

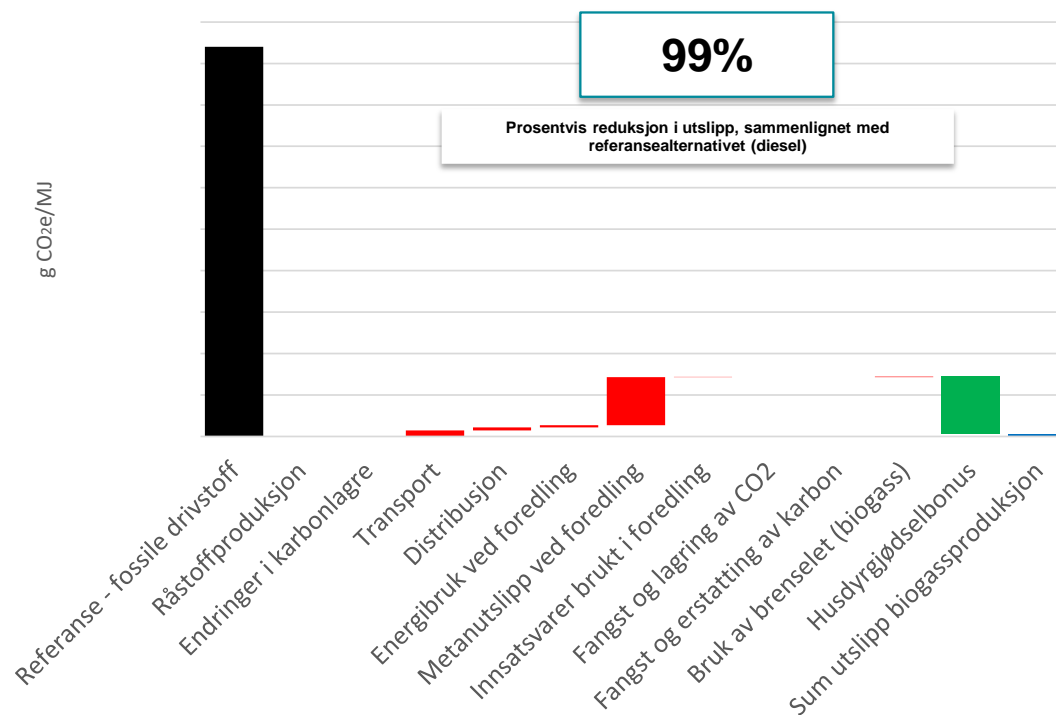
Verktøy for beregning av klimaeffekten ved produksjon og bruk av biogass og bioest

1. Introduksjon

1.1. Bakgrunn – bransjenorm for biogass og EUs fornybardirektiv

I 2019 utviklet Carbon Limits det excel-baserte verktøyet [bransjenorm](#) for dokumentasjon av klimanytten av biogass på oppdrag fra Avfall Norge og med medvirkning fra Miljødirektoratet. Om hensikten med normen (fra Avfall Norge sine nettsider): «Å tydeliggjøre bærekraften i norsk biogass basert på en transparent og akseptert beregning av reell klimanytte, slik at markedet kan gjøre kvalifiserte valg på drivstoff-teknologi. (...) Bakteppet var at biogassens bærekraft og klimanytte ikke alltid verdsettes eller blir vektlagt i anskaffelser av transporttjenester.» Normen er utarbeidet basert på metoden i EUs bærekraftskriterier, EU RED II (2018).

Resultatene av klimaeffekten av en spesifikk biogass-verdikjede er sammenlignet med en fossil referanse (diesel). Det er totale klimagassutslipp (eller utslippsreduksjoner) fra biogassproduksjonen som presenteres, i gram CO_{2e}/MJ og i prosent utslippsreduksjon sammenlignet med den fossile drivstoffreferansen (se illustrasjon under). Figur 1 viser hvordan resultater presenteres i verktøyet, der det presenteres utslipp fra alle deler av verdikjeden.



Figur 1 Resultater fra analysen i bransjenorm

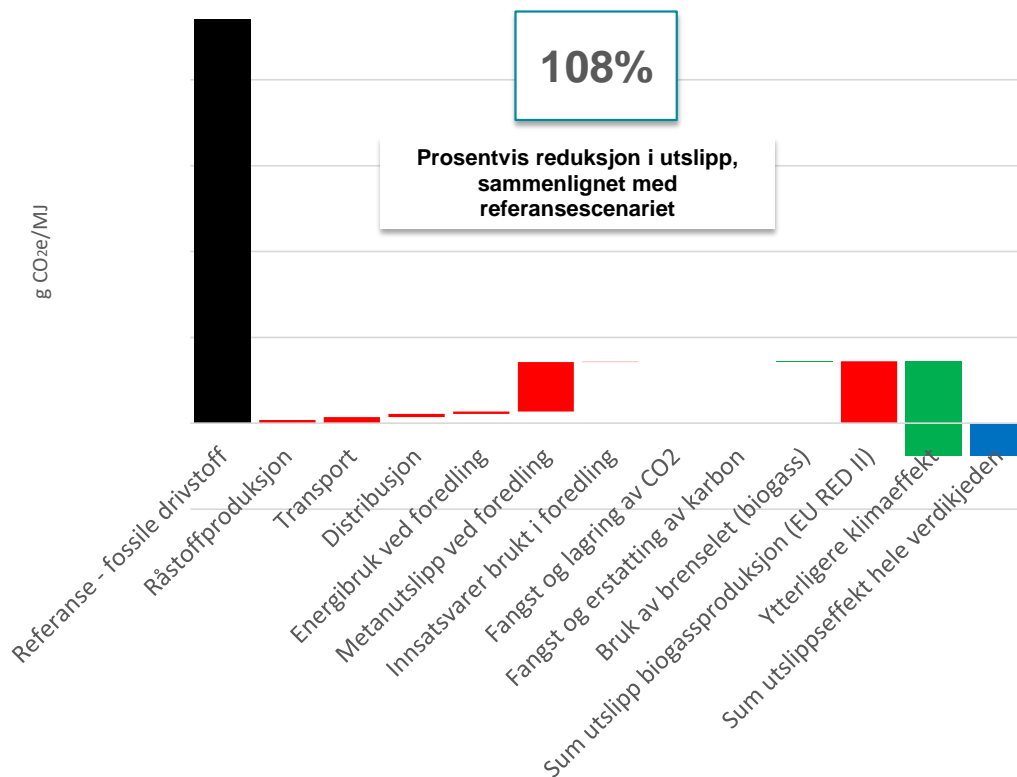
1.2. Biogjødselmodulens formål

Det er imidlertid flere effekter med gevinst for klima av biogassproduksjon enn dem som fanges opp i RED II-metoden (som har strengt definerte systemgrenser). Effekter knyttet til produksjon og bruk av biogjødsel som erstatter kunstgjødsel/jordprodukter i landbruket er et slikt område. I tillegg er den

alternative avhendingen av avfall med tilhørende utslipp/utslippsreduksjoner ikke fanget opp av dagens bransjenorm-estimat (og eksisterende EU-metodikk).

Biogjødsel er et område som ofte omtales som en kilde til utslippsreduksjoner, ofte av bransjen selv.¹ Beregninger av effekten omtales, men kvantifiseres ofte ikke, og antagelig skyldes dette manglende faglig konsensus til metode på området.

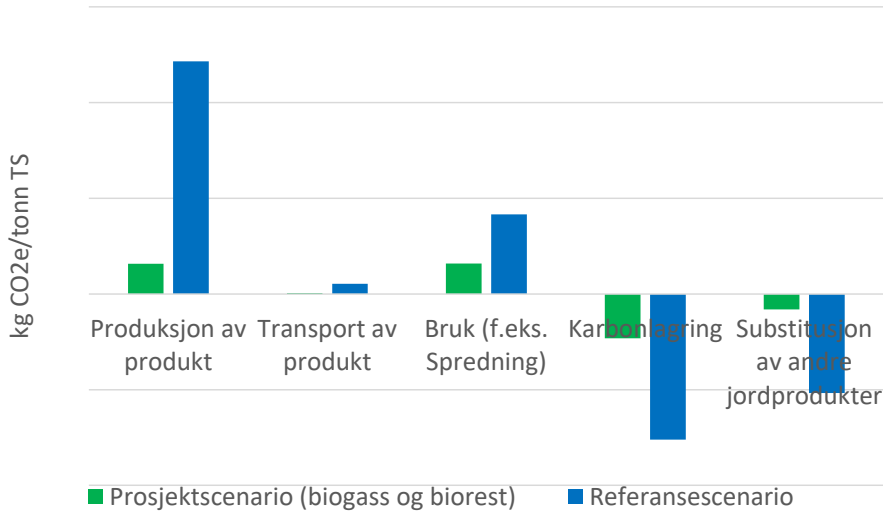
Carbon Limits har mottatt midler fra Landbruksdirektoratets Klima- og miljøprogram (med tilskudd også fra Miljødirektoratet) til å utvikle en metode for å kvantifisere disse øvrige effektene, basert på det eksisterende faglige grunnlaget som finnes på området. Det faglige grunnlaget spenner vidt, fra karbonlagring i jord til kunnskap om utslipp av ulike klimagasser fra ulike gjødsellagere og ulike gjødseltyper. Basert på det faglige grunnlaget skulle vi utvikle en separat modul til verktøyet, som kan komplementere EU RED II-analysen (den opprinnelige bransjenormen). Prosjektteamet i Carbon Limits har jobbet sammen med eksperter på relevante fagområder fra NIBIO (Tormod Briseid) og NMBU (John Morken). I tillegg har vi konsultert potensielt berørte aktører og andre eksperter på relevante fagområder, for å kunne lage en modul som i størst mulig grad reflekterer norske forhold. Figur 2 og Figur 3 viser eksempler på resultater med bruk av nytt verktøy. Figur 2 viser utslipp fra en hel biogass- og biorestproduksjonskjede. Den nest siste søylen er de ytterligere klimaeffektene, og det er disse som kvantifiseres med det nye verktøyet.



Figur 2 Resultater fra analysen med nytt verktøy – totalutslipp fra verdikjeden

Figur 3 viser utslipp per trinn i verdikjeden, både for prosjekalterantivet, som er biogass og biorest (grønne søyler) og for referansealternativet (blå søyler). I de neste avsnittene kommer vi nærmere inn på hva disse referansealternativene er.

¹ <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/biogass-verdifullt-effektivt-og-kliman%C3%B8ytralt>

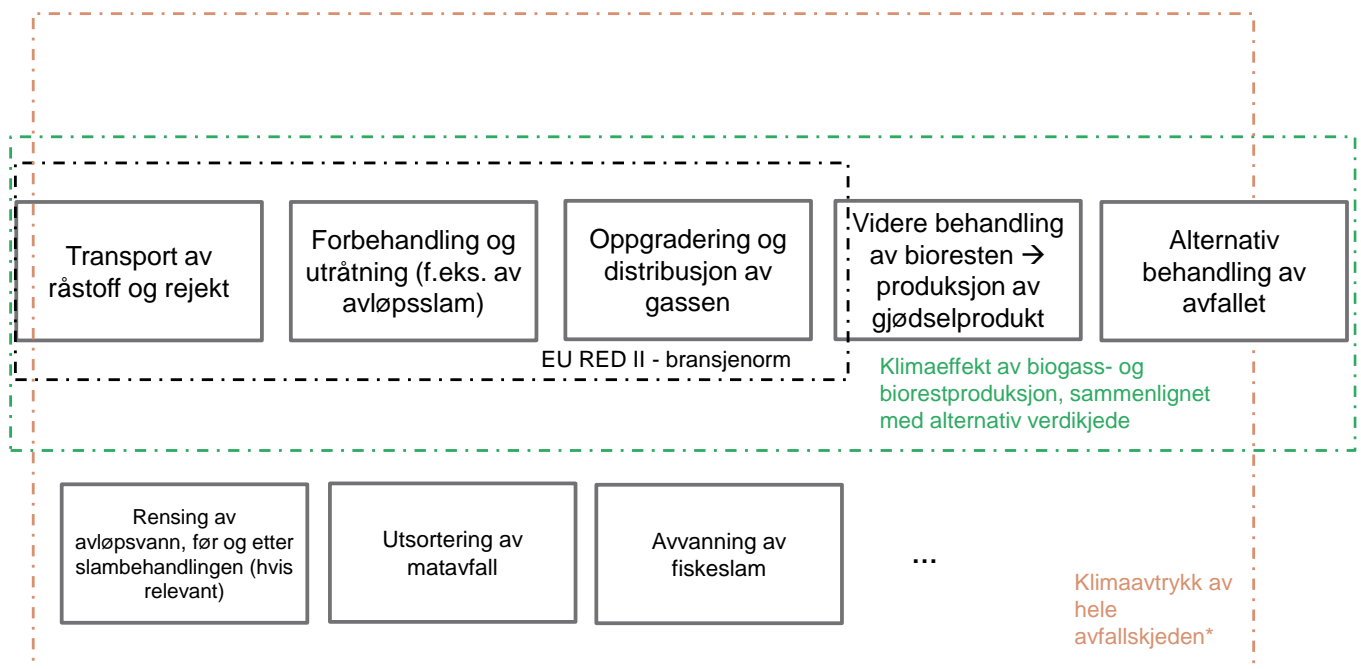


Figur 3 Resultater fra analysen med nytt verktøy – klimaeffekt av å behandle avfall i prosjektscenarioet (biogass + biorest) sammenlignet med referansescenarioet

Det er to hovedspørsmål vi svarer på ved hjelp av den nye modulen:

1. Hva ville skjedd med hvert råstoff dersom biogass ikke ble produsert – og hva er klimaeffekten av denne alternative avfallskjeden, relativt til verdikjeden for produksjon av biogass og biorest?
2. Hva er det biogjødsels fortrenger i landbruket – og hva er klimaeffekten av dette?

Dersom verktøyet utvides til å kvantifisere klimaeffekten av spørsmålene over, kan vi si at det nye verktøyet utvider systemgrensene til det opprinnelige rammeverket fra EU RED II som lå til grunn. Systemgrenser for ulike analyser er vist i Figur 4. Merk at verktøyet fortsatt tillater å gjøre analyser kun basert på EU RED II sitt rammeverk.



*Effektene i boksene utenfor den grønne boksen er ikke hensyntatt i arbeidet med den nye modulen da vi anser at disse stegene ville skjedd uavhengig av om avhendingen av råstoffet er biogass eller alternativet for disse tre råstoffene, som er kompost

Figur 4 Systemgrenser for ulike analyser

De er tre mulige referansealternativer som ble vurdert som de mest relevante avhendingsmetodene av de aktuelle avfallstypene (punkt 1 over):

- Spredning av husdyrgjødsel uten foretgående behandling i et biogassanlegg (dersom råstoffet er husdyrgjødsel)
- Forbrenning med varmegjenvinning (gjelder dersom råstoffet er fett fra fettutskillere)
- Kompost (for de resterende råstoffene, med unntak av fiskeensilasje²)

Modellen er laget slik at den krever brukerspesifikk input om en gitt biogassproduksjon verdikjede. Det vil si at de tenkte brukerne av modellen skal være biogassprodusenter som fyller ut energibruk, teknologivalg m.m. for sin spesifikke verdikjede. Resultatene fra modellen, som er klimanytten for en gitt biogass- og biorestproduksjon, målt i prosent sammenlignet med diesel, kan brukes blant annet til salg og markedsføring av både biogass og biorest, samt rapportering til offentlige myndigheter.

Modellen kan også brukes til å kvantifisere klimaavtrykket til de tre referansesystemene: spredning av husdyrgjødsel, kompost og forbrenning med varmegjenvinning. Den kan også brukes til å belyse hvor i de ulike verdikjedene (biogass, kompost og spredning av husdyrgjødsel) utslippene er størst og hvilke teknologivalg og andre valg knyttet til praksis, som har størst påvirkning på utslippene. Se mer om mulige mottakere av resultater og muligheter verktøyet gir i kapittel 4.

2. Metode

2.1. Råstoffspesifikke referansealternativer

For hvert råstoff har vi identifisert den mest sannsynlige alternative avhendelsen av råstoffet – om ikke biogassbehandling hadde funnet sted. Dette utgjør råstoffets referansealternativ. For matavfall er dette for eksempel kompost.

Vi regner utslippene fra biogass og biorestproduksjonen som positive utslipp, mens vi trekker fra (de unngåtte) utslippene fra stegene i referanseverdikjeden for å få *netto* utslippseffekt av biogass og biorestproduksjon. For en beskrivelse av hvilke referansealternativ vi tilegner hvert råstoff, se Tabell 1. Det er verdt å merke seg at vi forholder oss til råstoffdefinisjonene og råstoffinndelingen som virksomheter som behandler avfall må rapportere ihht. når de rapporterer på avfallsmengder og behandlingsmetode til Miljødirektoratet. Våre definisjoner avviker i ordlyd fra Miljødirektoratets egen fordi vi ser at det i visse tilfeller er behov for ytterligere presiseringer knyttet til definisjon eller avgrensning av råstoff.

² Fiskeensilasje har etter vårt skjønn ikke noen annen anvendelsesmetode enn biogass. Se boks i kapittel 2.1 om hvordan dette er håndtert

Råstoff	Definisjon av råstoff	Den mest relevante alternative avhendings-metoden
Matavfall	Ferdig utsortert matavfall ³	Kompost ⁴
Husdyrgjødsel	Ubehandlet husdyrgjødsel	Spredning på åker og eng uten forutgående biogassbehandling
Avløpsslam	Den faste fraksjonen etter rensing av avløpsvann ⁵	Kompost ⁶
Fiskeensilasje	Ferdig pumpbar slurry, fiskeensilasje kategori 2	Ingen alternativ metode ⁷
Fiskeslam	Fiskeslam fra landbaserte settefiskanlegg, avvannet med en TS på 12-20 % ^{8,9}	Kompost ¹⁰
Fett	Fett fra fettutskillere	Forbrenning ¹¹
Alle andre råstoff		Kompost

Tabell 1 Fordeling av avhendingsmetoder for ulike råstoff i referanse-scenariet

Verdikjeden for *både* prosjektscenariet og referanselaternalivet for hhv. råstoffene husdyrgjødsel, matavfall og fett er skissert i Figur 5, Figur 6 og Figur 7 (de siste to er å finne i Vedlegg 1). Alle stegene som er inkludert i figuren under gir opphav til utslipp (eller utslippsreduksjon), og er derfor inkludert i verktøyet. Vi kommer nærmere tilbake til beskrivelsen av de ulike stegene i verdikjeden under kapittelen 2.2 «Nærmere beskrivelse av verdikjeden».

³ For begrunnelse, se Bærekraftskriterier for norsk biogass s. 34 (Carbon Limits 2017)

⁴ Beregning basert på Avfallsregnskapet (SSB 2020a) viser at kompost er den vanligste alternative behandlingsformen (ca. 40 % av matavfall går til kompost i dag, resten til biogass)

⁵ NIBIO (2017)

⁶ Beregning basert på Miljødirektoratets statistikk over mottatte avfallsmengder og behandlingsmetode viser at kompost er den vanligste alternative behandlingsformen (ca. 30 % av avløpsslam som er en del av avfallet som innrapporteres til Miljødirektoratet går til kompost i dag, resten til biogass)

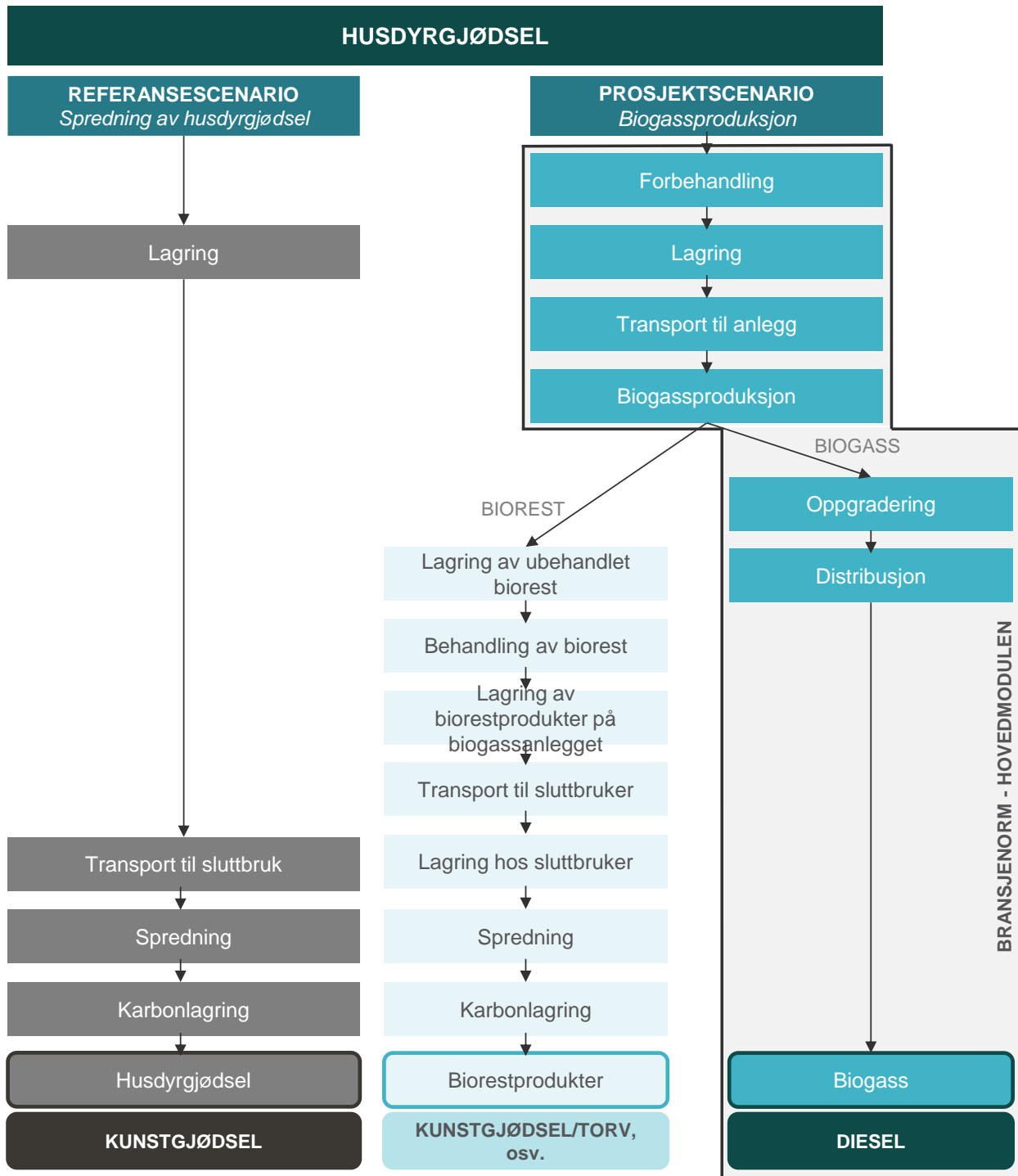
⁷ Konsultasjon med ulike aktører gir ikke grunnlag for å legge noen andre avhendingsmetoder til grunn enn biogassproduksjon i Norge

⁸ Vanligst praksis for håndtering av fiskeslam er avvanning til 12-20 % TS og deretter behandling i biogassanlegg eller kompostering (Cabell et al. 2019). Beregning basert på Avfallsregnskapet (SSB 2020a) viser at kompost er den vanligste alternative behandlingsformen (ca. 40 % av utsortert matavfall går til kompost i dag, resten til biogass)

⁹ For fiskeslam inkluderes ikke ammoniakutslipp eller energibruk knyttet til avvanning av fiskeslam i hverken prosjekt- eller referansealternativet siden råstoffet er definert som «allerede avvannet fiskeslam». Det vil si at systemgrensene for analysen starter etter fiskeslammet er avvannet. Til sammenligning starter systemgrensene for matavfall etter utsortering av matavfallet

¹⁰ Beregning basert på Avfallsregnskapet (SSB 2020a) viser at kompost er den vanligste alternative behandlingsformen (ca. 30 % av fiskeslam går til kompost i dag, resten til biogass)

¹¹ Norsk Gjenvinning (2020)



Figur 5 Steg i prosjekt- og referansescenariene for husdyrgjødsel

Råstoff som allerede behandles som biogass i dag

For flere av råstoffene er biogass en av de vanligste avhendingsmetodene (matavfall, avløpsslam) og for fiskeensilasje er biogass den eneste nåværende avhendingsmetoden som vi har avdekket. Ideelt sett skulle vi inkludert «biogass i Norge» som referansealternativ for disse råstoffene, evt. for den andelen av råstoffene som forventes å ha dette som referansealternativ. Eksempelvis viser beregninger basert på SSBs avfallsregnskap (2020) at ca. 60 prosent av matavfall går til biogassproduksjon og 40 prosent går til kompostering.

Å tilegne disse andelene biogass som referansealternativ ville imidlertid kreve kunnskap om gjennomsnittlige klimagassutslipp ved norsk biogassproduksjon. Dette kunne tjent som en benchmarking: de selskapene som produserer biogass av et avfall som med stor sannsynlighet uansett ville vært behandlet i biogassproduksjon, ville få kvantifisert sine klimaeffekter relativt til et norsk bransjesnitt. Et slikt gjennomsnitts klimaavtrykk for bransjen er ikke kvantifisert i dag, men dette kan være aktuelt å ta inn i verktøyet senere.

For det eneste råstoffet der vi ikke har avdekket en alternativ anvendelse til biogass, som er fiskeensilasje, trekker vi simpelthen ikke fra utslipp eller utslippsreduksjoner som ville oppstått i referansealternativet, dvs. venstre side av figur 5, 6 og 7.

De to nederste radene i Figur 5 representerer produktene som produseres i prosjektscenariet (dette er biogass + ett eller flere biorestprodukt, for eksempel useparert biorest) og hva disse produktene fortrenger (diesel og for eksempel kunstgjødsel), samt produktet som produseres i referansealternativet (for eksempel kompost), og hva dette produktet fortrenger (for eksempel torv). Se Tabell 3 og Tabell 3 for hva som produseres i hhv. i prosjekt- og referansescenariet og hva vi forutsetter at disse produktene erstatter.

Årsaken til at vi inkluderer hva produktene i referansealternativet erstatter er for ikke å overestimere klimanytten: det er vel og bra at biorest kan erstatte kunstgjødsel, men det kan husdyrgjødsel også gjøre. Skal vi ta med utslippsreduksjoner i prosjektscenariet (biogass- og biorestproduksjon) må vi også ta med utslippsreduksjoner i referansescenariet.

CARBON LIMITS

Erstatter → Sluttprodukter ↓	Diesel	Kunst- gjødse (nitrogen- rik) ¹²	Kunst- gjødse fosfor ¹³	Torv ¹⁴	Ikke utnyttet	Kilde
Biogass	100 %					EU RED II (2018)
Useparert biorest		90 %			10 %	Diskusjon med referansegruppe
Tørr fraksjon		20%	40 %	30 %	10 %	Forutsatt lignende fordeling som for kompost i Raadal et. al (2009)
Tørr fraksjon – kompostert		20 %	40%	30 %	10 %	Forutsatt lignende fordeling som for kompost i Raadal et. al (2009)
Tørr fraksjon – pellets			90 %		10%	Diskusjon med referansegruppe
Tørr fraksjon – biokull				Bruker-input		
Våt fraksjon		90 %			10%	Diskusjon med referansegruppe og Wrap (2012)
Våt fraksjon – konsentrert		90 %			10%	

Tabell 2 Sluttprodukter og hva de erstatter

¹² Biorestprodukter antas å erstatte nitrogen-gjødsel på basis av mengde nitrogen i biorestproduktene, relativt til mengde nitrogen i kunstgjødse

¹³ Biorestprodukter antas å erstatte fosfor-gjødsel på basis av mengde fosfor i biorestproduktene, relativt til mengde fosfor i kunstgjødse

¹⁴ Biorestprodukter antas å erstatte torv på basis av mengde karbon i biorestproduktet relativt til mengden karbon i torv

Referansealternativ	Råstoff referansealternativet gjelder for	Sluttprodukt	Hva er det sluttproduktet erstatter?	Kilde (til hva sluttproduktet erstatter) ¹⁵
Spredning	Husdyrgjødsel	Husdyrgjødsel	Kunstgjødsel (100%) ¹⁶	Forutsetning
Kompost	Matavfall Avløpsslam Fiskeslam Hage/park	Kompost	Kunstgjødsel (60 %) ¹⁷ Torv (30 %) ¹⁸ Ikke utnyttet (10%)	Østfoldforskning (2009)
Forbrenning	Fett	Varme	Fjernvarme (100 %)	Østfoldforskning (2016)

Tabell 3 Sluttprodukt og hva som erstattes for ulike råstoff i referansescenariet

2.2. Nærmere beskrivelse av verdikjeden

Steg i verdikjeden

Vi har delt inn prosjektscenariet (biogass og biorestproduksjon), samt de ulike referansealternativene for avhending av råstoffene (kompost, spredning av ubehandlet husdyrgjødsel og forbrenning) i ulike steg i verdikjeden, som grovt sett kan sies å være: transport av råstoff, produksjon av produkt, distribusjon av produkt til sluttbruker, bruk av produkt, karbonlagring i jord (se egen seksjon om dette) og en substitusjonseffekt av sluttprodukt, altså hva vi legger til grunn at biorestproduktet og “referanseproduktet” erstatter. I Tabell 4 beskriver vi de ulike stegene.

¹⁵ For kilde til alternativ behandlingsform for råstoffet, og hva sluttproduktet er, se Tabell 1

¹⁶ Husdyrgjødsel antas å erstatte kunstgjødsel på basis av mengde nitrogen i gjødsla, relativt til mengde nitrogen i kunstgjødsel

¹⁷ Se fotnote 16

¹⁸ Kompost antas å erstatte torv på basis av mengde karbon i kompost relativt til mengden karbon i torv

	Prosjektscenario	Referansescenario
Transport av råstoff	Dette er transport av råstoff til biogassproduksjon. Transport av råstoff er definert som en del av systemgrensene til EU RED II (2018). Disse er følgelig med i det opprinnelige verktøyet, og de er med i det nye verktøyet da systemgrensene for referanse- og prosjektscenarioene må være det samme.	Dette er transport av råstoff til for eksempel et kompostanlegg. Transport av råstoff er definert som en del av systemgrensene til EU RED II (2018). Disse er følgelig med i det opprinnelige verktøyet, og de er med i det nye verktøyet da systemgrensene for referanse- og prosjektscenarioene må være det samme.
Produksjon av produkt	Dette er utslipp i forbindelse med produksjon av gass (en del av det opprinnelige verktøyet), behandling av bioresten, og produksjon av ett eller flere biorestprodukt, og både direkteutslipp og utslipp fra energibruk inkluderes her. Det kan være separasjon av bioresten til f.eks. en våt og en tørr fraksjon. I dette trinnet inngår også utslipp i forbindelse med lagring av biorestprodukter (på biogassanlegget før og etter prosessering, så vel som hos sluttbrukeren).	Dette er utslipp i forbindelse med produksjonen av referanseproduktene, f.eks. produksjon av kompost. Både energibehov og direkteutslipp (slik som utslipp av metan under kompostering) er inkludert.
Distribusjon av produkt til sluttbruker	Dette trinnet innebærer distribusjon av biorestproduktene til sluttbruker. Det kan, for eksempel, være retur av bioresten til den samme bonden som leverer husdyrgjødsel, eller det kan være leveranse av kompostert biorest til en forhandler av jordforbedringsprodukter.	Dette er distribusjon av referanseproduktene, for eksempel distribusjon av kompost til sluttbruker.
Bruk av produkt	Dette er utslipp i forbindelse med bruk av biorestproduktet. Dette er både utslipp forbundet med energiforbruk, men også direkteutslipp i forbindelse med spredning av biorest.	Dette er utslipp i forbindelse med bruk av referanseprodukter. Dette er både utslipp forbundet med energiforbruk, men også direkteutslipp i forbindelse med spredning av for eksempel kompost.
Karbonlagring i jord	Dette trinnet blir brukt til å beregne karbonlagring i jord av hhv. biorestprodukter. Metoden brukes til å beregne mengden lagringsstabil karbon fra et spesifikke anlegg. Avhengig av hvilke organiske forbindelser man har, vil en del av karbonet danne stabile forbindelser. Framgangmetoden for å beregne lagringsstabil karbon er nærmere forklart i Vedlegg 2 – Karbonlagring i jord	Dette trinnet blir brukt til å beregne karbonlagring i jord av hhv. referanseprodukter (kompost og husdyrgjødsel). Metoden brukes til å beregne mengden lagringsstabil karbon fra et spesifikke anlegg. Avhengig av hvilke organiske forbindelser man har, vil en del av karbonet danne stabile forbindelser. Framgangmetoden for å beregne lagringsstabil karbon er nærmere forklart i Vedlegg 2 – Karbonlagring i jord
Substitusjon av produkter	Dette trinnet er reduserte (eller unngåtte) utslipp av at de ulike produktene som biorestprodukter erstatter, slik som utslipp i forbindelse med produksjon og bruk av kunstgjødsel. Se Tabell 3 for en oversikt over hva biorest erstatter.	Dette trinnet er reduserte (eller unngåtte) utslipp av at de ulike produktene som produseres i de ulike referansealternativene erstatter andre produkter, for eksempel torv. Se Tabell 3 for en oversikt over hva «referanseproduktene» erstatter.

Tabell 4 Beskrivelse av stegene i verdikjeden

2.3 Forutsetninger

I det følgende vil vi dokumentere viktige forutsetninger. Vi vil her beskrive forutsetninger som ikke kan leses direkte ut av verktøyet selv. Det vil si at for tallverdier (f.eks. utslippsfaktorer, energiinnhold i ulike drivstoff, varighet av lagring av gjødsel osv.) refereres det til verktøyet, der alle tallverdier med kilder er dokumentert i en separat fane i regnearket.

Vi vil beskrive forutsetninger per scenario (prosjektscenario og de ulike referansealternativene).

En viktig premisse for verktøyet å merke seg er at verktøyet er laget fra perspektivet til en biogassprodusent. I den grad verktøyet avhenger av brukerinput, vil dette kun være brukerinput som er rimelig å anta at den enkelte biogassprodusent har kunnskap om, knyttet til sin egen produksjon. Dette vil begrenses til prosjektscenarioet (biogass- og biorestproduksjon). For øvrige alternativer har prosjektgruppa forsøkt å kartlegge dagens praksis og legge denne til grunn som standardverdier i modellen. Det vil si at den enkelte biogassprodusent ikke skal trenge å gjøre antagelser knyttet til dagens praksis ved komposteringsanlegg eller for spredning av husdyrgjødsel.

Utslippene med en klimaeffekt som inngår i arbeidet (og i verktøyet) fossil CO₂, metan, lystgass og ammoniakk. Det kan være andre utslipp som også er relevant for klima, slik som NO_x, som ikke er inkludert i verktøyet.

Massebalanse av karbon og nitrogen – relevant for *biogass + biorest, kompost og spredning av husdyrgjødsel*

Vi beregner tap av karbon og nitrogen, samt gjenværende karbon og nitrogen, for hvert ledd i verdikjeden (i prosjektalternativet og referansealternativene «kompost» og «spredning av husdyrgjødsel»). Det er gjenværende karbon som er grunnlaget for videre å beregne metanutslipp og gjenværende nitrogen som er grunnlaget for å beregne ammoniakk- og lystgassutslipp, for det aktuelle steget i verdikjeden. Denne massebalansemetoden gir oss større kontroll på potensielle utslipp underveis i verdikjeden, og bidrar til at vi ikke overvurderer utslipp.

Prosjektscenario – biogass og biorest

- For dette scenariet bes det om en rekke brukerinput (aktivitetsdata). For aktivitetsdata utenfor biogassprodusentens kontroll brukes standardforutsetninger. Det bes heller ikke om brukerinput som krever kjennskap til hvordan bioresten håndteres utenfor biogassanleggets systemgrenser, f.eks. på gård eller hos annen sluttbruker. Vi har fått bekreftet gjennom dialog med biogassprodusenter at informasjon om bruk av biorest (spredeteknikker og lagringstid/lagertype på gård m.m.) er informasjon de i liten grad, om i det hele tatt, besitter.
- Det legges til grunn samme behandling av kompostering av biorest som av annen kompost (rankekompostering). Se begrunnelse under «Referansealternativ – kompost»
- For pellets og biokull kreves mer brukerinput enn for andre biorestprodukter. Især gjelder dette forutsetninger knyttet til karbonlagring i jord, og utslipp i forbindelse med bruk av disse to produktene. Dette er simpelthen fordi vi begrenset prosjektet til veletablerte produkter og verdikjeder av hensynt til rammene til prosjektet.
- For steget karbonlagring, se Vedlegg 2 – Karbonlagring i jord

Referansealternativ – kompost

- Om metan- og lystgassutslippsfaktorer: Det er gjort en del arbeid for å forsøke å måle utslippene av klimagassene fra kompostering, både i Norge og i verden for øvrig. Siden utslippene vil variere sterkt med tiden/alderen på kompostranken, råstoffet som komposteres og metoden som benyttes, har vi ikke grunnlag for å definere en egen norsk faktor for utslipp av klimagasser ved kompostering. Det må også nevnes at en stor del av utslippene forekommer ved vending av

rankene, noe som gjør det vanskelig å måle de samlede utslippene. Våre vurderinger er gjort på grunnlag av en del sentral litteratur, her kan nevnes Boldrin et al. (2009), Boldrin et al. (2010), Vergara and Silver (2019) Lin et al. (2018), Amlinger et al. (2008) og Dietrich et al. (2020).

Verdiene vi finner i litteraturen varierer mye. Enkelte trekker et skille mellom de komposteringsprosessen som foregår i et lukket system og hvor utluften renses ved hjelp av biofilter slik at disse prosessene skal ha et lavere utslipp, og åpen rankekompostering. Det er imidlertid svært få komposteringsanlegg som er utstyrt med (godt fungerende) biofiltre i Norge i dag og dette har derfor liten innflytelse på referanseverdiene. Vi velger på denne bakgrunn å benytte utslippsfaktoren til IPCC (2006), Vol. 5, Chapter 4: Biological treatment of solid waste. Dette er et relativt høyt estimat. For produksjonsleddet har vi ikke skilt på ulike typer råstoff, men kun brukt IPCC (2006) sine standardfaktorer for metan- og lystgassutslipp.

- For ammoniakkutslipp i produksjonsleddet, samt alle typer utslipp i bruksleddet (metanutslipp, lystgassutslipp og ammoniakkutslipp) har vi brukt ulike kilder som alle er dokumentert i verktøyet. For produksjonsleddet skiller vi dessuten på ulike typer råstoff, og disse grupperes i kategoriene avløps slam, alle typer matavfall og alle typer plante-/hage-/parkavfall.
- For fiskeslam forstår vi at fiskeslam normalt avvannes til en TS på 12-20 prosent før det transporteres til biogass eller kompostering (Cabell et al. 2019). Utslippene fra avvanning er ikke inkludert, da vi anser dette som utenfor systemgrensene til analysen, da disse ville oppstått uavhengig om om behandlingsmetoden er biogass eller referansealternativet (kompost).
- For steget karbonlagring, se Vedlegg 2 – Karbonlagring i jord

Referansealternativ – spredning av husdyrgjødsel

- Dagens praksis knyttet til håndtering og bruk av husdyrgjødsel er basert på Gjødselundersøkelsen (SSB 2020b). Dette gjelder for eksempel varighet på lagring av husdyrgjødsel før denne spres, i tillegg til dagens spredeteknikker og praksis for nedfelling av gjødsel.
- Utslippsfaktorer er basert på to modeller som brukes av Miljødirektoratet og SSB til det nasjonale utslippsregnskapet – modeller utviklet for å beregne nitrogen- og metanutslipp fra gjødselhåndtering i norsk jordbruk (Carbon Limits 2019) og (2020). Utslippsfaktorene brukt i det nye verktøyet representerer vektete utslippsfaktorer for utvalgte dyrekategorier (storfe, svin og fjørfe) og dagens praksiser iht. Gjødselundersøkelsen (forrige kulepunkt). Dersom landbrukspraksis endrer seg, kan også verktøyet oppdateres til å reflektere endret praksis.
- For steget karbonlagring, se Vedlegg 2 – Karbonlagring i jord

Referansealternativ – forbrenning av avfall

- For råstoffet fett fra fettutskillere fant vi at den mest sannsynlige alternative anvendelsen var forbrenning av avfall (Norsk Gjenvinning 2020). Dette er i tråd med metoden i BioValueChain (Østfoldforskning 2016).
- Dette referansealternativet innebærer at avfallet forbrennes og varmegjenvinnes. Vi forutsetter at sluttproduktet er varme, som erstatter fjernvarme. Fordi dette sluttproduktet ikke resulterer i et jordprodukt er det ikke relevant å vurdere hva jordproduktene i referansealternativene erstatter i referansealternativet (slik som torv) og karbonlagring av jordproduktene, hverken i prosjekt- eller referansescenariet.

3. Usikkerhet og behov for videre arbeid

Det vil være knyttet ulik grad av usikkerhet til de verdiene som benyttes i verktøyet. Sanne og observerbare verdier er i liten grad tilgjengelig. Verdiene vil også forandre seg som følge av teknologisk utvikling og forbedring av teknologi. Variasjoner i råstoffenes egenskaper, valg av teknologi, driftspraksis, men også forhold som temperatur og nedbør og også jordsmonn når vi ser på effekt av gjødsel- og jordforbedringsmidler, vil ha betydning. Vi har forsøkt å benytte best mulig verdier basert på eksisterende

kunnskap, men vil i dette kapitlet nevne enkelte faktorer som medfører særlig stor usikkerhet og hvor behovet for ekstra kunnskap er spesielt stort. Dette gjelder især utslipp av klimagasser ved kompostering og mengden lagringsstabil karbon som tilføres ved bruk av biorestprodukter, men også nedbrytning av organisk materiale i biogassprosessen, måling av tørrstoff og klimaeffekt av bruk av ulike avvanningsteknologier.

Måling av tørrstoff

Måling av tørrstoff inngår mange steder i modellen. Flere av råstoffene som brukes er inhomogene, og uttak av representative prøver er derfor viktig og prøveuttaket kan medføre noe usikkerhet. For noen råstoff kan også målemetoden for organisk tørrstoff (VS) være gjenstand for usikkerhet. Ofte måles organisk tørrstoff ved først å tørke prøvematerialet til stabil vekt ved 105 °C for å få fjernet alt vann i prøven. Deretter varmes prøven videre opp til 550 °C for å brenne av organisk karbon. Dersom prøven inneholder mye lettflyktig organisk karbon vil dette dampe bort allerede sammen med vannet ved oppvarming til 105 °C. Dette gjelder for eksempel mange kortere fettsyrer og alkoholer. Problemstillingen og forskjellige tilnærminger for å unngå denne feilkilden er diskutert i publikasjonen til Kine Svensson et al. (2017).

Kompostering

Ved kompostering blandes råstoffet med et strukturmateriale (for eksempel hage/parkavfall og/eller flis og bark) for å oppnå egnet porøsitet og kanskje også et egnet forhold mellom nedbrytbart karbon og biotilgjengelig nitrogen. Dette gjelder eksempelvis ved kompostering av kildesortert matavfall, avvannet avløps slam og avvannet biorest. I modellen følges bare karbonet i den studerte avfallsfraksjonen, selv om tilført karbon i strukturmaterialet også vil ha en klimaeffekt.

Kompostering foregår ved bruk av ulike teknologier; rankekompostering ved bruk av rankevendere eller vending med hjullastere, storrankekompostering ved aktiv lufting – sug av utluft eller innblåsing av friskluft, lukket kompostering i forskjellige typer reaktorer, «garasjekompostering» etc. Det er vanskelig å måle de totale utslippene (av metan, ammoniakk og lystgass) da de varierer med tid/alder på rankene og det er store utslipp ved vending av rankene som er «nesten umulig» å måle. Lukket kompostering (reaktoranlegg) gir en mulighet til å måle utslippene, men det er svært lite informasjon om slike utslipp fra norske anlegg.

Reaktoranlegg gir en mulighet til å rense utluften ved bruk av vannskrubber og/eller biofilter, men det viser seg ved en del studier at dårlig drevne biofiltere vil ha dårlig evne til å oksidere metan og kan samtidig i verste fall produsere lystgass fra inngående ammoniakk.

Enkelte innledende, foreløpig ikke publiserte, studier kan tyde på at kompostering av biorest, spesielt de første ukene, kan gi relativt høye utslipp av metan. Det er foreløpig så lite kunnskap om dette at vi ikke vil kunne trekke den type informasjon inn i modellen.

Det er således et behov for mer kunnskap om:

- Utslipp av metan, ammoniakk og lystgass ved forskjellige komposteringsteknologier under norske forhold
- Kunnskap om effekten av bruk av biofiltere for rensing av utluft fra lukkede komposteringsløsninger
- Kunnskap om mulige økte metanutslipp ved kompostering av avvannet biorest

Karbonlagring i jord

I modellen beregnes mengde langtidsstabil karbon, unngåtte klimautslipp fra referansesenarioer som inkluderer mineralgjødselbruk, kompostering og bruk av kompostprodukter.

Langtidsstabil karbon:

1. Usikkerhet i måling av tørrstoff
2. Usikkerhet i nedbrytning av organisk materiale biogasreaktor
3. Usikkerhet i avvanningsteknologi
4. Usikkerhet i andel karbon som lagringsstabil

Det er kalkulert med at en fast andel av organisk materiale er karbon, men dette kan variere mellom ulike råstoff. Nedbrytningsprosenten i biogasprosessen blir brukt til å beregne gjenværende karbon i bioresten. Det er lagt inn visse verdier for forventet nedbrytningsgrad for forskjellige avfallsfraksjoner. Det vil være en usikkerhet knyttet til disse verdiene fordi sammensetningen av forskjellige avfallsfraksjoner vil kunne variere i relativt stor grad. Miljødirektoratets råstoffdefinisjoner vil i mange tilfelle ikke være tilstrekkelig presis når man skal anslå forventet nedbrytningsgrad. Nedbrytningsprosenten øker med redusert mengde lignocellulose-materiale i råstoffet. Det er dette materialet som er gjenstand for langtidslagring av karbon. Dersom den hydrauliske oppholdstiden er kort, kan det medføre at lett nedbrytbart materiale ikke brytes ned i reaktoren. Dette vil i så fall kunne resultere i overestimering av lagringsstabil karbon. En mulighet vil kunne være at man måler lett nedbrytbart organisk materiale i produsert biorest, for eksempel ved bruk av BOD, og korrigerer for dette karbonet.

Undersøkelser har vist at ulike prinsipper ved avvanning, forskjellige maskiner og driften av disse kan gi svært ulike egenskaper av fraksjonene – både med hensyn på oppnådd tørrstoff i fast fase og fordelingen av karbon, nitrogen og fosfor og mengde av fraksjonene. Dersom forutsetningene endres, kan også resultatet endres og kan medføre en usikkerhet i hvor stor mengde karbon som er gjenstand for langtidslagring. Det er således et behov for å sammenligne ulike avvanningsteknologier, et system for å karakterisere dem og deres egnethet for forskjellige typer substrater.

Det er svært få publikasjoner som danner grunnlaget for tallene som brukes i modellen. Faktorer som i stor grad kan påvirke størrelsene på anslagene er:

- Klima (temperatur, nedbør lengde av vekstsesong)
- Agronomiske forhold (drenering, vekstskifte, hvor ofte jorda pløyes)

Det er ikke funnet tall for lagringsstabil karbon i kompost, og dette tallet må derfor anses å være svært usikkert. Høyere temperaturer, lite nedbør og lang vekstsesong vil påskynde nedbrytningen, noe som vil bety at humifiseringskoeffisienten vil variere. Dette er ikke tatt inn i modellen, og vi har heller ikke kunnskap om hvor mye det betyr.

Når vi pløyer bringer vi inn oksygen i matjorda og jorda vendes slik at røtter kommer opp, tørker ut og dør slik at nedbrytningen av karbon øker. Vi vet at pløying hvert år vil medføre en reduksjon av humus i jorda. Sannsynligvis har effekten av pløying og eventuelle vekstskifter langt større betydning for jordas karboninnhold enn mengde tilført karbon gjennom tilførsel av organisk gjødsel. Modellen burde derfor inneholdt informasjon om agronomisk praksis for å redusere usikkerhet. På nåværende tidspunkt har vi ikke nok kunnskap om hvor stor denne usikkerhet er.

4. Muligheter verktøyet gir

Bruk av dette verktøyet kan gi bransjen og myndigheter bedre forståelse av klimaeffekten av norsk biogasproduksjon. I tillegg til muligheten for å sammenligne ulike typer anlegg med hensyn til deres

utslippsintensitet og klimapåvirkning, kan verktøyet bidra til bedre beslutningsgrunnlag for å etablere riktige rammevilkår for etablering av nye biogassanlegg.

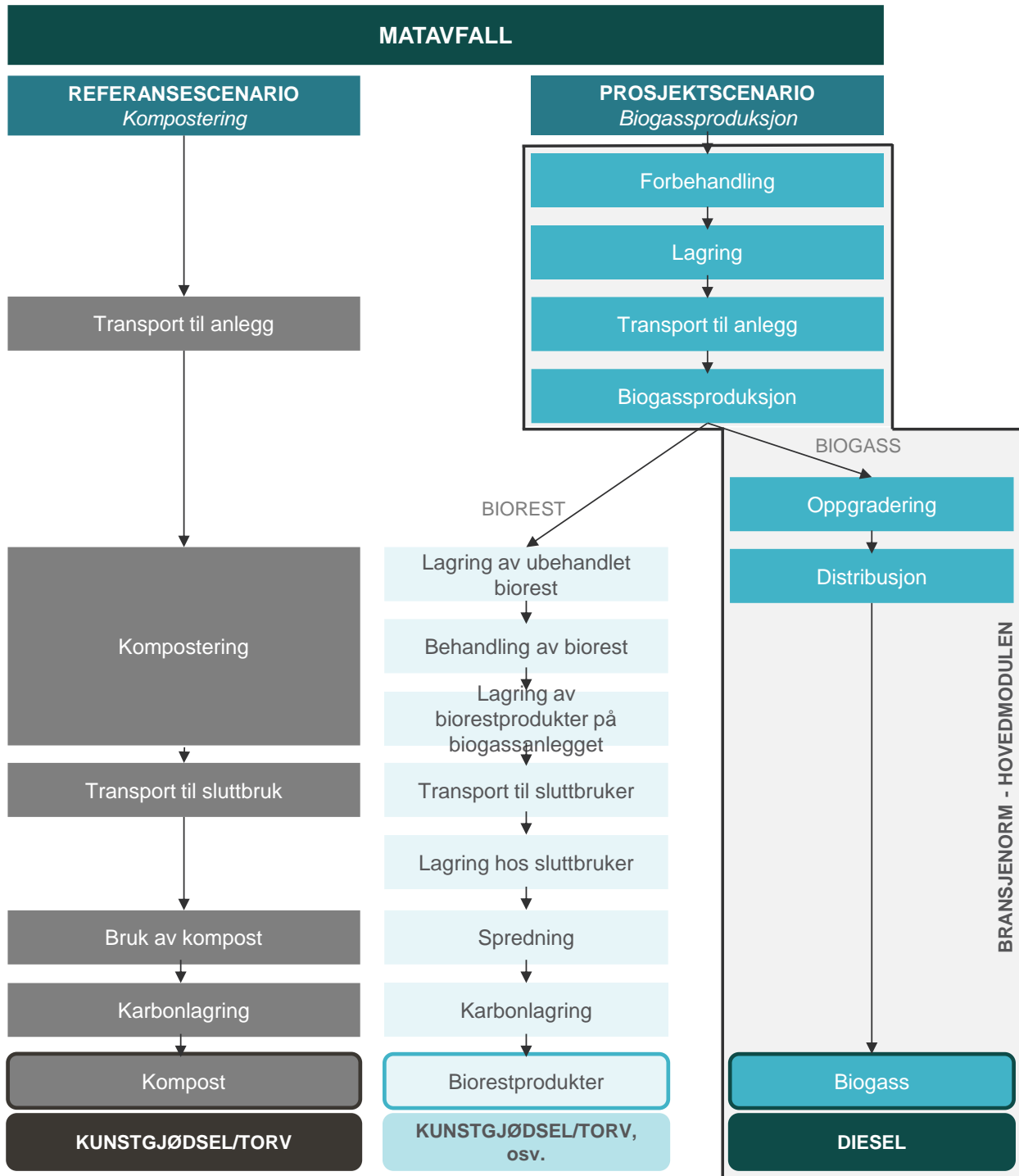
Verktøyet gir mulighet til å vurdere hvilken avfallshåndteringsstrategi som er den mest klimavennlige for en gitt type avfall og under gitte forutsetninger. For eksempel kan man bruke verktøyet til å vurdere hvorvidt kompost eller biogassproduksjon gir den laveste klimapåvirkningen per tonn tørrstoff matavfall, for en gitt verdikjede av biogassproduksjon.

Verktøyet gir også mulighet til å peke på hvor «skoen trykker», altså hvor utslippene er størst og dermed hvor potensialet for utslippskutt er størst, i ulike avfallskjeder. Dette kan man videre bruke til å analysere tiltak og virkemidler. Ett eksempel er at vi har avdekket både at utslippene fra kompostering er potensielt høye, og at ulike teknologier og komposteringspraksiser i stor grad påvirker disse utslippene. Verktøyet gir dermed gode muligheter til å vurdere de tiltakene med størst potensielt utslippsreduksjon, og således starte med de lavhengende fruktene.

Verktøyet kan videreutvikles også til å bli en klimakalkulator for ulike komposteringsverdikjeder (i tillegg til en klimakalkulator for ulike biogassverdikjeder).

På sikt kan verktøyet bidra til forbedring av klimaregnskap og rapporteringspraksis, samt bidra til et bedre kunnskapsgrunnlag for utvikling av et nasjonalt system for bruk av sertifikater for omsetning av biogass og biorest.

Vedlegg 1 – Steg i prosjekt- og referansescenariene



Figur 6 Steg i prosjekt- og referansescenariene for matavfall (og andre råstoff hvor kompostering er den mest relevante avhendingsmetoden)

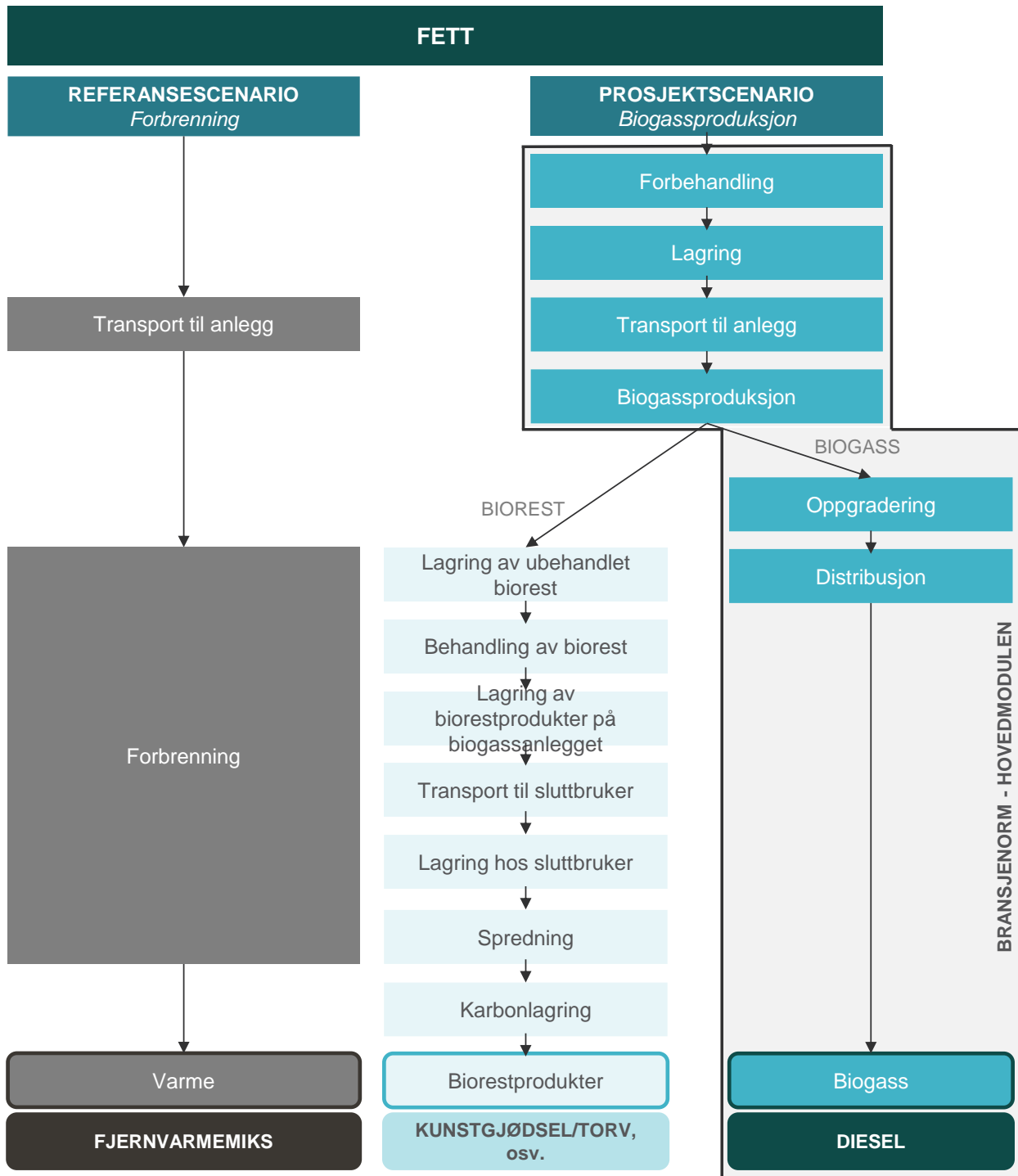


Figure 7 Steg i prosjekt- og referansescenariene for fett

Vedlegg 2 – Karbonlagring i jord

Målet med beregningene er å finne fram til hvor mye ulike råstoff danner av lagringsstabil karbon. Metoden kan brukes til å beregne mengden lagringsstabil karbon fra et spesifikke anlegg.

For å komme fram til lagringsstabil karbon, beregnes karbonmengden i råstoffene ut fra analyser av organisk tørrstoff (VS – volatile solids) (Carlsson and Uldal 2009). Hvor stor andel som karbon utgjør avhenger av sammensetningen av det organiske materialet. I ulike referanser er det brukt ulike formler som kan gi ulike resultater. Det ville blitt en stor jobb å finne formelene for de ulike materialene som brukes i prosjektet. En forenkling som er brukt i litteraturen er denne sammenhengen (Pluske, Murphy, and Sheppard 2020).

$$\text{Organic matter (\%)} = \text{Total organic carbon (\%)} \times 1.72$$

Omformulert blir dette:

$$\% C = \frac{\% \text{ Organisk tørrstoff}}{1,72} = \frac{VS \%}{1,72}$$

Beregningen baserer seg på et masseballaseprinsipp for karbon i biogassreaktorer:

$$C_{\text{inn}} = C_{\text{metan}} + C_{\text{karbondioksid}} + C_{\text{biorest}}$$

Dette kan også uttrykkes som «Nedbrytningsprosent av VS» i stedet for karbon

$$\text{Nedbrytnings\%} = (VS_{\text{inn}} - VS_{\text{ut}}) / VS_{\text{inn}} \cdot 100 \%$$

Den mengden karbon som er igjen i bioresten kan bli nedbrutt i jorda, men en del kan også inngå i humusforbindelser som er lagringsstabile over tid. Det lagringsstabile karbonet blir beregnet ut fra «humusfiseringsfaktorer» som framkommer i en svensk studie (Lantz and Björnsson 2016), som tar utgangspunkt i Andrén & Kätterer (1997). I de svenske studien bruks faktorene 0,27 for ubehandlet husdyrgjødsel og 0,41 for biorest fra anaerob behandling.

Dersom biorest blir separert, blir mengden karbon fordelt mellom flytende – og fast fraksjon. Det antas at mengden karbon i forhold til tørrstoff er likt i de to fraksjonene (Møller, Sommer, and Ahring 2002).

Den fast fraksjonen kan brukes til

- Tørking
- Kompostering
- Biokullproduksjon

Tørking

Dersom tørking velges blir ikke mengden karbon redusert, og dette er mengden karbon som brukes til beregning av lagringsstabil karbon. Karbonet som er tilgjengelig før spredning blir imidlertid redusert tilsvarende metanutslippene som oppstår ved lagring av av den faste fraksjonen.

Kompostering

På samme vis som for anaerob nedbrytning, vil en del av karbonet bli omdannet til gass. Gassen fra kompostering er CO₂ + vanddamp. Karbonet i komposten beregnes ved å dele tørrstoffet inn i aske og VS (organisk tørrstoff). I henhold til (Boldrin, Christensen, et al. 2010) utgjør VS-fraksjonen 65 % av tørrstoffet (beregnet ut fra mengdeforholdet 13/20). Man antar at 58 % av VS utgjøres av karbon. Det ikke funnet tall for hvor stor andel av karbonet som er i komposten er lagringsstabil, og man har anslått dette til 10 %, men det er usikkert og kan variere mye avhengig av utgangsmaterialet. Man må tilsette strukturmateriale i kompost, og man bruker lignocellulose-materialer. Dette vil ikke nedbrytes i kompostering, og må anses å være lagringsstabil på linje med biorest, mens matavfall som inneholder

lite lignocellulose-material, vil inneholde lite lagringsstilt karbon. Ferdig kompost vil være preget av en relativt stor andel døde organismer, og det må antas at en del av de døde organismene medfører noe lagringsstabil karbon.

Metodikken brukes både på kompostering av fast fraksjon fra avvanning av biorest, og på referansealternativet.

Biokull

Lagringsstabil karbon etter tilføring av biokull blir bregnet på denne måten:

1. Andelen av massen som blir igjen i biokullet er 30 % av opprinnelig masse. Dette er riktignok tall for Eukalyptus (Jesus et al. 2018), men det er det eneste tallet som så langt er funnet. I denne publikasjonen fant man at 30 % av massen ble igjen i biokullet. Man må også kalkulere inn at bare 30 % av massen er tørrstoff.
2. i publikasjonen (Crombie and Mašek 2015) anslås det at 44 til 63 % av biokullet består av karbon, og aritemisk gjennomsnitt av disse to verdiene brukes.
3. humifiseringskoeffisienten 70 % brukes. Denne refererer til beregningen som gjort i NIBIO Rapport /36/2019 (Rasse et al. 2019).

Referanseliste

- Amlinger, Florian, Stefan Peyr, and Carsten Cuhls. 2008. 'Green House Gas Emissions from Composting and Mechanical Biological Treatment'. *Waste Management & Research* 26 (1): 47–60. <https://doi.org/10.1177/0734242X07088432>.
- Andrén, Olof, and Thomas Kätterer. 1997. 'ICBM: THE INTRODUCTORY CARBON BALANCE MODEL FOR EXPLORATION OF SOIL CARBON BALANCES'. *Ecological Applications* 7 (4): 1226–36. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[1226:ITICBM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[1226:ITICBM]2.0.CO;2).
- Boldrin, Alessio, Jacob K. Andersen, Jacob Møller, Thomas H. Christensen, and Enzo Favoino. 2009. 'Composting and Compost Utilization: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contributions'. *Waste Management & Research* 27 (8): 800–812. <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>.
- Boldrin, Alessio, Thomas H. Christensen, Ina Körner, and Uta Krogmann. 2010. 'Composting: Mass Balances and Product Quality'. In *Solid Waste Technology & Management*, edited by Thomas H. Christensen, 569–82. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470666883.ch36>.
- Boldrin, Alessio, Karin R. Hartling, Maria Laugen, and Thomas H. Christensen. 2010. 'Environmental Inventory Modelling of the Use of Compost and Peat in Growth Media Preparation'. *Resources, Conservation and Recycling* 54 (12): 1250–60. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.003>.
- Cabell, Joshua, Eva Brod, Johan Ellingsen, Anne-Kristin Løes, Linn Solli, Inger Beate Standal, Bendik Toldnes, and Henriette Vivestad. 2019. 'Bruk Av Tørket Slam Fra Settefiskanlegg Som Gjødning i Norsk Landbruk'. 5/146/2019. Tingvoll, Norway: NIBIO, Norges Vel, NORSØK and SINTEF Ocean. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2630914>.
- Carbon Limits. 2017. 'Bærekraft Og Klimagasreduksjoner for Norskprodusert Biogass – Kunnskapsgrunnlag Og Anbefalinger Til Innkjøpere'. <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/avfall-norge-no/dokumenter/Baerekraft-og-klimanytte-for-norskprodusert-biogass-2017.pdf?mtime=20170829110244&focal=none>.
- . 2019. 'Calculation of Atmospheric Nitrogen Emissions from Manure in Norwegian Agriculture - Project for Miljødirektoratet'. Oslo. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2019/januar-2019/calculation-of-atmospheric-nitrogen-emissions-from-manure-in-norwegian-agriculture>.
- . 2020. 'Greenhouse Gas Emissions from Biogas Production from Manure in Norwegian Agriculture - Project for Miljødirektoratet'. Oslo. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2020/januar-2020/greenhouse-gas-emissions-from-biogas-production-from-manure-in-norwegian-agriculture/>.
- Carlsson, My, and Martina Uldal. 2009. 'Substrathandbok För Biogasproduktion'. Svenskt Gasteknisk Center AB. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/948934>.
- Crombie, Kyle, and Ondřej Mašek. 2015. 'Pyrolysis Biochar Systems, Balance between Bioenergy and Carbon Sequestration'. *GCB Bioenergy* 7 (2): 349–61. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12137>.
- Dietrich, Maria, Monica Fongen, and Bente Foereid. 2020. 'Greenhouse Gas Emissions from Digestate in Soil'. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture* 9 (1–19).
- European Union. 2018. 'Renewable Energy Directive II'. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>.
- IPCC. 2006. '2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5 Waste'. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.
- Jesus, Marcia Silva, Alfredo Napoli, Paulo Fernando Trugilho, Áureo A. Abreu Júnior, Clara Lisseth Mendoza Martinez, and Thaís Pereira Freitas. 2018. 'ENERGY AND MASS BALANCE IN THE PYROLYSIS PROCESS OF Eucalyptus WOOD'. *CERNE* 24 (3): 288–94. <https://doi.org/10.1590/01047760201824032561>.
- Lantz, Mikael, and Lovisa Björnsson. 2016. 'Emissioner Av Växthusgaser Vid Produktion Och Användning Av Biogas Från Gödsel'. Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.
- Lin, Long, Fuqing Xu, Xumeng Ge, and Yebo Li. 2018. 'Improving the Sustainability of Organic Waste Management Practices in the Food-Energy-Water Nexus: A Comparative Review of Anaerobic Digestion and Composting'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89 (June): 151–67. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.025>.
- Møller, H.B., S.G. Sommer, and B.K. Ahring. 2002. 'Separation Efficiency and Particle Size Distribution in Relation to Manure Type and Storage Conditions'. *Bioresource Technology* 85 (2): 189–96. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00047-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00047-0).

- NIBIO. 2017. 'Avløpsslam'. 23 October 2017. <https://www.nibio.no/tema/jord/organisk-avfall-som-gjodsel/avlopsslam>.
- Norsk Gjenvinning. 2020. 'Norskgjenvinning.No'. 2020. <https://www.norskgjenvinning.no/tjenester/avfallstyper/farlig-avfall/olje-og-fettavfall/>.
- Østfoldforskning. 2016. 'Biogassproduksjon Fra Matavfall Og Møkk Fra Ku, Gris Og Fjørfe Status 2016 (Fase IV) for Miljønytte for Den Norske Biogassmodellen BioValueChain'. Østfoldforskning. <https://norsus.no/wp-content/uploads/or-3416-bvc-biogassmodell-fase-iv-2016-versjon-3-aapen.pdf>.
- Pluske, Wayne, Daniel Murphy, and Jessica Sheppard. 2020. 'Fact Sheets Total Organic Carbon'. Soilquality.Org.Au. 2020. <http://www.soilquality.org.au/factsheets/organic-carbon>.
- Raadal, Hanne Lerche, Ingunn Saur Modahl, and Kari-Anne Lyng. 2009. 'Klimaregnskap for Avfallshåndtering, Fase I Og II.' Østfoldforskning. <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/avfall-norge-no/dokumenter/Avfall-Norge-Rapport-5-09-klimaregnskap-avfall-Fase-1-2.pdf?mtime=20180724131003&focal=none>.
- Rasse, Daniel, Inghild Økland, Teresa B. Bárcena, Hugh Riley, Vegard Martinsen, Ilevina Sturite, Erik Jøner, et al. 2019. 'Muligheter Og utfordringer for Økt Karbonbinding i Jordbruksjord'. 5/36/2019. NIBIO. https://www.landbruksdirektoratet.no/no/fou-midler/jordbruks-og-matforskning/_attachment/74080?_ts=1699f22b208.
- SSB. 2020a. 'Avfallsregnskapet'. 2020. <https://www.ssb.no/avfregno>.
- . 2020b. 'Bruk Av Gjødseleressurser i Jordbruket 2018'. Kongsvinger: Statistisk sentralbyrå. https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/414178?_ts=170a0861638.
- Svensson, Kine, Oda Kjølraug, Svein Jarle Horn, and Jane Wittrup Agger. 2017. 'Comparison of Approaches for Organic Matter Determination in Relation to Expression of Bio-Methane Potentials'. *Biomass and Bioenergy* 100 (May): 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.005>.
- Tellnes, Lars Gunnar, Kari-Anne Lyng, Clara Valente, Ingunn Saur Modahl, and Fredrik Moltu Johnsen. 2017. 'Erstatningsmaterialer for Torv - Kartlegging Av Klima- Og Miljøeffekter'. Kråkerøy: Østfoldforskning. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M861/M861.pdf>.
- Vergara, Sintana E, and Whendee L Silver. 2019. 'Greenhouse Gas Emissions from Windrow Composting of Organic Wastes: Patterns and Emissions Factors'. *Environmental Research Letters* 14 (12). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab5262>.
- Wrap. 2012. 'Suing Quality Anaerobic Digestate to Benefit Crops'. <https://wrap.org.uk/content/using-quality-digestate-benefit-crops-0>.