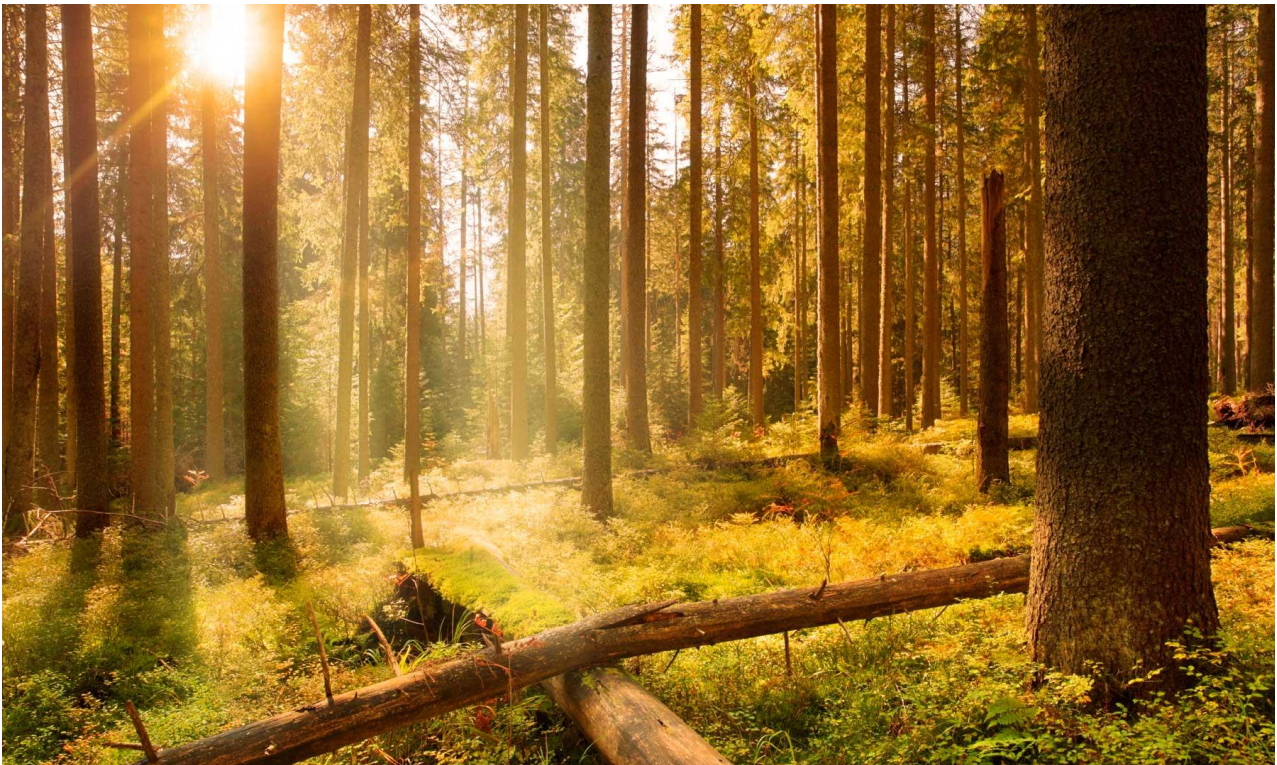


Beregnet til
Enova

Dokument type
Rapport

Dato
09/2013

TEKNOLOGI OG AKTØROVERSIKT BIOBRENSSEL OG BIODRIVSTOFF **SKOGEN SOM ENERGIBÆRER**



TEKNOLOGI OG AKTØROVERSIKT BIOBRENSEL OG BIODRIVSTOFF SKOGEN SOM ENERGIBÆRER

Revisjon **3**
Dato **2013-09-16**
Utført av **Anne Marit Melbye og Magnus Killingland**
Kontrollert av **Linn Helland**
Godkjent av **Linn Helland**
Beskrivelse **Gjennomgang av teknologier og aktører for biodrivstoff fra norsk skogsråstoff**
Forsidebilde **Copyright Velgskog.no**

Ref. 9130117
Doc-ID 285439-1

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	Sammendrag	1
2.	Skogressurser	3
2.1	Skogressurser i Norge	3
2.2	Skogressurser og biomasse for import	3
3.	Teknologier og modenhet	4
3.1	Systemgrenser og virkningsgrad	5
3.2	Metode for å sammenligne teknologisk modenhet	6
3.3	Kultivering, hogst og innhøsting	6
3.4	Forbehandling	7
3.5	Fast biobrensel	7
3.6	Flytende og gassbasert biobrensel	8
3.7	Biobrensel til stasjonære energiformål	8
3.8	Flytende og gassbasert biodrivstoff	8
3.8.1	Biokjemiske prosesser for fremstilling av bioalkoholer	9
3.8.1.1	Forbehandling for produksjon av bioalkoholer	9
3.8.1.2	Fermentering og gjæring	9
3.8.1.3	Fremstilling av produkter og gjenvinning av restmaterialer	10
3.8.2	Biokjemiske prosesser for biohydrogen	11
3.8.3	Biokjemiske prosesser for biometan (biogass)	11
3.8.4	Termokjemiske prosesser for biodrivstoff	12
3.8.4.1	Hydrotermiske prosesser	12
3.8.4.2	Pyrolyse	13
3.8.4.3	Indirekte katalytiske prosesser, Biomass-to-Liquid	15
3.8.5	Hybridteknologi: fermentering av biosyngass	16
3.8.6	Biometanol	17
3.8.7	Dimetyleter (DME)	17
3.8.8	Kjemiske prosesser	17
3.9	Priser og marked	17
3.10	Bioenergi med karbonfangst og lagring	18
4.	Aktøroversikt	21
5.	Konklusjon	24

FIGURER

Figur 1.1 - Verdikjede for biomasse fra skog, fordelt på aktører	1
Figur 1.2 - Verdikjeden for biomasse til bioenergi © Rambøll	2
Figur 2.1 - Skogressurser - Kategorier og bruksområder	3
Figur 3.1 - Overordnet oversikt over råstoff, prosessering og produkter for biodrivstoff og bioenergi © Rambøll	4
Figur 3.2 - Ulike ruter og teknologitrikk for bioenergi fra skogressurser (lignocellulose) © Rambøll	5
Figur 3.3 - Verdikjeden for biomasse til biodrivstoff og bioenergi © Rambøll	5
Figur 3.4 - Tilført energi og energitap ved konvertering av biomasse til biodrivstoff og brensel	6
Figur 3.5 - Prosessering av pellets	7
Figur 3.6 - Ulike teknologier for bioalkoholproduksjon fra lignocellulose	9
Figur 3.7 - Illustrasjon av biokjemiske prosesser for bioalkoholer	10
Figur 3.8 - Oppsummering av termokjemiske prosesser for lignocellulose	12
Figur 3.9 - Flytdiagram for hydrotermiske prosesser	13
Figur 3.10 - Pyrolyseprosesser, overordnet flytdiagram	14
Figur 3.11 - Produksjonsprosess for biobasert Fischer-Tropsch hydrokarboner	15
Figur 3.12 - Produkt trade-off i forhold til markedsvolum og pris, IEA	18
Figur 3.13 - Studie over utslippspunkter for biogen CO ₂ samt fangst og lagringsmuligheter i Norge og Sverige, Biorecro	19
Figur 4.1 - Aktørkartlegging, fordelt på rolle i markedet, vist ved antall aktører og andel (%)	21
Figur 4.2 - Global handel av bioetanol, pellets og biodiesel, IEA ETP 2012	23
Figur 5.1 - Teknologier og prosesser egnet for skogressurser i Norge © Rambøll	24
Figur 5.2 - Pris for råstoff importert til Norge sammenlignet med flydrivstoff, LMC International	2
Figur 5.3 - Skala for teknologimodenhet, Technology Readiness Level (TRL)	10

Figur 5.4 – Livssyklus klimagassutslipp i forhold til fossile drivstoff, for konvensjonelle og avanserte biodrivstoff, IEA Biofuel Technology Roadmap 2010	11
--	----

TABELLER

Tabell 3.1 – Oversikt over de mest lovende Bio-CCS teknologiene, TESBiC.....	20
Tabell 4.1 - Omsetning og aggregert resultat for de ulike markedsrollene, basert på primærrolle.	22
Tabell 5.1 – Oversikt over modenhet og primær distribusjonsmetode for biobrensel og biodrivstoff	25
Tabell 5.2 – Kostnader for biokjemisk prosessering av bioetanol fra lignocellulose i USA, Northwest-studie	2
Tabell 5.3 – Kostnader for termokjemisk prosessering av bioetanol i USA, Northwest-studie	3
Tabell 5.4 – Pilot- og demonstrasjonsanlegg for primært konvertering av lignocellulose, Biofuels Digest Database	4
Tabell 5.5 - Eksempler på kommersielle FT-anlegg basert på fossile ressurser	9
Tabell 5.6: shortlist over BECCS-teknologier	12
Tabell 5.7 – aktørkartlegging. Omsetning og resultat er oppgitt i millioner NOK per år.....	13

VEDLEGG

Vedlegg

- Kostnadsnivåer for bioraffinerier
- Demonstrasjons og pilotanlegg globalt
- Kommersielle fossile Fischer-Tropsch-anlegg
- Technology Readiness Level-Skala
- Klimaeffekt fra konvensjonelle og nye biodrivstoff
- Shortlist BECCS (Bio-CCS) teknologier
- Aktørkartlegging
- Litteraturliste

DEFINISJONER OG FORKORTELSER

Avanserte biodrivstoff (IEA World Energy Outlook 2012)

Avanserte biodrivstoff (*advanced biofuels*), eller andregenerasjons biodrivstoff, omfatter ulike nye og hittil ukjente konverteringsteknologier som i dag er i en forsknings- og utviklingsfase, pilot- eller demonstrasjonsfase.

BECCS / Bio-CCS

Bioenergi (biodrivstoff og/eller biobrensel) med karbonfangst og lagring, *BioEnergy in combination with Carbon Capture and Storage (BECCS)*

Bioalkohol

Alkohol som har blitt framstilt fra biomasse, enten sukker, stivelse eller nedbrytning av cellulose og hemicellulose (f.eks. biometanol, bioetanol, biobutanol)

Biobrensel

Fast, flytende og gass fra biomasse til stasjonær energi, dvs. varme og elektrisitet, til oppvarming av eller bruk i bygg, prosesser og industri

Biodrivstoff

Bioenergi for bruk til transport, normalt flytende (bioalkoholer, biodiesel, bioparaffiner etc.) og biogass (metan, etan, propan etc.).

Bioenergi

Energiinnholdet i faste-, flytende- og gassprodukter. Dette inkluderer både biodrivstoff til transport og biobrensel til varme og elektrisitet.

Biokjemikalier

Kjemikalier som ikke brukes til energi- eller transportformål

BtL – Biomass to Liquid,

Biomasse til biodrivstoff ved hjelp av gassifisering og Fischer-Tropsch-syntese

CCS – Carbon Capture and Storage, Karbonfangst og lagring

CHP – Combined Heat and Power – Kombinert varme og elektrisitetsproduksjon «varmekraftverk»

CtL – Coal to Liquid, kull til drivstoff (diesel, parafiner og flydrivstoff, nafta etc.)

DME - Dimetyleter

FT-drivstoff – (bio)drivstoff produsert ved hjelp av gassifisering av hydrokarboner, rensing og Fischer-Tropsch-syntese til ulike (bio)drivstoff og gasser

GHG – Green House Gas, klimagasser (også drivhusgasser)

GtL / NGtL – Petroleum Gas / Natural Gas to Liquid, fossil gass til flytende drivstoff

GROT – Greiner og toppe

GWP – Global Warming Potential (klimaeffekt)

HHV – Higher Heating Value, Øvre brennverdi (MJ/kg eller MJ/liter)

HTU - Hydrothermal Upgrading

IGCC – Integrated Gasification Combined Cycle, gasskraftverk basert på (bio)syngass

Konvensjonelle biodrivstoff (Conventional biofuels, IEA World Energy Outlook 2012)

Konvensjonelle biodrivstoff omfatter veletablerte teknologier som produserer biodrivstoff kommersielt dag. Disse biodrivstoffene er ofte referert til førstegenerasjons drivstoff, dvs. fettsyrer, planteoljer og sukker og stivelse *ikke* fra lignocellulose og skogråstoff

LCA – Life Cycle Assessment (livssyklusanalyse)

LHV – Lower Heating Value, Nedre brennverdi (MJ/kg eller MJ/liter)

LPG – Liquefied Petroleum Gas

MJ – Megajoule – energi

MtG – Methanol-to-Gasoline, metanol til bensin

Mtoe – Million Ton Oil Equivalents, Millioner tonn olje-ekvivalenter

Nedstrøms – (biomasse) etter konvertering, ofte definert fra porten til et bioraffineri

Oppstrøms – (biomasse) før konvertering, ofte definert før levering til et bioraffineri

XtL – Hvilken som helst prosess for konvertering av fornybare eller fossile hydrokarboner til flytende drivstoff (f.eks. BtL, GtL, NGtL, CtL)

1. SAMMENDRAG

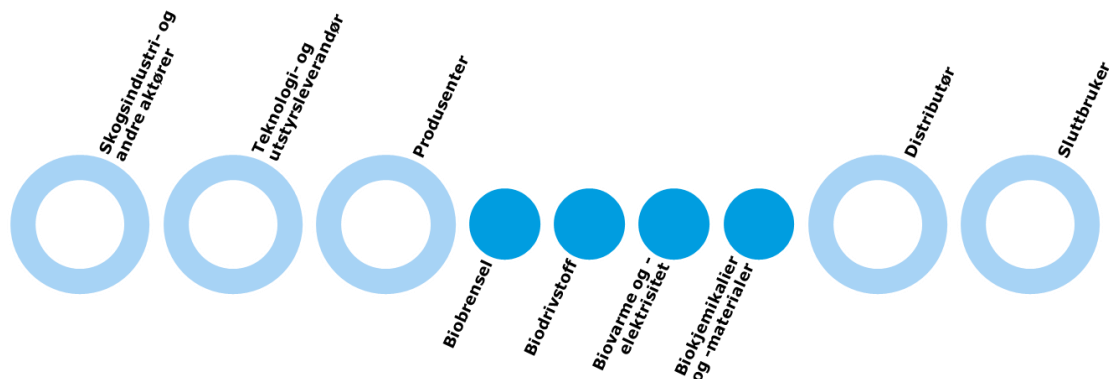
Situasjonen i treforedlingsindustrien er utfordrende, og ressurser i form av råvarer, industrilokasjoner og kompetanse kan bli frigitt til annen virksomhet. Dette kan føre til at det blir aktuelt for Enova å vurdere en støtteordning for å bidra til at dette potensialet blir utnyttet. Formålet med denne rapporten er å gi Enova et vurderingsgrunnlag i form av en kartlegging av teknologier, status og det norske aktørbildet.

Biomasse fra skog kan være nøkkelen til mer bioenergi og fornybare materialer. Biomasse fra skog er en bærekraftig ressurs dersom det avvirkes og benyttes på en effektiv måte, som del av en helhetlig skogforvaltning. Biomasse fra skog har potensial til å bidra til en reduksjon av nasjonale klimagassutslipp, særlig ved bruk av bioenergi med karbonfangst og lagring. Økt bruk av tre som byggematerialer kan både erstatte mer karbonintensive byggematerialer og fungere som karbonlagring i langlivede konstruksjoner og treprodukter. Lavere kvaliteter av skogressurser og hogstavfall kan gå til brensel- og drivstoffproduksjon.

Verdikjedene for biomasse fra skog er mange. Treforedling, papir, ulike drivstoff, kjemikalier, varme og elektrisitet, til og med ingredienser for mat, er tett integrert, og produseres gjerne fra et og samme bioraffineri. Næringene er delvis avhengig av hverandre økonomisk for å overleve, og delvis konkurrenter om de samme ressursene. Oppstrøms konkurrerer mange av aktørene om de samme ressursene, men nedstrøms kan de nyte godt av avfallsprodukter fra hverandre.

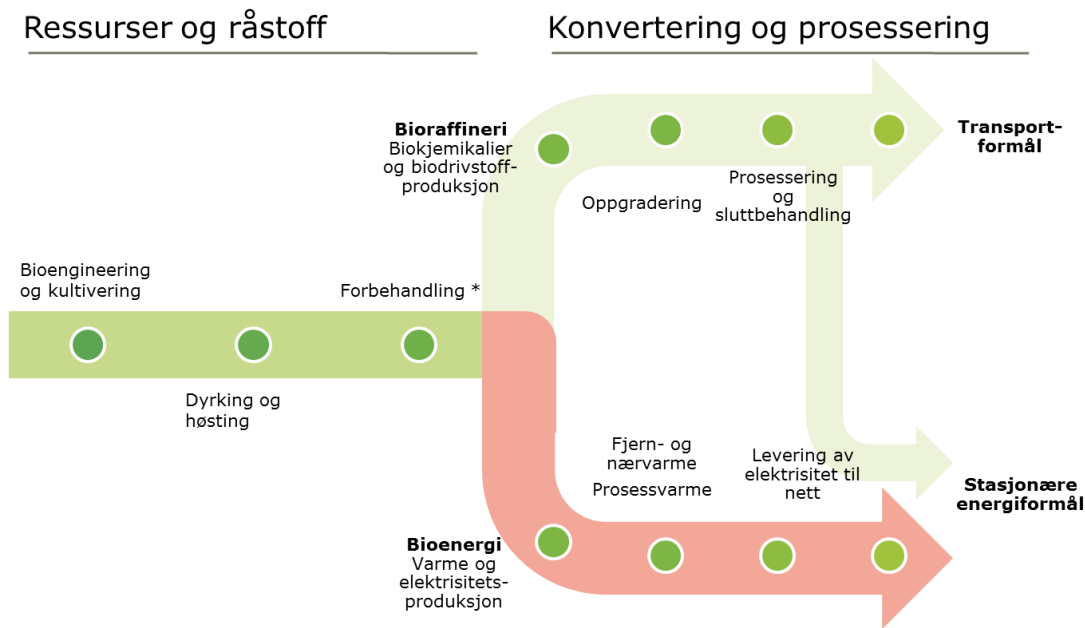
Figur 1.1 viser en inndeling av aktører, med en underdeling av produsenter, som benyttes i denne rapporten, bl.a. i aktørkartleggingen. Samspillet og symbioser i skognæringen er sentralt, og kan bidra til å utnytte skogressurser på en svært effektiv måte, med produksjon av både biobrensel, biodrivstoff, biomaterialer og spesialkjemikalier, samt varme, elektrisitet og biogass.

Figur 1.1 - Verdikjede for biomasse fra skog, fordelt på aktører



Denne rapporten analyserer teknologier for konvertering av biomasse til energiformål, både biobrensel til varme og elektrisitet i tillegg til biodrivstoff til transport. Verdikjedene omfatter hogst, kultivering, forbehandling av biomasse, og konvertering til biobrensel eller biodrivstoff. Figur 1.2 viser verdikjeden for biomasse til bioenergi.

Figur 1.2 – Verdikjeden for biomasse til bioenergi © Rambøll



* Forbehandling er f. eks. komprimering og tørking, og inkluderer her fast biobrensel, som pellets, flis og briketter.

Konvertering og prosessering av biomasse er fordelt mellom bioenergi til stasjonære formål og bioenergi til transportformål. Biodrivstoff deles inn mellom biokjemiske, termokjemiske og kjemiske prosesser, og inkluderer bioalkoholer og syntetiske biodrivstoff.

Produksjon av biovarme- og elektrisitet er en moden bransje. Biovarme- og elektrisitetsprodusenter og teknologi- og utstyrsleverandører er funnet å være de største aktørgruppene i Norge. I tillegg er antallet biobrenselprodusenter, distributører og aktører innen skogsindustrien omfangsrik. Det er få biodrivstoffprodusenter, da markedet er umodent. Produksjon av bioalkoholer og biodrivstoff fra pyrolyseprosesser er i demonstrasjons-/pilotfase, mens produksjon av syntesegassbasert biodrivstoff er i en tidlig fase av kommersialisering. De få produksjonsanleggene for biodrivstoff som er kommersielt levedyktige er bioraffinerier, der biodrivstoff er et av flere produkter. Konkurransedyktigheten avgjøres normalt av produksjonen til et lite volum spesialkjemikalier.

2. SKOGRESSURSER

Skogressurser omfatter biomasse fra skog, som tømmer, flis og GROT, og er en av mange typer bioråstoff som kan konverteres både til biodrivstoff og biobrensel. I denne rapporten benyttes uttrykkene *biodrivstoff* om bioenergi til transport, og *biobrensel* om bioenergi til stasjonære formål, dvs. varme og elektrisitet til bygg, industri og industriprosesser. Biodrivstoff er normalt flytende eller i gassform, selv om fast biomasse i teorien også kan brukes til transport. Biobrensel kan være i flytende, fast eller i gassform.

2.1 Skogressurser i Norge

Biomasseressursene kan være fra produktiv skog, eller annen trebasert biomasse, biomasse fra jordbruksarealer og fra avfall. UMB vurderer biomasse fra skog som det viktigste landbaserte, norske råstoffet for produksjon av biobrensel og biodrivstoff i Norge¹.

Figur 2.1 viser kategorier av skogressurser, etter kvalitet og bruksområde. De grå feltene er de beste kvalitetene tømmer, og brukes ikke til biobrensel eller biodrivstoff. Potensielle skogressurser til bruk for biobrensel og biodrivstoffproduksjon omfatter massevirke og hogstavfall, slik som greiner og topper (GROT), stubber og røtter.

Figur 2.1 - Skogressurser - Kategorier og bruksområder



2.2 Skogressurser og biomasse for import

Det er også et betydelig potensial for ulike typer egnede råstoff på det internasjonale markedet. Pellets og treflis fra USA har de mest konkurransedyktige prisene inkludert transport til Norge, og har større potensial enn jordbruksavfall og energigvekster. 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 å omsettes på det internasjonale markedet fremover.

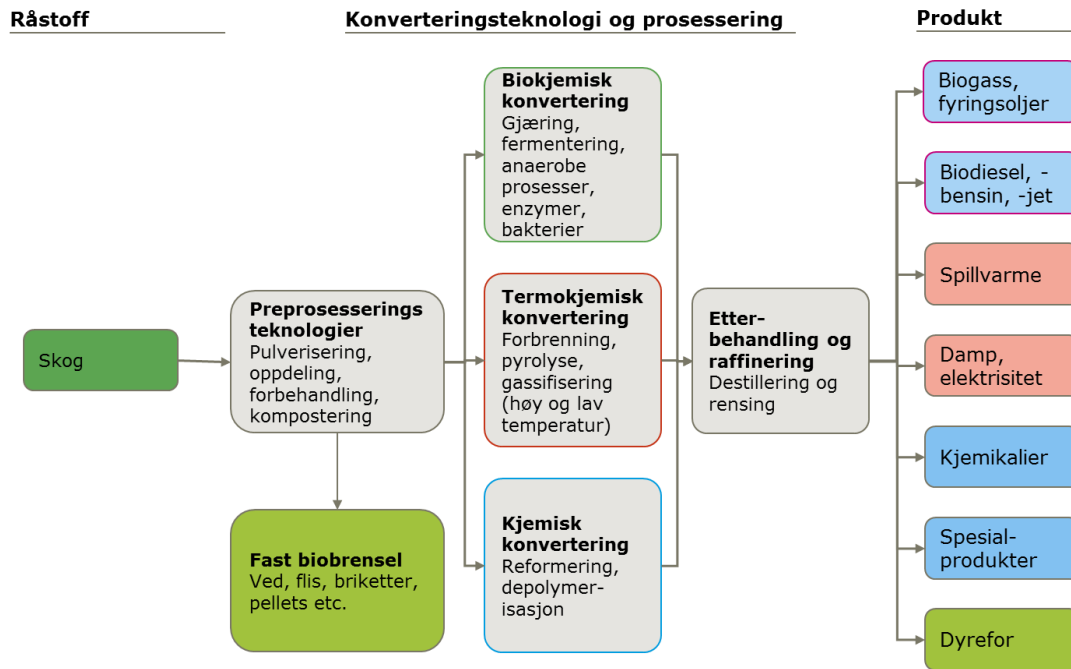
Import av råstoff kan være en mulighet for å øke biobrensel og -drivstoff-forbruket i Norge, så lenge biomassen er sertifisert som bærekraftig.

¹ Trømborg, E., Bolkesjø, T. F., Bergseng, E., Rørstad, P. K., (2012). *Biomassetilgang fra landbaserte ressurser*, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap

3. TEKNOLOGIER OG MODENHET

Teknologiene for å omdanne skogsråstoff til flytende eller gassbasert biodrivstoff og biobrensel deles gjerne overordnet inn i tre hovedkategorier: **biokjemisk**, **termokjemisk** og **kjemisk**, men kan også bestå av kombinasjoner av disse. Figur 3.1 viser en overordnet oversikt over teknologiruter for biobrensel og biodrivstoff, samt biprodukter. Figuren viser kun bruk av skog som råstoff.

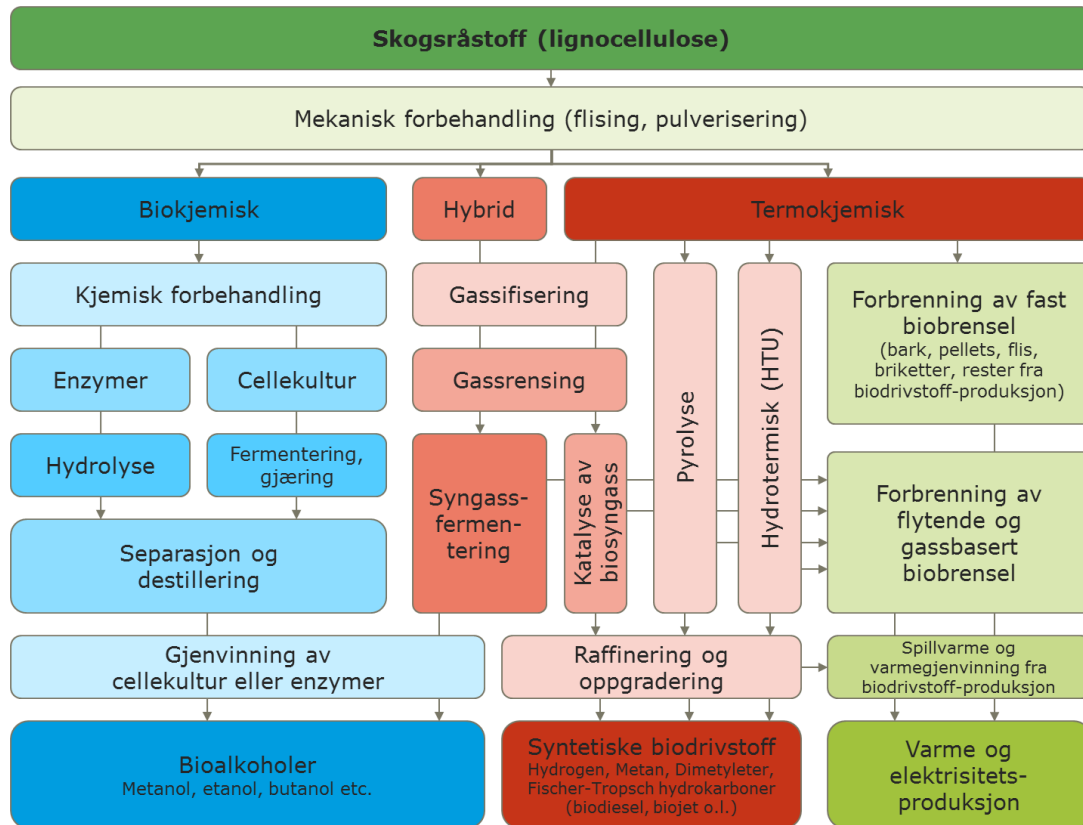
Figur 3.1 – Overordnet oversikt over råstoff, prosessering og produkter for biodrivstoff og bioenergi © Rambøll



Behandling av fast biobrensel består normalt kun av mekanisk arbeid, men også med noe varme som sørger for at naturlige stoffer i biomassen fungerer som bindemiddel, f.eks. for pellets og briketter. Biomasse kan konverteres til en rekke produkter, også i en og samme prosess, f.eks. bioetanol, biokjemikalier, varme, elektrisitet og biogass fra restprodukter. Det beste norske eksemplet på dette er bioraffineriet Borregaard, hvor ulike bestanddeler i tømmerstokken foredles optimalt med lignin til spesialkjemikalier, cellulose til bioetanol og rester til biogass som brukes som prosessvarme.

Figur 3.2 viser overordnet skjematisk inndeling av de viktigste teknologitrinnene for de tre hovedkategoriene for prosessering av skogressurser for norske forhold. De ulike teknologiene diskuteres fra kapittel 3.4.

Figur 3.2 – Ulike ruter og teknologitrinn for bioenergi fra skogressurser (lignocellulose) © Rambøll

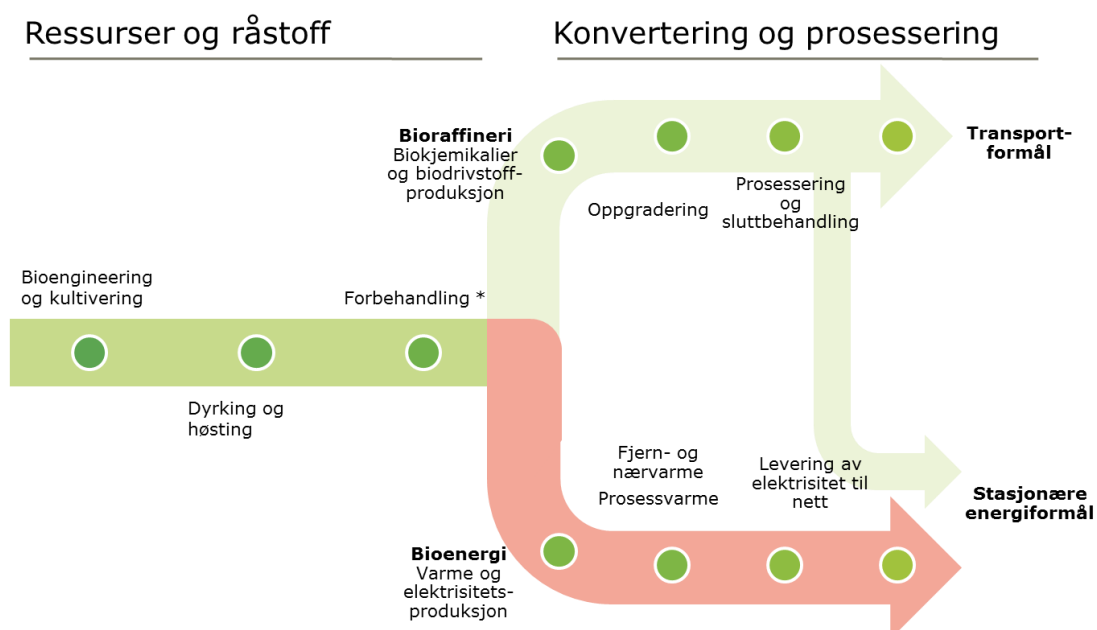


Klima- og miljøbetraktninger er i utgangspunktet ikke vurdert i denne rapporten, men vedlegg 5 gir en oversikt over klimaeffekten til konvensjonelle og avanserte biodrivstoff i forhold til fossile drivstoff.

3.1 Systemgrenser og virkningsgrad

Figur 3.3 viser verdikjeder for biomasse til bioenergi, både til stasjonære energiformål og transportformål, og presenterer systemgrensene i denne studien. Det er essensielt å utnytte biomasse optimalt, slik at tapene i verdikjeden reduseres og systemvirkningsgraden blir høy. Dette kan f.eks. oppnås ved å benytte lavkvalitet biomasse, som ikke kan konverteres til biobrensel eller biodrivstoff, til prosessvarme, eller alternativt ekstern fornybar elektrisitet fra elektrisitetsnettet.

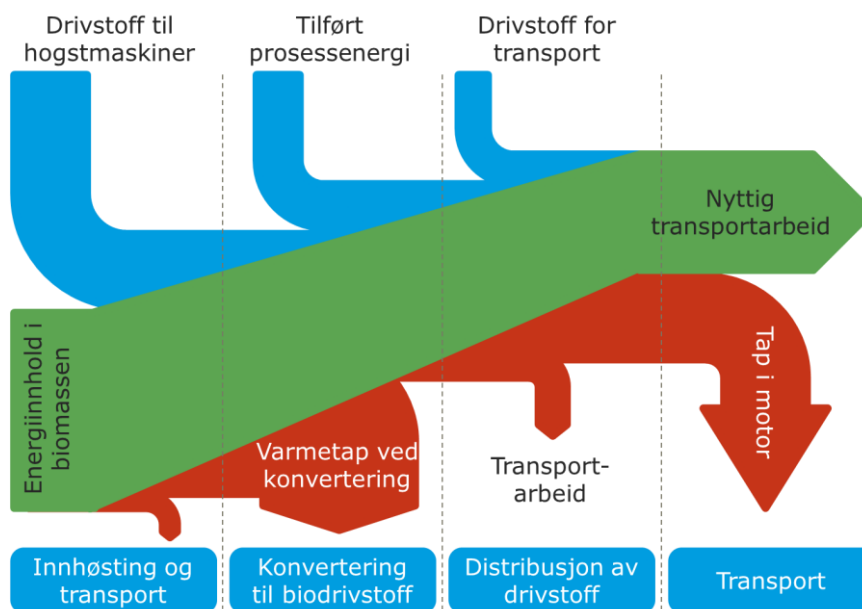
Figur 3.3 – Verdikjeden for biomasse til biodrivstoff og bioenergi © Rambøll



* Forbehandling er f. eks. komprimering og tørking, og inkluderer her fast biobrensel, som pellets, flis og briketter.

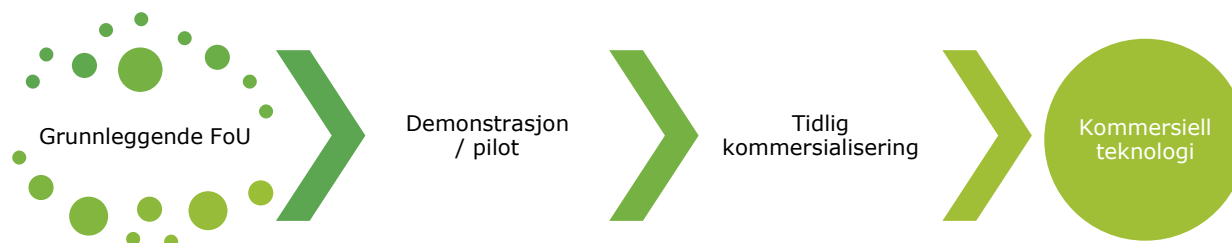
Ved konvertering av biomasse til biodrivstoff og biobrensel tapes varme til omgivelsene i alle ledd, på lik linje med raffinering av råolje og andre kjemikalier. Figur 3.4 viser et eksempel på biomassens nyttbare energi i forhold til energitap og tilført energi gjennom hele verdikjeden, for innhøsting og transport av skogråstoff til forbrenning i motor.

Figur 3.4 - Tilført energi og energitap ved konvertering av biomasse til biodrivstoff og brensel



3.2 Metode for å sammenligne teknologisk modenhet

Modenhet for teknologi eller biodrivstoff deles gjerne inn i fire overordnede kategorier:



For å identifisere egnede verdikjeder kan ulike verktøy for å identifisere modenhet brukes. Alle trinn fra grunnleggende forskning til kommersialisering, både for teknologi, men også for biodrivstoff og biomasse kan systematiseres. *Technology Readiness Level* (TRL) er en veletablert og anerkjent metode brukt for å identifisere modenhet for utvikling av teknologier, spesielt i USA, men også i EU i forbindelse med støtte til forskning og utvikling. TRL er nærmere beskrevet i vedlegg 4.

I dette prosjektet har det ikke vært mulig å bruke en slik omfattende prosess som TRL innebærer. De fire nivåene, som nevnt over, grunnleggende FoU, demonstrasjon/pilot, tidlig kommersialisering, og (sen) kommersiell teknologi har blitt brukt i teknologikartleggingen.

3.3 Kultivering, hogst og innhøsting

Prisene på sagtømmer og trevare er normalt den utløsende faktoren på om det drives hogst i et område og om det blir hogstavfall og massevirke til overs for andre bruksformål. 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 er økende. Uttak av stubber og røtter er i dag ikke aktuelt i Norge på grunn av miljøhensyn og høye kostnader.

Det er heller ikke økonomisk lønnsomt å høste alt hogstavfallet på ei hogstflate. Normalt hentes 60–80 % av biomassen ut. I tillegg vil det av hensyn til miljø og tilførsel av næringsstoffer ikke være aktuelt å ta ut alt hogstavfall på hele hogstarealet. Det bærekraftige potensialet vil derfor være betydelig lavere, anslagsvis 50-60 % av det teoretiske potensialet. Potensialet for GROT til energiformål bestemmes i stor grad av avvirkningsnivået og etterspørsel i tillegg til pris på rundvirke ettersom GROT er et biprodukt fra hogsten.²

I flere land forskes det på ulike teknologier for økt utbytte ved hjelp av kultivering, men også genteknologi, f.eks. såkalte «energivekster» i form av hurtigvoksende og lett nedbrytbare planter og trær. Historisk har planter og trær blitt kultivert til matformål eller byggematerialer, og papirproduksjon. Nå har en fjerde kategori blitt etablert for optimal biodrivstoffproduksjon. Noen land, f.eks. Sverige, dedikerer egne plantasjer av skog for papir og biodrivstoffproduksjon, og totalverner andre områder.

Det er viktig at bærekraftig skogforvaltning er et fokus, med økt kunnskap i forhold til karboninnhold i jorda, albedo³ og arealbruksendringer. Dette er forhold som påvirker klima- og miljøeffekten fra skogbruk.

3.4 Forbehandling

For å redusere transportkostnader bør biomassen fortettes, og forbehandles med naturlig tørking eller oppvarming for å øke energitettheten. Generelt kan dette være flising, kutting og komprimering, både før transport og ved mottak ved anlegg. Distribuert og mer avansert forbehandling testes ut for å øke energitettheten for billigere transport, f.eks.:

- Avansert distribuert flising og pulverisering
- Pelletering (omtales nærmere i kapittel 3.5)
- Naturlig tørking i friluft eller under tak
- Tørking med fornybar varme, f.eks. spillvarme eller solfangere
- Distribuert pyrolyse i mobile enheter (pyrolyse omtales nærmere i kapittel 3.8.4.2)
- Delvis torrefisering (mild pyrolyse, se kapittel 3.8.4.2)

Fast biobrensel diskuteres under.

Modenhet og videre utvikling

Følgende teknologier fokuserer teknologileverandørene på:

- Pressing av kvist, røtter og hogstavfall til standardiserte kuber, f.eks. prototyper utviklet av Forest Concepts of Auburn
- Mobil pelletering og pulverisering med en maskin som kan transporteres i standard container, drives av egen dieselmotor
- Mobil pyrolyse i container

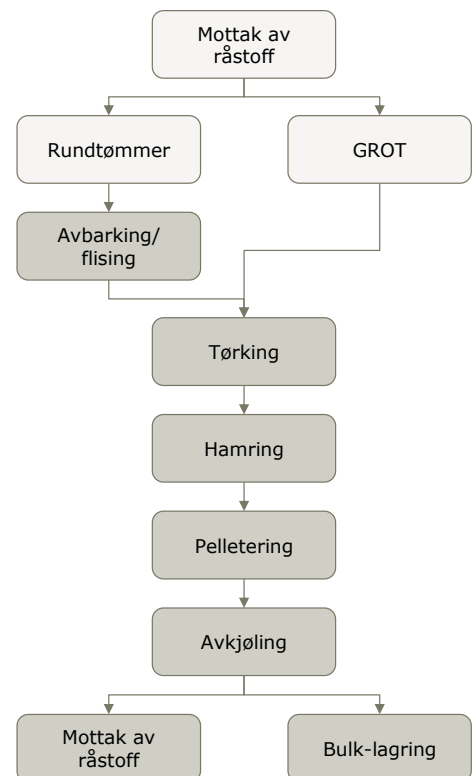
De to øverste teknologiene regnes som kommersielle eller i en tidlig fase av kommersialisering, mens mobil pyrolyse er en umoden teknologi.

Utfordringen med disse teknologiene er at de alle krever energi og er kostbare. Energien kommer som regel fra diesel til anleggsmaskiner og kjøretøy. En mulighet i Norge er å benytte elektrisitet for å redusere utslipp, men det er utfordringer med å knytte seg til elektrisitetsnettet ved avsidesliggende hogstområder. Naturlig tørking brukes derimot i stor grad.

3.5 Fast biobrensel

Pellets og briketter er en av de mest vanlige foredlede typene av fast biobrensel. Pellets produseres ved hjelp av komprimering hvor flis hamres til en uniform masse. Denne massen presses gjennom hull på 6-8 mm i diameter. Det høye trykket fører til at temperaturen øker i tremassen, og ligninen blir delvis flytende og fungerer som et naturlig lim og bindemiddel når pellets kjøles ned.

Figur 3.5 – Prosessering av pellets



²Trømborg, E., Bolkesjø, T. F., Bergseng, E., Rørstad, P. K., (2012). *Biomassetilgang fra landb. skap*

³ Forholdet mellom innstråling og reflektert stråling

Pellets har blitt en energivare som spesifiseres av ulike standarder⁴ og handles på det internasjonale markedet. Pellets kan brennes direkte for oppvarming av bygg, eller for produksjon av elektrisitet og fjernvarme. Pellets kan også fyres inn i fossile elektrisitetsverk og brukes som råstoff for flytende og gassbasert biobrensel og biodrivstoff.

Formålet med forbehandlingen er å øke reaktiviteten. Tapene ved lagring reduseres dessuten ved økt forbehandling generelt, og pelletering spesielt, noe som gjør at pellets kan håndteres som et bulk-produkt.

3.6 Flytende og gassbasert biobrensel

Flytende og gassbasert biobrensel er i stor grad det samme som biodrivstoff, men oppfyller normalt ikke så strenge krav som biodrivstoff. Biodrivstoff blandes i de fleste tilfeller inn i konvensjonell bensin eller diesel, og det er helt egne krav og standarder, både globale, regionale og nasjonale, som må oppfylles. Flytende og gassbasert biobrensel kan brukes til fjernvarme, direkte varme- og elektrisitetsproduksjon. Mange forbrenningsanlegg kan håndtere lavere kvaliteter av biobrensel, selv om disse også i økende grad standardiseres med hensyn på kvalitet, energiinnhold o.l. Flytende og gassbasert biobrensel følger de samme produksjonsprosessene som flytende og gassbasert biodrivstoff, og diskuteres i kapittel 3.8.

3.7 Biobrensel til stasjonære energiformål

Flis, pellets og briketter, samt flytende og gassbasert biobrensel kan benyttes til varme- og elektrisitetsproduksjon, gjennom forbrenning. Dette kan gjøres ved bruk av en kjel til varmeproduksjon, en motor eller turbin til elektrisitetsproduksjon, eller et varmekraftverk (CHP) til kombinert varme- og elektrisitetsproduksjon. Faste biobrensel benyttes normalt som grunnlastkilde, der flytende og gassbaserte biobrensel også kan benyttes til spisslastproduksjon.

Bioenergi til varmeformål har størst utbredelse i Norge, i form av fjernvarme eller nærvvarme. Forbrenningsanlegget består typisk av brensellager, utstyr for brenselhåndtering og –innmating, kjel og reguleringsystem. Større systemer kan også benytte akkumulatorsystemer for lagring av varme, og utstyr for røykgassrensning og askehåndtering. Biobrenselanlegget vil typisk dimensjoneres for å dekke 30-50 % av effektbehovet, og vil da dekke 80-90 % av varmebehovet.

Spillvarme generelt, og fra biodrivstoffproduksjon spesielt, kan benyttes til fjernvarmeproduksjon og -distribusjon, for eksempel ved bruk av varmepumpe.

Modenhet og videre utvikling

Biomasse og skog til stasjonære energiformål er en moden teknologi. Dette har vært et fokusområde i Norge i flere år, og ved i private husholdninger er dessuten en gammel tradisjon i Norge. Det er en rekke bioenergiprodusenter i Norge i dag.

Utvikling av 100 % fornybare varmeløsninger er en interessant utvikling i Norge. Bruk av flytende og gassbaserte biobrensel vil stå sentralt, samt samspill med biodrivstoffnæringen. Pellets kan dessuten benyttes som spisslastkilde til varmeproduksjon, noe som utnyttes f. eks. i Sverige i dag.

Torrefisering av biomasse (se kapittel 3.8.4.2) har et stort markedspotensial, og kan benyttes til storskala elektrisitetsproduksjon, samt industriell- og fjernvarmeproduksjon. Biomassen kan også pelleteres før prosessering, slik at det produseres torrefisert pellets (TOP). TOP kan direkte erstatte kull, eller fyres inn i eksisterende kullkraftverk.

3.8 Flytende og gassbasert biodrivstoff

Flytende biodrivstoff kan produseres ved hjelp av tre overordnede grupper av prosesser; biokjemisk, kjemisk og termokjemisk. Det finnes også hybridteknologier som både utnytter gassifisering og fermentering av gassen. Det er dessuten vanlig at både gassbasert og flytende biodrivstoff produseres i samme prosess. Lavere kvaliteter av biobrensel kan også være biprodukt fra biodrivstoffproduksjon da det ikke er hensiktsmessig teknologisk eller økonomisk å oppgradere alle fraksjonene videre.

⁴ Nasjonale standarder, f.eks. NS 3165. NS-EN 14961-serien og NS-EN15234-serien, SN/K 032 Bioenergi, og arbeid for med internasjonale ISO-standarder

3.8.1 Biokjemiske prosesser for fremstilling av bioalkoholer

Bioalkoholer kan produseres via mange ulike konverteringsruter, både fra sukker og stivelse fra matplanter og nedbrytning av alginat fra alger, men også fra lignocellulose fra skog og energivækster, så vel som restbiomasse fra treforedling og landbruk. Det finnes flere hundre kjente typer alkoholer og det er ikke mulighet til å analysere alle i dette prosjektet. De viktigste bioalkoholene som kan benyttes for biodrivstoff til transport, eventuelt også til varme og elektrisitetsproduksjon, er foreløpig bioetanol, biobutanol og biometanol. Biometanol omtales i pkt. 3.8.6 (side 17) da biometanol kan framstilles både termokjemisk og biokjemisk.

Figur 3.6 viser ulike teknologier for bioalkoholproduksjon, fordelt mellom forbehandling, fermentering i reaktor, separasjon av produkter og sluttprodukt. Figuren viser også teknologiene det forskes på for å forbedre utbyttet fra prosessene. Mikrobe- og cellekulturutvikling er en viktig del av hele prosessen, og prosessen tilpasses mikrobenes. Med ny bio- og genteknologi kan mikrobenes i større grad tilpasses prosessen. Se kapittel 3.8.1.2.

Figur 3.6 – Ulike teknologier for bioalkoholproduksjon fra lignocellulose



3.8.1.1 Forbehandling for produksjon av bioalkoholer

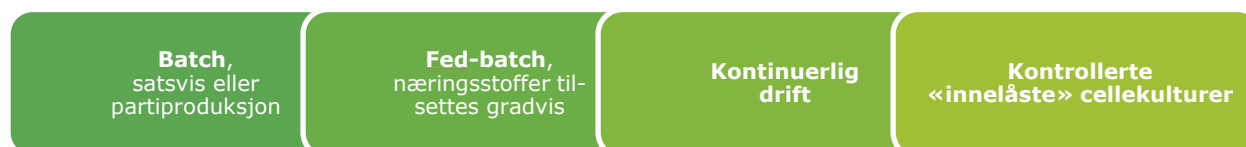
En av de største utfordringene med å konvertere skogråstoff til flytende og gassbasert biodrivstoff er alle de ulike komplekse polymerene som må brytes ned til enklere sukkerarter som kan fermenteres av gjær eller mikrober. Cellulose og hemicellulose er kun en del av tømmeret (ca. 40 % og 20-30 %), mens resten er lignin (30 %) og andre stoffer som fettsyrer, harpiks og voks. Cellulose og hemicellulose kan brytes ned til glukose ved hjelp av syrer, baser, enzymer og damp. En utfordring er knyttet til harpiks, voks og lignin, som renses og skilles ut etter tømmeret er brutt ned, da dette reduserer utbyttet fra gjær og mikrober.

Ligninen må 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.

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, som har ført til at utbyttet stadig øker. UMB er en viktig norsk aktør innen enzym-utvikling. Novozymes (DK) leverer enzymer globalt til biodrivstoffsektoren.

3.8.1.2 Fermentering og gjæring

Bioalkoholer kan produseres fra lignocellulose ved bruk av gjærbakterier, men også med bruk av andre mikroorganismer. I tillegg finnes det nye avanserte fermenteringsteknologier på forskningsstadiet. Industriell fermentering kan deles inn i fire hovedkategorier:



⁵ Kontrollerte «innelåste» cellekulturer: Immobilized cell systems

Det er primært fed-batch som benyttes i industrien i dag, men valg av prosess er avhengig av råstoffets egenskaper, investerings- og driftskostnader i forhold til volum av sluttprodukter som skal produseres, teknologisk modenhet, kompleksitet i prosessen, og kompetansen til de ansatte.

Det har vært utført mye forskning på mikrober og teknologier som kan fermentere ulike typer sukker i skogsråstoff (f.eks. heksose og pentose, hhv. sukker med seks og fem karbonatomer) til bioalkoholer. I naturen fermenterer bakterier og gjær pentose til etanol med en rekke biprodukter. Industrielle mikrober er utviklet for maksimalt utbytte av etanol⁶.

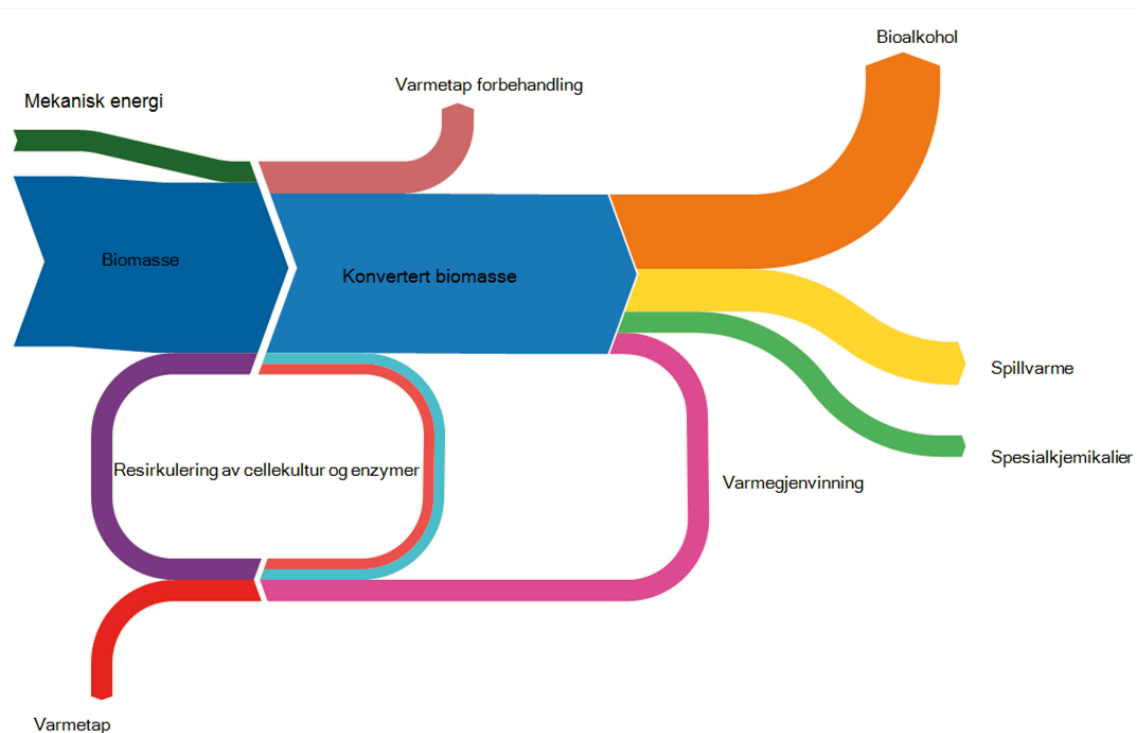
3.8.1.3 Fremstilling av produkter og gjenvinning av restmaterialer

I biokjemiske prosesser produseres det som regel ikke mer enn 10–20 % bioalkoholer i en reaktor. Grunnen er at høyere konsentrasjoner dreper mikroben som produserer bioalkoholene. Blandingene må destilleres for å hente ut bioalkoholene noe som krever mye energi og er kostbart.

Det er en stor teknologiutvikling innen bruk av membraner for å filtrere blandingene og partikler av ulik størrelse (mikroorganismer i forhold til molekyler for ulike kjemikalier). Kombinasjon av fordampning og bruk av membraner⁷ er også under utvikling. Dette innebærer at fordampet materiale rett over en membran suges bort fra blandingen. Hovedutfordringen med membraner er at de tettes igjen og må vaskes eller renses.

Disse teknologiene er testet i laboratorium og det er store utfordringer ved oppskalering, ikke minst ved at mikroben er levende og sårbare for høye temperaturer, lav pH og variable driftsforhold. Figuren under viser prinsippet for bioalkoholproduksjon.

Figur 3.7 – Illustrasjon av biokjemiske prosesser for bioalkoholer



Modenhet og marked

Markedet for bruk av bioetanol er godt utviklet i mange land, spesielt USA og Brasil, men også flere europeiske land. Bare i USA er det mer en 7 millioner flexifuel-biler som kan benytte bioetanol som drivstoff. Kommersiell bioetanolproduksjon er riktignok basert hovedsakelig på sukker fra matplanter (mais og sukkerroer).

⁶ Eksempler på de mest vanlige mikroben for pentosefermentering til etanol er: Anaerobiske bakterier, E. coli, Trådformet sopp, P. Stipitis, Z. mobilis, S. Cerevisiae

⁷ Engelsk: pervaporation

Etterspørselen internasjonalt etter cellulosebasert bioetanol drives først og fremst av det amerikanske programmet Renewable Fuels Standards, som definerer volum biodrivstoff som må forbrukes hvert år i USA frem til 2022. Dette gjelder for produsenter, forhandlere og importører. Målsetningene støttes opp av ulike virkemidler, slik som skattefradrag, lån og garantier. Det eksisterer en del demonstrasjonsanlegg basert på lignocellulose og noen kommende storskala «kommersielle» anlegg er ventet de neste 2-3 årene. Se vedlegg 2 for et utdrag av en global database over biodrivstoffanlegg fra 2011.

Det er et stort marked for biobutanol i dag, spesielt til maling, kjemikalieproduksjon og kosmetikk og pleieprodukter. Drivstoffsektoren utgjør et nytt, potensielt stort marked, hvor biobutanol har mange fordeler og bedre egenskaper enn bioetanol. Nøkkelfordringen er å utvikle en rask og kostnadseffektiv rute til biobutanol, som i dag er vanskeligere og dyrere å produsere enn bioetanol. Dersom dette lykkes kan biobutanol i fremtiden bli billigere enn petroleumbasert butanol. Bruk av billig avfall som råstoff kan være en av løsningene på dette.

Styrker knyttet til bioalkoholer:

- Alle trinn for å oppgradere og rense bioalkohol er kommersielt tilgjengelig i petrokjemisk industri
- Stor fleksibilitet i forhold til bioråstoff (skog, avfall fra landbruk og avgasser fra industri, stivelse og sukker) og godt utviklet bioalkohol-marked globalt, med mange ulike alkoholer tilgjengelig i relativt store volum
- Prosessen krever relativt lite tilførsel av hydrogen
- Ved fermentering er reaksjonene ofte ensidige med stor andel av enkelte og ønskede produkter

Utfordringer knyttet til bioalkoholer:

- Kostnadene for alkoholproduksjon fra skogsråstoff (andregenerasjon) er relativt høye i forhold til alkohol fra førstegenerasjons råstoff (sukker og stivelse), spesielt for forbehandling med enzymer og energikrevende destillasjon, men utviklingen innen enzymer går raskt
- Det er liten erfaring med andre alkoholer enn biometanol, bioetanol og isobutanol
- Håndtering av levende mikroorganismer for storskala fermentering
 - o Produksjonsrater er relativt lave i forhold til petrokjemiske standarder
 - o Disse er sensitive til forurensninger og egne biprodukter

En produksjonskjede for bioalkoholer til biodrivstoff eller biobrensel i Norge kan også baseres på halvfabrikater. Ved import kan det være en stor fordel at råstoffet allerede er omdannet og komprimert, slik at transportkostnadene reduseres, og at kostnadsforskjeller mellom Norge og produksjonslandet utnyttes. Av alkoholer er det spesielt biobutanol og cellulosebasert bioetanol som er interessant.

3.8.2 Biokjemiske prosesser for biohydrogen

Hydrogen produseres i dag i stor skala ved dampreformering av naturgass, og i noe grad fra elektrolyse. Hydrogen kan produseres fra mikrober. Dette 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 skogråstoff.

Hydrogen er en viktig bestanddel i produksjon av biodrivstoff og må normalt tilføres eksternt for at de ønskede biodrivstoffene kan produseres. I dag tilføres fossilt hydrogen, noe som innebærer at biodrivstoffene får høyere klimagassutslipp og er mindre bærekraftige enn de potensielt kunne vært. Det jobbes derfor mye med å utvikle biohydrogen fra elektrolyse basert på fornybare energikilder, fotosynteseprosesser og biokjemiske prosesser. Termokjemisk biohydrogen er dessuten en av fire hovedkomponenter i biosyngass i biomass-to-liquid og Fischer-Tropsch-syntese, nærmere omtalt i kapittel 3.8.4.

3.8.3 Biokjemiske prosesser for biometan (biogass)

Metan er hovedbestanddelen i fossil gass og produseres i store mengder fra nedbrytning av organisk materiale i naturen, f.eks. i myrer, sedimentavsetninger, våtmarker og i vommen til drøvtyggere. Metanproduksjon ved hjelp av industriell anaerobisk nedbrytning har eksistert i snart et århundre, primært for å håndtere kloakk, redusere forurensning og smitte. Anaerobisk nedbrytning er en av få bioteknologier som samtidig kan produsere bioenergi og drivstoff, redusere forurensning og resirkulere næringsstoffer.

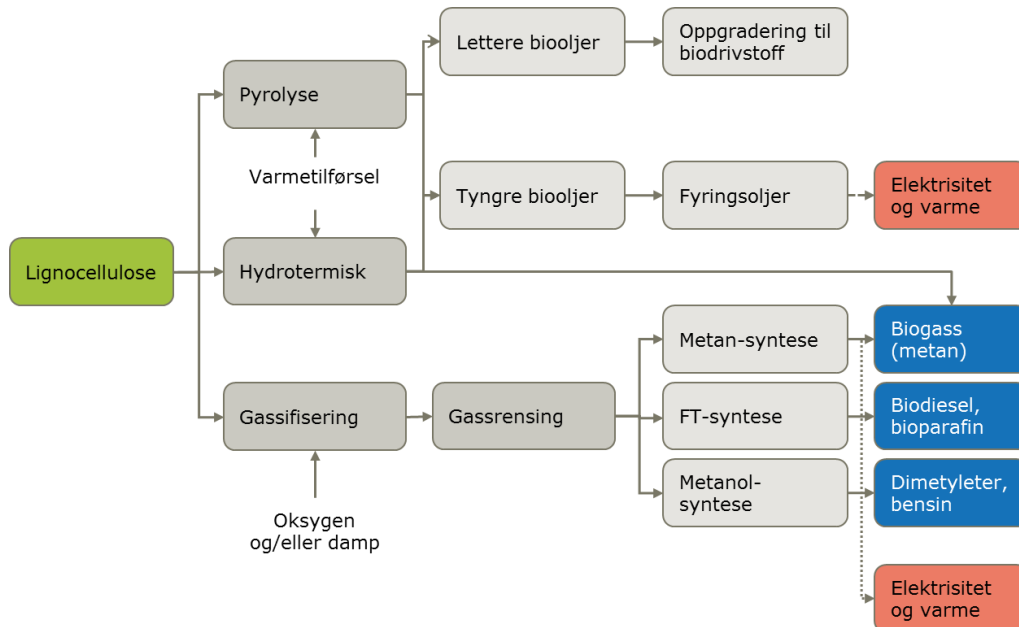
Biometan produseres gjennom metabolismen til en kompleks sammensatt mikrobekultur bestående av bakterier, encellede organismer, og enkelte sopparter. Biometan produseres i utgangspunktet ikke biokjemisk fra skogressurser, selv om enkle typer lignocellulose og sukkerartene i trevirket kan brytes ned anaerobisk. Ligninet og andre naturlige kjemikalier stopper relativt raskt nedbrytningen. Det forskes på biom-

etanproduksjon fra cellulose. Husdyrs- og husholdningsavfall, kloakk, gress og strå med enklere typer av lignocellulose egner seg bedre til biometanproduksjon.

3.8.4 Termokjemiske prosesser for biodrivstoff

De tre mest modne industrielle termokjemiske rutene, endog ikke kommersielle enda, for å produsere biodrivstoff og biobrensel er hydrotermiske prosesser, pyrolyse og indirekte katalytiske prosesser. Se Figur 3.8.

Figur 3.8 - Oppsummering av termokjemiske prosesser for lignocellulose

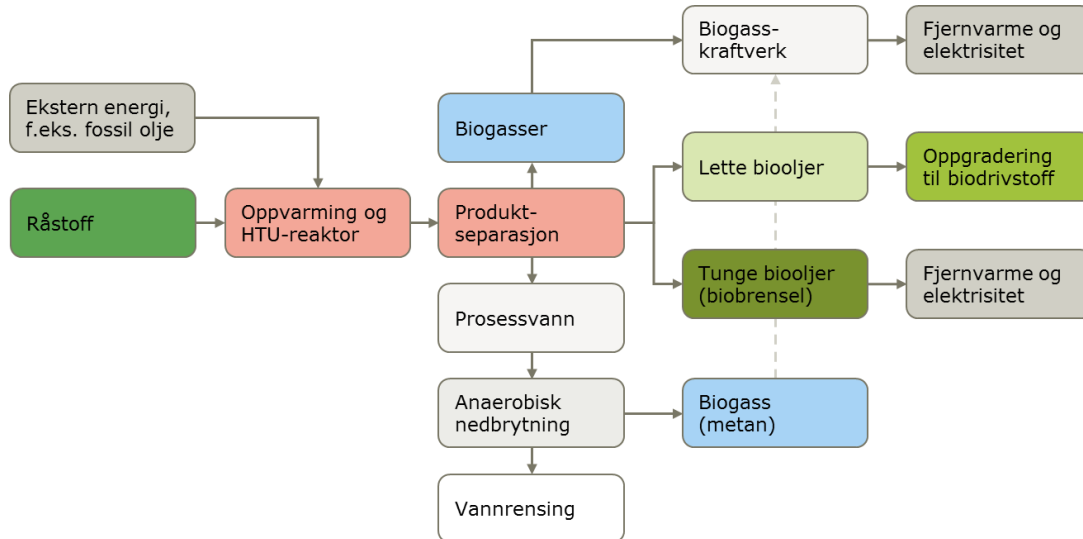


Det er verdt å legge merke til at det er én indirekte katalytisk prosess som er i ferd med å bli kommersiell og konkurransedyktig, men det er kun fordi eierne av anlegget får betalt for mottak av avfall og biomasse. Ved Heathrow i London har Solena Biofuels begynt byggingen av et kombinert biokraft, fjernvarme og Fischer-Tropsch-anlegg som vil produsere biodiesel, nafta og parafiner for flydrivstoff. Meget høye CO₂-avgifter for transport- og energisektoren samt et deponiforbud bidrar sammen til at biodrivstoffproduksjon i England kan bli lønnsom.

3.8.4.1 Hydrotermiske prosesser

Hydrotermiske prosesser innebærer at trevirke er mer eller mindre fuktig, typisk 50 % vanninnhold hvis trevirke ikke er tørket, og dette vannet er sentralt i prosesseringen. *Hydrotermisk* betyr at vann er en reaktant ved høye temperaturer og trykk. Cellulose og hemicellulose, som er de bestanddelene som enklest lar seg konvertere til flytende biodrivstoff, brytes raskt ned og løses godt i vann ved høyt trykk og temperatur (gjerne kalt hydrolysert). Fordelen, i motsetning til pyrolyse og gassifisering er at det ikke dannes tjære og koks. Bioråolje oppgraderes på mye den samme måten som pyrolyseolje.

Figur 3.9 - Flytdiagram for hydrotermiske prosesser



Den mest kjente hydrotermiske prosessen er «hydrotermisk oppgradering» (HTU), utviklet av Shell i Nederland. Resultatet av dette er ca. halvparten «bioråolje», 30 % biogass (mer enn 90 % CO₂), 15 % vann og 5 % bioorganiske rester løst i væsken. «Bioråoljen» er flytende over 80 °C og må raffineres videre for å oppfylle strenge kvalitetsstandarder for å kunne brukes i forbrenningsmotorer.

Bioråoljen kan brennes sammen med kull eller olje for varme- og elektrisitetsproduksjon. De lettere fraksjonene av bioråoljen kan oppgraderes til biodiesel, bioparaffiner, smøreoljer og som råstoff for biokjemikalier. Utfordringen er at det kreves stor tilførsel av hydrogen med høye kostnader og bruk av energi.

3.8.4.2 Pyrolyse

Pyrolyseprosesser har enda ikke bevist at de kan produsere biodrivstoff med god nok kvalitet for forbrenningsmotorer. Ved pyrolyse omdannes biomasse til væsker og gasser, og det er alltid noe fast biokull igjen som kan brukes til biobrensel eller gjødsling. Pyrolysekondensat har et høyt oksygeninnhold og kan ikke blandes inn i konvensjonell biodiesel da det skiller seg i to væskefaser. Bioråoljen kan prosesseres på mye den samme måten som råolje, og mye forskning utføres for og effektivt å oppgradere pyrolyseoljer til biodrivstoff og biobrensel.

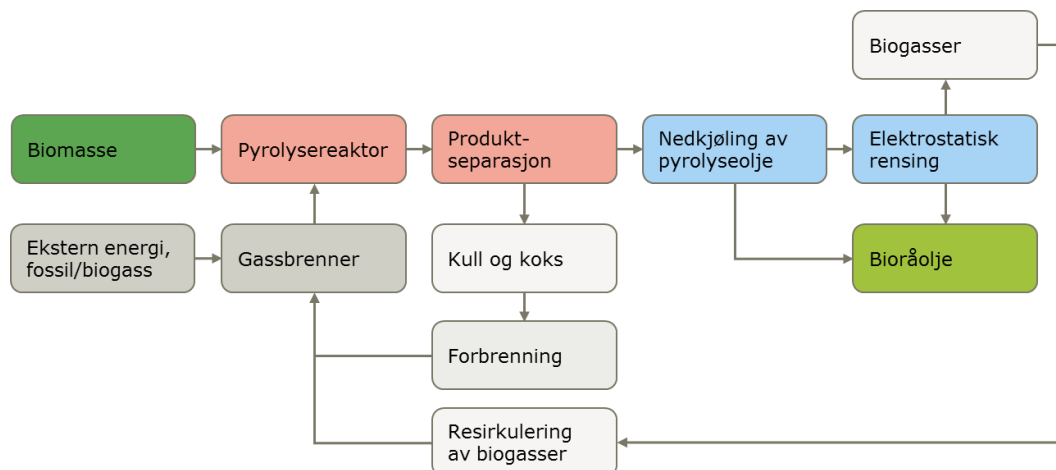
Ulike pyrolyseprosesser er:

- Rask, med produksjon av væske og en mindre andel tjære, kull og gass
- Middels rask, med produksjon av en kombinasjon av væske, tjære, kull og gass
- Sakte – torrefisering, med produksjon av tjære og kull, samt gass
- Gassifisering, med produksjon av gass, samt en mindre andel tjære, kull og væske

Sakte pyrolyse innebærer hovedsakelig at det produseres kull, tjære og metanol («tresprit»). Ved rask pyrolyse dannes det mest væske (pyrolyseolje), noe som er gunstig ved videre raffinering til flytende biodrivstoff for transport eller fyringsoljer for fjernvarme. Pyrolyseoljer har normalt halvparten så høyt energiinnhold som konvensjonelle fossile drivstoff og oljer.

Pyrolyseprosessen består i første omgang av mottak av biomasse, lagring og tørking før mekanisk flising og pulverisering. Pulverisering gjøres for å få maksimalt utbytte ved raske pyrolyseprosesser. Prosessen består også i trinn for å skille kull, tjære og pyrolyseolje, sikker lagring av pyrolyseoljen og oppgradere oljen hvis nødvendig. Se Figur 3.10 for en overordnet oversikt over pyrolyseprosesser.

Figur 3.10 – Pyrolyseprosesser, overordnet flytdiagram



Pilotanlegg

Det finnes flere ulike pilotanlegg, f.eks. i Sverige, Finland, Canada og Tyskland, hvor også noen har stoppet driften. Disse anleggene er ofte satt opp i nærhet til papirindustri eller treforedling. Rask pyrolyse ble først utviklet i Canada på 70-tallet og fluidized bed reaktorer har de høyeste utbyttene på ca. 70 % «bioråolje», som kan brennes sammen med lette og tyngre fyringsoljer. Bioråolje er mer korrosivt, noe som f.eks. norske fjernvarmeaktører har erfart, og rør, pumper og ventiler må dimensjoneres for en lavere pH. Pyrolyseolje kan dessuten gassifiseres og benyttes videre i Fischer-Tropsch-prosesser.

Et norsk eksempel er Xynergos samarbeid med bl. a. Norske Skog om produksjon av syntetisk biodiesel ved bruk av gassifisering av trevirke. Produksjonen ble innstilt i 2010. Det forelå en intensjonsavtale med tyske Choren om levering av teknologi, og både Sintef og NTNU var involvert i forsknings- og kompetansebygging.

Modenhet og videre utvikling

Kjernen til pyrolyseprosesser er reaktoren. Reaktoren utgjør ikke mer enn 10-15 % 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 pyrolyseoljenes kvalitet og å forbedre prosessen for å hente ut pyrolyseoljen fra reaktoren.

Det er ingen klar beste teknologi for pyrolyseoljeproduksjon. Følgende teknologier eksisterer:

Fluidized bed er kommersiell, robust og kan oppskaleres, men det er utfordringer med jevn varmeoverføring og det er ikke bevist ved 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 kommersiell tilgjengelig og har muligheter for jevn varmfordeling, men oppskalering er enda 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 lavt innhold av tjære-komponenter. Dette gjør også at virkningsgraden er høyere. Likevel er teknologien utfordrende når det gjelder mating. I tillegg er investeringskostnadene høyere, hvilket betyr at teknologien er best egnet til større volumer.

De viktigste utfordringene som må løses er:

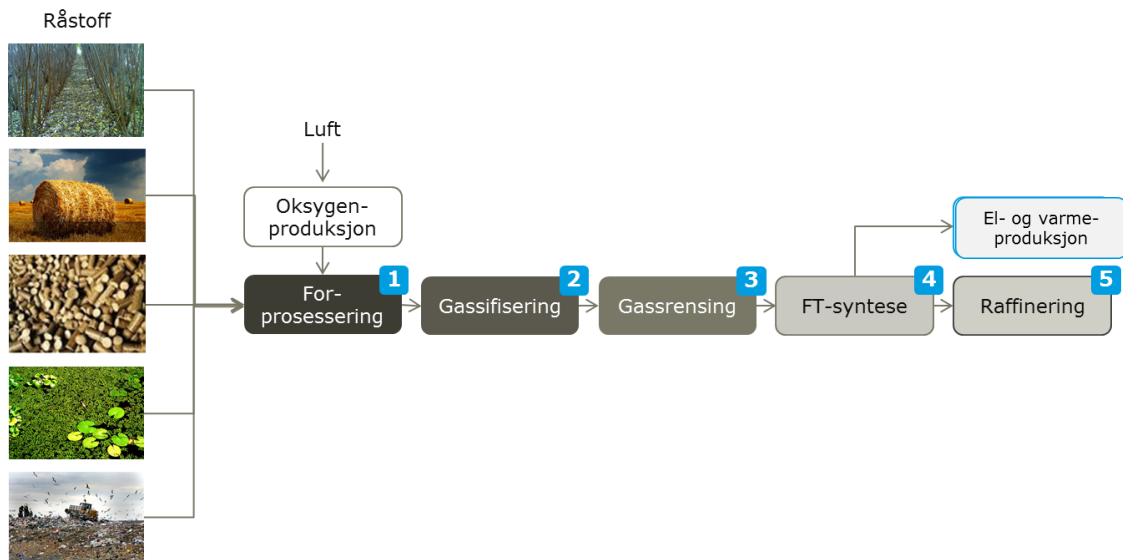
- Langvarig drift av fullskala reaktorsystemer
- Bevise kostnadsnivåer vha. demonstrasjonsanlegg
- Forbedre produktkvalitet og etablere kvalitetsstandarder
- Etablere helse og sikkerhetskrav
- Informere sluttbrukere om muligheter ved bruk av pyrolyseoljer

3.8.4.3 Indirekte katalytiske prosesser, Biomass-to-Liquid

Biomass-to-Liquid (BtL), eller Fischer Tropsch (FT) -drivstoff, innebærer gassifisering, rensing og videre raffinering av en biosyngass til flytende og gassbasert biodrivstoff og biobrensel. FT-prosessen kan i prinsippet baseres på alle råstoff som inneholder hydrokarboner, både fossilt og fornybart, så vel som avfall. Syngass-prosessen ble hovedsakelig utviklet mellom 1910 og 1940, men da basert på kull. Dagens FT-anlegg basert på råolje, kull og naturgass drives i dag på en kommersiell skala. Se vedlegg 3 for tabell og informasjon om kommersielle FT-anlegg basert på fossile ressurser.

Figur 3.11 viser en oversikt over prosessen med fornybart råstoff samt innsatsfaktor. Det første steget i prosessen involverer en forbehandling av biomassen, hvor biomassen komprimeres i tillegg til at den homogeniseres slik at den ellers heterogene biomassen blir lettere å håndtere videre i prosessen. De to vanligste prosessene for dette er torrefisering (røsting) eller pyrolyse, som beskrevet i kapittel 3.8.4.2.

Figur 3.11 – Produksjonsprosess for biobasert Fischer-Tropsch hydrokarboner



Det finnes i dag hovedsakelig tre forskjellige gassifiseringsteknologier og reaktorer egnet for BtL-prosessen; fluidized bed, entrained flow og høytemperatur gassifisering ved hjelp av plasmafakler. Se beskrivelser for disse over. Høytemperatur gassifisering er en lovende teknologi, hvor det planlegges flere anlegg, blant annet ett med byggestart i 2013 i London.

Rensing av gassen kan gjøres ved hjelp av termisk eller katalytisk destillasjon⁸, eller «vasking av gassen», gjerne kalt scrubbing⁹. BtL-prosessen har mye varmeoverskudd, så det er viktig med rask fjerning av varme slik at man unngår overoppheting av katalysatoren og andre komponenter i prosessen. I tillegg vil en økt reaksjonstemperatur øke andelen metan og redusere andelen hydrokarboner med lengre kjeder. Spillvarme og damp kan brukes til fjernvarme- og elektrisitetsproduksjon.

Biosyngass kan både brukes til biobrensel for varme- og elektrisitetsproduksjon og biodrivstoff. I noen tilfeller er det behov for høy prosessvarme, hvor det er lite hensiktsmessig å forbrenne biomasse direkte. En mulighet er da å bruke biosyngass som energikilde og biobrensel. Noen bruksområder kan være:

- Høytemperatur prosessvarme, f.eks. sementproduksjon
- Kombinert kraft og varme i gassmotorer eller -turbiner (etter at gassen er renset)
- Småskala CHP
- Storskala IGCC gasskraftverk
- Innfyring i kull eller fossil gasskraftverk

Pilot og demonstrasjonsanlegg

Det driftes per i dag ingen helkommersielle BtL-anlegg eller gassifiseringsprosesser, selv om det er en del anlegg som har fått omfattende investeringsstøtte. Biosyngass-produksjon har blitt demonstrert i flere anlegg, både i USA, Østerrike, Sverige og Tyskland.

⁸ termisk eller katalytisk destillasjon: destillasjon ved hjelp av katalysatorer og/eller med tilførsel av varme

⁹ Scrubbing: rensing av røykgass, f.eks. med ulike kjemikalier

Et norsk eksempel er Viken Skogs selskap Treklyngen, som har etablert en avtale med Avinor om produksjon av biodrivstoff fra skog, til luftfart.

Styrker knyttet til Fischer-Tropsch:

- Kommersiell teknologi benyttet for Coal-to-Liquid og Gas-to-Liquid
- Et bredt spekter av potensielle produkter, både hydrogen, alkoholer, DME, bensin, diesel og parafiner (Jet A-1)
- Råstoffleksibilitet, både i forhold til kvalitet på råstoff og typer fossile og organiske materialer
- Relativt høy konverteringsfaktor for karbon
- Relativt lave driftskostnader, og for indirekte gassifisering er det lite eller ingen behov for ekstern hydrogentilførsel

Utfordringer knyttet til Fischer-Tropsch:

- Gassifiseringen av biomasse krever optimalisering, spesielt med tanke på reduksjon av tjære
- Høy investeringskostnad på grunn av behov for storskala drift for økonomisk optimalisering
- Gassifiseringsprosessen og dyre FT-katalysatorer kan ødelegges av forurensninger hvis ikke gassrensingen fungerer godt
- Konkurransen om råstoff til bioenergi, avfallsforbrenning, papir og treforedlingsindustri, men mulighet for symbiose i en industriklynge med f.eks. bruk av treflis og annet avfall fra biomassebasert industri

Modenhet og videre utvikling for termokjemiske prosesser

Flytendegjøring av biomasse kan deles inn i direkte termokjemiske prosesser; hydrotermiske og pyrolyse, og indirekte termokjemiske prosesser; gassifisering og heterogene katalytiske reaksjoner for syntesegass. Per i dag er ingen av teknologiene eller prosessene økonomisk konkurransedyktige, men alle delprosesser i et biomasse til diesel-anlegg er påvist i en kommersiell skala.

Katalytisk biodrivstoff er en relativt «ung» gren innen BtL-forskning, men det er bevist flere lovende resultater, og pga. industrialiseringen av NGtL¹⁰ og CtL¹¹ er nedstrømsprosessen godt utviklet. BtL-prosessutviklingen vil sannsynligvis i all hovedsak følge utviklingsløpet til CtL. Utvikling av mer effektive katalysatorer, f.eks. med ny nano- og materialteknologi for reaktive overflater, vil være sentralt for BtL.

Pyrolyse og hydrotermiske prosesser har hovedutfordringer knyttet til kvalitet og kan ikke benyttes til transportformål. Til stasjonær forbrenning er det på den annen side mulig å bruke dette som tyngre fyrringsoljer hvis systemet er tilpasset korrosiviteten til biobrenselet.

Transportbransjen utvikles mot stadig strengere krav til renhet og dermed mer komplekse typer (bio)drivstoff. Fokus på klima i bransjen fører til økt etterspørsel etter biodrivstoff. Økt utvikling innen rensning og oppgradering av hydrotermisk og pyrolysebasert biodrivstoff fører til at denne typen drivstoff sannsynligvis kan brukes til tungtransport på mellomlang sikt.

Det er også verdt å nevne «solar fuels», hvor biomasse gassifiseres til syngass ved hjelp av konsentrert solenergi (CSP), som øker konverteringsutbyttet da ikke biomasse brukes til prosessvarme. Denne teknologien er på et tidlig forskningsstadium. For norske forhold kan eventuelt elektrisitet fra vannkraft benyttes som ekstern energi for å øke utbyttet.

3.8.5 Hybridteknologi: fermentering av biosyngass

Hybridteknologier benytter først forgassing av biomasse og deretter en fermentering av denne for å produsere biodrivstoff, primært bioetanol. Det finnes dessuten en hybridteknologi som fermenterer røykgass fra biodrivstoff og –forbrenningsanlegg slik at CO₂ og andre stoffer blir gjenvunnet og brukt en gang til før de slippes ut fra transportsektoren. De tre mest kjente og etablerte selskapene som utvikler fermentering av biosyngass er Coskata, INEOS og Lanza Tech.

Et eksempel på en tidlig kommersiell hybridteknologi er INEOS New Planet Bioenergy sitt anlegg i Florida, USA. Lignocellulose fra en rekke tref typer, husholdningsavfall og skogsavfall forgasses til biosyngass, kar-

¹⁰ Natural Gas to Liquid

¹¹ Coal to Liquid

bonmonoksidet fermenteres av naturlig tilgjengelige bakterier til en blanding som destilleres til bioetanol. Fornybar elektrisitet produseres også fra samme prosess. En viktig faktor som har ført til at dette anlegget er bygget i USA er RIN credits¹² som gis til andregenerasjons bioetanol. Anlegget produserer 20 millioner liter bioetanol og har en kapasitet på 6 MW i elektrisitetsproduksjon per år.

3.8.6 Biometanol

Biometanol kan produseres fra alle de ovennevnte teknologiene, både direkte og indirekte termokjemiske prosesser, så vel som biokjemiske prosesser. De vanligste metodene er riktignok indirekte termokjemisk med gassifisering av «tørr» biomasse, eller anaerobisk nedbrytning av enkle typer lignocellulose (strå og gress), samt husdyrs- og matavfall.

Biometanol har blitt produsert i lang tid da det har vært et biprodukt fra kullproduksjon fra skogsråstoff. På 20-tallet ble biometanol, eller tresprit, industrialisert i Tyskland, men metanolproduksjon vha. dampreformering av fossile kilder, spesielt naturgass, har tatt over. Fossil metanol er en av de kjemikalierne det handles mest med globalt, mer enn 40 mill. tonn i 2007.

Biometanol blandes i dag inn i ulike drivstoff, og i Kina blandes det inn mer enn 3 mrd. liter per år i bensin. Fordelen med biometanol er at forbrenningsmotoren kan gå på fossil metanol i dag, biometanol etter hvert som produksjonen øker, og biometanol fra CO₂ fra karbonfangst eller atmosfæren sammen med fornybar hydrogen på lengre sikt. Biometanol kan dessuten brukes i mange ulike kjemikalier og videreforedles til både bensin, diesel og dimetyleter (DME).

Flere bioraffinerier i USA produserer bioetanol, biometanol og andre bioalkoholer vha. en termokjemisk prosess basert på skogsråstoff. Sverige har flere pilotanlegg for biometanol, blant annet Nykombgruppen og Chemrec. Biometanol kan dessuten enkelt raffineres til bioetylen, som blant annet Coca Cola bruker for bioplastikk til sine plasflasker. Coca Cola har investert i flere anlegg for bioplastikk hvor det også produseres biodrivstoff, noe som viser kompleksiteten og symbiosen mellom biomaterialer og biodrivstoff.

3.8.7 Dimetyleter (DME)

Dimetyleter kan bli produsert fra biometanol eller biosyngas. Produksjon av bio-DME ved hjelp av biosyngasproduksjon er demonstrert ved Chemrec sitt anlegg i Sverige. Anlegget¹³ hadde oppstart i 2010 og testkjøretøy fra Volvo har kjørt mer enn 450.000 km med biodrivstoffet. DME kan være et substitutt for LPG og kan blandes inn i dieselmotorer.

3.8.8 Kjemiske prosesser

Kjemiske prosesser innebærer mye av det samme som biokjemiske prosesser, men inneholder ikke levende organismer som mikrober og bakterier, som f.eks. benyttes ved fermentering.

Kjemiske prosesser benyttes først og fremst ved konvertering av fettsyrer, mat- og planteoljer til biodiesel og biometanol. Ved behandling av lignocellulose og lignin fra skogressurser benyttes normalt bio- og termokjemiske prosesser som beskrevet over.

3.9 Priser og marked

Ved å se bort fra råstoffkostnader er biodrivstoffproduksjon basert på BtL ca. 10 ganger så høy som konvensjonell oljeraffinering. Til sammenligning operer IEA med følgende priser, bensinekvivalent, for ulike biodrivstoff (2010) globalt sett (prisene kan variere lokalt).

- Konvensjonell biodiesel (animalsk fett og planteoljer):	5,9 kr/liter
- Fossil bensin:	3,3 kr/liter
- Bioetanol fra cellulose:	6,6 kr/liter
- Biodiesel, Fischer-Tropsch (BtL):	7,0 kr/liter
- Biogass (metan):	5,4 kr/liter
- Bioetanol fra sukker og stivelse:	4,2 kr/liter
- Bioetanol fra sukkerroer:	3,7 kr/liter

Rambøll¹⁴ har beregnet at norske aktører kan produsere bioetanol til 8-10 kr per liter, avhengig av råstoffkostnader og teknologi.

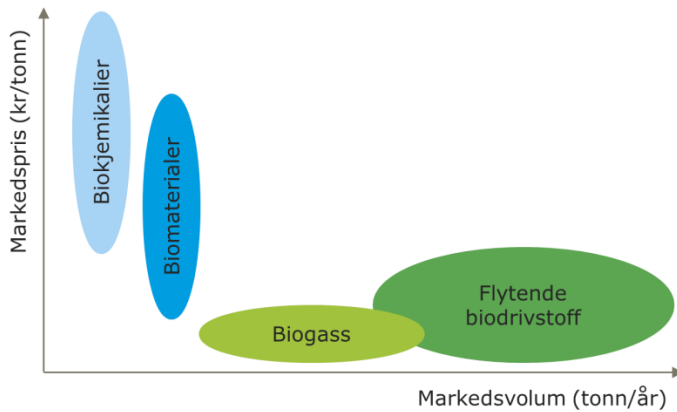
¹² Renewable Identification Number identifiserer hver batch produsert av biodrivstoff og kan omsettes omtrent på samme måte som grønne sertifikater.

¹³ Finansiert av EU's 7. rammeprogram, Volvo, Det svenske energidepartementet med flere

¹⁴ Bærekraftig biodrivstoff for luftfart, Rambøll, 03/2013

Ulike studier viser at andregenerasjons bioetanol, f.eks. fra hybridløsninger med fermentering av biosyng-ass, kan bli kommersielle uten støtte i løpet av 5-10 år.

Figur 3.12 – Produkt trade-off i forhold til markedsvolum og pris, IEA



kostnadsnivåer for bioraffinerier.

De få produksjonsanleggene som er kommersielt levedyktige er bioraffinerier, med biodrivstoff som et av flere produkter. Bioraffinerier er basert på de samme prinsippene som konvensjonelle oljeraffinerier, dvs. å produsere en rekke forskjellige biodrivstoff, biobrensel, biokjemikalier og biomaterialer fra en eller flere typer biomasse. Konkurransedyktigheten til bioraffineriet 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 3.12. Bioraffinerier trenger flere ben å stå på med volatile drivstoffpriser. Vedlegg 1 gir en oversikt over

3.10 Bioenergi med karbonfangst og lagring

Bioenergi med karbonfangst og lagring, eller *BioEnergy in combination with Carbon Capture and Storage* (BECCS, eller Bio-CCS), vurderes seriøst som klimatiltak i biobrensel- og biodrivstoffsektoren og ved innblanding i fossile kraftverk med CCS. Karbonfangst og lagring ved forbrenning av biobrensel innebærer at det kan bli mulig med nullutslipp, og til og med negativt utslipp, dvs. at mer CO₂ lagres enn det som ville ha blitt sluppet ut for hele verdikjeden for produksjon av biobrensel eller biodrivstoffet.

Klimaeffekten fra verdikjeden avhenger av hvor bærekraftig bioråstoffet er, og betraktning av biogene CO₂-utslipp og albedo. Dagens (politiske) praksis er å beregne biogent CO₂ som klimanøytralt ved avregning av klimaeffekt. Studier fra NTNU og Cicero viser at forbrenning av biomasse har en klimaeffekt avhengig av type biomasse og omløpstid, hvilken tidshorisont som benyttes, og albedo¹⁵. Det mest vanlige er å betrakte klimaeffekter i et 100-års perspektiv. Biogene CO₂-utslipp fra norsk, boreal skog med en omløpstid på 100 år vil ha en klimaeffekt tilsvarende 43 % av samme mengde utslipp av fossil CO₂ ved forbrenning. Albedoeffekter vil bidra til klimaeffekten i motsatt retning enn biogene CO₂-utslipp, og reduserer klimaeffekten av boreal skog. Albedoeffekter er stedsavhengig. Lagring av biogent CO₂ vil på grunn av overstående ikke nødvendigvis resultere i en klimaeffekt på -1 CO₂-ekvivalent per kg lagret CO₂. Guest m. fl. (2013) viser at lagring av biogent CO₂ fra norsk gran lagret i et geologisk reservoar uten lekkasje vil resultere i en klimaeffekt på -0,56 kg CO₂-ekvivalenter per kg lagret CO₂ i et 100-års perspektiv.

Et viktig tiltak for bredere utbredelse av BECCS er å inkludere teknologiene i kvotehandelssystemene (ETS¹⁶ og CDM¹⁷). Fangst av biogene utslipp er ikke anerkjent som klimatiltak, 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. Systemvirkningsgrad, biogene utslipp, direkte og indirekte arealbruksendringer og albedo er temaer det forskes på for å fastslå total klimaeffekt av verdikjedene. I tillegg må selve konvertering og fangstteknologiene testes ut i større skala og dele syner-gier sammen med fossil CCS-testing.

CO₂-strømmene fra biodrivstoffproduksjon og flytende biobrensel (fermentering eller gassifisering) er relativt rene, noe som gjør det enklere å fange karbondioksiden enn ved fossile varme- og elektrisitetsanlegg. Ved termokjemiske prosesser består som tidligere nevnt syngassen av karbonmonoksid (CO), vann, hydrogen og CO₂ hvor karbondioksidet kan hentes ut. Ved fermentering kan CO₂ hentes ut fra fermenteringsreaktoren.

¹⁵ Cherubini m. fl., 2011 og Bright m. fl. 2012

¹⁶ European Trade Scheme

¹⁷ Clean Development Mechanisms

Det er tre kategorier av karbonfangst for biobrensel; pre-, oxy- og postcombustion. Disse er også de kategoriene som brukes for fossil karbonfangst. I tillegg er det definert CO₂-separasjon av biosyngass i termokjemiske prosesser og ved fermentering i biokjemiske prosesser for biodrivstoffproduksjon. Se vedlegg 6 for en shortlist over BECCS-teknologier.

BECCS pilot og demonstrasjonsanlegg

Det finnes noen store CCS-demo-prosjekter som blander inn biobrensel i fossile anlegg, men disse er altså ikke rene BECCS-anlegg. Et eksempel er Drax Power Station i North Yorkshire i England.

Et rent BECCS demonstrasjonsanlegg startet prøvedrift i Illinois i USA i 2010. Omtrent 1000 tonn CO₂ per dag fanges fra et biokjemisk anlegg for bioetanol-fermentering, og planen er å oppskalere dette til 1 mill. tonn per år i løpet av 2013. Anlegget støttes av Energidepartementet i USA fram til 2016. Karbondioksiden lagres i en fjellformasjon av sandstein 2400 meter under bakken¹⁸.

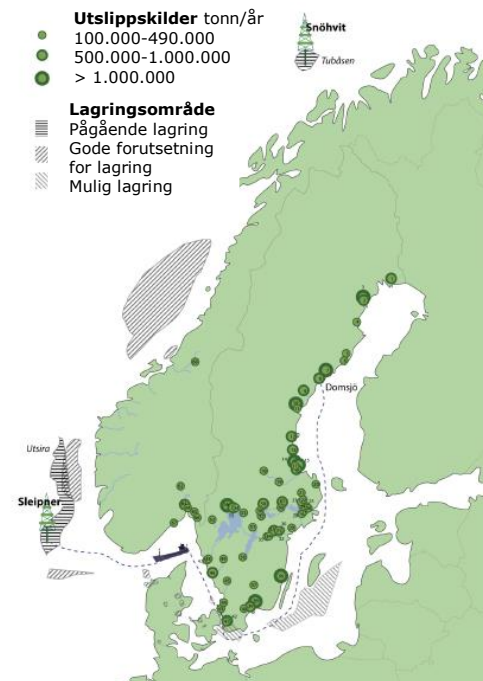
Det bygges for tiden et anlegg i Kansas hvor karbondioksid fra et bioetanolanlegg skal fanges. Det er allerede boret brønner for CO₂-lagring. I følge Kansas Geological Survey og Biorecro skal anlegget startes i løpet av 2013.

Biorecro planlegger dessuten et anlegg sammen med Energy and Environmental Research Center (EERC) ved University of North Dakota. Det finnes dessuten flere BECCS-prosjekter beskrevet og skissert i litteraturen, men ikke bygget. Studien *BECCS som klimatåtgård - En rapport om koldioxidlagring från biomassa i ett svensk-norskt perspektiv* foreslår flere egnede lokaliseringer i Sverige og Norge.

Ulike studier, finansiert av EU og IEA, pågår for å identifisere nødvendig teknologiutvikling for BECCS. Sintef jobber med å etablere prosjekter i kombinasjon med Cenbio og BIGCCS-prosjektene og er involvert i *Bio-CCS Joint Taskforce*, et samarbeid mellom European Biofuels Technology Platform (EBTP) og Zero Emission Platform (ZEP). Aker Clean Carbon er en norsk aktør som har beskrevet teoretisk hvordan biomasse kan inkluderes i fossil karbonfangst.

Tabellen under er den mest oppdaterte tabellen over aktuelle BECCS-teknologier og forventet modenhet i 2020. Foreløpige resultater fra studien *Techno-Economics of Biomass based Power Generation with CO₂ Capture (TESBiC)* fastslår at Bio-CCS med «kjemikalieresirkulering» (chemical looping) er den mest egnede teknologien for karbonfangst for biobrensel- og biodrivstoffanlegg.

Figur 3.13 – Studie over utslippspunkter for biogen CO₂ samt fangst og lagringsmuligheter i Norge og Sverige, Biorecro



¹⁸ IEA CCS Roadmap 2010 og www.biorecro.com

Tabell 3.1 – Oversikt over de mest lovende Bio-CCS teknologiene, TESBiC

Teknologimodenhet og hovedutfordringer	Bio-CCS med aminvasking ¹⁹	Bio-CCS med oxy-fuel	Bio-CCS med «kjemikalieresirkulering ²⁰ »	Biogasskraft (BIGCC ²¹)
Forventet TRL²² i 2020	6-7	6	5-6	5-6
Hovedutfordringer	Oppskalering, aminnedbrytning	Oksygen energikostnader, langsom prosess	Kjemikalier nedbrytes, lave reaksjonshastigheter, dobbelt sett av reaktorer	Kompleks drift, avleiringer av tjære,
Egnethet for småskala	Høyt	Høyt	Høyt	Høyt
Systemvirkningsgrad med fangst	Lav	Lav	God	God
Kapitalkostnader med fangst	Høyt	Høyt	Lav	Høyt

¹⁹ Amine-scrubing²⁰ Chemical looping²¹ Integreert syklus gasskraftverk²² Technology Readiness Level, se kap. 3.2 og vedlegg 0 for en gjennomgang

4. AKTØROVERSIKT

Aktørene er kartlagt og kategorisert etter rollen de utgjør i markedet. Total 174 aktører er kartlagt. Kategoriseringen er vist under, og er i stor grad basert på NOBIOs inndeling av aktører²³.

Skogsindustri og andre næringsaktører utgjør oppstrøms aktører, og inkluderer bønder og skogeiere, og skogsandelslag. Denne sektoren antas å utgjøre en stor andel i markedet gjennom en rekke skogbrukere, men er i denne sammenheng vektlagt ved skogsandelslagene.

Teknologi- og utstyrsleverandør viser til komponenter og prosessteknisk teknologi og utstyr. Denne sektoren er i større grad internasjonal, enn hva antas tilfelle for de andre sektorene.

Produsent er fordelt mellom biobrensel, biodrivstoff, bioenergi, og biokjemikalier og -materialer. Biobrensel viser til (forbehandlet) biomasse til stasjonære energiformål, mens biodrivstoff viser til flytende- og gassdrivstoff til transportformål. Det vises til definisjonslisten. Biokjemikalier og -materialer inkluderer industri som trelast, papirindustrien, spesialkjemikalier etc. Det er fokusert på de aktørene innen biokjemikalier/-materialer som har betydning for biodrivstoffnæringen.

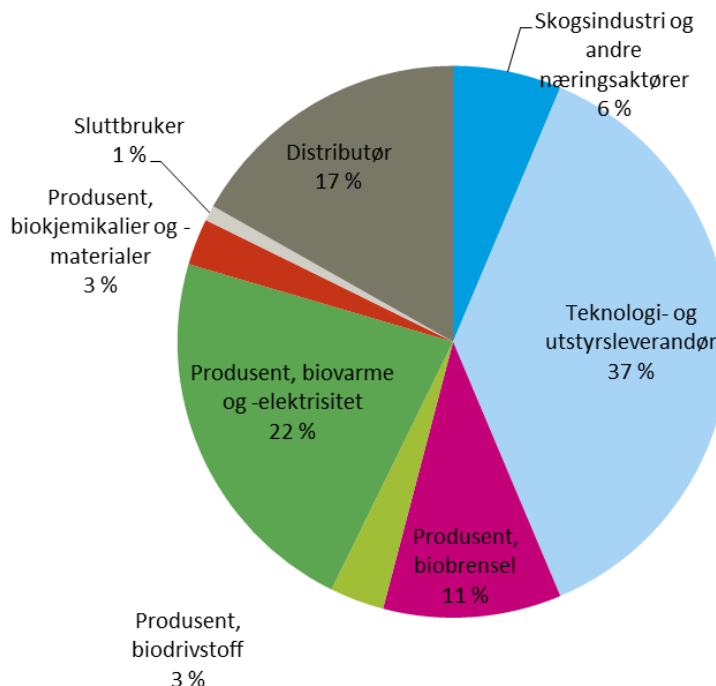
Sluttbruker inkluderer i aktøroversikten i hovedsak brukere av biodrivstoff - for eksempel transportselskap.

Distributør er mellomleddet mellom produsent og sluttbruker, og viser for eksempel til bensinstasjoner, varmedistributører og andre distributører i det norske markedet.

Det er for flere av aktørene inkludert både en primær- og en sekundær rolle i markedet. Dette gjelder for en rekke av fjernvarmeselskapene, der hovedrollen er bioenergiproduksjon, og varmedistribusjon er sekundærrollen.

Aktøroversikten finnes i sin helhet i vedlegg 7. Figur 4.1 viser en oversikt over aktørene for skog til energiformål, fordelt på rolle. Teknologi- og utstyrsleverandører og produsenter av bioenergi utgjør hovedandelen av de kartlagte aktørene, med produsenter av biobrensel og distributører påfølgende.

Figur 4.1 - Aktørkartlegging, fordelt på rolle i markedet, vist ved antall aktører og andel (%)



²³ Verken konsultantselskaper eller forskningsinstitusjoner er inkludert i aktørkartleggingen, og gjeldes for eksempel Norsk Treteknisk Institutt, Papir- og fiberinstituttet, UMB og NTNU.

Tabell 4.1 viser omsetning og resultat for de kartlagte aktørene, aggregert for de kategoriserte rollene.

Tabell 4.1 - Omsetning og aggregert resultat for de ulike markedsrollene, basert på primærrolle

	Antall (primær og sekundær rolle)	Omsetning [mill. kr/år]	Prosent av omsetning	Resultat [mill. kr/år]
Skogsindustri og andre næringsaktører	14	10 963	7 %	-51
Teknologi- og utstyrsløseleverandører	82	22 099	14 %	1 168
Produsent, biobrensel	23	348	0 %	-366
Produsent, biodrivstoff	7	1 510	1 %	9
Produsent, biovarme og -elektrisitet	49	3 211	2 %	-314
Produsent, biokjemikalier og -materialer	6	19 846	13 %	-2 200
Sluttbruker	2	5 448	4 %	6
Distributør	37	91 732	59 %	2 034
<i>Sum</i>	<i>220</i>	<i>155 156</i>		<i>286</i>

Skogsindustrien preges i kartleggingen av skogandelslag. Skogandelslagene stod i 2012 for hogst av 6,7 millioner m³ tømmer. Omsetningen i industrien er relativt god, og direkte sammenlignbar med antallet kartlagte aktører. Hovedgrunnen til et totalt negativt resultat er det norske selskapet Umoe, som driver skogbruk i Canada.

Teknologi- og utstyrsløseleverandørene inkluderer utstyr og teknologi langs hele verdikjeden, fra skog til konvertering og bruk. Aktørgruppen er antallsvis den største i aktørkartleggingen med 37 %, men utgjør kun 14 % av den kartlagte omsetningen. Teknologi- og utstyrsløseleverandørene er preget av et stort sprik, både i forhold til type leveranse, omsetning og resultat. Leveransene er preget av forbrenningsteknologi, ovner/peis til husholdningsbruk, produksjonsutstyr til biobrensel, og i mindre grad transportteknologi. I tillegg til transportleverandørene Scania og Volvo, leverer også følgende selskaper transportteknologi for biogass/biodrivstoff: Daimler, Iveco, MAN, Tedom, Ekobu, Ikarus, Van Hool, Solaris, BredaMenarini, Heuliez (Hog Energi, 2010).

Produsenter av biobrensel preges av flis- og pelletsprodusenter, og i mindre grad ved og briketter. Vedproduksjon finner i stor grad sted på det private markedet. Foruten Norges største pelletsprodusent Biowood Norway, som i februar 2013 la ned produksjonen, er det kartlagt 7 pelletsprodusenter. 5 av disse har et negativt resultat, der Pemco og Forforedling har et positivt resultat. Omsetningen for biobrenselprodusentene er generelt lav. En rekke av pelletsprodusentene opererer i et sekundært marked, i hovedsak teknologi- og utstyrsløseleveranser eller bioenergiproduksjon.

Produsenter av biodrivstoff i Norge er få. Borregaard produserer bioetanol, biogass og varme fra tømmer, og Weyland produserer biodrivstoff fra lavverdig cellulose. Sistnevnte er et pilotanlegg. I tillegg produserer Uniol og Habiol biodrivstoff, men ikke fra skog. Habiol har utviklet og solgt produksjonen. Norske Skog var deleier i Xynergo, som i 2010 la ned biodrivstoffproduksjonen.

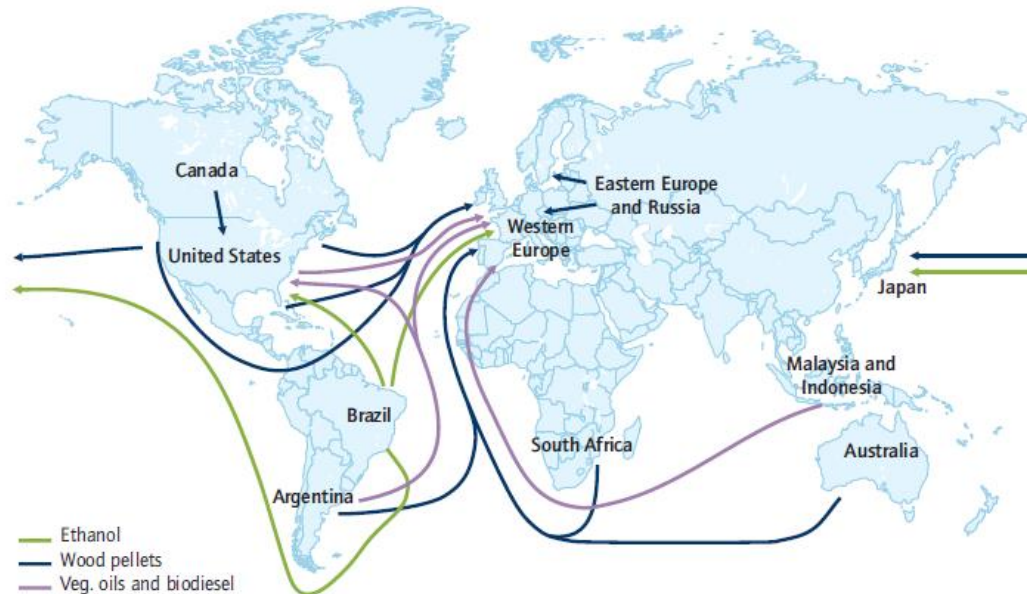
Hovedandelen av omsatt biodiesel i Norge går til lavinnblanding i fossil diesel, for å oppfylle omsetningskravet (ZERO m.fl., 2010). Bioetanol kan benyttes til lavinnblanding i fossil bensin, og Statoil har siden 2010 iblandet 5 % bioetanol, i hovedsak basert på sukker, importert fra Brasil. Statoil har tidligere solgt bioetanol fra SEKAB i Sverige. Det presiseres at verken Statoil eller Uno X-Energi distribuerer bioetanol/biodiesel fra skogsressurser.

Produsenter av biokjemikalier/-materialer har ikke vært et hovedfokus i aktørkartleggingen, men samspillet mellom biodrivstoffnæringen og biokjemikalier/-materialer anses som viktig, både i forhold til bruk av avfallsprodukter og symbioser. Biodrivstoffprodusenter som Borregaard, Weyland og svenske Sekab er inkludert, samt Norske Skog, som tidligere hadde et samarbeid med Xynergo. Produksjon av spe-

sialkjemikalier fra Borregaard er utgjør hovedrollen til selskapet, og produksjon av bioetanol, biogass og varme er sekundæraktiviteter. Hovedgrunnen til det negative resultatet for produsenter av biokjemikalier og -materialer er Norske Skog, som har et svært negativt resultat.

Figur 4.2 viser global handel av bioetanol, biodiesel og pellets.

Figur 4.2 – Global handel av bioetanol, pellets og biodiesel, IEA ETP 2012



Produsentene av biovarme og -elektrisitet bidrar til kun 2 % av den kartlagte omsetningen, og til et totalt negativt resultat, på tross av at aktørgruppen av svært tallrik. Over halvparten av bioenergiprodusentene har et negativt resultat. Hovedgrunnen til dette er lave elektrisitetspriser, som direkte påvirker utsalgsprisen for varme.

Distributører står for 59 % av den kartlagte omsetningen, og utgjør dermed en solid andel av markedet. Hovedgrunnen til dette er store aktører som Statoil Fuel & Retail, Felleskjøpet, Uno X-Energi og AGA, som distribuerer biodiesel, bioetanol, biogass og pellets. Aktørenes størrelse og generelle markedsposisjon antas å utgjøre en viktig grunn til den store markedsomsetningen, da mindre, dedikerte distributører som Biol og S. Syr Pedersen har en langt lavere omsetning.

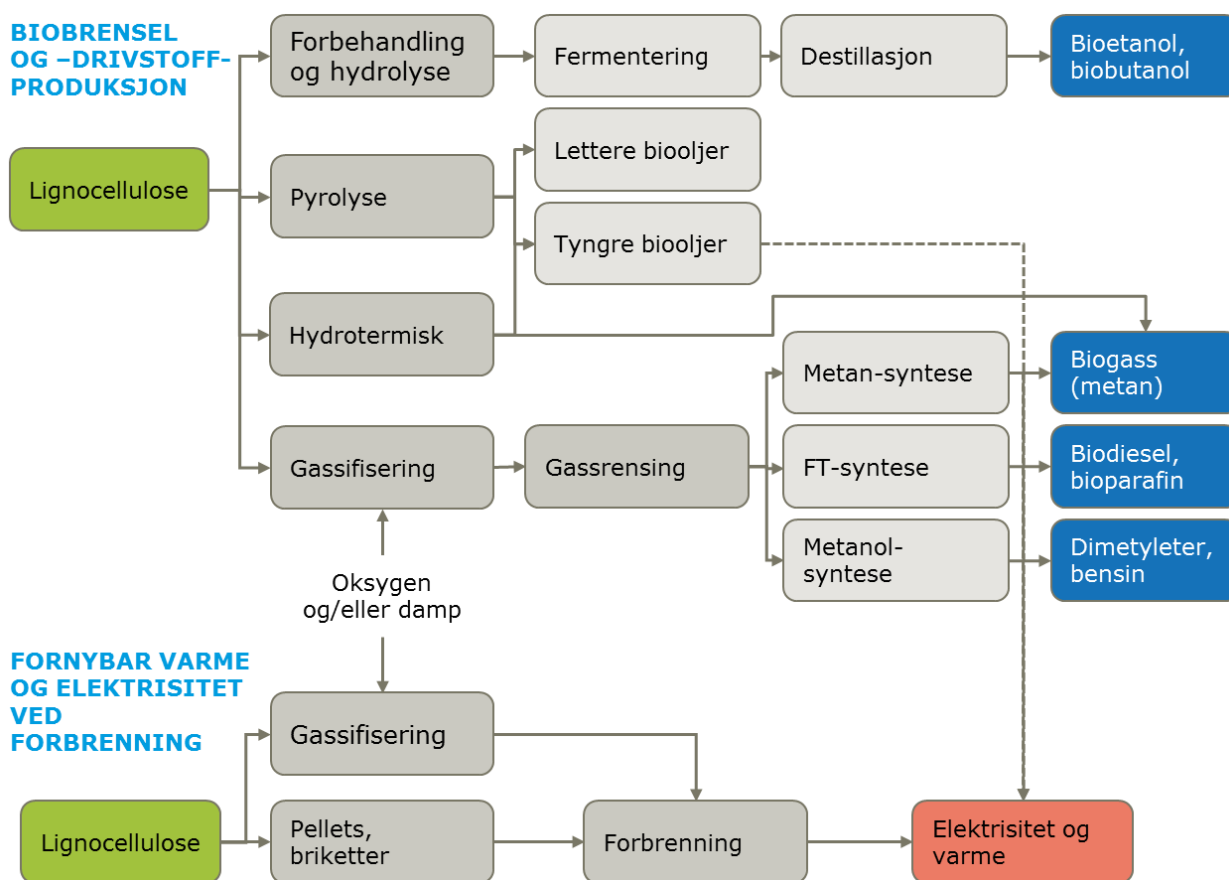
Det er kartlagt tre **sluttbrukere**; Ruter, AtB og Asko, der Ruter og Asko begge benytter bioetanol fra Borregaard. AtB har en rekke gassbusser og biodieselsbusser, sistnevnte med ulikt innblandingsforhold. Schenker innførte tidligere en satsning på biodrivstoff (B30), men på grunn av Regjeringens innføring av avgift på biodiesel i 2010, er denne satsningen avsluttet. I tillegg, flere kollektivselskap satser på biogass; Skys (Bergen), Rutebiler AS (Fredrikstad), samt Oslo kommune og Posten. Disse selskapene benytter i dag i hovedsak naturgass, i avvente på tilgang til biogass, mens enkelte benytter biogass fra avløp eller våtorganisk avfall. Sistnevnte er også tilfelle for Lyses biogassdistribusjon. Posten vil i 2013 gå til anskaffelse av 200 biogass-drevne lastebiler.

5. KONKLUSJON

Alle biodrivstoffteknologier og prosesser som utnytter skogressurser har utfordringer knyttet til erfaring med storskala produksjonsanlegg. Fossil oljepris er dessuten for lav for øyeblikket til at biodrivstoff kan være konkurransedyktig uten tilskudd/avgift. Førstegenerasjons bioetanol basert på sukkerroer fra Brasil er det eneste biodrivstoffet for transport som kan regnes som konkurransedyktig med fossilt drivstoff.

For 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. Figur 5.1 viser hvilke prosesser og teknologier som er mest egnet for utnyttelse av norske og importerte skogressurser. Rambøll har gjort en analyse av andre råstoffalternativer enn skog i utredningen «Bærekraftig biodrivstoff for luftfart».

Figur 5.1 – Teknologier og prosesser egnet for skogressurser i Norge © Rambøll



Det norske markedet for skog til energiformål er i Norge preget av produsenter av biovarme og elektrisitet, både i forhold til produksjon av biobrensel som flis og pellets, og teknologi og utstyr til denne verdikjeden. Dette kommer både frem av aktørkartleggingen og modenhetsanalysen. Fornybar varme og elektrisitetsproduksjon gjennom forbrenning er kommersialisert. Produksjon av biobrensel og biodrivstoff er i pilot/demonstrasjon til tidlig kommersialisering, avhengig av type prosess. Dette fremkommer også av Tabell 5.1. Produksjon av bioalkoholer og biodrivstoff gjennom pyrolyse er i demonstrasjons-/pilotfase, mens syntesegassbasert biodrivstoff er i tidlig kommersialisering. Produksjon av biogass fra anaerobisk nedbrytning er fortsatt på FoU-stadiet.

Tabell 5.1 over viser en oversikt over modenhet og primær distribusjonsmetode for biobrensel og biodrivstoff. Under hver kategori finnes det en rekke patenter, spesialutviklede prosesser og teknologier av ulik modenhet. Ut fra tabellen ser vi videre at biobrensel og forbehandling er modne bransjer. Prosessene for produksjon av biodrivstoff er derimot mer umodne og trenger ytterligere utvikling før de kommersialiseres.

Tabell 5.1 – Oversikt over modenhet og primær distribusjonsmetode for biobrensel og biodrivstoff

	Verdikjede, prosess og teknologi	Primær energisektor	Teknologisk modenhet				Primær distribusjonsmetode	
			FoU	Demo, pilot	Tidlig kommersialisering	Sen kommersialisering	Sentralisert	Desentralisert
1	Pellets og brikketter, husholdning	Termisk				X		X
2	Små og store kjeler (flis, pellets, biofyringsolje)	Termisk				X	X	X
3	Biogass fra anaerobisk nedbrytning (mat og husdyrsavfall, samt enkle typer av lignocellulose)	Elektrisitet, termisk, transport				X	X	X
4	Biogassproduksjon fra anaerobisk nedbrytning (lignocellulose fra skog)	Elektrisitet, termisk, transport	X				X	X
5	Kombinert varme og elektrisitetsproduksjon (CHP) (flis, pellets, biofyringsolje, biosyngass)	Elektrisitet, termisk				X	X	X
6	Innblanding i fossile elektrisitetsverk (flis, pellets, biofyringsolje, biosyngass)	Elektrisitet				X	X	
7	Forbrenningsbasert elektrisitetsproduksjon (flis, pellets, biofyringsolje, biosyngass)	Elektrisitet				X	X	X
8	Gassbasert elektrisitetsproduksjon (nafta, metan, biosyngass)	Elektrisitet			X		X	X
9	Sukkerbasert biokjemisk biodrivstoff fra lignocellulose (bioalkoholer)	Transport		X			X	
10	Syntesegassbasert termokjemisk drivstoff fra lignocellulose (biodiesel, dimetyleter, biometanol, hydrogen)	Transport			X		X	
11	Pyrolysebasert biodrivstoff (biofyringsoljer, tungtransport)	Transport, termisk		X			X	
12	Forbrenning av biogass for direkte oppvarming (metan, hydrogen, biosyngass)	Termisk				X	X	

Biodrivstoffproduksjon er i Norge svært begrenset, og det er kun Borregaard som driver kommersiell produksjon i dag. Produksjon og salg av spesialkjemikalier har på Borregaard en primær rolle. Biodrivstoff til transportsektoren anses å inneha en viktig rolle i reduksjonen av innenlandske norske klimagassutslipp. Industriklynger og symbioser som utnytter samspillet mellom biodrivstoffproduksjon, produksjon av biokjemikalier og -materialer, samt varme- og elektrisitetsproduksjon vil derfor være viktig. Avsetningsmuligheter for denne varmen i fjernvarmedistribusjon vil være sentralt, og utvikling av en sterk varmebransje med utbredt varmedistribusjon bør derfor stå sentralt.

VEDLEGG

1.KOSTNADSNIVÅER FOR BIORAFFINERIER

Tabellen under viser noen kostnadsnivåer for ulike bioraffinerier i USA.

Tabell 5.2 – Kostnader for biokjemisk prosessering av bioetanol fra lignocellulose i USA, Northwest-studie

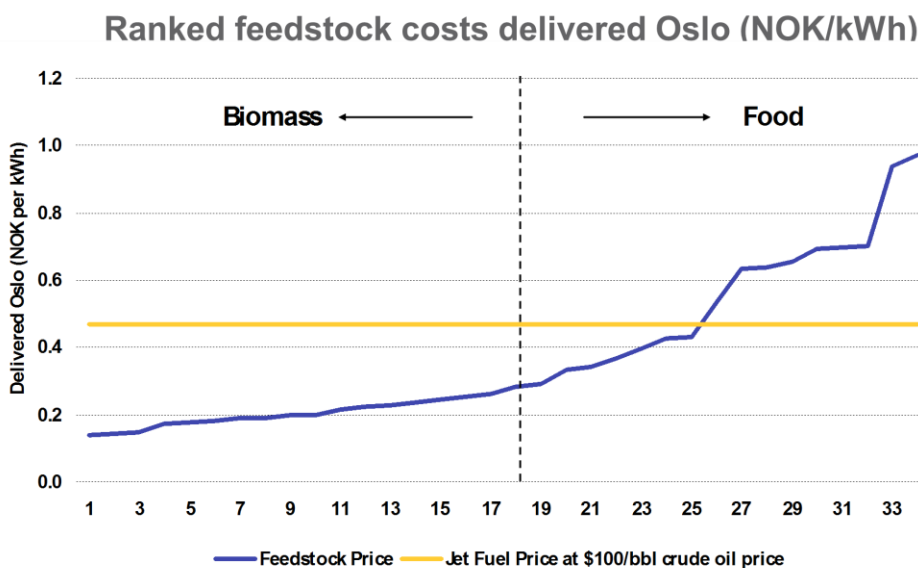
Produksjonskapasitet, mill. liter/år	Kapitalkostnader, mill. kr	Kapital per liter produksjonskapasitet	Capital charge ²⁴ , kr/liter	Driftskostnader, kr/liter	Total kostnad, kr/liter	Total kostnad, kr/liter bensinekvivalent	Kostnadsår
95	816	8,6	1,2	1,2	2,4	3,6	1999
170	1 098	6,5	0,9	1,5	2,3	3,5	2007
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

Markedet for biobutanol og cellulosebasert etanol er fremdeles i en tidlig utviklingsfase, og det er derfor betydelig usikkerhet knyttet til framskrivninger av priser. Mest forskning og utvikling finner sted i USA, hvor RFS-programmet (Renewable Fuels Standard) bidrar til å sikre markedet. LMC International vurderer det slik at markedsprisen i USA dermed utgjør prisgulvet for disse produktene internasjonalt.

Fram til i år har det vært svært lite cellulosebasert bioetanolproduksjon globalt, men i USA settes det i gang produksjonskapasitet tilsvarende 600 mill. liter de neste 1-2 årene. Noen av de største etanol- og petrokjemiske selskapene i USA står bak mye av den nye produksjonskapasiteten. De fleste produsentene har mottatt finansiell støtte fra føderale og statlige myndigheter. Mange av selskapene planlegger ytterligere inntekter fra biprodukter og ved å utvikle nye katalysatorer for mer effektiv fermentering. De står dermed godt posisjonert til å levere betydelige, kommersielle volum til markedet.

Figur 5.2 viser at en del typer biomasse kan importeres, og selv med tap i konverteringsprosessen kan det være mulig å få lønnsom biodrivstoffproduksjon. Den stiplede linjen i figuren viser skillet mellom spiselig og ikke-spiselig biomasse, her beskrevet som «biomass» og «food».

Figur 5.2 – Pris for råstoff importert til Norge sammenlignet med flydrivstoff, LMC International



²⁴ Capital charge er beregnet med 20 års levetid og 12 % avkastningskrav.

Tabell 5.3 viser en oversikt over termokjemisk prosessering for bioetanol i USA.

Tabell 5.3 – Kostnader for termokjemisk prosessering av bioetanol i USA, Northwest-studie

Produksjonskapasitet, liter/år	Kapitalkostnader, mill. kr	Kapital per liter produksjonskapasitet	Capital charge, kr/liter	Driftskostnader, kr/liter	Total kostnad, kr/liter	Total kostnad, kr/liter bensinekvivalent	Kostnad-sår
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

2. DEMONSTRASJONS OG PILOTANLEGG GLOBALT

Rapporten *Status of Advanced Biofuels Demonstration Facilities in 2012*, publisert i mars 2013 (IEA Bioenergy Task 39) og med nettsiden <http://demoplants.bioenergy2020.eu/projects/mapindex> har en god oversikt med kart og informasjon over de fleste *avanserte* bioraffineri og biodrivstoffanlegg i verden.

Forkortelser for Tabell 5.4 – Pilot- og demonstrasjonsanlegg for primært konvertering av lignocellulose, Biofuels Digest Database

AH	Acid hydrolysis
BDO	Butanediol
BLG	Black liquor gasification
CBP	Consolidated bioprocessing
EH	Enzymatic hydrolysis
FT	Fischer-Tropsch process
MSW	Municipal Solid Waste
RDIF	Renewable drop in fuel
RFS	Renewable Fuels Standard (USA)
TBD	To Be Defined

Tabellen under er ikke oppdatert siden 2011. 2015-tall er planer om oppskalering. Denne databasen inneholder også informasjon om anlegg basert på andre råstoff (alger, matavfall, planteoljer etc.), men disse er filtrert bort.

IEA Biofuel task 39, advanced biorefineries, har også en database, som inneholder kun seks anlegg.

Tabell 5.4 – Pilot- og demonstrasjonsanlegg for primært konvertering av lignocellulose, Biofuels Digest Database

Prosjekt	Produksjonskapasitet (millioner liter per år)				Prosjektinformasjon				
	2009	2010	2011	2015	Land	Biodrivstoff / -kjemikalier	Teknologi	Råstoff	RFS2 Category (US)
Abengoa - second commercial	0,00	0,00	0,00	56,78	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Corn stover	Cellulosic biofuel
ADM	0,00	0,00	0,00	3,79	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Stover	Cellulosic biofuel
American Jianye Greentech	0,00	0,00	0,00	0,38	China	Bioethanol	TBD (to be defined)	MSW	Cellulosic biofuels
Amyris - pilot	0,04	0,04	0,04	0,04	USA	RDIF	Fermentation	Sugar	Advanced Biofuel
Amyris - 3rd commercial	0,00	0,00	0,00	605,60	Brazil	Biofene	Fermentation	Sugar	Advanced Biofuel
BioGasol	0,00	0,04	0,30	0,30	Denmark	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Mixed biomass	Cellulosic biofuel
BlueFire Renewables pilot	0,04	0,04	0,04	0,04	USA	Bioethanol	Hydrolysis (AH)	MSW	Cellulosic biofuel
BlueFire Renewables first commercial	0,00	0,00	0,00	71,92	USA	Bioethanol	Hydrolysis (AH)	MSW	Cellulosic biofuel
Borregaard	0,00	0,00	0,00	0,42	Norway	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Mixed cellulosic residue	Cellulosic biofuel

Prosjekt	Produksjonskapasitet (millioner liter per år)				Prosjektinformasjon				
	2009	2010	2011	2015	Land	Biodrivstoff / -kjemikalier	Teknologi	Råstoff	RFS2 Category (US)
BP Biofuels / Vercipia - 1st commercial	0,00	0,00	0,00	136,26	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Bagasse	Cellulosic biofuel
BP Biofuels / Vercipia - 2nd commercial	0,00	0,00	0,00	0,00	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Miscanthus	Cellulosic biofuel
Celanese (Wison) commercial	0,00	0,00	0,00	3,79	China	Bioethanol	Catalysis	Syngas	
Chempolis	0,00	0,00	4,54	14,00	Finland	Bioethanol		Ag, paper waste	Cellulosic biofuel
Chempolis - 1st commercial	0,00	0,00	0,00	158,97	China	Chems, fibers		Ag, paper waste	
Chemrec - commercial	0,00	0,00	0,00	113,55	Sweden	BioDME	Gasification (BLG)	Black liquor	Advanced Biofuel
Chemtex	0,00	0,00	0,00	45,42	Italy	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Mixed biomass	Cellulosic biofuel
Chemtex	0,00	0,00	0,00	75,70	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Mixed biomass	Cellulosic biofuel
Clearfuels	0,00	0,00	0,00	75,70	USA	Renewable diesel/jet	Steam reform/FT	Wood waste	Advanced Biofuel
Clearfuels	0,00	0,00	0,00	68,13	USA	Renewable diesel	Steam reform/FT	Bagasse/cane trash	Advanced Biofuel
COFCO/Sinopec	0,00	0,00	0,00	98,41	China	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Corn stover	Cellulosic biofuel
Comet Bio-refining	0,00	0,00	0,04	3,79	Canada	Cellulosic sugars	Fermentation	Multi-feedstock	
CORE Bio-Fuel	0,00	0,00	0,00	67,37	Canada	Biogasoline	Gasification	Wood Waste	
Coskata - pilot	0,19	0,19	0,19	208,36	USA	Bioethanol	Gasification	Multi-feedstock	Cellulosic biofuel
Coskata - first commercial	0,19	0,19	0,19	208,36	USA	Bioethanol	Gasification	Multi-feedstock	Cellulosic biofuel
Dupont Cellulosic Ethanol -1st commercial	0,00	0,00	0,00	104,09	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Corn cob	Cellulosic biofuel
DSM	0,00	0,38	0,38	0,38	France	Succinic acid	Fermentation	Cellulose	
DSM	0,00	0,00	0,00	10,11	Italy	Succinic acid	Fermentation	Cellulose	
Elevance Renewable Sciences	0,00	0,00	0,00	302,80	USA	Chems	Fermentation	Ag waste	
Fiberight	0,00	0,04	0,04	22,71	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	MSW	Cellulosic biofuel

Prosjekt	Produksjonskapasitet (millioner liter per år)				Prosjektinformasjon				
	2009	2010	2011	2015	Land	Biodrivstoff / -kjemikalier	Teknologi	Råstoff	RFS2 Category (US)
Flambeau River Bio-fuels	0,00	0,00	0,00	22,71	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Wood-waste	Cellulosic Biofuel
Futurol	0,00	0,00	0,00	0,19	France	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Miscanthus	
Genahol	0,00	0,00	0,00	68,13	USA	Bioethanol		MSW	Cellulosic biofuel
Genomatica - 1st commercial	0,00	0,00	0,00	20,17	USA	BioBDO	Fermentation	Multi-feedstock	
Genomatica - 2nd commercial	0,00	0,00	0,00	60,56	Italy	BioBDO	Fermentation	Multi-feedstock	
Genomatica - 3rd commercial	0,00	0,00	0,00	60,56	Asia	BioBDO	Fermentation	Multi-feedstock	
Highlands EnviroFuels	0,00	0,00	0,00	75,70	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Bagasse	Cellulosic Biofuels
Honeywell's UOP	0,00	0,00	0,00	0,23	USA	RDIF	Pyrolysis	Multi-feedstock	Cellulosic biofuel
Idemitsu Kosan	0,00	0,00	0,00	0,04	Japan	Biobutanol	Fermentation	Rice straw, corn stalks	
Inbicon - demo	5,30	5,30	5,30	5,30	Denmark	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Straw	Cellulosic biofuel
Inbicon - first commercial	0,00	0,00	0,00	68,13	Denmark	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Straw	Cellulosic biofuel
logen	0,00	0,00	0,00	87,06	Canada	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Stover	Cellulosic biofuel
Joule - 1st commercial	0,00	0,00	0,00	283,88	USA	RDIF	Solar conversion	CO2	
KIOR - 4th commercial	0,00	0,00	0,00	236,56	USA	RDIF	Pyrolysis	Woodchips	Advanced biofuel
KL Energy	4,92	0,00	4,92	4,92	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Stover	Cellulosic biofuel
LanzaTech / New Zealand	0,04	0,04	0,04	0,04	New Zealand	Bioethanol	Gasification	Steel waste gas (CO)	Cellulosic biofuel
Lanza Tech /China	0,00	0,00	1,89	151,40	China	Bioethanol	Gasification	Steel waste gas (CO)	Cellulosic biofuel
Lanza Tech / India	0,00	0,00	0,04	0,04	India	Bioethanol	Gasification	Steel waste gas (CO)	Cellulosic biofuel
Lignol	0,04	0,08	0,08	0,08	Canada	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Wood waste	Cellulosic biofuel

Prosjekt	Produksjonskapasitet (millioner liter per år)				Prosjektinformasjon					
	2009	2010	2011	2015	Land	Biodrivstoff / -kjemikalier	Teknologi	Råstoff	RFS2 Category (US)	
LS9 demonstration - Florida	0,00	0,00	0,00	37,85	USA	RDIF	Fermentation (CBP)	Sugar	Advanced Biofuel	
LS9 - 2nd commercial - Brazil	0,00	0,00	0,00	757,00	Brazil	RDIF	Fermentation (CBP)	Sugar	Advanced Biofuel	
Mascoma - pilot/demo	0,76	0,76	0,76	0,76	USA	Bioethanol	Fermentation (CBP)	Hardwood	Cellulosic biofuel	
Mascoma - 1st commercial	0,00	0,00	0,00	151,40	USA	Bioethanol	Fermentation (CBP)	Hardwood	Cellulosic biofuel	
Maverick Biofuels	0,00	0,00	0,04	0,04	USA	Mixed alcohol fuels		MSW	Cellulosic biofuels	
MCC Biochem	0,00	0,00	0,00	50,34	Thailand	succinic acid, poly-lutylene succinate	Fermentation	Sugar		
Naturally Scientific - demo	0,00	0,00	0,00	37,85	China	Renewable oils	Plant cell culture	CO2	Advanced Biofuel	
Oxford Catalysts	0,00	0,04	0,04	0,04	Austria	RDIF	FT micro-channel reactor	Woodchips	Cellulosic biofuel	
Petrobras	0,00	0,00	0,00	15,14	Brazil	Cellulosic ethanol	Enzymatic hydrolysis	Bagasse		
PetroAlgae	0,45	0,45	0,45	795,30	USA	RDIF	Coking	Lemna	Advanced Biofuel	
POET - 1st commercial - Iowa	0,00	0,00	0,00	94,63	USA	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Corn stover, switchgrass, MSW, wheat straw	Cellulosic biofuel	
Praj MATRIX	0,00	0,04	0,04	0,04	India	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Cellulose	Cellulosic biofuel	
Primus Green Energy	0,00	0,00	0,00	12,11	USA	Biogasoline	Gasification	Mixed biomass	Cellulosic biofuel	
Queensland University of Technology	0,00	0,04	0,04	0,04	Australia	Bioethanol		Bagasse	Cellulosic biofuel	
Range Fuels	0,00	15,14	3,79	0,00	USA	Methanol/then ethanol	Gasification	Wood waste	Cellulosic biofuel	
Renmatix	0,00	0,04	0,04	98,41	USA	Cellulosic sugars	Hydrolysis	Wood waste		
SEKAB	0,04	0,04	0,04	0,04	Sweden	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Straw	Cellulosic biofuel	

Prosjekt	Produksjonskapasitet (millioner liter per år)				Prosjektinformasjon				
	2009	2010	2011	2015	Land	Biodrivstoff / -kjemikalier	Teknologi	Råstoff	RFS2 Category (US)
Solena/British Airways	0,00	0,00	0,00	71,92	UK	RDIF	FT	MSW	Cellulosic bio-fuel
Solena/Qantas	0,00	0,00	0,00	71,92	Australia	RDIF	FT	MSW	Cellulosic bio-fuel
Solena/SAS	0,00	0,00	0,00	71,92	Sweden	RDIF	FT	MSW	Cellulosic bio-fuel
Solena/SAS	0,00	0,00	0,00	60,56	USA	RDIF	FT	MSW	Cellulosic bio-fuel
Sud-Chemie	0,00	0,00	2,27	2,27	Germany	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Mixed biomass	Cellulosic bio-fuel
Terrabon - 1st commercial	0,00	0,00	0,00	75,70	USA	Biogasoline	Fermentation/Chemprocessing	MSW	Advanced bio-fuel
TMO Renewables - pilot	0,04	0,04	0,04	0,04	UK	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Cellulose	Cellulosic bio-fuel
TMO Renewables - COFCO/CN OOC - 1st commercial	0,00	0,00	0,00	45,42	China	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Cellulose	Cellulosic bio-fuel
Trenton Fuel Works	0,00	0,00	0,00	14,65	USA	Bioethanol	Hydrolysis (AH)	Mixed cellulose	Cellulosic bio-fuel
UPM-Kymmene/Metso	0,00	0,00	0,00	2,55	Finland	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Mixed cellulose	Cellulosic bio-fuel
Verdezyne	0,00	0,00	0,00	0,04	USA	Adipic acid	Fermentation	Cellulose	
Virent - first commercial	0,00	0,00	0,00	75,70	USA	RDIF	Bioforming	Mixed cellulose	Cellulosic bio-fuel
Weyland / Statoil Hydro	0,00	0,19	0,19	30,28	Norway	Bioethanol	Hydrolysis (AH)	Mixed cellulose	Cellulosic bio-fuel
Woodland Biofuels	0,00	0,00	0,08	0,08	Canada	Bioethanol	Hydrolysis (EH)	Wood waste	Cellulosic bio-fuel
ZeaChem - demo	0,00	0,00	0,95	0,95	USA	Bioethanol	Gasification/fermentation	Poplar/energy woods	Cellulosic bio-fuel

3.KOMMERSIELLE FOSSILE FISCHER-TROPSCH-ANLEGG

Tabell 5.7 viser eksempler på kommersielle Fischer Tropsch-anlegg basert på fossile ressurser.

Tabell 5.5 - Eksempler på kommersielle FT-anlegg basert på fossile ressurser

Selskap	Lokalisering	Råstoff	Produkt	Kapasitet (tonn/år)
Sasol	Sasolburg, Sør-Afrika	Kull	FT-diesel	105 000
Sasol	Secunda, Sør-Afrika	Kull	FT-diesel	5 280 000
PetroSA	Mossel Bay, Sør-Afrika	Kull	FT-diesel	1 200 000
Shell	Bintulu, Malaysia	Naturgass	FT-diesel	640 000
China Energy	Linyi (Shandon), Nansha (Guangdong) og Zhangjiagang (Jiangsu), Kina	Kull	DME / Metanol	750 000 / 80 000
MHTL	Trinidad og Tobago	Naturgass	Metanol	4 000 000
BASF	Antwerpen, Belgia	Naturgass	Hydrogen som en del av ammoniakk-produksjon	100 000
Shell	Pearl, Qatar	Naturgass	FT-diesel mm.	7 000 000

4. TECHNOLOGY READINESS LEVEL-SKALA

Mange av kildene analysert i dette arbeidet beskriver teknologimodenhet vha. TRL-skalaen. Figur 5.3 viser en generell beskrivelse av denne skalaen.

For å forstå hvilke konverteringsteknologier som er egnet for norske forhold kan TRL for produksjonsanlegg benyttes. Under TRL brukes *Fuel Readiness Level* (FRL) for biodrivstoff og *Feedstock Readiness Level* (FSRL) for biomasse²⁵. FRL er en metodikk for å fastslå modenheten til en prosess og en teknologi for et biodrivstoff, og for verdikjeden for biomasse og bruk av biomassen til biodrivstoff kan FSRL brukes. FSRL har de samme fasene som FRL og beskriver verdikjeden for biomassen i forhold til modenheten til drivstoffet da en kommersialisering av store volum av drivstoff aldri kan gjøres uten at verdikjeden for biomasse er godt etablert. De fleste internasjonale kildene som er analysert i denne studien bruker TRL, FRL og/eller FSRL ved beskrivelse av teknologisk modenhet.

Fuel Readiness Level (FRL) brukes av flere statlige organer i USA for biodrivstoff og biobrensel, blant annet US Department of Defense, Federal Aviation Administration, US Department of Energy og NASA. Selskaper i USA som søker om støtte til biodrivstoffproduksjon må presentere hvilket nivå teknologien er på. Dette gjelder både for statlig støtte, men også for at investorer raskt skal få en forståelse av hvor langt fra kommersialisering teknologien, drivstoffet eller biomassen er. I Europa benytter European Space Agency (ESA), EU's 7. rammeprogram og ERA-NET Plus både TRL og FRL-metodikken. ERA-NET Plus fokuserer f.eks. sin støtte til TRL nivå 5 og oppover.

Figur 5.3 – Skala for teknologimodenhet, Technology Readiness Level (TRL)

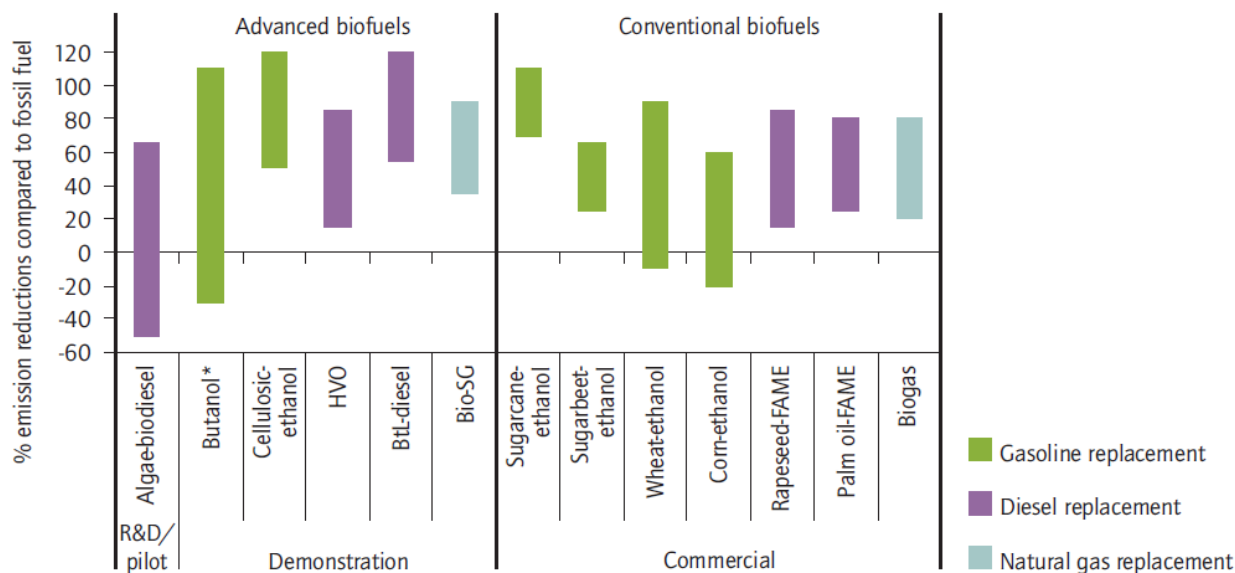


²⁵ Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI) er institusjonen som har vært en pådriver for å tilpasse og utvikle TRL til FRL og FSRL: <http://www.caafi.org/information/fuelreadinesstools.html>

5.KLIMAEFFEKT FRA KONVENSJONELLE OG NYE BIODRIVSTOFF

Figur 5.4 viser et eksempel på beregnet klimaeffekt for noen verdikjeder for biodrivstoff og biobrensel. Klima- og miljøeffekter er case-spesifikke, og hver verdikjede og hvert anlegg må derfor beregnes for seg.

Figur 5.4 – Livssyklus klimagassutslipp i forhold til fossile drivstoff, for konvensjonelle og avanserte biodrivstoff, IEA Biofuel Technology Roadmap 2010



Note: The assessments exclude emissions from indirect land-use change. Emission savings of more than 100% are possible through use of co-products. Bio-SG = bio-synthetic gas; BtL = biomass-to-liquids; FAME = fatty acid methyl esters; HVO = hydrotreated vegetable oil.

Source: IEA analysis based on UNEP and IEA review of 60 LCA studies, published in OECD, 2008; IEA, 2009; DBFZ, 2009.

6.SHORTLIST BECCS (BIO-CCS) TEKNOLOGIER

Tabell 5.6 viser en shortlist over teknologier for bioenergi med karbonfangst og lagring (BECCS).

Tabell 5.6: shortlist over BECCS-teknologier

Criteria	Co-firing amine scrubbing	Dedicated biomass with amine scrubbing	Co-firing oxy-fuel	Dedicated biomass oxy-fuel	Co-firing carbonate looping	Dedicated biomass chemical looping	Co-firing IGCC	Dedicated biomass BIGCC
Likely TRL in 2020	7 to 8	6 to 7	7	6	5 to 6	5 to 6	7	5 to 6
Key technical issues	Scale-up, amine degradation,	Scale-up, amine degradation,	O ₂ energy costs, slow response	O ₂ energy costs, slow response	Calcliner firing, solid degradation, large purge of CaO	Loss in activity, reaction rates, dual bed operation	Complex operation, slow response, tar cleaning, retrofit impractical	Complex operation, slow response, tar cleaning, retrofit impractical
Suitability for small scale	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
Plant efficiency with capture	OK	Low	OK	Low	Good	Good	High,	Good
Capital costs with capture	OK	Expensive	OK	High ASU costs	OK	Low cost	OK	Expensive,
UK deployment potential	Immediate capture retrofit opportunities	retrofit opportunities high long-term potential	retrofit opportunities , long-term doubtful	retrofit opportunities , high long-term potential	capture retrofit opportunities, cement integration	Likely first demos in Europe, UK in ~2020. High long term potential	No current UK plants, several demos by 2020 Long-term doubt	No current UK plants, demo unlikely by 2020. High long-term potential



7. AKTØRKARTLEGGING

Tabell 5.7 viser den gjennomførte aktørkartleggingen. Se kapittel 4 for øvrig. Omsetning og resultat er i hovedsak hentet fra Proff.

Tabell 5.7 – aktørkartlegging. Omsetning og resultat er oppgitt i millioner NOK per år

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
AGA	Distributør			Biogass	-		1252,6	335,6	Oslo, Norge	Oy Aga AB	
Agder Biocom AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Gassifisering, forbrenning	-	0	-1,4	Aust-Agder, Norge	Tratec Gruppen	ingen driftsinntekter i 2012
Agder Energi Varme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bio-brensel, spillvarme, deponigass	Varme, kjøling	Forbrenning	100 GWh, mål 150 GWh	86,4	-1,2	Vest-Agder, Norge	Agder Energi AS	
AK Røstad Landbruksbruksverksted AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Høsting, traktor mm		21	0,2	Sør-Trøndelag, Norge	Stein Røstad	
Aker Clean Carbon AS/Aker Engineering & Technology	Teknologi- og utstyrsleverandør				CC karbon		3493	334,8	Akershus, Norge	Aker Solutions AS	Selskapene er fusjonert
Akershus Energi Varme	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Skogsflis, bioolje, biogass, kornavrens	Varme, kjøle	Forbrenning	128 GWh (prod.kapasitet på 150 GWh på Akershus Energipark)	87,9	-47,2	Akershus, Norge	Akershus Energi AS	Bioolje fra fiske- og slakteriavfall, biogass fra avfallsdeponi
Alfa Bio Group Varme AS	Distributør			Ved, pellets			59,8	2,7	Nordland, Norge	Alfa Bio Group Holding AS	
Allskog Bio	Produsent, biobrensel		Tømmer	Flis		20.000 lm3	4,2	-1,1	Sør-Trøndelag, Norge	Erling Samuel Moe, Allskog SA	
Allskog SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Rundvirke		839.824 m3	633,1	-1,4	Sør-Trøndelag, Norge	7.838 andelseiere	
Askim & Mysen Rør AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ved- og pelletskjel/ovn		155	12,1	Østfold, Norge	Amr Holding AS	Støttet av SkatteFUNN
AT Bio-varme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet			Flis	Forbrenning	0	1,1	-1,1	Telemark, Norge	AT Skog BA	Eier av Bø, Skien, Nome, Bio Dalane, Vegårshei
AT Skog SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Rundvirke		950.000 m3	526,7	3,9	Telemark, Norge	79.563 andelseiere	
Atra AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ovner/peis		2,5	0,1	Hordaland, Norge	N. E. Tvedt, A. Tvedt	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Bergli Arne AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Kjeler, brennere		16,2	2,9	Nord-Trøndelag, Norge	Arne Bergli	
Bergsli Treteknikk	Teknologi- og utstyrsleverandør		Flis	Varme	Forbrenning		28,3	-0,5	Telemark, Norge	Amøbe Invest AS	
Big'O AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Halm, tømmer, stubber, flis	Flis	Forbrenning		11,3	0,9	Akershus, Norge	Erik Bøhn	
Bio Dalane AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme	Forbrenning	2,5 GWh	1,7	-0,2	Telemark, Norge	AT Biovarme	
Bio Energy AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bio-brensel	Varme, damp/biobrensel	Forbrenning		18,1	3,0	Bærum, Norge	Agder Energy Venture AS	
Bio Varme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bio-brensel	Varme	Forbrenning		39,4	-16,9	Oslo, Norge	Statkraft AS	All drift under Statkraft Varme AS
Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bio-brensel	Varme/flis, pellets, brikketter	Forbrenning		0,5	-0,5	Oslo, Norge	Arbora AS	
Biol AS	Distributør		-	Biodiesel, biodyringsolje	-	-	29,8	0,1	Oppland, Norge	Terje Arnold Johansen, Trm Eigil Denvik	
Bioland AS	Teknologi- og utstyrsleverandør	Produsent, biovarme og -elektrisitet			Fliskjeler, flis-hugger, tørker mm.		8,4	-1,8	Oppland, Norge	Kari Møyner	Leverer totalen-tepriser
Bio-Tech VVS-produkter AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Varme	Forbrenning, kjeler, skortstein etc		0,9	-0,7	Oppland, Norge	Kristine Gjefsen	
Biotek AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Biogass	Rensing biogass		22,2	-4,0	Telemark, Norge	Grenland Industriutvikling AS, Buskerud Telemark Vestfold Investeringsfond AS	Totalleverandør
Biowood Norway AS	Produsent, biobrensel		Skogsflis	Pellets		450.000 tonn	26,8	-366,4	Møre og Romsdal, Norge	Wahlberg AS	Produksjon lagt ned i feb-13, anlegget er solgt
Borre-gaard Industries Limited	Produsent, biokjemikalier og -materialer	Produsent, biodrivstoff	Tømmer, gran	Spesialkjemikalier, bioetanol, biogass, varme	Fermentering	20 mill liter bioetanol	3079,7	511,00	Østfold, Norge		Produserer i tillegg vanilj, lignin og spesialcellulose

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
BRUKS AB	Teknologi- og utstyrsleverandør				Flishugger, lagring, håndtering		222,3 SEK	-13,6 SEK	Gäveborg, Sverige	JCE Group AB	Global
Byggbua AS	Produsent, biobrensel	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, ved	Ovn/peis		6,6	-0,1	Hedmark, Norge		
Bø Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme	Forbrenning	5 GWh	3,5	0,2	Telemark, Norge	AT Biovarme, Midt-Telemark Energi	
Cambi AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Biogass	Anaerobisk nedbrytning, termisk hydrolyse		362,5	25,0	Akershus, Norge	Cambi ASA	
Chemrec AB	Teknologi- og utstyrsleverandør		Avlut	Syngass	Gassifisering		9,1 SEK	-54,5 SEK	Stockholm, Sverige		
CTC Ferrofil	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, ved	Varme	Ved- og pelletskjel		71,9	-1,8	Akershus, Norge	Enertech Limited	
Decoflame Norge AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bioetanol	Varme	Bioetanolpeis		2,6	0,0	Jylland, Danmark		
Dovre AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biobrensel	Varme	Ovner/peis		81,7	1,5	Oslo, Norge	N.V. Dovre Sa	
Drammen Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Pellets, bioolje	Varme	Forbrenning	80 GWh	8,4	0,6	Buskerud, Norge	Fortum, Energiselskapet Buskerud	
Due Miljø AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biomasse, avfall		Prosessutstyr, miljøteknologi, membranfiltrering		3,6	0,8	Oslo, Norge	Ember AS	
Eidsiva Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Skog, flis	Varme	Forbrenning	500 GWh, mål 1 TWh	141,7	-30,5	Oppland, Norge	Eidsiva Energi AS	
Eiker Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Flis, pellets	Varme	Forbrenning		5,3	-1,0	Buskerud, Norge	Hoen Invest AS	
Energihuset AS	Teknologi- og utstyrsleverandør	Distributør		Pellets	Vedovn, pelletsovn/-brenner		5,1	1,9	Oppland, Norge	Eidsiva Vekst AS	
Falkenberg Energi AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biobrensel	Flis, varme	Flishugger, fyringsanlegg, brikettpresst		7,0	0,7	Akershus, Norge	A Falkenberg Eftf AS	
Felleskjøpet Agri SA	Distributør	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, flis, utstyr	-		11106,1	223,7			
Fjordane Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -lektrisitet		Skog	Flis, varme	Hogging, knusing		5,2	-0,9	Sogn og Fjordane, Norge	O Tenden Holding AS, Tussa Kraft AS	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad	
Forføreling SA	Produsent, biobrensel	Teknologi- og utstyrsleverandør	Trevirke, kornavrens	Pellets	Forbrenning, pellets og ved		7,8	3,9	Nord-Trøndelag, Norge	187 aksjeeiere		
Fønhus AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Maskiner/utstyr til trelast og bioenergi		10,4	0,2	Vestfold, Norge	Helge Fønhus		
Glommen Skog SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		1.204.000 m3	799,4	3,2	Hedmark, Norge	2.600 andelseiere		
Glåmdal Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Produsent, biobrensel	Biobrensel/returvirke, bark, rundvirke, vrakvirke, GROT	Varme/biobrensel	Forbrenning		3,1	-0,2	Hedmark, Norge	Glåmdal IK Renovasjonsselskap, Bjørns Transport AS, K. H. Holm		
Gran Tre ANS	Produsent, biokjemikalier og -materialer		Tømmer/kutt erflis, tømmer	Tømmermaterialer/pellets og flis			61,2	1,1	Oppland, Norge	Brandbu og Tingelstad Almenning, Gran Almenning		
Granit-Kleber AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bioresnel	Varme	Ovner/peis		39,4	4,1	Oppland, Norge	Klebersten AS		
Habiol AS	Produsent, biodrivstoff		Raps	Biodiesel	Transesterifisering		0	0,8	0,0	Oppland, Norge	T. E. Denvik, T. A. Johansen	Produksjon, utviklet, solgt til Scanbio
Hafslund Varmer AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Pellets, flis, bioolje	Varme	Forbrenning	1,7 TWh	1054,8	-150,5	Oslo, Norge	Hafslund ASA		
Hallenstvedt Import-Salg AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Flis, ved	Varme	Forbrenning		5,2	-0,3	Vestfold, Norge	Hallenstvedt Holding AS		
Hallingdal Trepellets AS	Produsent, biobrensel		Tømmer	Pellets			25,5	-5,5	Buskerud, Norge	Viken Skog		
Havass Skog SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		216.559 m3	129,7	5,8	Østfold, Norge	1.073 andelseiere		
HDG Bavaria	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, flis, ved	Varme	Forbrenning				Massing, Tyskland			
Helland Mekaniske AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bioresnel		Silo, transportører		10,0	1,3	Rogaland, Norge	Ingolv Helland		
Heta A/S	Teknologi- og utstyrsleverandør		Ved	Ovn/peis			33,0 DKK	9,4 DKK	Midtjylland, Danmark			
HEXA Bioenergi	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme	Forbrenning	1,75 GWh	1	0,3	Nordland, Norge			

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Hordaland Bioenergi	Produsent, biobrensel	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Skog/flis	Flis/Varme			0,5	-0,6	Hordaland, Norge	Voss Energi, Indre Hordaland Miljøverk	
Hwam A/S	Teknologi- og utstyrsleverandør		Ved	Varme	Ovner/peis		29,8	1,0	Århus, Danmark		
Hønefoss Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme, kjøling	Forbrenning	35,6 GWh	20,3	-33,7	Buskerud, Norge	Vardar AS	
Håkensen Maskin AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Pellets-kamin, skogsutstyr		30,6	0,8	Akershus, Norge	Lars Erik Håkensen	
Industriflis AS	Produsent, biobrensel		Tømmer	Flis			29,9	0,5	Sør-Trøndelag, Norge	Allskog SA	
Jordet Landbruksbruksverksted ANS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Pelletsovn, skogbruk				Hedmark, Norge		
Jostedal Industrier AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets	Varme	Pelletsovn		3,9	-1,0	Sogn og Fjordane, Norge	Hospital Trading AS	
Justsen Energiteknikk A/S	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biomasse	Varme, el	CHP, kjeler		12,3 DKK	2,2 DKK	Midtjylland, Danmark		
Jøtul AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ovner/peis		791,5	-136,9	Østfold, Norge	Ratos AB	
KL Miljøvarme	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Teknologi- og utstyrsleverandør	Bio-brensel	Varme	Forbrenning				Akershus, Norge		Leverer teknologi fra Windhager
Komplett Oppvarming	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Pellets, varme	Fyringssentra-ler, pelleteringsanlegg				Vestfold, Norge		Tidligere Innkjøpsringen AS (konkurs)
Kongsvinger Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis fra GROT, halm	Varme	Forbrenning		3,3	-3,6	Hedmark, Norge	Eidsiva Energi AS	
Lafopa Industrier AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Prosessanlegg kjemisk industri, treforedling, damp- og rensesanlegg		39,6	1,1	Nord-Trøndelag, Norge	Meritare AS	
Lena Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Barg, GROT, flis	Varme	Forbrenning	6 GWh	3,2	-0,3	Oppland, Norge	Eidsiva Energi AS	
Lesteberg gård	Produsent, biobrensel	Produsent, biovarme og -lektrisitet	Tømmer, vraktømmer/flis	Skog/flis/varme	Flis-hugging, forbrenning				Østfold, Norge		

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Lindum Bioplan AS	Produsent, biobrensel		Hageavfall, trevirke, røtter	Flis	Flishugger		60,6	1,6	Hordaland, Norge	Lindum AS	
Lotus Heating System A/S	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biobrensel	Varme	Ovner/peis		39,9 DKK	8,7 DKK	Fyn, Danmark		
M Trade AS	Distributør	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Pellets, briketter/varme			4,9	0,1	Nordland, Norge	Meyership AS	
Matene AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets	Varme	Pelletsbrenner, konvertert fra olje	-	0,8	0,0	Akershus, Norge	Rolf Einar Birketvedt	
Mathiesen Eidsvold Værk ANS	Teknologi- og utstyrsleverandør	Produsent, biobrensel	Skog	Tømmer/ved			40,9	5,7	Akershus, Norge	Haaken Eric Mathiesen	
Midt-Telemark Energi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Flis	Varme	Forbrenning	0	115,8	3,2	Telemark, Norge	Nome, Bø, Sauherad kommune	<i>Eier Bø Fjernvarme, ingen annen produksjon</i>
Mjøsa Varme og Sanitær AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Flis, pellets, ved	Varme	Fobrenning		5,2	0,4	Hedmark, Norge	Per Morten Løberg	
Mjøsen Skog SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		955.000 m3	542,6	4,4	Oppland, Norge	3.000 andelseiere	
NEG Skog AS	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		150.000 m3	80,6	1,0	Vest-Agder, Norge	NEG AS	
Nome Biovarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme	Forbrenning	1,5 GWh	1	0,2	Telemark, Norge	Bø Fjernvarme, Nome Skog og Miljø	
Nome Skog og Miljø AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Flis	Varme	Forbrenning	0	0,0	0,1	Telemark, Norge	E. M. Tveit, H. A. Vibeto, H. O. Lahus, J. Hegna	<i>Eier Nome Biovarme, ingen annen produksjon</i>
Norbio AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Flis	Flishugger		0	0,0	Vest-Agder, Norge	NEG AS	
Nord Energi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Pellets, flis	Varme	Forbrenning		12,4	1,0	Sør-Trøndelag, Norge	Allskog Holding SA	
Nordiske Industriovner AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, flis, ved	Varme	Forbrenning		8,5	0,7	Hedmark, Norge	O. Stadum, D. Bækkedal	<i>Distribuerer HDG Bavariai Norge</i>
Nordpeis AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biobrensel	Varme	Ovner/peis		8011,3	865,8	Buskerud, Norge	Nibe Industrier AB	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Nord-Troms Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Flis	Varme	Forbrenning		1,7	0,1	Troms, Norge	Statskog SF	
Nord-Troms Skogsflis SA	Produsent, biobrensel		Skog	Flis	Hogst, flising		0,5	0,1	Troms, Norge	I. M. Heggelund, K. A. Strandheim, P. J. Lyngmo	
Norsk Analyse AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Gassdeteksjon, analyser og målinger		121,3	11,8	Vestfold, Norge	ISO Holding AS	
Norsk biobrensel AS	Produsent, biobrensel		Slip-tømmer, rundtømmer, biprodukter fra sagbruksindustrien	Briketter, flis, husdyrspon		83.000 tonn flis, 8.600 tonn briketter, 4.500 tonn husdyrspon	83,6	-0,1	Vest-Agder, Norge	Neg AS	
Norsk Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Flis, pellets	Varme	Forbrenning	-	11,9	0,7	Akershus, Norge	Tveten Eiendom AS, Energima AS	
Norsk Energigjenvinning AS	Produsent, biobrensel		Tømmer, returtre, hageavfall	Flis			3,6	-2,3	Vest-Agder, Norge	Thorsland Invest AS	
Norsk Ved AS	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Ved			68	-1,6			Forum, 4500 medlemmer
Norske Skogindustrier ASA	Produsent, biokjemikalier og -materialer		Tømmer	Papir		3.555.000 tonn	16592	-2711,0	Oslo, Norge	Øvrige aksjonærer	Tidligere deleier i nedlagte Xynergo
Norskog	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Skog			560,6	3,6	Oslo, Norge		Bl.a forvaltning
Nortømmer AS	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		900.000 m3	434,3	4,3	Hedmark, Norge	Norskog	
Norved AS	Produsent, biobrensel		Skog	Ved	Vedkløyver	3500 fm3	0,0	0,0	Vestfold, Norge	H. E. Moe Østby	
Novaplan AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biorbrensel	Varme	Ovner/peis		48,6	6,5	Akershus, Norge	Cama AS	
NØK Holmen Biovarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis, pellets	Varme	Forbrenning		13,3	0,5	Hedmark, Norge		
Odal Biovarme AS	Produsent, biovarme og -lektrisitet		Pellets	Varme	Forbrenning	1,2 GWh	2,2	0,2	Hedmark, Norge	Ole Theodor Holth, Øyvind Rudshaug	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Ole Chr Bye AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Flis, pellets, ved	Varme	Kjeler, ved/ovnm		91	3,2	Østfold, Norge	Grønt AS	
Opplandske Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme, kjøle	Forbrenning	41,5 GWh varme, 2 GWh kjøle	19,7	0,7	Oppland, Norge	Eidsiva Bioenergi, Mjøsen Skog SA	<i>Flere anlegg med 100 % bioenergi</i>
Oxford Catalysts Ltd.	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biomasse, avfall, kull	Biodiesel	Fischer-Tropsch, GtL				Oxford, UK		
p. Blakstad AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme, kraft	CHP, WtE		70,5 SEK	-14,0 SEK	Svealand, Sverige		
Parat Halvorsen AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, flis	Varme	Forbrenning		155,7	1,0	Vest-Agder, Norge	Anders Halvorsen AS	
Pb. Blakstad AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Flishugger, fyringskjel, brikketpresse, silo		15,8	0,1	Sør-Trøndelag, Norge	E. Blakstad, E. I. Blakstad	
Peisselskapet AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Ved, pellets	Ovn/peis			66,8	10,9	Oslo, Norge	Holt Oil AS, Leh AS	
Pemco Trepellets AS	Produsent, biobrensel	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Sagflis/pellets	Pellets/varme	Forbrenning	60.000 tonn pellets/100 GWh varme	53	4,1	Hedmark, Norge	Pemco Trepellets Holding AS	
Reinhardt Maskin AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		-	-	Traktor, transportmaskiner	-	81,4	1,4	Akershus, Norge	Grønt AS	
Rendalen Biobrensel AS	Produsent, biobrensel			Pellets	Flishugger, pelletspresse		9,3	-1,5	Hedmark, Norge	Metodika Holding AS	
Ringerike Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Bio-brensel	Varme	Forbrenning	6,5 GWh	2,5	0,5	Buskerud, Norge	Elling Helgesen Tuft, Skuten Eiendom AS	
Risør Sveis og Montering AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Varme	Forbrenning, varmesentral		49,3	-1,1	Aust-Agder, Norge	Risør Sveis og Montering Holding AS	
Roger Pearson AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Ved	Ovn/peis			3,2	0,1	Rogaland, Norge	Craig Martyn Tudor, Helga Hadland	
Rognan Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Biomasse fra skog	Varme	Forbrenning		4	-1,0	Nordland, Norge	Dragefossen Kraftanlegg AS	
Rolf Birkevædt	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets	Varme	Matesystem pellets				Akershus, Norge		
Romerrike Peis og Varme AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Ved	Varme	Ovner/peis		11,9	0,3	Akershus, Norge	Roger Sjølstad	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Ruter AS	Sluttbruker		Bioetanol, biogass	Transport	Transport		5407,5	3,9	Oslo, Norge	Oslo kommune	<i>Fra Borregaard</i>
Ryfylke Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Tømmer	Flis	-	100 GWh potensial	3,8	2,3	Rogaland, Norge	Gunnar Breivik	
Rømskog Biobrensel AS	Produsent, biobrensel			Flis, pellets, brikketter			11,9	-1,5	Østfold, Norge	Metodika Gjenvinning AS	
Røros E-verk	Produsent, biovarme og -elektrisitet		Pellets	Varme	Forbrenning	12 GWh	139,2	-3,6	Sør-Trøndelag, Norge	Røros kommune	<i>Pellets fra Vi-Tre AS</i>
S. Syr Pedersen AS	Distributør			Pellets, kull			69,5	1,2	Oslo, Norge	Syran Holding AS	
Scan A/S	Teknologi- og utstyrsleverandør		Biobrensel	Varme	Ovner/peis		86,7 DKK	13,1 DKK	Syddanmark, Danmark		
SEKAB Biofuels & Chemicals	Produsent, biodrivstoff	Produsent, biokjemikalier og -materialer	Flis, GROT, avfall fra landbruk	Bioetanol, ligning, biogass	Hydrolyse, fermentering		819,5 SEK	12,1 SEK	Väster-norrland, Sverige	Sekab Holding AB	
SGP Varmeteknikk AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Flis, pellets, ved	Varme	Forbrenning		114,7	8,2	Akershus, Norge	Kajo AS, Sich AS, Kcf AS, SGP AS	
Sintef Energi AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Gassteknologi, forbrenning, termisk prosessering, kraftproduksjon, næringsmidler		400,6	33,2	Sør-Trøndelag, Norge	Sintef	<i>Leverer løsninger</i>
Skagerak Varme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Pellets, spillvarme, sjøvann, gass, el	Varme	Forbrenning	53 GWh, 3200 tonn biobrensel (Skagerak Energi)	29,3	-171,0	Telemark, Norge	Skagerak Energi AS	
Skien Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Pellets, flis	Varme	Forbrenning	60 GWh ferdig utbygd	5,4	-2,7	Telemark, Norge	Skagerak Varme, AT Biovarme	
Sogn Biovarme AS	Produsent, biobrensel	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Tømmer/biobrensel	Flis/varme	Forbrenning		0,2	-0,1	Sogn og Fjordane, Norge	K. Ekrene, H. G. Hagelin, J. G. Sperle	
Sogn og Fjordane Skogeigarlag SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		74.159 m3	58,2	0,8	Sogn og Fjordane, Norge	115 andelseiere	
Solena	Teknologi- og utstyrsleverandør		Avfall, treavfall	Biodiesel	BtG, Fischer Tropsch				Washington, USA		

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Solør Bioenergi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Produsent, biodrivstoff	Impregneret trevirke flis/trevirke	Varme, damp/briketter, flis			142,2	7,6	Hedmark, Norge	Solør Bioenergi Holding AS	
Stangeskovene AS	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		23.334 m3	409	6,8	Akershus, Norge	Christen Sveaas	
Statiol Fuel & Retail AS	Distributør		Cellulose, raps, canola, mais, hvete, sukker	Bioetanol, biodiesel			73729	1499,0			
Statkraft Varme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bio-brensel	Varme	Forbrenning	712 GWh (Sverige 366 GWh)	407,4	-21,3	Sør-Trøndelag, Norge	Trondheim Energi AS, som eies av Statkraft AS	
Stovas Peisovner AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ovner/peis		2,5	-0,6	Akershus, Norge	John Kåre Vik	
STX-Grenland Industri AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, briketter, flis	Varme	Forbrenning, varmesentral/-anlegg		244,7	-8,3	Telemark, Norge	Vard Brevik Holding AS	
Stålhallen AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Flis	Flishugger		7	0,3	Akershus, Norge	R. Lundby	
Svegro-Teknisk AS	Teknologi- og utstyrsleverandør				Utstyr for bi-produkter fra treindustrier		2,4	0,3	Oslo, Norge	Lar Eirik Næss	Repre-senterer Bruks AB i Norge
Swebo Bioenergy AB	Teknologi- og utstyrsleverandør			Varme	Forbrenning, kjeler, brenner, varmesentral		30,0 SEK	0,3 SEK	Norrbotten, Sverige		
Tangen Automasjon AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Flis, pellets	Varme	Forbrenning/flishuggere		25,8	-0,2	Buskerud, Norge	N. J. Slotfeldt	
T-Komponent AS	Produsent, biokjemikalier og -materialer			Hobbyplater, limtre, panel, list, benkeplatt			113,4	-1,1	Møre og Romsdal, Norge	Talgø Invest AS	
Troms Kraft Varme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Ikke oppgitt, men 50 % fornybarandel	Varme		71,3 GWh	51,7	2,3	Troms, Norge	Troms Kraft AS	
Trysil Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bark, flis, spon	Varme	Forbrenning	30 GWh	19,2	1,4	Hedmark, Norge	Eidsiva Energi AS, Trysil kommune	
Tune Maskin AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Pellets	Oppmaling, kondisjonering, forming, kjøling/tørking mm		0,5	0,2	Østfold, Norge	B. I. A. Opstad	
Ulefos Jernværk AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ovner/peis		339,7	18,6	Telemark, Norge	Unv Holding AS	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Umas AS	Teknologi- og utstyrsleverandør	Distributør	Ved	Ved, pellets, brikketter	Vedproduksjonststyr		3,2	2,0	Nord-Trøndelag, Norge	Rumin Invest AS	
Umoe AS	Skogsindustri og andre næringsaktører	Produsent, biodrivstoff	Skog/sukkerrør	Tømmer/bioetanol	Fermentering		5334,7	-190,6	Bærum, Norge	Umoe Gruppen AS	Gjennom selskapene Umoe Bioenergi ASA (Brasil) og Umoe Forestry AS (Canada)
Uniol AS	Produsent, biodrivstoff		Rapsolje, animalsk fett, frityrrolje	Biodiesel	Multi-feedstock-teknologi	2009: 14 mill liter, potensial: 125 mill liter	751,5	-0,3	Østfold, Norge	Einer Energy S.A.R.L	Ikke skog
Uno X Energi AS	Distributør		Raps	Biodiesel			5480,3	-28,3	Akershus, Norge	Uno X Gruppen AS	Ikke skog
Varde Ovne A/S	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ovner/peis		7,9 DKK	0,2 DKK	Sønderylland, Danmark		
Varmefag (Peishuset AS)	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ovner/peis		21,1	1,6	Oslo, Norge	Erik Amundsen	
Varmefag AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Ved, pellets	Varme	Ved- og pelletsovn/-peis, piper m.m.		16,3	0,3	Akershus, Norge	Selectron AS, P D Stafseth AS, Scan Pro Varmesenter AS	
Varmetema Ing. Bratlie AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Forbrenning, prefabrikerte sentraler, pelletskamin		11,2	0,2	Hedmark, Norge	J. H. Bratlie	
Vegårshei Bioenergi AS	Produsent, biovarme og elektrisitet	Distributør	Flis	Varme	Forbrenning	2 GWh	1,1	0,0	Telemark, Norge	AT Biovarme	
Vela AS	Teknologi- og utstyrsleverandør			Flis	Flisugger		63,3	3,4	Nord-Trøndelag, Norge	Trond Vilhelm Gulbrandsen	
Vestfold Bioenergi	Produsent, biobrensel		Skog	Flis	Flisugger	50000 fm3			Vestfold, Norge		Samarbeid mellom Norved AS og Eiker Bioenergi AS
Vestnes Renovasjon AS	Produsent, biobrensel		Emballasje, paller	Briketter, flis			17	3,0	Møre og Romsdal, Norge		
Vestskog SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		171.537 m3	118,7	-3,1	Hordaland, Norge	B. Drageset	
Vike AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		-	-	Preisolerte rør, varmesentraler	-	7	-0,3	Møre og Romsdal, Norge	Vidar Vike	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Viken Skog SA	Skogsindustri og andre næringsaktører		Skog	Tømmer		2.091.000 m ³	1267,1	112,1	Buskerud, Norge		
Viking Varme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme	Forbrenning	15 GWh, på sikt 30 GWh	0,1	-1,6	Vestfold, Norge	Agder Energi, Skagerak Energi	
Vi-tre AS	Produsent, biobrensel		Trevirke, gran og furu	Pellets, biostrø		6000 tonn pellets	7,9	-1,9		Røros Elektrisitetsverk	
Westfire	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel	Varme	Ovner/peis		4,6 DKK	2,1 DKK	Vest-Jylland, Danmark		
Weyland AS	Produsent, biodrivstoff	Produsent, kjemikalier og -materialer	Cellulose	Sukker, biodrivstoff, kjemikalier	Hydrolyse, fermentering		3,3	-2,2	Hordaland, Norge	Fana Stein & Gjenvinning AS	
Windhager Norge AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, ved	Varme	Gassifisering, forbrenning		0,3	0,0	Buskerud, Norge	K.J. Langsrud, A. Nilssen, M. Nilssen, Ø. Mour-sund	
Øko AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Pellets, ved	Varme	Forbrenning, vedovn med vannkappe		8,3	0,5	Vest-Agder, Norge	Knut Mørne	
Østfold Energi AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bio-brensel, spillvarme, restavfall, olje	Varme, damp, kjøle	Forbrenning, varmepumpe	45 GWh	743,7	149,7			
Østlandske Varmesenter AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bio-brensel, pellets	Varme	Ved- og pellet-skjel		85	0,0	Oslo, Norge	Truls Wettergreen	
Øvre-Eiker Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Flis	Varme	Forbrenning	840 kW	2,4	-0,5	Buskerud, Norge	Hønefoss Fjernvarme	
Åsnes Fjernvarme AS	Produsent, biovarme og -elektrisitet	Distributør	Bio-brensel	Varme	Forbrenning		0	-0,3	Hedmark, Norge	Eidsiva Energi AS	Utbygging 2012/13
Asko	Sluttbruker		Bioetanol		Transport	2013: ca. 30 distribusjonsbiler	40,3	1,9	Møre og Romsdal, Norge	Asko Holding AS	Bioetanol fra Borregaard
Norsk Scania AS	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bioetanol, biodiesel, syntetisk diesel, biogass, hydrogen		Transport		3347,3	251,0	Oslo, Norge	Scania Commercial Vehicles AB	

Aktør	Rolle - primær	Rolle - sekundær	Råstoff	Sluttprodukt	Teknologi	Volum [per år]	Omsetning	Resultat	Tilhørighet	Eier	Merknad
Volvo Car Norway	Teknologi- og utstyrsleverandør		Bioetanol/meta nol, biogass/CNG, biodiesel, syntetisk diesel		Transport		2954,7	12,5	Akershus, Norge	Volvo Personvagnar AB	<i>Volvo Buses hovedleverandør av bioteknologi</i>
AtB AS	Sluttbruker		Biodiesel		Transport	80 biodieselbusser, 200 gassbusser	863,9	-10,6	Sør-Trøndelag, Norge	Sør-Trøndelag Fylkeskommune	

8.LITTERATURLISTE

1. Bærekraftig biodrivstoff for luftfart, Rambøll, 03/2013
2. Matas Güell B., Bugge M., Kempegowda R., George A., Paap S.M., **Benchmark of conversion and production technologies for synthetic biofuels for aviation**, Arbeidspakke 1 – Bærekraftig Biodrivstoff for Luftfart, SINTEF Energy Research, Trondheim, Norge, 11/2012
3. Bolkesjø, T.F.; Bergseng, E.; Trømborg, E.; Rørstad, P.E., **Bærekraftig biodrivstoff til sivil luftfart i Norge – Biomassetilgang fra landbaserte ressurser**, Arbeidspakke 2 – Bærekraftig Biodrivstoff for Luftfart, Universitetet for Miljø og Biovitenskap (UMB), Ås, Norge, 10/2012
4. **Import of Biomass and Bio Jet Fuel for Norwegian Aviation**, Arbeidspakke 5 – Bærekraftig Biodrivstoff for Luftfart, LMC International, Oxford, England, 11/2012
5. **Biomass to Biofuels – Strategies for Global Industries**, A.A. Vertès, N. Qureshi, H.P. Blaschek, H. Yukawa, Wiley & Sons, 2010
6. **Biofuel-driven biorefineries – A Selection of the Most Promising Biorefinery Concepts to Produce Large Volumes of Road Transport Biofuels by 2025**, 02/2013, IEA Bioenergy Task 42
7. **Status of Advanced Biofuels Demonstration Facilities in 2012**, 03/2013, IEA Bioenergy Task 39
8. **World Energy Outlook 2012**, IEA
9. **Energy Technology Perspectives 2012**, IEA
10. **Biofuel Technology Roadmap 2010**, IEA
11. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SRREN)**, 2011
12. IEA Bioenergy Task 34 – Pyrolysis of biomass, www.pyne.co.uk
13. IEA Bioenergy Task 39 – Commercializing Liquid Biofuels, www.task39.org
14. IEA Bioenergy Task 42 – Biorefineries, www.biorefinery.nl
15. IEA Bioenergy Task 37 - Energy from Biogas, www.iea-biogas.net
16. IEA Bioenergy Task 38: Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems, www.ieabioenergy-task38.org
17. **Opportunities and Obstacles in Large-Scale Biomass Utilization**, S. Siddiqui, D. Friedman, J. Alper, National Academies Press (NAP), USA, 2013
18. Macfarlane, R.; Mazza, P., Allan, J., **SUSTAINABLE AVIATION FUELS NORTHWEST: Powering the Next Generation of Flight**, SAFNW, Washington State, USA, 2011, Web: <http://www.safnw.com>
19. **Techno-Economics of Biomass based Power Generation with CO₂ Capture (TESBiC)** (presentasjon), 05/2013, www.cmclinnovations.com/tesbic
20. **Biomass with CO₂ Capture and Storage (Bio-CCS) - The way forward for Europe**, European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants, 06/2012 (Joint Taskforce Bio-CCS Secretariat, JTFbioCCS@Bellona.org)
21. **R&D needs within BIOCCS – The Norwegian perspective** (Presentation), Nils Erland L. Haugen and Marie Bysveen, SINTEF Energy Research, 10/2011
22. **BECCS som klimatåtgärd - En rapport om koldioxidlagring från biomassa i ett svenskt perspektiv**, Biorecro, 2010
23. Cherubini, F.; Peters, G.P.; Berntsen, T.; Strømman, A.H.; Hertwich, E., **CO₂ emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming**, Norges Teknisk-Naturvitenskapelig Universitet, Trondheim, Norge, 02/2011
24. **Combining Bioenergy with CCS - Reporting and Accounting for Negative Emissions under UNFCCC and the Kyoto Protocol**, IEA Working Paper, 2011
25. **CCS Technology Roadmap 2013**, IEA
26. **Biomass energy with carbon capture and storage (BECCS): A review**, Tyndall Centre for Climate Change Research, C. Gough, P. Upham, 12/2010
27. **Sustainable Transportation Ecosystem – Addressing sustainability from an integrated systems perspective**, 04/2012, World Economic Forum

28. Arvidsson, M.; Lundin, B., **Process integration study of a biorefinery producing ethylene from lignocellulosic feedstock for a chemical cluster**, Chalmers University of technology, Göteborg, Sverige, 2011
29. Fuel readiness level (FRL), Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI), <http://www.caafi.org/information/fuelreadinesstools.html>
30. Opdal O.A., **Production of synthetic biodiesel via Fischer-Tropsch synthesis. Biomass-To-Liquids in Namdalen**, Norge, 2006
31. Samtaler med Borregaard
32. Samtaler med Ineos Bio
33. Samtaler med Statoil
34. Samtaler med Treklyngen og Viken Skog
35. Samtaler med Solena Biofuels og SGI Biopower
36. European Biofuels Technology Platform, www.biofuelstp.eu
37. Aker Clean Carbon, Carbon Capture with bioenergy, <http://www.akercleancarbon.com/section.cfm?path=418,457>
38. DuPont Biofuels, <http://biofuels.dupont.com/>
39. Biofuel Digest Biorefinery Database 2.0, 2011
40. Lignol Canada, <http://www.lignol.ca/>
41. Patent: Bioarc, Tønseth
42. **IEA Workshops on Bioenergy, CCS and BECCS**, gjennomgang av konferansemateriell og presentasjoner
 - a. Jakarta 24. august 2013, Indonesia
 - b. Jakarta 21. september 2012, Indonesia
 - c. Laxenburg november 2011, Østerrike
43. ZERO m.fl., 2010. **Bærekraftig biodrivstoff. Et avgjørende klimatiltak** [pdf]
44. HOG Energi, 2010. **Gassbusser. Biogass som drivstoff for buss** [pdf]
45. Cherubini m. fl., 2011. **CO₂ emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming**. GCB Bioenergy Volume 3
46. Bright m. fl. 2012. **Climate impacts of bioenergy: Inclusion of carbon cycle and albedo dynamics in life cycle impact assessment**. Environmental Impact Assessment Review Volume 37
47. Guest m. fl., 2013. **Consistent quantification of climate impacts due to biogenic carbon storage across a range of bio-product system**. Environmental Impact Assessment Review Volume 43