



LUND UNIVERSITY

Energigrödor för biogasproduktion : Del 2, kostnadseffektivitet och styrmedel

Björnsson, Lovisa; Lantz, Mikael

2013

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Björnsson, L., & Lantz, M. (2013). *Energigrödor för biogasproduktion : Del 2, kostnadseffektivitet och styrmedel*. Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

2

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 & MIKAEL LANTZ

ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION

DEL 2, KOSTNADSEFFEKTIVITET & STYRMEDEL

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



LUNDS
UNIVERSITET

INNEHÅLL

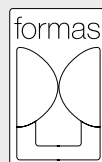
CROPS 4 BIOGAS	3
ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION	4–5
EGENSKAPER HOS GRÖDAN SOM PÅVERKAR BIOGASPROCESSEN	6
GÖDSEL SOM REFERENS	6
DIMENSIONERING AV BIOGASPROCESSEN	7
UPPGRADERING TILL FORDONSGAS	8–9
UNDERLAG: KOSTNADSBERÄKNINGAR FÖR BIOGASPRODUKTION	10–11
RESULTAT: KOSTNADSEFFEKTIVITET	12–14
RESULTAT FÖRDJUPNING: KOSTNADER RELATERADE TILL BIOGASPRODUKTIONEN	15
RESULTAT FÖRDJUPNING: PRODUKTIONSKOSTNAD FÖR GRÖDORNA	16–17
STYRMEDEL	18–19
SLUTSATSER	20–21
PUBLIKATIONER	23

FOTO PETER WESTRUP

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 arealeffektivitet. I denna rapport, Del 2, presenteras en jämförelse av kostnadseffektivitet i jämförelse mellan olika grödor, samt hur olika typer av styrmedel påverkar kostnadsbilden. I 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). Framtagandet av denna sammanfattning av projektet Crops 4 Biogas på svenska har finansierats genom Region Skånes utvecklingsmedel för biogas med medfinansiering av LU Biofuels.



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK OCH SAMHÄLLE
MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM
RAPPORT NR 81, APRIL 2013

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--13/3072--SE + (1-20)
ISBN 978-91-86961-07-7

© LOVISA BJÖRNSSON & MIKAEL LANTZ 2013
FORMGIVNING & OMSLAGSFOTO, AB NORMAL

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 kopplade till kostnadseffektivitet för biogas producerad från grödor. Bakgrundsfakta för beräkningarna presenteras, och skillnader i produktionskostnad för biogas producerad från olika grödor diskuteras. Produktionskostnaden för gödselbase-rad biogas under samma förutsättningar presenteras också som jämförelse. Slutligen diskuteras vilken effekt olika typer av styrmedel får när olika grödor eller gödsel utgör biogasråvaran.



FOTO CROPS 4 BIOGAS

Vi som har arbetet 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.

ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION

I Sverige producerade vi år 2011 nära 1 500 GWh biogas, vilket motsvarar 150 000 kubikmeter olja.¹ Den dominerande biogasråvaran var 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. Då är det viktigt att vara uppmärksam på effekterna av att introducera biogasgrödor. Ska hänsyn till effektiv markanvändning och miljöeffekter påverka valet av gröda? Skiljer detta sig mycket åt mellan olika grödor? Är den gröda som är mest kostnadseffektiv även den som ger bäst klimatnytta? Dessa intressen kan sammanfalla, men det kan också vara så att det är helt olika grödor som har bäst prestanda vad gäller produktionskostnad eller miljöaspekter i användningen för biogasproduktion. Här saknas idag fakta som underlag till bedömningar, och detta var bakgrunden till att forskningsprojektet Crops 4 Biogas initierades 2007.

Det finns i vissa regioner en stor efterfrågan på biogas som drivmedel, vilket kan komma att driva på utvecklingen av energigrödor för biogasproduktion i hela Sverige. En aspekt som skiljer biogas baserad på energigrödor från andra åkerbaserade biodrivmedel vi använder idag (t ex rapsolja och spannmålsetanol) är att hela grödan kan användas. Detta gör att man kan få höga utbyten av drivmedel per hektar.² Man kan också använda en större variation av grödor. Urvalet av grödor som studerats i projektet Crops 4 Biogas 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), rågvet (helplanta i tidig degmognad), gräs/klöverbull (ligger i två år, skörd juni och augusti) och höstvet (kärnskörd vid full mognad). Utvärderingen har gjorts vid odlingsförhållanden och avkastningsnivåer som gäller för regionen »Götalands södra slättbygder« (Gss).

¹ STATENS ENERGIMYNDIGHET. 2012. PRODUKTION OCH ANVÄNDNING AV BIOGAS ÅR 2011. RAPPORT ES 2012:08.

² PÅL BÖRJESSON, LINDA TUFVESSON, MIKAEL LANTZ. 2010. LIVSCYKELANALYS AV SVENSKA BIODRIVMEDEL. RAPPORT NR 70. MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM, LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA, LUNDS UNIVERSITET.



EGENSKAPER HOS GRÖDAN SOM PÅVERKAR BIOGASPROCESSEN

Grödor, liksom andra typer av biogasråvaror, har ett antal egenskaper av betydelse för hur biogasprocessen ska utformas och drivas. Dessa egenskaper har därmed också betydelse för kostnaden för biogasanläggningen. Grödornas egenskaper har inom projektet bestämts genom analyser av prover från odlingsförsöken vid SLU Alnarp. För en del grödor fanns sedan tidigare mycket information att finna, medan andra är nyare i biogassammanhang, eller kanske skördades vid annan tidpunkt än vad som tidigare studerats. Följande egenskaper har analyserats och används i beräkningarna;

NEDBRYTBARHET

Produktion av biogas, bestående av i huvudsak metan och koldioxid, sker genom mikrobiell nedbrytning av organiska föreningar under syrefria förhållanden. För alla organiska föreningar finns ett teoretiskt maximalt metanutbyte. I praktiken påverkas den mikrobiella nedbrytbarheten av en mängd svårförutsägbara faktorer. Nedbrytbarheten bestäms därför experimentellt som metanutbyte per mängd gröda. Dessa experimentellt bestämda värden har sedan viktats ihop och räknats om till förväntade metanutbyten i fullskalig biogasproduktion, och finns sammanfattade i Del 1 i denna rapportserie.³ Metanutbytet påverkar t ex mängden gröda som krävs för att uppnå en viss metanproduktion.

HALT AV TORRSUBSTANS (TS)

Halten TS i grödan påverkar hur mycket biogas som kan produceras per ton våtvikt. För grödor med låg TS-halt måste större mängder processas för att uppnå en given metanproduktion vilket också ger större volymer flytande restprodukt, rötrest. Tillsammans med nedbrytbarheten bestämmer också grödans halt av TS vilken TS-halt man får i biogasanläggning och rötrest.

HALT AV NÄRINGSÄMNINGEN

Halten av näringsämnen är viktig både för att tillgodose mikroorganismernas näringsbehov i biogasprocessen och för näringsinnehållet i rötresten, vilken ska återföras som biogödsel i odling. I detta projekt har fokus för mikronäringsämnen legat på att tillgodose behoven i biogasprocessen. Makronäringsämnena har dessutom varit viktiga i beräkningarna av halten kväve (N), fosfor (P) och kalium (K) i rötresten.

GÖDSEL SOM REFERENS

I studien inkluderades även gödsel som referensråvara. Till skillnad från grödor är gödsel en restprodukt som produceras oavsett om den används som biogasråvara eller inte. För gödsel, och för samrötning av gödsel och grödor, finns många erfarenheter kring processförutsättningar och kostnader. Gödsel finns alltså med i vidare resultatpresentation, och beräkningarna är baserade på en process som rötar fast- och flytgödsel från nöt baserat på bakgrundsdata från en inventering av gödsel som biogasråvara i Skåne.⁴

³ LOVISA BJÖRNSSON. 2012. ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION. DEL 1, ODLING OCH AREALEFFEKTIVITET. RAPPORT NR 80, MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM, LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA, LUNDS UNIVERSITET.

⁴ LOVISA BJÖRNSSON, MIKAEL LANTZ, MARIKA MURTO & ÅSA DAVIDSSON. 2011. BIOGASPOTENTIAL I SKÅNE – INVENTERING OCH PLANERINGSUNDERLAG PÅ ÖVERSIKTSNIVÅ. RAPPORT 2011:22, LÄNSSTYRELSEN I SKÅNE LÄN.

DIMENSIONERING AV BIOGASPROCESSEN

Den biogasprocess som använts i beräkningarna är av typen omrörd tank. För att fullt ut kunna utvärdera kostnadseffektiviteten för de olika grödorna i rollen som biogasgrödor har beräkningarna genomförts som om varje gröda rötades för sig. Detta har i vissa fall givit lite knepiga effekter vid dimensioneringen. Samtidigt får alla grödans för- och nackdelar, som t ex hög produktionskostnad, för hög eller för låg vattenhalt eller för låg kvävehalt, genomslag fullt ut i analysen.

För de flesta grödorna blev den organiska belastningen, som sattes till maximalt 3 kg nedbruten TS per m³ reaktor och dygn, styrande för processdimensioneringen. En annan begränsande faktor var att TS-halten i biogasprocessen inte fick överstiga 9,5 %. Detta baserades på tyska erfarenheter som visar att driftsproblem uppstår i processer av typen omrörd tank vid TS-halter över 10 %.⁵ För t ex hampa blev detta en begränsning, och vatten tillsattes då för utspädning. Istället för organisk belastning blev då den hydrauliska uppehållstiden i processen begränsande, vilket gör att reaktorvolymen ökas. Detta blir även fallet om biogasråvaran har hög vattenhalt, vilket var fallet för gödsel, betblast och vall. Gränsen för hydraulisk uppehållstid sattes till 46 dygn baserat på tyska erfarenheter av rötning av gödsel, i kombination med egna erfarenheter av rötning av grödor där näringsbehovet tillgodosattes genom tillsatser.^{6,7} Slutligen sattes gränser för nedre koncentration av mikronäringsämnen i biogasprocessen, där järn, kobolt, molybden och nickel tillsattes i olika mängd beroende på initial halt i grödan. Halten av ammoniumkväve i reaktorn fick också både en övre och nedre gräns, där kväve tillsattes om koncentrationen var för låg, och utspädning med vatten skedde om koncentrationen var så hög att det kunde hämma biogasprocessen, vilket var fallet med vetekärna.⁸

Med hjälp av egenskaperna som experimentellt bestämts för biogasråvarorna samt processbegränsningarna ovan beräknades det årliga behovet av ensilerad gröda, vetekärna eller gödsel, reaktordimensioner, energibehov och behov av tillsatser, samt mängden rötrest och dess innehåll av N, P och K.

5 BIOGAS-MESSPROGRAMM II, 61 BIOGASANLAGEN IM VERGLEICH. 2010. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT AND VERBRAUCHERSCHUTZ, GÜLZOW-PRÜZEN, TYSKLAND.

6 IVO ACHUNGES, ANNIKA BJÖRN & LOVISA BJÖRNSSON. 2012. STABLE OPERATION DURING PILOT-SCALE ANAEROBIC DIGESTION OF NUTRIENT-SUPPLEMENTED MAIZE/SUGAR BEET SILAGE. BIORESOURCE TECHNOLOGY 118:445-454.

7 IVO ACHUNGES & LOVISA BJÖRNSSON. 2012. HIGH METHANE YIELDS AND STABLE OPERATION DURING ANAEROBIC DIGESTION OF NUTRIENT-SUPPLEMENTED ENERGY CROP MIXTURES. BIOMASS & BIOENERGY 47: 62-70.

8 ANNA SCHNÜRER & ÅKE NORDBERG. 2008. AMMONIA, A SELECTIVE AGENT FOR METHANE PRODUCTION BY SYNTROPHIC ACETATE OXIDATION AT MESOPHILIC TEMPERATURE. WATER SCIENCE & TECHNOLOGY 57:735-40.

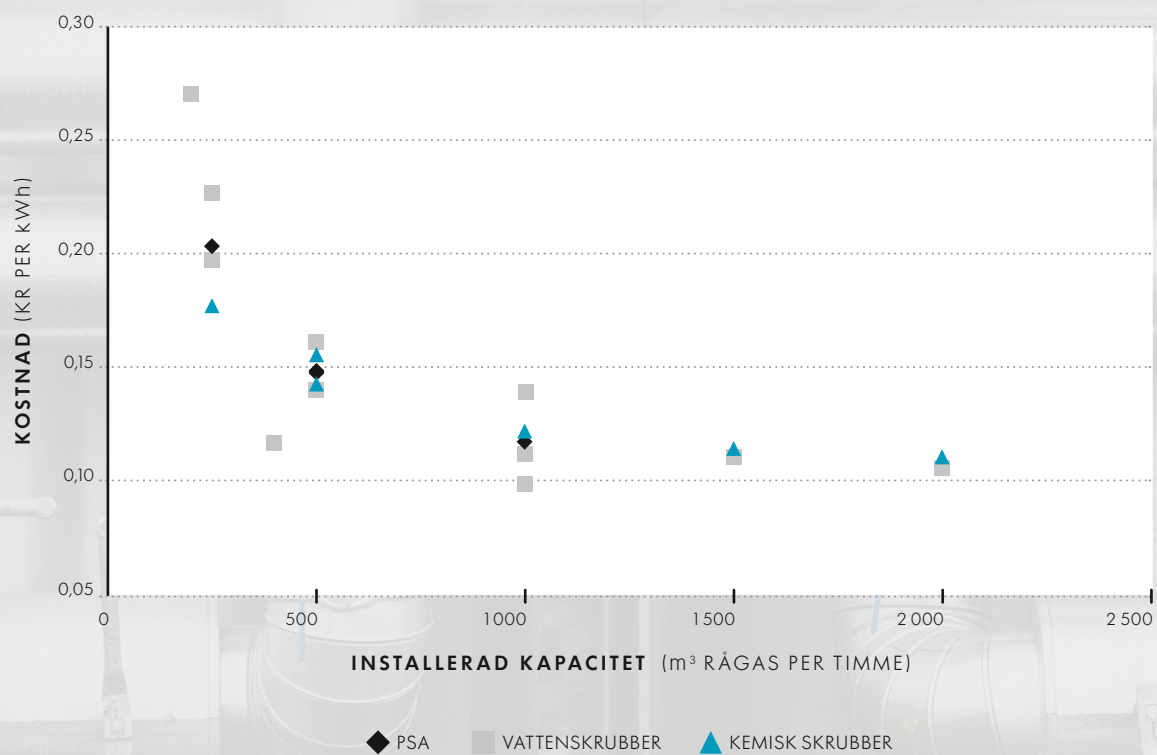
UPPGRADERING TILL FORDONSGAS

En av förutsättningarna i detta forskningsprojekt var att den producerade biogasen skulle av-sättas som fordonsbränsle. För denna tillämpning måste biogasen uppgraderas, vilket innebär att koldioxid och olika föroreningar tas bort. Efter uppgradering ska biogasen ha en metanhalt på 95–99 %. Kostnaden för biogassuppgradering är med de tekniker som används idag kraftigt skalberoende. I Figur 1 visas en sammanställning av uppgraderingskostnad som funktion av installerad kapacitet för olika tekniker. Denna sammanställning visar att kostnaden 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 den ekonomiska jämförelse som genomförts är baserad på anläggningar som producerar 48 GWh uppgraderad biogas per år. Kostnaden för uppgradering och komprimering av biogasen är därmed lika stor per kWh i alla beräkningar. Biogasanläggning med kringutrustning är dock dimensionerad från fall till fall baserat på respektive råvaras egenskaper.

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. Energi-behovet för uppgradering sattes till 0,55 kWh värme och 0,12 kWh el per m³ rågas. Spillvärme från uppgraderingen användes för att värma biogasprocessen. Värmebehovet för uppgradering, och i förekommande fall ytterligare värmebehov för processvärme, tillgodosågs med en fastbränslepanna. För komprimering av den uppgraderade biogasen sattes behovet av elektricitet till 0,25 kWh el per m³.

FIGUR 1, KOSTNAD BIOGASUPPGRADERING

Uppgraderingskostnad i förhållande till installerad kapacitet för olika uppgraderingsteknik och skala.



UNDERLAG

KOSTNADSBERÄKNINGAR
FÖR BIOGASPRODUKTION

Ett antal val har gjorts vad gäller nivåer på investeringskostnader och driftskostnader baserat dels på tillgänglig information i litteraturen, dels på driftsdata från storskaliga anläggningar eller uppgifter från svenska leverantörer. En fullständig genomgång av dessa fakta finns i de vetenskapliga artiklar som publicerats inom projektet och som finns förtecknade sist i denna rapport. Här sammanfattas några av de ställningstaganden som gjorts.

Produktionskostnaden för de olika grödorna finns presenterad i Del 1 i denna rapportserie, och omfattar odling, transport, lagring och hantering fram till dess att grödan släpps i tippfickan.⁹ För gödsel inkluderar råvarukostnaden enbart transportkostnaden, dvs gödselleverantören antas inte få någon ersättning för att leverera råvara. Transportkostnaden beräknades baserat på medeltillgängligheten för nötgödsel i Skåne.¹⁰ Bortfallet av gödsel under betesperioden kompenseras med ett större upptagningsområde under denna period. Resultatet blev ett medeltransportavstånd enkel väg på 22 km för fastgödsel och 26 km för flytgödsel.

Huvudkomponenten i en biogasanläggning är de omrörda tankarna, reaktorerna, där själva biogasproduktionen sker. Beroende på biogasråvarornas egenskaper blir volymerna på dessa tankar olika stora, och även här finns en skaleffekt som ger lägre kostnad per reaktorvolym ju större totalvolym som krävs. I Figur 2 visas den kurva för sambandet mellan investeringskostnad per reaktorvolym och total aktiv reaktorvolym som beräknades i projektet baserat på tyska erfarenheter. För de biogasråvaror där den organiska belastningen var begränsande (beta, majs, rågvete och vetekärna) blev den aktiva reaktorvolymen drygt 10 000 m³. För grödor med relativt lågt metanutbyte per tillförd TS i kombination med hög vattenhalt (vall, betblast) eller där hög vattentillsats krävdes (hampa) blev volymen högre, 14 000–18 000 m³. För samma årsbiogasproduktion från gödsel krävdes en reaktorvolym på nästan 30 000 m³.

Energianvändningen i biogasprocessen utgör en viktig del av driftskostnaderna. För grödorna har värmebehovet, beroende på TS-halt, beräknats till 29–35 kWh per ton tillförd råvara. Vid rötning av gödsel inkluderades ett hygieniseringssteg (upphettnings till 70 °C). Värmebehovet stannade dock på 25 kWh per ton tillförd gödsel eftersom även värmewäxling infördes för denna pumpbara råvara. Behovet av el för inmatning, omrörning, pumpning mm sattes för alla råvaror (inklusive vatten om det tillsattes) till 8 kWh per ton tillfört material.

Lagringstankar för rötresten kan utgöra en relativt stor del av investeringskostnaden. För grödor inkluderades täckta lagringstankar med kapacitet för 12 månaders produktion. För gödsel antogs att en lagringskapacitet motsvarande den mängd flytgödsel som levererades från varje gård fanns tillgänglig på gårdarna och kunde utnyttjas för rötrestlagring. Beräkningarna inkluderar därför i det fallet endast lagringskapacitet för överskjutande rötrestvolym.

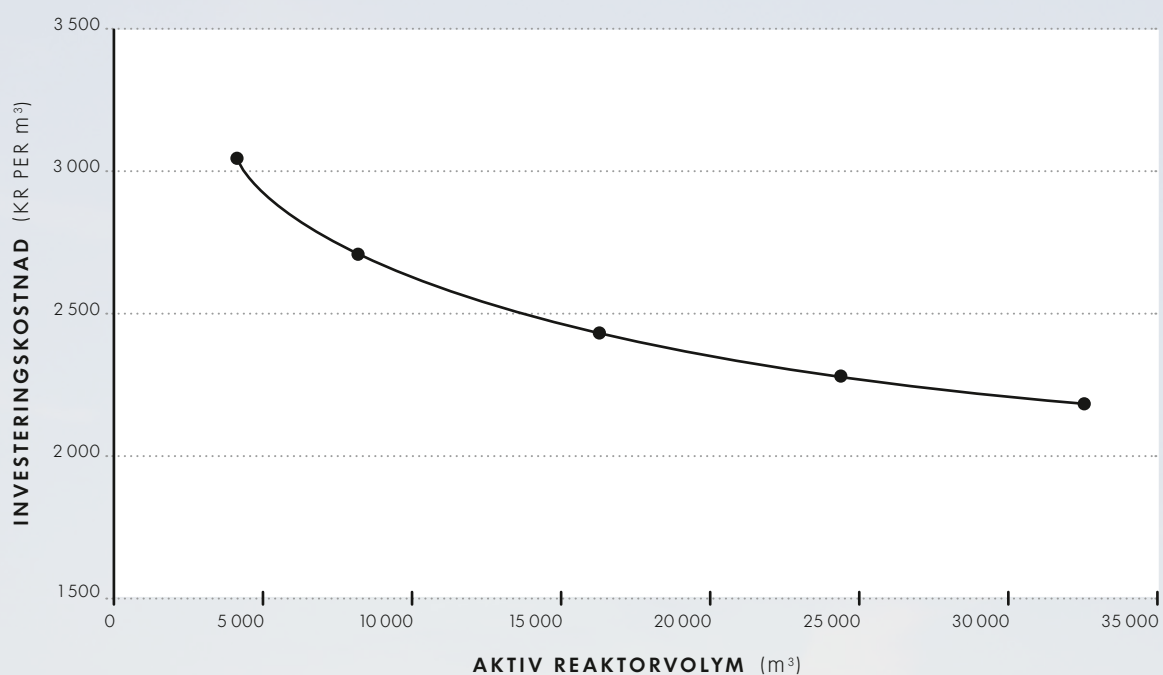
⁹ LOVISA BJÖRNSSON. 2012. ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION. DEL 1, ODLING OCH AREALEFFEKTIVITET. RAPPORT NR 80, MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM, LUNDS TEKNISKA HOGSKOLA, LUNDS UNIVERSITET.

¹⁰ LOVISA BJÖRNSSON, MIKAEL LANTZ, MARIKA MURTO & ÅSA DAVIDSSON. 2011. BIOGASPOTENTIAL I SKÅNE – INVENTERING OCH PLANERINGSUNDERLAG PÅ ÖVERSIKTSNIVÅ. RAPPORT 2011:22, LÄNSSTYRELSEN I SKÅNE LÄN.

Biogasanläggningen SBI Katrineholm producerar nära 40 GWh uppgraderad biogas per år. Gasen uppgraderas med vattenskrubberteknik, komprimeras och används som fordonsgas. Biogasråvaran utgörs huvudsakligen av gödsel.

FIGUR 2, INVESTERINGSKOSTNAD BIOGASANLÄGGNING

Investeringskostnad för biogasprocessen i förhållande till processens aktiva reaktorvolym.



RESULTAT

KOSTNADSEFFEKTIVITET

Kostnadseffektiviteten för de analyserade grödorna utvärderas och jämförs som kostnad per kWh uppgraderad och komprimerad biogas. Den beräknade produktionskostnaden baserat på olika råvaror visas i Tabell 1, och varierar mellan 0,66 kr och 1,10 kr per kWh. Att produktionskostnaden visas både med och utan värdering av rötresten som biogödsel är för att demonstrera vilken betydelse detta har för den totala produktionskostnaden. Hanteringen av rötresten (lagring, transport, spridning) finns med som en kostnad i båda fallen, men i fallet med rötrestvärdering tillgodoräknas för grödor innehållet av N, P och K med ett värde som motsvarar priset för mineralgödsel. För rötad gödsel tillgodoräknas ett mervärde i ökad andel lättillgängligt kväve (som sker genom kväve mineralisering vid rötning), samt den något lägre kostnaden för att sprida flytande rötrest jämfört med fastgödsel. Denna rötrestvärdering motsvarar för grödorna 2–12 % av den totala produktionskostnaden, och bedöms i praktiken hamna någonstans mellan de visade ytterligheterna i Tabell 1. Genomsnittet av rötrestvärdering visar sig endast få en större betydelse då rötresten innehåller en stor mängd kväve, vilket var fallet för hampa, betblast och vall. För gödsel bedöms en produktionskostnad beräknad utan rötrestvärdering som rimligare.

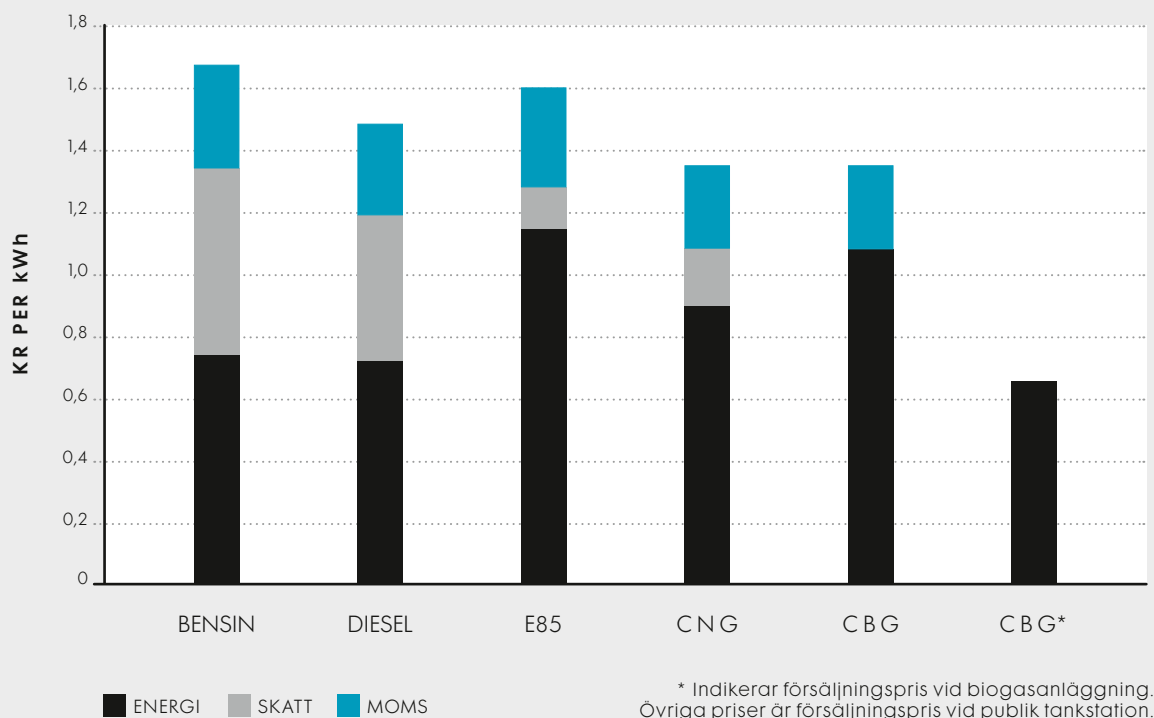
Biogas producerad från rågvete som juliskördad helsädesensilage samt från kärna av höstvetete hamnar då i praktiken på en produktionskostnad kring 0,7 kr per kWh. Detta är lägre än för restprodukten gödsel, med en produktionskostnad på strax under 0,8 kr, och odlingsresten betblast, som hamnar en bit över 0,8 kr per kWh. Övriga grödor ger produktionskostnader från strax över 0,8 kr och upp till omkring 1,0 kr per kWh.

TABELL 1, PRODUKTIONSKOSTNAD FÖR UPPGRADERAD OCH KOMPRIMERAD BIOGAS FRÅN OLIKA RÅVAROR UTAN OCH MED RÖTRESTVÄRDERING

PRODUKTIONSKOSTNAD KR PER kWh	HAMPA	BETA (BETA)	BETA (BLAST)	BETA +BLAST	MAJS	RÅGVETE	VALL	HÖSTVETE (KÄRNA)	NÖT- GÖDSEL
UTAN RÖTRESTVÄRDERING	1,10	0,85	0,92	0,85	0,83	0,70	0,97	0,73	0,77
MED RÖTRESTVÄRDERING	1,00	0,83	0,82	0,82	0,80	0,66	0,85	0,68	0,70

En generellt tillämpbar nivå för försäljningspriset för uppgraderad och komprimerad biogas (CBG) vid biogasanläggning har uppskattats till 0,65 kr per kWh (Figur 3, visas som CBG*), men högre priser kan under vissa förutsättningar också vara möjliga. I januari 2013 var priset för fordonsgas (CBG och komprimerad naturgas, CNG) på publika tankstationer i genomsnitt 1,08 kr per kWh exkl. moms (Figur 3). Skillnaden ska bland annat täcka kostnaden för distribution och tankstation. Som jämförelse visas även priset på publika tankstationer för bensin, diesel och etanol (E85) som snittpris 2012. Biogas som drivmedel är befriat från koldioxid- och energiskatt förutsatt att EUs hållbarhetskriterier för biodrivmedel uppfylls.¹¹ Detta är en fråga som diskuteras vidare i samband med presentationen av biogasens climateffektivitet i Del 3 av denna rapportserie.¹²

FIGUR 3, FÖRSÄLJNINGSPRIS FÖR FOSSILA OCH FÖRNYBARA DRIVMEDEL

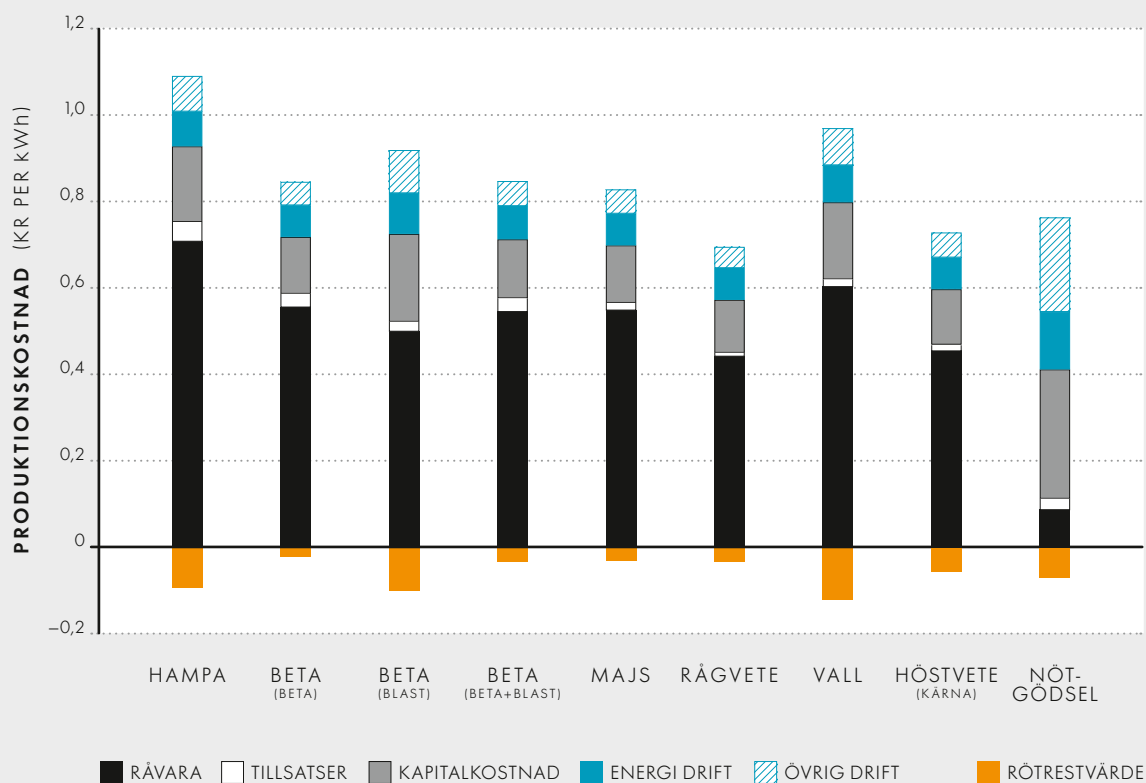


11 DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL ON THE PROMOTION OF THE USE OF ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES.

12 LOVISA BJÖRNSSON. 2013. ENERGIGRÖDOR FÖR BIOGASPRODUKTION. DEL 3, ENERGI- OCH KLIMATEFFEKTIVITET. RAPPORT NR 82, MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM, LUNDS TEKNISKA HOGSKOLA.

I Figur 4 visas hur produktionskostnaden fördelas på olika kostnadsslag. För samtliga grödor är det råvarukostnaden som dominerar och representerar cirka 2/3 av den totala kostnaden. För odlingsresten betblast är motsvarande kostnadsandel 55 %, och för gödsel står råvarukostnaden för enbart 13 % av den totala produktionskostnaden. Här blir istället kapital- och driftskostnader för biogasanläggningen höga, huvudsakligen på grund av de stora volymer biogastråvara som ska hanteras.

FIGUR 4, PRODUKTIONSKOSTNAD



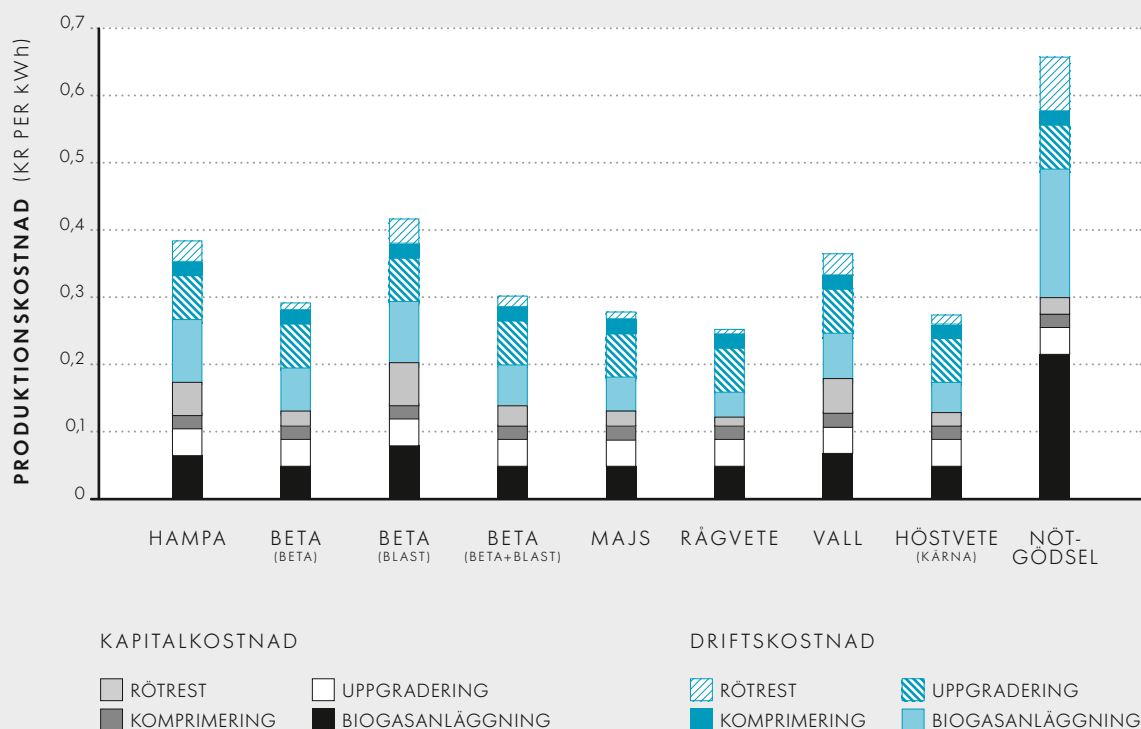
Helsädesensilage av rågvete har som biogasgröda mycket lämpliga egenskaper vad gäller TS-halt, nedbrytbarhet och halt av både makro- och mikronäringsämnen, vilket ger ett effektivt utnyttjande av reaktorvolymen, låga råvaru- och rötrestmängder samt ett lågt behov av tillsatser. De råvaror som har relativt sett hög kostnad för tillsatser är de där kvävehalten i grödan är låg (beta, även då den samrötas med den mer kväverika blasten) eller då utspädning gör att kvävetillsats krävs, trots att kvävehalten i grödan är god (hampa). För den gödselbaserade processen består tillsatsen av mikronäringsämnena kobolt och molybden. Halterna av dessa ämnen var relativt höga i gödsel, högre än i någon av grödorna, men tillsats inkluderades trots detta för att tillämpa samma beräkningsbas som för grödorna.

RESULTAT FÖRDJUPNING

KOSTNADER RELATERADE
TILL BIOGASPRODUKTIONEN

I Figur 5 visas kostnaderna för biogasanläggningen uppdelade på kapital- och driftskostnader för de olika delarna av produktionen inklusive rötrest- och gashantering. Kostnaderna för uppgradering och komprimering av biogasen är desamma per kWh biogas oberoende av råvara. Kapital- och driftskostnad för själva biogasanläggningen varierar dock betydligt; från 0,1 kr per kWh för rågvete till det dubbla för betblast som har låg TS-halt och relativt låg nedbrytbarhet. Dessa kostnader är dock fortfarande relativt låga jämfört med den totala produktionskostnaden, för betblast utgör de cirka 20 %. För gödsel är det istället dessa kostnader för kapital och drift för själva biogasanläggningen på som dominerar och utgör drygt 50 % av den totala produktionskostnaden.

FIGUR 5, PRODUKTIONSKOSTNAD FÖR BIOGASANLÄGGNING OCH GASHANTERING UPPDELAD PÅ KOSTNADSSLAG



RESULTAT FÖR DJUPNING

PRODUKTIONSKOSTNAD FÖR GRÖDORNA

Den produktionskostnad för grödan som ligger till grund för råvarukostnaden i Figur 4 är för ensilerad gröda, eller för torkad kärna av foderkvalitet (höstvet), och visas som kostnad per ton TS i Figur 6 (svarta staplar). Vid beräkningen av kostnad för ensilerad gröda har ensileringskostnaden lagts på samt en viss TS-förlust dragits av, vilket gör att ensileringskostnaden utgör 16–36 % av råvarukostnaden per ton TS (Figur 6, grå staplar). Merkostnaden för ensilering måste anses nödvändig för en jämn råvaruförsörjning vid biogasproduktion från grödor, men man kan tänka sig att anläggningen kan tillföras färska grödor under delar av året, särskilt vid samrötning av flera grödor med olika skördetidpunkt, vilket skulle kunna ge minskade råvarukostnader. Produktionskostnaden för ensilerad och färsk gröda jämförs i Figur 6 med vad biogasanläggningen kan betala och fortfarande få kostnadstäckning med det biogaspris som visas i Figur 3.

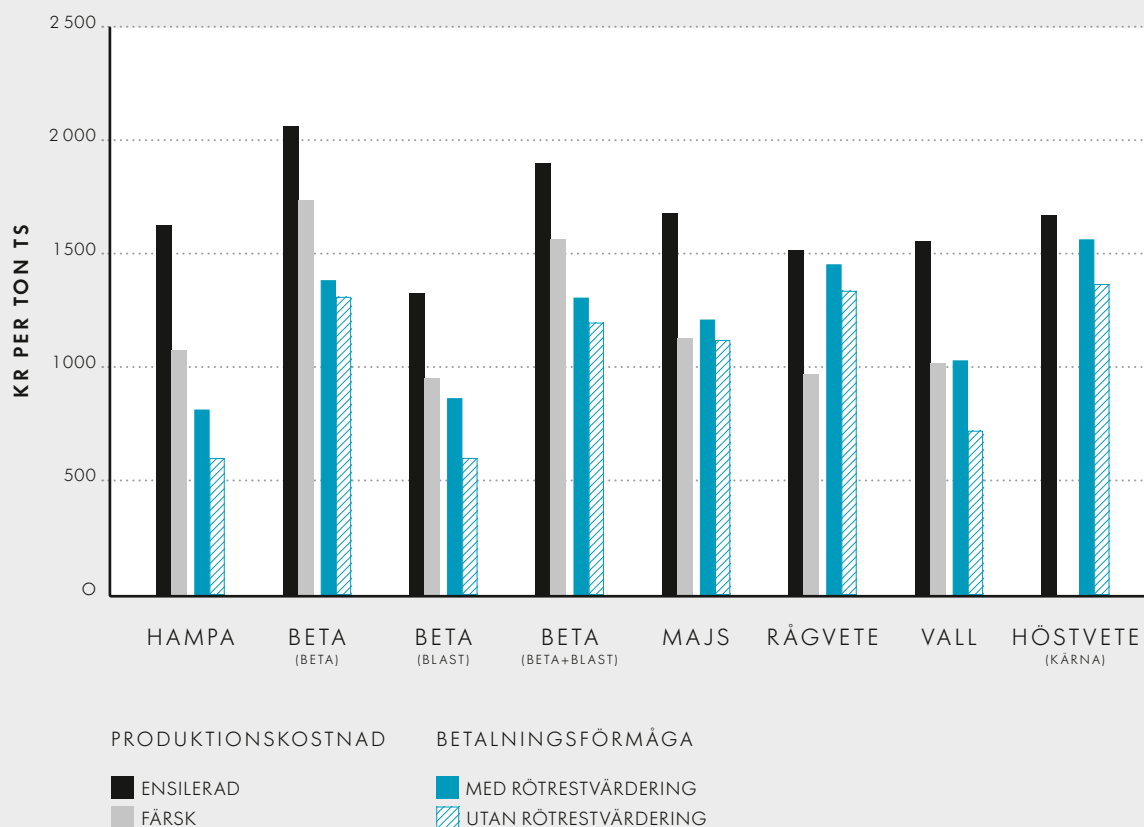
För färska grödor ligger produktionskostnaden för majs i nivå med, och för rågvete mycket lägre än, betalningsförmågan även utan rötrestvärdering. För färsk vall och betblast, där värdet av kvävet får genomslag vid rötrestvärdering, är betalningsförmågan tillräcklig för färsk gröda när rötrestvärdering inkluderas.

De beräknade produktionskostnaderna för ensilage i Figur 6 kan jämföras med de priser som rapporteras för grödor som biogasaråvara från tyska biogasanläggningar, där majs- och gräsensilage 2011 kostade c:a 1 000 kr per ton TS respektive 1 340 kr per ton TS.¹³ Med de tyska betydligt lägre priserna på majsensilage skulle produktion av biogas från majs därmed vara lönsam. Den beräknade produktionskostnaden för vallensilage ligger relativt nära angiven kostnad för gräsensilage i Tyskland, och vallbaserad biogasproduktion skulle under dessa förutsättningar inte gå att få lönsam även om tyska råvarukostnader tillämpades.

13 KOSTEN VERSCHIEDENER BIOGASSUBSTRATE 2011. 2012. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, GÜLZOW-PRÜZEN, TYSKLAND.

FIGUR 6, UTVÄRDERING AV RÅVARUKOSTNAD

Produktionskostnad för färsk och ensilerad gröda jämfört med betalningsförmåga vid biogasanläggningen.



STYRMEDEL

I denna jämförelse av kostnadseffektivitet mellan biogas från olika grödor faller rågvete och kärna från höstvetet bäst ut. Höstvetet är dock redan idag den dominerande grödan i produktionsområdet Gss, och man kan därför eventuellt vilja styra bort från en användning av just höstvetet som energigröda. Rågvete, som i denna studie visar allra bäst kostnadseffektivitet, är en spannmålsgröda som anses ge lägre miljöbelastning än höstvetet eftersom den ökar diversiteten i växtföljden och normalt kräver lägre användning av både pesticider och gödselmedel.¹⁴ Vall visar inte den bästa kostnadseffektiviteten som biogasgröda, men skulle i vissa områden kunna vara viktig att integrera i odling på grund av sina goda egenskaper i växtföljden. Klimatnyttan beskrivs i Del 3 i denna rapportserie, och kan vara ytterligare en anledning till att man vill styra mot eller från användningen av de undersökta grödorna som biogasgrödor. Det är därför intressant att jämföra hur olika typer av styrmedel påverkar kostnaden för biogasproduktion från olika grödor, och även från gödsel. I Tabell 2 sammanfattas de stödnivåer som skulle krävas för att nå kostnadstäckning vid ett försäljningspris på gasen vid biogasanläggning på 0,65 kr per kWh. Beräkningarna baseras på den produktionskostnad för biogasen som anges i Tabell 1, med full rötrestvärdering för grödor och utan rötrestvärdering för gödsel. Angivna stödnivåer kan även tolkas som vad som skulle krävas i form av minskade investeringskostnader i procent eller i ökning av marknadspriset för biogasen i kr per kWh.

TABELL 2, STÖDNIVÅER SOM KRÄVS
FÖR KOSTNADSTÄCKNING

PRODUKTIONSKOSTNAD KR PER kWh	HAMPA	BETA (BETA)	BETA (BLAST)	BETA +BLAST	MAJS	RÅGVETE	VALL	HÖSTVETE (KÄRNA)	NÖT- GÖDSEL
INVESTERINGSSTÖD (%)	>100	>100	86	>100	>100	13	>100	23	40
PRODUKTIONSSTÖD KR PER kWh	0,36	0,18	0,17	0,17	0,15	0,02	0,20	0,03	0,12
PRODUKTIONSSTÖD KR PER ha	7 400	6 800	2 710	7 630	4 430	420	4 520	740	

¹⁴ EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY.
2006. HOW MUCH BIOENERGY CAN
EUROPE PRODUCE WITHOUT HARMING
THE ENVIRONMENT? EEA REPORT NO 7.

Genomgående för biogas från energigrödor är att råvarukostnaden utgör ca 2/3 av den totala produktionskostnaden, och kapitalkostnaderna endast 16–18 %, varför åtgärder för minskad investeringskostnad får litet genomslag. För betblast är motsvarande andel för kapitalkostnaden 22 %, och för gödsel 39 %. Åtgärder som effektivare process (minskad reaktorvolym) eller investeringsstöd har för dessa biogasråvaror en större potential att minska den totala produktionskostnaden. Som visas i Tabell 2 är investeringsstöd inte en möjlig väg för att uppnå kostnadstäckning, utom för rågvete eller kärna från höstveten där produktionskostnaden för biogasen redan ligger mycket nära det bedömda marknadspriset. För biogas som drivmedel baserat på gödsel skulle kostnadstäckning nås med ett investeringsstöd på 40 % av investeringskostnaden.

Ett produktionsstöd kan läggas per producerad kWh biogas, och för grödor även möjligen per nyttjad hektar åkermark. Produktionsstödet som kr per kWh biogas kan även läsas som den prisökning som skulle krävas för att biogasproducenten ska få kostnadstäckning. I Energimyndighetens förslag till biogasstrategi för Sverige finns ett förslag om produktionsstöd på 0,2 kr per kWh för biogas från gödsel, baserat på den goda klimatnytta detta har visats ge.^{15, 16} Som har visats i denna studie ger vissa grödor en lägre produktionskostnad än gödsel, och ett stöd för gödselbaserad biogasproduktion kan vara en väg att styra mot nyttjande av denna restprodukt framför nyttjande av en gröda där åkermark tags i anspråk. Ett produktionsstöd i den föreslagna storleksordningen skulle göra biogasproduktion från gödsel lönsamt. Det är dock viktigt att påpeka att förutsättningarna för gödselbaserad biogasproduktion i denna studie gäller en gödselbaserad biogasanläggning som är betydligt större än de anläggningar som är i drift i Sverige idag, där de positiva skaleffekterna förbättrar de ekonomiska förutsättningarna. Anläggningen är också lokaliserad i en mycket gödseltät region, vilket ger korta transportavstånd.

Vad det gäller ett arealbaserat stöd för produktion av grödor har Jordbruksverket föreslagit att ett stöd för vall på 3 000 kr per ha i södra Sverige ska inkluderas i landsbygdsprogrammet 2014–2021.¹⁷ Detta vallstöd kan kombineras med att biomassan bortförs och används för energiproduktion. Det föreslagna stödet skulle dock enligt dessa beräkningar inte räcka för att göra vallbaserad biogasproduktion lönsam.

15 PÅL BÖRJESSON, LINDA TUFVESSON & MIKAEL LANTZ. 2010. LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIOFUELS IN SWEDEN. RAPPORT NO 70, MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM, LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA, LUNDS UNIVERSITET.

16 STATENS ENERGIMYNDIGHET. 2010. FÖRSLAG TILL EN SEKTORSÖVERGRIPANDE BIOGASSTRATEGI. RAPPORT ER 2012:23.

17 JORDBRUKSVERKET. 2012. LANDSBYGDSPROGRAM 2014-2021. TEKNISKT UNDERLAG. RAPPORT 2012:15.

SLUTSATSER

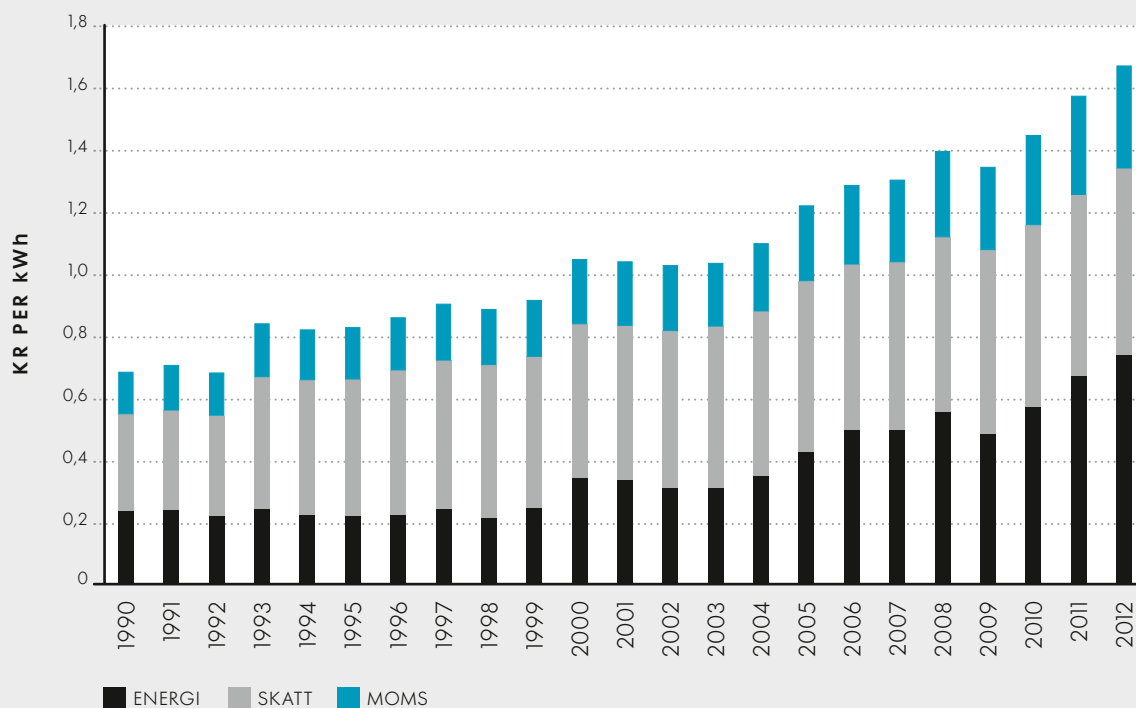
Kostnadseffektiviteten för biogas av drivmedelskvalitet producerad från sex olika grödor har beräknats och jämförts. Resultaten visar stora skillnader mellan de studerade grödorna, med produktionskostnader på mellan 0,7 och 1,1 kr per kWh. Grödans egenskaper påverkar de kostnader som är kopplade till själva biogasanläggningen, men även om dessa kan variera mellan som lägst 0,1 kr per kWh för rågvete och det dubbla för betblast utgör de en mindre del av den totala produktionskostnaden. Det är istället råvarukostnaden som dominerar, och helsädesensilage av rågvete och kärna av höstvetete med lägst råvarukostnad per kWh biogas, cirka 0,45 kr per kWh, är också de som ger lägst total produktionskostnad. Här ligger totala produktionskostnaden även lägre än om restprodukten gödsel skulle använts som biogasråvara under samma förutsättningar.

I praktiken skulle biogasproduktion från ett flertal grödor kunna finna lönsamhet, särskilt om man ser grödan som ett komplement som delar av året kan tillföras utan ensilering. Av hänsyn till att åkermark tags i anspråk kan det dock finnas anledning att inte låta enbart kostnadseffektiviteten styra vilka grödor som används i denna tillämpning. Ett bredare perspektiv som innefattar klimateffektivitet och andra miljökonsekvenser kan lägga grund för införande av olika typer av styrmedel.

För samtliga här undersökta grödor gäller att ett styrmedel av typen investeringsstöd ger mycket liten effekt eftersom investeringen utgör en relativt liten del av den totala produktionskostnaden. Ett investeringsstöd kan dock fortfarande vara motiverat för att minska den ekonomiska risken för investeraren. Med ett produktionsstöd på mellan 2 och 20 öre per kWh uppnås kostnadstäckning för alla här undersökta biogasråvaror utom hampa. Denna siffra kan även tolkas som den prisökning som skulle krävas för att göra produktion av biogas som drivmedel från dessa biogasråvaror ekonomiskt attraktiv. Jämfört med det genomsnittliga priset på fordonsgas i början av 2013 (Figur 3) motsvarar det en prishöjning till kund på 2 till 20 %. Detta kan jämföras med priset mot privatkund för bensen, som ökat med 60 % på 10 år (jämfört med medelpriset under perioden 2000–2004, Figur 7).¹⁸

18 SVENSKA PETROLEUM & BIODRIVMEDEL-INSTITUTET. [HTTP://SPBI.SE/STATISTIK/PRISER/BENSIN](http://spbi.se/statistik/priser/bensin). FÖRSÄLJNINGSPRIS VID PUMP AV BENSIN I SVERIGE. DATA HÄMTADE 2013-04-15.

FIGUR 7, FÖRSÄLJNINGSPRIS FÖR BENSIN 1990–2012



Detta utgör Del 2 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 uppslag. I Del 1 presenteras valet av grödor, odling och markanvändningseffektivitet. I Del 3 presenteras fakta om energieffektivitet och klimatnytta för kedjan från gröda till biogas som drivmedel.



FOTO PETER WESTRUP

Odlingsförsök med gräs/klöverbäll för biogasproduktion vid Söderåsens Bioenergi.

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.

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 81
ISBN 978-91-86961-07-7
© BJÖRNSSON & LANTZ 2013
LOVISA.BJORNSSON@MILJO.LTH.SE

