



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Samutråtning av ulike substrater i biogassproduksjon

- En LCA studie av
klimapåvirkning og
biorestkvalitet**

Co-decomposition of various substrates in biogas
production

- An LCA study of climate impact and bio-residue
quality

Ida Lund

Fornybar energi

FORORD

Med denne masteroppgaven fullfører jeg min 5-årige mastergrad i fornybar energi ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Dermed representerer den også avslutningen av fem fine studieår ved NMBU. Oppgaven er skrevet våsemesteret i 2024 og har et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Fredrikstad vann-, avløp- og renovasjonsforetak, FREVAR KF. Takk til Cristell Solberg som takket ja til et samarbeid i en travel hverdag. En ekstra stor takk rettes til Emilio Alvarenga for god hjelp med datainnsamling underveis i oppgaven, positive tilbakemeldinger og oppfølging av mitt arbeid. Tusen takk for at du tok meg så godt imot. Tusen takk til masterveileder Ole Jørgen Hanssen, for gode tilbakemeldinger og engasjement for oppgavens tema gjennom hele masterperioden. Jeg vil også rette en takk til alle ved FREVAR som har bidratt med data fra ulike stadier i produksjonen. Videre vil jeg takke Kari-Anne Lyng ved NORSUS for innføring og hjelp til SimaPro og biogassmodellen Bio Value Chain.

Takk til Inger Johanne Hortemo og Agnes K. Østerholt for korrekturlesing og støttende ord. Til slutt vil jeg takke mine medstudenter, Susanne Schjelderup Myrene og Truls Pedersen, for god mental støtte og mange hyggelige skriveøkter på Deichman gjennom masterperioden.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 15. mai 2024



Ida Lund

SAMMENDRAG

Biogass regnes som en karbonnøytral gass og bringer med seg en rekke miljøfordeler ved at den kan erstatte fossile energikilder. Biogass kan benyttes til oppvarming, produksjon av elektrisitet eller drivstoff. Samtidig gir også biogassproduksjon et næringsrikt restprodukt; biorest. Biogassproduksjon har et stort potensial for å bidra til å nå klimamålene i Norge. I dag produseres det kun 0,6 TWh biogass i Norge, Lyng og Berntsen (2023) viser til at potensialet, med dagens teknologi, ligger på 5,5 TWh.

Formålet med oppgaven har vært å analysere potensialet for å redusere klimaavtrykket fra biogassproduksjonen ved Fredrikstad vann-, avløp- og renovasjonsforetak (FREVAR KF), og samtidig se på hvilke mulige positive eller negative effekter ulike sammensetning av substrat kan ha å si på næringsammensetningen i bioresten. Biorest er i utgangspunktet et avfallsprodukt fra biogassproduksjonen. Riktig næringsinnhold kan bidra å øke verdien til biorest som produkt. FREVAR produserer biogass som i hovedsak benyttes til drivstoff, og avvannet biorest går til jordforbedring. Dagens produksjon har samrøtning med avløpslam og matavfall. I 2026 skal nytt avløpsrensaneanlegg stå klart hos FREVAR. Avløpsrensaneanlegget vil produsere biogass sammen med det eksisterende biogassanlegget, men avløpslammet vil bli behandlet separat fra andre substrater. Dette vil frigjøre kapasitet i det eksisterende anlegget og gi økt mulighet for å utnytte andre typer substrat. Analysene er gjennomført i biogassmodellen Bio Value Chain og viser klimapåvirkningen fra biogassproduksjonen. Det er utført analyser av fem scenarioer, hvor scenario S1 er dagens produksjon, S2 inkluderer produksjon med det nye avløpsrensaneanlegget, S2.1 er samrøtning av matavfall og husdyrgjødsel fra storfe og svin, S2.2 er samrøtning med matavfall og husdyrgjødsel fra storfe, svin og fjørfe, og S2.3 er kun matavfall. I tillegg er det utført beregninger for innhold av nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K) i bioresten fra de fem ulike scenarioene.

Resultatene viser at samrøtning med matavfall og husdyrgjødsel gir høyest klimagevinst av de analyserte scenarioene. Scenario S2.1 er det scenarioet som gir høyest netto klimagevinst, sammenlignet med dagens produksjon (S1) og utgjør 2 550 tonn CO₂-ekv. årlig. De beregnede N-P-K-verdiene viser at scenario S2 gir mest næringsrikt substrat, dernest scenario S1. Verdiene for N-P-K varierer ut ifra mengde og type substrat. I beregningene kommer det tydelig frem at det er høyest andel av nitrogen i alle scenarioene.

Biogassproduksjonen ved FREVAR har et betydelig potensial for å redusere klimagassutslipp og produsere verdifull biorest. Samrøtning med matavfall og husdyrgjødsel kan gi økt klimagevinst og økt kvalitet på biorest. Det nye avløpsrensaneanlegget åpner for muligheten til å optimalisere substratsammensetningen og ytterligere øke bærekraften til biogassproduksjonen ved FREVAR.

ABSTRACT

Biogas is considered a carbon-neutral gas and offers several environmental benefits by replacing fossil fuels. Biogas can be used for heating, electricity generation, or fuel. Biogas production also generates a nutrient-rich digestate. Biogas production has great potential to contribute to achieving Norway's climate goals. Today, only 0,6 TWh of biogas is produced in Norway, while Lyng og Berntsen (2023) show that the potential, with current technology, is 5,5 TWh.

The objective of this project was to analyze the potential to reduce the climate footprint of biogas production at Fredrikstad vann-, avløp- og renovasjonsforetak (FREVAR KF), while also examining the possible positive or negative effects of different substrate compositions on the nutrient composition of digestate. Digestate is primarily a waste product from biogas production. Proper nutrient content can help to increase the value of digestate as a product. FREVAR produces biogas that is mainly used for fuel, and dewatered digestate is used for soil improvement. Current production co-digests sewage sludge and food waste. In 2026, a new wastewater treatment plant will be ready at FREVAR. The wastewater treatment plant will produce biogas together with the existing biogas plant, but the sewage sludge will be treated separately from other substrates. This will free capacity in the existing plant and provide increased opportunities to utilize other types of substrates. The analyses were carried out in the biogas model Bio Value Chain and show the climate impact of biogas production. Analyses were performed for five scenarios, where scenario S1 is current production, S2 includes production with the new wastewater treatment plant, S2.1 is co-digestion of food waste and manure from cattle and swine, S2.2 is co-digestion with food waste and manure from cattle, swine, and poultry, and S2.3 is only food waste. In addition, calculations were performed for the content of N-P-K in the digestate from the five different scenarios. The results show that co-digestion with food waste and manure gives the highest climate gain of the analyzed scenarios. Scenario S2.1 is the scenario that gives the highest net climate gain, compared to current production (S1) and amounts to 2 550 tonnes CO₂-eq. annually. The calculated N-P-K values show that scenario S2 gives the most nutrient-rich digestate, followed by scenario S1. The N-P-K values vary depending on the amount and type of substrate. The calculations clearly show that there is highest proportion of nitrogen in all scenarios.

Biogas production at FREVAR has significant potential to reduce greenhouse gas emissions and produce valuable digestate. Co-digestion with food waste and manure can lead to increased climate gain and improved quality in digestate. The new wastewater treatment plant opens a possibility of optimizing substrate composition and further increasing the sustainability of biogas production at FREVAR.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD.....	I
SAMMENDRAG.....	II
ABSTRACT	III
FIGURLISTE.....	VI
TABELLISTE.....	VIII
BEGREPSFORKLARING.....	IX
1 INTRODUKSJON.....	1
1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN.....	5
1.2 PROBLEMSTILLING	6
1.3 OMFANG OG AVGRENSNINGER	6
1.4 OPPBYGGING AV OPPGAVEN.....	7
2 KUNNSKAPSGRUNNLAG.....	8
2.1 BIOGASSPRODUKSJON.....	8
2.2 SUBSTRAT.....	10
2.3 BIOREST	13
3 STUDIEOBJEKTET	15
4 METODIKK	20
4.1 METODE	20
4.1.1 Kvantitativ metode.....	20
4.1.2 Livsløp-vurdering (LCA).....	20
4.1.3 Materialstrømsanalyse	21
4.2 BIOGASSMODELLEN BIO VALUE CHAIN.....	23
5 DATAGRUNNLAG.....	25
5.1 SUBSTRATTILGANG	25
5.2 SUBSTRATTILGANG HUSDYRGJØDSEL	25
5.2.1 Storfe	26
5.2.2 Svin	27
5.2.3 Fjørfe	27
5.3 MATAVFALL FRA HUSHOLDNINGER	28
5.4 AVLØPSVANN	29
5.5 N-P-K VERDIER I SUBSTRATENE.....	30
6 SCENARIOER FOR ANALYSER.....	32
6.1 SCENARIO S1.....	32
6.2 SCENARIO S2	34
6.2.1 Scenario S2.1	37
6.2.2 Scenario S2.2	38
6.2.3 Scenario S2.3	39
7 ANALYSER OG RESULTATER.....	41
7.1 FORSKNINGSSPØRSMÅL 1	41
7.1.1 Husdyrgjødsel.....	41

7.1.2	<i>Matavfall fra husholdningene</i>	43
7.2	FORSKNINGSSPØRSMÅL 2	44
7.2.1	<i>Resultater fra scenario S1</i>	44
7.2.2	<i>Resultater fra scenario S2</i>	46
7.2.3	<i>Resultater for scenario S2.1</i>	49
7.2.4	<i>Resultater for scenario S2.2</i>	52
7.2.5	<i>Resultater for scenario S2.3</i>	54
7.2.6	<i>Sammenstilling av resultatene fra scenarioene</i>	57
7.3	FORSKNINGSSPØRSMÅL 3	61
7.3.1	<i>Forutsetninger</i>	61
7.3.2	<i>Resultater</i>	61
8	DISKUSJON	65
8.1	HOVEDFUNN	65
8.2	LCA SOM METODE I OPPGAVEN	69
9	KONKLUSJON	71
10	REFERANSELISTE	72
11	VEDLEGG	77
11.1	UTDRAG FRA SLAMDEKLARASJON	77
11.2	FLYTSKJEMA SLAMBEHANDLING	79

FIGURLISTE

<i>Figur 1: De tre hovedtrinnene i gassprosessen for biogassproduksjon.</i>	9
<i>Figur 2: Klimabelastning fordelt på produksjonsfaser, erstattet ressurs og alternativ håndtering av ressurs (Lyng & Saxegård, 2020).</i>	12
<i>Figur 3: De fire trinnene i LCA-metoden (Curran, 2015).</i>	20
<i>Figur 4: Systemgrense for analyser.</i>	22
<i>Figur 5: Livsløpsfasene i Bio Value Chain modellen (Lyng et al., 2015)</i>	23
<i>Figur 6: Kartet viser gårder med størst energipotensial innenfor en radius på 30 km (Hanssen et al., 2024).</i>	26
<i>Figur 7: Estimert mengde matavfall fra husholdningene i Fredrikstad, Sarpsborg, Rakkestad, Råde og Hvaler.</i>	29
<i>Figur 8: Systemgrense for S1.</i>	32
<i>Figur 9: Prøve-digel fra sikterest. Til venstre er sand-rejekt fra anlegget, til høyre er plast-rejekt fra anlegget. Prøvene ble tatt 23.04.24. Foto: Emilio Alvarenga.</i>	33
<i>Figur 10: Systemgrense for S2.</i>	36
<i>Figur 11: Systemgrense for delscenario S2.1.</i>	37
<i>Figur 12: Systemgrense for delscenario S2.2.</i>	38
<i>Figur 13: Systemgrense for delscenario S2.3.</i>	39
<i>Figur 14: Netto årlig klimanytte fra biogassproduksjon 2023, fordelt på substrat for S1.</i> ..	44
<i>Figur 15: Netto klimanytte for dagens produksjon (S1).</i>	45
<i>Figur 16: Årlig klimapåvirkning per substrat i 2023, fordelt på livsløpsfase (S1).</i>	45
<i>Figur 17: Den totale klimapåvirkningen for S1, fordelt på livsløpsfasene.</i>	46
<i>Figur 18: Netto årlig klimanytte fra biogassproduksjon 2030, fordelt på substrat for S2.</i> .	47
<i>Figur 19: Estimert netto klimanytte for biogassproduksjon i 2030 (S2).</i>	47
<i>Figur 20: Årlig klimapåvirkning per substrat i 2030, fordelt på livsløpsfase (S2).</i>	48
<i>Figur 21: Den totale klimapåvirkningen for S2, fordelt på livsløpsfasene.</i>	49
<i>Figur 22: Netto klimanytte per substrat (S2.1).</i>	50
<i>Figur 23: Årlig klimapåvirkning per substrat (S2.1).</i>	51
<i>Figur 24: Den totale klimapåvirkningen for S2.1, fordelt på livsløpsfasene.</i>	51
<i>Figur 25: Netto årlig klimanytte per substrat (s2.2).</i>	52
<i>Figur 26: Årlig klimapåvirkning per substrat (S2.2).</i>	53
<i>Figur 27: Den totale klimapåvirkningen for S2.2, fordelt på livsløpsfasene.</i>	54
<i>Figur 28: Netto årlig klimanytte per substrat (s2.2).</i>	55
<i>Figur 29: Årlig klimapåvirkning per substrat (S2.3).</i>	56
<i>Figur 30: Den totale klimapåvirkningen for S2.3, fordelt på livsløpsfasene.</i>	56
<i>Figur 31: Årlig klimanytte for scenarioene S1 og S2.</i>	57
<i>Figur 32: Årlig klimanytte for delscenarioene S2.1, S2.2 og S2.3.</i>	59

<i>Figur 33: Netto årlig klimanytte for alle scenarioer.</i>	60
<i>Figur 34: N-P-K verdier i de fire ulike scenarioene, S1; dagens biogassproduksjon, S2; biogassproduksjon i 2030 (inkludert FARA-anlegget), S2.1, S2.2 og S2.3; biogassproduksjon i eksisterende anlegg i 2030 (ekskludert FARA-anlegget).</i>	64

TABELLISTE

<i>Tabell 1: Biogasspotensialet i fett, karbohydrat og protein</i>	8
<i>Tabell 2: Oversikt over mottatt substrat, inkludert avløpsvann, hos FREVAR 2023.</i>	16
<i>Tabell 3: Oversikt over substrat inn (ekskl. avløpsvann), produsert rågass og oppgradert biogass, med tilhørende energipotensiale</i>	18
<i>Tabell 4: Oversikt over teknologier og prosesser ved de ulike stadiene for biogassproduksjonen ved FREVAR. Oversikten viser både dagens teknologi og teknologi for samproduksjonen når det nye avløpsrensaneanlegget er i drift fra 2026.</i>	19
<i>Tabell 5: Estimert tilgjengelig husdyrgjødsel fra storfe</i>	27
<i>Tabell 6: Estimert tilgjengelig husdyrgjødsel fra svin.</i>	27
<i>Tabell 7: Estimert tilgjengelig gjødsel fra fjørfe.</i>	28
<i>Tabell 8: Avløpsmengder for 2023 og forventet avløpsmengder for 2030.</i>	29
<i>Tabell 9: Innbyggertall for 2023, og forventet innbyggertall for 2030.</i>	30
<i>Tabell 10: Næringsverdier for ammonium-Nitrogen, fosfor og kalium fordelt på husdyrgjødsel, matavfall og avløpsvann.</i>	31
<i>Tabell 11: Gjødselmengde for storfe, fordelt på dyrekategori.</i>	41
<i>Tabell 12: Gjødselmengde for svin, fordelt på dyrekategori.</i>	42
<i>Tabell 13: Gjødselmengde for fjørfe, fordelt på dyrekategori.</i>	42
<i>Tabell 14: Total mengde gjødsel fra husdyrgjødsel.</i>	42
<i>Tabell 15: Mengde matavfall fra husholdningene i 2023 og 2030, fordelt på kommune.</i>	43
<i>Tabell 16: Oversikt over innhold av nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K) i de ulike substratene, fordelt i scenarioer. Tabellen viser oversikt over innhold i biorest, og verdiene i avvannet biorest.</i>	63

BEGREPSFORKLARING

I oppgaven vil det benyttes ord eller forkortelser som kan være spesifikke for fagområdet. Et utvalg av ord og forkortelser som benyttes er definert i listen under.

Begrep / forkortelse	Forklaring
Biorest	Bi-produktet fra biogassproduksjon. Kvaliteten på bioresten avgjør om den klassifiseres som biogjødsel eller slam. Biorest brukes ofte på tvers av produktene
Biomasse	En felles betegnelse på organisk materiale. Dette kan inkludere planter, trær, avfall fra landbruk og skogbruk, og rester fra matlaging og industri.
CO ₂ -ekvivalenter	Måleenhet for klimapåvirkning. Angir global oppvarmingseffekt (GWP), relativ til oppvarmingseffekten til utslipp av CO ₂ .
GWP	Global Warming Potential. Mål på klimapåvirkning, angis i CO ₂ -ekvivalenter.
Husdyrgjødsel	Omtales også ofte som husdyrmøkk. I denne oppgaven benyttes husdyrgjødsel om møkk fra storfe, svin og fjørfe.
Klimanytte	Den positive effekten av en aktivitet. Bidraget en aktivitet har til å redusere klimagassutslippene. Måles i CO ₂ -ekv.
Klimapåvirkning	Den negative effekten av en aktivitet. Belastningen en aktivitet påfører ved klimagassutslipp. Måles i CO ₂ -ekv.
LCA	Livsløpsvurdering. Analysemetode der miljøpåvirkning i alle ledd i en produksjonskjede sammenstilles.
Oppgradert biogass	Biogass som er rensset for CO ₂ og andre partikler
Rågass	Biogass som ikke er rensset for andre gasser eller partikler
Substrat	Biomassen brukt i produksjon av biogass
TS	Tørrstoff
VS	Våtstoff

1 INTRODUKSJON

Organisk materiale som brytes ned naturlig, produserer biogass ved hjelp av mikroorganismer under forhold uten oksygen. Gjennom anaerob fordøyelse omdannes det organiske materialet til biogass, en fornybar ressurs som kan anvendes til å generere elektrisitet, varme eller drivstoff til kjøretøy. Anaerob nedbryting av avfall fra landbruk, industri, organisk avfall fra husholdninger, kloakkslam osv., har de siste årene fått en viktigere rolle som fornybar energikilde (Scarlat et al., 2018).

I Europa er bioenergi produsert fra landbruks- og skogbruksavfall, sammen med organisk avfallsråstoff, den primære kilden til fornybar energi. I 2021 utgjorde dette rundt 59 % av det totale fornybare energiforbruket. For bioenergi er det fast biodrivstoff som utgjør den største andelen med 70,3 %, flytende biodrivstoff står for 12,9 %, biogass og oppgradert biogass står for 10,1 % og fornybar andel av kommunalt avfall står for 6,6 %. Rapportering fra medlemslandene i EU viser til at biogassproduksjonen i Europa øker. I 2021 steg produksjonen med 1,7 % fra foregående år, til 14,9 millioner tonn oljeekvivalenter (mtoe). Tyskland er den største produsenten i Europa og utgjør 50,4 % av totalen (Europakommisjonen, 2023).

EUs energi- og klimapolitikk, samt innføring av ulike støtteordninger, har stimulert utviklingen av biogassanlegg for energiproduksjon (Scarlat et al., 2018). Den viktigste avtalen inngått, med et formål om å bekjempe klimaendringene, er Parisavtalen. Avtalen ble vedtatt på FNs klimakonferanse (COP21) i Paris, Frankrike i 2015 og er en juridisk bindende internasjonal traktat. Avtalen har som overordnet mål å begrense den globale oppvarmingen til under 2 °C over førindustrielle nivåer, og streber etter å begrense temperaturøkningen til 1,5 °C over samme nivå (FN, 2024). FNs mellomstatlige panel for klimaendringer (IPCC) slår fast at klimaendringene hovedsakelig kommer av menneskelig aktivitet gjennom utslipp av klimagasser gjennom ikke-bærekraftig bruk av ressurser. IPCC indikerer at å overskride jordas oppvarming over 1,5 °C kan føre til alvorlige klimaendringer (Calvin et al., 2023). 1,5°C er derfor blitt et verdensomspennende mål for å begrense global oppvarming. For å kunne nå dette målet må klimagassutslippene nå sitt toppunkt innen 2025, og deretter reduseres med 43 % innen 2030 (FN, 2024). Reduksjonsmålet for EU på klimagasser er 55 % innen 2030, med referanse til år 1990. Utslipp av CH₄ og N₂O er regulert og regnskapsført under UNFCCC som en del av Parisavtalen.

Norge har forpliktet seg til å redusere sine klimagassutslipp med minst 55 % innen 2030, sammenlignet med 1990-nivå (Klimaloven, 2017). Ifølge Statistisk sentralbyrå (2023a) slapp Norge ut 48,9 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2022. Dette er en reduksjon på 0,8 % fra året

før. Norge har redusert sine utslipp med 4,6 % siden 1990. Veitrafikken står for 8,7 % av utslippene, og jordbruk for 4,6 %.

Gjennom programmet «*Task 37: Energy from biogas*» rapporterer Norge på sitt arbeid med biogass. Målet med programmet er å adressere de utfordringer biogassproduksjonen står ovenfor, knyttet til økonomisk og miljømessig bærekraftig produksjon (IEA Bioenergy, 2022). Gjennom sist rapportering kommer det frem at det i Norge har vært et politisk mål å øke biogassproduksjonen i mer enn ti år. Bransjens biogasstatistikk fra Norwaste (2024) viser til en økning på 3 % fra 2021 til 2022, med en jevn økning i produksjonen de siste årene.

Produksjon og anvendelse av biogass som erstatning av fossile energikilder gir betydelige miljøfordeler ved å redusere vann-, jord- og luftforurensning. Ved å redusere utslipp av metan under lagring av husdyrgjødsel, bidrar biogassproduksjon til å minske utslipp av drivhusgasser (Scarlat et al., 2018). Biogassen kan oppgraderes til drivstoffkvalitet, og dermed erstatte andre fossile drivstoffkilder i veitrafikken. I tillegg bidrar biogassproduksjon til biproduktet biorest. Biorest erstatter bruk av mineralgjødsel og ivaretar viktige næringsstoffer i kretsløpet (Scarlat et al., 2018).

I 2023 la Klima- og miljødepartementet fram en forsterket klimaplan for å nå klimamålene, «Regjeringas klimastatus- og plan» (Klima- og miljødepartementet, 2023). Ifølge planen må Norge kutte sine klimagassutslipp med 16,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter for å nå klimamålene for 2030. Planen peker på flere punkter hvor de innfører en skjerpet klimapolitikk. Noen av punktene som trekkes fra i planen er å øke avgiften for ikke-kvotepålagt utslipp med 19 % innen 2024. I tillegg vil flere sektorer som ikke har blitt omfattet CO₂-avgiften nå bli omfattet. Videre sier planen at Regjeringen skal gi økte midler til klima- og miljøtiltak i jordbruket, og øke bruk av biodrivstoff innen vegtransport og sjøfart.

Ifølge Klima- og miljødepartementet (2023) er veitrafikk og annen transport den største utslippssektoren og bidro med totalt utslipp på 16,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2022. Gjennom *Nasjonal Transportplan 2018-2029* er det fastsatt at alle nye bybusser skal være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass i 2025. De senere årene har etterspørselen etter biogass økt og det merkes en økning i markedet. Planen nevner biogass som en viktig del av løsningen for å nå målet om utslippsreduksjon (Særskilt vedlegg til Prop. 1 S (2023-2024), 2023).

For landbruket har sektoren selv utarbeidet en klimaplan, «Landbrukets Klimaplan» (Norges Bondelag, 2020) med definerte mål. Ved å etablere lokale biogassanlegg på gårdsbrukene kan husdyrgjødsel utnyttes til å produsere strøm og varme lokalt. Planen har eksempelvis et eget kapittel som omhandler bruk av husdyrgjødsel som substrat i industrielle biogassanlegg. I dag benyttes omtrent 1 % av husdyrgjødsel til biogassproduksjon. Dette er langt unna Regjeringens

mål om 30 % utnyttelse av husdyrgjødsel til biogassproduksjon. Dersom 30 % av husdyrgjødsel blir brukt til biogassproduksjon vil dette bidra til en utslippsreduksjon på 280 tusen tonn CO₂-ekvivalenter (Norges Bondelag, 2020). Av 56 biogassanlegg er det kun Greve Biogass (Den magiske fabrikken) som mottar husdyrgjødsel til biogassproduksjon i stor skala i dag. Landbruksdirektoratets statistikk viser at DMF mottok over 70 tusen tonn husdyrgjødsel i 2022, andre industrielle anlegg mottok drøye 18 tusen tonn (Landbruksdirektoratet, 2024). Ifølge bransjens egen statistikk finnes det i dag kun 12 gårdsanlegg i Norge. I 2022 ble det utnyttet i overkant av 17 tusen tonn husdyrgjødsel til biogassproduksjon i gårdsanlegg. Totalt ble det levert 107 tusen tonn med husdyrgjødsel til biogassproduksjon (Landbruksdirektoratet, 2024). I tillegg til biogassproduksjonen kan biorest fra produksjonen være et godt gjødselsupplement tilbake til jorda. Bioresten er næringsrik på de viktige makro-næringsstoffene nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K) (NIBIO, 2017).

Mengden organisk avfall som ble utnyttet i biogass- eller komposteringsanlegg i 2022 var 605 tusen tonn ifølge Statistisk sentralbyrå (2023b). Av dette gikk 433 tusen tonn til biogassproduksjon, hvor størsteparten av avfallet kommer fra matavfall fra husholdningen, deretter husdyrgjødsel og fiskeavfall og annet marint. For håndtering av avløpsvann til biogassproduksjon er det krevende å finne oppdaterte tall. I en rapport gjort av Carbon Limits på vegne av Miljødirektoratet kommer det frem at omtrent 86 tusen tonn TS avløpsvann gikk til biogassproduksjon i 2020. Totalt ble det håndtert 156 tusen tonn TS avløpsvann (Ålund et al., 2021).

Verdikjeden for biogass består av flere ledd, men er i hovedsak en prosess fra jord tilbake til jord, der materialene følger ulike internprosesser. En forenklet oversikt over verdikjeden kan beskrives slik; fra jord produseres mat, planter og annet organisk materiale. Dette blir spist av mennesker eller dyr og ender som avløpsvann eller husdyrgjødsel eller som avfall, som samles inn til biogassproduksjon og gir oss fornybar energi. Reststoffet fra biogassproduksjonen kan spres på jorden og gir verdifull næring til jorda som det igjen kan produseres mat fra (Biogass Norge, 2024). Denne prosessen er også en del av sirkulærøkonomien. Den sirkulære økonomien er motsatsen til lineær økonomi. Lineær økonomi er et økonomisk system der varer produseres, brukes og deretter kastes som avfall etter endt levetid (Miljødirektoratet, 2023a). I sirkulærøkonomien er fokuset derimot å beholde verdien i ressursen i omløp så lenge som mulig og minimere generering av avfall. Ved å utnytte ressursene i det biologiske avfallet bidrar biogassproduksjon til å løse en avfallsproblematikk, samt bevare verdifulle næringsstoffer i det biologiske kretsløpet, når bioresten benyttes som gjødsel eller jordforbedringsprodukt.

Samarbeidspartner i denne oppgaven er Fredrikstad vann-, avløp- og renovasjonsforetak, FREVAR KF (FREVAR) som drifter og eier Fredrikstad kommunes avløpsrensianlegg, vannproduksjon, avfallshåndtering og energigjenvinning. Biogassanlegget på FREVAR

produserer biogass fra avløpsvann og matavfall fra husholdningene og nærliggende næringsmiddelindustri. Med eksisterende råtnetanker kan de produsere i overkant av 4 millioner m³ rågass, noe som gir omtrent 2,3 millioner m³ oppgradert biogass med drivstoffkvalitet. Ved overskudd av oppgradert gass sendes dette ut til et gassnett på Øra Industriområde. Gassnettet tilknyttet FREVAR driftes og eies av Gasum.

I 2026 skal nytt avløpsrensaneanlegg, Fredrikstad Avløpsrensaneanlegg (FARA), stå klart. Slam fra dette anlegget skal komplettere den allerede eksisterende biogassproduksjonen hos FREVAR. Slammet fra det nye avløpsrensaneanlegget behandles i et helt nytt biogassanlegg, og vil dermed frigjøre kapasitet ved det eksisterende biogassanlegget, slik at det er mulig å motta ulike andre typer substrater. Anlegget er prosjektert til å produsere mer energi enn det forbruker, og store deler av rågassen fra det nye avløpsrensaneanlegget vil gå til internt bruk i anlegget.

Fredrikstad kommune er en kommune med høyt fokus på bærekraft og er derfor en veldig interessant kommune med tanke på pågående klimaarbeid. «Fredrikstad skal være den lille verdensbyen som tar et globalt ansvar» (Fredrikstad kommune, 2019), skriver Fredrikstad på kommunens hjemmeside og gjennom Kommunedelplan for klima 2019-2030 (Fredrikstad kommune, 2019) er det fastsatt ambisiøse mål for kommunen. Målene kan oppsummeres i tre hovedpunkter:

1. Innen 2030 skal klimagassutslippene være redusert med minst 60 prosent, sammenliknet med 2016.
2. Fredrikstad skal bidra til at Østfold-regionen oppnår netto null klimagassutslipp innen 2050 ved både kraftig å redusere utslippene og øke CO₂-opptakene i Fredrikstad.
3. Fredrikstad skal bidra til å oppnå det globale lavutslippssamfunnet innen 2050 (Fredrikstad kommune, 2019).

Kommunedelplanen peker på utslipp knyttet til transport, energiproduksjon og industri som de største utslippssektorene i Fredrikstad. Disse sektorene utgjør over 50 % av klimagassutslippene i kommunen. For at Fredrikstad kommune skal bidra til 1,5 °C målet må CO₂ utslippene reduseres betraktelig. I en utslippsbane CICERO har utarbeidet for Fredrikstad er det nevnt tre viktige målepunkter med 2016 som referanseår; reduksjon på 40 % utslipp av CO₂-ekvivalenter innen 2030, reduksjon på 87 % innen 2050 og en reduksjon på 113 % innen 2100. Ved reduksjon på 113 % vil det være større negative utslipp enn totale utslipp (Fredrikstad kommune, 2019).

Miljødirektoratets oversikt over utslipp av klimagasser i kommuner og fylker viser at Fredrikstad kommune har redusert sine klimagassutslipp med 2,2 % det siste året. Samlet klimagassutslipp for 2022 var på 276 tusen tonn CO₂-ekvivalenter. De to siste årene har det vært en liten oppgang siden 2020, men fremdeles en synkende trend siden 2016. Fordelt på

sektor viser det seg at vegtrafikk og energiforsyning har høyest utslipp, mens oppvarming og jordbruk har lavest utslipp (Miljødirektoratet, 2023b).

1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN

Bakgrunnen for oppgaven bunner først og fremst i min interesse for biogassproduksjon som en viktig bidragsyter i det grønne skiftet. Biogassproduksjon er en allsidig produksjon i form av at den fungerer både som avfallsbehandlingsteknologi og som tiltak for redusert klimagassutslipp i landbruket. Biogass er en langsiktig og stabil klimastrategi for å nå klimamålene. Allerede i St.meld. nr. 39 (2008-2009) *Klimautfordringene – Landbruket er en del av løsningen* (St.meld. nr. 39 (2008–2009), 2009) ble det satt et mål om at 30 % av husdyrgjødsel bør gå til biogassproduksjon innen 2020. Dette målet har vi ikke nådd, da det i dag kun benyttes 1 % husdyrgjødsel til biogassproduksjon.

Tema og problemstilling er utformet med tanke på egen interesse, bransjeinteresse og ikke minst FREVAR sin interesse. Norge er et land med gode forutsetninger for å satse mer aggressivt i kampen mot klimaendringene. Industrien kan bidra til å løse et avfallsproblem, erstatte fossile drivstoffkilder og gi næringsrik biogjødsel til landbruket. Dette kan erstatte bruk av fossile drivstoffkilder og utvinning av mineralgjødsel for landbruket. Ifølge rapporten «Mulighetsrommet for biogassproduksjon» av Lyng og Berntsen (2023) har biogassproduksjon et uutnyttet potensial i Norge. Produksjon og anvendelse av biogass i Norge er liten sammenlignet med våre naboland. I 2020 produserte Sverige 2,2 TWh biogass, ved totalt 282 biogassanlegg. Danmark produserte 5,8 TWh ved 190 anlegg, mot 0,6 TWh ved 35 anlegg i Norge (Miljødirektoratet, 2022).

Gjennom oppgaven ønsker jeg å belyse biogassproduksjon som en viktig sektor og en viktig ressurs, ikke bare i kampen mot klimaendringene, men som en viktig løsning i den sirkulære økonomien. Jeg ønsker i tillegg å utforske mulighetene for å optimalisere biogassproduksjonen for å gi bioresten økt markedsverdi.

1.2 PROBLEMSTILLING

Målet med oppgaven er å analysere potensialet for å redusere klimaavtrykket fra biogassproduksjonen til FREVAR, og samtidig se på hvilke mulige positive eller negative effekter ulik sammensetning av substrat kan ha å si på kvaliteten til bioresten. Videre er et viktig formål med oppgaven å kunne bidra til videre arbeid for FREVAR sin strategi for biogassproduksjon mot en grønn og bærekraftig omstilling. Jeg håper at resultatene fra analysene også kan være et bidrag for Fredrikstad kommune sitt viktig arbeid fremover for å nå sine ambisiøse klimamål.

Oppgaven skal besvare følgende forskningsspørsmål:

1. *Hvilke potensielle kilder til substrat er tilgjengelige innenfor relevant avstand fra FREVAR, og hvordan fordeles tilgangen til disse substratene mellom ulike sektorer?*
2. *Kan utvidelse av tilgjengelig substrat påvirke FREVAR sin produksjon mot 2030, og hvordan påvirker dette klimagassutslippene sammenlignet med dagens produksjon?*
3. *Fra 2026 vil biogassproduksjonen foregå fra to anlegg. Ett med avløpsvann som substrat, og ett med annet organisk materiale som substrat. Hvordan vil ulik sammensetning av substrat påvirke N-P-K-verdiene i bioresten fra de to anleggene?*

1.3 OMFANG OG AVGRENSNINGER

Av hensyn til oppgavens formål og tidsperspektiv er det gjort noen avgrensninger i studiet. Oppgaven omfang er avgrenset til analyser av potensielle klimaeffekter av biogassproduksjonen ved FREVAR, og på biorestens næringssammensetning av mineralene nitrogen, fosfor og kalium. Det er ikke tatt hensyn til mulig teknologisk utvikling eller økonomiske innsatsfaktorer for transport, omsetning og lignende. Av hensyn til tidsbegrensning er det ikke blitt gjort forsøk med å studere hvor egnet bioresten er for planteproduksjon. Alle beregninger er basert på modeller av virkeligheten. Resultatet fra analysen er sammenlignet med forskningsartikler basert på tidligere forsøk. Ved kartlegging av potensielle substrater er dette avgrenset til å i hovedsak gjelde matavfall fra husholdningene, som Fredrikstad kommune er forpliktet til å samle inn, og husdyrgjødsel, i og med at forskningsspørsmål 3 vil være en attraktiv problemstilling for landbruket.

1.4 OPPBYGGING AV OPPGAVEN

I kapittel 2 presenteres tidlige forskning gjort på området, delt inn i hovedtemaene; *Biogassproduksjon, Substrat og Biorest*. Kapittel 3 presenterer studieobjektet. Kapittel 4 gir en innføring i livsløpsvurdering som metode, og Bio Value Chain modellen som benyttes som analyseverktøy. I kapittel 5 gjennomgås datagrunnlaget hvor substrattilgangen, med tilhørende egenskaper kartlegges. I kapittel 6 blir scenarioene for analysene beskrevet. I kapittel 7 blir resultatene for forskningsspørsmålene presentert. I kapittel 8 diskuteres resultatene og konklusjonen blir gitt i kapittel 9. Til slutt følger Referanseliste og Vedlegg.

2 KUNNSKAPSGRUNNLAG

2.1 BIOGASSPRODUKSJON

Biogass dannes når organisk materiale brytes ned av mikroorganismer i et oksygenfritt miljø. Dette er en naturlig prosess, og skjer i alt organisk materiale. For at biogassprosessen skal foregå optimalt er det noen betingelser som må ligge til rette. Gassdannelsen skjer best ved enten mesofile betingelser (20 – 45 °C, vanligst rundt 37 °C) eller termofile betingelser (45 – 70 °C, vanligst rundt 55 °C) (Morken et al., 2017). Næringsinnholdet i substratet har også en påvirkning for biogassproduksjonen. Fett, karbohydrater og protein har forskjellige egenskaper for biogassproduksjon. Tabell 1 nedenfor viser en generell oversikt over gassmengder og sammensetning som oppstår i råtnetanken i biogassproduksjonen ved 1 kg organisk materiale (Raadal et al., 2008).

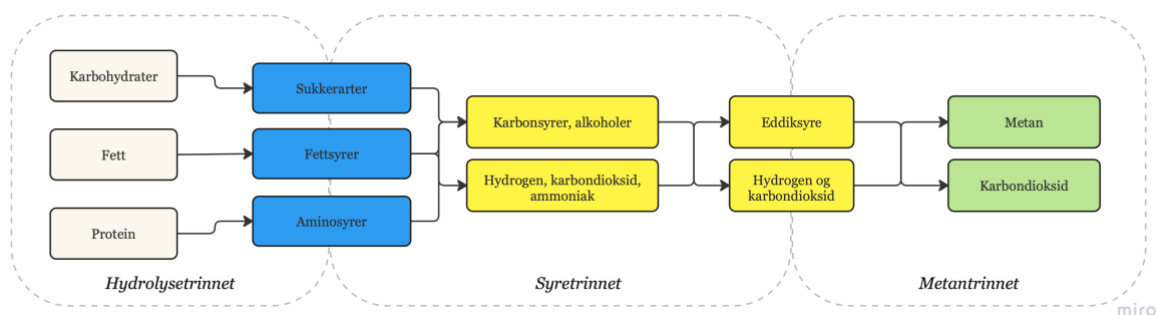
Tabell 1: Biogasspotensialet i fett, karbohydrat og protein

Substrat	Nm ³ biogass	Metan (%)	Karbondioksid (%)
Fett	1,25	68	32
Karbohydrat	0,79	50	50
Protein	0,70	71	29

Biogass inneholder stort sett tre komponenter; metan (CH₄), karbondioksid (CO₂) og nitrogen (N₂). I tillegg finnes det også spor av eksempelvis hydrogen sulfid (H₂S), hydrogen (H₂), nitrogen (N₂) og ammoniakk (NH₃) (Ullah Khan et al., 2017). I biogassproduksjon er det metaninnholdet i substratet som gir størst nytteverdi. Én kubikk med rågass inneholder omtrent 60 % konsentrert metan og har energiinnhold på 6,24 kWh. Én kubikk med oppgradert biogass til drivstoffkvalitet inneholder omtrent 97 % konsentrert metan og har energiinnhold på 10,1 kWh (Norges Bondelag, 2011). Oppgradert biogass har lik konsentrasjon av metan som naturgass og kan derfor erstatte de samme bruksområdene som naturgass (Låkne et al., 2016).

Biogassprosessen består av tre hovedtrinn; *hydrolysetrinnet*, *syretrinet* og *metantrinet*. I trinn 1, *hydrolysetrinnet*, oppløses og nedbrytes sammensatt organisk materiale til enklere vannløselige forbindelser. Det vil si at fett, karbohydrater og proteiner brytes ned til sukker, fettsyrer og aminosyrer. I trinn 2, *syretrinet*, skjer nedbryting til enkle fettsyrer og alkoholer ved hjelp av bakterier. I trinn 3, *metantrinet*, skjer produksjonen av metangass CH₄ og

karbondioksid, CO₂. Dette steget er det mest følsomme trinnet i utråtningen (Morken et al., 2017). Se Figur 1.



Figur 1: De tre hovedtrinnene i gassprosessen for biogassproduksjon.

Biogass kan ha flere bruksområder; produksjon av varme, elektrisitet eller drivstoff. I Norge benyttes biogassen som oftest til drivstoff. Dette bidrar til å erstatte bruk av fossilt drivstoff i transportsektoren. For at biogassen skal ha drivstoffkvalitet må den oppgraderes. Det vil si at den renses for CO₂ og andre urenheter (Låkne et al., 2016). Ved forbrenning av biogass dannes CO₂ og vann. Ifølge Miljødirektoratet (2022) regnes forbrenningen av biogass som CO₂-nøytral, siden substratet som inngår i biogassproduksjonen kommer fra biologisk avfall. Forbrent CO₂ fra biologisk materiale tilfører ikke ny CO₂ til atmosfæren, men utnytter det allerede eksisterende karbonet i karbonkretsløpet. Dette bekreftes også i norsk klimapolitikk gjennom «Nasjonal tverrsektoriell biogasstrategi» (Klima- og miljødepartementet, 2014). Strategien peker i tillegg på de andre fordelene med biogassproduksjon, utover klimagassreduksjon. Ved at biogass produseres av avfall fra organisk materiale går ikke dette utover naturmiljøet. Bruk av biogass som drivstoff er også med på å redusere lokal luftforurensning. Ved å utnytte husdyrgjødsel som substrat bidrar dette også til å redusere klimagassutslippene i jordbruket.

Ifølge Forbord og Hansen (2020) er ikke effekten helt karbonnøytral, men i tilfeller hvor biogass erstatter fossil energi, og bioresten utnyttes som gjødsel vil dette gi en høyere bærekraftig gevinst. Verdikjeden til biogass bidrar til sirkulær økonomi ved å beholde organiske råmaterialer og produkter i livsløpet så lenge som mulig. Dette bidrar til redusert utvinning av jomfruelig materiale og er med på å begrense. Dersom organisk materiale blir utnyttet til energiproduksjon samtidig som bioresten kan utnyttes i ny matproduksjon, er dette også en god sirkulær løsning på et avfallsproblem (Treichel & Fongaro, 2019).

Norge produserte 0,6 TWh biogass ved 35 anlegg i 2022. Ifølge Miljødirektoratet (2022) ble over halvparten av biogassen i Norge i 2021, brukt til transport eller intern oppvarming. Den resterende biogassen ble faklet, brukt til el-produksjon eller fjernvarme. De viktigste

forskjellene på biogassproduksjon i Norge sammenlignet med eksempelvis Danmark og Sverige er skala på produksjon og insentiver. I Danmark utgjorde husdyrgjødsel 76 % av substratet til biogassproduksjonen i 2021 sammenlignet med 1 % i Norge. I tillegg benyttes store deler av biogassen i Danmark og Sverige til produksjon av elektrisitet eller til oppvarmingsformål.

2.2 SUBSTRAT

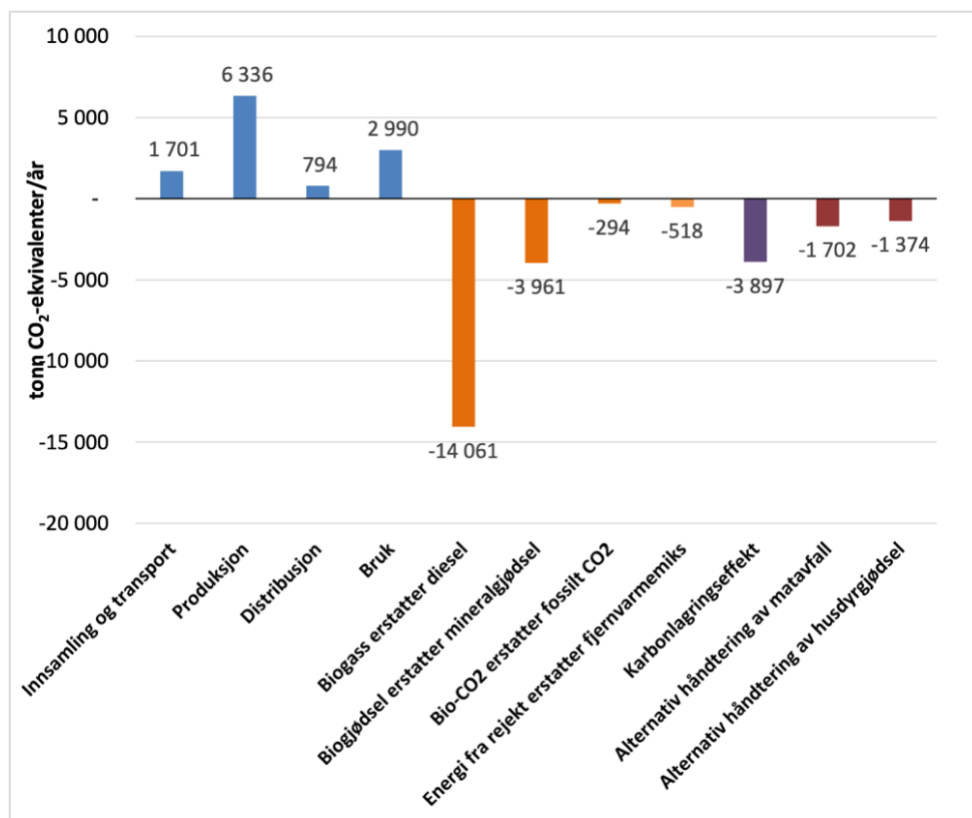
I Norge er det mest vanlig å behandle avløpslam, matavfall, husdyrgjødsel og annet organisk materiale fra næringslivet som substrat til biogassproduksjon. Ifølge Statistisk sentralbyrå (2023b) ble det håndtert 605 tusen tonn biologisk avfall ved norske biogass- og komposteringsanlegg i 2022. Av dette er omtrent 40 % matavfall, 18 % husdyrgjødsel og 15 % park- og hageavfall.

Modahl et al. (2016) beskriver husdyrgjødsel som et basis-substrat. Husdyrgjødsel har en allsidig sammensetning og gir råtningsprosessen stabilitet. I samme rapport opplyses det også at det er forskjell på gjødsel fra storfe og gris. Gjødsel fra storfe har noe mindre energipotensiale fordi det allerede har foregått en anaerob nedbrytningsprosess i vomma. Likevel bærer den med seg en allerede påbegynt nedbrytningsprosess som gjør at biogassproduksjonen i anlegget kan komme raskere i gang. Ifølge Morken et al. (2017) avhenger egenskapene i husdyrgjødsel av hvilket husdyr gjødsel kommer fra. For storfe ligger metanpotensialet på omtrent 220 m³/kg organisk tørrstoff. Gjødsel fra gris har et større biogasspotensiale fordi det ikke skjer en anaerob prosess i magen til grisen. Metanpotensialet for gris ligger på omtrent 300 m³/kg organisk tørrstoff.

I samme rapport fra Modahl et al. (2016) er klimapåvirkningen ved bruk av husdyrgjødsel fra storfe, gris, fjørfe og matavfall ved ulike scenarioer beregnet. For matavfall gir scenarioene hvor varmereproduksjon erstatter forbrenning av olje og flytende biorest erstatter mineralgjødsel, og hvor drivstoffproduksjon erstatter diesel og flytende biorest erstatter mineralgjødsel best resultat. Resultatene er tilnærmet like med en netto klimapåvirkning på -613 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. For storfegjødsel er analysen gjennomført på samme måte. Scenarioene hvor varmereproduksjon erstatter forbrenning av olje og flytende biorest erstatter mineralgjødsel, og hvor drivstoffproduksjon erstatter diesel og flytende biorest erstatter mineralgjødsel best resultat. Resultatene er tilnærmet like med en netto klimapåvirkning på -523 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. For gjødsel fra svin gir scenarioene hvor varmereproduksjon erstatter forbrenning av olje og flytende biorest erstatter mineralgjødsel, og hvor drivstoffproduksjon erstatter diesel og flytende biorest erstatter mineralgjødsel best resultat. Resultatene er tilnærmet like med en netto klimapåvirkning på -765 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS.

En dansk undersøkelse av Møller et al. (2022) har utført et forsøk på klimagassutslipp gjennom fem danske scenarioer, hvor husdyrgjødsel og inntil ett annet organisk materiale blir samrånnet. Scenarioene består av ulike sammensetninger av svin- og storfejødsel som ble samrånnet med en eller flere av følgende biomasser: talle, halm, energivekster, slakteriavfall, økologisk kløver, og husholdningsavfall. Forutsetningene for scenarioene var blant annet at biogassen erstatter fossilt drivstoff, CH₄ utslipp av husdyrgjødsel ved lagring på gård og lekkasje av CH₄ i biogassproduksjonen. S1 er satt sammen av husdyrgjødsel og talle, S2 er satt sammen av husdyrgjødsel og halm, S3 er satt sammen av husdyrgjødsel, talle og energivekster, S4 er satt sammen av husdyrgjødsel, talle og organisk avfall, siste scenario S5, er satt sammen av økologisk kløver, husdyrgjødsel, talle og bioavfall. Scenarioene tar utgangspunkt i at produsert biogass erstatter bruk av fossilt drivstoff. Analysen viser best resultater for S2 og S5, hvor S2 gir redusert klimagassutslipp på 110 kg CO₂-ekvivalenter per tonn og S5 gir en reduksjon på 100 CO₂-ekvivalenter per tonn. Analysene viser også at energiproduksjonspotensialet er høyest i S2 og S5 (samrånning med husdyrgjødsel og halm eller økologisk kløver), med henholdsvis 550 kWh per tonn for S2 og 500 kWh per tonn for S5.

I Den Magiske Fabrikken (DMF) produseres biogass basert på en kombinasjon av matavfall og husdyrgjødsel. De produserer biogass til drivstoff, biogjødsel og biogent-CO₂ til eget veksthus hvor det dyrkes tomater. Mottatt substrat består av omtrent 50 % matavfall fordelt fra husholdning og næring, 15 % gjødsel fra landbruket, 12 % flytende industriavfall og 12 % forbehandlet substrat. Prosentvis fordeling er basert på tørrstoffinnholdet i substratet. Lyng og Saxegård (2020) utførte i 2020 en vurdering av klimabelastningen for DMF. Analysen inkluderer alle utslipp fra alle produkter og tjenester DMF genererer, inkludert de unngåtte belastningene fra alternativ bruk av ressursene. Figur 2 viser resultatene for klimabelastning (global warming potential, GWP) fordelt på faser i produksjon, og klimanytten ved erstattet fossil ressurs. Resultatene viser at dersom biogass erstatter diesel vil dette bidra til en reduksjon på omtrent 14 tusen tonn CO₂-ekvivalenter årlig. Dette gir en netto klimanytte på drøyt 14 tusen tonn CO₂-ekvivalenter per år.



Figur 2: Klimabelastning fordelt på produksjonsfaser, erstattet ressurs og alternativ håndtering av ressurs (Lyng & Saxegård, 2020).

Rapporten henviser også til en spørreundersøkelse besvart av bøndene som både leverer husdyrgjødsel og mottar biorest. Svarene fra undersøkelsen viser at husdyrbøndene som leverer husdyrgjødsel og mottar biorest har redusert behovet for mineralgjødsel med gjennomsnittlig 20 kg per tonn biogjødsel. Kornbøndene melder om redusert behov for mineralgjødsel med gjennomsnittlig 18 kg per tonn biogjødsel.

Ifølge Klima- og forurensningsdirektoratet (2013) kan en blanding av husdyrgjødsel og organisk avfall være gunstig i biogassproduksjon fordi husdyrgjødsel har et høyt nitrogeninnhold i forhold til karboninnholdet, mens våtorganisk avfall ofte har et motsatt forhold. Samtidig blir konsistensen på substratet som oftest bedre enn ved bruk av rent våtorganisk avfall. Dette kan gi en mer stabil biogassprosess med et høyt gassutbytte. Sambehandling av avfall og husdyrgjødsel i samme reaktor gir et høyere og mer stabilt gassutbytte enn behandling av substratene enkeltvis ifølge Sørheim et al. (2010, gjengitt i Klima- og forurensningsdirektoratet (2013)).

Analysen av Lyng og Saxegård (2020) viser også til positiv klimaeffekt ved samrøtning av matavfall og husdyrgjødsel. Resultatene i analysen viser at scenarioet med matavfall og husdyrgjødsel har noe høyere utslipp, men også høyere besparelse. Biomasseproduksjon av

kun matavfall gir en netto besparelse på 213 tonn CO₂-ekv. per tonn matavfall og samrånningen med husdyrgjødning gir en netto besparelse på 282 CO₂-ekv.

2.3 BIOREST

Etter at den anaerobe forråtnelsen er over, og biogasspotensialet er hentet ut fra substratet, vil det være igjen en masse i råtnetankene som betegnes biorest. Substratet som inngår i biogassprosessen, kan gi ulik nærings sammensetning i bioresten.

Når matavfall går gjennom fordøyelsesprosessen spaltes næringsstoffene slik at bioresten vil inneholde plantetilgjengelig nitrogen og fosfor. Bioresten kan derfor være godt egnet som gjødningprodukt, forutsatt at den overholder kvalitetsstandarder i forskrifter som gjødningvareforskriften og biproduktforordningen (Låkne et al., 2016). Ifølge Løes (2015, gjengitt i Låkne et al. (2016)) vil biorest og bruk av ubehandlet husdyrgjødning være like effektive gjødningprodukter for avlingen. Dette blir også bekreftet i et forsøk utført av Norsk Landbruksrådgivning Nord Norge (Kristiansen, 2022). I Vestvågøy og Tana ble effekten av biorest fra 80 % husdyrgjødning og 20 % oppdrettsslam sammenlignet med bruk av storfegjødning, mineralgjødning, og kombinasjon av storfegjødning og biorest sammen med mineralgjødning. Prosentvis sammensetning av storfegjødning og oppdrettsslam ble satt sammen for å få mest mulig lik antatt nitrogenverdi.

Resultatene var noe forskjellig for de to områdene. I Vestvågøy viste forsøket at total avling i kg TS per daa var omtrentlig det samme ved bruk av biorest, som ved bruk av kun mineralgjødning. Det var derimot stor forskjell i nitrogeninnholdet for avlingen. Nitrogeninnholdet ved bruk av biorest var 12 kg nitrogen per kg TS per daa og 22 kg nitrogen per kg TS per daa ved bruk av kun mineralgjødning. Der det ble brukt en kombinasjon av storfegjødning eller biorest sammen med mineralgjødning ga dårlige avlingsresultat enn feltene med kun biorest og kun mineralgjødning, men disse ga høyere nitrogennivå i avlingen. Resultatene fra Tana viste noe høyere avling ved bruk av biorest sammenlignet med bruk av vanlig husdyrgjødning. For biorest og husdyrgjødning var nitrogeninnholdet identisk. Resultatet viste nesten dobbelt så høyt nitrogeninnhold i avlingen ved bruk av mineralgjødning enn ved bruk av biorest eller husdyrgjødning. I begge forsøkene ga kombinasjonen husdyrgjødning og mineralgjødning best nitrogenresultat. Ifølge Yara (2017) har produksjon av mineralgjødning et utslipp på 3,6 kg CO₂-ekvivalenter per kilo nitrogen produsert. Optimal gjødning kan bidra til redusert klimapåvirkning. Eksempelvis vil en avling på 8 tonn per hektar som er gjødninglet med 170 kg N per hektar fange opp 12 800 kg CO₂-ekvivalenter per hektar gjennom kornet. Dette innebærer et opptak på 74 kg CO₂-ekvivalenter per kg N tilført. Altså en redusert klimapåvirkning på 75 kg CO₂-ekvivalenter per kg N. Ved å allerede utnytte nitrogenet som

finnes i det organiske avfallet kan dette bidra til å redusere produksjon og anvendelse av mineralgjødsel.

Store deler av avløpsslammet blir i dag benyttet som jordforbedringsmiddel. Avløpsslam er et fosforrikt jordforbedringsmiddel og bidrar til omtrent 1 900 tonn fosfor årlig (Hamilton m.fl. 2017, gjengitt i Falk Øgaard et al. (2021)). Mellom 50-60 % av avløpsslammet blir tilbakeført til jordbruksarealer i dag. Det årlige fosforforbruk i Norge fra mineralgjødsel er mellom 8 500 - 9 000 tonn. Gjenvinning av fosfor fra avløpsslam, matavfall og husdyrgjødsel er med på å redusere utvinning av mineralsk fosfor (Falk Øgaard et al., 2021). Ifølge Råheim (2022) kan vi gå tom for fosfor allerede i 2030. Organisk avfall vil derfor være en viktig fremtidig ressurs for å unngå fosforkrise. Fosfor er helt nødvendig for å produsere mat og er et viktig næringsstoff i mineralgjødsel, men fosfor benyttes også i andre sammenhenger, som stålproduksjon, legemidler og elbilbatterier. Derfor er fosfor en viktig ressurs som må ivaretas på best mulig måte.

I Norge benyttes bioresten på to forskjellige måter; *fast* og *flytende*. For å skille disse to fraksjonene benyttes en avvanningsprosess. Den faste fraksjonen kalles avvannet biorest og har et TS-innhold på mellom 15-30 % (Låkne et al., 2016). Avvannet biorest vil være ganske rik på fosfor da fosfor følger den faste fraksjonen. Ifølge Bøen (2006, gjengitt i Hvitsand og Kleppe (2011)) vil den flytende fraksjonen ta med seg 18 % av fosforet, 63 % av kaliumet og 41 % av nitrogenet. Ved å skille våt og tørr fraksjon vil bioresten dermed gi et mindre verdifullt produkt som gjødsel.

Krogstad m.fl. (2004, gjengitt i Falk Øgaard et al. (2021)) refererer til laboratorie- og feltforsøk som viste at over to vekstsesonger ble mellom 0 og 14 % av fosfor tilført med slam tatt opp i avling. I et veksthusforsøk ble det beregnet at totalt planteopptak av fosfor fra slammet var mellom 12 til 39 % sammenlignet med fosforopptaket fra mineralgjødsel.

En studie av Dietrich et al. (2021) sammenligner metanutslippet fra matavfall til kompostering uten å gå gjennom en biogass prosess, sammen med kompostering av biorest fra matavfall etter biogassproduksjon. Resultatene fra studien viser at metanutslippet er over tolv ganger høyere fra kompostering av biorest av matavfall, enn fra kompostering av ubehandlet matavfall. Innholdet av både metan og lystgass var høyere enn forventet. Metangassen ga størst bidrag til mulig klimaeffekt. En mulig forklaring til de høye metanutslippene kan være at restproduktet inneholder mikrober som er tilpasset høy produksjon av metan. Rapporten peker også på at det organiske materialet reduseres med omtrent 50 % etter gjennomgått biogassproduksjon før det kommer ut som biorest.

3 STUDIEOBJEKTET

I det følgende kapittelet er spesifikk prosessbeskrivelse av biogassproduksjonen gitt ved muntlig kommunikasjon med Emilio Alvarenga, Assisterende driftssjef for rense- og biogassanlegg, ved FREVAR. Informasjonen er gitt gjennom hele samarbeidsperioden, fra januar til mai 2024. Dersom ikke annen kilde er opplyst gjelder dette for hele kapittelet.

Fredrikstad renovasjon, vann- og avløpsrenseanlegg (heretter FREVAR), ligger i industriområdet Øra i Fredrikstad kommune, Østfold fylke. I Øra-området ligger en rekke bedrifter som jobber med behandling av materialer og energi for gjenvinning. Bedriftene i området samarbeider om industriell symbiose, en strategi for å kunne oppnå en sirkulær økonomi. Samarbeidet mellom bedriftene innebærer deling og utnyttelse av ressurser som materialer, energi, vann og/eller biprodukter (FREVAR, 2022).

FREVAR er et kommunalt foretak som eier og driver Fredrikstad kommunes prosessanlegg for avløpsrensing, vannproduksjon, energigjenvinning og avfallshåndtering. Biogassanlegget produserer biogass ved anaerobe nedbrytning av både våtorganisk avfall (matavfall og substrat) og fortykket kloakkslam. Biogassanlegget er dimensjonert for mottak på 30 tusen tonn substrat årlig. Dette fordeles på omtrent 6 000 tonn emballert organisk avfall til forbehandling, og 24 tusen tonn flytende substrat til forbehandling før mottakstanker og videre rensing. I tillegg har biogassanlegget i dag én mottakskum på 180 m³. Slammottaket for avløpsslam kan årlig behandle 2 000 tonn. Avløpsvannet må homogeniseres og fortynnes. Slammottaket homogeniserer med varmt vann og omrøring før slammet pumpes til mottakstank.

Tabell 2 viser fordeling av mottatt substrat for 2023. Tabellen viser at FREVAR mottok mer substrat enn anlegget har kapasitet til, i overkant av 42 tusen tonn. En mulig forklaring på dette kan være at noe av substratet har blitt plassert på lager dersom kapasiteten har vært sprengt eller på grunn av planlagt produksjonsstans for vedlikehold. Andel TS for substrat og avløpsslam vil variere med mengde avfall, årstid osv. Dersom det benyttes en gjennomsnittsfaktor for TS på 35 % vil kapasiteten på 30 tusen tonn våtvekt tilsvare 10 500 tonn TS per år.

Kategorien *restprodukter* er substrat som kommer fra nærliggende bedrifter på Øra og består av rester fra mat- og dyrefôr produksjon. *Matavfall fra husholdninger* kommer fra Fredrikstad og Rakkestad kommune. *Forbehandlet substrat* er mat- og organisk avfall som er ferdig forbehandlet biomasse som kan brukes videre til biogassproduksjon. *Matavfall med emballasje til forbehandling* er næringsavfall fra næringssektorer, butikker og lignende i

kommunen. *Slakteriavfall* kommer fra Nortura. Transportavstandene er omtrentlige og er gitt via muntlig kommunikasjon med FREVAR.

Tabell 2: Oversikt over mottatt substrat, inkludert avløpsvann, hos FREVAR 2023.

Substrat	Tonn/år	Andel TS	Tonn TS/pår
Forbehandlet substrat	16 610	0,33	5 481
Matavfall fra husholdningene, Fredrikstad	284	0,33	94
Matavfall fra husholdningene, Rakkestad	15	0,33	5
Matavfall m/emballasje til forbehandling	7 255	0,33	2 394
Restprodukter	349	0,33	115
Slakteriavfall	3 824	0,33	1 262
Slam fra rensset avløpsvann	14 584	0,25	3 646
Totalt	42 920		12 997

I dagens anlegg skjer biogassproduksjonen som samutråtning ved at matavfall og slam fra rensset avløpsvann går inn i samme råtnetanker.

Avløpsvannet samles via pumpestasjoner som er tilknyttet avløpsnett. Gjennom røret pumpes avløpsvannet inn i renseanlegget hos FREVAR. Fra utestasjonene blir avløpsvannet fraktet gjennom en innløpskrue før det går gjennom en rist til et sand- og fettfangbasseng. Rista fjerner de største avfallsfraksjonene som papir, q-tips og annet ikke organisk avfall som havner i kloakken. Sand- og fettfangbassenget siler ut sand og fjerner deler av fett. Slammet går videre gjennom en pasteuriseringsprosess ved at det varmes opp til 70°C i 30 minutter før det føres inn til råtnetank.

Matavfall fra husholdningene og næringsmiddelindustrien er et substrat som krever forarbeid før det kan benyttes til biogassproduksjon. Matavfall kommer ofte emballert og pakket i plast fra forbruker. Dette matavfall kommer inn til FREVAR med lastebil og blir tippet i egen sjakt. Fra denne sjakten blir avfallet videre matet ut gjennom en skruetransportør over i en kvern. Det kvernede avfallet blir deretter sendt ut på et bånd hvor rejekt vann blir silt ut og en magnet fjerner magnetisk rejekt. Videre går avfallet til forbehandling gjennom en biosep (kvern), som separerer resterende plast og avfall fra det organiske materialet. Etter denne prosessen er matavfall egnet for biogassproduksjon og blir overført til mottakskum for substrat.

Flytende substrat som ankommer FREVAR med lastebil blir ført inn i mottakskummene via rør. I mottakskummene blandes forbehandlet emballert matavfall og flytende matavfall. Anlegget har en mottakskum og en rejektvannskum (overløpskum). Herfra går substratet til substratrenseanlegget (hydrosyklon og knivfilter) før det mellomlagres i 3 tanker. Kloakkslammet blandes med matavfall eller annet substrat i råtnetank 1 eller 2. Fra

mottakskum til utråtning gjennomgår substratet to rensesprosesser for fjerning av partikler og avfall som er av ikke-organisk materiale. Den ene rensesprosessen fjerner sand, skrell og korn fra substratet, den andre prosessen fjerner plast fra substratet. Sanden går til våtkompostering hos FREVAR og plastrejektet går til forbrenningsanlegget. Etter denne prosessen doseres substratet, gjennom en hygieniseringsprosess. Hygienisering betyr at substratet oppvarmes til 70°C i én time for at skadelige bakterier skal elimineres ut. Anlegget har tre hygieniseringstanker som kontinuerlig ruller på prosessen. Etter hygieniseringen føres substratet videre til utråtningen.

I eksisterende biogassanlegg er det tre råtnetanker, 2 x 2200 m³ og 3000 m³. I råtnetanken skjer den biologiske råtneprosessen hvor bakteriene bryter ned det organiske stoffet i substratet, uten tilgang på oksygen. Oppholdstiden i de 3 seriekoblede råtnetankene er totalt 21 dager. Biogassen som produseres blir lagret i gassklokker. Denne gassen kalles rågass og har metaninnhold på omtrent 65 %. Videre blir gassen sendt gjennom et oppgraderingsanlegg som skiller CO₂ og metan. Gassen har da et metaninnhold på minst 95 %. Den oppgraderte biogassen blir solgt til Gasum. Denne gassen komprimeres og fraktes på containerflak (200 bar flasker) fra FREVAR til Gasum sine kunder. Gassen går primært til glass-smelting eller fyllestasjoner for buss og lastebiler. Overskuddet av oppgradert biogass blir sendt ut på et lokalt rørnett som driftes av Gasum. Fra rørnettet vil Gasum på sikt benytte denne gassen til å lage komprimert biogass på eget industriområde. Dette vil da være en stabil kilde for komprimert biogass for Gasum sitt nettverk i Sør-Norge (Jerve, 2024).

Slammet fra råtnetanken blir ført ut til et slamlager. Fra dette lageret blir slammet sentrifugert og den faste delen mellomlagres i to siloer på avløpsrenseanlegget. Rejektvannet fra sentrifugene sendes til rejektivannbehandlingsanlegg for nitrogenfjerning. Flytskjema over slambehandling og råtnetanker ligger vedlagt i vedlegg 11.2.

Dagens kapasitet for forbehandling og utråtning, samt kapasiteten for oppgradering av biogass, skaper i dag flaskehalser i produksjonen. Dette betyr at de kontinuerlig må balansere mottaket av substrat mot oppgraderingskapasiteten for å unngå fakling. Ved fakling brennes biogass som ellers kunne vært utnyttet som ressurs. Det er uansett bedre å fagle enn å slippe metanet rett ut i atmosfæren. FREVAR planlegger å øke oppgraderingskapasiteten.

Produksjonstall for 2023 viser at FREVAR produserte omtrentlig 4,1 millioner Nm³ rågass med et gjennomsnittlig metaninnhold på 61 %. Av dette ble 2,4 millioner Nm³ oppgradert til biogass med drivstoffkvalitet med minst 95 % metaninnhold. Bioresten som tas ut av råtnetanken avvannes og ligger på omtrent 25 % TS innhold. Bioresten blir i dag kjørt ut av distributør til bønder i omkringliggende område. TS-verdien er basert på et gjennomsnitt av mottatt substrat. En sammenstilling av rådata er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over substrat inn (ekskl. avløpsvann), produsert rågass og oppgradert biogass, med tilhørende energipotensiale.

Hva	Mengde	Enhet
Substrat inn	29 207	Tonn
	9 638	Tonn TS (32%)
Rågass (60% metan)	4 237 294	Nm ³
	26 440 715	kWh
	26	GWh
Oppgradert (min 95% metan)	2 363 401	Nm ³
	23 870 350	kWh
	24	GWh
Avvannet biorest, mellomlager	11 605	Tonn
	2 901	Tonn TS (25%)

Fredrikstad Kommune er i gang med å bygge et nytt avløpsrensaneanlegg som skal være i drift fra 2026 (FARA-anlegget). Avløpsrensaneanlegget skal fjerne fosfor og partikler, samt overflødig nitrogen fra avløpsvannet. Rensaneanlegget er prosjektert til å gå i energi-overskudd ved å benytte solceller på taket, bruke overskuddsvarme til oppvarming og ha biogassproduksjon. Rensaneanlegget vil ha sin egen slambehandling og samutråtningen med annet organisk avfall vil dermed avsluttes. Dette vil frigjøre kapasitet for utråtning ved det eksisterende biogassanlegget. Det vil si at biogassen som produseres fra de to anleggene vil føres sammen i samme gassklokker, men slammet fra utråtningen vil være i to separate fraksjoner. Bioresten fra avløpsslammet og biorest fra matavfall og annet organisk avfall vil være separat og kan derfor få ulike bruksområder. Biorest basert på avløpsvann kan ikke kategoriseres som biogjødsel. Bioresten fra eksisterende anlegg blir i dag utnyttet som jordforbedring etter gjeldende regler gjennom gjødselvereforskriften. Tabell 4 viser en oversikt over produksjonstrinn i dagens biogassproduksjon, samt en oversikt over produksjonstrinn med nytt avløpsrensaneanlegg i drift.

Tabell 4: Oversikt over teknologier og prosesser ved de ulike stadiene for biogassproduksjonen ved FREVAR. Oversikten viser både dagens teknologi og teknologi for samproduksjonen når det nye avløpsrensaneanlegget er i drift fra 2026.

Produksjonstrinn	Dagens biogassanlegg	Eksisterende anlegg og nytt avløpsrensaneanlegg
Forbehandling	Avfallet blir først behandlet ved kverning. Deretter utsorteres uorganisk avfall gjennom trommel. Gjenværende organisk avfall går så til pasteurisering før det blir matet inn i råtnetanken. Pasteuriseringen innebærer oppvarming til 70°C i en halvtime.	Termisk hydrolyse av <i>kun</i> kloakkslam. Ved termisk hydrolyse blir avløpsvannet utsatt for høy temperatur og høyt trykk for å dreoe bakterier og virus, samt mykgjøre massen.
Utråtning	Termofil	Mesofil
Oppgradering	Aminoskrubber	Aminoskrubber
Distribusjon av biogass	Lagring på flak, lokalt gassnett og distribusjon til lokal kollektivtrafikk.	Lagring på flak, lokalt gassnett og distribusjon til lokal kollektivtrafikk.
Behandling av biorest	Biorest er samrånnet med avløpsslam og blir lagret på egnet plass for sesongbruk. Bioresten klassifiseres som slam.	To ulike klassifiseringer av biorest 1. Biorest basert på matavfall og organisk avfall. 2. Biorest basert på avløpsslam.
Distirbusjon av biorest	Avvannet biorest blir brukt som jordforbedringsmiddel etter gjeldende forskrift.	Avvannet biorest fra slam blir benyttet som jordforbedringsmiddel. Biorest fra matavfall og organisk materiale kan benyttes som biogjødsel.

Hensikten med analysene som gjøres i kapittel 7 er å gi et overblikk over klimapåvirkningen fra biogassproduksjonen hos FREVAR. Scenarioene bygger på forskningsspørsmålene om det nye produksjonsanlegget vil påvirke klimagassutslippet til FREVAR i 2030, med utvidet og ulik sammensetning av substrat. Analysen skal i tillegg gi et overblikk over effektene det kan ha for N-P-K-verdiene i bioresten at produksjonen skiller på avløpsvann og annet organisk materiale.

Med dette som grunnlag er det definert to hovedscenarier for analyse; Scenario 1 (S1) er referansescenario med dagens produksjon. Scenario 2 (S2) er produksjon av biogass og biorest fra 2026 med både eksisterende og det nye avløpsrensaneanlegget i drift. Biogassen fra begge produksjonene vil føres sammen i samme gassklokke, mens bioresten vil håndteres separat fra hvert av anleggene. S2 er delt opp i delscenarier hvor ulik andel substratsammensetning av matavfall og husdyrgjødsel utprøves med fokus på næringsverdien i biogjødselen. Scenarioene er beskrevet utfyllende i kapittel 6.

4 METODIKK

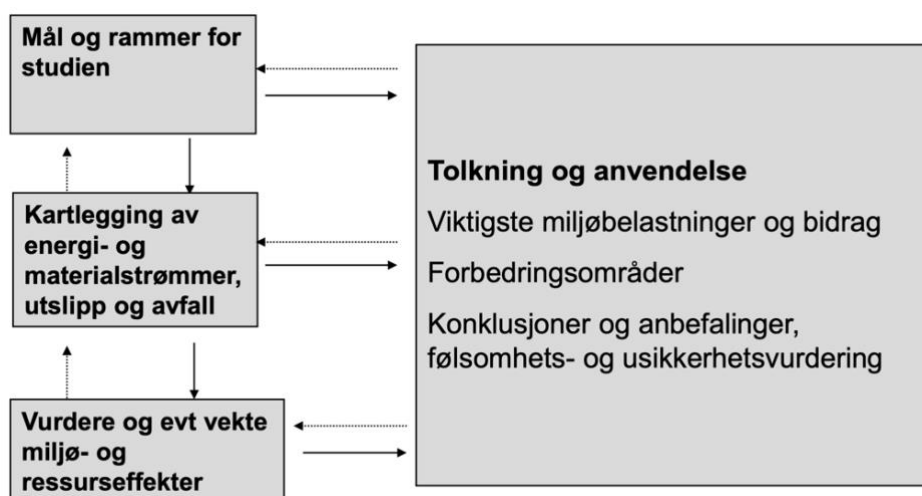
4.1 METODE

4.1.1 Kvantitativ metode

I denne oppgaven benyttes kvantitativ metode. Denne metoden benyttes ofte i forskning som har til hensikt å innhente numerisk data som skal benyttes i eksempelvis analyser hvor variabler skal fremstilles (Grønmo, 2023). For innhenting av relevant data er litteraturstudie benyttet. Innhentede dokumenter består i hovedsak av rapporter og forskningsartikler. Disse har blitt hentet ved bruk av søkemotorer som Web of Science, Oria og Google. Mange av forskningsrapportene er hentet fra forskning gjennomført av NORSUS med samarbeidspartnere. Datering for forskningsrapportene og -artiklene spres seg over et tidsrom på rundt ti år. Spesifikk og relevant data for studieobjektet er blitt innhentet fra studieobjektet. Som hovedregel er produksjonstall fra 2023 blitt benyttet, men med unntak.

4.1.2 Livsløpvurdering (LCA)

I analysedelen skal miljøeffektene vurderes, og det er derfor vurdert å benytte livsløpsvurdering som mest hensiktsmessig metode. Livsløpsvurdering tar for seg et produkt, eller en prosess, innenfor en gitt systemgrense og analyserer produktets miljøpåvirkning innenfor den gitte systemgrensen. Livsløpsvurdering blir normalt omtalt som LCA (Life Cycle Assessment). Metoden er standardisert gjennom ISO 14040 og 14044 og rammeverket for metoden er satt av standardene. Kvaliteten på analysen vil variere ut ifra kvalitet på data og beskrivelse av systemet (Curran, 2015). Figur 3 viser de fire trinnene LCA-metoden bygger på.



Figur 3: De fire trinnene i LCA-metoden (Curran, 2015).

Trinn 1, *Mål og rammer for studien* –I dette stadiet skal målet og omfanget av studien tydelig defineres, inkludert valg av funksjonell enhet. Ved å definere en funksjonell enhet gir dette større mulighet for sammenligning av resultater (Curran, 2015). Funksjonell enhet for analysen er definert i kapittel 4.1.2.1.

Trinn 2, *Kartlegging av energi- og materialstrømmer, utslipp og avfall* - Dette trinnet omhandler å utarbeide en oversikt over relevante energi- og materialtilførsler og miljøutslipp (Curran, 2015). Dette trinnet omtales ofte som LCI (Life Cycle Inventory) og blir gjort i kapittel 5.

Trinn 3, *Vurdere og eventuelt vekte miljø- og ressurseffekter* - I dette trinnet vurderes potensielle miljøpåvirkninger knyttet til identifiserte tilførsler og utslipp (Curran, 2015). Dette trinnet omtales ofte som LCIA (Life Cycle Impact Assessment). I analyseverktøyet velges riktig metode ut ifra hva som skal analyseres. Analysen i denne oppgaven skal vurdere miljøpåvirkningene i form av å se på global oppvarming med CO₂-ekvivalenter som felles enhet. Det anses mest hensiktsmessig å benytte ReCiPe 2016 Midpoint i oppgavens analyse.

Trinn 4, *Tolkning og anvendelse* - I dette trinnet tolkes resultatene for å hjelpe beslutningstakere til å ta en mer informert beslutning. Tolkningen skal komme med konklusjoner og anbefalinger på grunnlag av hva som er fastlagt i mål og rammer for studien (Curran, 2015).

4.1.2.1 Funksjonell enhet

Funksjonell enhet angir produktets ytelse i forhold til et fastlagt og kvantitativt definert brukskrav. Oppgaven skal analysere dagens produksjon og utfallet ved ulike sammensetning av substrater i biogassproduksjonen. Funksjonell enhet for denne studien er definert som

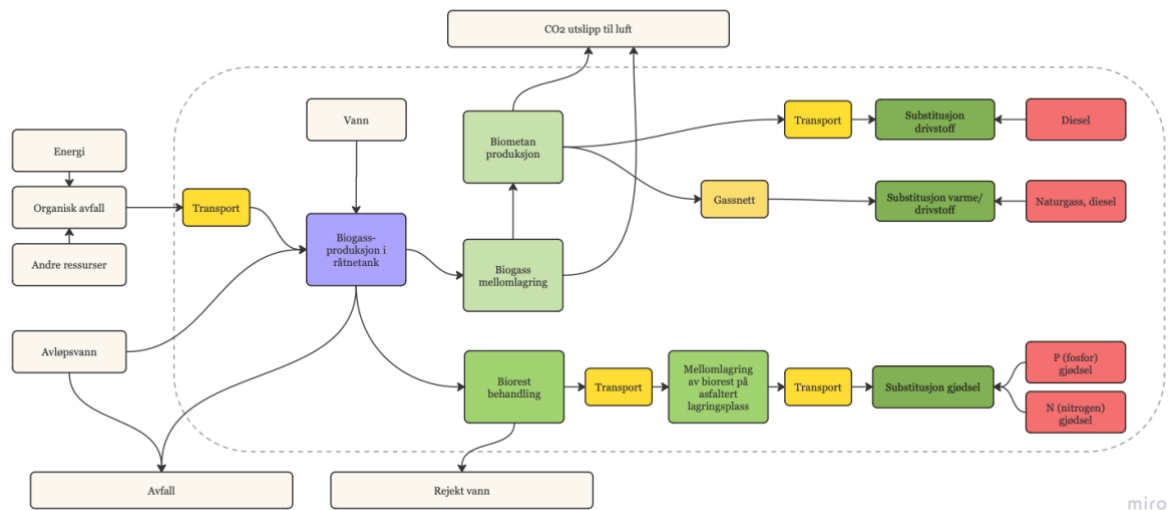
«Behandling av 1 tonn tørrstoff (TS) av ett respektivt substrat, eller sammensetningen av flere substrat, med tilhørende transport i et gitt geografisk område, inkludert substitusjonseffekten av produktene biogass og biorest»

4.1.3 Materialstrømsanalyse

Materialstrømmene utgjør datagrunnlaget for gjennomføring av en LCA, og er en systematisk vurdering av strømmene innenfor et gitt system. Systemet er definert av en systemgrense som settes på bakgrunn av funksjonell enhet. Materialstrømsanalysen gjør det lettere å identifisere hvilke ressurser som inngår i de ulike trinnene i produktets livssyklus. Datagrunnlaget bør gi

informasjon om alle inputs, ressurser, avfall og transport som inngår for å produsere et produkt. Det er vanlig å definere systemgrensen fra vugge-til-vugge, vugge-til-grav eller vugge-til-port (Curran, 2015). Systemgrensen for denne analysen er definert til å være vugge-til-port.

Figur 4 nedenfor viser prosessene oppstrøms og nedstrøms for biogassproduksjonen. Den perforerte linjen illustrerer den ytre systemgrensen. Det er disse prosessene som er tatt med i analysene i kapittel 7.



Figur 4: Systemgrense for analyser.

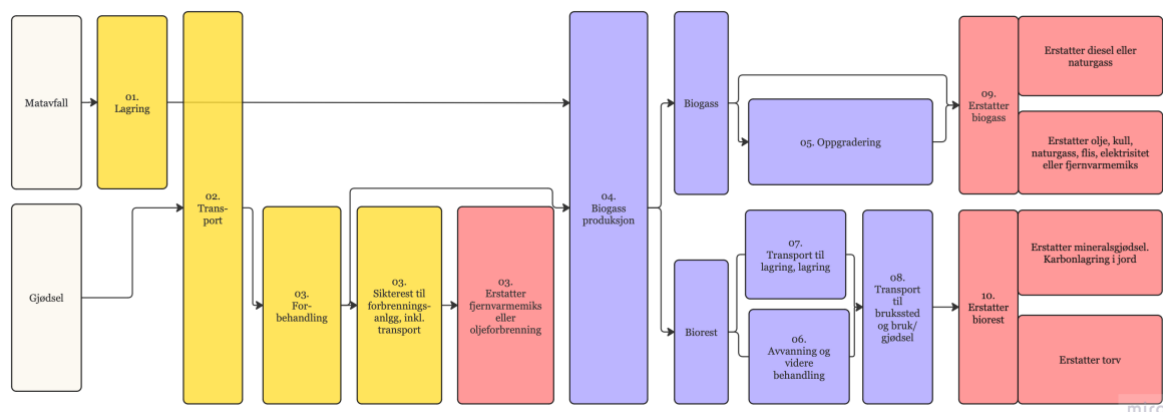
Systemgrensen inkluderer transport av substrat fra forbruker til mottak. Forbehandling og biogassproduksjon krever energi, derfor er energi også inkludert i systemgrensen. Biogassproduksjonen gir tre ulike ressurser; biogass, oppgradert biogass og biorest. Bruk og transport av disse ressursene er også inkludert i systemgrensen. I tillegg er substitusjonseffekten inkludert for å kunne analysere effekten av å erstatte ulike energibærere med ressurser fra biogassproduksjonen. Transport og bruk av biorest er ikke inkludert i systemgrensen. Analysen skal likevel se klimapåvirkningen fra utvinning av nitrogen, fosfor og kalium fra mineralgjødsel sammenlignet med bioresten.

Allokeringsproblemer til det analyserte systemet har blitt unngått ved å bruke systemutvidelse. Dette gjøres ved å identifisere hvilke produkter som erstattes på markedet, når biogass og biorest benyttes, og inkludere disse erstatningene i modellen. I analysene i kapittel 7 er det antatt at oppgradert biogass erstatter diesel og at avvannet biorest går til jordforbedring og bidrar til å erstatte mineralgjødsel.

4.2 BIOGASSMODELLEN BIO VALUE CHAIN

Analysene gjøres med utgangspunkt i den norske biogassmodellen Bio Value Chain (heretter BVC), utviklet av NORSUS (Lyng et al., 2015). Formålet med metoden er å tilrettelegge for beregning av miljøpåvirkning for biogassproduksjon av organisk avfall og gjødsel i Norge. Modellen kan beregne miljøpåvirkningen gjennom hele verdikjeden. Modellen består av en database med relevante parametere og kan enkelt tilpasses for en gitt produksjonslinje. Databasen som benyttes for denne analysen er Ecoinvent 3.01 og metoden er ReCiPe 2016 Midpoint. Metoden er valgt med bakgrunn av oppgavens fokus på den globale klimapåvirkningen, hvor kg CO₂-ekvivalenter er den mest interessante enheten.

Modellen følger hele livsløpet for biogassprosessen og er delt inn i 10 livsløpsfaser, se Figur 5. Stadiene er som følger: 01. Lagring av substrat. Dette stadiet gjelder husdyrgjødsel som blir lagret i gjødselkummer på gården; 02. Transport til anlegg; 03. Forbehandling av substrat. Fjerning av ikke-organisk materiale (sikkerest), hygienisering og lignende behandlinger som klargjør substratet for behandling; 04. Biogassproduksjon/behandling; 05. Oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet; 06. Avvanning og/eller kompostering av biorest; 07. Lagring av biorest på produksjonssted; 08. Transport til brukssted og bruk av biorest; 09. Unngåtte belastninger fra energibærere som blir erstattet av biogass; 10. Unngåtte belastninger ved bruk av biorest.



Figur 5: Livsløpsfasene i Bio Value Chain modellen (Lyng et al., 2015).

I modelleringen av analysen velges de parameterne som gjelder innenfor den gitte systemgrensen og parameterverdiene kan enkelt endres og tilpasses (Lyng et al., 2015). Modellen er utviklet med tanke på matavfall og husdyrgjødsel som substrat. Det er derfor ikke satt opp et eget livsløp for avløpslam. For å tilpasse modellen til oppgavens formål er det derfor gjort noen modifikasjoner. I denne oppgaven er modellen modifisert på følgende måte: 01. Lagring av substrat; lagring gjelder kun på gård, det vil si at denne livsløpsfasen kun er

inkludert for husdyrgjødsel; *02. Transport til anlegg*; alle transportetapper for levering av substrat til FREVAR er inkludert i denne livsløpsfasen. De ulike transportetappene er estimert på antakelser; *03. Forbehandling av substrat*; forbehandling gjelder matavfall fra kommunene. I denne livsløpsfasen beregnes svinn ut ifra sikterest som separeres fra det organiske materialet. Livsløpsfasen inkluderer også hygienisering. Avløpsvann forbehandles ikke på samme måte som matavfall, men går igjennom en rejekt- og renseprosess, samt hygienisering før det kan gå inn i råtnetanken. Denne prosessen er ivaretatt; *04. Biogassproduksjon/behandling*; denne livsløpsfasen ivaretas ved å endre forutsetningene for biogassproduksjon før og etter produksjonsstart ved det nye avløpsrenseanlegget. Det nye avløpsrenseanlegget vil trolig ha en mer effektiv biogassproduksjon med ny teknologi. Samtidig er det også hensyntatt at det nye avløpsrenseanlegget skal være selvforsynt med energi; *05. Oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet*; denne livsløpsfasen beholdes lik som i modellen; *06. Avvanning og/eller kompostering av biorest*; for denne livsløpsfasen legges det til grunn at bioresten avvannes; *07. Lagring av biorest på produksjonssted*; denne fasen ivaretar lagring av biorest på produksjonssted; *08. Transport til brukssted og bruk av biorest*; i denne livsløpsfasen er ikke transport til brukssted inkludert; *09. Unngåtte belastninger fra energibærere som blir erstattet av biogass*; i denne livsløpsfasen er det antatt at biogass erstatter diesel; *10. Unngåtte belastninger ved bruk av biorest*; i denne fasen antas det at bioresten erstatter mineralgjødsel.

5 DATAGRUNNLAG

5.1 SUBSTRATTILGANG

Datagrunnlaget baseres på litteraturstudie av relevante rapporter og forskning på området. En stor del av datagrunnlaget er hentet fra rapporter fra blant annet NORSUS, Bioforsk, NMBU og forskningsartikler fra Web of Science. I tillegg er nøyaktig produksjonsdata fra FREVAR benyttet. Analysene baseres derfor på en kombinasjon av empirisk data og estimerte data.

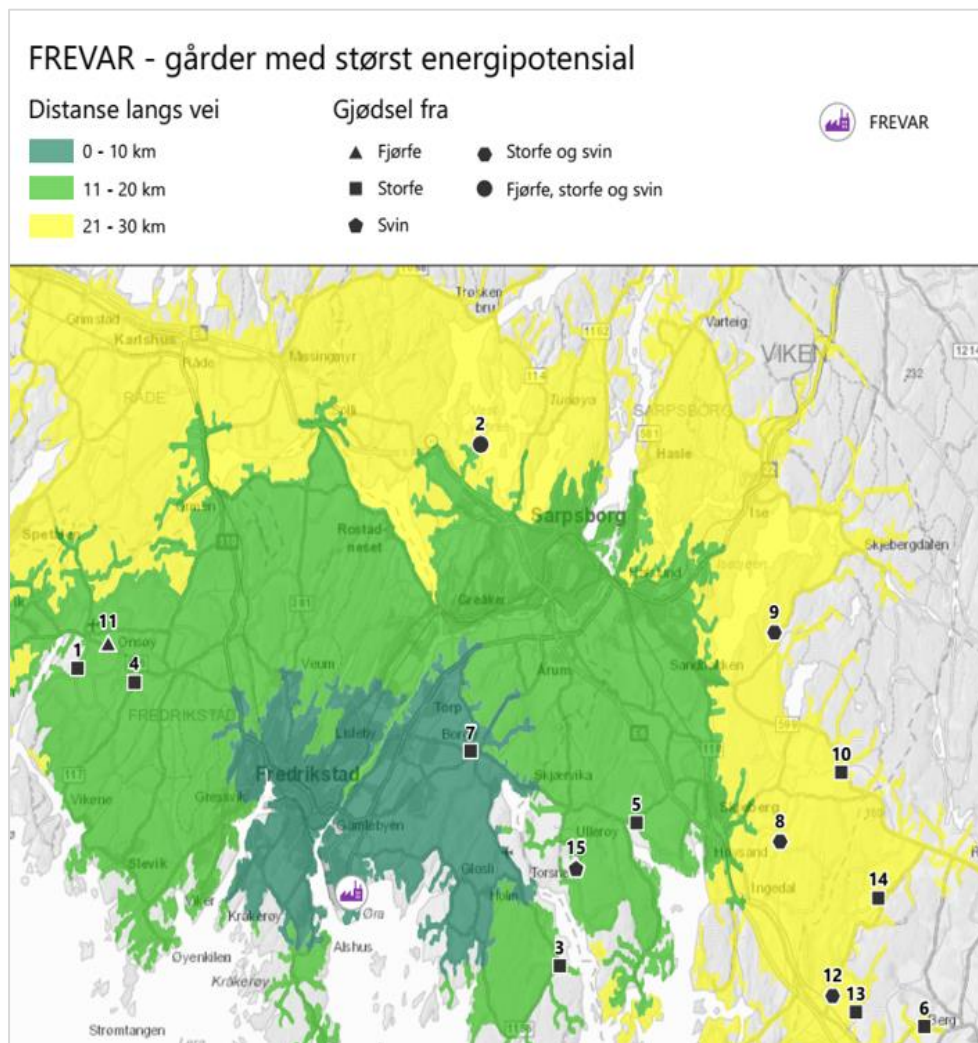
Hva som er relevant avstand, varierer ut fra substrat. Rapporten «Biogassproduksjon i Østfold» definerer Arnøy et al. (2013) noen gjennomsnittsavstander for innsamling av matavfall. Gjennomsnittsavstand for innhenting av matavfall fra Fredrikstad kommune er satt til 28 km. I tillegg mottar FREVAR matavfall fra Rakkestad kommune. For innsamlingen fra Rakkestad estimeres en gjennomsnittsavstand på 40 km, inkludert transport til FREVAR.

5.2 SUBSTRATTILGANG HUSDYRGJØDSEL

Ifølge Wennerberg (2018, gjengitt i Eidsbråten (2018)) anses transportavstander på inntil 30 km som økonomisk bærekraftig når det gjelder transport av husdyrgjødsel. Dette er beregnet ut ifra at husdyrgjødsel har relativt lav andel TS. I denne oppgaven inkluderes gårder fra Råde, Fredrikstad, Hvaler, Sarpsborg og Halden. Grunnen til at Halden også inkluderes er fordi det ligger noen store gårder med mye husdyrgjødselpotensial rett ved grensen mellom Sarpsborg og Halden.

Igjennom en rapport fra Hanssen et al. (2024) er det gjort en kartlegging av biogasspotensialet i Nedre Glomma-regionen. Nedre Glomma-regionen består av kommunene Sarpsborg, Fredrikstad og Hvaler. Rapporten har allerede kartlagt gårdsbruk med størst energipotensial i nærheten til FREVAR. Figur 6 viser energipotensialet fordelt på ulike husdyrproduksjoner, samt avstand fra FREVAR. Gårdene som er medberegnet finnes innenfor ytterkanten av det gule feltet på kartet.

For husdyrgjødsel fokuseres det på de tre husdyrkategoriene; *storfe*, *svin* og *fjørfe*. Den teoretiske tilgangen på husdyrgjødsel er beregnet med utgangspunkt i dyreantall innenfor 30 km. Dyreantall er hentet fra søknad om produksjon- og avløsertilskudd 2022 (Landbruksdirektoratet, 2022). Gjødselmengde per dyr er beregnet med utgangspunkt i beregnet data fra rapporten «Ressursgrunnlaget for produksjon av biogass i 2030» (Isakova et al., 2019). Beregningsmetode for innsett av slaktedyr er hentet fra «Biogasspotensialet fra landbruket i Østfold» (Eidsbråten, 2018).



Figur 6: Kartet viser gårder med størst energipotensial innenfor en radius på 30 km (Hanssen et al., 2024).

I det følgende er det beregnet potensiell mengde substrat fra de ulike husdyrproduksjonene. Dyrekategoriene er fordelt etter kodene hentet fra søknad om produksjon- og avløsertilskudd. Det antas at husdyrproduksjonen vil holde seg stabil de neste ti årene. Det er derfor ikke gjort egne estimater for 2030.

5.2.1 Storfe

Gårdsbrukene som er kartlagt for storfe, innenfor 30 km har et totalt dyreantall på 8 409 dyr, fordelt på ammeku og melkeku. Grunnlaget for gjødselmengde tar hensyn til at det tilføres noe vann og flis sammen med gjødsla. Antall beitedager er beregnet på grunnlag av krav om beite for husdyr. Dette kravet er henholdsvis 8 uker i året for melkekyr og 16 uker i året for ammekyr. De ukene i sommerhalvåret når dyra er ute på beite vil det gå tapt noe gjødsl. Dette utgjør omtrent 10 tusen tonn blautgjødsel. Total tilgjengelig blautgjødsel for husdyr utgjør i overkant av 80 tusen tonn gjødsl (Tabell 5). Daugstad et al. (2012) anslår at tørrstoffinnholdet i storfegjødsel er 6 %.

Tabell 5: Estimert tilgjengelig husdyrgjødsel fra storfe.

Dyrekategori	Antall dyr (2023)	Gjødsel, tonn per dyr, år	Fratrekks grunnlag for beitedager	Total gjødselmengde (tonn/år)	Total gjødselmengde etter beitefratrekk (tonn/år)
p118 Ammekyr (minst 50% kjøtrase)	1 210	11		13 649	13 649
p119 Øvrig storfe	4 374	6		29 218	29 218
p120 Melkekyr	1 436	19	5 429	35 383	29 954
p121 Ammekyr	1 389	11	4 808	15 668	10 860
Total	8 409		10 236	93 918	83 682

5.2.2 Svin

Gårdene som er kartlagt for svineproduksjon, innenfor 30 km, utgjør et dyreantall på i overkant av 607 tusen dyr. Disse er fordelt på smågris, avlspurker, råner, slaktegris og ungpurker. I Tabell 6 er gjødselmengde ut ifra dyreantall beregnet. For svin er det også hensyntatt en innsettfaktor på 2,6 for slaktegris. Denne faktoren beregnes ved å dividere antall dyr slaktet, med antall dyr som er rapportert i søknad for produksjon- og avløsertilskudd. Total gjødselmengde utgjør i overkant av 139 tusen tonn gjødsel våtvekt.

Tørrstoffprosenten anslås av Daugstad et al. (2012) til å være 6 % for slaktegris og 8 % for avlspurker. For smågris og ungpurker estimeres tørrstoffprosenten til å være 6 % og for råner 8 %. I analysen er det benyttet en gjennomsnittsverdi på 7% for gjødsel fra svin.

Tabell 6: Estimert tilgjengelig husdyrgjødsel fra svin.

Dyrekategori	Antall dyr (2023)	Dyreantall etter justering for innsett	Gjødsel, tonn per dyr, år	Total gjødselmengde (tonn/år)
p154 Smågris	4 537	4 537	0,08	454
p155 Avlspurker	615	615	4,68	3 186
p156 Råner	10	10	4,68	52
p157 Slaktegris	601 177	-	0,51	131 796
p158 Ungpurker	713	713	4,68	3 693
Total	607 052	5 875		139 181

5.2.3 Fjørfe

For produksjon av fjørfe, innenfor 30 km, utgjør dette et dyreantall på i overkant av 670 tusen dyr. Disse er fordelt på ender, kalkuner, livkyllinger og slaktekyllinger. I

Tabell 7 er gjødselmengde ut ifra dyreantall beregnet. For ender, og kalkuner er det hensyntatt innsettfaktor på 2,5 og for slaktekylling er det hensyntatt innsettfaktor på 5,1. Denne faktoren er beregnet ved å dividere antall dyr slaktet, med antall dyr som er rapportert i søknad for produksjon- og avløsertilskudd. Total gjødselmengde utgjør 1 957 tonn gjødsel.

Tørrstoffprosenten anslås av Daugstad et al. (2012) til å være 50 % for alt fjørfe. Dette benyttes i utregningen.

Tabell 7: Estimert tilgjengelig gjødsel fra fjørfe.

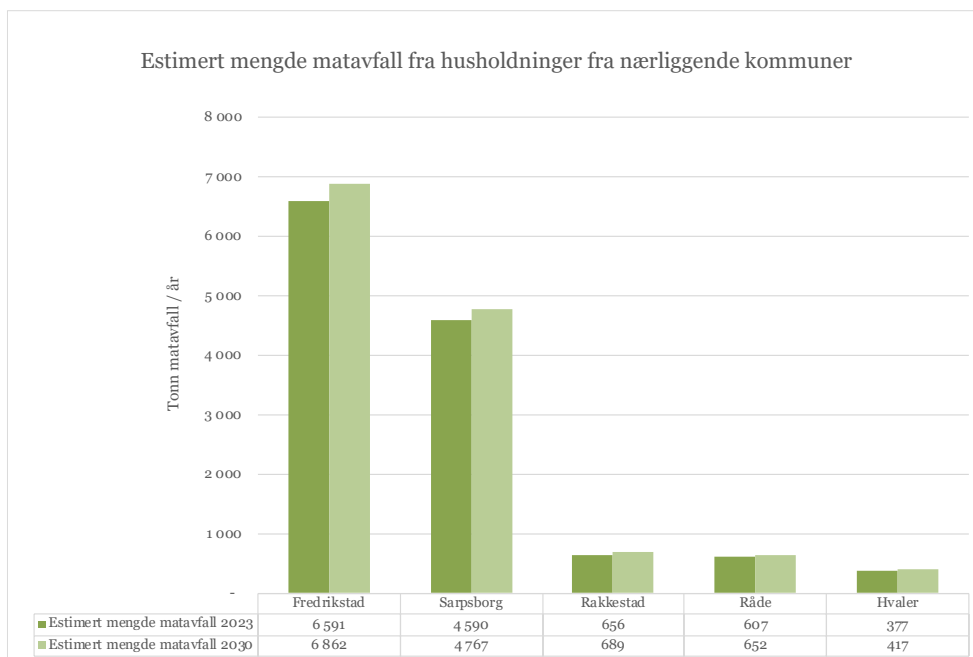
Dyrekategori	Antall dyr (2023)	Dyreantall etter justering for insett	Gjødsel, tonn per dyr, år	Total gjødselmengde (tonn/år)
p174 Ender, kalkuner	52 224	20 890	0,02	439
p175 Livkyllinger	71 770	71 770	0,02	1 507
p176 Slaktekyllinger	548 033	107 457	-	11
Total	672 027	200 117		1 957

5.3 MATAVFALL FRA HUSHOLDNINGER

Relevant avstand for innsamling av matavfall fra husholdningene er i utgangspunktet innenfor Fredrikstad kommune. Det er dette som utgjør selvkostområdet for innsamling og behandling av matavfall for FREVAR uten konkurransesetting (såkalt tildelt enerett). I dag mottar de i tillegg matavfall fra Rakkestad kommune. Det er forventet at FREVAR skal fortsette å motta matavfall fra Rakkestad, så lenge det er kapasitet i anlegget. Det er i tillegg interessant å se på potensialet som ligger i husholdningsavfall fra de nærliggende kommunene. I Figur 7 vises en oversikt over estimert total mengde matavfall fra nærliggende kommuner i Østfold, inkludert Fredrikstad. Der er lagt til grunn at hver person genererer omtrent 78 kg matavfall (Hanssen et al., 2024). Befolkningstallene for 2023 er hentet fra statistikkbanken etter kriteriene; statistikkvariabel «befolkning 1.januar», år «2023» og region «Fredrikstad, Sarpsborg, Rakkestad, Råde og Hvaler» (Statistisk sentralbyrå, 2024a). Befolkningstallene med prognoser for 2030 er hentet fra statistikkbanken etter kriteriene; statistikkvariabel «hovedalternativet», år «2030» og region «Fredrikstad, Sarpsborg, Rakkestad, Råde og Hvaler» (Statistisk sentralbyrå, 2024b).

Fredrikstad kommune begynte med innsamling av matavfall etter at dette ble et krav fra myndighetene fra 1. januar 2023. Innsamlingen skal stegvis trappes opp. Ifølge Fredrikstad kommune (2024) samles det i dag inn matavfall på østsiden av byen, med unntak av Gamlebyen. Videre skal innsamling fra Onsøy, Kråkerøy og Rolvsøy innføres i løpet av 2024. Innsamlingen i Gamlebyen, Glemmen og sentrumsområdet skal startes opp i 2025.

Figur 7 viser at det ikke er store endringer i estimert mengde matavfall fra 2023-2030. De to kommunene med størst potensial er ikke overraskende de største kommunene, Fredrikstad og Sarpsborg. For Rakkestad, Råde og Hvaler forventes det under ett tonn matavfall årlig fra hver av kommunene.



Figur 7: Estimert mengde matavfall fra husholdningene i Fredrikstad, Sarpsborg, Rakkestad, Råde og Hvaler.

Fredrikstad kommune har selv estimert 6 000 tonn matavfall årlig. Den reelle innsamlingen i dag er drøye 200 tonn. Dette er forventet å stige med opptrappingen av innsamlingsordningen. Tørrstoffinnholdet i matavfall er satt til å være 33 %. Verdien er hentet fra Modahl et al. (2016).

5.4 AVLØPSVANN

Ifølge en tilbakemelding på egenkontrollrapporteringen gitt av Statsforvalteren i Oslo og Viken (2022), er Fredrikstad kommune, sammen med Hvaler, tilknyttet renseanlegget på Øra. Totalt utgjorde dette 86 761 tilknyttede brukere i 2021. I 2021 mottok renseanlegget 3 646 tonn TS avløpsvann (Tabell 8). Ifølge «Historisk tabell over næringsinnhold» fra NIBIO (2024) er gjennomsnittsverdien for TS i avløpsvann 25 %. Legges dette til grunn i beregningen betyr det at FREVAR renses omtrent 14 tusen tonn avløpsvann i 2021.

Tabell 8: Avløpsmengder for 2023 og forventet avløpsmengder for 2030.

Avløpsmengder	2023	2030
Total mengde avløpsvann, tonn	14 584	15 235
Tonn per innbygger	0,16	0,16
Forventet mengde avløpsvann, TS	3 646	3 809

Total mengde avløpsvann er beregnet å være 3 646 tonn TS for 2023 og 3 809 tonn TS for 2030.

Det er forventet en befolkningsvekst på 4 % i Fredrikstad og 11 % i Hvaler (Tabell 9). Det estimeres at en person genererer 0,16 tonn avløpsvann gjennom året. Dette er beregnet på bakgrunn av rapporten fra Statsforvalter. Dagens befolkningstall og forventet befolkningsvekst er hentet fra Statistisk sentralbyrå (Statistisk sentralbyrå, 2024a; Statistisk sentralbyrå, 2024b).

Tabell 9: Innbyggertall for 2023, og forventet innbyggertall for 2030.

Innbyggere	2023	2030
Forventet innbyggertall, Fredrikstad	84 501	87 970
Forventet innbyggertall, Hvaler	4 827	5 347
Total, innbyggere	89 328	93 317

5.5 N-P-K-VERDIER I SUBSTRATENE

For å kunne ta gode beslutninger ved gjødsling er det viktig å ha god kjennskap til næringsstoffene i husdyrgjødsel. Dette er like viktig uansett om gjødsel har gått gjennom råtneprosessen i biogassanlegget eller ikke. Dersom de viktigste næringsstoffene kan dokumenteres vil bonden ha bedre kontroll på hvor mye mineralgjødsel som må tilsettes for å få riktig mengde næring til jorda.

Næringsverdiene for husdyrgjødsel er hentet fra rapporten «Næringsinnhold i husdyrgjødsel» (Daugstad et al., 2012). Rapporten peker på at det er stor variasjon i fosforinnholdet mellom fylkene. Dette kan komme av at fôret i de ulike klimatiske områdene kan ha ulikt næringsinnhold. I rapporten er det undersøkt næringsverdier i husdyrgjødsel fra storfe, sau, svin og fjørfe. I Tabell 10 er N-P-K-verdiene for denne oppgaven sammenstilt. Det er valgt å benytte ammonium-N verdien fra husdyrgjødsel fordi dette er det mest plantetilgjengelige nitrogenet.

Næringsverdiene for matavfall er hentet fra studien «Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching» (Sogn et al., 2018). I rapporten analyseres næringsinnholdet i ulike substrater som benyttes i biogassproduksjon, blant annet matavfall. Verdiene for N, P og K i matavfall vises i Tabell 10. For matavfall er total verdien for nitrogen benyttet, da ammonium-N ikke var tilgjengelig.

For avløpsvann er verdiene hentet fra en oversiktstabell over historiske næringsverdier, utgitt av NIBIO (2024). Verdiene for N, P og K finnes i Tabell 10. Også her benyttes ammonium-N verdien for avløpsvann.

Tabell 10: Næringsverdier for ammonium-Nitrogen, fosfor og kalium fordelt på husdyrgjødsel, matavfall og avløpsvann.

Våtvekt

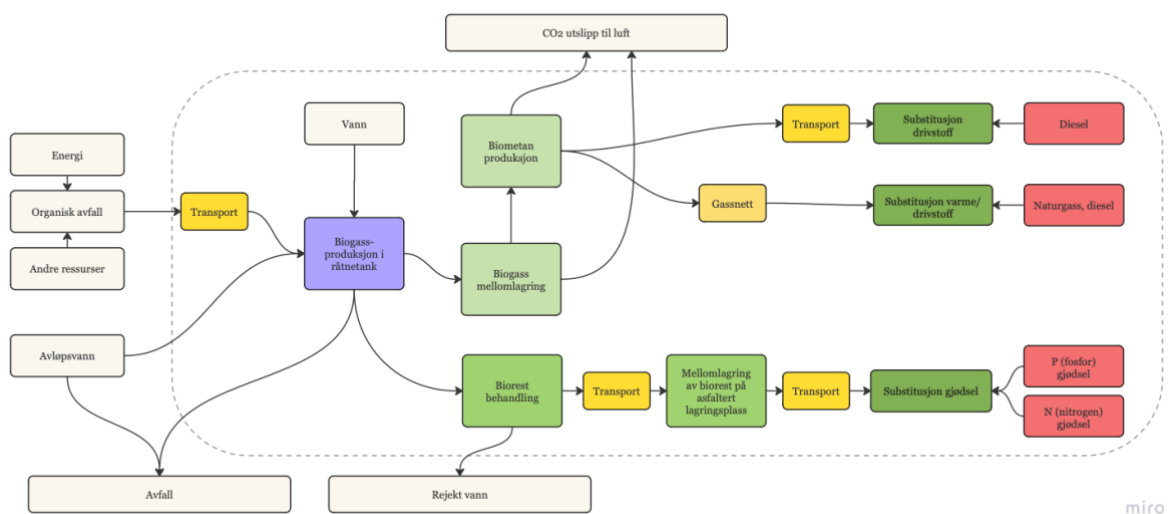
Substrat	Amm.-N (kg/tonn)	Fosfor (kg/tonn)	Kalium (kg/tonn)
Storfe	2,10	0,53	4,20
Svin	4,20	1,50	2,50
Fjørfe	8,30	9,00	12,00
Matavfall	5,7*	0,91	4,63
Avløpsvann	2,00	3,50	0,50

*total N

6 SCENARIOER FOR ANALYSER

6.1 SCENARIO S1

Scenario S1 representerer dagens biogassproduksjon hos FREVAR. I S1 inkluderes transport av organisk materiale til FREVAR, biogassproduksjon, inkludert oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet. Biogassen som blir oppgradert blir fraktet på flak fra FREVAR til fyllestasjoner eller annen bruk av kunde. Videre blir også biogass sendt ut på et lokalt gassnett fra FREVAR. Dette gassnettet driftes av Gasum. Biogassen fra gassrøret går til lokal oppvarming eller til drivstoff ut ifra markedsbehov. Figur 8 viser systemavgrænsningen for S1.



Figur 8: Systemgrense for S1.

Matavfallet fra kommunen som ankommer FREVAR må forbehandles før samrâtning. I forbehandlingen fjernes det ikke-organiske materialet fra matavfallet. Transportavstand for innsamling av matavfall fra Fredrikstad kommune er satt til 28 km. Transportavstanden for mottatt matavfall fra Rakkestad kommune er satt til 57 km. Det er tatt utgangspunkt i at matavfall har en TS-verdi på 33 %.

Ferdig forbehandlet substrat går ikke gjennom forbehandlingsprosessen. Transportavstanden for dette substratet er satt til 110 km, og har estimert TS-innhold på 33 %. Slakteriavfall fra Nortura transporteres omtrent 40 km. TS-innholdet på slakteriavfallet er satt til det samme som for matavfall, 33 %, men vil trolig inneholde mer fett enn matavfallet. Lokale restprodukter blir fraktet i gjennomsnitt 3 km. TS-innhold er satt til 33 %.

Biorest fra biogassproduksjonen avvannes og transporteres lokalt hos FREVAR til mellomlagring på egnet asfaltert plass. Bruk av biorest er sesongavhengig og blir hentet av

distributør i sesong, henholdsvis vår og høst, og kjørt ut til gårdsbruk. Transport av biorest til kunde er ikke inkludert i systemgrensen.

Avløpsvann går ikke gjennom samme forbehandlingsprosess som matavfallet, men blir renset for ikke-organisk materiale før det går gjennom en pasteuriseringsprosess ved at det varmes opp til 70°C i 30 minutter, før det føres inn til rånetank. TS-verdien i avløpslam antatt å være 25 %.

Strøm- og vannforbruk er beregnet ut fra produksjonsdata gitt av FREVAR.

TS-verdien for sikterest er beregnet etter prøvetaking av sikterest fra forbehandlingsanlegget. I forkant ble det tatt ut en prøvedigel for sand-rejekt, og en prøvedigel for plast-rejekt, se Figur 9. Disse prøvene ble veid hver for seg, deretter tørket i tørkeskap ved 105°C i 24 t. Etter endt tørking viste prøvene for sand-rejektet TS-% på 23,24, og for plast-rejektet TS-% på 26,57. Deretter ble tonn TS for sand og plast beregnet ut ifra vektmålinger gjort gjennom 2023. Totalt viste dette en sikterest på 143 tonn TS. TS inn i forbehandlingsanlegget var på 1 237 tonn. Utregningen for å finne korrekt TS-% i sikterest er gjort på følgende måte:

$$\frac{\text{Tonn TS sikterest}}{\text{Tonn TS inn i forbehandlingsanlegg}} * 100$$

Gjennomsnittlig tonn TS sikterest per tonn TS inn i forbehandling blir 11,6 %.



Figur 9: Prøve-digel fra sikterest. Til venstre er sand-rejekt fra anlegget, til høyre er plast-rejekt fra anlegget. Prøvene ble tatt 23.04.24. Foto: Emilio Alvarenga.

Parameterne er sammensatt av produksjonsdata fra FREVAR, estimater og fra litteratur. Utover de parameterendringene som er beskrevet over, er basisverdier som allerede ligger i

modellen benyttet. Basisverdier med tilhørende enheter og kilder er presentert av Modahl et al. (2016).

I S1 er substratene fordelt på følgende måte:

- Forbehandlet substrat, 5 481 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Fredrikstad, 94 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Rakkestad, 5 tonn TS
- Matavfall m/emballasje til forbehandling, 2 394 tonn TS
- Restprodukter, 115 tonn TS
- Slakteriavfall, 1 262 tonn TS
- Slam fra rensed avløpsvann, 3 646 tonn TS

Total mengde substrat i tonn TS er 12 997.

6.2 SCENARIO S2

I dette scenarioet analyseres biogassproduksjonen i 2030, da er det nye avløpsrenseanlegget i full drift. I dette scenarioet er samrånningen med organisk materiale og avløpslam avsluttet. Nå produseres det biogass fra to adskilte råtnetanker. Dette medfører to adskilte former for biorest; en biorest basert på avløpsvann, og en biorest basert på organisk materiale. Det nye avløpsrenseanlegget vil frigjøre kapasitet i det gamle anlegget. Kapasitet i det opprinnelige anlegget er 30 tusen tonn våtorganisk materiale. Dette utgjør omtrent 10,5 tusen tonn TS dersom man regner med et gjennomsnittlig TS-innhold på 31 %. Det nye avløpsrenseanlegget har en kapasitet på 20 tusen tonn. Dette tilsvarer omtrent 5 000 tonn TS, dersom man tar utgangspunkt i at avløpsvann har TS-verdi på 25 %. Totalt utgjør dette en kapasitet på omtrent 15 500 tonn TS.

For 2030 estimeres det at 3 809 tonn TS kommer fra rensed avløpsvann og 2 264 tonn TS kommer fra matavfall fra husholdningene i Fredrikstad. Matavfall fra Rakkestad bidrar med 227 tonn TS og matavfall m/emballasje til forbehandling, bidrar med 2 395 tonn TS, og slakteriavfall bidrar med 1 262 tonn TS. Forbehandlet substrat bidrar med 5 428 tonn TS. Det tas også utgangspunkt i at FREVAR fremdeles vil motta restprodukter fra næringsbedrifter på Øra.

S2 inkluderer transport av organisk materiale til FREVAR, biogassproduksjon, inkludert oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet. Biogassen som blir oppgradert blir fraktet på flak fra FREVAR til fyllestasjoner eller annen bruk av kunde. Videre blir også biogass sendt ut på

et lokalt gassnett fra FREVAR. Biogassen fra gassrøret går til lokal oppvarming eller til drivstoff ut ifra markedsbehov. Figur 10 viser systemavgrensningen for S2.

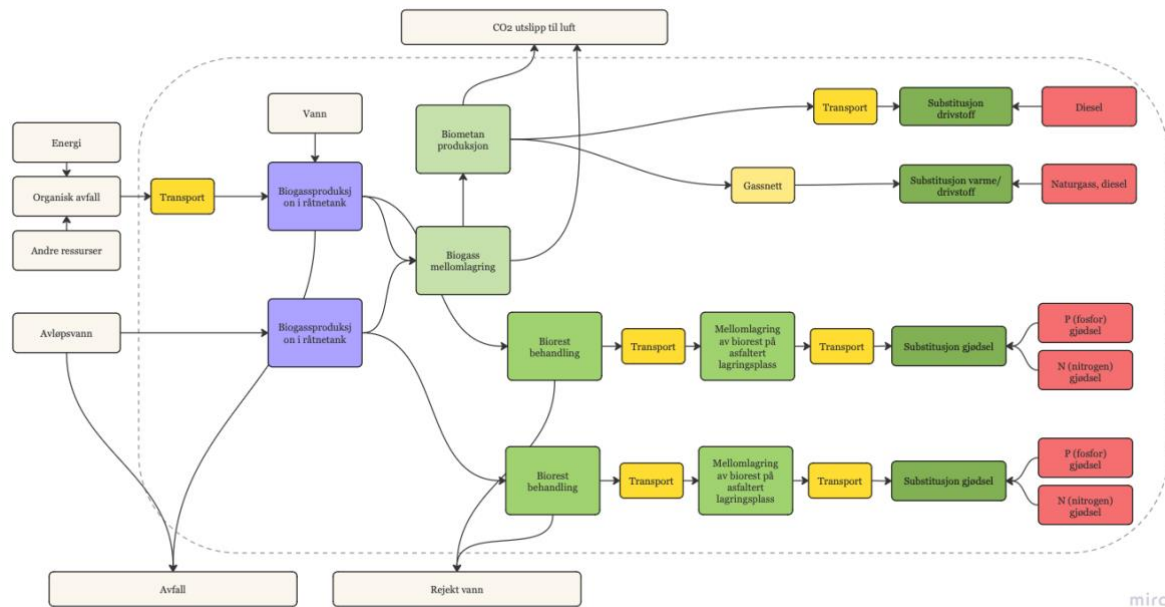
Matavfallet fra kommunen som ankommer FREVAR må forbehandles før samråtning. I forbehandlingen fjernes det ikke-organiske materialet fra matavfallet. Transportavstand for innsamling av matavfall fra Fredrikstad kommune er satt til 28 km. Transportavstanden for mottatt matavfall fra Rakkestad kommune er satt til 57 km. Det er tatt utgangspunkt i at matavfall har en TS-verdi på 33 %.

Ferdig forbehandlet substrat går ikke gjennom forbehandlingsprosessen. Transportavstanden for dette substratet er satt til 110 km, og har estimert TS-innhold på 33 %. Slakteriavfall fra Nortura transporteres omtrent 40 km. TS-innholdet på slakteriavfallet er satt til det samme som for matavfall, 33 %, men vil trolig inneholde mer fett enn matavfallet. Lokale restprodukter blir fraktet omtrent 3 km. TS-innhold er satt til 33 %.

Biorest fra biogassproduksjonen avvannes og transporteres lokalt hos FREVAR til mellomlagring på egnet asfaltert plass. Bruk av biorest er sesongavhengig og blir hentet av distributør i sesong, henholdsvis vår og høst, og kjørt til ut til gårdsbruk. Transport av biorest til kunde er ikke inkludert i systemgrensen.

Avløpsvannet blir renset i det nye avløpsanlegget og går ikke gjennom samme forbehandlingsprosess som matavfallet, men blir renset for ikke-organisk materiale før det går gjennom en pasteuriseringsprosess ved at det varmes opp til 70°C i 30 minutter, før det føres inn til råtnetank. TS-verdien i avløpsslam antatt å være 25 %.

Biorest fra biogassproduksjonen avvannes og transporteres lokalt hos FREVAR til mellomlagring på egnet asfaltert plass. Bruk av biorest er sesongavhengig og blir hentet av distributør i sesong, henholdsvis vår og høst, og kjørt til bønder. Transport av biorest til kunde er ikke inkludert i systemgrensen.



Figur 10: Systemgrense for S2.

Strøm- og vannforbruk er beregnet fra produksjonsdata gitt av FREVAR.

TS-verdien for sikterest er beregnet etter prøvetaking av sikterest (se kapittel 6.1) fra forbehandlingsanlegget. Gjennomsnittlig tonn TS sikterest per Tonn TS inn i forbehandling ble beregnet til å være 11,6 %.

I S2 er substratene fordelt på følgende måte:

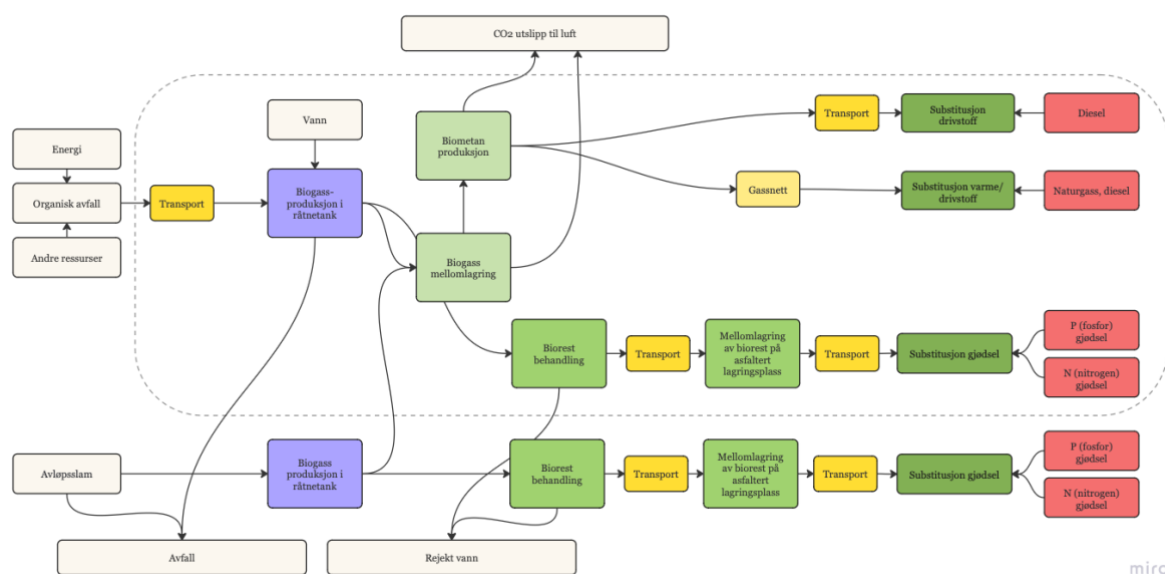
- Restprodukter, 115 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Fredrikstad, 2 264 tonn TS
- Matavfall m/emballasje til forbehandling, 2 395 tonn TS
- Slakteriavfall, 1 262 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Rakkestad, 227 tonn TS
- Slam fra rensed avløpsvann, 3 809 tonn TS
- Forbehandlet substrat, 5 428 tonn TS

Total mengde substrat i tonn TS er 15 500.

Parameterne er sammensatt av produksjonsdata fra FREVAR, estimater og fra litteratur. Utover de parameterendringene som er beskrevet over, er basisverdier som allerede ligger i modellen benyttet.

6.2.1 Scenario S2.1

I dette scenarioet analyseres biogassproduksjonen ved det eksisterende anlegget, etter frigjort kapasitet fra det nye avløpsrensaneanlegget. S2.1 inkluderer transport av organisk materiale til FREVAR, biogassproduksjon, inkludert oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet. Biogassen som blir oppgradert blir fraktet på flak fra FREVAR til fyllestasjoner eller annen bruk av kunde. Videre blir også biogass sendt ut på et lokalt gassnett fra FREVAR. Biogassen fra gassrøret går til lokal oppvarming eller til drivstoff ut ifra markedsbehov. Systemgrense er illustrert i Figur 11.



Figur 11: Systemgrense for delscenario S2.1.

Delscenarioet fokuserer på utnyttelse av husdyrgjødsel i biogassproduksjonen.

Kapasiteten i anlegget er 30 tusen tonn våtorganisk materiale, omtrent 10,5 tusen tonn TS. Kartlagt mulig mengde gjødsel fra storfe er drøyt 94 tusen tonn, med en TS-verdi på 6 % utgjør dette 5 236 tonn TS. Kartlagt mulig mengde gjødsel fra svin er drøyt 140 tusen tonn. TS-verdi for svin varierer mellom 6-7 %. Beregnet med gjennomsnittlig TS-verdi på 7 % utgjør dette 14 tusen tonn TS. Kartlagt mulig mengde gjødsel fra fjørfe er drøyt 2 000 tonn, med en TS-verdi på 50 % utgjør dette 978 tonn TS.

Det antas 30 km gjennomsnittlig transportetappe for levering av husdyrgjødsel til FREVAR. Transport for distribuering av biorest til forbruker er ikke inkludert i analysen.

Mengde matavfall fra Fredrikstad kommune antas å øke noe. I analysen legges det til grunn at FREVAR vil motta matavfall fra Fredrikstad, 2 264 tonn TS. Det vil si at FREVAR har ledig kapasitet på 8 200 tonn til annet substrat. Denne kapasiteten fylles med husdyrgjødsel.

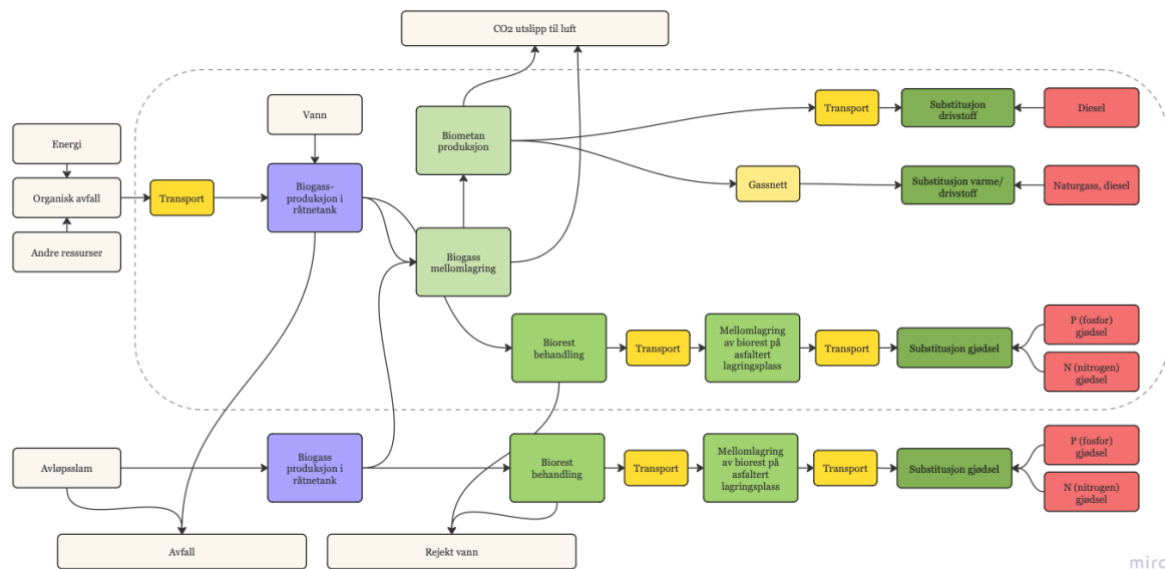
S2.1 er substratene fordelt på følgende måte:

- Matavfall fra husholdningene, Fredrikstad, 2 264 tonn TS
- Husdyrgjødsel fra storfe, 5 236 tonn TS
- Husdyrgjødsel fra svin, 3 000 tonn TS

Total mengde substrat i tonn TS er 10 500.

6.2.2 Scenario S2.2

Delscenarioet fokuserer på utnyttelse av husdyrgjødsel i biogassproduksjonen. Systemavgrensningen for S2.2 er illustrert i Figur 12.



Figur 12: Systemgrense for delscenario S2.2.

Kapasiteten i anlegget er 30 tusen tonn våtorganisk materiale, omtrent 10,5 tusen tonn TS. Kartlagt mulig mengde gjødsel fra storfe er drøyt 94 tusen tonn, med en TS-verdi på 6 % utgjør dette 5 236 tonn TS. Kartlagt mulig mengde gjødsel fra svin er drøyt 140 tusen tonn. TS-verdi for svin varierer mellom 6-7 %. Beregnet med gjennomsnittlig TS-verdi på 7 % utgjør dette 14 tusen tonn TS. Kartlagt mulig mengde gjødsel fra fjørfe er drøyt 2 000 tonn, med en TS-verdi på 50 % utgjør dette 978 tonn TS.

Det antas 30 km gjennomsnittlig transportetappe for levering av husdyrgjødsel til FREVAR. Transport for distribuering av biorest til forbruker er ikke inkludert i analysen.

Mengde matavfall fra Fredrikstad kommune antas å øke noe. I analysen legges det til grunn at FREVAR vil motta matavfall fra Fredrikstad, 2 264 tonn TS. Det vil si at FREVAR har ledig kapasitet på 8 200 tonn til annet substrat. Denne kapasiteten fylles med husdyrgjødsel.

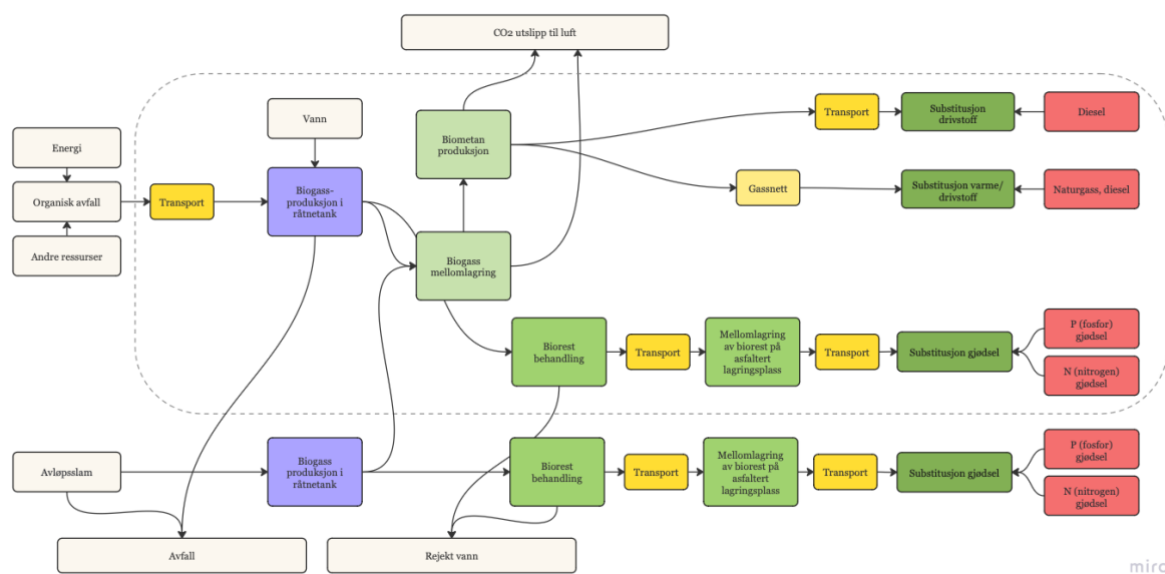
S2.2 er substratene fordelt på følgende måte:

- Matavfall fra husholdningene, Fredrikstad, 2 264 tonn TS
- Husdyrgjødsel fra storfe, 1 258 tonn TS
- Husdyrgjødsel fra svin, 6 000 tonn TS
- Husdyrgjødsel fra fjørfe, 978 tonn TS

Total mengde substrat i tonn TS er 10 500.

6.2.3 Scenario S2.3

Delscenarioet tar utgangspunkt i kun å benytte matavfall fra husholdningene. Scenariot bygger på estimerte matavfalls-mengder for 2030. Systemavgrensningen for S2.2 er illustrert i Figur 13.



Figur 13: Systemgrense for delscenario S2.3.

Kapasiteten i anlegget er 30 tusen tonn våtorganisk materiale, omtrent 10,5 tusen tonn TS. Mengde matavfall fra Fredrikstad kommune antas å øke noe. I analysen legges det til grunn at FREVAR vil motta matavfall fra alle de kartlagte kommunene rundt; Sarpsborg, Rakkestad, Råde og Hvaler. I tillegg antas det at FREVAR vil motta emballert matavfall

I S2.3 er substratene fordelt på følgende måte:

- Forbehandlet substrat, 4 821 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Fredrikstad, 2 264 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Sarpsborg, 1 573 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Rakkestad, 227 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Råde, 215 tonn TS
- Matavfall fra husholdningene, Hvaler, 138 tonn TS
- Slakteriavfall, 1 262 tonn TS

Total mengde substrat i tonn TS er 10 500.

7 ANALYSER OG RESULTATER

7.1 FORSKNINGSSPØRSMÅL 1

«Hvilke potensielle kilder til substrat er tilgjengelige innenfor relevant avstand fra FREVAR, og hvordan fordeles tilgangen til disse substratene mellom ulike sektorer?»

7.1.1 Husdyrgjødsel

Husdyrgjødselmengdene ble kartlagt ut ifra en radius på 30 km fra FREVAR. Dyrekategorien beskriver hvilke typer dyr gjødselen stammer fra.

Storfe

Totalt sett er det beregnet en produksjon på 93 918 tonn tilgjengelig husdyrgjødsel fra storfe innenfor det angitte området. Ved å benytte en tørrstoffandel på 6 % utgjør dette 5 021 tonn TS tilgjengelig husdyrgjødsel fra storfe. Det er melkekyr og øvrig storfe som til sammen bidrar til mest husdyrgjødsel. Til sammen produserer de 3 550 tonn TS per år, noe som utgjør 71 % av den totale mengden. Ammekyr (p118 og p121) bidrar med til sammen 1 471 tonn TS gjødsel per år, noe som utgjør 29 % av den totale mengden. Se Tabell 11.

Tabell 11: Gjødselmengde for storfe, fordelt på dyrekategori.

Dyrekategori	Total gjødselmengde (tonn/år)	Andel TS	Tonn TS
p118 Ammekyr (minst 50% kjøtttrase)	13 649	0,06	819
p119 Øvrig storfe	29 218	0,06	1 753
p120 Melkekyr	35 383	0,06	1 797
p121 Ammekyr	15 668	0,06	652
Total	93 918		5 021

Svin

Totalt sett er det beregnet en produksjon på 139 181 tonn tilgjengelig husdyrgjødsel fra svin innenfor det angitte området. Ved å benytte en gjennomsnittlig tørrstoffandel på 7 % utgjør dette 14 381 tonn TS tilgjengelig husdyrgjødsel fra svin. Det er slaktegris som bidrar mest til husdyrgjødsel fra svin med 13 873 tonn TS tilgjengelig gjødsel per år. Dette utgjør hele 97 % av total gjødsel fra svin. Dernest er det avlspurker som bidrar nest mest med 255 tonn TS, dette utgjør omtrent 2 %. Smågris og råner bidrar minst, med til sammen 31 tonn TS. Se Tabell 12.

Tabell 12: Gjødsmengde for svin, fordelt på dyrekategori.

Dyrekategori	Total gjødsmengde (tonn/år)	Andel TS	Tonn TS
p154 Smågris	454	0,06	27
p155 Avlspurker	3 186	0,08	255
p156 Råner	52	0,08	4
p157 Slaktegris	131 796	0,06	13 873
p158 Ungpurker	3 693	0,06	222
Total	139 181		14 381

Fjørfe

Fjørfe er den dyrekategorien som utgjør flest dyr, men minst gjødsmel. Totalt sett er det beregnet en produksjon på 1 957 tonn tilgjengelig gjødsmel fra fjørfe i det angitte området. Ved å benytte en gjennomsnittlig tørrstoffandel på 50 % utgjør dette likevel 978 tonn TS tilgjengelig gjødsmel fra fjørfe. Det er livkyllinger som bidrar mest, med 754 tonn TS tilgjengelig gjødsmel per år. Dette utgjør 77 % av total gjødsmel fra fjørfe. Dernest er det ender og kalkuner som bidrar nest mest med 219 tonn TS, dette utgjør omtrent 22 %. Slaktekylling bidrar minst, med 5 tonn TS. Se Tabell 13.

Tabell 13: Gjødsmengde for fjørfe, fordelt på dyrekategori.

Dyrekategori	Total gjødsmengde (tonn/år)	Andel TS	Tonn TS
p174 Ender, kalkuner	439	0,50	219
p175 Livkyllinger	1 507	0,50	754
p176 Slaktekyllinger	11	0,50	5
Total	1 957		978

Total husdyrgjødsmel

Total potensielt tilgjengelig husdyrgjødsmel utgjør 224 819 tonn våtgjødsmel. Dette utgjør i overkant av 20 tusen tonn TS årlig, se Tabell 14.

Tabell 14: Total mengde gjødsmel fra husdyrgjødsmel.

Dyrekategori	Tonn VS / år	Andel TS	Tonn TS / år
Storfe	83 682	0,06	5 021
Svin	139 181	0,07	14 381
Fjørfe	1 957	0,50	978
Total	224 819		20 380

7.1.2 Matavfall fra husholdningene

Mengden matavfall fra husholdningene er ikke forventet å øke nevneverdig frem mot 2030. Estimert mengde er antatt nesten halvparten av hva Fredrikstad kommune selv har estimert. Den teoretiske mengden matavfall som er beregnet for kommunene i inneværende år er basert på gjennomsnittlig matavfallsmengde per innbygger og befolkningstall. Se Tabell 15.

Tabell 15: Mengde matavfall fra husholdningene i 2023 og 2030, fordelt på kommune.

Kommune	Teoretisk mengde matavfall 2023 (tonn)	Estimert mengde matavfall 2030 (tonn)	Teoretisk mengde TS (tonn)	Estimert mengde TS 2030 (tonn)
Fredrikstad	6 591	6 862	2 175	2 264
Sarpsborg	4 590	4 767	1 515	1 573
Rakkestad	656	689	217	227
Råde	607	652	200	215
Hvaler	377	417	124	138
Total	12 821	13 386	4 231	4 417

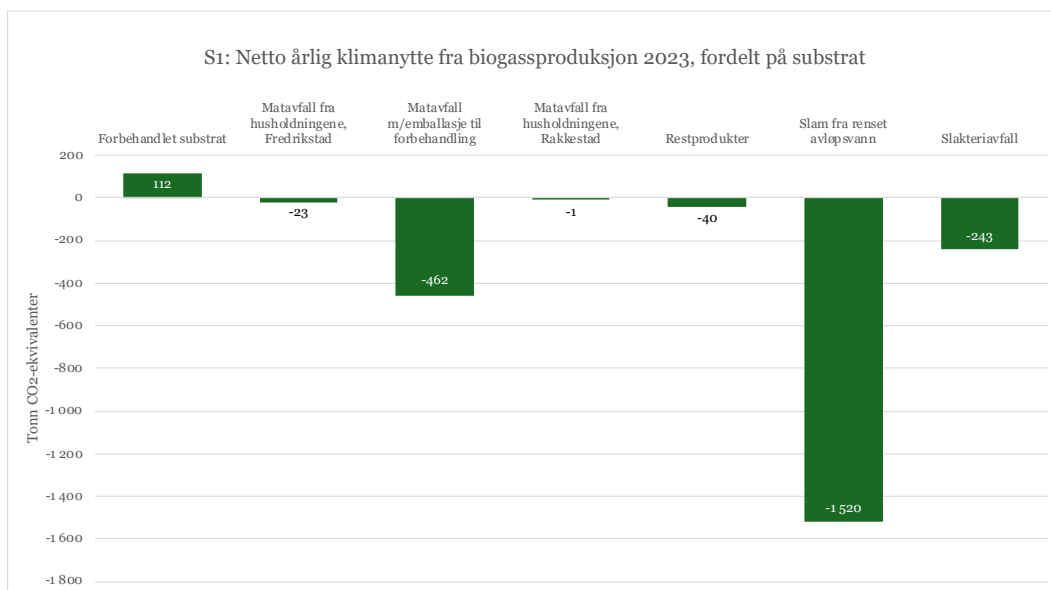
Teoretisk matavfallsmengde fra de fem kommunene er beregnet å være 12 821 tonn. Den estimerte mengden matavfall som forventes å genereres i kommunen i 2030 er basert på gjennomsnittlig matavfallsmengde per innbygger og befolkningstall for 2030. Det tas utgangspunkt i at tørrstoffinnholdet i matavfall er 33 %. Estimert total mengde TS matavfall for 2030 er derfor estimert til å være 4 417 tonn.

7.2 FORSKNINGSSPØRSMÅL 2

«Kan utvidelse av tilgjengelig substrat påvirke FREVAR sin produksjon mot 2030, og hvordan påvirker dette klimagassutslippene sammenlignet med dagens produksjon?»

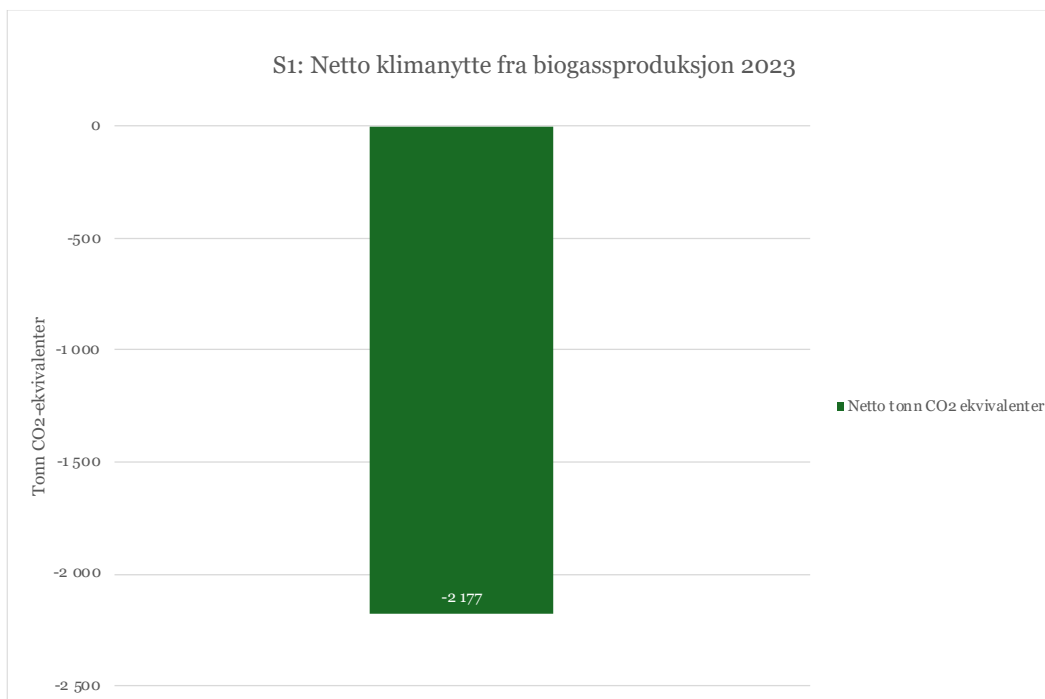
7.2.1 Resultater fra scenario S1

Figur 16 viser netto klimanytte fra biogassproduksjonen ved FREVAR i 2023, fordelt på dagens substrater. Produksjon av biogass fra avløpsslam som gir høyest beregnet klimagevinst med årlig netto klimanytte på 1 520 tonn CO₂-ekv. Dernest er det emballert matavfall og slakteriavfall som bidrar mest til redusert klimaavtrykk med årlig netto klimanytte på henholdsvis 462 tonn CO₂-ekv. og 243 tonn CO₂-ekv. Matavfall fra Fredrikstad kommune bidrar til årlig netto klimanytte på 23 tonn CO₂-ekv og matavfall fra Rakkestad bidrar kun med en reduksjon på 1 tonn CO₂-ekv. årlig. Restprodukter bidrar med årlig netto klimanytte på henholdsvis 40 tonn CO₂-ekv. Behandling av forbehandlet substrat bidrar derimot til økte klimagassutslipp, med 112 tonn CO₂-ekv. årlig.



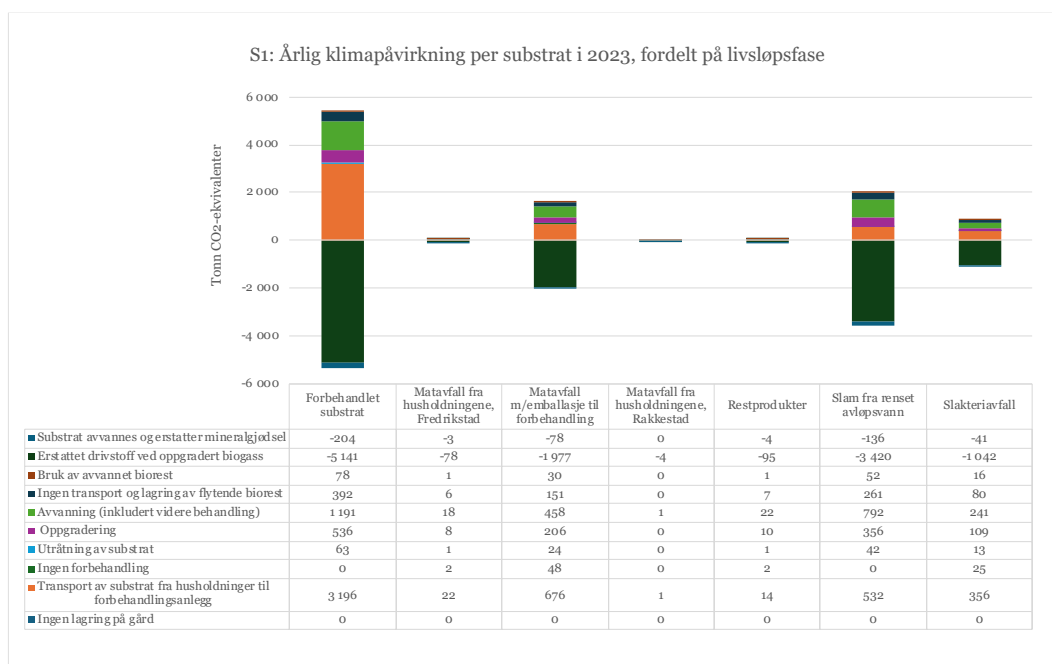
Figur 14: Netto årlig klimanytte fra biogassproduksjon 2023, fordelt på substrat for S1.

Figur 15 viser netto klimanytte for dagens produksjon (S1). Den totale netto klimanytten er i dag 2 177 tonn CO₂-ekv. årlig.



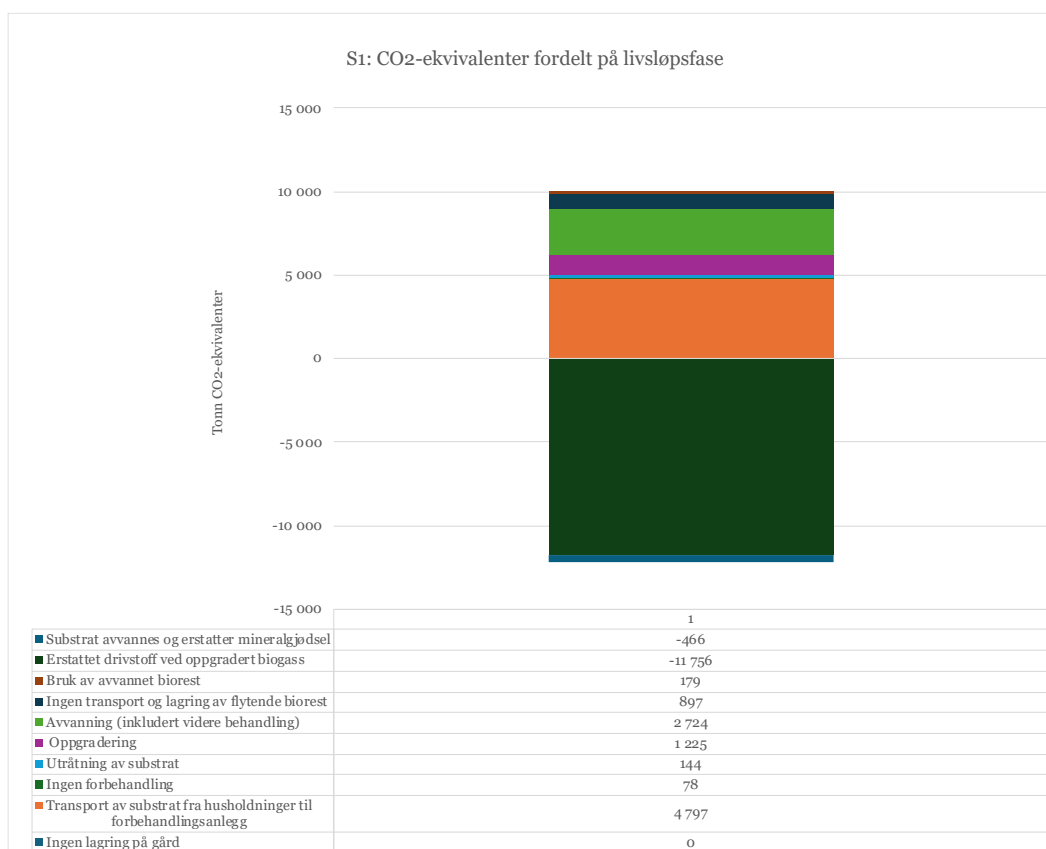
Figur 15: Netto klimanytte for dagens produksjon (S1).

Fordelt på livsløpsfaser er det tydelig at det er matavfall fra kommunene og restproduktene som bidrar minst. Ut ifra Figur 16 er det tydelig at transportetappen av det forbehandlede substratet bidrar til at klimagevinsten uteblir. For emballert matavfall og slam fra rensset avløpsvann er det livsløpsfase erstattet drivstoff ved oppgradert biogass som bidrar til størst klimagevinst med henholdsvis 1 977 tonn CO₂-ekv. årlig og 3 420 tonn CO₂-ekv. årlig.



Figur 16: Årlig klimapåvirkning per substrat i 2023, fordelt på livsløpsfase (S1).

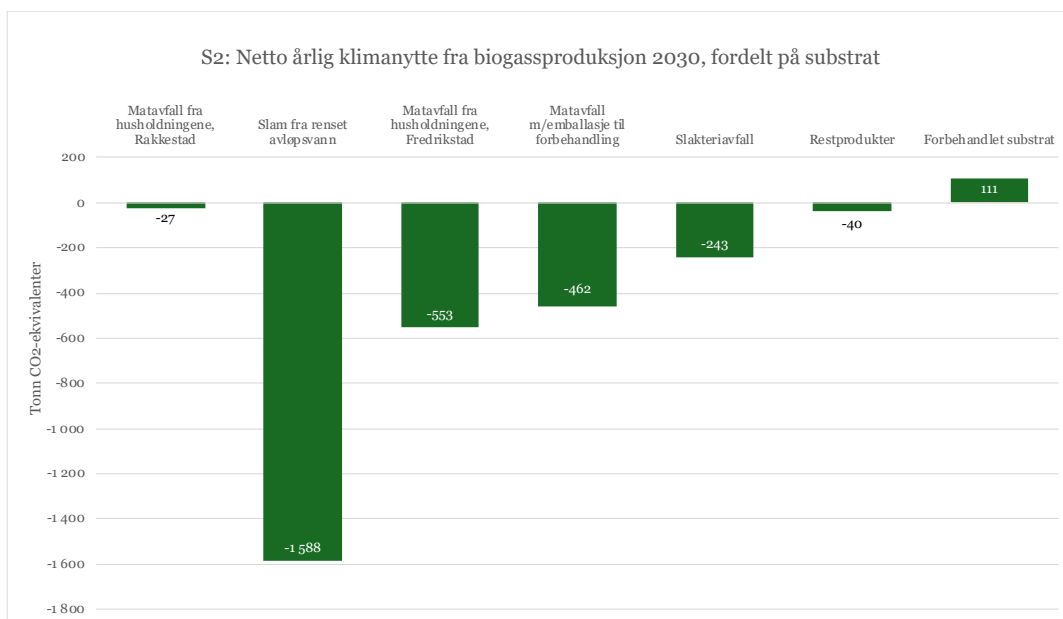
Figur 17 viser totalt tonn CO₂-ekv. fordelt på livsløpsfasene. Totalt sett er det transport, og avvanningsfasen som bidrar til høyest klimapåvirkning for S1. Erstattet drivstoff er den livsløpsfasen som bidrar til mest klimanytte for S1.



Figur 17: Den totale klimapåvirkningen for S1, fordelt på livsløpsfasene.

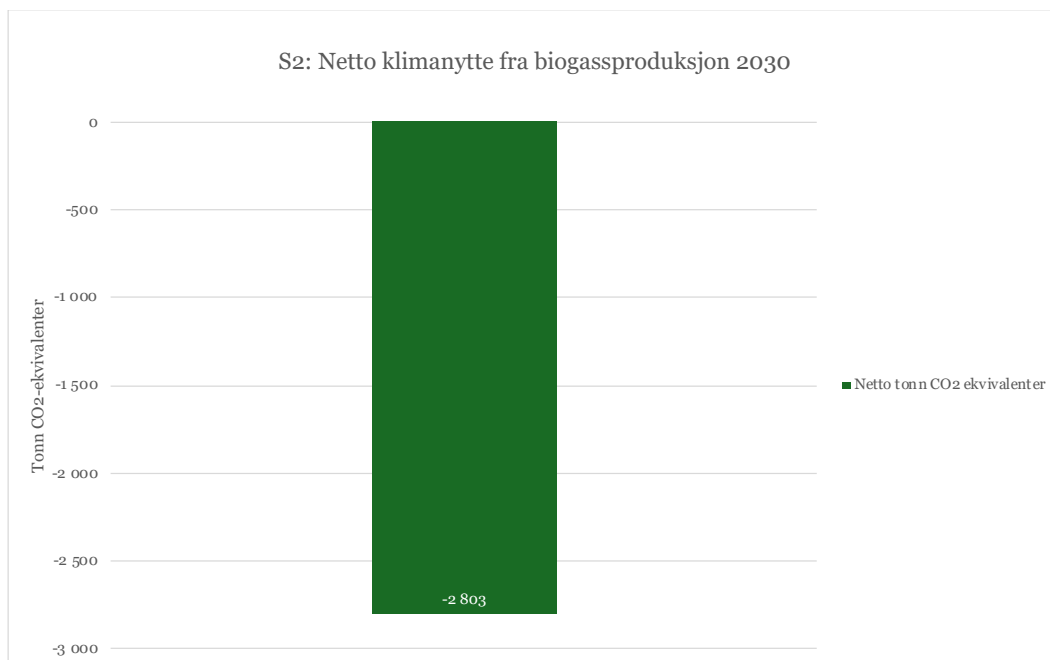
7.2.2 Resultater fra scenario S2

Figuren under viser netto klimanytte fra biogassproduksjonen ved FREVAR i 2030, fordelt per substrat. Det er tydelig at bruk av avløpsslam gir høyest klimagevinst med årlig netto klimanytte på 1 588 tonn CO₂-ekv. Dernest er det matavfall fra Fredrikstad kommune, emballert matavfall og slakteriavfall som bidrar mest til reduksjon i klimapåvirkning. Disse bidrar med henholdsvis 553 tonn CO₂-ekv., 426 tonn CO₂-ekv. og 243 tonn CO₂-ekv. Matavfall fra Rakkestad bidrar med en reduksjon på 27 tonn CO₂-ekv. årlig. Restprodukter bidrar med årlig netto klimanytte på henholdsvis 40 tonn CO₂-ekv. Forbehandlet substrat bidrar derimot til klimagassutslipp, med 111 tonn CO₂-ekv. årlig. Se Figur 18.



Figur 18: Netto årlig klimanytte fra biogassproduksjon 2030, fordelt på substrat for S2.

Figur 19 viser netto klimanytte for biogassproduksjon i 2030 (S2). Den totale netto klimanytten er estimert til å være omtrent 2 803 tonn CO₂-ekv. årlig.



Figur 19: Estimert netto klimanytte for biogassproduksjon i 2030 (S2).

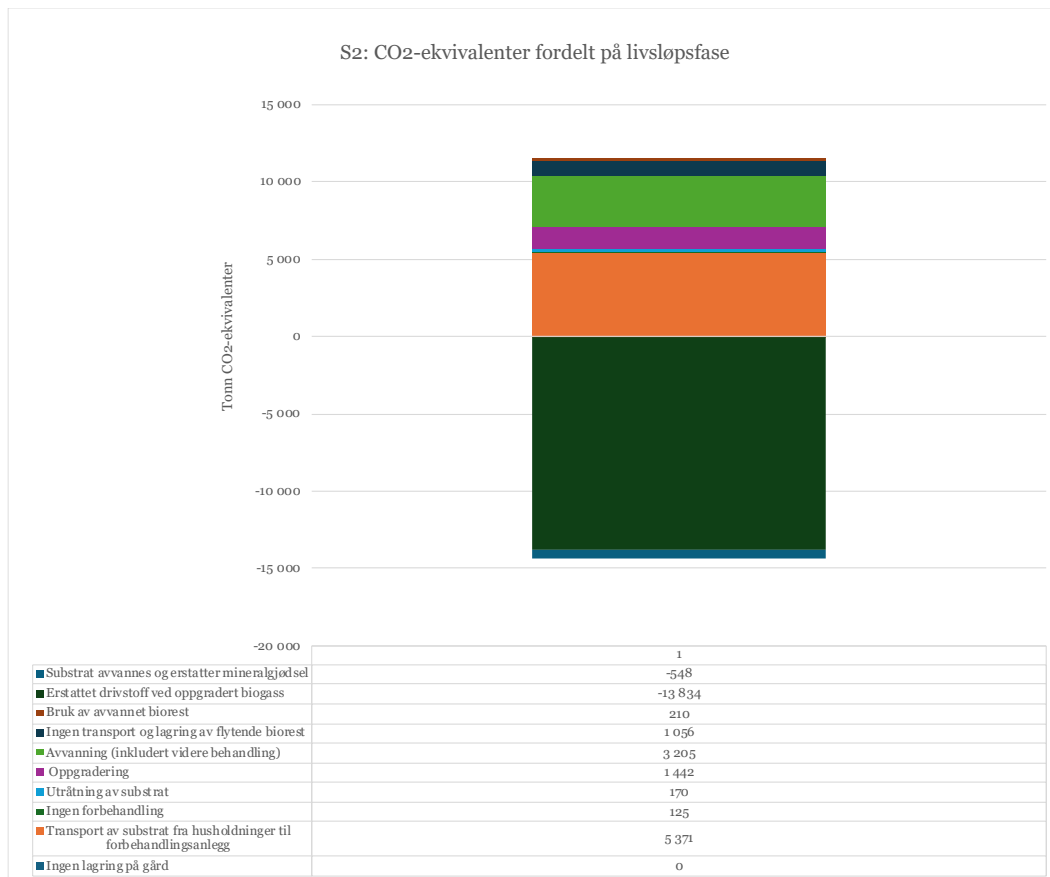
Fordelt på livsløpsfaser er det er matavfall fra Rakkestad og restproduktene som bidrar til minst netto klimanytte. Ut ifra Figur 20 er det tydelig at transportetappen av det

forbehandlede substratet bidrar til at klimagassutslippene øker for denne type substrat. For alle substratene er det livsløpsfase 9, *erstattet drivstoff ved oppgradert biogass* som bidrar til størst klimagevinst med til sammen 13 834 tonn CO₂-ekv. årlig.



Figur 20: Årlig klimapåvirkning per substrat i 2030, fordelt på livsløpsfase (S2).

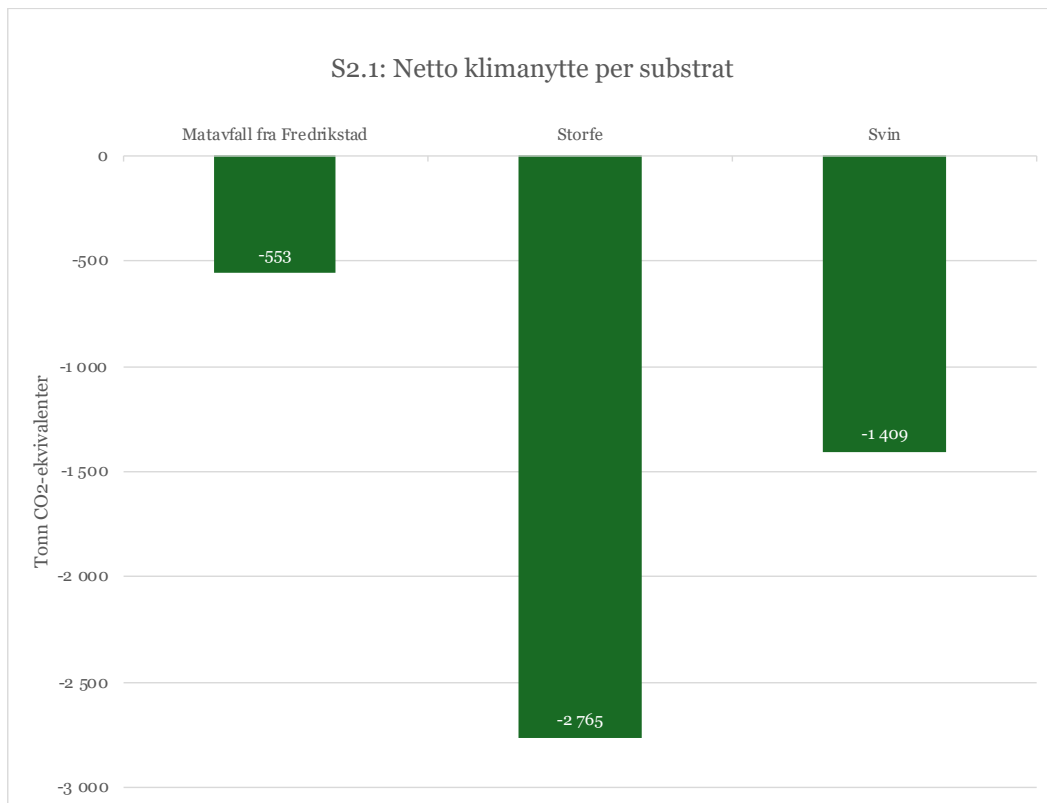
Figur 21 viser totalt tonn CO₂-ekv. fordelt på livsløpsfasene. Totalt sett er det transport, og avvanningsfasen som bidrar til høyest klimapåvirkning for S2. Erstattet drivstoff er den livsløpsfasen som bidrar til mest klimanytte for S2.



Figur 21: Den totale klimapåvirkningen for S2, fordelt på livsløpsfasene.

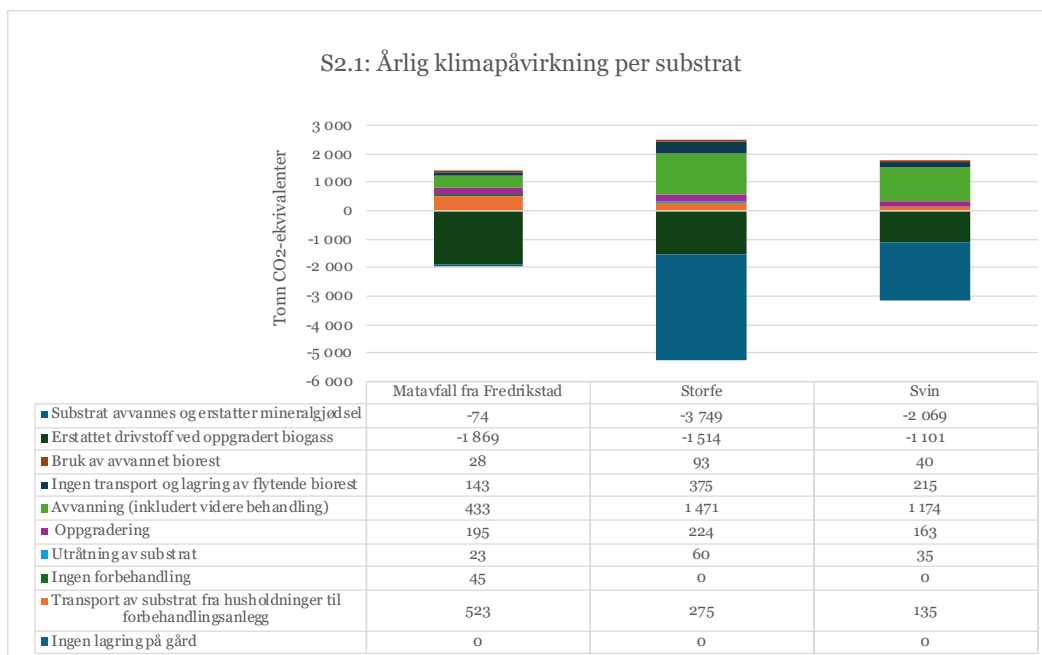
7.2.3 Resultater for scenario S2.1

Figuren viser netto klimanytte fra biogassproduksjonen for S2.1, fordelt per substrat. Husdyrgjødsel fra storfe gir i dette tilfellet høyest klimagevinst med årlig netto klimanytte på 2 765 tonn CO₂-ekv. Derneft er det husdyrgjødsel fra svin som bidrar med årlig netto klimanytte på 1 409 tonn CO₂-ekv. Matavfall bidrar med minst reduksjon av klimagasser, med netto 553 tonn CO₂-ekv. årlig. Se Figur 22.



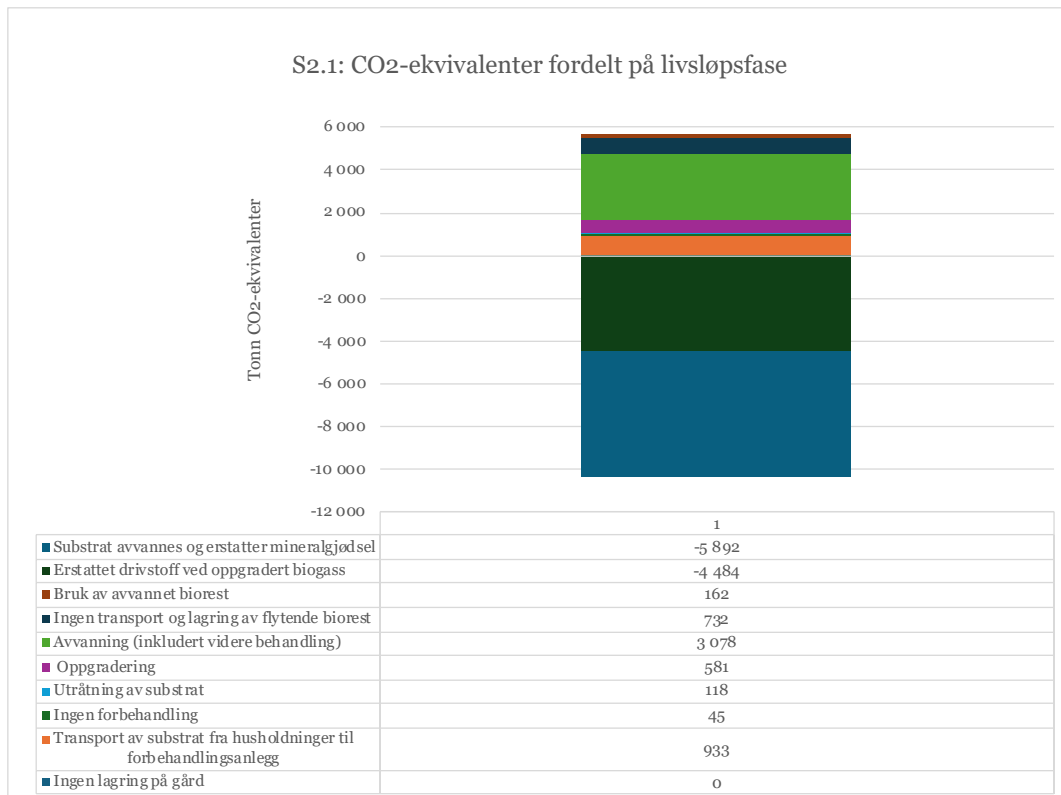
Figur 22: Netto klimanytte per substrat (S2.1).

Fordelt på livsløpsfaser viser resultatene at avvannet biorest og erstattet mineralgjødning gir store utslag for husdyrgjødselen. Ut ifra figuren ser det ut til at *transport* og *avvanning av biorest* bidrar til høyest klimapåvirkning for matavfall, og for husdyrgjødsel er det avvanningsprosessen som bidrar til høyest klimapåvirkning. Se Figur 23.



Figur 23: Årlig klimapåvirkning per substrat (S2.1).

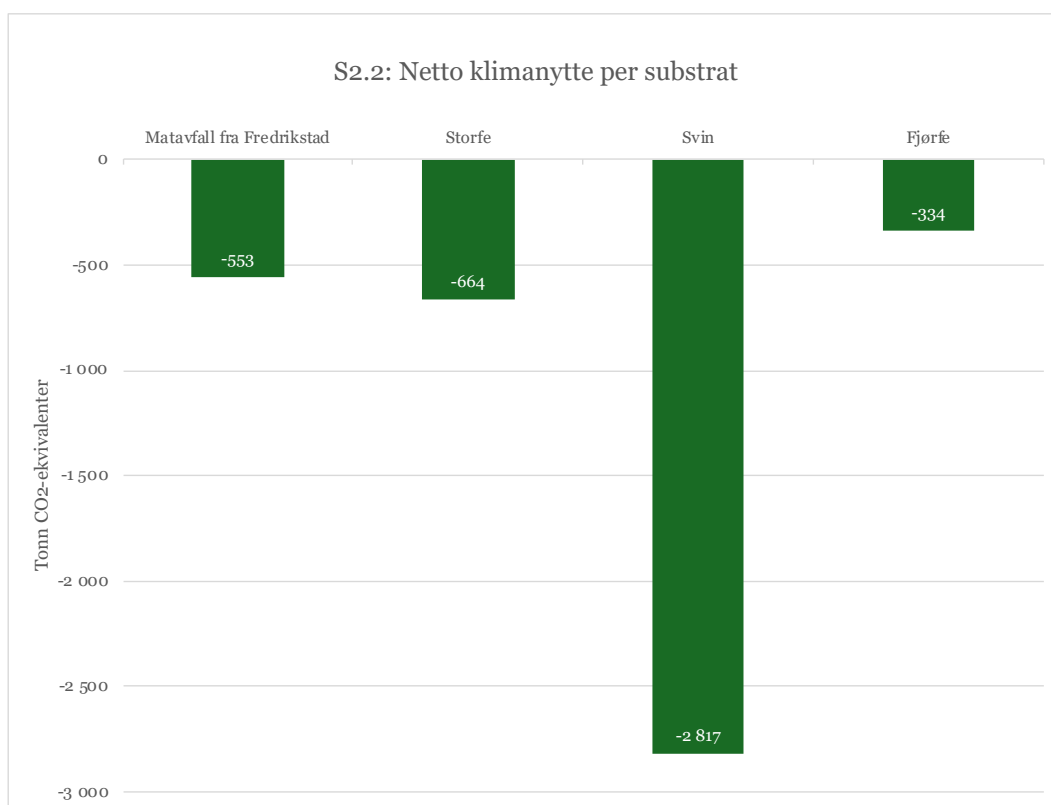
Figur 24 viser totalt tonn CO₂-ekv. fordelt på livsløpsfasene. Totalt sett er det avvanningsfasen som bidrar til høyest klimapåvirkning for S2.1. Avvannet substrat som erstatter mineralgjødning og erstattet drivstoff er de to livsløpsfasene som bidrar til mest klimanytte for S2.1.



Figur 24: Den totale klimapåvirkningen for S2.1, fordelt på livsløpsfasene.

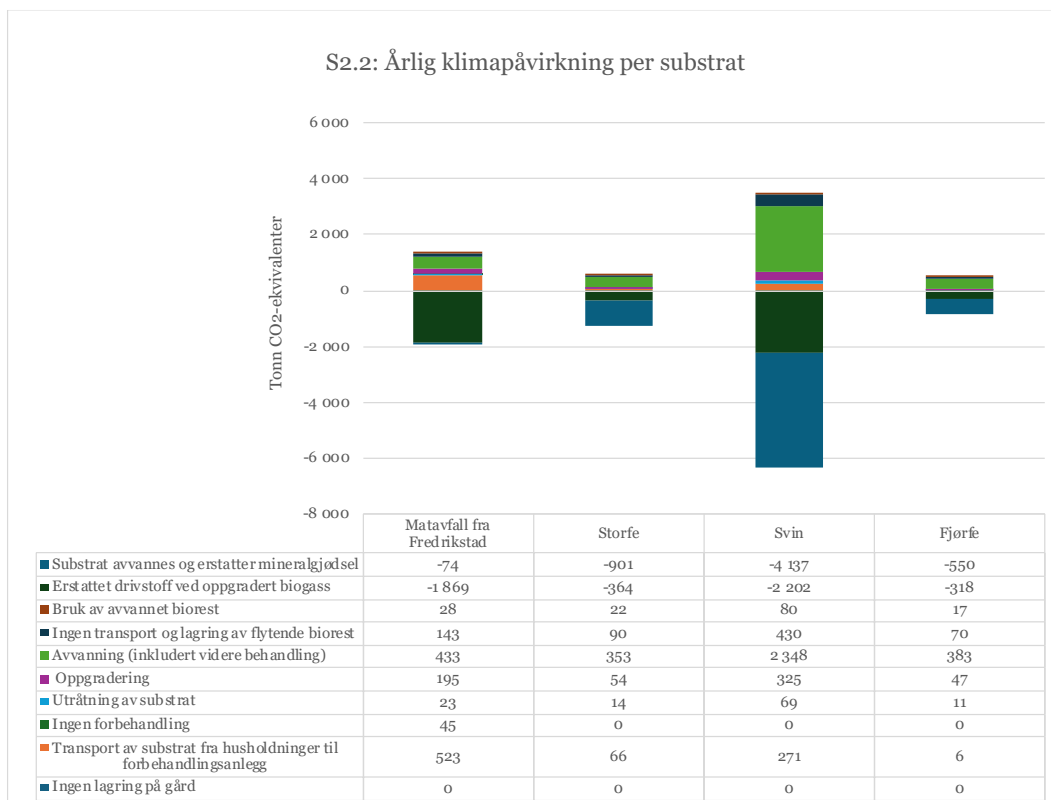
7.2.4 Resultater for scenario S2.2

Figuren under viser netto klimanytte fra biogassproduksjonen for S2.2, fordelt per substrat. Husdyrgjødsel fra svin gir i dette tilfellet høyest klimagevinst med årlig netto klimanytte på 2 817 tonn CO₂-ekv. Dernest er det husdyrgjødsel fra storfe som bidrar med årlig netto klimanytte på 664 tonn CO₂-ekv. og matavfall fra Fredrikstad kommune som bidrar med netto klimanytte på 553 tonn CO₂-ekv. årlig. Gjødsel fra fjørfe bidrar til netto årlig klimanytte på 334 tonn CO₂-ekv. Se Figur 25.



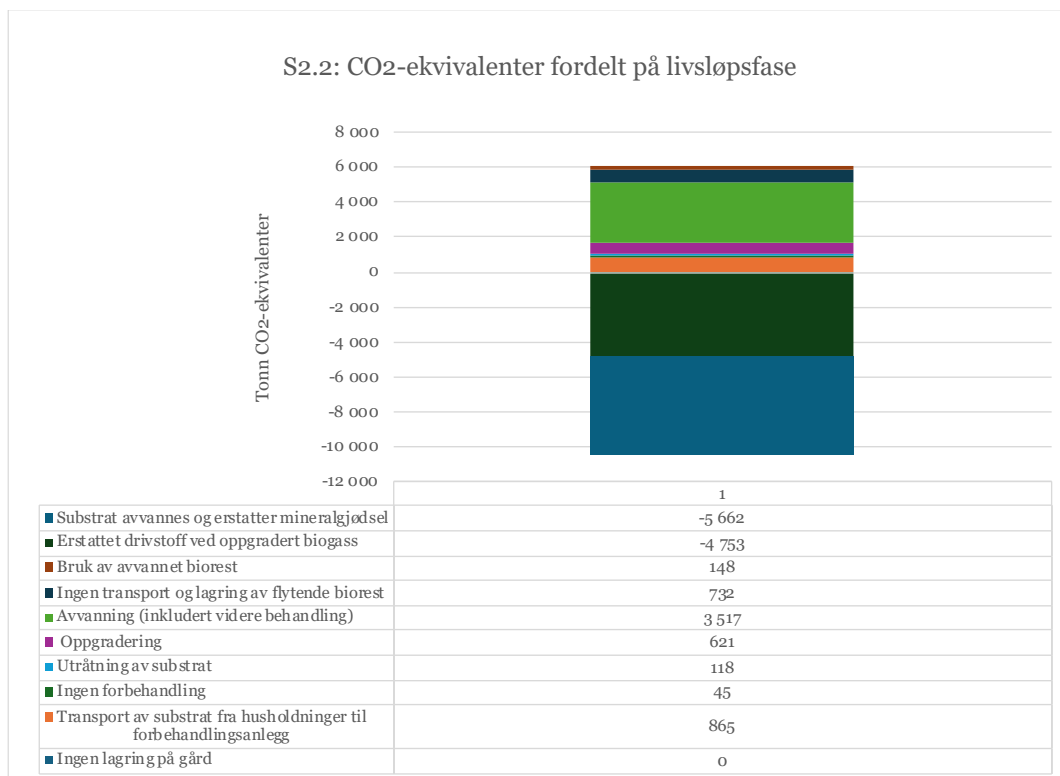
Figur 25: Netto årlig klimanytte per substrat (s2.2).

Fordelt på livsløpsfaser kommer det frem at avvannet biorest og erstattet mineralgjødsel gir store utslag for alle typer husdyrgjødsel. Ut ifra figuren ser det ut til at transport og avvanning av biorest bidrar til høyest klimapåvirkning for matavfall, og for husdyrgjødsel er det avvanningsprosessen som bidrar til høyest klimapåvirkning. Se Figur 26.



Figur 26: Årlig klimapåvirkning per substrat (S2.2).

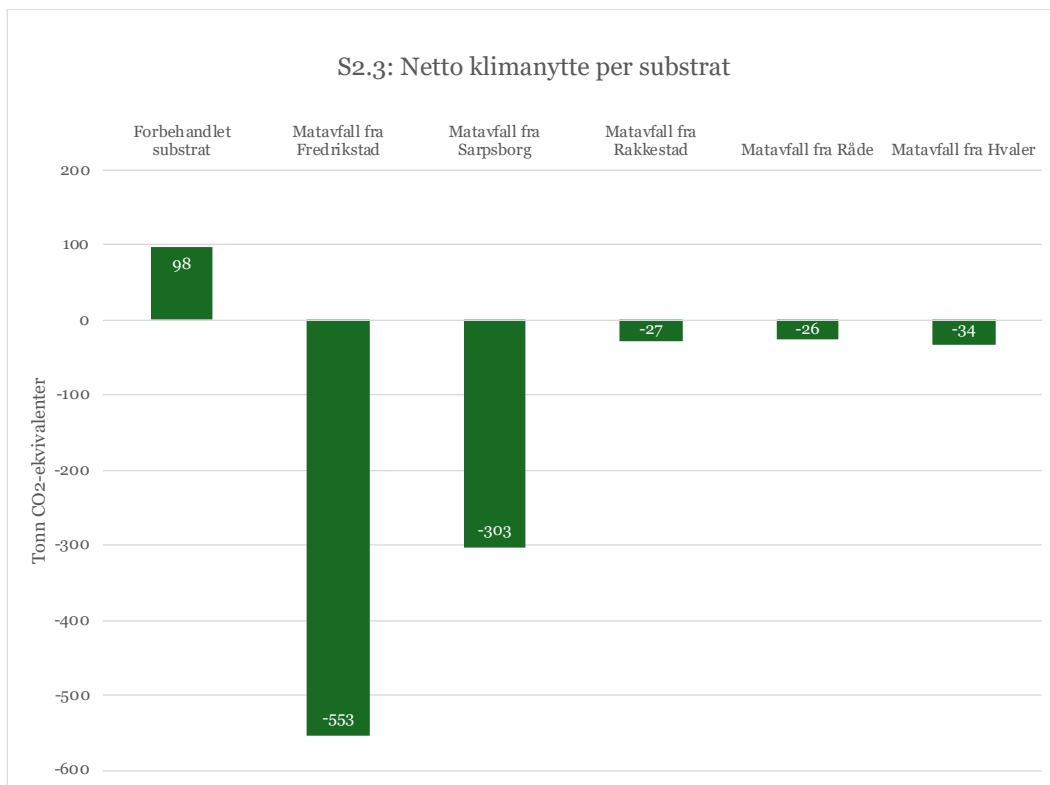
Figur 27 viser totalt tonn CO₂-ekv. fordelt på livsløpsfasene. Totalt sett er det avvanningsfasen som bidrar mest til klimapåvirkning for S2.2. Avvannet substrat som erstatter mineralgjødsel og erstattet drivstoff er de to livsløpsfasene som bidrar til mest klimanytte for S2.2.



Figur 27: Den totale klimapåvirkningen for S2.2, fordelt på livsløpsfasene.

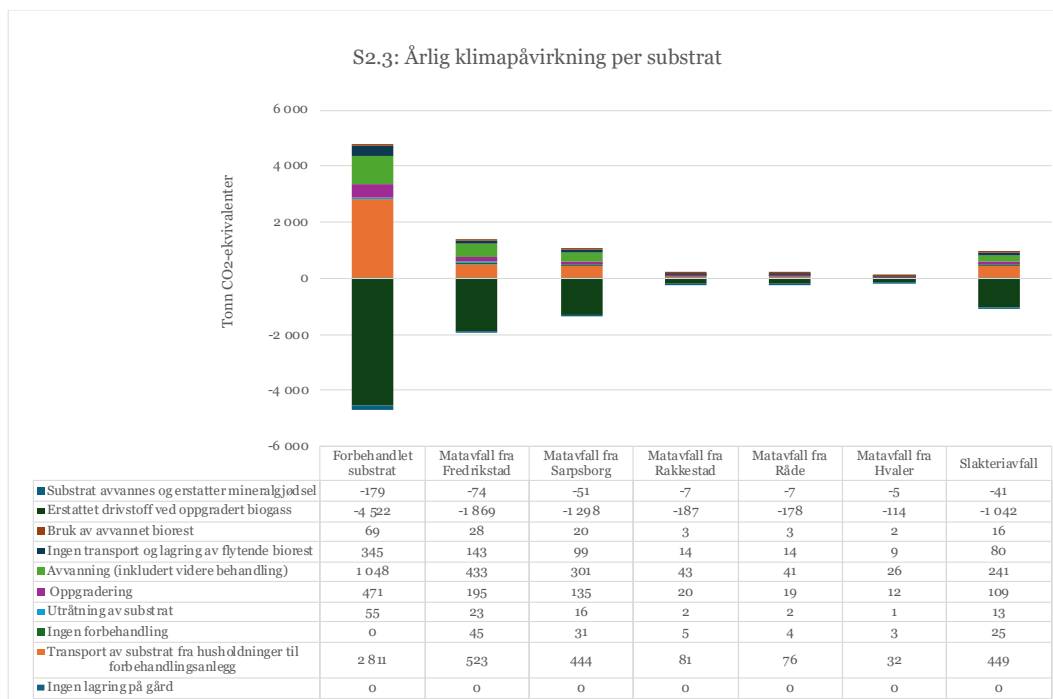
7.2.5 Resultater for scenario S2.3

Figuren under viser netto klimanytte fra biogassproduksjonen for S2.3, fordelt per substrat. Matavfall fra Fredrikstad gir i dette tilfellet høyest klimagevinst med årlig netto klimanytte på 553 tonn CO₂-ekv, dernest er det matavfall fra Sarpsborg som bidrar med årlig netto klimanytte på 303 tonn CO₂-ekv. Matavfall fra Rakkestad og Råde bidrar omtrent likt, med netto årlig klimanytte på 26 og 27 tonn CO₂-ekv. Matavfall fra Hvaler bidrar med årlig netto klimanytte på 34 tonn CO₂-ekv. Forbehandlet substrat har ingen klimanytte og bidrar til økt klimabelastning med 98 tonn CO₂-ekv. årlig. Se Figur 28.



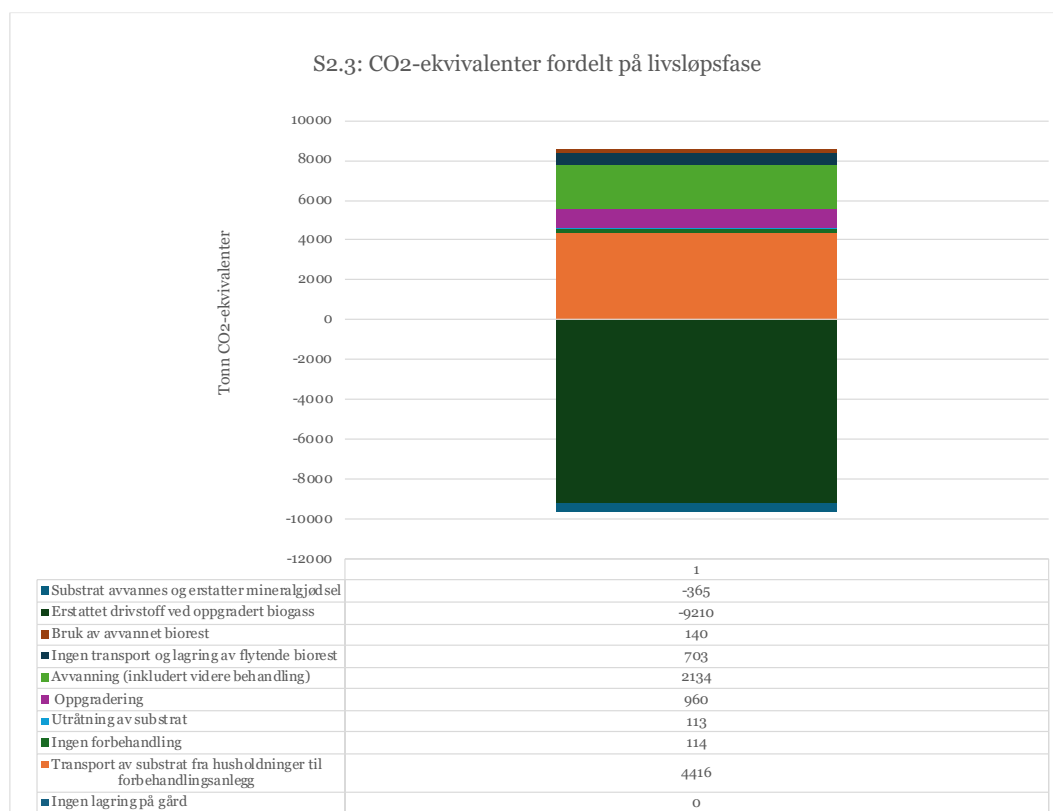
Figur 28: Netto årlig klimanytte per substrat (s2.2).

Fordelt på livsløpsfaser kommer det frem at det er transport som bidrar til økt klimabelastning for forbehandlet substrat. Ut ifra figuren ser det ut til at transport og avvanning av bioest bidrar til høyest klimapåvirkning for matavfallet og slakteriavfallet. Det er livsløpsfase 9, *erstattet drivstoff ved oppgradert biogass* som bidrar til høyest klimanytte for alle substratene. Se Figur 29.



Figur 29: Årlig klimapåvirkning per substrat (S2.3).

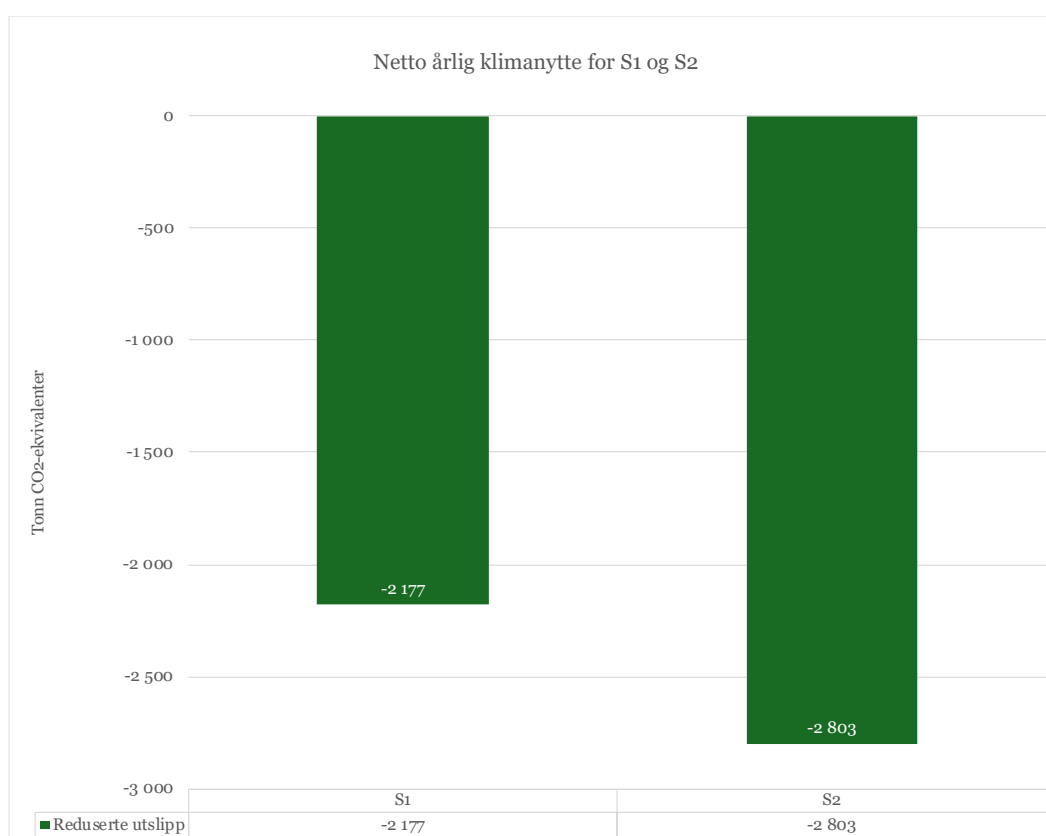
Figur 30 viser totalt tonn CO₂-ekv. fordelt på livsløpsfasene. For S2.3 er det transport som bidrar til høyest klimapåvirkning for S2.3. Erstattet drivstoff er den livsløpsfasen som bidrar til mest klimanytte for S2.3.



Figur 30: Den totale klimapåvirkningen for S2.3, fordelt på livsløpsfasene.

7.2.6 Sammenstilling av resultatene fra scenarioene

Ved å sammenligne dagens biogassproduksjon (S1) med potensiell biogassproduksjon i 2030 (S2) viser dette en liten forskjell i netto klimanytte. Figur 31 fremstiller årlig klimanytte for produksjonen i dag, og produksjonen i 2030. Dagens biogassproduksjon (S1) bidrar til en årlig klimanytte på 2 177 tonn CO₂-ekv. Biogassproduksjonen i 2030 (S2) er forventet å bidra til en økt klimanytte med netto årlig besparelse på 2 803 tonn CO₂-ekv. I S2 er det tatt høyde for økt befolkningsvekst og dermed økt mengde avløpsvann. Det er også tatt høyde for økt innsamling av matavfall. De resterende substratene har lik mengde i S1 og S2. Dette gir en differanse på 626 tonn CO₂-ekv. netto klimanytte. Når det nye avløpsrensaneanlegget er i full drift er det forventet at dette anlegget skal produsere mer energi enn det det benytter. Dette er ikke hensyntatt i analysene. Det kan derfor være mulig at klimanytten er noe større enn beregnet i disse scenarioene.



Figur 31: Årlig klimanytte for scenarioene S1 og S2.

For delscenarioene (biogassproduksjon i eksisterende anlegg i 2030) er det helt tydelig at S1 og S2 gir høyest klimanytte. Se Figur 32. I S2.1 benyttes det 2 264 tonn TS matavfall, sammen

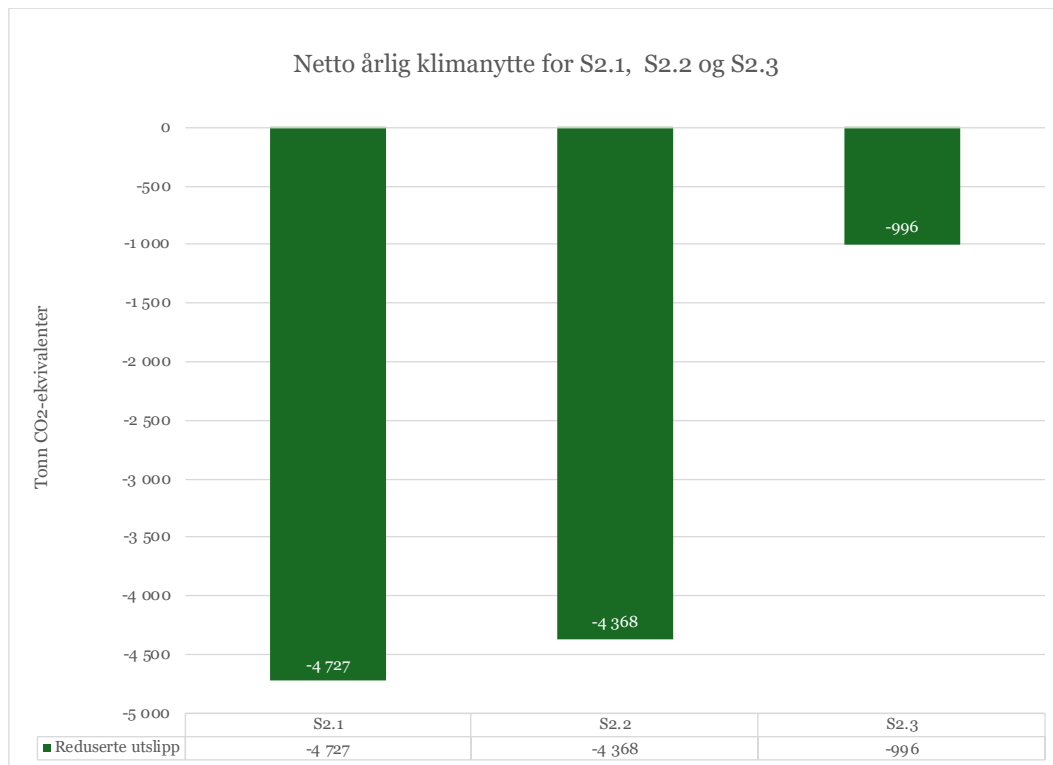
med 5 236 tonn TS fra storfe gjødsel og 3 000 tonn TS fra svin gjødsel. Scenario S2.1 bidrar til en årlig klimanytte på 4 727 tonn CO₂-ekv.

I S2.2 benyttes det 2 264 tonn TS matavfall sammen med 6 000 tonn TS fra svin gjødsel, 1 258 tonn TS fra storfe gjødsel og 978 tonn TS fra gjødsel fra fjørfe. Scenario S2.2 bidrar til en årlig klimanytte på 4 368 tonn CO₂-ekv.

I S2.3 tas det utgangspunkt i matavfall-liknende substrater. Substratene er fordelt på matavfall fra husholdningene i Fredrikstad, Sarpsborg, Rakkestad, Råde og Hvaler og utgjør 4 417 tonn TS. Forbehandlet substrat utgjør 4 821 tonn TS, og slakteriavfall utgjør 1 262 tonn TS. Scenario S2.3 bidrar til en årlig klimanytte på 996 tonn CO₂-ekv.

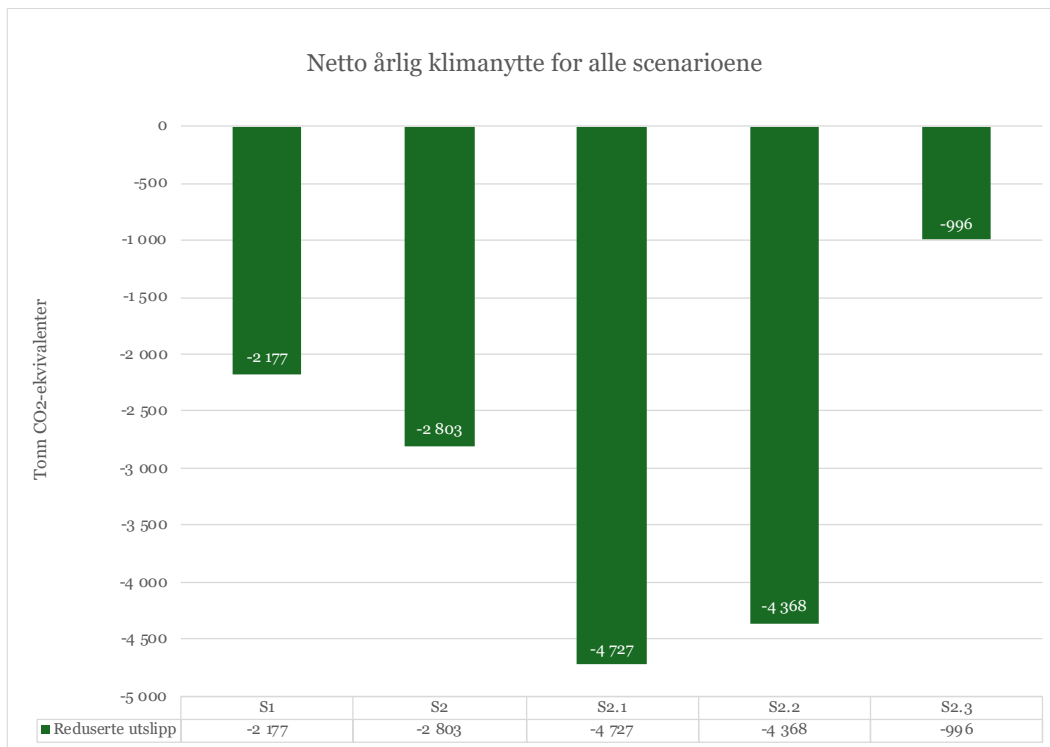
Differansen mellom S2.1 og S2.2 er ikke nevneverdig stor og utgjør kun 359 tonn CO₂-ekv. Differansen er derimot større mellom de to første delscenarioene og S2.3.

Hovedforskjellen mellom de tre scenarioene er at S2.1 og S2.2 benytter samrøtning mellom matavfall og slakteriavfall sammen med husdyrgjødsel, hvor S2.1 benytter husdyrgjødsel fra storfe og svin, hvor mesteparten er storfe. I S2.2 benyttes en større mengde husdyrgjødsel fra svin, litt mindre mengde husdyrgjødsel fra storfe og noe fra fjørfe. Scenario S2.3 benytter i hovedsak matavfall fra husholdningene, forbehandlet substrat og slakteriavfall. Den største differansen er mellom S2.2 og S2.3, og utgjør 3 402 tonn CO₂-ekv.



Figur 32: Årlig klimanytte for delscenarioene S2.1, S2.2 og S2.3.

Ved å sammenligne netto klimanytte for alle scenarioene kommer det tydelig frem at S2.1 og S2.2 gir best klimanytte. Det er i disse to scenarioene husdyrgjødsel blir brukt som substrat. I denne sammenstillingen er det viktig å huske på at kapasiteten for scenario S2 er økt med 5000 tonn TS substrat. Dette scenarioet er derfor ikke direkte sammenlignbart med de fire andre scenarioene. Se Figur 33.



Figur 33: Netto årlig klimanytte for alle scenarioer.

Ved gjennomgang av resultatene viser det seg at forutsetningene for scenarioene med fordel kunne vært definert noe annerledes. Ved å ekskludere produksjonen av biogass fra FARA-anlegget i scenario S2.1, S2.2 og S2.3 gjør dette at den reelle klimagevinsten ikke kommer tydelig nok frem. Scenario S2 er det eneste scenarioet hvor FARA-anlegget er tatt med, og kapasiteten for biogassproduksjonen er økt. Dette er derfor det eneste scenarioet som viser reell biogassproduksjon i 2030. Begrunnelsen for hvorfor scenarioene ble definert på denne måten er at i de tre delscenarioene er det bioresten som står i fokus, og ikke biogassproduksjonen. Likevel kunne FARA-anlegget vært inkludert for å gi mer helhetlige analyser av biogassproduksjonen for FREVAR.

7.3 FORSKNINGSSPØRSMÅL 3

«Fra 2026 vil biogassproduksjonen foregå fra to anlegg. Ett med avløpsvann som substrat, og ett med annet organisk materiale som substrat. Hvordan vil ulik sammensetning av substrat påvirke N-P-K-verdiene i bioresten fra de to anleggene?»

7.3.1 Forutsetninger

For å besvare dette spørsmålet er det tatt utgangspunkt i de ulike sammensetningene av substrat i scenarioene fra forskningsspørsmål 2. Verdiene for nitrogen, fosfor og kalium i de ulike substratene ble fastslått i Tabell 10, i kapittel 5.5 (s. 30).

Tabell 16, i kapittel 7.3.2, viser oversikt over næringsinnholdet i hvert av scenarioene fra forskningsspørsmål 2. Tabellen er delt opp i to utregningsfaser; «*tonn per andel substrat*» og «*tonn / andel tørr fraksjon av biorest (tonn TS)*». Den første beregningen viser innholdet av næringsstoffene i bioresten, før våt og tørr fraksjon skilles. Den andre beregningen viser andelen av de tre næringsstoffene som følger fast fraksjon. Det er denne fraksjonen som er interessant å se på i denne sammenhengen. I kapittel 2.3 ble det fastslått at omtrent 59 % nitrogen følger tørr fraksjon, 82 % fosfor følger tørr fraksjon og 36 % kalium følger fast fraksjon.

7.3.2 Resultater

Tabell 16 fremstiller en oversikt over de analyserte scenarioene fra forskningsspørsmål 2. I kolonnen «*tonn per andel substrat*» vises nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K) innholdet i bioresten, og hvilket substrat det er beregnet for. Disse verdiene er beregnet ved hjelp av verdiene som ble fastslått i Tabell 10. Verdien fra tabell 10 deles på tusen, for så å multipliseres med andel av substratet, for å finne verdien i tonn per tonn TS.

Eksempelvis for avløpsvann i S1, er verdien for amm-N fra avløpsvann som finnes i bioresten beregnet som følgende:

$$\frac{2,0}{1000} * 3\ 646 = 7,3 \text{ tonn amm-N per andel substrat}$$

I kolonnen «*tonn / andel tørr fraksjon (tonn TS)*» er det videre regnet ut verdiene som følger tørr fraksjon av bioresten. Denne er beregnet med utgangspunkt i verdien for det respektive næringsstoffet, i bioresten, og multiplisert med andelen av dette næringsstoffet som følger fast fraksjon.

Videre beregning for avløpsvann i S1, er som følger:

$$7,3 * 0,59 = 4,3 \text{ tonn amm-N / tonn TS (i tørr fraksjon av bioresten)}$$

Videre er dette gjort for alle substrater og næringsstoffer i alle scenarioene. Totalen viser totalt innhold av N, P og K verdier for hvert av scenarioene. Eksempelvis er totalt amm-N innhold i tørr fraksjon for scenario S1, 35,8 tonn.

I bioresten fra S1 fordeler verdiene seg med 60,6 tonn nitrogen (N), 21,3 tonn fosfor (P) og 45,1 tonn kalium (K). I avvannet biorest fra S1 fordeler verdiene seg med 35,8 tonn nitrogen (N), 17,4 tonn fosfor (P) og 16,2 tonn kalium (K). Det totale substratet i S1 er 12 997 tonn TS. I dette scenarioet er hovedandelen matavfalls-liknende substrater, med noe avløpsslam. Det er høyest andel N, P og K verdiene er nesten like.

I bioresten fra S2 fordeler verdiene seg med 71,3 tonn nitrogen (N), 24 tonn fosfor (P) og 56 tonn kalium (K). I avvannet biorest fra S2 fordeler verdiene seg med 43,8 tonn nitrogen (N), 19,7 tonn fosfor (P) og 20,2 tonn kalium (K). Det totale substratet i S2 er 15 500 tonn TS. Også i dette scenarioet er hovedandelen matavfalls-liknende substrater, og noe avløpsslam. Andel substrat inn i anlegget er økt med 2 500 tonn TS sammenlignet med S1. Det er høyest andel N, P og K verdiene er også i dette scenarioet nesten like.

I bioresten fra S2.1 fordeler verdiene seg med 36,5 tonn nitrogen (N), 9,3 tonn fosfor (P) og 40 tonn kalium (K). I avvannet biorest fra S2.1 fordeler verdiene seg med 21,5 tonn nitrogen (N), 7,7 tonn fosfor (P) og 14,4 tonn kalium (K). Det totale substratet i S2.1 er 10 500 tonn TS. I dette scenarioet er det tilført husdyrgjødsel som substrat, sammen med matavfall fra husholdningene. I dette scenarioet er det høyest andel N, dernest K og nesten halvparten så lite P.

I bioresten fra S2.2 fordeler verdiene seg med 48,9 tonn nitrogen (N), 20,5 tonn fosfor (P) og 42,5 tonn kalium (K). I avvannet biorest fra S2.2 fordeler verdiene seg med 28,8 tonn nitrogen (N), 16,8 tonn fosfor (P) og 15,3 tonn kalium (K). Det totale substratet i S2.2 er 10 500 tonn TS. I dette scenarioet er det også tilført husdyrgjødsel som substrat, sammen med matavfall fra husholdningene. Andel husdyrgjødsel fra svin og storfe er noe endret, og det er i tillegg tilført gjødsel fra fjørfe. I dette scenarioet er det også høyest andel N. K og P har nesten lik verdi.

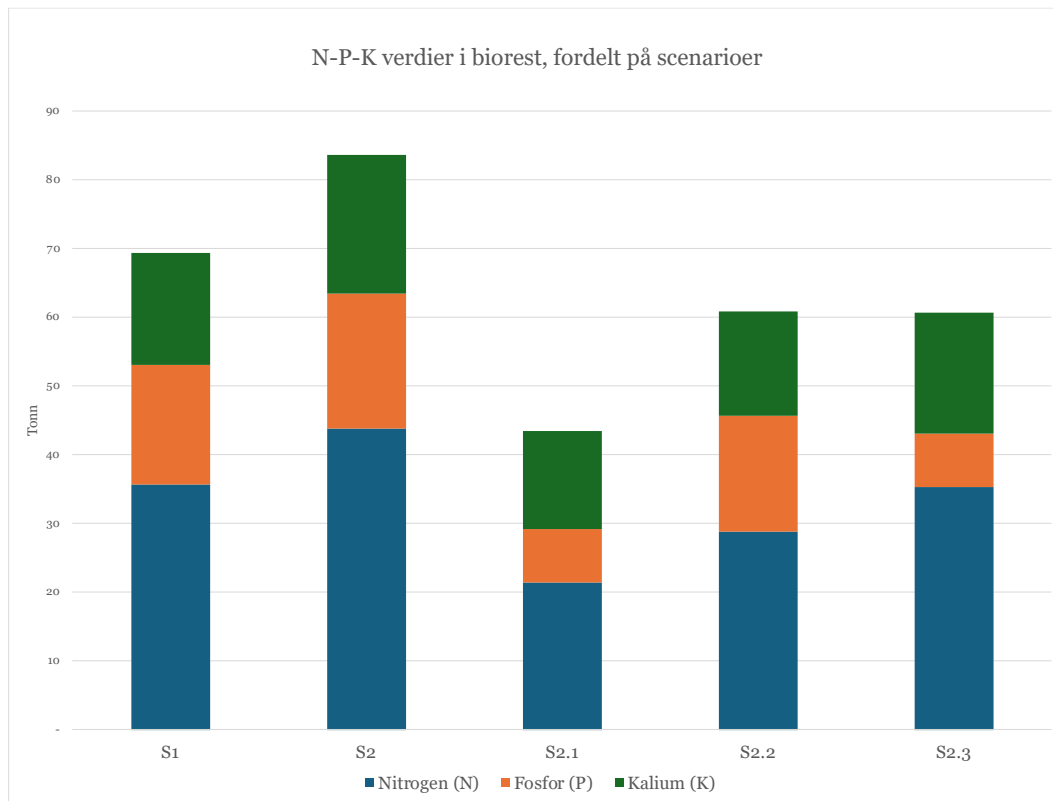
I bioresten fra S2.3 fordeler verdiene seg med 59,9 tonn nitrogen (N), 9,6 tonn fosfor (P) og 48,6 tonn kalium (K). I avvannet biorest fra S2.3 fordeler verdiene seg med 35,3 tonn nitrogen (N), 7,8 tonn fosfor (P) og 17,5 tonn kalium (K). Det totale substratet i S2.3 er 10 500 tonn TS.

I dette scenarioet er det benyttet matavfall fra husholdningen, forbehandlet substrat og slakteriavfall som substrat. I dette scenarioet er det også høyest andel N, dernest P og K.

Tabell 16: Oversikt over innhold av nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K) i de ulike substratene, fordelt i scenarioer. Tabellen viser oversikt over innhold i biorest, og verdiene i avvannet biorest.

Substrat	tonn per andel substrat				tonn / andel tørr fraksjon av biorest (tonn TS)		
	Andel (tonn TS)	Nitrogen (N)	Fosfor (P)	Kalium (K)	Nitrogen (N)	Fosfor (P)	Kalium (K)
S1					0,59	0,82	0,36
Avløpsvann	3 646	7,3	12,8	1,8	4,3	10,5	0,7
Forbehandlet substrat	5 481	31,2	5,0	25,4	18,4	4,1	9,1
Matavfall m/emballasje til forbehandling	2 395	13,7	2,2	11,1	8,1	1,8	4,0
Matavfall fra Fredrikstad	94	0,5	0,1	0,4	0,3	0,1	0,2
Restprodukter	115	0,7	0,1	0,5	0,4	0,1	0,2
Slakteriavfall og matavfall fra nabokommune	1 267	7,2	1,2	5,9	4,3	0,9	2,1
Total	12 998	60,6	21,3	45,1	35,8	17,4	16,2
S2					0,59	0,82	0,36
Avløpsvann	3 809	7,6	13,3	1,9	4,5	10,9	0,7
Forbehandlet substrat	5 428	30,9	4,9	25,1	18,3	4,1	9,0
Matavfall m/emballasje til forbehandling	2 395	13,7	2,2	11,1	8,1	1,8	4,0
Matavfall fra Fredrikstad	2 264	12,9	2,1	10,5	7,6	1,7	3,8
Matavfall fra Rakkestad	227	1,3	0,2	1,1	0,8	0,2	0,4
Restprodukter	115	0,7	0,1	0,5	0,4	0,1	0,2
Slakteriavfall	1 262	7,2	1,1	5,8	4,2	0,9	2,1
Total	15 500	74,3	24,0	56,0	43,8	19,7	20,2
S2.1					0,59	0,82	0,36
Matavfall fra Fredrikstad	2 264	12,9	2,1	10,5	7,6	1,7	3,8
Husdyrgjødsel fra Storfe	5 236	11,0	2,8	22,0	6,5	2,3	7,9
Husdyrgjødsel fra Svin	3 000	12,6	4,5	7,5	7,4	3,7	2,7
Total	10 500	36,5	9,3	40,0	21,5	7,7	14,4
S2.2					0,6	0,8	0,4
Matavfall fra Fredrikstad	2 264	12,9	2,1	10,5	7,6	1,7	3,8
Husdyrgjødsel fra Storfe	1 258	2,6	0,7	5,3	1,6	0,5	1,9
Husdyrgjødsel fra Svin	6 000	25,2	9,0	15,0	14,9	7,4	5,4
Gjødsel fra Fjørfe	978	8,1	8,8	11,7	4,8	7,2	4,2
Total	10 500	48,9	20,5	42,5	28,8	16,8	15,3
S2.3					0,6	0,8	0,4
Forbehandlet substrat	4 821	27,5	4,4	22,3	16,2	3,6	8,0
Matavfall fra Fredrikstad	2 264	12,9	2,1	10,5	7,6	1,7	3,8
Matavfall fra Sarpsborg	1 573	9,0	1,4	7,3	5,3	1,2	2,6
Matavfall fra Rakkestad	227	1,3	0,2	1,1	0,8	0,2	0,4
Matavfall fra Råde	215	1,2	0,2	1,0	0,7	0,2	0,4
Matavfall fra Hvaler	138	0,8	0,1	0,6	0,5	0,1	0,2
Slakteriavfall	1 262	7,2	1,1	5,8	4,2	0,9	2,1
Total	10 500	59,9	9,6	48,6	35,3	7,8	17,5

Verdiene for N-P-K varierer ut ifra mengde og type substrat. I Figur 34 kommer det tydelig frem at det er høyest andel nitrogen i alle scenarioene. I scenario S1, S2 og S2.2 er mengde fosfor nesten likt. I S2.1 er andel fosfor lavest, og S2 er også det scenarioet som har lavest andel kalium.



Figur 34: N-P-K verdier i de fire ulike scenarioene, S1; dagens biogassproduksjon, S2; biogassproduksjon i 2030 (inkludert FARA-anlegget), S2.1, S2.2 og S2.3; biogassproduksjon i eksisterende anlegg i 2030 (ekskludert FARA-anlegget).

8 DISKUSJON

8.1 HOVEDFUNN

Resultatene fra scenario S1 (dagens produksjon) viser at matavfall fra Fredrikstad kommune kun bidrar med en klimanytte på 23 tonn CO₂-ekvivalenter årlig. Innsamlingen er fremdeles i en oppstartsfase og er forventet å øke frem mot 2030. Samtidig er innsamlingsgraden mye lavere enn hva Fredrikstad kommune forventet i sine estimater. I scenario S2 (dagens produksjon inkludert FARA-anlegget) er det lagt til grunn en langt høyere innsamlingsgrad av matavfall. Dette scenarioet viser at matavfall fra husholdningene i kommunen potensielt kan bidra til en årlig netto klimanytte på 553 tonn CO₂-ekvivalenter. Dette i seg selv bør være et insentiv for å øke innsamlingsgraden av husholdningsavfall fra Fredrikstad kommune.

I alle scenarioene kommer det frem at transport av substrat er en av de viktigste utslippsfaktorene. Ved å utnytte ressursene som ligger i nærheten til FREVAR reduseres også utslippene i denne livsløpsfasen. I analysen er det tatt utgangspunkt i at all transport skjer med dieselbiler. Dersom substratene blir fraktet med biler som benytter seg av biogass eller annet fornybart drivstoff, vil klimapåvirkningen fra transport bli noe redusert. Resultatene fra analysene viser at det forbehandlede substratet, som blir fraktet 110 km, ikke bidrar til klimanytte, substratet bidrar derimot til økt klimabelastning for FREVAR. For dette substratet er det transporten som gjør at det ikke oppnås klimagevinst. Det må også nevnes at det er usikkert om substratet blir fraktet med dieselbil. Dersom dette ikke er tilfelle, vil trolig klimagevinsten være noe bedre for dette substratet. Matavfallet FREVAR mottar fra Rakkestad bidrar heller ikke til særlig økt klimanytte. Dette er små mengder som blir fraktet langt. Dersom også Rakkestad kommune øker sin innsamlingsgrad vil dette kunne bidra til noe mer klimanytte for biogassproduksjonen. Frakte små mengder med avfall langt, vil sjelden gi klimagevinst. Det kan derfor være en fordel å samkjøre avfall fra andre kommuner slik at renovasjonsbilene fylles opp.

I scenario S2.1 og S2.2 utnyttes husdyrgjødsel som substrat sammen med estimert mengde husholdningsavfall fra Fredrikstad kommune. I disse scenarioene er det lagt til grunn en kapasitet på 10 500 tonn TS årlig. Disse scenarioene er ikke direkte sammenlignbare med S2, men kan sammenlignes med dagens produksjon i scenario S1.

Netto klimanytte for S1 er på 2 177 tonn CO₂-ekvivalenter årlig. Scenario S2.1 har en netto årlig klimanytte på 4 727 CO₂-ekvivalenter. Og scenario S2.2 har en netto årlig klimanytte på 4 368 tonn CO₂-ekvivalenter. I scenario S2.3 baserer substratene seg på matavfall fra Fredrikstad, Sarpsborg, Rakkestad, Råde og Hvaler kommune, i tillegg til forbehandlet substrat og slakteriavfall. I dette scenarioet er netto årlig klimanytte på 996 tonn CO₂-ekvivalenter. Det vil

si at ved å utnytte husdyrgjødsel i biogassproduksjonen hos FREVAR kan de oppnå en dobling av den årlige klimanytten sammenlignet med dagens biogassproduksjon. Ved å sammenligne S1 med S2.1 og S2.2 viser dette en økt klimanytte på mellom 50 til 54 % ved å inkludere husdyrgjødsel i samråtning med matavfall. Lyng og Saxegård (2020) viser også til en positiv effekt av samråtning av matavfall og husdyrgjødsel, hvor samråtning gir en høyere klimagevinst enn ved å kun benytte matavfall i biogassproduksjonen. Analysene av Lyng og Saxegård viser 24 % økt klimanytte ved samråtning av matavfall og husdyrgjødsel, sammenlignet med biogassproduksjon med kun matavfall.

Selv om scenario S2.3, basert på matavfall fra husholdningene, ikke bidrar til størst klimagevinst er det viktig å trekke frem at ved å håndtere matavfall som et substrat til biogassproduksjon bidrar dette til å utnytte og ivareta matavfall som ressurs. Ved å utnytte potensialet i det organiske avfallet er dette med på å løse et avfallsproblem og samtidig bidra til sirkularitet. Ifølge Statistisk sentralbyrå (2023b) ble det i 2022 utnyttet 40 % matavfall og kun 18 % husdyrgjødsel til biogassproduksjon i Norge. Graden av utnyttelse av matavfall og husdyrgjødsel kan med fordel økes betraktelig dersom man også tar klimanytten i betraktning. Dersom matavfallet ikke går til biogassproduksjon vil det sannsynligvis enten bli fraktet til Danmark eller Sverige for eventuell biogassproduksjon, eller brent i forbrenningsanlegg i Norge. Selv om forbrenning av matavfall i forbrenningsanlegg vil generere varme til husstander vil utnyttelsen av metanen til biogass og verdifulle næringsstoffer til bioresten være tapt. Dermed mister man disse substitusjonseffektene.

I rapporten fra Modahl et al. (2016) ble klimapåvirkningen ved bruk av husdyrgjødsel fra storfe, gris og fjørfe analysert. I denne rapporten viser det seg at dersom man kun benytter storfejødsel i biogassproduksjonen vil dette ha en netto klimapåvirkning på 523 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. Videre viste rapporten at gjødsel fra svin gir en netto klimapåvirkning på 765 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. Biogassproduksjon fra matavfall ga en netto klimavirkning på 613 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. Ingen av scenarioene i oppgaven er basert på kun husdyrgjødsel fra storfe eller kun husdyrgjødsel fra svin. Det er likevel interessant å se på disse resultatene i forhold til scenario S2.1 og S2.2 fra denne oppgaven, hvor husdyrgjødsel er inkludert som substrat. Scenarioene gir resultater i samme størrelsesorden som resultatene fra rapporten, med henholdsvis 450 og 416 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. Disse resultatene samsvarer med hva som har blitt presentert i analysene i denne oppgaven. Videre har også rapporten ett scenario hvor kun matavfall er benyttet til biogassproduksjon. Dette scenarioet viste en netto klimapåvirkning på 613 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. Sammenlignet med scenario S2.3 i denne oppgaven er det en vesentlig forskjell på klimagevinsten for disse to tilfellene. I scenario S2.3 i oppgaven er klimagevinsten ved å produsere biogass på matavfall kun 92 kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS. En av grunnene til

dette kan være at i S2.3 er det i tillegg benyttet forbehandlet substrat som har en lang transportetappe. Dersom scenarioet kun hadde benyttet matavfall fra nærliggende område rundt FREVAR ville trolig gevinsten for dette scenarioet vært betydelig høyere. Dette i seg selv bør være et insentiv til å øke innsamlingsgrad av matavfall i Fredrikstad kommune, ikke bare fra husholdningene, men også fra eksempelvis institusjoner, bakerier, butikker og liknende.

Som det har blitt nevnt flere ganger er ofte transport den prosessen som bidrar til å redusere klimagevinsten. For å kutte utslippene fra transport må substratet komme fra nærliggende områder, eller at transportmiddelet benytter seg av fornybare drivstoffkilder, som for eksempel biogass. Det sier seg selv at å utnytte nærliggende ressurser bidrar til økt klimagevinst. Dette bør derfor være et insentiv til å undersøke mulighetene for å utnytte de nærliggende ressursene som substrat til biogassproduksjon i enda større grad enn hva denne oppgaven forutsetter, særlig fra landbruket.

Totalt sett ser det ut til at det er livsløpsfase 2, *transport av substrat*, som bidrar til høyest klimapåvirkning, og livsløpsfase 9, *erstattet drivstoff ved oppgradert biogass*, som bidrar til best klimanytte. Dette samsvarer også med rapporten av Lyng og Saxegård (2020) hvor analysene av biogassproduksjonen ved DMF viser at bruk av biogass og biogjødsel bidrar til høyest klimanytte.

Flaskehalsene hos FREVAR er forbehandling og oppgradering av biogassen. Alle scenarioene fordrer god nok kapasitet for forbehandling og oppgradering av biogassen. For at FREVAR skal kunne utnytte det fulle potensialet av biogassproduksjonen må faking av gass unngås såfremt det ikke er av sikkerhetsmessige årsaker. I analysene er det ikke tatt hensyn til at renovasjonsbilene i Fredrikstad kommune benytter seg av biogass som drivstoff. I analysen er det brukt renovasjonsbiler på diesel. Det er derfor naturlig å anta at livsløpsfase 2, *transport av substrat* er noe lavere enn hva analysene viser.

Det er viktig å poengtere at livsløpsfase 10, *avvanning av substrat og erstattet mineralgjødsel* ikke nødvendigvis betyr at mineralgjødsel blir fullstendig erstattet. Husdyrgjødsel som ikke blir levert til biogassproduksjon ville uansett blitt spredd på jordet. For en bonde som har husdyrgjødsel, og mottar biorest, vil ikke mottatt biorest bidra til full erstatning av mineralgjødsel. Sammensetningen av næringsstoffer i biogjødselen vil trolig kunne redusere bruk av mineralgjødsel, men ikke erstatte. For de bøndene som ikke har husdyrgjødsel kan biogjødsel være med på å erstatte store mengder mineralgjødsel. FREVAR skiller på våt og tørr fraksjon av biorest og leverer avvannet biorest. Ifølge Bøen (2006, gjengitt i Hvitsand og Kleppe (2011)) vil 18 % av fosforet, 63 % av kaliumet og 41 % av nitrogenet følge flytende fraksjon. Det vil si at 82 % av fosforet, 37 % av kaliumet og 59 % av nitrogenet vil bli værende i den faste fraksjonen. Ved å unngå å skille på tørr og våt fraksjon vil man derfor få høyere

næringsinnhold i bioresten. Samtidig inneholder biorest mye vann som ikke har noen nytte og kun bidrar til volum. Dette er også en viktig faktor å tenke på, da det også er kostbart å frakte unødvendig mengder med vann.

Ved gjennomgang av resultatene viser det seg at forutsetningene for scenarioene med fordel kunne vært definert noe annerledes. Å ekskludere produksjonen av biogass fra FARA-anlegget i scenario S2.1, S2.2 og S2.3 gjør at den reelle klimagevinsten ikke kommer tydelig nok frem. Scenario S2 er det eneste scenarioet hvor FARA-anlegget er tatt med, og kapasiteten for biogassproduksjonen er økt. Dette er derfor det eneste scenarioet som viser reell biogassproduksjon i 2030. Begrunnelsen for hvorfor scenarioene ble definert på denne måten er at i de tre delscenarioene er det bioresten som står i fokus, og ikke biogassproduksjonen. Likevel kunne FARA-anlegget vært inkludert for å gi mer helhetlige analyser av biogassproduksjonen for FREVAR.

Som nevnt tidligere i oppgaven er husdyrgjødselen en viktig ressurs for bonden. Nærings sammensetningen i bioresten bonden får tilbake er derfor avgjørende for hvor mye mineralgjødsel bonden trenger i tillegg. Tabell 16 viste mengde av de ulike næringsstoffene fordelt på de analyserte scenarioene. I disse beregningene er det lagt til grunn verdier fra forskningsrapporter. I rapporten «Næringsinnhold i husdyrgjødsel» av Daugstad et al. (2012) er det usikkert om tørrstoffinnholdet er hensyntatt for de ulike næringsverdiene. Dette gjør at det er noe usikkerhet knyttet til disse mengdene. Ved å sammenligne næringsinnholdet som ble beregnet for S1, med slamdeklarasjonen fra FREVAR, viser det seg at mengdene for amm-N er nokså sammenlignbare. Slamdeklarasjonen, for januar 2022 (vedlegg 11.1) viser verdiene 3,7 kg / tonn TS av amm-N, 21,0 kg / tonn TS av total-fosfor og 2,6 kg / tonn TS av total-kalium. For å kontrollere dette kan verdiene for N, P, K fra Tabell 16 beregnes ved å dele total mengde nitrogen på total mengde substrat. Dette gir tonn N per tonn TS. Deretter multipliseres denne verdien med 1000 for å få kg N per tonn TS. Beregningene viser da at S1, som er dagens biogassproduksjon, gir verdiene 2,7 kg N / tonn TS, 1,3 kg P / tonn TS og 1,3 kg K / tonn TS. Den største forskjellen mellom slamdeklarasjonen og S1 vises i fosfor-verdien, hvor det er en differanse på nesten 20 kg. En mulig forklaring kan være at fosfor-verdien som benyttes for utregningene og verdien som er deklarerert ikke er samme fosfor-verdi. Når det gjelder næringsstoffer skilles det ofte på *plantetilgjengelig* og *ikke-plantetilgjengelig* verdi. I slamdeklarasjonen er ikke «plantetilgjengelig» kalium deklarerert. Likevel er det usannsynlig at differansen er så stor. Dette bør undersøkes nærmere ved å ta prøver slammet som viser både plantetilgjengelig og ikke-plantetilgjengelig verdier.

Tilgjengelig substrat fra husdyrgjødsel fra storfe utgjør 5 000 tonn TS, husdyrgjødsel fra svin utgjør 14 tusen tonn og husdyrgjødsel fra fjørfe utgjør 971 tonn TS. Til sammen utgjør dette i overkant av 20 tusen tonn TS tilgjengelig kun fra husdyrproduksjonene innenfor en radius på

30 km. Husdyrgjødsel er rik på næringsstoffer som er viktig for livet i jorda, og for at planter skal vokse. Ved å benytte husdyrgjødsel reduserer bonden behovet for å kjøpe mineralgjødsel. Dette gir både økonomiske og miljømessige besparelser. Husdyrgjødsel er derfor en viktig ressurs for bonden.

Å forsikre bonden som leverer husdyrgjødsel til biogassproduksjon at han får et likeverdig produkt tilbake er vesentlig. Dette gjøres for eksempel ved å dokumentere næringsinnholdet i slammet gjennom slamdeklarasjon. Selv om det i denne oppgaven er kartlagt tilgjengelig mengde husdyrgjødsel, må det i tillegg etableres dialog med bøndene om mottak av husdyrgjødsel, og leveranse av biogjødsel tilbake. Hvilke næringsverdier som er mest gunstig for bøndene i området avhenger av jordkvalitet. Ved å kartlegge næringsinnholdet i jorda kan dette gi et bedre beslutningsgrunnlag for FREVAR med hensyn på mengde av de ulike typene husdyrgjødsel for å få en biorest som har stor verdi for bonden.

Det er knyttet noe usikkerhet rundt kartlagt mengde matavfall fra husholdningene i Fredrikstad og de tilgrensende kommunene. Disse estimatene har ikke hensyntatt at det er en målsetting om å redusere matsvinnet i Norge. Det kan derfor være stor usikkerhet rundt de estimerte mengdene matavfall fra husholdningene. I videre arbeid bør det kartlegges potensialet for å samle inn matavfall fra næringsbedrifter i kommunen. Det er trolig et stort potensial for å utnytte matavfall fra både bakerier, sykehjem, skoler og barnehager, arbeidsplasser osv. til biogassproduksjon i framtiden.

8.2 LCA SOM METODE I OPPGAVEN

Livssyklusanalyse (LCA) er en systematisk metode for å vurdere miljøpåvirkningen til et produkt gjennom hele livssyklusen, fra råvareutvinning til avfallshåndtering. En LCA gir et helhetlig bilde av klimapåvirkningen og gjør det enkelt å identifisere kildene til miljøpåvirkningen i de ulike trinnene i livsløpet. På denne måten kan man få beslutningsgrunnlag til å gjøre endringer i produksjonsprosessen for å minske klimapåvirkningen. Ofte benyttes LCA som et verktøy for beslutningstagning. Likevel kan man ikke stole hundre prosent på resultatene fra en LCA. Usikkerhet rundt datakvalitet, forutsetninger og metodevalg må alltid tas i betraktning. Innhenting av data for beregninger er komplekst og krever tid, ressurser og ekspertise for at resultatene skal bli så nøyaktig som mulig. En annen ulempe med metoden er at beregninger og gjennomføring av en LCA kan inkludere og ekskludere ulike deler av produksjonen avhengig av hvor systemgrensen settes. Sammenligning av resultater må derfor gjøres med forsiktighet.

I denne oppgaven er databasen Ecoinvent benyttet, sammen med metode ReCiPe 2016 Midpoint. Ecoinvent er en omfattende database som inneholder informasjon om material- og

energiflyt i produksjonsprosesser. I databasen finnes det datasett for materialer, transport, utslipp til luft, utslipp til vann og avfallsgenerering. Metoden ReCiPe 2016 brukes for karakterisering av miljøpåvirkninger. I denne oppgaven brukes midpoint-tilnærmingen som fokuserer på å karakterisere mellomliggende effekter av ulike typer miljøpåvirkninger, for eksempel forurensning av luft, vann og jord, ressursforbruk, og effekter på menneskers helse og økosystemer. Midpoint-tilnærmingen brukes ofte til å kvantifisere og sammenligne miljøpåvirkningene av ulike produkter, tjenester eller prosesser gjennom deres livssyklus, og det er en viktig metode for å vurdere bærekraften til disse elementene. Derfor er denne tilnærmingen valgt for denne oppgaven.

Modellen Bio Value Chain er utviklet for å standardisere LCA-beregning for hele verdikjeden til biogassproduksjon. Dette er en godt utviklet og anerkjent modell som er med på å gi kvalitet til analyseresultatene. Modellen ivaretar alle livsløpsfasene i en biogassproduksjon og er utviklet for substratene matavfall, storfegjødsel, svinegjødsel og fjørfegjødsel. Modellen er fleksibel og kan tilpasses produksjonen for hvert enkelt anlegg. I modellen velges parametere som er satt sammen på bakgrunn av Ecoinvent. For denne oppgaven er systemgrensen satt til å inkludere transport av substrater, frem til endt biogassproduksjon og avvanningsprosess for biorest. Transport av biorest fra FREVAR til forbruker ble ikke inkludert i denne analysen. Grunnen til dette er at FREVAR ikke har kontroll på hvilke sluttforbrukere som mottar bioresten fra distributør. Transport av biogass på flak er heller ikke inkludert fordi det er stor usikkerhet knyttet til avstandene etter at gassen transportert fra FREVAR. Dette kunne med fordel ha blitt undersøkt for å gi et mer helhetlig resultat av hele verdikjeden til biogassproduksjonen.

Som nevnt har modellen en database for parametere tilpasset de ulike substratene i de ulike livsløpsfasene. En feilkilde i analysene kan være at ikke alle relevante parametere har blitt inkludert i analysen, eller at det er blitt inkludert for mange parametere. Modellen har ikke parametere utviklet for avløpsvann. I analysen er det tatt utgangspunkt i matavfall, og justert verdier i forhold til hva som er funnet av litteratur for avløpsvann. Derfor er det stor usikkerhet rundt resultatene for dette substratet i analysen.

9 KONKLUSJON

Formålet med denne studien har vært å kartlegge potensielle kilder til substrat, samt benytte disse opplysningene for å analysere potensielle klimaeffekter ved å utnytte disse substratene i biogassproduksjon. Videre har formålet vært å undersøke hvilken effekt ulik sammensetning av substrater kan ha på N-P-K-verdiene i bioresten.

Innenfor relevant avstand til FREVAR fordeles substratene på matavfall fra husholdningene, storfe gjødsel, gjødsel fra svin og gjødsel fra fjørfe. Estimert tilgjengelig matavfall fra kommunene er 4 232 tonn TS i 2023 og 4 417 tonn TS i 2030. Estimert tilgjengelig husdyrgjødsel er 20 380 tonn TS. Det forventes at omtrent samme mengde er tilgjengelig i 2030 også. Avløpsslam er også ansett som substrat og utgjør 3 646 tonn TS i 2023 og 3 809 tonn TS i 2030.

Utvidelse av tilgjengelig substrat kan påvirke FREVAR sin produksjon mot 2030. Dersom FREVAR benytter ett av scenarioene hvor husdyrgjødsel benyttes som substrat (S2.1 og S2.2) vil dette gi høyest klimagevinst. S1 (dagens produksjon) sammenlignet med S2.1 vil gi en netto klimagevinst på 2 550 tonn CO₂-ekv. årlig. S2.1 sammenlignet med S1 vil gi en netto klimagevinst på 2 191 tonn CO₂-ekv. årlig. S1 sammenlignet med S2 (med utvidet kapasitet) vil gi en netto årlig klimagevinst på 626 tonn CO₂-ekv. S1 sammenlignet med S2.3 vil gi høyere klimagassutslipp enn dagens produksjon og vil øke klimabelastningen med 1 211 tonn CO₂-ekv. årlig mot dagens klimagassutslipp.

Ulik sammensetning av substrat kan påvirke N-P-K-verdiene fra de to biogassanleggene. N-P-K-verdiene er beregnet for hvert av scenarioene og viser at S2 er det scenarioet med mest næringsrikt substrat, dernest S1. Scenario S2.2 og S2.3 har nesten identisk totalt næringsinnhold, men andel N-P-K er fordelt ulikt. S2.1 er det scenarioet som gir mest næringsfattig biorest.

For FREVAR kan jeg anbefale å undersøke scenarioene hvor husdyrgjødsel benyttes som substrat nærmere. I denne oppgaven viser disse scenarioene høyest klimanytte, samtidig som de gir god sammensetning av næringsstoffer i bioresten.

10 REFERANSELISTE

- Arnøy, S., Møller, H., Saur Modahl, I., Sørby, I. & Hanssen, O. J. (2013). *Biogassproduksjon i Østfold. Analyse av klimanytte og økonomi i et verdikjedeperspektiv*. Oppdragsrapport. Tilgjengelig fra: https://norsus.no/wp-content/uploads/or0113-biogassproduksjon-i-oestfold_analyse-av-klimanytte-og-oekonomi.pdf (lest 07.04.2024).
- Biogass Norge. (2024). *Verdikjeden*. Biogass Norge. Tilgjengelig fra: <https://biogassnorge.no/fakta-om-biogass/verdikjeden/> (lest 01.04.2024).
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., et al. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for policymakers*. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Tilgjengelig fra: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (lest 04.03.2024).
- Curran, M. A. (2015). *Life Cycle Assessment Student Handbook*. Canada: Wiley.
- Daugstad, K., Kristoffersen, A. Ø. & Nesheim, L. (2012). *Næringsinnhold i husdyrgjødsel. Analyser av husdyrgjødsel frå storfe, sau, svin og fjørfe 2006-2011*. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2447504/Bioforsk-Rapport-2012-07-24.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (lest 04.03.2024).
- Dietrich, M., Fongen, M. & Foereid, B. (2021). Anaerobic digestion affecting nitrous oxide and methane emissions from the composting process. *Bioresource Technology Reports*, 15: 100752. doi: 10.1016/j.biteb.2021.100752.
- Eidsbråten, C. j. (2018). *Biogasspotensialet i Østfold. Forstudie om tilgangen på husdyrgjødsel og organisk næringsavfall for biogassproduksjon i Østfold fylkeskommune*. Tilgjengelig fra: <https://biogassoslofjord.no/dokument/biogasspotensialet-i-ostfold/> (lest 07.04.2024).
- Europakommisjonen. (2023). *Bioenergy report outlines progress being made across the EU*: European Commission. Tilgjengelig fra: https://energy.ec.europa.eu/news/bioenergy-report-outlines-progress-being-made-across-eu-2023-10-27_en (lest 23.04.2024).
- Falk Øgaard, A., Sveistrup, T. & Knapp Haraldsen, T. (2021). *Avløpslam til jordbruksarealer - Resultater fra fem flerårige feltforsøk*. Tilgjengelig fra: https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2771480/NIBIO_RAPPORT_2021_7_151.pdf?sequence=1&isAllowed=y (lest 27.04.2024).
- FN. (2024). *The Paris Agreement*. United Nations: United Nations. Tilgjengelig fra: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> (lest 04.03.2024).
- Forbord, M. & Hansen, L. (2020). Enacting sustainable transitions: A case of biogas production and public transport in Trøndelag, Norway. *Journal of Cleaner Production*, 254: 120156. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120156.
- Fredrikstad kommune. (2019). *Kommunedelplan for klima 2019-2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.fredrikstad.kommune.no/globalassets/dokumenter/kmb/barekraftig-samfunn/kommunedelplan-for-klima-2019-2030.pdf> (lest 08.02.2024).
- Fredrikstad kommune. (2024). *Matavfall*. Tilgjengelig fra: <https://www.fredrikstad.kommune.no/tjenester/avfall-gjenvinning/kildesortering/matavfall/> (lest 05.03.2024).

- FREVAR. (2022). *Industriell symbiose på Øra, Fredrikstad*. FREVAR KF. Tilgjengelig fra: <https://frevar.no/industriell-symbiose-pa-ora-fredrikstad/> (lest 07.02.2024).
- Grønmo, S. (2023). kvalitativ metode. I. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kvalitativ_metode (lest 03.04.2024).
- Hanssen, O. J., Helmen, G., Kristiansen, T., Lyng, K., Nereng, G. & Solberg, C. (2024). *Potensialet for økt produksjon og anvendelse av biogass i Nedre Glomma-regionen/Øra*. Upublisert manuskript.
- Hvitsand, C. & Kleppe, B. (2011). *Avsetning av biorest til landbruket. Praksis og erfaringer fra Sverige og oppstart av samhandlingsprosesser ved norske biogassanlegg*. Tilgjengelig fra: <https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/bitstream/handle/11250/2439907/1924.pdf?sequence=2> (lest 07.04.2024).
- IEA Bioenergy. (2022). *IEA Bioenergy Task 37 – A perspective on the state of the biogas industry from selected member countries*. IEA Bioenergy Task 37. Tilgjengelig fra: https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/IEA_T37_CountryReportSummary_2021.pdf (lest 04.03.2024).
- Isakova, I., Voss, K., Vandenbussche, V. & Morken, J. (2019). *Ressursgrunnlaget for produksjon av biogass i Norge i 2030: Carbon Limits*. Tilgjengelig fra: https://assets-global.website-files.com/63e3b74820155d49e193aa74/647b4d53717039c718f88ef4_Rapport-biogasspotensial.pdf (lest 07.04.2024).
- Jerve, T. (2024). *Biogass fra Frevar* (e-post til Ida Lund 13.05.2024).
- Klima- og forurensningsdirektoratet. (2013). *Underlagsmateriale til tverrsektoriell biogassstrategi*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/3020/ta3020.pdf> (lest 27.04.2024).
- Klima- og miljødepartementet. (2014). *Nasjonal tverrsektoriell biogasstrategi*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/255fa489d18d46feb3f8237bc5c096fo/t-1545.pdf> (lest 27.04.2024).
- Klima- og miljødepartementet. (2023). *Regjeringas klimastatus og -plan*. Plan. Regjeringa.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/nm/dokumenter/regjeringas-klimastatus-og-plan/id2997247/> (lest 26.02.2024).
- Klimaloven. (2017). *Lov om klimamål*. LOV 2017-06-16 nr 60 utg.: Lovata. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60> (lest 04.03.2024).
- Kristiansen, A. (2022). *Avlingspotensial ved bruk av biorest*. Norsk Landbruksrådgiving. Tilgjengelig fra: <https://www.nlr.no/fagartikler/nord/avlingspotensial-ved-bruk-av-biorest%20https://www.nlr.no/fagartikler/bioenergi/nord/avlingspotensial-ved-bruk-av-biorest> (lest 07.04.2024).
- Landbruksdirektoratet. (2022). *Produksjons- og avløsertilskudd til jordbruksforetak – søknadsomgang 2022*. I: datakatalog, F. (red.). Felles datakatalog. Tilgjengelig fra: <https://data.norge.no/datasets/dbc737ff-57dd-38c4-a857-4e98433cb0d5> (lest 07.03.2024).
- Landbruksdirektoratet. (2024). *Utslipp til luft*. Landbruksdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/statistikk-og-utviklingstrekk/miljostatistikk/utslipp-til-luft> (lest 07.03.2024).

- Lyng, K.-A., Modahl, I. S., Møller, H., Morken, J., Briseid, T. & Hanssen, O. J. (2015). *The BioValueChain model: a Norwegian model for calculating environmental impacts of biogas value chains*. The International Journal of Life Cycle Assessment, b. 20. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0851-5>. doi: 10.1007/s11367-015-0851-5 (lest 07.04.2024).
- Lyng, K.-A. & Saxegård, S. (2020). *Livsløpsvurdering av produktene og tjenestene til Den Magiske Fabrikken Avfalls- og gjødselhåndtering, biodrivstoff, biogjødsel og bio-CO₂*. Oppdragsrapport. Tilgjengelig fra: <https://norsus.no/wp-content/uploads/OR-23.20-Livsløpsvurdering-av-produktene-og-tjenestene-til-Den-Magiske-Fabrikken.pdf> (lest 27.04.2024).
- Lyng, K.-A. & Berntsen, I. C. (2023). *Mulighetsrommet for produksjon av biogass i Norge*. Oppdragsrapport. Tilgjengelig fra: <https://norsus.no/wp-content/uploads/OR-06.23-Mulighetsrommet-for-produksjon-av-biogass-i-Norge.pdf> (lest 04.02.2024).
- Låkne, A. F., Ø.Berg, H., Melbye, A. M., Helland, L. & Eikum Solberg, F. (2016). *Markedsrapport. Biogass i Oslofjordregionen*. Tilgjengelig fra: <https://www.biogas2020.se/wp-content/uploads/2016/05/markedsrapport-biogass-oslofjordregionen-rambll-endelig-003.pdf> (lest 27.04.2024).
- Miljødirektoratet. (2022). *Biogass i Skandinavia – En sammenligning og gjennomgang av virkemidler*. Oppdragsrapport. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2022/mai/biogass-i-skandinavia-en-sammenligning-og-gjennomgang-av-virkemidler/> (lest 01.03.2024).
- Miljødirektoratet. (2023a). *Sirkulær økonomi*. Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (lest 05.03.2024).
- Miljødirektoratet. (2023b). *Utslipp av klimagasser i Norges kommuner og fylker - Miljødirektoratet*. Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/?area=571§or=-2> (lest 21.02.2024).
- Modahl, I. S., Lyng, K.-A., Stensgård, A., Saxegård, S. A., Jørgen, O., Møller, H., Arnøy, S. & Morken, J. (2016). *Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe*. Tilgjengelig fra: <https://norsus.no/wp-content/uploads/or-3416-bvc-biogassmodell-fase-iv-2016-versjon-3-aapen.pdf> (lest 01.03.2024).
- Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K.-A. & Kvande, I. (2017). *Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift. - Revidert utgave*. Tilgjengelig fra: https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2600069/REALTEK_rapport56.pdf?sequence=5&isAllowed=y (lest 05.02.2024).
- Møller, H. B., Sørensen, P., Olesen, J. E., Petersen, S. O., Nyord, T. & Sommer, S. G. (2022). *Agricultural Biogas Production—Climate and Environmental Impacts*. *Sustainability*, 14 (3): 1849. doi: 10.3390/su14031849.
- NIBIO. (2017). *Biorest*. Biorest. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/jord/organisk-avfall-som-gjodsel/biorest> (lest 05.03.2024).
- NIBIO. (2024). *Historisk tabell over næringsinnhold*. Nibio. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/jord/gjodslingshandbok/husdyrgjodsel/3.historisk-tabell-over-naeringsinnhold> (lest 05.05.2024).
- Norges Bondelag. (2011). *Fakta om Biogass. Norsk kulturlandskap - det nye gassfeltet*. Tilgjengelig fra: <https://www.bondelaget.no/getfile.php/13123523->

- [1372659898/MMA/Nettbutikk/Kunnskapsmaterieell/Biogass%20fakta.pdf](https://www.regjeringen.no/MMA/Nettbutikk/Kunnskapsmaterieell/Biogass%20fakta.pdf) (lest 02.02.2024).
- Norges Bondelag. (2020). *Landbrukets klimaplan*. Landbrukets klimaplan. Tilgjengelig fra: <https://www.bondelaget.no/bondelaget-mener/miljo-og-klima/klima/landbrukets-klimaplan-pdf/> (lest 04.03.2024).
- Norwaste. (2024). *Bransjestatistikk biogass*. Tilgjengelig fra: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2MzMjJkYTETNGU1NyooZmIzLTkxYTktNTYoYjQ4MWZkNTk2IiwidCI6IjU2NjNkNmEyLWM2NGYtNGVhZio5YjhjLWVmM2Y5NTkwYWU2NyJ9&pageName=ReportSection> (lest 27.03.2024).
- Raadal, H. L., Schakenda, V. & Morken, J. (2008). *Potensialstudie for biogass i Norge*. Oppdragsrapport. Tilgjengelig fra: <https://norsus.no/wp-content/uploads/OR-06.23-Mulighetsrommet-for-produksjon-av-biogass-i-Norge.pdf> (lest 05.04.2024).
- Råheim, A. (2022). «Fosforkrisen», kan den løses? Tilgjengelig fra: <https://geo365.no/fosforkrisen-kan-den-loses/> (lest 07.02.2024).
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F. & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129: 457-472. doi: 10.1016/j.renene.2018.03.006.
- Sogn, T. A., Dragicevic, I., Linjordet, R., Krogstad, T., Eijsink, V. G. H. & Eich-Greatorex, S. (2018). Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching. 49-58.
- St.meld. nr. 39 (2008–2009). (2009). *Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen*. Oslo,: Landbruks- og matdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/stmeld-nr-39-2008-2009-/id563671/> (lest 04.03.2024).
- Statistisk sentralbyrå. (2023a). *Klimagassutslippene gikk ned i 2022*. Statistikk. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft/artikler/klimagassutslippene-gikk-ned-i-2022> (lest 04.03.2024).
- Statistisk sentralbyrå. (2023b). *Mindre avfall behandla i Noreg*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfallshandtering-ved-avfallsanlegg/artikler/mindre-avfall-behandla-i-noreg> (lest 16.02.2024).
- Statistisk sentralbyrå. (2024a). *06913: Befolkning og endringer, etter region, statistikkvariabel og år*. I: Statistikkbanken (red.). *Befolkning*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/06913/tableViewLayout1/> (lest 04.03.2024).
- Statistisk sentralbyrå. (2024b). *13600: Framskrevet folkemengde 1. januar, etter region, statistikkvariabel og år*. I: Statistikkbanken (red.). *Regionale befolkningsframskrivninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/13600/tableViewLayout1/> (lest 04.03.2024).
- Statsforvalteren i Oslo og Viken. (2022). *Tilbakemelding på egenkontrollrapportering for avløpssektoren for rapporteringsåret 2021 - Fredrikstad kommune*. Statsforvalteren i Oslo og Viken. Tilgjengelig fra: <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-oslo-og-viken/miljo-og-klima/egenkotrollrapportering--avlop/fredrikstad-kommune.pdf>.
- Særskilt vedlegg til Prop. 1 S (2023-2024). (2023). *Regjeringas klimastatus og -plan: Klima og miljødepartementet*.
- Treichel, H. & Fongaro, G. (2019). *Improving Biogas Production. Technological Challenges, Alternative Sources, Future Developments*. Vol. 9 utg. Springer Link: Springer. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-10516-7> (lest 14.03.2024).
- Ullah Khan, I., Hafiz Dzarfan Othman, M., Hashim, H., Matsuura, T., Ismail, A. F., Rezaei-DashtArzhandi, M. & Wan Azelee, I. (2017). Biogas as a renewable energy fuel – A

- review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management*, 150: 277-294. doi: 10.1016/j.enconman.2017.08.035.
- Yara. (2017). *Mineralgjødelse og klimaavtrykk | Yara Norge*. Yara. Tilgjengelig fra: <https://pre.yara.no/gjoedse/klime-og-miljo/mineralgjodse-og-klimeavtrykk/> (lest 01.05.2024).
- Ålund, I., Gentile, V., Morken, J. & Aulstad Sogn, T. (2021). *Behandling og disponering av avløpslam og annet organisk avfall i Norge*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2021/desember-2021/behandling-og-disponering-av-avlopslam-og-annet-organisk-avfall-i-norge/> (lest 07.04.2024).

11 VEDLEGG

11.1 UTDRAG FRA SLAMDEKLARASJON

Januar, 2022

Varetype: A.13 Biomasse anaerobt stabilisert		Kvalitetsklasse: 2	
Bruksområde: Råvare jordforbedringsmiddel		Hygieniseringsmetode: Pasteurisering	
Sammensetning: 100% avløpsslam		Stabiliseringsmetode: Anaerob termofil stabilisering	

Fysiske og kjemiske egenskaper	Benevning	Resultat	Ref/metode
Totalt tørrstoff	%	25,40	NS 4764
Organisk materiale	% av TS	52	NS 4764
pH	pH	7,8	NS 4720
Elektrisk konduktivitet	mS/m		ISO 7888
Næringstoffer "Total innhold"			
Fosfor	g/100 g TS	2,10	NS-EN ISO 11885 (HNO3 Oppsluttet)
Nitrogen (13654-1)	g/100 g TS	3,50	NS-EN 13654-1 m
Jern	g/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Aluminium	g/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Kalsium	g/100 g TS	1,70	NS-EN ISO 11885
Kallium	g/100 g TS	0,26	
Micronæringstoffer "Av betydning for plantevekst"			
Bor	mg/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Mangan	mg/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Næringsstoffer "Av betydning for plantevekst"			
Ammonium-N (NH4) (elektrode)	g/100g TS	0,37	In house method
Nitrat-N (NO3) (IC)	g/100g TS	-	In house method
Fosfor (P-AL)	g/100g TS		SS 028310 + T1
Kalium (K-AL)	g/100g TS		SS 028310 + T1
Kalsium (Ca-AL)	g/100g TS		SS 028310 + T1
Magnesium (Mg-AL)	g/100g TS	-	SS 028310 + T1
Natrium (Na-AL)	g/100g TS	-	SS 028310 + T1
Svovel	mg/kg TS	-	NS-EN ISO 11885

Mars, 2022

Varetype: A.13 Biomasse anaerobt stabilisert		Kvalitetsklasse: 1	
Bruksområde: Råvare jordforbedringsmiddel		Hygieniseringsmetode: Pasteurisering	
Sammensetning: 100% avløpsslam		Stabiliseringsmetode: Anaerob termofil stabilisering	
Fysiske og kjemiske egenskaper	Benevning	Resultat	Ref/metode
Totalt tørrstoff	%	24,80	NS 4764
Organisk materiale	% av TS	52	NS 4764
pH	pH	8,2	NS 4720
Elektrisk konduktivitet	mS/m		ISO 7888
Næringsstoffer "Total innhold"			
Fosfor	g/100 g TS	2,20	NS-EN ISO 11885 (HNO3 Oppsluttet)
Nitrogen (13654-1)	g/100 g TS	4,00	NS-EN 13654-1 m
Jern	g/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Aluminium	g/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Kalsium	g/100 g TS	2,30	NS-EN ISO 11885
Kalium	g/100 g TS	0,31	
Micronæringsstoffer "Av betydning for plantevekst"			
Bor	mg/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Mangan	mg/kg TS	-	NS-EN ISO 11885
Næringsstoffer "Av betydning for plantevekst"			
Ammonium-N (NH4) (elektrode)	g/100g TS	0,34	In house method
Nitrat-N (NO3) (IC)	g/100g TS	-	In house method
Fosfor (P-AL)	g/100g TS		SS 028310 + T1
Kalium (K-AL)	g/100g TS		SS 028310 + T1
Kalsium (Ca-AL)	g/100g TS		SS 028310 + T1
Magnesium (Mg-AL)	g/100g TS	-	SS 028310 + T1
Natrium (Na-AL)	g/100g TS	-	SS 028310 + T1
Svovel	mg/kg TS	-	NS-EN ISO 11885



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway