



UPPSALA
UNIVERSITET



Självständigt arbete i energisystem 15 hp

Juni 2025

Jordbruksbaserad vätgasproduktion genom reformerings av biogas

Teknisk och ekonomisk utvärdering av lokal
vätgasproduktion inom jordbruket

Alexander Aspenberg, Maximilian Bonde,
Ellen Grantinger, Noah Heckmann, Martin Jangö
Fornander, Josefin Nordenö, Arvid Sivertun och Elin
Tingström

Uppsala universitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten
Institutionen för fysik och astronomi

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem
Examensarbete 2025:09 • ISSN 1654-9392
Uppsala 2025

Jordbruksbaserad vätgasproduktion genom reformering av biogas. Teknisk och ekonomisk utvärdering av lokal vätgasproduktion inom jordbruket.

Agriculture-based Hydrogen Production through Reforming of Biogas. Technical and Economic Evaluation of Local Hydrogen Production in Agriculture.

Alexander Aspenberg, Maximilian Bonde, Ellen Grantinger, Noah Heckmann, Martin Jangö Fornander, Josefin Nordenö, Arvid Sivertun, Elin Tingström

Handledare:	Linus Engstam, SLU, institutionen för energi och teknik Ashkan Tayebi, SLU, institutionen för energi och teknik
Examinator:	Anders Larsolle, SLU, institutionen för energi och teknik
Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i energisystem
Kurskod:	Uppsala universitet: 1FA311 SLU: EX0946
Program/utbildning:	Civilingenjörsprogrammet i Energisystem
Kursansvarig inst.:	Uppsala universitet Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten Institutionen för fysik och astronomi Sveriges lantbruksuniversitet, SLU Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap Institutionen för energi och teknik
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2025
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien:	2025:09
ISSN:	1654-9392
Nyckelord:	Jordbruk, biogas, vätgas, ångreforming, självförsörjning, biogödsel, energisystem, lokal energiproduktion, miljöpåverkan, koldioxidutsläpp, CCS, energiresiliens, förnybar energi.

Uppsala universitet	Sveriges lantbruksuniversitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten Institutionen för fysik och astronomi	Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap Institutionen för energi och teknik

Sammanfattning

Sveriges jordbruk har potential att bidra till energiomställningen genom lokal produktion av biogas och vidareförädling till vätgas. Denna studie undersöker den tekniska och ekonomiska genomförbarheten av att införa ett system för vätgasproduktion via ångreformerings av biogas på enskilda jordbruk. Genom en modell utvecklad i Excel utvärderas fyra representativa gårdar med olika substratsammansättningar (gödsel och skörderester), och resultaten visar att lönsamheten i stor grad beror på gårdens storlek och typ av verksamhet.

Resultaten visar att gårdar med stor djurhållning i kombination med odlingsmark har bäst förutsättningar för lönsam produktion, medan småskaliga verksamheter eller gårdar med begränsad mängd substrat har svårigheter att nå ekonomisk lönsamhet. Den tekniska analysen visar att betydande mängder vätgas kan produceras, vilket motsvarar stora volymer fossilt dieselbränsle. Miljöanalysen indikerar minskade växthusgasutsläpp samt produktion av biogödsel som kan ersätta konstgödsel.

Studien belyser även möjliga synergier, såsom nyttjande av restvärme från reformeringsprocessen och potential för koldioxidinfångning. För att ytterligare stärka lönsamheten föreslås saminvesteringar mellan flera gårdar, stöd från statliga investeringsprogram samt breddade användningsområden för vätgas inom jordbruket.

Nyckelord: Jordbruk, biogas, vätgas, ångreformering, självförsörjning, biogödsel, energisystem, lokal energiproduktion, miljöpåverkan, koldioxidutsläpp, CCS, energiresiliens, förnybar energi.

Abstract

Swedish agriculture has potential to contribute to the energy transition through local biogas production and subsequent hydrogen generation. This study investigates the technical and economic feasibility of implementing a system for hydrogen production via steam reforming of biogas on individual farms. Using an Excel-based model, four representative farms with varying substrate compositions (manure and crop residues) are evaluated. The results show that profitability largely depends on the scale and type of agricultural operation.

Farms with large-scale animal husbandry combined with farmable land demonstrate the best economic potential, while smaller operations with limited substrate availability struggle to profit economically. The technical analysis shows that substantial amounts of hydrogen can be produced, equivalent to significant volumes of fossil diesel. The environmental assessment indicates

reduced greenhouse gas emissions and the production of biofertilizer that can substitute synthetic fertilizers.

The study also discusses possible synergies, such as utilizing waste heat from the reforming process and the potential for carbon capture and storage (CCS). To improve profitability further, joint investments between farms, public support schemes, and expanded on-farm hydrogen use are recommended.

Keywords: Agriculture, biogas, hydrogen, steam reforming, self-sufficiency, biofertilizer, energy systems, local energy production, environmental impact, carbon dioxide emissions, CCS, energy resilience, renewable energy.

Förord

Detta arbete har genomförts med stöd från Stiftelsen för samverkan mellan universiteten i Uppsala, näringsliv och samhälle (STUNS) tillsammans med företaget Metacon. Projektet utgår från ett problem som Metacon har önskat att få utrett. Författarna har i och med detta haft nära samarbete med nyckelpersoner inom Metacon: Jan Wicén, Lars Forslund, Christian Hofmann och Thomas Chalkidis.

Innehållsförteckning

Förord.....	5
1. Inledning	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Problembeskrivning	9
1.3 Syfte och frågeställningar	9
1.4 Avgränsningar	9
2. Systembeskrivning	11
2.1 Anaerob rötning	11
2.2 Biogödsel	12
2.3 Ångreforming av biogas till vätgas	12
2.4 Miljöpåverkan	12
3. Material och metoder	14
3.1 Beskrivning av undersökta jordbruk	14
3.2 Beräkning av biogas	15
3.2.1 Energikonsumtion vid rötning	16
3.3 Beräkning av biogödsel	16
3.4 Beräkning av vätgas	17
3.4.1 Omvandling till dieselevivalenter	17
3.4.2 Energikonsumtion vid vätgasproduktion	18
3.5 Beräkning av koldioxidutsläpp	18
3.6 Ekonomiska beräkningar	19
4. Resultat	21

4.1	Miljöfaktorer i produktion.....	24
4.2	Ekonomisk analys	25
4.3	Känslighetsanalys	25
4.3.1	Substratens påverkan på biogasproduktionen.....	25
4.3.2	Elprisets inverkan på lönsamheten	26
4.3.3	Dieselpreisets inverkan på lönsamheten	27
4.3.4	Effekter av förändrad ränta.....	28
5.	Diskussion.....	30
5.1	Vätgasproduktionens lönsamhet och rimlighet.....	30
5.2	Användningsområden och framtida möjligheter	30
5.3	Ekonomiska förutsättningar och investeringsstöd	31
5.4	Systemets miljöpåverkan.....	31
5.5	Känslighet och felkällor	32
5.6	Framtida utveckling.....	33
6.	Slutsatser.....	34
	Referenser	35
	Delrapporter.....	38

1. Inledning

Sveriges lantbrukare besitter en outnyttjad energikälla; årligen produceras gödsel- och skörderester motsvarande sju terawattimmar (TWh) potentiell biogas – tre gånger mer än de 2,3 TWh som producerades år 2023 (Energigas Sverige 2023). Dessutom ökar efterfrågan på förnybar gas snabbt och kraftigt; svensk industri beräknas behöva minst 10 TWh biogas redan år 2030 (Industrins Biogaskommission 2024).

Jordbruket spelar en nyckelroll i energiomställningen med möjligheten att omvandla biologiska restflöden till biogas, och vidare till vätgas via reformering. Vätgasen har en central funktion, som en lagringsbar energibärare i ett framtida, förnybart energisystem.

1.1 Bakgrund

Gödsel och skörderester motsvarar omkring 7 TWh möjlig biogas per år, vilket är tre gånger den faktiska produktionen 2023 (2,3 TWh) – och fortfarande långt under industrins prognostiserade behov på minst 10 TWh 2030 ((Energigas Sverige 2023); (Industrins Biogaskommission 2024)). Av de 284 svenska biogasanläggningarna 2022 var 61 gårdsbaserade och stod för 121 GWh. Enligt beräkningar från Lunds universitet kan gödsel, odlingsrester och extra vallodling tillsammans lyfta gårdsbaserad biogas upp till totalt 6,9 TWh, vilket i praktiken skulle tredubbla dagens produktion (Börjesson 2016).

Samtidigt har den totala biogasanvändningen stigit 113 procent sedan 2015 och uppgick 2023 till 4,1 TWh. Nästan hälften täcks redan av import, främst via det sydsvenska gasnätet och som flytande biogas från Norge och Finland. Det understryker behovet av mer inhemsk, decentraliserad produktion för att möta efterfrågan och minska importberoendet. I dag används cirka 180 000 ton vätgas (6 TWh) årligen, nästan enbart framställd genom ångreformering av naturgas. Med industriella satsningar som HYBRIT och EU-krav på vätgastankstationer växer behovet snabbt. Energimyndigheten räknar med 22–100 TWh fossilfri vätgas 2050. Här kan biogasbaserad vätgas bli ett viktigt tillskott. Några anledningar listas nedan:

1. Koldioxidbalans – metanet är biogent, vilket sänker livscykelutsläppen jämfört med naturgas.
2. Lokalt värdeskapande – lantbruket tar kontroll över hela kedjan: restflöden → biogas → vätgas.
3. Energiresiliens – gårdsanläggningar sprider produktionen geografiskt, minskar sårbarhet för prischocker och leveransstopp.

Genom att skala upp gårdsbaserad biogasproduktion och komplettera med ångreforming kan lantbruket:

- Leverera ny förnybar energi.
- Minska beroendet av importerad gas.
- Tillhandahålla grön vätgas för industri, transporter och energilagring.

Det gör gårdsproducerad vätgas till en strategisk länk mellan dagens biologiska restströmmar och morgondagens fossilfria energisystem.

1.2 Problembeskrivning

Jordbruk har möjlighet att producera värdefull energi med hjälp av restprodukter från gården, men det behövs en undersökning kring om detta är praktiskt och ekonomiskt genomförbart på gårdsnivå. Det saknas kunskap om hur mycket vätgas som skulle kunna produceras, vad det skulle kosta samt vilken miljöpåverkan som detta skulle resultera i. Det bör även utredas i vilken utsträckning vätgasproduktion från biogas kan bidra till ökad självständighet och resiliens för jordbruket. För att kunna implementera ett biogas- och vätgassystem på ett jordbruk, behöver dessa frågor utredas.

1.3 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta projekt är att tekniskt och ekonomiskt utvärdera möjligheten att implementera ett system för vätgasproduktion genom reformering av biogas baserad på restprodukter från ett jordbruk. Följande frågor ska besvaras:

- Hur mycket vätgas kan produceras på ett jordbruk?
- Vad är återbetalningstiden för ett komplett system med biogas- och vätgasproduktion för ett enskilt jordbruk?
- Vilken miljöpåverkan medför ett sådant system?

1.4 Avgränsningar

Denna undersökning avser lokal vätgasproduktion på enskilda jordbruksverksamheter. Systemgränsen är satt till gårdsnivå, det vill säga produktion och konsumtion av vätgas antas ske inom jordbruket. Eventuell försäljning eller distribution av vätgas undersöks inte i denna studie. Ett antagande görs att vätgasteknik för jordbruksmaskiner är befintlig och existerar vid implementering av modellen, eftersom det ger jordbruken möjlighet att nyttja vätgasen för att driva maskiner på gården.

Data för substrat som används inom biogasproduktion varierar kraftigt beroende på klimat och lokala förutsättningar, därför hämtas data från svensk biogasproduktion med svenska substrat.

De undersökta grödorna som substrat avgränsas till 23 grödor, under kriteriet att det existerar en märkbar mängd odlad landareal i Sverige enligt Jordbruksverket (u.å.). Detta säkerställer att irrelevanta grödor exkluderas. Grödor som grönfoderväxter, raps bortses på grund av minimal restprodukt. Andra möjliga restprodukter på gården som, hushållsavfall, frukt och trädgårdsavfall inkluderas i modellen. De gödsel som undersöks är nöt-, svin-, häst-, får-, och hönsgödsel i olika typer av gödselformer. Även restprodukter från animaliska produktionen som exempelvis äggrester och slakteriavfall implementeras i modellen. Dessa substrat antas i dagsläget vara outnyttjade och har därför inget ekonomiskt värde i modellen.

För beräkning av den biogödsel som produceras i biogasprocessen, avgränsas näringsämnena som undersöks till endast kväve och fosfor.

Det systemet som används för reformeringsprocessen av biogas till vätgas är HHG-50 systemet som produceras av Metacon. Använd data för system-specifika värden avser HHG-50.

2. Systembeskrivning

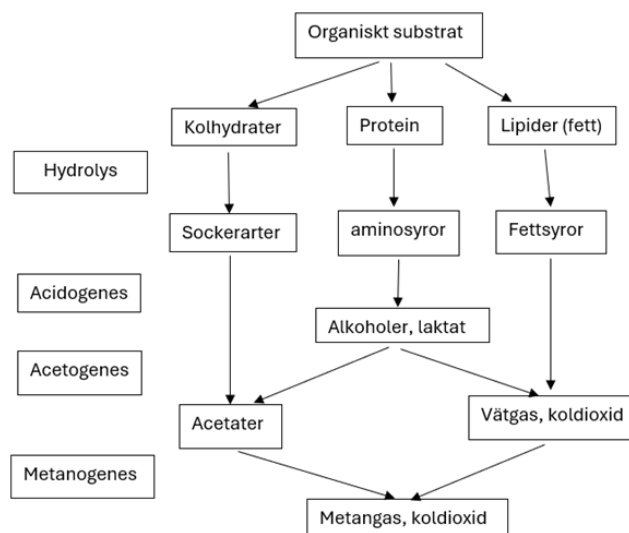
Processen att gå från gödsel och skörderester till vätgas innefattar två delprocesser; rötning av substrat till biogas och därefter ångreforming till vätgas.

2.1 Anaerob rötning

I dagsläget produceras majoriteten av biogas genom våtrötning. Våtrötning sker genom att substratet finfördelas och blandas med vatten tills att mängden vatten utgör minst 85 procent av substratvolymen. Detta krävs för att göra substratet pumpbart. Denna metod kräver stora mängder vatten och anläggningar med många rörliga delar som kan vara en riskfaktor för driftmöjligheterna hos anläggningen (Nordberg & Nordberg 2007).

En alternativ metod är torrötning, där substratet inte har behov av tillsatt vatten. Det gör substratet stapelbart. System med torrötning är utformade med syfte att tillsätta ympningsvätska så effektivt som möjligt till substratet för att snabbstarta rötningen och se till att rötningen sker jämnt över hela substratet (Xiao et al. 2022).

Omvandlingen från substrat till metan sker i flera steg, där varje steg bryter ner komplexa organiska molekyler till enklare föreningar som metanbildande mikroorganismer använder för att producera metan som en biprodukt vid dess cellandning (Laiq Ur Rehman et al. 2019). Processerna beskrivs nedan i Figur 1.



Figur 1: Översikt över de mikrobiella processerna vid anaerob nedbrytning av substrat.

Det finns ett antal parametrar som alla styr hur väl metanbildningen fortlöper. Dessa inkluderar till exempel pH-värde och substratsammansättning. Hur dessa påverkar den biokemiska processen avhandlas i delrapport 5.

2.2 Biogödsel

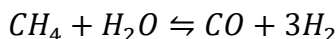
En biprodukt från rötningen är biogödsel. Att återföra näringsämnen till marken är avgörande för att säkerställa goda skördar. Förutom biogödsel kan även näring tillföras med rent biologisk stallgödsel eller konstgödsel (Nationalencyklopedin u.å.), där den senare framställs genom en energikrävande process som oftast drivs med naturgas (Naturskyddsföreningen 2023).

Samtliga näringsämnen i substratet innan rötning kvarstår i biogödseln. Dessutom har kvävet i substratet brutits ner till mer växttillgängligt ammoniumkväve, vilket gör biogödsel till en snabbverkande gödsel (Avfall Sverige 2025).

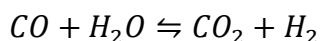
2.3 Ångreformering av biogas till vätgas

Vätgas kan framställas genom flera tekniker, där de vanligaste är elektrolys, reformering och förgasning (Vätgas Sverige u.å.b).

Ångreformering av biogas sker genom att metan (CH_4) reagerar med het vattenånga i närvaro av en katalysator enligt en endoterm reaktion:



Den bildade kolmonoxiden (CO) reagerar därefter med ytterligare vattenånga i en vattengas-skiftreaktion:



Dessa reaktioner kan ske i membranreaktioner där vätgas kan separeras direkt under processen (Wang & Economides 2009). Restvärme från ångreformeringen kan tas till vara för uppvärmning av rötningsprocessen.

2.4 Miljöpåverkan

Biogas från jordbrukets restprodukter är ett resurseffektivt och klimatvänligt energialternativ. Genom att omvandla organiskt avfall som gödsel och växtrester skapas ett cirkulärt flöde av näringsämnen och kol inom lantbruket.

Vid ångreformering till vätgas frigörs koldioxid från två källor: dels den som naturligt finns i biogasen, dels från de kemiska reaktioner som sker under processen (Tanigawa u.å.). Metan reagerar med vattenånga till vätgas och

kolmonoxid, som vidare omvandlas till koldioxid och ytterligare vätgas (Wang & Economides 2009). Biogasens sammansättning, främst metanhalt, påverkar direkt mängden koldioxid som frigörs.

För att minska klimatpåverkan kan koldioxidavskiljning och lagring (CCS) användas. Biogasproduktion och reformering ger koldioxidströmmar, särskilt vid uppgradering till biometan. De är lämpliga för CCS och binder biogen koldioxid, vilket gör processen till en eventuell koldioxidsänka (Naturvårdsverket 2024).

En annan viktig aspekt är de potentiella effekterna av biogödsel på miljön. Biogödsel har möjlighet att ersätta konstgödsel, vars produktion orsakar stora mängder fossila utsläpp (Naturskyddsföreningen 2023). Denna klimatvinst uppnås dock inte om jordbruket i dagsläget använder stallgödsel som gödselmedel och inte konstgödsel. Samtidigt kvarstår problemet med övergödning som gödsel bidrar till. Näringen i biogödseln riskerar att bidra till näringsläckage och därmed öka övergödningen i mark och vatten (Naturskyddsföreningen 2021). För mer information om detta, se delrapport 4.

3. Material och metoder

I projektet utvecklades en modell med syfte att fungera som stöd och underlag vid uppskattning av vätgas- och biogasproduktion för lokala jordbruksverksamheter. Inparametrarna i modellen utgörs av gårdens tillgängliga substrat, såsom gödsel och skörderester, utifrån dessa beräknas mängden producerad vätgas samt tillhörande kostnader. Modellen utvecklades i Excel.

3.1 Beskrivning av undersökta jordbruk

Den utvecklade modellen tillämpades på följande jordbruk.

Jordbruk 1 har totalt 550 nötkreatur och 600 hektar vallodling. Vallodling nyttjas ej som substrat vid biogasproduktion utan används enbart som foder vid djurhållning. Detta visas i Tabell 1.

Tabell 1: Substrat för jordbruk 1.

Jordbruk 1	Indata kategori
240 mjölkkor (10 000 l/år)	Nöt flytgödsel
100 kvigor/stutar (<1 år)	Nöt djupströ
100 kvigor/stutar (>1 år)	
110 dikor	

Jordbruk 2 producerar 22 000 årsgrisar samt har 550 hektar åkermark. Raps nyttjas inte som substrat till biogasproduktionen, då det antas att det inte genererar några restprodukter. Detta visas i Tabell 2.

Tabell 2: Substrat för jordbruk 2.

Jordbruk 2	Indata kategori
400 digivande suggor	Svin flytgödsel
10 272 kulting	
11 328 slaktgrisar	
50 hektar höstvet	Halm
50 hektar vårvete	
50 hektar höstkorn	
50 hektar vårkorn	

Jordbruk 3 består av 1 600 får. Den resulterande mängden djupströgödsel användas vid produktion av biogas. Detta visas i Tabell 3.

Tabell 3: Substrat för jordbruk 3.

Jordbruk 3	Indata kategori
1600 får	Får djupströ

Jordbruk 4 producerar spannmål på 900 hektar åkermark där halmen anses som restprodukt och används som substrat i biogasproduktionen. Detta visas i Tabell 4.

Tabell 4: Substrat för jordbruk 4.

Gård 4	Indata kategori
150 hektar höstvet	Halm
150 hektar vårvete	
150 hektar höstråg	
150 hektar höstkorn	
150 hektar vårkorn	
150 hektar havre	

3.2 Beräkning av biogas

Mängd biogas som kan utvinnas ur ett visst substrat beror på en rad faktorer som processförhållanden, verkningsgrad och substratets sammansättning.

För att beräkna mängden biogas (kg) används Ekvation 1.

$$m_{biogas} = m_{substrat} \frac{TS \cdot VS_{rel} \cdot Y_{CH_4}}{x_{CH_4} \cdot \rho_{biogas}} \quad (1)$$

- m_{biogas} är biogasmassan.
- $m_{substrat}$ är substratets våtvikt.
- TS är substratets torrsustanshalt.
- VS_{rel} är substratets VS/TS-halt.
- Y_{CH_4} är substratets metaninnehåll per ton VS.
- x_{CH_4} är substratets metanhalt.
- ρ_{biogas} är densiteten för biogas vid atmosfärstryck.

För vidare förklaring av inparametrar och deras innebörd se delrapport 6.

Metanutbyte, metanhalt, TS och VS/TS för olika substrat har samlats in från olika källor för att sammanställa ett dokument som genomför beräkning av mängd biogas som fås från respektive substrat med hjälp av Ekvation 1. Dessa källor inkluderar Avfall Sverige (2009), Herrmann et al. (2016) och Murphy et al. (2011).

För möjligheten att beräkna biogasutbytet från hektar åkermark tas andelen användbar restprodukt i bejakande. Då används massförhållandet mellan restprodukter och gröda och multipliceras med andelen upptagen restprodukt (Adolfsson 2005).

Denna procentuella del kan sedan multipliceras med hektarskördsutslutprodukt. Denna uträkning har gjorts för de vanligaste sädesslagen i Sverige.

Om jordbrukaren ej har en uppskattning på antal ton gödsel har en uppskattning per djursort och gödselsort gjorts med data från Jordbruksverket (2024). Där en generell gödselproduktion per djur multipliceras med antalet djur jordbrukaren innehaver.

3.2.1 Energikonsumtion vid rötning

Rötningsprocessen i denna modell är termofil torrötning. I och med den höga temperaturen i rötkammaren, krävs energi för att värma upp den ympvätska som cirkulerar genom substratet. Denna energi beräknas med Ekvation 2.

$$E = f_{ymp} \cdot e_{ymp} \cdot V_{biogas} - E_{rest,H_2} \quad (2)$$

Där:

- E är nettoenergibehovet (kWh).
- f_{ymp} är åtgång av ympvätska per volym biogas (ton/Nm³).
- e_{ymp} är energiförbrukningen per ton ympvätska (kWh/ton).
- V_{biogas} är volym biogas (Nm³).
- E_{rest,H_2} är restvärmen från ångreformeringsprocessen (kWh).

Enligt Lars Forslund (Forslund, pers.komm.) är åtgången av ympvätska 0,0066 ton/Nm³ biogas och energiförbrukningen är 127 kWh per ton ympvätska. Restvärmen från ångreformeringen är 0,5 kWh per kg producerad vätgas.

3.3 Beräkning av biogödsel

Rötresten som genereras genom biogasprocessen, innehåller samma näringsämnen som finns i substratet innan rötning (Salomon & Wivstad 2013). Detta innebär att beräkningarna av näringsinnehåll i rötresten antas vara samma som näringsinnehållet för substratet innan rötning. Kväve- och fosforinnehållet i rötresten beräknas enligt Ekvation 3.

$$N = m_{substrat,våt} \cdot TS \cdot C \quad (3)$$

där N står för näringsinnehållet, $m_{substrat,våt}$ är våtvikten av substratet, TS är torrsubstanshalten och C är näringshalt som beror på substratets sammansättning.

Kväve- och fosforhalten varierar för olika substrat och har därmed hämtats från olika källor. För beräkningen av näring i stallgödsel har data hämtats från

Lantmännen (2025). För beräkning av grödors näringsinnehåll, har data hämtats från Lantmännen (2025), Olsson (2018), Summit Fertilizers (u.å.) och Greppa näringen (2022). Näringsinnehållet i en gröda antas vara samma som näringsbortförelsen från marken vid skörd av grödan.

Under lagring antas biogödseln vara täckt vilket leder till kväveförluster på cirka 0,9 procent per månad. Fosfor antas inte läcka under lagring. Detta är baserat på en rapport av Danmarks JordbrugsForskning (2004).

3.4 Beräkning av vätgas

Vid reformering av biogas omvandlas metan till vätgas genom kemiska reaktioner. Det teoretiska utbytet är fyra mol vätgas per mol metan. I praktiken påverkas utbytet av faktorer såsom verkningsgrad i reformeringsprocessen, biogasens sammansättning och förluster i efterföljande processled.

Den verkliga mängden producerad vätgas beräknas enligt Ekvation 4.

$$m_{H_2} = m_{biogas} \cdot x_m \cdot 0,67 \cdot 0,5 \cdot \eta \quad (4)$$

Där m_{H_2} är mängden vätgas (kg), m_{biogas} är total mängd biogas (kg), x_m är metanhalt i massprocent, 0,67 är andelen nyttjad metan för vätgasproduktion (resterande del används som energi i reformeringsprocessen), 0,5 är stökiometrisk faktor för vätgasutbyte och η är reformeringsprocessens verkningsgrad. Detaljerad härledning av ekvationen finns i delrapport 2.

Verkningsgraden (η) har i denna undersökning bestämts till mellan 0,75 och 0,8 efter processdata från Metacon (Chalkidis 2025). Andelen metan som används för reformering (0,67) är från Lars Forslund (Forslund, pers.komm.).

3.4.1 Omvandling till dieselevivalenter

Den producerade mängden vätgas kan omvandlas till motsvarande dieselevivalenter (liter) enligt Ekvation 5.

$$Deselev = m_{H_2} \cdot \frac{E_{H_2} \cdot \eta_{H_2}}{E_{diesel} \cdot \eta_{diesel}} \quad (5)$$

Energiinnehållet i ett kilo vätgas (E_{H_2}) är 33 kWh (Vätgas Sverige u.å.a), och den genomsnittliga verkningsgraden för en bränslecell (η_{H_2}) som används i fordon är 55 procent (U.S. Department of Energy Hydrogen Program 2006).

Energiinnehållet i en liter diesel (E_{diesel}) är 9,96 kWh (Karlsson & Johansson 2009), och den genomsnittliga verkningsgraden (η_{diesel}) är 37 procent (Wikipedia 2025). Vid insättning av dessa värden i Ekvation 5, blir resultatet att ett kilo vätgas motsvarar cirka 4,9 liter diesel.

3.4.2 Energikonsumtion vid vätgasproduktion

Reformeringsprocessen kräver el som uppgår till 0,15 kWh/kg producerad vätgas (Forslund, pers.komm.).

För att möjliggöra användningen av vätgas för att exempelvis tanka en traktor, krävs ett tryck på 350 bar (Blue Fuel Solutions u.å.). Detta innebär att vätgasen behöver komprimeras från cirka sju bar till 350 bar. Energiåtgången för detta är 3,1 kWh per kg vätgas, baserat på rapporten av Gardiner (2009).

3.5 Beräkning av koldioxidutsläpp

Rå biogas består i regel av 50-70 procent metan (CH_4), 30-50 procent koldioxid (CO_2) samt en mindre (försumbar) andel föroreningar (Tanigawa u.å.). Vid ångreforming bryts metanet ner i steg tills allt kol omvandlats till koldioxid (se avsnitt 2.3).

Då 1 mol metan (16 g/mol) genererar 1 mol koldioxid (44 g/mol) vid fullständig reformering, ges förhållandet:

$$\frac{1 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } CH_4} = \frac{44 \text{ g } CO_2}{16 \text{ g } CH_4} = 2,75 \text{ g } \frac{CO_2}{g} CH_4 \quad (6)$$

För att konvertera biogasens sammansättning från volymprocent till mängden CO_2 per Nm^3 biogas, används metanets densitet; $\rho_{CH_4} = 0,716 \text{ kg} / m^3$ (Österman & Nordling 1996).

Mängden koldioxid som bildas blir:

$$m(CO_2)_{reforming} = 2,75 \cdot \rho_{CH_4} = 1,97 \text{ kg } CO_2 / Nm^3 CH_4 \quad (7)$$

där x_{CH_4} är metanhalt i volymprocent.

För att beräkna den totala utgående mängden koldioxid behöver den ursprungliga mängden koldioxid i den råa bi gasen adderas. Denna koldioxid frigörs inte i reaktionen men är en del i den gasström som går in i ångreformeringsprocessen.

Den totala mängden koldioxid per Nm^3 biogas beskrivs med följande ekvation, med antagen densitet $\rho_{CO_2} = 1,98 \text{ kg} / m^3$ (Österman & Nordling 1996):

$$m(CO_2) = x_{CH_4} \cdot 1,97 + (1 - x_{CH_4}) \cdot \rho_{CO_2} \quad (8)$$

En metanhalt på 65 procent ger totalt 1,974 kg CO_2 per Nm^3 biogas.

3.6 Ekonomiska beräkningar

De ekonomiska beräkningarna inkluderar investeringskostnader för byggnader och utrustning. Baserat på antal avskrivningsår och ränta, beräknas årskostnaden med annuitetsmetoden enligt Ekvation 9.

$$Annuitet = I \cdot \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (9)$$

där I är investeringskostnaden, r är räntesatsen och n är antal avskrivningsår.

Kostnaderna för el som konsumeras under produktion tillkommer som driftkostnader i den årliga kostnaden. Kostnader för underhåll och personal exkluderas. Även kostnad för hjullastare exkluderas eftersom det antas att dessa maskiner redan finns på gården.

De årliga intäkterna omfattar värdet för den producerade vätgasen (omräknad i dieselekvivalenter multiplicerad med dieselpriis), samt värdet av biogödsel producerad av skörderester (multiplicerat med gödselpriiser enligt Jordbruksverket (2025)). Biogödsel från stallgödsel exkluderas från intäkterna, eftersom gödseln annars hade spridits som gödselmedel direkt. Det ekonomiska värdet för den producerade biogödsel av grödor beräknas genom att använda antagna priser för gödsel 2025, enligt Jordbruksverket (2025). Det årliga kassaflödet bestäms med Ekvation 10.

$$\text{Årligt kassaflöde} = \text{Intäkter} - \text{kostnader} \quad (10)$$

För att utvärdera investeringen långsiktigt beräknas nettonuvärdet (NPV) enligt Ekvation 11.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C}{(1+r)^t} \quad (11)$$

där t är från år 1 till sista avskrivningsåret (n), r är kalkylräntan och C är kassaflödet, som beskrivs ovan. Lönsamheten bedöms även genom att beräkna återbetalningstiden enligt Ekvation 12.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Årligt nettoresultat}} \quad (12)$$

Inom det årliga nettoresultatet ingår endast driftkostnaderna från anläggningen och kapitalkostnaden inkluderar inte. Återbetalningstiden speglar därmed hur snabbt investeringen betalar av sig, utan hänsyn till kapitalkostnaden.

Tabell 5 visar en sammanställning av de ekonomiska parametrarna för modellen.

Tabell 5: Ekonomiska parametrar för systemet.

Total investeringskostnad	42 000 000 kr
Avskrivningstid	20 år
Kalkylränta	4 %
Årlig kapitalkostnad (annuitet)	3 090 434 kr
Elpris (inkl. avgifter)	1,5 kr/kWh
Dieselpreis (medel senaste 10 åren (Drivkraft Sverige u.å.))	16,99 kr
Driftkostnader (genomsnitt per kg producerad vätgas)	18 kr/kg
Ekonomiskt vätgasvärde (baserat på ersatt diesel)	83 kr/kg

4. Resultat

Nedan presenteras förväntat resultat för de jordbruk som beskrivs i 3.1. Tabell 6 visar jordbrukens potential för implementering av det undersökta systemet, genom att presentera producerad vätgas, årligt kassaflöde, nettonuvärde (NPV) samt återbetalningstid.

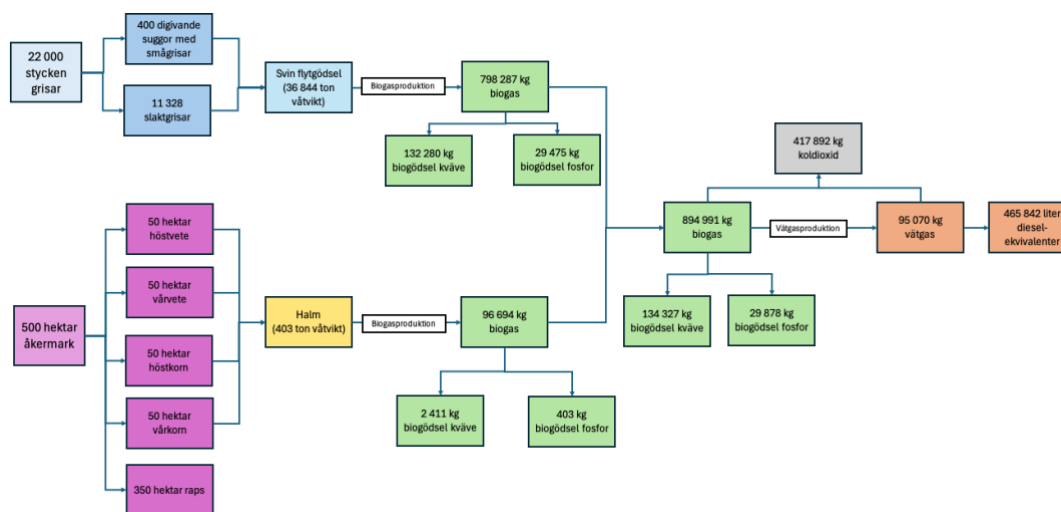
Tabell 6: Mängd producerad vätgas och ekonomiskt resultat för fyra exempelgårdar.

Jordbruk	Vätgas [kg/år]	Vätgas, dieselekv. [l/år]	Årligt kassaflöde [kr]	Nettonuvär de (NPV) [kr]	Återbeta lningstid [år]
Jordbruk 1 550 kor	27 083	132 705	-1 335 390	-18 148 382	23,9
Jordbruk 2 22 000 årsgrisar 200 hektar odlingsmark	95 070	465 842	3 138 980	42 659 759	6,7
Jordbruk 3 1600 får	12 881	63 116	-2 255 706	-30 655 786	50,3
Jordbruk 4 900 hektar odlingsmark	51 435	252 029	548 756	7 457 779	11,5

Tabellen visar att jordbruk 2 producerar störst mängd vätgas, följt av jordbruk 4. Det resulterar även i att dessa två gårdar har positiva NPV och kort återbetalningstid, inom anläggningens ekonomiska livslängd på 20 år. Det jordbruket med minst mängd producerad vätgas per år är jordbruk 3. I detta fall är återbetalningstiden längre än den ekonomiska livslängden, vilket ifrågasätter investeringens lönsamhet.

Figur 2 visar den övergripande processen och resursflödet för ett jordbruk, i detta fall jordbruk 2, från det att substrat produceras till biogas och därefter reformeras

till vätgas. Substraten innefattade gödsel av svinproduktion från 22 000 årsgrisar och totalt 500 hektar åkermark av olika typer.

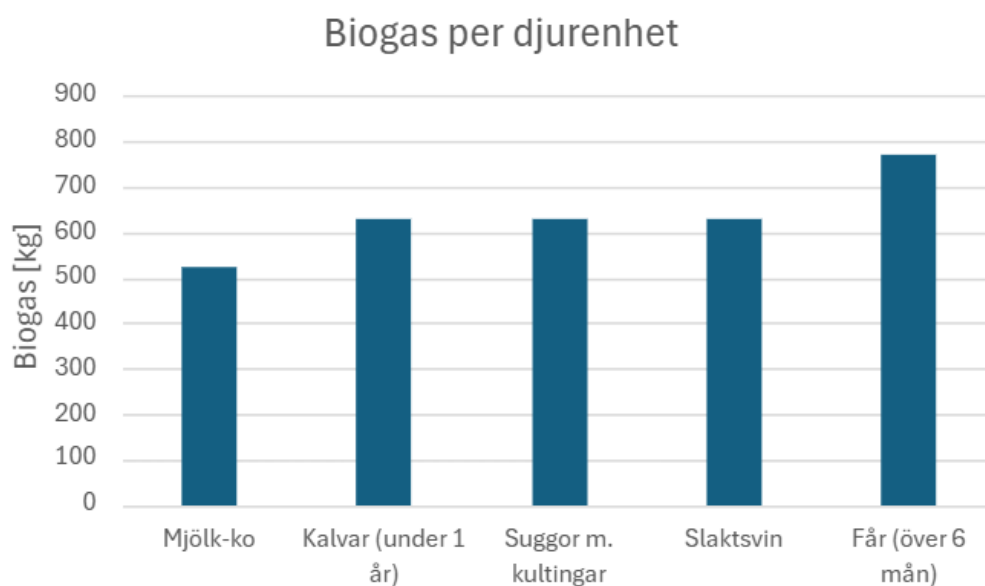


Figur 2: Flödesschema över biogas- och vätgasproduktion för jordbruk 2 med 22 000 årsgrisar och 500 hektar åkermark.

Totalt producerades 894 991 kg biogas, där svinproduktionen bidrog till närmare 90 procent av den totala mängden biogas och biogödsel som erhöles. De 350 hektar raps nyttjades inte som substrat i biogasproduktion. Sammanlagt kunde 95 070 kg vätgas genereras, motsvarande 465 842 liter diesel.

Biogasproduktionen genererade även betydande mängder biogödsel innehållande kväve och fosfor. Processen resulterade även 417 982 kg koldioxid.

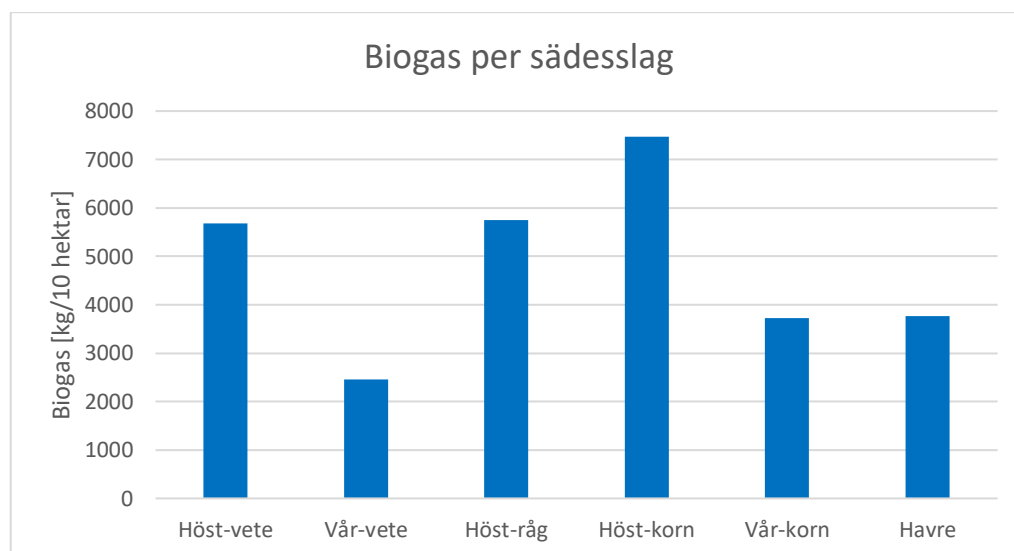
I Figur 3 görs en jämförelse för biogasproduktionen för olika djurs gödsel, uttryckt per djurenhet enligt Kravs beräkningsmodell (Krav 2024). Där djurenhet betyder antal djur som producerar 100 kg kväve eller 13 kg fosfor per år i färskt träck eller urin.



Figur 3: Mängd producerad biogas per uträknad djurenhet.

Diagrammet visar att en djurenhet får, kalvar, suggor samt slaktsvin producerar mer mängd biogas än en mjolk-ko, detta visar på ett sätt att jämföra de olika djurslagen.

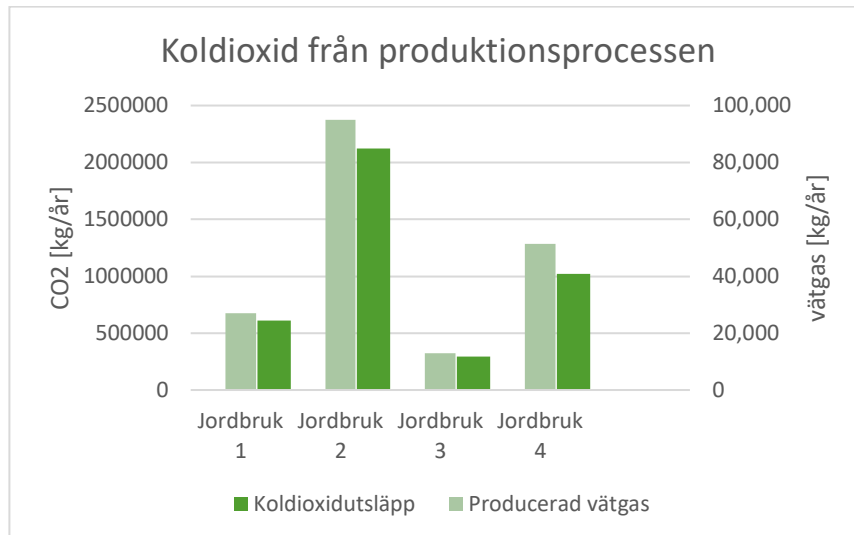
På samma sätt som i Figur 3, görs även en jämförelse för producerad biogas för olika sädesslag. Resultatet visas nedan i Figur 4.



Figur 4: Mängd biogas producerad per gröda.

4.1 Miljöfaktorer i produktion

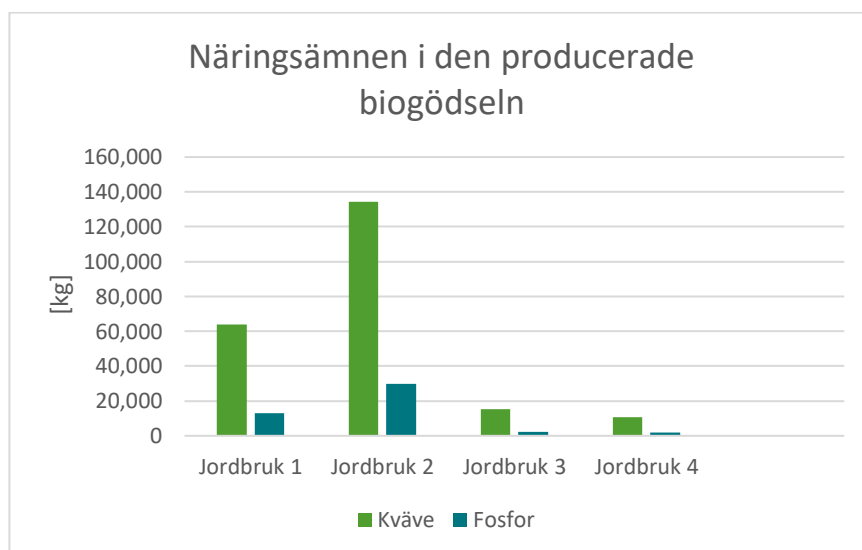
Den koldioxid som bildas genom hela produktionsprocessen, från substrat till vätgas, presenteras i Figur 5. Koldioxidutsläppen ställs mot mängd producerad vätgas på respektive gård för att kunna dra ett samband mellan dessa.



Figur 5: Koldioxidutsläpp per gård i relation till årlig vätgasproduktion.

Grafen visar att jordbruk 2 har störst koldioxidutsläpp, men även den största produktionen av vätgas. Jordbruk 4 utmärker sig med att ha lägst utsläpp i förhållande till producerad vätgas, vilket förklaras av den höga metanhalten i substratet.

Nedan i Figur 6 presenteras näringsinnehållet i den biogödsel som bildas via biogasprocessens restprodukter.

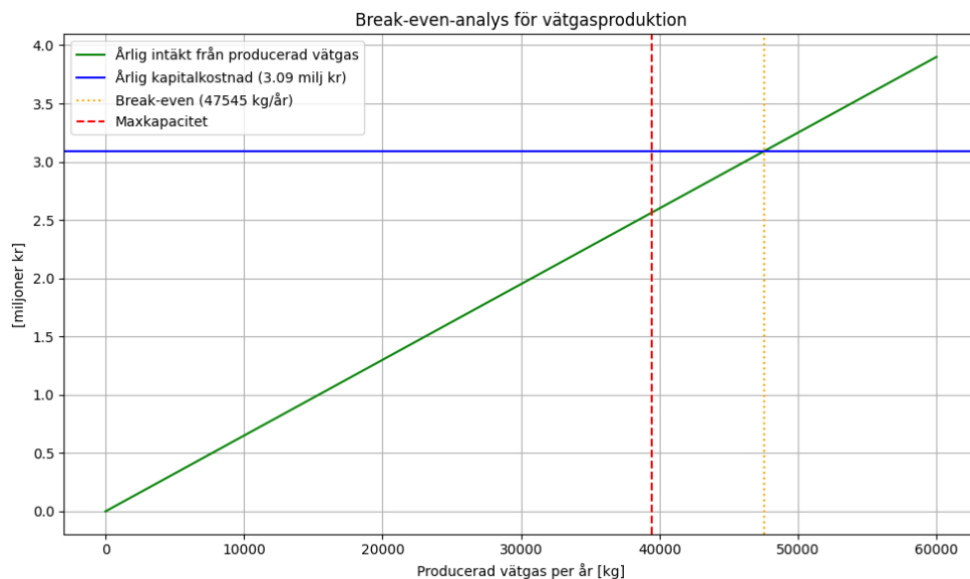


Figur 6: Kväve och fosfor per år i biogödsel från biogas.

Jordbruk 1 och jordbruk 2 producerar biogödsel med mycket kväve och relativt mycket fosfor, medan jordbruk 3 och jordbruk 4 producerar betydligt mindre kväve och fosfor.

4.2 Ekonomisk analys

Nedan i Figur 7 presenteras hur mycket vätgas som årligen måste produceras för att jordbruket ska gå break-even.



Figur 7: Årlig vätgasproduktion för break-even.

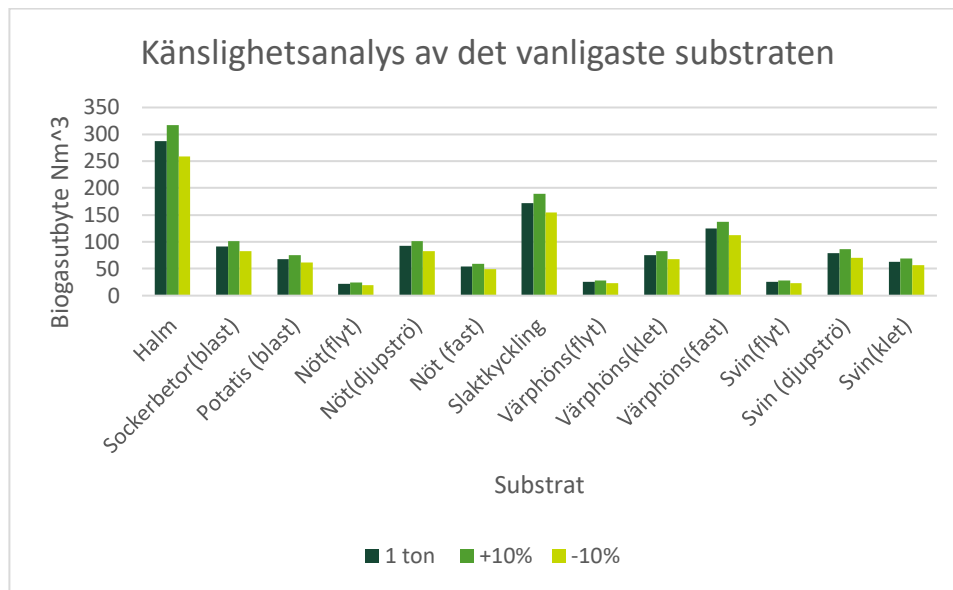
Break-even är vid produktion av 47 500 kg vätgas per år, vilket är under den maximala kapaciteten för systemet som undersöks.

4.3 Känslighetsanalys

För att undersöka resultatets känslighet mot olika parametrar, genomförs en känslighetsanalys.

4.3.1 Substratens påverkan på biogasproduktionen

Känslighetsanalysen utgår från de vanligaste substraten inom svenskt jordbruk, där spannmål är det största sädesslaget i Sverige. Spannmålsproduktionen ger framför allt halm som möjlig restprodukt och substrat till biogasproduktionen (SCB u.å.). Detta om man antar att all nyttig spannmål säljs. Samma antagande har gjorts för sockerbetor och potatis. Resten av substraten kommer från de vanligaste djurhållningarna i Sverige. Känslighetsanalysen av dessa substrat i Figur 8 undersöker hur biogasproduktionen påverkas av en ökning relativt en minskning med 10 procent.

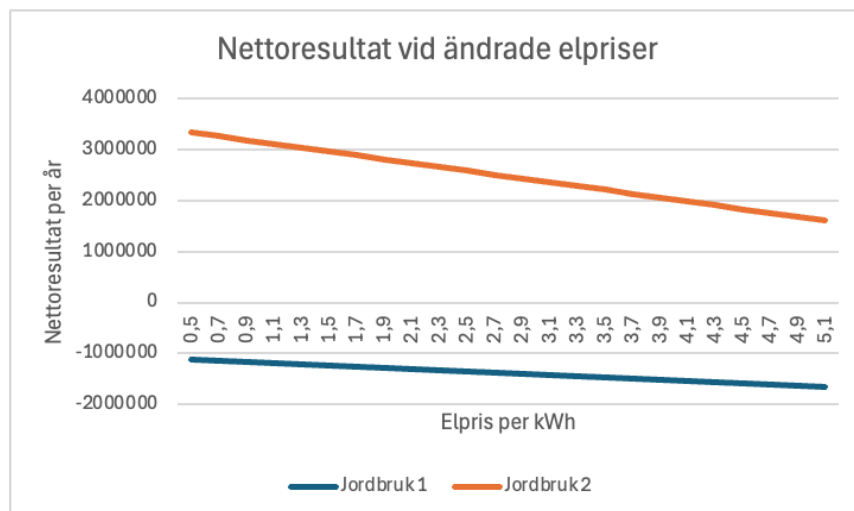


Figur 8: Känslighetsanalys av substrat.

Resultatet visar att alla substrat följer ett linjärt samband. Däremot ser lönsamheten olika ut beroende på vilken typ av substrat som är dominerande. Samtidigt måste antalet djur tas i beaktning till produktionen. Det krävs exempelvis fler slaktkycklingar för att producera 1 ton gödsel än likvärdigt från nötkreatur.

4.3.2 Elprisets inverkan på lönsamheten

Elpriserna i Figur 9, som utgår ifrån jordbruk 1 och jordbruk 2, varierar mellan 0,5 kr/kWh och 5,1 kr/kWh med nätavgifter, energiskatt och moms inräknat, baserat på snittpris 2024 (Elavtal24 u.å.).

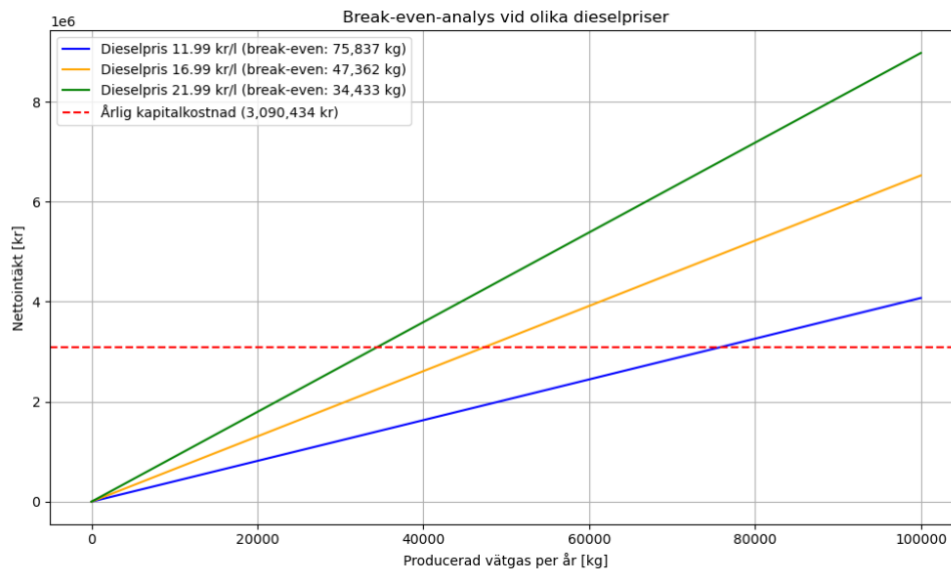


Figur 9: Nettoresultat för jordbruk 1 och 2 med förändrade elpriser..

Nettoresultatet för jordbruk 1 minskar med cirka en halv miljon från 1,1 miljoner till 1,6 miljoner, medan differensen för jordbruk 2 ligger på 1,7 miljoner.

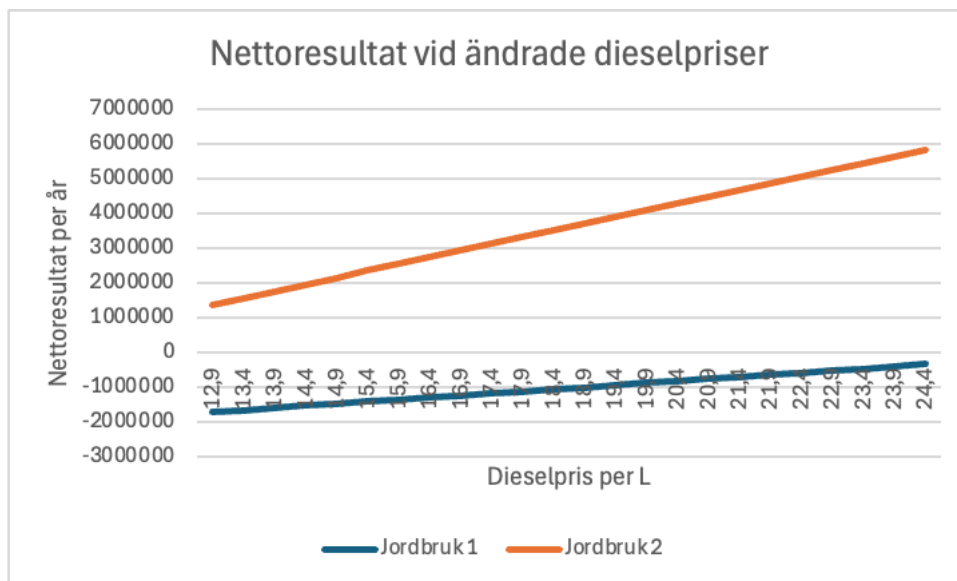
4.3.3 Dieselprisets inverkan på lönsamheten

Eftersom värdet av vätgas är kopplat till dieselpriiset, som historiskt varit volatilt, påverkas lönsamheten av förändringar i bränslepriset. Figur 10 visar en analys där break-even-nivån analyseras för olika dieselpriiser.



Figur 10: Break-even analys för olika dieselpriiser.

Figur 11 visar hur nettoresultatet för jordbruk 1 och 2 förändras i och med ökande dieselpriiser.

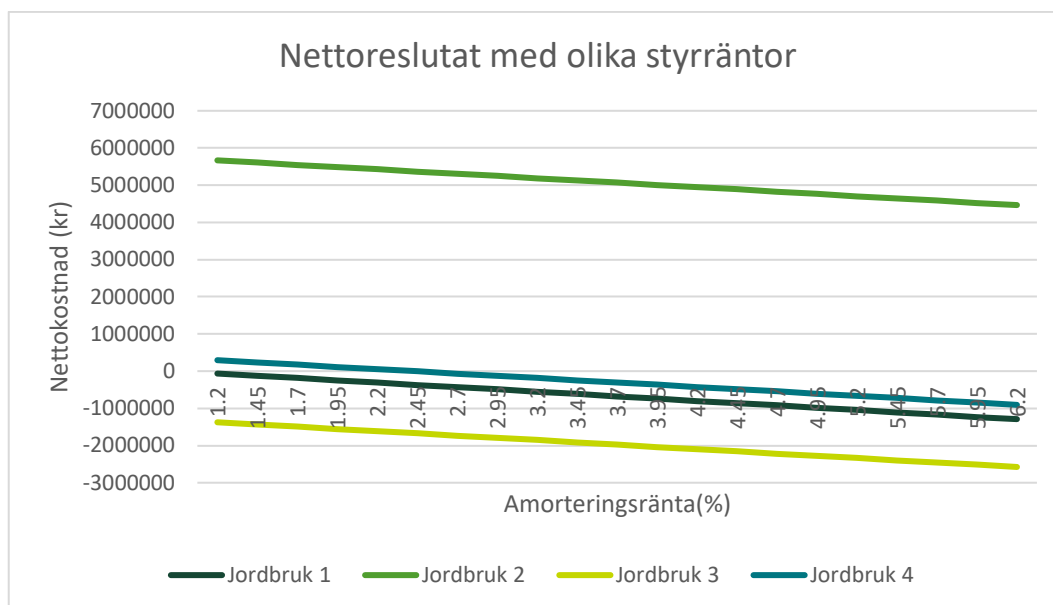


Figur 11: Nettoresultat vid förändring av dieselpriis (elpris på 1,5 kr/kWh, låneränta på 4 procent, avskrivningstid på 20 år).

Nettoresultatet för jordbruk 1 ökade med 1,4 miljoner och 4,4 för jordbruk 2.

4.3.4 Effekter av förändrad ränta

Biogas och vätgasanläggningen kräver investeringar som kräver stora lån. Räntan som ges på dessa lån påverkas direkt av styrräntan. Styrräntan har det senaste 10 åren varierat mellan $-0,5$ och 4 procent (Sveriges Riksbank 2025). Ett procentuellt tillägg på $1,7$ procent utöver styrräntan, pålagt av banken antas (Ohlsson 2025). I Figur 12 presenteras årsnettokostnaden för varje Jordbruk, då styrräntan varierar linjärt.



Figur 12: Nettoresultat med varierande styrränta.

Jordbruk 2 genererar en årlig vinst oavsett styrränta. Jordbruk 4 kommer generera en positiv nettokostnad om amorteringsräntan ligger under 2,45 procent vilket motsvarar en styrränta på 0,75 procent. Jordbruk 1 och 3 når aldrig en positiv omsättning.

5. Diskussion

Nedan diskuteras resultaten utifrån dess rimlighet, ekonomiska och miljömässiga effekter och framtida möjligheter och begränsningar.

5.1 Vätgasproduktionens lönsamhet och rimlighet

Resultatet visar att olika typer av jordbruk har varierande potential för vätgasproduktion, främst beroende på verksamhetsinriktning och substrattillgång.

Jordbruk 2 utmärker sig med den högsta årliga produktionen av vätgas, vilket ger ett positivt nettonuvärde (NPV) och kort återbetalningstid (6,7 år). Detta förklaras av tillgången på stora mängder substrat från 22 000 årsgrisar och odlingsmark, vilket möjliggör hög biogasproduktion. Verksamheter med stor djurhållning genererar stora volymer organiskt material med hög biogaspotential (se delrapport 6), vilket bekräftas här.

Även jordbruk 4, med enbart åkermark, visar god potential med cirka 50 000 kg vätgas per år. Här bidrar stora mängder halm och växtrester till substratförsörjningen. Trots att halm har lägre gasutbyte per ton våtvikt än gödsel, möjliggör storskalig tillgång en betydande biogasproduktion.

Jordbruk 1 och 3 uppvisar däremot negativa ekonomiska utfall. Jordbruk 1, med 550 kor, har ett negativt nettonuvärde vilket indikerar på en dålig investering. Det förklaras av kornas låga gödselproduktion per djurenhet, vilket tydligt framgår av Figur 3. Antalet kor påverkar substratmängden, men gödselproduktionen per djur är avgörande för den totala biogaspotentialen.

Sämst lönsamhet har jordbruk 3 med 1 600 får, som har en återbetalningstid längre än den ekonomiska livslängden. Trots att får enligt Figur 3 har högst biogasproduktion per djurenhet, är den totala substratmängden för liten i förhållande till investeringskostnaden.

5.2 Användningsområden och framtida möjligheter

Vätgas har potential att minska beroendet av fossila bränslen, särskilt inom transportsektorn. Trots en stark framtidstro och framtida förbud mot förbränningsfordon är utvecklingen av vätgasdrivna fordon begränsad (Europaparlamentet, 2022). Detta väcker frågan huruvida den vätgas som produceras på ett jordbruk kan användas inom den egna verksamheten. Ett alternativ är att sälja en del av den producerade vätgasen, eftersom efterfrågan på vätgas är stor. Ytterligare ett alternativ är att implementera bränsleceller som

genererar el och värme till jordbrukets verksamhet. Dessa aspekter beaktas dock inte i denna studie, då det ligger utanför systemgränserna.

5.3 Ekonomiska förutsättningar och investeringsstöd

Enligt Jordbruksverkets investeringsstöd för biogas kan företag beviljas stöd på 40 procent av kostnaderna för anläggningar för produktion och användning av biogas från stallgödsel (Jordbruksverket 2023). Vid tillämnning av biogasstödet på 40 procent minskar investeringen avsevärt. Det är dock viktigt att notera att detta stöd kan förändras över tid.

Ett alternativ till att producera vätgas av biogasen är att istället nyttja biogasen direkt för el och värme eller som fordonsbränsle. Det skulle leda till en billigare anläggning och drift av systemet, då det inte längre behövs någon ångreformeringsanläggning, trycksättningstank eller dispenser. Detta står tillsammans för cirka 25 miljoner kronor. Dock behövs utrustning för att producera el och värme av biogasen, men denna kostnad förväntas vara lägre.

En möjlig strategi för att ytterligare minska investerings- och driftkostnaderna är att flera jordbruksverksamheter går ihop och har en gemensam anläggning. Detta kan dock leda till andra problem, exempelvis gällande användningen av biogödsel. Enligt regelverk får biogödsel inte spridas på marken om inte substratet kommer från den enskilda gården. För att kunna använda denna process och fortsätta använda biogödseln även vid samarbete, krävs en hygenisering i form av upphettning av substratet, se delrapport 4.

5.4 Systemets miljöpåverkan

En viktig aspekt av detta projekt, utöver den närproducerade lagringsbara energin, är minskade nettoutsläppen från jordbruk. Den alternativa energikällan för jordbrukens ändamål är fossilt diesel vilket innebär att stora mängder fossil koldioxid släpps ut. Att jordbruk nyttjar vätgasförädling skulle kunna ha stor inverkan på mängden fossil koldioxid som jordbruket släpper ut.

Dessutom är systemet väl lämpat för att implementera koldioxidlagring (CCS). Infångad biogen koldioxid kan också ha ett ekonomiskt värde, då det är eftertraktat inom industrin för en uppsjö av ändamål som idag ofta beror av fossil koldioxid. Detta skulle kunna innebära att vätgasförädling ger ett mervärde av den koldioxid som bildas som restprodukt.

Ytterligare en restprodukt från produktionen är biogödsel. Biogödsel innehåller näringsämnen som kommer från marken som sedan ska gödslas, vilket innebär ett cirkulärt förhållande av näringsämnen. Kvävet i biogödsel är mer växttillgängligt,

i jämförelse med konstgödsel. Dessa aspekter bidrar till lägre risker för avrinning och därmed risken för övergödning.

5.5 Känslighet och felkällor

Figur 9 visade att förändrade elpriser påverkade Jordbruk 2 mer än Jordbruk 1 på grund av högre elkonsument. Ympvåtskan tar ca 69 procent av den totala elförbrukningen med en elförbrukning på 7,2 kWh/kg våtgas medan trycksteget står för (3,1 kWh/kg våtgas), medan ångreformerings (HHG) förbrukar 0,15 kWh/kg. trycksteget behövs endast om våtgasen används som fordonsbränsle. Om den istället används för el- och värmeproduktion minskar elkostnaden och resultatet blir mindre känsligt för elprisfluktuationer. Våtgasen kan då inte ersätta diesel på gården.

Figur 11 visar att högre dieselpreiser kommer vara positivt ekonomiskt för både mindre och större jordbruk. De större gårdarna kommer påverkas i större utsträckning av prisfluktuationer på grund av den större mängden våtgas som kommer kunna ersätta diesel.

Styrräntan förändras ständigt vilket påverkar amorteringsräntan. Detta påverkar lönsamheten linjärt negativt vid ökad styrränta. Figur 12 visar att detta kan vara avgörande för lönsamheten för framförallt Jordbruk 4.

Figur 8 bekräftar att modellen fungerar för de vanligaste substraten genom att påvisa att dem alla följer ett linjärt samband. Då olika substrat gav olika mängd biogas kommer exempelvis en 10 procent minskning av halmen ha en större påverkan på slutmängden, än en minskning hos flytgödsel från nöt exempelvis. Rimligheten i vilka substrat som kan komma att öka eller minska är olika. Halmmängden är direkt kopplat till vådret och kvalitén på årets skörd medan en minskning i gödselmängd kräver avlivande och dödsfall av djur.

Flera antaganden och avgränsningar har gjorts i arbetet, vilket påverkar resultatet. En central avgränsning är att en specifik anläggning för ångreformerings används för alla gårdar oberoende av produktionsvolym. Detta påverkar resultatet, då produktionsanläggningens storlek bör anpassas till jordbrukets storlek. Resultatet av detta visas i break-even-analysen där break-even-nivån hamnar över den maximala kapaciteten för anläggningen. Om fler anläggningstyper hade undersökts och anpassats efter jordbrukens storlek, hade detta kunnat undvikas.

Jämförelsen mellan våtgas och diesel bygger på vissa förenklingar. Värdet på våtgas är volatilt över tid, vilket denna studie inte tar hänsyn till. Om inte all våtgas används som fordonsbränsle blir inte jämförelsen rättvis. Dessutom skiljer

sig kostnaderna för vätgas- och dieselmotorer mycket, vilket studien inte tar hänsyn till.

I denna rapport antas att allt substrat som används är restprodukter. Det kan dock diskuteras om halm räknas som en restprodukt, då halm har ett mervärde som både användning och försäljning som foder och strömedel.

5.6 Framtida utveckling

Modellen som tagits fram i detta projekt är rent teoretisk och bygger till stor del på data från Jordbruksverket och samarbete med experter på Metacon. I dagsläget går det inte att avgöra hur väl modellen representerar verkligheten. Kunskapen om jordbrukande är begränsad och det skulle säkerligen finnas ett stort kunskapsutbyte vid närmare kontakt med faktiska gårdar. Substratströmmar från spill, exempelvis oanvändbart foder skulle kunna läggas till. För detta behövs ett pilotprojekt med reella data.

Modellen är inte tänkt att vara en exakt avbildning av verkligheten, utan i första hand ett verktyg för att bedöma rimligheten i en framtida investering. Känslighetsanalysen ger också ett intervall inom vilket man kan vänta sig faktisk produktion och ekonomi.

6. Slutsatser

Potentialen i jordbruksbaserad vätgasproduktion från biogas bestäms primärt av tillgången på substrat, både typ men framför allt mängd. Verksamheter med djurhållning och åkermarksodling kombinerat har högst potential för vätgasproduktion. För de studerade exempeljordbruken erhöles mellan 13 000 och 95 000 kg vätgas per år. Jordbruk med produktion över 48 000 kg vätgas per år var ekonomiskt lönsamma med återbetalningstid under 20 år. Statliga subventioner och samrötning mellan flera jordbruk kan göra det gynnsamt även för mindre verksamheter.

Systemet har potential att minska växthusgasutsläppen på jordbruk genom att producera ett fossilfritt bränsle med biogent ursprung. Vid implementering av CCS till systemet kan nettoutsläppen minskas och koldioxidsänkor erhållas. Ytterligare miljöfördelar kan fås om rötresten från biogasproduktionen används som ersättning för konstgödsel.

Referenser

- Adolfsson, R. (2005). *A review of Swedish crop residue statistics used in the greenhouse gas inventory*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:741429/FULLTEXT01.pdf>
- Avfall Sverige (2009). *Substrathandbok för biogasproduktion*. (U2009:14). Avfall Sverige. https://www.biogodsel.se/media/1huf5snm/u2009-14_substrathandbok.pdf [2025-04-11]
- Avfall Sverige (2025). *Ord och begrepp - Biogödsel*. <https://www.biogodsel.se/vad-aer-biogoedsel/ord-och-begrepp/#:~:text=Samr%C3%B6tningsanl%C3%A4ggning,och%20energi,gr%C3%B6dor%2C%20dock%20inte%20avloppsslam.> [2025-04-17]
- Blue Fuel Solutions (u.å.). *H2 Dual Power*. <https://h2dualpower.com/en> [2025-05-05]
- Börjesson, P. (2016). *Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi*. https://lup.lub.lu.se/search/files/7279231/B_rjesson_P._2016._Rapport_nr_97_Milj_och_energisystem_Lunds_Universitet.pdf
- Chalkidis, T. (2025). *Efficiency Metacon*
- Danmarks JordbrugsForskning (2004). *Miljöeffekter af bioforgasning og separering af gylle*. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/gvma296.pdf> [2025-04-22]
- Drivkraft Sverige (u.å.). *Priser*. <https://drivkraftsverige.se/fakta-statistik/priser/> [2025-05-19]
- Elavtal24 (u.å.). *Vad kostar 1 kWh?* <https://elavtal24.com/elpris-kwh/> [2025-05-25]
- Energigas Sverige (2023). *Statistik om biogas (2023)*. https://www.energigas.se/media/ztlh34w0/biogasstatistikrapport_2022_webbs2.pdf
- Gardiner, M. (2009). *Energy requirements for hydrogen gas compression and liquefaction as related to vehicle storage needs*. Department of Energy. https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/9013_energy_requirements_for_hydrogen_gas_compression.pdf?Status=Master [2025-05-05]
- Greppa näringen (2022). *1B - växtodlingsbrev - växtnäringsbalans*. Jordbruksverket. <https://adm.greppa.nu/download/18.3d3fcff017efb5c4a504ec68/1645001633838/1B-vaxtodlingsbrev-vaxtnaringsbalans.pdf> [2025-04-16]
- Herrmann, C., Plogsties, V., Willms, M. & Hengelhaupt, F. (2016). *Methane production potential of various crop species grown in energy crop rotations*. LandTechnik. https://www.researchgate.net/publication/310832718_Methane_production_potential_of_various_crop_species_grown_in_energy_crop_rotations [2025-05-25]
- Industrins Biogaskommission (2024). *Dags att agera – biogasproduktionen behöver femdubblas till 2030*. <https://www.biogaskommissionen.se/aktuellt/nyheter/dags-att-agera-biogasproduktionen-behov-femdubblas-till-2030/>
- Jordbruksverket (2023). *Investeringsstöd för biogas*. [text]. <https://jordbruksverket.se/stod/fornybar-energi/investeringsstod-for-biogas> [2025-05-13]
- Jordbruksverket (2024). *Verktyg för att beräkna spridningsareal och lagringsbehov*. [text].

- <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtnaring/berakna-spridningsareal-och-lagringsbehov> [2025-05-26]
- Jordbruksverket (2025). *Riktgivor och strategier för gödsling*. <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtnaring/rekommendationer-och-strategier-for-godsling> [2025-04-10]
- Jordbruksverket (u.å.). *Preliminära grödarealer efter län och gröda. År 2018-2025*. http://statistik.sjv.se/PXWebPXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets-statistikdatabas/Jordbruksverkets-statistikdatabas__Arealer__Preliminar-arealstatistik/JO0104C01.px/ [2025-05-23]
- Karlsson, I. & Johansson, A. (2009). *Beräkningsmodell för bensin respektive diesel förbrukning per kommun*. Statistiska centralbyrån. https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/trafik/Berakningsmodell_SCB.pdf [2025-05-12]
- Krav (2024). Beräkning av djurenheter. <https://www.krav.se/foretag/stod-och-verktyg/berakning-av-djurenheter/> [2025-05-13]
- Laiq Ur Rehman, M., Iqbal, A., Chang, C.-C., Li, W. & Ju, M. (2019). Anaerobic digestion. *Water Environment Research*, 91 (10), 1253–1271. <https://doi.org/10.1002/wer.1219>
- Lantmännen (2025). *Stallgödsel*. <https://www.odla.lantmannenlantbruk.se/godselskalk/stallgodselskalk/> [2025-04-09]
- Murphy, J., Braun, R., Weiland, P. & Wellinger, A. (2011). *Biogas from Crop Digestion*. IEA Bioenergy. https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Update_Energy_crop_2011.pdf [2025-05-25]
- Nationalencyklopedin (u.å.). *Gödsel*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/g%C3%B6dsel> [2025-04-07]
- Naturskyddsföreningen (2021). *För mycket av det goda – därför måste vi stoppa övergödningen!* <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/for-mycket-av-det-goda-darfor-maste-vi-stoppa-overgodningen/> [2025-04-19]
- Naturskyddsföreningen (2023). *Vad är konstgödsel?* <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-ar-konstgodselskalk/> [2025-04-23]
- Naturvårdsverket (2024). *Avskiljning och lagring av koldioxid (CCS)*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/avskiljning-och-lagring-av-koldioxid-ccs/> [2025-04-08]
- Nordberg, U. & Nordberg, Å. (2007). *Torrötning - Kunskapssammanställning och bedömning av utvecklingsbehov*. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik.
- Ohlsson Alva (2025). *Bolåneränteprognos. Ekonomifakta*. https://www.ekonomifakta.se/sakomraden/makroekonomi/hushallens-ekonomi/bolaneranteprognos_1211600.html [2025-05-21]
- Olsson, C.-M. (2018). *Gödsel i balans. Yara*. <https://www.yara.se/vaxtnaring/godsels-i-balans/> [2025-04-16]
- Salomon, E. & Wivstad, M. (2013). *Rötrest från biogasanläggningar*. SLU, EPOK. https://pub.epsilon.slu.se/14640/13/salomon_e_wivstad_m_171018.pdf
- SCB (u.å.). *Skördar efter län/riket och gröda. År 1965 - 2024. Statistikdatabasen*. https://www.statistikdatabasen.scb.se:443/pxweb/sv/ssd/START__JO__JO_0601/SkordarL2/ [2025-05-20]
- Summit Fertilizers (u.å.). *Nutrient Removal*. <https://summitfertz.com.au/field-research/agronomy-nutrition/nutrient-removal/> [2025-04-16]

- Sveriges Riksbank (2025). *Styrränta (tidigare reporänta), in- och utlåningsränta. Styrränta, in- och utlåningsränta.* <https://www.riksbank.se/sv/statistik/rantor-och-valutakurser/styrranta-in--och-utlaningsranta/> [2025-05-21]
- Tanigawa, S. (u.å.). *Fact Sheet | Biogas: Converting Waste to Energy | White Papers | EESI. Environmental and Energy Study Institute.* <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy> [2025-04-07]
- U.S. Department of Energy Hydrogen Program (2006). Hydrogen Fuel Cells. U.S. Department of Energy Hydrogen Program. https://www.californiahydrogen.org/wp-content/uploads/files/doe_fuelcell_factsheet.pdf?utm_source=chatgpt.com [2025-05-12]
- Vätgas Sverige (u.å.a). *FAQ.* <https://vatgas.se/fakta/faq/> [2025-05-12]
- Vätgas Sverige (u.å.b). *Hur tillverkas vätgas?* <https://vatgas.se/fakta/hur-tillverkas-vatgas/> [2025-05-19]
- Wang, X. & Economides, M. (2009). CHAPTER 7 - Gas-To-Liquids (GTL). I: Wang, X. & Economides, M. (red.) *Advanced Natural Gas Engineering.* Gulf Publishing Company. 243–287. <https://doi.org/10.1016/B978-1-933762-38-8.50014-9>
- Wikipedia (2025). *Diesel engine.* https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diesel_engine&oldid=1288945396 [2025-05-12]
- Xiao, H., Zhang, D., Tang, Z., Li, K., Guo, H., Niu, X. & Yi, L. (2022). Comparative environmental and economic life cycle assessment of dry and wet anaerobic digestion for treating food waste and biogas digestate. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130674. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130674>
- Österman, J. & Nordling, C. (1996). *Physics Handbook.* 5e. uppl.

Personlig kommunikation

Forslund, Lars, agronom, Agriassist. 2025-05-13

Hofmann, Christian, Chief Business Officier Reforming / Managing Director, Metacon. 2025-05-02

Delrapporter

Delrapport 1

Carbon Capture and Storage (CCS)

Ellen Grantinger

Delrapport 2

Biogasreforming

Ellen Grantinger, Martin Jangö Fornander

Delrapport 3

Koldioxidberäkningar

Ellen Grantinger, Martin Jangö Fornander

Delrapport 4

Biogödsel

Josefin Nordenö, Elin Tingström

Delrapport 5

Rötningsprocesser

Maximilian Bonde

Delrapport 6

Biogasberäkningar

Noah Heckmann

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Uppsala universitet (UU) kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU alternativt UU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket på respektive universitet.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU/UU:s publiceringsavtal och SLU/UU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter här:

- SLU: <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>
- UU: <https://www.uu.se/bibliotek/publicera/diva/publiceringsvillkor-i-diva>

Publiceras vid: ☒ SLU (Epsilon) ☒ UU (DIVA)

☒ JA, jag, Josefin Nordenö har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Ellen Grantinger har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Elin Tingström har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Maximilian Bonde har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Noah Heckmann har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Alexander Aspenberg har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Martin Jangö Fornander har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Arvid Sivertun har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.