



LUND UNIVERSITY

Energigrödor för biogasproduktion : Del 3, energi- och växthusgaseffektiviet

Björnsson, Lovisa

2013

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Björnsson, L. (2013). *Energigrödor för biogasproduktion : Del 3, energi- och växthusgaseffektiviet*. (ISRN LUTFD2/TFEM--13/3073--SE+(1-20); Vol. 82). Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

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

LOVISA BJÖRNSSON

ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION

DEL 3, ENERGI- OCH VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

SAMMANFATTNING AV ETT TVÄRVETENSKAPLIGT FORSKNINGSPROJEKT
VID LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA OCH SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET



LUNDS
UNIVERSITET

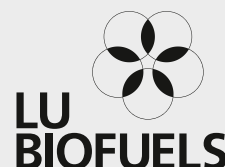
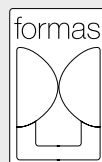
INNEHÅLL

CROPS 4 BIOGAS.....	3
BIOGAS FRÅN ENERGIGRÖDOR SOM DRIVMEDEL.....	4–5
ODLING AV ENERGIGRÖDORNA.....	6
BIOGASPRODUKTION.....	7
BERÄKNINGSMETODIK.....	8–10
ENERGIEFFEKTIVITET.....	11–13
VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET.....	14–19
BIOGASGRÖDOR OCH RESURSEFFEKTIVITET.....	20
RESULTATSAMMANFATTNING.....	21
SLUTSATSER FRÅN ETT TVÄRVETENSKAPLIGT FORSKNINGSPROJEKT.....	22
PUBLIKATIONER.....	23

Under 2008-2012 har nio forskare vid Lunds Tekniska Högskola och SLU Alnarp samarbetat i ett tvärvetenskapligt projekt kring hållbarhet i produktion av biogas från energigrödor. I projektet, som har fått kortnamnet Crops 4 Biogas, har ett antal aspekter på biogas och energigrödor studerats. Den övergripande målsättningen har varit att ta fram fakta om miljöeffekter och klimatnytta kopplat till ekonomiska bedömningar. Detta ska inspirera till att satsningar på energigrödor för biogasproduktion genomförs på ett långsiktigt hållbart sätt, vilket kan bidra till både en sund samhällsutveckling och jordbrukets utveckling.

I en rapportserie om tre delar presenteras en sammanfattning på svenska av fakta och resultat som tidigare presenterats som utfall inom projektet i form av de vetenskapliga publikationer som finns listade på sista sidan. I Del 1 presenteras valet av grödor, odling och markanvändningseffektivitet. I Del 2 presenteras en jämförelse av kostnadseffektivitet i jämförelse mellan olika grödor, samt hur olika typer av styrmedel påverkar kostnadsbilden. I denna rapport, Del 3, presenteras fakta om energieffektivitet och klimatnytta för kedjan från gröda till biogas som drivmedel.

Forskningsprojektet Crops 4 Biogas har finansierats av Formas (Projekt 229-2007-512: Resurseffektiv produktion av förnybara energibärande från energigrödor). Formas har också ihop med LU Biofuels finansierat informationsprojektet (Projekt 200-2012-2158) som lett till framtagandet av denna sammanfattning på svenska.



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK OCH SAMHÄLLE
MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM
RAPPORT NR 82, OKTOBER 2013

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--13/3073--SE + (1-20)
ISBN 978-91-86961-08-4

© LOVISA BJÖRNSSON 2013
FORMGIVNING, AB NORMAL
OMSLAGSBILD, THINKSTOCK

CROPS 4 BIOGAS

Projektet Crops 4 Biogas är ett samarbete mellan avdelningarna Miljö- och Energisystem och Bioteknik vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) samt Agrosystem (som 2013 bytt namn till Biosystem och teknologi) vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Alnarp. Detta tvärvetenskapliga projekt är unikt på så sätt att hela systemet från odling till teknik för framställning av biogas som drivmedel studeras och jämförs för flera grödor. Syftet är att ta fram underlag som visar hur olika grödor faller ut vad gäller;

1

AREALEFFEKTIVITET

utvärderad som energi som kan utvinnas
i form av biogas per hektar

2

ENERGIEFFEKTIVITET

utvärderad som utvunnen energi i
form av biogas per insatt energienhet

3

KOSTNADSEFFEKTIVITET

utvärderad som kr per utvunnen
energi i form av biogas

4

VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

utvärderad som växthusgasemissioner per
hektar och per energi i form av biogas

I denna rapport sammanfattas fakta om energiinsatser och växthusgasemissioner för produktion av biogas från grödor. Energi- och växthusgaseffektivitet för de studerade grödorna utvärderas och jämförs. Dessutom beskrivs vilka förutsättningar biogas från energigrödor har att uppfylla EUs förnybarhetsdirektiv. Slutligen sammanfattas och repeteras resultaten för energi- och växthusgaseffektivitet tillsammans med resultat från de övriga delarna av projektet.



FOTO CROPS 4 BIOGAS

Vi som har arbetat med projektet är (från vänster till höger): Thomas Prade (postdoc SLU), Lovisa Björnsson (projektledare, professor LTH), Charlott Gissén (doktorand SLU), Sven-Erik Svensson (universitetsadjunkt SLU) Jan Erik Mattsson (forskare SLU), Pål Börjesson (professor LTH), Emma Kreuger (postdoc LTH), Mikael Lantz (postdoc LTH). Dessutom har Håkan Rosenqvist (lantbruksekonom) deltagit.



BIOGAS FRÅN ENERGIGRÖDOR SOM DRIVMEDEL

Andelen förnybara drivmedel i transportsektorn inom EU27 låg i snitt på 4,7 % 2012, och de biodrivmedel som dominerar är biodiesel (79 %) och bioetanol (20 %).^{1,2} Biogas står endast för 0,5 % av den totala biodrivmedelsanvändningen inom EU, och att använda biogas i denna tillämpning är ett nästan uteslutande svenskt fenomen. I Sverige producerade vi år 2012 nära 1 600 GWh biogas. Utav detta uppgraderades 53 %, och majoriteten av den uppgraderade gasen användes som drivmedel, motsvarande 1 % av den totala inhemska drivmedelsanvändningen i transportsektorn.³

Den dominerande biogasråvaran för den svenska biogasproduktionen är olika typer av avfall och restprodukter från hushåll, lantbruk och industri. Endast ett par procent av den svenska biogasproduktionen är idag baserad på grödor. En utveckling mot en mer omfattande användning av energigrödor för biogasproduktion har dock tagit sin början inom EU. I Tyskland odlades 2011 biogasgrödor på 7 % av åkerarealen.⁴ EUs förnybarhetsdirektiv (renewable energy directive, RED) har utformats med mål om minskade växthusgasemissioner, säkrad energitillgång och regional utveckling. Idag har diskussionen i ökande utsträckning kommit att även inkludera valen mellan energi- och klimatmål och konsekvenser vad gäller aspekter som t ex social hållbarhet, matpriser och biodiversitet.⁵ Ansträngningar för att minska markanvändningskonflikter mellan livsmedel, foder och energiråvara har lett till debatten om iLUC, indirect land use change, eller indirekt förändrad markanvändning. Teorin bakom iLUC är att en ökad produktion av biodrivmedel baserat på grödor från åkermark leder till undanträngning av en gröda som i sin tur odlas på tidigare obrukad mark.⁶ Diskussionen om iLUC har lett till ett förslag från EU-kommissionen 2012, varav delar antogs i september 2013. Med hänvisning till negativ påverkan på livsmedelsförsörjning och markanvändning beslutades att maximalt 6 % av den nationella biodrivmedelsförsörjningen får vara baserad på livsmedelsgrödor.⁶

I skenet av detta blir det ännu viktigare att ta fram gedigna bakgrundsfakta kring olika drivmedel från grödor. Det är också viktigt med uppdaterade och förfinade livscykelanalyser och diskussioner om hållbarhetsaspekter ur olika perspektiv. En aspekt som skiljer biogas baserad på energigrödor från andra åkerbaserade biodrivmedel vi använder idag (t ex biodiesel från rapsolja och spannmålsetanol) är att man kan använda hela grödan. Detta gör att man kan få höga utbyten av drivmedel per hektar.⁷ Man kan också använda en stor variation av grödor, och integrera biogasprocessen i ett kretslopp där man tar hänsyn till återföring av näringsämnen och humusbildande ämnen till åkermark. Detta gör det mer komplext att utvärdera kedjan från energigröda till biogas i tillämpningen som drivmedel, och ökar behovet av tvärvetenskapliga utvärderingar.

1 EUROBSERVER. 2012. BIOFUELS BAROMETER.

2 EUROSTAT. [HTTP://EPP.EUROSTAT.EC.EUROPA](http://epp.eurostat.ec.europa.eu). EU SHARE OF RENEWABLE ENERGY IN FUEL CONSUMPTION OF TRANSPORT. DATA FRÅN FEBRUARI 2013. HÄMTADE 30 SEPTEMBER 2013.

3 ENERGI MYNDIGHETEN. 2013. PRODUKTION OCH ANVÄNDNING AV BIOGAS 2012.

4 BIOENERGY IN GERMANY. FACTS AND FIGURES. 2012. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, FEDERAL MINISTRY OF FOOD, AGRICULTURE AND CONSUMER PROTECTION, GERMANY.

5 PÅL BÖRJESSON, JOAKIM LUNDGREN, SERINA AHLGREN & INGRID NYSTRÖM. 2013. DAGENS OCH FRAMTIDENS HÅLLBARA BIODRIVMEDEL. UNDERLAGSRAPPORT FRÅN F3 TILL UTREDNINGEN OM FOSSILFRI FORDONSTRAFIK. RAPPORT F3 2013:13.

6 2012/0288(COD) – 11/09/2013. TEXT ADOPTED BY PARLIAMENT

7 PÅL BÖRJESSON, LINDA TUFVÉSSON & MIKAEL LANTZ. 2010. LIVSCYKELANALYS AV SVENSKA BIODRIVMEDEL. MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM, LUNDS UNIVERSITET. RAPPORT NR 70.

ODLING AV ENERGIGRÖDORNA

Urvalet av grödor som studerats i projektet har baserats på ett långliggande odlingsförsök med energigrödor vid SLU Alnarp som etablerades 2006. Grödorna har där valts ut för att ge en långsiktigt hållbar växtföljd som även skulle kunna minimera insatsen av mineralgödsel, jordbearbetning och pesticidanvändning. I projektet Crops 4 Biogas utvärderas dock varje gröda var för sig och inte som del i en växtföljd. De sex grödorna i den sjuåriga växtföljden är industrihampa (skörd september-oktober), beta (skörd av både beta och blast), majs (helplanta), rågvetete (helplanta i tidig degmognad), gräs/klövervall (ligger i två år, skörd juni och augusti) och höstvetete (kärnskörd vid full mognad).

För produktion av energigrödorna undersöks två gödslingsstrategier; en baserad enbart på mineralgödsetillförsel för kväve (N), fosfor (P) och kalium(K), vilket betecknas NPK-scenariot, den andra baserat på en grundgödsling med biogödsel med komplettering av NPK, betecknad BIO+NPK.

Den biogödsel som används i odling av energigrödorna i BIO+NPK-scenarierna är rötresten från en biogasprocess som behandlar huvudsakligen avfall från hushåll och industrier. Denna rötrest har tillförts till en maxgiva på 22 kg P per hektar. En uppgödsling görs sedan med mineralgödsel specifikt efter varje grödas behov. Den rötrest som används vid odling av energigrödorna ska skiljas från den rötrest som produceras vid rötning av energigrödorna. Den rötrest som härrör från biogasproduktion från avfall och som används i odling av alla energigrödorna i BIO+NPK-scenarierna kallas hädanefter den avfallsbaserade rötresten. Den rötrest som är en biprodukt vid biogasproduktion från grödorna, och som förekommer i olika mängd och med olika sammansättning för varje gröda, kallas den gröd-specifika rötresten.

Energigrödorna gav samma avkastning och uppvisade samma egenskaper (halt av näringsämnen och bionedbrytbarhet) oavsett gödslingsstrategi. Grödorna har beräknats lagras enslierade i plansilo (med undantag för vetekärna som torkats och lagrats i silo). Utvärderingen har gjorts vid odlingsförhållanden och avkastningsnivåer som gäller medelgoda jordar vid normal odlingskicklighet och odlingsintensitet för produktionsområde Götalands södra slättbygder.

Mer information om odling av energigrödorna finns i artiklarna förtecknade längst bak, samt i Del 1 i serien av sammanfattningar på svenska.⁸

BIOGASPRODUKTION

Den biogasprocess som använts i beräkningarna är av typen omrörd tank. Grödor, liksom andra typer av biogasråvaror, har ett antal egenskaper av betydelse för hur biogasprocessen ska utformas och drivas. De egenskaper som utvärderats är nedbrytbarhet, halt av torrsbstans och halt av näringsämnen. Dessa egenskaper hos grödorna har bestämts genom analyser på prover från odlingsförsöken vid SLU Alnarp, och har styrt hur själva biogasprocessen utformats för varje gröda.

En av förutsättningarna i detta forskningsprojekt var att den producerade biogasen skulle avsättas som fordonsbränsle. För denna tillämpning måste biogasen uppgraderas, vilket innebär att koldioxid och olika föroreningar tas bort. Inom projektet har visats att uppgraderingskostnaden per kWh biogas, oberoende av vald teknik, planar ut vid en installerad kapacitet på cirka 1 000 m³ rågas (icke renad biogas) per timme, vilket motsvarar en årsproduktion av biogas på 45–50 GWh. Detta faktum fick styra valet av anläggningsstorlek, och beräkningar på biogasproduktion är för alla grödor baserad på en anläggning med årsproduktion av 48 GWh uppgraderad biogas per år, och med uppgradering och komprimering av den producerade biogasen för avsättning som fordonsbränsle. Beräkningarna för gasuppgradering baseras på en kemisk skrubber. Tekniken valdes dels baserat på det låga metanläckaget jämfört med övriga tekniker och dels eftersom huvuddelen av energibehovet tillgodoses av värme, vilket ger ett relativt lågt behov av elektricitet.

Mängd och sammansättning av gröd-specifik rötrest beräknades baserat på analyser av grödornas respektive egenskaper. Täckta lagringstankar med kapacitet för 12 månaders produktion inkluderades.

Mer information om biogasproduktionen finns i artiklarna förtecknade längst bak, samt i Del 2 av serien av sammanfattningar på svenska.⁹

⁹ LOVISA BJÖRNSSON & MIKAEL LANTZ 2013. ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION. DEL 2, KOSTNADSEFFEKTIVITET OCH STYRMEDEL, MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM, LUNDS UNIVERSITET, RAPPORT NR 81.

BERÄKNINGSMETODIK

Utvärderingen som genomförs är en så kallad vagga-till-grind-analys, från odling av energigrödan till biogasproduktion, uppgradering och komprimering. Metoden som använts i beräkningarna är livscykelanalys (LCA) baserat på standarden ISO 14044.¹⁰ De utsläpp och resursflöden som analysen baseras på finns redovisade i de underliggande artiklar som förtecknas på sista sidan. Detta är alltså dels insatser och emissioner kopplade till energi- eller materialanvändning. Emissionerna innefattar också utsläpp av växthusgaserna metan och lustgas, samt koldioxid som inte är en emission vid energianvändning utan frisätts eller tags upp vid markkolsförändringar. Den så kallade funktionella enheten, det som i analysen ska utgöra ett mått på det man önskar studera, är 1 kWh uppgraderad och komprimerad biogas vid biogasanläggning. De utfall som redovisas i analysen är energieffektivitet, som utvärderas som utvunnen energi i form av biogas per insatt primärenergienhet, samt växthusgaseffektivitet. För växthusgasemissioner räknas alla utsläpp om till klimatpåverkan som koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv) ur ett hundraårsperspektiv.¹¹ För beräkning av de markkolsförändringar som blir effekten av direkt förändrad markanvändning (dLUC) används projektspecifika data, resultat från lokala långliggande odlingsförsök samt en markkolsmodell framtagen inom SLU.¹² Kolinlagring omräknat till CO₂-ekv visas som en undviken emission för de scenarier där tillförseln av stabilt markkol är högre än vad som krävs för att bibehålla nuvarande markkolhalt, och omvänt som en emission där markkollstillförseln ger en förlust av stabilt markkol.

SYSTEMGRÄNSER

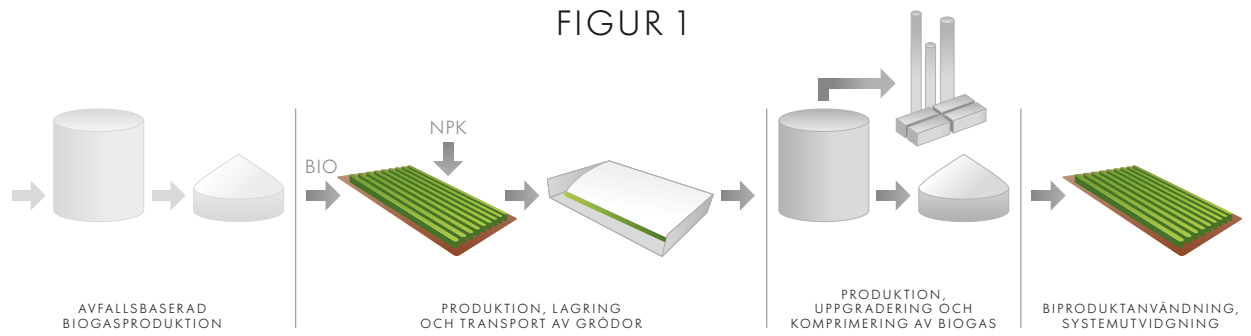
Utvärderingen innehåller två system för varje energigröda, vilket illustreras i Figur 1. I scenariot BIO+NPK ingår emissioner från transport och spridning då den avfallsbaserade rötresten används i produktion av energigrödorna. Denna biogödsling tillför samtidigt markkol, och ger ett lägre behov av mineralgödsel (NPK). I scenariot NPK används endast mineralgödsel vid produktion av energigrödan. Emissioner och energianvändning i produktionen av biogas, som även inkluderar emissioner från lagring av den gröd-specifika rötresten, är desamma för båda scenarierna. Den gröd-specifika rötrest som produceras vid biogasproduktion från energigrödan är en biprodukt vid tillverkningen. Denna inkluderas i analysen i NPK-scenariot genom så kallad systemutvidgning, vilket är den metod för inkludering av biprodukter som förordas i ISO-standarderna.¹⁰ Den gröd-specifika rötresten antas ersätta mineralgödsel, vilket ger minskad energianvändning och emissioner, men även ökade emissioner vid transport och spridning. Den bidrar också till en markkolsuppbyggnad som är kopplad till mängden kol i respektive rötrest.

¹⁰ INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, ISO. 2006. SS-EN ISO 14044. ENVIRONMENTAL MANAGEMENT – LIFE CYCLE ASSESSMENT – REQUIREMENTS AND GUIDELINES.

¹¹ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. 2006. GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES.

¹² OLOF ANDRÉN & THOMAS KÄTTERER. 1997. ICBM: THE INTRODUCTORY CARBON BALANCE MODEL FOR EXPLORATION OF SOIL CARBON BALANCES. ECOLOGICAL APPLICATIONS, 1997. 7(4): 1226-1236.

FIGUR 1



BERÄKNINGSMETODIK

EUS HÅLLBARHETSKRITERIER

En alternativ beräkningsmetod används också för beräkning av växthusgasemissioner, den förenklade beräkningsmetod för växthusgasemissioner som standardiseras i EUs förnybarhetsdirektiv (RED).¹³ Biogas som drivmedel är befriat från koldioxid- och energiskatt förutsatt att EUs hållbarhetskriterier för biodrivmedel uppfylls, och ett av kriterierna är kopplat till minskade emissioner jämfört med fossila drivmedel baserat på denna beräkningsmetodik. Referensen är då livcykelemmissionerna baserat på dagens utvinning av fossila drivmedel (bensin och diesel) som ligger kring 300 g CO₂-ekv/kWh.

Skillnaderna mellan RED-baserad analys och analys enligt ISO-standard som får stor betydelse i detta arbete är att:

- om produktionen sker på befintlig åkermark ska inte direkta markanvändningsförändringar (dLUC) medräknas. Det betyder att markkolsförändringar som beror på skillnader i koltillförsel mellan grödor inte ska inkluderas. Inlagring av kol genom förbättrade jordbruksmetoder (här biogödsling istället för mineralgödsling) kan dock inkluderas.
- biprodukter inkluderas baserat på lägre värmevärde. En biprodukt som rötrest exkluderas då helt från beräkningarna. Det betyder att ingen hänsyn tas till de emissioner (både metan och lustgasemissioner kan ske här) som är kopplade till lagring av rötresten. Inte heller kan nyttan av att skapa ett kretslopp för rötresten, när den ses som en biprodukt till drivmedelsproduktionen, tillgodoräknas.

13 DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL ON THE PROMOTION OF THE USE OF ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES.



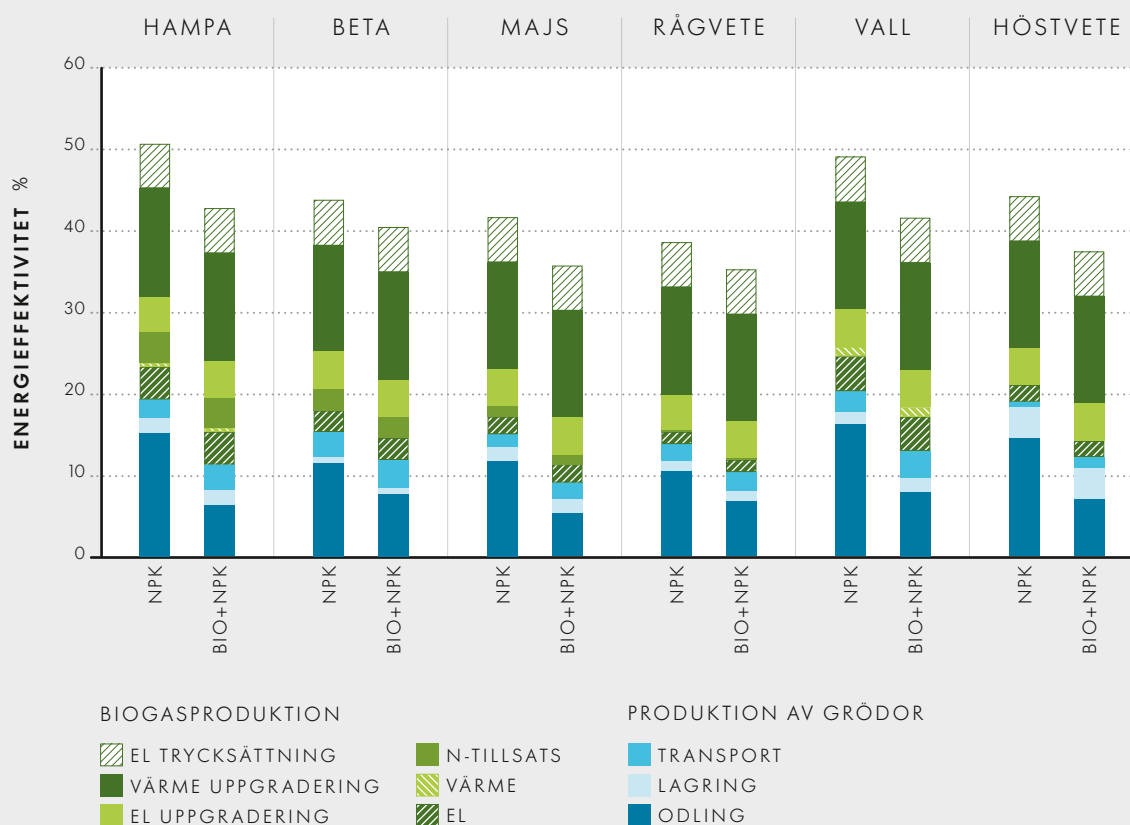
ENERGIEFFEKTIVITET

Insatt primärenergi som procent av energi i uppgraderad och komprimerad biogas, och uppdelat på bidrag från de olika delarna av produktion av grödor och biogasproduktion, visas i Figur 2. Energiinsatsen i biogasproduktionen är identisk för de två gödslings scenarierna. Den största energiinsatsen är kopplad till uppgradering och komprimering av biogasen, i medeltal 59 % av insatt primärenergi. Observera att insatsen av värme i uppgradering dock är mycket hög eftersom en uppgraderingsmetod med högt värmebehov (kemisk skrubber) har valts. Spillvärme från uppgraderingen täcker dock värmebehovet i själva biogasprocessen utom för hampa och vall.

Energiinsatsen i odlingsledet bidrar också betydligt i NPK-scenarierna. I de fall då avfallsbaserad rötrest används för gödning av grödorna (BIO+NPK) blir energiinsatsen i odling betydligt lägre. Energiinsatsen i transport och spridning ökar samtidigt något på grund av tillkommande rötresttransport.

FIGUR 2, ENERGIEFFEKTIVITET

Insatt primärenergi i produktion av grödor och biogasproduktion som andel av energi i uppgraderad och komprimerad biogas.

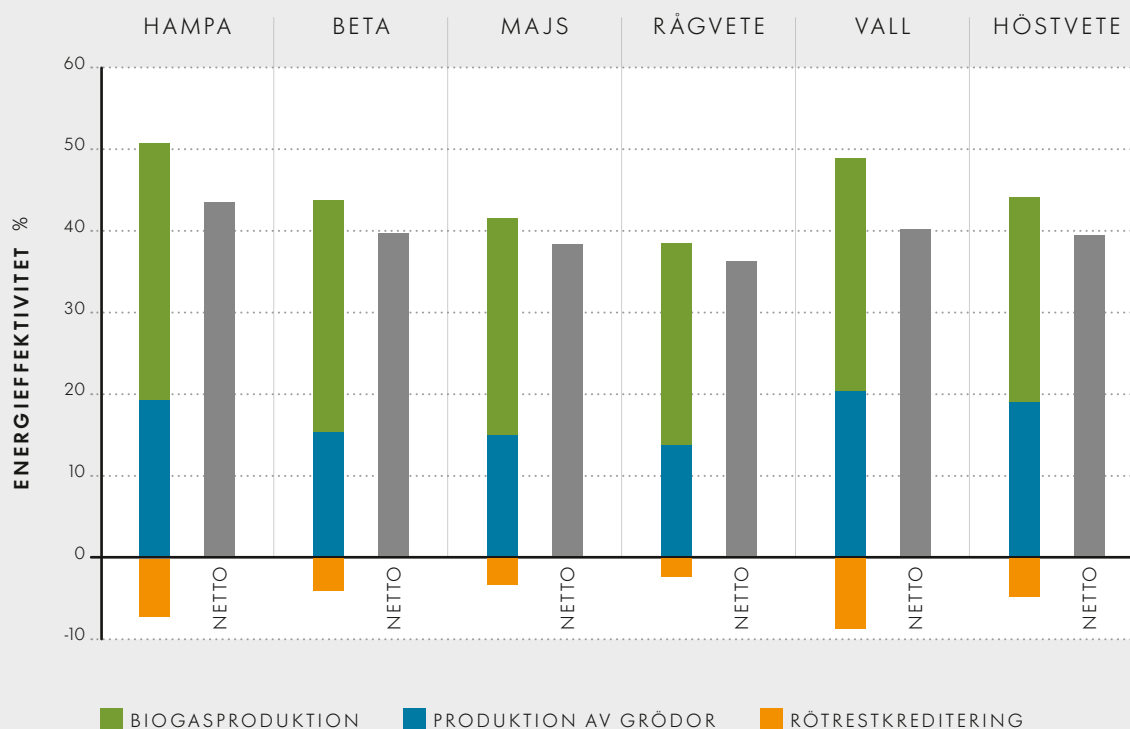


ENERGIEFFEKTIVITET

Resultatet av den systemutvidgning som genomförs för att inkludera effekterna av den gröd-specifika rötresten visas i Figur 3. Den energiinsats som sparas blir speciellt stor för hampa och vall, vilket huvudsakligen beror på rötrestens innehåll av lättillgängligt kväve. För hampa är 46 % av detta kväve dock tillsatt i biogasprocessen för att uppnå den minimikoncentration som sattes som gräns för en bibehållen god processeffektivitet. Kväve har även tillsatts för beta och majs (N-tillsatt, Figur 2). För vallen är dock den höga mängden kväve i rötresten en följd av den naturligt förekommande höga halten i den kvävefixerande gräs/klöverblandningen.

FIGUR 3, ENERGIEFFEKTIVITET SYSTEMUTVIDGNING

Insatt primäre energi i produktion av grödor och biogasproduktion som andel av energi i uppgraderad och komprimerad biogas. Effekt av systemutvidgning i NPK-fallet. Negativa staplar indikerar energibesparing.



ENERGIEFFEKTIVITET

Resultaten sammanfattas i Tabell 1, dels som insatt primärenergi i kWh per MWh uppgraderad och komprimerad biogas, dels som kvoten mellan utvunnen energi i form av uppgraderad och komprimerad biogas per insatt enhet primärenergi. Skillnaderna mellan de båda gödslingsscenarierna för varje gröda är mycket små. Skillnaderna mellan grödorna är också relativt små. Bäst energieffektivitet erhålls för rågvete med en energieffektivitet på 2,8 dvs en primärenergiinsats på 1 kWh ger 2,8 kWh uppgraderad och komprimerad fordonsgas.

TABELL 1, ENERGIEFFEKTIVITET

GRÖDA	GÖDSLING	ENERGIINSATS				ENERGIBALANS ENERGI I FORDONSGAS PER INSATT ENHET PRIMÄRENERGI
		PRODUKTION AV GRÖDOR	BIOGAS- PRODUKTION	RÖTREST- KREDITERING	TOTAL	
		INSATT PRIMÄRENERGI PER UPPGRADERAD FORDONSGAS (kWh/MWh)				
HAMPA	NPK	194	314	-72	435	2,3
	BIO+NPK	114	314	-	427	2,3
BETA	NPK	153	285	-41	397	2,5
	BIO+NPK	119	285	-	404	2,5
MAJS	NPK	150	266	-33	383	2,6
	BIO+NPK	91	266	-	357	2,8
RÅGVETE	NPK	138	248	-23	362	2,8
	BIO+NPK	104	248	-	352	2,8
VALL	NPK	203	286	-87	402	2,5
	BIO+NPK	129	286	-	416	2,4
HÖSTVETE	NPK	190	252	-48	394	2,5
	BIO+NPK	122	252	-	374	2,7

VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

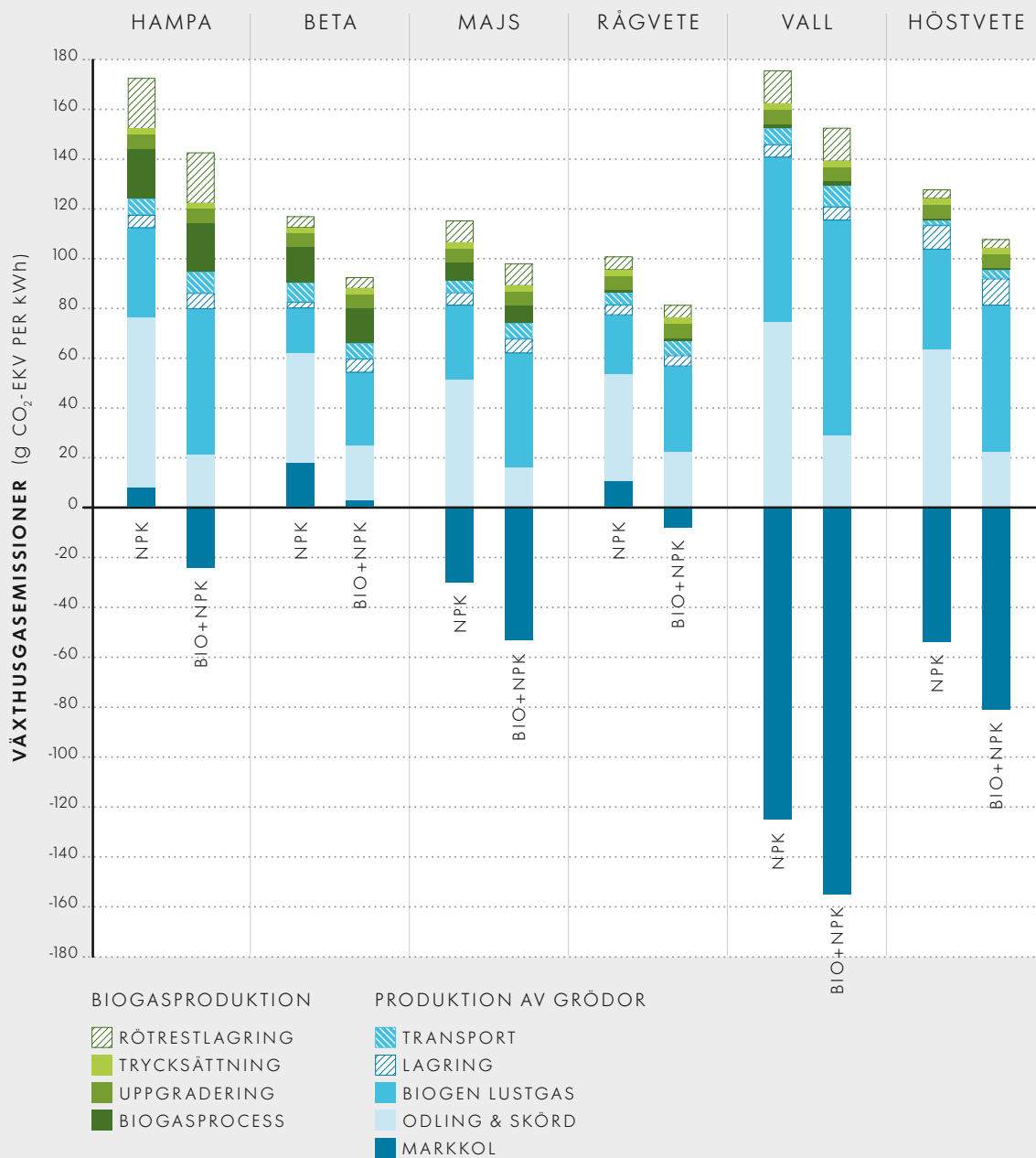
Klimatpåverkan som CO₂-ekv per kWh producerat biodrivmedel, uppdelat på bidrag från de olika delarna av produktion av grödor och biogasproduktion, visas i Figur 4. Huvudbidraget till växthusgasemissionerna är från produktion av grödan, och biogen lustgasemission från det kväve som i olika form tillförs åkermarken bidrar här med en stor del. Emissionerna av lustgas ökar då biogödsel används i odling (BIO+NPK). Å andra sidan minskas emissionerna från produktion av mineralgödsel betydligt, och biogödslingen bidrar även till markkolsuppbbyggnad. Biogödsling med den avfallsbaserade rötresten i BIO+NPK-scenariot ger därför en sammantaget minskad emission av växthusgaser i odlingsledet.

Den inbindning eller nedbrytning av stabilt markkol som visas som ett upptag eller en emission av CO₂-ekv baseras på lokala markegenskaper och klimatförhållanden. Ett odlingsystem som bidrar med mindre kol än vad som krävs för bibehållen markkolshalt uppvisar en emission, en nedbrytning av markkol. Detta gäller hampa, beta och rågvede när de odlas med enbart mineralgödseltillförsel (NPK). I denna studie visas detta enbart som en negativ effekt i form av växthusgasemissioner, men odling som tär på markkolhalten är inte långsiktigt hållbar. Minskad markkolshalt har visats vara kopplad till skördeminskningar och t ex jorderosion och förluster av näringsämnen.¹⁴ Den gröda som här visats ha en mycket god effekt på markkollstillförsel är den tvååriga vällen. När även markkolsnyttan av den avfallsbaserade rötresten inkluderas blir den sammantagna klimatpåverkan negativ, det innebär alltså att kedjan odling av vall och produktion av biogas från vällen sammantaget ger en undviken emission.

¹⁴ SLUTRAPPORT PROJEKTET SOILSERVICE. 2012. CONFLICTING DEMANDS OF LAND USE, SOIL BIODIVERSITY AND THE SUSTAINABLE DELIVERY OF ECOSYSTEM GOODS AND SERVICES IN EUROPE.

FIGUR 4, VÄXTHUSGASEMISSIONER

Växthusgasemissioner per kWh uppgraderad och komprimerad fordonsgas.
Negativa staplar indikerar undviknen emission

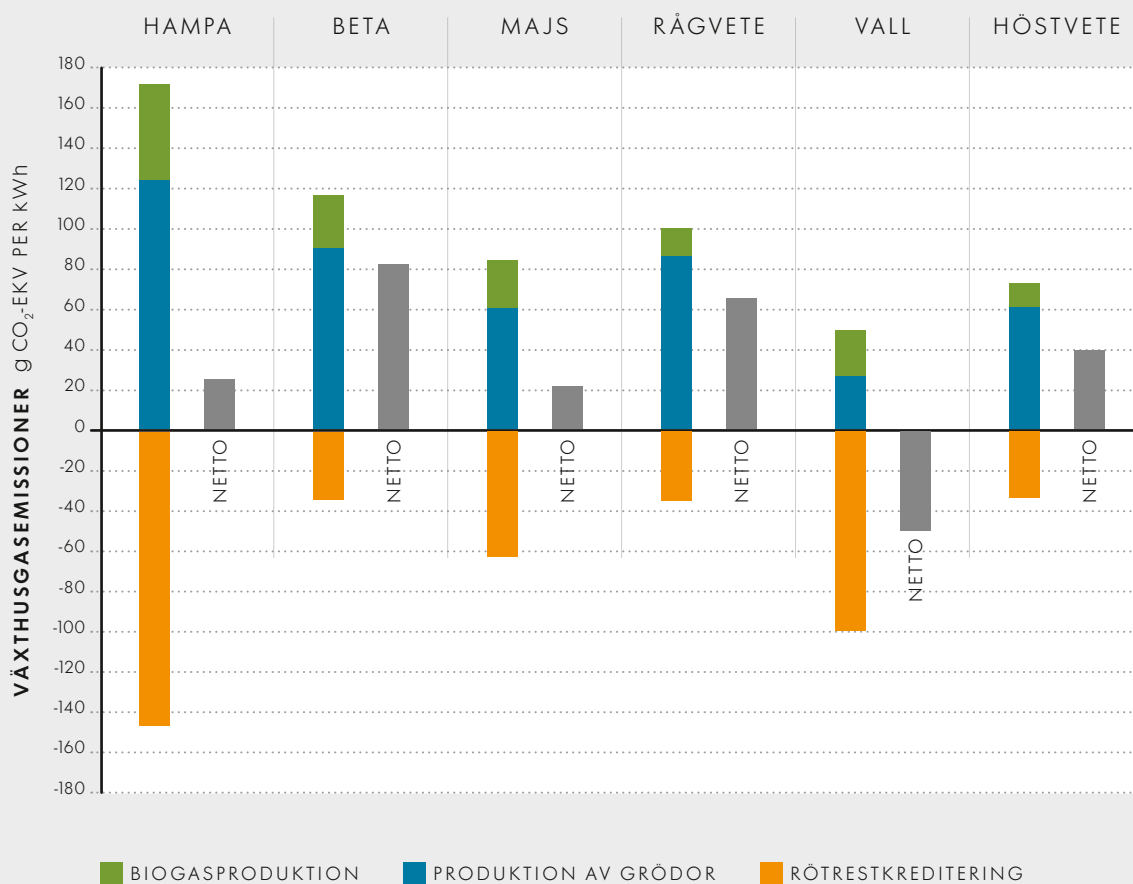


VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

I systemutvidgningen inkluderas den gröd-specifika rötresten i NPK-scenarierna, och ersätter då mineralgödsel vid odling av annan gröda (Figur 5). Detta får en stor effekt framförallt för hampa och vall. Dessa grödor har lägst nedbrytningsgrad i biogasprocessen vilket ger gröd-specifika rötresten som innehåller stora mängder organiskt material. Detta ger betydande bidrag till markkolsuppbbyggnad då rötresten återförs till odling. För vall blir även NPK-scenariot här negativt, d v s ger sammantaget en undviken emission. Nettoresultatet för hampa påverkas också kraftigt.

FIGUR 5, VÄXTHUSGASEMISSIONER SYSTEMUTVIDGNING

Växthusgasemissioner per kWh uppgraderad och komprimerad fordonsgas. Effekt av systemutvidgning i NPK-fallet. Negativa staplar indikerar undviken emission. Biogasproduktion



VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

Resultaten sammanfattas i Tabell 2. Där redovisas även resultatet som reduktion i relation till livscykelemissioner för fossila drivmedel enligt EUs RED. Biogas från vall ger i båda odlings-scenarierna en reduktion på över 100 %. De övriga grödorna ger också fordonsgas med betydligt lägre växthusgasemissioner ur livscykelperspektiv än referensvärdet för fossila drivmedel. Den reduktion som kan uppnås per hektar utnyttjad åkermark då producerade biodrivmedel ersätter fossila drivmedel visas också. Här kommer även avkastningen av grödan per hektar in, och beta är då den gröda som ger högst reduktion av växthusgaser per nyttjad hektar åkermark.

TABELL 2, VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

GRÖDA	GÖDSLING	VÄXTHUSGASEMISSIONER				VÄXTHUSGAS-REDUKTION	
		PRODUKTION AV GRÖDOR	BIOGAS-PRODUKTION	RÖTREST-KREDITERING	TOTAL	EMISSIONSMINSKNING RELATIVT FOSSIL REFERENS	
		g CO₂-EKV/kWh BIOGAS				%	ton CO₂-EKV/ha
HAMPA	NPK	124	48	-146	25	92	5,7
	BIO+NPK	70	48	-	118	61	3,8
BETA	NPK	90	26	-34	82	73	9,8
	BIO+NPK	66	26	-	92	69	9,3
MAJS	NPK	61	24	-63	22	93	8,0
	BIO+NPK	20	24	-	44	85	7,4
RÅGVETE	NPK	86	14	-35	66	78	6,0
	BIO+NPK	63	14	-	77	74	5,7
VALL	NPK	27	23	-100	-50	117	7,8
	BIO+NPK	-26	23	-	-3	101	6,7
HÖSTVETE	NPK	61	12	-34	40	87	6,4
	BIO+NPK	14	12	-	26	91	6,8

VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

EUs FÖRNYBARHETSDIREKTIV

Resultatet för växthusgasemissioner beräknade enligt EUs förnybarhetsdirektiv (RED) visas i Tabell 3. Beräkningsmetoden bygger på en förenklad analys där ingen hänsyn tags till markkolsförändringar baserade på skillnader mellan grödor på åkermark. Detta missgynnar speciellt den tvååriga vallen. Vall bidrar med stora mängder underjordiska odlingsrester, och vall i växtföljden bidrar med viktig markkolsuppbyggnad, vilket framgår av den ISO-baserade analysen (Figur 4). I en RED-baserad beräkning exkluderas dock denna aspekt. Kravet i RED idag är att utsläppsreduktionen när biodrivmedlet ersätter fossila drivmedel ska vara 35 %, men för anläggningar som tags i drift från 2017 gäller 60 % minskning, ett krav som kan komma att tidigareläggas. När grödorna odlas med enbart mineralgödsel (NPK-scenariot) uppfyller varken hampa, vall eller höstvetete detta kommande krav.

Nyttan av att använda biogödsel vid odling av grödan (BIO+NPK) räknas dock in som en förbättrad jordbruksmetod, och den kolinlagring som då sker kan inkluderas. Förutom lägre åtgång av mineralgödsel ger alltså biogödslingen en kolinbindning som omräknas till en undviken CO₂-emission. För hampa, vall och höstvetete är denna biogödsling en förutsättning för att uppnå utsläppsminskningar på över 60 %. Anmärkningsvärt är att grödor som i praktiken ger markkolsänkningar vid odling (Figur 4, hampa, beta, rågvete) faller bättre ut vid en analys enligt RED-metodiken när bidraget från biogödsling tillgodoräknas.

Grödor som hampa och vall ger en gröd-specifik rötrest som innehåller stora mängder organiskt material, vilket bidrar till den goda markkolsinbindningen och klimatnyttan vid systemutvidgning i NPK-scenarierna (Figur 5). Vid analys enligt RED exkluderas dock i detta fall hela biprodukten, den gröd-specifika rötresten. Detta ger speciellt stor effekt om rötresten innehöll mycket kväve eller kol, som för vall och hampa. Detta gör även att metanläckage från lagring av rötresten exkluderas, något som kan minska incitamentet att minska läckaget av denna klimatpåverkande gas.

VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

TABELL 3, VÄXTHUSGASEMISSIONER VID BERÄKNING ENLIGT EUS FÖRNYBARHETSDIREKTIV

GRÖDA	GÖDSLING	VÄXTHUSGASEMISSIONER			VÄXTHUSGAS- REDUKTION EMISSIONSMINSKNING RELATIVT FOSSIL REFERENS %
		PRODUKTION AV GRÖDOR	BIOGAS- PRODUKTION	TOTAL	
		g CO₂-EKV/kWh BIOGAS			
HAMPA	NPK	110	40	150	50
	BIO+NPK	52	40	92	69
BETA	NPK	70	33	103	66
	BIO+NPK	42	33	75	75
MAJS	NPK	87	25	112	63
	BIO+NPK	43	25	69	77
RÅGVETE	NPK	71	19	90	70
	BIO+NPK	45	19	64	79
VALL	NPK	148	22	170	43
	BIO+NPK	92	22	114	62
HÖSTVETE	NPK	110	19	129	57
	BIO+NPK	59	19	78	74

BIOGASGRÖDOR OCH RESURSEFFEKTIVITET

Syftet med forskningsprojektet Crops 4 Biogas var att ta fram underlag som visar hur energigrödor för biogasproduktion faller ut vad gäller olika aspekter av resurseffektivitet. Resurseffektiviteten har utvärderats ur fyra perspektiv, och skillnaderna mellan grödorna för varje utvärderad aspekt sammanfattas nedan.

1

AREALEFFEKTIVITET

utvärderad som MWh fordonsgas per hektar och år skiljer sig mycket mellan grödorna, där beta (skördad med blast) ligger högst med 45 MWh/ha. Rågvetete, höstvetete och majs ligger på medelhöga 25–29 MWh/ha, och hampa och vall något lägre.

2

ENERGIEFFEKTIVITET

som kvoten mellan uppgraderad och komprimerad biogas och insatt primärenergi är högst för rågvetete med 2,8. Uppgradering och komprimering representerar för alla grödor mer än hälften av den insatta primärenergin. Bio-gödsling är viktig för energieffektiv odling.

3

KOSTNADSEFFEKTIVITET

visar på produktionskostnader på mellan 0,7 och 1,1 kr per kWh uppgraderad och komprimerad biogas. Råvarukostnaden dominerar, och helsädesensilage av rågvetete och kärna av höstvetete som har lägst råvarukostnad per kWh biogas, cirka 0,45 kr per kWh, är också de som ger lägst total produktionskostnad.

4

VÄXTHUSGASEFFEKTIVITET

beräknad baserat på livscykelanalys enligt ISO-standard är bäst för vall, mycket på grund av den ökade mullhalten som erhålls då vall introduceras i växtföljden samt klimatnyttan då rötretten används för biogödsling. De övriga grödorna ger även de en fordonsgas med låga livscykelemissioner: 61–93 % lägre än för fossila drivmedel.

BIOGASGRÖDOR OCH RESURSEFFEKTIVITET

RESULTATSAMMANFATTNING

Exempel på resultat även inkluderande de tidigare rapporterade delarna i projektet sammanfattas i Tabell 4 som en jämförelse av de olika utvärderade aspekterna av resurseffektivitet.

TABELL 4, JÄMFÖRELSE RESURSEFFEKTIVITET

GRÖDA	AREAL-EFFEKTIVITET MWh BIOGAS PER HEKTAR, ÅR	ENERGI-EFFEKTIVITET ^A KVOT ENERGI I DRIVMEDEL MOT INSATT PRIMÄR- ENERGI	KOSTNADS-EFFEKTIVITET ^B KR PER kWh	VÄXTHUSGAS-EFFEKTIVITET ^C	
				CO ₂ -REDUKTION %	↑ CO ₂ -EKV. PER HEKTAR, ÅR
HAMPA	21	2,3	1,0	92	5,7
BETA BETA+BLAST	45	2,5	0,8	73	9,8
MAJS	29	2,6	0,8	93	8,0
RÅGVETE	25	2,8	0,7	78	6,0
VALL	22	2,5	0,8	117	7,8
HÖSTVETE KÄRNA	25	2,5	0,7	87	6,4

A ENERGI I UPPGRADERAD OCH KOMPRIMERAD BIOGAS MOT PRIMÄRENERGIINSATS I NKP-SCENARIOT

B ENSILERADE GRÖDOR OCH FULL ROTRETVÄRDERING

C SCENARIO NPK, EMISSIONSMINSKNING RELATIVT FOSSIL REFERENS

BIOGASGRÖDOR OCH RESURSEFFEKTIVITET

SLUTSATSER FRÅN ETT TVÄRVETENSKAPLIGT FORSKNINGSPROJEKT

Jämförelsen visar att ingen gröda är optimal från alla här undersökta aspekter av resurseffektivitet. Att använda energigrödor för biogasproduktion ger också en mängd andra effekter på odlingssystemen. Det är därför viktigt att inte enbart utvärdera hur det producerade biodrivmedlet uppfyller lönsamhetskrav eller de krav på utsläppsminskningar som specificeras inom EUs förnybarhetsdirektiv (RED). Spannmål som biogasgröda, vinnare i kostnadseffektivitet, ger t ex inte bästa möjliga areal- eller växthusgaseffektivitet. Spannmålsgrödor dominerar också den skånska åkerarealen och ökad odling bidrar därför inte till ökad diversitet. Majs är aldrig bäst, men medelbra i alla kategorier, men har i Tyskland (med över en miljon hektar biogasmajs) visats ge oönskade effekter som sänkt mullhalt och risk för fusariumsmitta. Vall, som på grund av bidraget till markkolsinlagring ger över 100 % växthusgasreduktion jämfört med fossil referens, missgynnas speciellt av att denna aspekt inte medräknas i beräkningen enligt RED. Analysen enligt RED exkluderar följande viktiga aspekter;

- vikten av att välja grödor som bidrar till markkolsinlagring vid odling
- incitamentet att minska metanläckaget vid rötrestlagring
- incitamentet att skapa ett kretslopp med återföring av den rötrest som produceras som biprodukt vid drivmedelproduktionen

Det är dock positivt att biogödsling i odling av energigrödan räknas som en förbättrad jordbruksmetod och ger genomslag i analysen enligt RED. För vissa av de här studerade grödorna blir biogödsling i odling en förutsättning för att de framtida kraven på utsläppsminskningar för biodrivmedel inom EU ska kunna uppfyllas. RED är ett redskap för att garantera att biodrivmedel uppfyller specificerade hållbarhetskriterier, men omfattar inte alla aspekter av begreppet hållbarhet. Det är därför viktigt att med breda, systembaserade utvärderingar innan nya system för produktion av biodrivmedel baserade på grödor från åkermark eventuellt introduceras.

Detta utgör Del 3 av en rapportserie på tre delar om energigrödor för biogasproduktion. I rapporterna sammanfattas fakta och resultat som tidigare presenterats som utfall inom forskningsprojektet Crops 4 Biogas i form av de vetenskapliga publikationer som finns listade på nästa sida. I Del 1 presenteras valet av grödor, odling och markanvändningseffektivitet. I Del 2 presenteras en jämförelse av kostnadseffektivitet i jämförelse mellan olika grödor, samt hur olika typer av styrmedel påverkar kostnadsbilden.

PUBLIKATIONER

Sammanfattningarna av projektet Crops 4 Biogas är baserade på information från följande arbeten, och där kan du också hitta detaljer kring genomförande och resultat. En del arbeten är ännu inte publicerade eller fritt tillgängliga, och uppdaterad information om tillkommande publikationer och deras tillgänglighet kan du hitta på http://miljo.lth.se/forskning/completed_research_projects/crops_for_biogas/. Där kan du även hitta samtliga delar av denna rapportserie om energigrödor för biogasproduktion på svenska.

Pål Börjesson, Thomas Prade, Mikael Lantz & Lovisa Björnson. *Energy crop-based biogas as vehicle fuel – differences in energy efficiency and greenhouse gas performance*. Manuskript inskickat till Biomass & Bioenergy.

Charlott Gissén, Thomas Prade, Emma Kreuger, Ivo Achu Nges, Håkan Rosenqvist, Sven-Erik Svensson, Mikael Lantz, Jan Erik Mattsson, Pål Börjesson & Lovisa Björnsson. *Comparing energy crops for biogas production – yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilization*. Manuskript inskickat till Biomass & Bioenergy.

Emma Kreuger, 2012. *The potential of industrial hemp (Cannabis sativa L.) for biogas production*. Doktorsavhandling. Bioteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. ISBN 978-91-89627-84-0. <http://www.lu.se/lup/publication/2856430>

Emma Kreuger, Ivo Achu Nges & Lovisa Björnsson, 2011. *Ensiling of crops for biogas production: effects on methane yield and total solids determination*. *Biotechnology for Biofuels* 4:44. <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/4/1/44>

Emma Kreuger, Thomas Prade, Federico Escobar, Sven-Erik Svensson, Jan-Eric Englund & Lovisa Björnsson, 2011. *Anaerobic digestion of industrial hemp – effect of harvest time on methane energy yield per hectare*. *Biomass and Bioenergy* 35 (2) 893–900. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.005>

Emma Kreuger, Bálint Sipos, Guido Zacchi, Sven-Erik Svensson & Lovisa Björnsson, 2011. *Bio-conversion of industrial hemp to ethanol and methane: The benefits of steam pretreatment and co-production*. *Bioresource Technology* 102 (3) 3457–3465. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.126>

Mikael Lantz, 2013. *Biogas in Sweden – Opportunities and challenges from a systems perspective*. Doktorsavhandling. Miljö- och Energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. ISBN 978-91-7473-469-0. <http://www.lu.se/lup/publication/3512778>

Mikael Lantz, Emma Kreuger & Lovisa Björnsson. *The influence of energy crop selection on process parameters, economy and energy input in the production of biogas as transportation fuel*. Manuskript inskickat till Biomass & Bioenergy.

Thomas Prade, 2011. *Industrial hemp (Cannabis sativa L.) – a high-yielding energy crop*. Doktorsavhandling No 2011:95. Område Agrosystem, SLU. <http://pub.epsilon.slu.se/8415/>

Thomas Prade, Sven-Erik Svensson & Jan Erik Mattsson, 2012. *Energy balances for biogas and solid biofuel production from industrial hemp*. *Biomass & Bioenergy* Vol. 40, pp. 36–52.



LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

INSTITUTIONEN FÖR
TEKNIK OCH SAMHÄLLE
MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM
WWW.MILJO.LTH.SE

RAPPORT NR 82, OKTOBER 2013
ISBN 978-91-86961-08-4
© BJÖRNSSON 2013
LOVISA.BJORNSSON@MILJO.LTH.SE

