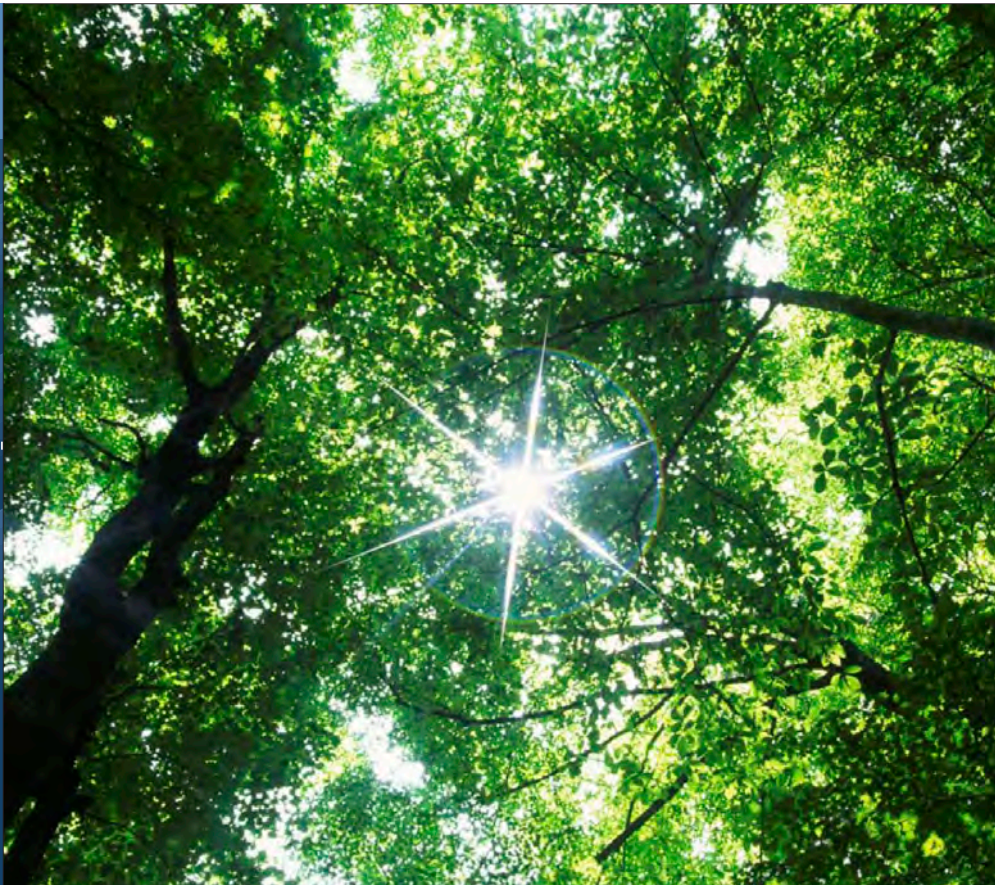




# Bioenergi i Norge

41  
2014

R  
A  
P  
P  
O  
R  
T





# **Bioenergi i Norge**

Norges vassdrags- og energidirektorat  
2014

# Rapport nr 41

## Bioenergi i Norge

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:** Karen Nybakke, Olav Karstad Isachsen og Maria Sidelnikova

**Forfattere:** Anne Marit Melbye, Per Kristian Rørstad og Magnus Killingland

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** 50

**Forsidefoto:** Rune Stubrud, NVE

**ISBN:** 978-82-410-0990-7

**ISSN:** 1501-2832

**Sammendrag:** Det har vært en jevn økning i bruken av bioenergi i Norge siden 1990. De siste ti årene har økningen vært markant for bruk av bioenergi til fjernvarme- og transportformål, og varme- og transportsektoren anses å være markeder bioenergi kan fortsette å vokse i fremover. Reduksjon av klimagassutslipp er en viktig driver i denne sammenheng. Bioenergi bidrar dessuten til energifleksibilitet i både husholdninger og varmesektoren.

Denne rapporten sammenfatter kostnader og det teoretiske og realistiske ressurspotensialet for skogressurser, industrielt avfall, biomasse til biogass, samt biomasse fra andre råstoff. Det realistiske ressurspotensialet for bioenergiressurser i Norge er estimert til cirka 21 TWh, og skog utgjør om lag 17 TWh av dette.

Det er i tillegg beskrevet mulig teknologiutvikling og læringsrater for bioenergiproduksjon.

Rapporten presenterer også ulike markeder for bioenergi i Norge og omtaler bærekraft og miljøforhold. Avslutningsvis diskuteres det hvordan endringer i treforedlingsindustrien og effekten av markedsmekanismer kan påvirke tilbudet av bioenergi og bioenergiens rolle i energisystemet.

**Emneord:** bioenergi, potensial, kostnad, tilbudskurve, marked, bærekraft, miljø, teknologisk utvikling, læringskurve

Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstua  
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)  
Mai 2014

# Forord

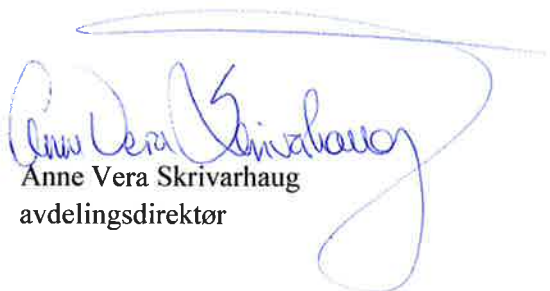
Bioenergi er en viktig energibærer og utgjør en vesentlig del av energibruken i Norge. Bioenergi kan erstatte bruk av fossile brensler og er en viktig ressurs og et mulig virkemiddel for å nå klima- og fornybarmål. Det er fra politisk hold planlagt å øke bruken av bioenergi betydelig, noe som blant annet er formulert i bioenergistrategien fra Olje- og energidepartementet fra 2008.

Bioenergiressursene i Norge kan realiseres gjennom en rekke teknologier og i ulike markeder. For å kartlegge tilgangen til bioenergi i Norge kreves det derfor ikke bare kunnskap om de fysiske ressursene, men også god innsikt i status, muligheter, kostnader og miljøeffekter knyttet til bioenergiproduksjon. I tillegg spiller markedsmekanismer og effekt av politiske virkemidler en avgjørende rolle. Hvordan vil for eksempel endringer i treforedlingsindustrien kunne påvirke tilbudet av bioenergi? Hva slags rolle kan bioenergi spille i det fremtidige norske energisystemet?

På oppdrag for Norges vassdrags- og energidirektorat NVE, har Rambøll i samarbeid med Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) gjennomført denne utredningen om bioenergi i Norge. Ressurspotensialet og kostnadene er en oppsummering og oppdatering av innholdet i tre tidligere rapporter: Bioenergi i Norge (NVE-rapport 25/2011), Bioenergiressurser i skog (NVE-rapport 32-3012) og Bioenergiapotensialet i industrielt avfall (NVE-rapport 17/2013).

Arbeidet er blitt utført i perioden oktober 2013 til mars 2014.

Oslo, april 2014



Anne Vera Skriverhaug  
avdelingsdirektør



Fredrik Arnesen  
fung. seksjonssjef

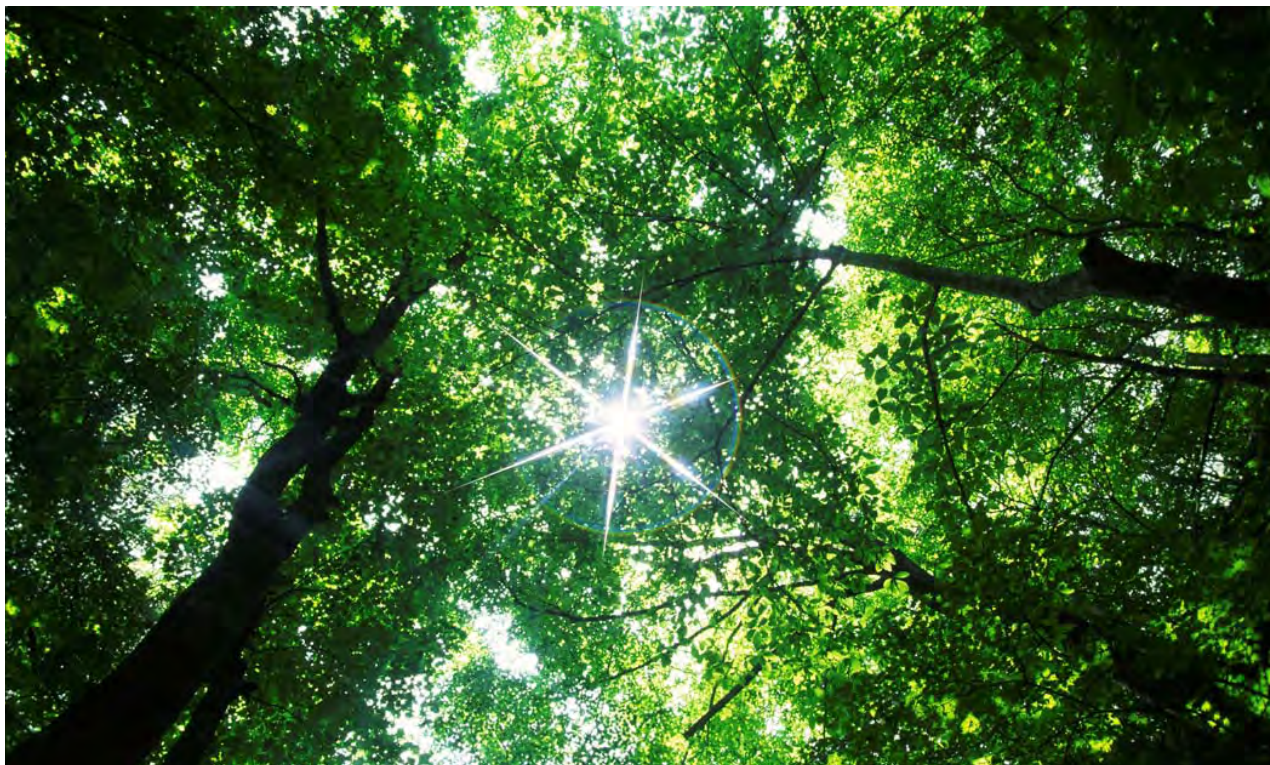


Beregnet til  
**NVE – Norges vassdrags og energidirektorat**

Dokumenttype  
**Utredning**

Dato  
**Mars, 2014**

# BIOENERGI I NORGE



Revisjon **1.0**  
Dato **2014/03/31**

Utført av **Anne Marit Melbye**

Kontrollert av **Per Kristian Rørstad (NMBU)**  
**Magnus Killingland**

**Maria Sidelnikova (NVE)**  
**Karen Nybakke (NVE)**  
**Olav Karstad Isachsen (NVE)**

Godkjent av **Per Arne Karlsen**

Beskrivelse Rambøll har på vegne av NVE gjennomført en utredning om bioenergi i Norge, med hovedfokus på ressurspotensial og kostnader, samt teknologisk utvikling, bærekraft, markedet for bioenergi og bioenergiens rolle i det norske energisystemet i dag og i fremtiden

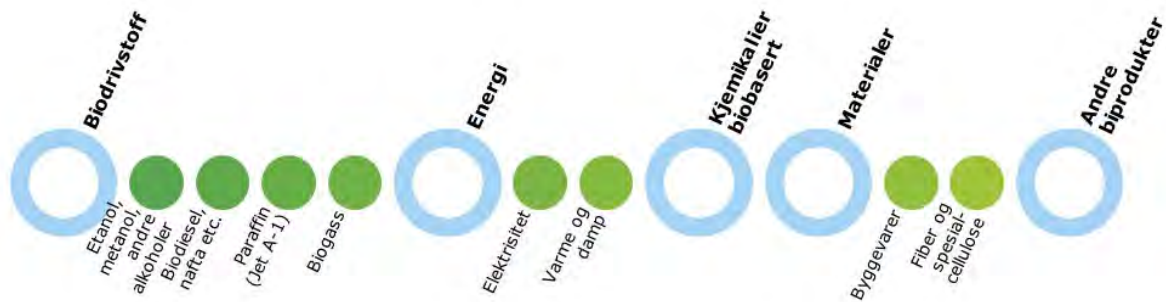
Ref. **1350000712**



## SAMMENDRAG

Bioenergi er en viktig fornybar energikilde i Norge i dag, og utgjorde i 2012 8,5 % av den totale energibruken i Norge. Det Internasjonale Energibyrådet (IEA) beskriver bioenergi som den viktigste energikilden i 2050 i Norden, og Bioenergi strategien fra Olje- og energidepartementet fra 2008 legger frem en målsetning om økt utbygging av bioenergi tilsvarende 28 TWh i 2020, sammenlignet med dagens bruk av bioenergi på 18,1 TWh (2012).

Biomasse er et fleksibelt råstoff, kan benyttes til en rekke formål og er også det eneste fornybare karbonbaserte råstoffet vi kjenner. Biobrensler kan erstatte fossile brensler direkte, og med dette bidra til betydelige reduksjoner i klimagassutslipp. Figuren under viser ulike formål biomasse kan benyttes til, og inkluderer både biodrivstoff, energi og biobaserte kjemikalier og materialer. Biobaserte markeder er komplekse og det kan i mange tilfeller oppstå konkurranse om råstoffet mellom ulike næringer.



### Muligheter for bruk av biomasse © Rambøll

Det teoretiske og realistiske ressurspotensialet<sup>1</sup>, samt kostnader for bioenergiressurser i Norge er sammenfattet i denne rapporten for skogressurser, industrielt avfall, biomasse til biogass, samt biomasse fra andre råstoff:

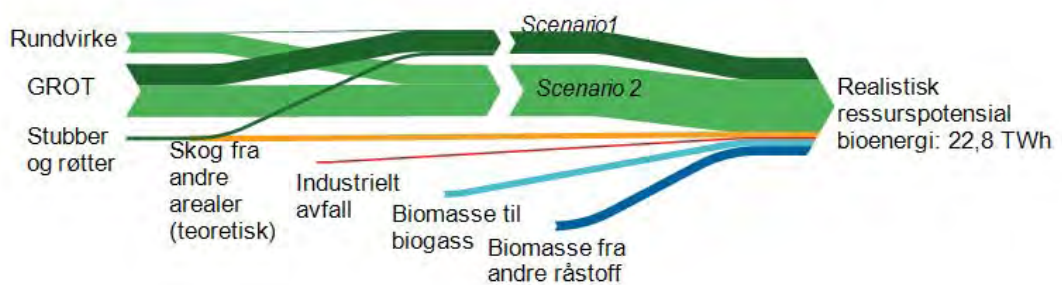
- Skogressurser inkluderer rundvirke, greiner og topper (GROT), stubber og røtter, og skog fra andre arealer
- Biomasse til biogass inkluderer avfallsdeponi, avløpslam, våtorganisk avfall fra husholdninger og handel, husdyrgjødsel og halm
- Biomasse fra andre råstoff inkluderer halm til forbrenning, kornavrens, husholdningsavfall, oljevekster, energivekster, mikro- og makroalger.

Ressurspotensialet er vist i tabellen til høyre og i figuren under. Det realistiske ressurspotensialet for alle de nevnte bioenergiressursene er estimert til cirka 21 TWh, mens det teoretiske ressurspotensialet utgjør cirka 31 TWh. Det teoretiske ressurspotensialet inkluderer blant annet skog og avfallsressurser som ikke er økonomisk lønnsomme til energiformål i dag. Skog utgjør den største kilden til biomasse i Norge, med et realistisk ressurspotensial på omtrent 17 TWh. Realistisk ressurspotensial for skog er vist for to scenarier: scenario 1 viser forventet avvirkning som i dag, og scenario 2 viser økt avvirkning opptil balansekvantum. Skog utgjør den viktigste ressursen på kort sikt, både på bakgrunn av et betydelig potensial og relativt lave kostnader sammenlignet med andre bioenergiressurser.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]	
	Realistisk	Teoretisk
Skogressurser	16,5-17,2	18,3-19,0
Industrielt avfall	0,6	1,7
Biomasse til biogass	1,7-2,1	4,0-4,4
Biomasse fra andre råstoff	2,0-2,9	5,6 -6,5
<b>Totalt</b>	<b>20,8-22,8</b>	<b>29,6-31,6</b>

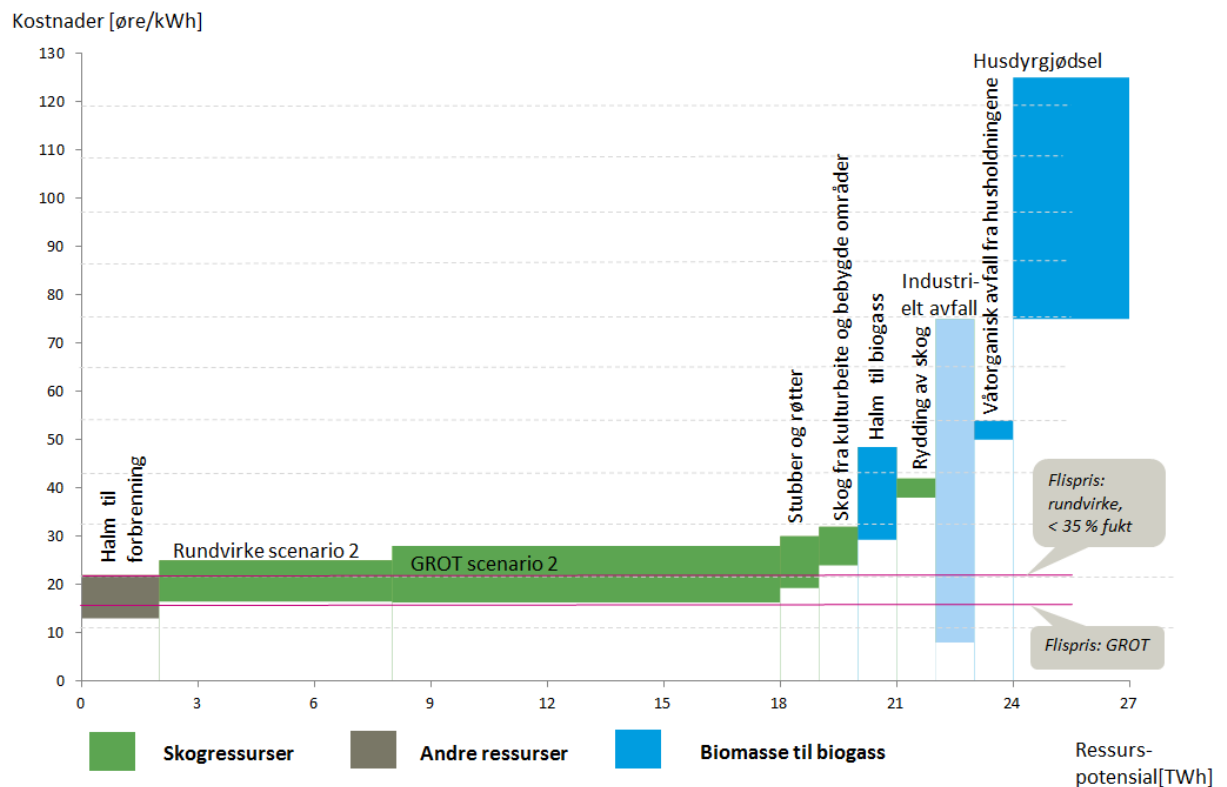
<sup>1</sup> Teoretisk ressurspotensial er det maksimale ressurspotensialet, ikke hensyntatt økonomiske, miljømessige eller økologiske restriksjoner, og det realistiske ressurspotensialet er den realiserbare andelen, fratrukket økonomiske, miljømessige & økologiske restriksjoner

Biomasse til biogassproduksjon er også en viktig ressurs, hvor husdyrgjødsel og halm er de største ressursene, men husdyrgjødsel har høye kostnader. Biomasse fra andre råstoff inkluderer blant annet makro- og mikroalger, som anses å være en viktig ressurs for fremtidens bioenergisystem på lang sikt.

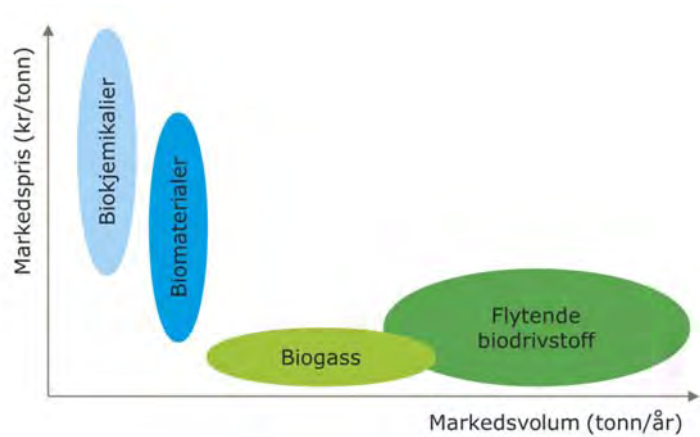


Ressurspotensialet bioenergiressurser i Norge © Rambøll

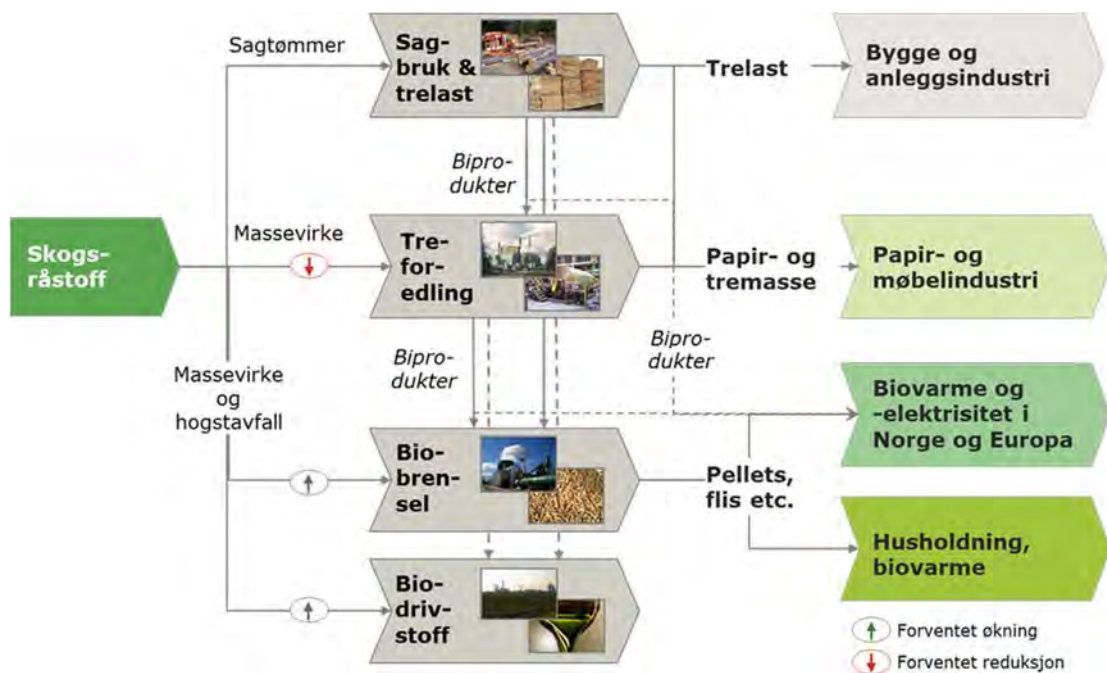
Figuren under viser en kostnadskurve for bioenergiressurser undersøkt i denne rapporten. Det er halm til forbrenning og skogressurser som kan levere ressurser til lavest kostnader, i hovedsak i form av rundvirke og GROT fra skogressursene. Kostnadskurven viser at det er mulig å tilgjengeliggjøre cirka 20 TWh bioenergiressurser til en kostnad under 30 øre/kWh. Dette er sammenlignbart med det realistiske ressurspotensialet for bioenergiressurser presentert over.



Teknologier for produksjon av stasjonær energi og faste biobrensler som pellets og briketter, er i dag kommersielle og modne. Det finnes en rekke ulike teknologier for produksjon av flytende og gassbasert biodrivstoff. Disse er i hovedsak ikke kommersielle i dag, med unntak av kjemisk konvertering av fettsyrer, mat- og planteoljer til biodiesel, samt enkelte bioraffinerier. Bioraffinerier produserer i dag flytende biodrivstoff, biokjemikalier, biomaterialer, biogass og varme. Denne produksjonen er kommersielt levedyktig på grunn av god fortjeneste fra spesialkjemikalier med høy spesifikk verdi. Figuren over viser en illustrasjon av forholdet mellom ulike produkters verdi ved produksjon fra et bioraffineri.



Figuren under viser dynamikken i biomarkedet, og samspillet med sagbruk- og trelastindustrien, treforedlingsindustrien og skog til energiformål. Treforedlingsindustrien benytter i dag massevirke og biprodukter fra trelastindustrien, men denne industrien står overfor utfordringer knyttet til lav lønnsomhet og nedleggelse. Dette vil påvirke synergien med spesielt trelastindustrien, og det kan i så fall frigjøres både massevirke og biprodukter fra trelastindustrien.



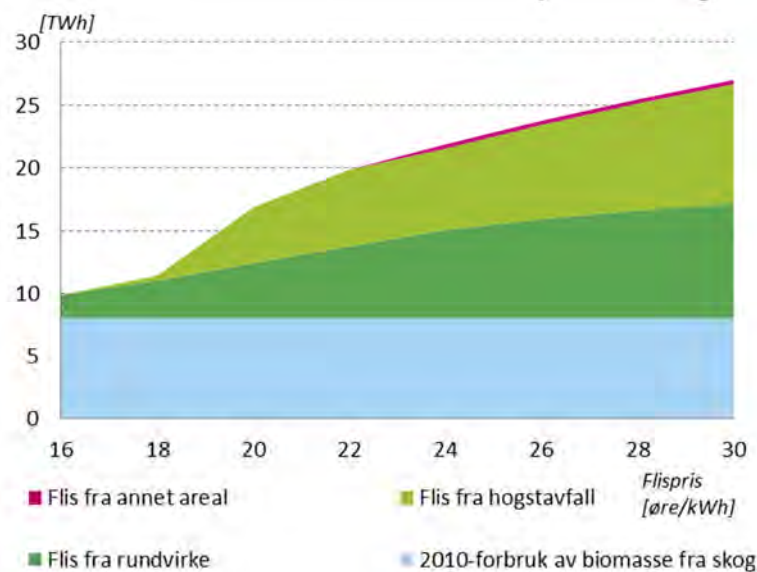
#### Dynamikken i biomarkedet © Rambøll

Det er i rapporten vist at endringer i treforedlingsindustrien kan ha følgende konsekvenser:

- Redusert etterspørsel i treforedlingsindustrien etter biprodukter fra sagbruk- og trelastindustrien kan dekkes ved bruk til energiformål (biobrensel og biodrivstoff), forutsatt at elektrisitet- og oljeprisen er tilstrekkelig høy
- Det er synergier mellom treforedlingsindustrien og energibransjen om bruk av massevirke (massevirke til energiformål omtales som rundvirke). Redusert etterspørsel etter massevirke i treforedlingsindustrien kan delvis oppveies ved økt bruk av massevirke til energiformål

- Etterspørselen etter tømmer i Europa er høy, og redusert etterspørsel i norsk industri ser ikke ut til å påvirke eller redusere norsk avvirkning, men heller redusere import og øke eksport av norsk tømmer
- Treforedlingsindustrien har mulighet til å utnytte produktsynergier i større grad enn det gjøres i dag, gjennom industrisymbioser og næringsparker. Ved å øke produktdiversifisering kan enkelte nisjer gi svært god lønnsomhet. Produksjon av biodrivstoff gjennom bioraffinerier, anses i denne sammenheng som sentralt

Tømmer omsettes i et velfungerende marked hvor prisene bestemmes av rådende tilbud og etterspørsel, og er også i stor grad en internasjonal vare. Dette til forskjell fra flismarkedet, som er et umodent marked. Dagens flispriser skulle i teorien utløst et stort ressurspotensial, i henhold til tilbudskurven vist på neste side. Mangel på markedsaktører og investeringsvilje er en forklaring til at flispotensialet ikke realiseres. Et godt fungerende rammeverk, med gode og forutsigbare rammebetingelser, er en forutsetning for utvikling av flismarkedet, der også utvikling av nye markeder for biodrivstoff kan bidra til å utvikle markedet i en positiv retning.



#### Tilbudskurve for skogsflis til energiformål i 2020 for ulike flispriser levert anlegg [1]

Det har vært en jevn økning i bruk av bioenergi i Norge siden 1990, og i tillegg har det vært en markant økning i bruk av bioenergi i både fjernvarme og transport de siste ti årene. Varme- og transportsektoren anses å være markeder bioenergi kan fortsette å vokse i. Reduksjon av klimagassutslipp er en viktig driver i denne sammenheng. Bioenergi bidrar dessuten til energifleksibilitet i både husholdninger og varmesektoren. Bioenergi og vannkraft kan sammen med variabel fornybar energi bidra til et stabilt og mer bærekraftig energisystem til både stasjonær energi og transport.

Samlet sett viser denne rapporten at ressurspotensialet for bioenergi i Norge er betydelig. Dette potensialet kan realiseres gjennom en rekke teknologier og i ulike markeder, der omfanget vil avhenge av utviklingen i kostnader og energipriser, samt rammevilkårene fremover.

# INNHALDSFORTEGNELSE

	<b>Sammendrag</b>	<b>I</b>
	<b>Definisjoner og forkortelser</b>	<b>IX</b>
<b>1.</b>	<b>Innledning</b>	<b>XIII</b>
<b>2.</b>	<b>Metodisk tilnærming</b>	<b>XIV</b>
<b>2.1</b>	<b>Ressurspotensial</b>	<b>XIV</b>
<b>2.2</b>	<b>Kostnader</b>	<b>1</b>
<b>2.3</b>	<b>Arbeidsprosess</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>Ressurspotensial og kostnader for biomasse</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Skog</b>	<b>3</b>
3.1.1	<i>Skogen som ressurs</i>	4
3.1.2	<i>Scenarier og ressurspotensial for uttak av skog</i>	4
3.1.3	<i>Kostnader for uttak av skog</i>	7
3.1.4	<i>Tekniske og økonomiske utfordringer ved uttak</i>	9
3.1.5	<i>Oppsummering skogressurser</i>	10
<b>3.2</b>	<b>Industrielt avfall</b>	<b>11</b>
3.2.1	<i>Ressurspotensial</i>	12
3.2.2	<i>Kostnader</i>	14
3.2.3	<i>Oppsummering industrielt avfall</i>	15
<b>3.3</b>	<b>Biomasse til produksjon av biogass</b>	<b>16</b>
3.3.1	<i>Avfallsdeponi</i>	17
3.3.2	<i>Avløpslam</i>	17
3.3.3	<i>Våtorganisk avfall fra husholdninger og handel</i>	18
3.3.4	<i>Husdyrgjødsel</i>	19
3.3.5	<i>Halm til biogass</i>	19
3.3.6	<i>Oppsummering biomasse til biogass</i>	20
<b>3.4</b>	<b>Biomasse fra andre råstoff</b>	<b>21</b>
3.4.1	<i>Halm til forbrenning</i>	21
3.4.2	<i>Kornavrens</i>	22
3.4.3	<i>Husholdningsavfall</i>	22
3.4.4	<i>Oljevekster</i>	23
3.4.5	<i>Energivekster</i>	23
3.4.6	<i>Mikro- og makroalger</i>	23
3.4.7	<i>Oppsummering biomasse fra andre råstoff</i>	24
<b>3.5</b>	<b>Import og eksport</b>	<b>25</b>
<b>3.6</b>	<b>Geografisk fordeling av ressurspotensial</b>	<b>26</b>
<b>3.7</b>	<b>Kostnadskurve</b>	<b>28</b>
<b>3.8</b>	<b>Oppsummering ressurspotensial og kostnader</b>	<b>29</b>
<b>4.</b>	<b>Teknologisk utvikling</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Bioenergi til stasjonære formål</b>	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Bioenergi til flytende og gassbasert biodrivstoff</b>	<b>33</b>
4.2.1	<i>Biokjemiske prosesser</i>	34
4.2.2	<i>Termokjemiske prosesser</i>	35
4.2.3	<i>Hybridteknologi</i>	37
4.2.4	<i>Kjemiske prosesser</i>	37
4.2.5	<i>Bioraffinerier og kostnader</i>	37
<b>4.3</b>	<b>Bioenergi med karbonfangst og lagring</b>	<b>38</b>
<b>4.4</b>	<b>Læringskurve for bioenergi</b>	<b>39</b>
<b>4.5</b>	<b>Oppsummering teknologisk utvikling</b>	<b>42</b>

5.	Markedet for bioenergi i Norge	43
5.1	Faste biobrensler	44
5.2	Bioenergi til stasjonær energi	44
5.3	Bioenergi til transport	46
5.4	Offentlig støtte og rammevilkår	48
5.5	Markedsforhold	48
5.6	Tilbudskurve biobrensel	51
5.7	Oppsummering markedet for bioenergi	53
6.	Bærekraft og miljøforhold	54
6.1	Uttak av biomasse	55
6.2	Prosessering og forbrenning av biomasse	55
6.3	Bærekraftskriterier	56
6.4	Biogene CO <sub>2</sub> -utslipp og albedoeffekter for norsk skog	56
6.5	Oppsummering klima- og miljøeffekt bioenergi	57
7.	Bioenergiens rolle i energisystemet	58
7.1	Dagens situasjon	58
7.2	Fremtidens bioenergisystem	60
7.3	Bioenergiens rolle i energisystemet	61
7.4	Oppsummering bioenergiens rolle i energisystemet	62
8.	Konklusjon og diskusjon	63
9.	Referanseliste	64
10.	Vedlegg	67

## VEDLEGG

**Vedlegg 1 SKOGRESSURSER FORDELT PÅ FYLKE**

**Vedlegg 2 FYLKESVIS AVVIRKNING AV SKOG**

**Vedlegg 3 BIOENERGI FRA STUBBER OG RØTTER**

**Vedlegg 4 BIOENERGI - HYTTEFELT OG BEBYGDE AREALER**

## FIGURLISTE

Figur 1-1: Oversikt over rapportinnhold.....	XIII
Figur 2-1: Overordnet oversikt over råstoff, prosessering og produkter for bioenergi © Rambøll.....	XIV
Figur 2-2: Sammenheng mellom teoretisk og realistisk ressurspotensial.....	1
Figur 3-1: Kategorier av råstoff til bioenergi [11].....	3
Figur 3-2: Skogressurser – kategorier og bruksområder.....	4
Figur 3-3: Fordeling av treets deler [12].....	4
Figur 3-4: Årlig tilvekst, balansekvantum og teoretisk potensial for økt uttak i 2012 [14].....	5
Figur 3-5: Realistisk ressurspotensial for skog til energiformål mot 2020 innenfor en flispris levert til anlegg på 30 øre/kWh [1].....	6
Figur 3-6: Avvirkning, tilvekst og stående volum under bart 1918-2011 [1].....	9
Figur 3-7: Avfallsflyt for biobasert industrielt avfall [9].....	13
Figur 3-8: Biomasse til biogass som vurderes i denne rapporten.....	16
Figur 3-9: Global handel av bioetanol, pellets og biodiesel [28].....	25
Figur 3-10: Geografisk fordeling av ressurspotensial for skog og industrielt avfall.....	27
Figur 3-11: Kostnadskurve for bioenergiressurser i Norge.....	29
Figur 3-12: Ressurspotensial bioenergi i Norge © Rambøll.....	30
Figur 4-1: Metode og tilnærming for å sammenlikne teknologisk modenhet.....	32
Figur 4-2: Ulike konverteringsruter og teknologier for bioenergi fra skog © Rambøll.....	32
Figur 4-3: Teknologisk modenhet for ulike biodrivstoffteknologier knyttet til råstoff [28]......	34
Figur 4-4: Pris-volum-forhold for produkter fra bioraffinerier.....	37
Figur 4-5: Skjematisk oversikt over læringskurver [34] [40].....	39
Figur 4-6: Framskrivning av læringsrater for fornybar elektrisitetsproduksjon basert på WEO 2010 [39]. Bioenergi er markert i rosa.....	40
Figur 5-1: Muligheter for utnyttelse av biomasse © Rambøll.....	43
Figur 5-2: Bioenergi til stasjonære formål og transportformål er en del av samme verdikjede © Rambøll.....	43
Figur 5-3: Omsetning av pellets og briketter [6].....	44
Figur 5-4: Vedforbruk i perioden 2000-2012 [3].....	45
Figur 5-5: Bruk av energibærere til fjernvarmeproduksjon [4].....	45
Figur 5-6: Trender og drivere som kan påvirke bioenergi til stasjonær energi © Rambøll.....	46
Figur 5-7: Trender og drivere som kan påvirke produksjon av biodrivstoff © Rambøll.....	47
Figur 5-8: Dynamikken i biomarkedet © Rambøll.....	49
Figur 5-9: Priser på massevirke fra gran, furu og lauv [30].....	50
Figur 5-10: Tilbudskurve for skogsflis til energiformål i 2020 for ulike flispriser levert anlegg [1].....	51
Figur 6-1 Sosiale, økonomiske og miljømessige dimensjoner for bærekraft.....	54
Figur 6-2: Systemgrense for miljø- og klimaeffekt fra verdikjeder for bioenergi.....	55
Figur 7-1: Bruk av bioenergi i Norge i perioden 1990-2012 [2] [4].....	59
Figur 7-2: Bruk av bioenergi i perioden 1990-2012 og nødvendig økning i bruk mot 2020 for å nå norske målsetninger om økt bruk av bioenergi.....	60
Figur 7-3: Biovarme- og bioelektrisitetsproduksjon i samspill med biodrivstoffproduksjon © Enova.....	62
Figur 10-1: Energikostnad levert sluttbruker (øre/kWh innfyrt) som funksjon av biomassetetthet. Det er forutsatt at hogsten skjer med hogstmaskin og lastbærer.....	10-8

## TABELLISTE

Tabell 1-1: Bruk av bioenergi i Norge i dag, oppdatert for 2012 basert på UMB [1] .....	XIII
Tabell 3-1: Ressurspotensial for biomasse fra andre arealer .....	7
Tabell 3-2: Kostnader for produksjon av energiflis fra rundvirke og GROT [1] .....	7
Tabell 3-3: Kostnader for energiflis fra skog fra andre arealer [1].....	8
Tabell 3-4: Oppsummering ressurspotensial og kostnader for bioenergiressurser fra skog.....	11
Tabell 3-5: Avfallsmengder i industrien [9] .....	11
Tabell 3-6: Ressurspotensial fra industrielt avfall, fordelt på industri [9].....	13
Tabell 3-7: Ressurspotensial fra industrielt avfall, fordelt på utnyttelse til forbrenning og biogass [9] [7] .....	14
Tabell 3-8: Kostnader for industrielt avfall .....	15
Tabell 3-9: Oppsummering ressurspotensial og kostnader industrielt avfall.....	16
Tabell 3-10: Kostnader biogass, fordelt på anleggstype [18].....	17
Tabell 3-11: Oppsummering ressurspotensial og kostnader for bioenergiressurser til biogass ...	21
Tabell 3-12: Kostnader for forbrenning av halm [12] .....	21
Tabell 3-13: Oppsummering ressurspotensial og kostnader bioenergiressurser fra andre råstoff.....	25
Tabell 3-14: Oppsummering av årlig ressurspotensial og kostnader mot 2020.....	31
Tabell 4-1: Kostnader for biokjemisk prosessering av bioetanol fra cellulose i USA [37] .....	38
Tabell 4-2: Kostnader for termokjemisk prosessering av bioetanol fra cellulose i USA [37] .....	38
Tabell 4-3: Historiske læringsrater for bioenergi, biobrensler og biodrivstoff [34].....	41
Tabell 4-4: Mulige teknologiske og kommersielle gjennombrudd for bioenergi globalt [36] .....	42
Tabell 10-1: Skogressurser fordelt på fylke [1] .....	10-1
Tabell 10-2: Fylkesvis avvirkning av skog [30] .....	10-2
Tabell 10-3: Total biomasse i stubber og røtter i produktiv skog i Norge i hogstklasse V og biomasse på avvirkningsarealer gitt gjennomsnittlig foryngelsesareal 2005 – 2010.....	10-3
Tabell 10-4: Effektiv brennverdi for stubber og røtter basert på beregnet total biomasse .....	10-4
Tabell 10-5: Energipotensialet for stubber og røtter gitt dagens avvirkningsareal og Skogstyrelsens anbefalinger for uttak (arealandel og gjensatt volum). Det er forutsatt et fuktighetsinnhold på 30 %.....	10-4
Tabell 10-6: Gjennomsnittskostnader for GROT og stubber i Sverige i 2012 .....	10-5
Tabell 10-7: Gjennomsnittskostnader levert kunde for GROT og stubber i Sverige i 2009 - 2012 .....	10-5
Tabell 10-8: Biomasse, biomassetetthet og energipotensialet for hyttefelt og bebygde arealer .....	10-7
Tabell 10-9: Beregnet energikostnad levert sluttbruker for hyttefelt og bebygde arealer. Det er forutsatt at hogsten skjer med hogstmaskin og lastbærer .....	10-8



## DEFINISJONER OG FORKORTELSER

<b>Aerob</b>	Prosess med tilgang til oksygen
<b>Albedo</b>	Mål på refleksjon til en flate, og viser til forholdet mellom reflektert innstråling fra overflaten og innfallende stråling på den samme overflaten. Lyse flater har høy albedo og mørke flater lav albedo
<b>Anaerob</b>	Prosess uten tilgang til oksygen
<b>Avansert biodrivstoff</b>	<i>Advanced biofuels</i> . Viser til andregenerasjons biodrivstoff og omfatter ulike nye og hittil ukjente konverteringsteknologier som i dag er i en forsknings- og utviklingsfase, pilot- eller demonstrasjonsfase (IEA World Energy Outlook 2012)
<b>Avfall</b>	Energibærer som i denne rapporten viser til den biobaserte andelen
<b>Avlut</b>	Utvannes fra kokevæske/lut som en får ved fremstilling av cellulose i treforedlingsindustrien, og benyttes som brensel
<b>Balansekvantum</b>	Den maksimale mengden tømmer (m <sup>3</sup> ) som kan avvirkes per år uten å måtte redusere avvirkningen senere på grunn av mangel på hogstmoden skog
<b>Bioalkohol</b>	Alkohol fremstilt fra biomasse, enten sukker, stivelse eller nedbrutt fra cellulose og hemicellulose (f. eks. biometanol, bioetanol, bio-butanol)
<b>Biobrensel</b>	Fast, flytende og gassbasert brensel fra biomasse til stasjonære formål. Inkluderer også avfall
<b>Biodiesel</b>	Biodrivstoff dannet ved forestring (ved hjelp av etanol/metanol og en katalysator) av biologiske oljer. Viser til FAME (Fatty Acid Methyl Ester) og RME (rapsmetylester)
<b>Biodrivstoff</b>	Bioenergi for bruk til transport, normalt flytende (bioalkoholer, biodiesel, bioparaffiner etc.) og biogass (metan, etan, propan, biohydrogen etc.)
<b>Bioenergi</b>	Energi i faste-, flytende- og gassbaserte produkter. Dette inkluderer både biodrivstoff til transport og biobrensel til stasjonær energi
<b>Bioetanol</b>	Kan fremstilles fra en rekke ulike brensler, og produserer gjennom fermentering av biomasse som har et høyt innhold av karbohydrater. I dag produseres bioetanol i hovedsak fra stivelse og sukker, men andregenerasjonsteknologier vil tillate produksjon fra cellulose og hemicellulose, fibermaterialer som utgjør hoveddelen i de fleste planteressurser
<b>Biogass</b>	Hydrokarbongass av nyere biologisk opprinnelse (ikke fossilt). Viser både til biogass oppgradert til drivstoffkvalitet og gass av lavere kvalitet
<b>Biogen</b>	Betyr «opprinnelse fra biomasse» (f. eks. biogene CO <sub>2</sub> -utslipp)
<b>Biokjemikalier</b>	Kjemikalier fra biologisk opprinnelse som ikke brukes til energi- eller transportformål

<b>Biomasse</b>	Organisk material av biologisk opprinnelse
<b>Bioraffineri</b>	Industriprosesser med produksjon av en eller flere typer biokjemikalier, biomaterialer, flytende biodrivstoff, biogass og varme. Dagens situasjon er kommersiell drift kun på grunn av høy spesifikk verdi for spesialkjemikalier
<b>Biprodukt</b>	Et sekundært produkt fra ulike industriprosesser
<b>Bonitet</b>	Ett uttrykk for skogens produksjonsevne
<b>BtL</b>	<i>Biomass to Liquid</i> . Biomasse til biodrivstoff ved hjelp av gassifisering og Fischer Tropsch-syntese
<b>Bærekraft</b>	Viser til miljømessige, sosiale og økonomiske forhold som hensyntar behov i et tidsperspektiv også for kommende generasjoner. Bærekraftig utvikling; «en utvikling som imøtekommer behovene til dagens generasjon uten å redusere mulighetene for kommende generasjoner til å dekke sine behov»
<b>CCS/Bio-CCS</b>	<i>Carbon Capture and Storage</i> . Karbonfangst og lagring. Bio-CCS: Karbonfangst hvor hele eller deler av karbonutslippet kommer fra biomasse, f.eks. innfyring med biomasse i kullkraftverk eller biogass i gasskraftverk
<b>Cellulose</b>	Sukkerpolymer i lange hydrokarbonkjeder som utgjør hovedbestanddelen i tre og planter (mer enn 50 % i trær)
<b>CHP</b>	<i>Combined Heat and Power</i> . Kombinert varme- og elektrisitetsproduksjon i <i>varmekraftverk</i>
<b>Deponigass</b>	Biogass produsert fra avfallsdeponi, hovedsakelig metan
<b>Energivekst</b>	Celluloseholdige plantevekster, i hovedsak energigrass og hurtigvoksende skog
<b>Fast volum</b>	Volumet av biomasse ekskludert volumet av luft. Benevning: fm <sup>3</sup> , fastkubikk
<b>Fuktighetsinnhold</b>	Vanninnholdet i faste biobrensler uttrykt som en andel av vekt
<b>Gassifisering</b>	Termokjemisk prosess ved ufullstendig forbrenning i temperaturområdet 700-1200 °C
<b>GtL / BGtL</b>	<i>Gas to Liquid</i> . Fossil eller biogass til flytende drivstoff
<b>GROT</b>	Greiner og topper. Utgjør en andel av hogstavfall
<b>Hogstavfall</b>	Fraksjoner som blir liggende igjen på hogstflaten etter avvirkning. Dette inkluderer GROT og annet stammevirke
<b>Karbondjeld</b>	Viser til karbonets tilbakebetalingstid og hensyntar tidsperspektivet ved utslipp av CO <sub>2</sub> . Det skiller dermed på karbonnøytralitet og klimanøytralitet, se side 56
<b>Klimaeffekt</b>	<i>Global Warming Potential (GWP)</i> viser til ulike drivhusgassers effekt på global oppvarming. 1 kg CO <sub>2</sub> har en GWP-verdi på 1 kg CO <sub>2</sub> -ekvivalent, mens f.eks. metan har en GWP-verdi på 86 20-års perspektiv

<b>Konvensjonelt biodrivstoff</b>	Omfatter veletablerte teknologier som produserer biodrivstoff kommersielt i dag. Disse biodrivstoffene refereres ofte til som førstegenerasjons biodrivstoff (IEA World Energy Outlook 2012)
<b>Kultarbeite</b>	Beite som blir gjødslet og stelt med, hovedsakelig anlagt i skog eller utmark
<b>LCA</b>	<i>Life Cycle Analysis</i> . Livsløpsanalyse er en metode for å identifisere miljøpåvirkning i alle ledd i livsløpet til et produkt, f.eks. vugge til grav, dvs. fra utvinning av råmaterialer, til bruk og resirkulering eller forbrenning
<b>Lignin</b>	Lignin er bindemiddel i treet og utgjør omtrent 20 % av massen. Lignin er tungt nedbrytbart i biologiske prosesser
<b>Lignocellulose</b>	En kombinasjon av lignin og cellulose som utgjør en essensiell og styrkende bestanddel i skog, energivekster, avfall og alger
<b>Løst volum</b>	Volumet av biomasse inkludert luftrommet. Benevning: $\text{Im}^3$
<b>Massevirke</b>	Skogvirke til produksjon av cellulose, tre- og papirmasse og trefiberplater i treforedlingsindustrien, samt rundvirke til energiformål
<b>Mottaksgebyr</b>	Også kalt <i>waste gate fee</i> . Prisen en avfallsmottaker får for avfall, eller kostnaden en avfallsleverandør må betale for å kvitte seg med avfall. Omtales normalt per tonn avfall
<b>Nedstrøms</b>	(Biomasse) etter konvertering, ofte definert fra porten til et bioraffineri/energikonvertering
<b>NMBU</b>	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (tidligere UMB)
<b>Oljevekster</b>	Plantevekster med høyt oljeinnhold, som f. eks. raps, rybs, lin, solsikke, soya, oljepalme m. fl.
<b>Oppstrøms</b>	(Biomasse) før konvertering, ofte definert før porten til et bioraffineri/energikonvertering
<b>Pyrolyse</b>	Termokjemisk prosess der biomasse omdannes til gass, olje, tjære og trekull i temperaturområdet 500-800 °C
<b>Realistisk ressurspotensial</b>	Teoretisk ressurspotensial fratrukket økonomiske og miljømessige restriksjoner. Kan også omtales som realiserbart ressurspotensial
<b>Ressurspotensial</b>	Energimengden i en ressurs som ikke allerede utnyttes i dag, og viser altså til et potensial for <i>økt</i> bruk
<b>Rundvirke</b>	Massevirke til energiformål
<b>Røykgasskondensering</b>	Gjenvinning av kondensvarmen i et forbrenningsanlegg
<b>Sagtømmer</b>	Tømmer til produksjon av trelast i sagbruksindustrien (skurvirke). Skogvirke av høy kvalitet
<b>Sagtømmer- og trelastindustri</b>	Industriell behandling av sagtømmer til trelast
<b>Stasjonær energi</b>	Varme og elektrisitet til stasjonære formål, som oppvarming og bruk i bygg, prosesser og industri

<b>Teoretisk ressurspotensial</b>	Maksimalt ressurspotensial, ikke hensyntatt økonomiske eller miljømessige restriksjoner. Anses ikke som realistisk
<b>Treforedlingsindustri</b>	Industriell behandling av trevirke til papir, cellulose, biokjemikalier, tremasse og trefiberplater
<b>Tynning</b>	Hogst av yngre skog på et område slik at den stående skogen vokser raskere og/eller får bedre kvalitet
<b>Våtorganisk avfall</b>	Avfall med organisk opprinnelse. Inkluderer matavfall fra husholdningene, storkjøkken og butikker, samt industrielt avfall som slakteri- og fiskeriavfall mm.
<b>Virkningsgrad</b>	Mengden energi som blir konvertert til varme eller elektrisitet, for eksempel i en motor eller oppvarmingssystem, over opprinnelig energimengde i brenselet
<b>Utbytte</b>	Mengden produkt som blir produsert delt på opprinnelig mengde inngangsfaktor, på masse- eller energibasis. Viser til produksjon av både råstoff og fast, gassbasert og flytende biobrensel

## 1. INNLEDNING

Bioenergistrategien fra Olje- og Energidepartementet fra 2008 legger frem en målsetning om økt bruk av bioenergi tilsvarende 14 TWh mot 2020, sammenlignet med 14,5 TWh i 2006. Bruk av bioenergi i Norge utgjorde i 2012 18,1 TWh [2], se Tabell 1-1. Bruk av ved i husholdningene utgjorde av dette 7,5 TWh, og er med dette den største kilden til bruk av bioenergi i dag. Videre er bioenergi i skogsindustrien og avfallsforbrenning større bioenergikilder. Bruken av biodrivstoff i Norge er økende, blant annet som et resultat av omsetningskravet på 3,5 volumprosent.

Energibærer	Bioenergi 2012 [TWh]	Kommentar og kilde
Ved	7,5	[3]
Bioenergi i industrien	4,5	Basert på 2010 [1]
Biobasert avfall	1,9	Til forbrenning [4] <sup>2</sup>
Biodrivstoff	1,5	[5]
Flis	1,2	Basert på SSB [4], fratrukket biofydingsolje
Pellets og briketter	0,6	[6]
Biogass	0,5	[7]
Biofydingsolje	0,4	Basert på 2010 [1]
Sum	18,1	

Tabell 1-1: Bruk av bioenergi i Norge i dag, oppdatert for 2012 basert på Bergseng et. al. [1]

Denne rapporten analyserer hele verdikjeden for bioenergi i Norge, med hovedfokus på ressurspotensialet for biomasse. I kapittel 3 vurderes ressurspotensialet for bioenergiressurser, samt kostnader for å realisere dette potensialet. Teknologisk utvikling diskuteres i kapittel 4 og markedet for bioenergi diskuteres i kapittel 5. Bærekraft og bioenergiens rolle i energisystemet gjennomgås i henholdsvis kapittel 6 og 7, med fokus på både dagens og fremtidens bioenergisystem. Figur 1-1 viser hva som inngår i denne rapporten, samt oppbygningen.



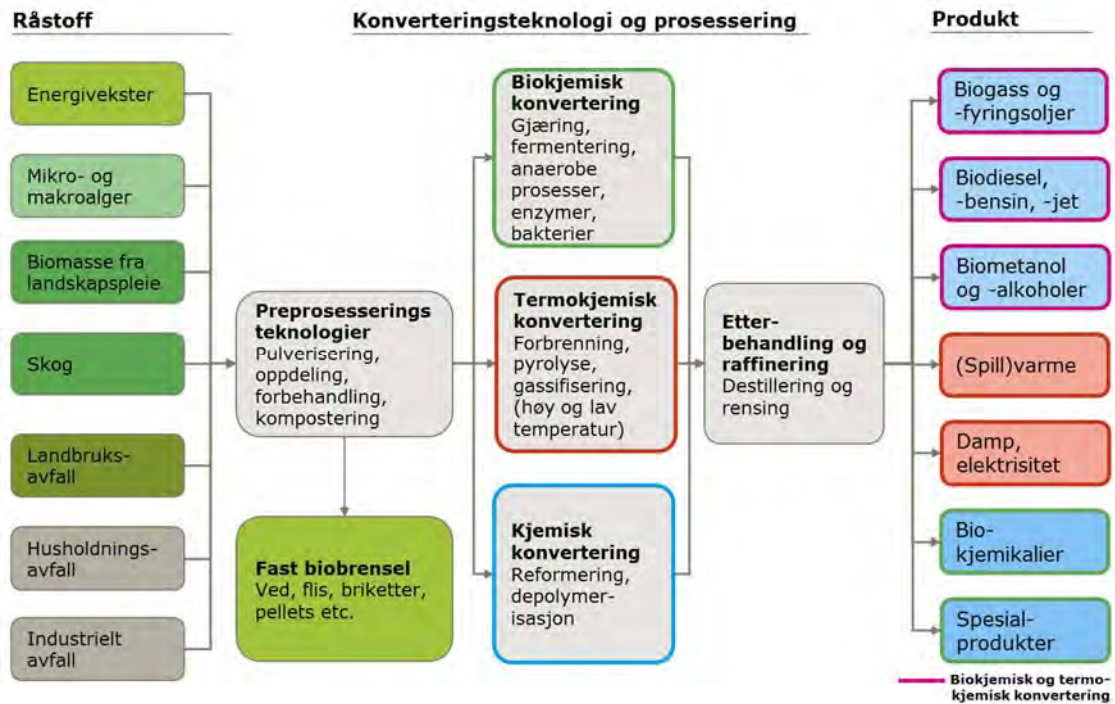
Figur 1-1: Oversikt over rapportinnhold

Sentrale spørsmål som besvares i denne utredningen foruten ressurspotensialet, er hvordan strukturendringer i treforedlingsindustrien påvirker bioenerginæringen og økt bruk av bioenergi, samt bioenergiens samspill med energisystemet, både i dag og i fremtiden. Dette inkluderer diskusjoner rundt bioraffinerier, læringskurver, miljøeffekter ved uttak og bruk av bioenergi, rammebetingelser og markedsdynamikk, samt presentasjon av en tilbudskurve for skogsflis.

<sup>2</sup> Hensyntatt en fornybarandel i avfallet på 52 % [62]

## 2. METODISK TILNÆRMING

Denne rapporten vurderer bioenergi i Norge ved å sammenstille informasjon fra tidligere gjennomført arbeid i NVE, studier, utredninger og forskning, komplettert med Rambølls fagkunnskap på området. Arbeidet har hatt en verdikjede-tilnærming, og utredningen starter med å vurdere råstoff til bioenergi. Videre presenteres teknologisk utvikling og læringskurver, før markedet for faste brensler, stasjonær energi og transport diskuteres. Denne tilnærmingen er skissert i Figur 2-1, og viser både aktuelle råstoff, konverterings- og prosesseringsteknologier og ulike sluttprodukt.



Figur 2-1: Overordnet oversikt over råstoff, prosessering og produkter for bioenergi © Rambøll

Bioenergi deles i denne rapporten i to hovedgrupper; bioenergi til stasjonære formål og bioenergi til transport. Førstnevnte inkluderer bioenergi til bygg, industri og fjernvarme, i form av faste, flytende og gassbaserte brensler, mens bioenergi til transport viser til bruk av biogass og flytende biodrivstoff.

Ressurspotensial og kostnader for råstoff står sentralt i arbeidet med denne rapporten, og metodisk tilnærming presenteres under. Statistikk for bioenergi er basert på data fra Statistisk Sentralbyrå (SSB) og Norges bioenergiforening (Nobio). Statistikken er fragmentert, og i enkelte tilfeller anses den også som relativt usikker (for eksempel for ved).

### 2.1 Ressurspotensial

Teoretisk ressurspotensial er det maksimale ressurspotensialet, ikke hensyntatt økonomiske, miljømessige eller økologiske restriksjoner

Realistisk ressurspotensial er den realiserbare andelen av det teoretiske ressurspotensialet, fratrukket økonomiske, miljømessige og økologiske restriksjoner

Det skilles i denne rapporten mellom **teoretisk og realistisk ressurspotensial** for ulike bioenergiressurser. Det teoretiske ressurspotensialet viser til det maksimale samlede potensialet for økt utnyttelse av bioenergiressurser, og tar ikke hensyn til økologiske, miljømessige eller økonomiske restriksjoner. Det realistiske potensialet er dermed lavere enn det teoretiske potensialet. Figur 2-2 viser sammenhengen mellom det teoretiske ressurspotensialet og det realistiske ressurspotensialet.



Figur 2-2: Sammenheng mellom teoretisk og realistisk ressurspotensial

Det realistiske ressurspotensialet innebærer et teknisk-økonomisk realiserbart potensial, og tar hensyn til vurderinger i forbindelse med bærekraft og økonomi. Det realistiske ressurspotensialet reduseres av den mengden bioenergi som allerede er realisert/utnyttet i dag, noe som i hovedsak er relevant for biogassressursene.

For skogressursene introduseres det i kapittel 3.1 et *balansekvantum*. Dette viser til den maksimale mengden tømmer ( $m^3$ ) som kan avvirket årlig uten og måtte redusere avvirkningen senere på grunn av mangel på hogstmoden skog. Balansekvantumet viser til den balansen som bidrar til at vi ikke reduserer den stående skogen i Norge, og kan med dette sammenlignes med det bærekraftige ressurspotensialet i Figur 2-2.

Det er kun teoretisk og realistisk ressurspotensial som omtales i denne rapporten, og økonomisk og bærekraftig ressurspotensial vil ikke diskuteres videre.

## 2.2 Kostnader

Kostnader for ulike bioenergiressurser er kartlagt og presenteres i kapittel 3. For skogressurser er det vist kostnader for produksjon og leveranse av flis, for ressursene som er aktuelle til biogassproduksjon er det vist kostnader for produksjon av biogass, og for avfallsressursene viser kostnadene til leveranse ved anlegg. Det er gjennomsnittkostnader som presenteres, og disse vises som øre/kWh. Kostnadene inkluderer ikke virkningsgrad for forbrenning/biogassproduksjon.

Det presiseres at det er **kostnader og ikke priser** som vurderes for de ulike ressursene i kapittel 3. Priser skiller seg fra kostnader ved at disse sees i markedet som en funksjon av tilbud og etterspørsel, og inkluderer skatter og avgifter. Det presenteres en tilbudskurve for skogsflis i kapittel 5, og i denne sammenheng vil priser diskuteres. Priser representerer her marginalkostnader.

Det er viktig at det gjennomføres en rettferdig sammenligning av kostnader for de ulike ressursene. Sammenligningen må derfor gjennomføres basert på samme systemgrense, og det er vist kostnader for leveranse av energibærerne flis, biogass og avfall på markedet. Kostnadene viser summen av kostnader for ulike aktiviteter, eller deler av verdikjeden, og inkluderer uttak/opsamling av biomasse, transport og flising/biogassproduksjon.

For avfallsstrømmene i kapittel 3 diskuteres *mottaksgebyr* for avfall. Mottaksgebyret omtales også som *waste gate fee*, og opptrer som en inntekt for energiproduzenten ved at avfallsleverandøren betaler for avsetning av avfall. Mottaksgebyret vil derfor ha motsatt fortegn sammenlignet med de andre kostnadene som omtales i denne rapporten.

Mottaksgebyret for avfall avhenger i stor grad av om den aktuelle kommunen selv håndterer avfallet eller om avfallet er satt ut på anbud. Ved sistnevnte vil konkurransen om avfallet tydeliggjøres, og mottaksgebyret vil presses og vil normalt være lavere enn ved egen håndtering av avfall. I Norge er driveren for mottaksgebyret i hovedsak *håndteringen* av avfall. I motsetning, i

Sverige er hoveddriveren for mottaksgebyret produksjon av energi (kraft og varme). Det kan dermed diskuteres hvorvidt mottaksgebyret bør inkluderes i kostnadsbildet for produksjon av biobrensler. I denne rapporten er det valgt å presentere mottaksgebyret, men det skiller fra kostnadene. Mottaksgebyret vil bidra til økt lønnsomhet for bioenergi, da denne inntreer som en inntekt, og det anses derfor som viktig at dette synliggjøres.

Mottaksgebyret er imidlertid svært usikkert for de ulike ressursene, da gebyret er basert på bilaterale og i hovedsak kortsiktige avtaler. Usikkerheten viser dermed til geografiske usikkerheter, usikkerheter mellom kontrakter/kontraktstyper og usikkerhet over tid. Det er i dag konkurranse om avfallet, og det norske markedet defineres i stor grad av prisene på det svenske markedet. Det er regionale forskjeller, og nærhet til Sverige vil generelt føre til at mottaksgebyret blir lavere. Mottaksgebyret diskuteres videre i kapittel 3, knyttet til ressursene industrielt avfall, avløpslam, våtorganisk avfall fra husholdningene og handel, husdyrgjødsel og husholdningsavfall.

Mottaksgebyret oppgis normal i NOK/tonn, og brennverdien eller energiinnholdet for ulike ressurser er en sentral parameter ved omregning av mottaksgebyret til øre/kWh. Det fremtrer forskjeller i litteraturen for brennverdi, spesielt knyttet til brennverdien for husholdningsavfall og avløpslam, ref. [8] [9] [10]. Det antas at denne forskjellen skyldes bruk av øvre, effektiv eller nedre brennverdi. Det er i denne sammenheng valgt å benytte brennverdier fra samme kilde, for å eliminere usikkerheten. Det legges til grunn effektive brennverdier fra [10] og [9]; 2,9 MWh/tonn benyttes som brennverdi for blandet restavfall, for både husholdninger og industrielt avfall. Brennverdien for våtorganisk avfall er satt til 0,8 MWh/tonn, mens brennverdien for avløpslam og husdyrgjødsel er satt til 0,5 MWh/tonn. Den effektive brennverdien viser til nedre brennverdien fratrukket fordampningsvarmen for det vannet som er i brenselet. Den **effektive brennverdien** viser dermed til avfallets brennverdi slik det forekommer.

Det er også lagt til grunn effektiv brennverdi for skogressursene, der typisk brennverdi for rent og tørt trevirke er 5,32 kWh/kg tørrstoff [1]. Basisdensitet viser til kg tørrstoff per fastkubikkmeter.

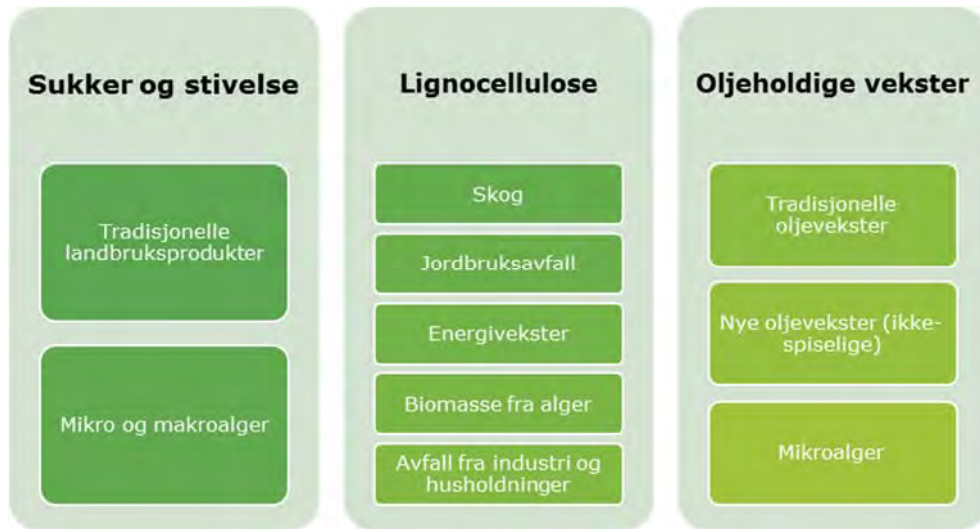
### 2.3 Arbeidsprosess

Rapporten er utarbeidet av Rambøll og er et samarbeid med Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU) og Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE). Per Kristian Rørstad ved NMBU har fungert som fagspesialist innen bioenergiressurser og bioenergimarkedet, og har også utarbeidet vedlegg 3 og vedlegg 4. Arbeidsgruppen i NVE har bestått av Maria Sidelnikova, Karen Nybakke og Olav Karstad Isachsen, og det har vært gjennomført flere arbeidsmøter underveis i arbeidet.



### 3. RESSURSPOTENSIAL OG KOSTNADER FOR BIOMASSE

Sukker og stivelse, lignocellulose og oljeholdige vekster utgjør hovedkategoriene av råstoff til bioenergi<sup>3</sup>, se Figur 3-1. Dette kapitlet vurderer ressurspotensialet og kostnader for de vanligste formene for biomasse. Hovedfokus er skog og industrielt avfall, men en rekke andre råstoff diskuteres også; husholdningsavfall, husdyrgjødsel, halm, kornavrens, avløpsslam, avfallsdeponi, jordbruksavfall, energivekster, oljevekster og mikro- og makroalger. Import og eksport diskuteres også overordnet i kapittel 3.5.



Figur 3-1: Kategorier av råstoff til bioenergi [11]

Ressurspotensialet og kostnader for de ulike bioenergiressursene diskuteres under, fordelt som følger: skog, industrielt avfall, biomasse til produksjon av biogass og biomasse fra andre råstoff. En sammenstilling og oppsummering av ressurspotensial og kostnader for de ulike ressursene gjengis i Tabell 3-14 i kapittel 3.7.

#### 3.1 Skog

Dette kapitlet vil diskutere de ulike bioenergiressursene fra skog, og det presenteres to scenarier for uttak av skog til bioenergi; scenario 1, forventet avvirkning som i dag, og scenario 2, økt avvirkning til balansekvantum. Ressurspotensialet fra skog inkluderer rundvirke, GROT, stubber og røtter, samt skog fra andre arealer diskuteres, og kostnader knyttes til disse skogressursene. Det vil avslutningsvis i dette kapitlet diskuteres tekniske og økonomiske utfordringer ved uttak av skog. Dette kapitlet er basert på rapporten *Bioenergiressurser i skog – kartlegging av økonomisk potensial* [1], og komplettert med notatene *Bioenergi – hyttefelt og bebygde arealer* og *Bioenergi fra stubber og røtter*, som er vedlagt denne rapporten.

Skogressurser kan kategoriseres etter ulike kvaliteter. Figur 3-2 viser kategorier av skogressurser, etter kvalitet og bruksområde. Tømmerstokken (rundvirke) klassifiseres som sagtømmer eller massevirke. Sagtømmer er det virket som er av best kvalitet og tilstrekkelig størrelse, og brukes i sagbruks- og trelastindustrien. Massevirke har en lavere kvalitet og brukes gjerne i treforedlingsindustrien eller til energiformål. Hovedandelen av avvirkningen til energiformål selges som ved, ofte levert direkte til forbruker. De grå feltene i Figur 3-2 er de beste kvalitetene av tømmer, og brukes ikke til energiformål. Ressurspotensialet fra skogressurser til bioenergi omfatter dermed massevirke og hogstavfall, slik som greiner og topper (GROT) og stubber og røtter. Tynning inngår ikke som en egen ressurskategori i denne rapporten, men som en del av ressurspotensialet for rundvirke og GROT.

<sup>3</sup> I tillegg fremkommer protein til biogass



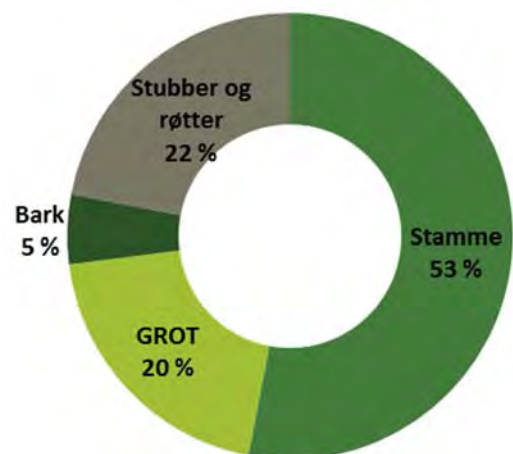
Figur 3-2: Skogressurser – kategorier og bruksområder

### 3.1.1 Skogen som ressurs

Figur 3-3 viser fordeling mellom treets bestanddeler. Treet er delt i stamme, stubbe og røtter, bark, greiner og topper (GROT). Bark er i denne rapporten inkludert i ressurspotensialet for rundvirke.

I dag blir om lag halvparten av biomassen fra et tre tatt ut av skogen ved tømmerhogst, og det som ligger igjen er omtrent likt fordelt mellom stubber og røtter og GROT. En del av dette kan brukes til energiformål, men utnyttelsen i Norge er i dag liten selv om bruken av GROT har vært økende. Etter bortfallet av skogflistilskuddet er usikkert om det vil bli en videre økning i bruk.

Uttak av stubber og røtter har i dag begrenset aktualitet i Norge på grunn av miljøhensyn og kostnader [1]. Ressursen har ikke noe annet økonomisk bruksområde enn energiformål [12], og utnyttes i dag til energiformål i Sverige og Finland. Stubber og røtter diskuteres avslutningsvis i kapittel 3.1.2.



Figur 3-3: Fordeling av treets deler [12]

Det er ikke økonomisk mulig å høste all GROT på ei hogstflate – normalt kan 60-80 % høstes. I tillegg vil det av hensyn til miljø og tilførsel av næringsstoffer ikke være aktuelt å ta ut hogstavfall på hele hogstarealet. Det bærekraftige potensialet vil derfor ligge betydelig lavere, anslagsvis 50-60 % av det teoretiske potensialet. Potensialet for GROT til energiformål bestemmes av avvirkningsnivået og dermed indirekte gjennom etterspørsel/pris på rundvirke, ettersom GROT i dag er et biprodukt fra hogst av rundvirke.

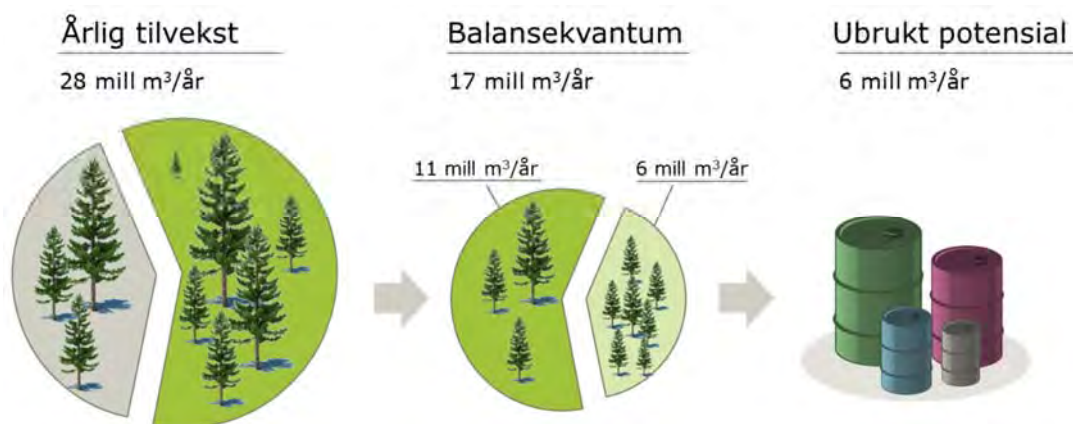
### 3.1.2 Scenarier og ressurspotensial for uttak av skog

Dette avsnittet diskuterer ressurspotensialet fra skog, og presenterer potensialet ved to ulike scenarier for økt uttak. Bergseng et. al. har beregnet det samlede potensialet for økt uttak av biomasse fra skogen de kommende tiårene ved to ulike scenarier, inkludert ressurser fra rundvirke, GROT og skog fra andre arealer; kraftlinjer, jordbruksareal, kulturbeite og hyttefelt og bebygde områder. Det er også i denne rapporten estimert et ressurspotensial for stubber og røtter for scenario 1. Både i scenario 1 og scenario 2 forutsettes tømmeretterspørselen fra skogsindustrien å være på samme nivå som i dag. Treforedlingsindustrien står i dag overfor utfordringer knyttet til lav lønnsomhet, og nedleggelse har ført til en nedgang i innenlands etterspørsel. Dette ser ut til og kompenseres ved redusert import og økt eksport.

1. **Scenario 1: Forventet avvirkning som i dag:** opptil 12 millioner m<sup>3</sup>. Dette vurderes av Bergseng et. al. [1] som det mest realistiske scenariet, og inkluderer en moderat økning i hogst frem mot 2020 sammenlignet med dagens avvirkning på 11 millioner m<sup>3</sup> (2012)<sup>4</sup>
2. **Scenario 2: Avvirkning opptil balansekvantum:** maksimalt 17 millioner m<sup>3</sup>. Dette scenariet anses som mindre sannsynlig fram mot 2020 gitt dagens bruk av skog, dagens priser på tømmer og energi, samt dagens støttenivå

Bergseng et. al. har analysert det tekniske og økonomiske potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål, med tilhørende kostnadsvurderinger [1] [13]. I modellen som benyttes er vern og miljøhensyn i henhold til kravene som ligger i skogbrukets miljøsertifiseringssystem, Levende Skog, lagt inn. Det innebærer at det tas hensyn til vernede areal og krav/nivå på skogbehandlingen.

Den totale avvirkningen i Norge i dag (2012) er om lag 11 millioner m<sup>3</sup> per år, der avvirkning til vedfyring er anslått å være 2,5-3 millioner m<sup>3</sup> per år [13]. Figur 3-4 illustrerer forholdet mellom den årlige tilveksten og den årlige avvirkningen i norske skoger i dag. Den årlige tilveksten er 28 millioner m<sup>3</sup> per år (2012). Av dette utgjør 17 millioner m<sup>3</sup> såkalt *nasjonalt balansekvantum*<sup>5</sup> – det vil si den mengden tømmer som kan tas ut hvert år uten og måtte redusere uttaket på noe tidspunkt senere<sup>6</sup>. Muligheten for økt uttak av skog er dermed 6 millioner m<sup>3</sup> mer enn i dag uten å overgå balansekvantum. Balansekvantumet (17 millioner m<sup>3</sup>) er lavere enn den årlige tilveksten (28 millioner m<sup>3</sup>) fordi en andel av tilveksten er i yngre skog som ikke bør sluttavvirkes og fordi en andel går bort i topper, avkapp, råte mm., samt på grunn av miljøhensyn.



Figur 3-4: Årlig tilvekst, balansekvantum og teoretisk potensial for økt uttak i 2012 [14]

De presenterte potensialene for økt uttak av skog til energiformål viser til et realistisk ressurspotensial. Det teoretiske ressurspotensialet for skog er ikke vurdert, men vil utgjøre den stående skogen i Norge, og vil dermed være svært høyt<sup>7</sup>. Det er ikke tatt stilling til hvorvidt det realistiske potensialet for økt avvirkning opp mot balansekvantum er sannsynlig mot 2020. En betydelig økning i uttak av skog opp mot balansekvantum vil sannsynligvis føre til at dagens standarder må revideres, særlig når det gjelder miljøkonsekvenser.

Volumet av den stående skogen har økt kraftig i Norge de siste 100 årene, mens avvirkningen har vært relativt stabil [13]. Hvor mye av balansekvantumet som blir tilgjengelig til energiformål påvirkes først og fremst av markedsprisen på tømmer og energi, samt driftskostnadene i skogbruket. Det presiseres at det er scenario 1, forventet avvirkning som i dag, som fremstår som det realistiske scenariet for økt uttak av skog. Skognæringen er i dag i en usikker posisjon, hvor nedleggelse i treforedlingsindustrien fører til redusert etterspørsel etter trevirke. Dette kan påvirke tilgjengeligheten til skogvirke til energiformål. Allikevel, avvirkningen av skog i 2013 var den

<sup>4</sup> I Klimakur er det lagt til grunn en økning i hogst opp til 13 millioner m<sup>3</sup>

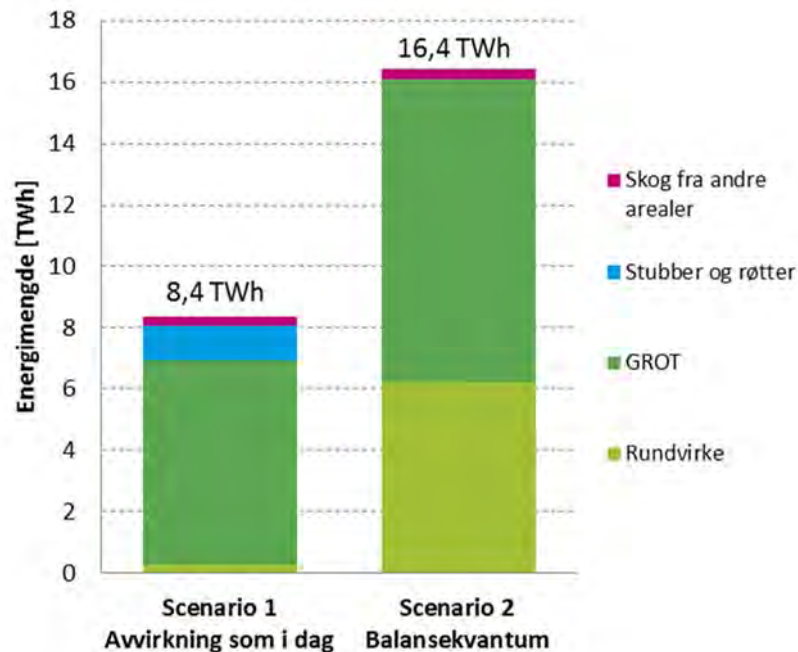
<sup>5</sup> Ekskludert miljørestriksjoner utgjør nasjonalt balansekvantum 19 millioner m<sup>3</sup>

<sup>6</sup> I denne størrelsen er det lagt inn nasjonale miljørestriksjoner for skogvern og Levende Skog standardene. Det vil si at det tas hensyn til vernede arealer og bærekraftig skogsdrift med hensyn til næringsstoffer.

<sup>7</sup> Stammevolumet på det produktive skogarealet utgjør snaue 850 millioner m<sup>3</sup> [1]

høyeste siden slutten av 80-tallet/begynnelsen av 90-tallet. Endret etterspørsel i treforedlingsindustrien, som er en importintensiv industri, synes å påvirke eksporten og importen av tømmer, og dermed ikke avvirkningen i Norge. Denne markedsdynamikken i forhold til økt uttak av skog diskuteres videre i kapittel 5.

Figur 3-5 viser potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål i 2020 innenfor en flispris levert til anlegg på 30 øre/kWh. 30 øre/kWh benyttes dermed som en øvre grense for betalingsvilje for skogsflis. Dagens flispris er i Sør-Norge 20-22 øre/kWh for rundvirke, avhengig av fuktighetsinnhold, og 17 øre/kWh for GROT [15]. Flisprisen for rundvirke var noe høyere første halvdel av 2013.



Figur 3-5: Realistisk ressurspotensial for skog til energiformål mot 2020 innenfor en flispris levert til anlegg på 30 øre/kWh [1]<sup>8</sup>

Det totale ressurspotensialet for scenario 1 utgjør 8,4 TWh/år i 2020, og ligger i hovedsak i bruk av GROT og stubber og røtter [1]. Rundvirke utgjør 0,3 TWh, og viser til en reallokering av massevirke som i dag går til treforedlingsindustrien. GROT utgjør 6,6 TWh og stubber og røtter cirka 1 TWh. Dersom avvirkningen øker til balansekvantum, altså scenario 2, vil det totale ressurspotensialet være 16,4 TWh/år i 2020, foruten stubber og røtter som ikke er vurdert for dette scenariet. Rundvirke vil utgjøre 6,2 TWh i 2020 i scenario 2, mens GROT vil utgjøre cirka 9,9 TWh. Skog fra andre arealer viser til ressurser fra landskapspleie og rydding, og tilsvarer 0,3 TWh/år i 2020 i begge scenariene.

Ressurspotensialet for stubber og røtter er vurdert i vedlegg 3 for scenario 1. Ressurspotensialet vil være i området 0,4-1,2 TWh/år i 2020 for scenario 1. Ressurspotensialet vil være betydelig høyere ved bruk av stubber og røtter ved hogstnivå opp mot balansekvantum, altså scenario 2, men anses ikke som realistisk mot 2020 og er verken vurdert eller presentert i denne sammenheng. Det anses som lite realistisk at stubber og røtter vil benyttes til energiformål i Norge på kort sikt. Det er ikke vurdert hvordan tilbud av stubber og røtter påvirkes av flisprisen, og ressurspotensialet i Figur 3-5 er ikke innenfor en flispris på 30 øre/kWh, som er tilfelle for de andre skogressursene.

Skog fra andre arealer inkluderer flere arealtyper, og det er kun biomasse fra kulturbeite som kan realiseres innenfor en kostnadsramme på 30 øre/kWh [1]. Det teoretiske uttaket av skog fra rydding og landskapspleie utgjør totalt 1,8 TWh. Fordelingen mellom de ulike arealkategoriene er

<sup>8</sup> Rundvirke fra tynning inngår i analyser for rundvirke, og GROT fra tynning er inkludert i kategorien GROT

vist i Tabell 3-1 og kostnadene diskuteres i Tabell 3-3 i neste kapittel. Biomasse fra kraftlinjer, jernbane og vei er et resultat av rydding langs Norges henholdsvis 200.000 km luftlinje på alle spenningsnivå, 4.000 km jernbanelinje og 93.000 km vegnett [12]. Nettselskaper, Jernbaneverket og i hovedsak Statens Vegvesen har ansvar for rydding av skogen langs disse traséene. Siden rydding av denne skogen gjennomføres på grunn av sikkerhet, representerer egentlig det teoretiske ressurspotensialet i Tabell 3-1 et realistisk fysisk potensial, da skogen må hogges på grunn av sikkerhet. Hvorvidt skogen faktisk benyttes til energiformål, eller kun blir liggende, er allikevel et spørsmål om kostnader og flispris, og ressurspotensialet omtales derfor som et teoretisk potensial.

Teoretisk ressurspotensial [TWh]	
<b>Kraftlinjer</b>	0,21
<b>Jordbruksareal</b>	0,15
<b>Kulturbeite</b>	0,32
<b>Rydding av veier, jernbane etc.</b>	0,66
<b>Hyttefelt og bebygde områder</b>	0,43
<b>Sum</b>	<b>1,8</b>

Tabell 3-1: Ressurspotensial for biomasse fra andre arealer

Tilbud av skogsflis diskuteres i kapittel 5.6, der det også presenteres en tilbudskurve.

### 3.1.3 Kostnader for uttak av skog

Tabell 3-2 og Tabell 3-3 viser kostnadene for produksjon av energiflis fra rundvirke, GROT og skog fra andre arealer. Skog fra andre arealer er fordelt mellom landskapspleie/rydding av kraftlinjer, jordbruksareal, kulturbeite, og veier og jernbane. Kostnadene er fordelt mellom driftskostnader, administrasjon og andre kostnader, transport og flising, og terminalkostnader. De ulike kostnadskomponentene diskuteres under. Det vises til rapporten *Bioenergiressurser i skog* for en mer utdypende diskusjon [1].

Kostnadene for energiflis levert til anlegg fra rundvirke og GROT kan komme ned mot drøye 16 øre/kWh ved kort transportavstand og uten bruk av terminal [1], se Tabell 3-2. Kostnadene for rundvirke og GROT er forutsatt de samme for alle arealer og er dermed lik for hele landet<sup>9</sup>. Kostnadene for rundvirke ligger i området 16,5-25 øre/kWh. Kostnadene for GROT fra bilvei til sluttbruker, altså ekskludert innsamling og framkjøring til bilvei, er 14,3 øre/kWh. Innsamling og framkjøring utgjør minst 2 øre/kWh, og den totale kostnaden for GROT utgjør dermed minst 16,3 øre/kWh. Øvre kostnadsestimat er ukjent. Faktorene som påvirker kostnadene for stubber og røtter er generelt de samme som for GROT, men kostnadene ser ut til å ligge cirka 3-5 øre/kWh høyere. Kostnadene for stubber og røtter er diskutert i vedlegg 3.

Energiflis [øre/kWh]	Fra rundvirke	Fra GROT	Fra stubber og røtter
<b>Levert bilvei</b>	10-12,5	> 4,9 <sup>*</sup>	
<b>Administrasjon og andre kostander</b>		2,0	
<b>Transport</b>	1,5-4,0	2,8	
<b>Flising og terminalkostnader</b>	5,0-8,0 <sup>x</sup>	6,6	
<b>Sum</b>	<b>16,5-25</b>	<b>&gt; 16,3</b>	<b>&gt; 19,3-21,3</b>

Tabell 3-2: Kostnader for produksjon av energiflis fra rundvirke og GROT [1]

Rundvirke har et fuktighetsinnhold på 30 % i analysen og GROT/røtter på 35 %

<sup>\*</sup> Inkluderer kompensasjon til skogeier, innsamling og framkjøring

<sup>x</sup> Terminalkostnadene utgjør 2,5-4,5 øre/kWh og denne kostnaden kan potensielt elimineres

<sup>9</sup> Driftsveilenge og biomassetetthet varierer, men beregningsfunksjonene er de samme for hele landet

Kostnadene for tynning ligger høyere enn både kostnadene for uttak av rundvirke og GROT, og ligger i området 43-67 øre/kWh, avhengig av biomassetetthet. Denne kostnaden er basert på en midlere driftsveilegde på 400 m, og kompensasjon til skogeier, administrasjon, flising, terminalkostnader og veitransport tilsvarende kostnadspostene i Tabell 3-3.

Kostnadene for biomasse fra andre arealer er svært følsom for biomassetetthet per hektar og i noe mindre grad driftsveilegde. Kostnadene ligger i området 24-121 øre/kWh, der kostnadene er lavest for biomasse fra kulturbeite og høyest for biomasse fra jordbruksarealer. Det er knyttet stor usikkerhet til kostnadene for skog fra hyttefelt og bebygde områder, som er diskutert i vedlegg 4. Kostnadene er fallende med økende biomassetetthet, mens driftsveilegde gir lite utslag. Kostnadene for hyttefelt er lavere enn for bebygde områder, og også mest sannsynlig lavere enn kulturbeite. Totalt vil kostnaden for skog fra hyttefelt og bebygde områder være minst 32 øre/kWh.

Energiflis [øre/kWh]	Kraftlinjer	Jordbruksareal	Kulturbeite	Veier, jernbane
Kompensasjon til skogeier	2,9	2,9	2,9	2,9
Administrasjon	2,0	2,0	2,0	2,0
Uttak av biomasse til velteplass *	24,7-27,7	104,7-106,7	9,7-11,7	23,7-25,7
Veitransport	2,8	2,8	2,8	2,8
Flising og terminalkostnader	6,6	6,6	6,6	6,6
<b>Sum</b>	<b>39-42</b>	<b>119-121</b>	<b>24-26</b>	<b>38-40</b>
<b>Biomassetetthet [tonn/hektar]</b>	<b>6,1</b>	<b>1,4</b>	<b>15,5</b>	<b>6,3</b>

Tabell 3-3: Kostnader for energiflis fra skog fra andre arealer [1]

Fuktighetsinnhold er 30 %

\* Avhenger av driftsveilegde til velteplass. Verdiene representerer 10-500 m

Lav biomassetetthet fører til høye kostnader for biomasse fra kraftlinjer, jordbruksareal, veier og jernbane sammenlignet med kulturbeite. Dette er spesielt synlig for skog fra jordbruksareal, der kostnaden for uttak av skog ligger i området 105-107 øre/kWh.

Det presiseres at alle kostnader knyttet til uttak av skog er allokert til bioenergiressursene i Tabell 3-3. Det betyr at alle kostnader for uttak av skog fra kraftlinjer, jordbruksareal, kulturbeite, veier og jernbane fremkommer som en kostnad for ressursene. Biomasse må fjernes fra både kraftlinjer, veier og jernbane uavhengig av etterspørsel etter flis til energiformål. En allokering av en andel av kostnadene til drift i blant annet kraft-, vei- og jernbaneselskap kan derfor være realistisk, noe som vil føre til et lavere kostnadsbilde. Dette er altså ikke inkludert i kostnadsestimatet.

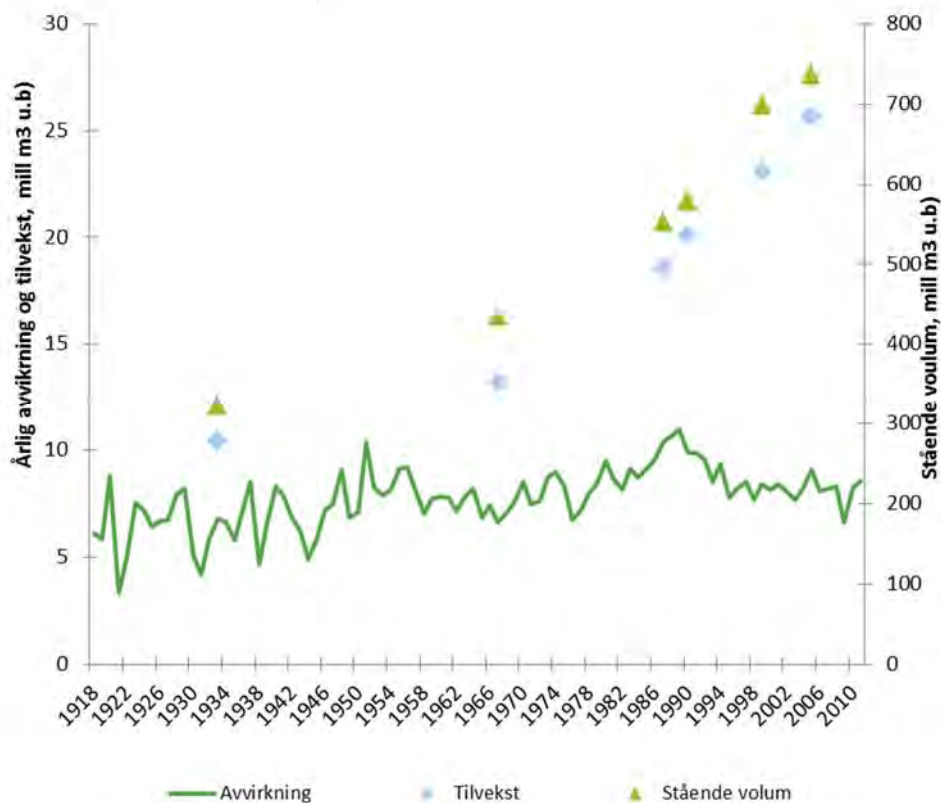
**Driftskostnadene** for uttak av rundvirke er relativt stabile over tid, med noen forskjeller avhengig av avvirkningsnivå og type skog [1]. Driftskostnadene utgjør kostnadene for leveranse til bilvei, og inkluderer for GROT og skog fra andre arealer kompensasjon til grunneier og administrasjon. Det gis i dag liten eller ingen betaling til skogeier for levering av hogstavfall til vei. I Sverige får skogeier betalt opp mot 5 øre/kWh, og det er grunn til å tro at også norske skogeiere vil kreve betaling dersom markedet i Norge blir større og modner. Basert på en gjennomført spørreundersøkelse [1] er det lagt til grunn en betaling til skogeier på 2,9 øre/kWh for GROT og skog fra andre arealer.

**Transport** er en viktig kostnadspost for skogressurser, da dette er en transportintensiv ressurs. Massevirke transporteres i gjennomsnitt 70 km på bil, mens sagtømmer transporteres cirka 60 km. For GROT og biomasse fra andre arealer er det lagt til grunn en transportdistanse på 40 km. Transportavstanden varierer fra fylke til fylke, og generelt vil økt utbygging av bioenergianlegg gi lavere transportkostnader. Jernbane vil være en lønnsom transportmetode med avstander over 130 km, og er i dag i størst utstrekning benyttet på Østlandet og Trøndelag. Lønnsom transport på båt krever normalt leveranse av større partier (3000 m<sup>3</sup>).

**Flising-, lagring- og terminalkostnader** er sentrale kostnader ved behandling, transport og konvertering av skog til bioenergi. Rundvirke flises vanligvis på terminal eller ved større anlegg. Mellomlagring på terminal innebærer ekstra losse-/lessekostnader og lagerkostnader, og bruk av terminal kan også innebære økte transportavstander. Terminalkostnadene viser til lagring og om-lastning, og inkluderer i utgangspunktet ikke tørking. Transportavstanden avgjør om GROT flises på terminal/sluttbruker eller i skogen i Norge. Det er lavere kostnader ved å transportere flis enn løs GROT på grunn av tettheten, men det er samtidig billigere å flise på terminal/sluttbruker enn i skogen.

### 3.1.4 Tekniske og økonomiske utfordringer ved uttak

Figur 3-6 viser årlig avvirkning sammen med tilvekst og stående volum i Norge i fra 1918 til 2011. Avvirkningen har holdt seg relativt stabil i perioden, og har i gjennomsnitt vært på 7,8 millioner m<sup>3</sup>. Dette inkluderer ikke vedhogst. Samlet avvirkning i Norge i 2011 var på nærmere 11 millioner m<sup>3</sup>, der et anslag på samlet vedhogst i Norge er 2,5 millioner m<sup>3</sup>. Figuren viser at det har vært en økning både i tilvekst og stående volum.



Figur 3-6: Avvirkning, tilvekst og stående volum under bart 1918-2011 [1]

Det har vært en langsiktig nedgang i realpris på tømmer de siste 100 årene [13] [1]. Dette har ført til at det har vært mindre attraktivt for skogeiere å avvirke, på tross av økning i stående volum. Mekanisering av hogst og økt produktivitet sammen med økt tilgang på tømmer er hovedforklaringene til at avvirkningen har holdt seg stabil til tross for reduserte tømmerpriser. Norsk skogdrift er moderne og det er i følge Bergseng et. al. lite sannsynlig at kostnadene reduseres vesentlig de nærmeste årene [12], gitt dagens organisasjonsstruktur.

Det er i hovedsak tre aspekter som påvirker de tekniske utfordringene ved uttak av biomasse: terreng, infrastruktur og skogeierne. Terrenget er viktig for fremkommelighet og kostnader for uttak av skog. Til sammenligning, terrenget i Sverige og Finnmark er flatere enn i Norge, noe som påvirker kostnadene i stor grad. Det kan derfor være problematisk å sammenligne kostnader for uttak av skog i Norge med Sverige og Finland.

Høye driftskostnader ved uttak av skog er vist å begrense det realistiske ressurspotensialet. Biomassetthet ved landskapspleie og tynning er førende for kostnadene, og driftsveilegde har en noe mindre betydning. Det er på grunn av høye driftskostnader svært få arealer i Norge hvor det er aktuelt å utnytte biomasse til energiproduksjon etter gjennomført ungsogspleie. Dette ser ut til å være i endring i enkelte områder (områder med høyt aktivitetsnivå i skogbruk), og vi kan potensielt se en endring i løpet av de neste ti årene ved at tynning også etter endt ungsogspleie i større grad benyttes til energiformål.

Veiinfrastruktur og transport av tømmer er videre viktig for leveranse til markedet for prosessering og bruk. Skal nye områder for skogbruk utnyttes, må det etableres flere skogsbilveier. Det viktigste forholdet er allikevel skogeierne<sup>10</sup>, som utgjør 100.000 i Norge. Det er problematisk å forutsi hvordan den samlede atferden til disse er, spesielt over tid, da skogeierne tar individuelle beslutninger basert på en rekke ulike kriterier. Avvirkningsnivået på rundt 10 millioner m<sup>3</sup> over flere tiår, viser at det bør skje relativt store atferdsmessige og/eller strukturelle endringer om ressurspotensialet fra skog skal realiseres.

### 3.1.5 Oppsummering skogressurser

Ressurspotensialet fra skog er betydelig, og er vist for to scenarier. Scenario 1, forventet avvirkning som i dag, anses som det mest realistiske alternativet. GROT vil i dette scenariet utgjøre hovedandelen av ressurspotensialet, sammen med stubber og røtter. Stubber og røtter brukes ikke i Norge i dag, og GROT kun i en liten grad. Bruken mot 2020 anses som begrenset, spesielt for stubber og røtter. Potensialet for rundvirke vil i scenario 1 være begrenset til en reallokering av massevirke som i dag går til treforedlingsindustrien.

Tilgang til massevirke, og dermed også GROT, er vist å henge tett sammen med etterspørsel etter sagtømmer. Ressursanalysen i denne studien forutsetter etterspørsel etter tømmer å være på samme nivå som i dag, og denne forutsetningen må anses som en usikkerhet for den presenterte analysen. Det er allikevel vist tendenser til at avvirkningen i Norge ikke reduseres på tross av redusert etterspørsel i industrien, men at importen reduseres og eksporten øker. Markedsdynamikken i skogsindustrien diskuteres videre i kapittel 5.5.

Tabell 3-10 oppsummerer ressurspotensialet og kostnader for skogressurser til energi. Det realistiske ressurspotensialet fra skog, herunder rundvirke, GROT og stubber og røtter, er 16,5 TWh. Det er i tillegg et teoretisk ressurspotensial fra skog fra rydding og landskapspleie, som øker ressurspotensialet til cirka 19 TWh. Det er ikke estimert et teoretisk ressurspotensial fra verken rundvirke, GROT eller stubber og røtter, der bruk av disse ressursene teoretisk kun begrenses av mengden stående skog i Norge. Kostnadene er lavest for rundvirke og GROT, der stubber og røtter ligger 3-5 øre/kWh over GROT. Skog fra kulturbeite har de laveste kostnadene fra skog fra andre arealer, der de resterende ressurskategoriene for rydding/landskapspleie av skog har kostnader over 30 øre/kWh.

---

<sup>10</sup> Hovedandelen av skogeiendommene er privat eid, og gjennomsnittsstørrelsen er omtrent 500 dekar



Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Rundvirke scenario 1	0,3		16,5	25	-	-
Rundvirke scenario 2	6,2				-	-
GROT scenario 1	6,6		>16,3	-	-	-
GROT scenario 2	9,9				-	-
Stubber og røtter, scenario 1	0,41-1,12		>19,3-21,3		-	-
Skog fra kraftlinjer	-	0,21	39	42	-	-
Skog fra jordbruksareal	-	0,15	119	121	-	-
Skog fra kulturbeite	-	0,32	24	26	-	-
Skog fra rydding av vei og jernbane	-	0,66	38	40	-	-
Skog fra hyttefelt og bebygde områder	-	0,43	32	-	-	-
<b>Sum</b>	<b>16,5-17,2</b>	<b>18,3-19,0</b>				

Tabell 3-4: Oppsummering ressurspotensial og kostnader for bioenergiressurser fra skog

### 3.2 Industrielt avfall

Industrielt avfall viser til det biologiske ressurspotensialet i avfall fra industrien. Industrien produserer årlig 2,8 TWh avfall, der 2,6 TWh benyttes til material- eller energigjenvinning. I tillegg benyttes 2 TWh til intern energiproduksjon i næringsmiddelindustrien og treforedlingsindustrien. Ressurspotensialet for utnyttelse av biobasert avfall fra industrien er i henhold til Ramm og Jarstein en sum av avfall som i dag går til deponering eller annen sluttbehandling og potensial fra øvrige avfallsressurser [9].

Ressurspotensialet for industrielt avfall er basert på rapporten *Bioenergiapotensialet i industrielt avfall*, gjennomført for NVE i 2013 [9]. Arbeidet er basert på informasjon fra SSB, supplert med data fra KLIFs database *Norske Utslipp*, Rubins varestrømsanalyse<sup>11</sup>, intervju med næringsaktører og fagkunnskap. Det foreligger relativt høye usikkerheter for dataene, som er framskrevet til 2010-nivå basert på sysselsatte i industrinæringene. Ressurspotensialet er supplert med annen relevant informasjon, spesielt relevant for industrielt avfall til biogass, og det er i tillegg gjennomført kostnadsanslag.

Studien ser spesielt på fem industrigrupper [9], se Tabell 3-5. . Trelast- og trevareindustrien, papir- og papirvareindustrien, og næringsmiddelindustrien produserer størst mengde biobasert avfall. I tillegg produserer kjemisk industri og trykking/grafisk industri en viss andel avfall. Andre industrigrupper behandles samlet som *annen industri*. Det vises til rapporten for en inngående gjennomgang av industriene. Det vil her kun gjengis en kort gjennomgang av de ulike industrigruppene, før ressurspotensialet fra industrielt avfall og kostnader diskuteres. Tabell 3-5 viser årlige avfallsmengder i industrien i dag.

	Totalt biobasert avfall [GWh]	Ikke klassifisert som avfall
Næringsmiddelindustrien	350	50 GWh, som ukjent, pga. usikkerhet i statistikk
Trelast- og trevareindustri	1630	
Papir- og papirvareindustri	520	2020 GWh, som kokelut til intern energiproduksjon
Trykking/grafisk industri	160	
Kjemisk industri	60	
Annen industri	100	
<b>Totalt</b>	<b>2820</b>	<b>2070</b>

Tabell 3-5: Avfallsmengder i industrien [9]

<sup>11</sup> RUBIN er en stiftelse som arbeider for økt og mer lønnsom utnyttelse av biprodukter fra fiskeri- og oppdrettsnæringen i Norge

Det biobaserte avfallet fra industrien utnyttes i stor grad i dag, på grunn av deponiforbudet for biologisk nedbrytbart avfall fra 2009, høyt energibehov og underskudd på energi i industrien, samt høye kostnader for å bli kvitt avfallet.

**Næringsmiddelindustrien** genererer 350 GWh biobasert avfall årlig, og 50 GWh biprodukter kategoriseres i tillegg som *ukjent til energigjenvinning* [9]. Fiskeforedling og slakterier er de viktigste næringene for denne industrigruppen, og 65 % av avfallet er våtorganisk. 5 % av avfallet fra næringsmiddelindustrien benyttes til biogassproduksjon, nesten 65 % går til materialgjenvinning, og snau 20 % selges til energiformål eller går til intern energigjenvinning. Mesteparten av avfallet som går til materialgjenvinning benyttes til dyrefor, og en andel av det våtorganiske avfallet fra fiskenæringen sendes i dag til Danmark. Fiskeavfall fra primærnæringen som dumpes på/ved land er ikke inkludert i studien, men er anslått til 100 GWh.

**Trelast- og trevareindustri** produserer årlig cirka 1,6 TWh biobasert avfall, i hovedsak rent tre, flis, spon og bark, samt en mindre andel blandet tre [9]. Nesten 40 % av avfallet går til materialgjenvinning, og drøye 35 % går til intern energigjenvinning. I tillegg selges cirka 20 % til energiformål. 20 GWh, eller drøye 1 %, går til deponering eller annen sluttbehandling. Dette må anses som et teknisk potensial, som vanskelig lar seg realisere innen økonomiske rammer. Dette potensialet er i hovedsak aske og bark som er forurenset av sand og stein.

**Papir- og papirvareindustri** generer 520 GWh biobasert avfall, og cirka 2 TWh er i tillegg kategorisert som *ukjent til energigjenvinning* [9]. Dette er i hovedsak kokelut fra papir- og celluloseproduksjon, som benyttes til intern energiproduksjon. Dette er definert som et biprodukt, og ikke avfall. Kun snau 5 % av avfallet og kokeluten går til materialgjenvinning, mens cirka 92 % går til intern energigjenvinning. Situasjonen er ulik for kartong- og papirprodusenter og celluloseprodusenter, da førstnevnte benytter 90 % av tømmeret til produksjon av papir, mens for celluloseproduksjon benyttes kun 40-50 % av tømmeret (andelen cellulose). Celluloseprodusentene besitter derfor et stort energioverskudd, ved lignin og harpiks, og kan fungere som energileverandører ved effektiv utnyttelse. Lignin kan benyttes til produkter med høy verdi, jfr. Borregaard. I analysen presentert i denne rapporten er det ikke fanget opp nedleggelse i industrien, og et eventuelt redusert potensial på bakgrunn av dette er ikke vurdert. Dynamikken i treforedlingsindustrien og sagbruks- og trelastindustrien diskuteres i kapittel 5.5.

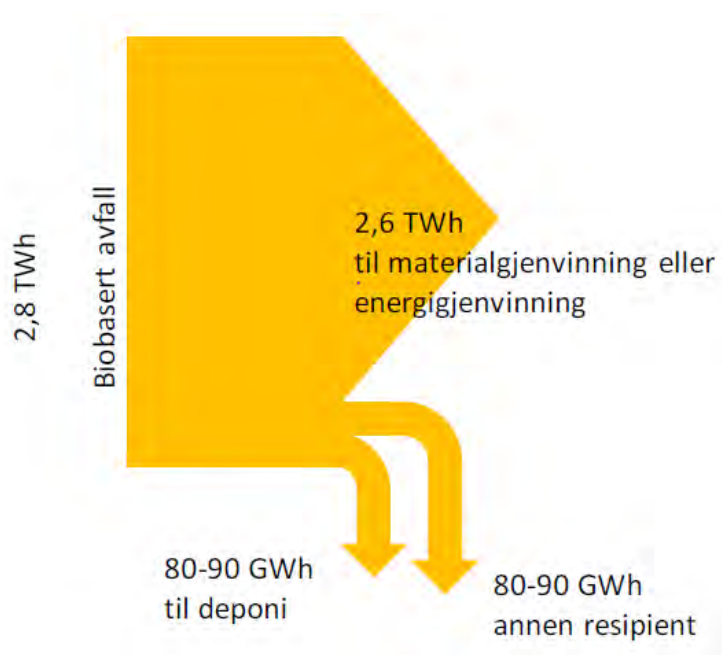
**Trykking og grafisk industri** genererer årlig 160 GWh papir- og pappavfall [9]. Hovedandelen av dette går til materialgjenvinning, og noe selges til energigjenvinning i større forbrenningsanlegg.

**Kjemisk industri** produserer årlig 60 GWh, og benytter en stor andel (fossilt) industrielt avfall til internt energibehov [9]. Cirka halvparten av det biobaserte avfallet går til intern energigjenvinning, og cirka en tredjedel til materialgjenvinning. To tredjedeler av avfallet er rent tre, flis, spon og bark, og det resterende avfallet er fordelt mellom papir/papp og blandet tre.

**Annen industri** inkluderer i tillegg til øvrig industri, metallindustri, gummivare og plastindustri, mineralproduktindustri og møbelindustri [9]. De to sistnevnte står henholdsvis hver for 10 GWh biobasert avfall årlig, mens de to førstnevnte produserer en neglisjerbar mengde avfall. Annen industri genererer årlig 100 GWh biobasert avfall, der en tredjedel henholdsvis er blandet tre og rent tre, flis, spon og bark. Den gjenværende tredjedelen er en sammensetning av papir og papp, blandet restavfall og våtorganisk avfall. 70 % av avfallet går til energigjenvinning og 30 % til intern energigjenvinning.

### 3.2.1 Ressurspotensial

Ressurspotensialet for biobasert industrielt avfall er av Ramm og Jarstein funnet å være 80-90 GWh for henholdsvis deponi og annen sluttbehandling, og representerer det biobaserte avfallet som ikke går til materialgjenvinning, energigjenvinning eller kompost i dag [9]. Det samlede potensialet er funnet å være cirka 170 GWh. Figur 3-4 viser avfallsflyten for den biobaserte andelen av industrielt avfall. Biprodukter fra industriell produksjon regnes som avfall av Ramm og Jarstein, med unntak av biprodukter som videreføres innenfor fabrikkgjerdet gjennom materialgjenvinning og gjenbruk [9].



Figur 3-7: Avfallsflyt for biobasert industrielt avfall [9]

Hovedandelen av det biobaserte avfallet utnyttes i dag til material- eller energigjenvinning, og det er ubetydelige mengder avfall som forbrennes uten energiutnyttelse [9]. Det samlede potensialet for biobasert avfall som i dag går til deponi eller annen sluttbehandling er 110 GWh, og det er antatt en utvinningsgrad på 80 %. I tillegg er det et tilsvarende, men noe lavere potensial fra andre avfallsressurser. Tabell 3-6 viser ressurspotensialet fordelt på industrigruppe og opprinnelse. Næringsmiddelindustrien, trelast- og trevareindustrien, og papir- og papirvareindustrien har det største potensialet for biobasert avfall. Det totale ressurspotensialet summeres til 170 GWh.

	Potensial fra deponi eller annen sluttbehandling [GWh]	Potensial fra øvrige avfallsressurser [GWh]
Næringsmiddelindustrien	24	46
Trelast- og trevareindustri	16	
Papir- og papirvareindustri	32	36
Trykking/grafisk industri	-	-
Kjemisk industri	8	-
Annen industri	8	-
<b>Totalt</b>	<b>88</b>	<b>82</b>

Tabell 3-6: Ressurspotensial fra industrielt avfall, fordelt på industri [9]

Det presiseres at ressurspotensialet på 170 GWh i Tabell 3-6 er svært lavt. Til sammenligning, KLIF [7] viser til et realistisk potensial fra slakteavfall alene på 160 GWh, der det teoretiske potensialet er dobbelt så høyt. Avfall fra fiske/fiskeoppdrett har et teoretisk ressurspotensial på 640 GWh og et realistisk ressurspotensial på 20 % av dette. I tillegg er det et teoretisk ressurspotensial på 230 GWh fra meierier og bakerier, og et realistisk ressurspotensial på halvparten. Det er også et teoretisk ressurspotensial på 280 GWh fra bryggerier, men dette utnyttes som før i dag og det realistiske ressurspotensialet er derfor null. Slam fra treforedlingsindustrien forbrennes i stor grad i dag, og KLIF antar at halvparten av et teoretisk ressurspotensial på 128 GWh kan benyttes til biogassproduksjon.

Det konkluderes med at ressurspotensialet i Ramm og Jarstein [9] bør anses som svært lavt, spesielt for næringsmiddel- og treforedlingsindustrien, men også trelastindustrien. Det er ikke vurdert hva som kan skylle forskjellene, men fragmentert statistikk og ulike definisjoner av av-

fall, biprodukt og produkt kan være grunner til at ulike tilnærminger/metoder fører til ulikt resultat, samt definisjon av hvilke industrigrupper som inngår for industrielt avfall.

Ressurspotensialet for industrielt avfall kan i hovedsak utnyttes i forbrenningsanlegg eller til biogassproduksjon. Ramm og Jarstein viser et potensial på 20 GWh knyttet til næringsmiddelindustrien fra selvdød fisk og organisk avfall fra settefiskanlegg, som kan benyttes til biogass [9]. Det realistiske ressurspotensialet økes i denne rapporten til 128 GWh fra fisk/fiskeoppdrett, og det legges til 160 GWh fra slakteriavfall, 80 GWh fra meierier og 35 GWh fra bakerier, i henhold til KLIF [7]. I tillegg viser Ramm og Jarstein [9] et potensial for metangass fra endrede renseprosesser i treforedlingsindustrien tilsvarende 30-40 GWh, ved overgang fra aerob til anaerob rensing. Det legges til et realistisk ressurspotensial fra treforedlingsindustrien på 64 GWh i henhold til diskusjon over [7]. Dette gir et totalt realistisk biogasspotensial fra industrielt avfall på cirka 0,5 TWh, se Tabell 3-7.

Potensialet for biobasert, fast avfall som i dag går til deponi eller annen behandling er av Ramm og Jarstein [9] angitt til 80-90 GWh, og er et potensial for avfall til forbrenning. Det resterende uspesifiserte potensialet er antatt som et potensial til forbrenning. Dette gir et totalt realistisk ressurspotensial fra industrielt avfall til forbrenning på 112-116 GWh. Det er ikke gjennomført ytterligere vurderinger i forhold til ressurspotensialet til forbrenning.

	Realistiske ressurspotensial til forbrenning [GWh]	Realistiske ressurspotensial til biogass [GWh]	Teoretisk ressurspotensial til biogass [GWh]
Næringsmiddelindustrien	50	403	1470
Trelast- og trevareindustri	16		
Papir- og papirvareindustri	30-36	94-104	158-168
Kjemisk industri	8		
Annen industri	8		
<b>Totalt</b>	<b>112-116</b>	<b>497-507</b>	<b>1628-1638</b>

Tabell 3-7: Ressurspotensial fra industrielt avfall, fordelt på utnyttelse til forbrenning og biogass [9] [7]

### 3.2.2 Kostnader

Kostnadene for industrielt avfall er knyttet til leveranse av avfallet til markedet. Avfallsmarkedet er et kortsiktig og usikkert marked, som er preget av bilaterale avtaler og kontrakter mellom leverandør av avfall og avfallsmegler. Mottaksgebyret omtales ofte som *waste gate fee*, og opptrer som en kostnad for avfallsleverandør. Mottaksgebyret avhenger av avfallsvolum, tilgangsprofil, eventuelle lagringsmuligheter, behov for forbehandling, og nærhet og transportbehov til forbrennings- eller biogassanlegg [9], samt brennverdien som legges til grunn (jfr. kapittel 2.2). Mottaksgebyret diskuteres under, før det overordnet estimeres kostnader knyttet til transport og forbehandling av avfall.

Det norske avfallsmarkedet er tett knyttet til det svenske, og det er i dag en overkapasitet i forbrenningsanleggene i Skandinavia, spesielt i Sverige. Dette fører til høy konkurranse og pressede priser, spesielt da norske anlegg konkurrerer med svenske forbrenningsanlegg. Svenske anlegg er i større grad nedskrevet enn de norske, har større andel kraftproduksjon og har mulighet for høyere avsetning av den produserte varmen, noe som bidrar til høyere energiinntekter. I Sverige oppnås også høyere salgspris for den produserte varmen.

Det norske mottaksgebyret for avfall defineres dermed i stor grad av det svenske mottaksgebyret, og minste gebyr i Norge vil tilsvare minimum gebyr i Sverige pluss transportkostnad. Gjennomsnittlig mottaksgebyr i Sverige er i området 300 til minimum 450 SEK/tonn, med høyest mottaksgebyr i Nord- og Sør-Sverige [16]. Ramm og Jarstein [9] viser til en gjennomsnittlig kostnad for leveranse av industrielt avfall til forbrenningsanlegg i Norge på 480 NOK/tonn. Rambøll har i tidligere prosjekter registrert et gjennomsnittlig mottaksgebyr i området 260-660

NOK/tonn. Det er stor usikkerhet knyttet til mottaksgebyret, både på grunn av bilaterale avtaler med høy variasjon i mottaksgebyr, men også på grunn av svært ulik kvalitet for industrielt avfall. Avfallet vil normalt forbehandles på forbrenningsanlegget, og dette er da en kostnad for anleggseier. Forbehandlet industrielt avfall kan potensielt ha et langt lavere mottaksgebyr enn ubehandlet industrielt avfall.

Med en gjennomsnittlig brennverdi på 2,9 MWh/tonn [2], vil leveransekostnaden for industrielt avfall ligge i området 9-23 øre/kWh. Det presiseres at denne kostnaden må anses som et usikkert gjennomsnitt, og at mottaksgebyret for avfall kan ligge lavere, spesielt i områder med kort transportavstand til Sverige. Enkelte avtaler kan også ligge betydelig over dette gjennomsnittet.

Avfall Norge viser et mottaksgebyr for våtorganisk industrielt avfall i området 250-700 NOK/tonn [17]. Forbehandling av avfall kan påvirke dette mottaksgebyret i stor grad. Ved en brennverdi på 0,8 MWh/tonn<sup>12</sup> [9], tilsvarer et mottaksgebyr på 250-700 NOK/tonn en kostnad i området 31-88 øre/kWh.

Kostnadene knyttet til transport og forbehandling av avfall er svært usikre, men estimeres allikevel for å tydeliggjøre kostnadsbildet for industrielt avfall sammenlignet med andre bioenergiresurser som diskuteres i denne rapporten. Rambøll har i tidligere prosjekter registrert en behandlingsskostnad for kverning av avfall i området 20-50 NOK/tonn, og en generell forbehandlingsskostnad i området 100-200 NOK/tonn, eller 3,5-6,9 øre/kWh. I tillegg, for skogressursene er det lagt til både terminal- og administrasjonskostnader, på henholdsvis 2,5-4,5 øre/kWh for terminalkostnader og 2 øre/kWh for administrasjon. Disse kostnadspostene inkluderes også for industrielt avfall. Det presiseres at det ikke er inkludert verken innsamlings- eller transportkostnad.

	[øre/kWh]
<b>Forbehandling</b>	3,5-6,9
<b>Terminalkostnader</b>	2,5-4,5
<b>Administrasjon</b>	2
<b>Sum eks. transport</b>	<b>8-13,4</b>

Tabell 3-8: Kostnader for industrielt avfall

Anleggskostnadene for biogassproduksjon fra næringsavfall og fiskeavfall er sammenlignbart med kostnadene for produksjon av biogass diskutert i kapittel 3.3 (se Tabell 3-10), og ligger dermed i området 44-75 øre/kWh [9]. Denne kostnaden inkluderer både forbehandling, lagring og andre anleggskostnader. Kostnader knyttet til utnyttelse av metangass fra treforedlingsindustrien er avhengig av utnyttelse; kapitalkostnader for en gasskjel eller oppgraderingskostnad for produksjon av flytende biogass (LBG, *liquid biogas*). Oppgraderingskostnader er diskutert innledningsvis i kapittel 3.3, mens kostnader knyttet til endret renseteknologi i treforedlingsindustrien fra aerob til anaerob rensing er ukjent [9].

### 3.2.3 Oppsummering industrielt avfall

Tabellen under viser det realistiske ressurspotensialet og kostnader for industrielt avfall. Det realistiske ressurspotensialet for industrielt avfall er relativt beskjedent og utgjør totalt 0,6 TWh. Både kostnader og mottaksgebyr for fast og våtorganisk industrielt avfall må anses som svært usikkert. Kostnadene knyttet til industrielt avfall er langt høyere for den våtorganiske fraksjonen til biogass. En sammenligning mellom kostnader og mottaksgebyr for industrielt avfall tyder allikevel på at ressursen i dag kan være lønnsom.

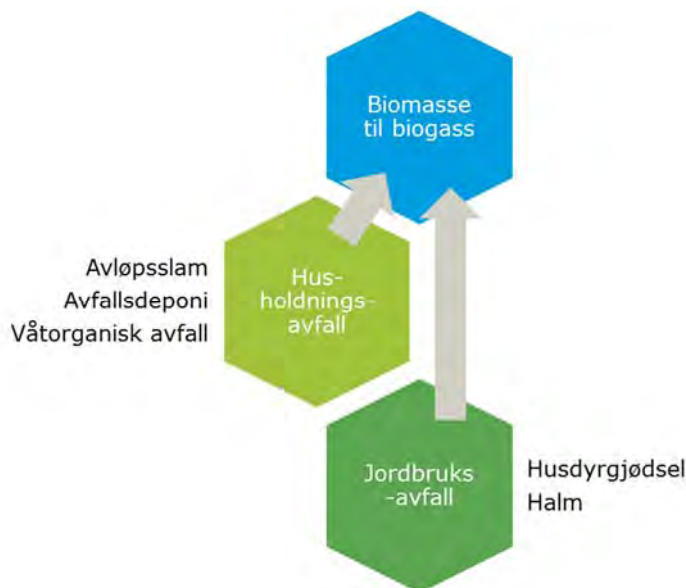
<sup>12</sup> Denne verdien må anses som usikker, da sammensetningen av avfallet ikke er vurdert

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Industrielt avfall til forbrenning	0,11-0,12		8	13,4	9	23
Industrielt avfall til biogass	0,50-0,51	1,63-1,64	44	75	58	155
<b>Sum</b>	<b>0,61-0,63</b>	<b>1,74-1,76</b>				

Tabell 3-9: Oppsummering ressurspotensial og kostnader industrielt avfall

### 3.3 Biomasse til produksjon av biogass

Ressurspotensialet og kostnader for biomasse til produksjon av biogass vurderes i dette kapitlet avløpslam, avfallsdeponi, våtorganisk avfall fra husholdningene og handel, husdyrgjødsel og halm, se Figur 3-8. I tillegg utgjør en andel av industrielt avfall diskutert i kapittel 3.2 en del av biogasspotensialet. Det presiseres at flere av ressursene som diskuteres i dette kapitlet kan benyttes til ulike formål, for eksempel forbrenning og dyrefôr. Et eksempel er halm, der ressurspotensialet og kostnader er fordelt mellom bruk til biogass og forbrenning, der halm til forbrenning diskuteres i kapittel 3.4. Kornavrens er en annen ressurs som kan benyttes til biogass, men det er valgt å kategorisere kornavrens som andre råstoff, og diskuteres i kapittel 3.4.



Figur 3-8: Biomasse til biogass som vurderes i denne rapporten

I dag er 0,5 TWh av ressurspotensialet for biomasse til biogass realisert, og det foreligger konkrete planer om å utnytte ytterligere 0,3 TWh av potensialet [7]. Det er i hovedsak biogassproduksjon fra avløpslam og avfallsdeponi som er realisert i dag. En mindre andel av ressurspotensialet for biogass fra våtorganisk avfall utnyttes også. Hovedandelen av det resterende realistiske ressurspotensialet for biogass kommer dermed fra husdyrgjødsel og våtorganisk avfall. Det presenterte ressurspotensialet i dette kapitlet ekskluderer den realiserte andelen av ressurspotensialet, i henhold til metoden for denne rapporten diskutert i kapittel 2.

Det er relativt begrenset informasjon om kostnader for enkelte av ressursene til biogass. Tabell 3-10 viser investeringskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader for ulike anleggstyper [18]. Dette er totalkostnader og inkluderer både forbehandling, utrætning, lagring og andre anleggskostnader, og er fordelt på anleggets levetid. Det presiseres at disse kostnadene er basert på svenske anlegg, og bør derfor anses som lave i norsk sammenheng. Produksjon av biogass i Norge er foreløpig en umoden teknologi, og usikkerhetene vil dermed være høye. Det anses som

realistisk at kostnadene reduseres mot 2020 når teknologien kommersialiseres, og kostnadene i Tabell 3-10 anses derfor som realistiske kostnader mot 2020.

Anleggstype	Investeringskostnad [øre/kWh]	Drifts- og vedlikeholds-kostnad [øre/kWh]	Total [øre/kWh]
Biogassanlegg for flytende avfall	5-8	6-11	11-19
Biogassanlegg for husholdningsavfall og halvfast avfall med høy kapasitet	12-44	34-66	46-110
Gårdsanlegg og mindre anlegg	22-39	6-7	28-46

**Tabell 3-10: Kostander biogass, fordelt på anleggstype [18]**

Hvis biogass skal oppnå naturgasskvalitet, i hovedsak ved bruk til transport, må gassen oppgraderes til drivstoffkvalitet. Kostnadene for oppgradering av biogass fremkommer som et tillegg til kostnadene vist i Tabell 3-10, og utgjør i området 15-22 øre/kWh [19, 20]. Kostnadene for økning av trykk til CBG (*compressed biogas*) er 6 øre/kWh, mens kostnadene for produksjon av LBG (*liquid biogas*) er 47 øre/kWh. Disse kostnadene er uavhengig av ressurskategori, og inkluderes ikke i kostnadsanslagene.

### 3.3.1 Avfallsdeponi

Biogass kan hentes ut fra nedlagte avfallsdeponi. Dette er svært hensiktsmessig i et klimaperspektiv, og utnyttes i stor grad i dag. Biogass fra avfallsdeponi utgjør halvparten av dagens biogassproduksjon. Det teoretiske potensialet for biogass fra avfallsdeponi er snau 0,3 TWh, og tilsvarende det realistiske ressurspotensialet [7]. Ressurspotensialet for biogassproduksjon fra avfallsdeponi utnyttes i stor grad i dag, men det gjenstår et mindre teoretisk potensial på cirka 0,04 TWh.

Anslagsvis halvparten av biogassen fra avfallsdeponi utnyttes til energiformål, og den resterende halvparten fakles. Dette betyr at deponier som i dag fakler biogassen inngår i den andelen biogass som utnyttes i dag. Fakling benyttes for å redusere klimapåvirkningen fra metanutslipp fra deponi, ved å samle opp metan og omdanne gassen til CO<sub>2</sub>.

Biogassproduksjon fra avfallsdeponi er i dag bedrifts- og samfunnsøkonomisk lønnsomt [19]. Dette vil bety at nettokostnad, etter eventuelle tilskudd, er lavere enn inntektene fra salg av biogass. Kostnader er ukjent [12].

Tabellen under oppsummerer informasjonen over. Ressurspotensialet for biogass fra avfallsdeponi utnyttes i dag, men det gjenstår et teoretisk ressurspotensial på cirka 0,04 TWh. Kostnader er ukjent, men biogassproduksjon er både bedrifts- og samfunnsøkonomisk lønnsom.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Avfallsdeponi	-	0,04	-	-	-	-

### 3.3.2 Avløpsslam

Avløpsslam er et (bi)produkt fra avløpsvann ved rensing i et avløpsrenseanlegg, og består av organisk materiale, næringssalter og forurensninger. Det realistiske potensialet for biogassproduksjon fra avløpsslam er cirka 0,14 TWh [7], og utnyttes i dag. Det gjenstår et teoretisk potensial for avløpsslam på cirka 0,1 TWh.

Biogassanlegg vil generelt få betalt for mottak av avløpsslam. Avfall Norge viser kostnader og mottaksgebyr for en rekke norske biogassanlegg, der mottaksgebyret for kommunalt slam er vist å ligge 33 % høyere og 38 % lavere enn våtorganisk husholdningsavfall for to anlegg [17]. Det er dermed stor usikkerhet knyttet til kostnaden for avløpsslam. Rambøll anser det som realistisk at mottaksgebyret for avløpsslam er lavere enn for husholdningsavfall, og det benyttes et gjennomsnittlig lavere gebyr på 3 % sammenlignet med mottaksgebyret for våtorganisk hushold-

ningsavfall, se kapittel 3.3.3. Mottaksgebyret for avløpslam indikeres dermed å ligge i området 58-155 øre/kWh<sup>13</sup>. Det presiseres at det er et svært begrenset datagrunnlag. Se kapittel 3.3.3 for diskusjon av mottaksgebyret for våtorganisk husholdningsavfall, og kapittel 2.1 for en utdypende diskusjon av mottaksgebyr.

Investeringskostnadene knyttet til et biogassanlegg for flytende avfall ligger i området 4,6-8,1 øre/kWh, og drifts- og vedlikeholdskostnadene utgjør 6-11 øre/kWh. Samlet anleggskostnad utgjør dermed 11-19 øre/kWh. Det er tidligere i dette kapittelet vist til at denne kostnaden er basert på svenske anlegg, og må dermed anses både som usikker og lav.

Tabellen under oppsummerer informasjonen over. Kostnadene tyder på at avløpslam er en lønnsom ressurs i dag. Dette støttes også av det faktum av at det realistiske ressurspotensialet allerede utnyttes i dag. I tilfeller der mottaksgebyret ligger i nedre del av det angitte intervallet, vil fortsatt biogass fra avløpslam være en lønnsom ressurs, selv uten at inntekter fra salg av biogass vurderes.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Avløpslam	-	0,1	11	19	58	155

### 3.3.3 Våtorganisk avfall fra husholdninger og handel

4 % av den totale avfallsmengden ble sendt til biologisk behandling i 2011 [21]. Dette inkluderer både biogassproduksjon og kompostering, og representerer syv ganger økning siden 1995. For husholdningsavfall ble 14 % av avfallet sendt til biologisk behandling i 2012, herunder 3 % til biogassproduksjon [22].

Det teoretiske ressurspotensialet for våtorganisk avfall fra husholdninger, storhusholdninger og handel til biogass er 0,84 TWh, og det realistiske potensialet er 0,48 TWh [7]. En andel på snau 0,1 TWh utnyttes til biogass i dag. Det betyr at det realistiske ressurspotensialet for våtorganisk avfall til biogass er cirka 0,4 TWh, og det teoretiske ressurspotensialet utgjør cirka 0,8 TWh. Dette ressurspotensialet hensyntar ikke befolkningsvekst og økning i avfallsmengder mot 2020.

Mottaksgebyret for husholdningsavfall til biogassproduksjon er av Avfall Norge vist å ligge i området 300-800 NOK/tonn [20]<sup>14</sup>. Mottaksgebyret avhenger i stor grad om det er abonnentene som må dekke kostnadene for anlegget, eller om behandlingen av avfall er satt ut på anbud. Hvis abonnentene dekker kostnadene kan mottaksgebyret være høyere enn 800 NOK/tonn. Når avfallet er satt på anbud er konkurransen med svenske og danske anlegg høy, og disse anleggene kan ha langt lavere mottaksgebyr enn norske anlegg. Hovedgrunnen til at svenske og danske anlegg kan ha et lavere mottaksgebyr er i hovedsak på grunn av at disse anleggene i langt større grad er nedskrevet enn norske anlegg, samt at ulike rammebetingelser fører til at inntektene fra salg av biogass og strøm er høyere.

Det velges å legge til grunn et relativt høy spenn i mottaksgebyr for kildesortert husholdningsavfall, som vist over. Ved å benytte en brennverdi for våtorganisk avfall fra husholdninger på 0,8 MWh/tonn [10], ligger mottaksgebyret i området 38-100 øre/kWh. Se kapittel 2.1 for en utdypende diskusjon av mottaksgebyr.

Kostnadene for biogassproduksjon i et anlegg for husholdningsavfall og halvfast avfall ligger i området 46-110 øre/kWh [18]. KLIF rapporterer en samfunnsøkonomisk kostnad for produksjon av biogass fra våtorganisk husholdningsavfall i området 50-54 øre/kWh [7] [19]. Den bedriftsøkonomiske kostnaden for produksjon ligger cirka 30 % høyere. Annen litteratur viser høyere

<sup>13</sup> Basert på en brennverdi for avløpslam på 0,5 MWh/tonn [9]

<sup>14</sup> Dette mottaksgebyret er noe høyere enn mottaksgebyret for husholdningsavfall presentert i kapittel 3.4.3. Det anses derfor som realistisk at mottaksgebyret for våtorganisk avfall kan være lavere



kostnader, for eksempel [20], men det velges å legge til grunn nyere verdier fra KLIF, og kostnadene antas derfor å ligge i området 50-54 øre/kWh.

Tabellen under oppsummerer informasjonen over. En sammenligning av kostnader og mottaksgebyr tyder på at våtorganisk avfall er en ressurs som i stor grad kan være lønnsom til biogassproduksjon. Det kan være en risiko knyttet til lavt mottaksgebyr og potensielt høye kostnader, og lønnsomheten vil avhenge av inntektene fra salg av biogass.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Våtorganisk avfall fra husholdn. og handel	0,4	0,8	50	54	38	100

### 3.3.4 Husdyrgjødsel

Husdyrgjødsel er kun en interessant ressurs når denne omdannes til biogass, og ressursen utnyttes ikke i dag [7]. Husdyrgjødsel utgjør den største delen av biogasspotensialet i Norge. Det teoretiske potensialet er 2,5 TWh [18], og det realistiske potensialet er 0,74 TWh [7].

Avfall Norge viser et mottaksgebyr for husdyrgjødsel i området 0 NOK/tonn til 28 % lavere enn husholdningsavfall [17]. Det er vanlig at bønder leverer husdyrgjødsel kostnadsfritt til biogassanlegg ved at de også kostnadsfritt får avhente biorest, som benyttes som gjødsel og spres på jorder. Det legges til grunn et mottaksgebyr for husdyrgjødsel i området 0-115 øre/kWh<sup>15</sup>, de det anses som mest realistisk at mottaksgebyret er 0. Det presiseres at datagrunnlaget for å estimere mottaksgebyret er svært begrenset og usikkert. Se kapittel 2.1 for en generell diskusjon av mottaksgebyr.

KLIF viser en samfunnsøkonomisk kostnad for produksjon av biogass fra husdyrgjødsel på 75-125 øre/kWh, der den bedriftsøkonomiske kostnaden ligger cirka 30 % høyere [19] [7]. Kostnadene kan holdes lave og potensielt reduseres ved å benytte den lettest tilgjengelige husdyrgjødselen med relativt korte transportavstander.

Tabellen under oppsummerer informasjonen over. Ressurspotensialet for husdyrgjødsel utgjør det største av alle ressursene til biogass, med et teoretisk potensial så høyt som 2,5 TWh. Med en praksis der bønder leverer husdyrgjødsel kostnadsfritt, altså mottaksgebyr på null, kan det være utfordrende å få lønnsomhet i biogassproduksjon fra husdyrgjødsel, avhengig av inntekten fra biogassen. Selv med et mottaksgebyr i øvre område, som indikert under, avhenger lønnsomheten av energiinntekten fra biogass ved høye kostnader. Kort transportavstand kan derfor potensielt være en forutsetning, der den lettest tilgjengelige ressursen utnyttes. Geografisk fordeling av ressurspotensialet og lokasjon av gårder med husdyrhold diskuteres i kapittel 3.6.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Husdyrgjødsel	0,74	2,5	75	125	0	115

### 3.3.5 Halm til biogass

Halm er et biprodukt fra kornproduksjon og produksjon av oljevekster [12]. Halm kan både benyttes som brensel til forbrenning og til produksjon av både biogass og biodrivstoff. Samtidig kan ressursen også benyttes til fôr, strø for husdyr og brennes eller pløyes for å tilføre næringsstoffer til jorda. Halm til biogass diskuteres i dette kapitlet, mens halm til forbrenning diskuteres i kapittel 3.4.1.

Flere kilder har vurdert ressurspotensialet for halm, og de nyeste studiene gjengis her. Det teoretiske potensialet for halm til biogass er av KLIF vurdert å være 0,6 TWh [18], og det realistiske potensialet 0,17 TWh. KLIFs anslag på bruk av halm forutsetter at 30 % av halmen utnyttes til

<sup>15</sup> Det er antatt en brennverdi tilsvarende avløpsslam på 0,5 MWh/tonn

biogass og resten til forbrenning, da en høy brennverdi fører til at halm er svært egnet til forbrenning. NVE fant i 2011 et teoretisk potensial på cirka 0,85 TWh, og et realistisk potensial på halvparten. Netto tilgang av halmtørrestoff til biobrensel er av Skog og Landskap og Bioforsk estimert til 1,82-3,07 TWh, avhengig av stubbehøyde og bruk av stråforkortning [23] [24]. Dette ekskluderer bruk av halm til fôr, strø og talle i norsk husdyrproduksjon, som utgjør cirka 0,47 TWh. Bioforsk har tatt utgangspunkt i SSBs kornavlingsstatistikk for årene 2011-2009, og stubbehøyde har mye å si for hvor mye halm som blir liggende igjen på åkeren.

Den velges i denne rapporten å legge til grunn netto ressurspotensial for halm til biobrensel i området 1,82-3,07 TWh, med KLIFs antagelse om at 30 % kan benyttes til biogass og resten til forbrenning. Det betyr at det realistiske ressurspotensialet for halm til biogass er 0,55-0,92.

Anleggskostnadene for biogassproduksjon fra halm antas å kunne representeres ved et gårdsanlegg eller mindre anlegg, og vil dermed ligge i området 28-46 øre/kWh [18], se diskusjon innledende i kapittel 3.3. Denne anleggskostnaden inkluderer ikke transport av halm, men inkluderer kostnader knyttet til både forbehandling og lagring. Ved å inkludere transportkostnader, se Tabell 3-12, øker kostnaden for halm til biogass til 29,3-48,5 øre/kWh. Halm inneholder lignin og er mer tungt nedbrytbart enn andre ressurser egnet til biogassproduksjon. Dette betyr lengre oppholdstid i reaktoren eller mer forbehandling. Dette vil bety høyere kostnader sammenlignet med for eksempel husdyrgjødsel. Det presiseres at dette ikke er hensyntatt i kostnadsanslaget.

Tabellen under oppsummerer informasjonen gitt over for halm. Det realistiske ressurspotensialet utgjør 0,55-0,92 TWh [7], der 30 % av halmressursen til energi antas som et potensial til biogass. Kostnadene for halm til biogass må anses som usikre og lave, da det ikke er hensyntatt utfordringer knyttet til nedbrytning av halm, sammenlignet med for eksempel husdyrgjødsel. Halmressursen vil i motsetning til avfallsressurser til biogassproduksjon ikke inkludere et mottaksgebyr, og det kan i den sammenheng være større utfordringer knyttet til lønnsomhet.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Halm til biogass	0,55-0,92	-	29,3	48,5	-	-

### 3.3.6 Oppsummering biomasse til biogass

Tabellen under oppsummerer ressurspotensial og kostnader for biomasse til produksjon av biogass. Ressurspotensialet påvirkes av bruk og utnyttelse av ressursen i dag, der biogass fra avfallsdeponi og avløps slam utnyttes i stor grad. Det gjenstår kun et mindre teoretisk ressurspotensial for avfallsdeponi og avløps slam. Husdyrgjødsel utnyttes ikke i dag, og våtorganisk avfall og halm utnyttes kun i begrenset grad, og disse ressursene har et relativt høyt ressurspotensial. Sammen utgjør husdyrgjødsel, våtorganisk avfall og halm hele det realistiske ressurspotensialet. I tillegg er det antatt at en stor andel av halm benyttes til forbrenning, noe som diskuteres videre i kapittel 3.4.

Kostnadene og mottaksgebyr for bruk av biomasse til biogass bør anses som usikre. Mottaksgebyret er vist å være sentralt for lønnsomheten for flere av ressursene, spesielt for våtorganisk avfall. Inntektene fra energisalg vil dermed avgjøre lønnsomheten. Det er vist at avfallsdeponi og avløps slam er lønnsomt i dag, og det er også disse ressursene som utnyttes til biogassproduksjon i størst grad i dag.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Avfallsdeponi	-	0,04	-	-	-	-
Avløpsslam	0	0,1	11	19	58	155
Våtorganisk avfall fra husholdn. og handel	0,4	0,8	50 <sup>x</sup>	54 <sup>x</sup>	38	100
Husdyrgjødsel	0,74	2,5	75 <sup>x</sup>	125 <sup>x</sup>	0	115
Halm til biogass	0,55-0,92	-	29,3	48,5	-	-
<b>Sum</b>	<b>1,69-2,06</b>	<b>3,99-4,36</b>				

**Tabell 3-11: Oppsummering ressurspotensial og kostnader for bioenergiressurser til biogass**

<sup>x</sup> Samfunnsøkonomisk kostnad

### 3.4 Biomasse fra andre råstoff

Biomasse fra andre råstoff utgjør kornavrens, den biobaserte andelen av husholdningsavfall, oljevekster, energivekster og mikro- og makroalger. Olje- og energivekster anses som mindre aktuelt for norske forhold, og det er derfor ikke gjennomført noen kostnadsvurdering for disse ressursene. Det er ikke gjennomført en analyse av ressurspotensialet for mikro- og makroalger. Det er store usikkerheter knyttet til både ressurspotensial og kostnader for ressursene omtalt i dette kapittelet, men disse omtales allikevel da flere av ressursene anses som viktige for fremtidig økt utnyttelse av bioenergi, om enn i et noe lengre tidsperspektiv enn ressursene omtalt tidligere i rapporten.

#### 3.4.1 Halm til forbrenning

Kapittel 3.3.5 diskuterer ressurspotensialet for halm til biogass, og det er vist at totalt realistisk ressurspotensial for halm til biobrensel er i området 1,82-3,07 TWh [24, 23]. KLIF antar at 70 % av halmressursen benyttes til forbrenning [7]. Dette resulterer i et realistisk ressurspotensial for halm til forbrenning på 1,27-2,15 TWh.

Det er utfordringer knyttet til forbrenning av halm, og brenselet må tørkes til 12-14 % fuktinnhold [12]. Forbrenningsteknologien har blitt bedre, og det benyttes i dag halm i mindre gårds- og industriarealer. Danmark benytter halm i en mer utstrakt grad enn hva som er tilfelle i Norge, der bruken av halm utgjør cirka 5 TWh, noe som er 1/3 av ressurspotensialet i landet [23].

NVE har anslått en kostnad knyttet til forbrenning av halm i området 8,5-12,3 øre/kWh ekskludert transport. Inkludert transport og opplasting ligger kostnaden i området 9,8-16 øre/kWh, se [12]. Transport er en usikker kostnadspost, da ressursen har høy geografisk spredning. Skog og Landskap har estimert kostnader i samme området, se Tabell 3-12 [23].

	Kostnad [øre/kWh]
Pressing, innsamling og transport	7,5-10
Lagring	2,5-6,5
Sum	10-16,5
<b>Total, inkl. virkningsgrad</b>	<b>13-22</b>

**Tabell 3-12: Kostnader for forbrenning av halm [12]**

Tabellen under oppsummerer informasjonen gitt over. Det realistiske ressurspotensialet utgjør totalt 1,27-2,15 TWh [7], med en antakelse om at 70 % av halm som biobrenselressurs er et potensial til forbrenning. Kostnadene for halm til forbrenning er lavere enn kostnadene for halm til biogass, men det er problematisk å sammenligne disse to kostnadspostene, spesielt da energiinntekter ikke er hensyntatt.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Halm til forbrenning	1,27-2,15	-	13	22	-	-

### 3.4.2 Kornavrens

Kornavrens er en samlebetegnelse for avfall fra rensing av korn, som kan benyttes som brensel på tilsvarende måte som halm. Realistisk ressurspotensial for kornavrens ble av NVE anslått å være 0,08 TWh, basert på en kornleveranse på 1,25 millioner tonn [12]. Dette er basert på at 1,6 % av råkornet kan benyttes som brensel, og samme brennverdi som halm. Gjennomsnittlig kornleveranse i perioden 2010-2013 var 1,1 millioner tonn korn. Kornavrens kan benyttes til både fôrproduksjon, proteinproduksjon, biogassproduksjon og forbrenning. KLIF vurderer også et teoretisk ressurspotensial på 0,08 TWh, og reduserer det realistiske ressurspotensialet til biogass til halvparten [7]. På bakgrunn av lavere kornleveranse de siste årene og hensyntatt at ressursen kan benyttes til fôr- og proteinproduksjon, reduseres det realistiske ressurspotensialet fra kornavrens til 40 GWh. Dette potensialet er ikke fordelt mellom biogassproduksjon og forbrenning.

Kornavrens har spredt produksjon og høye transportkostnader, noe som også er tilfelle for husdyrgjødsel og halm, og som kan gjøre dette til en lite konkurransedyktig ressurs for større, sentraliserte anlegg. Det er ikke gjennomført noen kostnadsberegning for kornavrens som ressurs.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Kornavrens	0,04	0,08	-	-	-	-

### 3.4.3 Husholdningsavfall

56 % av husholdningsavfallet leveres til forbrenning i dag [22]. Potensialet for husholdningsavfall til forbrenning med energiutnyttelse påvirkes av både utsortert våtorganisk avfall til biogassproduksjon og resirkulering og materialgjenvinning. Avfall til forbrenning har totalt økt med 141 % fra 1995 til 2011 i Norge, der innføring av deponeringsforbud av biologisk nedbrytbart avfall har hatt stor innvirkning. I tillegg har økte avfallsmengder påvirket dette, sammen med en rekke tiltak, som investeringsstøtte fra Enova, sluttbehandlingsavgift på avfall som leveres til deponi og fjerning av forbrenningsavgiften fra oktober 2010 [21]. Mengden husholdningsavfall var i 2011 2,3 millioner tonn, noe som tilsvarer 23 % av den totale avfallsmengden [21].

Ressurspotensialet for husholdningsavfall vil henge sammen med avfallsveksten fram mot 2020, som følge av befolkningsvekst og økte avfallsmengder per innbygger, og forbrenningskapasiteten. Veksten i husholdningsavfall er framskrevet med 49 % økning fra 2010 til 2020 i Nasjonal Avfallsstrategi, og følger den økonomiske veksten [21]. Husholdningene vil være den viktigste avfallskilden i 2020. Fordelingen av materialer i avfallet vil forbli relativt uforandret.

Mengden husholdningsavfall var i 2010 totalt 2,1 millioner tonn [22]. Ved å anta at andelen avfall som leveres til forbrenning holdes lik gjennomsnittet for 2011-2012 (56 %), vil den totale mengden husholdningsavfall til forbrenning i 2020 tilsvare 1,7 millioner tonn. Dette vil tilsvare 5,0 TWh ved en brennverdi for avfall på 2,9 MWh/tonn [2]. Det er i dagens marked kamp om avfallet, noe som tilsier at ressursen utnyttes i dag. Tatt i betraktning den svenske forbrenningskapasiteten, og planlagte nye anlegg i Sverige basert på import av avfall, kan det se ut til at kampen om avfallet vil fortsette.

En analyse av forbrenningskapasitet og tilgjengelig avfallsmengder i dag og fremover må legges til grunn for å tallfeste ressurspotensialet. Det konkluderes her med at ressursen utnyttes i stor grad i dag, noe som kan observeres ved den høye konkurransen, og at det planlegges økt forbrenningskapasitet. Ressurspotensialet anses derfor som begrenset, men er ikke kvantifisert.

Gjennomsnittlig mottaksgebyr i Norge er av Rambøll i tidligere prosjekter funnet å ligge i området 250-630 NOK/tonn, eller 9-22 øre/kWh. Dette er noe lavere enn mottaksgebyret for industrielt avfall. Det er en trend i markedet at prisene presses på grunn av høy konkurranse med spesielt svenske anlegg, og det er observert en nedgang i mottaksgebyr. Mottaksgebyret er som tidligere diskutert svært usikkert, og en utdypende diskusjon av mottaksgebyret er gjennomført i kapittel 2.2 og 3.2.2, og diskuteres blant annet i [25].

#### 3.4.4 Oljevekster

Raps og rybs er de dominerende oljevekstene i Norge, mens palmeolje, raps, soya, peanøtter og solsikke utgjør hovedandelen av plantebasert fett globalt [26]. Andre oljevekster som kan være egnet i Norge er lin, åkersennep, ringblomst, valmue, crambe og koreander. Oljevekster har et høyt innhold av protein og fett, med et fettinnhold på 30-50 % på massebasis. Oljevekster har et ressurspotensial på cirka 0,2-0,25 TWh årlig i Norge [26]. Disse tradisjonelle oljevekstene er utfordrende i et bærekraftperspektiv, særlig på grunn av konkurranse med matproduksjon. Norge har lite jordbruksareal og matvaresikkerhet er et viktig prinsipp i norsk jordbrukspolitik [14]. Det er derfor lite sannsynlig at man vil se noen betydelig grad av omlegging fra mat eller fôr til energiproduksjon. Det realistiske ressurspotensialet vurderes derfor til 0 for oljevekster, mens det teoretiske ressurspotensialet settes til 0,25 TWh.

Nye oljevekster er mindre krevende utfra et bærekraftperspektiv, og eksempler er *Camelina* og *Jatropha*. *Camelina* regnes som en avling med lav risiko og lave investeringskostnader som kan dyrkes på marginale arealer, også i kaldt klima. *Jatropha* kan også dyrkes på marginale arealer og kan vokse i ulike klimasoner. *Camelina* har lavere kostnader enn *Jatropha*, da *Jatropha* har en krevende innhøsting og er svært sensitiv til lønnskostnader.

#### 3.4.5 Energivekster

Energievekster dyrkes typisk med høy tørrstoffproduksjon, høyt utbytte og høy tetthet, og benyttes til energiformål, både til forbrenning, biodrivstoff- og biogassproduksjon. Energiskog og energigras utgjør hovedgruppene av energivekster. I Norge er det etablert noen mindre områder med energiskog og energigras [26]. En viktig grunn til at energivekster er interessant er at de kan dyrkes på marginale arealer som er lite egnet til annen, tradisjonell jordbruksproduksjon [14]. Konflikt med matproduksjon elimineres dermed.

Noen typer energigras er elefantgras (*Mischantus*), strandrør (Reed Canarygras), alfalfa, sorghum og hamp [26]. Fyringsteknisk har energigrass likhetstrekk med halm. Energiskog viser til hurtigvoksende arter som pil (*Salix*) og poppel (blant annet osp). Det teoretiske potensialet for energivekster i Norge ble av Hohle et. al. vist å være 2,4 TWh årlig for energiskog, og 0,8 TWh årlig for energigras [26]. Bruk av energivekster i Norge anses som lite sannsynlig på kort sikt.

Energievekster kan være en relevant ressurs for import [14]. Energigras forventes å dominere i USA og Canada, mens det i Europa er størst potensial for energiskog. Energievekster er globalt i en utviklings- og tidlig kommersialiseringsfase. *Mischantus* har relativt høye etableringskostnader, mens energiskog har høye kostnader knyttet til innhøsting – 46-60 % av totale produksjonskostnader. Det knyttes forhåpninger til at dagens forsøksproduksjon av energivekster øker og fremtidig spiller en viktig rolle for biomassetilgang. Scenarier viser en mulig økning i tilgang på 40 % fra 2010 til 2020, der Nord-Amerika vil være den største produsenten av både energigras og energiskog.

#### 3.4.6 Mikro- og makroalger

Alger anses som en viktig ressurs for fremtidig bruk av bioenergi. Det skiller normalt mellom mikro- og makroalger. Makroalger viser til tang og tare, mens mikroalger er mikroorganismer som encellede planteplankton eller cyanobakterier som i dag lever fritt i havet eller i ferskvann, men som også kan produseres og kultiveres på land i kontrollerbare former [14]. Alger er hurtigvoksende, konkurrerer ikke med tradisjonelle matvekster og produserer i mange tilfeller mer biomasse per areal og volum enn landbaserte plantevekster. Mange typer alger kan vokse både i

saltvann, brakkvann og forurenset vann, og legger i de fleste tilfeller mindre press på ferskvann enn andre biomasseressurser.

Det eksisterer mer enn 40.000 typer mikroalger og få har blitt kartlagt i detalj [14]. Mikroalger kan produseres på mange ulike måter, for eksempel i åpne dammer eller i fotobioreaktorer, med kunstig eller naturlig belysning. De typer mikroalger som benyttes i kommersiell produksjon i dag er optimisert for å vokse i områder med mildt klima og mye sol. Alger er godt egnet til produksjon av biodrivstoff. Undersøkelser har vist at det hittil bare er produksjonssystemer med åpne dammer som gir muligheten for en økonomisk levedyktig drivstoffproduksjon, og da bare når produksjonskostnadene er på et minimum. I Norge er fotobioreaktorer den mest aktuelle produksjonsmetoden, da tilgangen på flatt land og klima fører til at produksjon i åpne dammer ikke er egnet. Fotobioreaktorer kan ha en høyere investeringskostnad enn åpne dammer.

Makroalger er allerede en kommersiell råvare globalt, også i Norge for alginatproduksjon [14]. Forholdene langs Norges kyst egner seg for dyrking av visse typer tang og tare. Det er allikevel flere problemstillinger langs hele produksjonsskjeden som må løses for at makroalger skal kunne dyrkes og prosesseres i industriell skala, og biodrivstoff fra makroalger er ikke kommersielt i dag. Faktorer og utfordringer som må løses inkluderer hele verdikjeden fra tangarter, fremstilling og vekst til høsting, næringsstoffer, lokalisering, bærekraft, prosessering og støtte.

Hohle et. al. har vurdert potensialet for makroalger i Norge [26]. Norges tang- og tareskoger utgjør omtrent 10.000 km<sup>2</sup>, tilsvarende det samlede arealet av dyrket mark. Beregnet bestand er 15 millioner tonn, med en årlig tilvekst på cirka 4 millioner tonn tare og 1 million tonn tang. Det er tre typer makroalger: grønnalge, brunalge og rødalge [27]. For makroalger til biodrivstoffproduksjon har bruntare størst fokus. Hohle et. al. vurderer kun et utvalg av bruntare som kommersielt høstbar, med hensyn til tilgjengelig mengde: grisetang og stortare, med henholdsvis cirka 35.000 tonn/år og 160.000 tonn/år [26]. Norges tilvekst av tang og tare tilsvarer 17 TWh, der kommersielt høstbar bruntare tilsvarer 0,7 TWh.

Norge har lang tradisjon med akvakultur og oppdrett, og har fjorder og skjermet kyst med øyer, naturlig tilgang på næringsstoffer og et godt utviklet regelverk for akvakultur, som er under tilpasning til storskala algedyrkning [14]. Det er dessuten mye spillvarme fra mange anlegg i nærheten av kysten, også med tilgang til røykgass (CO<sub>2</sub>), som kan benyttes til algeproduksjon. DNV har identifisert mulige lokasjoner for mikroalgeproduksjon med tilgang til CO<sub>2</sub> som en begrensende faktor [27]. 33 industrielle anlegg i Norge har teoretisk sett nok CO<sub>2</sub> til produksjon av 40 millioner liter algeolje (cirka 0,3 TWh) i 2011, og 8 anlegg har nok CO<sub>2</sub> til 200 millioner liter algeolje (cirka 1,5 TWh)<sup>16</sup>. En hovedutfordring er tilgang til tilstrekkelig næringsstoffer, i tillegg til det som finnes naturlig i havet.

Kommersialisering av biodrivstoffproduksjon fra alger vil kreve en drastisk reduksjon i råstoffkostnad sammenlignet med i dag [27]. DNV viser at kostnadene for mikroalger er langt høyere enn kostnadene for makroalger i dag.

#### 3.4.7 Oppsummering biomasse fra andre råstoff

Tabellen under oppsummerer ressurspotensial og kostnader for biomasse fra andre råstoff. Det er kun estimert kostnader for halm til forbrenning, og det er også denne ressursen som utgjør det største realistiske ressurspotensialet. Det er heller ikke kvantifisert et ressurspotensial for husholdningsavfall og mikroalger. Tabell 3-13 viser at ressurspotensialet er størst for energivekster, foruten halm. Det presiseres at alger har et stort potensial, men at dette ikke er kvantifisert. Oljevekster vurderes som lite egnet på grunn av bærekraftskriterier, men import av sertifisert bærekraftige vekster kan være realistisk.

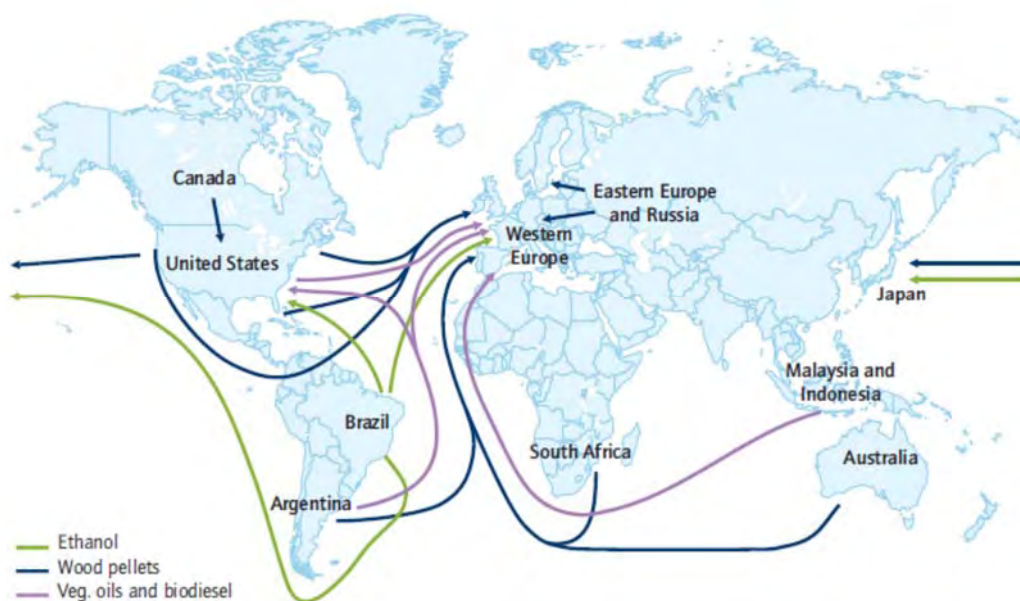
<sup>16</sup> Basert på 2,1 kg CO<sub>2</sub>/kg alge [27]. Basert på en energitetthet for algeolje på 7,5 kWh/l

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
Halm til forbrenning	1,27-2,15	-	13	22	-	-
Kornavrens	0,04	0,08	-	-	-	-
Husholdningsavfall til forbrenning	-	-	-	-	9	22
Oljevekster	0	0,25	-	-	-	-
Energivekster	-	3,2	-	-	-	-
Makroalger	0,7	-	-	-	-	-
<b>Sum</b>	<b>2,05-2,93</b>	<b>5,5-6,38</b>				

Tabell 3-13: Oppsummering ressurspotensial og kostnader bioenergiressurser fra andre råstoff

### 3.5 Import og eksport

Det er et betydelig potensial på det internasjonale markedet av ulike typer råstoff. Pellets og treflis fra USA har de mest konkurransedyktige prisene inkludert transport til Norge, og har et større potensial enn jordbruksavfall og energivekster. Vegetabiliske, ikke-spiselige oljer ser ikke ut til å være et relevant råstoff på grunn av høye kostnader. Biobutanol og cellulosebasert bioetanol forventes i økende grad og omsettes på det internasjonale markedet fremover. Figur 3-9 viser en oversikt over global handel av bioetanol, pellets og biodiesel.



Figur 3-9: Global handel av bioetanol, pellets og biodiesel [28]

Import av pellets har hatt en markant økning, og har økt fra cirka 9.000 tonn i 2008 til 29.000 tonn i 2012, med en midlertidig nedgang i 2009 [6]. Det har samtidig vært en nedgang i eksport av pellets fra 2006 til 2010, før eksporten økte fra cirka 750 tonn i 2010 til 70.000 tonn i 2012. Hovedgrunnen til økningen i eksport er pelletsfabrikken Biowood på Averøya, som nå er nedlagt. Eksport av briketter har økt fra cirka 4.300 tonn i 2006 til 9.600 i 2012. Det har også vært en økning i import av briketter frem til 2011, men importen ble markant redusert i 2012. Det konkluderes med at både import og eksport av pellets og briketter har økt i perioden 2006-2009, der spesielt pellets utgjør en høy andel. Pellets og briketter er godt egnet for handel, på grunn av gode egenskaper for lagring.

Eksport av avfall har økt betydelig siden 2002 [21]. Eksport av avfall var i 2011 1,7 millioner tonn – 700.000 tonn mer enn i 2010. Forbrenningskapasiteten i Norge, mottaksgebyr for avfall og materialgjenvinning påvirker eksporten av avfall. Sverige er en viktig mottaker av avfall til

særlig forbrenning. Import av avfall var i 2011 i underkant av 480.000 tonn, der farlig avfall utgjorde over 80 % av dette. Import og eksport av avfall reguleres gjennom EØS-regelverk og Baselkonvensjonen.

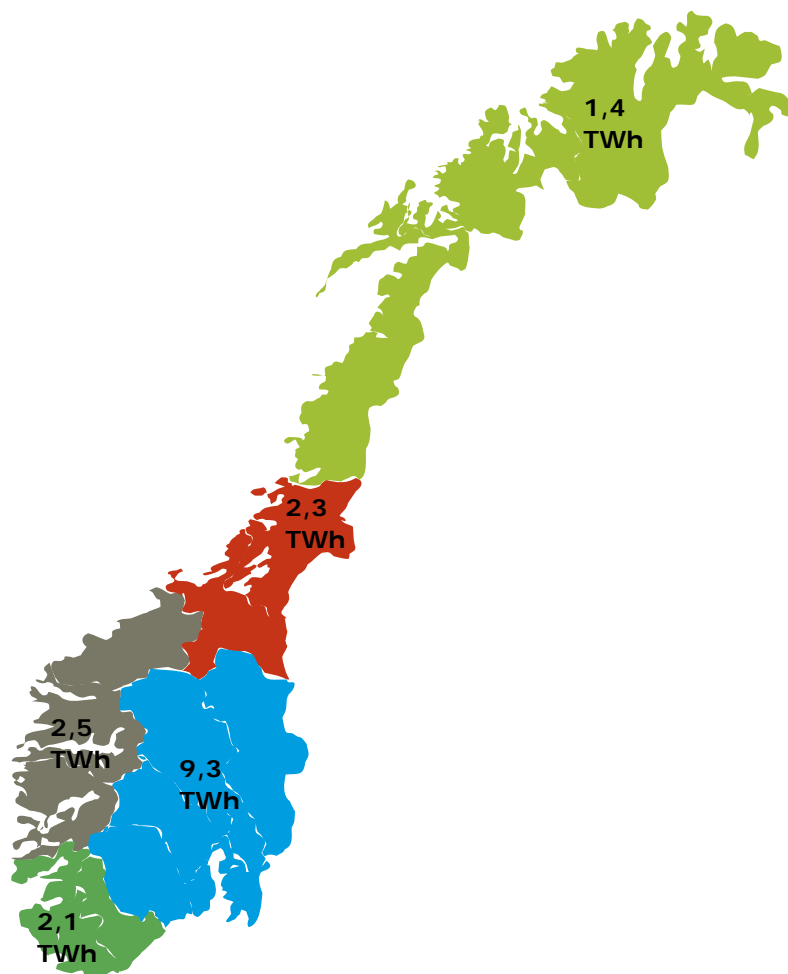
Import av råstoff kan være en mulighet for å øke biobrensel og –drivstoff-forbruket i Norge. Det vil i denne sammenheng være viktig at biomassen er sertifisert som bærekraftig. Import og eksport av ressurser er ikke inkludert i ressurspotensialet, og kostnader er ikke estimert. I tillegg, Norge er en betydelig importør av tømmer til i hovedsak industrien, og i mindre grad til energiformål [29].

### 3.6 Geografisk fordeling av ressurspotensial

Ressurspotensialet er delt inn i fem regioner: 1) Østlandet, 2) Agder-Rogaland, 3) Vest-Norge, 4) Trøndelag og 5) Nord-Norge. Figur 3-10 viser ressurspotensialet fra skog og industrielt avfall. Industrielt avfall er fordelt som i Ramm og Jarstein [9], og utgjør en svært liten del av det totale potensialet vist i figuren – kun 3 % for hele landet. Ressurskategoriene diskutert i kapittel 3.3 og 3.4 er ikke inkludert i Figur 3-10, men diskuteres overordnet avslutningsvis i dette kapittelet for de ulike landsdelene. Hvor jordbruksbedrifter er lokalisert vil benyttes som en indikator til hvor ressurspotensialet for husdyrgjødsel, halm, kornavrens, energivekster og oljevekster oppstår, mens befolkning vil benyttes for å beskrive ressurspotensialet fra avfallsdeponi, avløpslam og husholdningsavfall.

Det største ressurspotensialet for skog og industrielt avfall finnes på Østlandet, og utgjør mer enn 50 % av det totale potensialet. Nord-Norge har det laveste ressurspotensialet, mens de resterende landsdelene har relativt likt potensial. Ressurspotensialet for de ulike landsdelene gjennomgås under, med særlig fokus på skog. Skogressursene fordelt på fylkesnivå er vist i vedlegg 3. Vedlegg 2 viser industriell avvirkning av skog i Norge i dag, og vil benyttes for å sammenligne dagens bruk av skog med ressurspotensialet. Østlandet er den viktigste regionen for både avvirkning og ressurspotensial i dag, og Nord-Norge har lavest avvirkning og lavest ressurspotensial.





Figur 3-10: Geografisk fordeling av ressurspotensial for skog og industrielt avfall

**Østlandet** utgjør det geografiske området med det desidert største ressurspotensialet, summert til 9,3 TWh for skog og industrielt avfall. Dette utgjør 53 % av det totale ressurspotensialet fra skog og industrielt avfall. Ressurspotensialet for industrielt avfall utgjør 0,35 TWh. Til sammenligning, bruken av industrielt avfall i regionen i dag er 3,0 TWh. Det største ressurspotensialet fra industrielt avfall finnes på Østlandet og i Trøndelag.

Hedmark har et ressurspotensial fra skog på 2,8 TWh, noe som tilsvarer mer enn 30 % av ressurspotensialet i regionen. Oppland har det nest størst potensialet med 1,7 TWh. Hedmark og Oppland er også de fylkene med høyest avvirkning i dag. Østlandet stod totalt for 80 % av den totale industrielle avvirkningen i Norge i 2012.

Oslo og Vestfold har det laveste ressurspotensialet for skog på Østlandet, begge mindre enn 0,5 TWh, der også Østfold har et lavt ressurspotensial. Buskerud, Akershus og Telemark har omtrent det samme ressurspotensialet, i overkant av 1 TWh.

**Agder-Rogaland** har et ressurspotensial på 2,1 TWh, eller 12 % av det totale ressurspotensialet. Ressurspotensialet fra industrielt avfall utgjør kun 0,04 TWh [9]. Aust-Agder og Vest-Agder besitter henholdsvis 40 % av regionens ressurspotensial fra skog, mens Rogaland står for 20 %. Avvirkningen av industriell skog i regionen i dag er kun 7 % av Norges totale avvirkning.

**Vest-Norge** har et ressurspotensial på 2,5 TWh. Industrielt avfall utgjør 0,04 TWh [9]. Hordaland og Møre og Romsdal har det største ressurspotensialet for skog på henholdsvis 40 % og 35 %. Ressurspotensialet i regionen utgjør snau 15 % av det totale ressurspotensialet. Regionen står i dag for 7 % av industriavvirkningen [30].

Ressurspotensialet i **Trøndelag** er 2,3 TWh, eller 13 % av det totale ressurspotensialet. Industrielt avfall utgjør 0,13 TWh [9]. Det største ressurspotensialet for skog finnes i Nord-Trøndelag, på 1,4 TWh. Avvirkningen av industrivirke i Trøndelag utgjør i dag 7 % av den totale avvirkningen, der Nord-Trøndelag er viktigst.

**Nord-Norge** har et anslått ressurspotensialet på 1,4 TWh, der industrielt avfall kun utgjør 0,04 TWh. Det presiseres at Finnmark ikke er inkludert i Landskogtakseringen, og det anslåtte ressurspotensialet for skog er derfor svært usikkert for dette fylket. SSB rapporterer heller ikke avvirkning for Finnmark. Det anslås at det er beskjedne mengder som avvikes i Finnmark i dag, og at det økonomiske ressurspotensialet er svært begrenset. Stående volum og tilvekst er lav, og mye av arealene ligger langt fra vei.

Nordland utgjør hovedandelen av ressurspotensialet for skog i regionen, sammen med i mindre grad Troms. Avvirkning av industrivirke i regionen er svært lav, Nordland og Troms utgjør kun 2 % av Norges avvirkning. Avvirkningen i Nord-Norge finner i all hovedsak sted i Nordland.

Ressurspotensialet for **biomasse til biogass** og **biomasse fra andre råstoff** kan beskrives geografisk ved hjelp av utvalgte indikatorer. Lokaliseringen av jordbruksbedrifter som driver med landbruk og husdyrhold indikerer geografisk fordeling av ressursene husdyrgjødsel, halm, kornavrens, energivekster og oljevekster. Befolkningsfordeling vil påvirke avfallsstrømmene som genereres.

Nesten halvparten av jordbruksbedringene i Norge og 30 % av husdyrgårdene ligger på Østlandet [31, 32]. Dette gir en indikasjon på at også en betydelig andel av ressurspotensialet for husdyrgjødsel, halm og kornavrens, samt også energivekster og oljevekster, finnes på Østlandet. KLIF viser at spesielt Østfold, Vestfold og Mjøsregionen har et høyt potensial for husdyrgjødsel [7]. Fylkene med mest halm er Østfold, Akershus og Hedmark, der Østlands- og Trøndelagsfylkene har omtrent like stor halmproduksjon i hvert fylke [24]. Produksjonen i øvrige fylker er liten.

Vest-Norge, Agder-Rogaland og Trøndelag er generelt viktige regioner for landbruk. I Vest-Norge er særlig husdyrhold viktig, og 26 % av jordbruksbedriftene som driver med husdyrhold i Norge ligger her. KLIF viser at Stavanger-regionen har et høyt ressurspotensial for husdyrgjødsel [7]. Potensialet i Nord-Norge anses som svært begrenset for jordbruksressurser.

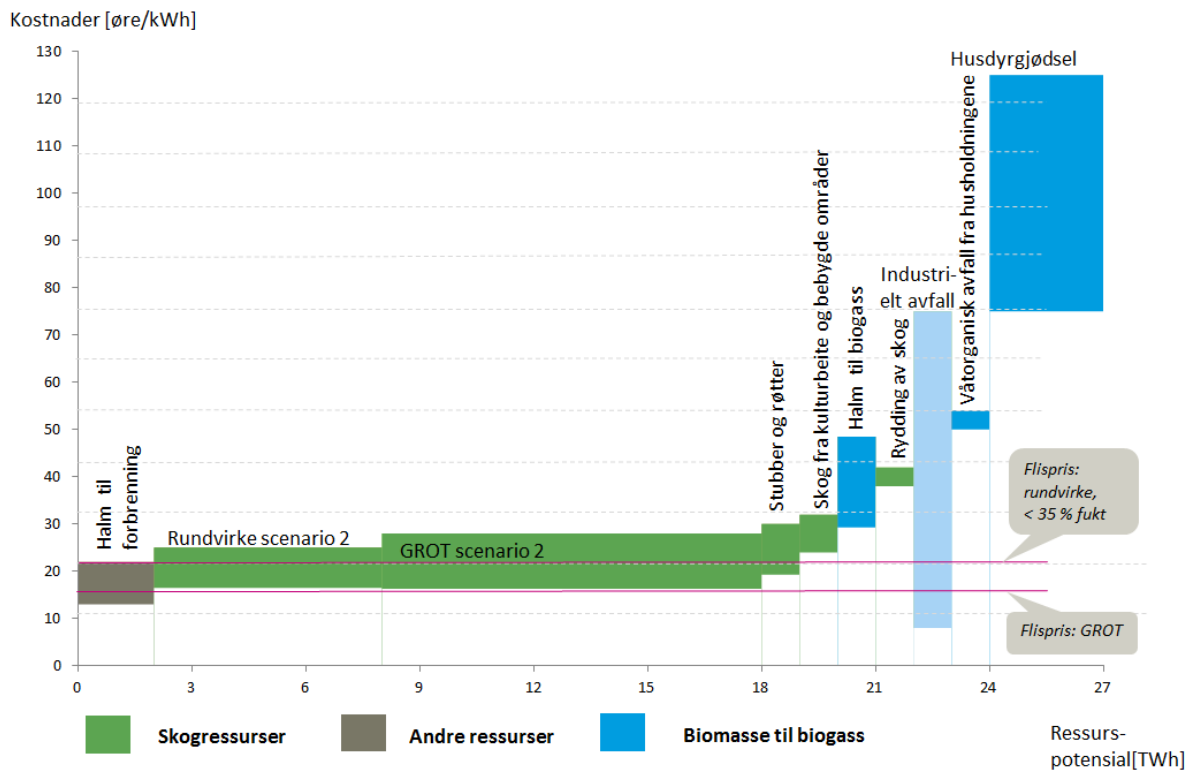
50 % av befolkningen var bosatt på Østlandet i 2012 [33], noe som indikerer at en betydelig andel av ressurspotensialet fra avfallsstrømmene oppstår i denne regionen; avløpslam, husholdningsavfall og avfallsdeponi. KLIF viser at spesielt Oslofjordregionen utgjør et viktig bidrag av det teoretiske ressurspotensialet for avløpslam og våtorganisk avfall [7]. Videre, 17 % og 15 % av befolkningen i Norge er bosatt i henholdsvis Vest-Norge og Agder-Rogaland, og kun 9 % av befolkningen er bosatt i Nord-Norge og Trøndelag. Her er byene langs kysten i Agder-Rogaland, Vest-Norge og Trøndelag, samt Trondheimsregionen, viktig for det teoretiske ressurspotensialet fra våtorganisk avfall og avløpslam [7].

Sentralisert bosetning med høy befolkningstetthet indikerer at det økonomisk tilgjengelige ressurspotensialet på Østlandet er høyt. Spredt produksjon og høye transportkostnader vil være en utfordring for flere regioner, der de større byområdene er unntak. Bruken av ressurser i regionene i dag er ikke kjent eller vurdert, og det er derfor ikke mulig å fordele ressurspotensialet for de biomassekategoriene foruten skog og industrielt avfall geografisk.

### 3.7 Kostnadskurve

Figur 3-11 viser en kostnadskurve for bioenergiressurser i Norge, diskutert i dette kapitlet. Kurven gir ett inntrykk av både hvilke ressurser som tilbyr det største potensialet og til hvilken kostnad. Det er halm til forbrenning og skogressurser som kan levere ressurser til lavest kostnader, i hovedsak i form av rundvirke og GROT for skogressursene. Kostnadskurven viser ressurspotensialet fra rundvirke og GROT ved økt hogst til balansekvantum, altså scenario 2.

Kostnadskurven viser at det er mulig å tilgjengeliggjøre cirka 20 TWh bioenergiressurser til en kostnad under 30 øre/kWh. Dette vil vise seg å være sammenlignbart med det totale realistiske ressurspotensialet for bioenergiressurser, som vil vises i Tabell 3-14.

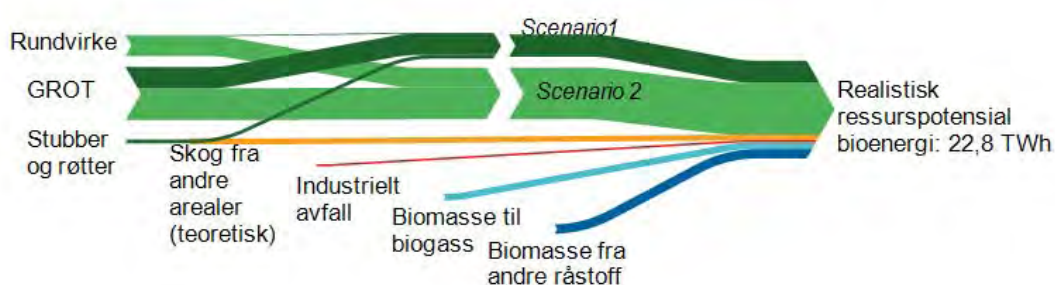


Figur 3-11: Kostnadskurve for bioenergiressurser i Norge

Ressurser med lavt potensial, herunder avløps slam, fremkommer ikke i kostnadskurven på grunn av det lave potensialet. Videre, det har ikke vært mulig å estimere kostnader for avfallsdeponi og biomasse fra andre råstoff (se kapittel 3.4), så disse ressursene fremkommer heller ikke i kostnadskurven. Ressursene vist i Figur 3-11 viser i hovedsak det teoretiske ressurspotensialet, med unntak av rundvirke, GROT, stubber og røtter og halm.

### 3.8 Oppsummering ressurspotensial og kostnader

Figur 3-12 viser maksimalt årlig ressurspotensial i Norge mot 2020, der Tabell 3-14 videre kvantifiserer både potensialet og kostnader. Det største ressurspotensialet for bioenergi finnes i skogen. En stor andel av potensialet kan oppnås uten å øke avirkningen over dagens nivå, scenario 1 (mørkegrønt i figuren), da i hovedsak i form av uttak av GROT. Den største mengden tilgjengelig bioenergi kan hentes ut ved å øke avirkningen til balansekvantum, scenario 2 (lysegrønt i figuren). Ved økning av uttaket av skog til balansekvantum vil også en stor andel av potensialet være i form av rundvirke. Det påpekes at biomasse til energiformål henger tett sammen med aktiviteten i trelastindustrien, noe som ikke er vurdert i denne sammenheng. Ressurspotensial fra biomasse til biogass og biomasse fra andre råstoff utgjør den største ressursen foruten skog, der husdyrgjødsel og halm er ressursene som utgjør det største bidraget. Industrielt avfall utgjør en svært liten andel av ressurspotensialet, men estimatet bør anses som usikkert. Ressurspotensialet fra andre råstoff, som mikro- og makroalger, kan potensielt være betydelig.



Figur 3-12: Ressurspotensial bioenergi i Norge © Rambøll

Tabell 3-14 på neste side viser realistisk ressurspotensial, teoretisk ressurspotensial, kostnader og eventuelt mottaksgebyr for ressurskategoriene diskutert i dette kapitlet. Tabellen er delt inn i de hovedkategorier diskutert: skog, industrielt avfall, biomasse til biogass og biomasse fra andre råstoff. Det totale realistiske ressurspotensialet er anslått til mellom 21 og snaue 23 TWh. Det teoretiske ressurspotensialet er anslått til 30-32 TWh. Skog utgjør nesten 80 % av det kartlagte realistiske ressurspotensialet, mens biomasse til biogass utgjør 11 % av det realistiske ressurspotensialet (inkludert industrielt avfall til biogass). Olje- og energivækster utgjør et relativt høyt teoretisk potensial, men anses ikke som relevante ressurser i Norge, spesielt i et bærekrafts perspektiv.

Kategori	Ressurspotensial [TWh]		Kostnader [øre/kWh]		Mottaksgebyr [øre/kWh]	
	Realistisk	Teoretisk	Min	Maks	Min	Maks
<b>Skog</b>						
Rundvirke scenario 1	0,3	-	16,5	25	-	-
Rundvirke scenario 2	6,2	-			-	-
GROT scenario 1	6,6	-	16,3	-	-	-
GROT scenario 2	9,9	-			-	-
Stubber og røtter scenario 1	0,41-1,12	-	>19,3-21,3	-	-	-
Kraftlinjer	-	0,21	39	42	-	-
Jordbruksareal	-	0,15	119	121	-	-
Kultarbeite	-	0,32	24	26	-	-
Rydding av veier og jernbane	-	0,66	38	40	-	-
Hyttfelt og bebygde områder	-	0,43	32	-	-	-
<b>Sum skog</b>	<b>16,5-17,2</b>	<b>18,3-19,0</b>				
<b>Industrielt avfall</b>						
Til forbrenning	0,11-0,12	-	8	13,8	9	23
Til biogass	0,50-0,51	1,63-1,64	44	75	31	8
<b>Sum industrielt avfall</b>	<b>0,6</b>	<b>1,7</b>				
<b>Biomasse til biogass</b>						
Avfallsdeponi	0	0,04	-	-	-	-
Avløps slam	0	0,1	11	19	58	155
Våtorganisk avfall fra husholdn. og handel	0,4	0,8	50 <sup>x</sup>	54 <sup>x</sup>	38	100
Husdyrgjødsel	0,74	2,5	75 <sup>x</sup>	125 <sup>x</sup>	0	115
Halm til biogass	0,55-0,92	-	29,3	48,5	-	-
<b>Sum biomasse til biogass</b>	<b>1,7-2,1</b>	<b>4,0-4,4</b>				
<b>Biomasse fra andre råstoff</b>						
Halm til forbrenning	1,27-2,15	-	13	22	-	-
Kornavrens	0,04	0,08	-	-	-	-
Husholdningsavfall til forbrenning	-	-	-	-	9	22
Oljevekster	0	0,25	-	-	-	-
Energivekster	-	3,2	-	-	-	-
Makroalger	0,7	-	-	-	-	-
Avfall fra fiske, primærnæring	-	0,1	-	-	-	-
<b>Sum biomasse fra andre råstoff</b>	<b>2,0-2,9</b>	<b>5,6 -6,5</b>				
<b>Sum totalt</b>	<b>20,8-22,8</b>	<b>29,6-31,6</b>				

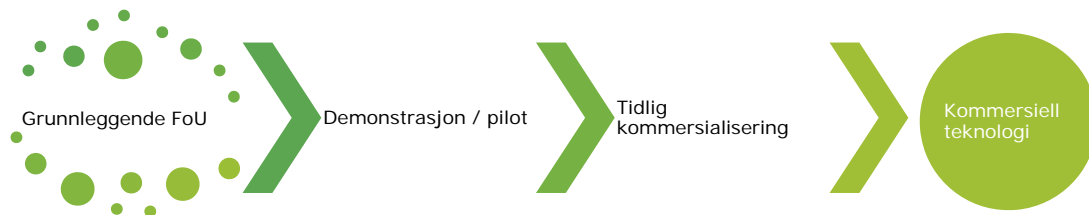
Tabell 3-14: Oppsummering av årlig ressurspotensial og kostnader mot 2020

<sup>x</sup> Samfunnsøkonomisk kostnad

Det er ikke estimert et kostnadsanslag for biomasse fra andre råstoff, med unntak av halm, samt for avfallsdeponi. Avfall fra fiske, fra primærnæring (ikke industri), er ikke diskutert i denne studien, men ressurspotensial er anslått. Det presiseres at kostnadene for uttak av skog for henholdsvis scenario 1 og scenario 2 er like, og det er ikke vurdert hvordan økt hogst opp mot balansekvantum påvirker kostnadene for skogressursene.

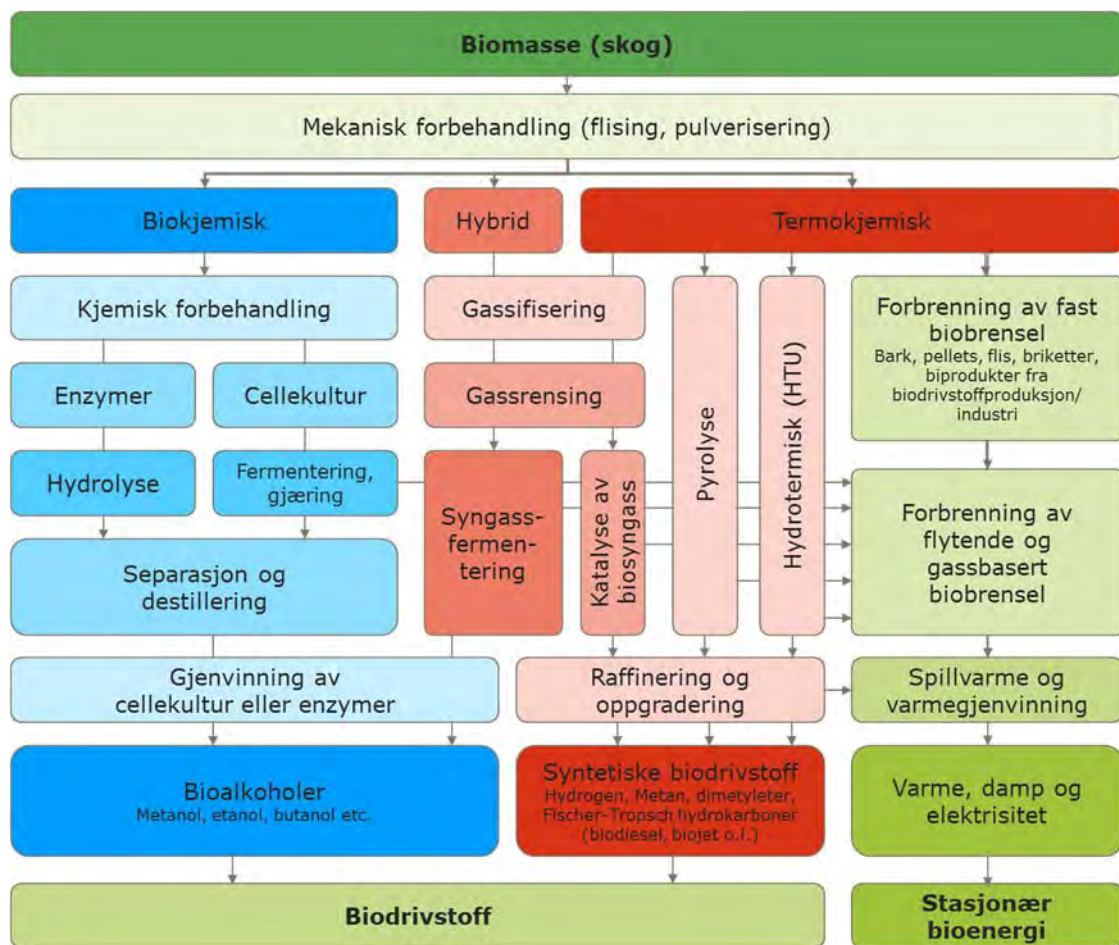
## 4. TEKNOLOGISK UTVIKLING

Teknologisk utvikling og gjennombrudd er avhengig av samspillet mellom forskning på teknologi, og industri- og markedsutvikling for teknologiene [34]. En rekke av de konvensjonelle teknologiene som benyttes i dag har hatt lang tid på å bli utviklet. Teknologier som ikke er kommersialisert er i denne utviklingen i dag, og omtales som umodne. Dette kapitlet vil diskutere teknologisk utvikling og modenhet for bioenergi, samt diskutere kostnadsutvikling læringskurver for bioenergi. Teknologisk modenhet vil kategoriseres som grunnleggende FoU, demonstrasjon/pilot, tidlig kommersialisering og (sen) kommersialisering, vist i Figur 4-1.



Figur 4-1: Metode og tilnærming for å sammenlikne teknologisk modenhet

Figur 4-2 viser en oversikt over ulike konverteringsruter og teknologier for biomasse fra skog. Det finnes i tillegg flere teknologiruter for alger, planteoljer, slakteavfall etc<sup>17</sup>. Skog utgjør hovedandelen av ressurspotensialet i Norge, og den påfølgende diskusjonen vil derfor i stor grad fokusere på skog. Diskusjonen vil også i stor grad fokusere på bioenergi til flytende og gassbasert biodrivstoff, da det er for disse teknologiene teknologit utviklingen er størst.



Figur 4-2: Ulike konverteringsruter og teknologier for bioenergi fra skog © Rambøll

<sup>17</sup> I tillegg kan biohydrogen og biometan produseres for den biokjemiske ruten

#### 4.1 Bioenergi til stasjonære formål

Biomasse til stasjonære formål er generelt en moden, kommersiell teknologi som det har vært fokus på i Norge i flere år. Eksempler på dette er ved til private husholdninger og fjernvarme. Bioenergi utgjorde i 2012 51 % av brenselet til fjernvarmeproduksjon<sup>18</sup> [4]. Fjernvarmebransjen står overfor to viktige utfordringer: utvikling av 100 % fornybare varmeløsninger og redusert varmebehov i stadig bedre isolerte bygg [35, 36]. Redusert varmebehov medfører at installasjonskostnadene for varmeanlegg, som er høye i Norge, fordeles på mindre energi, noe som kan være en økonomisk utfordring for fjernvarmeaktørene.

De teknologiske utviklingstrekkene for fjernvarme er primært knyttet til smarte termiske nett og produksjonsteknologiene [36]. Utvikling av smarte termiske nett inkluderer blant annet tredjepartsadgang ved forsyning av varme fra kunder og utvikling av lavtemperatur nett. De teknologiske utfordringene knyttet til produksjon av fjernvarme er å få en jevn varmetilførsel fra forbrenning av variable fornybare varmeteknologier. I denne sammenheng fungerer bioenergi som en stabil grunnlastkilde.

Bioenergi kan potensielt også dekke spisslastbehovet i fjernvarmenettet, noe som vil bidra til å redusere utslippene. Fossile kilder utgjorde 7 % i fjernvarmen i 2012 (ekskluder fossilandelen i avfall), og har i snitt siden 2000 utgjort 12 % [4]. Både flytende og gassbaserte biobrensler kan benyttes til spisslast, samt pellets/trepulver. Flytende og gassbaserte biobrensel til stasjonære formål følger de samme produksjonsprosessene som flytende og gassbasert biodrivstoff, men oppfyller normalt ikke så strenge produktkrav som biodrivstoff. Mange forbrenningsanlegg kan håndtere lavere kvaliteter av biobrensel, selv om disse i økende grad standardiseres med hensyn til kvalitet, energiinnhold o.l. Bioråolje (ikke rensert eller oppgradert) er mer korrosiv enn fossil fyringsolje, noe for eksempel norske fjernvarmeaktører har erfart, og rør, pumper og ventiler må dimensjoneres for en lavere pH.

Spillvarme generelt, og fra biodrivstoffproduksjon spesielt, kan benyttes i fjernvarmeproduksjon og –distribusjon. Dette vil både være et økonomisk insentiv for utbygging av biodrivstoffanlegg og et miljøvennlig alternativ for varmeprodusentene.

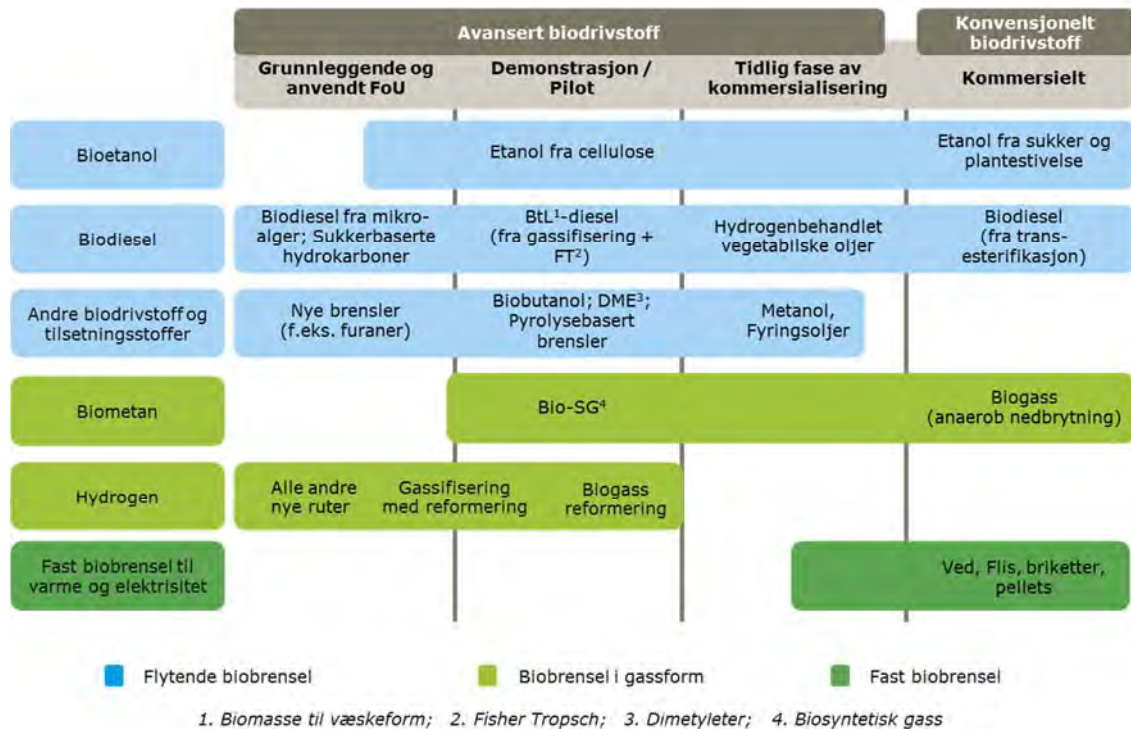
#### 4.2 Bioenergi til flytende og gassbasert biodrivstoff

Bioenergi til flytende og gassbasert biodrivstoff og biobrensel deles gjerne overordnet inn i tre hovedkategorier: biokjemisk, termokjemisk og kjemisk, men kan også bestå av kombinasjoner av disse. Biokjemiske prosesser benyttes for å produsere bioalkoholer, biohydrogen og biometan (biogass). Kjemiske prosesser innebærer mye av det samme som biokjemiske prosesser, men inneholder ikke levende organismer som mikrober og bakterier, som benyttes for eksempel ved fermentering. Termokjemiske prosesser produserer en rekke produkter; elektrisitet og varme, biogass, biodiesel, bioparaffin, dimetyleter (DME) og bensin. Bioraffinerier diskuteres også i dette kapittelet.

Figur 4-3 viser en oversikt over teknologisk modenhet for biodrivstoff.

---

<sup>18</sup> Det er hensyntatt en fornybarandel i avfallet på 52 % (på energibasis) [62]



Figur 4-3: Teknologisk modenhet for ulike biodrivstoffteknologier knyttet til råstoff [28].

Dette kapittelet er basert på rapporten *Skogen som energibærer* [35], og om ikke annet er oppgitt er dette kilden. Det vises til denne rapporten for en gjennomgang av teknologiene.

#### 4.2.1 Biokjemiske prosesser

Det finnes flere hundre typer kjente alkoholer. De viktigste **bioalkoholene** som kan benyttes til biodrivstoff i dag er bioetanol, biobutanol og biometanol, der spesielt biobutanol og cellulosebasert bioetanol er interessante i dag. En av styrkene knyttet til bioalkoholer er at alle trinn for oppgradering og rensing er kommersielt tilgjengelig i petrokjemisk industri. Nøkkelutfordringen for produksjon av biobutanol er å utvikle en rask og kostnadseffektiv produksjonskjede, noe som i dag er vanskeligere og dyrere enn produksjon av bioetanol. Produksjon av bioalkoholer har stor fleksibilitet når det gjelder bioråstoff (skog, avfall fra landbruk, avgasser fra industri, stivelse og sukker, samt alger). Produksjonsprosessen krever lite tilførsel av hydrogen, og ved fermentering er reaksjonene ofte ensidige med stor andel av enkelte og ønskede produkter.

Utfordringene knyttet til bioalkoholer er særlig knyttet til kostnadene for produksjon av andregerasjons alkoholer (fra skogsråstoff), som er relativt høye i forhold til bioalkoholer fra første generasjons råstoff (sukker og stivelse). Kostnadene er spesielt høye for forbehandling med enzymer og energikrevende destillasjon. Utviklingen innen enzymer går raskt. Som en del av forbehandlingen må lignin i trevirke fjernes slik at sukkeret i cellulose og hemicellulose kan fermenteres. Ligninen kan brukes som energikilde ved at den forbrennes eller raffineres til spesialkjemikalier, som bruk i produksjon av lim, maling, plastikk, overflatebehandling, gummibaserte materialer og vaskemiddel.

Det finnes avanserte fermenteringsteknologier på forskningsstadiet. Det har vært utført mye forskning på mikrober og teknologier som kan fermentere ulike typer sukker, særlig i skogsråstoff, til bioalkoholer. Industrielle mikrober er utviklet for maksimalt utbytte av etanol. Håndtering av levende mikroorganismer for storskala fermentering er en utfordring, da produksjonsrater er relativt lave i forhold til petrokjemiske standarder, og mikroorganismene er sensitive til forurensinger og egne biprodukter.



Det produseres som regel ikke mer enn 10-20 % bioalkoholer i en reaktor, da høye konsentrasjoner dreper mikroben. Blandingen må destilleres for å hente ut bioalkoholene, noe som krever mye energi og er kostbart. Det er en stor utvikling innen bruk av membraner for å filtrere blandingene og partikler av ulik størrelse. Kombinasjon av fordampning og bruk av membraner er også under utvikling. Disse teknologiene er testet i laboratorium og det er store utfordringer ved oppskalering, spesielt fordi mikroben er levende og sårbare for høye temperaturer, lav pH og variable driftsforhold.

Produksjon av tredjegerasjons bioalkoholer fra makro- og mikroalger i Norge anses som realistisk på mellomlang sikt (2025-2030) [14].

Produksjon av **biohydrogen** fra mikrober er på et tidlig forskningsstadium, men har hatt en stor utvikling de siste 10 årene. Det er langt fram til at biohydrogen kan produseres fra skogsråstoff. Hydrogen produseres i dag i stor skala ved dampreformering av naturgass, og i noe grad fra elektrolyse. Ett eksempel på produksjon av biohydrogen er Hynors anlegg på Lillestrøm, som produserer hydrogen ved dampreformering av deponigass, samt produksjon av hydrogen fra elektrolyse, der elektrisitet kommer fra solenergi og elektrisitetsnettet.

Biohydrogen er et sentralt produkt fordi hydrogen er en viktig bestanddel i produksjon av biodrivstoff. Det tilføres i dag normalt eksternt fossilt hydrogen, noe som fører til at biodrivstoffene får et høyere klimagassutslipp og er mindre bærekraftige enn de potensielt kunne være. Det jobbes derfor mye for å utvikle biohydrogen fra elektrolyse basert på fornybare energikilder, fotosynteseprosesser og biokjemiske prosesser. Termokjemisk biohydrogen er dessuten en av fire hovedkomponenter i biosyngass i BtL<sup>19</sup> og Fischer Tropsch-syntese.

**Biometan** produseres gjennom metabolismen til en kompleks og sammensatt mikrobekultur. Husdyrs- og våtorganisk avfall, kloakk, gress, strå og halm er enkle typer lignocellulose som egner seg godt til produksjon av biometan. Biometan produseres i utgangspunktet ikke biokjemisk fra skogressurser, selv om enkle typer lignocellulose og sukkerarter i trevirket kan brytes ned anaerobisk. Ligninet og andre naturlige kjemikalier stopper relativt raskt nedbrytningen. Det forskes i dag på biometanproduksjon fra cellulose.

En av de viktigste teknologiutviklingene innen biokjemiske prosesser er å utvikle mikrober og gjær som kan tåle høyere konsentrasjoner av ulike forurensninger. Enzymutviklingen er dessuten viktig, og har ført til at utbyttet stadig øker. NMBU er en viktig norsk aktør innen enzymutvikling,

#### 4.2.2 Termokjemiske prosesser

De tre mest modne termokjemiske rutene for å produsere biodrivstoff og biobrensel er hydrotermiske prosesser, pyrolyse og indirekte katalytiske prosesser. Ingen av disse teknologiene er kommersielle i dag. Termokjemiske prosesser kan også benyttes for å produsere biometanol. Flere bioraffinerier i USA produserer biometanol, bioetanol og andre bioalkoholer ved hjelp av en termokjemisk prosess basert på skogsråstoff. Sverige har flere pilotanlegg for biometanol, blant annet Nykombgruppen og Chemrec.

**Hydrotermiske prosesser** innebærer at råstoffet er fuktig, og vann er sentralt i prosesseringen. Cellulose og hemicellulose i trevirke, som er de bestanddelene som enklest lar seg konvertere til flytende drivstoff, brytes raskt ned og løses godt i vann ved høyt trykk og temperatur. Fordelen, i motsetning til pyrolyse og gassifisering er at det ikke dannes tjære og koks i tillegg til bioråolje. Den mest kjente hydrotermiske prosessen er *hydrotermisk oppgradering* (HTU), utviklet av Shell i Nederland. Produktene fra prosessen vil være cirka halvparten bioråolje, som må raffineres videre for å oppfylle strenge kvalitetsstandarder for å kunne brukes i forbrenningsmotorer, samt 30 % biogass, med mer enn 90 % CO<sub>2</sub>, 15 % vann og 5 % bioorganiske rester løst i væsken. Utfordringen for hydrotermiske prosesser er at det kreves stor tilførsel av hydrogen med høye kostnader og energibruk, samt problemer knyttet til kvalitet som fører til at produktet ikke kan benyttes til transportformål.

---

<sup>19</sup> *Biomass to liquid*. Biomasse til biodrivstoff ved hjelp av gassifisering og Fischer Tropsch-syntese

Prosesser for **pyrolyse** har enda ikke bevist at det kan produseres biodrivstoff med god nok kvalitet for forbrenningsmotorer. Bioråoljen kan prosesseres på mye den samme måten som råolje, og det utføres mye forskning for å effektivisere oppgradering av pyrolyseoljer til biodrivstoff og biobrensel. Det er fire ulike pyrolyseprosesser: rask, der væske utgjør hovedandelen, middels rask, sakte/torrefisering, der tjære og kull utgjør hovedandelen, og gassifisering med hovedproduksjon av gass.

Kjernen til pyrolyseprosesser er reaktoren. Reaktoren utgjør ikke mer enn 15 % av kapitalkostnadene i et integrert system, men mesteparten av forskning og utvikling har lenge vært fokusert på reaktorer. Det er nå økt fokus på kontroll og forbedring av pyrolyseoljens kvalitet, samt å forbedre prosessen for å hente ut pyrolyseoljen fra reaktoren.

Det er ingen *klar beste* teknologi for pyrolyseoljeproduksjon. *Fluidized bed* er kommersiell, robust og kan oppskaleres, men det er utfordringer med jevn varmeoverføring og det er ikke bevist storskala produksjon. Likevel er teknologien forbundet med relativt lave virkningsgrader, og dårligere kvalitet på gassen som gjør at gassen må gjennom en mer omfattende rensing. *Sirkulerende fluidized bed* og *transported bed* er også kommersielt tilgjengelig og har muligheter for jevn varmfordeling. Oppskalering er ikke bevist og det er utfordringer med avleiringer av tjære og koks i reaktoren. *Entrained flow gassifisering* er en lovende teknologi for storskala konvertering av flere ulike typer biomassekvaliteter. Teknologien kan produsere syntesegass med høyere kvalitet enn fluidized bed, med innhold av tjære-komponenter. Dette gjør også at virkningsgraden er høyere. Likevel er teknologien utfordrende når det gjelder mating, og investeringskostnadene er høyere. Teknologien er derfor best egnet til større volumer.

Det finnes flere pilotanlegg for pyrolyse, blant annet i Sverige, Finland, Canada og Tyskland (noen har stoppet driften). Disse anleggene er ofte satt opp i nærhet av papir- og treforedlingsindustri. De viktigste utfordringene som må løses for pyrolyse er:

- Langvarig drift av fullskala reaktorsystemer
- Bevisse kostnadsnivåer ved hjelp av demonstrasjonsanlegg
- Forbedre produktkvalitet, etablere kvalitetsstandarder og helse- og sikkerhetskrav
- Informere sluttbrukere om muligheter ved bruk av pyrolyseoljer

Transportbransjens strenge krav til renhet og generelt fokus på klima i bransjen fører til økt etterspørsel etter biodrivstoff. Økt utvikling innen rensing og oppgradering av både pyrolysebasert og hydrotermisk basert biodrivstoff vil dermed sannsynligvis føre til at denne typen drivstoff kan benyttes til tungtransport på mellomlang sikt.

**Indirekte katalytiske prosesser**, eller BtL, produserer drivstoff ved hjelp av Fischer Tropsch (FT). FT-prosessen kan i prinsippet baseres på alle råstoff som inneholder hydrokarboner, og dagens anlegg basert på råolje, kull og naturgass drives på en kommersiell skala. Fischer Tropsch har i et bredt spekter av potensielle produkter, både hydrogen, alkoholer, DME, bensin, diesel og parafiner (Jet A-1). Konverteringsfaktor for karbon er relativt høy, og det er relativt lave driftskostnader. For indirekte gassifisering er det lite eller ingen behov for ekstern hydrogentilførsel.

Utfordringer knyttet til Fischer Tropsch er særlig knyttet til gassifiseringen av biomasse, som krever optimalisering med tanke på reduksjon av tjære. Gassifisering og dyre FT-katalysatorer kan dessuten ødelegges av forurensninger hvis ikke gassrensingsprosessen fungerer godt. Fischer Tropsch-anlegg har høye investeringskostnader på grunn av behov for storskala drift for økonomisk optimalisering. Koblet med konkurranse om råstoff til stasjonær bioenergi, avfallsforbrenning og treforedlingsindustri er muligheten for en industriell symbiose interessant, med for eksempel bruk av treflis og annet avfall fra biomassebasert industri. Spillvarme og damp fra FT-prosessen kan benyttes til fjernvarme- og elektrisitetsproduksjonen, og vil være viktig for lønnsomheten til et anlegg [14].

Selv om ingen av de diskuterte termokjemiske prosessene er konkurransedyktige er alle delprosessene i et biomasse til diesel-anlegg påvist i en kommersiell skala. Katalytisk biodrivstoff er en relativt *ung* gren innen BtL-forskning, men det er påvist flere lovende resultater. Nedstrøms er

prosessene godt utviklet på grunn av NGtL og Ctl<sup>20</sup>. Utvikling av mer effektive katalysatorer, for eksempel med ny nano- og materialteknologi for reaktive overflater, vil være sentralt for BtL.

Det er også mulig å gassifisere biomasse til syngass ved hjelp av konsentrert solenergi/termisk solkraft (CSP). Dette omtales som *solar fuels*. Denne prosessen øker konverteringsutbyttet da ikke biomasse benyttes til intern prosessvarme. Teknologien er på et tidlig forskningsstadium. For norske forhold kan eventuelt elektrisitet fra vannkraft benyttes som ekstern energi for å øke utbyttet.

#### 4.2.3 Hybridteknologi

Hybridteknologier benytter først forgassing av biomasse og deretter fermentering av denne for å produsere biodrivstoff, primært bioetanol. Det finnes også en hybridteknologi som fermenterer røykgass fra biodrivstoff- og forbrenningsanlegg slik at CO<sub>2</sub> og andre stoffer blir gjenvunnet. De tre mest kjente og etablerte selskapene som utvikler fermentering av biosyngass er Coskata, INEOS og Lanza Tech. INES New Planet Bioenergy sitt anlegg i Florida, USA er et eksempel på en tidlig kommersiell hybridteknologi. Lignocellulose fra en rekke tretyper, husholdningsavfall og skogsavfall forgasses til biosyngass, og karbonmonoksid fermenteres av naturlig tilgjengelige bakterier til en blanding som destillerer til bioetanol<sup>21</sup>. En viktig faktor som har ført til at dette anlegget er bygget er *Renewable Identification Number Credits* som gis til andregenerasjons bioetanol. RIN Credits identifiserer hver batch produsert biodrivstoff og kan omsettes på omtrent samme måte som grønne sertifikater.

Ulike studier viser at andregenerasjons bioetanol, for eksempel fra hybridløsninger med fermentering av biosyngass, kan bli kommersiell uten støtte i løpet av 5-10 år.

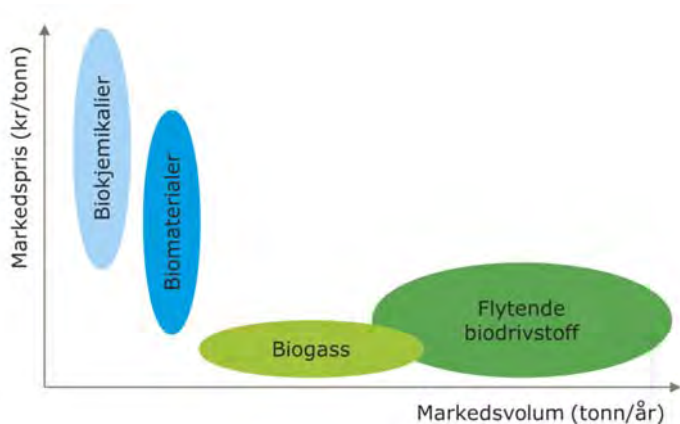
#### 4.2.4 Kjemiske prosesser

Kjemiske prosesser benytter først og fremst konvertering av fettsyrer, mat- og planteoljer, samt alger til biodiesel og biometanol. **HVO**, *hydrotreated vegetable oil*, kan produseres fra planteoljer eller fettsyrer ved hjelp av katalytisk hydrogenraffinering. Produksjon av HVO begrenses av mengden bærekraftig råstoff og tilgang til hydrogen. Økonomi er også et problem, både på grunn av høye investeringskostnader, høye råstoffkostnader og kostbar eksternt produsert hydrogen.

HVO er en kommersiell teknologi for biodiesel. I Norge er det begrensede muligheter for dyrking av energivekster, og de er kun tilgjengelig i små volumer. Arealbruksendringer vil dessuten være et problem. HVO kan produseres fra fettsyrer og slakteavfall, med dette er kun tilgjengelig i små volumer. Alger er et råstoff som kan være svært aktuelt på lengre sikt.

#### 4.2.5 Bioraffinerier og kostnader

De få produksjonsanleggene som er kommersielt levedyktige er bioraffinerier, med biodrivstoff som et av flere produkter. Konkurransedyktigheten til et bioraffineri avgjøres normalt av produksjonen til et lite volum av spesialkjemikalier med høy spesifikk verdi, i tillegg til biodrivstoff og –brensel med lav spesifikk verdi, se Figur 4-4. Bioraffinerier trenger flere ben å stå på med volatile drivstoffpriser.



Figur 4-4: Pris-volum-forhold for produkter fra bioraffinerier

Et eksempel på dette er det norske bioraffineriet Borregaard, hvor ulike

<sup>20</sup> Natural Gas to Liquid og Coal to Liquid

<sup>21</sup> Det produserer fornybar elektrisitet fra samme prosess. Anlegget produserer 20 millioner liter bioetanol og har en kapasitet på 6 MW elektrisitetsproduksjon

bestanddelene i tømmerstokken foredles på en optimal måte; lignin til spesialkjemikalier, cellulose til bioetanol og rester til biogass som brukes som prosessvarme. Produksjon av spesialkjemikalier utgjør hovedrollen til selskapet, på grunn av høy spesifikk verdi, mens produksjon av bioetanol, biogass og varme er sekundæraktiviteter. Biodrivstoffproduksjon er i Norge svært begrenset, og det er kun Borregaard som driver kommersiell produksjon i dag.

Tabell 4-1 og Tabell 4-2 viser noen kostnadsnivåer for ulike bioraffinerier i USA, henholdsvis for biokjemisk og termokjemisk prosessering. Kostnadene for termokjemisk prosessering har store sprik, selv for anlegg med tilsvarende størrelse. Generelt er kostnadene noe høyere for termokjemisk prosessering sammenlignet med biokjemisk prosessering.

Kapasitet, mill. L/år	Kapital-kostnader, mill. NOK	Kapital-kostnader, NOK/ L	Capital charge <sup>22</sup> , NOK/L	Drifts-kostnader, NOK/L	Total kostnad, NOK/L	Total kostnad, NOK/L bensinekv.	Kostnadsår
95	816	8,6	1,2	1,2	2,4	3,6	1999
170	1 098	6,5	0,9	1,5	2,3	3,5	2007
189	2 028	10,7	1,0	2,1	3,0	4,6	2009
261	1 320	5,0	0,7	1,4	2,1	3,2	2007
379	2 094	5,5	0,7	2,1	2,8	4,2	2009
568	4 536	8,0	1,1	0,8	1,9	2,8	2005

Tabell 4-1: Kostander for biokjemisk prosessering av bioetanol fra cellulose i USA [37]

Kapasitet, mill. L/år	Kapital-kostnader, mill. NOK	Kapital-kostnader, NOK/L	Capital charge, NOK/L	Drifts-kostnader, NOK/L	Total kostnad, NOK/L	Total kostnad, NOK/L bensinekv.	Kostnadsår
170	1 500	8,5	1,1	1,0	2,1	3,1	2007
170	3 000	17,2	2,3	2,7	5,0	7,5	2009
235	1 300	5,4	0,7	1,2	1,9	2,9	2007
254	3 800	15,0	2,0	2,8	4,8	7,3	2008
568	5 000	9,0	1,2	0,7	1,9	2,8	2007

Tabell 4-2: Kostnader for termokjemisk prosessering av bioetanol fra cellulose i USA [37]

Markedet for biobutanol og cellulosebasert etanol er fremdeles i en tidlig utviklingsfase, og det pågår mest forskning og utvikling i USA. LMC International vurderer markedsprisen i USA å utgjøre prisgulvet for disse produktene internasjonalt.

### 4.3 Bioenergi med karbonfangst og lagring

Bioenergi med karbonfangst og lagring, Bio-CCS, vurderes som et klimatiltak både i biobrensel- og biodrivstoffsektoren og ved innblanding av biobrensel i fossile kraftverk med CCS. Karbonfangst og lagring ved forbrenning av biobrensel innebærer at det kan bli mulig med nullutslipp, og til og med negativ karbonbalanse.

CO<sub>2</sub>-strømmene fra biodrivstoffproduksjon og flytende biobrensel (fermentering eller gassifisering) er relativt rene, noe som gjør det enklere å fange karbondioksidet enn ved fossile varme- og elektrisitetsanlegg. Ved termokjemiske prosesser kan CO<sub>2</sub> hentes ut av syngassen, og ved fermentering kan CO<sub>2</sub> hentes ut fra fermenteringsreaktoren. Teknologit utviklingen er rettet mot testing av konverterings- og fangstteknologiene i større skala, og erfaringer og synergier med fossil CCS-testing må utnyttes.

<sup>22</sup> Capital charge er beregnet med 20 års levetid og 12 % avkastningskrav.

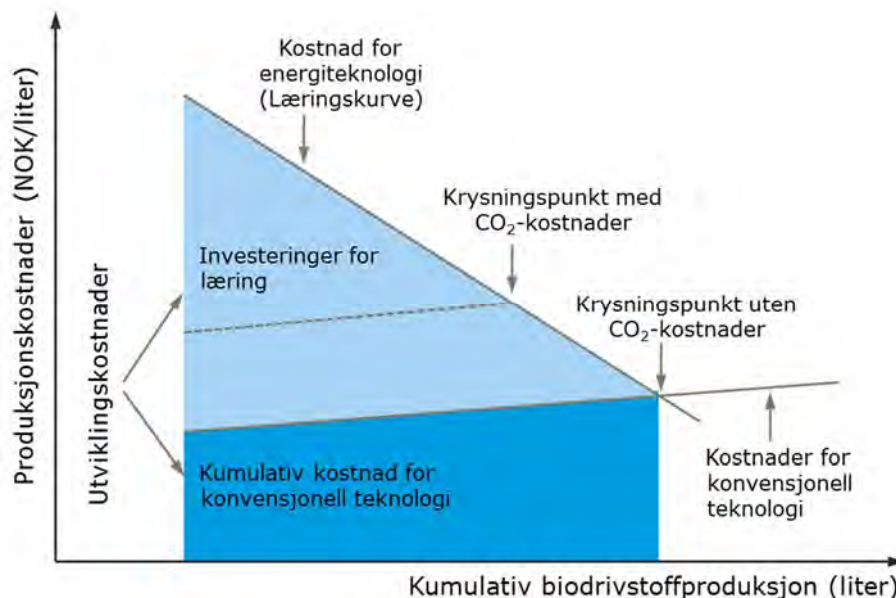
Et rent Bio-CCS demonstrasjonsanlegg startet prøvedrift i Illinois, USA i 2010. Omtrent 1000 tonn CO<sub>2</sub> fanges per dag fra et biokjemisk anlegg for bioetanol-fermentering. Planen er å oppskalere dette til 1 millioner tonn CO<sub>2</sub> per år i løpet av 2013. Karbondioksidet lagres i en fjellformasjon av sandstein 2400 meter under bakken [38]. Det finnes også noen store CCS demoprojekter som blander inn biobrensel i fossile anlegg.

Flere studier, finansiert av EU og IEA, pågår for å indentifisere nødvendig teknologiutvikling for Bio-CCS. Sintef jobber med å etablere prosjekter på området, og Aker Clean Carbon er en norsk aktør som har teoretisk beskrevet hvordan biomasse kan inkluderes i fossil karbonfangst.

Et viktig tiltak for bredere utbredelse er å inkluderes teknologien i kvotehandelssystemene (ETS og CDM<sup>23</sup>). Fangst av biogene utslipp er ikke anerkjent som klimatilak, da utslipp fra biomasse regnes som klimanøytralt. Dette betyr at et fossilt anlegg med innfyring av biobrensel, og karbonfangst og lagring vil få lavere kreditert fangst enn med kun fossil innfyring.

#### 4.4 Læringskurve for bioenergi

Teknologier beskrives av tekniske og økonomiske parametere, som virkningsgrad for konvertering eller spesifikke investeringskostnader [28]. Læringskurver benyttes for nye teknologier for å linke fremtidig kostnadsutvikling med kumulativ kapasitet. De fleste fornybare energiteknologiene og de fossile energiteknologiene med CCS har høyere produksjonskostnader, men lavere klimagassutslipp og ofte færre miljøkonsekvenser enn konvensjonelle teknologier [39]. Utviklingshastigheten for umodne teknologier er høye i forhold til konvensjonelle teknologier, og det forventes at gapet mellom teknologiene blir mindre og at disse på sikt kan lukkes helt. Læringsrate defineres som prosentvis kostnadsreduksjon ved en dobling av kumulativ kapasitet eller energi-produksjon. Læringskurver illustreres som en rett linje i et logaritmisk diagram. Figur 4-5 viser en skjematisk oversikt over et logaritmisk diagram hvor læringskurven synker, og etter en viss tid vil krysse kostnader for konvensjonell teknologi.



Figur 4-5: Skjematisk oversikt over læringskurver [34] [40]

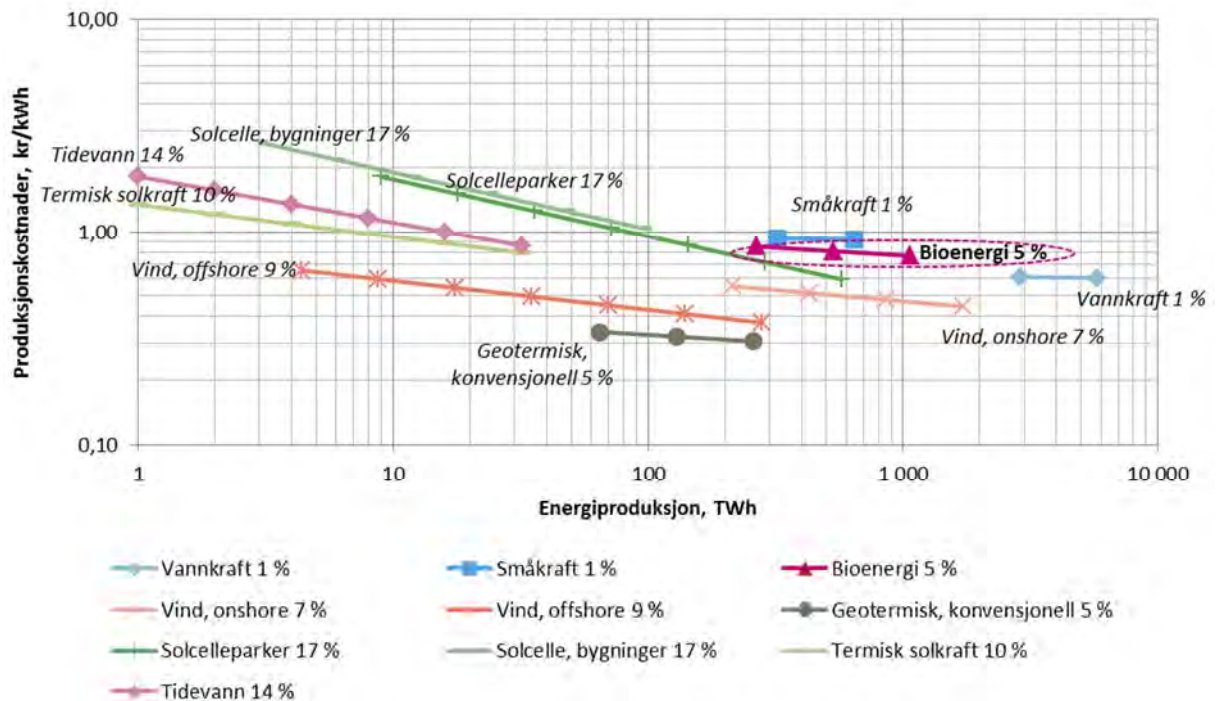
IEA definerer utviklingskostnader for en teknologi som *de totale kostandene for kumulativ produksjon som trengs for en ny teknologi å bli konkurransedyktig*. Investeringer for læring er definert som de ekstra inventeringene som trengs for en ny teknologi. De alternative utviklingskostnadene for å bygge ut en viss mengde ny og dyrere (fornybar) energi er derfor lik utviklingskost-

<sup>23</sup> European Trade Scheme og Clean Development Mechanisms

nadene for ny teknologi minus kumulative kostnader for konvensjonell teknologi. Kostnadene for konvensjonell teknologi kan ha en flat, svakt stigende eller synkende kurve avhengig av brenselkostnader, etterspørsel og tilbud, økte faste kostnader eller lignende.

Det vises til rapporten *Energiteknologier i et 2030- og 2050-perspektiv* for en mer utdypende diskusjon rundt læringskurver og -rater [39]. Denne rapporten vil sammenligne læringskurven til bioenergi med andre fornybare energiteknologier, samt diskutere kostnadsutvikling og læringskurver for både stasjonær bioenergi og biodrivstoff.

IEA operer med generelle læringsrater for hver kategori av energiteknologier (vann, vind, sol, bioenergi, geotermisk og marint), både for investerings- og produksjonskostnader [40] [41]. SRREN<sup>24</sup> har samlet læringsrater fra svært mange kilder, både for kategoriene, men også for flere energiteknologier og ulike komponenter, ulike geografiske områder og ulike tidsrom [34]. Figur 4-6 viser læringskurver for ulike fornybare energiteknologier basert på gjennomsnittlige produksjonskostnader og læringsrater fra IEA [41]. Diagrammet er logaritmisk og bioenergi er uthevet i mørk rosa.



Figur 4-6: Framskrivning av læringsrater for fornybar elektrisitetsproduksjon basert på WEO 2010 [39]. Bioenergi er markert i rosa

Figuren over viser hvordan IEA ser for seg utviklingen av produksjonskostnader for nye anlegg (ikke energipris) for elektrisitetsproduksjon globalt fra 2008 til 2035. Bioenergi inkluderer i figuren ressurser fra lavverdig biomasse, skog- og treavfall, avfall fra jordbruk og skogsindustri, avfall fra slakteri og fiskeindustri, husdyrgjødsel, avløpsvann og slam, matavfall og biologisk nedbrytbare komponenter fra husholdningsavfall [40]. Det presiseres at biodrivstoff dermed ikke er med i denne fremstillingen.

Læringsraten for bioenergi er i Figur 4-6 på 5 %. Dette er betydelig lavere enn teknologiene for solenergi og tidevann, som alle har læringsrater på mer enn 10 % og er mer umodne teknologier. Tabell 4-3 viser historiske læringsrater for både stasjonær bioenergi, biodrivstoff og bio-brensel, basert på SRREN [34]. Læringsraten for bioenergi til elektrisitet er her 8-9 %, og dermed høyere enn i Figur 4-6, og sammenlignbar med læringsraten til offshore vind.

<sup>24</sup> Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)

	Læringsrate	Lokasjon	Tidsper- spektiv	Kommentar
<b>Skogsflis</b>	12-15 %	Sverige/Finland	1975-2003	Logistikk-kjeden
<b>CHP-anlegg</b>	19-25 %	Sverige	1983-2002	O&M- og investeringskostnader
<b>Biogassanlegg</b>	12 %		1984-1998	O&M- og investeringskostnader
<b>Etanol fra sukkerrør</b>	20 %	Brasil	1975-2003	Hele verdikjeden tom. endelig energibærer
<b>Etanol fra mais</b>	18 %	USA	1983-2005	Hele verdikjeden tom. endelig energibærer
<b>Elektrisitet fra CHP, biomasse</b>	8-9 %	Sverige	1990-2002	Hele verdikjeden tom. endelig energibærer
<b>Elektrisitet fra biomasse</b>	15 %	OECD	Ukjent	Hele verdikjeden tom. endelig energibærer
<b>Biogass</b>	0-15 %	Danmark	1984-2001	Hele verdikjeden tom. endelig energibærer

Tabell 4-3: Historiske læringsrater for bioenergi, biobrensler og biodrivstoff [34]

Tabell 4-3 viser at flere av teknologiene har hatt en svært høy læringsrate, spesielt sammenlignet med læringsraten for bioenergi i Figur 4-6. Hovedgrunnen til de høye læringsratene for etanol fra sukkerrør og mais er økt utbytte fra produksjon av råstoff og størrelsen på produksjonsanleggene [42]. Flere studier har vist at økt utbytte av råstoff har vært en viktigere driver enn produksjonsvolum for produksjonskostnadene. En læringsrate i området 7-10 % anses som relativt sannsynlig, mens de høyere læringsratene i Tabell 4-3 anses som mindre sannsynlige. Dette er dessuten historiske læringsrater, og det vil med dette være naturlig å anta at læringsraten avtar noe. I denne sammenheng vil det være forskjell på etablerte verdikjeder for biomasse til forbrenning og mer umodne verdikjeder for biodrivstoffproduksjon.

Læringsraten kan si noe om hvor rask teknologiutviklingen er i forhold til økning i kapasitet (men ikke nødvendigvis per år), hvor moden teknologien er og hvor konkurransedyktig teknologien er og kan bli framover. Noen overordnede, men viktige hoveddrivere for fortsatt læring for biobrensel og biodrivstoff, er økt effektivitet for gassifisering og energiproduksjonsanlegg (varme og elektrisitet), og økt utbytte fra dyrking av råmaterialer og reduserte logistikk-kostnader.

Biodrivstoff fra lignocellulose har et stort forbedringspotensial for både produksjon av råstoff, systemer for forsyning og konverteringsteknologier. BtL og etanol fra lignocellulose kan ha en læringskurve i området 5-10 % [42]. Dette vil kunne føre til reduserte produksjonskostnader i området 16-55 %<sup>25</sup>. Insentiver for økt produksjon<sup>26</sup> vil kunne bidra til at produksjonskostnadene kan reduseres med opptil 70 %, der etanol fra lignocellulose vil ha en lavere produksjonskostnad enn BtL. Dette viser til kostnadsreduksjoner fra dagens demonstrasjonsprosjekter til fremtidige kommersielle anlegg. Ulike scenarier viser også muligheten for at biodrivstoff fra lignocellulose kan bli kommersielt i 2020, forutsatt fokus på FoU og introduksjonsstøtte til markedet [34]. Dette vil avhenge av utvikling i oljepris og karbonpris.

Det er ikke gitt at kostnadene følger en potensfunksjon, og man må vise forsiktighet ved ekstrapolering av historiske kurver for å framskrive forventede kostnader og læringskurver [39]. Langsom læring og eskalering av kostnader kan inntre i en tidlig fase av kommersialisering [42]. Det er naturlig at det forekommer uventede endringer i kurvene eller større spredning i observasjonene som trendlinjene følger, for eksempel som en følge av prisendringer, etterspørsel og lignende [41, 34].

<sup>25</sup> Studien er gjennomført i USA

<sup>26</sup> I form av *Low Carbon Fuel Standard* og *Cellulosic Biofuel Production Tax Credit*

#### 4.5 Oppsummering teknologisk utvikling

Teknologiutviklingen for produksjon av biodrivstoff er omfattende, og det er en rekke teknologier som ikke er kommersielle eller modne i dag. På den andre siden er det en rekke modne og kommersielle teknologier for produksjon av faste biobrensler og produksjon av varme og elektrisitet. Teknologier for produksjon av flytende og gassbasert biodrivstoff og biobrensel deles i tre hovedkategorier: biokjemisk, termokjemisk og kjemisk konvertering.

Den viktigste teknologiutviklingen innen biokjemiske prosesser er utvikling av mikrober og gjær. Ingen av de termokjemiske prosessene er kommersielle i dag, men det er pilotanlegg for eksempel i Sverige. De få produksjonsanleggene som er kommersielle i dag er bioraffinerier, hvor det produserer biodrivstoff i tillegg til spesialprodukter og varme. Borregaard er et eksempel på et bioraffineri som lønnsomt produserer flytende biodrivstoff som et sekundærprodukt. Hybridteknologier for bio- og termokjemisk prosessering med fermentering av biosyngass kan bli kommersiell uten støtte i løpet av 5-10 år. Kjemiske prosesser benytter i hovedsak fettsyrer, mat- og planteoljer, som konverteres til biodiesel og biometanol. Dette er en kommersiell teknologi for biodiesel, og alger kan på sikt være et viktig råstoff.

Læringsraten for bioenergi ligger i området 5-10 %, avhengig av teknologi og sluttprodukt. Læringsraten for bioenergi ser ut til å være lavere enn for fornybare energiteknologier som solenergi og tidevann, som generelt er mer umodne teknologier, men kan være sammenlignbar med offshore vind. Læringsraten kan si noe om hvor rask teknologiutviklingen er i forhold til økning i kapasitet, hvor moden teknologien er og hvor konkurransedyktig teknologien er og kan bli framover. Tabellen under oppsummerer mulige teknologiske og kommersielle gjennombrudd for bioenergi globalt.

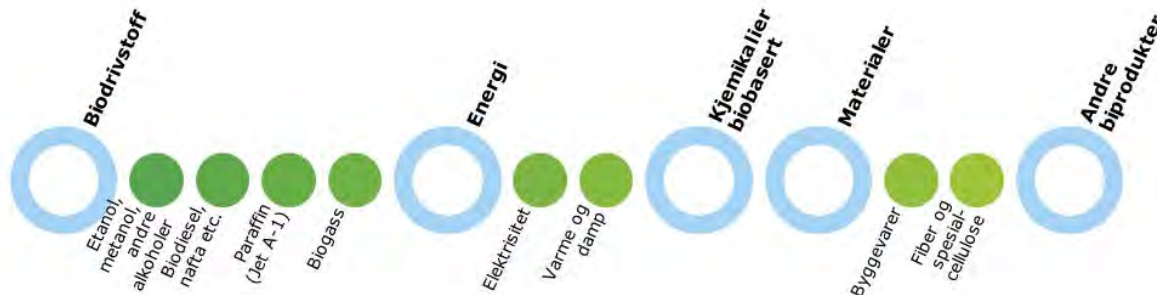
	2010-2020	2020	2030	2050
<b>Bioenergi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kommersialisering a cellulose-etanol i Nord- og Sør-Amerika (stor tilgang på billig, våt biomasse)</li> <li>- Videre utbygging av bio-CHP og co-firing med biomasse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drop-in fuels begynner å komme på markedet – overtar for etanol og FAME-diesel</li> <li>- Det blir mer lønnsomt å konvertere lignocellulose til biodrivstoff til transport enn til elektrisitet og varme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flytende biodrivstoff fra alger blir konkurransedyktig (basert på mikroalger i åpne dammer og makroalger til havs)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biokarbon er blitt så kostbart og fornybar energi så billig at biodrivstoffanleggene innrettes på maksimalt drivstoffutbytte og ikke lenger maksimal energieffektivitet</li> </ul>

Tabell 4-4: Mulige teknologiske og kommersielle gjennombrudd for bioenergi globalt [36]



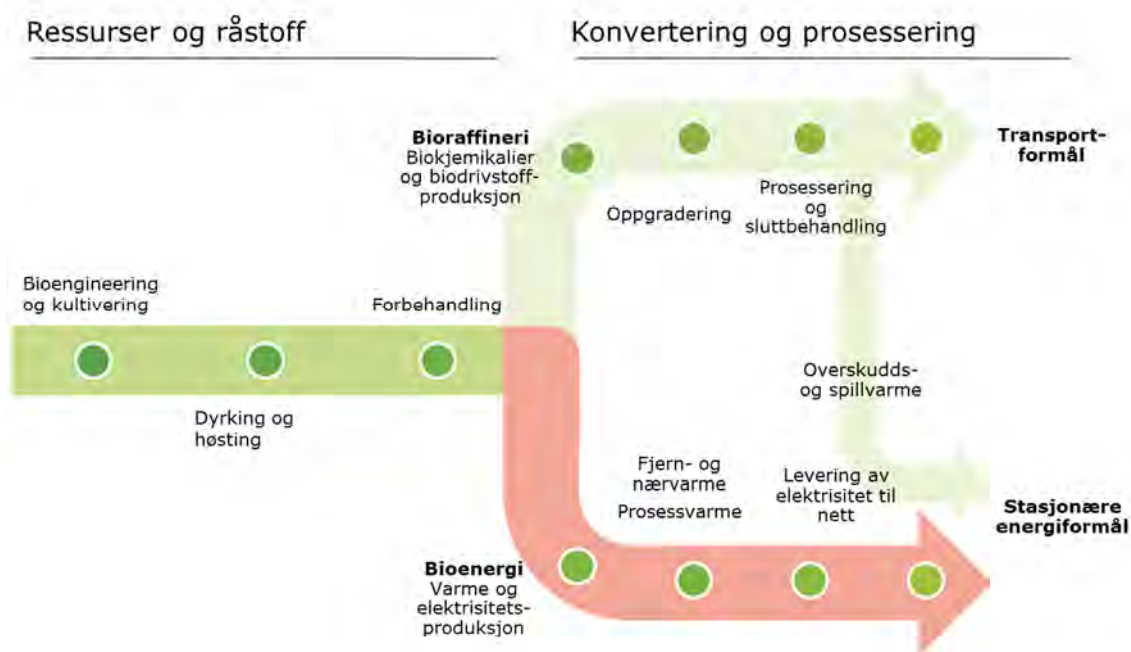
## 5. MARKEDET FOR BIOENERGI I NORGE

Det er stor grad av kompleksitet i et biobasert marked og for en bioøkonomi, da samme ressurs kan benyttes til mange ulike formål, både energi, biodrivstoff, byggematerialer, bioplastikk, papirmasse og ingredienser i mat. Figur 5-1 illustrerer hvilke formål biomasse kan benyttes til. Karbonet kan også utnyttes flere ganger ved energi- og materialgjenvinning av avfall.



Figur 5-1: Muligheter for utnyttelse av biomasse © Rambøll

Markedet for bioenergi diskuteres for henholdsvis bioenergi til stasjonære formål og bioenergi til transport. Førstnevnte inkluderer bioenergi til bygg, industri og fjernvarme, mens bioenergi til transport viser til bruk av biogass og flytende biodrivstoff. Bruk av bioenergi til stasjonære formål og transport utnytter de samme ressursene, og det vil derfor være en viss konkurranse om ressursene. Figur 5-2 viser hvordan bioenergi til stasjonære formål og transportformål lever i symbiose og er en del av samme verdikjede. Innledningsvis vil markedet for faste brensler kort diskuteres. Videre i dette kapittelet vil markedsforhold for bioenergi diskuteres, og her vil dynamikken i det norske biomassemarkedet være hovedfokus. Rammebetingelser vil diskuteres overordnet, og det vises til NVEs pågående utredning *Samlet støtte til bioenergi* for en mer detaljert gjennomgang [43]. Det presenteres avslutningsvis i kapittelet en tilbudskurve for bioenergi, for tilbud av skogsflis.



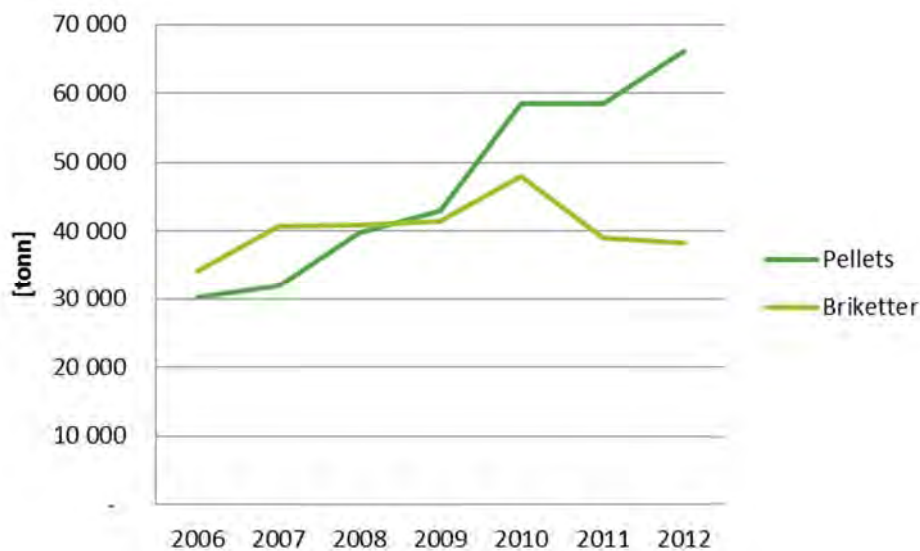
Figur 5-2: Bioenergi til stasjonære formål og transportformål er en del av samme verdikjede © Rambøll

## 5.1 Faste biobrensler

De viktigste faste biobrensene på det norske markedet er ved, flis, pellets og briketter. Markedet for ved er i liten grad kommersialisert, og er fragmentert, noe som betyr at informasjon om priser og volum er svært begrenset og usikkert. Bruken av ved i Norge er et resultat av både egen hogst og innkjøp av ved, der sistnevnte i henhold til SSB står for cirka 40 % av forbruket. Bruken av ved diskuteres under, i sammenheng med bioenergi til stasjonær energi.

Markedet for foredelte brensler som pellets og briketter er i større grad dokumentert, men markedet er sårbart med hensyn til høye kostnader, lav pris på substitutter som elektrisitet og olje, etterspørsel og offentlige støtte. De faste brensene er omfattet av standardiseringskrav, som skal sikre god og homogen kvalitet. Omsetningen for biobrenselprodusentene er generelt lav i Norge, og en rekke produsenter operer i et sekundært marked, i hovedsak rettet mot teknologi- og utstyrsleveranser eller bioenergiproduksjon [35].

Figur 5-3 viser omsetningen av pellets og briketter i Norge i perioden 2006 til 2012. Omsetningen av pellets har økt i perioden, i hovedsak som et resultat av økt etterspørsel i fjern- og nærvarmeanlegg. Omsetningen av briketter har hatt en mindre markant økning, og omsetningen holdt seg stabil fra 2011 til 2012. Pellets passerte i 2009 briketter i omsetning, og omsetningen av pellets og briketter i dag er på over 65.000 tonn, eller mer enn 300 GWh<sup>27</sup>.



Figur 5-3: Omsetning av pellets og briketter [6]

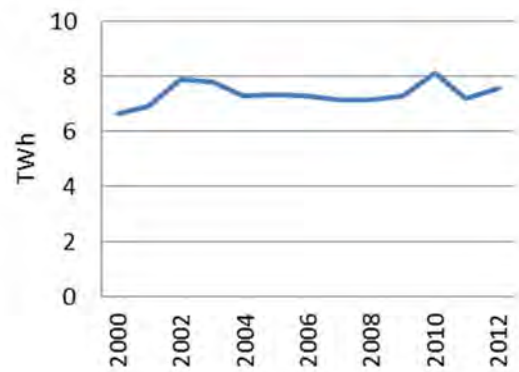
Prisen på pellets (bulk) var i 2012 cirka 30 øre/kWh, noe som er noe under gjennomsnittet de siste syv årene på 31,5 øre/kWh (eks. MVA). Prisen på briketter var i 2012 til sammenligning 22,4 øre/kWh, noe som er over gjennomsnittet på drøye 20 øre/kWh i samme periode.

## 5.2 Bioenergi til stasjonær energi

Bioenergi til stasjonær energi er en sum av bruk i bygg, industri og fjernvarme. Bioenergi til bygg domineres av husholdningene, der bruken i privat og offentlig tjenesteyting er begrenset. Bioenergi til industrien viser til de samme industrigruppene som tidligere diskutert i kapittel 3.2.

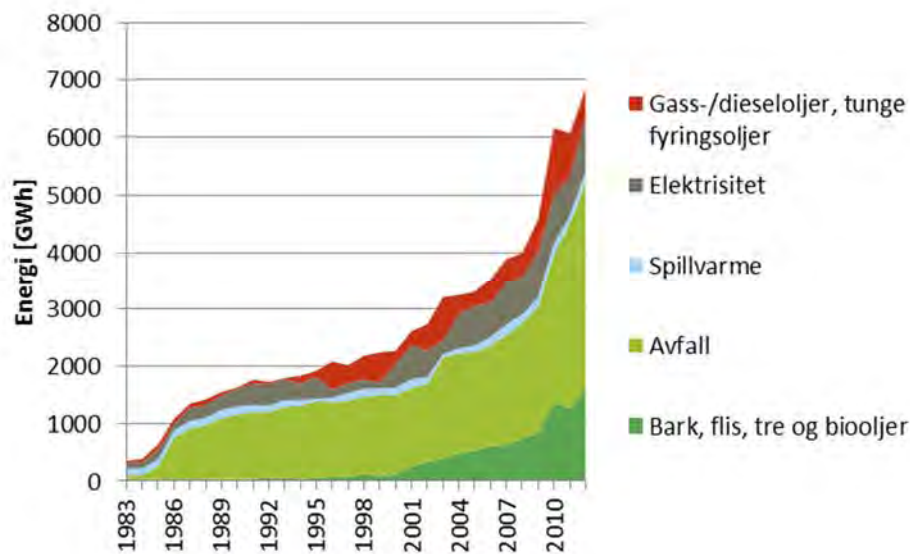
<sup>27</sup> Basert på en brennverdi på 4,7 kWh/kg (10 % fukt)

Energibruken i bygningsmassen i Norge er i dag i svært stor grad basert på elektrisitet, og i tillegg kommer noe energi i byggsektoren fra termiske energivarer, herunder ved, fjernvarme, fyringsolje og fossil gass. Bioenergi til husholdningene utgjorde i 2012 16 % av den totale energibruken i husholdningene [5], og er i hovedsak begrenset til bruk av ved. 60 % av husholdningene har ovner for fast brensel, i hovedsak for bruk av ved [29]. Bruken av pelletskaminer er foreløpig relativt begrenset. Bruken av ved har vært relativt stabil i Norge de siste tolv årene, se Figur 5-4, og var i 2012 cirka 7,5 TWh<sup>28</sup>. I eksisterende bygg er økt bruk av bioenergi på kort sikt begrenset av tilgjengelig infrastruktur, ved vannbårne systemer og ovner/skorstein [29]. Varmepumper konkurrerer med bruk av biomasse i bygg i dag, og på noe lengre sikt kan også solvarme være en konkurrent.



Figur 5-4: Vedforbruk i perioden 2000-2012 [3]

Figur 5-5 viser forbruk av biobrensler i fjernvarmeproduksjon i Norge i perioden 1983-2011. Avfall utgjør den viktigste energibæreren, og bruk av andre biobrensler har fått en økende rolle siden begynnelsen av 2000-tallet. I gjennomsnitt i perioden har biobrensler utgjort 38 %<sup>29</sup>. Denne andelen var i 2012 51 %. Bioenergi til fjernvarme kan dekke både grunnlast og spisslast, og er med dette i en unik posisjon til å redusere klimagassutslipp.



Figur 5-5: Bruk av energibærere til fjernvarmeproduksjon [4]

Bioenergi til varmemål er et relativt modent marked i Norge. Antallet produsenter av biovarme er relativt tallrik, i forhold til bioenergibransjen som en helhet [35]. Varmebransjen har i dag utfordringer knyttet til lønnsomhet, i hovedsak på grunn av lave elektrisitetspriser, som direkte påvirker prisen for varme. De viktigste driverne for introduksjon og bruk av bioenergi er reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp og redusert bruk av direktevirkende elektrisitet til oppvarming.

Det ble i kapittel 3.2 diskutert utnyttelse av industrielt avfall i industrien til energiformål, og det ble vist at trelast- og trevareindustrien og papir- og papirvareindustrien benytter biobasert avfall i størst grad. Bioenergi i industrien er i hovedsak basert på bruk av egne biprodukter og avfall fra produksjonsprosessene. Treforedlingsindustrien kjennetegnes ved distriktbasert, energikrevende









<sup>28</sup> SSBs statistikk på vedforbruk må anses som svært usikker

<sup>29</sup> Det er hensyntatt en fornybarandel i avfallet på 52 % (på energibasis) [62]

produksjon og eksportrettet salg. For produsenter av papir og papirmasse vil omtrent halvparten av innkjøpt tømmer ende som papirmasse, og resten som bioenergi/biobrensel i produksjonsprosessen [44]. Markedet er i stor grad internasjonalt, da produktene ofte eksporteres, og økonomiske konjunkturer i utlandet er derfor sentralt for lønnsomheten. Norsk treforedlingsindustri har historisk vært en viktig eksportnæring, hvor cirka 90 % av produksjonen eksporteres, der Europa er hovedmarkedet [45].

Lønnsomheten i treforedlingsindustrien var svak på 2000-tallet, i hovedsak på grunn av prisnedgang i internasjonal markeder, og en negativ kostnadsutvikling (økte kostnader) [45]. Kostnadsutviklingen er drevet av tømmerpris, transportkostnader og energipriser. På energibasis benyttes det omtrent like mye bioenergi som kraft i treforedlingsindustrien. Tømmerpris er derfor like viktig som kraftpris for treforedlingsindustrien. På tross av dårlig lønnsomhet i treforedlingsindustrien hevder allikevel norske produsenter av biokjemiske produkter seg med rimelig god lønnsomhet i en rekke mindre nisjer.

Figur 5-6 identifiserer noen trender og drivere som kan ha større eller mindre betydning fram mot 2025 for bioenergi til stasjonær energi. Elektrisitets- og oljepris er de viktigste driverne for bioenergi til stasjonær energi, samt tømmerpris. Figuren viser en vurdering av hvilken effekt de ulike trendene og driverne vil ha og hvor langt fram i tid det kan forventes å ha en effekt. En full sirkel betyr stor effekt og lang tidshorison.

TREND/DRIVER	BESKRIVELSE	EFFEKT	HORISONT
<b>Driver #1</b>	Felles <b>sertifikatmarked for elektrisitet</b> med Sverige kan prioritere de mest lønnsomme prosjektene innen elektrisitetsproduksjon, også fra biomasse		
<b>Trend # 1</b>	<b>Høy etterspørsel av biomasse</b> i Europa på grunn av fornybar energidirektivet eller framvoksende markeder, som kan føre til høyere priser, med olje som marginal pris – f. eks. biomasse i kullkraftverk		
<b>Trend # 2</b>	<b>Synergier for bruk av biomasse</b> i bioraffinerer er fordelaktig for utvikling av et biomarked, men kan på lang sikt potensielt også føre til konkurranse om råstoff		
<b>Trend # 3</b>	<b>Bioenergi som fornybar spisslast</b> , spesielt fyringsoljer og biogass		

Figur 5-6: Trender og drivere som kan påvirke bioenergi til stasjonær energi © Rambøll

### 5.3 Bioenergi til transport

Det er et godt utviklet bioalkohol-marked globalt, med mange ulike alkoholer tilgjengelig i relativt stort volum. Verdens produksjon av bioetanol og biodiesel var i 2011 henholdsvis 86 og 21 milliarder liter. Europa stod for en betydelig andel av biodieselproduksjonen, i hovedsak Tyskland, Frankrike og Spania, mens Brasil og USA stod for hovedandelen av verdensproduksjonen av bioetanol. I Norge produserer Borregaard bioetanol i stor skala fra skogsråstoff (andregenerasjon), der lønnsomheten drives av høy spesifikk verdi for spesialkjemikalier. Hovedandelen av det flytende biodrivstoffet på markedet i Norge i dag er basert på import av førstegenerasjons biodiesel.

Foruten flytende biodrivstoff er også biogass svært godt egnet til transport. Flere kollektivselskaper satser på biogass; både Skyss (Bergen), Rutebiler (Fredrikstad), AtB (Trondheim) og Ruter (Oslo). Disse selskapene benytter i dag i hovedsak naturgass, i påvente av tilgang til biogass, men enkelte benytter allerede biogass fra slam eller våtorganisk avfall. Det samme er tilfelle for Lyses biogassdistribusjon. Det er også transportselskaper som satser på bruk av biogass, blant

annet Posten, som i 2013 gikk til anskaffelse av 200 biogass-drevne lastebiler. Asko er et annet eksempel, som i dag benytter bioetanol fra Borregaard. Ruter benytter også bioetanol fra Borregaard i dag.

Bruken av både flytende biodrivstoff og biogass til transport i Norge i dag er relativt beskjeden, sammenlignet med for eksempel Sverige [46]. Det er i Norge et omsetningskrav på biodrivstoff til veitrafikk på 3,5 volumprosent. Det ble i 2012 benyttet 1,5 TWh biodrivstoff i veitransporten i Norge, tilsvarende snau 3,6 % av den totale energibruken til veitransport [2]. Det ble også brukt drøye 0,1 TWh naturgass til veitransport, noe som kan anses som et direkte potensial til innføring av biogass til transport. Et eksempel på dette potensialet er kollektivselskapene nevnt over, som i dag benytter naturgass. Norge har ambisjoner om å øke omsetningskravet på biodrivstoff til 5 % forutsatt at bærekraftskriteriene oppfylles, og en videre økning til 10 % når erfaring med bærekraftskriteriene er oppnådd.

Til sammenligning, i Sverige utgjør biodrivstoff i transportsektoren 6,9 TWh, eller 8,1 % av den totale energimengden til transport [47]. Bruken av biodrivstoff er en sum av bioetanol; 2,4 TWh, biodiesel; 3,7 TWh<sup>30</sup> og biogass; 0,8 TWh. I tillegg utgjør naturgass 0,6 TWh. I Sverige satses det på biogass, og markedet har de siste årene økt med 15-20 % årlig. Til forskjell fra mange europeiske land er det en høy andel bioetanol i Sverige, og på volumbasis utgjør bioetanol like mye som biodiesel.

Figur 5-7 identifiserer noen trender og drivere som kan ha større eller mindre betydning fram mot 2025 for produksjon av biodrivstoff, foruten elektrisitets- og oljeprisen. Figuren viser en vurdering av hvilken effekt de ulike trendene og driverne vil ha på produksjon av biodrivstoff, og hvor langt fram i tid det kan forventes å ha en effekt. En full sirkel betyr stor effekt og lang tids-horisont. Trend #1 og #2 er tilsvarende som for bioenergi til stasjonære formål, og viser til samspillet og synergier i bioenergiproduksjon og –etterspørsel.

TREND/DRIVER	BESKRIVELSE	EFFEKT	HORISONT
Driver # 1	<b>Omsetningspåbud for biodrivstoff</b> kan øke til 5 % og senere 10 % avhengig av bærekraftskriterier, fornybarmål og klimamål for transportsektoren		
Driver # 2	<b>Bærekraftskriter for biodrivstoff</b> skal sikre at tilgjengelig biodrivstoff i Norge er bærekraftig, og kan potensielt bidra til økt fokus på biodrivstoff		
Trend # 1	<b>Høy etterspørsel etter biomasse</b> i Europa på grunn av fornybar energidirektivet eller framvoksende markeder, som kan føre til høyere priser, med olje som marginal pris		
Trend # 2	<b>Synergier for bruk av biomasse</b> i bioraffinerer er fordelaktig for utvikling av et biomarked, men kan på lang sikt potensielt også føre til konkurranse om råstoff		
Trend # 3	<b>Energiselskaper ser etter et tredje markedssegment</b> med biodrivstoff i tillegg til elektrisitet fra vann og vind		
Trend # 4	<b>Teknologiutvikling</b> med termo- og biokjemiske konverteringsruter vil «ta av» pga. mange ulike initiativ, f.eks. fornybarenergidirektivet, EU Flight Path, US Bioeconomy strategy etc.		

Figur 5-7: Trender og drivere som kan påvirke produksjon av biodrivstoff © Rambøll

<sup>30</sup> Av dette utgjør HVO 1,0 TWh og FAME/øvrige biodieseler 2,7 TWh

## 5.4 Offentlig støtte og rammevilkår

Dette kapittelet er i hovedsak basert på NVEs pågående utredning om *Samlet støtte til bioenergi* [43]. Det gis i denne rapporten kun en kort innføring og oversikt på temaet. Under diskuteres offentlig støtte fordelt mellom direkte og indirekte støtte, og rammevilkår diskuteres overordnet.

Direkte støtte til bioenergi gis som investeringsstøtte fra Enova og Innovasjon Norge, gjennom tilskuddsordninger. Innovasjon Norge gir støtte gjennom Bioenergiprogrammet, og har i tillegg flere programmer innen energi og miljø, blant annen Miljøteknologiordningen og Teknologiutvikling. Enova gir støtte til bioenergi gjennom en rekke programmer: Fjernvarme, Varmesentraler Bygg, Varmesentraler Industri, Biogassproduksjon og Introduksjon Ny Teknologi. I tillegg gir Transnova støtte til biodrivstoff og Oslo kommune, gjennom Enøketaten, gir støtte til investering av biokjel. På ressursiden har Statens Landbruksforvaltning gitt støtte til energiflis, gjennom energiflistilskuddet, som ble avviklet i 2013. I tillegg gir også Statens Landbruksforvaltning støtte gjennom Skogfond, som gir skattefritak til skogeiere.

Indirekte støtte gis til forskning, studier og utredninger, med hovedformål om økt bruk av bioenergi. I tillegg kan indirekte støtte også omfatte støtte til tilstøtende områder som positivt bidrar til bioenergi, gjennom for eksempel støtte til skogsbilveier. Forskningsrådet, Innovasjon Norge, Enova og Transnova står for den indirekte støtten til bioenergi. Kommuner, fylkeskommuner og departementer kan i tillegg være relevante aktører for indirekte støtte.

Elsertifikatordningen, omsetningspåbud for biodrivstoff og bærekraftskriteriene er ordninger som direkte, sammen med overstående støtteordninger, bidrar til å danne rammeverket for bioenerginæringen. I tillegg bidrar konsesjonsordningen og tilknytningsplikt for fjernvarme til gunstige rammevilkår for varmebransjen, sammen med energimerkeordningen, energiregler i teknisk byggeforskrift (TEK10), Energiloven, deponiforbud for biologisk nedbrytbart avfall, kvoteplikt, kommunal energi- og klimaplanlegging og nasjonale måldokumenter som Klimakur 2020.

## 5.5 Markedsforhold

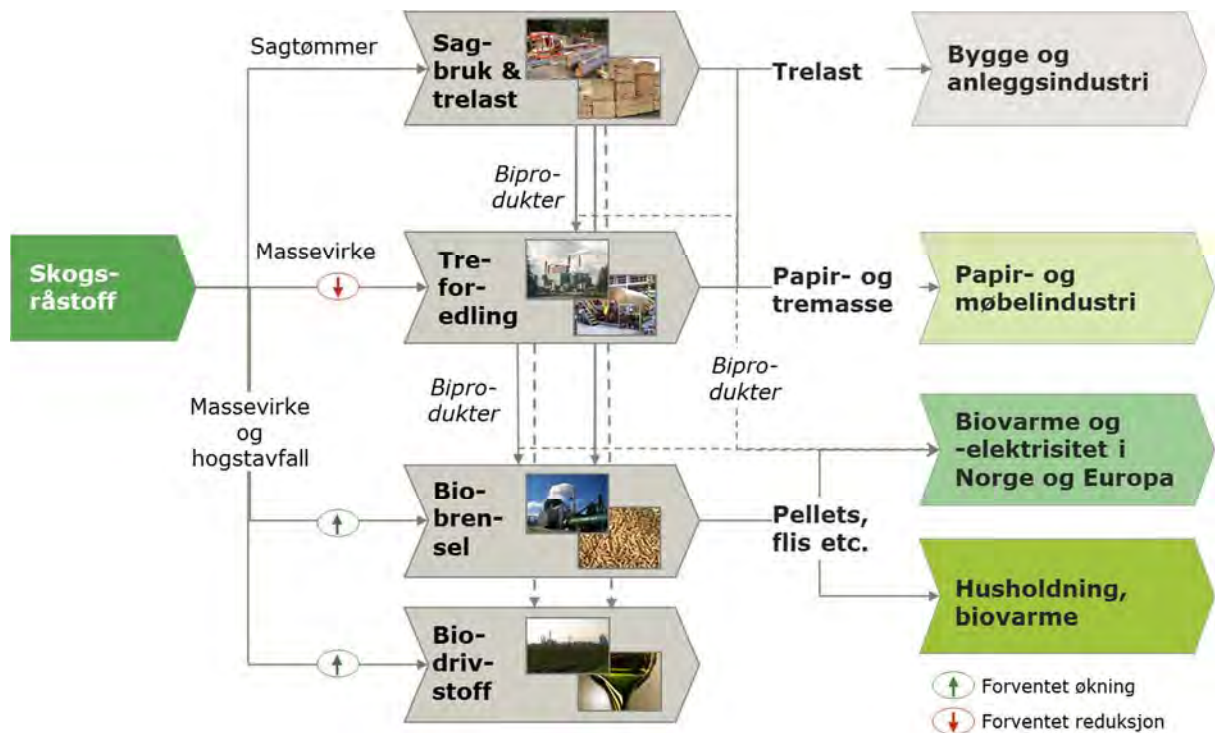
Biomasse er etterspurt som råvare i flere verdikjeder. Skogen har i Norge vært basis for næringsutvikling både innen sagbruk- og trelastindustri, treforedling og energi (elektrisitet, varme og drivstoff). Trendendringer, i form av økt aktivitet i en verdikjede, påvirker nødvendigvis også andre næringer. Treforedlingsindustrien har relativt tett kobling med sagbruk- og trelastindustrien i råvaremarkedet, og treforedlingsindustrien er viktig for avsetning av biprodukter. Dette er også delvis tilfelle for varmemarkedet, og dynamikken kan potensielt utgjøre en viktig rolle som støttespiller også for biodrivstoffindustri.

Dette kapittelet diskuterer dynamikken og samspillet i biobrenselmarkedet og avsetning av flis, samt hvordan nedleggelse i industrien kan påvirke avvirkningen og tilgang til tømmer og skogsråstoff i Norge.

Det er i dag en reell konkurranse mellom næringene om utnyttelse av skogsråstoff. Imidlertid har næringene utviklet seg slik at de i størst mulig grad utnytter hele tømmerstokken. Dette medfører at dersom en verdikjede reduseres eller blir borte, vil dette påvirke de andre verdikjedene. Treforedlingsindustrien i Norge er hardt presset, noe som har ført til flere nedleggelse av anlegg og industri. Treforedlingsindustrien er viktig for hele den skogbaserte verdikjeden, og nedleggelse kan blant annet føre til at sagbruk- og trelastindustrien risikerer å ikke få avsetning av flis. Dette vil direkte påvirke lønnsomheten i trelastindustrien, og med sagtømmer som viktigste driver for hogst og avvirkning av skog vil dette også påvirke bioenerginæringen.

Figur 5-8 viser samspillet mellom sagbruk- og trelastindustrien og treforedlingsindustrien, samt biomasse til direkte energiformål. Sagbruk leverer i dag biprodukter til treforedlingsindustrien, ved celluloseflis. I tillegg, massevirke av lav kvalitet leveres til energiformål, sammen med andre biprodukter fra både trelast- og treforedlingsindustrien. Endringer i markedsdynamikken kan påvirke priser på både tømmer og fornybare byggematerialer. Produkter fra treforedling benyttes i dag både til papirindustri, bygningsmaterialer, varme-/elektrisitetsproduksjon og til produksjon

av foredlede bioenergi produkter som pellets og briketter. En lavere etterspørsel etter biprodukter fra treforedlingsindustrien kan i noen grad fanges opp av varmemarkedet som bioenergi.



Figur 5-8: Dynamikken i biomarkedet © Rambøll

Hvorvidt frigjort råstoff vil bli brukt i energimarkedet avhenger av om nedlagte anlegg erstattes med annen aktivitet og hvilke fraksjoner av skogsråstoff som blir tilgjengelig, i tillegg til utviklingen av pris på elektrisitet og fyringsolje. Elektrisitetsprisene styrer inntektsmulighetene for varmeprodusentene, som fjern- og nærvarmeleverandører. Kull- og gasspriser i Europa påvirker elektrisitetsprisen, samt kvoteprisen. Nedleggelse og økonomisk nedgang i treforedlingsindustrien kan på den annen side føre til at tilgang til biprodukter til energiformål reduseres, men samtidig også økt tilgang til massevirke til energiformål.

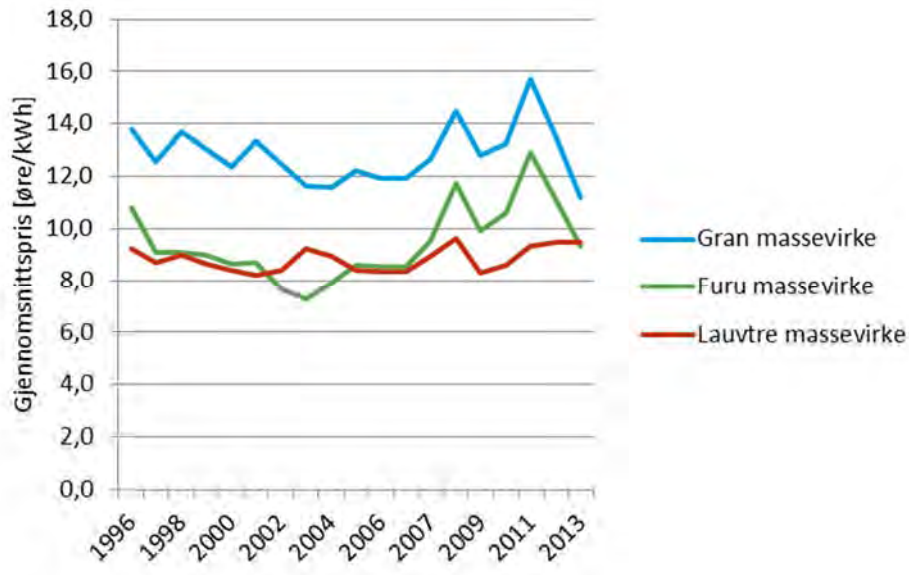
Markedet defineres dermed gjennom to trinn:

1. Uthenting av sagtømmer avgjør tilgjengelig massevirke og energiflis
2. Tilstrekkelig høy elektrisitets- og oljepris

På tross av nedleggelse i treforedlingsindustrien de siste årene, var avvirkningen av tømmer i 2013 på det høyeste nivået siden slutten av 80-tallet/begynnelsen av 90-tallet. Avvirkningen var i 2013 over 9 millioner m<sup>3</sup> ekskludert avvirkning til ved, og var til sammenligning 8,5 millioner m<sup>3</sup> i 2011. Redusert etterspørsel etter tømmer i treforedlingsindustrien ser altså ikke ut til å påvirke avvirkningen i Norge, men heller føre til redusert import og økt eksport av tømmer. Norge har importert betydelige mengder tømmer til treforedlingsindustrien, og denne importen kan reduseres. Det vil generelt alltid være avsetning for tømmer, da etterspørselen i resten av Europa er høy, noe som viser til muligheten for økt eksport av norsk tømmer.

Avvirkningen i Norge har vært relativt stabil de siste hundre årene, se Figur 3-6 i kapittel 3.1. Avvirkningen har i enkeltår vært lavere, for eksempel i 2009 på grunn av finanskrisen. Dette bidrar sammen med overstående til å danne et bilde om at priser og den generelle økonomiske situasjonen har større betydning enn endringer i industrien når det gjelder avvirkning av skog. Det handler dermed i større grad om en tilpasning/omstilling av biobrenselmarkedet, i forhold til avsetning av flis og biprodukter fra industrien.

Det er observert en nedgang i priser på massevirke for gran og furu siden 2011, noe som kan forklares ved nedleggelsene i treforedlingsindustrien og dermed lavere etterspørsel etter massevirke. Prisene på sagtømmer er redusert fra 2010, men i en mindre grad enn massevirke. En fallende trend i tømmerpriser etter 50-tallet – målt i faste kroner – har ikke ført til redusert avvirkning, da det både har vært en økning i stående volum og lavere driftskostnader [1]. Hogsten er imidlertid påvirket av prisvariasjon mellom år, det vil si skogeierne reagerer på endrede priser på kort sikt.



Figur 5-9: Priser på massevirke fra gran, furu og lauv [30]

Det trekkes følgende konklusjoner:

- Redusert etterspørsel i treforedlingsindustrien etter biprodukt fra sagbruk- og trelastindustrien kan dekkes ved bruk til energiformål (biobrensel og biodrivstoff), forutsatt at elektrisitets- og oljeprisen er tilstrekkelig høy
- Det er synergier mellom treforedlingsindustrien og energibransjen om bruk av massevirke (massevirke omtales som rundvirke til energiformål). Redusert etterspørsel etter massevirke i treforedlingsindustrien kan delvis oppveies ved økt bruk av massevirke til energiformål
- Etterspørselen etter tømmer i Europa er høy, og redusert etterspørsel i norsk industri ser ikke ut til å påvirke eller redusere norsk avvirkning, men heller redusere import og øke eksport av norsk tømmer
- Treforedlingsindustrien har mulighet til å utnytte produktsynergier i større grad enn det gjøres i dag, gjennom industrisymbioser og næringsparker. Ved å øke produkt differensieringen kan enkelte nisjer gi svært god lønnsomhet

Ressurspotensialet for skog til energiformål kan med dette bli høyere enn estimert i kapittel 3 ved at massevirke og biprodukter fra industrien frigjøres, samtidig med at avvirkningsnivået synes å holde seg stabilt. Ett eksempel er redusert industrietterspørsel etter furu massevirke etter nedleggelsen på Tofte, som kan dekkes ved økt bruk av massevirke til energiformål. Det ble vist til en reallokering av massevirke i kapittel 3 for scenario 1, og denne reallokeringen kan altså potensielt bli høyere ved lavere aktivitet i treforedlingsindustrien.

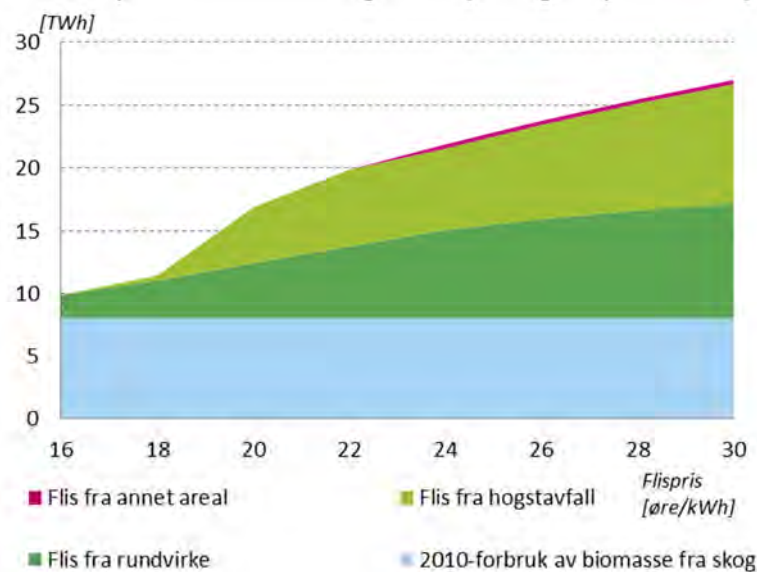
Det konkluderes med at dagens endringer og nedleggelse i treforedlingsindustrien kan føre til økt tilgang til massevirke og biprodukt fra trelastindustrien. Rammevilkår som stimulerer til økt bruk til energiformål er sentralt, og en forutsetning for at økonomien i trelastindustrien ikke påvirkes negativt av treforedlingsindustrien. En tilpasning til et marked i endring for treforedlingsindustrien kan dessuten bidra til å øke lønnsomheten, og opprettholde dagens synergier med trelastindustrien og energimarkedet. Integrasjon/samløkalisering av tremekanisk og trekjemisk industri kan i denne sammenheng være fornuftig for å redusere logistikkostnader og sørge for bedre utnyttelse av tømmeret.



## 5.6 Tilbudskurve biobrensel

Tømmer omsettes i et velfungerende marked hvor prisene bestemmes av rådende tilbud og etterspørsel. Det er en viss prisvariasjon mellom regionene, som påvirkes ved store endringer i tilbud eller etterspørsel. Bergseng et. al. [1] har modellert tilbud av skogsflis på det norske markedet, og modellresultater gir regionale prisvariasjoner med omtrent samme mønster som observeres i markedet i dag, med generelt høyere priser i øst og lavere vestover i landet. Forskjellene er relativt moderate.

Figur 5-10 viser tilbudskurven for skogsflis til energiformål i 2020<sup>31</sup>. Priselastisiteten er forutsatt 1, altså en prisøkning på 1 % fører til 1 % økning i avvirkning [1]. Det er også forutsatt at innlandsk virke i skogsindustrien er på dagens nivå, og dermed at dagens massevirke fortsatt går til skogsindustrien og at sagtømmeravvirkningen øker i samme takt som avvirkningen til bioenergi. En reallokering av massevirke som i dag går til treforedlingsindustrien til energiformål, vil øke potensialet. Dessuten vil internasjonal handel med flis påvirke andelen som brukes i Norge, og for regioner med kort transportavstand til Sverige vil import og eksport være spesielt relevant.



Figur 5-10: Tilbudskurve for skogsflis til energiformål i 2020 for ulike flispriser levert anlegg [1]<sup>32</sup>

Det faktiske tilbudet av skogressurser i 2020 er en funksjon av kostnader for uthenting, bearbeiding, transport og lagring, og priser i markedet. Analysene gjennomført av Bergseng et. al. [1] viser at tilgangen på flis fra GROT er svært følsom for prisen. En flispris på 16 øre/kWh i scenario 1 gjør at flis fra GROT er ulønnsomt, mens en pris på 20 øre/kWh gjør det lønnsomt å hente ut over 90 % av potensialet.

Tilbudskurven viser at tilgangen til skogsflis til energiformål øker betydelig ved økte priser. Eksempelvis vil en flispris på 18 øre/kWh levert til anlegg gi en økt tilgang på flis fra rundvirke på 3,5 TWh fram mot 2020, dersom den økte tilgangen benyttes til energiproduksjon. Til sammenligning viser Trømborg [13] en markedspris på flis i Norge mellom 21,5-23 øre/kWh. Dette viser at markedet for omsetning av flis er relativt umodent, og fungerer ikke i henhold til modellen. Det er mange grunner til at markedet ikke fungerer optimalt, blant annet fordi det ikke er avtagere i markedet til å realisere potensialet, og det mangler investeringsvilje. Elektrisitetsprisene er dessuten lave, og det er også regionale forskjeller.

Effekten av skatt og tilskudd kan derfor være viktig for å realisere ressurspotensialet fra skog. Det finnes tilskudd- og skatteordninger rettet mot leveranse av biomasse, samt i skogbruket for

<sup>31</sup> Stubber og røtter er ikke inkludert i tilbudskurven

<sup>32</sup> Fra 24 øre/kWh er det forutsatt at økt tilgang på rundvirke gir en tilsvarende økning i tilgangen på GROT. Fuktighetsinnhold for rundvirke og skog fra annet areal er 30 %, mens fuktighetsinnholdet for GROT er 35 %

å øke investeringer og avvirkning [1]. Etterspørselen etter biomasse vil i tillegg til støttenivåer avhenge av priser på elektrisitet og olje. Konkurransen med varmepumper til varmeforsyning vil også påvirke etterspørselen. Bergseng et. al. [1] viser at ved et støttenivå på 20 % av investering og en flispris på 18 øre/kWh vil det være et overskudd av biomasse i 2020 tilsvarende 2,5 TWh. Øker støttenivået til 40 % av investering, øker etterspørselen til 5,5 TWh<sup>33</sup>. I det norske varmemarkedet vil en økning på mer enn 2 TWh sammenlignet med 2010-nivå mest sannsynlig kreve vesentlige endringer i rammevilkår og energipriser.

Trømborg et. al. [48] viser tre scenarier for brenselpris, som påvirker tilbud og etterspørsel av bioenergi: 1) basis, som viser en sannsynlig utvikling, 2) lav elektrisitetspris, på bakgrunn av en betydelig økning i produksjon av vind og/eller vannkraft, og 3) høy CO<sub>2</sub>-kostnad, som fører til økte priser for olje, gass og elektrisitet. Basis-scenariet fører til at tilbud og etterspørsel krysser ved 3,4 TWh og 16,8 øre/kWh. Scenariet for lav elektrisitetspris fører til kryssing ved 2,2 TWh og 15,9 øre/kWh, mens scenariet for høy CO<sub>2</sub>-kostnad fører til et markeds kryss ved 5,6 TWh og 18,4 øre/kWh. Dette viser at reduserte klimagassutslipp er en driver for økt bruk av bioenergi, som diskutert tidligere, og at lave elektrisitetspriser er en barriere.

Det konkluderes med at tømmermarkedet er et modent og velfungerende marked, som i en grad også er internasjonalt. Dette til forskjell fra flismarkedet, som er umodent. Flismarkedet fungerer ikke i henhold til modellen, noe som fremkommer ved at dagens flispriser i teorien skulle utløst et stort ressurspotensial. Mangel på markedsaktører og investeringsvilje er en forklaring på dette. Et godt fungerende rammeverk, med gode og forutsigbare rammebetingelser, er en forutsetning for utvikling av flismarkedet. Utvikling av nye markeder for biodrivstoff kan også bidra til å utvikle flismarkedet i en positiv retning.

Tilbud av avfall og biogass vil skille seg fra tilbud av flis, og er ikke vurdert. Biogassmarkedet er umodent og fragmentert, og tilbud av biogass er i stor grad lokal, og prisvariasjoner synes store. Hvorvidt det er realistisk å se for seg et modent nasjonalt biogassmarked anses om usikkert, spesielt tatt i betraktning et relativt begrenset ressurspotensial for biomasse til biogass sammenlignet med skogressurser. Avfallsmarkedet er på den andre siden et modent og kommersielt marked, der avfallsmeglere fremforhandler kortsiktige kontrakter i det norsk-svenske markedet. Tilbud av avfall drives av mottaksgebyret, som avhenger av en rekke internasjonale forhold; blant annet deponiavgift i Storbritannia, som fører til økt import i Norge. Det samme kan bli tilfelle ved eventuell innføring av deponiforbud i Øst-Europa.

---

<sup>33</sup> Disse verdiene er sammenlignet med 2008-nivå

## 5.7 Oppsummering markedet for bioenergi

Det norske bioenergimarkedet preges av større og mindre ulikheter gjennom verdikjedene, der flere av markedene er fragmentert og umodne, herunder spesielt brenselsiden. Varmemarkedet og treforedlingsindustrien er på den andre siden modne, men fjern- og nærvarme er lokale monopoler med relativt liten dynamikk, få aktører og liten konkurranse. Trelast- og treforedlingsindustrien har i dag et tett samspill på råvaresiden, og både varmebransjen og treforedlingsindustrien står i dag overfor utfordringer med lønnsomhet, som i stor grad drives av elektrisitetsprisen og også tømmerprisen for treforedlingsindustrien. På brenselsiden øker omsetningen av pellets og briketter, og avfallsselskapene leverer avfall til energigjenvinning og i økende grad også til biogassproduksjon. Investeringsvilje og økte avsetningsmuligheter vil bidra til å utvikle bio-brenselmarkedet, mens produktutvikling og videreutvikling av bioraffinerier synes å være den eneste muligheten for vekst innen treforedlingsindustrien [45].

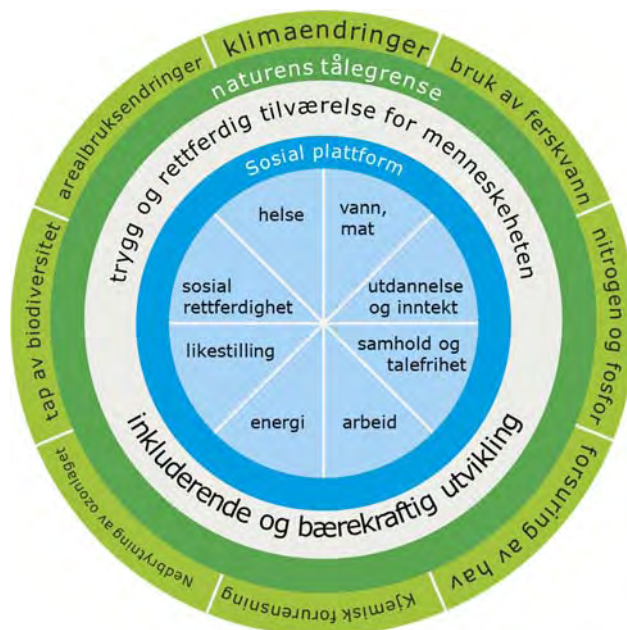
Uttaket av tømmer og biomasse generelt vil avhenge av pris, verdikjedenes utvikling i forhold til dagens situasjon, samt import/eksport, som påvirker hogstvolumene og dermed tilgangen til flis. Tømmer er en internasjonal handelsvare, og redusert etterspørsel i treforedlingsindustrien vil sannsynligvis ikke redusere avvirkningen i Norge, men føre til redusert import og/eller økt eksport. Industriell avvirkning har ligget stabilt rundt 8-9 millioner m<sup>3</sup> i mange tiår, og den økonomiske hoveddriveren i skogbruket er sagtømmer, med priser på rundt 50-100 % over prisen på massevirke. Ved lavere aktivitet innen for eksempel treforedlingsindustrien, vil massevirke og bi-produkter fra trelastindustrien i større grad kunne reallokeres til energiformål. Symbioser i treforedlingsindustrien med varme- og biodrivstoffproduksjon er et spennende marked, hvor for eksempel Borregaard hevder seg.

## 6. BÆREKRAFT OG MILJØFORHOLD

Det er i dag ingen omforent definisjon av bærekraft relatert til fornybar energi og produksjon eller høsting av biologisk råstoff. Det foreligger imidlertid en rekke definisjoner internasjonalt med større og mindre utbredelse, og felles for de fleste er at de omfatter forhold som kan grupperes i følgende kategorier:

- **Natur, miljø og klima:** Reduksjon av klimagassutslipp og lokal forurensning, hensyn til biologisk mangfold og økosystemtjenester, og et godt forvaltet jordbruk
- **Sosiale-/samfunnsforhold:** Ivaretagelse av menneskerettigheter, arbeidsrettigheter, rettigheter til land, helse og matsikkerhet
- **Økonomiske forhold:** Bedriftsøkonomisk lønnsomhet, langsiktig økonomisk utvikling, nye arbeidsplasser, og en mest mulig optimal forvaltning av samfunnets ressurser

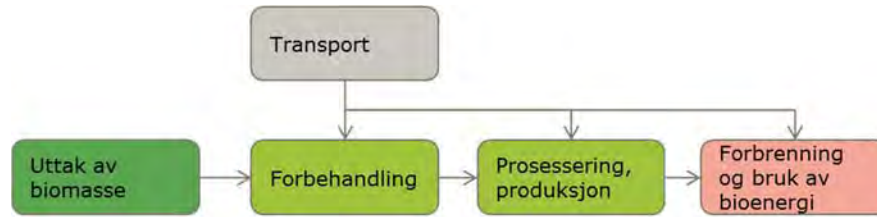
De ulike definisjonene vektlegger ulike kategorier, og har varierende grad av konkretisering og bredde i elementene som omfattes. Figur 6-1 viser en mulig visualisering og oversikt over sosiale, økonomiske og miljømessige dimensjoner for bærekraft.



Figur 6-1 Sosiale, økonomiske og miljømessige dimensjoner for bærekraft<sup>34</sup>

Figur 6-2 viser en generell verdikjede for bioenergi, og også systemgrensen for hva som diskuteres i dette kapittelet. Verdikjeden inkluderer uttak av biomasse, forbehandling, prosessering/produksjon, transport og bruk. Dette viser således til en vugge-grav-tilnærming, eller en LCA-tilnærming. Miljøhensyn diskuteres overordnet videre, for både uttak og prosessering/forbrenning av biomasse. Transport diskuteres kort under. Avslutningsvis i dette kapittelet diskuteres bærekraftskriterier og biogene CO<sub>2</sub>-utslipp i et klimaperspektiv, sistnevnte relatert til karbondjeld og albedoeffekter.

<sup>34</sup> Inspirert av Oxfam og Kate Raworth, 2012



Figur 6-2: Systemgrense for miljø- og klimaeffekt fra verdikjeder for bioenergi

Transport avhenger sterkt av transportavstand, og også energitetthet til transporterte produkter. Transport av biomasse er mest effektivt ved høy energitetthet, og lite foredelede biobrensler er derfor transportintensive, som for eksempel GROT. Gode logistikk løsninger er derfor viktig.

## 6.1 Uttak av biomasse

Et bærekraftig uttak av biomasse tar hensyn til biologisk mangfold, landskap- og kulturminneverdier, arealbruksendringer, samt utslipp fra hogst og framkjøring av skogressurser til vei. Miljøforhold vil være ulike for ulike bioenergiressurser. En rekke miljøhensyn i skogforvaltningen ivaretas gjennom miljøsertifiseringer, og styres gjennom skogbruksloven sammen med naturmangfoldloven, vannressursloven og friluftsløven [49]. Drøye 30 % av det produktive norske skogarealet er underlagt moderate til sterke restriksjoner grunnet miljøhensyn. Samlet effekt på potensiell avvikning som følge av miljøhensyn i skogen ligger i området 12-15 % [1] [49].

Anleggsmaskiner for uttak og framkjøring av biomasse bruker som regel diesel, og en mulighet i Norge er å benytte elektrisitet for å redusere utslipp. En utfordring er å knytte seg til elektrisitetsnettet ved avsidesliggende hogstområder. Naturlig tørking av biomasse vil redusere behovet for ekstern energi.

Arealbruksendringer står sentralt i et bærekraftperspektiv, og er spesielt viktig for jordbruksressurser. Arealbruksendringer kan føre til tap av karbonlager, og dette resulterer i utslipp av klimagasser [14]. Denne effekten forsøkes begrenset ved bærekraftskriteriene, som begrenser bruk av råstoff fra definerte, særlig karbonrike områder. Dette viser til direkte arealbruksendringer. Den samme effekten kan imidlertid også skje indirekte, gjennom markedsmekanismene, ved at etterspørselen etter vekster til energiformål fortrenger produksjon av mat og fôr, som isteden etableres på nyryddet eller allerede kultivert land med høye karbonlanger. Denne effekten er vanskelig å kontrollere fordi den er vanskelig sporbar, og klimagassutslippet gjerne skjer et annet sted og til en annen tid enn der energiråstoffet produseres. Effekten varierer betydelig med ulike vekster, produksjonsmåter og geografi, og er spesielt sterk i land der det er tropisk regnskog eller torvland som blir dyrket opp.

## 6.2 Prosessering og forbrenning av biomasse

Ved forbehandling og prosessering av biomasse til biobrensel og biodrivstoff er spesielt utbyttet sentralt, altså mengde produkt som produseres i prosessen i forhold til opprinnelig mengde biomasse. Høye tap fører til at mer biomasse må benyttes for å produsere samme mengde biobrensel/biodrivstoff. Det er en rekke ulike prosesser og teknologier for produksjon av biobrensel og biodrivstoff, og disse har også svært ulike miljøeffekt. Behov for tilførsel av ekstern energi bør dekkes av fornybare kilder for å sikre god miljøprestasjon.

Foredling av biomasse til biobrensel og biodrivstoff fører til at det produseres et mer *høyverdig* produkt, som vil egne seg bedre til lagring, håndtering og transport. Dette fører til at tapene reduseres. Et eksempel på dette er håndtering og lagring av pellets versus våt flis.

Forbrenning av biobrensel og produksjon og bruk av biodrivstoff fører til direkte utslipp av klimagassene CO<sub>2</sub>, metan og lystgass, samt utslipp av uforbrente gasser og partikler, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, støv,

tungmetaller og dioksiner. Utslippene til luft påvirkes og reduseres i hovedsak gjennom følgende tiltak: 1) brenselssammensetning, 2) prosessoptimalisering, 3) tekniske tiltak, 4) partikkelrensing og 5) kjemisk gassrensing [26].

### 6.3 Bærekraftskriterier

Retningslinjer for rapportering på bærekraftskriterier for biodrivstoff og flytende biobrensel er innført i Norge fra og med 2014, og skal sikre krav til reduksjon av klimagassutslipp, arealkriterier og oppfyllelse av prinsipp om massebalanse [50]. Retningslinjene innføres for å føre kontroll over at omsettere, kvotepliktige virksomheter og el-sertifikatberettigede oppfyller fastsatte kriterier for bærekraft, og at omsetningskravet på 3,5 volumprosent til veitrafikk opprettholdes. Aktørene er pliktet å rapportere på bærekraft til Miljødirektoratet. Rapporteringsplikten omfatter hele produksjonskjeden oppstrøms for den rapporteringspliktige aktøren.

Reduksjon av klimagassutslipp må dokumenteres, og kan gjennomføres på tre måter: 1) bruk av aggregerte standardverdier for hele livsløpet (kan ikke brukes ved arealbruksendringer), 2) bruk av disaggregerte standardverdier kombinert med egne beregninger, og 3) egen beregning av faktiske klimagassutslipp gjennom produktet livsløp.

### 6.4 Biogene CO<sub>2</sub>-utslipp og albedoeffekter for norsk skog

Det er i hovedsak to effekter som påvirker klimaeffekten fra biomasse, og som i Norge er spesielt relevant for skog. Dette er tidsaspektet og håndtering av biogene CO<sub>2</sub>-utslipp, det vil si CO<sub>2</sub>-utslipp fra biogen opprinnelse, og albedoeffekter. Disse to forholdene diskuteres under.

Den mest vanlige praksisen har lenge vært å anse biogene CO<sub>2</sub>-utslipp som klimanøytrale. Begrunnelsen er at den samme mengden CO<sub>2</sub> som slippes ut ved forbrenning vil absorberes i nye vekster, og således vil systemet være karbonnøytralt. Denne metodikken benyttes blant annet i Fornybardirektivets retningslinjer for klimagassregnskap for biodrivstoff, bærekraftskriteriene, samt i flertallet av gjennomførte LCA-analyser<sup>35</sup>.

Det har i de senere år imidlertid oppstått diskusjon rundt denne praksisen, ettersom tidsaspektet også spiller en rolle for klimagassutslippenes faktiske bidrag til global oppvarming. Kritikken ved dagens praksis viser i hovedsak til at CO<sub>2</sub> i atmosfæren opptrer tilsvarende, uavhengig av om den er av fossil eller biogen opprinnelse. Ved forbrenning av biomasse bør det derfor skilles på karbonnøytralitet og klimanøytralitet. Uttak og forbrenning av skog vil medføre utslipp som vil tilbringe mange tiår i atmosfæren før den samme mengden er absorbert i ny skog. I mellomtiden vil utslippene bidra til global oppvarming. Så selv om denne syklusen er karbonnøytral, vil den ikke nødvendigvis være klimanøytral. Fenomenet kalles karbondjeld, eller karbonets tilbakebetalingstid, og kan teoretisk ha stor påvirkning på klimaeffekt, særlig dersom opprinnelsen er fra saktevoksende biomasse, som for eksempel boreal skog. Biomasse fra landbruket kan i de fleste tilfeller anses som klimanøytrale, da det som høstes og forbrennes ett år, tas opp igjen i veksten neste år.

Albedoeffekten viser til en nedkjøling av atmosfæren ved at jorda reflekterer innstråling. Overflatealbedo er forholdet mellom reflektert innstråling fra overflaten og innfallende stråling på den samme overflaten. Albedoendringer er en følge av hogst av skog, som endrer overflatealbedoen, spesielt når hogstfeltet er snødekt. Mer solinnstråling reflekteres etter hogst enn før, og en netto kjølede effekt finner sted. Dette medfører en reduksjon i klimaeffekt for bioenergi basert på boreal skog. Klimaeffekten fra albedoendringer er både regions- og casespesifikke, både på grunn av at ulike overflater reflekterer forskjellig, samt skydekke (styrer hvor mye av innstrålingen som når bakken og hvor mye av den reflekterte strålingen som unnslipper atmosfæren) og temperatur og snøforhold.

<sup>35</sup> I følge Bright et. al. (2012) er denne praksisen så vanlig at 63 av 67 evaluerte studier i en gjennomgang av LCA-analyser av biodrivstoff ikke engang begrunner denne tilnærmingen [58]

Kort oppsummert er beregning av klimaeffekt ved bruk av boreal skog et komplekst felt hvor det fortsatt er uenighet og uavklart metodikk. Tidsaspekt og karbondjeld slår negativt ut for klimaeffekten fra bioenergi, mens albedoeffekter har positive effekter. Cherubini et. al. viser at norsk skog har en netto klimaeffekt, inkludert klimaeffekt fra både biogene CO<sub>2</sub>-utslipp og albedo, på 0,20 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg CO<sub>2</sub><sup>36</sup> [51]. Dette betyr at utslipp av 1 kg biogen CO<sub>2</sub> har en klimaeffekt tilsvarende 20 % av 1 kg fossil CO<sub>2</sub>. For GROT utgjør netto klimaeffekt 0,12 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg CO<sub>2</sub><sup>37</sup>. Dette viser at GROT har en lavere klimaeffekt enn rundvirke, og preserer dermed bedre i et klimaperspektiv.

## 6.5 Oppsummering klima- og miljøeffekt bioenergi

Det er store forskjeller i miljøprestasjon for ulike verdikjeder for bioenergi. Generelt vil økt prosessering også føre til økt miljøeffekt. En utvikling av effektive verdikjeder for produksjon av bioenergi er derfor viktig ved økt bruk. Dette inkluderer både prosessoptimalisering, tilførsel av fornybar ekstern energi og gode logistikk-løsninger, samt hensyn til arealbruksendringer. Bærekraftskriteriene som innføres i Norge i 2014 skal sikre at norsk biodrivstoff er bærekraftig.

Klimaeffekten fra bioenergi er et tema hvor det i dag ikke er konsensus, spesielt med tanke på boreal skog. Karbondjeld og tidsaspektet for biogene CO<sub>2</sub>-utslipp i atmosfæren bidrar negativt til klimaeffekten, mens albedoeffekter påvirker klimaeffekten positivt.

---

<sup>36</sup> For et 100 års-perspektiv. Albedoeffekter utgjør -0,42 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg CO<sub>2</sub>

<sup>37</sup> For et 100-års perspektiv. Albedoeffekter utgjør for GROT -0,38 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg CO<sub>2</sub>

## 7. BIOENERGIENS ROLLE I ENERGISYSTEMET

Klimautfordringen vil i årene fremover i økende grad påvirke samfunnets energiløsninger og infrastruktur, samt hvordan energiforsyning, næringsliv og industri organiseres. De menneskeskapte klimagassutslippene må reduseres drastisk, og det må etableres langsiktige, bærekraftige løsninger for energiforsyning og –bruk. Bruk av fornybar energi generelt og bioenergi spesielt er toneangivende for at Norge skal nå sine klimamålsetninger. Biomasse er den eneste karbonbaserte fornybare energikilden vi kjenner i dag som kan direkte erstatte fossile energikilder. Bioenergi gir derfor en unik mulighet til å redusere innenlandske klimagassutslipp innen både stasjonær energi og transport.

Bioenergiens samspill med energisystemet som en helhet er viktig for utviklingen av næringen, og må sees i sammenheng med biomassens ressurspotensial og markedsmessige forhold, kostnader, klimaeffekt og politiske rammevilkår. Hvordan, og under hvilke rammevilkår, bioenergi utvikles på en klima- og kostnadseffektiv måte er et sentralt spørsmål, både i forhold til uttak av biomasse, prosessering, konvertering og bruk. Dette kapitlet vil beskrive dagens bioenergisystem og tegne et bilde av et fremtidig bioenergisystem. Videre vil bioenergiens rolle i energisystemet beskrives. Bioenergiens samspill med energisystemet er viktig for å forstå utviklingen og realisering av ressurspotensial, i henhold til norske målsetninger.

### 7.1 Dagens situasjon

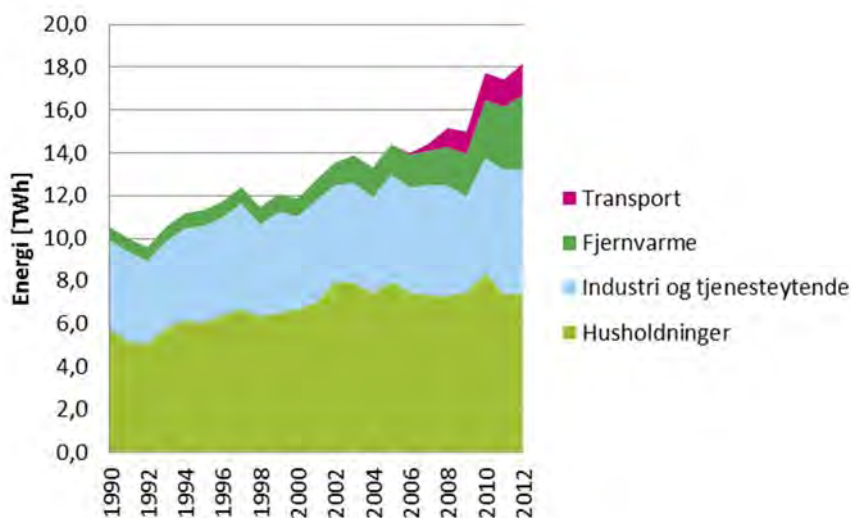
Biomasse og avfall utgjør den største fornybare energikilden i Sverige, Danmark og Finland [52]. Biomasse og avfall er i Norden en større energikilde enn vannkraft og naturgass, og også noe større enn kjernekraft. Det er kun olje som utgjør en høyere andel enn bioenergi i Norden i dag, og bioenergi er med dette mer enn kun en viktig fornybar energikilde. I Norge var den totale energibruken i 2012 cirka 237 TWh [2], der bioenergi utgjorde cirka 18,1 TWh i 2012<sup>38</sup> [5]. Bioenergi utgjør dermed 7,6 % av den norske energibruken. Bioenergiens rolle i Norge skiller seg fra resten av Norden, i hovedsak på grunn av vannkraftens rolle i Norge.

Figur 7-1 viser utviklingen av bruk av bioenergi i Norge, i perioden 1990-2012. Bruken har økt fra cirka 11 TWh i 1990 til drøye 18 TWh i 2012. Bioenergi til både husholdningene og industrien økte fram til midten av 2000-tallet, og har siden hatt en noe lavere økning. I gjennomsnitt har bioenergi utgjort i underkant av 7 TWh for husholdningene og cirka 4,7 TWh for industrien. Bioenergi til fjernvarme har økt i perioden, og betraktelig siden begynnelsen av 2000-tallet. Bruken var i 1990 0,6 TWh, og har økt til 3,5 TWh i 2012. Bioenergi til transport ble først tatt i bruk i 2006, og har siden dette økt til 1,5 TWh.

---

<sup>38</sup> Inkludert bioenergi i fjernvarmen





Figur 7-1: Bruk av bioenergi i Norge i perioden 1990-2012 [2] [4]

Biomasse har tradisjonelt vært en viktig del av norsk økonomi, også gjennom trelast- og treforedlingsindustrien. Industriens rolle er mindre i dag enn den var tidligere, men er fortsatt sentral for norsk landbasert industri og eksport. Dette gjelder generelt for bioenergi i Norge; næringen er i dag en viktig arbeidsplass og bidrar til verdiskaping gjennom hele verdikjeden.

I Norden er papirindustrien den største produsenten av bioenergi, og Nordic Energy Technology Perspective viser derfor til mulighetene for tettere synergier mellom energibransjen og papirindustrien. Synergiutviklingen pågår allerede i dag, spesielt gjennom bioraffinerier med fokus på andregenerasjon produksjon av flytende biodrivstoff. Biodrivstoff er en sentral energibærer i scenariene, og utgjør mellom 25 % for 2 graders-scenariet og 70 % for det karbonnøytrale scenariet.

I dag er bioenergi viktig for varmforsyning, både i fjernvarmen, privat bruk i husholdninger og i industrien. I denne sammenheng spiller bioenergien en viktig rolle for energifleksibilitet. Energifleksibilitet innebærer en mulighet til å veksle mellom energivarer på lang eller kort sikt. Tradisjonelt har begrepet vært knyttet til vannbårne systemer som eksempelvis har hatt mulighet til å veksle mellom elektrokjeler og oljekjeler. Fleksibiliteten har medført muligheten for å koble ut elektrokjeler ved anstrengte situasjoner i elektrisitetsnettet, samt at den enkelte sluttbruker til enhver tid har kunnet benytte den rimeligste energivaren. En viktig form for energifleksibilitet finnes hos husholdninger med ildsted, som eksempelvis kan velge å øke vedbasert oppvarming ved høye elektrisitetspriser. Disse formene for fleksibilitet antas blant annet å ha hatt positiv betydning for elektrisitetsnettet og forsyningssikkerheten i tørrår.

Vannbåren varmedistribusjon med sentral energiproduksjon er en type anlegg som ofte relativt enkelt kan legges om gjennom å erstatte den sentrale enheten for energiproduksjon. Bioenergi kan spille en viktig rolle for energifleksibilitet i Norge, og kan være et viktig bidrag både som grunnlast og spisslast. Fjernvarmesystemer vil kunne være svært fleksible og utnytte billig elektrisitet fra ikke regulerbar kraftproduksjon når denne er tilgjengelig, men vil også kunne basere seg på eksempelvis bioenergi som spisslast og således bidra til at elektrisitetsnettet avlastes i høylastperioder sammenlignet med elbaserte oppvarmingsløsninger. Fjern- og nærvarmeanlegg vil også over tid kunne legges om energiproduksjonen og anvende nye løsninger som kan vise seg hensiktsmessige på lang sikt og i et bærekraftsperspektiv.

## 7.2 Fremtidens bioenergisystem

Bioenergistrategien fra Olje- og energidepartementet fra 2008 legger frem en målsetning om økt utbygging av bioenergi tilsvarende 14 TWh fram til 2020, sammenlignet med 14,5 TWh bioenergi i 2006. Økt bruk av bioenergi er også presisert på EU-nivå, og er en viktig energikilde i framtidsscenarioene til IEA generelt, og spesielt i Nordic Energy Outlook. Bioenergi er av IEA antatt å øke med 2/3 i scenariet for karbonnøytralitet, og vil med dette være den viktigste energibæreren i 2050 [52]. Regjeringen trekker i Klimaforliket fram økt bruk av skogressurser med fokus på GROT [53].

For å nå Norges mål om økt bruk av bioenergi på inntil 14 TWh mot 2020, må bruk av bioenergi øke med i underkant av 10 TWh frem til 2020, sammenlignet med 2012-nivå. Dette betyr en økning på i overkant av 1,2 TWh årlig. Basert på utviklingen i bruk av bioenergi fra 1990, er dette en markant økning, se Figur 7-2. Det antas allikevel som realistisk ved tydelig fokus, da det i flere år siden 2000 har vært en markant økning i bruk; fra 2011 til 2012 økte bruken med 0,9 TWh, og både i 2001, 2002, 2005 og 2008 økte bruken med 0,8-1 TWh. I 2010 økte bruken med 2,9 TWh, men dette var i hovedsak et resultat av en bruksnedgang under finanskrisen i 2009. I perioden 2000-2012 har bruken av bioenergi økt med 7,4 TWh, og de siste 8 årene har bruken økt med 5,8 TWh. Dette viser til at det må fokuseres betydelig mot 2020 om målene om økt bruk av bioenergi skal nås.



Figur 7-2: Bruk av bioenergi i perioden 1990-2012 og nødvendig økning i bruk mot 2020 for å nå norske målsetninger om økt bruk av bioenergi

Hvilke sektorer som bør stå for økningen i bruk av bioenergi bør reflekteres, for at målet om 28 TWh i 2020 skal nås. Det ble i begynnelsen av dette kapittelet vist at utviklingen i husholdningene og industrien har vært relativt moderat, og at økningen har vært betraktelig i både fjernvarme og transport. Kun en mindre andel av økt bruk av bioenergi synes derfor realistisk og utnyttes i husholdningene og industrien, spesielt tatt i betraktning økonomiske utfordringer i treforedlingsindustrien, utviklingen i byggebransjen mot redusert varmetetthet i området, og lave elektrisitetspriser. Fjernvarme og transport anses derfor som de mest sentrale sektorene for en betydelig økning i bruk av bioenergi fram mot 2020. Hvordan økt bruk mot 2020 kan fremtre diskuteres under, sammen med overordnede barrierer og muligheter.

Hovedbarrieren for økt bruk av bioenergi i Norge er lave elektrisitetspriser, sett i sammenheng med investeringskostnaden for bioenergisystemer [13]. Konkurransedyktigheten til bioenergi i bygg og fjernvarme i Norge avhenger av prisen på biomasse sammen med andre brenselpriser. Trømborg [29] har estimert økt bruk av bioenergi mellom 2 og 6 TWh mot 2020, avhengig av utviklingen i energipriser. Økt bruk over 5 TWh vil kreve en kombinasjon av høye elektrisitetspriser og betydelig økt støtte til biomasse- og bioenergisystemer.

Bioenergi er vist å være viktig for dagens energisystem ved varmforsyning og for energifleksibilitet. Det er knyttet usikkerhet til hvordan utviklingen i energisystem vil bli, og hvordan framti-

dens bygg vil utformes. Energifleksibilitet bør tilstrebes, både gjennom privat bruk i husholdninger, men også gjennom sentral distribusjon av varme. Hvilken rolle vedfyring og ildsteder i husholdningene vil spille i framtidens nye boliger er usikkert, og stilles spørsmålstegn ved. Dette vil i utgangspunktet avhenge av utviklingen i energibruk og -forsyning til framtidens bygg i Norge, samt teknologisk utvikling i både byggebransjen og energiteknologisk. Dagens krav til 60 % annen energi enn fossil energi og direktevirkende elektrisitet i byggeforskriftene gir i praksis gode insentiv til energifleksible løsninger. Bioenergi vil også kunne utspille en viktig rolle ved utfasing av oljekjeler.

Det anses ikke som sannsynlig at Norges målsetning om økt bruk av bioenergi tilsvarende 28 TWh i 2020 kan dekkes utelukkende i varmemarkedet [13]. Bruk av biodrivstoff i transportsektoren kan derimot bidra til en markant økning i bruk av bioenergi, der bruken i all hovedsak er fossil i dag. Transportsektoren er dessuten en betydelig kilde til klimagassutslipp, på grunn av svært høy andel fossile drivstoff, noe som er en viktig driver. I transportsektoren antas også brenselceller og elektriske motorer med stor sannsynlighet å være viktig for framtidens kjøretøyteknologi. Etanol/metanol og ren hydrogen i gassform vil være sentrale drivstoff i en bioenergisammenheng, sammen med biogass til tungtransport.

Samtidig som reduksjon i klimagassutslipp er en driver for økt bruk av bioenergi, vil det være viktig at lokal partikkelforurensning ikke øker. Dette bør være et fokus ved økt bruk av bioenergi, spesielt i byområder. Dette fremtvinger strenge krav til bærekraft og optimal teknologi tilpasset lokale forhold. En omlegging til fornybar energi i utviklingen av det norske energisystemet anses allikevel som en sterkere trend.

Bioenergi antas i hovedsak og begrenses til bruk til transport og varme, og i mindre grad til elektrisitetsproduksjon i Norge. Ved fra biomasseelektrisitetsproduksjon anses kraftvarmeverk (CHP) å utgjøre hovedandelen. Dette er i utstrakt grad brukt i for eksempel Sverige i dag, spesielt for avfallsforbrenning. Utviklingen i Norge har gått mot ren varmeproduksjon, som et resultat av lave elektrisitetspriser.

En kortsiktig økning i bruk av bioenergi bør baseres på bruk av de lettest tilgjengelige ressursene, spesielt i et økonomisk perspektiv. Skogressursene anses som den viktigste bioenergiressursen på kort og mellomlang sikt, og i mindre grad også avfallsressurser til biogassproduksjon. I et lengre tidsperspektiv anses alger å være en viktig ressurs. Ressurspotensialet fra alger er i liten grad vurdert i denne rapporten. Utvikling i teknologi og påfølgende kostnadsreduksjoner anses som sentralt for at alger skal bli en konkurransedyktig ressurs, spesielt for mikroalger.

### 7.3 Bioenergiens rolle i energisystemet

Bioenergi anses som den største og reelle konkurrenten til bruk av fossil olje, både for produksjon av energi, drivstoff og kjemikalier. En økning i pris for fossile energibærere, begrenset tilgang og spesielt miljøutfordringer bidrar til å danne et bilde om en sannsynlig nedgang i bruk av fossil energi [54]. Bioenergi kan i motsetning til mange fornybare energikilder lagres, og er ikke variabel. De fornybare energikildene vil på sikt sammen kunne konkurrere med fossil energi. Bioenergi vil ha en sentral rolle i overgangen til fornybarsamfunnet, ved utjevning av variabel energiproduksjon fra sol og vind, og vil sammen med vannkraft utgjøre en grunnlastkilde.

I Norge er det mulig å videreutvikle og etablere flere ulike verdikjeder for bærekraftig biodrivstoff- og biobrenselproduksjon. Hovedspørsmålet er hvilke fortrinn som eksisterer i Norge og hvilke teknologier som er mest egnet for norske forhold. Det er viktig å få brukt alle fraksjoner av biomassen på en optimal måte, både i forhold til kostnader og lønnsomhet, samt utnyttelse av biprodukter fra blant annet industri. EU-kommisjonens Joint Research Centre fastslår at integrerte bioraffinerier kan være den beste løsningen for optimal utnyttelse av biomasse, både med tanke på energi, massebalanse og økonomi [55]. Utvikling av en bioøkonomi ved integrerte bioraffinerier synes med dette som en realistisk utvikling. Bioraffinerier som Borregaard er et godt eksempel på dette, hvor det produseres bioetanol, varme og biogass i tillegg til spesialkjemikalier med høy spesifikk verdi fra cellulose og lignin. Bioraffinerier kan dessuten bidra til å bedre lønnsomhe-

ten ved en produktutvikling i treforedlingsindustrien, som i dag står overfor store utfordringer. Figur 7-3 viser samspillet mellom produksjon av biovarme, bioelektrisitet og biodrivstoff.



Figur 7-3: Biovarme- og bioelektrisitetsproduksjon i samspill med biodrivstoffproduksjon © Enova

Ved kommersiell produksjon av flytende biodrivstoff, sammen med både spesialkjemikalier, biogass, varme og eventuelt elektrisitet, kan bioenergi bli en konkurrent til fossil energi til transport. Dette vil bidra til at Norge når både fornybar- og klimamål, og vil bidra til å utvikle bærekraftig norsk industri. Bioenergi anses allikevel mindre relevant til ren elektrisitetsproduksjon, og vil sammen med vann- og vindkraft utgjøre de største fornybare energikildene på kort til mellomlang sikt.

#### 7.4 Oppsummering bioenergiens rolle i energisystemet

Over det siste århundret har bioenergiens rolle blitt betraktelig mindre i det norske energisystemet, på tross av økt bruk. Ved inngangen til 1900-tallet utgjorde bioenergi 50 % av energibehovet i Norge [26], mens denne andelen i dag er redusert til mindre enn 8 %.

Bioenergi har mangfoldige muligheter for økt bruk, men også konkurrenter. Transportsektoren vil utgjøre en viktig arena for økt bruk av bioenergi i Norge, også internasjonalt. Biomasse vil også være en sentral ressurs for varmesektoren, men økt bruk er vist og ikke kunne dekkes av varmesektoren alene. Det er dessuten konkurranse mellom bioenergi og spesielt varmepumper til varmeformål.

Produksjon av biodrivstoff i samspill med spesialkjemikalier og andre energiprodukter er vist å være en realistisk utvikling av bioenergiproduksjon, gjennom integrerte bioraffinerier. Hvor mye bruken vil øke er et spørsmål om energipolitiske veivalg i Norge, og er på lang vei vist og ikke begrenses av det realistiske ressurspotensialet. Nasjonale, og også internasjonale rammebetingelser vil derfor være sentralt for å øke bruken av bioenergi.

## 8. KONKLUSJON OG DISKUSJON

Biomasse er et fleksibelt råstoff som kan benyttes til en rekke formål, og bioenergi opererer innen en rekke ulike markeder. Det er en rekke teknologier for bioenergiproduksjon og flere sluttbrukere. Dette bidrar til at økt bruk av bioenergi danner et relativt komplekst bilde. Deler av markedet for bioenergi er fortsatt umodent og ikke kommersialisert, og det er vist en betydelig teknologisk utvikling for bioenergi generelt, og flytende og gassbasert biodrivstoff spesielt.

Det realistiske ressurspotensialet for bioenergiressurser i Norge utgjør cirka 21 TWh, mens det teoretiske ressurspotensialet utgjør cirka 31 TWh. Skog utgjør den største energikilden til bioenergi med et realistisk potensial på cirka 17 TWh, og et teoretisk potensial, inkludert skog fra rydding og landskapspleie, på snau 19 TWh. Biomasse til biogassproduksjon utgjør også et betydelig bidrag, der husdyrgjødsel og halm er de største ressurskildene. Ressurspotensialet fra industrielt avfall er minimalt, og anses som et usikkert estimat.

Ressurspotensialet for bioenergi, inkludert kostnader, kan ikke anses som utfyllende. Det er generelt knyttet usikkerhet til avfall – spesielt med tanke på kostnader og mottaksgebyr. Det bør videre fokuseres på kostnader for spesielt biogassressursene og biomasse fra andre råstoff, herunder spesielt alger. Industrielt avfall er kun en del av næringsavfallet, og verken avfall fra fiske-næringen (primærnæringen), byggenæringen eller privat og offentlig tjenesteyting er vurdert. Det konkluderes med at ressurspotensialet og kostnader for bioenergi bør utfylles for avfall og alger.

Teknologisk utvikling fokuserer i denne rapporten på biodrivstoff, både flytende og gassbasert. De få produksjonsanleggene som er kommersielle i dag er bioraffinerier, som produserer både flytende biodrivstoff, biogass, biokjemikalier og biomaterialer. Bioraffinerier trekkes fram som en mulig utvikling for treforedlingsindustrien, som i dag står overfor utfordringer med både nedleggelser og dårlig lønnsomhet. Produksjon av spesialkjemikalier med høy spesifikk verdi gjør bioraffinerier til en egnet produksjonsmetode.

Markedet for bioenergi er på flere områder fragmentert og umodent. Presentert tilbudskurve for skogsflis viser at det i dag er lav investeringsvilje og få avtagere i markedet, noe som fører til at ressurspotensialet ikke realiseres. Rammebetingelser som stimulerer til økt bruk er viktig for utviklingen. Videre arbeid med markedet for bioenergi bør fokusere på biogass og avfall, med mål om å etablere en tilbudskurve, sammen med en bedre forståelse av etterspørsel i markedet.

Bioenergi utgjør i dag snau 8 % av energiforbruket i Norge, og bidrar til å redusere klimagassutslipp og sikre energifleksibilitet. Bioenergi vil være en viktig energiressurs i fremtiden, både til varmemål og i langt økende grad i transportsektoren. Bioenergi tegnes av IEA som den største energikilden i 2050 i Norden. På kort sikt antas skogressurser som de mest sentrale for økt bruk av bioenergi, sammen med i mindre grad avfallsressurser til biogassproduksjon. På mellomlang til lang sikt anses alger, både mikro- og makroalger, som en viktig ressurs. En utvikling av bioenergisystemet innenfor bærekraftige rammer er viktig, og utfordringer med hensyn til for eksempel arealbruksendringer, håndtering av biogene CO<sub>2</sub>-utslipp og miljøhensyn ved uttak av biomasse og prosessering/konvertering trekkes frem i denne sammenheng.

Økt bruk av bioenergi er kvantifisert gjennom nasjonale målsetninger mot 2020, og denne rapporten ser på teknologisk utvikling, bærekraft, marked og energisystemet som en helhet. I videre arbeid bør ressurspotensialet kobles med konkrete teknologiske muligheter, inkludert kostnader for prosessering og konvertering. Bærekraftige muligheter for både skognæringen og –industrien anses som viktig, og et fokus på kostnadsutvikling gjennom hele verdikjeden kan bidra til å avdekke de gode utviklingsmulighetene mer konkret enn hva som har vært mulig i denne rapporten.

Samlet sett viser denne rapporten at ressurspotensialet for bioenergi i Norge er betydelig. Dette potensialet kan realiseres gjennom en rekke teknologier og i ulike markeder, der omfanget vil avhenge av utviklingen i kostnader og energipriser, samt rammevilkårene fremover.

## 9. REFERANSELISTE

- [1] E. Bergseng, T. Eid, P. K. Rørstad og E. Trømborg, «Bioenergiressurser i skog - kartlegging av økonomisk potensial,» NVE, 2012.
- [2] SSB, «Statistikk: Energibalansen. Energiforbruk, etter næring,» 2013.
- [3] SSB, «Statistikk: Energibalansen. Vedforbruk i boliger og fritidsboliger,» 2013.
- [4] SSB, «Statistikk: Fjernvarme. Forbruk av brensel til bruttoproduksjon av fjernvarme, etter energikilde (GWh),» 2013.
- [5] SSB, «Statistikk: Energibalansen. Tilgang og forbruk, etter energiprodukt,» 2013.
- [6] NOBIO, «Bioenergi i Norge. Markedsrapport pellets og briketter 2012,» 2013. [Internett].
- [7] KLIF, «Underlagsmateriale til tverrsektoriell biogass-strategi,» 2013.
- [8] B. Langerud, S. Størdal, H. Wiig og M. Ørbeck, «Bioenergi i Norge - potensialer, markeder og virkemidler,» 2007.
- [9] B. Ramm og S. Jarstein, «Bioenergi-potensialet i industrielt avfall,» NVE, 2013.
- [10] SFT, «Energi-potensial i nedbrytbart avfall i Norge,» 2009.
- [11] B. M. Güell, M. Bugge, R. S. Kempegowda, A. George og S. M. Paap, «Benchmark of conversion and production technologies for synthetic biofuels for aviation,» Sintef, 2012.
- [12] H. Hamnaberg og M. Sidelnikova, «Bioenergi i Norge,» NVE, 2011.
- [13] E. Trømborg, T. F. Bolkesjø, E. Bergseng og P. K. Rørstad, «Bærekraftig biodrivstoff til sivil luftfart i Norge - Biomassetilgang fra landbaserte ressurser,» 2012.
- [14] Rambøll, «Bærekraftig biodrivstoff til luftfart,» 2013.
- [15] Tekniske nyheter DA, «Energi-rapporten Årgang 11 Nummer 5,» 2014.
- [16] Profu, «Markedsanalyser, mottagningsavgifter for avfallsforbränning 2013,» 2013. [Internett]. Available: <http://www.profu.se/pdf/mavg2013.pdf>. [Funnet 20 12 2013].
- [17] K. T. Nedland, «Utvikling av biogass i Norge. Kostnader for biogassproduksjon i Norge, Sverige og Danmark,» Avfall Norge, 2011.
- [18] H. L. Raadal, V. Schakenda og J. Morken, «Potensialet for biogassproduksjon i Norge,» Enova, 2008.
- [19] KLIF, «Kostnader og reduksjon av klimagassutslipp gjennom verdikjeden,» 2011.
- [20] Avfall Norge, «Utvikling av biogass i Norge. Kostnader ved biogassproduksjon i Norge, Sverige og Danmark,» 2011.
- [21] Miljøverndepartementet, «Fra avfall til ressurs. Avfallsstrategi,» 2013.
- [22] SSB, «Statistikk: Avfall fra husholdninga. Avfall og renovasjon,» 2013.
- [23] H. Belbo, «Halm som biobrensel,» Skog og landskap, 2011.
- [24] Bioforsk, «Halm som biobrensel,» 2012.
- [25] T. Gundersen, E. T. Askeland og J. Saxegaard, «Avfallshandling. Disponering av avfall - Krysssubsidiering,» 2013.
- [26] E. E. Hohle, O. J. Liodden og K. Noreng, Bioenergi - Miljø, teknikk og marked, Energigården, 2005.
- [27] S. Brynstad, «Marine ressurser for biojetfuel,» DNV, 2012.
- [28] IEA, «Energy Technology Perspective. Pathways to a clean energy system,» OECD/IEA, Paris, Frankrike, 2012.
- [29] E. Trømborg, «IEA Bioenergy task 40 - Country report 2011 for Norway,» 2011.
- [30] SSB, «Statistikk: Avvirkning av industrivirke for salg (1 000 m<sup>3</sup>), etter region, treslag, tid og statistikkvariabel,» 2013.
- [31] SSB, «Statistikk: Strukturen i jordbruket,» 2013.
- [32] SSB, «Statistikk: Husdyrhald,» 2013. [Internett].
- [33] SSB, «Statistikk: Befolkningsendringer i kommunene,» 2013.

- [34] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), «Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SRREN),» 2011.
- [35] Rambøll, «Skogen som energibærer. Teknologi og aktøroversikt biobrensel og biodrivstoff,» 2013.
- [36] M. Killingland, «Energieffektivisering i forhold til egenprodusert energi for bygg,» 2013.
- [37] R. Macfarlane, P. Mazza og J. Allan, «SUSTAINABLE AVIATION FUELS NORTHWEST: Powering the Next Generation of Flight,» SAFNW. Web: <http://www.safnw.com>, Washington State, USA, 2011.
- [38] IEA, «CCS Roadmap,» 2010.
- [39] Rambøll, «Energiteknologier i et 2030- og 2050-perspektiv,» 2011.
- [40] IEA, «Energy Technology Perspectives 2010 - Scenarios & Strategies to 2050,» OECD/IEA, 2010.
- [41] IEA, «World Energy Outlook,» OECD/IEA, 2010.
- [42] X. Chen, M. Khanna and S. Yeh, "Stimulating learning-by-doing in advanced biofuels: effectiveness og alternative policies," *IOP Publishing - Environmental Research Letters*, 2012.
- [43] S. Jarstein, B. Ramm og C. Ruud, «Samlet støtte til bioenergi,» NVE, 2014.
- [44] D. Spilde, «Energiintensiv industri. En beskrivelse og økonomisk analyse av energiintensiv industri i Norge,» NVE, 2013.
- [45] Damvad, «Norsk treforedlingsindustri. Nye utfordringer,» 2012.
- [46] F. Brunvoll og J. Monsrud, «Samferdsel og miljø 2013. Utvalgte indikatorer for samferdselssektoren,» SSB, 2013.
- [47] Energimyndigheten, «Transportsektorns energianvändning 2012,» 2013.
- [48] E. Trømborg, M. Havskjold and P. K. Rørstad, "Projecting demand and supply of forest biomass for heating in Norway," *Energy Policy*, 2011.
- [49] G. Sjøgaard, R. Eriksen, R. Astrup og B.-H. Øyen, «Effekter av ulike miljøhensyn på tilgjengelig skogareal og volum i norske skoger,» Skog og landskap, 2012.
- [50] Miljødirektoratet, «Rapportering på bærekraftskriterier. Veileder til produktforskriften kapittel 3,» 2013.
- [51] F. Cherubini, R. M. Bright og A. H. Strømman, «Global climate impacts of forest bioenergy: what, when and how to measure?,» *Environmental Research Letters IOP Publishing*, 2013.
- [52] IEA, «Nordic energy technology perspectives,» 2013.
- [53] Miljøverndepartementet, «Meld. St. 21 2011-2012 Norsk Klimapolitikk,» 2012.
- [54] F. Cherubini, «The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals,» *Energy Conversion and Management*, 2010.
- [55] JRC, «Technology MAP SET-plan,» <http://www.pewenvironment.org/news-room/reports/from-barracks-to-battlefield-clean-energy-innovation-and-americas-armed-forces-85899364060>, 2011.
- [56] P. Bernhard og L. Bugge, «Biomasse - nok til alle gode formål,» 2006.
- [57] G. Guest, R. M. Bright, F. Cherubini and A. H. Strømman, "Consistent quantification of climate impacts due to biogenic carbon storage across a range of bio-products systems," *Environmental Impact Assessment Review*, 2013.
- [58] R. M. Bright, F. Cherubini og A. H. Strømman, «Climate impacts of bioenergy: Inclusion of carbon cycle and albedo dynamics in life cycle impact assessment,» *Environmental Impact Assessment Review*, 2012.
- [59] Rambøll, «Markedsstudie biogass til transport i Midt-Norge,» 2013.
- [60] Rambøll, «Mulighetsstudie oppgradering av biogass,» 2013.
- [61] Rambøll, «Forslag til endringer i TEK for nybygg. Energiregler 2015,» 2013.
- [62] J. Marthinsen, «Fornybarandel i avfall til norske forbrenningsanlegg,» NVE, 2011.
- [63] SSB, «Statistikk: Korn og oljevekster, areal og avlinger,» 2013.

- [64] O. Lislebø, E. N. Everett og M. Havskjold, «Rammebetingelser for energiutnyttelse fra avfall. Hvordan kan lønnsomheten i norske anlegg forbedres?,» Avfall Norge, 2011.



## 10. VEDLEGG

## VEDLEGG 1 SKOGRESSURSER FORDELT PÅ FYLKE

Tabellen under viser fylkesvis inndeling av ressurspotensialet fra skog, fordelt på rundvirke, GROT og skog fra andre arealer.

Potensial [TWh]	Rundvirke	GROT	Skog fra andre arealer	Totalt potensial til energiformål
Østfold	0,27	0,55	0	0,83
Akershus	0,33	0,67	0,02	1,02
Oslo	0,07	0,13		0,2
Hedmark	0,91	1,84	0,01	2,76
Oppland	0,62	1,07	0,01	1,7
Buskerud	0,18	0,86	0,01	1,05
Vestfold	0,1	0,31	0,01	0,42
Telemark	0,32	0,68	0,01	1,01
Aust-Agder	0,38	0,45	0,01	0,83
Vest-Agder	0,41	0,43	0,01	0,84
Rogaland	0,2	0,21	0,02	0,42
Hordaland	0,58	0,4	0,03	1,01
Sogn og Fjordane	0,33	0,28	0,01	0,62
Møre og Romsdal	0,46	0,39	0,02	0,87
Sør-Trøndelag	0,35	0,41	0,01	0,76
Nord-Trøndelag	0,69	0,66	0,01	1,36
Nordland	0,5	0,36	0,02	0,88
Troms	0,3	0,15	0,01	0,46
Finnmark	0,05	0	0	0,05
<b>Totalt</b>	<b>7,1</b>	<b>9,8</b>	<b>0,2</b>	<b>16,9</b>

Tabell 10-1: Skogressurser fordelt på fylke [1]

## VEDLEGG 2 FYLKESVIS AVVIRKNING AV SKOG

Tabellen under viser fylkesvis avvirkning av skog i Norge i dag.

Avvirkning [1000 m3]	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Østfold	515	534	506	413	552	573	489
Akershus	550	570	560	502	683	633	723
Oslo	20	22	24	36	26	28	33
Hedmark	2001	2483	2239	1955	2393	2483	2710
Oppland	971	1096	1073	871	1025	1095	1172
Buskerud	860	981	946	781	1022	1042	955
Vestfold	261	366	358	279	342	317	257
Telemark	593	615	627	429	590	610	542
Aust-Agder	282	282	327	230	296	317	303
Vest-Agder	134	126	165	150	201	237	236
Rogaland	57	53	101	77	89	89	80
Hordaland	49	72	94	85	118	141	168
Sogn og Fjordane	50	47	46	31	38	43	134
Møre og Romsdal	60	77	85	74	104	130	182
Sør-Trøndelag	261	288	280	197	278	253	274
Nord-Trøndelag	487	465	505	403	439	407	379
Nordland	124	132	136	116	129	103	144
Troms	6	2	1	4	2	3	5
Finnmark	0	0	0	0	0	0	0
<b>Totalt</b>	<b>7281</b>	<b>8211</b>	<b>8073</b>	<b>6633</b>	<b>8327</b>	<b>8504</b>	<b>8786</b>

Tabell 10-2: Fylkesvis avvirkning av skog [30]

## VEDLEGG 3 BIOENERGI FRA STUBBER OG RØTTER

Utarbeidet av: Per Kristian Rørstad (NMBU) 2014

### Biomassepotensial

Løken et al. (2012) har beregnet total biomasse i trær i Norge basert på data fra Landsskogtakseringens prøveflater og biomassefunksjoner. Tabell 10-3 viser total estimert biomasse i stubber og røtter fordelt på boniteter i hogstmoden skog i Norge (hogstklasse V).

De årlige resultatkontrollene for skogbruk (se kilder nedenfor) viser et gjennomsnittlig årlig hogstareal på litt over 400.000 daa. Rapportene viser også hvordan hogsten fordeler seg på de ulike bonitetene. Ved å kombinere disse to kildene, er det mulig å gi et anslag på biomassen i stubber og røtter på de arealene som årlig hogges (se Tabell 10-3). Vi forutsetter implisitt at gjennomsnittlig biomassetetthet på de arealene som hogges er lik det totale gjennomsnittet.

Bonitet	Areal [ha] <sup>1</sup>	Biomasse [mill. tonn t.s.] <sup>1</sup>	Biomassetetthet [tonn t.s./ha]	Andel av hogstareal <sup>2</sup>	Hogstareal [ha]	Biomasse [1000 tonn t.s.]
6	488.747	7.0	14.3	4 %	1.462	20
8	1.210.434	25.2	20.8	8 %	3.482	73
11	662.776	21.1	31.8	28 %	11.536	366
14	279.168	11.9	42.8	28 %	11.536	493
17	112.911	5.5	48.4	20 %	8.240	399
20-	59.564	3.4	56.5	12 %	4.944	279
<b>Totalt</b>	<b>2.813.600</b>	<b>74.0</b>	<b>26.3</b>	<b>100 %</b>	<b>41.200<sup>2</sup></b>	<b>1632</b>

Tabell 10-3: Total biomasse i stubber og røtter i produktiv skog i Norge i hogstklasse V og biomasse på avvirkningsarealer gitt gjennomsnittlig foryngelsesareal 2005 – 2010

Kilder: <sup>1</sup>: Løken et al. (2012), <sup>2</sup>: Skog og landskap (2008); Skog og landskap (2009); Granhus et al. (2010); Granhus et al. (2011); Granhus et al. (2012); Granhus et al. (2013)

Tallene ovenfor er gitt dagens avvirkningsnivå, scenario 1 i kapittel 3. Økt hogst vil øke den totale biomassen i stubber og røtter på hogstflatene, men ikke nødvendigvis proporsjonalt med økt avvirkning. Dette fordi økt avvirkning vil kunne endre bonitetsfordelingen, og som tabellen viser er det forskjeller i biomassetetthet mellom bonitetene.

### Energipotensial

Som tabellen ovenfor viser er det et betydelig biomassepotensial i stubber og røtter. Stubber og røtter har en noe høyere brennverdi enn stammeved, og er på nivå med GROT. Anerud og Jirjis (2011) fant en nedre brennverdi på cirka 20 MJ/kg t.s. (cirka 5,5 kWh/kg t.s.) og dette stemmer godt med brennverdi i annen litteratur (Belbo & Gjølsvø 2008). Effektiv brennverdi (innfyrt) vil avhenge av fuktighetsinnholdet i virket. Rått virke med en fuktighet på 50 % vil ha en brennverdi på 4,82 kWh/kg t.s., mens stubber og røtter med 20 % fuktighet – dvs. tørket – vil ha en brennverdi på 5,33 kWh/kg t.s..

Tallene ovenfor er beregnet ved hjelp av biomassefunksjoner. Det er studier som tyder på at disse funksjonene underestimerer mengden biomasse (tørrestoff) i stubber og røtter. Nordström et al. (2012) fant i en studie i Sverige at faktisk biomasse er cirka 50 % høyere enn estimert. Funksjonene de brukte er de samme som er brukt i Løken et al. (2012). De fant også at minst 15 %

av den målte biomassen tapes i håndteringen. Til sammen betyr dette at høstet biomasse er 27,5 % (1,5\*0,85) høyere enn estimert. I Tabell 10-4 er "biologisk" energipotensial beregnet for ulike nivåer av fuktighet, og uten og med korreksjonen for underestimering og tap i håndteringen.

Bonitet ↓	Effektiv brennverdi [GWh innfyrt] - Uten korreksjon			Effektiv brennverdi [GWh innfyrt] - Med korreksjon		
	50 %	30 %	20 %	50 %	30 %	20 %
6	98	106	108	125	135	138
8	354	382	391	451	488	499
11	1.766	1.909	1.953	2.252	2.433	2.490
14	2.378	2.569	2.629	3.032	3.276	3.352
17	1.925	2.079	2.128	2.454	2.651	2.713
20-	1.347	1.456	1.490	1.718	1.856	1.899
<b>Totalt</b>	<b>7.868</b>	<b>8.501</b>	<b>8.699</b>	<b>10.031</b>	<b>10.838</b>	<b>11.091</b>

Tabell 10-4: Effektiv brennverdi for stubber og røtter basert på beregnet total biomasse

Med en fuktighet på 30 % – dvs. tre måneders lagring under Svenske forhold (Anerud & Jirjis 2011) – er energipotensialet mellom 8,5 og 10,8 TWh/år gitt dagens avvirkningsareal.

Uttak av stubber og røtter har konsekvenser for blant annet biologisk mangfold, næringsbalanse og erosjon/avrenning. På arealer med rotråte vil uttak av stubber og røtter ha en positiv effekt på fremtidig skogproduksjon, men andre konsekvenser er i hovedsak negative. Det er derfor viktig å balansere de negative konsekvensene mot de positive. Dette betyr at det neppe er realistisk å utnytte hele potensialet – selv før vi gjør økonomiske vurderinger.

I følge Klima- og forurensingsdirektoratet (2011) finnes det ikke retningslinjer for uttak av stubber og røtter i Norge, men de forventer at dette vil bli en del av sertifiseringsstandarden i fremtiden.

I Sverige har Skogstyrelsen gjort vurderinger av uttak av stubber og røtter (Skogstyrelsen 2009). I deres anbefalinger heter det bl. a.:

- «Skogsstyrelsen bedömer att effekterna på biologisk mångfald blir begränsade, med en geografiskt någorlunda jämnt utspridd stubbskörd på maximalt 5-10 % av den årliga förnygringsavverkade arealen, förutsatt att rekommendationerna följs.»
- «Lämna 15-25 % av volymen av både gran- och tallstubbar, eftersom dessa trädslag inte fullt ut kan ersätta varandra i syfte att bibehålla biologisk mångfald.»

Disse anbefalingene betyr at potensialet blir betydelig redusert i forhold til det som er presentert i Tabell 10-4. De økologiske konsekvensene vil sannsynligvis bli størst på arealene med lavest produktivitet (lavest bonitet). I beregningene nedenfor er det derfor forutsatt at det ikke gjøres uttak av stubber og røtter på boniteter lavere enn 11, men likevel slik at uttaket gjøres på ett areal tilsvarende 5 og 10 % av det totale fornyngelsesarealet. Tabell 10-5 viser energipotensialet gitt Skogstyrelsens anbefalinger.

Arealandel	Gjensatt volum	Energipotensial [GWh/år]	
		Uten korreksjon	Med korreksjon
5 %	15 %	387	493
	25 %	341	435
10 %	15 %	774	987
	25 %	683	871

Tabell 10-5: Energipotensialet for stubber og røtter gitt dagens avvirkningsareal og Skogstyrelsens anbefalinger for uttak (arealandel og gjensatt volum). Det er forutsatt et fuktighetsinnhold på 30 %

Tabellen viser et potensial på mellom 341 og 987 GWh/år med dagens hogstnivå. Antar vi at hogsten frem mot 2020 øker med 20 % (til cirka 12 mill. m<sup>3</sup>/år), er det rimelig å anta at potensialet øker i størrelsesorden 20 %, til 0,41-1,18 TWh/år.

### Økonomiske vurderinger

Det er ikke gjort studier i Norge av kostnadene ved uttak av stubber og røtter. Faktorene som påvirker kostnadene er i stor grad de samme som for uttak av GROT. De viktigste faktorene er terrengforhold, avstand til bilvei, biomassetetthet og avstand fra velteplass til bruker. Tilbudskurver (marginalkostnadskurver) for stubber og røtter vil derfor ha den samme generelle formen som kurvene (f. eks. figur 6) presentert i Bergseng et al. (2012). Dette betyr at marginalkostnaden stiger relativt lite i starten for så å øke betydelig når uttaket nærmer seg (det biologiske) potensialet.

Nivåene vil imidlertid kunne være forskjellige. Athanassiadis et al. (2009) har estimert tilbudskurver for GROT og stubber og røtter. Studien bekrefter at den generelle formen på de to tilbudskurvene er like, men de viser forskjeller i nivå. GROT har en "startkostnad" på cirka 11 SEK øre/kWh (innfyrt, rått virke) levert sluttbruker og cirka 16 øre/kWh ved 50 % av potensialet. For røtter og stubber er de tilsvarende tallene cirka 16 og 21 øre/kWh. Kostnaden for røtter og stubber ser med andre ord ut til å ligge cirka 5 øre/kWh over kostnaden for GROT.

Skogforsk publiserer årlig gjennomsnittskostnader for bioenergi fra skog (Skogforsk 2011). Tallene er oppgitt pr løskubikk ( $\text{lm}^3$ ) og er regnet om til kWh gjennom å bruke en bulkdensitet på 174 kg t.s./ $\text{lm}^3$  for GROT og 158 kg t.s./ $\text{lm}^3$  for stubber (Nordhagen & Gjølshjøl 2013) og en brennverdi på 5,21 kWh/kg t.s. (30 % fuktighet).

	Kostnad [SEK øre/kWh]	
	GROT	Stubber
Ersättning till markägaren	3.8	1.1
Avverkning/upptagning	0.1	5.7
Terrängtransport	3.8	3.5
Omkostnad	0.8	0.9
Sönderdelning	5.1	4.9
Terminalkostnader	0.3	0.0
Vidaretransport	4.2	4.7
Administration	1.0	1.1
<b>Summa</b>	<b>19.0</b>	<b>21.9</b>

Tabell 10-6: Gjennomsnittskostnader for GROT og stubber i Sverige i 2012

Kilde: Skogforsk (2011)

Som vi ser ligger kostnaden for stubber cirka 3 øre/kWh over kostnaden for GROT. Tabellen nedenfor viser kostnadsutviklingen over tid.

År	Kostnad [SEK øre/kWh]	
	GROT	Stubber
2009	19.0	20.0
2010	19.5	21.3
2011	20.5	22.5
2012	19.0	21.9

Tabell 10-7: Gjennomsnittskostnader levert kunde for GROT og stubber i Sverige i 2009 - 2012

Kilde: Skogforsk (2011)

Tidsserien er for kort til å kunne si om det er en trend, men det ser ut til å være en relativt god samvariasjon mellom kostnadene for GROT og stubber. Tallene tyder også på en økende forskjell i kostnad mellom de to brenslene.

Siden det i dag ikke eksisterer et marked for uttak av stubber og røtter i Norge, er det vanskelig å anslå kostnadene (i dag og i fremtiden). Det er imidlertid rimelig å anta at de som i Sverige vil ligge noe over kostnadene for GROT. Det er også rimelig å anta at de norske prisene vil ligge

over prisene i Sverige på grunn av generelt høyere kostnadsnivå, litt vanskeligere driftsforhold og mindre marked.

### Referanser

- Anerud, E. & Jirjis, R. (2011). Fuel quality of Norway spruce stumps - influence of harvesting technique and storage method. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26 (3): 257-266.
- Athanassiadis, D., Melin, Y., Lundström, A. & Nordfjell, T. (2009). Marginalkostnader för skörd av grot och stubbar från förnygringsavverkningar i Sverige. *Arbetsrapport 261 2009*. Umeå, Sverige: Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Belbo, H. & Gjølvsjø, S. (2008). Trevirket - Brennverdi og energitetthet. *Viten 01/08*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Bergseng, E., Eid, T., Rørstad, P. K. & Trømborg, E. (2012). Bioenergiressursene i skog – kartlegging av økonomisk potensial. *NVE-rapport 32/2012*. Oslo: Norwegian Water Resources and Energy Directorate.
- Granhus, A., Eriksen, R. & Moum, S. V. (2010). Resultatkontroll skogbruk/miljø - Rapport 2009. *Oppdragsrapport 23/2010*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Granhus, A., Eriksen, R. & Moum, S. V. (2011). Resultatkontroll skogbruk/miljø - Rapport 2010. *Oppdragsrapport 16/2011*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Granhus, A., Eriksen, R. & Moum, S. V. (2012). Resultatkontroll skogbruk/miljø - Rapport 2011. *Oppdragsrapport 08/2012*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Granhus, A., Eriksen, R. & Moum, S. V. (2013). Resultatkontroll skogbruk/miljø - Rapport 2012. *Oppdragsrapport 05/2013*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Klima- og forurensingsdirektoratet. (2011). Skog som biomasseressurs. *TA 2762*. Oslo: Klima- og forurensingsdirektoratet. 100 s.
- Løken, Ø., Eriksen, R., Astrup, R. & Eid, T. (2012). Den totale biomassen av trær i Norge - En tabellsamling. *Ressursoversikt 01/2012*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Nordhagen, E. & Gjølvsjø, S. (2013). Flis og flisegenskaper - En undersøkelse av brenselflis i det norske flismarkedet. *Rapport 13/2013*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Nordström, M., Hannrup, B., Anerud, E., Johannesson, T., von Hofsten, H. & Eliasson, L. (2012). Validering av funksjoner för beräkning av kvantitet skogsbränsle vid stubbskörd - En pilotstudie. *Arbetsrapport från Skogforsk nr. 780-2012*. Uppsala, Sverige: Skogforsk.
- Skog og landskap. (2008). Resultatkontroll skogbruk/miljø - Rapport 2007. *Oppdragsrapport 14/2008*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Skog og landskap. (2009). Resultatkontroll skogbruk/miljø - Rapport 2008. *Oppdragsrapport 17/2009*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Skogforsk. (2011). *Kostnader för skogsbränsle*  
<http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Kostnader-for-skogsbransle/>  
 (lest 2014-02-10).
- Skogstyrelsen. (2009). Stubbskörd - kunskapssammanställning och Skogstyrelsens rekommendationer. *Meddelande 4 - 2009*. Jönköping: Skogstyrelsen.

## VEDLEGG 4 BIOENERGI - HYTTEFELT OG BEBYGDE AREALER

Utarbeidet av: Per Kristian Rørstad (NMBU) 2014

### Biomasse- og energipotensial

Løken et al. (2012) har estimert biomassen i trær i hyttefelt og på bebygde arealer, og Eid et al. (2011) har brukt disse estimatene til å anslå potensiell energiproduksjon (biologisk potensial) fra disse arealene. Disse tallene er vist i Tabell 10-8.

Arealtype	Biomasse [mill. tonn t.s.]	Biomassetetthet [tonn/ha]	Potensiell energiproduksjon [TWh/år]
Hyttefelt	1,6	33,3	0,17
Bebygde områder	2,5	6,3	0,26
<b>Totalt</b>	<b>4,0</b>	<b>9,2</b>	<b>0,43</b>

Tabell 10-8: Biomasse, biomassetetthet og energipotensialet for hyttefelt og bebygde arealer

Kilde: Løken et al. (2012); Eid et al. (2011)

Det må understrekes at det er knyttet stor usikkerhet til tallene i tabellen ovenfor. Tallene er basert på Lansskogtakseringens prøveflater. Totalt er det cirka 500 prøveflater på disse arealene (av total 21.700). Det er forutsatt en omløpstid på 50 år ved beregning av årlig hogst og energipotensialet på disse arealene.

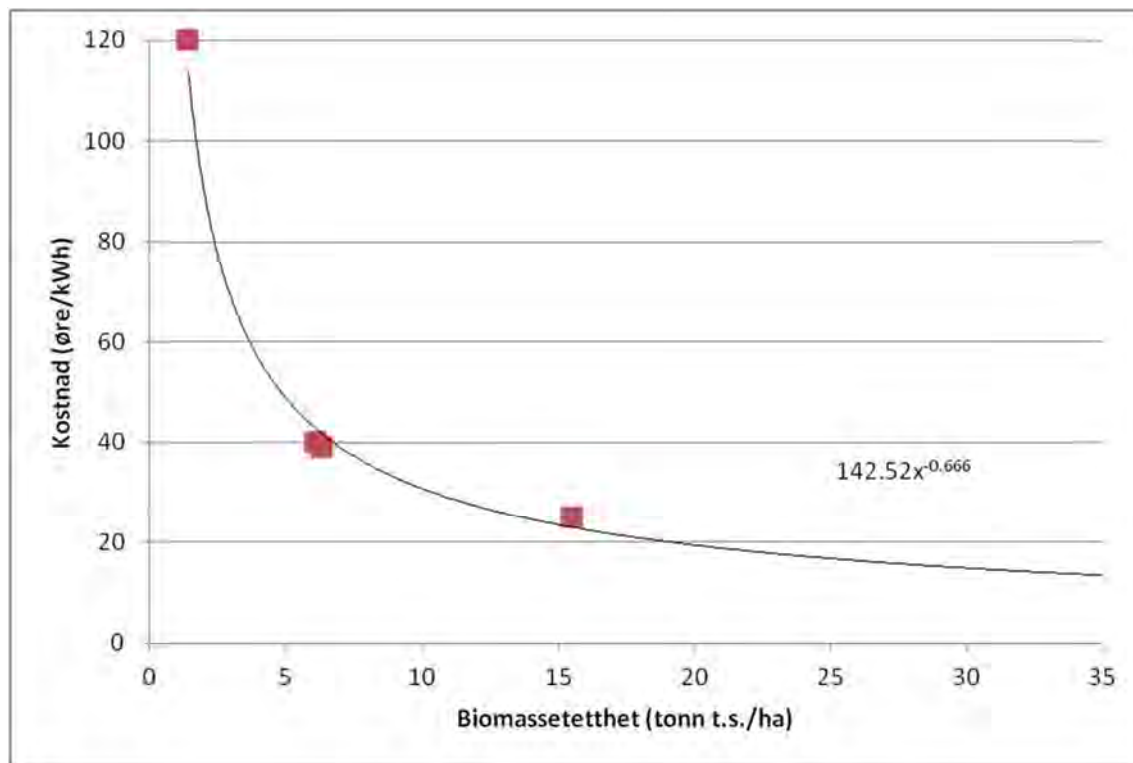
### Økonomiske vurderinger

Det er ikke gjort beregninger av kostnader ved hogst i hyttefelt og bebygde arealer. I Bergseng et al. (2012) er det gjort kostnadsberegninger for andre arealkategorier som ikke er "vanlig" skog (kraftlinjer, jordbruksareal, kulturbeite, veier og jernbane). Disse tar utgangspunkt i metoden i Rørstad et al. (2010). Dette betyr i korthet at det brukes vanlig hogstutstyr og at kostnaden i hovedsak er avhengig av biomassetetthet, driftsveilengde og terrengforhold. Siden vi mangler erfaringstall for denne typen hogst, er usikkerheten stor.

Beregningene i Tabell 14 i Bergseng et al. (2012) viser at driftsveilengde gir lite utslag i kostnaden, og vi ser derfor bort fra denne faktoren. Det er for øvrig grunn til å tro at driftsveilengden vil være relativt kort for hyttefelt og bebygde arealer, og at det stort sett ikke er vanskelige terrengforhold.

Beregningene viser (som forutsatt i metoden) at kostnaden er fallende med økende biomassetetthet. Intervallet i tallene dekker imidlertid ikke biomassetettheten i hyttefelt. Beregningene er derfor ekstrapolert for å dekke også hyttefelt – med de usikkerhetene dette innebærer. Figuren nedenfor viser dataene fra Bergseng et al. (2012) og en tilpasset kurve.





Figur 10-1: Energikostnad levert sluttbruker (øre/kWh innfyrt) som funksjon av biomassetetthet. Det er forutsatt at hogsten skjer med hogstmaskin og lastbærer

Kilde: Tabell 14 i Bergseng et al. (2012)

Siden vi i praksis bare har tre punkter for tilpassing av kurven, er usikkerheten stor utover en biomassetetthet på cirka 15 tonn t.s./ha (kulturbeite). Det er imidlertid rimelig sikkert kostnadene i hyttefelt – gitt antakelsene for beregningene – er lavere enn for kulturbeite (cirka 25 øre/kWh).

Dersom vi bruker den beregnede kostnadsfunksjonen på hyttefelt og bebygde arealer får vi følgende kostnadsanslag, se Tabell 10-9.

Arealtype	Kostnad [øre/kWh innfyrt]
Hyttefelt	14
Bebygde områder	42
<b>Totalt</b>	<b>32</b>

Tabell 10-9: Beregnet energikostnad levert sluttbruker for hyttefelt og bebygde arealer. Det er forutsatt at hogsten skjer med hogstmaskin og lastbærer

Det er flere grunner til at kostnadene vil ligge høyere enn tallene antyder – de må tolkes som nedre anslag og ikke som forventede kostnader. For det første er ikke flyttekostnader inkludert – dvs. kostnader for å flytte maskiner fra en hogst til neste. Siden hvert hogstareal (størrelsen på hogstobjektet) i hyttefelt og bebygde arealer vil være mindre enn ved tradisjonell hogst, vil antall flyttinger øke og dermed også øke flyttekostnadene pr kWh. I tillegg vil det kunne være forskjeller i forflytningsavstand. Det er vanskelig å anslå disse kostnadene uten omfattende beregninger som omfatter både objektstørrelse og romlig fordeling (dvs. avstand mellom objektene). Athanassiadis et al. (2009) har beregnet flyttekostnaden for uttak av GROT i Sverige. Objektstørrelsen i deres beregninger var mellom 1,5 og 25 ha. Med andre ord langt høyere enn det som kan påregnes i hyttefelt og bebygde arealer. Deres beregninger tyder på en flyttekostnad på opptil cirka 3 øre/kWh.

Ved hogst i hyttefelt og på bebygde arealer er det flere hensyn som må tas, og disse fører til økte kostnader. For det første må en ta hensyn til installasjoner (f.eks. hus og strømledninger) slik at disse ikke skades, og for det andre er det ikke alle arealer som egner seg for maskinell hogst. En må også ta hensyn til at maskinene er tunge og kan sette tydelige spor. I sum betyr dette at de faktiske kostnadene kan være betydelig høyere enn i Tabell 10-9.

**Referanser**

- Athanassiadis, D., Melin, Y., Lundström, A. & Nordfjell, T. (2009). Marginalkostnader för skörd av grot och stubbar från föryngringsavverkningar i Sverige. *Arbetsrapport 261 2009*. Umeå, Sverige: Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Bergseng, E., Eid, T., Rørstad, P. K. & Trømborg, E. (2012). Bioenergiressursene i skog – kartlegging av økonomisk potensial. *NVE-rapport 32/2012*. Oslo: Norwegian Water Resources and Energy Directorate.
- Eid, T., Løken, Ø., Eriksen, R. & Astrup, R. (2011). Biomasse og potensiell energiproduksjon fra trær. *Bioenergi* (3/2011).
- Løken, Ø., Eriksen, R., Astrup, R. & Eid, T. (2012). Den totale biomassen av trær i Norge - En tabellsamling. *Ressursoversikt 01/2012*: Norsk institutt for skog og landskap.
- Rørstad, P. K., Trømborg, E., Bergseng, E. & Solberg, B. (2010). Combining GIS and Forest Modelling in Estimating Regional Supply of Harvest Residues in Norway. *Silva Fennica*, 44 (3): 435-451.

## Utgitt i Rapportserien i 2014

- Nr. 1 Analyse av energibruk i forretningsbygg. Formålsdeling. Trender og drivere
- Nr. 2 Det høyspente distribusjonsnett. Innsamling av geografiske og tekniske komponentdata
- Nr. 3 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet: Eirik Førland, Jostein Mamen, Karianne Ødemark, Hanne Heiberg, Steinar Myrabø
- Nr. 4 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7. Skred og flomsikring. Sikringstiltak mot skred og flom Befaring i Troms og Finnmark høst 2013
- Nr. 5 Kontrollstasjon: NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 6 New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. Tuomo Saloranta
- Nr. 7 EBO Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk
- Nr. 8 Erfaringer fra ekstremværet Hilde, november 2013
- Nr. 9 Erfaringer fra ekstremværet Ivar, desember 2013
- Nr. 10 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2013. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 11 Energibruksrapporten 2013
- Nr. 12 Fjernvarmens rolle i energisystemet
- Nr. 13 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer. Delprosjekt. 5.1.5
- Nr. 14 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer
- Nr. 15 Tilleggsrapport: Oppsummering av Energimyndighetens og NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 16 Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z). Thomas Væringstad
- Nr. 17 Årsrapport for tilsyn
- Nr. 18 Verktøyprosjektet - hydrologi 2010-2013. En oppsummering av aktiviteter og resultater. Erik Holmqvist (red.)
- Nr. 19 Flom og jordskred i Nordland og Trøndelag desember 2013. Elin Langsholt, Erik Holmqvist, Delia Welle Kejo
- Nr. 20 Vindkraft i produksjon i 2013
- Nr. 21 FoU-prosjekt 81072 Pilotstudie: Snøskredfarekartlegging med ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale) Klassifisering av snøskredterreng for trygg ferdsel
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 3.1. Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentaksintervaller? Manual for å beregne returverdier av nedbør for ulike gjentaksintervaller (for ikke-statistikker)
- Nr. 23 Flomsonekart Delprosjekt Tuv. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 24 Summary of the review of the electricity certificates system by the Swedish Energy Agency and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)
- Nr. 25 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga Per Alve Glad
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1 Naturskadestrategi. Sammenligning av risikoakseptkriterier for skred og flom. Utredning for Naturfareprogrammet (NIFS)
- Nr. 27 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen
- Nr. 28 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. "Kvistdammer" i Slovakia. Små terskler laget av stedegent materiale, erfaringer fra studietur for mulig bruk i Norge
- Nr. 29 Reestablishing vegetation on interventions along rivers. A compilation of methods and experiences from the Tana River valley
- Nr. 30 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer
- Nr. 31 Småkraftverk: Tetthet og reproduksjon av ørret på utbygde strekninger med krav om minstevannføring Svein Jakob Saltveit og Henning Pavels
- Nr. 32 Kanalforvaltningen rundt 1814 – del av en fungerende statsadministrasjon for det norske selvstendighetsprosjektet. Grunnlovsjubileet 2014
- Nr. 33 Museumsordningen 10 år
- Nr. 34 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen -videreføring
- Nr. 35 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer Delprosjekt. 5.1.5. Revisjon av rapport 13-2014
- Nr. 36 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 1. kvartal 2014. Gudmund Bartnes (red.)

- Nr. 37 Preliminary regionalization and susceptibility analysis for landslide early warning purposes in Norway
- Nr. 38 Driften av kraftsystemet 2013
- Nr. 39 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Effekt av progressivbruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse basert på data fra grunnundersøkelser på vegstrekningen Sund-Bradden i Rissa
- Nr. 40 Naturfareprosjektet DP. 6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse-1
- Nr. 41 Bioenergi i Norge





Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)