



**LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
Lunds universitet

Institutionen för teknik och samhälle  
*Avdelningen för miljö- och energisystem*

# **Fin- eller fuletanol**

## **- vad avgör?**

Pål Börjesson

Rapport nr 65

Juni 2008

ISSN 1102-3651  
ISRN LUTFD2/TFEM--08/3056--SE + (1-26)  
ISBN 91-88360-90-5  
© Pål Börjesson

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Avdelningen för miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Rapport
	Utgivningsdatum
	Juni 2008
	Författare
	Pål Börjesson

Dokumenttitel och undertitel

Fin- eller fuletanol – vad avgör?

Sammandrag

Syftet med denna studie är att beskriva etanols energieffektivitet och klimatnytta och hur dessa parametrar beror av lokala förutsättningar och beräkningsmetodik. Andra aspekter som påverkan på biologisk mångfald, arbetsmiljöförhållanden mm analyseras ej här. Fokus ligger på svensk spannmålsbaserad etanol men kopplingar görs till andra produktionssystem för etanol. Hur klimateffektiv etanol är som drivmedel beror framför allt av följande fyra faktorer: (i) effektiviteten vid odling och dess utsläpp av lustgas, (ii) vilket bränsle som används i etanolanläggningen, (iii) hur effektivt biprodukter tas tillvara och deras nytta krediteras samt (iv) vilken typ av mark som utnyttjas vid odling.

För att säkerställa att ”finetanol” produceras (med avseende på klimatnytta) kan man därför ställa följande krav (t ex vid certifiering):

- etanolanläggningar ska drivas med biobränslen och inte med fossila bränslen
- man ska inte odla ettåriga etanolgrödor på ”kolrik” mark som normalt inte odlas eller där fleråriga grödor odlats under lång tid, t ex gräsbevuxen torvmark
- biprodukter ska tas tillvara på ett effektivt sätt så att deras energi- och klimatnytta maximeras (och man ska kreditera denna nytta genom systemutvidgning när så är möjligt, därefter bör ekonomisk allokering tillämpas före fysikalisk)
- lustgasutsläpp vid odling ska minimeras genom effektivare kväveutnyttjande och användning av kvävegödsel som tillverkats i anläggningar med lustgasrening

Idag kan svensk spannmålsetanol betraktas som finetanol eftersom flertalet av kraven ovan är uppfyllda vilket leder till en cirka 80 %-ig reduktion av växthusgaser jämfört med bensin. Samma sak gäller för brasiliansk sockerrörsetanol med motsvarande en 85 %-ig reduktion medan en stor del av den amerikanska majsetanolen kan betraktas som fuletanol (med i genomsnitt en 20 %-ig reduktion) eftersom många etanolanläggningar använder fossilt kol som bränsle. Det finns dock en stor förbättringspotential för flertalet produktionssystem för etanol vilket kan leda till en ökad klimatnytta. Å andra sidan kan en ökad markkonkurrens i framtiden leda till att ettåriga etanolgrödor börjar odlas på ”kolrik” mark, t ex långliggande gräsmarker, vilket medför minskad klimatnytta. När förändrad markanvändning inkluderas i livscykelanalyser bör man samtidigt ställa krav på att data presenteras som visar att den aktuella biodrivmedelsproduktionen faktiskt leder till förändrad markanvändning.

Nyckelord

Etanol, biodrivmedel, livscykelanalys, energibalans, växthusgaser

Omfång	Språk	ISRN
26	Svenska Sammandrag på engelska	ISRN LUTFD2/TFEM--08/3056--SE + (1-26)
ISSN		ISBN
ISSN 1102-3651		ISBN 91-88360-90-3

Intern institutionsbeteckning

Rapport nr 65

Organisation, The document can be obtained through  LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies P.O. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document
	Report
	Date of issue
	June 2008
	Authors
	Pål Börjesson

Title and subtitle

Good or bad bioethanol – what decides?

Abstract

The purpose with this study is to describe how the energy efficiency and the greenhouse gas (GHG) benefits of ethanol depend on local conditions and calculation methods. The following four parameters have been identified as crucial to the GHG benefit of ethanol: (i) the energy efficiency and emissions of nitrous oxide during cultivation, (ii) what kind of fuel is used in ethanol plants, (iii) how efficiently by-products are utilised and their benefit credited and (iv) the type of land used for cultivation.

To ensure that “good” ethanol is produced (with reference to GHG benefit), the following demands must be met:

- ethanol plants should use biomass and not fossil fuels
- cultivation of annual feedstock crops should be avoided on land rich in carbon (above and below ground), such as peat soils used as permanent grass land
- by-products should be utilised efficiently in order to maximize their energy and GHG benefits (and these benefits should be credited by system expansion, followed by economic allocation and physical allocation)
- nitrous oxide emissions should be kept to a minimum by means of efficient fertilisation strategies, and the commercial nitrogen fertiliser utilised should be produced in plants which have nitrous oxide gas cleaning

Current production of Swedish ethanol from wheat can be seen as ”good” ethanol, reducing the GHG emission by some 80% compared to petrol. Ethanol based on sugarcane from Brazil leads to a reduction of, on average, 85 %, while ethanol from maize in the USA leads to a reduction of, on average, 20%. The reason for this is that several ethanol plants in the USA are using coal (fossil fuel). There is potential for improvement of current ethanol production systems worldwide, leading to increased GHG benefits. On the other hand, an increased competition for land in future may increase the risk of cultivation of annual ethanol crops on new farm land rich in carbon. This will reduce the GHG benefits of ethanol from annual crops. When such changes of land use are included in life cycle assessments of biofuels, complementary data should also be presented showing that this is the actual case regarding the specific biofuel production system analysed.

Keywords

Ethanol, biofuels, life cycle assessment, energy balance, greenhouse gases

Number of pages	Language	ISRN
26	Swedish, English abstract	ISRN LUTFD2/TFEM--08/3056--SE + (1-26)
ISSN		ISBN
ISSN 1102-3651		ISBN 91-88360-90-3

Department classification

Report No. 65

## ***Förord***

Denna studie har genomförts med ekonomiskt stöd från Lantmännen AB.

Lund, juni 2008

*Pål Börjesson*

# Innehållsförteckning

1.	Bakgrund .....	2
2.	Syfte .....	2
3.	Produktionssystemets utformning .....	3
3.1.	Odling av råvara .....	3
3.2.	Transport av råvara och produkter.....	7
3.3.	Drift av etanolanläggning .....	7
4.	Beräkningsmetodik för inkludering av biprodukter.....	10
4.1.	Fysikalisk och ekonomisk allokering .....	10
4.2.	Systemutvidgning .....	12
5.	Sammanfattning av avgörande faktorer .....	14
6.	Slutsatser och diskussion .....	23
7.	Referenser .....	25

## 1. Bakgrund

Ingen har väl kunnat undgå den debatt som förts under det senaste året kring biodrivmedel och om dessa ska ses som hot eller möjlighet. Från att biodrivmedel målats upp som en av flera viktiga lösningar på klimatproblematiken har bilden i media radikalt förändrats där fokus nu förflyttats till alla hot som kan finnas. Vilken bild är då sann? Ja, ett enkelt svar är att båda bilderna kan vara sanna, det finns både bra och dåliga system. Eftersom produktion av biodrivmedel kan ske på så många olika sätt och på så många olika platser i världen är förutsättningarna helt olika. Det går inte att generalisera som dagens debatt i media ger sken av. För att få en mer nyanserad diskussion till stånd samt bättre beslutsunderlag för olika aktörer krävs att mer kunskap tas fram och sprids och att de olika argumenten för och emot biodrivmedel granskas på ett kritiskt sätt.

Två aspekter som ofta diskuteras i samband med hållbarhet och biodrivmedel är energieffektivitet och klimatnytta. Idag dominerar etanol som biodrivmedel både globalt och nationellt varför fokus ofta ligger på etanol i debatten. I Sverige har etanolanvändningen ökat under de senaste åren och utgör idag drygt 3% av drivmedelsförbrukningen inom vägtransporter. Större delen importeras och då framför allt från Brasilien medan inhemsk spannmålsetanol svarar för knappt en femtedel. De två globalt sett dominerande produktionsländerna för etanol är idag Brasilien (sockerrörsetanol) och USA (majsetanol). De viktigaste faktorerna för hur ”bra” eller ”dåligt” etanol antas vara är hur produktionssystemet är utformat, vilken odlingsmark som utnyttjas samt hur man inkluderar de biprodukter som genereras. Beroende på vilka antaganden man gör kring dessa faktorer kan resultaten för etanols energi- och klimatprestanda variera mycket stort.

## 2. Syfte

Syftet med denna studie är att beskriva etanols energieffektivitet och klimatnytta och hur dessa parametrar beror av lokala förutsättningar och beräkningsmetodik. Fokus ligger på svensk spannmålsbaserad etanol men kopplingar görs till andra produktionssystem för etanol. Dessutom diskuteras vilken förbättringspotential som finns i dagens produktionssystem, både vad gäller odling av råvara och omvandling till etanol, samt när olika beräkningsmetoder är relevanta att använda. Dessutom jämförs resultaten med de så kallade ”default-värden” för etanol som föreslås i EU’s drivmedelsdirektiv. Däremot inkluderas inte aspekter som påverkan på biologisk mångfald, arbetsmiljöförhållanden mm då dessa aspekter ligger utanför denna studie, d v s definitionen av fin- och fuletanol begränsas här till att endast inkludera aspekterna energieffektivitet och klimatnytta.

## Produktionssystemets utformning

### 3.1. Odling av råvara

#### *Energibalans*

I Tabell 3.1 anges den genomsnittliga energibalansen för odling av spannmål för etanolproduktion i norra Europa. Idag förbrukas cirka 4,2 MWh primäre energi per hektar och år i form av drivmedel, tillverkning av gödselmedel, tillverkning och underhåll av maskiner osv. Spannmålsskörden beräknas i genomsnitt ligga kring 7,5 ton (15% vattenhalt) vilket i energitermer motsvarar ungefär 33 MWh, dvs energibalansen blir cirka 8. Om också halmen skördas ökar energiskörden till cirka 55 MWh per hektar och energiinsatsen till cirka 5,0 MWh, dvs energibalansen blir cirka 11. Som jämförelse beräknas energiinsatsen vid Brasiliansk sockerrörsodling ligga på ungefär samma nivå per hektar som europeisk spannmålsodling (cirka 4 MWh/ha) medan energiskörden uppgår till cirka 110 MWh, dvs energibalansen uppgår till drygt 25 (Egeskog och Gustafsson, 2007). Odling av energiskog (t ex Salix) i norra Europa för cellulosebaserad etanolproduktion avkastar cirka 50 MWh per hektar och kräver en energiinsats om cirka 2,5 MWh, vilket ger en energibalans om cirka 20 (Börjesson och Tufvesson, 2008).

I framtiden bedöms energiinsatsen vid spannmålsodling kunna minska något tack vare bränslesnålare traktorer, effektivare jordbearbetning, energieffektivare konstgödseltillverkning mm (se t ex Börjesson, 2007a; Jenssen and Kongshaug, 2003). Denna effektivisering drivs idag av allt högre diesel- och energipriser och en grov uppskattning är att energiinsatserna kan minska med cirka 20%. Detta medför en ökad energibalans från dagens cirka 8 till cirka 10 vid en oförändrad hektarskörd. Parallellt finns också en potential att öka spannmålsskörden, t ex genom att förädla fram mer anpassade vetesorter för drivmedelsproduktion (se t ex Börjesson, 2007a).



Tabell 3.1. Energibalans vid spannmålsodling<sup>1</sup>

Odlingssystem	Energiskörd <sup>2</sup>	Energiinsats <sup>3</sup>	Energibalans
	<i>MWh/ha och år</i>	<i>MWh/ha och år</i>	<i>Energiskörd / energiinsats</i>
Vete - kärna	33	4,2	8
Vete – kärna & halm	55	5,0	11

<sup>1</sup> Genomsnitt för norra Europa vilket motsvarar odling i södra Sverige (Börjesson och Tufvesson, 2008).

<sup>2</sup> Kärnskörd motsvarar 7,5 ton/ha (15% vattenhalt) och halmskörd 5 ton/ha (15% vattenhalt). Den genomsnittliga veteskörden bedöms variera med cirka +/- 35% mellan länderna i nordvästra Europa (Ericsson och Nilsson, 2005).

<sup>3</sup> Avser primärenergi inklusive direkta och indirekta externa energiinsatser.

### Växthusgaser

Utsläpp av växthusgaser vid odling utgörs av koldioxid från traktorer, gödselmedelstillverkning osv samt lustgas från tillverkning av kvävegödsel och från åkermarken. Oftast ger utsläppen av lustgas ett något större bidrag än utsläppen av koldioxid (se tabell 3.2), men det finns en stor osäkerhet i hur stora lustgasutsläpp som sker från åkermark och dessa kan variera stort utifrån lokala förutsättningar. Här beräknas utsläppen av lustgas från mark från IPCC:s senaste modell (IPCC, 2006). Det har också förekommit studier som använder egna beräkningsmetoder. Ett exempel som fick stort genomslag i media var en studie av nobelpristagaren Paul Crutzen m fl (2006) som hävdade att biodiesel från raps och etanol från vete och majs orsakade högre utsläpp av växthusgaser än diesel och bensin på höga lustgasutsläpp vid odling. Denna studie blev dock snabbt ifrågasatt av många markforskare som visade att Crutzen m fl använt felaktiga omvandlingstal för hur effektivt grödor tar upp kväve, hur mycket kväve som recirkulerar i marken och som finns tillgängligt för lustgasbildning osv. Dessa felaktiga antaganden berodde sannolikt på missuppfattningar och när dessa rättades till blev Crutzen's resultat ungefär lika som IPCC:s modell visar, dvs cirka en tredjedel så stora (se t ex Rauh, 2007; Ammann m fl, 2007).

Genom bränslesnålare traktorer, effektivare odling och tillverkning av gödselmedel, osv kan utsläppen av koldioxid minska något per ton biomassa, kanske upp till 20%. Om t ex biodiesel används i traktorer kan utsläppen av koldioxid från dessa minska med 50% eller mer, beroende på hur biodieseln är producerad (se t ex Börjesson och Tufvesson, 2008). Dessutom kan lustgasutsläpp minska vid tillverkning av kvävegödsel tack vare att katalytisk lustgasrening implementeras vilket börjar ske idag i västra Europa. På detta sätt minskar lustgasutsläppen med cirka 75% (Jenssen and Kongshaug, 2003). Genom effektivare kväveutnyttjande vid odling tack vare bättre gödslingsstrategier kan risken för lustgasbildning i marken minska.

En annan faktor som kan få stor betydelse för växthusgasbalansen är om odlingen medför en förändrad markanvändning som i sin tur leder till förluster av markkol. Om t ex halm skördas minskar inbindningen av markkol något (cirka 150 kg C/ha och år) och om spannmål börjar odlas på tidigare gräsmark ökar förlusterna av markkol ytterligare (cirka 500 kg C/ha och år) (Börjesson, 1999). I vissa speciella fall kan förlusterna av markkol kraftigt överstiga övriga utsläpp av växthusgaser, t ex om spannmål börjar odlas på torvmark som tidigare utnyttjats för vallodling. I dessa fall kan förlusterna av markkol uppgå till 7 ton C per hektar och år (se tabell 3.2). Förändringar av markens kolförråd i mineraljordar minskar dock över tiden och efter 30-50 år kan ett nytt jämviktsläge inställa sig. Hur lång tid utsläpp av koldioxid sker från torvmark beror bl a på torvlagrets mäktighet som i Sverige uppskattas till cirka 80 cm i genomsnitt för uppodlade torvjordar (Börjesson, 1999). Bortodlingen av torv bedöms uppgå till cirka 1 cm per år när ettåriga grödor odlas, d v s förlusterna av kol skulle i genomsnitt pågå i cirka 80 år. Av Sveriges totala åkermark utgörs 7-9% av uppodlad torvmark.

Under våren 2008 publicerades två amerikanska studier i den vetenskapliga tidsskriften Science som fick stort genomslag i media (Searchinger m fl, 2008; Fargione m fl, 2008). Deras resultat visade att det skulle ta mellan 20 till 400 år för biodrivmedel att bli klimatneutrala pga väldigt stora utsläpp av koldioxid från mark och naturskog i samband med ökad odling av energigrödor. Dessa studier antog således att all produktion av biodrivmedel kräver nyodling av jordbruksmark då all befintlig jordbruksmark behövs för livsmedelsproduktion. Den längsta "återbetalningstiden" gällde biodiesel från palmolja på tidigare regnskogsbevuxen torvmark i Indonesien och Malaysia och den kortaste etanol från sockerrör på tidigare trädbevuxen Cerrado i Brasilien (Fargione m fl, 2008). Förlusterna av koldioxid från tropisk torvmark uppskattades t ex till 15 ton C per hektar och år och pågå under 120 år (tropiska torvjordars mäktighet antogs vara 3 meter i genomsnitt). En ökad användning av majsetanol i USA beräknades ge en "återbetalningstid" på 167 år innan de ökade utsläppen av koldioxid från mark och naturlig växtlighet komprimerades av reduktionen när etanol ersatte bensin (Searchinger m fl, 2008). Utsläppen av koldioxid från mark (permanent gräsmark, skogsmark osv) och växtlighet (t ex skog) uppskattades till i genomsnitt 12 ton C per hektar och år, dvs marker med stora innehåll av bundet kol antogs bli uppodlade. Dessa beräkningar av Searchinger m fl baseras på en global modell över hur ökad produktion av majsetanol i USA påverkar behovet av nyodling både i USA och i andra delar av världen.

Odling av energiskog för cellulosebaserad etanol ger ett lägre utsläpp av växthusgaser per MWh biomassa. Om inte koldioxidutsläpp från förändrad markanvändning inkluderas beräknas utsläppen uppgå till cirka 35 kg koldioxidekvivalenter per MWh salixflis. Om odling sker på före detta spannmålsmark fås en ökad inbindning av markkol vilket reducerar utsläppen till knappt 10 kg per MWh biomassa (Börjesson och Tufvesson, 2008).

Tabell 3.2. Utsläpp av växthusgaser vid spannmålsodling, uttryckt som kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per MWh skördad spannmål.<sup>1</sup>

Odlingssystem	CO <sub>2</sub> -fossila bränslen <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> O-mark <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> O-N-gödsel-tillverkning <sup>4</sup>	Totalt	CO <sub>2</sub> -förändrad markanvänd. <sup>5</sup>	Totalt
Vete – kärna - odling på ”normal” åkermark	36	33	21 (6)	90	0	90
- odling på gräsbevuxen mineraljord				90	40	130
- odling på gräsbevuxen torvjord				90	750	840

<sup>1</sup> Genomsnitt för norra Europa vilket motsvarar odling i södra Sverige (Börjesson och Tufvesson, 2008).

Exklusive halmskörd.

<sup>2</sup> Utsläpp från traktorer, tillverkning av gödselmedel osv. Inklusive en mindre mängd metanutsläpp.

<sup>3</sup> Biogena emissioner från mark baserat på IPCC:s modell (IPCC, 2006).

<sup>4</sup> Baserat på Jenssen och Kongshaug (2003) och Davis och Haglund (1999). Värdet inom parentes avser utsläpp från tillverkning med katalytisk lustgasrening.

<sup>5</sup> Vid halmskörd antas inbindningen av markkol minska med 150 kg C/ha och år, och vid odling av ettåriga grödor på gräsbevuxen mineraljord och torvjord antas förlusterna av markkol uppgå till 500 kg respektive 7000 kg C/ha och år (Börjesson, 1999).

### 3.2. Transport av råvara och produkter

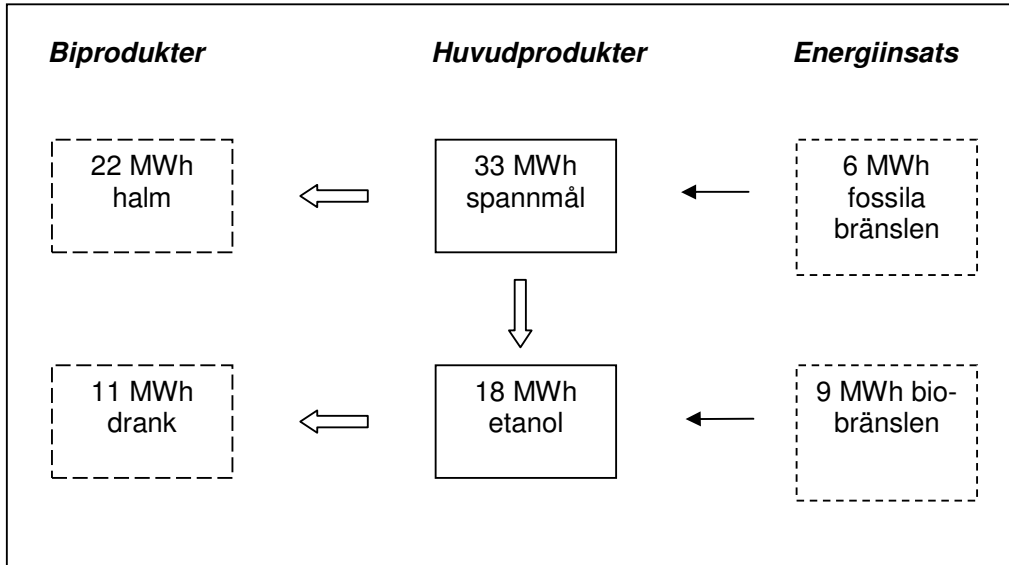
Transporter av råvara och produkter till och från etanolanläggningar utgör en mindre del av energiinsatsen vid etanolproduktion och bidrar därför också ganska marginellt till utsläppen av växthusgaser. Energiinsatsen för transport av spannmål och torkad drank som foder uppskattas motsvara cirka 5% respektive 3% av den totala energiinsatsen vid odling (Börjesson, 2007a). När halm skördas krävs en energiinsats för halmtransport som motsvarar cirka 15% av energiinsatsen vid odling. Utsläppen av växthusgaser ökar med knappt hälften så mycket eftersom utsläpp av växthusgaser från odling till drygt hälften består av lustgasutsläpp och knappt hälften av koldioxidutsläpp från energiinsatser av fossila bränslen (se tabell 3.2). Distribution av etanol bedöms i genomsnitt medföra en ännu lägre energiinsats och utsläpp av växthusgaser trots att transportavstånden normalt är längre. Orsaken är att etanol har en betydligt högre energitäthet än spannmål, drank och halm och kräver därför en betydligt lägre energiinsats per energienhet vid transport.

Som jämförelse bedöms energiinsatsen för båttransport av etanol från Brasilien till Europa ungefär motsvara den energiinsats som krävs vid sockerrörsodling och utgör då cirka 35% av den totala energiinsatsen vid sockerrörsbaserad etanolproduktion (Egeskog och Gustafsson, 2007).

### 3.3. Drift av etanolanläggning

#### *Energibalans*

Vid jäsnings av spannmål till etanol bedöms i genomsnitt cirka 55% av spannmålets energiinnehåll omvandlas till etanol, men beroende av processutformning kan denna utbytesnivå variera något (se t ex Börjesson, 2007b; Börjesson och Tufvesson, 2008). Insatsen av extern energi i etanolanläggningen i form av värme, ånga och el uppskattas motsvara i genomsnitt cirka 50% av etanolens energiinnehåll, när alla energiinsatser omräknats till primärenergi (dvs alla förluster i respektive bränslekedja har inkluderats). Även i detta fall finns en variation beroende på etanolanläggningens utformning (Börjesson, 2007b; Börjesson och Tufvesson, 2008). Från 2,3 kg (ts) spannmål fås en liter etanol samt 0,8 kg (ts) torkad drank. I Figur 3.1. sammanfattas energiflödena (MWh per hektar och år) vid tillverkningen av spannmålsbaserad etanol baserat på dagens produktionssystem (inklusive transporter).



Figur 3.1. Energiflöden i dagens produktionssystem för spannmålsbaserad etanol i Sverige (Börjesson, 2007b; Börjesson och Tufvesson, 2008).

Utbytet av etanol per hektar uppskattas till i genomsnitt cirka 18 MWh vilket dividerat med den totala energiinsatsen om cirka 15 MWh ger en energiinsats om cirka 1,2. Om dessutom drank och halm inkluderas blir energibalansen 1,9 respektive 3,3. Som jämförelse uppskattas energibalansen för brasiliansk sockerrörsetanol ligga kring 8 exklusive transport till Europa respektive cirka 4,5 inklusive transport (Egeskog och Gustafsson, 2007).

Vid jäsnings av vedråvara till etanol kan mellan 30-40% av vedens energiinnehåll omvandlas till etanol, beroende på vilken processteknik som antas (Börjesson och Tufvesson, 2008). I genomsnitt beräknas ett hektar energiskog kunna ge cirka 18 MWh etanol, dvs ungefär lika mycket som vid spannmålsbaserad etanolproduktion. Insatsen av extern energi (i genomsnitt cirka 13% av etanolens energiinnehåll men som kan variera en del) utgörs endast av el då behovet av värme och ånga tillgodoses internt av vedbiomassan. Förutom etanol fås dessutom en biprodukt i form av lignin som inte behövs för den interna energiproduktionen och som uppgår till cirka 16 MWh per hektar (Börjesson och Tufvesson, 2008). Energibalansen för etanol baserat på energiskog blir cirka 3,7 exklusive biprodukten lignin och knappt 7 inklusive denna biprodukt.

I framtida anläggningar kan olika slags energieffektiviseringar göras vilket leder till förbättrade energibalanser. Till exempel bedöms en mer anpassad integrering mellan ett kraftvärmeverk och en etanolanläggning kunna ge energibesparingar genom att mer optimala ångtryck utnyttjas för respektive processer och el-generering, bättre värmeväxling och återvinning av spillvärme samt integrering av torkningsprocesser etc. En försiktig bedömning att energiåtgången i en utvecklad etanolanläggning bör

kunna vara 15 % lägre jämfört med dagens (Börjesson, 2007a). Om lokala förutsättningar finns avseende tillgång på fjärrvärmesystem kan eventuellt spillvärme upp till kanske 20 % av etanolanläggningens energianvändning kunna utnyttjas som baslast i fjärrvärmesystem. En annan typ av effektivisering är att öka utbytet av etanol per kg spannmål genom förädling. Idag ligger ofta stärkelsehalten kring 70 % av torrsbstanshalten men med nya etanolvetesorter kan denna komma att öka upp mot 75 %, vilket kan öka utbytet av etanol från 55% upp till cirka 58% (Börjesson, 2007a). Samtidigt minskar utbytet av biprodukten drank något.

### *Växthusgaser*

Hur stora utsläpp av växthusgaser som sker från en etanolanläggning beror till största delen på vilket bränsle som används för att producera den värme, ånga och el som behövs vid tillverkningen av etanol. I t ex svensk och brasiliansk etanolproduktion används biobränslen vilket ger mycket låga utsläpp av växthusgaser, medan det i amerikanska och övriga europeiska etanolanläggningar ofta används fossila bränslen som naturgas och kol. I tabell 3.3. beskrivs hur stora utsläpp av växthusgaser som sker från en etanolanläggning beroende på om biobränslen, naturgas eller kol används. Som framgår av tabell 3.3 utgör utsläppen från etanolframställningen mindre än 10% av de totala utsläppen när biobränslen används i etanolanläggningen. När naturgas och kol används ökar denna andel till cirka 40% respektive knappt 60%. Förutom att välja biobränslen i stället för fossila bränslen vid etanolframställning kan även effektiviseringar leda till minskade utsläpp av växthusgaser, vilket diskuterats i föregående avsnitt.

Vid produktion av brasiliansk sockerrörsetanol används nästan uteslutande biprodukten bagasse som internt bränsle i etanolanläggningar för produktion av den el och värme som behövs. Detta innebär att livscykelutsläppen av växthusgaser från sockerrörsetanol huvudsakligen härrör från odling av sockerrör och transport av etanol med båt till Europa. Vid etanolproduktion från vedråvara används också biprodukter vid processen som internt bränsle, dvs denna framställning ger också marginella utsläpp av växthusgaser.

Tabell 3.3. Utsläpp av växthusgaser (kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per MWh etanol) från en spannmålsbaserad etanolanläggning beroende av vilket bränsle som används, samt totala utsläpp när även odling (och transport) inkluderas.<sup>1</sup>

Bränsle i etanolanläggning	Odling <sup>2</sup>	Etanolproduktion <sup>3</sup>	Totalt
Skogsflis	170	10	180
Naturgas	170	110	280
Kol	170	210	380

<sup>1</sup> Baserat på Börjesson och Tufvesson (2008).

<sup>2</sup> Exklusive halmskörd, biprodukten drank och eventuella förändringar av markkol, dvs alla utsläpp av växthusgaser belastar enbart etanolen (motsvarar 90 kg CO<sub>2</sub>-ekv. / MWh vetekärna enligt tabell 3.2, vilket inklusive transport ger knappt 170 kg CO<sub>2</sub>-ekv. / MWh etanol vid ett etanolutbyte om 55%).

<sup>3</sup> Behovet av el och värme tillgodoses via kraftvärmeproduktion från respektive bränsle.

### 3. Beräkningsmetodik för allokering till biprodukter

Förutom att produktionssystemets utformning har stor påverkan på etanolens energi- och miljöprestanda påverkar också val av beräkningsmetodik resultaten. Eftersom etanol från t ex spannmål och vedråvara genererar biprodukter måste dessa också beaktas vid beräkning av energibalans och utsläpp av växthusgaser för att få rättvisande resultat. I ISO-standarderna för livscykelanalys (ISO 14044) beskrivs olika beräkningsmetoder för att hantera situationer när ett produktionssystem genererar flera produkter (ISO. 2006). Dessa metoder är fysikalisk allokering, ekonomisk allokering och systemutvidgning vilka beskrivs i följande avsnitt.

#### 4.1. Fysikalisk och ekonomisk allokering

I Figur 3.1 beskrivs hur mycket etanol, drank och halm som ett hektar spannmål levererar i form av energi. I avsnitt 3.3 beskrivs också hur energibalansen förändras när energiinsatsen enbart belastar etanol, både etanol och drank, eller etanol, drank och halm. Detta är ett exempel på fysisk allokering, dvs energiinsatsen fördelas mellan de olika produkterna utifrån deras energiinnehåll. En fördel med att använda fysikalisk allokering är att denna är konstant över tiden, dvs energiinnehållet i produkterna ändras inte. En nackdel med fysikalisk allokering är att denna metod kan ge alltför ”fördelaktiga” resultat för huvudprodukten (t ex etanol) om stora kvantiteter biprodukter med betydligt lägre kvalitet (t ex halm) också fås. Som framgår av Figur 3.1 är mängden halm som fås i produktionssystemet

större än mängden etanol ur energisynpunkt, dvs vid fysikalisk allokering får halmen bära den största delen av den totala energiinsatsen och utsläppen av växthusgaser.

Ur ekonomisk synpunkt är värdet av etanol cirka 7 gånger högre än halm per energienhet utifrån dagens prisnivå, och priset på drank ligger där i mellan. För att få en mer rättvis allokering av energiinsats och utsläpp av växthusgaser mellan etanol, drank och halm kan därför denna baseras på produkternas ekonomiska värde i stället för fysikalisk allokering (så kallad ekonomisk allokering). En nackdel med ekonomisk allokering är dock att denna förändras över tiden eftersom priserna på de olika produkterna inte är konstanta. I fallet med etanol, drank och halm visar det sig dock att prisnivåerna för dessa tre produkter har följts åt relativt väl under de senaste åren vilket innebär att basen för ekonomisk allokering inte ändrats i någon större grad (Börjesson och Tufvesson, 2008).

I tabell 4.1 beskrivs hur energiinsats och utsläpp av växthusgaser belastar de olika produkterna vid spannmålsbaserad etanolproduktion beroende på om fysikalisk eller ekonomisk allokering tillämpas. Som framgår av tabellen blir t ex belastningen på etanol dubbelt så stor vid ekonomisk allokering än vid fysikalisk allokering när halm också inkluderas (70% respektive 36%). Om inte halm skördas utan bara drank fås som biprodukt blir motsvarande skillnad betydligt mindre (79% respektive 62%). I tidigare livscykelanalyser av biodrivmedel används ofta ekonomisk allokering före fysikalisk baserat på de argument som ges ovan. Vid beräkning av EU's så kallade "default-värden" för biodrivmedel föreslås dock att fysikalisk allokering ska användas, men för att "motverka" alltför positiva resultat för t ex spannmålsbaserad etanol tas inte biprodukter vid odling med (dvs halm vid etanolproduktion). Enligt ISO-standarden bör man använda båda allokeringmetoder vid tveksamheter och tydligt visa på hur val av allokeringmetod påverkar resultatet.

Allokering vid cellulosebaserad etanol ger också stora skillnader beroende av beräkningsmetod. Vid fysikalisk allokering blir belastningen på etanol 52% när biprodukten lignin antas vara förädlad till bränslepellets och om ekonomisk allokering tillämpas ökar belastningen på etanol till 77% (Börjesson och Tufvesson, 2008). Vid produktion av sockerrörsetanol är allokering aktuellt mellan etanol och överskott av el som inte behövs internt i processen. Etanolanläggningens behov av el och värme produceras internt av biprodukten bagasse.



Tabell 4.1. Fördelning av energiinsats och utsläpp av växthusgaser mellan spannmålsbaserad etanol och dess biprodukter vid fysikalisk respektive ekonomisk allokering.<sup>1</sup>

<b>Produktionssystem</b>	<b>Fysikalisk allokering<sup>2</sup></b> (%)	<b>Ekonomisk allokering<sup>3</sup></b> (%)
Etanol / drank (exkl. halmskörd)	62 / 38	79 / 21
Etanol / drank / halm (inkl. halmskörd)	36 / 22 / 42	70 / 18 / 12

<sup>1</sup> Baserat på Börjesson och Tufvesson, 2008.

<sup>2</sup> Baserat på produkternas energiinnehåll.

<sup>3</sup> Baserat på produkternas ekonomiska värde utifrån prisnivån 2007.

## 4.2. Systemutvidgning

Ett sätt att undvika allokering vid livscykelanalys är att utvidga systemgränserna genom att också inkludera de alternativa produkter som biprodukterna kommer att ersätta. På detta sätt räknas biprodukternas indirekta energi- och miljövinster med i den totala energi- och miljöanalysen och inga allokeringar behöver göras. I ISO-standarden för livscykelanalys (ISO 14044) förordas systemutvidgning före fysikalisk och ekonomisk allokering eftersom systemutvidgning bedöms ge de mest rättvisande resultaten. Flera livscykelanalyser av biodrivmedel använder också denna metod i sina analyser, t ex den europeiska så kallade well-to-wheel-studien som Concawe m fl tagit fram (Concawe m fl, 2007).

Det ställs dock två viktiga krav för att en systemutvidgning ska vara möjlig, dels att en alternativ produkt som biprodukten ersätter tydligt kan identifieras, dels att det finns tillförlitlig livscykeldata för denna alternativa produkt. Ofta kan inte båda dessa krav uppfyllas vilket leder till att allokering får tillämpas i stället. En annan begränsning med systemutvidgning är att marknaden för en biprodukt kan vara begränsad och när denna är mättad måste en ny typ av systemutvidgning (eller allokering) göras. Detta gäller dagens marknad för drank som proteinfoder vid mjölk- och köttproduktion som ersättning för importerat sojaprotein från Brasilien. I Sverige bedöms denna marknad motsvara en etanolproduktion från spannmål om cirka 2-3 TWh per år vilket ungefär motsvarar 5% av dagens bensinförbrukning (Börjesson, 2007b). I Concawe's weel-to-wheel-studie görs en liknande bedömning för hur stor marknaden för drank är i Europa (Concawe m fl, 2007). Vid produktion av biodiesel från raps fås också en biprodukt (rapsmjöl) som används som proteinfoder vid djurproduktion, dvs denna produktion måste också beaktas när marknaden för drank bedöms.

När det gäller systemutvidgning för biprodukten halm bedöms skogsflis vara det mest realistiska ersättningsbränslet i Sverige eftersom vi fortfarande har en outnyttjad potential för ökat skogsbränsleuttag (Börjesson och Tufvesson, 2008). I andra länder kan dock fossila bränslen som kol och naturgas vara de mest realistiska alternativa bränslena vilket innebär betydligt större vinster ur klimatsynpunkt. Det finns också en logik i att anta att framför allt skogsflis ersätts med halm i Sverige då vi använder skogsflis som bränsle i dagens etanolproduktion, men skulle lika gärna kunna använda halm från odlingen av etanolspannmål. Detta leder till en stor energivinst vid systemutvidgning då etanolprocessen kan utnyttja internt halmbränsle i stället för externt skogsbränsle.

När det gäller vedbaserad etanolproduktion antas ersättningsprodukten för biprodukten lignin framför allt utgöras av träpellets från färsk vedråvara eftersom användningen av torkade restprodukter som sågspån, hyvelspån, sågverksflis mm är i princip fullt utnyttjad idag (Börjesson och Tufvesson, 2008). Marknaden för pellets bedöms vara mycket stor, t ex i Europa, och inte vara begränsad på lång tid. Denna systemutvidgning innebär att energivinst motsvarande 20% av etanolens energiinnehåll fås samtidigt som utsläppen av växthusgaser minskar.

I tabell 4.2 beskrivs vilka indirekta vinster som fås när drank ersätter importerat sojaprotein som foder och halm ersätter skogsflis som bränsle. Kvaliteten på drank som proteinfoder bedöms vara något lägre jämfört med sojamjöl varför ett kg drank antas motsvara 0,75 kg sojamjöl och 0,25 kg foderspannmål (Börjesson och Tufvesson, 2008). Som framgår av tabellen medför ersättning av sojamjöl stora energi- och klimatvinster medan ersättning av skogsflis endast ger marginella klimatvinster men stora energivinster.

Tabell 4.2. Indirekta energi- och klimatvinster när drank och halm ersätter sojaprotein från Brasilien respektive skogsflis från Sverige.<sup>1</sup>

<b>Systemutvidgning</b>	<b>Energiinsats</b> (MWh per MWh etanol)	<b>Utsläpp av växthusgaser</b> <sup>3</sup> (kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per MWh etanol)
Drank ersätter sojamjöl <sup>2</sup>	- 0,30	- 120
Halm ersätter skogsflis <sup>3</sup>	- 0,50	- 6

<sup>1</sup> Baserat på Börjesson och Tufvesson (2008).

<sup>2</sup> 1 kg drank antas ersättas av 0,75 kg sojamjöl och 0,25 kg foderspannmål baserat på produkternas proteininnehåll. Livscykeldata för importerat sojamjöl baseras på Flysjö m fl (2008).

<sup>3</sup> Halm antas ersätta den skogsflis som används i etanolprocessen för generering av el, ånga och värme. Livscykeldata för skogsflis baseras på Börjesson och Berglund (2007).

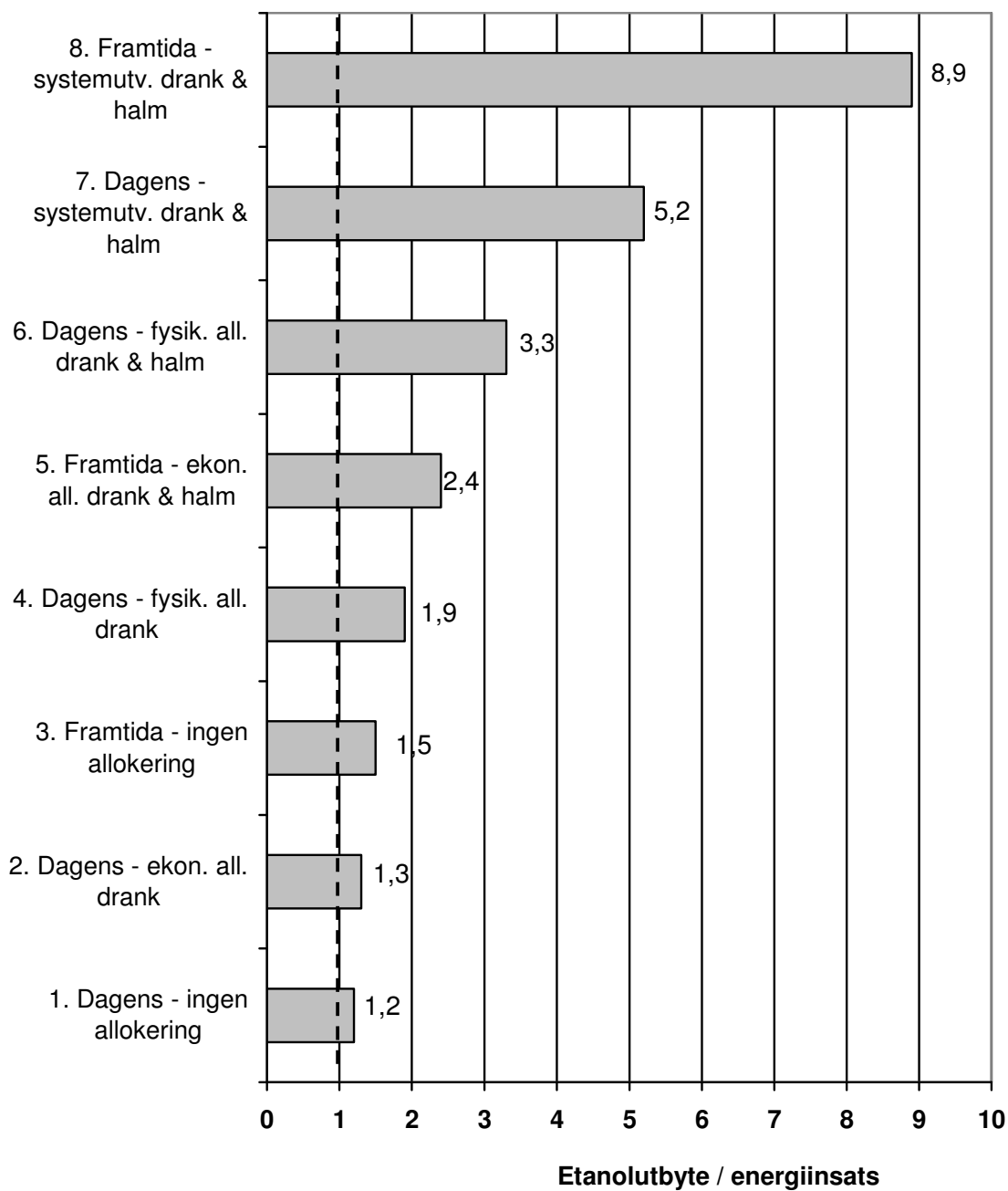
## 5 Sammanfattning av avgörande faktorer

I följande avsnitt beskrivs ett antal räkneexempel baserat på en sammanfattning av data som presenterats i föregående avsnitt och som illustrerar vilken betydelse olika faktorer har för etanolens energi- och miljöprestanda, dvs när ”fin-” eller ”fuletanol” produceras.

### *Energibalans*

I Figur 5.1 sammanfattas hur energibalansen blir för spannmålsbaserad etanolproduktion beroende på systemets utformning och beräkningsmetod för allokering till biprodukter. Energibalansen för dagens system är cirka 1,2 när ingen hänsyn till biprodukter görs (stapel 1), samt 1,3 och 1,9 vid ekonomisk respektive fysikalisk allokering till drank (stapel 2 och 4). Genom effektiviseringar i hela produktionskedjan bedöms energibalansen kunna öka från 1,2 till 1,5 när ingen hänsyn till biprodukter görs (stapel 3). I framtida system och när ekonomisk allokering görs till drank och halm blir energibalansen cirka 2,4 (stapel 5). I dagens system och när fysikalisk allokering görs till drank och halm blir motsvarande energibalans 3,3 (stapel 6). När halm tas tillvara som bränsle i etanolanläggningen och drank ersätter importerat sojamjöl (d v s systemutvidgning) blir energibalansen cirka 5,2 (stapel 7). När också framtida effektiviseringspotential inkluderas kan motsvarande energibalans öka till cirka 9 (stapel 8).

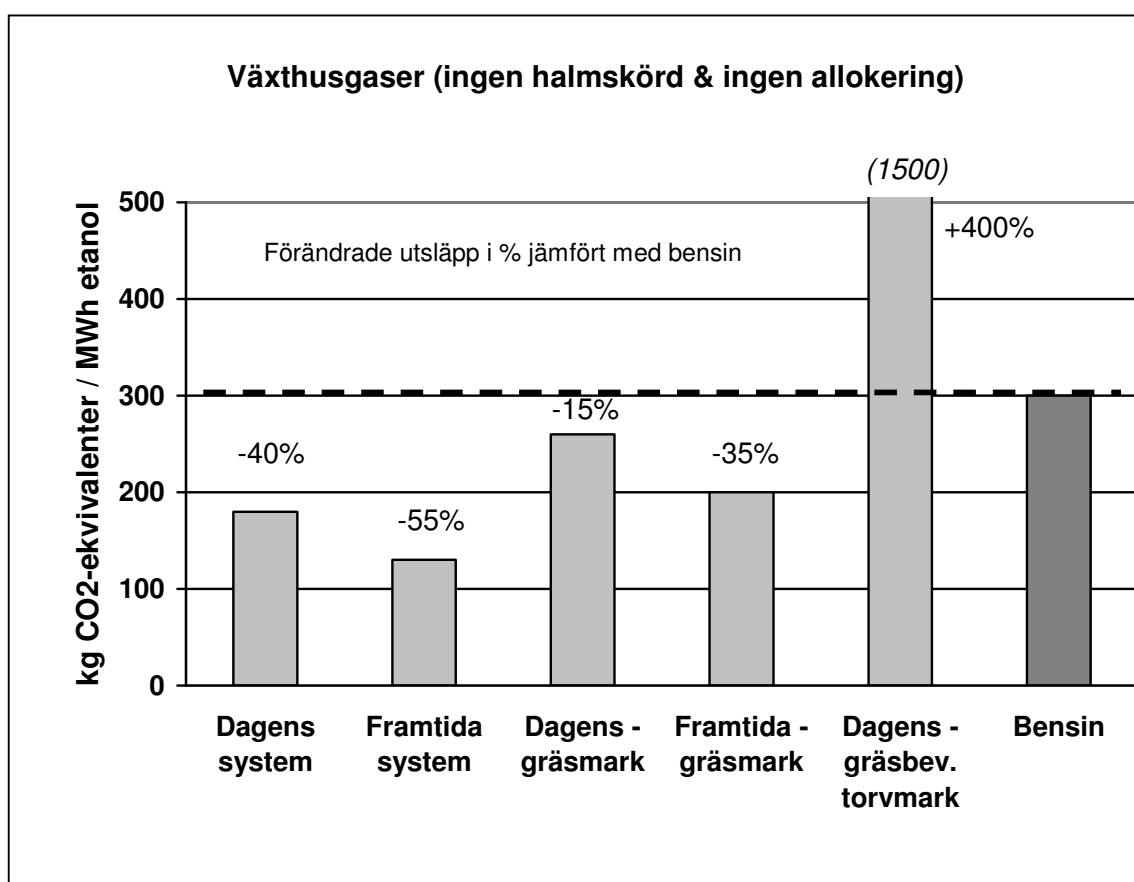
### Energibalans (olika system & beräkningsmetoder)



Figur 5.1. Energibalans för spannmålsbaserad etanolproduktion med hänsyn till olika system och beräkningsmetoder (se text för utförligare förklaring av respektive stapel) (bearbetad data från Börjesson, 2007a och Börjesson och Tufvesson, 2008).

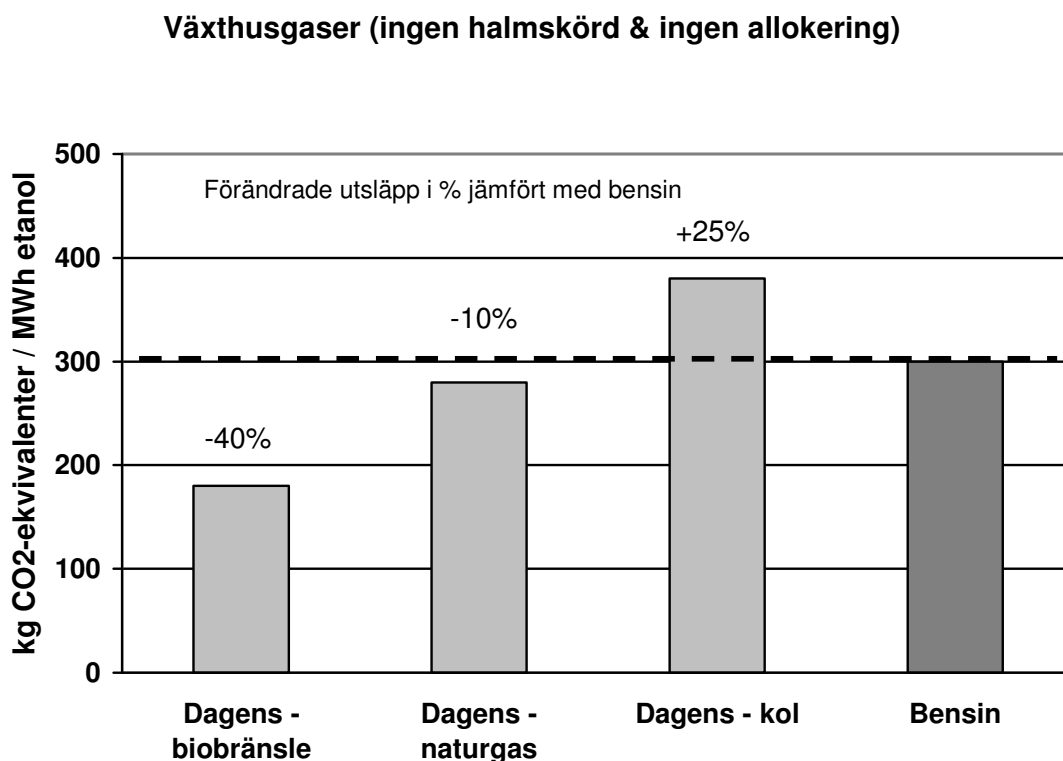
### Växthusgaser

I Figur 5.2 sammanfattas hur utsläppen av växthusgaser från spannmålsbaserad etanolproduktion varierar när hänsyn tas till förändrad markanvändning och framtida förbättringspotential. I figuren har ingen allokering till biprodukter gjorts utan alla utsläpp belastar endast etanolen och etanolanläggningen antas använda biobränsle. Genom energieffektivare odling, katalytisk lustgasrening vid kvävegödseltillverkning och bättre kväveutnyttjande vid odling bedöms utsläppen av växthusgaser kunna minska med cirka 25% jämfört med idag. Om odling av etanolspannmål börjar ske på åkermark som tidigare endast använts för vallodling kan utsläppen av växthusgaser komma att öka med 40-50%. Om gräsbevuxen torvmark börjar utnyttjas för odling av etanolspannmål ökar utsläppen av växthusgaser mycket kraftigt och blir 4-5 gånger högre jämfört med bensin.



Figur 5.2. Utsläpp av växthusgaser från spannmålsbaserad etanolproduktion med hänsyn till förbättringspotential och förändrad markanvändning samt i jämförelse med bensin. Observera att alla utsläpp belastar enbart etanolen, dvs halm skördas inte och ingen allokering till drank har gjorts. Etanolanläggningen antas använda biobränsle.

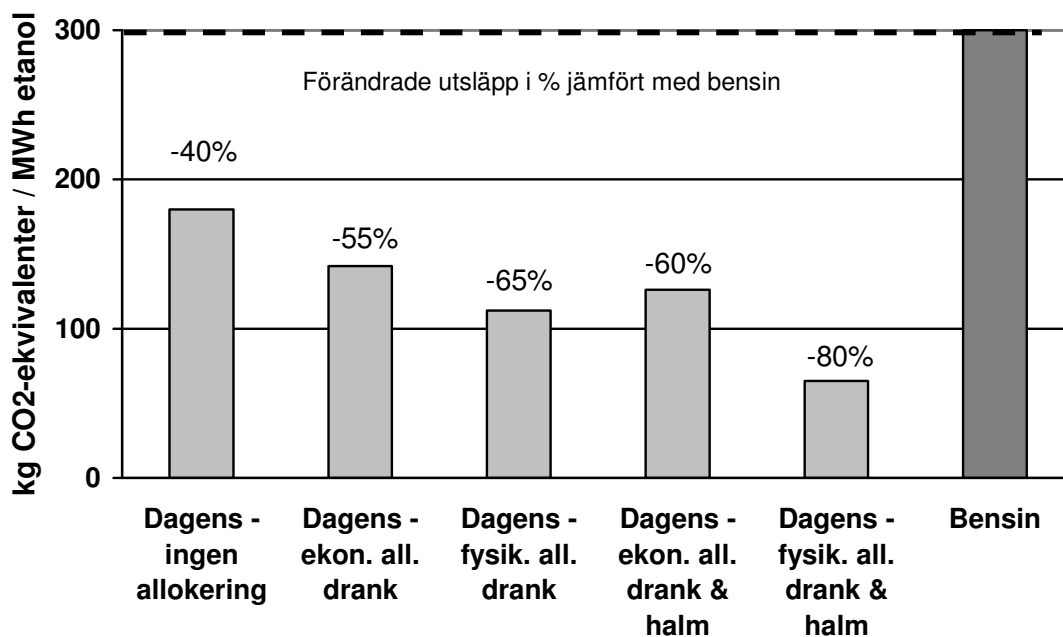
I Figur 5.3 beskrivs hur utsläppen påverkas av vilket bränsle som används i etanolanläggningen. I denna figur inkluderas inte biprodukter. När naturgas används i stället för skogsflis ökar utsläppen av växthusgaser med mellan 50-60% och om kol används fördubblas utsläppen. När ingen hänsyn till biprodukter görs innebär detta att utsläppen blir högre från etanol än från bensin.



Figur 5.3. Utsläpp av växthusgaser från spannmålsbaserad etanolproduktion med hänsyn till vilket bränsle som används i etanolanläggningen samt i jämförelse med bensin. Observera att alla utsläpp belastar enbart etanolen, dvs halm skördas inte och ingen allokering till drank har gjorts.

I Figur 5.4 beskrivs hur utsläppen av växthusgaser förändras när också biprodukterna drank och halm inkluderas och olika allokeringmetoder används. Störst reduktion fås när både halm och drank inkluderas och allokering baseras på produkternas energiinnehåll (fysikalisk allokering). I detta fall reduceras utsläppen med cirka 65% och om bara drank inkluderas blir reduktionen cirka 35%, jämfört med när ingen allokering görs. När allokeringen baseras på produkternas pris (ekonomisk allokering) blir motsvarande reduktion cirka 30% respektive 20%. Utsläppen av växthusgaser från etanolproduktion blir mellan 55% till 80% lägre jämfört med bensin i dessa fall.

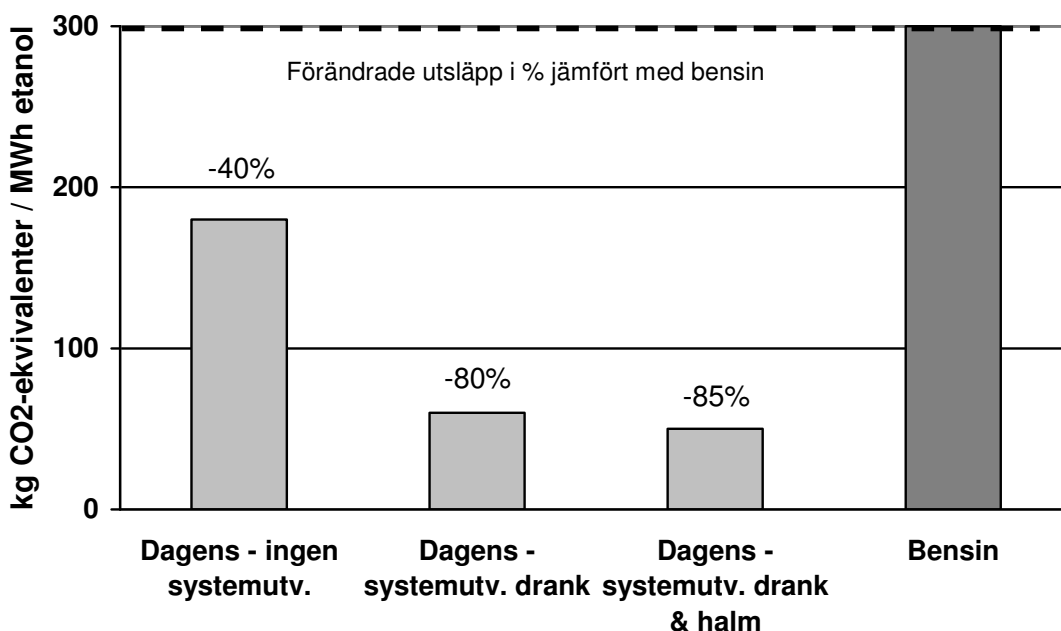
## Växthusgaser (inklusive allokering)



Figur 5.4. Utsläpp av växthusgaser från spannmålsbaserad etanolproduktion med hänsyn till allokeringmetod samt i jämförelse med bensin. Etanolanläggningen antas använda biobränsle.

I Figur 5.5 beskrivs hur utsläppen av växthusgaser förändras när så kallad systemutvidgning görs genom att drank antas ersätta importerat sojamjöl som proteinfoder och halm antas ersätta skogsflis som bränsle. Detta ger en kraftig reduktion av växthusgaser, cirka 65-70% jämfört med när ingen allokering görs, framför allt genom en stor indirekt klimatvinst när sojamjöl ersätts som proteinfoder. Klimatvinster blir dock marginell när halm antas ersätta skogsflis eftersom båda är biobränslen. Jämfört med bensin blir etanolens utsläpp av växthusgaser 80-85% lägre när systemutvidgning görs.

## Växthusgaser (inklusive systemutvidgning)



Figur 5.5. Utsläpp av växthusgaser från spannmålsbaserad etanolproduktion med hänsyn till systemutvidgning samt i jämförelse med bensin. Etanolanläggningen antas använda bibränsle.

I Figur 5.6. summeras betydelsen av alla de olika faktorer som presenterats i Figur 5.2-5.5 och som har betydelse för om man ska betrakta etanol som ”fin-” eller ”fuletanol”. Dagens etanolproduktion i Sverige kan sägas leda till en 80 %-ig reduktion av växthusgaser då bibränslen används vid etanolframställning och drank huvudsakligen ersätter importerat sojamjöl som proteinfoder (stapel 2). Det finns dock en förbättringspotential som tillsammans med halmskörd kan medföra ännu större klimatvinst jämfört med bensin (stapel 1). Som jämförelse bedöms dagens brasilianska sockerrörsetanol leda till en 85 %-ig reduktion när överskottsel från bagasse inkluderas via systemutvidgning (Concawe, 2007). Vid beräkningar av så kallade ”default-värden” för biodrivmedel inom EU’s drivmedelsdirektiv föreslås att fysikalisk allokering ska användas och att biprodukter från odling (t ex halm) inte inkluderas. Med detta beräkningssätt fås en 65 %-ig reduktion för dagens etanolproduktion i Sverige (stapel 3), vilket kan jämföras med nuvarande förslag inom EU om att biodrivmedel ska leda till minst 35% lägre utsläpp av växthusgaser än fossila drivmedel.

Om både halm och drank tas tillvara och ekonomisk allokering appliceras leder dagens produktion av spannmålsetanol till en 65 %-ig reduktion (stapel 4). I alla exempel ovan (stapel 1-4) antas att



spannmålsodling sker på åkermark där blandad växtodling sker. Om spannmålsodling börjar ske på åkermark där vall eller bete odlats under lång tid (flera decennier) skulle dagens produktionssystem för etanol leda till en 55 %-ig reduktion av växthusgaser (stapel 5) i stället för en 80 %-ig (stapel 2). Alla exempel ovan baseras också på antagandet att bibränslen används i etanolanläggningen men om detta bränsle ersätts med naturgas blir reduktionen 45 % (stapel 6) i stället för 80 % (stapel 2).

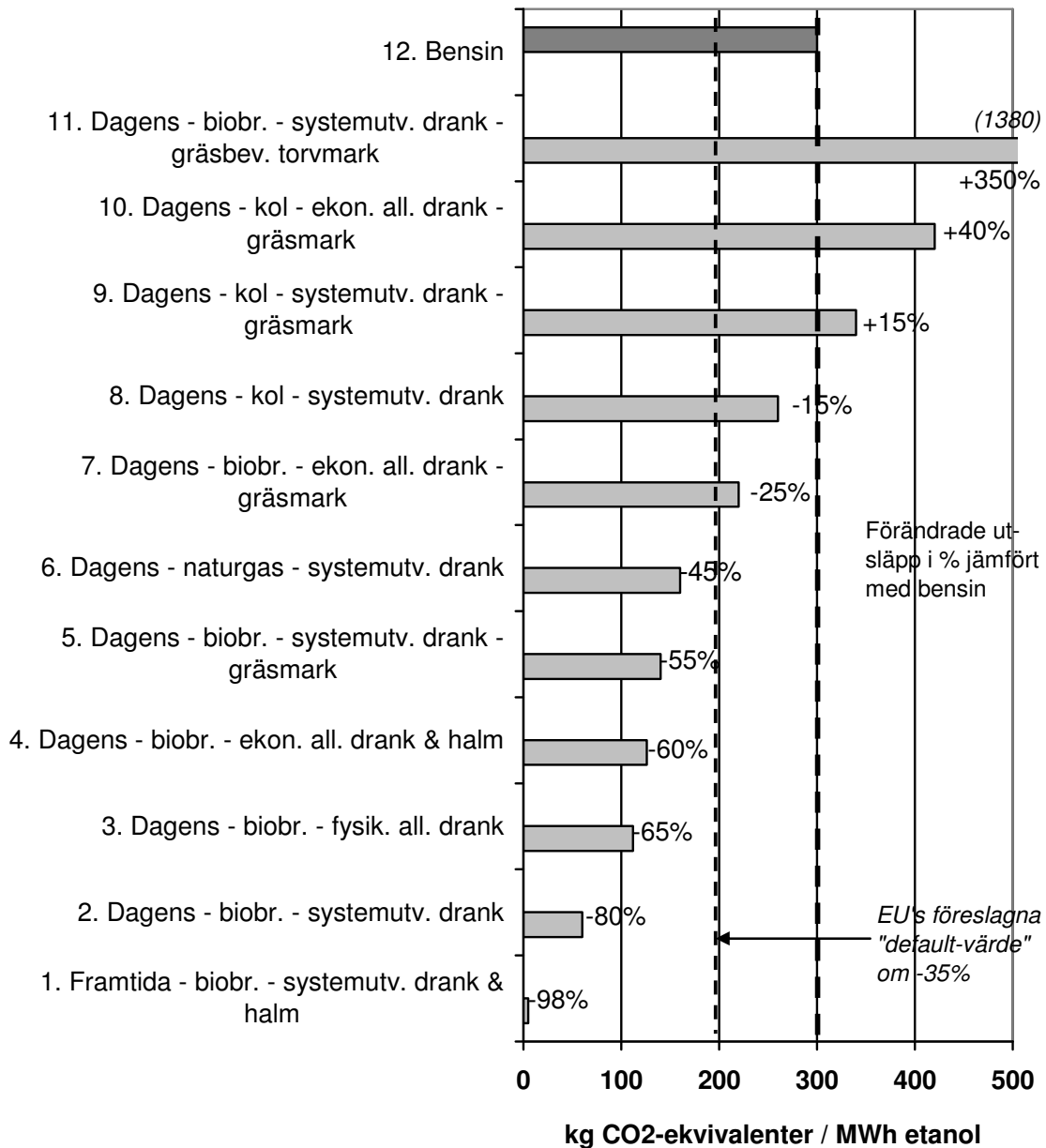
När ekonomisk allokering av drank appliceras i stället för systemutvidgning och odling av etanolspannmål sker på före detta gräsmark blir reduktionen av växthusgaser cirka 25 % jämfört med bensin (stapel 7). Om bibränslen ersätts med kol i etanolanläggningen och drank antas ersätta sojamjöl blir minskningen cirka 15% (stapel 8). Som jämförelse bedöms den genomsnittliga reduktionen av växthusgaser för amerikansk majsetanol ligga kring 20% jämfört med bensin idag och denna relativt begränsade klimatvinst beror till största del på att fossila bränslen som kol och till viss del naturgas används i USA's etanolanläggningar (Wang, 2007). Det finns dock en stor variation från drygt 50 % reduktion till ingen reduktion alls. Vid etanolproduktion från majs fås också en biprodukt som används som djurfoder och som i ovan nämnda studie inkluderas via systemutvidgning (Wang, 2007). I den europeiska well-to-wheel-studien av Concawe m fl (2007) bedöms spannmålsetanol leda till en 70 %-ig reduktion av växthusgaser jämfört med bensin när halm används som bränsle i etanolanläggningen. När naturgas används blir reduktionen 45 % och om brunkol används ökar utsläppen med cirka 10%. I Concawe-studien används också systemutvidgning för att inkludera biprodukter.

Enligt figur 5.6 bedöms etanolproduktion baserat på kol som bränsle och spannmålsodling på före detta gräsmark ge högre utsläpp av växthusgaser bensin, oberoende av hur biprodukter inkluderas (stapel 9 och 10). Om gräsbevuxen torvmark utnyttjas för odling av etanolspannmål leder denna etanolproduktion till 4-5 gånger högre utsläpp av växthusgaser än bensin (stapel 11). Som tidigare diskuterats i avsnitt 3.1 har Searchinger m fl (2008) och Fargione m fl (2008) visat via modellberäkningar att etanol leder till stora utsläpp av växthusgaser pga att dessa tränger undan annan odling (så kallad displacement) och att all biodrivmedelsproduktion leder till nyodling av mark. Den absolut största utsläppskällan av växthusgaser i dessa modellberäkningar är därför förluster av kol bundet i biomassa under och ovan mark. Dessutom utgår Searchinger m fl från att etanolproduktion från majs exklusive utsläpp från förändrad markanvändning enbart leder till en 20 %-ig reduktion baserat på dagens situation i USA (se referens till Wang, 2007). Det finns dock delade meningar om hur relevanta studierna av Searchinger och Fargione är i dagens situation då det inte finns klara bevis för att biodrivmedelsproduktion leder till förändrad markanvändning.

Biodrivmedelsproduktion kan också leda till ökad inbindning av markkol om denna produktion baseras på fleråriga grödor som t ex energigräs och energiskog som odlas på marginalmarker med lågt

kolinnehåll eller på åkermark där ettåriga grödor odlats. Etanolproduktion från energiskog bedöms t ex leda till en 75 %-ig reduktion av växthusgaser när ligninpellets inkluderas via ekonomisk allokering. Om dessutom kolinbindning i mark inkluderas när flerårig energiskog ersätter spannmål ökar reduktionen till mellan 90-95% (Börjesson och Tufvesson, 2008).

## Växthusgaser (olika system & beräkningsmetoder)



Figur 5.6. Utsläpp av växthusgaser från spannmålsbaserad etanolproduktion med hänsyn till olika system och beräkningsmetoder samt i jämförelse med bensin respektive EU's föreslagna "default-värde" för biodrivmedel. De olika exemplen kan ses som en illustration av skalan från "finetanol" till "fuletanol" (se text för utförligare förklaring av respektive stapel).

## 6 Slutsatser och diskussion

Hur klimateffektiv etanol är som drivmedel beror framför allt av fyra faktorer. Dessa är (i) effektiviteten vid odling och dess utsläpp av lustgas, (ii) vilket bränsle som används i etanolanläggningen, (iii) hur effektivt biprodukter tas tillvara och deras nytta krediteras samt (iv) vilken typ av mark som utnyttjas vid odling. Beroende av dessa fyra faktorer kan produktionssystem för etanol medföra alltifrån stora klimatvinster till ökade utsläpp av växthusgaser jämfört med bensin.

För att säkerställa att ”finetanol” produceras kan man därför ställa följande krav:

- etanolanläggningar ska drivas med bibränslen och inte med fossila bränslen
- man ska inte odla ettåriga etanolgrödor på ”kolrik” mark som normalt inte odlas eller där fleråriga grödor odlats under lång tid, t ex gräsbevuxen torvmark
- biprodukter ska tas tillvara på ett effektivt sätt så att deras energi- och klimatnytta maximeras (och man ska kreditera denna nytta genom systemutvidgning när så är möjligt, därefter bör ekonomisk allokering tillämpas före fysikalisk)
- lustgasutsläpp vid odling ska minimeras genom effektivare kväveutnyttjande och användning av kvävegödsel som tillverkats i anläggningar med lustgasrening

Idag kan svensk spannmålsetanol betraktas som finetanol eftersom flertalet av kraven ovan är uppfyllda vilket leder till en cirka 80 %-ig reduktion av växthusgaser jämfört med bensin. Förbättringar som kan göras är att bättre tillvarata halm och att minska utsläpp av lustgas, både vid odling och vid tillverkning av kvävegödselmedel, samt effektivisera hela produktionskedjan. Detta kan innebära att reduktionen blir över 90 % i framtiden. Å andra sidan kan utsläppen öka något i framtiden om etanolspannmål börjar odlas på vanlig mineraljord där gräs odlats under lång tid och när marknaden för drank som proteinfoder blir mättad och sojamjöl inte ersätts (vilket kan bli fallet när etanolproduktionen motsvarar cirka 5 % av dagens bensinanvändning som i sin tur innebär en 8-faldig ökning av dagens inhemska produktion). Vid minskad avsättning av drank som foder kan dock denna börja användas för produktion av biogas (som också kan ersätta bensin) med bra klimatnytta (se t ex Börjesson och Mattiasson, 2007).

Brasiliansk sockerrörsetanol kan också betraktas som finetanol idag eftersom flertalet av kraven ovan är uppfyllda. Reduktionen av växthusgaser uppskattas till cirka 85 % jämfört med bensin. Däremot kan en stor del av den amerikanska majsetanolen betraktas som fuletanol eftersom många etanolanläggningar använder kol som bränsle. Dessutom tas normalt inte majsblasten tillvara vid odling. I genomsnitt bedöms dagens amerikanska majsetanol leda till en 20 %-ig reduktion av växthusgaser jämfört med bensin. Om kol byts ut mot bibränslen, biprodukter bättre tas tillvara och lustgasutsläppen från majsodling reduceras kan även majsetanol komma att betraktas som finetanol i

framtiden. Svensk vedbaserad etanol bedöms kunna leda till en 75 till 95 %-ig reduktion av växthusgaser i framtiden beroende av systemutformning och beräkningssätt.

I EU's drivmedelsdirektiv föreslås att biodrivmedel ska leda till en minst 35 %-ig reduktion av växthusgaser (så kallat "default-värde"). Den beräkningsmetod som föreslås vid fördelning av utsläpp mellan etanol och biprodukter är fysikalisk allokering (dvs utifrån produkternas energiinnehåll), trots att denna metod ofta bedöms ge missvisande resultat när stora mängder biprodukter av lägre kvalitet fås (t ex halm). För att kompensera för denna brist väljer man därför att inte inkludera biprodukter från odling utan bara från tillverkningsprocessen av biodrivmedel. Med denna beräkningsmetod ger dagens svenska spannmålsbaserade etanol en växthusgasreduktion om cirka 65 %.

Den mest aktuella frågan idag bland miljösystemforskare som beräknar biodrivmedels klimatnytta är huruvida det är relevant att inkludera förändrad markanvändning eller ej, som i sin tur leder till koldioxidflöden markens kolförråd (och i eventuell vegetationen). Som diskuterats tidigare visar amerikanska studier baserat på ekonomiska modelleringar av den globala livsmedelsproduktionen att all biodrivmedelsproduktion leder till förändrad markanvändning och ökade utsläpp av växthusgaser jämfört med fossila drivmedel (se Searchinger m fl, 2008). Det finns dock många forskare som ifrågasätter denna förenklade bild och menar att det finns en stor outnyttjad potential inom befintlig odlingsareal för att öka produktionen av såväl mat som energi. På grund av ett mycket långvarigt livsmedelsöverskott (flera decennier) och Realt sjunkande priser på jordbruksprodukter har de ekonomiska drivkrafterna varit svaga för att fullt ut utnyttja all åkermark och utveckla jordbruksproduktionen. Dagens biodrivmedelsproduktion bedöms därför till allra största delen ske på redan odlad mark. Om förändringar av kolförråd i mark (och vegetation) inkluderas i livscykelanalyser av biodrivmedel bör man ställa krav på att man samtidigt redovisar data för att den aktuella biodrivmedelsproduktionen faktiskt leder till förändrad markanvändning.

Sammanfattningsvis kan man inte generellt säga om etanol är bra eller dåligt ur klimatsynpunkt då detta beror på de enskilda systemens utformning. Dessutom finns olika beräkningsmetoder som påverkar resultaten, d v s man ska ha ett kritiskt förhållningssätt till de livscykelanalyser som publiceras och som ibland får stort genomslag i media. Med dagens kunskap kan vi dock peka ut de viktigaste faktorerna för om etanolproduktion leder till en stor klimatnytta eller inte. Denna kunskap, tillsammans med kompletterande kunskap kring aspekter som påverkan på biologisk mångfald, arbetsmiljöförhållanden mm, är viktiga vid utformningen av t ex certifieringssystem för biodrivmedel så att vi kan ställa rätt krav och utveckla de bra systemen och samtidigt undvika de dåliga, d v s att vi gynnar utvecklingen av finetanol och motverkar produktion av fuletanol.

## 7 Referenser

- Ammann C, Sprig C, Fischer C, Leifeld J and Nefler A (2007). Interactive comment to P. Crutzen et al ... Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, Vol. 7, pp 4779-4781.
- Börjesson P. (1999). Environmental Effects of Energy Crop Cultivation in Sweden – Part I Identification and Quantification. Biomass and Bioenergy, Vol 16, pp 137-154.
- Börjesson P. (2007a). Energibalans för spannmålsetanol – Några räkneexempel. Miljö- och energisystem, Lund Universitet, Lund.
- Börjesson P. (2007b). Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. Bilagedel, Statens Offentliga Utredningar, SOU 2007:36, Stockholm.
- Börjesson P. and Berglund M. (2007). Environmental systems analysis of biogas systems – part II: Environmental impact of replacing various reference systems. Biomass and Bioenergy, Vol 31, pp 326-344.
- Börjesson P. and Mattiasson B. (2008). Biogas as a resource-efficient vehicle fuel. Trends in Biotechnology, Vol 26, pp 7-13.
- Börjesson P and Tufvesson L. (2008). Agricultural crop-based biofuels and green chemicals – resource efficiency and environmental performance. Manuscript – submitted to the Journal of Cleaner Production.
- Concawe, EUCAR & EC Joint Research Centre. (2007). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context (<http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>).
- Crutzen P, Moiser A, Smith K and Winiwarter W (2006). N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, Vol. 7, pp 11191-11205.
- Davis J, Haglund C. (1999). Life cycle inventory (LCI) of fertiliser production: Fertiliser products used in Sweden and Western Europe. SIK-report 654, The Swedish Institute for Food and Biotechnology. Göteborg, Sweden.
- Egeskog A, Gustafsson S. (2007). Socioeconomic and environmental effects from sugarcane expansion in to the Pontal do Paranapanema region (State of Sao Paulo, Brazil). Master thesis, Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Ericsson K, Nilsson L. (2006). Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. Biomass and Bioenergy, Vol. 30, pp. 1-15.
- Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P. (2008). Land clearing and the biofuel carbon debt. Science Vol 319, pp. 1235-1238.
- Flysjö A, Cederberg C, Strid I. (2008). LCA-databas för konventionella fodermedel. SIK-rapport 772, SIK, Göteborg.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea application. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Chapter 11. Agriculture, Forestry and Other Land Use.

ISO (International Standardization Organization). (2006). ISO 14044. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.

Jenssen T K, Kongshaug G. (2003). Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. The International Fertilizer Society. Proceedings No. 509. ISBN 0 85310 1450.

Rauh S (2007). Interactive comment to P. Crutzen et al ... Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, Vol. 7, pp 4616-4619.

Searchinger T, Heimlich R, Houghton R A, Dong F, Elobeid A, Fabiosa J, Tokgoz S, Hayes D, Yu T-H. (2008). Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. Science, Vol 319, pp 1238-1240.

Wang M, Wu M and Huo H (2007). Life-cycle energy and greenhouse gas emission impact of different corn ethanol plant types. Environmental Research Letters, Vol 2. ([www.iop.org](http://www.iop.org))

ISSN 1102-3651  
ISRN LUTFD2/TFEM--08/3056--SE + (1-26)  
ISBN 91-88360-90-3