- Tiax (2004) Cost analysis of fuel cell systems for transportation, Cambridge Massachuttes
- Weiss et al (2001). ON THE ROAD IN 2020 A life-cycle analysis of new automobile technologies Energy Laboratory Report # MIT EL 00-003 Energy Laboratory Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts
- Åhman M. (2003) Assessing the future competitiveness of alternative powertrains. International Journal of Vehicle Design, vol 33 no 4 pp 309-331
- Åhman, M. (2001). Primary energy efficiency of alternative powertrains in vehicles. Energy 26, 973–989.
- Åhman M. och Nilsson L.J. (2007). Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels. Utilities Policy, vol 16 issue 2 pp 80-89
- Åkerman J. m.fl. (2007). Tvågradersmålet i sikte? – Scenarier för det svenska energi- och transportsystemet till år 2050. Naturvårdsverket Rapport 5754.
- Åkerman J. och Åhman M. (2008). Förnybara drivmedels roll för att minska transportsektorns klimatpåverkan. Rapporter från riksdagen 2007/08:RFR14

Reports from the Department of Environmental and Energy Systems Studies

Lars Nilsson, Eric D. Larson, A System-Oriented Assessment of Electricity Use and Efficiency in Pumping and Air-Handling, IMES/EESS Report No. 1, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1990.

Tomas Ekwall, Energy Demand for Residential Air Conditioning in Developing Countries, IMES/EESS Report No. 2, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, February 1991.

Tomas Ekwall, Elektrotermiska processer i svensk industri, IMES/EESS Report No. 3, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1991.

Per Svenningsson, Omvandling av energi - hur stort är primärenergibehovet för att leverera energi till slutlig användning?, IMES/EESS Report No. 4, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1991.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--91/3001--SE + (1-121)

ISBN 91-88360-01-6

Johan Callin, Björn Svennesson, Eric White, Energy and industrialization, The choice of technology in the paper and pulp industry in Tanzania, Master Thesis, IMES/EESS Report No. 5, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, February 1991.

Mattias Lundberg, Samproduktion av el och värme med gasturbiner och gasmotorer, En analys av hur mycket el som kan produceras med kraftvärmeteknik som har högt el till värmeförhållande, IMES/EESS Report No. 6, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1991.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--91/3002--SE + (1-140)

ISBN 91-88360-00-8

Brita Olerup, Att genomföra förändringar - En effektivare energi-användning IMES/EESS Report No. 7, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1991.

Anders Mårtensson, Energy Efficiency Improvement by Measurement and Control. A case study of reheating furnaces in the steel industry, IMES/EESS Report No. 8, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 1992.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--92/3003--SE + (1-48)

ISBN 91-88360-02-4

Deborah Wilson, Evaluating Alternatives: Aspects of an Integrated Approach Using Ethanol in Thailand's Transportation Sector, IMES/EESS Report No. 9, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1993.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--93/3004--SE + (1-42)
ISBN 91-88360-04-0

P. Schlyter, G. Bengtsson, Bedömning av kronutglesning hos gran och tall i fält och i storskaliga flygbilder, IMES/EESS Report No. 10, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1993.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--93/3005--SE + (1-33)
ISBN 91-88360-06-7

Anders Mårtensson, Supply Quality Control at Large Scale Integration of Renewable Energy Sources of Electricity in the Swedish National Grid, IMES/EESS Report No. 11, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1993.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--93/3006--SE + (1-29)
ISBN 91-88360-08-3

Anders Mårtensson, Evaluating Energy Efficiency Improvements - A Case Study on Information Technology for Steel Heating Furnaces, IMES/EESS Report No. 12, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, July 1993.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--93/3007--SE + (1-41)
ISBN 91-88360-09-1

Lars Lundahl, The Wind Water Tunnel at IMES- A Facility for Empirical Studies of Aerosol Deposition, IMES/EESS Report No. 13, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 1994.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--94/3008--SE + (1-36)
ISBN 91-88360-11-3

Joel Swisher, Dynamics of Electric Energy Efficiency in Swedish Residential Buildings, IMES/EESS Report No. 14, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 1994.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--94/3009--SE + (1-25)
ISBN 91-88360-18-0

Joel Swisher, Lena Christiansson, Dynamics of Energy Efficiency in Lighting and Other Commercial Uses in Sweden, IMES/EESS Report No. 15, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1994.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--94/3010--SE + (1-33)
ISBN 91-88360-15-6

Richard Weston, Aerosol Deposition: Process Modelling Experiments, IMES/EESS Report No. 16, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1994.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--94/3011--SE + (1-50)
ISBN 91-88360-14-8

Pål Börjesson, Energianalyser av biobränsleproduktion i svenskt jord- och skogsbruk - idag och kring 2015, IMES/EESS Report No. 17, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, July 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3012--SE + (1-63)

ISBN 91-88360-20-2

Annika Carlsson, Developing a Methodology to Assess Environmental Effects of Consumption Patterns - A Case Study, IMES/EESS Report No. 18, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3013--SE + (1-61)

ISBN 91-88360-19-9

Annika Carlsson, Swedish Food Consumption and the Environment - a Trend Analysis During the Period of Consumerism, IMES/EESS Report No. 19, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 1995.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--95/3014--SE + (1-40)

ISBN 91-88360-21-0

Britt-Marie Johnsson, Axis och miljö - en nulägesrapport, IMES/EESS Report No. 20, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3015--SE + (1-62)

ISBN 91-88360-26-1

Lena Christiansson, Dynamics of Electricity Efficiency in Commercial Air-Distribution Systems in Sweden, IMES/EESS Report No. 21, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3016--SE + (1-24)

ISBN 91-88360-28-8

Mindaugas Raulinaitis, Biomass for Heat and Electricity: a Sustainable Resource in the Lithuanian Energy System, IMES/EESS Report No. 22, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, August 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3017--SE + (1-48)

ISBN 91-88360-29-6

Jürgen Salay, Electricity Production and SO₂ Emissions in Poland's Power Industry, IMES/EESS Report No. 23, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3018--SE + (1-38)

ISBN 91-88360-31-8

Annika Carlsson, Greenhouse Gas Emissions in the Life-Cycle of Carrots and Tomatoes, IMES/EESS Report No. 24, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 1995.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--97/3019--SE + (1-74)
ISBN91-88360-35-0

Sophia Chong, Institutions in an Era of Global Warming on Institutional Dynamics in the European Union, IMES/EESS Report No. 25, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 1997.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--98/3020--SE + (1-22)
ISBN91-88360-38-5

Johannes Strippel, The Image of Climate Change: On Organisational Cognition and Responses, IMES/EESS Report No. 26, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 1999.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--98/3021--SE + (1-24)
ISBN91-88360-39-3

Jessica Johansson and Ingrid Wigstrand, Källsortering för ökad återvinning hos Skanska Prefab, (Increased recovery through source separation at Skanska Prefab), IMES/EESS Report No. 27, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 1998.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--98/3022--SE + (1-168)
ISBN91-88360-41-5

Joakim Nordqvist, Rural Residential District Heating in North China, IMES/EESS Report No. 28, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3023--SE + (1-75)
ISBN91-88360-45-8

Jannice Hansson, Miljöledningssystem i Skanska Väg, Region Syd, IMES/EESS Report No. 29, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3024--SE + (1-xx)
ISBN91-88360-46-6

Peter Helby, Voluntary agreements, implementation and efficiency. European relevance of case study results. Reflections on transferability to voluntary agreement schemes at the European level. IMES/EESS Report No. 30, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3025--SE + (1-64)
ISBN91-88360-47-4

Jonas Kågström, Kerstin Åstrand and Peter Helby, Voluntary agreements, implementation and efficiency. Swedish country study report. Covering the EKO-Energi programme. With case studies in pulp and paper and heavy vehicle manufacturing. IMES/EESS Report No. 31, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3026--SE + (1-105)
ISBN91-88360-48-2

Peter Helby, Renewable energy projects in Sweden: An overview of subsidies, taxation, ownership and finance. IMES/EESS Report No. 32, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3027--SE + (1-36)
ISBN91-88360-49-0

Peter Helby, Renewable energy projects in Denmark: An overview of subsidies, taxation, ownership and finance. IMES/EESS Report No. 33, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3028--SE + (1-52)
ISBN91-88360-50-4

Pål Börjesson, Framtida tillförsel och avsättning av biobränslen i Sverige - Regionala analyser. IMES/EESS Report No. 34, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2001.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--01/3029--SE + (1-49)
ISBN91-88360-51-2

Bengt Johansson, Pål Börjesson, Karin Ericsson, Lars J Nilsson and Per Svenningsson, The Use of Biomass for Energy in Sweden – Critical Factors and Lessons Learned.

IMES/EESS Report No. 35, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, August 2002.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--02/3030--SE + (1-46)
ISBN 91-88360-53-9

Birgitta Henecke and Jamil Khan, Medborgardeltagande i den fysiska planeringen – en demokratiteoretisk analys av lagstiftning, retorik och praktik.

IMES/EESS Report No. 36, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2002.

ISSN 1102-3651

ISSN 1404-6741

ISRN LUTFD2/TFEM--02/3031--SE + (1-44)
ISBN 91-7267-134-3

Pål Börjesson, Göran Berndes, Fredrik Fredriksson and Tomas Kåberger, Multifunktionella bioenergiodlingar.

IMES/EESS Report No. 37, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2002.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--02/3032--SE + (1-112)
ISBN 91-88360-54-7

Pål Börjesson, Anders Christian Hansen, Peter Helby, Anders Roos, Håkan Rosenqvist and Linn Takeuchi, Market development for sustainable bioenergy systems in Sweden. (The BIOMARK project).

IMES/EESS Report No. 38, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3033--SE + (1-193)
ISBN 91-88360-55-5

Nilla Emanuelsson, Lotta Strömberg, Förslag på energisystemlösningar för bostäder tillhörande Högestads och Christinehofs Fideikommiss AB.
IMES/EESS Report No. 39, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/5001--SE + (1-105)

Lena Neij, Per Dannemand Andersen, Michael Durstewitz, Peter Helby, Martin Hoppe-Kilpper, Poul Erik Morthorst, Experience curves: a tool for energy policy programmes assessment.
IMES/EESS Report No. 40, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3034--SE + (1-146)
ISBN 91-88360-56-3

Peter Joelson, Environment and Economy in Symbiosis? Experiences of Environment Management with Environmental Management System from Small Swedish Energy Enterprises.
IMES/EESS Report No. 41, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/5002--SE + (1-94)

Linn Takeuchi, Subcontractors and Component Suppliers in the Swedish Wind Power Industry.
IMES/EESS Report No. 42, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3035--SE + (1-95)
ISBN 91-88360-60-1

Petter Rönneborg, Borta med vinden: En analys av konkurrensen mellan leverantörer av vindkraftverk i Sverige.
IMES/EESS Report No. 43, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3036--SE + (1-76)
ISBN 91-88360-62-8

Maria Berglund and Pål Börjesson, Energianalys av biogassystem.
IMES/EESS Report No. 44, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3037--SE + (1-90)
ISBN 91-88360-63-6

Pål Börjesson and Maria Berglund, Miljöanalys av biogassystem.
IMES/EESS Report No. 45, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3038--SE + (1-80)

ISBN 91-88360-64-4

Kerstin Åstrand och Lena Neij, Styrmedel för vindkraftens utveckling i Sverige.
IMES/EESS Report No. 46, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3039--SE + (1-102)
ISBN 91-88360-65-2

Jamil Khan, Planering av biogasanläggningar.
IMES/EESS Report No. 47, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, July 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3040--SE + (1-54)
ISBN 91-88360-66-0

Bengt Johansson, Nationella mål och flexible mekanismer.
IMES/EESS Rapport Nr. 48, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3041--SE + (1-28)
ISBN 91-88360-67-9

Ole Langnißss, Governance Structures for Promoting Renewable Energy Sources.
IMES/EESS Report No. 49, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2003.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--03/3042--SE + (1-280)
ISBN 91-88360-68-7

Anna Evander, Framtida utformning av CDM.
IMES/EESS Report No. 50, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--04/5003--SE + (1-67)

Maria Andersson, Utvärdering av miljöarbetet på Forsmark relaterat till införande av ett miljöledningssystem - med inriktning mot avfallshantering och upphandling.
IMES/EESS Report No. 51, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--04/5004--SE + (1-74)

Linda Gustavsson, Utvärdering av miljöarbetet på Ringhals kärnkraftverk – efter införandet av ett certifierat miljöledningssystem.
IMES/EESS Report No. 52, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--04/3043--SE + (1-90)
ISBN 91-88360-69-5

Max Åhman, Government policy and environmental innovation in the automobile sector in Japan.
IMES/EESS Report No. 53, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--04/3044--SE + (1-31)
ISBN 91-88360-70-9

Pål Börjesson, Energianalys av drivmedel från spannmål och vall.
IMES/EESS Report No. 54, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 2004.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--04/3045--SE + (1-16)
ISBN 91-88360-71-7

Max Åhman, Den svenska cement- och kalkindustrin – Konsekvenser av EU:s system för handel med utsläppsrätter.
IMES/EESS Report No. 55, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2004.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--04/3046--SE + (1-39)
ISBN 91-88360-73-3

Bengt Johansson, Klimatpolitiska styrmedels funktion och möjliga effekter.
IMES/EESS Report No. 56, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2004.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--04/3047--SE + (1-90)
ISBN 91-88360-74-1

Mikael Lantz, Gunnel Larsson och Torbjörn Hansson, Förutsättningar för förnybar energi i svensk växthusodling.
IMES/EESS Report No. 57, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, February 2006.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--år/3048--SE + (1-99)
ISBN 91-88360-78-4

Linn Takeuchi Waldegren, The Project Based Mechanisms of the Kyoto Protocol - Credible Instruments or Challenges to the Integrity of the Kyoto Protocol.
IMES/EESS Report No. 58, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 2006.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--06/3049--SE + (1-156)
ISBN 91-88360-81-4

Pål Börjesson, Energibalans för bioetanol - en kunskapsöversikt.
IMES/EESS Report No. 59, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 2006.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--06/3050--SE + (1-17)
ISBN 91-88360-82-2

Pål Börjesson, Livscykelanalys av Salixproduktion.
IMES/EESS Report No. 60, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2006.
ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--06/3051--SE + (1-21)
ISBN 91-88360-83-0

Pål Börjesson, Jordbruk, bibränslen, energigrödor, restprodukter, produktionsförutsättningar.
IMES/EESS Report No. 61, Department of Technology and Society, Environmental and
Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2007.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--07/3052--SE + (1-87)

ISBN 91-88360-85-7

Pål Börjesson, Förädling och avsättning av jordbruksbaserade bibränslen.

IMES/EESS Report No. 62, Department of Technology and Society, Environmental and
Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2007.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--07/3053--SE + (1-117)

ISBN 91-88360-86-5

Mikeal Lantz, Ökat utnyttjande av befintliga biogasanläggningar,

IMES/EESS Report No. 63, Department of Technology and Society, Environmental and
Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 2007.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--07/3054--SE + (1-123)

ISBN 91-88360-87-3

Karin Ericsson och Pål Börjesson, Potentiell avsättning av biomassa för produktion av el,
värme och drivmedel inklusive energikombinat - Regionala analyser och räkneexempel

IMES/EESS Report No. 64, Department of Technology and Society, Environmental and
Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2008.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2 / TFEM--08/3055--SE + (1-66)

ISBN 91-88360-88-1

Pål Börjesson, Ful- eller finetanol?

IMES/EESS Report No. 65, Department of Technology and Society, Environmental and
Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2008.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--08/3056--SE + (1-26)

Pål Börjesson, Karin Ericsson, Lorenzo Di Lucia, Lars J. Nilsson, Max Åhman, Hållbara
drivmedel - finns de?.

IMES/EESS Report No. 66, Department of Technology and Society, Environmental and
Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, november 2008.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--08/3057--SE + (1-107)

ISBN 91-88360-91-1

Pål Börjesson, Karin Ericsson, Lorenzo Di Lucia, Lars J. Nilsson, Max Åhman, Sustainable
vehicle fuels- Do they exist?.

IMES/EESS Report No. 67, Department of Technology and Society, Environmental and
Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2009

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--06/3058--SE + (1-103)

ISBN 91-88360-83-0