

**Kvantificering af
metanemissioner fra
danske biogasanlæg**

Rekvirent

Energistyrelsen
Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Landbrug og Digitalisering
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N

DTU Sustain
Danmarks Tekniske Universitet
Bygningstorvet, Bygning 115
2800 Lyngby

FORCE Technology
Clean Air Technologies
Park Allé 345
2605 Brøndby

Evida Service
Dr. Neergaards Vej 5B
2970 Hørsholm

Forfattere

Charlotte Scheutz (Professor og sektionsleder DTU), Anders Fredenslund (Seniorforsker DTU), Julie Maria Falk (Specialkonsulent DTU), Pernille Lund Kasper (Seniorspecialist DTI), Nathalia Thygesen Vechi (specialist DTI), Sune Petersen (Seniorkonsulent og projektleder DTI)

Version 1.1, november 2025



Sammenfatning

Denne rapport præsenterer resultaterne af en national kortlægning og kvantificering af metanemissioner fra danske biogasanlæg udført i perioden 2024-2025 som opfølgning på nyligt indført regulering. Undersøgelsen omfatter 80 biogasanlæg, hvilket dækker ca. 58% af anlæggene og omkring 73% af den samlede biogasproduktion i Danmark.

Måleprogrammet har sikret repræsentativitet på tværs af anlægstyper, størrelser samt anvendelse af den producerede biogas. Metanemissionsmålinger er gennemført med den dynamiske sporgasdispersionsmetode, som er veldokumenteret og anerkendt for sin lave måleusikkerhed i forhold til andre kendte målemetoder. Resultaterne er opgjort som gennemsnitlige metantab samt emissionsfaktorer til brug for den nationale drivhusgasopgørelse for fire anlægstyper: landbrugsanlæg med og uden gasopgradering, renseanlæg og industrianlæg. Landbrugsanlæg uden gasopgradering har oftest elproduktion på anlægget.

Resultaterne viser, at det gennemsnitlige metantab for de undersøgte anlæg udgør 6,0% af det producerede metan, men med betydelig forskel mellem anlægstyper. Renseanlæg har det højeste gennemsnitlige tab (11,2%), efterfulgt af landbrugsanlæg uden biogasopgradering (6,1%), landbrugsanlæg med opgradering (3,8%) og industrianlæg (2,9%).

En produktionsvægtet national emissionsfaktor er beregnet til 2,8% på tværs af hele sektoren, hvilket ikke udgør en signifikant ændring i forhold til forrige måleprogram fra 2021, når der tages højde for usikkerheder samt variabilitet af emission. Generelt observeres lavere relative metantab for større produktionsanlæg, mens renseanlæg typisk har høje emissioner - især grundet endnu manglende gasopsamling fra slamlagre.

Denne undersøgelse viser, at der ikke er en målbar forskel mellem metantab fra danske biogasanlæg målt i denne undersøgelse sammenlignet med den tidligere undersøgelse fra 2021. For at sikre og øge biogasproduktionens positive klimaeffekt vurderes det nødvendigt med yderligere anlægstekniske og driftsmæssige forbedringer.

Summary

This report presents the results of a nationwide mapping and quantification program of methane emissions from Danish biogas plants, carried out in 2024–2025 as a follow-up to recent regulatory measures. The study covers 80 biogas facilities, representing approximately 58% of plants and about 73% of total biogas production in Denmark. The measurement program ensured representative coverage across plant types, sizes and use of the produced gas. Methane emissions were quantified using the dynamic tracer gas dispersion method, which is a well-established and recognized method known for its low measurement uncertainty in comparison to other known measurement methods. The results are presented as average methane losses and emission factors for use in the national greenhouse gas inventory for four types of facilities: agricultural plants with and without gas upgrading, wastewater treatment plants, and industrial plants. Agricultural plants without gas upgrading most often have electricity production on-site.

The results showed an average methane loss of 6.0% of the methane produced across the plants investigated, with significant variation between facility types. Wastewater treatment plants exhibited the highest mean loss (11.2%), followed by agricultural plants without gas upgrading (6.1%), agricultural plants with gas upgrading (3.8%), and industrial plants (2.9%). In general, a trend of lower relative losses was observed for larger facilities, while wastewater plants typically showed higher emissions - primarily due to the absence of collection of methane from sludge storage.

A national production-weighted emission factor was calculated at 2.8% across the whole sector, indicating no significant change compared to the previous survey from 2021 when uncertainties and variability in emission rates are considered. The lowest emission factors were observed for agricultural plants with gas upgrading and for industrial plants (both 2.5%), while the highest emission factor was found for wastewater treatment plants (9.6%). A higher emission factor was seen for agricultural plants without gas upgrading (3.8%) compared to agricultural plants with upgrading (2.5%). It should be noted that the methane emission factors are lower than the calculated average methane losses as the emission factors are weighted according to the plants' methane production.

This investigation does not provide evidence of a measurable change in methane loss from Danish biogas production since the 2021 investigation was done. Thus, the results suggest that further technical and operational improvements should be considered to ensure and strengthen the continued positive climate impact of biogas production in Denmark.

Indhold

Sammenfatning.....	3
Summary.....	4
1 Indledning.....	6
2 Metode.....	8
2.1 Udvalgelse af anlæg	8
2.2 Målemetode	9
2.3 Udviklingsaktiviteter	12
2.3.1 Kontinuerlig måling af metanemissioner	13
2.3.2 Undersøgelse af årstidsvariation i metanemission.....	14
2.4 Håndtering af metanbidrag fra stalde og gylletanke på landbrugsbiogasanlæg	14
2.5 Beregning af metantab på anlægsniveau	15
2.6 Beregning af emissionsfaktorer til brug for den nationale indrapportering af drivhusgasser	16
3 Resultater	18
3.1 Oversigt over anlæg.....	18
3.2 Metanemission på anlægsniveau	20
3.2.1 Metanemission fra renseanlæg	20
3.3 Metanemission for landbrugsanlæg uden opgradering	22
3.4 Metanemission for landbrugsanlæg med opgradering	23
3.5 Metanemission for industrianlæg.....	25
3.6 Metantab på anlægsniveau	25
3.7 Nationale metanemissionsfaktorer	27
4 Sammenligning med tidligere resultater	29
4.1 Metantab på anlægsniveau	29
4.2 Emissionsfaktorer	29
5 Konklusion	32

1 Indledning

Biogas udgør en stadig større andel af Danmarks energiforsyning og spiller en central rolle i den grønne omstilling. I dag stammer omkring 40% af gassen i det danske gasnet fra biogas (Energinet.dk, 2025). Biogasproduktion fortrænger herved fossile brændsler og bidrager desuden til at reducere drivhusgasudledningen fra landbruget og muliggør en værdifuld recirkulering af næringsstoffer og andre ressourcer.

Imidlertid er der dokumenteret betydelige metantab fra biogasanlæg. Da metan er en potent drivhusgas, har sådanne tab stor betydning for biogasanlæggenes reelle klimateffekt. Tidligere undersøgelser har vist, at gennemsnitlige metantab på op til 10-20% af den samlede biogasproduktion kan eliminere klimafordelene ved biogasproduktion (Scheutz og Fredenslund, 2019). Metanudslip skal håndteres effektivt for at sikre den klimafordel, biogasproduktion kan levere i forhold til fossile alternativer.

Energistyrelsens projekt "Målrettet indsats for at mindske metantab fra danske biogasanlæg" fra 2021 (Energistyrelsen, 2021) havde til formål hhv. at måle metanudledning fra danske biogasanlæg og identificere de enkelte kilder til udledning på anlæggene. Projektet havde deltagelse af 69 biogasproducerende anlæg, svarende til 59% af biogasproduktionen i Danmark på daværende tidspunkt. De deltagende anlægs metanemissioner blev bestemt med sporgasbaserede målinger og viste en national emissionsfaktor for branchen som helhed på 2,5% fordelt over alle anlægstyper. På baggrund af resultaterne i rapporten indførte Energistyrelsen den 1. januar 2023 nye krav til biogasanlæggene. Disse krav omfatter blandt andet etablering af egenkontrolprogrammer, årlig anlægsgennemgang udført af ekstern 3. part med henblik på identifikation og udbedring af lækager, samt emissionsmålinger fra opgraderingsanlæg. Formålet er at minimere metantab og dermed sikre biogasproduktionens positive bidrag til klimaet.

Som opfølgning på denne regulering udmeldte Energistyrelsen i 2024 et offentligt udbud med henblik på både at kvantificere metantab fra danske biogasanlæg efter de nye regler og tilvejebringe opdaterede nationale emissionsfaktorer. Opgaven indebar et landsdækkende måleprogram, repræsentativt for både landbrugs- og spildevandsbaserede biogasanlæg, samt analyse og rapportering af resultaterne.

Udbuddet blev vundet af Teknologisk Institut, Center for landbrug og Digitalisering som herefter indgik et projektpartnerskab bestående af Teknologisk Institut som projektleder

og Danmarks Tekniske Universitet (DTU Sustain), FORCE Technology, Clean Air Technologies og Evida Service som underleverandører. Arbejdet har omfattet planlægning og udvælgelse af anlæg, udførelse af metanemissionsmålinger samt efterfølgende kvalitetssikring af indsamlet data og beregning af metantab og nationale emissionsfaktorer. Måleprogrammet er gennemført i dialog med Energistyrelsen og resultaterne tager udgangspunkt i data indsamlet i perioden 2024-2025. Derudover er der gennemført to udviklingsaktiviteter i projektet herunder undersøgelse af årstidsvariation i metanemissioner samt test af kontinuerlige måleteknologier til overvågning af metanudledning fra biogasanlæg.

Denne rapport præsenterer resultaterne fra måleprogrammet og sammenligner dem med resultater fra den tidligere undersøgelse fra 2021. Resultater fra udviklingsaktiviteter præsenteres i en efterfølgende delrapport.

2 Metode

2.1 Udvælgelse af anlæg

For at kunne fastlægge opdaterede og repræsentative emissionsfaktorer for danske biogasanlæg blev der i projektet gennemført et stort måleprogram, som omfatter både etablerede sporgasbaserede emissionsmålinger inkl. målinger af årstidsvariation, samt udviklingsaktiviteter med nye metoder til kontinuerlig måling af metanemissioner. I alt indgik 80 unikke biogasanlæg i den primære del af måleprogrammet, svarende til ca. 58% af alle danske anlæg. Herudover gennemførtes de nævnte kontinuerte målinger og undersøgelser af årstidsvariation på to udvalgte anlæg.

Projektet har haft fokus på at sikre repræsentativitet i forbindelse med valg af anlæg. De udvalgte anlæg er prioriteret for at sikre, at måleprogrammet dækker forskellige anlægstyper, anlægsstørrelser samt anvendelser af produceret gas. Konkret er der lagt vægt på at inkludere:

- Måling af metanemission fra forskellige anlægstyper: landbrugsanlæg med og uden gasopgradering, renseanlæg og industrianlæg.
- Anlæg af forskellig størrelse i forhold til gasproduktion.

Herved sikres et grundlag for at beregne både en samlet emissionsfaktor for dansk biogasproduktion og separate emissionsfaktorer for de fire angivne anlægstyper.

Derudover er der i udvælgelsen og prioriteringen af anlæg lagt vægt på:

- Repræsentativitet i form af anlægstype: Fordelingen af antal valgte anlæg inden for hver anlægstype er repræsentativ for tilsvarende fordeling for alle eksisterende biogasanlæg i Danmark.
- Repræsentativitet i form af størrelsen af gasproduktion. Fordelingen af antal valgte anlæg inden for hver anlægsstørrelse er repræsentativ for tilsvarende fordeling for alle eksisterende biogasanlæg i Danmark.
- Repræsentativitet i form af den samlede energiproduktion. Fordelingen af den samlede energiproduktion fordelt på anlægstype er repræsentativ for tilsvarende fordeling for alle eksisterende biogasanlæg i Danmark.

Efter udvælgelsen er det desuden sikret, at der blandt de valgte anlæg, indgår anlæg som deltog i det tidligere måleprogram (fx Energistyrelsen, 2021). Herved sikres mulighed for direkte sammenlignelighed over tid.

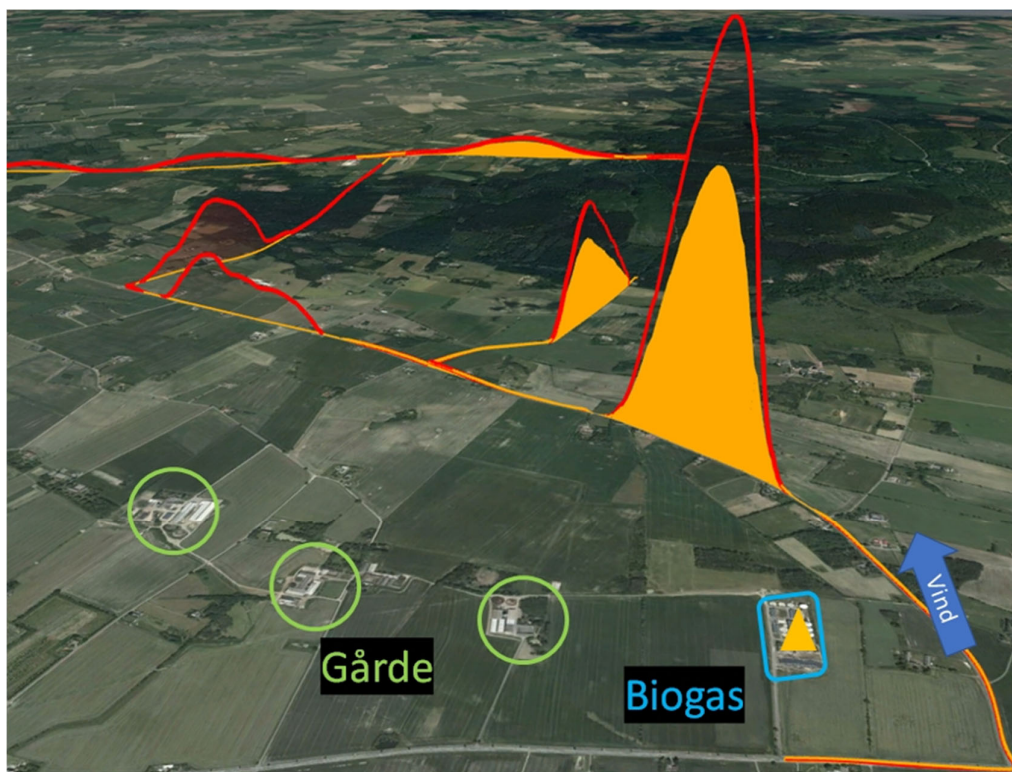
Valg af anlæg og repræsentativitet er præsenteret i afsnit 3.1. Det oplyses, at deltagelse i måleprogrammet har været obligatorisk for de udvalgte anlæg, hvilket er en væsentlig forskel fra det tidligere projekt (Energistyrelsen, 2021), hvor deltagelse var frivillig.

2.2 Målemetode

Den totale metanemission blev målt med brug af dynamisk sporgasdispersionsmetode (Scheutz et al., 2011; Mønster et al., 2014) (herefter "sporgasmetode"). Metoden kombinerer frigivelse af sporgas i et eller flere punkter på biogasanlægget med nedvindsmålinger af metan og sporgas. Metanemissionen fra anlægget bestemmes herefter ud fra forholdet mellem koncentrationen af metan og sporgas målt nedvinds anlægget, samt den kendte udledning af sporgas på anlægget. Målemetoden er veldokumenteret og har sammenlignet med andre kendte metoder en relativ lav måleusikkerhed, hvilket er dokumenteret i en række nationale og internationale projekter, hvor der er udført sammenligningstests og kontrollerede frigivelsestest (Mønster et al., 2014, Delre et al., 2018, Fredenslund et al., 2019).

Alle udførende målefirmaer i projektet er akkrediterede under DANAK til at udføre sporgasmålinger.

Figur 1 viser et eksempel på sporgasmåling, hvor der måles koncentrationer af metan og sporgas nedvinds et biogasanlæg. I dette eksempel ses det, at der i biogasanlæggets omgivelser er andre kilder til metan - de tre gårde markeret med grønne cirkler. Eksemplet illustrerer, at sporgas kan anvendes som indikator for, om de forhøjede metanniveauer, der måles nedvinds anlægget, skyldes udledning fra anlægget eller stammer fra andre kilder i området.



Figur 1. Illustration af måling af et anlægs totale metanemission med sporgas. Højden af de røde og gule kurver er proportional med målte atmosfæriske koncentrationer af hhv. metan og sporgas. Den gule trekant angiver sted for frigivelse af sporgas på biogasanlægget.

Målingerne udførtes jf. måleprotokol (Scheutz & Kjeldsen, 2019; Energistyrelsen, 2021), hvor der indledningsvist måles på og omkring biogasanlægget for at finde de primære kilder til metan samt lokalisere eventuelle andre metankilder i området, som kan interferere med målingerne. Derefter placeres sporgasflasker tæt på de primære metanemissionsområder på anlægget, og metan- og sporgaskoncentrationen måles langs en kørbær vej, der går på tværs af nedvindsfanen. Vejen skal have en passende afstand fra kilden, og der må ikke være andre metankilder til stede imellem biogasanlægget og målevejen. Afstanden til målevejen afhænger af biogasanlæggets fysiske størrelse, metanemissionens størrelse, samt højden af kilder på anlægget. Afstanden til målevejen bør være 4-5 gange bredden af det emitterende område på biogasanlægget og gerne længere væk, da dette giver en større opblanding af metan og sporgas (både horisontal og vertikal), og dermed en bedre simulering af metanemissionen.

Den totale metanemission målt med sporgasmetoden inkluderer alle metanudledninger fra anlægget herunder metan fra lækager, biomasseoplag, motor og opgraderingsanlæg mv. Den målte metanemission lægges til den registrerede metanproduktion, da de fleste metanudledninger fra anlægget oftest ikke indgår i den registrerede metanproduktion (se også afsnit 2.5).

Usikkerheden på en udført måling består af usikkerheden på målemetoden samt variabiliteten på den individuelle kvantificering. Usikkerheden på målemetoden opgøres ved at opstille et usikkerhedsbudget for de forskellige bidrag fx usikkerhed på måling af metan og sporgas med gassensorer, usikkerhed på sporgasfrigivelse og usikkerhed for simulering af metanfane med sporgas. Det største usikkerhedsbidrag stammer fra simulering af metanfane med sporgas. I dette projekt er bidraget estimeret ud fra, hvor godt et match mellem metan og sporgasfane, der er opnået under målingen – altså i hvor høj grad koncentrationer af de to gasser stiger og falder proportionalt med hinanden under traversering af nedvindsfane. Simuleringen vurderes ud fra R^2 -værdi for korrelationen mellem målte metan- og sporgaskoncentrationer nedvinds anlægget. Afhængig af R^2 -værdien tildeles en usikkerhed på mellem 5 og 15%.

Usikkerheden på variabiliteten på en kvantificering beregnes ud fra antallet af fanemålinger som standardfejl på middelværdien på et 95% konfidensinterval (Mønster et al., 2014; Fredenslund et al., 2019). Den samlede usikkerhed på en målt emission (kvantificering) beregnes som kvadratroden af summen af kvadraterne af hhv. usikkerheden på metoden og variabiliteten på målingen.

Tidligere projekter (herunder Energistyrelsen, 2021) har vist, at muligheder for opgørelse af gasproduktionen på de forskellige anlæg er varierende. Anlæg med opgradering og afsætning til gasnettet har typisk meget nøjagtige tal for deres gasproduktion, mens de mindre anlæg med enten elproduktion eller direkte levering af gas til eksterne, oftest ikke har lige så pålidelige data for deres produktion. Derfor har det været vigtigt, at de enkelte målefirmaer i forbindelse med rapportering har angivet, hvis der er anvendt en metode, hvor usikkerheden er vurderet relativt høj – som fx beregning af gasproduktion ud fra elproduktion og antaget el-virkningsgrad på motor.

Der er i projektet udført minimum $3 \cdot 10$ fanemålinger per anlæg, hvilket er højere end de for målemetoden anbefalede minimum 10 fanemålinger. Dermed er der sikret, at der ved hvert anlæg er målt over en længere periode, hvilket gør målingerne i dette projekt mindre følsomme overfor korttidsvariationer i anlæggenes emission.

Derudover var der tilsigtet en god korrelation mellem metan og sporgas ($R^2 > 0,8$) samt et tilstrækkeligt højt signal-/støjforhold (S/N-forhold) i målingen (> 10) (Forster-Witting et al. 2015). Et S/N-forhold på minimum 10 skal sikre, at der opnås en god detektion af metan- og sporgasfane, således at disse er klart adskilt fra det atmosfæriske baggrundsniveau af metan og sporgas. S/N-forholdet beregnes som den højeste koncentration (peakhøjde) af hhv. metan og sporgas målt i fane divideret med de anvendte måleinstrumenters præcision for de samme gasser. Et højt S/N-forhold sikres bl.a. ved

brug af følsomme gasanalyseinstrumenter, samt hyppig kalibrering af disse. I dette projekt er der opnået et S/N-forhold på gennemsnitligt 166 ± 44 og 298 ± 177 for hhv. metan og sporgas.

Opfyldelse af disse datakvalitetskriterier betyder, at usikkerheden på resultatet af den totale metanemission typisk ligger under 20% (Mønster et al., 2014; Delre et al., 2018, Fredenslund et al., 2019). I dette projekt var den samlede usikkerhed (metodeusikkerhed og variabilitet på målingen) for en målt metanemission i gennemsnit $16 \pm 4\%$ med en variation på mellem 12% og 31%.

De målte biogasanlægs totale metanemission er i projektet afrapporteret jf. nedenstående kriterier:

- Oplysninger om anlæg, herunder anlægstype, samt navn, adresse og kontaktperson.
- Oplysninger om målefirma (firmanavn, kontaktoplysninger).
- Dato og tidspunkt for den udførte måling.
- Evt. bemærkninger om anlæggets drift – herunder om der var forhold, der vurderes at have påvirket metanudledningen.
- Gasproduktion på måletidspunkt ($\text{kg CH}_4/\text{time}$) (målt og oplyst af anlægget – evt. omregnet fra oplyste værdier af målefirma).
- Rådata for måling (gaskoncentrationer, koordinater mv.).
- Oplysninger om sporgasfrigivelse (antal flasker, frigivelsesrate).
- Oplysninger om kvalitetsparametre (S/N forhold, korrelation mellem metan og sporgas mv.).
- Total metanemission og metantab i % af gasproduktion.
- Usikkerhed på emissionsmåling.
- Fire figurer: "Screening for metan og sporgas i anlæggets omgivelser", "Screening for metan og sporgas på anlægget", "Eksempel på repræsentativ fanemåling" og "Eksempel på integration af fanemålinger".
- Metodebeskrivelse.

2.3 Udviklingsaktiviteter

Som en del af projektet blev der, som beskrevet i de følgende afsnit, gennemført to aktiviteter målrettet hhv. test af metoder til kontinuerlig måling af metanemission på anlægsniveau, samt måling af årsvariation på metanemissioner. Resultaterne fra de to udviklingsaktiviteter præsenteres separat i en kommende rapport.

2.3.1 Kontinuerlig måling af metanemissioner

Biogasanlæg er komplekse emissionskilder med potentielt flere kilder på anlægget, herunder lækager fra diverse gasbærende komponenter, udnyttelses- og opgraderingsenheder, samt ikke gastætte lagre med biomasse og digestat. Emissionerne fra disse kilder forventes at vise tidsmæssige variationer, herunder både kortsigtede og sæsonbestemte variationer på grund af ændringer i driftsforhold og/eller ændringer i atmosfæriske forhold såsom temperatur og vind. Grundet de eksisterende målemetoders (herunder sporgasmetoden) begrænsede tidshorisont, som betyder, at de kun giver et øjebliksbillede af emissionen på måletidspunktet, er den konkrete viden om emissionsvariation på biogasanlæg forholdsvis begrænset. Afdækning af variation i emissioner kræver kontinuitet i målinger, og teknologier til gennemførsel af kontinuerlige emissionsmålinger er p.t. under udvikling. Som en del af projektet er der gennemført test af teknologier til kontinuerlige emissionsmålinger.

I projektet blev to teknologier til kontinuerlige metanmålinger testet baseret på hhv. Quantum Gas Lidar (QLM) og Tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS).

Det britiske firma QLM Technology har udviklet og patenteret en ny billedteknologi, som kan detektere, visualisere, lokalisere og kvantificere metanemissionsrater på anlægsniveau. Instrumentet kombinerer lidar (light detection and ranging) og gasabsorptions-spektroskopi med høj-sensitive, enkeltfoton detektorer, hvilket gør instrumentet i stand til at "tælle" gasmolekyler på op til 200 meters afstand.

Instrumentet blev placeret på en centralt placeret mast og scannede herefter løbende anlægget og kvantificerede eventuelle metankilder. Gennemførelsen af en enkelt scanning tog under normale forhold mindre end en time, og systemet kunne således levere emissionsrater på timeniveau.

Den anden teknologi blev leveret af firmaet DevLabs og benyttede et netværk bestående af 5 sensorer. TDLAS CH₄ 1000 sensorer (antal vil variere efter anlægsstørrelse og/eller forventet størrelse på metankilder).

Sensorerne blev opsat på strategisk udvalgte steder (fremherskende vindretning) rundt omkring på anlægget, og ud fra observationerne kunne den totale emission estimeres ved at sammenfatte alle hypotetiske og sandsynlige mønstre af emissioner. Dette blev udført ved hjælp af en teoretisk, fysisk model, der beskriver, hvordan forskellige emissioner spreder sig ud til sensorsystemet, og blev yderligere forfinet ved at inkorporere information om, hvor emissioner er mest sandsynlige, i modellen.

Begge teknologier blev opsat på det samme biogasanlæg hvorefter der blev udført målinger over en to måneders periode. Til verifikation af målesystemerne blev der udført 18 stk. sporgasmålinger (hver på min. 10 transekter) fordelt over perioden.

2.3.2 Undersøgelse af årstidsvariation i metanemission

Som følge af variation i temperatur forventes det, at der kan være en vis årstidsvariation i metanemissioner fra biogasanlæg. Variation i atmosfæretemperatur kan påvirke trykket i det gasbærende system, hvilket kan betyde flere lækager og dermed større emission i varme perioder end i kolde perioder. Dernæst kan emissionerne fra ikke gastætte anlægsdele med metandannende biologiske processer variere over året, idet disse processer er temperaturafhængige og dermed typisk foregår langsommere i vinterhalvåret, hvilket igen alt andet lige giver lavere metanemissioner, end tilfældet er i sommerhalvåret. Opbevaret mængder af afgasset slam på fx renseanlæg kan variere over året, da disse restprodukter kun kan køres på landbrugsjord i specifikke perioder. I perioder med større mængder opbevaret slam kan forventes en højere emission.

Der blev i projektet gennemført undersøgelse af årstidsvariation på to biogasanlæg med brug af gentagne sporgasmålinger. Det ene anlæg var med lager til afgasset biomasse uden gastæt overdækning og gasopsamling, mens det andet var med både gastæt overdækning og gasopsamling. Den samlede metanemission fra anlægget blev målt med sporgasmetoden 6-7 gange fordelt over et kalenderår på hvert af de to anlæg. Desuden blev der indhentet oplysninger om gasproduktion for alle måledage.

2.4 Håndtering af metanbidrag fra stalde og gylletanke på landbrugsbiogasanlæg

Ved måling på 6 af de 80 deltagende anlæg, var det ikke muligt at separere metanemission fra selve anlægget og metanemission fra nærliggende staldanlæg pga. den fysiske placering og afstand imellem disse. Anlæggene hørte alle under kategorien landbrugsanlæg, og der var tale om hhv. 5 grisebesætninger og en enkelt kvægbesætning. Disse anlæg havde en relativt lav gasproduktion ift. anlægskategori, og repræsenterede tilsammen 2,8% af den samlede gasproduktion for de deltagende anlæg.

I disse tilfælde blev der anvendt en model til at beregne metanemission fra stalde og gylletanke, hvis beregnede emission blev fratrasket den målte, totale metanemission for biogasanlæg inkl. stalde/gylletanke. Samme fremgangsmåde blev anvendt i Energistyrelsen, 2021. Der er i dette projekt anvendt samme emissionsfaktorer kombineret med besætningsoplysninger indhentet fra enten besætningsejer og/eller Centralt Husdyrbrugsregister. For yderligere metodebeskrivelse henvises til Energistyrelsen, 2021 (Appendix 4).

2.5 Beregning af metantab på anlægsniveau

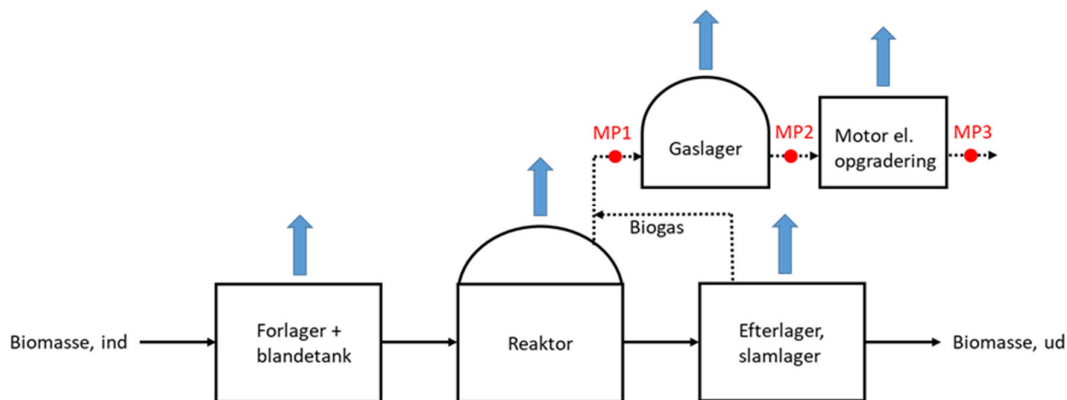
Ved metantab menes der, den andel af biogasanlæggets metanproduktion, der tabes til omgivelserne. Metantabet for de individuelle anlæg er beregnet på baggrund af den totale metanemission målt med sporgasmetode samt gasproduktionen registreret på anlægget på den pågældende måledag. Metantabet angives i procent og beregnes som vist i formlen:

$$\text{Metantab (\%)} = \frac{E \text{ (kg CH}_4\text{/time)}}{P \text{ (kg CH}_4\text{/time)} + E \text{ (kg CH}_4\text{/time)}}$$

hvor E er den målte totale metanemission fra anlægget (kg CH₄/time) og P er den registrerede metanproduktion på anlægget på måledagen (kg CH₄/time). Den totale metanemission målt med sporgasmetoden inkluderer alle metanudledninger fra anlægget herunder metan fra lækager, tanke, biomasseoplag på anlægget, motor- og gasopgraderingsanlæg mm. Den målte metanemission lægges til den registrerede produktion, da de fleste metanudledninger fra anlægget som oftest ikke indgår i den registrerede metanproduktion. For eksempel er typiske årsager til lækage tryk-/vakuumentiler på reaktorer samt metanudslip fra lagertanke uden gasopsamling. I begge tilfælde er den metangas, der siver ud, ikke registreret på anlægget som produceret og vil potentielt kunne realiseres ved anlægsudbedringer.

På anlæg, hvor gasproduktionen måles før gaslager eller før motor/opgradering (hvh. MP1 og MP2 på Figur 2), vil den registrerede metanproduktion være lidt højere sammenlignet med, hvis den måles efter motor/opgraderingsanlæg grundet lækager i gasbeholder og/eller metanslip i motor/opgradering. I et sådanne tilfælde ville det være mest korrekt at fratrække fx metanslippet fra motor/opgradering fra summen af den målte metanemission og den registrerede metanproduktion. Dette er dog udeladt i denne rapport, idet kun et fåtal af de undersøgte anlæg har registreret metanproduktionen før gaslager eller motor/opgradering.

For de fleste anlæg, vil det have meget lille betydning for det beregnede metantab, hvor vidt den målte emission lægges til produktionen eller ej. For anlæg med høje tab (fx over 10%), vil det dog have nogen betydning, og det vurderes derfor mest korrekt at lægge tabet til, da det typisk ikke vil være registreret i hverken MP1, MP2 eller MP3 på anlægget.



Figur 2. Simpelt flowdiagram for et biogasanlæg. De blå pile angiver mulige steder for metanudledning på anlægget. MP1, MP2 og MP3 angiver målepunkter, hvor gasproduktionen er bestemt for forskellige anlæg i projektet (Energistyrelsen, 2021).

Det gennemsnitlige metantab for forskellige anlægstyper (landbrugsanlæg, industrianlæg og renseanlæg) er beregnet som følger:

$$Metantab = \left(\frac{E_1}{P_1 + E_1} + \frac{E_2}{P_2 + E_2} + \frac{E_3}{P_3 + E_3} \dots + \frac{E_z}{P_z + E_z} \right) / z$$

hvor E_{1-z} er målte metanemissioner (kg CH₄/time) på de enkelte anlæg (1-z) og P_{1-z} er den metanproduktionen (kg CH₄/time) registeret på anlæggene. I beregningen af det gennemsnitlige metantab på anlægsniveau tages ikke højde for, at anlæggene har forskellig gasproduktion. De opgjorte, gennemsnitlige metantab for de forskellige anlægstyper er dermed ikke produktionsvægtede.

2.6 Beregning af emissionsfaktorer til brug for den nationale indrapportering af drivhusgasser

I projektet er der beregnet emissionsfaktorer til anvendelse i den nationale indrapportering af drivhusgasser. Den nationale indrapportering er baseret på indrapporterede, nyttiggjorte metanproduktioner på danske biogasanlæg. Metanemissionsfaktorerne er derfor beregnet som produktionsvægtede metanemissionsgennemsnit, hvor metanemissionerne er vægtet ift. anlæggenes metanproduktion jf. nedenstående formel:

$$Emissionsfaktor = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_z}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_z}$$

hvor E_{1-z} er målte metanemissioner (kg CH₄/time) på de enkelte anlæg (1-z) og P_{1-z} er metanproduktionen registeret på anlægget (kg CH₄/time). Det bemærkes, at da

indrapporteringen er baseret på nyttiggjort metanproduktion (og ikke anlæggenes samlede metanproduktion (E+P)) indgår målte emissioner fra anlægget (E) ikke i nævneren i den angivne formel.

Emissionsfaktorerne for de forskellige anlægstyper angives med en beregnet usikkerhed, hvor der indgår dels måleusikkerhed bestemt for de enkelte emissionsmålinger, og dels estimeret usikkerhed på bestemmelse af gasproduktionen jf. afsnit 2.2. Sidstnævnte er vurderet til at variere mellem 0,5 og 2% for de forskellige anlæg afhængigt af anlæggenes indretning. Lavest usikkerhed (maksimum 0,5%) gælder for anlæg med opgradering, der har meget nøjagtig gasmåling. De mest usikre bestemmelser af gasproduktion gælder for motoranlæg, hvor metanproduktionen er beregnet ud fra elproduktionen og motorens virkningsgrad. Hvis motoren er slidt, falder elvirkningsgraden, hvilket har indgået i vurdering af usikkerhed.

3 Resultater

3.1 Oversigt over anlæg

Metanemissionen blev målt på 80 anlæg repræsenterende et bredt udsnit af de danske biogasanlæg med hensyn til anlægstype (landbrugsanlæg med og uden opgradering, renseanlæg og industrianlæg) og anlægsstørrelse i form af størrelsen af gasproduktion. Tabel 3-5 viser repræsentativiteten af de deltagende anlæg i forhold til anlægstype og anlægsstørrelse fordelt på antal anlæg samt repræsentativiteten af de deltagende anlæg i forhold til den samlede energiproduktion inden for hver anlægstype.

Samlet set er der i projektet målt emission på 80 anlæg ud af 139 eksisterende anlæg svarende til 58% (Tabel 3). Fordelt på anlægstype fremgår det, at fordelingen af deltagende anlæg ligger relativt tæt på fordelingen af eksisterende biogasanlæg inden for anlægstypen (± 2 -9%). Der ses dermed en lille overrepræsentation af landbrugsanlæg med gasopgradering.

Tabel 3. Oversigt over antal udvalgte anlæg fordelt på anlægstyper a) renseanlæg, b) landbrugsanlæg uden opgradering c) landbrugsanlæg med opgradering og d) industrianlæg sammenlignet med det samlede antal eksisterende antal biogasanlæg i Danmark og deres fordeling på anlægstype.

		Anlæg delt op efter anlægstype a, b, c og d				I alt
		Renseanlæg (a)	Landbrugsanlæg (b)	Landbrugsanlæg (c)	Industrianlæg (d)	
Alle anlæg i Danmark	Antal anlæg	40	37	55	7	139
	Fordeling af anlæg på anlægstype	29%	26%	40%	5%	
Deltagende anlæg	Antal deltagende anlæg	20	19	39	2	80
	Fordeling af deltagende anlæg på anlægstype	25%	24%	49%	2%	

Størrelsen af energiproduktionen på danske biogasanlæg er meget forskellig. Ses på repræsentativiteten af de deltagende anlæg i forhold til anlæggenes størrelse målt på energiproduktion (opgivet i gasproduktion¹ (GJ produceret på årsbasis for 2023)), fremgår det, at anlæg i størrelseskategorien lille (<30.000 GJ/år) udgør 28%, anlæg i mellemkategorien (30.000-250.000 GJ/år) udgør 33%, mens store anlæg (250.000-500.000 GJ/år) og meget store anlæg (>500.000 GJ) tilsammen udgør 39% af de valgte anlæg. Til sammenligning er fordelingen for eksisterende anlæg i de tre

¹ For opgraderingsanlæg er gasproduktionen på årsbasis for 2023 opgjort ud fra gasmængde til gasnettet. For el-producerende anlæg er gasproduktionen beregnet ud fra elproduktionen under antagelse af en el-virkningsgrad på 36%

størrelseskategorier på hhv. 35%, 35% og 30%. Generelt ses det, at fordelingen af valgte anlæg i de fire størrelseskategorier er relativt tæt på fordelingen af eksisterende biogasanlæg ($\pm 9\%$). Dog er der en lille underrepræsentation (-8%) af små produktionsanlæg (<30.000 GJ/år) og en lille overrepræsentation ($+9\%$) af store anlæg (>250.000 GJ/år). Det bemærkes, at der foregår en stor omstilling til større biogasproducerende anlæg. Af tabellen fremgår det også, at den mindste størrelseskategori hovedsageligt udgøres af renseanlæg (17 ud af 22 anlæg i kategorien), mens mellemkategorien (30.000 - 250.000 GJ/år) udgøres af en næsten ligelig fordeling af landbrugsanlæg uden opgradering (11) og landbrugsanlæg med opgradering (12). De to største kategorier (>250.000 GJ/år) udgøres primært af landbrugsanlæg med opgradering (27) samt et mindre antal landbrugsanlæg uden opgradering (3).

Tabel 4. Oversigt over antal udvalgte anlæg fordelt på anlægsstørrelse i forhold til årlig energiproduktion sammenlignet med det samlede antal eksisterende antal biogasanlæg i Danmark og deres fordeling på anlægsstørrelse. Der var ikke komplette oplysninger omkring energiproduktion for industrianlæggene, hvorfor det samlede antal anlæg i Danmark i denne tabel er 133 og ikke 139 som i tabel 3, samt at antal deltagende anlæg er 78 og ikke 80.

		Anlæg delt op efter energiproduktion 2023 (GJ)				I alt
		0-30.000	30.000-250.000	250.000-500.000	>500.000	
Alle anlæg i Danmark	Antal anlæg	46	47	20	20	133
	Fordeling af anlæg på anlægsstørrelse	35%	35%	15%	15%	
Deltagende anlæg	Antal deltagende anlæg	22	26	11	16	78
	Fordeling af deltagende anlæg på anlægsstørrelse	28%	33%	18%	21%	
	Renseanlæg (a)	17	3	0	0	20
	Landbrugsanlæg (b)	5	11	3	0	19
	Landbrugsanlæg (c)	0	12	11	16	39
	Industrianlæg (d)	----- ikke oplyst -----				

I tabel 5 angives den samlede energiproduktion for de forskellige anlægstyper for dels alle anlæg i Danmark samt de deltagende anlæg. Det ses, at fordelingen af de valgte anlægs energiproduktion i forhold til den samlede energiproduktion på alle danske anlæg er stort set ens ($\pm 2\%$). Desuden viser tabellen, hvor stor en del af de forskellige anlægstypers samlede energiproduktion, der var omfattet af nærværende undersøgelse. I tabellen fremgår det, at andelen af deltagende anlæg i forhold til energiproduktion varierede mellem 49% for renseanlæggene til 74% for landbrugsanlæg med opgradering. Landbrugsanlæg med opgradering er den anlægstype, der tegner hovedparten af dansk biogasproduktion, hvilket er baggrunden for dette valg. Samlet set er der udført emissionsmålinger på anlæg repræsenterende 73% af den samlede danske biogasproduktion.

Tabel 5. Oversigt over samlede gasproduktion (GJ opgjort for 2023) for udvalgte anlæg fordelt på anlægstyper a) renseanlæg, b) landbrugsanlæg uden opgradering, c) landbrugsanlæg med opgradering og d) industrianlæg sammenlignet med den samlede energiproduktion på biogasanlæg i Danmark og dennes fordeling på anlægstype. Nederste række i tabellen viser andelen af energiproduktion for deltagende anlæg ud af den samlede gasproduktion for alle biogasanlæg i Danmark fordelt på anlægstype samt ud af den samlede danske gasproduktion på biogasanlæg (%).

		Anlæg delt op efter anlægstype a, b, c og d				I alt (a,b,c)
		Renseanlæg (a)	Landbrugsanlæg (b)	Landbrugsanlæg (c)	Industrianlæg (d)	
Alle anlæg i Danmark	Energi- produktion (GJ)	760.428	3.420.870	25.127.377	Ikke oplyst	29.308.675
	Andel af energiproduktion fordelt på anlægstype (%)	2%	12%	86%		
Deltagende anlæg	Energi- produktion (GJ)	373.983	2.215.321	18.676.341	Ikke oplyst	21.265.645
	Andel af gasproduktion for deltagende anlæg fordelt på anlægstype (%)	2%	10%	88%		
	Andel af gasproduktion for deltagende anlæg ud af den samlede gasproduktion for alle anlæg i Danmark (%)	49%	65%	74%		73%

3.2 Metanemission på anlægsniveau

Den totale metanemission blev målt på alle 80 udvalgte biogasanlæg - herunder 20 renseanlæg, 19 landbrugsanlæg uden opgradering, 39 landbrugsanlæg med opgradering og 2 industrianlæg. Målingerne er udført med sporgasmetoden, som beskrevet i afsnit 2.2. Nedenstående afsnit lister de målte metanemissioner på anlægsniveau samt beregnet måleusikkerhed (jf. afsnit 2.2) opdelt i de fire anlægstyper. Desuden angives metantab for de enkelte anlæg. Metantab behandles i afsnit 3.3.

3.2.1 Metanemission fra renseanlæg

Tabel 6 lister målt metanemission for de deltagende 20 renseanlæg, mens figur 3 illustrerer målt metanemission og metantab for de samme anlæg. Biogasproduktionen på renseanlæg er i gennemsnit lavere end for landbrugsanlæg (se evt. afsnit 3.1). Denne undersøgelse har omfattet renseanlæg med gasproduktion på mellem 8 og 213 kg CH₄/time på måledagen, og hvor den gennemsnitlige gasproduktion var 53 kg CH₄/time. Den målte metanemission var i gennemsnit 5,1 kg CH₄/time, og varierede mellem 0,7 og

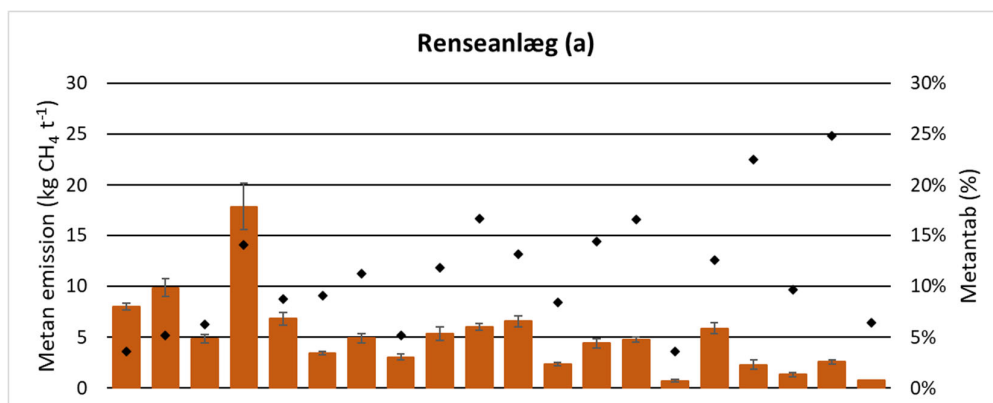
17,9 kg CH₄/time, hvor de laveste emissionsrater er målt for relativt små gasproducenter og de højeste er målt for de større.

Tabel 6. Størrelseskategori, gasproduktion på måledagen, målt total metanemission (kg/time) samt metantab (%) for renseanlæg (anlægstype a). Anlæggene i tabellen er sorteret efter energiproduktion fra højest til lavest.

Størrelseskategori (GJ/år)*	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
30.000-250.000	213 ± 2,1	8,0 ± 0,9	3,6 ± 0,4%
30.000-250.000**	179 ± 1,8	9,9 ± 1,6	5,2 ± 0,9%
30.000-250.000	73 ± 0,7	4,8 ± 0,7	6,2 ± 0,9%
0-30.000	109 ± 1,6	17,9 ± 3,0	14,0 ± 2,4%
0-30.000	71 ± 1,1	6,8 ± 1,1	8,8 ± 1,5%
0-30.000	35 ± 0,5	3,4 ± 0,6	9,1 ± 1,7%
0-30.000	39 ± 0,6	4,9 ± 1,0	11,2 ± 2,3%
0-30.000	56 ± 0,8	3,1 ± 0,5	5,2 ± 0,9%
0-30.000	40 ± 0,6	5,4 ± 1,0	11,8 ± 2,2%
0-30.000	30 ± 0,5	6,0 ± 0,7	16,7 ± 2,1%
0-30.000	43 ± 0,6	6,6 ± 1,3	13,1 ± 2,6%
0-30.000	26 ± 0,4	2,4 ± 0,4	8,4 ± 1,3%
0-30.000	26 ± 0,4	4,4 ± 0,8	14,4 ± 2,6%
0-30.000	24 ± 0,4	4,7 ± 0,7	16,6 ± 2,5%
0-30.000	19 ± 0,3	0,7 ± 0,2	3,6 ± 0,8%
0-30.000	41 ± 0,6	5,9 ± 1,0	12,5 ± 2,1%
0-30.000	8 ± 0,1	2,3 ± 0,5	22,5 ± 5,3%
0-30.000	12 ± 0,2	1,3 ± 0,3	9,6 ± 1,9%
0-30.000	8 ± 0,1	2,6 ± 0,4	24,9 ± 3,4%
0-30.000	12 ± 0,2	0,8 ± 0,1	6,4 ± 1,0%
Gennemsnit	53	5,1	11,2%
Standardafvigelse	54	3,8	6,3%

* Baseret på energiproduktionsdata for 2023

** Anlæg har gasopsamling på slamlager



Figur 3. Metanemission og metantab for de deltagende renseanlæg. Søjlerne højde angiver målt metanemission (venstre y-akse), mens sorte firkanter angiver metantab (højre y-akse). Anlæggene er sorteret efter energiproduktionsdata fra 2023.

Et af de deltagende anlæg (se evt. tabel 6) har etableret et slamlager med gasopsamling, hvilket er atypisk for denne anlægstype. Anlægget, der har en relativ lav metanemission set i forhold til gasproduktionen, har et metantab på 5,2%, som er under det gennemsnitlige metantab på anlægsniveau på 11,2% for renseanlæg.

3.3 Metanemission for landbrugsanlæg uden opgradering

Tabel 7 lister målt metanemission for de 19 deltagende landbrugsanlæg uden opgradering, mens figur 4 illustrerer målt metanemission og metantab for de samme anlæg. Biogasproduktionen for de deltagende landbrugsanlæg uden opgradering var i gennemsnit 303 kg CH₄/time varierende mellem 58 og 1012 kg CH₄/time. Den målte metanemission for anlægskategorien var i gennemsnit 11,3 kg CH₄/time og varierede mellem 1,4 og 56,0 kg CH₄/time.

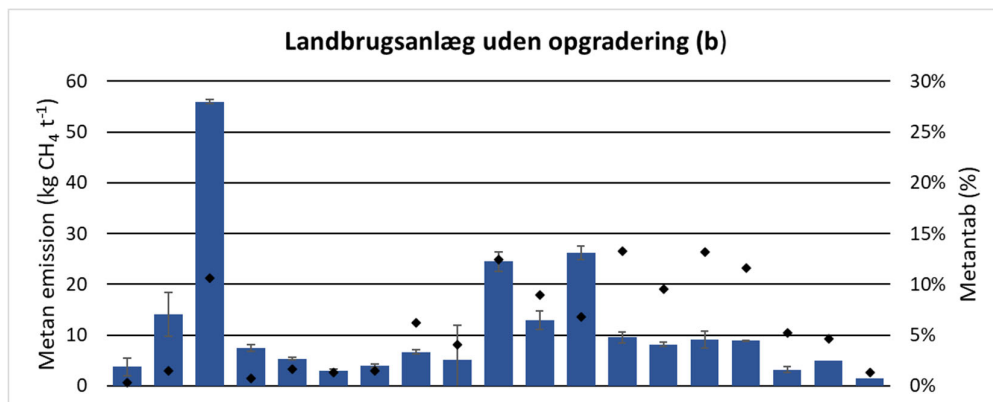
Tabel 7. Størrelseskategori, gasproduktion på måledagen, målt total metanemission (kg/time) samt metantab (%) for landbrugsanlæg uden opgradering (anlægstype b). Anlæggene i tabellen er sorteret efter energiproduktion fra højest til lavest.

Størrelseskategori (GJ/år)*	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
250.000-500.000	992 ± 10	3,7 ± 0,7	0,4 ± 0,1%
250.000-500.000	914 ± 9	14,1 ± 2,3	1,5 ± 0,2%
250.000-500.000	470 ± 5	56,0 ± 7,6	10,6 ± 1,4%
30.000-250.000	1012 ± 10	7,4 ± 0,9	0,7 ± 0,1%
30.000-250.000	317 ± 3	5,4 ± 1,2	1,7 ± 0,4%
30.000-250.000	224 ± 2	3,0 ± 0,4	1,3 ± 0,2%
30.000-250.000	262 ± 3	4,0 ± 0,5	1,5 ± 0,2%
30.000-250.000	101 ± 1	6,7 ± 0,8	6,2 ± 0,7%
30.000-250.000	123 ± 1	5,2 ± 0,7	4,0 ± 0,5%
30.000-250.000**	172 ± 2	24,5 ± 7,5	12,5 ± 3,8%
30.000-250.000**	131 ± 1	12,9 ± 2,4	9,0 ± 1,6%
30.000-250.000	359 ± 4	26,2 ± 3,4	6,8 ± 0,9%
30.000-250.000**	63 ± 1	9,6 ± 1,7	13,3 ± 2,4%
30.000-250.000	77 ± 1	8,2 ± 1,4	9,6 ± 1,6%
0-30.000	60 ± 1	9,1 ± 1,1	13,2 ± 1,6%
0-30.000	67 ± 1	8,9 ± 2,0	11,6 ± 2,6%
0-30.000	58 ± 1	3,2 ± 0,4	5,3 ± 0,6%
0-30.000	101 ± 2	5,0 ± 0,9	4,7 ± 0,9%
0-30.000	106 ± 2	1,4 ± 0,2	1,3 ± 0,2%
Gennemsnit	303	11,3	6,1%
Standardafvigelse	314	12,7	4,7%

Baseret på energiproduktionsdata for 2023

** Metanemission blev målt totalt for biogasanlæg og nærliggende gård, hvor gårdens beregnede metanemission er fratrullet den målte emission.

For tre af anlæggene i kategorien var det ikke muligt at måle biogasanlæggets emission separat fra den nærliggende gård (se evt. afsnit 2.4). For disse anlæg, er den målte metanemission fratrasket det beregnede bidrag fra stalde og gylletanke.



Figur 4. Metanemission og metantab for de deltagende landbrugsanlæg uden opgradering. Søjlerne højde angiver målt metanemission (venstre y-akse), mens sorte firkanter angiver metantab (højre y-akse).

3.4 Metanemission for landbrugsanlæg med opgradering

Tabel 8 lister målt metanemission for de deltagende 39 landbrugsanlæg med opgradering, mens figur 5 illustrerer målt metanemission og metantab for de samme anlæg. Anlæggenes gennemsnitlige metanproduktion var 1121 kg CH₄/time, hvilket er højere end den højeste metanproduktion for nogle af anlæggene i de andre kategorier. Den gennemsnitlige målte metanemission er 38,4 kg CH₄/time, hvilket er den højeste af de fire anlægskategorier. For et af anlæggene var målingen af metanemission sammenfaldende med havari på anlægget, hvor der var havari af duge på to reaktorer. Her målte den højeste emission (464 kg CH₄/time), hvilket er ca. 5 gange den næsthøjeste målte emissionsrate. Denne måling er udført under omstændigheder, der vurderes sjældne, og den målte emissionsrate er ikke repræsentativ for dette anlæg.

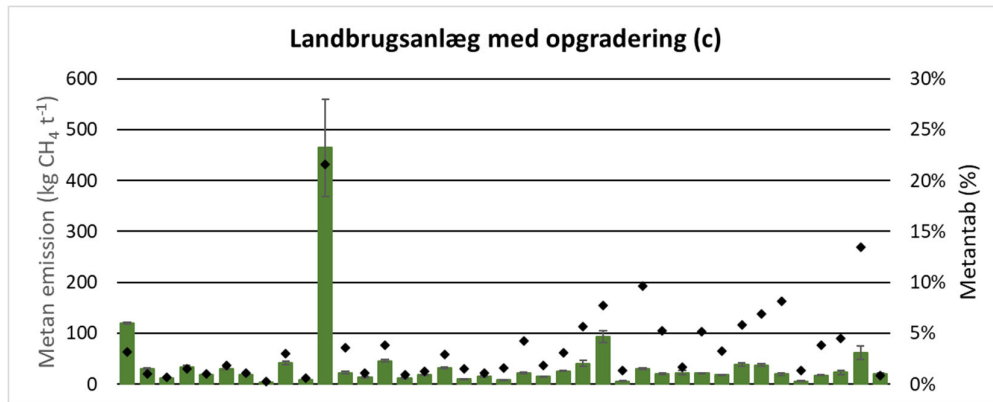
Tabel 8. Størrelseskategori, gasproduktion på måledagen, målt total metanemission (kg/time) samt metantab (%) for landbrugsanlæg med opgradering (anlægstype c). Anlæggene i tabellen er sorteret efter energiproduktion fra højest til lavest.

Størrelseskategori (GJ/år)*	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
>500.000	3677 ± 18	120,1 ± 21,6	3,2 ± 0,6%
>500.000	3080 ± 15	30,5 ± 3,8	1,0 ± 0,1%
>500.000	1808 ± 9	11,7 ± 2,0	0,6 ± 0,1%
>500.000	2184 ± 11	33,8 ± 4,5	1,5 ± 0,2%
>500.000	1858 ± 9	19,4 ± 3,0	1,0 ± 0,2%
>500.000	1629 ± 8	30,7 ± 4,0	1,9 ± 0,2%
>500.000	1680 ± 8	18,0 ± 2,2	1,1 ± 0,1%
>500.000	1529 ± 8	4,5 ± 0,5	0,3 ± 0,04%
>500.000	1354 ± 7	41,8 ± 8,5	3,0 ± 0,6%
>500.000	1537 ± 8	9,2 ± 1,9	0,6 ± 0,1%
>500.000*	1663 ± 8	464,2 ± 126,5	21,6 ± 5,9%
>500.000	615 ± 3	22,6 ± 3,2	3,6 ± 0,5%
>500.000	1167 ± 6	13,3 ± 2,6	1,1 ± 0,2%
>500.000	1154 ± 6	45,9 ± 5,8	3,8 ± 0,5%
>500.000	1400 ± 7	17,8 ± 2,3	1,3 ± 0,2%
>500.000	1252 ± 6	11,7 ± 1,7	0,9 ± 0,1 %
>500.000	2399 ± 12	20,2 ± 3,8	0,8 ± 0,2%
250.000-500.000	1047 ± 5	31,8 ± 6,2	3,0 ± 0,6%
250.000-500.000	644 ± 3	10,1 ± 1,3	1,5 ± 0,2%
250.000-500.000	1367 ± 7	15,1 ± 2,1	1,1 ± 0,2%
250.000-500.000	482 ± 2	8,0 ± 1,3	1,6 ± 0,3%
250.000-500.000	481 ± 2	21,2 ± 2,8	4,2 ± 0,6%
250.000-500.000	787 ± 4	14,5 ± 2,8	1,8 ± 0,4%
250.000-500.000	795 ± 4	25,3 ± 2,9	3,1 ± 0,4%
250.000-500.000	677 ± 3	40,8 ± 7,7	5,7 ± 1,1%
250.000-500.000	1116 ± 6	93,8 ± 15,4	7,7 ± 1,3%
250.000-500.000	430 ± 2	5,9 ± 1,1	1,3 ± 0,2%
250.000-500.000	274 ± 1	29,5 ± 3,7	9,7 ± 1,2%
30.000-250.000	372 ± 2	20,6 ± 2,8	5,2 ± 0,7%
30.000-250.000	1289 ± 6	22,2 ± 4,9	1,7 ± 0,4%
30.000-250.000	389 ± 2	21,1 ± 2,8	5,2 ± 0,7%
30.000-250.000	552 ± 3	18,6 ± 2,7	3,3 ± 0,5%
30.000-250.000**	621 ± 3	38,2 ± 5,5	5,8 ± 0,8%
30.000-250.000	501 ± 3	37,2 ± 4,7	6,9 ± 0,9%
30.000-250.000	219 ± 1	19,5 ± 3,0	8,1 ± 1,3%
30.000-250.000	422 ± 2	5,9 ± 0,7	1,4 ± 0,2%
30.000-250.000**	435 ± 2	17,5 ± 2,2	3,9 ± 0,5%
30.000-250.000**	491 ± 2	23,0 ± 4,7	4,5 ± 0,9%
30.000-250.000	328 ± 2	61,3 ± 15,9	13,5 ± 3,5%
Gennemsnit	1121	38,4	3,8%
Standardafvigelse	774	73,5	4,1%

* Baseret på energiproduktionsdata for 2023 samt oplysninger om produktionskapacitet for et anlæg (anlæg var under opstart i 2023).

* Anlægget oplevede brud på reaktorer, hvormed gasproduktionen fra disse blev tabt til omgivelserne sammenfaldende med målingen.

** Metanemission blev målt totalt for biogasanlæg og nærliggende gård, hvor gårdens beregnede metanemission er fratrukket den målte emission.



Figur 5. Metanemission og metantab for de deltagende landbrugsanlæg med opgradering. Søjlerne højde angiver målt metanemission (venstre y-akse), mens sorte firkanter angiver metantab (højre y-akse). Anlæggene er sorteret efter energiproduktionsdata fra 2023.

3.5 Metanemission for industrianlæg

Tabel 9 lister målt metanemission for de to deltagende industrianlæg. Den gennemsnitlige gasproduktion for de to deltagende industrianlæg var 174 kg CH₄/time, hvilket var højere end for de deltagende renseanlæg, men lavere end for landbrugsanlæg med og uden opgradering. Den gennemsnitlige metanemission på anlægsniveau (4,4 kg CH₄/time) var lavest af alle anlægskategorier.

Tabel 9. Målt total metanemission samt metantab for industrianlæg (anlægstype d). Den samlede energiproduktion (GJ registeret i 2023) er ukendt.

	Gasproduktion (kg CH ₄ /time)	Total metanemission (kg CH ₄ /time)	Metantab (%)
	289 ± 4	6,7 ± 0,8	2,3 ± 0,3%
	58 ± 1	2,1 ± 0,5	3,4 ± 0,9%
Gennemsnit	174	4,4	2,9%
Standardafvigelse	115	3,3	0,8%

3.6 Metantab på anlægsniveau

Tabel 10 viser en oversigt over gennemsnitlige, minimum og maksimum metantab (%) målt på de individuelle anlæg fordelt på anlægstyper. Det højeste gennemsnitlige metantab på anlægsniveau for de fire typer ses for renseanlæg (11,2%) efterfulgt af

landbrugsanlæg uden opgradering (6,1%), landbrugsanlæg med gasopgradering (3,8%) og industrianlæg (2,9%).

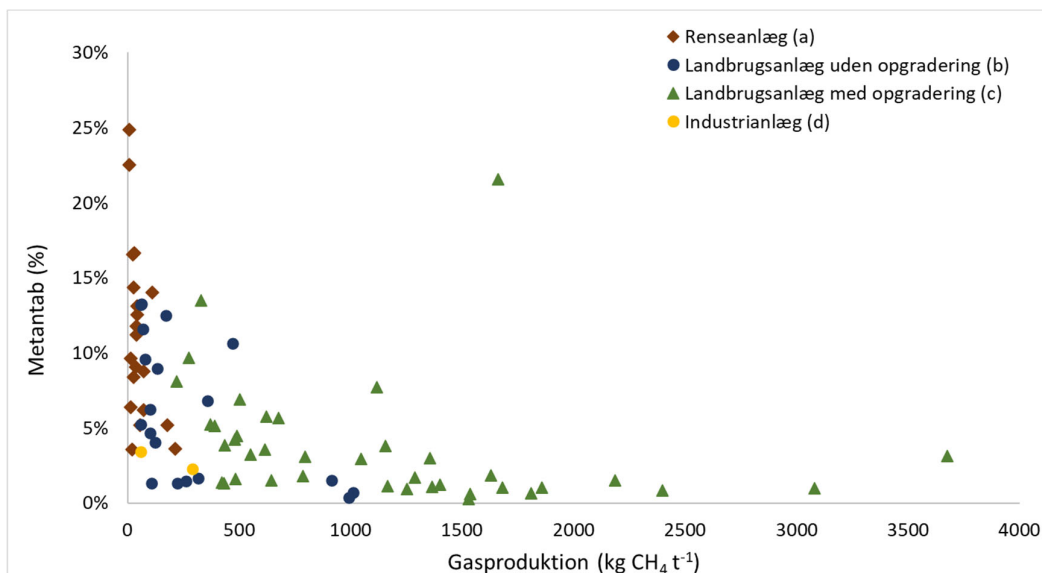
Generelt er landbrugsanlæg med gasopgradering og industrianlæg således de anlægstyper, hvor der måles de laveste metantab. For 7 ud af de i alt 80 anlæg er metantabet 1,0% eller lavere, og alle disse anlæg er landbrugsanlæg - heraf 2 uden opgradering og 5 med opgradering.

Tabel 10. Oversigt over metantab (%) målt på de individuelle anlæg fordelt på anlægstyper. For definition og beregning af metantab på anlægsniveau henvises til afsnit 2.5.

Anlægstype	Antal anlæg	Metantab på anlægsniveau (%)		
		Gennemsnit	Minimum	Maksimum
Renseanlæg (a)	20	11,2%	3,6%	24,9%
Landbrugsanlæg uden opgradering (b)	19	6,1%	0,4%	13,3%
Landbrugsanlæg med opgradering (c)	39	3,8%	0,3%	21,6%
Industrianlæg (d)	2	2,9%	2,3%	3,4%
Alle anlæg	80	6,0%	0,3%	24,9%

Figur 6 viser metantab for de forskellige typer anlæg som funktion af anlæggenes gasproduktion. Der ses en overordnet tendens til, at større anlæg udleder en mindre andel af deres metanproduktion sammenlignet med mindre anlæg. Der kan være flere årsager til, at de større anlæg overordnet har lavere tab. For de større landbrugsanlæg er der som oftest gasopsamling på efterlagre, mens dette endnu ikke er tilfældet for fx slamlagre på renseanlæg. Det er dog forfatterne af denne rapport bekendt, at en del renseanlæg er ved at planlægge gasopsamling på slamlagre. Store landbrugsanlæg er desuden en anlægstype, hvor mange af anlæggene er relativt nybyggede, eller hvor der er foretaget reinvesteringer og udvidelser. Renseanlæggene har generelt et højt metantab. I forbindelse med lækagemålinger og metanscreeninger på renseanlæggene er der i flere tilfælde observeret relativt få lækager på selve biogasanlægget (reaktor, motoranlæg mv.), mens der ses tegn på væsentlig emission fra de nævnte slamlagre uden gasopsamling.

På fem anlæg ses et metantab over 15%, heraf fire renseanlæg og et landbrugsanlæg med opgradering. For alle fire renseanlæg rapporteredes normal drift på anlægget under målingen. På landbrugsanlægget med opgradering var der, som nævnt i afsnit 3.2.3 unormal drift grundet havari af gasdug på to reaktorer, hvilket gav anledning til en ualmindelig høj metanemission og dermed også et højt metantab fra anlægget.



Figur 6. Metantab for de forskellige typer anlæg som funktion af anlæggenes metanproduktion.

3.7 Nationale metanemissionsfaktorer

Tabel 11 viser de beregnede nationale metanemissionsfaktorer for dansk biogasproduktion produceret på fire forskellige anlægstyper til brug for den nationale indrapportering af drivhusgasemissioner.

Emissionsfaktoren for branchen som helhed (den samlede biogasproduktion i Danmark) er $2,8 \pm 0,5\%$ (produktionsvægtet gennemsnit jf. afsnit 2.6). Den laveste emissionsfaktor ses for landbrugsanlæg med opgradering samt industrianlæg (begge typer: $2,5 \pm 0,4\%$), mens den højeste emissionsfaktor ses for renseanlæggene ($9,6 \pm 1,6\%$). Der ses en højere emissionsfaktor for landbrugsanlæg uden opgradering ($3,8 \pm 0,6\%$) sammenlignet med landbrugsanlæg med opgradering ($2,5 \pm 0,4\%$).

Det bemærkes, at metanemissionsfaktorerne er lavere end de beregnede gennemsnitlige metantab (afsnit 3.2), da emissionsfaktorerne er vægtet i forhold til anlæggenes metanproduktion, og de store anlæg generelt har en tendens til at have et lavere metantab jf. figur 6.

Det totale antal anlæg målt i projektet er 80, hvoraf målt metanemission fra et anlæg ikke indgår i beregning af emissionsfaktorer grundet helt særlige forhold (havari af gasmembran) under målingen, som nævnt ovenfor. Anlæggenes samlede gasproduktion udgør 73% af dansk biogasproduktion (afsnit 3.1). Af tabel 11 ses, at langt størstedelen (86%) af gasproduktionen på de undersøgte anlæg forgår på landbrugsbaserede anlæg med opgradering, som er den anlægstype, der har den laveste emissionsfaktor.

Tabel 11. Nationale metanemissionsfaktorer for den samlede biogasproduktion produceret på 79 anlæg repræsenterende fire forskellige anlægstyper. Emissionsfaktorerne er beregnet som summen af målt metanudledning divideret med summen af metanproduktion registeret på anlæggene. Usikkerheden på emissionsfaktoren indbefatter usikkerhed på emissionsmåling samt usikkerhed på registreret gasproduktion på måledagen.

Anlægstype	Antal anlæg	Sum, produktion (kg CH₄/time)	Sum, emission (kg CH₄/time)	Emissionsfaktor (%)
Renseanlæg (a)	20	1.062	102	9,6 ± 1,6
Landbrugsanlæg uden opgradering (b)	19	5.607	215	3,8 ± 0,6
Landbrugsanlæg med opgradering (c)	38	42.041	1.032	2,5 ± 0,4
Landbrugsanlæg (b+c)	57	47.649	1.247	2,6 ± 0,5
Industrianlæg (d)	2	347	9	2,5 ± 0,4
Alle (a + b + c + d)	79	49.058	1.358	2,8 ± 0,5

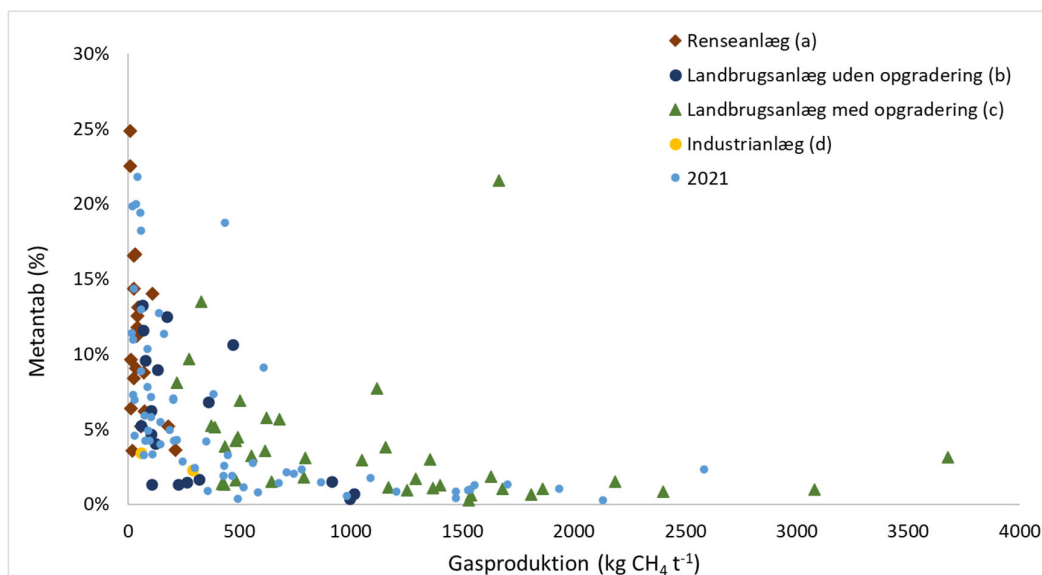
4 Sammenligning med tidligere resultater

4.1 Metantab på anlægsniveau

Figur 7 viser metantab som funktion af gasproduktion på måletidspunktet svarende til figur 6, men hvor målingerne rapporteret i Energistyrelsen, 2021 er medtaget. Figuren illustrerer, at der i den tidligere undersøgelse ligesom den aktuelle var en tydelig tendens til at mindre biogasproducenter havde de højeste metantab (%).

Det er ikke umiddelbart tydeligt, at metantab på anlægsniveau er faldet i forhold til den tidligere undersøgelse. Et mulig kommende reduktionstiltag for renseanlæggene er, at en del anlæg planlægger implementering af gasopsamling på slamlagre, der i Energistyrelsen 2021 og senere undersøgelser blev peget på som væsentlig kilde til emission fra renseanlæggene.

I både denne aktuelle undersøgelse og Energistyrelsen, 2021 var metantab højest for renseanlæggene. En årsag til dette vurderes at være de nævnte slamlagre uden gasopsamling, samt at disse anlæg har kilder til metanemission som landbrugsanlæggene ikke har såsom kloakindløb, slamafvandingsbygværk, åbne slamoverløb på rådnetanke og forklaringstanke.



Figur 7. Sammenligning af metantab for de forskellige typer anlæg som funktion af anlæggenes metanproduktion fra dette studie samt Energistyrelsen, 2021.

4.2 Emissionsfaktorer

Denne undersøgelse er udført som opfølgning på indført regulering, hvor der udføres lækagesøgning og andre aktiviteter med henblik på at mindske metanemission fra

danske biogasanlæg. Denne regulering blev indført på baggrund af resultaterne fra den tidligere undersøgelse som viste højere metantab på anlægsniveau samt en højere emissionsfaktor end forventet (Energistyrelsen, 2021).

Tabel 12 viser metanemissionsfaktorer fordelt på anlægstype fra undersøgelsen udført i 2021 (Energistyrelsen, 2021), mens figur 8 viser en sammenligning af emissionsfaktorer fra dette studie og fra Energistyrelsen, 2021. Projektet fra 2021 havde deltagelse af 69 biogasproducerende anlæg, svarende til 59% af biogasproduktionen i Danmark på daværende tidspunkt. Der bemærkes, at måle- og beregningsmetoder er ens for hhv. "2021" og "2025", men at der er en væsentlig forskel mellem de to undersøgelser i forhold til udvælgelsen af anlæg. I 2021-undersøgelsen var deltagelse i måleprogrammet frivillig, hvilket kan have medført en bias, idet kun anlæg med forventet lav metanemission ønskede at deltage i måleprogrammet. Udvalget af anlæg i nærværende undersøgelse er foretaget af projektgruppen med fokus på repræsentativitet blandt alle biogasanlæg, hvor deltagelse var obligatorisk.

Fordelingen af anlæg på anlægstyper er lidt forskellig i de to undersøgelser, hvor landbrugsanlæg i det tidligere studie var opdelt på gårdanlæg og fællesanlæg mens de landbrugsbaserede anlæg er opdelt i anlæg hhv. uden og med opgradering. Selv om der er ret stort overlap mellem kategorierne gårdanlæg (2021 undersøgelse) og landbrugsanlæg uden opgradering (denne undersøgelse) er de ikke direkte sammenlignelige. Det samme gør sig gældende for fællesanlæg (2021 undersøgelse) og landbrugsanlæg med opgradering (denne undersøgelse). For at kunne sammenligne er der derfor beregnet en samlet emissionsfaktor for landbrugsanlæg – dvs. fællesanlæg + gårdanlæg (2021 undersøgelse) og uden og med opgradering (denne undersøgelse).

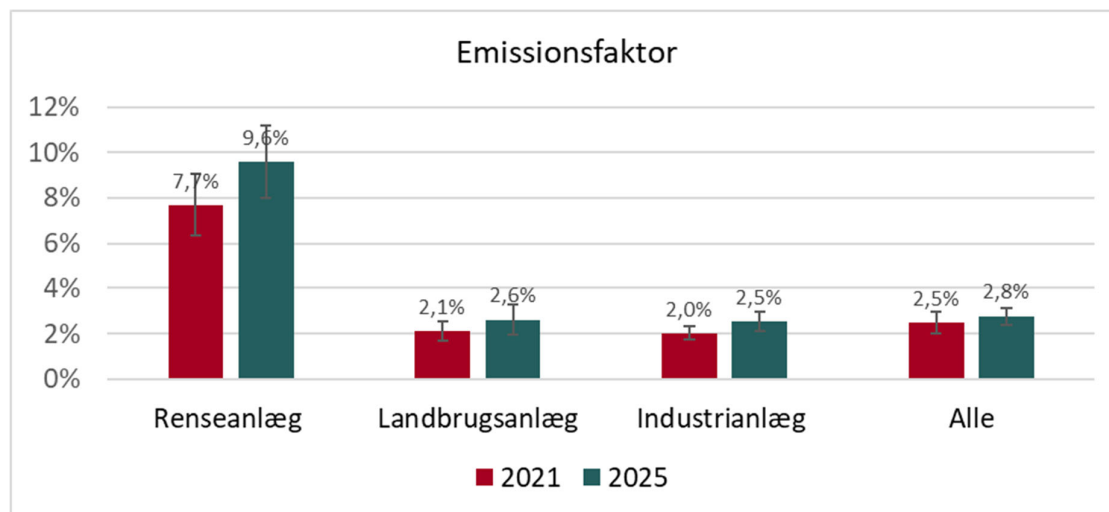
Generelt ses der ingen forskel i emissionsfaktorerne mellem de to studier, når usikkerheden tages i betragtning. Den største forskel ses for emissionsfaktoren for renseanlæg, som gennemsnitligt er højere i dette studie ($9,6 \pm 1,6\%$) sammenlignet med det i 2021 ($7,7 \pm 1,4\%$). Hertil bemærkes, at det statistisk set ikke kan konkluderes, at emissionsfaktoren er steget i perioden mellem de to studier, når usikkerheden på de to studier tages i betragtning.

Emissionsfaktoren for landbrugsanlæg, som både i form af gasproduktion og antal anlæg udgør den største kategori (hhv. 98% og 66%), er ligeledes den samme i de to undersøgelser; $2,6 \pm 0,5\%$ og $2,1 \pm 0,4\%$ for hhv. denne undersøgelse og 2021, når usikkerheden tages i betragtning. Emissionsfaktoren for den samlede biogasproduktion for de undersøgte anlæg er $2,8 \pm 0,5\%$ sammenlignet med $2,5 \pm 0,5\%$ i den tidligere undersøgelse.

Der kan ikke på baggrund af disse tal konstateres en reduktion af emissionsfaktorerne for danske biogasanlæg. For både de forskellige anlægskategorier og for dansk biogasproduktion som helhed er emissionsfaktorerne statistisk set ens, da de er inden for hinandens usikkerheder.

Tabel 12. Metanemissionsfaktorer fra 2021 (Energistyrelsen, 2021). Metanemissionsfaktorerne er beregnet som summen af målt metanudledning divideret med summen af metanproduktion registeret på anlæggene. Usikkerheden på emissionsfaktoren indbefatter usikkerhed på emissionsmåling samt usikkerhed på registeret gasproduktion.

Anlægstype	Antal anlæg	Sum, produktion (kg CH ₄ /time)	Sum, emission (kg CH ₄ /time)	Emissionsfaktor (%)
Renseanlæg	24	2.093	161	7,7 ± 1,4
Gårdanlæg	15	3.346	128	3,9 ± 1,0
Fællesanlæg	29	26.717	505	1,9 ± 0,3
Gårdanlæg + fællesanlæg	34	30.063	633	2,1 ± 0,4
Industrianlæg	1	467	9	2,0 ± 0,4
Alle	69	32.523	804	2,5 ± 0,5



Figur 8. Sammenligning af emissionsfaktorer for tre forskellige anlægssegmenter samt alle anlæg målt i det tidligere projekt publiceret i 2021 (Energistyrelsen, 2021) samt i dette projekt.

5 Konklusion

Denne kortlægning af metanemissioner fra danske biogasanlæg udført i perioden november 2024 og oktober 2025 dokumenterer status for udledninger efter at Energistyrelsen indførte reguleringskrav i januar 2023, og bidrager derudover med opdaterede emissionsfaktorer til brug for den nationale rapportering af klimaregnskab.

Det gennemførte måleprogram dækker et betragteligt udsnit af biogassektoren på omkring 58% af anlæggene og cirka 73% af den samlede biogasproduktion. Målingerne viser et gennemsnitligt metantab på 6,0% af produktionen på tværs af alle undersøgte anlægstyper. Den produktionsvægtede nationale emissionsfaktor fastlægges til 2,8%, hvilket ikke adskiller sig signifikant fra niveauet på 2,5% i den tidligere kortlægning i 2021, når der tages højde for måleusikkerheder.

Undersøgelsen viser betydelige forskelle på tværs af anlægs kategorier, hvor renseanlæg står for det største tab på 11,2%. Dette antages primært at skyldes manglende gasopsamling fra slamlagre, emission fra slamafvandingsprocessen og åbne slamoverløb på reaktorer. De større landbrugs- og industrianlæg viser generelt et lavere tab, hvilket formodentlig kan tilskrives anlægstekniske forbedringer samt det forhold, at de større anlæg ofte er nyere. Der ses således en sammenhæng mellem lavere metantab og stigende anlægsstørrelse.

Reguleringen, som blev indført på baggrund af tidligere målinger, har altså endnu ikke resulteret i en målbar reduktion i metantabet.

I forlængelse heraf bør det nævnes, at en relativt stor andel af anlæggene endnu ikke er i mål med mange af de større tiltag og ombygninger og at dette i særdeleshed gør sig gældende blandt renseanlæggene. Disse har historisk haft slamreduktion og ikke kommerciel gasproduktion som primært formål, hvilket ofte afspejles i den måde anlæggene er konstrueret på. Eksempler på dette er ikke gastætte overdækninger på div. lager- og modtagelsestanke, samt åbne slamoverløb på rådnetanke. Ombygning af disse anlægsdele til gastætte konstruktioner er både økonomisk og procesmæssigt en stor og kompliceret opgave, som for en del anlæg stadig udestår og må antages at ligge en del år ude i fremtiden.

For at biogassektoren kan styrke sit bidrag til den grønne omstilling, er det vigtigt med fortsat indsats for at reducere metantabet yderligere. Det anbefales derfor, at fokus fremadrettet særligt rettes mod:

- Fortsat implementering af gasopsamling på slamlagre og fokus på andre væsentlige kilder på renseanlæg.
- Fortsat opsporing og udbedring af lækager på alle anlægstyper.
- Styrket datagrundlag og løbende opdatering af emissionstal samt fokus på teknologiudvikling inden for fx kontinuerede målemetoder, der potentielt kan effektivisere og forbedre branchens indsats for at nedbringe metantabet.

Referencer

- Delre, A., Mønster, J., & Scheutz, C. (2017). Greenhouse gas emission quantification from wastewater treatment plants, using a tracer gas dispersion method. *Science of the Total Environment*, 605-606, 258-268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.177>
- Delre, A., Mønster, J., Samuelsson, J., Fredenslund, A. M., & Scheutz, C. (2018). Emission quantification using the tracer gas dispersion method: The influence of instrument, tracer gas species and source simulation. *Science of the Total Environment*, 634, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.289>
- Edjabou, M. E., & Scheutz, C. (2023). Quantification of – And determining factors affecting – Methane emissions from composting plants. *Waste Management*, 170, 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.09.010>
- Energinet.dk, 2025. Andelen af biogas i forhold til de sidste måneders produktion og gasforbrug. Data fra Energinet.dk tilgået 21/10-2025. <https://energinet.dk/gas/biogas/>
- Energistyrelsen, 2021. Målrettet indsats for at minimere metantab fra danske biogasanlæg. Rapport udført af Rambøll, DTU, FORCE Technology og Teknologisk Institut for Energistyrelsen. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/metantab_rapport.pdf
- Foster-Wittig, T.A., Thoma, E.D., Albertson, J.D., 2015. Estimation of point source fugitive emission rates from a single sensor time series: a conditionally sampled Gaussian plume reconstruction. *Atmos. Environ.* 115, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.042>
- Fredenslund, A. M., Hinge, J., Holmgren, M. A., Rasmussen, S. G., & Scheutz, C. (2018). On-site and ground-based remote sensing measurements of methane emissions from four biogas plants: a comparison study. *Bioresource Technology*, 270, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.080>
- Fredenslund, A. M., Rees-White, T. C., Beaven, R. P., Delre, A., Finlayson, A., Helmore, J., Allen, G., & Scheutz, C. (2019). Validation and error assessment of the mobile tracer gas dispersion method for measurement of fugitive emissions from area sources. *Waste Management*, 83, 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.036>
- Mønster, J., Samuelsson, J., Kjeldsen, P., Rella, C. W., & Scheutz, C. (2014). Quantifying methane emission from fugitive sources by combining tracer release and downwind

measurements – A sensitivity analysis based on multiple field surveys. *Waste Management*, 34(8), 1416-1428. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.025>

Mønster, J., Samuelsson, J., Kjeldsen, P., & Scheutz, C. (2015). Quantification of methane emissions from 15 Danish landfills using the mobile tracer dispersion method. *Waste Management*, 35, 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.006>

Reinelt, T., Delre, A., Westerkamp, T., Holmgren, M. A., Liebetrau, J., & Scheutz, C. (2017). Comparative use of different emission measurement approaches to determine methane emissions from a biogas plant. *Waste Management*, 68, 173-185. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.053>

Samuelsson, J., Delre, A., Tumlin, S., Hadi, S., Offerle, B., & Scheutz, C. (2018). Optical technologies applied alongside on-site and remote approaches for climate gas emission quantification at a wastewater treatment plant. *Water Research*, 131, 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.018>

Scheutz, C., Samuelsson, J., Fredenslund, A. M., & Kjeldsen, P. (2011). Quantification of multiple methane emission sources at landfills using a double tracer technique. *Waste Management*, 31(5), 1009-1017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.015>

Scheutz, C., & Fredenslund, A. M. (2019). Total methane emission rates and losses from 23 biogas plants. *Waste Management*, 97, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.029>

Scheutz, C., & Kjeldsen, P. (2019). Guidelines for landfill gas emission monitoring using the tracer gas dispersion method. *Waste Management*, 85, 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.048>

Vechi, N. T., Falk, J. M., Fredenslund, A. M., Edjabou, M. E., & Scheutz, C. (2023). Methane emission rates averaged over a year from ten farm-scale manure storage tanks. *Science of the Total Environment*, 904, 166610.

GERG præstationsprøvning for top-down målemetoder til bestemmelse af metantab fra gasinstallationer.