

Biogassektorens konkurrenceevne og bidrag til den grønne omstilling

Februar 2020



Projektnr:	2019
Version:	3, 28. februar 2020
Udarbejdet af:	Søren Eriksen, Viegand Maagøe A/S Carsten Glenting, Viegand Maagøe A/S Jakob Mau Pedersen, Viegand Maagøe A/S
Udarbejdet for:	Nature Energy Biogas A/S
Kvalitetssikret af:	Søren Eriksen, Viegand Maagøe A/S Carsten Glenting, Viegand Maagøe A/S
Godkendt af:	Søren Eriksen, Viegand Maagøe A/S Carsten Glenting, Viegand Maagøe A/S

Viegand Maagøe A/S
Nr. Farimagsgade 37
1364 København K
Telefon: +45 33 34 90 00
www.viegandmaagoe.dk

EXECUTIVE SUMMARY

With the energy agreement from 2018 new targets, subsidy regulations as well as other new framework conditions for the energy sector has been set up.

Therefore, this report summarizes the socio-economic contribution of the biogas sector in a Danish context and provides a range of analytical results. The purpose of the report is to highlight the socio-economic gains and costs related to the production of biogas.

The starting point of the report is previous studies that have uncovered positive externalities from biogas within the agriculture sector, the reduction of CO₂ and general productivity improvements in related industries and sectors. The new results presented in the report are based on statistical analyses, delphi-surveys and scenario models.

It is concluded that scaling and efficiency improvements solutions are achievable and combined with an increased market penetration to industrial processes etc. will make a significant contribution to a cost-effective green transition in Denmark.

Analyses by Viegand Maagøe and previous studies indicate that the biogas sector's environmental and climate externalities are around 7,8 and 31,6 DKK/GJ respectively and that the biogas sector's contribution to improved fertilizers in the agricultural sector is around 6,4 DKK/GJ. In the report, the other effects of the biogas sector are divided into the following:

- The socio-economic potential of the biogas sector is enhanced by economies of scale, innovation and learning effects. Assuming that there is a cost reduction which, combined with socio-economic support over time makes biogas competitive compared to other forms of energy, this effect can be estimated to 62.2 DKK/GJ.
- Incorporation of upgraded biogas into the energy system can be based on the existing natural gas network and therefore does not require significant costs for transmission and distribution. The saved costs for reinforcing the electricity grid are estimated at 14.0 DKK/GJ.
- Upgraded biogas is a renewable energy resource that is locally produced and can replace (and thus reduce the need for) imported natural gas. In addition, biogas is less sensitive to fluctuations in international markets. The effect is estimated at 3.7 DKK/GJ.

The socio-economic surplus is estimated to be around 15,4 DKK/GJ (or 19,7 DKK/GJ including the socio-economic net tax factor). A sensitivity analysis confirms the robustness of the result. The central conclusion is therefore that the value of producing a fossil-free renewable energy source is of significant importance that must be recognized in the overall economy and in the future renewable energy subsidy schemes.

Resumé og konklusion

Denne rapport skal ses i sammenhæng med de generelle overvejelser om fremtidens økonomiske støtte til vedvarende energi, hvor der overordnet sigtes mod at harmonisere støtte og tilskud til de forskellige teknologier. Med Energifaftalen fra 2018 er der fastlagt en række tilskudsprincipper, der gør, at de økonomiske perspektiver omkring biogasproduktionen er usikre og skaber risiko for, at samfundsøkonomiske gevinster i biogassektoren ikke bliver realiseret.

Rapporten tager bl.a. udgangspunkt i tidligere studier og præsenterer en række nye analyseresultater. Desuden inddrages resultaterne fra en delphi-undersøgelse, som er gennemført blandt en række eksperter i den danske biogasbranche. Med henblik på at kvalificere politiske beslutninger om udmøntning af Klimaloven og den tilhørende Klimahandlingsplan samt Energifaftalen fra 2018 er der i rapporten lagt særligt fokus på at sammenligne samfundsøkonomien i biogas med naturgas og at perspektivere til omkostningsforhold ved el-baserede løsninger (vind og solbaseret el).

Efter en kort indledning i *kapitel 1* beskriver *kapitel 2*, hvordan biogas i en reguleret samfundsøkonomi kan udgøre et grønt og vedvarende alternativ til naturgas og el og dække energibehovet i sektorer, hvor det ellers er vanskeligt at gennemføre grøn omstilling uden omkostningstunge investeringer. I 2018 udgjorde biogasforbruget 3.700 GWh (svarende til 335 mio. kubikmeter biometan), men dette har potentiale til at blive væsentlig større: Gasdistributionsselskaberne vurderer, at det i 2035 er muligt at realisere et produktionspotentiale på 80 PJ (svarende til over 22.000 GWh eller 2 mia. kubikmeter) grøn biogas svarende til hele det danske gasbehov.

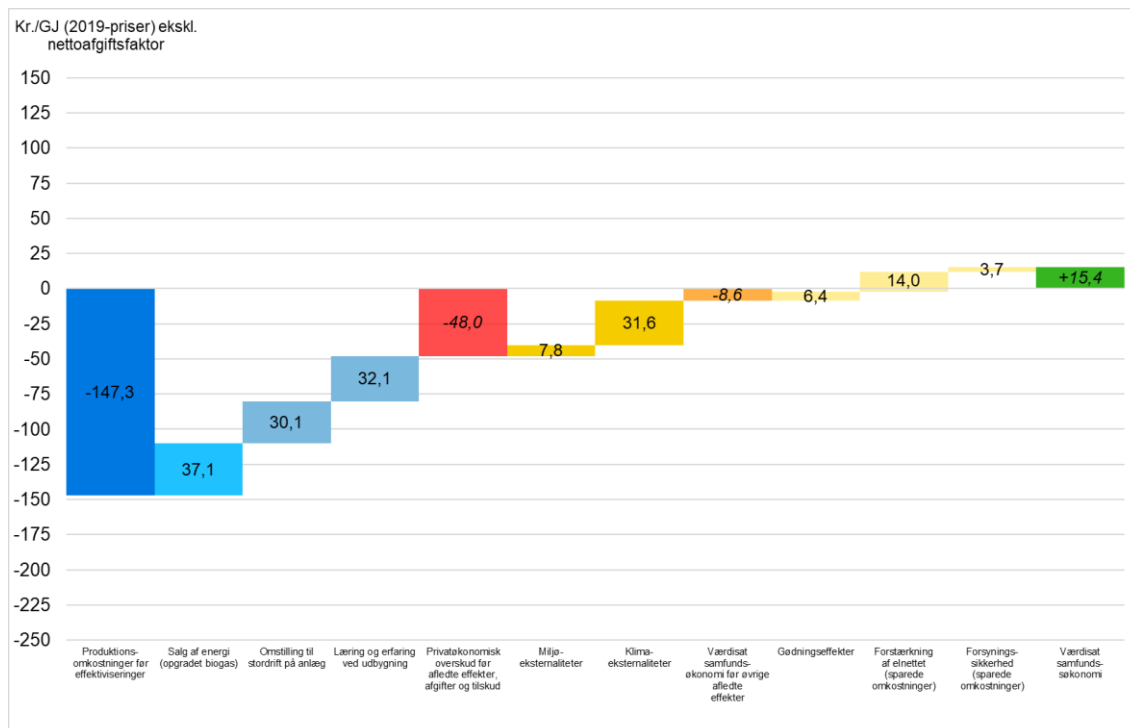
Analyser af Viegand Maagøe og tidligere studier peger på, at biogassektorens miljø- og klimaeksternaliteter ligger på omkring hhv. 7,8 og 31,6 kr./GJ, og at biogassektorens bidrag til forbedret gødningskvalitet kan kvantificeres til omkring 6,4 kr./GJ beregnet ekskl. nettoafgiftsfaktor. Salgsprisen på 37,1 kr./GJ følger prisen på naturgas, og de samfundsøkonomiske produktionsomkostninger er i rapporten fastlagt til 147,3 kr./GJ ekskl. nettoafgiftsfaktor for et gennemsnitligt (middelstort) biogasanlæg.

Biogassektorens øvrige effekter er i rapporten fordelt på tværs af følgende:

- Biogassektorens samfundsøkonomiske potentiale forbedres ved stordrift, innovation og læringseffekter. Under forudsætning af, at der sker en omkostningsreduktion som kombineret med samfundsøkonomisk støtte over tid gør biogassen konkurrencedygtig sammenlignet med øvrige energiformer, kan denne effekt samlet estimeres til 62,2 kr./GJ ekskl. nettoafgiftsfaktor. Resultatet viser, at gældende samfundsøkonomiske forudsætninger vedr. produktionsomkostninger for biogasanlæg ikke er retvisende, og at dette i perioden frem mod 2030 vil medføre en systematisk underprioritering af biogas i samfundsøkonomien. Dette er beskrevet i *kapitel 3*.
- Indpasning af opgraderet biogas i energisystemet kan baseres på det eksisterende naturgasnet og kræver derfor ikke betydelige omkostninger til transmission og distribution. Dette er med til at give biogas en samfundsøkonomisk fordel i forhold til elektrificering, som kræver ekstrainvesteringer i forstærkning (opgradering og udbygning) af det samlede elnet til at matche et forøget effektbehov. De sparede omkostninger til forstærkning af elnettet er estimeret til 14,0 kr./GJ ekskl. nettoafgiftsfaktor. Dette er beskrevet i *kapitel 4*.
- Opgraderet biogas er en vedvarende energiressource, som er lokalt produceret og kan erstatte (og dermed mindske behovet for) importeret naturgas. Desuden er biogas mindre følsom over for fluktuationer på de internationale markeder. Effekten er estimeret til 3,7 kr./GJ ekskl. nettoafgiftsfaktor. Dette er beskrevet i *kapitel 5*.

I *kapitel 6* er vist en detaljeret oversigt over biogassektorens samlede effekter og eksternaliteter. I kapitlet er investeringsbehovet frem mod 2030 opgjort til 19,5 mia. kr. (14,5 mia. kr. ekskl. reinvesteringer).

Rapportens kapitler og analyser viser samlet, at skalering og effektivisering kan medføre en række omkostningsbesparelser, som kombineret med udbredelse af biogas til bl.a. industrielle processer kan sikre et betydeligt bidrag til en omkostningseffektiv, grøn omstilling. Biogassektorens effekter og samfundsøkonomiske bidrag i 2030 er sammenfattet i Figur 1:



Figur 1: Biogassektorens effekter og samfundsøkonomiske bidrag. Note: De samfundsøkonomiske omkostninger, eksternaliteter m.v. er opgjort for året 2030 og ekskl. nettoafgiftsfaktor og skatteforvridningseffekter. Kilde: Baseret på bl.a. NIRAS (2017a), NIRAS (2017b) og Energinet (2019a).

Det samfundsøkonomiske overskud vurderes samlet at ligge i omegnen af 15,4 kr./GJ, og samfundsøkonomien er ud fra rapportens analysebetragtninger dermed i balance 2030. Indregnes en samfundsøkonomisk nettoafgiftsfaktoren er overskuddet 19,7 kr./GJ. Følsomhedsanalyser viser, at der også er et overskud, hvis der anlægges et lavt skøn for den samfundsøkonomiske CO₂-pris.

Rapportens centrale konklusion er derfor, at værdien af at frembringe en fossilfri lagerbar energikilde er af væsentlig betydning, som skal indregnes i den samlede samfundsøkonomi og den udmøntede økonomiske regulering. Det anbefales derfor, at der udarbejdes yderligere analyser med fokus på udbredelse og anvendelse af biogas i samfundsøkonomien.

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING.....	7
2	PRODUKTION OG ANVENDELSE AF BIOGAS.....	8
2.1	TYPER AF ANVENDELSER.....	8
2.2	FORRETNINGSMODELLER	9
2.3	RAMMEVILKÅR	11
3	POTENTIALET FOR OMKOSTNINGSREDUKTIONER	14
3.1	TEKNOLOGIKATALOGETS FREMSKRIVNINGER	15
3.2	PRODUKTIONSOMKOSTNINGER OG TILPASNING AF ANLÆGSSTØRRELSE	21
3.3	INNOVATIONSEFFEKTER OG INDUSTRIALISERING.....	26
3.4	LÆRING- OG ERFARINGSEFFEKTER	29
4	SPAREDE OMKOSTNINGER TIL FORSTÆRKNING AF ELNETTET	33
4.1	DER ER ALLEREDE ET BETYDELIGT BEHOV FOR AT INVESTERE I ELNETTET.....	33
4.2	SCENARIER FOR ELEKTRIFICERING AF PROCESVARME I PRODUKTIONSERHVERV	33
4.3	OMKOSTNINGER TIL FORSTÆRKNING AF ELNETTET	34
5	BIDRAG TIL FORSYNINGSSIKKERHED	38
5.1	EL - OG BRÆNDELSFORSYNINGSSIKKERHED	38
5.2	GASFORSYNINGSSIKKERHED.....	39
5.3	VÆRDIEN AF FORSYNINGSSIKKERHED.....	40
6	BIOGASSENS UDVIKLING OG BIDRAG TIL DEN GRØNNE OMSTILLING	43
7	KILDER	45
7.1	BØGER OG RAPPORTER	45
7.2	ARTIKLER OG HJEMMESIDER	46
7.3	ØVRIGE	47
8	BILAG.....	48
8.1	SAMFUNDSØKONOMISK METODE OG VÆRDISÆTNING AF BIOGAS.....	48
8.2	TEKNOLOGIKATALOGETS OMKOSTNINGSFREMSKRIVNINGER	51
8.3	UDVIKLING I INVESTERINGSBEHOV I BASIS - SCENARIET.....	53

1 Indledning

Biogas udgør et grønt og vedvarende alternativ til naturgas og fossilbaseret el og kan dække energibehovet i sektorer, hvor det ellers er vanskeligt at gennemføre grøn omstilling uden omkostningstunge investeringer. Dette vedrører bl.a. en række energitunge industrier (fx fremstillingsindustri) og tung transport (fly og skibe).

Den danske biogasproduktion bidrager med en række konkrete positive effekter i form af bl.a. miljø- og klimaeksternaliteter, mere effektiv gødning og drift i landbrugene samt bidrag til forsyningssikkerhed og sparede omkostninger til forstærkning af elnettet. Fortsat udbygning og effektivisering af biogassektoren vil udbrede effekterne, bidrage til overholdelsen af Danmarks CO₂-reduktionsforpligtelser og understøtte udviklingen af omkostningseffektive biogasløsninger, som styrker Danmarks position som energiteknologisk pionerland. Muligheden for at realisere fremadrettede potentialer er påvirket af rammebetingelser og økonomiske incitamenter til at investere i fortsat biogasproduktion.

Vurderinger og tidligere analyser peger på, at miljø- og klimaeksternaliteterne for et typisk biogasanlæg baseret på gylle, dybstrøelse og organisk affald kan kvantificeres til hhv. 7,8 og 31,6 kr./GJ, mens gødningseffekten for denne type anlæg kan kvantificeres til 6,4 kr./GJ¹. Omkostningen ved at frembringe en fossilfri lagerbar energikilde er hidtil ikke nærmere kvantificeret eller undersøgt i foregående analyser og studier, men vurderes at kunne fordeles på tværs af følgende kategorier:

1. Indpasning af biogas i energisystemet frem mod 2050 kan baseres på det eksisterende naturgasnet og kræver derfor ikke betydelige samfundsøkonomiske omkostninger til transmission og distribution. Dette giver *en samfundsøkonomisk fordel i forhold til elektrificering*, som kræver ekstrainvesteringer i forstærkning af elnettet til at matche øget effektbehov.
2. Samfundsøkonomisk værdi af biogas, som skaber *mulighed for lagring i naturgasnettet og reguleringsydelse* (forsyningsikkerhed) til bl.a. fjernvarmeværker.
3. *Effektiviseringer og innovationsindsatser*, som kan nedbringe produktionsomkostningerne og skabe bedre rammer for, at biogassen kan konkurrere på markedsvilkår.

Det vurderes af gasdistributionsselskaberne, at det i 2035 er realistisk at tilføre 80 PJ grøn biogas svarende til hele det danske gasbehov. Realisering af dette potentiale forudsætter, at der sker en omkostningsreduktion som kombineret med samfundsøkonomisk støtte over tid gør biogassen konkurrencedygtig sammenlignet med øvrige energiformer².

I Energiaftalen fra 2012 er det aftalt mellem forligspartnerne, at der skulle være en "tilskudsmæssig ligestilling" mellem afsætning til kraftvarme og afsætning via naturgasnettet, og at den samlede støtte til opgraderet biogas skulle være på 115 kr./GJ (2012-priser). Med energiaftalen fra 2018 er det besluttet at sætte et stop for støtten, og at der løbende skal tages stilling til, om der overkompenseres³.

Klimalovens målsætning om at reducere drivhusgasudledningerne med 70 pct. i 2030 ift. 1990 lægger op til en omstilling, hvor fødevareproduktion bliver mere bæredygtig og landbrugets udledning af metan reduceres. Biogassektoren har mulighed for at spille en central rolle i denne omstilling.

På denne baggrund redegør nærværende analyserapport for behovet for støtte til biogassektoren, de samfundsøkonomiske effekter og omkostninger ved biogas samt effektiviserings- og innovationsindsatser i biogassektoren. Der er i rapporten lagt særligt fokus på at sammenligne samfundsøkonomien i biogas, naturgas og el-baserede løsninger (vind og solbaseret el).

¹ Baseret på NIRAS (2017a) og NIRAS (2017b).

² Grøn Gas Danmark (2017).

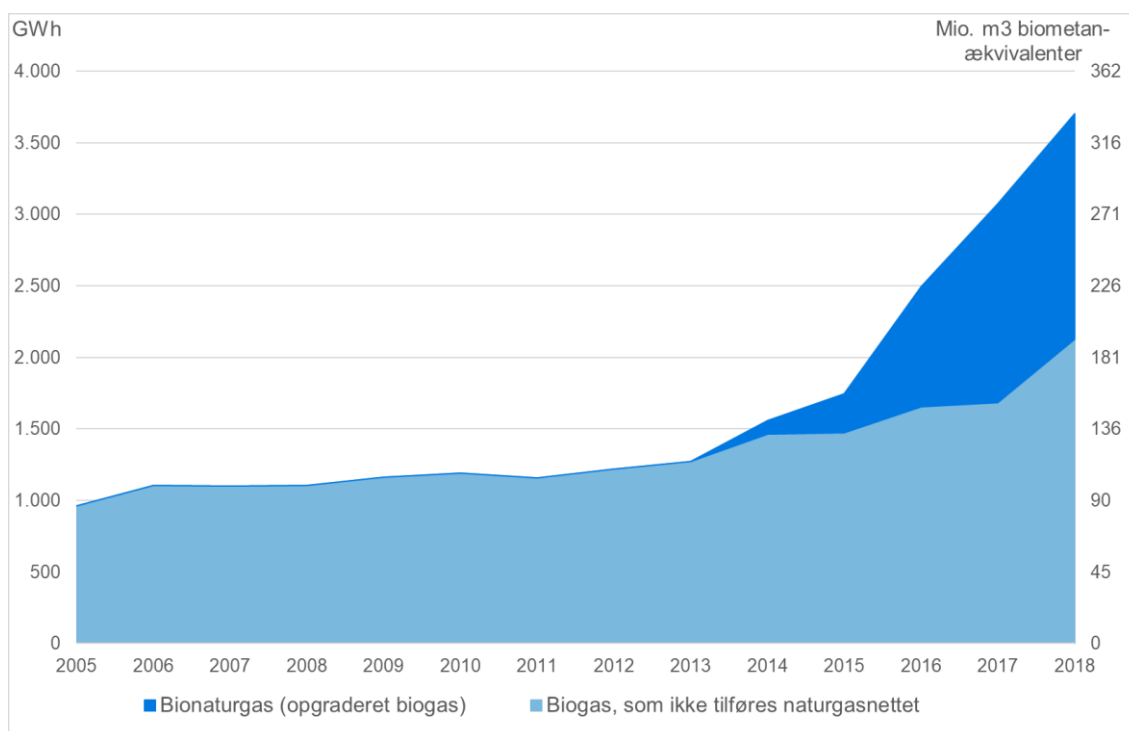
³ Energistyrelsen (2018).

2 Produktion og anvendelse af biogas

Biogas bliver til i en proces, hvor biologisk nedbrydeligt materiale forrådnæs. I Danmark har der siden 1920 været biogasanlæg på rensningsanlæg og siden 1970 er der blevet produceret biogas på gårdanlæg.

Biogas kan enten være 'rå' (indeholde CO₂) eller være opgraderet. Når biogassen opgraderes, fjernes indhold af CO₂, hvilket betyder, at biogassen herefter består næsten udelukkende af metan og kaldes biometan. Biometan tilført naturgasnettet kaldes bionaturgas.

I Figur 2 er vist udviklingen i forbruget af biogas (rå og opgraderet) fra 2005 til 2030. Det ses i figuren, at en stadig stigende andel af den danske biogas opgraderes med henblik på afsætning i det kollektive naturgasnet. Det ses også i figuren, at opgraderet og rå biogas udgjorde omkring 1.000 GWh i 2005 (svarende til 87 mio. kubikmeter biometan) og 3.700 GWh (svarende til 335 mio. kubikmeter biometan) i 2018.



Figur 2: Udvikling i forbruget af biogas (rå og opgraderet). Note: Datasættet giver ikke mulighed for at sondre mellem rå biogas og opgraderet biogas, der ikke tilføres naturgasnettet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen (2019a).

2.1 Typer af anvendelser

Biogas kan anvendes til en række forskellige formål. Biogas udgør (særligt efter opgradering) et grønt og vedvarende alternativ til naturgas og kan dække energibehovet i sektorer, hvor det ellers er vanskeligt at gennemføre grøn omstilling uden omkostningstunge investeringer.

Inden for transportområdet kan biogas (evt. efter opgradering og tilførsel i naturgasnettet, som fører det videre frem til tankstationerne) bruges til særligt lastbiler og busser (tung transport), hvor el-baseret transportteknologi i dag ofte har vanskeligt ved at substituere benzin- og dieselbaseret transportteknologi.

I industrier og fremstillingsvirksomheder med behov for at anvende procesvarme i produktionsprocesserne kan biogas anvendes direkte til bl.a. smeltning eller brænding. Desuden kan biogas anvendes i gasmotorer, som producerer både el og varme eller kun varme. Anvendelsen i industrien kræver ofte, at biogassen er opgraderet til en energikvalitet, der svarer til den i naturgas.

På de decentrale kraftvarmeværker anvendes biogas også og ofte uden at være opgraderet. På værkerne anvendes biogassen til produktion af fjernvarme og til produktion af el i det kollektive energisystem.

I forbindelse med fremstilling af biogas bliver der bortskaffet organisk affald og i en cirkulær økonomi med landbruget afgasses gyllen og bliver sendt til tilbage til landmændene som et værdifuldt restprodukt.

Modsat el fra sol- og vindenergi kan biogas lagres og dermed bidrage til fleksibilitet og forsyningssikkerhed i energisystemet⁴.

2.2 Forretningsmodeller

Biogasanlæg producerer energi (biogas) og effektive restprodukter (afgasset gødning) ved hjælp af biomasse. Anlæggene er kapitaltunge og har som primær økonomisk målsætning at opnå et gasudbytte, som kan dække anlægsomkostningerne og de omkostninger, som er forbundet med at håndtere og transportere biomassen.

I cirkulære økonomiske fællesskaber er biogasanlæggene med til at sikre langsigtet ressourceudnyttelse: Når biomassen afgasses bidrager den til omstillingen til vedvarende energi samtidig med, at den sikrer en naturlig og effektiv gødning til markerne i landbruget. Principperne i den cirkulære bioøkonomi er beskrevet af Ellen MacArthur Foundation og gengivet i Figur 3.

⁴ Energistyrelsen (2018) og Gasfakta.dk (besøgt d. 20/11-2019).

PRINCIPLE

1

Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows
ReSOLVE levers: regenerate, virtualise, exchange

PRINCIPLE

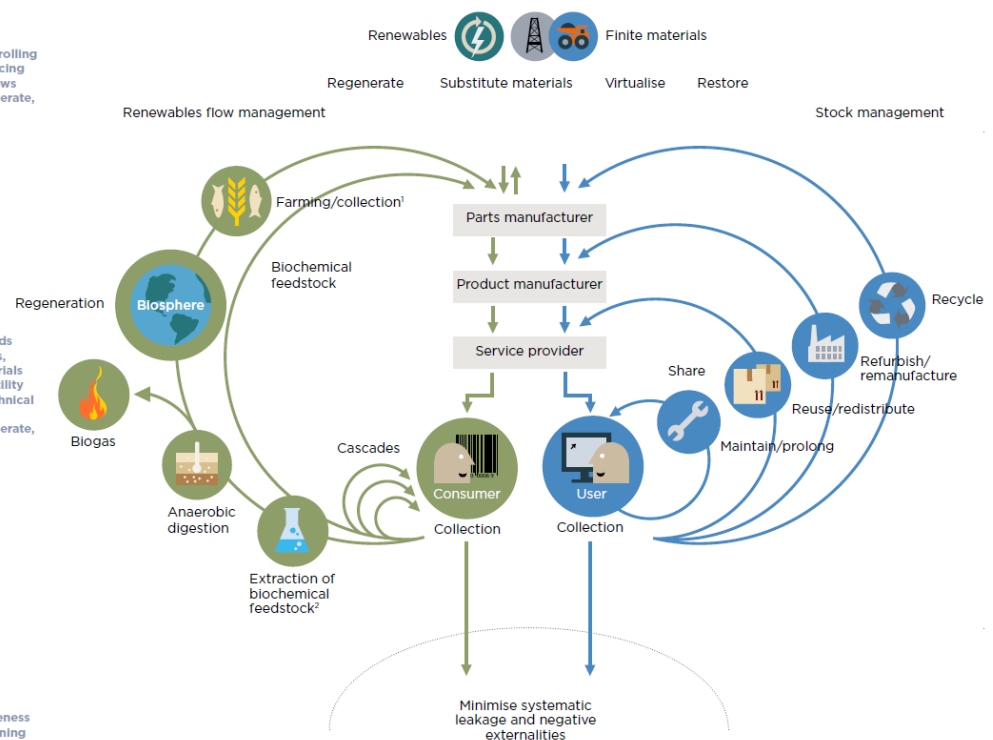
2

Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles
ReSOLVE levers: regenerate, share, optimise, loop

PRINCIPLE

3

Foster system effectiveness by revealing and designing out negative externalities
All ReSOLVE levers

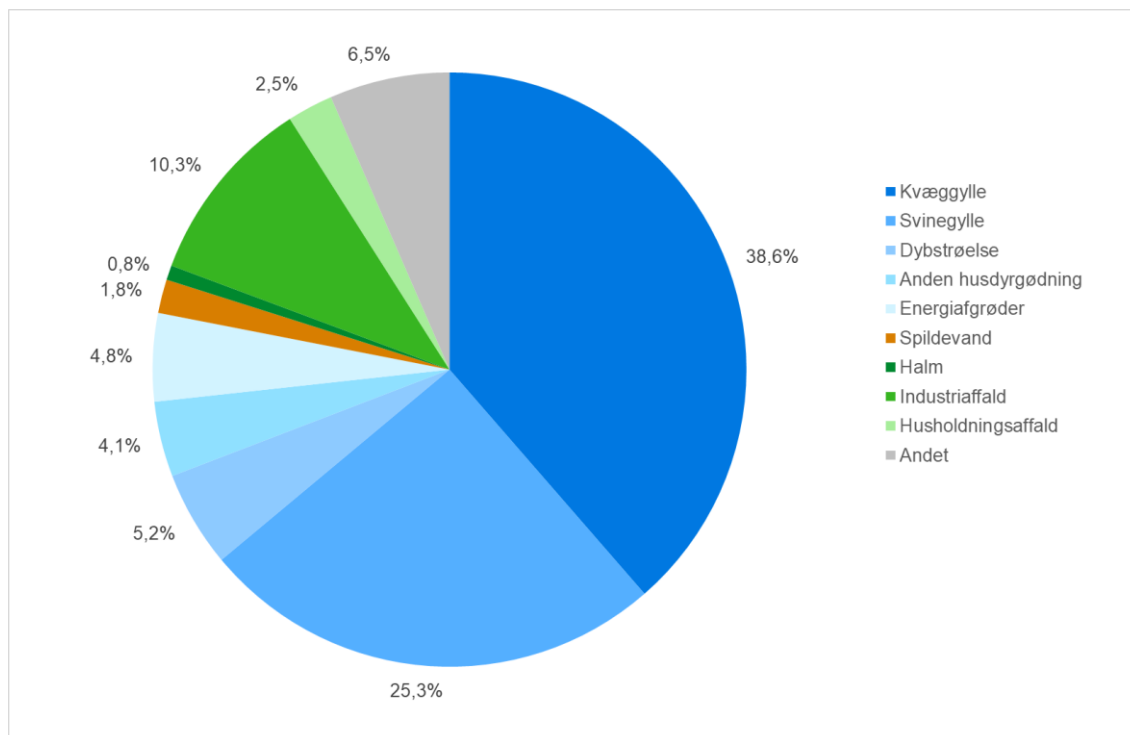


Figur 3: Principperne i den cirkulære økonomi. Kilde: Ellen MacArthur foundation (2017).

Driftsøkonomien på biogasanlæg er bestemt af en række lokale forhold, som medfører, at hvert anlæg er underlagt og påvirket af en række specifikke forudsætninger. Afsætning, produktion og anvendelse af ressourcer i biogassektoren er og har historisk derfor været baseret på flere forskellige forretningsmodeller.

I over hundrede år er biogasprocesser blevet anvendt til stabilisering af slam på spildevandsanlæg, og før deponering af organisk affald ophørte har biogasanlæg også vundet stort indpas på lossepladsanlæg. I de seneste årtier har der i biogassektoren imidlertid været et udviklingstræk mod flere og større fællesanlæg, som modtager husdyrgødning fra flere landbrugsbedrifter, og gårdanlæg, som kun betjener en enkelt eller ganske få gårde.

I 2017/2018 udgjorde gylle og affald de to vigtigste biomassekilder, jf. Figur 4.



Figur 4: Sammensætning af biomasseressourcerne. Note: Figuren afspejler et udsnit på omkring 75 pct. af den samlede biogasproduktion i 2017/2018. Kilde: Energistyrelsen (besøgt d. 21/1-2020)

I dag er biogasanlæg ofte en del af den kollektive energiforsyning, hvor biogassen afsættes til naturgasnettet eller til mere lokale gasnet. Produktion og netdistribution af biogas giver bl.a. transportsektoren og industrivirksomheder bedre mulighed for at gennemføre en grøn omstilling af energiforbruget, og med brug af certifikatorordninger (uddybte i afsnit 2.3.2) kan dette give anledning til et grønt tillæg i prisen på den afsatte biogas.

Der findes også eksempler på, at mejerier, slagterier og andre erhverv inden for fødevarerindustrien bygger og ejer deres egne biogasanlæg med henblik på at håndtere organiske restprodukter fra deres fødevarerfremstilling og at blive helt eller delvist selvforsynende med energi⁵.

2.3 Rammevilkår

Økonomien i biogasanlæg er også påvirket af mere generelle rammevilkår, som har bred betydning for anvendelsen og produktionen af biogas. Dette kortfattet beskrevet i afsnit 2.3.1⁶ og 2.3.2.

2.3.1 Regulering

En række politiske beslutninger, målsætninger og direktiver vedrører energi- og biogassektoren. De er både fastlagt i den danske regulering og tilskudsordning samt på EU-plan.

2.3.1.1 Den danske regulering og tilskudsordning

Tilskudsordningen målrettet biogas blev aftalt med Energiaftalen fra 2012. Tilskudsordningen påvirker driftsøkonomien i biogasanlæg og ydes til anvendelsen af biogas til elproduktion, til opgradering med tilførsel til naturgasnettet samt til transport-, proces- og varmeformål. Tilskudsniveauet er i de enkelte år

⁵ Energistyrelsen (2018), Energistyrelsen (besøgt d. 21/1-2020), Xergi (besøgt d. 21/1-2020) og Ellen MacArthur foundation (2017).

⁶ Regulering diskuteres i kapitel 3.

påvirket af nettoprisindekset og naturgasprisen og kan derfor variere fra år til år⁷. Tilskudsniveauet i 2019 for eksisterende anlæg er præsenteret i Tabel 1.

Samlet driftsstøtte, kr./MWh gas	
Opgradering	380,16
Proces	242,64
Transport	242,64
Varmeformål	102,24
Elproduktion	
Pristillæg	300,80

Tabel 1: Driftstilskud til biogas fremskrevet til 2019-priser. Note: Den varmeproduktion, der fremkommer ved kombineret el- og varmeproduktion, opnår desuden indirekte støtte, hvis den fortrænger afgiftsbelagt varmeproduktion. Pristillæg ved elproduktion er beregnet ved en elvirkningsgrad på 40 pct. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen (besøgt d. 18/2-2020) og Energistyrelsen (2018).

De fremadrettede vilkår for nye anlæg i biogassektoren kan vurderes ud fra forståelsespapiret mellem regeringen og støttepartierne og Klimaloven. I forståelsespapiret og Klimaloven fremgår, at udledningen af drivhusgasser skal reduceres med 70 pct. i 2030 i forhold til niveauet i 1990. Ifølge forståelsespapiret skal denne målsætning bl.a. realiseres gennem bindende reduktionsmål for landbruget og initiativer, der sikrer mere bæredygtig flytransport⁸.

Disse målsætninger bygger videre på Energifaftalen fra 2018, hvor det bl.a. blev besluttet, at der skal etableres en pulje på 240 mio. kr. (nominelt) årligt med henblik på at støtte udbygningen af biogas og andre grønne gasser til opgradering, transport og industrielle processer. Puljen skal udmøntes i perioden 2021-2023 og tildeles i udbud med prislofter.

Med Energifaftalen fra 2018 er det også besluttet at nedsætte en bioenergi-taskforce i 2019-2021, der skal se på mulighederne for bl.a. at effektivisere biogassektoren. Dette skal ses i sammenhæng med, at Forsyningsstrategien fra 2016 fastlagde som mål, at gasdistributionssektoren skal realisere effektiviseringspotentialer på 0,1 mia. kr. i 2025 gennem øget konkurrence på detailmarkedet og forbedret økonomisk regulering. Med energifaftalen er det desuden blevet besluttet, at der skal udarbejdes en gasstrategi med fokus på, hvordan den danske gasinfrastruktur fortsat kan udnyttes kommercielt og i den grønne omstilling⁹.

2.3.1.2 Regulering på EU-plan

EU's klima og energipakke fra 2009 fastlægger en række mål for Danmark i 2020. Bl.a. skal der være 30 pct. vedvarende energi i energiforbruget og 10 pct. vedvarende energi i transportsektoren. For 2030 har EU fastlagt mål om at reducere udledningen af CO₂ inden for ikke-kvotesektoren (dvs. særligt landbrug, transport og individuel opvarmning) med 30 pct. i forhold til 2005 og at vedvarende energi skal udgøre 32 pct. af energiforbruget i 2030.

EU's VE-direktiv lægger op til, at andelen af vedvarende af energi til slutkunder kan dokumenteres gennem oprindelsesgarantier, og at oprindelsesgarantier skal sikre mod overkompensation ved støttet VE. Oprindelsesgarantierne skal udløbe senest 12 måneder efter året er afsluttet. Af VE-direktivet fremgår desuden, at støtte til vedvarende energi skal udformes, så producenterne reagerer på prissignaler og vedvarende energi integreres i elmarkedet. Støtten skal med mellemrum evalueres.

EU's cirkulær økonomi-pakke reviderede seks affaldsdirektiver og fastlagte en række mål om øget genanvendelse og reduktion af deponi i EU's medlemsstater. Med revideringen blev det besluttet, at

⁷ Tabellen er baseret på de eneste tilgængelige oplysninger.

⁸ Regeringen og støttepartierne (2019) og Regeringen og aftaleparterne (2019).

⁹ Energistyrelsen (2018) og Den tidligere regering og aftaleparterne (2018).

medlemsstaterne skal gøre brug af økonomiske instrumenter for at skabe incitamenter til bl.a. forebyggelse af affald og øget genanvendelse¹⁰.

2.3.2 Efterspørgsel blandt forbrugere, kommuner og virksomheder

Mange forbrugere forventer og kræver i stigende omfang en ren (grøn) energiproduktion, og i mange lande er hensynet til klimaet en drivende faktor. Desuden er energi- og klimapolitik blevet et lokalt anliggende, hvor kommuner fastlægger lokale reduktionsmål. Endelig har mange virksomheder, der anvender energiforbrugende teknologi og udstyr, prioriteret energieffektiviseringer og flyttet deres produktion og forsknings- og udviklingsressourcer over til grønne teknologier.

Derfor er den grønne omstilling og efterspørgslen efter vedvarende energi ikke alene bestemt af politisk fastlagte vilkår. Det er i dag et forankret hensyn i civilsamfundet¹¹. Dette opleves også i biogasbranchen, jf. resultater fra delphi-undersøgelsen præsenteret i Boks 1.

- *Der er krav fra befolkningen om grøn transport (transport på fly og skibe) og brug af grønne kulbrinter til fremstilling af plastmaterialer. Dette er med til at skabe en betalingsvillighed efter biogas.*
- *Den må forventes stigende priser for certifikater efterhånden som der ikke er flere lavthængende frugter til at reducere CO2.*

Boks 1: Resultater og pointer fra delphi-undersøgelse om efterspørgselstrends. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020).

Efterspørgslen efter vedvarende energi er afspejlet i Energinets marked for biogas-certifikater. Markedet sikrer, at biogassen økonomisk kan sælges direkte fra producent til forbruger, selvom biogassen i praksis er blandet med anden gas i det kollektive naturgasnet. Certifikaterne bliver generelt udstedt på basis af den mængde opgraderet biogas, der modtager støtte i form af Energistyrelsens pristillæg¹².

¹⁰ Energistyrelsen (2018).

¹¹ Energikommissionen (2017).

¹² Energinet (besøgt d. 9/1-2020).

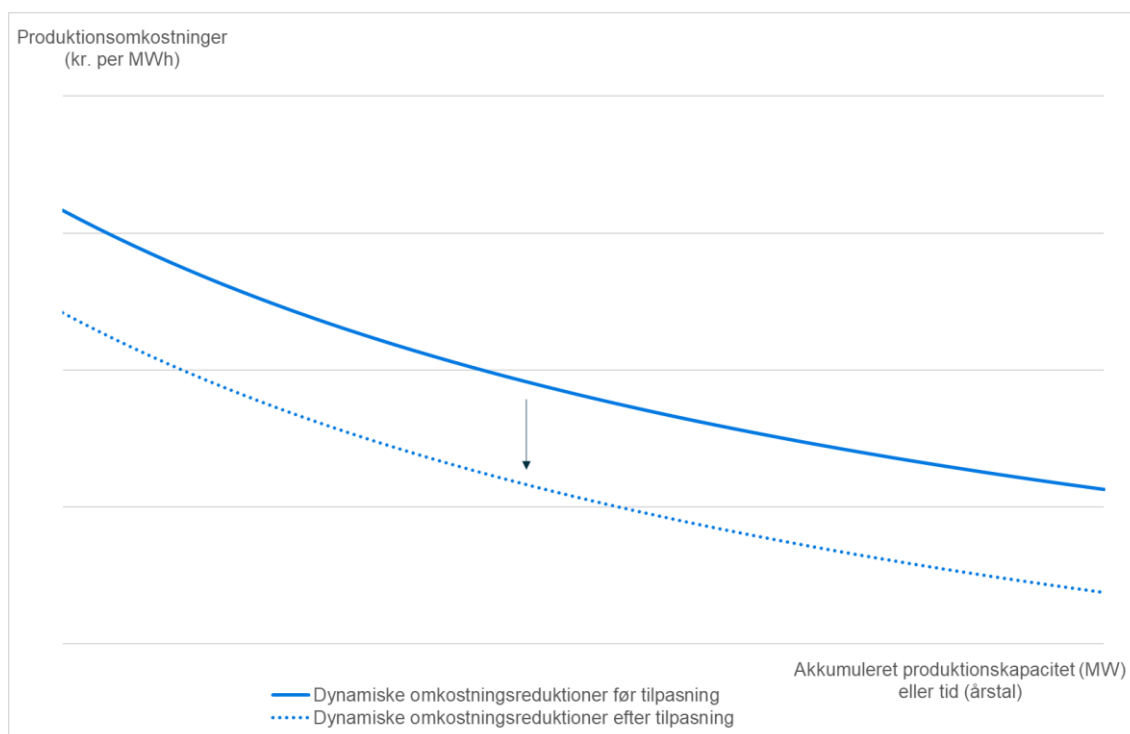
3 Potentialet for omkostningsreduktioner

Der er generelt en række forskellige faktorer, som kan give mulighed for omkostningsreduktioner i energi- og forsyningssektoren. De mest centrale faktorer, som har betydning for omkostningerne kan beskrives i følgende tre hovedkategorier:

- Udvikling af nyt anlægsdesign og *tilpasning af størrelser på anlæg* nye og eksisterende anlæg samt *standardisering af produktionsmetoder* og *indførelse af masseproduktion*.
- *Innovationseffekter*, der gennem bl.a. forskning og udvikling fører til brug af nye materialer eller nye produktionsprocesser og som understøttes interaktion/samspil på tværs af industri, forskningsinstitutioner, slutbrugere og beslutningstagere.
- Øget arbejds effektivitet og forbedring af metoder som følge af *læring/praktisk erfaring* (learning-by-doing)

Ofte er det en kombination af de forskellige faktorer, som påvirker udviklingen og ofte vil de enkelte faktors påvirkning udvikle sig over tid: I forbindelse med teknologiudviklingen er det typisk innovation, som har størst betydning for muligheden for omkostningsreduktioner, mens det senere ofte er læring og standardisering af produktionsmetoder, som påvirker. Givet et bestemt niveau af teknologisk udvikling er det for en række energiteknologier muligt også at reducere omkostningerne ved at tilpasse det enkelte anlægs størrelse.

Et tilfældigt eksempel på et omkostningsforløb er illustreret i Figur 5.



Figur 5: Omkostningsreduktioner for energiteknologi (eksempel).

I dette kapitel sondres mellem to effekter: Tilpasning af anlægsstørrelse (første effekt) samt innovation, læring og praktisk erfaring (anden effekt).

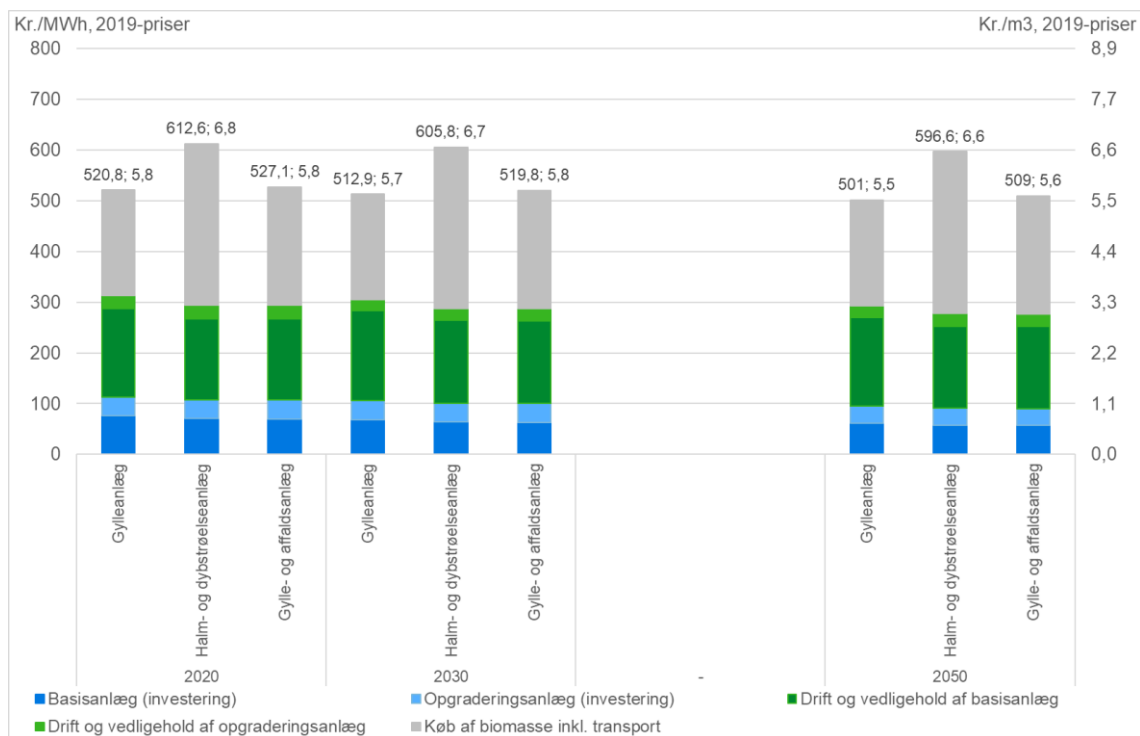
3.1 Teknologikatalogets fremskrivninger

Energistyrelsen udgiver i samarbejde med Energinet teknologikataloger for en række energiteknologier¹³. Teknologikatalogerne giver mulighed for at sammenligne omkostningerne ved biogasteknologi med omkostninger ved en række øvrige teknologier, som er i konkurrence med biogas og som baseret på el og vedvarende energi. Det drejer sig bl.a. om kystnære vindmøller og solceller samt store batterier i energisystemet.

Teknologikatalogerne bliver bl.a. anvendt til fremskrivninger af de fremadrettede CO₂-udledninger og til modeller for sikring af forsyningsikkerhed og energiplanlægning. Teknologikatalogerne for bl.a. biogas og elforsyning er desuden en del af grundlaget for Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger, som skal anvendes ved investeringer i kollektive energi- og varmforsyningsanlæg. Uoverensstemmelser mellem priser anført i Teknologikataloget og de faktiske priser vil derfor medføre en systematisk og u hensigtsmæssig udvikling i den danske energiforsyning. Teknologikatalogerne har derfor stor betydning. Statistik fra teknologikatalogerne bliver præsenteret i afsnit 3.1 og diskuteret i afsnit 3.2 til 3.4.

3.1.1 Biogasanlæg

I Figur 6 er Teknologikatalogets fremskrivninger om produktionsomkostninger til biogasanlæg¹⁴ sammenfattet for perioden 2020 til 2050. Det fremgår af figuren, at gyllebaserede biogasanlæg ("gylleanlæg") har de laveste produktionsomkostninger, at halm- og dybstrøelsebaserede biogasanlæg ("halm- og dybstrøelseanlæg") har de næstlaveste produktionsomkostninger, og at gylle- og affaldsbaserede biogasanlæg ("gylle- og affaldsanlæg") har de højeste produktionsomkostninger. Det fremgår også af figuren, at de samlede forventede omkostningsreduktioner er begrænsede i perioden.



Figur 6: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for opgraderede biogasanlæg. Note: En MWh svarer til 90,4 kubikmeter metan (øvre brændværdi). Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019a) samt Nature Energy (2020).

¹³ I nærværende rapport anvendes benævnelserne "Teknologikatalogerne" og "Teknologikataloget" som forkortelser.

¹⁴ Biogasanlæg er beskrevet i Teknologikataloget "Technology Data – Renewable Fuels".

Køb af biomasse er i 2020 den største omkostningspost for alle tre typer biogasanlæg. De vigtigste og relativt største omkostningsreduktioner vurderes dog at kunne realiseres på investeringssiden, hvor omkostningsreduktioner fra 2020 til 2050 er estimeret til 15,9 pct. for gylleanlæg, 15,4 pct. for halm- og dybstrøelseanlæg og 15,5 pct. for gylle- og affaldsanlæg. De samlede omkostningsreduktioner i perioden er estimeret til hhv. 3,8 pct. for gylleanlæg, 2,6 pct. for halm- og dybstrøelseanlæg og 3,4 pct. for gylle- og affaldsanlæg. Omkostningsudviklingen er beskrevet i Tabel 2 neden for og uddybet i Tabel 18 i bilag.

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
<i>Gylleanlæg</i>			
Investeringer	21,8	-15,9	-0,6
Drift og vedligehold, ekskl. køb af biomasse	38,3	-0,9	0,0
Køb af biomasse inkl. transport	39,9	0,0	0,0
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-3,8</i>	<i>-0,1</i>
<i>Halm- og dybstrøelseanlæg</i>			
Investeringer	17,5	-15,4	-0,6
Drift og vedligehold, ekskl. køb af biomasse	30,6	0,3	0,0
Køb af biomasse inkl. transport	51,9	0,0	0,0
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-2,6</i>	<i>-0,1</i>
<i>Gylle- og affaldsanlæg</i>			
Investeringer	20,3	-15,5	-0,6
Drift og vedligehold, ekskl. køb af biomasse	35,6	-0,8	0,0
Køb af biomasse inkl. transport	44,1	0,0	0,0
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-3,4</i>	<i>-0,1</i>

Tabel 2: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for opgraderede biogasanlæg. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019a).

Fremskrivningerne er baseret på vurderinger og antagelser om, at:

- Flere komponenter på et biogasanlæg produceres på etablerede og tværgående brancher (fx byggebranchen) med lille potentiale for at realisere læring- og erfaringseffekter.
- Biogasteknologien vil fremadrettet blive defineret og udviklet på et forholdsvist nationalt niveau i Danmark, hvor produktionskapaciteten forventes at blive fordoblet i henholdsvis 2020 - 2030 og 2030 - 2050.
- Der fremadrettet gennemføres forsknings- og udviklingsaktiviteter med fokus på optimering af kontrolsystemer og logistik (herunder bedre transportsystemer) samt anvendelse af gylle med højere tørstofindhold.
- Der opstår ikke nye muligheder for at øge levetiden eller at øge størrelsen på anlæggene¹⁵.

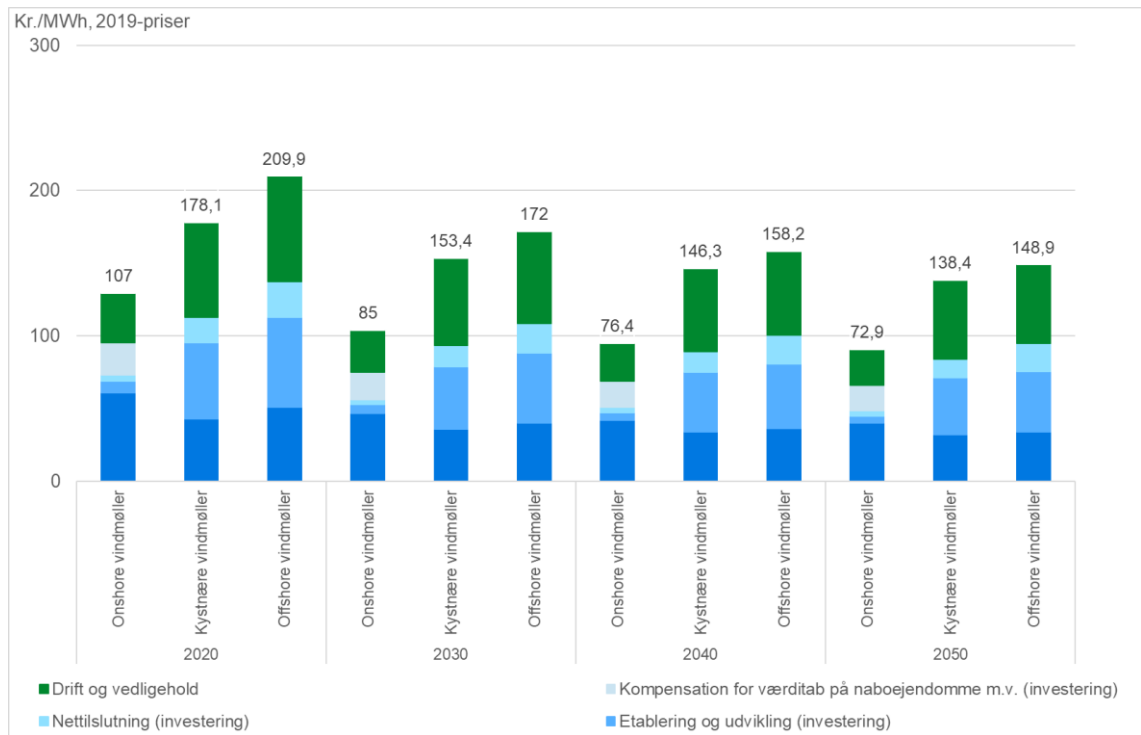
3.1.1.1 Vindmøller

Teknologikatalogets fremskrivninger om produktionsomkostninger til store vindmøller i energisystemet¹⁶ i perioden 2020 til 2050 er sammenfattet i Figur 7. Det fremgår af figuren, at produktionsomkostningerne for onshore vindmøller har de markant laveste produktionsomkostninger. Det fremgår også af figuren, at de samlede produktionsomkostningerne falder betydeligt fra 2020 til 2050 og særligt i starten af

¹⁵ Energistyrelsen og Energinet (2019a).

¹⁶ Store vindmøller i energisystemet er beskrevet i Teknologikataloget "Technology Data - Generation of electricity and District Heating" af Energistyrelsen og Energinet.

perioden: Fx falder de samlede produktionsomkostninger for onshore vindmøller fra 107 kr./MWh i 2020 til 85 kr./MWh i 2030, hvilket svarer til ca. 64,5 pct. af de samlede omkostningsreduktioner.



Figur 7: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for store vindmøller i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019b).

Investeringsomkostninger udgør størstedelen af de samlede omkostninger i 2020. Det er også inden for investeringer, at de relativt største omkostningsreduktioner vurderes at kunne realiseres: I perioden 2020 til 2050 forventes investeringsomkostningerne at blive reduceret med 34,1 pct. for onshore vindmøller, 25,4 pct. for kystnære vindmøller og 31 pct. for offshore vindmøller. De totale omkostningsreduktioner estimeres til hhv. 31,9 pct. for onshore vindmøller, 22,3 pct. for kystnære vindmøller og 29 pct. for offshore vindmøller. Omkostningsudviklingen er beskrevet i Tabel 3 neden for og uddybet i Tabel 19 i bilag.

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
<i>Onshore vindmøller</i>			
Investeringer	68,5	-34,1	-1,4
Drift og vedligehold	31,5	-27,1	-1,1
Total	100,0	-31,9	-1,3
<i>Kystnære vindmøller</i>			
Investeringer	63,3	-25,4	-1,0
Drift og vedligehold	36,7	-16,8	-0,6
Total	100,0	-22,3	-0,8
<i>Offshore vindmøller</i>			
Investeringer	65,4	-31,0	-1,2
Drift og vedligehold	34,6	-25,3	-1,0
Total	100,0	-29,0	-1,1

Tabel 3: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for store vindmøller i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019b).

Fremskrivningerne om onshore vindmøller er baseret på vurderinger og antagelser om, at:

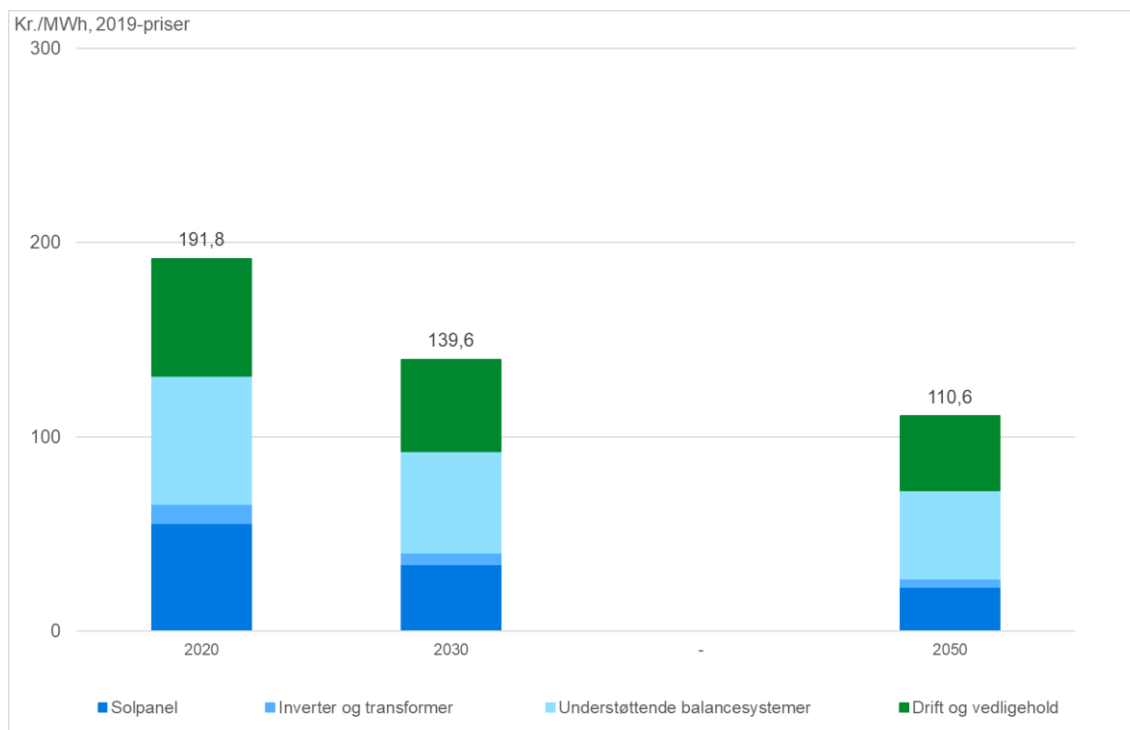
- Teknologien forbedres, hvilket bl.a. skaber mulighed for storskala-vindmøller med flere driftstimer, mere effektive delkomponenter og øget teknisk levetid.
- Der er yderligere mulighed for industrialisering og stordriftsproduktion.

Fremskrivningerne om kystnære vindmøller og offshore vindmøller er baseret på vurderinger og antagelser om, at:

- Der fremadrettet gennemføres forsknings- og udviklingsaktiviteter med fokus på at optimere drift og vedligehold, at øge turbines ydeevne samt at reducere omkostninger til vindmøllerne-fundamenter og tilslutning til el-infrastruktur.
- Teknologien forbedres, hvilket bl.a. skaber mulighed for storskala-vindmøller med flere driftstimer, mere effektive delkomponenter og øget teknisk levetid.
- Investeringer og implementeringsplaner i Danmark og resten af Europa gennemføres og understøttes af industrialisering og stordriftsproduktion¹⁷.

3.1.1.2 Solceller

Teknologikatalogets fremskrivninger om produktionsomkostninger til store solceller i energisystemet¹⁸ i perioden 2020 til 2050 er sammenfattet i Figur 8. Det fremgår af figuren, at de samlede produktionsomkostningerne falder betydeligt fra 2020 til 2050 og særligt falder i starten af perioden: Fra 2020 til 2030 er de samlede produktionsomkostningerne reduceret fra 191,8 kr./MWh til 139,6 kr./MWh, hvilket svarer til ca. 64,3 pct. af de samlede omkostningsreduktioner i hele perioden.



Figur 8: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for store solceller i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019b).

¹⁷ Energistyrelsen og Energinet (2019b).

¹⁸ Store solceller i energisystemet er beskrevet i "Technology Data - Generation of electricity and District Heating" af Energistyrelsen og Energinet.

Investeringsomkostninger udgør størstedelen af de samlede omkostninger til solceller i 2020. Det er også på investeringer, at de relativt største omkostningsreduktioner vurderes at kunne realiseres: I perioden 2020 til 2050 forventes investeringsomkostningerne at blive reduceret med 45,1 pct., og de totale omkostningsreduktioner estimeres til 42,3 pct. i perioden. Omkostningsudviklingen er beskrevet i Tabel 4 neden for og uddybet i Tabel 20 i bilag.

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
Investeringer	68,5	-45,1	-2,0
Drift og vedligehold	31,5	-36,3	-1,5
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-42,3</i>	<i>-1,8</i>

Tabel 4: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for store solceller i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019b).

I Teknologikataloget redegøres ikke nærmere for de vurderinger og antagelser, som lægges til grund for fremskrivningerne. Der peges dog på en række igangværende aktiviteter, som har fokus på, at:

- Sikre en højere grad af systemintegration (integration i det samlede elsystem), højere effektivitet (bedre materialer) samt længere teknisk levetid.
- At reducere omkostningerne på invertere (invertere ændrer strømmen fra jævn- til vekselstrøm)

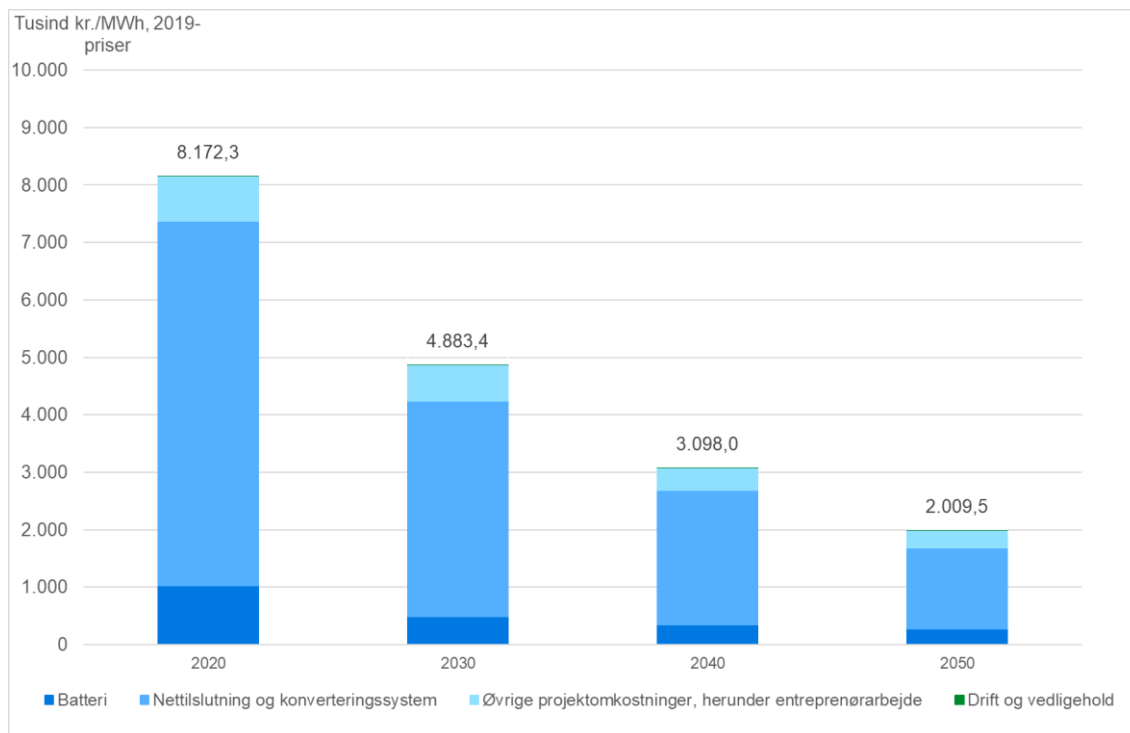
¹⁹.

3.1.1.3 Batterier

Teknologikatalogets fremskrivninger om produktionsomkostninger til batterier (lithium-ion) i energisystemet²⁰ i perioden 2020 til 2050 er sammenfattet i Figur 9. Det fremgår af figuren, at de samlede produktionsomkostningerne falder betydeligt fra 2020 til 2050 og særligt falder i starten af perioden: Fra 2020 til 2030 er de samlede produktionsomkostningerne reduceret fra 8.172,3 kr./MWh til 4.883,4 kr./MWh, hvilket svarer til 53,4 pct. af de samlede omkostningsreduktioner i hele perioden.

¹⁹ Energistyrelsen og Energinet (2019b).

²⁰ Batterier (lithium-ion) i energisystemet er beskrevet i Teknologikataloget "Technology Data – Energy Storage" af Energistyrelsen og Energinet.



Figur 9: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for lithium-ion-batterier i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2018).

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
Investeringer	99,8	-75,5	-4,6
Drift og vedligehold	0,2	0,0	0,0
Total	100,0	-75,4	-4,6

Tabel 5: Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for lithium-ion-batterier i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2018).

Investeringsomkostninger udgør næsten alle omkostninger til lithium-ion-batterier i 2020. Det er også inden for investeringer, at omkostningsreduktioner vurderes at kunne realiseres: I perioden 2020 til 2050 forventes investeringsomkostningerne at blive reduceret med 75,5 pct. De totale omkostningsreduktioner estimeres til 75,4 pct. Omkostningsudviklingen er beskrevet i Tabel 4 neden for og uddybet i Tabel 21 i bilag.

Fremskrivningerne er baseret på vurderinger og antagelser om, at der sker en betydelig stigning i den samlede globale kapacitet, der nedbringer omkostningerne²¹.

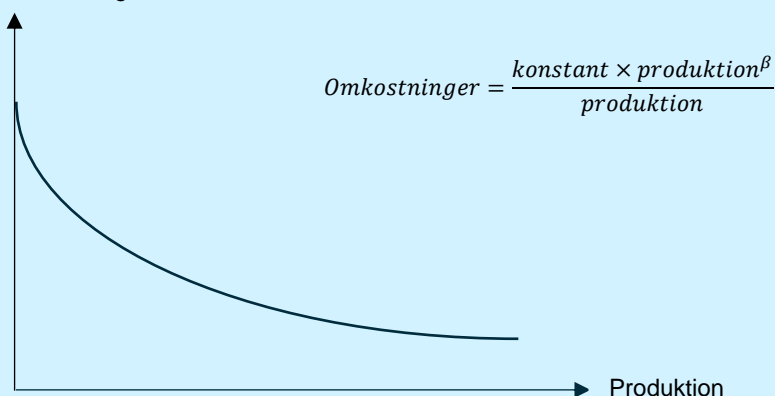
²¹ Energistyrelsen og Energinet (2018).

3.2 Produktionsomkostninger og tilpasning af anlægsstørrelse

I forbindelse med beslutningen om at investere i et biogasanlæg er det centralt at vurdere, om der gennem dimensionering og tilpasning af anlæggets størrelse kan sikres skalaeffekter (stordriftseffekter) som står mål med den tilgængelige biomasse i lokalområdet.

Positive skalaeffekter indebærer, at de gennemsnitlige omkostninger falder, når produktionen stiger:

Gns. omkostninger



Figur 10: Illustration af positive skalaeffekter

Positive skalaeffekter indebærer, at parameteren β vist i ligningen på Figur 10 er mellem 0 og 1. Er parameteren over 1 er der negative skalaeffekter.

Estimering af parameteren i regressionsanalyse medfører, at ligningen skal omskrives ved logaritmisk transformation:

$$\log(\text{omkostninger}) = \log(\text{konstant}) + \beta \times \log(\text{produktion})$$

Ligning 1: Estimering af skalaeffekter

Boks 2: Analyse af skalaeffekter.

I analysen er der indsamlet data for en række forskellige biogasanlæg, som alle har opgraderingsystemet tilsluttet, men med forskellige biomasseinput og placering. Resultaterne skal derfor tolkes med en vis forsigtighed.

Datasættet anvendt i analysen er fordelt på en række variable, som er beskrevet i Tabel 6. Datasættet er dels sammensat af oplysninger om den faktiske og forventede omkostningsstruktur og produktion for syv anlæg i Nature Energys portefølje og dels oplysninger om forventet produktion og omkostninger for ni gårdanlæg, som udliciterer drift- og vedligehold til en fælles professionel aktør.

Anlæggene forventes bygget i løbet af perioden 2015 – 2020 og idriftsættes i omkring 2020-2021 (dvs. før eventuelle kapacitetsudvidelser). De vurderes derfor at være sammenlignelige.

	Enhed	Observationer	Gennemsnit	Median	Standardafvigelse	Minimum	Maksimum
Produktion	Mio. kubikmeter (m ³)	16	9,4	5,3	5,7	4,9	22,3
Samlede omkostninger	Mio. kr. (2019-priser) per år	16	50,3	27,6	28,3	27,0	109,2
Investeringsomkostninger	Mio. kr. (2019-priser) per år	16	9,9	6,5	4,6	5,8	18,6
Drift- og vedligeholdelsesomkostninger	Mio. kr. (2019-priser) per år	16	40,4	21,1	24,1	21,1	94,5
Gårdanlæg	Binær (=1 hvis gårdanlæg)	16	0,6	1,0	0,5	0,0	1,0

Tabel 6: Variable anvendt i analysen. Note: Alle omkostninger er omregnet til 2019-niveau ved brug af det generelle forbrugerprisindeks. Kilde: Baseret på data fra Nature Energy (2020), Gas Vitae (2017) og Energistyrelsen (2019b).

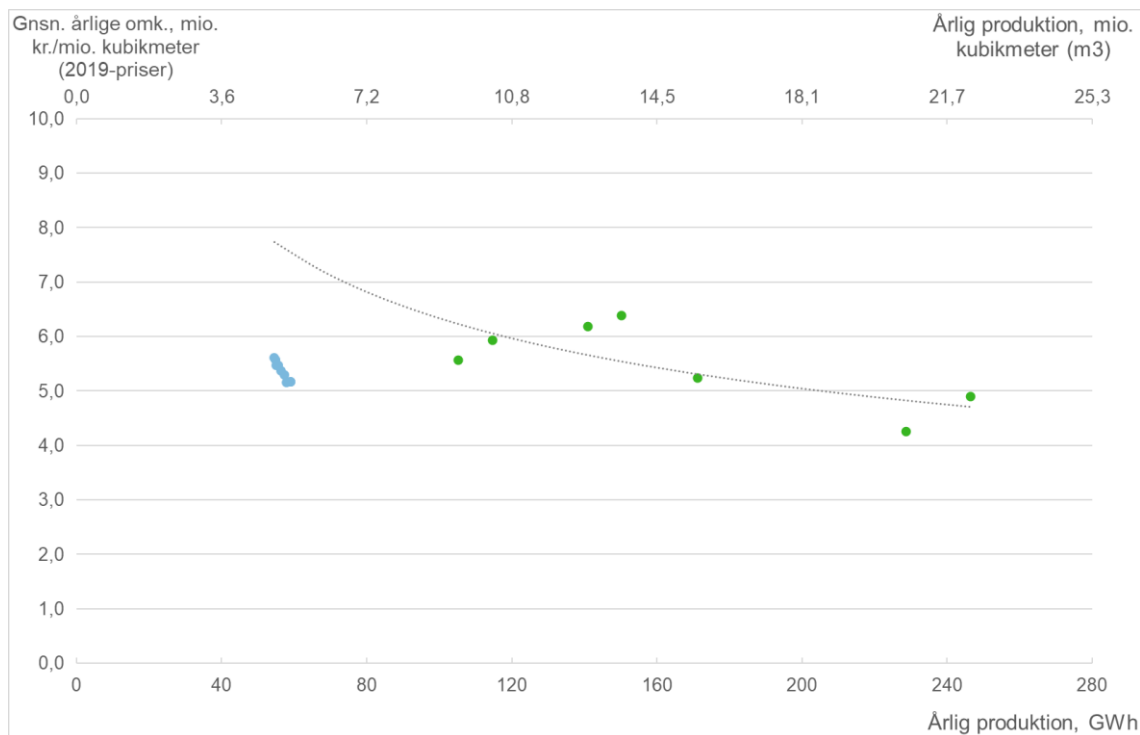
Produktionen på biogasanlæg opgøres typisk ikke i MWh (som er enheden anvendt i Teknologikataloget). Den anførte produktionskapacitet er derfor i stedet beskrevet som den maksimale produktion opgjort i mio. kubikmeter (m³), som er oplyst som inputs til datasættet. Datasættet anvendt i analysen vurderes at inddrage flere omkostningselementer end datasættet, som er blevet anvendt til Teknologikataloget for biogas (fx hvad angår omkostning til tilslutningsomkostninger og arealomkostninger).

Variationer i omkostninger, som kan forklares ved placering af biogasanlæggene søges opfanget ved en binær variabel, som korrigerer for om det enkelte biogasanlæg er et gårdanlæg.

I drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne indgår bl.a. transportomkostninger og køb af biomasse. Transportomkostningerne er koblet til den gennemsnitlige transportafstand, og det er sandsynligt, at større afstand vil medføre lidt større omkostninger pr. ton biomasse. Datasættet gør det ikke muligt at analysere transportomkostningerne isoleret.

3.2.1 Sammenhængen mellem produktionen og de samlede omkostninger

Figur 11 viser et plot af den empiriske sammenhæng mellem de samlede omkostninger og produktionen. Som det umiddelbart ses i figuren, er der tendens til, de samlede marginale omkostninger falder i takt med, at produktionen stiger.



Figur 11: Plot af de gennemsnitlige samlede omkostninger og produktionen. Note: Observationer markeret med grøn viser Nature Energys anlæg. Observationer markeret med blå er anlæg analyseret af Gas Vitae. Finansieringsomkostninger indgår ikke. Kilde: Baseret på data fra Nature Energy (2020), Gas Vitae (2017) og Energistyrelsen (2019b).

Regressionsanalysen viser, parameterestimatet for produktionen (omskrevet til logaritmisk form) er mellem 0 og 1, og at parameterestimatet er signifikant. Analysen bekræfter derfor, at der er skalafordele for de samlede omkostninger, når produktionen stiger. Parameterestimatet for gårdanlæg er negativt og signifikant, og analysen indikerer derfor også, at der samlet set er omkostningsmæssige fordele ved gårdanlæg. Resultaterne er præsenteret i Tabel 7.

	Estimat	Standardfejl
Konstantled	2,6 *	0,2
Log(Produktion)	0,7 *	0,1
Gårdanlæg	-0,4 *	0,1
R ²	98,6%	

Tabel 7: Estimering af samlede skalaeffekter. Note: "*" markerer, at parameterestimatet er signifikant på et 95 % signifikansniveau. Kilde: Baseret på data fra Nature Energy (2020), Gas Vitae (2017) og Energistyrelsen (2019b).

Resultaterne kan konkretisere til en case, hvor en beslutningstager står over for valget om at investere i et nyt biogasanlæg: Investeres der i et anlæg med en produktion på 20 mio. kubikmeter (m³) biometan-ækvivalenter i stedet for et anlæg på 10 mio. kubikmeter (m³) biometan-ækvivalenter, forventes de gennemsnitlige samlede omkostninger at være reduceret med 20,4 pct.

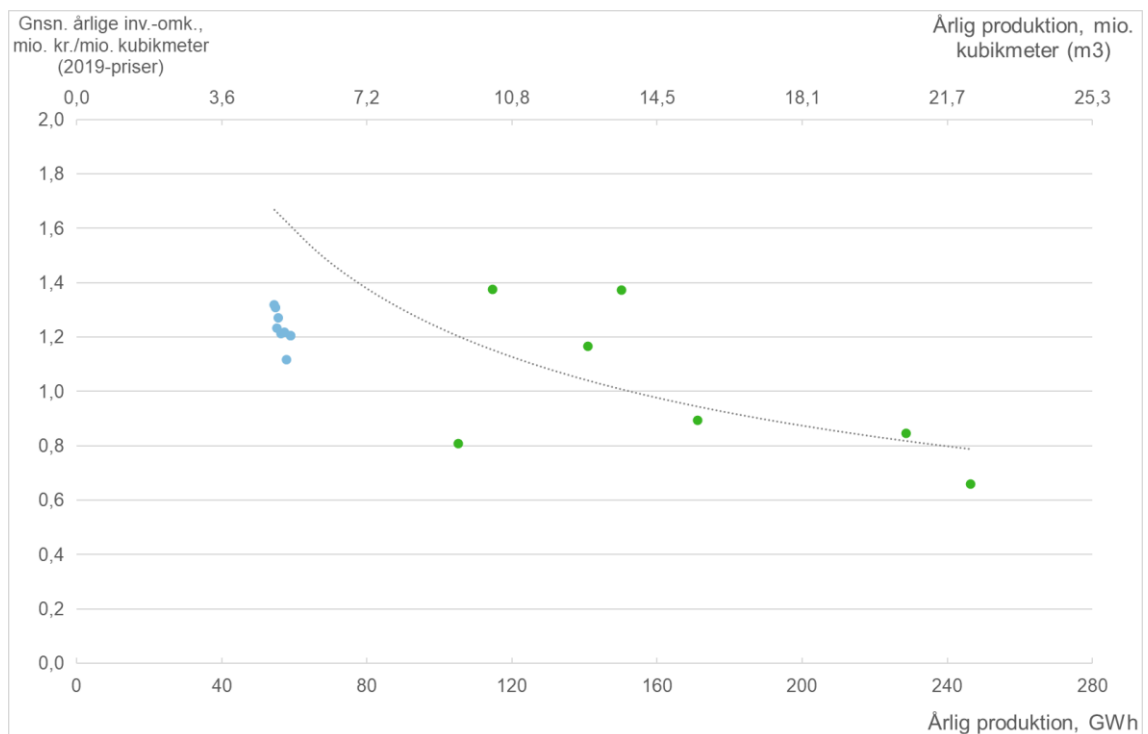
Resultatet er underbygget og uddybet af en række konkrete erfaringer, jf. Boks 3.

- Der er ofte markante omkostningsfordele ved at bygge stort og skabe fælles drift.
- Den største barriere for at realisere stordriftseffekter er adgangen og afstanden til biomasse (afstanden bør ikke være over 20 – 25 km.)... Afsætning af produkter (biogas m.v.) er ikke en barriere.
- Størrelsen af biogasanlæg er i dag i høj grad defineret af incitamentsfællesskaberne med landbruget. Etablering af gødningsbaserede biogasanlæg kræver, at der er opbakning fra landbruget.
- Formentlig har vi allerede nået niveauet for omkostningsreduktioner, som kan realiseres ved at bygge biogasanlæggene større. Dette skyldes, at der er en øvre grænse i form af omkostninger til transport af biomasse (på et tidspunkt rammes et loft for, hvornår storskala vil skabe et pay-off).

Boks 3: Resultater og pointer fra Delphi-undersøgelse om sammenhængen mellem produktionskapaciteten og de samlede omkostninger. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020).

3.2.2 Sammenhængen mellem produktionen og investeringsomkostningerne

Datasættet gør det muligt at analysere investeringsomkostningerne isoleret. Figur 12 viser et plot af den empiriske sammenhæng mellem investeringsomkostningerne og produktionen. Som det umiddelbart ses i figuren, er der for investeringsomkostninger en tendens til, de marginale investeringsomkostninger falder i takt med, at produktionsmulighederne stiger.



Figur 12: Plot af de gennemsnitlige investeringsomkostningerne og produktionen. Note: Observationer markeret med grøn viser Nature Energys anlæg. Observationer markeret med blå er anlæg analyseret af Gas Vitae. Finansieringsomkostninger indgår ikke. Kilde: Baseret på data fra Nature Energy (2020), Gas Vitae (2017) og Energistyrelsen (2019b).

Regressionsanalysen viser, parameterestimatet for produktionen er mellem 0 og 1, og at parameterestimatet er signifikant. Analysen bekræfter derfor, at der er skalafordele for investeringsomkostningerne, når produktionsmulighederne stiger. Parameterestimatet for gårdanlæg er insignifikant, og analysen

indikerer derfor ikke, at der som regel er lavere investeringsomkostninger forbundet ved at etablere gårdanlæg. Resultaterne er præsenteret i Tabel 8.

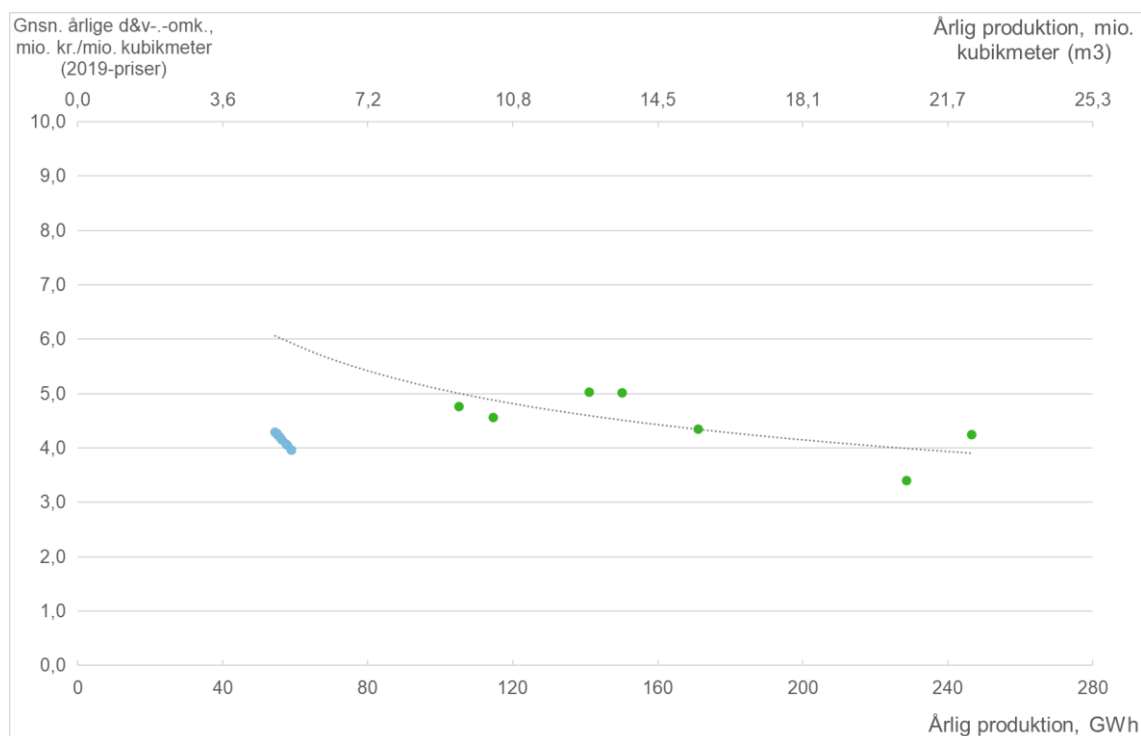
	Estimat	Standardfejl
Konstantled	1,3 *	0,5
Log(Produktion)	0,5 *	0,2
Gårdanlæg	-0,3	0,2
R ²	88,6%	

Tabel 8: Estimering af samlede skalaeffekter. Note: "*" markerer, at parameterestimatet er signifikant på et 95 % signifikansniveau. Kilde: Baseret på data fra Nature Energy (2020), Gas Vitae (2017) og Energistyrelsen (2019b).

Investeres der i et anlæg med en produktion på 20 mio. kubikmeter (m³) biometan-ækvivalenter i stedet for et anlæg på 10 mio. kubikmeter (m³) biometan-ækvivalenter, forventes de gennemsnitlige investeringsomkostninger at være reduceret med 29,1 pct.²².

3.2.3 Sammenhængen mellem produktionen og drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne

Datasættet gør det muligt alene at analysere drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne samlet. Figur 13 viser et plot af den empiriske sammenhæng mellem drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne og produktionen. Som det umiddelbart ses i figuren, er der også for drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne en tendens til, at de marginale drifts- og vedligeholdelsesomkostninger falder i takt med, at produktionen stiger.



Figur 13: Plot af de gennemsnitlige drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne og produktionen. Note: Observationer markeret med grøn viser Nature Energys anlæg. Observationer markeret med blå er anlæg analyseret af Gas Vitae. Kilde: Baseret på data fra Nature Energy (2020), Gas Vitae (2017) og Energistyrelsen (2019b).

²² I et EUDP-støttet analyseprojekt "Energi- og Omkostningsoptimering af Bionaturgasproduktion" er omkostningsreduktionen for lignende biogasanlæg estimeret til 23,5 pct. på baggrund af et omfattende datasæt.

Regressionsanalysen viser, parameterestimatet for produktionen er mellem 0 og 1, og at parameterestimatet er signifikant. Analysen bekræfter derfor, at der er skalafordelle for drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne, når produktionen stiger. Parameterestimatet for gårdanlæg er negativt og signifikant, og analysen indikerer derfor også, at der som regel er lavere drifts- og vedligeholdelsesomkostninger forbundet ved at etablere gårdanlæg, som udliciterer drifts- og vedligeholdelsesopgaverne. Resultaterne er præsenteret i Tabel 9.

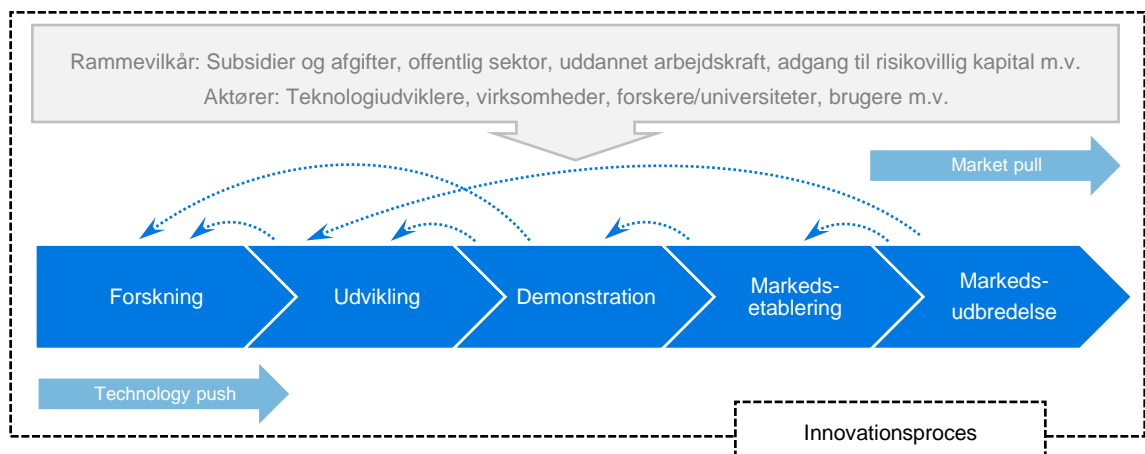
	Estimat	Standardfej
Konstantled	2,3 *	0,2
Log(Produktion)	0,7 *	0,1
Gårdanlæg	-0,4 *	0,1
R ²	98,8%	

Tabel 9: Estimering af samlede skalaeffekter. Note: "*" markerer, at parameterestimatet er signifikant på et 95 % signifikansniveau. Kilde: Baseret på data fra Nature Energy (2020), Gas Vitae (2017) og Energi-styrelsen (2019b).

Investeres der i et anlæg med en produktion på 20 mio. kubikmeter (m³) biometan-ækvivalenter i stedet for et anlæg på 10 mio. kubikmeter (m³) biometan-ækvivalenter, forventes de gennemsnitlige drifts- og vedligeholdelsesomkostninger at være reduceret med 18,3 pct.

3.3 Innovationseffekter og industrialisering

Fremskrivningerne af omkostningsniveauet kan vurderes ud fra teknologiernes modenhedsfase og potentialet for innovation. Her er det relevant at anlægge et værdikædeperspektiv, som viser de enkelte faser og påvirkninger i innovationsprocessen. Dette er illustreret i Figur 14.



Figur 14: Innovationsprocessen. Note: Pile med stiplede linjer markerer mulige feedback-loops. Kilde: Baseret på Gruebler m.fl. (2012).

Forskning og udvikling er de to tidlige faser i innovationsprocessen. Her arbejdes der typisk eksplorativt, der indsamles data og behovet i markedet vurderes. I demonstrationsfasen udvikles en prototype, som testes i et relevant miljø. I markedsetableringsfasen gennemføres aktiviteter, der gør teknologien konkurrencedygtig og fx tilpasser den til nichemarkeder eller billiggør den gennem subsidier. I markedsudbredelsesfasen kan der fx gennemføres investeringer og indgås handels- og licensaftaler med kunder og produktionsmetoderne kan industrialiseres.

Aktørerne er drivkraften i innovationsprocessen og sikrer, at teknologien udvikles under indflydelse af rammevilkårene. Der er ofte stor interaktion mellem de forskellige aktører, fx mellem brugere og virksomheder, universiteter og virksomheder. Interaktionen muliggør udvikling, billiggørelse og afprøvning af et nyt teknologi-koncept forud for, at det endelige produkt bliver lanceret på markedet.

Aktørerne kan i innovationsprocessen påvirkes af markedskræfterne og efterspørgselstrends, som fx er understøttet af politisk regulering, krav til offentlige indkøb m.v. ("market pull"). Innovationsprocessen kan også være påvirket af, at aktørerne selv får ideer til nye teknologier under forventning af, at teknologien kan skabe en efterspørgsel ("technology push").

Tidligere blev innovationsprocessen beskrevet som en lineær og fremadskridende proces, hvor teknologierne gennemgår de forskellige faser en for en. I dag er der imidlertid en bred opfattelse af, at processen nærmere er en ikke-lineær proces, hvor feedback-loops fx kan medføre, at demonstration af en ny teknologi påvirker aktiviteter i forsknings- og udviklingsfaserne.²³

3.3.1.1 Estimering af innovations- og industrialiseringseffekter

Det er vurderingen, at biogassektoren fortsat er i en udviklingsfase og derfor stadig har mulighed for at realisere betydelige omkostningsreduktioner som følge af innovationsindsatser. Bl.a. er opgraderingsteknologi en relativ ny teknologi, som første gang blev anvendt i 2014 og det første skalaprojekt i dansk kontekst er først inden for de senere år blevet etableret²⁴. Nature Energy har for nylig peget på, at omkostningerne til biogas vil blive halveret inden for en ti-årlig periode²⁵.

I en undersøgelse af Nature Energy er det vist, at den teknologiske udvikling vil resultere i omkostningsbesparelser på omkring 43 kr./GJ frem til 2030²⁶. Da en del af besparelsen vurderes at vedrøre integration af ny teknologi, herunder effekter forbundet med læring og erfaring, er de ikke indregnet som en selvstændig effekt i nærværende analyse.

Standardisering af anlægsdesign samt et forbedret og fokuseret samarbejde med universiteterne udgør centrale muligheder for omkostningsreduktioner, jf. Boks 4.

²³ Gruebler m.fl. (2012) og Europa-Kommisionen (2017).

²⁴ I afsnit 3.4 diskuteres innovationseffekter i sammenhæng med lærings- og erfaringseffekter.

²⁵ EnergiWatch (2019).

²⁶ Nature Energy (2020).

Generelt:

- *Det er generelt vigtigt at tænke på praksis og rentabilitet i hele innovationsforløbet.*
- *Den moderne biogasbranche er kun få år gammel og er derfor ikke teknologisk moden. Dette skal ses i lyset af, at biogasteknologi har gennemgået et paradigmeskifte ift. skala, inputs m.v. inden for de seneste år.*

Forskning og udvikling:

- *Det er vigtigt, at den fremadrettede forskning kan skabe en forretning og basere sig på forsøg og forsøgsanlæg.*
- *Universiteterne er i dag ikke med til at drive omkostningerne ned. Det er vanskeligt at omsætte deres resultater til noget, der nedbringer omkostninger i praksis... Universiteterne har allerede fokus på biogas, men forskningen er typisk teoretiske/fokus på artikler.*
- *Forskning i enzymer og power to gas kan medvirke til at øge virkningsgraden på biogasanlæg-gene*
- *Den nuværende forskning i biogasteknologi hjælper ikke biogasvirksomhederne med at reducere omkostningerne. "Trial-and-error"-forsøg udført af driftsfolk har større effekt.*

Standardisering og markedsudbredelse/industrialisering:

- *Det er vigtigt at øge fokus på at skabe et mere standardiseret design, som vil reducere omkostninger til engineering-processerne... Kan man bygge 10 ens anlæg, kan der spares omkostninger til projektering, design og udførelsen.*
- *Standardisering gør det muligt at købe stort ind og lave større aftaler hos enkelt-leverandører (der kan hentes inspiration fra vindmølle-branchen).*

Boks 4: Resultater og pointer fra delphi-undersøgelse om innovationseffekter og industrialisering. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020).

Det er på den baggrund Viegand Maagøes vurdering, at biogasteknologi har potentiale til at opnå de samme omkostningsreduktioner som er set inden for bl.a. vindteknologi, hvor produktionsmetoden er gået fra serie- til masseproduktion, og hvor den teknologiske udvikling har skabt højeffektive anlæg.

Inden for vind- og solenergiteknologi er der aktuelt fokus på at udvikle og indføre digitale teknologier, der sikrer øget transparens og prissignaler til producenter og kunder, fleksibilitet i energisystemet og nye forretningsmodeller²⁷. Med samme fokus kan biogassektoren styrke konkurrenceevnen og bl.a. skabe transparens om CO₂-besparelser i forbindelse med afregning af kunder og bidrage til at øge forsynings-sikkerhed i perioder med særligt højt gasbehov.

3.3.1.2 Regulering og incitamenter til at øge innovationseffekter

Udvikling og skabelse af ny viden samt markedsetablering- og udbredelse er kendetegnet ved en række forskellige markedsfejl, som tilsiger økonomisk regulering.

Teknologisk udvikling kan give positive spredningseffekter, hvis andre virksomheder og aktører benytter sig af den nye teknologi. Disse spredningseffekter bidrager til at skabe et samfundsøkonomisk afkast og tilskynder desuden til at mindske adgangsomsomkostninger for ny teknologi. Hvis ikke der reguleres for spredningseffekter vil markedsfejl medføre, at der ikke sikres samfundsøkonomisk tilstrækkelige investeringer i bl.a. forsknings-, udviklings- og demonstrationsfaserne.

²⁷ IRENA (2019).

Markedsfejl påvirker også mulighederne i markedsetablerings og -udbredelsesfaserne, hvis omkostningseffektive energiteknologier ikke udbredes eller efterspørges i stort omfang. Her kan staten og øvrige aktører i den offentlige sektor bidrage med at udbrede relevant information²⁸.

Politiske aftaler, herunder Energiaftalen fra 2018, styrker fokus på forskning og udvikling, men negligerer vigtigheden af at demonstrere storskala biogasanlæg og state-of-the-art biogasteknologi.

3.4 Læring- og erfaringseffekter

Beregning af læringseffekter er en alternativ (eller supplerende) metode til at estimere omkostningsudviklingen over tid. Argumentet for at inkludere læringseffekter er, at der kan skabes læring og praktisk erfaring ("learning-by-doing") hver gang der investeres i et anlæg med en specifik type teknologi, og at dette i sig selv vil gøre det billigere at investere i næste anlæg af samme type.

Læringseffekter kvantificeres ved en læringsrate, som beskriver de omkostningsreduktioner, der opstår som følge af, at den akkumulerede produktionskapaciteten fordobles. Den matematiske metode til indregning af læringseffekter er uddybet i Boks 5.

Matematisk indregnes læringseffekter ved hjælp af Ligning 2:

$$\frac{\text{Omkostning}_t}{\text{Omkostning}_0} = \left(\frac{\text{Produktion}_t}{\text{Produktion}_0} \right)^\epsilon$$

Ligning 2: Omkostningsreduktioner ved læringseffekter.

I Ligning 2 angiver *Omkostning* omkostningerne ved at producere en enhed (enhedsomkostningerne) på hhv. tidspunkt *t* og 0; *Produktion* angiver den akkumulerede produktionskapacitet på tidspunkt *t* og 0; og den samlede læringseffekt er kvantificeret i parameteren ϵ .

Læringsraten og erfaringsparameteren beskrives ved hjælp af Ligning 3:

$$LR = 1 - 2^\epsilon$$

Ligning 3: Læringsraten som funktion af erfaringsparameter

I Ligning 3 angiver *LR* læringsraten og ligesom i Ligning 2 angiver parameteren ϵ læringseffekterne for den pågældende teknologi. Estimering af ϵ tager udgangspunkt i Ligning 3, som kan omskrives til Ligning 4:

$$\epsilon = \frac{\log(1 - LR)}{\log(2)}$$

Ligning 4: Estimering af læringseffekter

Boks 5: Metoder til beregning af læringseffekter. Kilde: Baseret på Junginger (2005).

Ifølge Det Internationale Energiagentur er læringsraten forholdsvis konstant for de fleste energiteknologier. En konstant læringsrate betyder, at relativt nye og mindre udbredte energiteknologier hurtigt kan blive mere omkostningseffektive og konkurrencedygtige, hvis de udbredes på markedet²⁹.

²⁸ Det Internationale Energiagentur (2011a).

²⁹ Det Internationale Energi Agentur (2011b).

3.4.1 Estimering af lærings- og erfaringseffekter

I en artikel af Rubin m.fl. (2015) er det beskrevet, at læringsraten for en række forskellige energiteknologier ligger på omkring 15 pct. I artiklen refereres til en rapport af Junginger (2005), som estimerer og sandsynliggør, at læringsraten for danske biogasanlæg lå på netop 15 pct. i perioden 1984 til 1991. I rapporten forklares, at perioden var præget af udbygning og test af nye anlægsdesign i biogassektoren.

Selvom biogasteknologien har været i betydelig udvikling siden 1984 til 1991, er det Viegand Maagøes vurdering, at kan der trækkes relevante paralleller til forholdene i dag, hvor der inden for de teknologiske rammer er stort fokus og potentiale i at designe og bygge smartere, jf. Boks 6.

Læring- og erfaringsudveksling:

- *Det er vigtigt, at biogasvirksomhederne lærer af hinanden, så der hele tiden er fokus på best practice (der bør udvikles initiativer, der understøtter dette)... Fokus på best practice skal integreres allerede i designfasen.*

Eksempler på konkrete erfaringer:

- *Der kan opnås 10 – 15 pct. effektivitetsforbedringer ved at designe og bygge smartere.*
- *Biogasanlæggene bliver ofte for komplekse, hvilket er fordyrende: Meget komponentteknologi (specialkomponenter m.v.) "drukner" i omkostninger og skaber derfor ikke reel merværdi... Der mangler overblik over omkostninger til fx fakler og havarier... Det er særligt maskiningeniører (og i mindre grad forskere), der kan bidrage til viden om effektiviseringer.*
- *Energieffektivisering af anlæggene (fx varmegenvindingstiltag) kan reducere energiforbruget og dermed reducere energiomkostningerne... Der er store omkostninger til bundfældning, og derfor er ændret tørstofsammensætning vigtig... Smartere sandtømning kan minimere meromkostninger... Enggræsressourcer er tilgængelige, men dog dyre.*
- *Konkurrencen er øget de seneste år inden for komponenter, hvilket har betydet, at prisen på nogle komponenter er faldet.*

Boks 6: Resultater og pointer fra delphi-undersøgelse om lærings- og erfaringseffekter. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020).

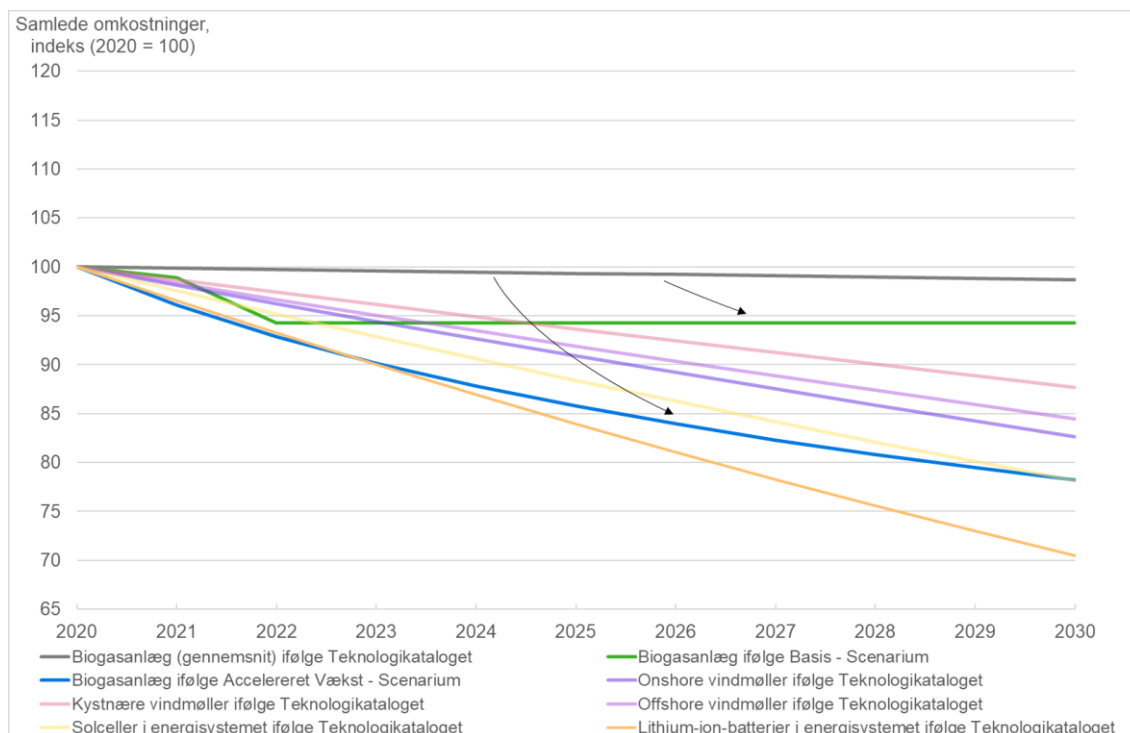
Konsekvensen af at anvende en rate på 15 pct. for lærings- og erfaringseffekter er beregnet i et hhv. *Basis – Scenarium* og et *Accelereret Vækst – Scenarium*, jf. Boks 7. Da der allerede i dag er en betydelig vidensdeling med fokus på best practice på tværs af virksomheder i den danske biogasbranche er raten anvendt på data for det samlede danske biogasforbrug.

Basis – Scenarium for det samlede biogasforbrug: Det samlede forbrug af rå og opgraderet biogas følger Energistyrelsens 2019 - Basisfremskrivning frem mod 2030.

Accelereret Vækst – Scenarium for det samlede biogasforbrug: Det samlede forbrug af rå og opgraderet biogas er for 2018 baseret på Energistyrelsens 2019 – Basisfremskrivning, men stiger herefter med 10 pct. årligt mod 60 PJ (ca. 17 tusind GWh) frem mod 2030 afspejlende gasdistributionselskabernes vurdering af, at biogas kan nå en markedsandel på 80 PJ i 2035.

Boks 7: Scenarier for samlet biogasforbrug. Kilde: Baseret på Viegand Maagøe (2015) og Energistyrelsen (2019).

i Basis – Scenarium og Accelereret Vækst – Scenarium medfører en betydning omkostningsreduktion relativt til hvad der er estimeret i Teknologikataloget. I Figur 15 er udviklingen i de samlede omkostninger opgjort i indekstal. Det ses i figuren, at omkostningerne vil blive reduceret med 5,7 pct., hvis udviklingen følger Basis – Scenariet og 21,8 pct., hvis udviklingen følger Accelereret Vækst – Scenariet.



Figur 15: Udvikling i de relative omkostninger. Note: Pile markerer skift i omkostninger, hvis biogassektoren læringsrate er 15 pct. og følger Basis – Scenariet eller Accelereret Vækst – Scenariet. Antal driftstimer forudsættes at være konstant og ens på tværs af biogasanlæg. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2018), Energistyrelsen (2019a) samt Junginger (2005) m.fl.

3.4.2 Regulering og incitamenter til at øge lærings- og erfaringseffekterne

Der kan argumenteres for, at økonomiske tilskud kan rette op på markedsfejl, som består i, forskende teknologivirksomheder alternativt ikke får det fulde afkast af deres indsats, fordi forskningen medfører positive spillover-effekter til andre aktører og virksomheder, der kan nyde godt af denne indsats.³⁰

Det er Viegand Maagøes vurdering, at der også er behov for at støtte teknologier som allerede er på markedet, da de i denne fase kan være vanskelige at patentere.

Politiske aftaler, herunder Energiaftalen fra 2018, tager afsæt i, omkostningerne til den grønne omstilling skal reduceres i overgangen mod et lavemissionssamfund i 2050³¹. Derfor er der i (en del af) overgangsperioden gode argumenter for at målrette statens støtte til de grønne energiteknologier som biogas³², der bl.a. i kraft af støtten og deraf følgende markedsudbredelse forventes at realisere betydelige omkostningsreduktioner frem mod 2030 og 2050.

Foreningen Biogasbranchen har i en nylig artikel fremlagt et supplerende forslag, som understøtter, at produktionen og markedsudbredelsen af biogas stiger frem mod 2030. Forslaget fremmer en efterspørgsel af ikke-støttet biogas og indeholder to effektive tiltag, der sikrer udfasning af naturgas til rumvarme:

³⁰ Det Økonomiske Råd (2011).

³¹ Den tidligere regering og aftaleparterne (2018).

³² Grønne energiteknologier er defineret ved at have et relativt lavt CO₂-aftryk.

1. Gashandlerne pålægges at iblande 10 pct. ikke-støttet biogas fra år 2021 stigende med 10 pct.-point om året frem til 100 pct. i 2030.
2. Gasafgifterne reguleres ift. det stigende iblandingskrav, så ustøttet biogas, der leveres gennem gasnettet afgiftsmæssigt sidestilles med biogas, der leveres udenom gasnettet³³.

³³ Foreningen Biogasbranchen (2020).

4 Sparede omkostninger til forstærkning af elnettet

Indpasning af opgraderet biogas i energisystemet frem mod 2030 og 2050 kan baseres på det eksisterende naturgasnet og kræver derfor ikke betydelige omkostninger til transmission og distribution. Dette er med til at give biogas en samfundsøkonomisk fordel i forhold til elektrificering, som kræver ekstrainvesteringer i forstærkning (opgradering og udbygning) af det samlede elnet til at matche et forøget effektbehov.

4.1 Der er allerede et betydeligt behov for at investere i elnettet

Behovet for at investere i elnettet er primært drevet af behovet for den effekt, som elnettet skal være i stand til at overføre i den mest belastende time, og er derudover i en vis grad proportional med det øgede kapacitetsbehov. Et øget effektbehov medfører, at det eksisterende elnet skal opgraderes og at der skal udbygges med et nyt elnet, som kræver investeringer i transformere og andre netkomponenter.

Analysen foretaget af Dansk Energi (2019) peger på, at omkostningerne alene til at opretholde nuværende leveringsomfang- og kvalitet i el-distributionsnettet vil udgøre 29 mia. kr. frem mod 2030 og yderligere 77 mia. kr. frem mod 2050. Energinet³⁴ vurderer, at omkostningerne til at opretholde el-transmissionsnettets nuværende tilstand vil udgøre 17 mia. kr. frem mod 2030³⁵. Derudover kommer de omkostninger, som er nødvendige for at matche et øget effektbehov, som bl.a. kan følge af elektrificering af transportsektoren³⁶, fjernvarmesektoren og industrielle processer i produktionserhverve.

4.2 Scenarier for elektrificering af procesvarme i produktionserhverv

Af Energistyrelsens 2019 - Basisfremskrivning fremgår, at elforbruget fremskrives til at stige med 3 pct. årligt. Det fremgår desuden, at elforbrugets sammensætning forventes at blive forandret frem mod 2030 og særligt at være betinget af elforbruget i de store datacentre samt elektrificering af transport og opvarmning. Det fremgår ikke, at elektrificering af produktionserhverv er indregnet i fremskrivningen.

Med udgangspunkt i analyser gennemført af bl.a. Viegand Maagøe (2015)³⁷ vurderes det imidlertid, at elektrificering potentielt kan betyde, at elforsyning kan dække det energibehov til procesvarmeproduktion, som alternativt kunne blive dækket af rå eller opgraderet biogas i produktionserhverv (fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed). Dette er konkret beregnet i et hhv. *Basis – Scenarium* og et *Accelereret Vækst – Scenarium*, jf. Boks 8.

Basis – Scenarie for elforbrug industrien: Fremstillingsvirksomheders og bygge- og anlægsvirksomhed anvender el til at dække energibehovet til produktion af lav- og mellemtemperaturprocesvarme i stedet for alternativerne opgraderet biogas eller rå biogas. Fremskrivningerne af alternativerne (rå og opgraderet biogas) følger Energistyrelsens 2019 – Basisfremskrivning.

Accelereret Vækst – Scenarie for elforbrug i industrien: Fremstillingsvirksomheders og bygge- og anlægsvirksomhed anvender el til at dække energibehovet til produktion af lav- og mellemtemperaturprocesvarme i stedet for alternativerne (rå biogas, opgraderet biogas og substituerbar naturgas). Fremskrivningerne af alternativerne rå og opgraderet biogas følger Energistyrelsens 2019 – Basisfremskrivning for de to energikilder. Fremskrivningen af alternativet naturgas er baseret på en antagelse om, at omkring 9,1 pct. af virksomhedernes årlige naturgasbehov, som også er fremskrevet i Energistyrelsens 2019 – Basisfremskrivning, kan substitueres af el eller biogas.

³⁴ Energinet er et selvstændigt statsligt selskab, der ejer den danske energiinfrastruktur.

³⁵ Energinet (2019a).

³⁶ Dansk Energi (2019).

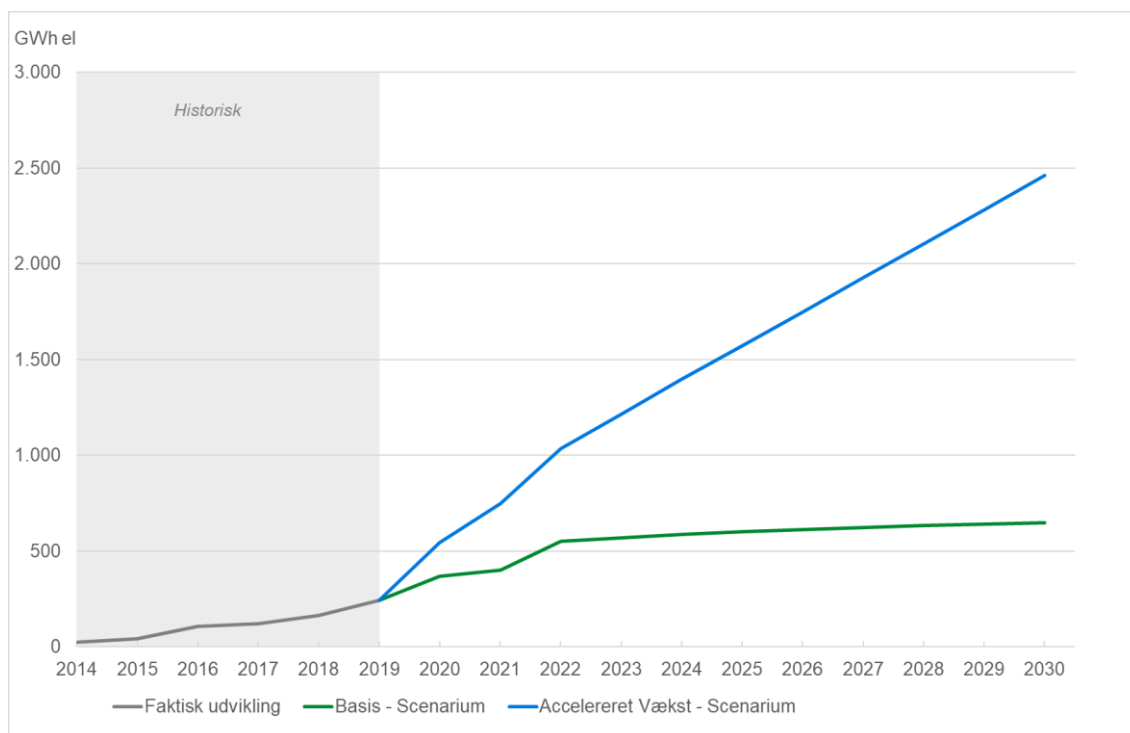
³⁷ Viegand Maagøe (2015).

Boks 8: Scenarier for elektrificering. Kilde: Baseret på Viegand Maagøe (2015) og Energistyrelsen (2019a).

Det vurderes på baggrund af analyser af Viegand Maagøe (2015)³⁸, at det endelige energiforbrug til lav- og mellemtemperatur-procesvarme i fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed vil blive reduceret med omkring 50 pct., hvis der anvendes elektricitet til processerne i stedet for gas. Dette skyldes, at eldrevne varmepumper kan anvendes til en række processer, hvor de med en virkningsgrad på omkring 4 kan reducere energibehovet med 75 pct.

Der er behov for el, når biogas skal produceres og opgraderes til en kvalitet, der kan anvendes og afsættes via naturgasnettet. Dette behov skal derfor trækkes fra i beregningerne, hvor elforsyning erstatter rå eller opgraderet biogas. På baggrund af data fra Teknologikataloget udarbejdet af Energistyrelsen og Energinet (2019a) er det estimeret, at forholdet mellem elforbrug og produktion af opgraderet biogas udgør ca. 9,0 pct. fra 2014 til 2020 og falder gradvist til 7,0 pct. i 2030.

Som det fremgår i Figur 16, vil elbehovet stige betydeligt i begge scenarier. I *Accelereret Vækst – Scenarium* vil der være en forventet stigning til 2.461 GWh el i 2030. I *Basis – Scenarium* vil elbehovet også stige, men elbehovet vil dog være begrænset til 648 GWh i 2030.



Figur 16: Scenarier for elektrificering af produktionserhverv. Note: Historisk periode afspejler ikke-realiserede tal og er illustreret mhp. at vise udviklingen fra det år, hvor bionaturgas første gang blev anvendt i produktionserhvervene. Kilde: Baseret på Energistyrelsen (2019a) og Viegand Maagøe (2015).

4.3 Omkostninger til forstærkning af elnettet

For at kunne vurdere omkostningerne til forstærkning af elnettet er det nødvendigt at gøre en række metodevalg og antagelser:

³⁸ Viegand Maagøe (2015).

- Det er antaget, at elektrificering af procesvarme i produktionserhvervet medfører risiko for effektivitetmangel, der nødvendiggør yderligere investeringer til netforstærkning. Denne antagelse kan i praksis medføre, at omkostningerne overvurderes, da fleksibelt elforbrug kan reducere behovet for at investere i ny netkapacitet.
- Skalafordele ved at drive elnettet kan realiseres ved forstærkning og opgradering af det eksisterende net. Ofte er det dog, jf. indledningen til dette kapitel, nødvendigt at udbygge med et helt nyt net. Den "sande" omkostning kan derfor ikke estimeres eksakt, men ligger inden for et mulighedsområde.
- Der indregnes ikke teknologisk udvikling i fremskrivningen af omkostninger til investering af nye elnet. På baggrund af Teknologikataloget om el-transmission- og distribution udarbejdet af Energistyrelsen og Energinet vurderes denne antagelse imidlertid at være relativt præcis, da eldistribution- og transmission er udbredt i alle vestlige lande, og da mulighederne for innovation og læring er begrænsede³⁹.

Metoder til beregning af de forventede årlige omkostninger er uddybet i Boks 9.

Udbygning med nyt elnet

Det antages i dette beregningsscenarium, at det samlede elnet forstærkes ved, at der etableres nyt elnet, som kræver samme anlægsomkostninger per MWh som det eksisterende.

Beregningsgrundlaget består bl.a. af oplysninger om 44 elnetselskabers afskrivninger til netaktiver, estimerede afskrivninger på Energinets el-transmissionsnet og leveret mængde elektricitet. Baggrundsoplysningerne, som vurderes repræsentative, er i 2018 indberettede til Forsyningstilsynet eller oplyst af Energinet i 2019.

Beregningerne tager desuden udgangspunkt i omkostningerne til tilslutning til elnettet, som er belyst i Dansk Energis model til beregning af tilslutningsbidrag for erhvervsvirksomheder med stort strømforbrug tilsluttet 10 kV-nettet samt Dansk Energis forslag til standardtilslutningsbidrag for 2019.

Opgradering af eksisterende elnet

Det antages i dette beregningsscenarium, at det eksisterende elnet i høj grad kan opgraderes uden at der er behov for at etablere nye elnet.

Beregningen tager udgangspunkt i analysen "Store datacentres effekt på energisystem og samfundsøkonomi frem mod 2030" af Klimarådet (2019). I Klimarådets analyse er der anvendt energisystemmodellen Balmorel, der beskrives sammensætningen af vedvarende energi, behovet for netforstærkninger og muligheder for stordriftsfordele.

Tilslutningsomkostninger er også i dette beregningsscenarium beregnet med udgangspunkt i Dansk Energis model til beregning af tilslutningsbidrag for erhvervsvirksomheder med stort strømforbrug tilsluttet 10 kV-nettet samt Dansk Energis forslag til standardtilslutningsbidrag for 2019.

Boks 9: Metoder til beregning af de forventede årlige omkostninger til forstærkning af elnettet. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Klimarådet (2019), Dansk Energi (2011), Dansk Energi (2018), Forsyningstilsynet (besøgt d. 13/11-2019) og Retsinformation (2018).

³⁹ Energistyrelsen og Energinet (2019b).

I en samfundsøkonomisk analyse sammenlignes samfundets betalingsvillighed med omkostningerne. Betalingsvilligheden opgøres altid i markedspriser, mens de direkte omkostninger forbundet med investeringer opgøres i faktorpriser (dvs. ekskl. afgifter og skatter). Derfor ganges omkostningerne typisk med en nettoafgiftsfaktor, som udtrykker hvor stor en andel af omkostningerne i hele samfundsøkonomien, der indirekte udgøres af skatter og afgifter. Ifølge et dokumentationsnotat af Finansministeriet (2019) er nettoafgiftsfaktoren for nuværende fastlagt til 28 pct. I følgende afsnit vises omkostninger hhv. med og uden nettoafgiftsfaktor.

Det antages, at konvertering til individuel rumopvarmning fra gas til el er i samme størrelsesorden, som de analyserede omkostninger ved konvertering af lav- og mellemtemperatur-anvendelse af gas til el i industrien. Endelig validering af dette vil kræve en separat undersøgelse.

I Tabel 10 er de selskabs- og samfundsøkonomiske omkostninger til forstærkning af elnettet opgjort per MWh el⁴⁰.

	Kr. per MWh el ekskl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)	Kr. per MWh el inkl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)
Udbygning med nyt elnet	123,17	157,66
Opgradering af eksisterende elnet	77,85	99,65
<i>Simpelt gennemsnit inden for mulighedsområde</i>	<i>100,51</i>	<i>128,65</i>

Tabel 10: Omkostninger til forstærkning af elnettet per MWh el. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Klimarådet (2019), Dansk Energi (2019), Viegand Maagøe (2015) og Retsinformation (2018).

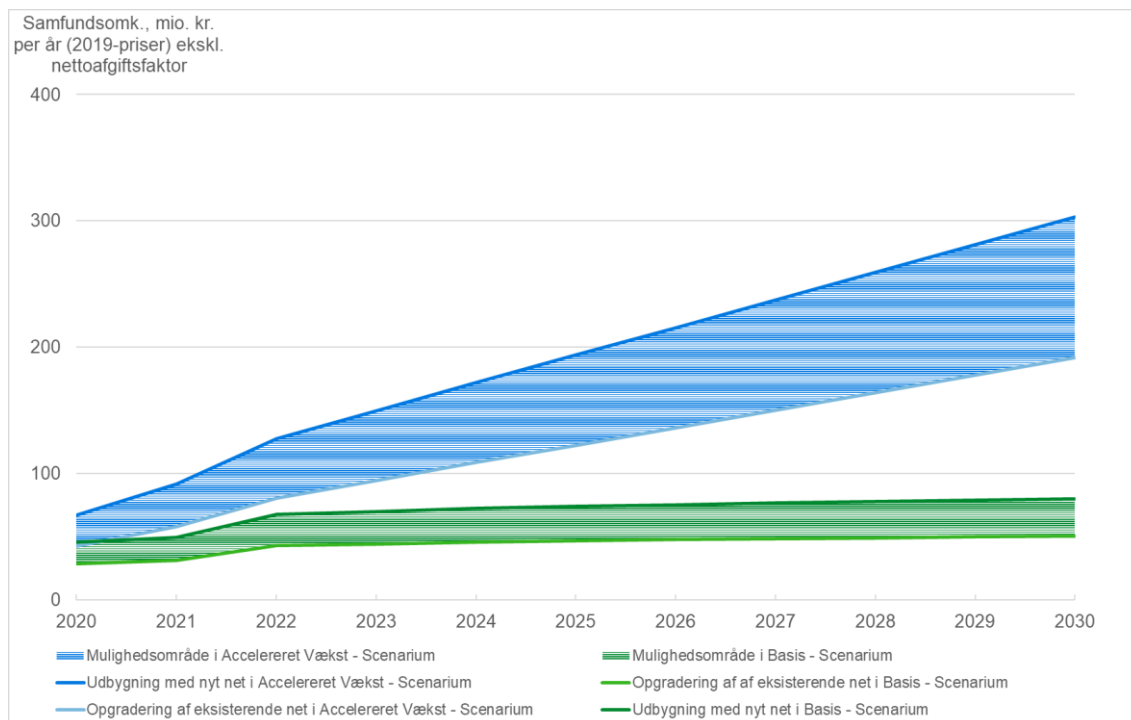
I Tabel 11 er de selskabs- og samfundsøkonomiske omkostninger til forstærkning af elnettet omregnet til kroner per MWh biogas.

	Kr. per MWh biogas ekskl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)	Kr. per MWh biogas inkl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)
Udbygning med nyt elnet	61,59	78,83
Opgradering af eksisterende elnet	38,93	49,83
<i>Simpelt gennemsnit inden for mulighedsområde</i>	<i>50,26</i>	<i>64,33</i>

Tabel 11: Omkostninger til forstærkning af elnettet per MWh biogas. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Klimarådet (2019), Dansk Energi (2019), Viegand Maagøe (2015) og Retsinformation (2018).

På dette grundlag er de årlige omkostninger ekskl. nettoafgiftsfaktor estimeret. Som vist i Figur 17 stiger omkostningerne i Basis – Scenariet fra omkring 52 mio. kr. i 2020 til omkring 91 mio. kr. i 2030, og i Accelereret Vækst – Scenariet stiger omkostningerne fra omkring 76 mio. kr. i 2020 til omkring 345 mio. kr. i 2030.

⁴⁰ Hertil kan tillægges de æstetiske effekter på samfundsøkonomien, som opstår ved at etablere nye luftledninger i el-systemet. Effekterne er bl.a. beskrevet i en af artikel af EnergiWatch (2018), men vurderes at være behæftet med så stor usikkerhed, at de ikke er indregnet i analysen.



Figur 17: Scenarier for årlige samfundsøkonomiske omkostninger til forstærkning af elnettet. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Klimarådet (2019), Dansk Energi (2019), Viegand Maagøe (2015) og Retsinformation (2018).

De akkumulerede omkostninger i perioden 2020 til 2030 er estimeret til mellem ca. 0,49 og 0,77 mia. kr. i Basis – Scenariet og til mellem 1,33 mia. og 2,10 mia. kr. i Accelereret Vækst – Scenariet. Dette er vist i Tabel 12.

	Basis – Scenarium, mio. kr.	Accelereret Vækst – Scenarium, mio. kr.
Udbygning med nyt elnet	767,52	2.097,67
Opgradering af eksisterende elnet	485,13	1.325,87
Simpelt gennemsnit inden for mulighedsområde	626,33	1.711,77

Tabel 12: Akkumulerede omkostninger til forstærkning af elnettet fra 2020 til 2030 ekskl. nettoafgiftsfaktor. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Klimarådet (2019), Dansk Energi (2019), Viegand Maagøe (2015) og Retsinformation (2018).

5 Bidrag til forsyningssikkerhed

Opgraderet biogas er en vedvarende energiressource, som er lokalt produceret og kan erstatte (og dermed mindske behovet for) importeret naturgas. Desuden er biogas mindre følsom over for fluktuationer på de internationale markeder, og har mindre risiko for at belaste betalingsbalancen end naturgas.

5.1 El - og brændselsforsyningssikkerhed

Med en stigende og fluktuerende mængde el produceret fra vindmøller og solceller og en faldende produktionskapacitet på de danske kraftvarmeværker opstår der risiko for, at elforbruget ikke kan dækkes i spidsbelastningsperioder og i perioder, hvor vindmøller og solceller ikke producerer.

Elforsyningssikkerheden skal både opretholdes på kort basis (fx på sekund- og minutbasis) og på længere basis (fx på uge- og månedsbasis). Frekvensregulering af bl.a. gasfyrede motorer og gasfyrede turbineanlæg på fjernvarmeværker samt fleksibelt elforbrug kan bidrage til at opretholde elforsyningssikkerheden på kort basis, mens elforsyningssikkerheden på længere basis kan opretholdes ved at øge spidslastproduktionskapaciteten, som bl.a. finder sted på de decentrale kraftvarmeværker.

Omkostninger til forsyningssikkerhed i eltransmissionsnettet (systemydelse i form af regulering- og reservekraft m.v., der skal opretholde balancen og den tekniske kvalitet i nettet) udgjorde i 2018 804 mio. kr. Energinet og eldistributionsselskaberne har igangsat en række forskellige tiltag for at styrke forsyningssikkerheden med fokus på markedsreformer, anlæg og systemdrift. Dette er kort beskrevet i Boks 11.

Energinet: Energinet har løbende fokus på at forbedre og sikre elforsyningssikkerheden. Bl.a. har Energinet i de seneste år gennemført markedsreformer og -tiltag, som skal sikre effekttilstrækkeligheden gennem styrkede prissignaler. Desuden har Energinet strategisk fokus på grænseoverskridende markedskoblinger, reformer af systemydelsesmarkedet (fx reformer, der sikrer reducerede budstørrelser) samt optimeret vedligehold og rettidige reinvesteringer.

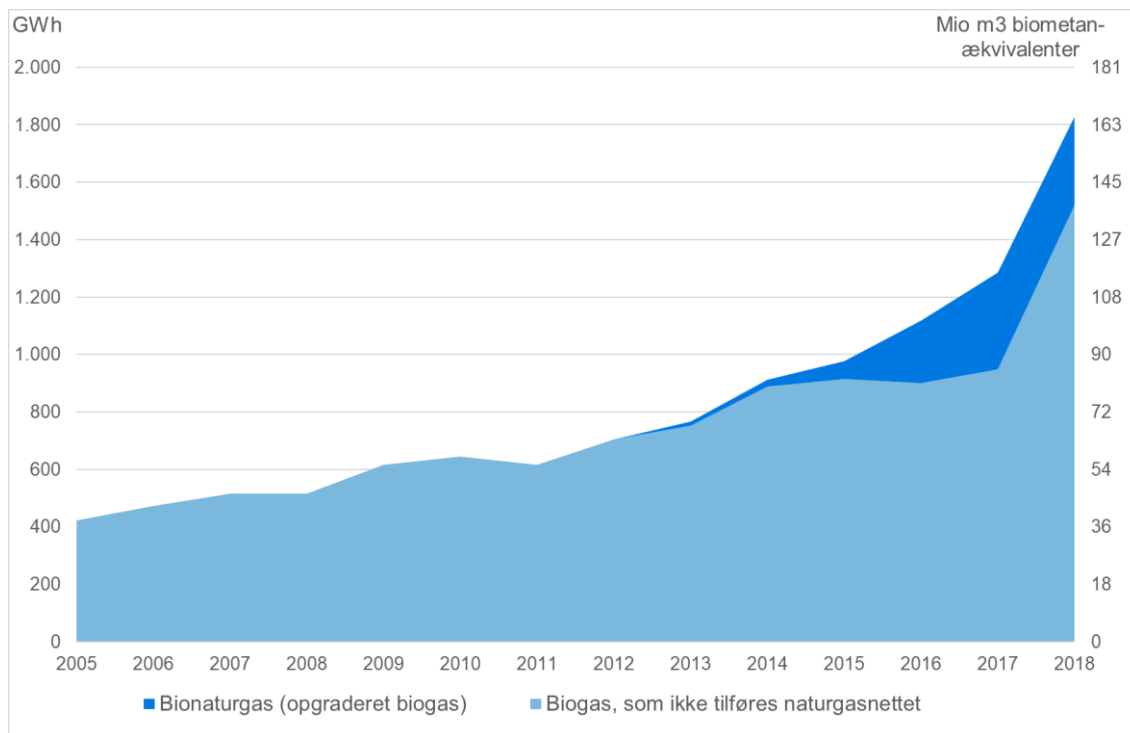
Mulige tiltag i eldistribution: Eldistributionsselskaberne kan med installering af fjernkontrol påvirke antallet af afbrudsminutter i driften. Ved brug af asset management-modeller og -systemer kan selskaberne anvende ressourcerne der, hvor de giver den største effekt og løbende forbedre strategier for vedligehold og investeringer i distributionsnettet.

Boks 10: Elforsyningssikkerhed. Kilde: Baseret på Energinet (2019a).

Både på kort og længere basis kan biogas bidrage til at sikre, at anlæggene har tilstrækkeligt brændsel. Indenlandsk produktion af biogas sikrer, at behovet for alternativt at anvende importeret biomasse (som vurderes at være udsat for risiko for prisstigninger) er reduceret⁴¹.

I Figur 18 er vist udviklingen i forbruget af biogas (rå og opgraderet) fra 2005 til 2030 på fjernvarmeværker og de decentrale kraftvarmeværker. Det ses i figuren, at opgraderet og rå biogas udgjorde omkring 400 GWh (svarende til 38 mio. kubikmeter biometan) i 2005 og 1.800 GWh (svarende til 165 mio. kubikmeter biometan) i 2018. Dermed bliver ca. halvdelen af den danske biogas forbrugt på fjernvarmeværker og de decentrale kraftvarmeværker.

⁴¹ Energistyrelsen (2018) og Energinet (2019c).



Figur 18: Udvikling i forbruget af biogas (rå og opgraderet) på decentrale kraftvarmeværker og fjernvarmeværker. Note: Datasættet giver ikke mulighed for at sondre mellem rå biogas og opgraderet biogas, der ikke tilføres naturgasnettet. Kilde: Baseret på Energistyrelsen (2019a).

5.2 Gasforsyningssikkerhed

Der er grundlæggende to former for risici, som kan true gasforsyningssikkerheden: Forsyningskriser på EU-niveau og tekniske nedbrud:

- Forsyningssvigt skal ses i et europæisk perspektiv og kan forklares ved, at der inden for de regionale europæiske energimarkeder ikke er muligt at forsyne kunderne.
- Tekniske nedbrud er fx, at der nedbrud i de danske gaslagre og at der derfor opstår leveringsvigt.

Hidtil har biogassens bidrag til gasforsyningssikkerheden været beskedent, da andelen af biogas i naturgasnettet har været forholdsvis lille, og da mulighederne for at få leveret gas fra den danske Nordsø og fra Tyskland har været relativt gode.

Den danske produktion af naturgas forventes imidlertid at være faldende. Dette skal bl.a. ses i lyset af, at en betydelig del af den danske naturgas produceres og/eller processeres på Tyra-komplekset, som er placeret i den danske Nordsø. Den forestående renovering af komplekset vil medføre, at komplekset er lukket ned fra frem til juli 2022, og i perioden vil skabe et større behov for at importere gas fra Tyskland (med forværringer af betalingsbalancen som følge), at udnytte gassen fra de danske gaslagre og at øge produktionen af opgraderet biogas.

Energinet vurderer, at produktionen af biogas forventes at blive forøget og kan styrke gasforsyningssikkerheden. Det er imidlertid også Energinets vurdering, at forsyningen af gaskunderne i høj grad vil kunne

opretholdes selv ved europæiske forsyningskriser⁴². Energinets omkostninger til opretholdelse af gasforsyningssikkerheden er begrænsede, jf. Boks 11.

Den danske forsyningsikkerhedsmodel skelner mellem tre kriseniveauer i forhold til gasforsyning: Early Warning, Alert og Emergency:

● Early Warning	● Alert	● Emergency
Øget ubalancebetaling		
Kommercielle afbrydelige kunder		
Nødlager og nødudtræk, afbrydelse af ikke-beskyttede forbrugere m.v.		

Early Warning: Energinet erklærer kriseniveauet "Early Warning", hvis der foreligger konkrete, pålidelige oplysninger om, at der kan indtræffe hændelser, der kan medføre en betydeligt forringet forsyningssituation. Her kan Energinet afhængig af den konkrete situation øge prisen for balancegas. Køb og/eller salg af balancegas udregnes på baggrund af leverancer og aftag inden for det enkelte gasdøgn.

Alert: Energinet erklærer kriseniveauet "Alert" ved en hændelse, som vil resultere i en betydeligt forringet forsyningssituation. Her kan Energinet mod compensation afbryde gasforsyningen hos frivillige virksomheder, som har et årligt gasforbrug på over 2 mio. m³ og er forbundet med gastransmissionssystemet øst for Egtved. For 2019/2020 er prisen (kompensationen til virksomhederne) via en auktionsmodel bestemt til 6,375 kroner/kWh/h. Indkøb af afbrydelighed kan forventes at udgøre 7,9 mio. kr. i 2020.

Emergency: Energinet erklærer kriseniveauet "Emergency" ved alvorlige havarier i de tekniske installationer, søledningsbrud, udfald i produktionen af naturgas fra Tyra-komplekset og ved afbrud af gasflowet fra Tyskland. Her kan Energinet reservere den nødvendige volumen- og udtrækskapacitet i gaslagrene. Desuden kan Energinet afbryde forsyningen til ikke-beskyttede kunder (kunderne udpeges årligt på baggrund af målerdata).

Boks 11: Gasforsyningssikkerhed. Kilde: Baseret på Energinet (2016), Energinet (2019c) og Energinet (besøgt d. 18/12-2019).

De mange danske biogasanlæg er i høj grad geografisk fordelt i landet, og biogasproduktionen på anlæggene er relativ konstant. Dette er med til at give biogassen gode muligheder for at bidrage gasforsyningssikkerheden, hvis der skulle opstå en forsyningskrise.

5.3 Værdien af forsyningssikkerhed

Vurdering af værdien af forsyningssikkerhed er generelt vanskelig, da el- og gasforbrugernes præferencer og betalingsvillighed for forsyningssikkerhed hidtil ikke er nærmere kvantificeret, og da den løbende udvikling i det samlede energisystemet med indpasning af vedvarende energi i varierende grad kan påvirke forsyningssituationen i de enkelte år.

⁴² Energinet (2019c).

Markedsprisen på opgraderet biogas vurderes at være afspejlet i den nuværende markedspris for naturgas og inkludere det aktuelle forsyningssikkerhedselement, da naturgas ligesom opgraderet biogas er lagerbart. Prisen på naturgas er bestemt på de internationale regionale markeder og med en højere forventet andel af vedvarende energi i Danmark relativt til Tyskland i 2030⁴³ bør forsyningssikkerhed indregnes som en værdi i tillæg til markedsprisen på naturgas eller opgraderet biogas.

Det lægges til grund, at biogasselskaberne marginale bidrag til elforsyningssikkerheden i 2030 ud fra et konservativt skøn kan beregnes ud fra de gennemsnitlige omkostninger til el-systemydelse og de to elektrificerings-scenarier forklaret i kapitel 4.

I Tabel 13 er bidraget til forsyningssikkerheden opgjort per MWh el. Det ses i tabellen, at omkostningerne vurderes at udgøre ca. 26,3 kr. per MWh el ekskl. nettoafgiftsfaktor.

	Kr. per MWh el ekskl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)	Kr. per MWh el inkl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)
Bidrag til forsyningssikkerhed	26,29	33,65

Tabel 13: Biogassektorens bidrag til forsyningssikkerheden per MWh el. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Viegand Maagøe (2015), Energinet (2019a), Energinet (2019b) og Energistyrelsen (2019c).

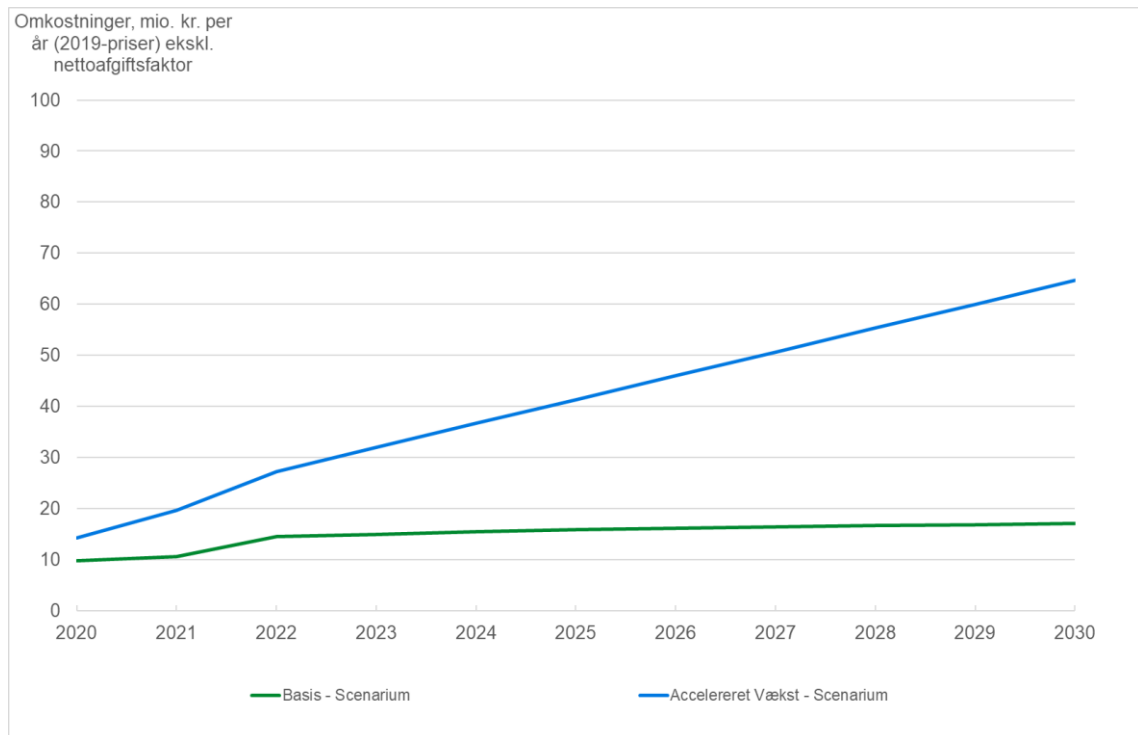
I Tabel 14 er de selskabs- og samfundsøkonomiske omkostninger til forstærkning af elnettet opgjort per MWh biogas. Det ses i tabellen, at de samfundsøkonomiske omkostninger vurderes at udgøre ca. 13,1. per MWh biogas ekskl. nettoafgiftsfaktor.

	Kr. per MWh biogas ekskl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)	Kr. per MWh biogas inkl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)
Bidrag til forsyningssikkerhed	13,14	16,82

Tabel 14: Biogassektorens bidrag til forsyningssikkerheden per MWh el biogas. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Viegand Maagøe (2015), Energinet (2019a), Energinet (2019b) og Energistyrelsen (2019c).

Som vist i Figur 19 stiger omkostningerne i Basis – Scenariet fra omkring 9,7 mio. kr. i 2020 til omkring 17,0 mio. kr. i 2030, og i Accelereret Vækst – Scenariet stiger omkostningerne fra omkring 14,3 mio. kr. i 2020 til omkring 64,7 mio. kr. i 2030.

⁴³ Europa-Kommissionen (besøgt d. 13/1-2020a) og Europa-Kommissionen (besøgt d. 13/1-2020b).



Figur 19: Scenarier biogassektorens bidrag til forsyningssikkerheden. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Viegand Maagøe (2015), Energinet (2019a), Energinet (2019b) og Energistyrelsen (2019c).




Det akkumulerede samfundsøkonomiske bidrag i perioden 2020 til 2030 er estimeret til 163,8 mio. kr. i Basis – Scenariet og til 447,7 mio. kr. i Accelereret Vækst – Scenariet. Dette er vist i Tabel 15.

	Basis – Scenarium, mio. kr.	Accelereret Vækst – Scenarium, mio. kr.
Bidrag til forsyningssikkerhed	163,81	447,71

Tabel 15: Akkumulerede samfundsøkonomiske omkostninger til forstærkning af elnettet fra 2020 til 2030. Kilde: Baseret på data og oplysninger fra Viegand Maagøe (2015), Energinet (2019a), Energinet (2019b) og Energistyrelsen (2019c).

6 Biogassens udvikling og bidrag til den grønne omstilling

På baggrund af rapportens analyseresultater og øvrige studier kan biogassektorens samfundsøkonomiske eksternaliteter og afledte effekter sammenfattes i en detaljeret oversigt, jf. Tabel 16 .

Effekt		Begunstigede/ interessenter		Kvantitativ vurdering (ca.) i 2030	
Reduktion af drivhusgasser/klima-effekter	Reduktion af emissioner fra gødning i landbrug	Global almen interesse (alle)		6,0 kr./GJ svarende til 5,8 kroner/ton input	
	Udslip af emissioner på biogasanlæg	Global almen interesse (alle)		-5,4 kr./GJ svarende til -5,3 kroner/ton input	
	Substitution af naturgas	Global almen interesse (alle)		31,0 kr./GJ svarende til 30,2 kroner/ton input	
Miljøeffekter	Reduceret nitratudvaskning	Lokal interesse (lokale/kommune)		7,2 kr./GJ svarende til 7,0 kroner/ton input	
	Reducerede lugtgener fra landbrug	Lokal interesse (lokale/kommune)		2,5 kr./GJ svarende til 2,5 kroner/ton input	
	Ændret transport	Lokal interesse (lokale/kommune)		-1,9 kr./GJ svarende til -1,8 kroner/ton input	
Gødningseffekter	Udnyttelse af næringsstoffer	Landbruget		3,3 kr./GJ svarende til 3,2 kroner/ton input	
	Ændret sammensætning af affald	Landbruget		3,1 kr./GJ svarende til 3,0 kroner/ton input	
Energimarkeder og forsyningssikkerhed	Bedre brug af eksisterende infrastruktur	Kunder og selskaber i Danmark og regionalt i Europa		14,0 kr./GJ opgraderet biogas svarende til 13,6 kroner/ton input	
	Højere forsyningssikkerhed	Kunder i Danmark og regionalt i Europa		3,7 kr./GJ opgraderet biogas svarende til 3,6 kroner/ton input	
Øvrige effekter	Beskæftigelse, jobs og eksport	Lokalsamfund og national interesse		(ikke kvantificeret)	

Tabel 16: Sammenfatning af biogassektorens samfundsøkonomiske bidrag. Note: Samfundsøkonomiske effekter er opgjort for året 2030 for et typisk biogasanlæg baseret på gylle, dybstrøelse og organisk affald. Effekterne er opgjort ekskl. nettoafgiftsfaktor. Baseret på NIRAS (2017a) og NIRAS (2017b), Energistyrelsen (2019b) m.fl.

Realisering af effekterne i den brede samfundsøkonomi forudsætter en udvikling, hvor biogassektoren udbygges betydeligt. I en kortlægning af SEGES og AgroTech (2015) m.fl. konkluderes det, at der både i Jylland, på Fyn og på Sjælland er plads til betydeligt flere biogasanlæg. Af rapporten kan det udledes, at der er gode muligheder for at etablere større biogasanlæg med en realistisk afstand biomassen og mulighed for afsætning til naturgasnettet⁴⁴.

Kortlægningen og analyseresultaterne præsenteret i rapportens kapitel 3 sandsynliggør et scenarium baseret på *Accelereret Vækst* med en produktion konvergerende mod 80 PJ (ca. 17 tusind GWh) frem mod 2035, og at produktionskapaciteten for de gennemsnitlige nyetablerede biogasanlæg øges fra 110,06 GWh (10 mio. kubikmeter biometan-ækvivalenter) til 221,1 GWh (20 mio. kubikmeter biometan-

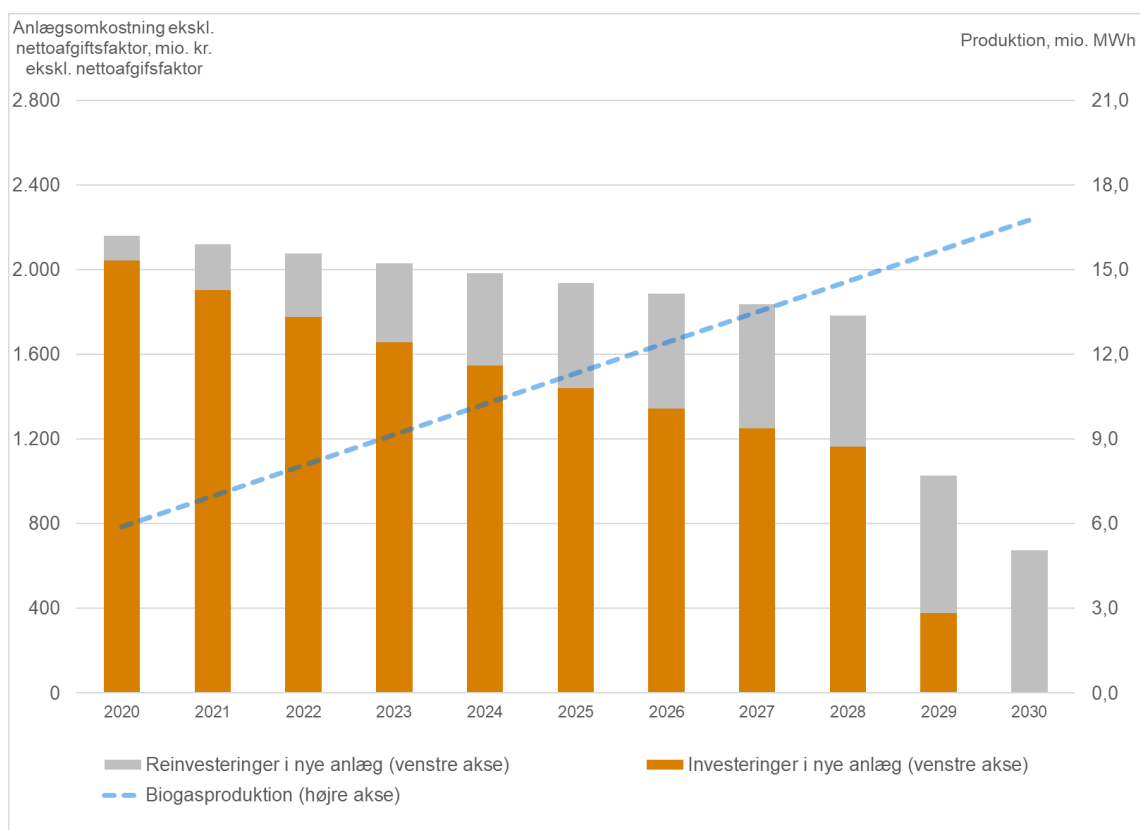
⁴⁴ SEGES og AgroTech m.fl. (2015).

ækvivalenter) årligt i perioden 2020 til 2030. Anlægsomkostningerne i scenariet er estimeret til at udgøre samlet 19,5 mia. kr. (ekskl. nettoafgiftsfaktor)^{45,46}. Dette er vist i Tabel 17.

	Mio. kr. ekskl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)	Mio. kr. inkl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)
Reinvesteringer i nye anlæg	5.003	6.404
Investeringer i nye anlæg	14.509	18.572
Samlede anlægsomkostninger	19.513	24.976

Tabel 17: Estimerede anlægsomkostninger ved forøgelse af produktionen fra 2020 til 2030 i Accelereret Vækst - Scenariet. Note: Det antages, at biogasanlæggene bliver bygget over en periode på to år, og at reinvesteringerne årligt udgør 5 pct. af anlæggenes genanskaffelsesomkostninger. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020) m.fl.

En stor del af anlægsomkostningerne i scenariet vil skulle afholdes i starten af perioden, da byggeperioden på biogasanlæg ofte er 2 år. Den forventede udvikling i reinvesteringer og investeringer i nye biogasanlæg er vist i Figur 20.



Figur 20: Estimeret udvikling i biogassektorens anlægsomkostninger ved forøgelse af produktionen frem mod 2030 i Accelereret Vækst - Scenariet. Note: Det antages, at biogasanlæggene bliver bygget over en periode på tre år, og at reinvesteringerne årligt udgør 5 pct. af anlæggenes genanskaffelsesomkostninger. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020) m.fl.

⁴⁵ Omkostningerne er i Basis – Scenariet estimeret til samlet 5,3 mia. kr., jf. Tabel 22 og Figur 23 i bilag.

⁴⁶ Der er i beregningerne ikke inkluderet investeringer, som er nødvendige for at øge produktionen til 80 PJ i 2035.

7 Kilder

Kilder anvendt i rapporten omfatter bøger og rapporter, artikler og hjemmesider

7.1 Bøger og rapporter

- Dansk Energi (2011): "Vejledning – Model til beregning af tilslutningsbidrag".
- Dansk Energi (2018): "Medlemsinfo – Politik, love og regler – Nr. 74/2018".
- Dansk Energi (2019): "Er elnettene klar til elbilerne? – Analyse af effekt- og investeringsbehov i eldistributionsnettet".
- Dansk Gasteknisk Center m.fl. (2019): "Energi- og Omkostningsoptimering af Bionaturgasproduktion".
- Den tidligere regering og aftaleparterne (2018): "Energiaftale af 29. juni 2018".
- Det Internationale Energiagentur (2011a): "Good practice policy framework for energy technology research, development and demonstration".
- Det Internationale Energiagentur (2011b): "Interactions of Policies for Renewable Energy and Climate".
- Det Økonomiske Råd (2011): "Spillover-effekter af danske virksomheders energiforskning og øvrige forskning".
- Ellen MacArthur foundation (2017): "Urban Biocycles".
- Energikommissionen (2017): "Energikommissionens anbefalinger til fremtidens energipolitik".
- Energinet (2016): "Bilag til nødplan for det danske transmissionssystem 2016".
- Energinet (2019a): "Redegørelse for elforsyningssikkerhed 2019".
- Energinet (2019b): "Sikker forsyning bliver delt forsyning – Årsrapport 2018".
- Energinet (2019c): "Gasredegørelse 2019".
- Energistyrelsen (2018): "Perspektiver for produktion og anvendelse af biogas i Danmark".
- Energistyrelsen (2019a): "2019 Basisfremskrivning – Energi- og klimafremskrivning frem til 2030 under fravær af nye tiltag".
- Energistyrelsen (2019b): "Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner".
- Energistyrelsen (2019c): "Energistatistik 2018".
- Energistyrelsen (2019d): "Analyseforudsætninger til Energinet 2019".
- Energistyrelsen og Energinet (2018): "Technology Data – Energy Storage".
- Energistyrelsen og Energinet (2019a): "Technology Data – Renewable Fuels".
- Energistyrelsen og Energinet (2019b): "Technology Data – Generation of Electricity and District Heating".
- Europa-Kommissionen (2017): "Optimal use of biogas from waste streams – An assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020".
- Europa-Kommissionen (2018): "Cost development of low carbon energy technologies".
- Finansministeriet (2019): "Dokumentationsnotat om opgørelse af nettoafgiftsfaktoren".
- Foreningen Biogasbranchen (2020): "Udfasning af naturgas til rumvarme inden 2030".
- Gas Vitae (2017): "Forretningsprospekt – Biogasanlæg i Danmark".
- Gruebler m.fl. (2012): "Policies for the Energy Technology Innovation System (ETIS)".
- Grøn Gas Danmark (2017): "Baggrundsnotat: "Grøn gas er fremtidens gas".

- IRENA (2019): "Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables".
- Jacobsen m.fl. (2013): "Biogasproduktion i Danmark – Vurderinger af drifts- og samfundsøkonomi".
- Junginger (2005): "Learning in Renewable Energy Technology Development".
- Klimarådet (2019): "Store datacentres effekt på energisystem og samfundsøkonomi frem mod 2030 - Baggrundsnotat til Klimarådets analyse Store datacentre i Danmark".
- Nature Energy et al. (2017): "Grøn gas er fremtidens gas - baggrundsnotat".
- Nielsen (2002): "Samfundsøkonomiske analyser af biogasfællesanlæg".
- NIRAS (2017a): "Biogas og samfundsøkonomi – Eksternaliteter og andre effekter".
- NIRAS (2017b): "Samfundsøkonomisk værdi af biogas".
- OECD (2003): "Technology Innovation, Development and Diffusion".
- Regeringen og aftaleparterne (2019): "Aftale om klimalov af 6. december 2019".
- Regeringen og Støttepartierne (2019): "Politisk forståelse mellem Socialdemokratiet, Radikale Venstre, SF og Enhedslisten: Retfærdig retning for Danmark".
- Rubin et al. (2015): "A review of learning rates for electricity supply technologies".
- SEGES og AgroTech m.fl. (2015): "Kortlægning af hensigtsmæssig lokalisering af nye biogasanlæg i Danmark".
- Skovsgaard og Jacobsen (2017): "Economies of scale in biogas production and the significance of flexible regulation".
- Viegand Maagøe (2015): "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder".

7.2 Artikler og hjemmesider

- Energinet (besøgt d. 18/12-2019): "Forsyningsikkerhed", <https://energinet.dk/Gas/Forsynings-sikkerhed> og <https://energinet.dk/Gas/Forsynings-sikkerhed/Kommerciel-afbrydelighed>.
- Energinet (besøgt d. 9/1-2020): "Certifikater på biogas fra gasnettet", <https://energinet.dk/Gas/Biogas/Gascertifikater>.
- Energistyrelsen (besøgt d. 21/1-2020): "Biomasseopgørelse 2017/2018", <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseopgoerelser17-18.xlsx>.
- Energistyrelsen (besøgt d. 18/2-2020): https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Stoette_vedvaerende_energi/pristillaeg-biogas-2020.pdf.
- EnergiWatch (2018): "Efter kabellægning for milliarder: 170 km nye luftledninger på vej", https://energiwatch.dk/Energinyt/Politik_Markeder/article10532721.ece.
- EnergiWatch (2019): "Om ti år har vi mindst halveret prisen på biogas", https://energiwatch.dk/secure/Energinyt/Olie_Gas/article11759836.ece.
- Europa-Kommissionen (besøgt d. 13/1-2020a): "Denmark - Summary of the Commission assessment of the draft National Energy and Climate Plan 2021-2030", https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/necp_factsheet_dk_final.pdf.
- Europa-Kommissionen (besøgt d. 13/1-2020b): "Germany - Summary of the Commission assessment of the draft National Energy and Climate Plan 2021-2030", https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/necp_factsheet_de_final.pdf.

- Folketinget (2014): "L 4 Forslag til lov om ændring af lov om afgift af elektricitet, lov om afgift af stenkul, brunkul og koks m.v., personskatteloven og forskellige andre love."
https://www.ft.dk/samling/20141/lovforslag/L4/som_vedtaget.htm.
- Forsyningstilsynet (besøgt d. 13/11-2019): "Regulering", <https://forsyningstilsynet.dk/el/regulering>.
- Gasfakta.dk (besøgt d. 20/11-2019): <https://www.gasfakta.dk/>.
- Retsinformation (2018): "Bekendtgørelse om indtægtsrammer for netvirksomheder",
<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=202321>.
- World Bank (besøgt d. 5/2-2020): "World Bank Commodities Price Forecast (nominal US dollars)", <http://pubdocs.worldbank.org/en/477721572033452724/CMO-October-2019-Forecasts.pdf>.
- Xergi (besøgt d. 21/1-2020): "Produkter og afsætning", <https://www.xergi.dk/biogasanlag/hvad-bruges-biogas-til.html>.

7.3 Øvrige

- Nature Energy (2020): Resultater fra undersøgelse om omkostningsudvikling i biogassektoren.

8 BILAG

8.1 Samfundsøkonomisk metode og værdisætning af biogas

I en samfundsøkonomisk analyse vurderes en given investering ud fra, hvorledes denne påvirker samfundet som helhed. Mange aktører og sektorer kan blive påvirket af investeringer i biogasanlæg, og det er derfor vigtigt at inkludere sådanne påvirkninger i den samfundsøkonomiske analyse.

8.1.1 Samfundsøkonomisk beregningsmetode

Investeringer i biogasanlæg har implikationer i både landbrugssektoren, industrien og energisektoren. Den samfundsøkonomisk "sande pris" for biogas er i den samfundsøkonomiske analyse derfor ikke lig med markedsprisen på den solgte mængde biogas.

Et vigtigt element i den samfundsøkonomiske analyse af biogas er værdisætning af afledte effekter, herunder de marginale klima- og miljøforbedringer (eksternalitetsvirkninger), investerings- og driftsomkostninger samt omkostninger ved alternativ energiforsyning (offer-/alternativomkostninger). Værdisætningen kan fx tage udgangspunkt i en omkostningsbaseret metode, hvor der fokuseres på de afholdte omkostninger ved den eksterne effekt, fx omkostninger til udbedring af skader, øgede udgifter m.v.

I en samfundsøkonomisk analyse sammenlignes samfundets betalingsvillighed med omkostningerne. Samfundets betalingsvillighed regnes typisk i markedspriser, mens de samfundsøkonomiske omkostninger i udgangspunktet er opgjort i faktorpriser (dvs. ekskl. afgifter og skatter). Indregning af nettoafgiftsfaktoren vanskeliggør imidlertid sammenligninger med øvrige analyser om biogas og er derfor i Figur 1 i kapitel 1 opgjort i faktorpriser. I afsnit 8.1.2 er samfundsøkonomien opgjort inkl. nettoafgiftsfaktoren, som udgør 28 % i overensstemmelse med Finansministeriet (2019).

Der er i den samfundsøkonomiske analyse valgt generelt ikke at indregne forvridningstab som følge af tilskud og afgifter pålagt biogas, da formålet med beregningerne er at vise biogassens omkostninger relativt til øvrige grønne energiteknologier inden fastlæggelse af fremtidige støttesatser.

Salg af energi (opgraderet biogas) svarer til naturgasprisen, da naturgas og opgraderet biogas har samme brændværdi, og da værdien af grønne biogas-certifikater indgår i beregningerne af miljø- og klimæksternaliteterne. Prisen på naturgas er fremskrevet af World Bank til året 2030 og herefter deflateret⁴⁷ til 2019-priser ved hjælp af forbrugerprisindekset.

Den samfundsøkonomiske værdisætning af CO₂-reduktioner antages at udgøre 500 kr./ton i 2030, hvilket vurderes at være et konservativt skøn. Da der generelt er usikkerhed om den samfundsøkonomiske værdisætning af CO₂-reduktioner er samfundsøkonomien i følsomhedsanalysen opgjort i afsnit 8.1.2 også beregnet med en samfundsøkonomisk CO₂-omkostninger på 330,84 kr./ton (svarende til det nedre skøn beskrevet i Energistyrelsens beregningsforudsætninger) og 1.000 kr./ton (svarende til det øvre skøn beskrevet i Energistyrelsens beregningsforudsætninger) i 2030⁴⁸.

De samfundsøkonomiske omkostningerne til køb af el er beregnet ud fra estimerede eltariffer opgjort i faktorpriser (ekskl. energiafgifter) og er ekskl. CO₂, da elforsyning ifølge Energifaftalen (2018)⁴⁹ skal være dækket af vedvarende energi i 2030.

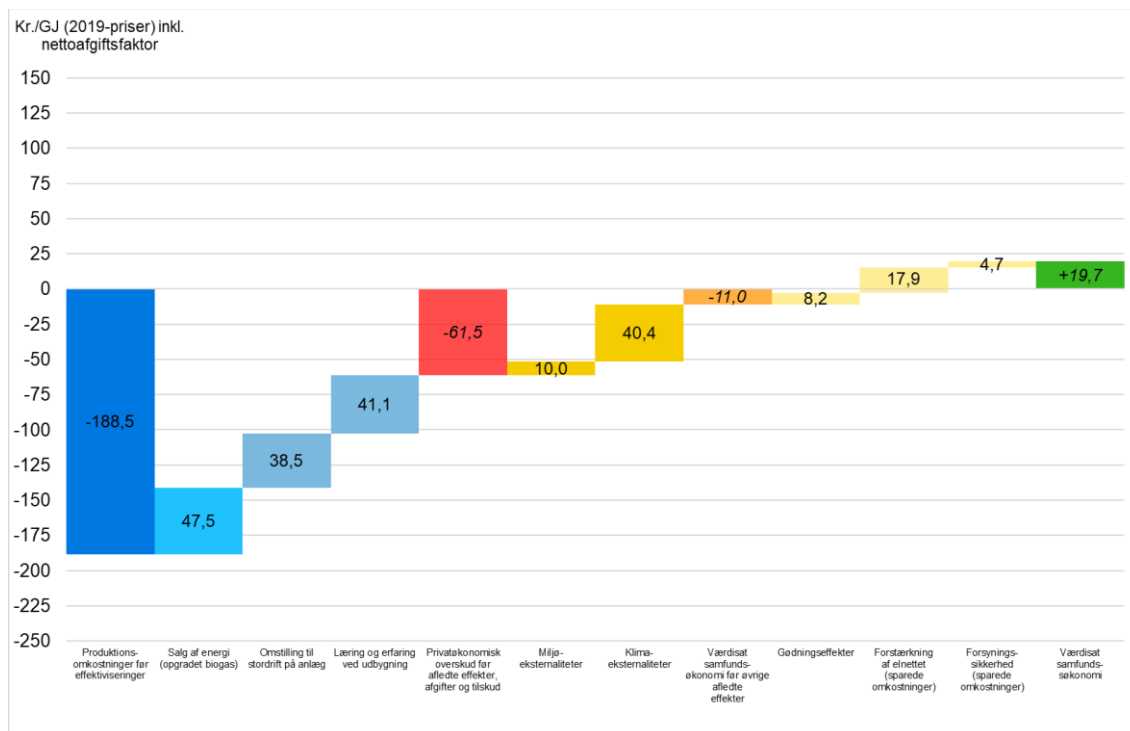
⁴⁷ World Bank (besøgt d. 5/2-2020)

⁴⁸ Energistyrelsen (2019b)

⁴⁹ Den tidligere regering og aftaleparterne (2018)

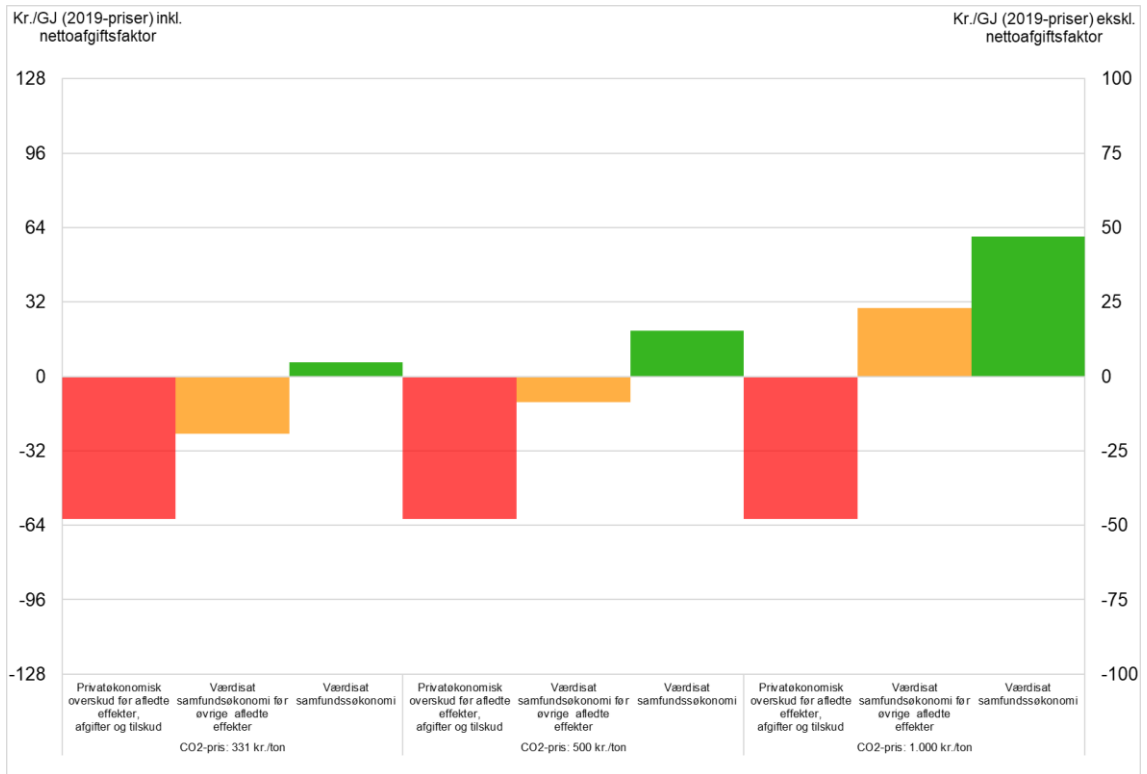
8.1.2 Samfundsøkonomisk resultat

Det værdisatte samfundsøkonomiske overskud inkl. nettoafgiftsfaktor udgør samlet 19,7 kr./GJ. Dette er vist i Figur 21.



Figur 21: Biogassektorens effekter og samfundsøkonomiske bidrag. Note: De samfundsøkonomiske omkostninger, eksternaliteter m.v. er opgjort for året 2030 og ekskl. skatteforvridningseffekter. Kilde: Baseret på bl.a. NIRAS (2017a) og NIRAS (2017b), Energinet (2019a), Klimarådet (2019) m.fl.

Reduceres den samfundsøkonomiske CO₂-omkostning til 330,84 kr./ton i 2030 udgør den værdisatte samfundsøkonomi +6,1 kr./GJ. Forøges den samfundsøkonomiske CO₂-omkostning til 1.000 kr./ton i 2030 udgør den værdisatte samfundsøkonomi +60,2 kr./GJ Dette er vist i Figur 22.



Figur 22: Følsomhedsanalyse af biogassektorens effekter og samfundøkonomiske bidrag. Note: De samfundøkonomiske omkostninger, eksternaliteter m.v. er opgjort for året 2030 og ekskl. skatteforvridningseffekter. Kilde: Baseret på bl.a. NIRAS (2017a) og NIRAS (2017b), Energinet (2019a), Klimarådet (2019) m.fl.

8.2 Teknologikatalogets omkostningsfremskrivninger

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
<i>Gylleanlæg</i>			
Investeringer	21,8	-15,9	-0,6
Basisanlæg	14,7	-19,0	-0,7
Opgraderingsanlæg	7,1	-9,6	-0,3
Drift og vedligehold, ekskl. køb af biomasse	38,3	-0,9	0,0
Drift og vedligehold af basisanlæg	33,4	0,5	0,0
Drift og vedligehold af opgraderingsanlæg	4,9	-10,3	-0,4
Køb af biomasse inkl. transport	39,9	0,0	0,0
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-3,8</i>	<i>-0,1</i>
<i>Halm- og dybstrøelseanlæg</i>			
Investeringer	17,5	-15,4	-0,6
Basisanlæg	11,5	-18,5	-0,7
Opgraderingsanlæg	6,0	-9,6	-0,3
Drift og vedligehold, ekskl. køb af biomasse	30,6	0,3	0,0
Drift og vedligehold af basisanlæg	26,2	1,2	0,0
Drift og vedligehold af opgraderingsanlæg	4,4	-5,0	-0,2
Køb af biomasse inkl. transport	51,9	0,0	0,0
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-2,6</i>	<i>-0,1</i>
<i>Gylle- og affaldsanlæg</i>			
Investeringer	20,3	-15,5	-0,6
Basisanlæg	13,2	-18,7	-0,7
Opgraderingsanlæg	7,0	-9,6	-0,3
Drift og vedligehold, ekskl. køb af biomasse	35,6	-0,8	0,0
Drift og vedligehold af basisanlæg	30,5	0,7	0,0
Drift og vedligehold af opgraderingsanlæg	5,1	-9,8	-0,3
Køb af biomasse inkl. transport	44,1	0,0	0,0
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-3,4</i>	<i>-0,1</i>

Tabel 18: Detaljeret oversigt over Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for opgraderede biogasanlæg. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019a).

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
<i>Onshore vindmøller</i>			
Investeringer	68,5	-34,1	-1,4
Anlæg	57,0	-34,8	-1,4
Etablering og udvikling	7,2	-34,8	-1,4
Nettilslutning	4,2	-23,5	-0,9
Kompensation for værditab på naboejendomme m.v.	20,7	-19,5	-0,7
Drift og vedligehold	31,5	-27,1	-1,1
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-31,9</i>	<i>-1,3</i>
<i>Kystnære vindmøller</i>			
Investeringer	63,3	-25,4	-1,0
Anlæg	24,1	-25,4	-1,0
Etablering og udvikling	29,5	-25,4	-1,0
Nettilslutning	9,7	-25,4	-1,0
Kompensation for værditab på naboejendomme m.v.	0,0	0,0	0,0
Drift og vedligehold	36,7	-16,8	-0,6
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-22,3</i>	<i>-0,8</i>
<i>Offshore vindmøller</i>			
Investeringer	65,4	-31,0	-1,2
Anlæg	24,2	-33,1	-1,3
Etablering og udvikling	29,5	-33,1	-1,3
Nettilslutning	11,7	-21,5	-0,8
Kompensation for værditab på naboejendomme m.v.	0,0	0,0	0,0
Drift og vedligehold	34,6	-25,3	-1,0
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>-29,0</i>	<i>-1,1</i>

Tabel 19: Detaljeret oversigt over Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for store vindmøller. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019b).

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
Investeringer	68,5	-45,1	-2,0
Solpanel	28,9	-59,2	-2,9
Inverter og transformere	5,1	-59,2	-2,9
Understøttende balancesystemer	34,5	-31,2	-1,2
Drift og vedligehold	31,5	-36,3	-1,5
<i>Total</i>	100,0	-42,3	-1,8

Tabel 20: Detaljeret oversigt over Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for store solceller i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2019b).

	Andel af omkostninger i 2020, %	Samlet ændring fra 2020 til 2050, %	Gennemsnitlig årlig ændring fra 2020 til 2050, %
Investeringer	99,8	-75,5	-4,6
Batteri	12,6	-73,5	-4,3
Nettilslutning og konverteringssystem	77,6	-77,8	-4,9
Øvrige projektkomkostninger, herunder entreprenørarbejde	9,6	-60,0	-3,0
Drift og vedligehold	0,2	0,0	0,0
<i>Total</i>	100,0	-75,4	-4,6

Tabel 21: Detaljeret oversigt over Teknologikatalogets fremskrivning af produktionsomkostninger for lithium-ion-batterier i energisystemet. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen og Energinet (2018).

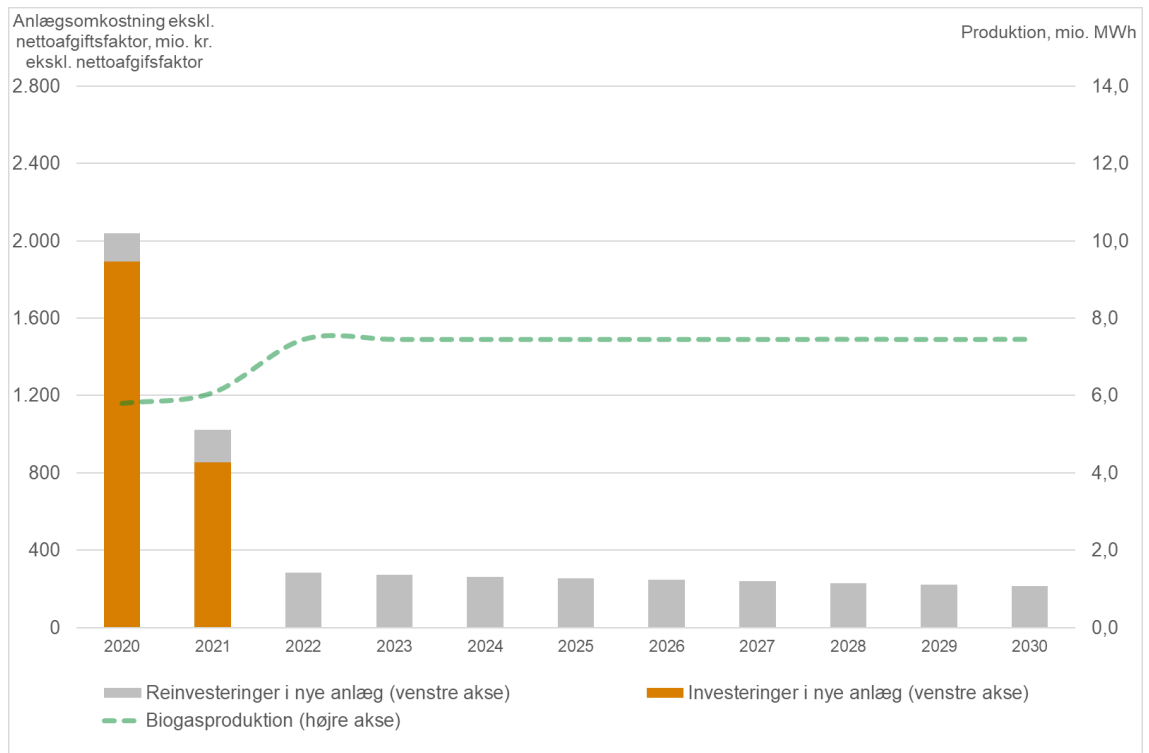
8.3 Udvikling i investeringsbehov i Basis - Scenariet

Realiseres *Basis - Scenariet* og forøges produktionskapaciteten for de gennemsnitlige nyetablerede biogasanlæg fra 110,06 GWh til 221,1 GWh årligt i perioden 2020 til 2030 er der et fremadrettet behov for at afholde omkostninger svarende til samlet 5,3 mia. kr. (ekskl. nettoafgiftsfaktor) i perioden 2020 til 2030. Dette er vist i Tabel 22.

	Mio. kr. ekskl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)	Mio. kr. inkl. nettoafgiftsfaktor (2019-priser)
Reinvesteringer i nye anlæg	2.533	3.243
Investeringer i nye anlæg	2.750	3.520
<i>Samlede omkostninger til nye biogasanlæg</i>	5.283	6.762

Tabel 22: Estimerede anlægsomkostninger ved forøgelse af produktionen fra 2020 til 2030 i *Basis - Scenariet*. Note: Det antages, at biogasanlæggene bliver bygget over en periode på tre år, og at investeringerne årligt udgør 5 pct. af anlæggenes genanskaffelsesomkostninger. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020) m.fl.

En stor del af anlægsomkostningerne i scenariet vil skulle afholdes i starten af perioden, da byggeperioden på biogasanlæg ofte er 2 år. Den forventede udvikling i reinvesteringer og investeringer i nye biogasanlæg er vist i Figur 23.



Figur 23: Estimeret udvikling i biogassektorens anlægsomkostninger ved forøgelse af produktionen frem mod 2030 i Basis - Scenariet. Note: Det antages, at biogasanlæggene bliver bygget over en periode på tre år, og at reinvesteringerne årligt udgør 5 pct. af anlæggenes genanskaffelsesomkostninger. Kilde: Baseret på Nature Energy (2020) m.fl.