

Oppdragsgiver

Avinor

Dokument type

Utredning

Dato

1/2013

UTREDNING

BÆREKRAFTIG BIO- DRIVSTOFF FOR LUFT- FART



UTREDNING

BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART

Revisjon	1.12
Dato	23.04.2013
Utført av	Magnus Killingland (Prosjektleder), Pernille Aga (Ass. prosjektleder), Magnus Grinde (LCA-koordinator), Ingrid Saunes (LCA-rådgiver), Anne Marit Melbye (LCA-rådgiver), Jonas Vevatne (Miljørådgiver), Espen Borgir Christophersen (Økonomimodellering)
Kontrollert av	Iren Aanonsen (Fagansvarlig Termisk Energi) og Linn Helland (Ass. prosjektleder)
Godkjent av	Linn Helland (Avdelingsleder Rambøll Energi Oslo)
Beskrivelse	Rambøll har på vegne av Avinor og norsk luftfart gjennomført en utredning av hele verdikjeden for norsk produksjon av bærekraftig og lønnsom Jet A-1 biodrivstoff for sivil luftfart.
Ref.	9110194

Rambøll

Besøksadr.: Hoffsvæien 4

Postboks 427

Skøyen

0213 Oslo

www.ramboll.com/energy

INNHOLDSFORTEGNELSE

Executive summary	1
Sammenheng	8
1. Bakgrunn.....	18
1.1 Utfordringen	18
1.2 Målet med prosjektet	23
1.3 Metode og prosess	24
1.4 Oppbygning av rapporten.....	27
2. Bærekraft	29
2.1 EUs bærekraftskriterier	30
2.2 Arealbruksendringer	31
2.3 Karbongjeld og tilbakebetalingstid	33
2.4 Albedo	34
2.5 Sosial bærekraft	34
2.6 Oppsummering bærekraft	36
3. Råstoffpotensial for biodrivstoffproduksjon i Norge	37
3.1 Landbaserte biomasseressurser	38
3.2 Marine biomasseressurser.....	49
3.3 Import av råstoff	57
3.4 Tilgang på bærekraftige ressurser i 2020.....	69
4. Teknologi og Produksjon: Muligheter og begrensninger i Norge mot 2020/25	78
4.1 Globale initiativ, forskningsprogram og mål for teknologiutvikling	78
4.2 Teknologisertifiserte konverteringsruter og prosesser	91
4.3 Lokaliseringsalternativer og logistikkutfordringer	102
4.4 Identifisering av verdikjeder for bærekraftig Jet A-1.....	105
4.5 Presentasjon og begrunnelse for valg av forretningskonsept.....	107
5. Produksjonskostnader	114
5.1 Økonomimodell og forutsetninger	114
5.2 Forretningskonsept 1 – Fischer Tropsch Jet A-1	115
5.3 Forretningskonsept 2 – Alcohol to Jet (AtJ)	126
5.4 Konklusjon produksjonskostnader	131
5.5 Framtidsscenarier og teknologisk utvikling.....	132
6. Klimaeffekt og klimatilstandskostnader	134
6.1 Livssyklusanalyser og forutsetninger.....	134
6.2 Fossilt referansecase	138
6.3 Forretningskonsept 1 – Fischer Tropsch Jet A-1	140
6.4 Forretningskonsept 2 – Bioetanolanlegg med oppgradering ved Alcohol to Jet (AtJ)	143
6.5 Diskusjon og sensitivitetsanalyser.....	145
6.6 Klimatilstandskostnader	149
7. Veien videre for biodrivstoff for luftfart	156
7.1 Utsikter for en bioøkonomi og et biomarked	159
7.2 Etablering av en kommersiell industri.....	163
7.3 Politiske rammebetingelser og drivere for energijetterspørsel.....	167
7.4 Hovedutfordringer og anbefalte tiltak for veien videre	171
8. Oppsummering og konklusjon	175
9. Litteratur og referanser	179

9.1	Rapporter og dokumenter	179
9.2	Internettsider	181
9.3	Intervju, møter eller samtaler	182
9.4	Konferanser	182

FIGURER

Figur 1-1 – Arbeidspakker for verdikjeden for bærekraftig biodrivstoff til luftfart.....	18
Figur 1-2 – Reduksjon av utslipp for ulike scenarier ^[1]	20
Figur 1-3 – Nasjonal handlingsplan for Fornybarenergidirektivet	21
Figur 1-4 – Standard for syntetisert Jet A-1.....	21
Figur 1-5 – Hovedpunkter som har blitt utredet.....	24
Figur 1-6 – Oversikt over prosjektets struktur.....	25
Figur 2-1 – Sosiale, økonomiske og miljømessige dimensjoner for bærekraft	30
Figur 2-2 – Sertifisert og dokumentert biomasse © Neste Oil	31
Figur 2-3 – Arealbruksendringer, direkte og indirekte for biodrivstoff	32
Figur 3-1 – Kategorier primærråstoff til biodrivstoffproduksjon (Sintef Energy, 2012)	38
Figur 3-2 - Bruk av trevirke i 2012 og potensiell tilgang på biomasseressurser fra Norge (TWh/år). ^[4]	39
Figur 3-3 – Årlig tilvekst, balansekvantum og teoretisk potensial for økt uttak i 2012	40
Figur 3-4 - Kvaliteter av skogressurser	40
Figur 3-5 – Potensial for økt uttak av biomasse (i TWh) til energiformål i 2025 ^[2]	43
Figur 3-6 - Beregnet tilbud av energiflis fra skogråstoff i år 2020 ^[2]	44
Figur 3-7 – Modellsimulerte massevirkepriser levert anlegg i 2020, scenario 1. NOK/m ³ ^[4]	45
Figur 3-8 – Modellert endring i pris som følge av biodrivstoffanlegg i Buskerud i 2020, scenario 1 ^[4] .	45
Figur 3-9 – Ulike produksjonsruter og sluttprodukter fra alger © Rambøll ^[15]	51
Figur 3-10 – Åpne dammer (raceway) for produksjon mikroalger © Sapphire Energy, New Mexico, USA	52
Figur 3-11 – Dyrkning av mikroalger i fotoreaktorer La Jolla, CA, USA © CVSG & ExxonMobil	52
Figur 3-12 – Biodrivstoff fra mikroalger ^[6]	53
Figur 3-13 – prosessering av makroalger for biodrivstoff	54
Figur 3-14 – Laboratorieprøver av mikroalger, © Sapphire Energy, New Mexico, USA.....	56
Figur 3-15 – Prosess for algeoljeproduksjon fra mikroalger	57
Figur 3-16 – Trebasert biomasse levert Oslo i 2020 (priser inkl. transport) ^[7]	59
Figur 3-17 – Biomasse fra jordbruksavfall og energigvekster, levert Oslo i 2020 (priser inkl. transport) ^[7]	62
Figur 3-18 – Framskrivning av globalt forbruk av vegetabiliske oljer ^[7]	63
Figur 3-19 – Camelina © Neste Oil	63
Figur 3-20 – Jatropha © Neste Oil	64
Figur 3-21 – US Renewable Fuels Standard, spesifiserte andeler biodrivstoff i drivstofforbruket ^[7]	65
Figur 3-22 – Handel for bioetanol globalt i 2009 © Ecofys	66
Figur 3-23 – Marginal effekt av import fra «deponeringsland» ^[26]	68
Figur 3-24 – Kostnadskurve relevant primærråstoff, med produksjonsvolum, 2020. ^{[4][7]}	73
Figur 3-25 – Kostnadskurve bioalkoholer og algeråstoff 2020/25. ^{[7][6]}	74
Figur 3-26 – Biomassebehov sammenlignet med potensial fra norsk skog og dagens forbruk. ^{[45][44][4][42]}	75
Figur 3-27 - Importert råstoff til Oslo rangert etter pris (NOK/kWh) ^[7]	77
Figur 4-1 – NExBTL og 12 prøver fra ulike biooljer Foto © Killingland.....	79
Figur 4-2 – Produksjon av alger for biodrivstoff New Mexico, © Sapphire.....	80
Figur 4-3 – Noen utvalgte globale initiativ for biodrivstoff til luftfart © Rambøll.....	80
Figur 4-4 – Teknologisk modenhet for ulike biodrivstoffteknologier knyttet til råstoff © IEA ETP	82
Figur 4-5 – Skala for teknologimodenhet, Technology Readiness Level (TRL).....	83
Figur 4-6 – Feedstock Readiness Levels, Level 1 – 5, © CAAFI	83

Figur 4-7 – Feedstock Readiness Levels, Level 6 – 9 © CAAFI	84
Figur 4-8 – Prosessvalidering for biodrivstoff, Fuel Readiness Level 1 – 5, ref. CAAFI.....	84
Figur 4-9 – Prosessvalidering for biodrivstoff, Fuel Readiness Level 5 – 9, © CAAFI	84
Figur 4-10 – Verdikjeder for fossil olje og bioraffineri © Rambøll	92
Figur 4-11 – Ulike drivstoff og kategorier av produkter i forhold til antall hydrokarboner © Rambøll ..	92
Figur 4-12 – Generell oversikt over råstoff, konverteringsprosesser og sluttprodukter for biomasse © Rambøll	93
Figur 4-13 – Produksjonsprosess for biobasert Fischer-Tropsch SPK.....	94
Figur 4-14 – Prosess for Fischer Tropsch-syntese og hydrokarboner © Rambøll	95
Figur 4-15 – Maksimering av ulike sluttprodukter fra en prosess, Shell NGtL.....	96
Figur 4-16 – Prosess for HEFA-SPK fra ulike råstoff.....	97
Figur 4-17 – Prosess for produksjon av bioalkoholer fra lignocellulose.....	98
Figur 4-18 – Alcohol-to-Jet prosess.....	99
Figur 4-19 – Et eksempel på AtJ fra biomasse © Terrabon Mixelco	100
Figur 4-20 – Illustrasjon av intervaller for minstekrav for syntetisert Jet A-1 ^[72]	101
Figur 4-21 – Faser for identifisering av aktuelle lokaliteter ^[5]	103
Figur 4-22 – Søkeområder for etablering av produksjonsanlegg © Rambøll.....	103
Figur 4-23 – Konklusjoner lokalisering mulige produksjonsanlegg ^[5]	105
Figur 4-24 – Illustrasjon av mest aktuelle verdikjeder for Norge for FT-SPK og AtJ.....	108
Figur 4-25 – Forslag til optimalt norsk bioraffineri fram mot 2030 og 2050	112
Figur 4-26 – Verdikjede med utfordringer oppstrøms og nedstrøms for biodrivstoff © Rambøll	113
Figur 5-1 – Utvikling av produksjonskostnader FT.....	122
Figur 5-2 Utvikling av produksjonskostnader til 2030	123
Figur 5-3 – Råoljepriser og tilleggskostnaden for raffinering av Jet A-1, USD.....	124
Figur 5-4 - Utvikling av markedspris for Jet A-1, IATA Economics og IEA.....	125
Figur 5-5 – Prisutvikling og lønnsomhet for FT-syntetisert Jet A-1 2012-2030, inkl. salg av biprodukter (Alle priser i norske 2012-kroner)	126
Figur 5-6 – Produksjonsprosess for AtJ	127
Figur 5-7 - Prognoser for markedspriser på bioetanol	128
Figur 5-8 – Utvikling i produksjonskostnader AtJ	130
Figur 5-9 – Utvikling for AtJ-produksjonskostnader 2012-2030, uten salg av biprodukter. (Alle priser i norske 2012-kroner)	131
Figur 5-10 – IEA framskrivninger for produksjonskostnader for biodrivstoff.....	132
Figur 5-11 – Eksempel på historiske læringskurver for biodrivstoff (IEA/SRREN).....	133
Figur 6-1 - Hovedfasene i en livssyklusanalyse.....	135
Figur 6-2 - Verdikjede for referansecase for fossil Jet A-1	138
Figur 6-3 - Well-to-wing GWP-resultater for referansecase (fossil Jet A-1)	139
Figur 6-4 - Verdikjede for Forretningskonsept 1 med FT-SPK.....	140
Figur 6-5 - Well-to-wing GWP ₁₀₀ -resultater for Forretningskonsept 1 – Fischer Tropsch	142
Figur 6-6 - Verdikjede for Forretningskonsept 2: Bioetanol + AtJ	143
Figur 6-7 - Well-to-wing GWP ₁₀₀ -resultater for Forretningskonsept 2 (Bioetanol+AtJ)	144
Figur 6-8 - Beregnet utslippsreduksjonspotensial og netto samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusertCO ₂ for biodrivstoff i 2020 © Klimakur2020.....	150
Figur 6-9 – Beregnet utslippsreduksjonspotensial og netto samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusertCO ₂ for biodrivstoff i 2030 © Klimakur2020.....	151
Figur 6-10 – Beregnede klimatiltakskostnader for drivstoff til luftfart (Fischer-Tropsch).....	154
Figur 6-11 - Utvalgte tiltakskostnader i 2020 Klimakur, inkl. Fischer-Tropsch (FT-SPK)	155

Figur 7-1 – SWOT-analyse av forhold for biodrivstoffproduksjon i EU © EBTP	157
Figur 7-2 – Biovarme- og bioelektrisitetproduksjon i samspill med biodrivstoffproduksjon © Enova..	158
Figur 7-3 – Dynamikken i det norske biomassemarkedet © Rambøll Energi.....	159
Figur 7-4 – Muligheter for utnyttelse av biomasse © Rambøll	160
Figur 7-5 – Trender og drivere som kan påvirke biodrivstoffproduksjon for luftfart © Rambøll	161
Figur 7-6 - Biovarme- og bioelektrisitetproduksjon i samspill med biodrivstoffproduksjon © enviro.aero	163
Figur 7-7 – Barrierer ved teknologi-, produktutvikling og kommersialisering	165
Figur 7-8 – Oversikt over støtteordningene i Norge © NFR/Innovasjon Norge/Enova/Transnova.....	166
Figur 7-9 – Oversikt over drivere og premisser for energisystemet og energiteknologier	167
Figur 7-10 – Oversikt over prinsipper for en bærekraftig utvikling i transportsektoren ref. World Economic Forum	168
Figur 7-11 – Interessenter inn mot et bærekraftig transportsystem © WEF.....	169
Figur 8-1 – Flygninger i luftrommet over Storbritannia © SWNS	175
Figur 8-2 – Kursen er gitt, hvem blir med på en turbulent, men framtidsrettet reise? © CSIRO	178
Figur 9-1 – Forventninger om prisreduksjoner for biodiesel (Fischer Tropsch) og bioetanol fra lignocellulose © SRREN ^[21]	11
Figur 9-2 – Skjematisk oversikt over læringskurver (IEA/SRREN ^[21])	12
Figur 9-3 – Faktorer som avgjør bruk av biodrivstoff til luftfart	14
Figur 9-4 – Framskrivninger av biodrivstoff til luftfart i 2020 og 2025 © IEA ETP 2012	15
Figur 9-5 – Fornybar energi- og biodrivstoffproduksjon globalt for ulike scenarier ©WEO2012, IEA ...	16

TABELLER

Tabell 1-1 – Spesifikasjoner for Jet A-1 drivstoff	23
Tabell 3-1 – Produksjon og forbruk av tre i EØS-området	42
Tabell 3-2 – Andregenerasjons råstoff for produksjon av biodrivstoff til luftfart ^[7]	58
Tabell 3-3 Fordeler og ulemper ved ulike biomasseråstoff ^[7]	61
Tabell 3-4 Vegetabiliske oljer til import til Oslo, 2020. ^[7]	64
Tabell 3-5 Ny produksjonskapasitet for cellulosebasert etanol i USA ^[7]	66
Tabell 3-6 – Markedspriser på biobutanol og cellulosebasert etanol, levert Oslo ^[7]	67
Tabell 3-7 – Første- til fjerdegenerasjons råstoff	70
Tabell 3-8 – Egnethet for de mest relevante råstoff for import i 2020.....	72
Tabell 4-1 – Oversikt over produksjonsruter ^[4]	102
Tabell 4-2 – Oversikt over første- til fjerdegenerasjons biodrivstoff	111
Tabell 5-1 Forutsatt produksjonskapasitet for FT-anlegg	115
Tabell 5-2 Investeringskostnader for FT-anlegg basert på konvensjonelle anlegg for CtL og GtL	116
Tabell 5-3 Fordeling av investeringskostnader Arlanda ^[3]	116
Tabell 5-4 – Trevirkekostnad ^[4]	117
Tabell 5-5 – Forutsetninger for beregning av produksjonskostnader.....	117
Tabell 5-6 – Beregnede produksjonskostnader for Jet A-1	118
Tabell 5-7 – Scenarier for reduksjon av investeringskostnader for Jet A-1.....	121
Tabell 5-8 – Scenarier for utvikling av råstoffbehov FT	121
Tabell 5-9 – Produksjonskostnader FT i 2030.....	121
Tabell 5-10 – Fremtidige produksjonskostnader for Jet A-1 basert på FT med og uten salg av biprodukter.....	122
Tabell 5-11 – Konverteringsfaktorer AtJ.....	128

Tabell 5-12 - Produksjonskostnader AtJ	129
Tabell 5-13 – Utvikling av råstoffbehov.....	129
Tabell 6-1- Well-to-wing GWP-resultater for referansecase (fossil Jet A-1)	139
Tabell 6-2 – Masskonverteringsfaktorer for Forretningskonsept 1	141
Tabell 6-3 – Energikonverteringsfaktorer for Forretningskonsept 1	141
Tabell 6-4 - Well-to-wing GWP ₁₀₀ -resultater for Forretningskonsept 1	142
Tabell 6-5 - Masskonverteringsfaktorer for Forretningskonsept 2 (Bioetanol+AtJ)	144
Tabell 6-6 - Well-to-wing GWP ₁₀₀ -resultater for Forretningskonsept 2 (Bioetanol+AtJ)	144
Tabell 6-7 - Parametere som ble studert i sensitivitetsanalysene	147
Tabell 6-8 – Endring i GWP-resultater i sensitivitetsanalysene	147
Tabell 6-9 - GWP-resultater fra andre LCA analyser	149
Tabell 6-10 - Resultater for utslippsreduksjoner ved tiltaksimplementering	153
Tabell 6-11 - Merknader for F-T SPK NOK/liter, 2008-kroner	153
Tabell 6-12 - Tiltakskostnader (NOK/tonn CO ₂)	154
Tabell 7-1 – Oversikt over fornybare energiteknologier, modenhet og primær distribusjonsmetode – bioenergi.....	162
Tabell 7-2 – Oppsummering av utfordringer for å etablere produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart	172
Tabell 7-3 – Anbefalte tiltak for å etablere bærekraftig biodrivstoff for luftfart i Norge i 2025	173
Tabell 8-1 – Anbefalte tiltak for å etablere produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart i Norge innen 2025	177

VEDLEGG

Vedlegg

Vedlegg 1 Referansegruppemedlemmer

Vedlegg 2 Technology, Fuel & Feedstock Readiness Level

Vedlegg 3 Krav til syntetisert jet A-1 drivstoff

Vedlegg 4 Produsenter av biodrivstoff for luftfart

Vedlegg 5 Testflygninger

Vedlegg 6 Globale initiativ

Vedlegg 7 Framskrivninger av kostnader for biodrivstoffproduksjon

Vedlegg 8 Støtte til forvaltning av skog fra sLF

FORKORTELSER / ABBREVIATIONS

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. Denne definisjonen avviker fra den som brukes for *Advanced Biofuels* i USAs lovgivning, som er basert på en minimumsreduksjon på 50 % av livssyklusutslipp, og inkluderer derfor også etanol fra sukkerrør.

ASTM –American Society for Testing and Materials

AtJ-SPK – Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene

Bioenergi (IEA World Energy Outlook 2012)

Refererer til energiinnholdet i faste-, flytende- og gassprodukter som stammer fra biomassebasert råstoff og biogass. Dette inkluderer både biodrivstoff til transport og produkter til produksjon av elektrisitet og varme (f. eks. flis, pellets og avlut). Bioenergi inkluderer også kommunalt avfall og industrielt avfall.

BtL – Biomass to Liquid, Biomasse til biodrivstoff

CCS – Carbon Capture and Storage, Karbonfangst og lagring

CtL – Coal to Liquid

Etanol

Etanol kan fremstilles fra en rekke ulike brensel, men etanol refererer i denne studien utelukkende til bioetanol. Etanol produseres gjennom fermentering av biomasse som har et høyt innhold av karbohydrater. I dag lages etanol fra stivelse og sukker, men andregenerasjons teknologier vil tillate at etanol produseres fra cellulose og hemicellulose, fibermaterialer som utgjør hoveddelen i de fleste planteresursene.

HEFA-SPK – Hydrotreated Esters and Fatty Acids

FRJ-SPK – Fermented-Renewable-Jet-Synthetic Paraffinic Kerosene

FT-SPK – Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene

GtL – Gas to Liquid

GHG – Green House Gas, klimagasser (også drivhusgasser)

GWP – Global Warming Potential (klimaeffekt)

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

LCA – Life Cycle Assessment (livssyklusanalyse)

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

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 som førstegenerasjons drivstoff, og inkluderer etanol fra sukkerrør, andre stivelsesbaserte etanoler, biodiesel, fettsyremetylester, FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*), og vegetabilsk olje, SVO (*Straight Vegetable Oil*). Typiske råstoff som benyttes i disse modne

prosessene inkluderer sukkerrør og sukkerroer, stivelsesbærende korn, som mais og hvete, og oljevekster, som raps og palme, og i noen tilfeller animalsk fett.

LPG – Liquefied Petroleum Gas

Mtoe – Million Ton Oil Equivalents

MTG – Methanol-to-Gasoline

MJ – Megajoule – energi

NGtL – Natural Gas to Liquid

PTJ-SPK – Pyrolysis-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene

SPK – Synthetic Paraffinic Kerosene – syntetisert parafin

XtL – Any renewable or fossil hydrocarbons to Liquid (e.g. BtL, GtL, NGtL, CtL)

EXECUTIVE SUMMARY

The aviation industry acknowledges the climate change challenges and wishes to actively contribute to emission reductions. The most important aviation industry GHG measures are related to new aviation fleets with more efficient engines and bodies as well as airport operations. With the expected traffic growth the energy efficiency and operations measures are not sufficient to stabilize the emissions over the next 10-15 years.

Biofuels will be an important measure to reduce the emissions, but sustainable fuels are only available in small quantities at a high cost. The project investigates and assesses the possibilities for profitable and sustainable production of Jet A-1 in Norway. Avinor's goal is to accelerate the production plant localization and production start-up.

This project seeks to answer the three following questions to establish «*Biojet Norway Inc.*»:

1. *Which technology and feedstock(s) are suitable for a Norwegian production of renewable Jet A-1 within 2020-25?*
2. *Can the biofuel be sustainable, regarding nature and environment, social aspects and economy?*
3. *Is it possible to establish sustainable and profitable production of Jet A-1 biofuels to enable demand from the aviation industry?*

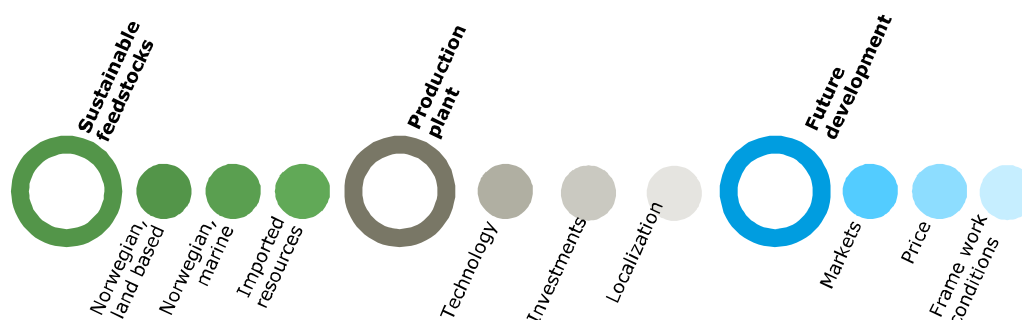
Currently there are no technological barriers for use of renewable Jet A-1. Certified production value chains exist, and large test flight programs have been conducted. However, large scale production technologies are immature and not competitive with present fossil Jet A-1 prices and CO₂-taxes.

Ramboll has, on the basis of both own studies and procured reports, identified the possibilities for renewable Jet A-1 in Norway. The project has included the following topics:

1. «Sustainable Aviation Biofuel Conversion and Production Technology Benchmarking», Sintef Energy
2. «Sustainable land based biomass resources», The Norwegian University of Life Sciences
3. «Biofuel Production Plant Localization Feasibility Study», Analyse & Strategi
4. «Marine resources for Aviation Biofuels», DNV KEMA
5. «Import of feedstocks for Sustainable Aviation Biofuels in Norway», LMC International

The main goal has been to estimate a production cost per liter for sustainable Jet A-1 based on Norwegian feedstock towards 2020-25. The whole value chain has been assessed, from cultivation and harvesting of feedstock, processing and refining, to fuel delivered at the airport. The figure below illustrates the main topics investigated.

Figure 1 – Main topics investigated



The project has conducted an investigation of production value chains for local and domestic Norwegian resources. Feedstock import has been analysed, but only as a supplement to Norwegian resources. The project has neither looked into nor compared other aviation industry measures with sustainable biofuels. Socioeconomic evaluations of sustainable aviation biofuel production in Norway have been out of scope for this project.

A key precondition for the project has been to assess only sustainable biofuel options. Therefore, the following topics have to be managed well:

- Nature, environment and climate: Reduction of GHG and local pollution, prevent loss of biological diversity and ecosystem services, as well as high agricultural standards
- Social issues: human rights, working rights, rights to cultivate land, health and food security
- Economics: profitability, long term economic development, new jobs, and an optimal societal resource management

The EU sustainability criterias, as defined in the Renewable Energy Directive (RED), have been chosen to define sustainability.¹ The criterias are adopted in Norway, and the states sustainability requirements which have to be fulfilled.

Biofuels can be produced sustainably or non-sustainably with adverse effects on nature and society. The biomass to biofuel value chain has to be sustainable in each step, and feedstock type is usually the most significant parameter.

Large scale use and production of biofuels is currently in an early phase of development, and it is uncertain how the topics listed above will be affected. Regulations and methodology are currently under development. Unresolved questions are, among others, how to deal with direct and indirect land use change, carbon debt and carbon payback time, in addition to albedo effects.²

The assessment of land based and marine feedstock in Norway shows that forest biomass is the most important feedstock on a short term basis. Imported feedstocks are available at competitive prices including transport. A bottleneck for sustainable biofuel production is feedstock accessibility. With current technology it is not possible to substitute all fossil fuels.

¹ The European Parliament and the European Council (2009). EU Directive 2009/28/EF, Renewable Energy Directive.

² The albedo effect explains how the climate is affected when sunlight is reflected less at dark surfaces and more from light surfaces. (SNL).

CONVERSION PROCESS AND TECHNOLOGY

From a number of production processes, Ramboll considers two processes most suitable for a Norwegian value chain within 2025:

1. Thermochemical processing and gasification of forest biomass (Fischer-Tropsch, FT)
2. Refining of bio-alcohols³ to Jet A-1 (Alcohol-to-Jet, AtJ).

In addition to Jet A-1, byproducts such as biodiesel are produced from the FT-production plants. FT-based fuels were certified in 2009⁴, while the AtJ-process is expected to be certified within 2014.

It is possible to establish several different sustainable biofuel value chains in Norway. The main question should be: «Which competitive advantages does Norway have?». Other countries may have lower feedstock costs or other advantages. The most promising value chains for Norwegian production of biofuels are listed below.

1. Thermochemical processing and gasification of forest biomass in close proximity to wood processing industry

Thermochemical processing, which covers stages of synthesis gas production by a Fischer-Tropsch catalysts, can produce biofuel for aviation. Most of the stages are known from the petrochemical industry. Major challenges are the gasification of biomass and gas cleaning. Aviation fuel has been produced with FT-technology from coal for more than 50 years. Several research programs, such as EU FlightPath supports FT demo plants. The main goal is to produce 1.2 million liters of renewable FT fuels for aviation by 2015, and 2500 million liters by 2020!

The process can utilize most types of fossil and organic materials as well as biomass and waste from the forest industry. Byproducts from the FT-process are biodiesel, bionaphtha, different chemicals in addition to heat.

2. Second generation bioethanol from forest residues with upgrading to Jet A-1 paraffins

The AtJ process includes refining of bioalcohols to Jet A-1. The AtJ-process does not include the bioalcohol production, but use alcohols as feedstock. The process and AtJ-fuels is not certified for blending with conventional Jet A-1, but is expected to be certified within 2013-2014. All the AtJ-steps are well known from the petrochemical industry, but the process is not a competitive process with bioalcohols at present.

Alcohols can be produced from various feedstocks, for instance lignocellulose from trees or energy crops, as well as agricultural waste, but also microalgae or alginate from seaweed (macroalgae). The advantage of AtJ is the availability of bioalcohol, while the disadvantage is high prices.

3. Thermochemical conversion of municipal and industrial waste with high temperature gasification

Waste is a possible feedstock for aviation biofuel, where one environmental challenge possibly can solve another. The climate effect depends on the share of renewable resources present in the waste stream. This value chain is attractive in other countries such as Great Britain where a plant is currently being commissioned. A Norwegian value chain based on waste would not be feasible with current conditions. One major reason is the newly established waste to energy capacity which will utilize the majority of the waste streams. Considering the share of renewable resources in waste, competition for the resource, and an increased share of recycling, waste is not considered an feasible option in this project.

³ Bioethanol, bio-butanol etc.

⁴ HEFA-fuels were certified in 2011, HEFA is Hydroprocessed Esters and Fatty Acids.

4. Third generation bioethanol from sustainable grown macroalgae, with upgrading via AtJ

In a longer term, from 2025 and onwards, aviation biofuels based on macroalgae may be feasible. There are excellent growing conditions along the Norwegian coastline. There are plans for a macroalgae cultivation plant in the Trondheims fjord, and the microbiology technology for alginate sugar extraction is developing rapidly.

5. Third generation bioethanol from microalgae produced in photo bioreactors in proximity to energy intensive Norwegian industry

With increased research on arctic algae, which grows rapidly in cold climate and with limited direct sunlight, microalgae cultivation may be a new Norwegian industry. Norway has a large energy intensive industry with a lot of waste heat and CO₂-emissions, which may be utilized. One main challenge is availability of sustainable nutrient. The report regarding marine resources concludes that microalgae based biofuels are most likely not until after 2030.

Even though the HEFA-process and HEFA-fuels are certified for Jet A-1 blending, it is not considered suitable for Norwegian value chains. The challenge is access to resources, either as oil crops or fatty acids. Both feedstocks are highly limited in Norway, and a Norwegian Jet A-1 production based on HEFA has to rely on imports. Sustainable HEFA resources are limited (traditional oil crops) and the resources have high costs (oil rich energy crops).

FEEDSTOCK AND VOLUMES OF BIOFUEL

The Norwegian aviation industry has a target of 15 % emission reduction by 2020-25. The target cannot be fulfilled without sustainable biofuels. To reach this goal, 190 – 250 million liters of renewable Jet A/1 is needed.⁵ This amount requires biomass with an energy content of 6 – 8 TWh⁶. Biodegradable resources from agriculture, forestry, fishery, waste etc. can be utilized for biofuel production. If this quantity is to be produced using Norwegian forest products⁷, this equals 2.7 – 3.6 million solid cubic meters.

In comparison, all forest biomass based measures included in Climate cure 2020⁸, lead to an increase in the demand up to 6,6 million cubic meters, which equals approximately 14 TWh. For comparison, Norway's consumption of bioenergy amounted to 17 TWh in 2010.

There is a political objective in Norway to increase bioenergy consumption as well as to develop second generation biofuels. Biofuel research and development is currently supported by The Research Council of Norway, Innovation Norway, Transnova, The Nordic Top-level Research Initiative as well as EU funding.

Forest biomass is the key to more bioenergy and more biofuel for transport. It is a political ambition in Norway to increase the use of bioenergy, as well as contributions to the development of second generation biofuel production. Therefore, there is reason to believe that the use of Norwegian forest resources for biofuel production will not be restricted, given that the current sustainability criterias are met. Biomass from forest is a sustainable resource if harvested and used in an efficient manner, as part of a holistic forest management. Increased use of wood as construction materials can both replace more carbon intensive construction materials as well as be a form of carbon storage in long lived

⁵ The following factors are used: Emission reductions of 60 - 80 % compared to fossil fuels, an expected consumption of 1000 Mliters in 2020. The conversion rate is assumed to be 14 % by mass. The conversion rate can be up to 25 % which means less feedstock is needed to reach 15 % climate emission reductions.

⁶ Energy content = 5 kWh/kg.

⁷ Biomass with approximately 50 % humidity

⁸ For instance biodiesel and bioethanol for land transport, electrification of cars and trains and so forth

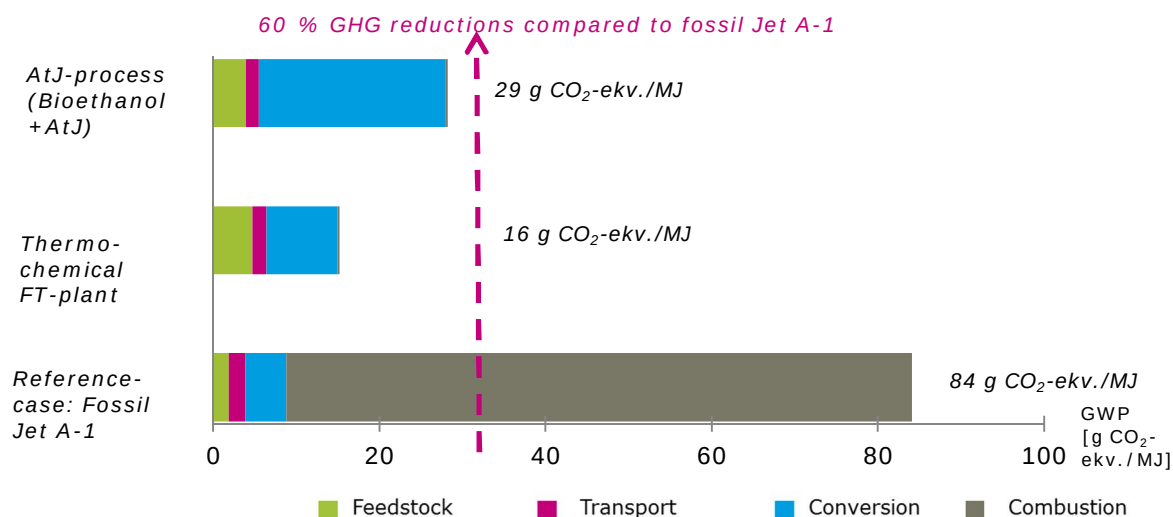
construction and wood products. Lower qualities and forest resources can be used for energy- and fuel production.

LIFE CYCLE ASSESMENTS AND CLIMATE EFFECTS

The climate effect from the two most suitable biofuel value chains has been calculated with renowned life cycle assessment analyses (LCA). The results conclude with 81 % climate reduction with FT-fuels, while AtJ results in a 65 % reduction. Both processes meet the EU sustainability criteria of minimum 60 % reduction for new biofuel plants after 2017. However, the methodologies for calculating environmental and societal damages are presently widely discussed by experts.

Figure II shows the results for each of the biofuels and for fossil Jet A-1. The red dotted line shows the requirement of minimum 60 % emissions reduction.

Figure II - Life cycle assessments of renewable and fossil Jet A-1, compared to EU's sustainability criteria



The figure also shows where in the value chain emissions occur. For renewable Jet A-1 the processing of feedstock to Jet A-1- contributes the most to greenhouse gas emissions. For fossil Jet A-1 combustion has the largest impact.

The analyses are based on current EU guidelines for calculations of climate impact from biofuels⁹. The most common approach in such climate calculations is to calculate the greenhouse gas emissions from biogenic sources, for example combustion of plant material, as climate neutral. It is assumed that the same amount of CO₂ released from the value chain is sequestered in new growth. Critics have argued that such an approach can be misleading, as the time horizon plays an important role regarding actual climate impact. For example, harvest and subsequent combustion of wood today, will lead to CO₂-emissions that will spend several decades in the atmosphere before the same amount of carbon is sequestered in new forest. Meanwhile, the emissions will contribute to global warming. Performed sensitivity analysis shows that such an approach to biogenic CO₂-emissions potentially can result in significantly higher climate impacts from the analyzed processes for production of biofuel for aviation.

On the other hand, FN's intergovernmental panel on climate change (IPCC) relates the 2-degree target to long term stabilization of greenhouse gases in the atmosphere. Temporary emissions from rotation forestry will, unlike fossil emission, not affect the equilibrium between CO₂ in the oceans, on land and in the atmosphere when it stabilizes 100-300 years in the future. Life cycle analysis based on a

⁹ As described in the Renewable Energy Directive (RED), Annex V.

100-year perspective will not capture this fundamental difference between fossil emissions and temporary emissions from felling. The standard methodology in LCA-analysis, however, has 100 years as time horizon.

Other factors will have a cooling effect. The forest's ability to take up more carbon can be increased through good forest management, such as planting, fertilizing, thinning and proper harvesting. New research suggests that the surface albedo effects, as a result of increased logging, can offset some of the warming effect resulting from increased (biogenic) CO₂-emissions in the short to medium term. The albedo effect includes the ratio of incoming radiation and reflection of sunlight from the Earth's surface. Felling of trees in Norwegian latitudes results in more irradiation, especially from snow covered logging sites. It is not performed sensitivity analyzes in this project where albedo effects are included, as methods for calculation and inclusion of surface albedo effects in life cycle assessment is at an early stage and would increase the uncertainty in the figures.

Climate calculation for biofuel is a complex field. There is a considerable uncertainty related to the methodology and data basis. Alterations can be expected as research is providing a better knowledge base.

Based on current regulations and available knowledge about *Biojet Norway Inc.*'s production plant, the life cycle assessments show that there will be a substantial potential for greenhouse gas savings by replacing fossil Jet A-1 with production processes for sustainable Jet A-1. The saving is greatest for Jet A-1 from a FT plant. With expected technology development, which will provide more Jet A-1 per unit feedstock, the climate savings will increase.

PRODUCTION COSTS ESTIMATES

Production costs have been estimated to evaluate the feasibility of a profitable Norwegian production based on selected value chains. Operating and investment costs, with a required return on capital of 7%, has been assessed to estimate total production costs per liter renewable Jet A-1 compared to market prices for fossil Jet A-1. Profitability is defined as when the market price for Jet A-1 exceeds the production costs of renewable Jet A-1 (NOK/liter). The basis for the cost estimates are production facilities based on the FT-process and Alcohol-to-Jet.

The conversion rate is one of the most important drivers of profitability for the processes. Higher conversion rates may be reached with increased use of renewable electricity for process heat. Long term policies and regulating frameworks may lead to lower production costs, accelerated profitability and secure airline demand.

From the pilot and demonstration plants of today, the production price per liter will decrease when full scale plants are in operation and accumulated volumes increase (often defined through learning curves).

A production plant with a 50 million liter output has been used for cost calculations. A production plant with a FT-process is expected to produce up to 50 % paraffinic petroleum, the basis for Jet A-1. Bio-diesel, naphtha and other byproducts will also be produced. 8-10 production plants, or fewer larger plants, are needed to produce 230 million liters. A feasibility study for suitable production plant locations has been performed including cost of logistics.

The price of FT-based Jet A-1 is estimated to be competitive with fossil and conventional Jet A-1 by 2025, provided sales income from the byproducts. The production costs in 2012 are estimated to 11 NOK/liter for renewable Jet A-1, which is 5 NOK/liter higher than the present market price for fossil Jet A-1. The income from byproducts is estimated to 141 mill. NOK, based on today's market prices, which results in a reduction of production costs of 5 NOK per liter produced Jet A-1 (included above).

Based on the theory of learning curves, the production cost is estimated to be 7 NOK/liter in 2025 and coincide with the market price for Jet A-1.

AtJ-based Jet A-1 is a more expensive fuel with an estimated production cost of 27 NOK/liter. There is not sufficient information about the byproducts from an AtJ-process to estimate the sales income from byproducts. The bioalcohol market price is the dominating cost factor, amounting to 90 % of the production costs. The development in bioalcohol market price is the single most important driver for AtJ profitability.

The projections imply that Jet A-1 based on AtJ will not be competitive with fossile Jet A-1 until after 2030. However, the break-through for the AtJ-process would be earlier if the byproducts generate income and the learning curve is steeper than projected.

The numbers presented below must be read with an uncertainty factor of 50 % at this stage of the assessment. The spread of uncertainty is shown in graphs and identified by scenarios, and thus not included in the estimates.

CONCLUSIONS

Norwegian forest resources will remain the most important Norwegian feedstock for renewable Jet A-1 towards 2020-25. It will also be possible to supplement with imported feedstock at competitive prices.

The two assessed production processes meet the requirement of the EU sustainability criteria, which defines sustainability. The results from the life cycle analyses (LCA) conclude with 81 % climate reduction utilizing FT fuels, while AtJ results in 65 % reduction. Both the processes are below the sustainability criteria of 60 % reduction in climate effect for new biofuel production plants after 2017.

It is technical and economically feasible to facilitate a sustainable and renewable Jet A-1 production by 2020-25 in Norway. Preliminary analyses show that the fuel could be competitive, but it is crucial that the byproduct sales provide an income. The overall estimates show it is necessary with further calculations to estimate the profitability more precisely for a specific production plant. Today there is economic and technological uncertainty related to sustainable biofuel production. Predictable and long term framework conditions are needed to reduce risk and realize sustainable aviation biofuel as an environmental alternative for Norwegian aviation.

Figure III – Bio refinery and storage tanks © Neste Oil



SAMMENDRAG

Luftfartsbransjen i Norge ønsker å bidra aktivt til å redusere klimagassutslippene fra luftfart og har de siste årene utført en storstilt flåteutskifting og energieffektivisering for å redusere utslipp. Med forventet trafikkvekst er imidlertid ikke disse tiltakene tilstrekkelige for å oppnå en netto stabilisering eller reduksjon av klimautslippene fra bransjen. I tillegg til flåtefornying er bruk av bærekraftig Jet A-1¹⁰ biodrivstoff til fly det viktigste tiltaket for å begrense klimagassutslippene fra luftfarten de neste 10-15 årene.

Luftfartsbransjen ønsker å bidra til å styrke kunnskapsgrunnlaget om mulighetene for å etablere produksjon av bærekraftig Jet A-1 i Norge, for dermed å fremskynde en potensiell produksjon. Denne utredningen søker dermed å gi svar på tre grunnleggende spørsmål før et eller flere anlegg kan etableres i Norge:

1. *Hvilken teknologi og råstoff er egnet for norsk produksjon av fornybar Jet A-1 innen 2020-25?*
2. *I hvilken grad kan biodrivstoffet bli bærekraftig i forhold til natur og miljø, sosiale forhold og økonomi?*
3. *Kan det produseres konkurransedyktig slik at bærekraftig Jet A-1 vil bli etterspurt av luftfartsbransjen?*

Det er i dag ingen flytekniske hinder for å ta biodrivstoff i bruk. Sertifiserte produksjonsruter for biodrivstoff finnes, og omfattende prøveflygninger har blitt gjennomført. Drivstoffet produseres imidlertid foreløpig kun i små volum som del av pilotprosjekter, og til høye kostnader.

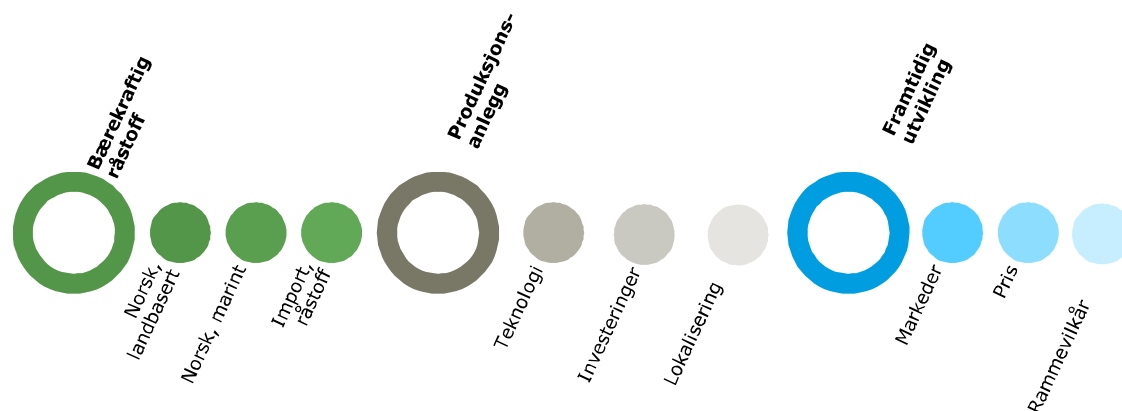
Rambøll har utredet mulighetene for å etablere en bedriftsøkonomisk lønnsom produksjon av bærekraftig biodrivstoff til sivil luftfart i Norge, støttet av delutredninger fra eksterne fagmiljøer på spesifikke temaer:

1. «Benchmarking av konverterings- og produksjonsteknologier for biodrivstoff til luftfart», Sintef Energi,
2. «Bærekraftig landbasert biomassepotensial», Universitetet for Miljø og Biovitenskap, UMB, «Mulighetsstudie lokalisering og logistikkanalyse for prosessanlegg for produksjon av biodrivstoff», Analyse og Strategi,
3. «Marine ressurser for biodrivstoff til luftfart», DNV KEMA,
4. «Import av biomasse og biodrivstoff for luftfart», LMC International.

Hele produksjonskjeden fra uttak av biomasse til etablering og drift av produksjonsanlegg er kartlagt og dokumentert. Figuren under viser hovedpunktene som er blitt utredet.

¹⁰ Syntetisert Jet A-1 basert på biomasse

Figur 1 - Hovedpunkter som er blitt utredet



Et utgangspunkt for utredningen har vært at produksjonen skal baseres på lokale og nasjonale ressurser for en *norsk* verdikjede. Importmuligheter har vært sett på kun som et supplement. Det har ikke vært en del av oppgaven å sammenligne bærekraftig Jet A-1 med andre tiltak i luftfarten, og utredningen omfatter heller ikke samfunnsøkonomiske vurderinger knyttet til produksjon av fornybar Jet A-1 i Norge. EUs bærekraftskriterier er brukt som definisjon på bærekraft i prosjektet. Av bærekrafthen-syn er det sett bort fra råstoff som kan brukes som mat eller fôr til husdyr.

Bærekraftig biodrivstoff til luftfart innebærer at følgende forhold må håndteres på en god måte:

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

Biodrivstoff kan produseres bærekraftig, men kan også produseres på måter som har negative virkninger på natur eller samfunn. Hele produksjonskjeden for biodrivstoff avgjør om drivstoffet er bærekraftig, og spesielt har råstoffet stor betydning.

Både teknologiske og økonomiske forhold, og det institusjonelle rammeverket rundt storskala produksjon og bruk, er i en tidlig fase. Med økt kunnskap vil også bedre metoder utvikles for å beregne og håndtere effektene knyttet til viktige spørsmål som arealbruksendringer, karbondjeld, albedo og sosiale forhold.

Skogressurser vil være det viktigste råstoffet for produksjon av biodrivstoff til luftfart i Norge i 2020/25. Den årlige tilveksten i norske skoger er i dag på 28 mill. fm³ (fastkubikkmeter). Av dette utgjør 17 mill. fm³ såkalt «nasjonalt balansekvantum», den mengden som kan tas ut i 2012 uten at det på noe tidspunkt senere vil være mindre å ta ut¹¹. Til sammenligning er den totale avvirkingen i Norge i dag omlag 11 mill. fm³ per år. Dette innebærer en teoretisk mulighet for å hente ut 6 mill. fm³ mer enn i dag uten å gå utover «balansekvantumet».

¹¹ I denne størrelsen er det lagt inn miljørestriksjoner for skogvern og Levende Skog standardene

En flaskehals for produksjon av bærekraftig biodrivstoff vil være tilgangen på tilstrekkelige mengder av bærekraftig råstoff. Derfor vil det ikke være mulig, om enn ønskelig, å erstatte alt fossilt flydrivstoff med biodrivstoff med dagens kjente teknologi.

PRODUKSJONSPROSESSER OG TEKNOLOGI

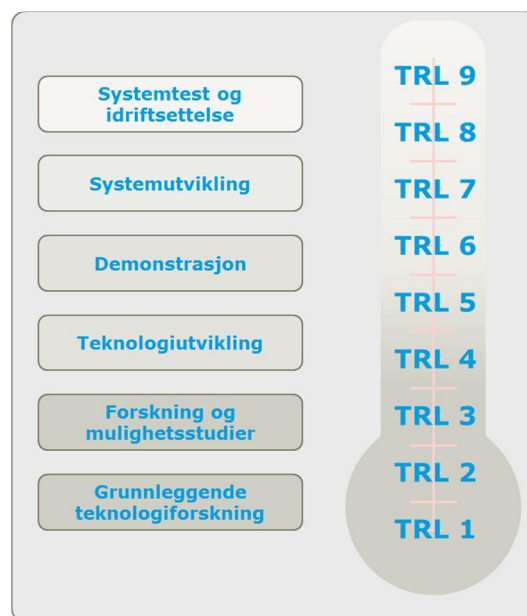
Av flere mulige produksjonsprosesser vurderer Rambøll to av dem som best egnet for en norsk verdikjede innen 2020/2025:

1. Termokjemisk prosessering og forgassing av biomasse fra skog (Fischer-Tropsch, FT)
2. Raffinering av bio-alkoholer¹² til Jet A-1 (Alcohol-to-Jet, AtJ).

For å forstå hvilke teknologier som er egnet for norske forhold kan en metodikk utviklet av Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI) benyttes. Denne metoden er basert på Technology Readiness Level (TRL) utviklet for å fastslå modenhet for teknologier, biodrivstoff og verdikjeden for råstoff i tilknytning til fullskala produksjon. TRL er en anerkjent metode i USA og EU for identifisering av modenhet. *Fuel Readiness Level* (FRL) er en metodikk for å fastslå hvor modent et biodrivstoff er, dvs. hvor langt det er fra kommersialisering. *Feedstock Readiness Level* (FSRL) har de samme fasene som FRL og beskriver verdikjeden for biomassen i forhold til modenheten til drivstoffet. En kommersialisering av store volum av drivstoff kan aldri gjøres uten at verdikjeden for biomasse er godt etablert.

Aktører som skal etablere storskala produksjon av biomasse til biodrivstoff og biodrivstoffproduksjon kan med fordel benytte disse skalaene og metodikken til CAAFI. Modenhet kan også si noe om når ulike produksjonsnivå kan forventes, f.eks. mindre volum fra lab, pilotskala og mest interessant fullskala.

Figur 11 – Skala for teknologimodenhet, Technology Readiness Level (TRL)



For Norge er det mulig å etablere flere ulike verdikjeder for bærekraftig biodrivstoffproduksjon. Hovedspørsmålet som må besvares er hvilke fortrinn som eksisterer i Norge. Mange andre land har lavere råstoffkostnader og andre konkurransefortrinn. Under listes de viktigste og mest sannsynlige gjennomførbare verdikjedene for produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart fram mot 2020/25.

1. Termokjemisk prosessering og forgassing av rest- og avfallsprodukter i tett tilknytning til treforedlingsindustri.

Termokjemiske prosesser, som inneholder produksjon av syntesegass ved hjelp av en Fischer-Tropsch-prosess, kan produsere Jet A-1 i henhold til dagens drivstoffspesifikasjoner for fly. De fleste leddene i prosessen er etablert i stor skala i olje og gassindustrien, blant annet fra naturgass til flytende drivstoff, og det har blitt produsert flydrivstoff på denne måten fra kull helt siden 50-tallet. Hovedutfordringen er gassifisering av biomasse og rensing av gassen før syntesegassproduksjon. Flere initiativ og forskningsprogram, f.eks. EU Flight Path delfinansiert av EU's 7 rammeprogram, har som mål at luftfart skal bruke 2500 millioner liter med bærekraftig biodrivstoff i 2020. Et mål er å etablere en serie med FT-anlegg, hvorav minimum ett på 1,2 millioner liter Jet A-1, allerede innen 2015!

2. Andregenerasjons bioetanol, primært fra skog, med oppgradering av alkohol til Jet A-1

For å produsere Jet A-1 via bioalkohol må først alkoholen produseres og deretter raffineres videre

¹² Bioetanol, bio-butanol osv.

til Jet A-1 via en prosess kalt Alcohol-to-Jet (AtJ). Fordelene med denne verdikjeden er at det produseres mangfoldige bioalkoholer i store volum globalt til relativt lave priser, men også mer bærekraftig andregenerasjons bioetanol fra skog. Bioetanol kan også produseres fra alger. Borregaard produserer i dag mer enn 20 mill. liter bioetanol fra norsk skog, og har regnet på muligheter til å oppskalere til opp mot 100 mill. liter hvis prisene på spesialkjemikalier går ned og bioetanol opp. Spesielt norsk gran er en ressurs som effektivt kan prosesseres til bioetanol på grunn av andelen C6-sukker som kan prosesseres. Alle trinnene i AtJ er kjent fra petrokjemisk industri, men er umodent for bioalkoholer til jetparafiner.

3. Termokjemisk prosessering av husholdnings og industriavfall med høytemperatur gas-sifisering

Avfall kan være en kilde til syntetisert drivstoff, hvor et miljøproblem potensielt kan løse et annet. Klimaeffekten til drivstoffet avhenger av LCA-analyser for avfall og andelen fornybar masse. Det har ikke vært mulig å regne detaljert på dette forretningskonseptet i studien, men prosjektteamet har fått innsikt i attraktive forretningskonsept, bl.a. i Storbritannia, hvor et anlegg for syntetisert drivstoff skal bygges fra slutten av 2013. I Norge er det bygget store anlegg for avfallsforbrenning, men mye avfall eksporteres til Sverige. Forretningskonseptet har blitt nedprioritert for detaljerte studier da råstoffet ikke er 100 % fornybart, det er stor konkurranse om ressursene, og det er en økende grad av resirkulering som kan føre til et lavere potensial for drivstoffproduksjon. Det er dessuten etablert stor forbrenningskapasitet i Norge den siste tiden. Det importeres også avfall fra Storbritannia til Norge for forbrenning.

4. Tredjegerasjons bioetanol fra bærekraftig dyrkede makroalger, med oppgradering av alkohol til Jet A-1

På lengre sikt, i perioden fra og med 2025, kan biodrivstoff fra makroalger være en mulighet. Det finnes gode dyrkingsforhold for bærekraftige makroalger langs norsk kyst og i norske fjorder. Det eksisterer planer for et pilotanlegg for makroalgedyrking i Trondheimsfjorden i løpet av de neste 3-4 årene og utviklingen innen mikrobiologi for å omdanne alginat til sukker for alkoholproduksjon har kommet langt. Dette anses imidlertid ikke å være en aktuell prosess for produksjon i større skala i Norge innen tidshorisonten for denne utredningen dvs. 2025.

5. Tredjegerasjons bioetanol fra mikroalger i fotoreaktorer i tilknytning til norsk energigivende industri

Med mer forskning på arktiske alger som vokser fort i kalde forhold og med lite direkte lys kan dyrking av mikroalger i Norge bli en ny industri. Norge har en industri med mye spillvarme i tillegg til CO₂ fra olje- og gass samt metallindustri som kan benyttes som innsatsfaktorer. Det har blitt identifisert 33 industrielle anlegg i Norge med teoretisk sett nok CO₂ til 40 mill. liter algeoljer, og 8 anlegg med nok CO₂ for 200 mill. liter algeoljer, basert på 2 kg CO₂/kg alge. En hovedutfordring er tilgang på nok bærekraftig tilgjengelig næringsstoffer, i tillegg til det som fins naturlig i havet. I dagens marked er imidlertid prisen for flydrivstoff lavere enn for alternative produkter som algene kan brukes til. I prosjektets delrapport om marine ressurser er DNV KEMA av den oppfatning at det vil bli produsert lite eller ingen biomasse eller olje fra mikroalger til drivstoffproduksjon i Norge innen 2025. Først etter 2030 antas AtJ-prosessen basert på bioetanol fra norske mikroalger å kunne være en realitet.

Til tross for at HEFA-prosessen er teknologisertifisert for produksjon av fornybar Jet A-1 ble *HEFA, hydrogenraffinert estere og fettsyrer*¹³, vurdert som uegnet. Utfordringen for en norsk verdikjede er tilgang til råstoff, som enten er oljevekster eller fettsyrer (for eksempel slakteavfall). Begge deler er det begrenset tilgang til i Norge, slik at produksjonskjeden ville måtte baseres hovedsakelig på importert råstoff. Internasjonalt er slikt råstoff i liten grad bærekraftig (tradisjonelle oljevekster) og i tillegg har råstoffet høye kostnader (oljeholdige energivekster).

¹³ HEFA-SPK, også referert til som Hydrotreated Renewable Jet (HRJ) eller Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

Alternativ 1, 2 og 3 anses som mest realistisk å få etablert innen 2020/25. Alternativ 4 kan være aktuelt fra og med 2025, mens alternativ 5 først kan forventes realisert i Norge etter 2030. Resultatene er basert på analyser av modenhet for teknologiene, biodrivstoffet og råstoffet ved hjelp av metodikken for Technology, Fuel og Feedstock Readiness Level, med skala fra 1 til 9.

VOLUM AV RÅSTOFF OG BIODRIVSTOFF

For å oppnå luftfartssektorens egne målsetninger om 10-15 % reduksjon i klimagassutslipp fra bransjen i 2020-25 ved innføring av biodrivstoff¹⁴, er det behov for i størrelsesorden 190-250 millioner liter fornybar Jet A-1 ved gitte forutsetninger. Dette tilsvarer biomasse med et energiinnhold på 6-8 TWh¹⁵. Alt biologisk nedbrytbart materiale fra landbruk, skogbruk, fiske, avfall m.m. kan brukes som råstoff til biodrivstoff. Dersom råstoffet er norsk skog¹⁶ vil målsetningen eksempelvis innebære 2,7 – 3,6 mill. fm² (fastkubikkmeter).

Til sammenligning ville gjennomføring av tiltakene i transportsektoren fra Klimakur 2020¹⁷ som forutsatte bruk av biomasse fra skogen, øke etterspørselen med i underkant av 6,6 mill. fm², eller i underkant av 14 TWh. Det ble i 2010 brukt bioenergi i Norge tilsvarende 17 TWh totalt.¹⁸ Med effektive industriklynger og bioraffineri med optimal bruk av alle bestanddeler i biomassen og effektive teknologier kan konverteringsgraden øke.

Det er en politisk målsetning i Norge å øke bruken av bioenergi, samt å bidra til å utvikle andregenerasjons biodrivstoffproduksjon. Forskning og utvikling i Norge til dette støttes i dag av Forskningsrådet, Innovasjon Norge, Transnova, Toppforskningsinitiativet til Nordisk Energiforskning og med midler fra EU's rammeprogram innen fornybar energi.

Skogsråstoff er nøkkelen til både mer bioenergi og mer biodrivstoff. Det er dermed grunn til å tro at det ikke vil bli lagt restriksjoner på bruk av skogsråstoff til biodrivstoffproduksjon, gitt at det oppfyller bærekraftskriteriene. Skogsråstoff er en bærekraftig ressurs dersom det avvirkes og brukes på en optimal måte. Det beste tømmeret kan fortsette å lagre karbon som del av langvarige treprodukter, mens lavere kvaliteter og hogstavfall kan gå til energi- og drivstoffproduksjon. Dessuten viser analyser at det er et betydelig potensial for import av bærekraftig, konkurransedyktig råstoff tilgjengelig i de internasjonale markedene i 2020.

For luftfartsbransjen beregner IEA at selv med det mest ambisiøse målet for å overholde 2° C-målet vil det ikke produseres noe biodrivstoff til fly av betydning før 2020. Forbruket antas riktignok å øke til 17 mill. tonn oljeekvivalenter (Mtoe) i 2025 og 70 Mtoe i 2050. 17 Mtoe i 2025 tilsvarer ca. 20 mrd. liter Jet A-1 og 70 Mtoe tilsvarer omtrent 87 mrd. liter. Grovt regnet betyr dette ca. 13 % av all biodrivstoffproduksjon globalt i 2020 og 30 % i 2050. IEA baserer sitt scenario på en ambisiøs politisk vilje og implementering av langsiktige virkemidler for å nå disse målene.

LIVSSYKLUSANALYSER OG KLIMAEFFEKT

Rambøll har beregnet klimaeffekten for de to mest egnede norske verdikjedene for biodrivstoff til luftfart:

¹⁴ Følgende faktorer er brukt: Utslippsreduksjon på 60 - 80 % fra biodrivstoffet sammenlignet med fossilt, et forventet forbruk på ca. 1000 mill. liter flydrivstoff i Norge i 2020. Konverteringsgrad fra biomasse til drivstoff er satt til 14 % på massebasis. Konverteringsgrad kan være opp mot 25 %, da vil råstoffbehov for å oppnå 15 % klimaeffekt være lavere.

¹⁵ Energiinnhold = 5 kWh/kg. En høyere konverteringsgrad, som kan være opp mot 25 %, vil gi et lavere antall liter for å oppnå 15% klimaeffekt.

¹⁶ Biomasse med ca. 50 % fuktighet

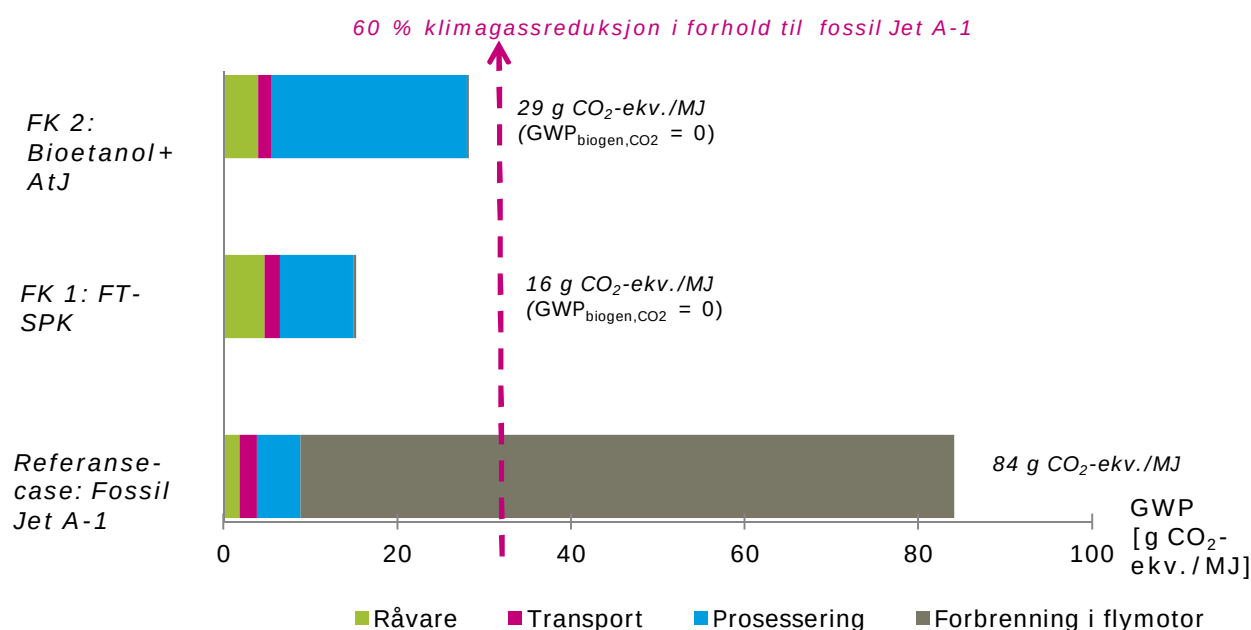
¹⁷ F.eks. Biodiesel og bioetanol for landtransport, elektrifisering av biler og tog etc.

¹⁸ Trømborg, E., Bolkesjø, T. F., Bergseng, E., Rørstad, P. K., (2012). *Biomassetilgang fra landbaserte ressurser*, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap

1. Fischer Tropsch Jet A-1, termokjemisk prosessering og forgassing av skogsråstoff fra Norge
2. Bioetanol fra skogsråstoff med oppgradering til Jet A-1 via Alcohol-to-Jet (AtJ)

Beregningene av klimaeffekter har i denne studien blitt utført som livssyklusanalyser, hvor hele verdikjeden fra og med høsting av råvare og til og med forbrenning i flymotoren inngår. For begge forretningskonsepter viste resultatene en reduksjon i klimaeffekt i forhold til den fossile referansen, henholdsvis 81 % for FT-prosessen og 65 % for AtJ-prosessen. Begge oppfyller dermed Fornybardirektivets bærekraftskriterier i forhold til minimum 60 % redusert klimaeffekt for biodrivstoffproduksjon i anlegg bygget etter 2017. Resultatene er vist i figuren under.

Figur III - Well-to-wing GWP₁₀₀-resultater sammenlignet med EUs bærekraftskriterier



Resultatene ovenfor er beregnet med bakgrunn i Fornybardirektivets metodikk for beregning av klimaeffekt fra biodrivstoff. Dette innebærer at biogene¹⁹ CO₂-utslipp tilegnes null klimaeffekt.

Biogene CO₂-utslipp regnes vanligvis som klimanøytrale, men ettersom dette er en praksis som har blitt diskutert i senere år ble det i denne studien også beregnet klimaeffekter i en modell hvor slike utslipp tilegnes en klimaeffekt. Avhengig av hvilken tidshorisont som benyttes for klimagassutslipp, vil klimaeffekten fra biogene klimagassutslipp variere stort. Det mest vanlige er å betrakte klimaeffekter i et 100-års perspektiv, og det er derfor dette som er benyttet i resultatene som presenteres her (ref. kapittel 5).²⁰ Klimaeffekten fra de biogene CO₂-utslippene ble beregnet ved hjelp av en modell utviklet av NTNU og CICERO. Resultatene fra modellen med denne tilnærmingen er gjengitt i kapittel 6.5 og gir en indikasjon på hvilke usikkerheter som eksisterer i klimaberegninger for biomasse.

Ettersom det kun er bygget et fåtall mindre pilotanlegg og ingen storskala anlegg med biomassebasert Jet A-1 produksjon, er datagrunnlaget for selve konverteringsteknologiene relativt usikkert. Sensitivitetsanalyser viser at avhengig av hvilke konverteringsgrader som legges til grunn, vil disse ha stor innvirkning på drivstoffets totale klimaeffekt. Det påpekes derfor at resultatene fra disse analysene ikke utgjør noen endelig fasit, og at fremtidig teknologiutvikling kan redusere de beskrevne verdikjedenes klimaeffekt ytterligere.

¹⁹ Med biogene utslipp menes utslipp som oppstår i forbindelse med forbrenning og/eller forråtnelse av biomasse

²⁰ I prosjektets notat om livssyklusanalyse er også effekten av en lengre tidshorisont illustrert.

Ny forskning fra NTNU og CICERO Senter for klimaforskning viser at albedo-effekten ²¹ er så stor for boreal skog at den kan oppveie en betydelig andel av utslippene knyttet til karbondioksid fra skogressurser. Grunnet manglende standardisert metodikk for inkludering av albedoeffekter i livssyklusanalyser er ikke dette aspektet kvantifisert i analysene.

Kort oppsummert er klimaberegninger for biomasse og biodrivstoff generelt et felt hvor det fortsatt eksisterer mye usikkerhet både i forhold til metodikk og datagrunnlag. Livssyklusanalysene i denne studien er utført etter beste evne med det informasjonsgrunnlag som eksisterer per dags dato. Samtidig er dette et felt hvor det forskes mye og det kan derfor antas at metodikken vil fortsette å utvikle seg. Tilsvarende vil datagrunnlaget forbedres i årene som kommer etter hvert som flere konverteringsanlegg blir bygget.

ESTIMERTE PRODUKSJONSKOSTNADER

Produksjon av fornybar Jet A-1 kommer i dag fra flere ulike og umodne teknologier hvor ingen anlegg så langt er bygget i fullskala. Dagens markedspriser for fossil Jet A-1 (ca. 6) NOK/liter) er langt lavere enn de beregnede produksjonskostnadene for fornybar Jet A-1. På grunnlag av resultatene fra de respektive fagrapportene er det foretatt en estimering av forventede produksjonskostnader for et mulig produksjonsanlegg for biomassebasert Jet A-1. Estimaten tar utgangspunkt i de to mest egnede teknologiene; *Fischer-Tropsch (FT-SPK)* og *Alcohol to Jet (AtJ-SPK)*.

Et produksjonsanlegg som produserer 50 mill. liter i året av biodrivstoff av ulik kvalitet er lagt til grunn for kostnadsberegningene i denne utredningen. Et FT-produksjonsanlegg vil normalt kunne produsere ca. 50 % Jet A-1. Biodiesel, nafta og andre biprodukter utgjør resten av produktene. Det vil være behov for 8-10 slike anlegg, eventuelt færre og større anlegg, for å produsere 230 mill. liter Jet A-1. En mulighetsstudie for gunstige lokaliseringssteder for anlegget er gjennomført, og det er beregnet tilhørende logistikk-kostnader. I økonomimodellen er det antatt at anlegget vil ligge innenfor anbefalte områder (se Kap. 4.3).

Produksjonskostnadene for FT-SPK er i 2012 estimert til ca. 11 NOK/liter. Disse forventes å reduseres til ca. 7 NOK/liter i 2025 basert på teorien om læringskurver (beskrevet i detalj i vedlegg 7). En viktig forutsetning for dette estimatet er at anlegget også vil ha inntekt fra salg av flere biprodukter som biodiesel og bionafta.

For et termokjemisk anlegg (FT) basert på norsk skogvirke, som også produserer diesel og nafta, er det beregnet at et anlegg med forventet produksjonskapasitet på 50 mill. liter/år kan produsere opp mot 27 mill. liter Jet A-1 per år. Råstoffbehovet (tørket biomasse, oppkuttet flis) per år er estimert til 243.000 tonn, som betyr ca. 9 kg råstoff pr liter Jet A-1. Produksjonskostnadene er basert på en antatt råstoffkostnad på 1 kr per kg tørket råstoff og investeringskostnader på minimum 1.7 mrd. NOK, kun for etablering av anlegget.

Produksjonskostnaden for et FT-SPK anlegg forventes å ha følgende kostnadsfordeling:

Tabell 1 – Produksjonskostnader for FT-SPK

Kostnadspost	Kroner per liter	Prosentvis andel
Investeringskostnader	5	35 %
Råstoffkostnader	9	56 %
Andre driftskostnader	2	13 %
SUM PRODUKSJONSKOSTNADER	16	100 %

²¹ Forholdet mellom reflektert innstråling og den totale lysstrålingen fra sola kalles albedo. Albedo-effekten referer til nedkjøling av atmosfæren ved at jordas overflate reflekterer tilbake innstråling.

Det må presiseres at de beregnede produksjonskostnadene i tabellen over kun gjelder for Jet A-1. Ved å inkludere inntektene fra salg av biprodukter vil de estimerte produksjonskostnadene i 2012 altså være på om lag 11 NOK/liter for FT-prosessen.

Foruten teknologisk utvikling vil også utvikling av markedsprisen for Jet A-1 være avgjørende for at FT Jet A-1 fra biomasse skal bli kommersielt lønnsom. Basert på historisk utvikling av markedsprisen for Jet A-1, og de videre prognosene for denne, viser estimatene at fornybar Jet A-1 sannsynligvis vil kunne bli kommersielt lønnsomt innen 2025. I et optimistisk scenario for teknologiutvikling er det estimert at kommersialiseringen av teknologien kan finne sted allerede i 2021 hvor det er estimert at markedsprisen og Jet A-1produksjonskostnadene for FT vil være ca. 7 NOK/liter.

De økonomiske beregningene er gjort på grunnlag av en rekke ulike forutsetninger; Flere av teknologiene er på pilot og demonstrasjonsnivå, og ettersom man derfor har et begrenset utvalg av offentlig tilgjengelig informasjon er estimatene heftet med relativt stor usikkerhet

Det er gjort en tilsvarende beregning for et AtJ-SPK anlegg. Fordelingen av produksjonskostnadene forventes å bli som følger:

Tabell II – Produksjonskostnader for AtJ

Kostnadspost	Kroner per liter	Prosentvis andel
Investeringskostnader	1	4 %
Råstoffkostnader	24	89 %
Andre driftskostnader	2	7 %
SUM PRODUKSJONSKOSTNADER	27	100 %

Med en utbyttegrad på en liter Jet A-1 per fire liter bioetanol, samt en bioetanol-pris på 6 NOK/liter er de totale produksjonskostnadene for AtJ-prosessen estimert til å være på hele 27 NOK/liter Jet A-1 i 2012. Råstoffkostnaden (bioetanol) utgjør nærmere 90 % av de totale produksjonskostnadene. En viktig forskjell fra FT er at dette regnestykket ikke inkluderer salg av biprodukter. Produksjonskostnadene for AtJ er videre antatt å bli redusert til 19 NOK/liter i 2020 og videre ned mot 15 NOK/liter i 2025.

For AtJ-SPK er konklusjonen at teknologien er svært avhengig av utviklingen til prisen for bioetanol. Reduserte bioetanolpriser kombinert med forbedrede konverteringsfaktorer for antall liter Jet A-1 pr liter bioetanol vil være avgjørende for denne teknologiens kommersielle potensial.

For AtJ vil biproduktene variere i forhold til hvilken prosess som velges da det er mange mulige alternativer. Basert på en valgt prosess må man foreta en dyptgående analyse av kjemisk sammensetning på biproduktene og tilhørende produkttegenskaper for å finne ut hvilke markeder biproduktene kan selges i. Det har dermed ikke vært mulig å estimere inntekspotensialet for salg av biprodukter med foreliggende data, og følgelig kan det heller ikke beregnes en literpris fra AtJ-prosessen hvor biproduktene er medregnet.

VEIEN VIDERE FOR ETABLERING AV BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFFPRODUKSJON

Bærekraftig biodrivstoffproduksjon for luftfart kan etableres i Norge, både andregenerasjons og tredjegerasjons, fram mot 2025. Dette krever en vilje og langsiktig satsning fra både industri og myndigheter hvor unik norsk kompetanse innen bærekraftig skog og havbruk, biomasselogistikk, raffinering og distribusjon av drivstoff, både fra fossile ressurser, men også bioraffinerier, kan utnyttes.

For en suksessfull etablering av biodrivstoff for luftfart anbefales det følgende aksjonspunkter for å stimulere markedet: biomassetilgang, raffinering og produksjon, i tillegg til sertifisering og bærekraft.

Det viktigste punktet er at nasjonale myndigheter med energi, biomasse, raffineri og bærekrafts-ekspertise bør utvikle en nasjonal strategi og handlingsplan for bruk av biomasse til energi og trans-

portformål, «rett biomasseressurs til rett formål og rett tid». Luftfart har ingen andre alternativer enn drop-in drivstoff på kort og lang sikt.

For at det skal bli produsert volum av noen betydning i Norge må nasjonale myndigheter, i tett dialog med industriaktører, etablere utvidete støtteordninger og andre tiltak for alle aktører i en verdikjede for bærekraftig biodrivstoff, med fokus på oppskalering og kommersialisering. Flyselskap, biodrivstoffprodusenter og investorer bør også etablere risikoreduserende tiltak for bærekraftige råstoffprodusenter og fleksible bioraffinerier, for å etablere et marked og håndtere finansiell risiko.

For at biomasse skal bli tilgjengelig må stimulerende tiltak forstås i forhold til hele bioøkonomien i Norge og Norden. Hvis etterspørselen etter fornybare materialer til bygg, konstruksjoner og møbler økes, kan avfall fra treforedlingen bli tilgjengelig for biodrivstoff. Produsenter av bærekraftig bioråstoff bør etablere nye forretningsmodeller og nye kontrakter for tilgang til eksisterende biomasseressurser. Dette kan innebære nye forretningsmodeller innen «skog- og biomassebank», som aktivt kan forvaltes av større skogforvaltere. I et noe lenger perspektiv bør forskningsinstitusjoner og biomasseprodusenter intensivere kartleggingen av potensialet for nye biomasseressurser, spesielt arktiske mikroalger og lokale makroalger for Norge sin del.

For produksjonsanlegg og raffinerier bør biodrivstoffprodusenter i samarbeid med råstoffeiere og forvaltere, flyselskap, fossil raffineriindustri og myndigheter:

- Etablere demonstrasjonsanlegg for produksjon av biodrivstoff, både termokjemisk fra avfall fra treforedlingsindustri og biokjemisk fra andre- og tredjegenasjons bioalkoholer
- Etablere tilgang til fossil raffineringskapasitet og infrastruktur på flyplasser.

Myndigheter og industri med finansiell støtte og deltakelse i Standard Norge sin Bioenergikomiteé, bør etablere bærekraftskriterier for råstoff og verdikjeder for norske forhold som er harmonisert med standardiseringsarbeidet i CEN og ISO.

Ballen ligger først og fremst hos myndighetene for å legge til rette for en langsiktig og forutsigbar utvikling for riktig bruk av begrensede biomasseressurser.

Figur IV – Bioraffineri og lagertanker i Rotterdam © Neste Oil



KONKLUSJONER

Som svar på de tre hovedspørsmålene konkluderer prosjektet som følger:

Dersom produksjon av fornybar Jet A-1 skal baseres på norsk råstoff vil det frem mot 2020-25 være norsk skog som er den viktigste råstoffkilden. Det vil også være mulig å supplere med importert råstoff til konkurransedyktige priser.

Drivstoffene som produseres i de to prosessene tilfredsstiller kravene i EUs bærekraftskriterier, som her utgjør definisjonen av bærekraft. Livssyklusanalysene viser en klimabesparelse på 81 % for Jet A-1 fra en FT-prosess og 65 % for en AtJ-prosess sammenliknet med fossil Jet A-1. Dette er bedre enn bærekraftskriterienes krav om 60 % klimaeffekt.

I følge analysen er det teknisk og økonomisk mulig å tilrettelegge for produksjon av bærekraftig fornybar Jet A-1 i Norge innen 2020-25. Foreløpige analyser tilsier at man også kan produsere til konkurransedyktige priser, men det er da spesielt viktig at man får solgt biproduktene fra produksjonen. Estimatenes er gjort på et overordnet nivå, og det vil være behov for mer detaljerte kalkyler basert på et spesifikt anlegg for å analysere lønnsomheten mer nøyaktig. Dagens teknologiske og økonomiske usikkerhet knyttet til slik produksjon gjør at forutsigbare og langsiktige rammevilkår er nødvendig for å redusere risiko, og dermed realisere bærekraftig Jet A-1 som et miljøvennlig alternativ for norsk luftfart.

1. BAKGRUNN

1.1 Utfordringen

Luftfartsbransjen i Norge ønsker å være aktivt med og drive utviklingen for å etablere bærekraftig biodrivstoffproduksjon. Norsk luftfart har de siste årene utført en storstilt flåteutskifting og energiefektivisering for å redusere utslipp. Med forventet trafikkvekst er disse tiltakene ikke tilstrekkelige for å oppnå en netto stabilisering eller reduksjon av klimautslippene fra bransjen. Innblanding av bærekraftig biodrivstoff er derfor et viktig tiltak for en bærekraftig luftfart ^[1]

Denne rapporten er en utredning om mulighetene for å produsere bærekraftig biodrivstoff til sivil luftfart i Norge. Utredningen er gjort for Avinor og norsk luftfartsbransje ved NHO Luftfart, Norwegian og SAS, i tidsperioden desember 2011 til desember 2012. Representanter for oppdragsgiverne har utgjort prosjektets styringsgruppe. Rambøll har hatt ansvaret for prosjektledelse og hovedrapportens analyser og konklusjoner. Disse bygger på en serie arbeidspakker utført av andre fagmiljøer, hhv. Analyse & Strategi, Det Norske Veritas (DNV KEMA), LMC International, Sintef Energi og Universitetet for miljø og biovitenskap (UMB).

Figur 1-1 – Arbeidspakker for verdikjeden for bærekraftig biodrivstoff til luftfart



Bakgrunnen for oppdraget er luftfartsbransjens ønske om finne effektive tiltak for å redusere næringens klimagassutslipp, i en situasjon der flytrafikken forventes å øke fremover. I tillegg til de tiltakene som allerede er igangsatt for luftfarten vil biodrivstoff kunne være det mest effektive enkelttiltak på kort og mellomlang sikt. Det er i dag ingen flytekniske hindre for å ta biodrivstoff i bruk. Sertifiserte produksjonsruter for biodrivstoff finnes, og omfattende prøveflygninger har blitt gjort. Drivstoffet produseres imidlertid foreløpig kun i små volum som del av pilotprosjekter, og til høye kostnader, typisk det dobbelte av kostnader for konvensjonell, fossil Jet A-1. Bærekraftig biodrivstoff, både økonomiske og miljømessig, er ikke tilgjengelig for norsk luftfart i dag, og produksjon av dette er dermed det største hinderet for dette klimatiltaket.

Gjennom dette prosjektet ønsker luftfartsbransjen å bidra til å styrke kunnskapsgrunnlaget om mulighetene for å etablere slik produksjon i Norge, for dermed å fremskynde en potensiell produksjon. En sentral forutsetning i prosjektet har vært at drivstoffet skal være bærekraftig. Bærekraft har både en

miljømessig, sosial og økonomisk dimensjon. Hvordan bærekraft skal defineres, beregnes og reguleres er en pågående diskusjon både internasjonalt og nasjonalt. Resultatene av disse diskusjonene vil ha stor betydning for bruk av biodrivstoff som klimatiltak i fremtiden. I denne rapporten brukes livssyklusanalyser som et verktøy for å vurdere biodrivstoffets klimaeffekt og miljømessige bærekraft.

Luftfartens økonomiske bæreevne tilsier at drivstoffet på sikt må være konkurransedyktig med fossilt drivstoff. Utredningen legger derfor en bedriftsøkonomisk analyse av produksjonsmuligheter til grunn i de forretningskonsepter som skisseres. Basert på disse har oppdraget vært å beregne en pris per liter drivstoff for bærekraftig biodrivstoff til luftarten fram mot 2020 - 2025.

Utredningen har tatt for seg hele verdikjeden ved produksjon av biodrivstoff – fra produksjon og uttak av biomasse til ferdig drivstoff på flytanken.

1.1.1 Luftfartens miljøutfordringer

Luftfart påvirker miljøet både lokalt og globalt. Det har tidligere vært mye fokus på luftfartens lokale miljøpåvirkning, særlig støy, men også lokale utslipp til luft, vann og grunn.²² I de senere årene har det blitt stadig mer oppmerksomhet rundt luftfartens klimapåvirkning.

Klimagassutslippene fra innenriks luftfart utgjorde i 2011 1,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, eller 2,3 prosent av Norges samlede utslipp. Klimagassutslippene fra utenrikstrafikken, dvs. flygninger til første destinasjon i utlandet, var i 2010 1,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Bransjen forventer sterk trafikkvekst i antall passasjerkilometer frem mot 2025. Effekten av utslipp av CO₂ og andre gasser og partikler i høyere luftlag antas i tillegg å gi raskere oppvarmingseffekt på kort sikt.²³ Utslipp av vandamp og partikler i høyere luftlag har en klimaeffekt i tillegg til CO₂, men biodrivstoff har lavere innhold av partikler og sot, samt svovel og aromater, noe som kan være fordelaktig i denne sammenheng

Luftfartsbransjen i Norge erkjenner klimautfordringene og har kartlagt bransjens egne utslipp og forventet utvikling fremover^[2]. En gjennomgang av klimagassutslippene fra luftfart, med analyse av effekten av tiltak som er gjennomført de siste tre årene, presentasjon av nye tiltak, herunder en introduksjon biodrivstoff, samt framskrivninger for klimagassutslipp fra sivil luftfart i og fra/til Norge finnes i rapporten *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart* ^[1].

Både internasjonalt og nasjonalt er det iverksatt en rekke tiltak for å redusere klimagassutslippene for luftfart. Dette omfatter både administrative og økonomiske virkemidler, samt frivillige tiltak i næringen. I 2012 ble luftfarten en del av det europeiske kvoteregimet.

Næringens viktigste tiltak for å redusere klimagassutslippene er knyttet til flyteknologi og flåteutskifting, flyoperasjoner og drift av lufthavnene. De langt største utslippene kommer fra selve flytrafikken, og det viktigste utslippsreducerende tiltaket på kort sikt er knyttet til flåteutskifting. I 1999 ble det innført CO₂-avgift på flygninger innenlands, og fra 2012 er innen- og utenriksflygninger inkludert i EUs kvotehandelsystem. Med forventet trafikkvekst er imidlertid tiltakene sannsynligvis ikke tilstrekkelige for å nå bransjens egne ønsker om stabilisering av klimagassutslippene²⁴. Helt nye teknologiske løsninger for fremdrift og drivstoff, som for eksempel elektrisk, basert på brenselcelle og batteri, vil kreve omfattende endringer av flydesign og antas ligge langt frem i tid. Luftfart mener derfor at det på kort og mellomlang sikt kun er innfasing av biodrivstoff som vil kunne gi betydelige utslippsreduksjoner ut over effektiviseringstiltakene.

²² Denne utredningen estimerer klimapåvirkningen i livssyklusanalysene. For informasjon om annen miljøpåvirkning, se Avinors årlige miljørapporter på www.avinor.no

²³ Avinor, Norwegian, NHO Luftfart, SAS og Widerøe (2008), *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart* og (2011) *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart, Rapport 2*.

²⁴ Avinor, Norwegian, NHO Luftfart, SAS og Widerøe: *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart* (2011), *Rapport 2*.

Basert på tre ulike utslippsscenarier vurderer bransjen reduksjonspotensialet i Norge for de ulike gruppene tiltak som vist i Figur 1-2.

Figur 1-2 – Reduksjon av utslipp for ulike scenarier ^[1]

	LAV		HØY		HØY+BIO	
	Innland	Utland	Innland	Utland	Innland	Utland
Tiltak 2007-20:						
Flåteutskifting	-25 %	-25%	-30 %	-30 %	-30 %	-30 %
Div flytekniske tiltak	-0,3 %	-0,3%	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %
Div flyoperative tiltak	-2,2 %	-2,2%	-3,8 %	-3,8 %	-3,8 %	-3,8 %
Taksing	-3 %	-3%	-7 %	-7 %	-7 %	-7 %
Single Eur. Sky		-3%		-5 %		-5 %
Effekt av bio fuel					-10 %	-10 %
Sum tiltak 2007-20	-29 %	-31,2%	-37,6 %	-40,8 %	-43,6 %	-46,7 %
Ytterligere tiltak 2020-25:						
Flåteutskifting 2020-25 (i % av 2020-nivå)						
(Totalt hhv -30 % og -40 %)	-6,7 %	-6,7%	-14,2 %	-14,2 %	-14,2 %	-14,2 %
Ytterligere effekt av biofuel (totalt -15 %)					-5,5 %	-5,5 %

1.1.2 Biodrivstoff som klimatiltak

I det internasjonale samarbeidet for å begrense global oppvarming er økt bruk av bioenergi sett på som et sentralt klimatiltak. Bioenergi er en fornybar ressurs som er velkjent, tilgjengelig og som relativt enkelt kan tas i bruk.

En plante tar i sin levetid opp like mye karbon som det frigjøres ved forbrenning av planten, og karbonregnskapet i en slik karbonsyklus er derfor null. Prinsippet om nullutslipp fra bioenergi er lagt til grunn i nasjonale klimagassregnskap, basert på først OECDs retningslinjer for nasjonale klimagassutslipp fra 1991, og deretter i Klimakonvensjonen og Kyotoprotokollens regelverk. Dersom fossil energi erstattes av bioenergi vil CO₂-utslippene reduseres med like mye som hele det fossile utslippet i løpet av en viss tid.

Bioenergi har også andre egenskaper som gjør det til et attraktivt klimatiltak. Det kan raskt tas i bruk fordi det i mange sammenhenger kan erstatte fossil energi direkte i eksisterende teknologi ved innblanding av biodrivstoffet med lik eller bedre kvalitet enn fossilt. I noen tilfeller er det nødvendig med kun små ombygginger eller tilpasninger for noen typer biodrivstoff. For flydrivstoff (Jet A-1) er kravet at det skal ha samme egenskaper slik at det kan blandes direkte med fossilt drivstoff.

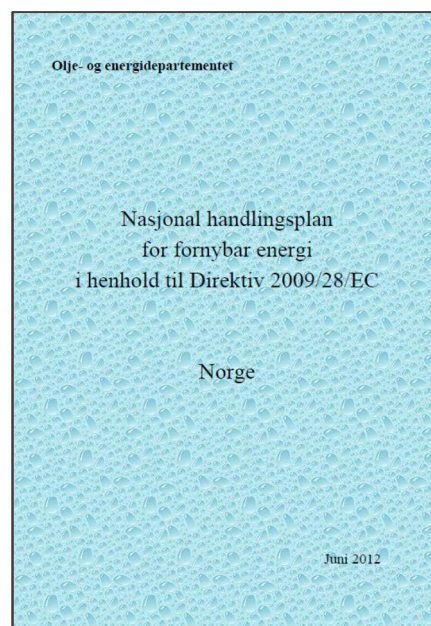
Biomassen fremskaffes via eksisterende logistikk- og verdikjeder i jord- og skogbruket. Dermed kan biodrivstoff være et klimatiltak som relativt raskt kan oppskaleres og erstatte fossilt drivstoff hvis langsiktige og stabile rammevilkår legges til grunn. Bioenergi kan også ha positive økonomiske effekter i jord- og skogbruket gjennom økt etterspørsel, nye produkter og en mer effektiv ressursutnyttelse ved bruk av avfall fra jordbruk eller skogbruk.

I transportsektoren er bioenergi i form av biodrivstoff et sentralt klimatiltak. Mange typer biodrivstoff kan brukes i eksisterende kjøretøy og distribueres via eksisterende infrastruktur. EU fastslo som del av sin klima- og energipakke i 2009 at 10 % av energibruk i transportsektoren i 2020 skal være fornybar energi.^[63] Biodrivstoff anses som sentralt for å oppnå denne målsetningen og EU og de enkelte medlemslandene har etablert en rekke regulativer og økonomiske insentiver for å fremskynde utviklingen og opptaket av biodrivstoff i transportsektoren.

Også i Norge er bioenergi gitt en sentral rolle for å oppfylle våre mål om utslippsreduksjoner og internasjonale klimaforpliktelser. Norske myndigheter har en målsetning om å doble bruken av bioenergi i Norge frem til 2020^[46]. Økt bruk av biodrivstoff er ett av elementene i denne satsningen. Virkemidler myndighetene har tatt i bruk for å fremme biodrivstoff er blant annet avgiftspolitikken, omsetningspåbud for biodrivstoff, tilskuddsordninger, og en strategi for økt forskning og utvikling av andregenerasjons biodrivstoff.

Klimakur 2020 vurderte økt bruk av biodrivstoff og innfasing av mer effektiv transportmiddelteknologi til å være de viktigste tiltakene for å redusere utslippene i transportsektoren.^[44] Og med implementeringen av EUs Fornybardirektiv i norsk rett i desember 2011, har Norge også etablert målsetningen om 10 % fornybar energi i transportsektoren i 2020. I tråd med direktivet har Olje- og energidepartementet utarbeidet en handlingsplan for hvordan målsetningen skal nås. De to tiltakene i transportsektoren er økt bruk av elektrisitet og biodrivstoff, hvorav biodrivstoff står for den største absolutte andelen etter energiinnhold^[33].

Figur 1-3 – Nasjonal handlingsplan for Fornybarenergidirektivet



Med økende produksjon av biodrivstoff internasjonalt har det blitt mer oppmerksomhet rundt utfordringene knyttet til produksjon og bruk av biodrivstoff. Hvorvidt drivstoffet er bærekraftig avhenger av hvordan hele drivstoffets verdikjede er utført. Hvilke vekster som brukes som råstoff, hvordan dette dyrkes og høstes, direkte og indirekte effekter det har på annen jordbruksproduksjon, matvarepriser og endringer i karbonlagre ved arealbruksendringer er noen av spørsmålene. Implikasjonene av prinsippet om nullutslipp ved forbrenning av biomasse diskuteres også i økende grad. For å begrense de negative effektene av økt biodrivstoffproduksjon utvikles det nå mer omfattende kriterier som må oppfylles, og krav til kontroll og dokumentasjon av biodrivstoffets bærekraftighet. EU innførte bærekraftskriterier og rapporteringskrav med Fornybardirektivet i 2009. En rekke frivillige sertifiseringsordninger som bygger på disse kriteriene har frem til nå blitt anerkjent av EU. I oktober 2012 foreslo Europakommisjonen ytterligere innstramning av bærekraftskriteriene.

I Norge har økt usikkerhet rundt biodrivstoffs bærekraft blant annet ført til at norske myndigheters målsetning om å øke omsetningspåbudet i vegtransporten holdes tilbake inntil det kommer på plass tilfredsstillende bærekraftskriterier, og deretter høste erfaring med disse før en ytterligere økning av omsetningspåbudet^[47].

Selv om usikkerheten rundt biodrivstoff gjør at varmheden har økt, står målsetningene om økt bruk av biodrivstoff som et sentralt klimavirkemiddel fast. Bekreftet senest gjennom Regjeringens fremlegging av Stortingsmelding 21 «Norsk klimapolitikk» i mai 2012 og den påfølgende behandlingen i Stortinget. Se for øvrig kapittel 2 for en mer inngående diskusjon om biodrivstoff og bærekraft.

1.1.3 Biodrivstoff for luftfart

Innfasing av en alternativ energibærer for luftfart kan i prinsippet følge to hovedspor. Det kan være et helt nytt drivstoff eller drivsystem som vil innebære innfasing av ny teknologi og ny infrastruktur, eller det kan

Figur 1-4 – Standard for syntetisert Jet A-1



være et alternativt bærekraftig drivstoff som blandes inn i eller fullstendig erstatter konvensjonelt flydrivstoff.^[2]

På lang sikt, mot 2050, og senere kan muligens nye teknologier med hydrogen og elektrisitet være alternativer for luftfart, men syntetisert drivstoff basert på biomasse ser imidlertid ut til å være det mest lovende bærekraftige sporet for alternativ drivstoff til luftfart på kort- og middels lang sikt. Syntetisert biodrivstoff kan blandes inn i, eller fullstendig erstatte, konvensjonelt fossilt drivstoff til fly (Jet A/A-1). Forutsetningen er at et syntetisert drivstoff må ligge innenfor de tekniske kravene til sertifisering av konvensjonelt flydrivstoff.

De siste årene har utviklingen av biodrivstoff til luftfart gått svært raskt. Standarder²⁵ for innblanding av 50 % biodrivstoff ble publisert med spesifikasjoner i vedlegg for Fischer Tropsch Jet A-1 i 2009 og HEFA i 2011. Det er gjennomført mange testflygninger de siste årene, også innen kommersiell ordinær drift.^[1] Lufthansa har f.eks. i 2012 avsluttet et testprogram med fire daglige tur-retur flygninger mellom Hamburg og Frankfurt, totalt mer enn 1500 flygninger. I prosjektet ble det benyttet normale Airbus A321 fly med biodrivstoff fra Neste Oil, som ble laget av energigvekstene jatropha og camelina, i tillegg til fett fra slakteavfall.^[73]

En av de fremste driverne for biodrivstoff for luftfart, og en av verdens største drivstoff-forbrukere, har vært USA sitt Forsvarsdepartement (Department of Defense, DoD). Det er dessuten flere forskningsprogram og initiativ for å kommersialisere produksjon av biodrivstoff til fly både i Europa, Sør- og Nord-Amerika, Midtøsten, Australia og New Zealand, samt noen i Asia, disse beskrives nærmere i kapittel 4 (side 78).

Syntetisert drivstoff kan framstilles helt eller delvis med biomasse, men også kull, naturgass, oljesand og konvensjonell råolje. Noen prosesser kombinerer ulike råstoff, og flere prosesser har stort behov for hydrogen som i mange tilfeller kommer fra reformering av naturgass. I denne rapporten er fokuset på teknologier som kun baseres på bærekraftig biomasse. Syntetisert biodrivstoff må på lik linje som fossilt drivstoff oppfylle strenge krav, gjengitt i tabellen under.

²⁵ D7566 – 11 a – Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons

Tabell 1-1 – Spesifikasjoner for Jet A-1 drivstoff

Krav	Årsak	Spesifikasjon	Spesielle forhold
Energiinnhold	Påvirker rekkevidden til fly	Minimum energiinnhold, 42,8 MJ/kg	Noen biodrivstoff har høyere energiinnhold
Frysepunkt	Pumping av drivstoff i lav temperatur	Maks tillatt frysepunkt, - 47 °C	
Termisk stabilitet	Avleiringer kan tette eller ødelegge drivstoffsystemet og dyser	Maksimalt antall avleiringer i standard test	Noen biodrivstoff er renere enn fossile
Viskositet	Påvirker transport av drivstoff i systemet	Maksimal viskositet	
Forbrenningskarakteristikk	Partikler i forbrenning og i eksos	Maksimalt tillatt svovel og aromater	Noen biodrivstoff er renere enn fossile
Smøreevne	Smøring av viktige komponenter	Maksimalt tillatt slitasje i standard test	Mindre slitasje på komponenter for biodrivstoff
Kompatibilitet med materialer	Drivstoffet kommer i kontakt med mange metaller, polymerer og elastomer (plast)	Maksimalt syreinnhold, og minimum konsentrasjon av aromater	
Sikkerhet	Unngå eksplosjoner ved håndtering av drivstoff og fylling	Minimum ledningsevne og minimum tillatt flammepunkt	

Teknisk sett betyr det lite hvilket råstoff som brukes, så lenge sluttproduktet oppfyller de tekniske kravene. Flyselskap har ikke mulighet til å betale ekstra for et bærekraftig biodrivstoff og drivstoffets innkjøpspris inkludert skatter og avgifter kan dermed ikke være dyrere enn fossilt drivstoff. Det er mange utfordringer som må håndteres for at biodrivstoff skal kunne produseres lønnsomt og for at risikoen skal kunne bli akseptabel for å etablere produksjon av bærekraftig biodrivstoff i industriell skala.

1.2 Målet med prosjektet

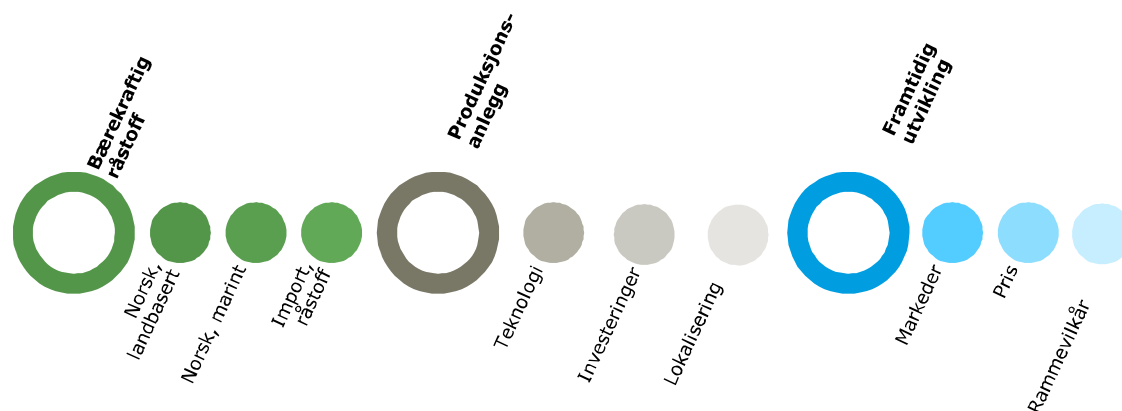
Luftfartsbransjen ønsker et løft for produksjon av bærekraftig biodrivstoff til luftfartsformål i Norge. Derfor har bransjen tatt initiativ til denne utredningen hvor hovedformålet har vært en utredning om det er mulig å etablere en bærekraftig og bedriftsøkonomisk lønnsom biodrivstoffproduksjon til luftfart i Norge innen 2020/25.

Rambøll har vært engasjert som prosjektleder for utredningen, og har dermed hatt ansvaret for:

- I samråd med Avinor å innhente underlagsmateriale fra eksterne fagmiljøer på biodrivstoff for luftfart,
- Utrede hva som skal til for å etablere bedriftsøkonomisk lønnsom biodrivstoffproduksjon til luftfart i Norge
- Undersøke om biodrivstoffproduksjon er bærekraftig

Hele produksjonskjeden fra uttak av biomasse til etablering og drift av produksjonsanlegg er kartlagt og dokumentert, med konkrete forslag til implementering (vist i figuren under). Utredningsarbeidet gir en grundig presentasjon av relevante teknologier og råstoff som kan benyttes i produksjon av biodrivstoff til luftfart. Ettersom biodrivstoffet må være bærekraftig, vil miljømessige og etiske forhold belyses og drøftes.

Figur 1-5 – Hovedpunkter som har blitt utredet



Utredningen beregner en antatt pris på bærekraftig biodrivstoff produsert i Norge i 2020 og 2025. Oppgaven har også omfattet å beregne en klimatiltakskostnad for produksjonsprosessen som skisseres, det vil si kostnaden for å redusere utslippene med ett tonn CO₂-ekvivalenter ved bruk av biodrivstoffet istedenfor konvensjonelt fossilt drivstoff. Dette skulle gjøres med samme metodikk som Klimakur 2020 for å kunne sammenlikne biodrivstoff med andre tiltak.

Fra disse definerte målsetningene følger også avgrensninger for utredningens omfang. For det første er det utenfor rapportens mandat å vurdere andre tiltak for å redusere klimagassutslipp i luftfart. Rapporten tar derfor heller ikke stilling til hvorvidt biodrivstoff er bedre eller dårligere enn andre klimatiltak i luftfart. For det andre er det en *norsk* produksjonskjede som har vært gjenstand for utredningen. Import av råstoff og ferdig produsert biodrivstoff har vært studert som supplement til norsk råstoff. Det har ikke vært en prioritert oppgave å vurdere hvorvidt det er kostnadseffektivt å produsere biodrivstoffet i Norge fremfor å importere det fra utlandet. For det tredje er estimatene som er utført basert på bedriftsøkonomiske analyser. Samfunnsøkonomiske beregninger er ikke en del av mandatet.

I rapporten vurderes klimaeffekten av biodrivstoffet gjennom livssyklusanalyser av noen utvalgte, spesifikke forretningskonsept. Ettersom ulike innsatsfaktorer, forutsetninger og systemgrenser vil gi svært ulike resultater er disse ikke overførbare til biodrivstoff generelt.

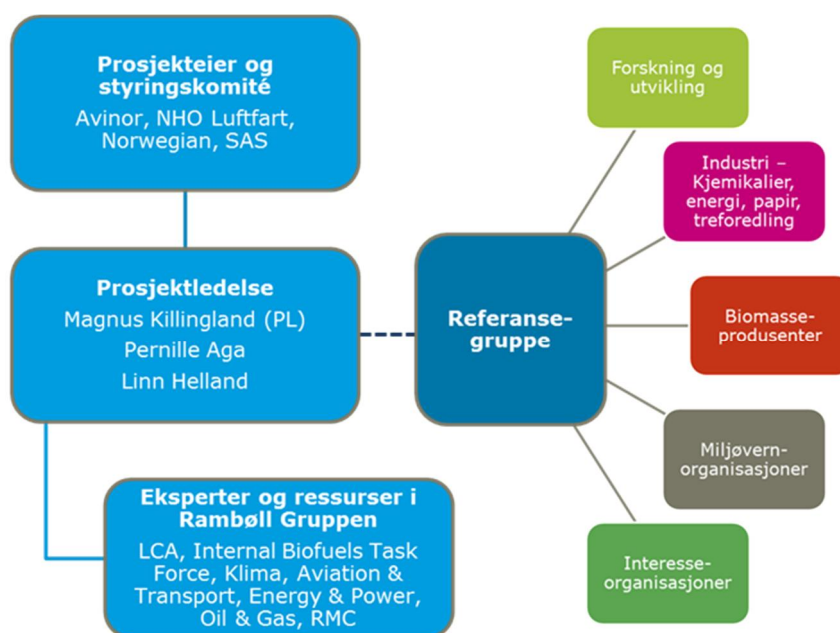
1.3 Metode og prosess

1.3.1 Prosjektstruktur

Arbeidet har vært ledet av en prosjektledergruppe med tilknyttet ressursteam og fagansvarlig på de ulike områdene. Prosjektledelsen har hatt et fast kontaktpunkt i Avinor som det har vært tett og god kontakt med. Prosjektets styringsgruppe har bestått av representanter for Avinor, SAS, Norwegian og NHO Luftfart. Det har blitt holdt jevnlig styringsgruppemøter i løpet av prosessen.

Ettersom prosjektet har vært komplekst og har omfattet mange ulike problemstillinger og fagområder har styringsgruppen ønsket, og Rambøll vektlagt, å involvere eksterne fagmiljøer bredt gjennom en formell referansegruppe, omfattende bilateral kontakt med relevante aktører, og deltagelse ved ulike arrangementer. Figur 1-6 viser en oversikt over prosjektstrukturen.

Figur 1-6 – Oversikt over prosjektets struktur



Referansegruppen har bestått av representanter for industri og næringsliv, forskning og utredning, biomasseprodusenter, miljøvernorganisasjoner og andre interesseorganisasjoner. Referansegruppen har hatt tre møter, hver i form av en halvdags workshop. Ett av møtene ble holdt i et utvidet format, der relevante aktører også ut over de faste deltagerne i referansegruppen ble invitert. Dette for å sikre størst mulig bredde i innspillene til prosessen. Det har i gjennomsnitt deltatt 18 personer, i tillegg til Rambøll på referansegruppemøtene. Referansegruppen har vært viktig som arena for diskusjon og klargjøring av spørsmål, og har gitt sentrale innspill til arbeidet. Referansegruppen står imidlertid ikke ansvarlig for noe av denne rapportens innhold. Se vedlegg 0 for en oversikt over deltagere i referansegruppen.

Utredningen har pågått fra desember 2011 til og med januar 2013. Innenfor denne tidsperioden har Rambøll hatt ansvar for prosjektledelse og innkjøp av arbeidspakker fra eksterne fagmiljøer sammen med Avinor for å utrede hele verdikjeden for biodrivstoff til luftfart, fra uttak av biomasse til levert, ferdig produkt til lufthavner.

Utredningen er basert på et sett med arbeidspakker utført av eksterne fagmiljøer. Dette arbeidet har blitt utført parallelt i perioden fra juni til november. Ettersom de eksterne fagmiljøene har vært gjensidig avhengige av hverandres data og resultater har god kommunikasjon på tvers av delutredningene vært viktig, gjennom både fysiske møter og per epost og telefon. Det har vært benyttet ulike metoder for datainnsamling og analyse for de forskjellige arbeidspakkene. Disse står for forfatternes egen regning, og representerer ikke oppdragsgivers eller Rambølls synspunkter. Arbeidspakkene kan også leses som selvstendige rapporter og vil bli offentliggjort av Avinor.

Analysene og resultatene som presenteres i denne rapporten har Rambøll gjort på grunnlag av delutredningene, egne livssyklusanalyser og økonomivurderinger. De ulike arbeidspakkene er omtalt under. En mer detaljert gjennomgang av metodene som er brukt gis i de dedikerte kapitlene senere i rapporten.

1.3.2 Arbeidspakker/delutredninger

Arbeidspakkene har analysert tilgang på bærekraftig råstoff til en akseptabel pris i Norge i 2020/25 som en forutsetning for norsk produksjonskjede for biodrivstoff til luftfart. Dette har blitt kartlagt gjennom følgende delutredninger:

NORSK LANDBASERT BIOMASSE

Utredningen er utført av Universitetet for miljø og biovitenskap (UMB), og har hovedfokus på skogressurser. Basert på tilgjengelig statistikk og databaser er det gjort modellberegninger av antatte priser og tilgang på skogressurser i fremtiden, fordelt geografisk.

MARINT RÅSTOFF

Utredningen er utført av DNV KEMA. Hovedvekt er lagt på å vurdere potensialet for mikro- og makroalger. Datainnsamlingen er basert på åpen litteratur og intervjuer.

IMPORT AV RÅSTOFF OG HALVFABRIKATA

Utredningen er gjort av LMC International. Basert på data om internasjonal handel med landbruksvarer, halvfabrikata og drivstoff, har LMC beregnet kostnad ved leveranse til Norge og tilgjengelighet for potensielt relevante råstoff. Hovedvekt er på andregenerasjons råstoff.

PRODUKSJONSTEKNOLOGI

Sintef Energi har gjort en vurdering av hvilke teknologier som er best egnet for en produksjonskjede for biodrivstoff til luftfart i Norge, ut i fra teknologiens modenhet og egnethet. Data er hentet inn fra åpen litteratur, intervjuer og spørreskjema til eksisterende teknologiutviklere og biojetprodusenter internasjonalt.

LOKALISERING OG LOGISTIKK

Utredningen om mulige lokaliseringssteder for produksjonsanlegg er gjort av Analyse & Strategi, eid av Multiconsult. Basert på et sett lokaliseringskriterier og tilhørende kostnader presenterer delutredningen et antall steder som er egnet for ulike typer anlegg. Utredningen bygger på data fra andre delutredninger, og innhentet data om tilgjengelige arealer og transportkostnader.

BEDRIFTSØKONOMISKE ANALYSER

Rambøll har bygget opp en bedriftsøkonomisk modell for å beregne produksjonskostnadene for biodrivstoff. Kostnadsdata er dels hentet fra delutredningene og dels fra offentlig tilgjengelige rapporter. Det har også blitt gjort kostnadsestimer basert på andre, sammenlignbare prosesser, der det har manglet tilgjengelig data.

LIVSSYKLUSANALYSER

Rambøll har gjennomført livssyklusanalyser av de mest optimale, skisserte produksjonskjedene. Analysene er gjort i programmet SIMAPRO, og det er så langt som mulig brukt prosesser som allerede ligger inne i bakgrunnsdatabasen EcoInvent. Alle prosesser er estimert ved å modellere norske forhold for data som kan variere fra EcoInvents prosesser, primært ved bruk av nordisk elektrisitet, dvs. elektrisitet fra generatorer med både fornybare og fossile energibærere i Norden. For manglende prosesser i EcoInvent er det modellert nye prosesser basert på tilgjengelig data.

Det er ikke modellert framskrivninger for klimaeffekt for teknologiutvikling eller funnet data for Best Available Technology (BAT), da data for dette ikke er tilgjengelig i EcoInvent. Forventninger om økt klimaeffekt er diskutert kvalitativt.

TILTAKSKOSTNADER

Beregning av klimatiltakskostnader for biodrivstoff til luftfart har blitt utført etter metodikken i Klimakur 2020^[44]. Dette er valgt for å kunne sammenligne tiltakskostnaden med andre tiltakskostnader utredet i transportsektoren, men også på tvers av sektorer. Enn så lenge er Klimakur 2020 referanseverket på dette området. Prosjektet har derfor tilpasset utslippsdata fra livssyklusanalysene og økonomianalysen og benyttet de samme forutsetningene som Klimakur så langt det har latt seg gjøre.

HOVEDRAPPORT – ANALYSE OG SAMMENSTILLE RESULTATER

Resultatene fra dokumentstudier, delutredninger, innspill fra referansegrupper og andre eksterne aktører, diskusjon med luftfartsbransjen, og egne analyser sammenstilles og drøftes i denne hovedrap-

porten. Litteraturliste for dokumentstudiet ligger vedlagt. Alle delresultatene bringes sammen i forretningskonseptene som skisseres.

1.3.3 Håndtering av usikkerhet

Utredningen har måttet håndtere betydelige usikkerheter. Dette skyldes spesielt følgende faktorer:

- Umoden teknologi – mangel på data
Mye av teknologien utredningen omfatter er umoden og/eller i drift kun i småskala. Det foreligger derfor lite erfaringsbaserte data, spesielt fra fullskala anlegg. I tillegg er det stor grad av hemmelighold rundt teknologiene, ettersom de i en slik tidlig fase utgjør kjernen i aktørenes forretningsidéer.
- Politiske rammevilkår
Produksjon og etterspørsel etter biodrivstoff er i stor grad påvirket av politiske målsetninger. Regulering og andre virkemidler brukes aktivt for å skape etterspørsel der denne ikke finnes i markedet og for å skape insentiver til produksjon der det ikke nødvendigvis er bedriftsøkonomisk lønnsomhet i dag. Usikkerheten rundt markedsutviklingen forsterkes av usikkerhet rundt hva slags virkemidler og regulering som vil gjelde i fremtiden.
- Uavklart metodikk og faglig uenighet
Ettersom satsningen på storskala biodrivstoffproduksjon som klimatiltak er av relativt ny dato, er også endel problemstillinger, dokumentasjon og metodikk for å beregne effekter kun i en tidlig fase. Det er eksempelvis faglig uenighet om effekten på klima og sosiale forhold av ulike typer råstoff eller prosesser, og det finnes foreløpig ikke en omforent og internasjonalt anerkjent metodikk for å håndtere dette.
- Vanskelig å spå om fremtiden
Det vil alltid være usikkerhet knyttet til å gjøre framskrivninger og antagelser om fremtiden.

Innenfor rammen av denne utredningen har det ikke vært rom for å lande komplekse diskusjoner som pågår mellom ulike fagmiljøer, eller på andre områder utvikle egen metodikk eller gjøre egne modelleringer for å fremskaffe nye data. For å håndtere denne usikkerheten har Rambøll, i dialog med prosjektets styringsgruppe, valgt en strategi der vi har tilstrebet åpenhet og gjennomsiktighet i våre analyser. Vi har forsøkt å gjøre alle forutsetninger eksplisitte, slik at de kan kontrolleres eller i neste omgang endres. Styringsgruppen har etterspurt samme åpenhet i arbeidspakkene.

De største usikkerhetene diskuteres, og vises gjennom sensitivitetsanalyser eller scenarier. Senere utredninger vil kunne ta utgangspunkt i prosjektets beregninger og analyser, og justere forutsetningene ettersom nye, og bedre data blir tilgjengelig.

I enkelte sammenhenger har det vært nødvendig å vise verdier i form av intervaller, heller enn et absolutt tall. Prosjektet har lagt vekt på å gjøre rede for ulike synspunkter der det er faglige uenigheter, og drøfte hvilke forskjeller det vil utgjøre.

1.4 Oppbygning av rapporten

Kapittel 2 Bærekraft gir en generell introduksjon til begreper og sentrale problemstillinger knyttet til biodrivstoff og bærekraft.

Kapittel 3 Råstoffpotensial for biodrivstoffproduksjon i Norge omhandler en oversikt over biomassepotensial som kan brukes til biodrivstoffproduksjon fra norske ressurser, import og utsikter for nye biomasseråstoff fra f.eks. alger. Kapittelet drøfter bærekraftsutfordringer knyttet til bruk av råstoffet.

Kapittel 4 Teknologi og Produksjon: Muligheter og begrensninger i Norge mot 2020/25 beskriver teknologisk modenhet for ulike teknologier, teknologisertifiserte ruter for biomassebasert syntetisert Jet A-1 og teknologier egnet for norske forhold. Det redegjøres også for lokaliseringalternativer med identifisering av norske verdikjeder. Videre presenteres valg av forretningskonsept som utredes i detalj i kapittel 5.

Kapittel 5 Produksjonskostnader inneholder en oversikt over beregnede produksjonskostnader for forretningskonsept innen Jet A-1 biodrivstoff for teknologiene Fischer-Tropsch (FT) og Alcohol to Jet (AtJ). Rambøll har utviklet en bedriftsøkonomisk modell for å estimere produksjonskostnader med framskrivninger til 2025 basert på ulike scenarier.

Kapittel 6 Klimaeffekt beskriver livssyklusanalyser for verdikjedene til de ulike forretningskonseptene. Kapittelet inneholder også en oversikt over klimatiltakskostnader som har blitt beregnet med samme forutsetninger som Klimakur2020.

Kapittel 7 Veien videre for biodrivstoff for luftfart beskriver en del utfordringer og barrierer som må løses for etablere en kommersiell biodrivstoffindustri i Norge. Dette har blitt gjort for å kunne sammenligne med tiltak i andre sektorer med oppdaterte tall for biodrivstoff. Siste del av kapittelet inneholder en gjennomgang av politiske rammebetingelser i form av avgifter og støtteordninger.

Kapittel 8 Oppsummering og konklusjon oppsummerer de viktigste momentene i rapporten og konkluderer med hva som skal til for å etablere bedriftsøkonomisk lønnsom biodrivstoffproduksjon i Norge.

Kapittel 9 Litteratur og referanser inneholder en litteraturliste som det er referert til gjennom hele dokumentet.

2. BÆREKRAFT

EUs bærekraftskriterier definerer bærekraft i dette prosjektet. Her gis en teoretisk gjennomgang av de viktigste begrepene og spørsmålene knyttet til biodrivstoff og bærekraft, først og fremst klimaeffekt, som benyttes senere i rapporten. Biodrivstoff kan produseres ikke-bærekraftig, men det kan også produseres på gode, bærekraftige måter. Hele produksjonskjeden for biodrivstoff avgjør om drivstoffet er bærekraftig, og spesielt har valg av råstoff stor betydning.

Med økende produksjon av biodrivstoff internasjonalt er det økt oppmerksomhet om utfordringer knyttet til produksjon og bruk av biodrivstoff. Det pågår diskusjoner mellom ulike fagmiljøer, og innen politikk og forvaltning om hvordan man best kan beregne disse effektene, og sikre at biodrivstoffet gir god klimaeffekt samtidig som det ikke har negative konsekvenser på andre områder.

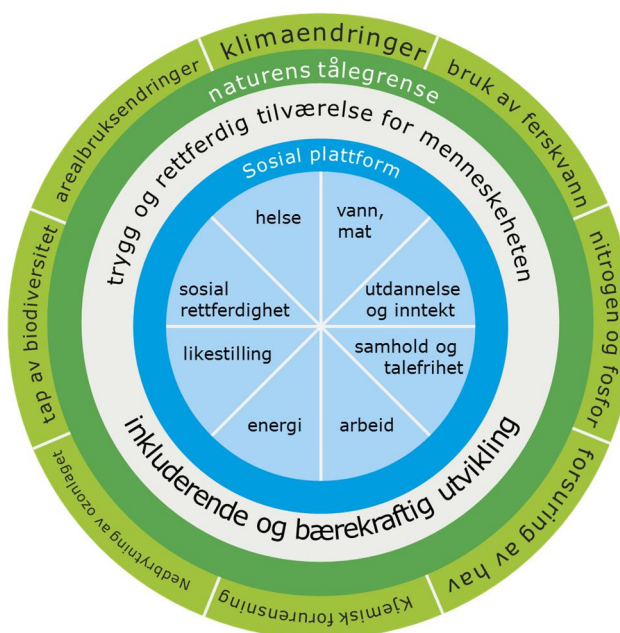
Det er en forutsetning i dette prosjektet at biodrivstoffet som utredes til luftfart er bærekraftig. Ettersom både politikk, regelverk og beregningsmetodikk er under stadig utvikling må en vurdering av bærekraft her gjøres ut i fra etablert regelverk og metodikk. Og der dette ikke foreligger drøftes ulike tilnærminger.

I dette kapitlet introduseres de viktigste begrepene og spørsmålene, men det er ikke mulig innenfor dette prosjektet å konkludere med hva som er riktig tilnærming til alle forhold. For å heve graden av bærekraft ønsker luftfartsbransjen å kun analysere andre og tredjegerasjons biodrivstoff.

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

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

De ulike definisjonene vektlegger ulike kategorier, og har varierende grad av konkretisering og bredde i elementene som omfattes. Figur 2-1 viser en mulig visualisering og oversikt over sosiale, økonomiske og miljømessige dimensjoner for bærekraft.

Figur 2-1 – Sosiale, økonomiske og miljømessige dimensjoner for bærekraft²⁶

Ettersom biodrivstoff til luftfart er et klimatiltak er det i denne rapporten først og fremst klimaaspektet av bærekraftbegrepet som diskuteres i detalj. Utredningen undersøker en produksjonskjede i Norge, hvor sosiale forhold og juridiske rettigheter er godt ivaretatt av forvaltning og rettsvesen. Det sosiale aspektet ved bærekraft er derfor relevant kun i forbindelse med importert biomasse fra land utenfor Europa. De bedriftsøkonomiske sidene av økonomisk bærekraft undersøkes i rapporten. I hvilken grad den skisserte produksjonskjeden for biodrivstoff til luftfart bidrar til økt sysselsetting og positive samfunnsøkonomiske konsekvenser er relevante og interessante spørsmål, men ligger utenfor rammen for denne utredningen.

Denne utredningen har valgt å la EUs bærekraftskriterier definere bærekraft i forhold til den skisserte produksjonskjeden av biodrivstoff til luftfart. Det er fordi det er det mest utbredte, og internasjonalt anerkjente settet med bærekraftskriterier for biodrivstoff. Kriteriene implementeres i norsk lovgivning på området.²⁷

2.1 EUs bærekraftskriterier

EUs Fornybardirektiv^[33] definerer kriterier for bærekraftig biodrivstoff. Det drivstoffet som oppfyller kravene kan statistisk regnes med i direktivets målsetninger om økt fornybarandel i nasjonalt energikonsum generelt, og i transportsektoren spesielt, i 2020. Drivstoffet kvalifiseres kun for ulike støtteordninger hvis bærekraftskriteriene oppfylles. Direktivet ble implementert i norsk lov i desember 2011. Kriteriene omfatter blant annet:

- Krav til at biodrivstoffet gir minimum 35 % lavere utslipp av klimagasser sammenlignet med fossilt drivstoff. Fra 2017 øker kravet til minimum 50 % og til 60 % i 2018 for anlegg som settes i drift fra og med januar 2017.
- Spesifisering av at drivstoffet ikke må produseres av råmaterialer fra områder med høy biodiversitet, høye karbonlagre, eller fra torvland.

²⁶ Inspirert av Oxfam og Kate Raworth, 2012

²⁷ Det forventes nye og oppdaterte bærekraftskriterier for bioenergi og biodrivstoff i Norge, kanskje i løpet av 2013.

- Råstoff fra landbruket må være fremstilt i tråd med minstekrav om gode jordbruks- og miljøforhold.
- Krav om rapportering og overvåking av sosial bærekraft, fra Europakommisjonen og på medlemslandsnivå, men dette er ikke kvantifisert eller definert som konkrete kriterier.

Direktivet inneholder også regler for beregning og rapportering av klimagassutslippene knyttet til bio-brenselet, samt standardverdier for klimagassutslipp og –besparelser sammenlignet med fossilt brensel.

For å styrke utviklingen av, og kontrollen med, bærekraftig biodrivstoff oppfordres det til etablering av multilaterale og nasjonale pålitelige ordninger som standardiserer og sertifiserer slik produksjon. Biodrivstoffprodusenter kan sertifisere produktet enten via en frivillig ordning eller en nasjonal ordning der det finnes. Alle medlemsland må anerkjenne alle frivillige og nasjonale ordninger som Europakommisjonen godkjenner. Per oktober 2012 har Kommisjonen godkjent 12 slike sertifiseringsordninger til å være i tråd med kravene i fornybardirektivet.^[33] Ordningene favner ulikt hva gjelder geografi og hvilket råstoff produktet er basert på, mens andre er globale og dekker alle typer biodrivstoff.^[7]

En utfordring i forhold til drivstoff til luftfart er at ordningene i hovedsak er utviklet med tanke på å sertifisere eksisterende produksjon av biodrivstoff til vegtransport, og det er dermed lite erfaring med egnethet for andregenerasjons råstoff. Det er i dag en svært liten andel av det produserte volumet globalt som er sertifisert.

Figur 2-2 – Sertifisert og dokumentert biomasse © Neste Oil



Sertifiseringsordningene har ulike svakheter. Miljøkriterier og krav til jordbrukspraksis varierer. Hvordan sosiale forhold håndteres varierer også stort mellom ordningene. Ordninger som er utviklet for å sertifisere produksjon basert på råstoff dyrket utenfor Europa har en tendens til å inneholde mer omfattende sosiale krav enn europeiske ordninger som begrenser seg til kravene i fornybardirektivet. Det er dessuten stor variasjon i håndheving av krav og kontroll. Enkelte ordninger er basert på egenerklæringer, kombinert med en lav grad av kontroll i form av stikkprøver.

Et drivstoff som oppfyller EUs bærekraftskriterier er med andre ord ikke nødvendigvis bærekraftig i reell forstand. I tillegg til utfordringene med dokumentasjon og kontroll er det fremdeles spørsmål som ikke i tilstrekkelig grad dekkes i regelverket, eller hvor krav, metodikk og dokumentasjon må videreutvikles for å sikre reell bærekraft. Ettersom mye fortsatt er uklart, og det ikke er vitenskapelig konsensus på alle områder, vil evalueringskriterier for bærekraftig drivstoff, inkludert EUs, trolig være i utvikling i lang tid fremover og det vil dermed være mulig å diskutere kriterienes validitet. Regelverket vil bli konkretisert og forbedret fremover både på EU-nivå og nasjonalt. Usikkerhet er i dag spesielt knyttet til effekten av arealbruksendringer, karbondjeld og tilbakebetalingstid, samt matsikkerhet.

2.2 Arealbruksendringer

Når nye landområder ryddes og tas i bruk som jordbruksareal kan området karbonlager fra opprinnelig vegetasjon og jordsmonn gå tapt, og resultere i et utslipp av klimagasser til atmosfæren. Denne effekten forsøker EUs bærekraftskriterier å begrense ved å utelukke bruk av råstoff fra definerte, særlig karbonrike områder. EU jobber med å foreskrive retningslinjer for beregning av klimaeffekt ved overgang fra ulike former for udyrket til dyrket mark.

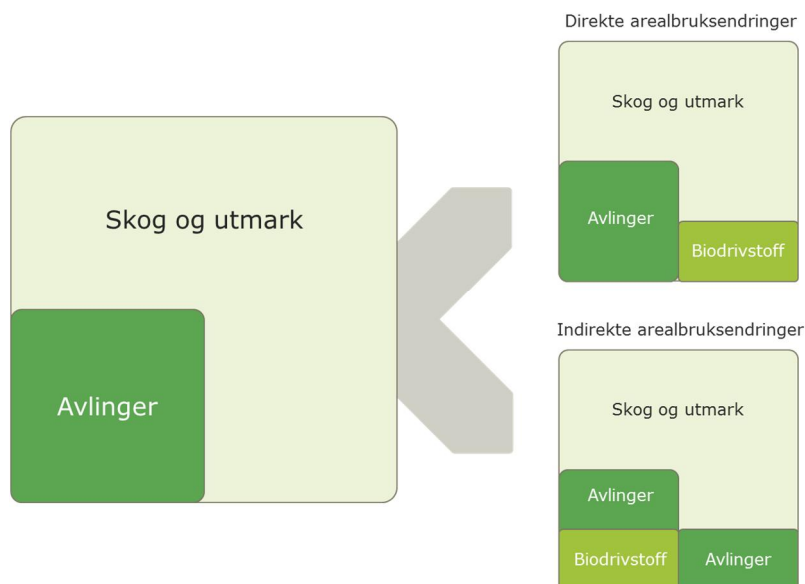
Den samme effekten kan imidlertid også skje indirekte²⁸ gjennom markedsmechanismene, ved at etterspørselen etter vekster til energiformål fortrenger produksjon av mat og fôr, som isteden etableres på

²⁸ Indirect land use change (ILUC)

nyryddet mark eller allerede kultivert land med høyere karbonlager. Denne effekten er vanskelig å kontrollere fordi den er vanskelig sporbar, og klimagassutslippet gjerne skjer på et annet sted og til en annen tid enn der energiråstoffet produseres. Figur 2-3 illustrerer direkte og indirekte arealbruksendringer ved biodrivstoffproduksjon.

Forskning på temaet tyder på at disse indirekte utslippene kan være betydelige. Det er og har vært store sprik både i beregningsmetodikk og i resultater. EU har slått fast at det er nødvendig med en føre-var holdning, mens Kommisjonen har hatt i oppdrag å foreslå tiltak for å håndtere problemet. En serie utredninger bekrefter at indirekte arealbruksendringer kan ha stor betydning for hvor stor klimagevinst det er ved bruk av biodrivstoff sammenlignet med fossilt drivstoff.^[37] Effekten varierer betydelig med ulike vekster, produksjonsmåter og geografi. Effekten er spesielt sterk i land der det er tropisk regnskog eller torvland som blir dyrket opp. Ettersom det i hovedsak er førstegenerasjons biodrivstoff som produseres i dag er det stivelsesholdige og oljeholdige vekster til førstegenerasjons drivstoff som har blitt undersøkt. Biodiesel rammes i disse undersøkelsene langt sterkere enn bioetanol, og biodieselvariantene EU har undersøkt, basert på palmeolje, soya, solsikke og raps, er ikke i nærheten av å kvalifisere til EU's bærekraftskriterier.^{[36][25]} Det er ikke aktuelt å benytte førstegenerasjons biodrivstoff i norsk luftfart.

Figur 2-3 – Arealbruksendringer, direkte og indirekte for biodrivstoff²⁹



Klimaeffekten av indirekte arealbruksendringer er vanskelig å håndtere både metodisk, i forhold til håndheving, og politisk. På den ene siden er det vedtatt politiske målsettinger for bruk av biodrivstoff for å nå klima- og energimålsettingene. Rammevilkårene og signalene til markedet har vært deretter, og det er investert betydelige midler i landbruk og industri. Ringvirkningene av en eventuell radikal endring av politikken vil være store, ikke bare for næringsaktører og sysselsetting, men også for tilliten til klimatiltak og politiske rammevilkår på området generelt. Det er et betydelig press fra flere hold for ikke å ilegge for stramme begrensninger på biodrivstoff på grunn av effekten av direkte og indirekte arealbruksendringer.

I denne diskusjonen må det påpekes at arealbruksendringer og tilhørende effekter kan skje som konsekvens av alternativ jord- og skogbruk, ikke bare knyttet til biodrivstoff, men også endringer pga.

²⁹ Biofuels and Land Use Change: A Science and Policy Review, Basert på Bauen and Howes in Woods, 2009.

økonomiske hensyn. Utvikling av regelverk for indirekte arealbruksendringer er i en tidlig fase, og vil utvikles i fremtiden.

Europakommisjonen fremmet i oktober 2012 et forslag om å endre regelverket for å begrense effekten av indirekte arealbruksendringer.^[37] Forslaget ligger til behandling i Europaparlamentet og Europarådet og omfatter blant annet å:

- Heve minimumsverdiene for reduksjon av klimagassutslipp fra biodrivstoff sammenlignet med fossilt drivstoff for nye anlegg til 60 % fra 2014, mens eksisterende anlegg får frem til 2018 før klimaeffekten må være 50 %.
- Innføre rapportering av ILUC-effekt og faktorer for ILUC knyttet til spesifikke råstoff
- Begrense andelen biodrivstoff og flytende biobrensel basert på råstoff som kan brukes til mat eller fôr til husdyr til å utgjøre maks 5 % av forbruket i transportsektoren, noe som tilsvarer dagens forbruk.

SRREN³⁰ konkluderer med at ILUC-effekter i sterk grad avhenger av effektiviseringsrater i jordbruk og husdyrhold, og hvor raskt biodrivstoffproduksjonen øker. Dersom produksjonen følges parallelt av effektive ordninger for bærekraft og for forbedringer i jordbruket kan det gi positive resultater for både sosial-, økonomisk- og miljømessig bærekraft.

2.3 Karbongjeld og tilbakebetalingstid

Mens regelverket i Klimakonvensjonen og Kyoto-protokollen tilsier at biodrivstoff regnes som utslippsfritt, er den umiddelbare fysiske situasjonen en annen. Ved forbrenning av biologisk materiale frigjøres karbon til atmosfæren. For ettårige vekster vil tilsvarende mengde karbon tas opp igjen i nye vekster i løpet av ett år. For vekster med lengre rotasjonsperiode, som for eksempel et norsk grantre, vil karbonet befinne seg i atmosfæren i lang tid, og bidra til oppvarming av atmosfæren. Den mengden karbon som frigjøres kalles karbongjeld, og tiden det tar innen tilsvarende mengde er tatt opp igjen kalles tilbakebetalingstid.

Det har blitt økende oppmerksomhet rundt hva den reelle klimaeffekten av bioenergi er, gitt denne midlertidige økningen av CO₂ i atmosfæren. Tidsperspektivet som anlegges avgjør om drivstoffet har en positiv eller negativ klimaeffekt, og avveininger mellom kortsiktige og langsiktige hensyn er sentralt.

Forskere ved Cicero Senter for klimaforskning og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), har vist at hvor fort vekstene tar opp CO₂ er en avgjørende faktor, og har utviklet en metodikk for å beregne klimaeffekten av denne tidsforsinkelsen som del av en livssyklussanalyse.^[32] Denne omtales nærmere i forbindelse med redegjørelsen for LCA-metodikken som er benyttet i denne utredningen, se kapittel 6.1 (side 134).

Det er stor forskjell mellom ulike vekster, og det har stor betydning om forbruket av biomasse kommer i tillegg eller til erstatning for andre produkter. Hvilke andre produkter som substitueres, og hvordan biomassen er foredlet er viktig for hvor lang tilbakebetalingstiden er. Det er imidlertid stor usikkerhet om hvor stor denne såkalte substitusjonseffekten er, og det kan være vanskelig å fange opp andre forhold som motvirker substitusjonseffekten. Basert på norske skogressurser vil bioenergi med lav foredlingsgrad som erstatter fossil energi, gi størst reduksjon i utslipp av klimagasser per kubikkmeter trevirke.^[45]

I en litteraturgjennomgang av virkningene på klimagassutslipp ved økt bruk av biodrivstoff peker Bjarte Holtmark^{[41][42]} på at førstegenerasjons biodrivstoff typisk har blitt produsert fra vekster med

³⁰ IPCCs Special Report on Renewable Energy and Climate Mitigation (SRREN^[21])

kort omløpstid som i utgangspunktet har kort tilbakebetalingstid, men med utfordringer knyttet til arealbruksendringer. For andregenerasjons biodrivstoff basert på skogsråstoff er utfordringene omvendt, med liten fare for arealbruksendringer, men med utfordringer knyttet til lang tilbakebetalings-tid.

Klimagasseffektene ved bruk av trevirke til energiformål og produksjon av biodrivstoff avhenger av en rekke faktorer og avveiningen mellom effekter på kort og lang sikt er dessuten helt sentral. Derfor er det heller ikke mulig å trekke bastante konklusjoner omkring klimagasseffektene ved bruk av norsk trevirke til biodrivstoff. Vi kan anta at økt bruk av biomasse til energiformål i Norge kan bestå av en blanding av økt hogst, økt uttak av hogstavfall, økt import av tømmer og flis, og en vridning fra tradisjonell tre-foredlingsindustri til energiformål. Gitt dagens skogskjøtsel og dagens bruk av tømmer i Norge vil økt avvirkning i Norge som følge av biodrivstoffproduksjon bidra til økte karbonnivåer i atmosfæren på kort og mellomlang sikt, og reduserte nivåer på lang sikt. Dersom avvirkningen holdes fast på dagens nivå i Norge vil gjennomsnittlig alder i norsk skog øke, noe som på sikt reduserer skogens evne til å ta opp karbon fra atmosfæren. Økt uttak av hogstavfall kan ha positive klimagasseffekter også på kort sikt. Økt hogst vil gi økt albedo og derigjennom ha en avkjølende effekt. Ved vurdering av klimaeffekten av hogst av skog må det også tas hensyn til at FNs klimapanel knytter 2-gradersmålet til det langsiktige stabiliseringsnivået av klimagasser i atmosfæren. Temporære CO₂-utslipp fra et rotasjonsskogbruk vil, i motsetning til fossile utslipp, ikke påvirke dette langsiktige stabiliseringsnivået.

Europakommisjonen arbeider med å utvikle et bedre kunnskapsnivå om karbongjeld og hvilke implikasjoner dette har for biodrivstoff som klimatiltak, noe som vil kunne medføre justeringer av politikk og regelverk på området.^[34]

2.4 Albedo

Albedo-effekten referer til nedkjøling av atmosfæren ved at jordas overflate reflekterer tilbake innstråling.

Overflatealbedo er definert som forholdet mellom reflektert innstråling fra overflaten og innfallende stråling på den samme overflaten.^[29] Ulike overflater vil reflektere forskjellig. Overflater med lav albedo reflekterer mindre stråling enn innkommende stråling, og omvendt. Albedo er et mål mellom 0 og 1, der en verdi tilsvarende 1 er tilfelle for et hvitt legeme, og en verdi på null er tilfelle for et svart legeme. Det er sannsynlig at albedoeffekter kan ha betydelig påvirkning på globalt oppvarmningspotensiale.

Hogst av boreal skog, som i Norge, endrer overflatealbedoen, spesielt når hogstfelt er snødekt. Mer solinnstråling reflekteres da enn før skogen ble hugget, og en netto kjølede effekt finner sted. Klimapåvirkningen fra albedo er både regions- og casespesifikt.

Metoder for å beregne og inkludere i albedoeffekten i klimagassregnskap er i en tidlig fase. Ettersom det er stor vitenskapelig usikkerhet i forhold til beregning av albedo er denne effekten ikke hensyntatt i Rapportens LCA-analyse. Albedo-effekten diskuteres nærmere i kapitlene 3.1.5 og 6 Sosiale forhold – mat vs. drivstoff

Dersom det økte uttaket av trevirke brukes til energiformål, tyder ny forskning på at albedoeffekten kan oppveie en betydelig andel av oppvarmingseffekten som følge av økte utslipp av klimagasser på kort til mellomlang sikt. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til størrelsen på albedoeffekten.^[4]

2.5 Sosial bærekraft

Kravene som skal sikre sosial bærekraft er ikke like konkrete som miljøkravene i Fornybardirektivet. De sosiale kravene omfatter henvisning til ulike internasjonale lover og konvensjoner, og ulike krav til overvåking og rapportering. For produsentene skal rapportering skje enten gjennom frivillige sertifiseringsordninger godkjent av EU, eller andre nasjonale eller bilaterale mekanismer.

CIFOR^[39] har gjort en komparativ vurdering av hvordan sosial bærekraft dekkes i de syv sertifiseringsordningene som var godkjent av EU per juli 2011. Her operasjonaliseres sosial bærekraft ut i fra følgende kategorier:

- Arbeidsrettigheter (ILO-konvensjoner)
- Rettigheter til land og ressurser
- Matsikkerhet
- Innvirkning på livsopphold og bidrag til lokal utvikling
- Tverrgående prinsipper: Gjennomsiktighet i prosesser og investeringer

Resultatet viste varierende grad av sosiale kriterier, men at noen hadde god dekning. Studien konkluderte med at effekten av sertifiseringsordningene på det sosiale området svekkes av:

- a) Selv ordningene med omfattende krav knyttet til sosial bærekraft har dårlig dekning av enkelte viktige forhold, f.eks. krav som sikrer lokal utvikling og verdiskaping
- b) noen ordninger omfattet ingen sosiale krav
- c) utilstrekkelige prosedyrer

For land som Norge, og OECD-land generelt, med velutviklet lovverket og håndheving fra myndigheter og rettssystem må det antas at sosial bærekraft i liten grad et problem knyttet til biodrivstoffproduksjon.

I land med svake rettslige eller institusjonelle rammeverk vil overholdelse av sosiale rettigheter kunne variere stort fra en enkelt råstoffprodusent- eller kjøper til en annen. Det fordrer gode systemer for sertifisering, verifisering og sporbarhet.

Sosial bærekraft påvirkes også strukturelt, uavhengig av den enkelte produsent eller kjøpers praksis. Matsikkerhet er et slikt område, der hele sektorer og markeder som påvirkes. Sammenhengen mellom økt produksjon av biodrivstoff og stigende matvarepriser har blitt aktualisert de senere årene med høye og stigende matvarepriser internasjonalt. Globalt står biodrivstoff for om lag 10 % av etterspørselen etter korn. Etterspørselen antas å vokse litt raskere enn etterspørselen etter mat og fôr, og utgjøre 13 % av global etterspørsel i 2020. Drivstoff står i dag for 20 % av etterspørselen etter planteoljer, og antas å utgjøre 35 % i 2020.^[7] Det er altså spesielt sistnevnte område at biodrivstoff har hatt en prisdrivende virkning. Det har gjennom økende bruk av biodiesel oppstått en kobling mellom prisene på råolje og planteolje.

Førstegenerasjons biodrivstoff produseres i hovedsak fra tradisjonelle jordbruksprodukter, og konkurrerer dermed direkte med produksjon av mat eller fôr til husdyr. Andre og tredjegerasjons biodrivstoff kan imidlertid produseres fra råstoff som i mindre grad, eller overhodet ikke konkurrerer med mat eller fôr.³¹ Disse er derfor mindre utsatt for å gi uønskede, negativ sosiale effekter.

I tillegg til at en rekke sektorer, inkludert norsk luftfartsbransje, tydelig har signalisert at biodrivstoff som konkurrerer med mat- og fôrproduksjon ikke er akseptabelt og ikke kan benyttes, har det blitt innført ulike offentlige restriksjoner og virkemidler internasjonalt for å begrense konkurransen mellom biodrivstoff og mat eller fôr. Europakommisjonens foreslåtte regelverksendringer for å begrense ILUC-effekten vil virke dempende også på konflikten med mat og fôr ved at konfliktlave råstoff gis insentiver, mens konfliktfylte råstoff ilegges restriksjoner. For eksempel vil biodrivstoff basert på alger eller avfall telle firedobbelt i forhold til oppnåelse av de nasjonale fornybarmålssetningene, mens oljevekster, sukker og korn ilegges en ekstra CO₂-faktor.

³¹ SeTabell 3-7 for en kategorisering av generasjoner biodrivstoff.

2.6 Oppsummering bærekraft

Det er flere usikkerhetsmomenter forbundet med produksjon av biodrivstoff. Både tekno-økonomisk og det institusjonelle rammeverket rundt produksjon og bruk er i en tidlig fase og vil bli endret fremover. Bærekraftig, industriell storskalaproduksjon av biodrivstoff er det ennå begrenset erfaring med internasjonalt. Det er grunn til å tro at teknologiforbedringer som resultat av læringskurver og effektivisering vil gi en mer ressurs- og klimaeffektiv produksjon i fremtiden.

Tilsvarende er det å forvente at krav til hva som er bærekraftig vil skjerpes ytterligere i fremtiden, og at metodikk for å beregne og håndtere konsekvensene vil bli etablert og anerkjent både i forhold til arealbruksendringer, karbongjeld, albedo og sosiale forhold.

Biodrivstoff kan produseres på gode, bærekraftige måter, men det kan også produseres ikke-bærekraftig. Hele produksjonskjeden for biodrivstoff avgjør om drivstoffet er bærekraftig, og spesielt har valg av råstoff stor betydning.

Gjennomgangen over viser at det er mange hensyn som må tas for å sikre at et drivstoff er bærekraftig. Denne erkjennelsen har ikke endret de politiske målsetningene om å øke bruken av biodrivstoff for å nå klimamålsetninger både nasjonalt og internasjonalt.

I dette ligger det også en avveining mellom kort- og lang sikt, der dagens drivstoffproduksjon bidrar til å etablere markeder og effektivisere produksjonsprosesser for neste generasjons biodrivstoff, med høyere klimaeffekt.

Begrepene og problemstillingene introdusert her vil diskuteres mer inngående i forbindelse med råstoffene som er vurdert brukt i en produksjonskjede for biodrivstoff til luftfart i Norge (Kapittel 3) og i kap 6 om klimaeffekt og livssyklusanalyser.

3. RÅSTOFFPOTENSIAL FOR BIODRIVSTOFFPRODUKSJON I NORGE

Biomasse fra skog er det viktigste landbaserte, norske råstoffet for produksjon av biodrivstoff til luftfart. Basert på EUs bærekraftskriterier og gjeldende regler kan dette være et bærekraftig råstoff. Dersom avvirkingen i norske skoger i 2025 er om lag som i dag er potensialet på i overkant av 7 TWh/år, hovedsakelig hogstavfall og noe re-allokering av massevirke som i dag går til treforedlingsindustrien. Dersom avvirkingen øker til balansekvantum vil det totale potensialet være i overkant av 16 TWh/år i 2025. Det faktiske tilbudet vil være en funksjon av kostnader og priser i markedet.

Selv om forholdene også i Norge ligger til rette for dyrking av arktiske mikroalger og makroalger vil disse neppe bli produsert i større volum før etter 2025.

Det antas også være et betydelig potensial for ulike typer egnede råstoff på det internasjonale markedet i 2020. Pellets og treflis fra USA har de mest konkurransedyktige prisene inkludert transport, og har større potensial enn jordbruksavfall og energivekster. Vegetabilske, ikke-spiselige oljer ser ikke ut til å være et relevant råstoff på grunn av høye kostnader. Biobutanol og cellulosebasert etanol antas i økende grad komme på det internasjonale markedet fremover mot 2020.

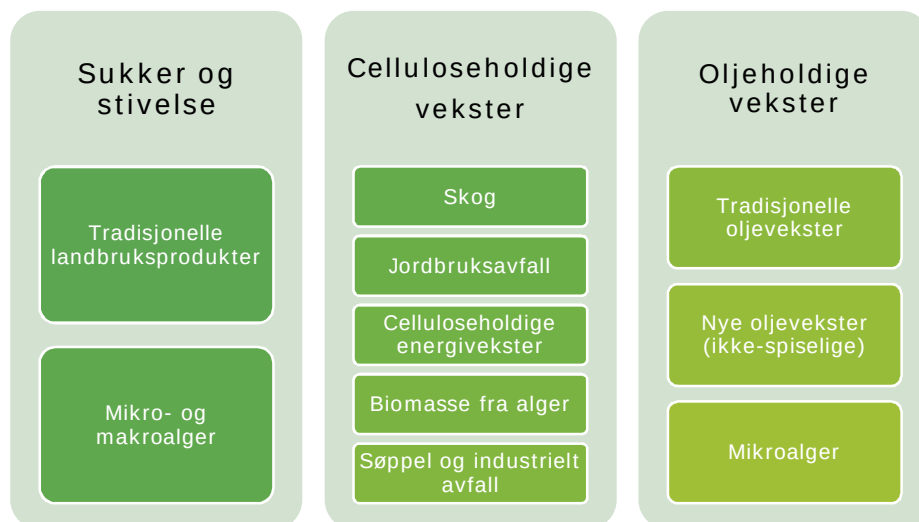
Tilgangen på bærekraftige ressurser endrer seg over tid basert på forhold som teknologisk utvikling, forbedret effektivitet i jord- og skogbruk, endrede rammevilkår og metodikk for å håndtere usikkerhet knyttet til bærekraft. Optimal utnyttelse av ressursene og hensyn langs hele verdikjeden er nødvendig for bærekraft og størst mulig klimaeffekt av drivstoffet.

Potensialet for uttak av ulike former råstoff fra Norge fram til 2020/25 har blitt kartlagt. Det har blitt lagt vekt på landbaserte biomasseresurser, da dette er tilgjengelig i dag, men også mulighetene for utnyttelse av marine ressurser med dyrking av mikro- og makroalger. Import av biomasse og halvfabrikater har blitt analysert for å identifisere mulighetene for et samspill mellom bruk av norske ressurser og import.

Det aller meste av biologisk materiale kan i teorien omdannes til en eller annen form for biodrivstoff. Teknologi for å omdanne sukker- og stivelsesholdige vekster til alkoholer har vært kjent i århundrer og vært i bruk til industriell produksjon svært lenge, mens teknologien for å konvertere ulike typer celluloseholdige vekster er av nyere dato. Hvilke råmaterialer som er tilgjengelige for biodrivstoffproduksjon endres med teknologisk utvikling, som muliggjør bruk av råstoff som tidligere ikke var anvendelig.

Figur 3-1 viser hovedkategorier primærråstoff til biodrivstoffproduksjon.

Figur 3-1 – Kategorier primærråstoff til biodrivstoffproduksjon (Sintef Energy, 2012)



Hvorvidt et råstoff er egnet til biodrivstoffproduksjon vil avhenge av forhold som:

- Tilgjengelighet
 - o Volum – teknisk og økonomisk potensial
 - o Langsiktighet – trygghet for leveranser
 - o Logistikkmuligheter – transport og oppbevaring
- Egnethet for valgt teknologi
- Kostnader
- Bærekraft
- Politikk, regulering

Kapittel 3 er en gjennomgang av mulige råstoffs egnethet for en norsk verdikjede av bærekraftig biodrivstoff til luftfart i 2020 - 2025. Prosjektet har hovedfokus på norske råstoff, men vurderer også import av råstoff, enten som tillegg til eller istedenfor for norsk råstoff.

3.1 Landbaserte biomasseressurser

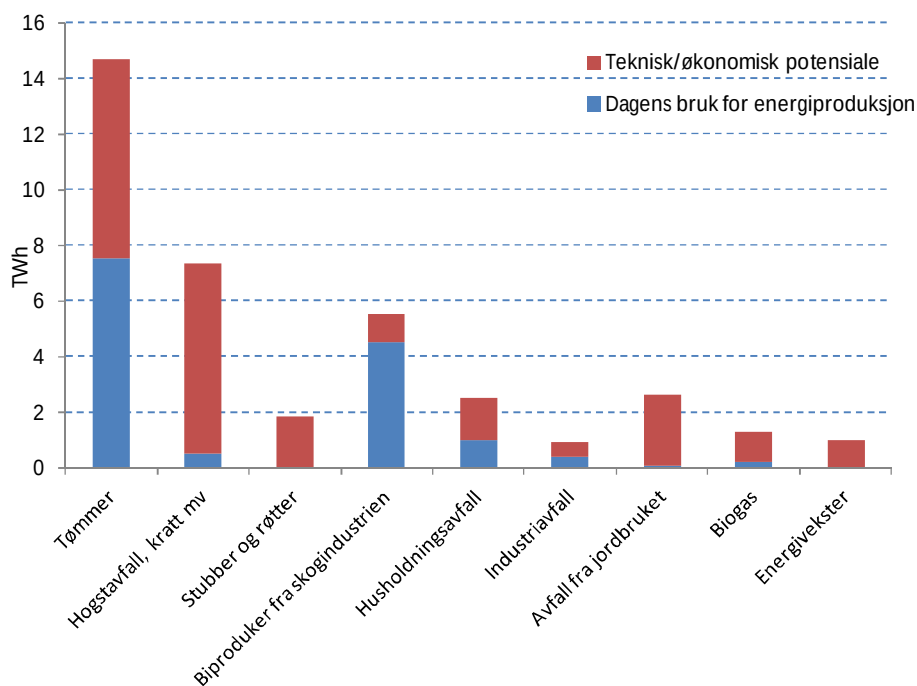
Prosjektet har hatt som et delmål å identifisere potensialet for bærekraftig biomasseuttak i Norge. En egen arbeidspakke, «Biomassetilgang fra landbaserte ressurser» utført av Universitetet for miljø og biovitenskap (UMB), har analysert dette potensialet. Dette kapitlet er basert på UMBs arbeidspakke.

Potensielle landbaserte biomasseressurser kan komme fra følgende kilder:

- Produktiv skog
- Trebasert biomasse utenom produktiv skog
- Biomasse fra jordbruksarealer
 - o Energivekster
 - o Avfall fra jordbruket
- Avfall
 - o Husholdningsavfall
 - o Avfall fra nærings- og industrivirksomhet

UMB vurderer det slik at skogsektoren representerer det viktigste potensialet for økt bruk av biomasse til energiformål i Norge. Den potensielle tilgangen på de ulike gruppene biomasser er fremstilt i Figur 3-2.

Figur 3-2 - Bruk av trevirke i 2012 og potensiell tilgang på biomasseressurser fra Norge (TWh/år).^[4]



3.1.1 Produktiv skog

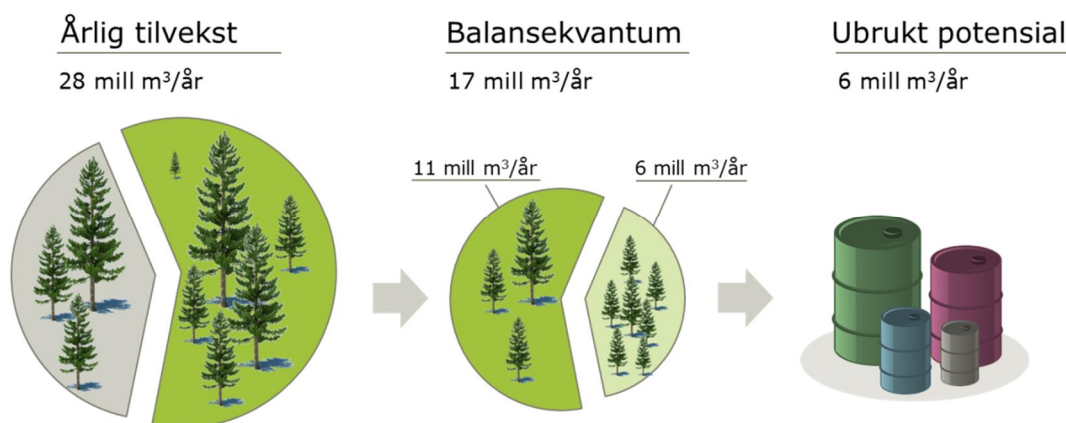
UMB har analysert det tekniske og økonomiske potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål, med tilhørende prisvurderinger. I modellen som benyttes er vern og miljøhensyn i henhold til kravene som ligger i skogbrukets miljøsertifiseringssystem, Levende Skog, lagt inn. Det innebærer at det tas hensyn til vernede arealer og nivå på skogbehandling. De viktigste restriksjonene her omfatter:

- Ikke-hogst i nøkkelbiotoper
- Ikke-hogst i områder med myr og sumpskog
- Ikke-hogst i kantsoner mot vann og vassdrag, myr, våtmark og kulturlandskap
- Minimum 10% lauv-skogandel på fylkesnivå

Figur 3-3 illustrerer forholdet mellom den årlige tilveksten i norske skoger i dag, hvor mye biomasse som tas ut, og den gjenværende mengden. Den årlige tilveksten i norske skoger basert på tall fra 2012 er på 28 mill. fastkubikkmeter. Av dette utgjør 17 mill. fastkubikkmeter såkalt «nasjonalt balansekvantum», – det vil si den mengden tømmer som kan tas ut hvert år uten å måtte redusere uttaket på noe tidspunkt senere ³². Til sammenligning er den totale avvirkingen i Norge i dag på omlag 11 mill. fastkubikkmeter per år. Dette innebærer en teoretisk mulighet for å hente ut 6 mill. fastkubikkmeter mer enn i dag uten å gå utover balansekvantumet.

³² I denne størrelsen er det lagt inn nasjonale miljørestriksjoner for skogvern og Levende Skog standardene, det vil si at det tas hensyn til vernede arealer og bærekraftig skogsdrift med hensyn på næringsstoffer

Figur 3-3 – Årlig tilvekst, balansekvantum og teoretisk potensial for økt uttak i 2012



Hvor mye som blir tilgjengelig til energiformål påvirkes først og fremst av markedsprisen på tømmer og energi samt driftskostnadene i skogbruket. UMB har beregnet det samlede potensialet for økt uttak av biomasse fra skogen de kommende tiårene ved to ulike scenarier. I begge scenariene forutsettes tømmerretterspørselen fra skogsindustrien å være på samme nivå som i dag.

Til sammenligning er den totale avvirkningen i Norge i dag omlag 11 mill. m³ per år.

Skogressursen kan kategoriseres etter ulike kvaliteter som har ulik anvendelse. Tømmerstokken (rundvirke) klassifiseres som sagtømmer eller massevirke. Sagtømmer er det virket som er av best kvalitet og tilstrekkelig størrelse, og brukes i sagbruks- og trevareindustrien. Massevirket har en lavere kvalitet og brukes gjerne i treforedlingsindustrien til tremasse, papir, papp osv. – eller til energiformål. En mindre andel av avvirkningen selges som ved, ofte levert direkte til forbruker.

Figuren under viser kategorier skogressurser, etter kvalitet og bruksområde. De skraverte feltene er de beste kvalitetene tømmer, og brukes ikke til energiformål. Potensielle skogressurser til bruk for biodrivstoffproduksjon omfatter massevirke og hogstavfall, slik som greiner og topper (GROT), stubber og røtter.

Figur 3-4 - Kvaliteter av skogressurser



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

Til sammenligning oppsummerer Tabell 3-1 produksjon og bruk av tre til industri og til energiformål i Europa.

Tabell 3-1 – Produksjon og forbruk av tre i EØS-området ³³

	Wood in gross inland energy consumption, 2010		Production of roundwood 2011 ³⁴		
	% of total energy	% of renewable energy	Millions of m ³ (under bark)	Industrial wood (%)	Fuelwood (%)
EU27	4,8	49	428,6	79	21
Belgium	2,4	58	5,1	83	17
Bulgaria	5	62	6,2	54	46
Czech Republic	4,4	71	16,3	88	12
Denmark	13,2	65	2,6	57	43
Germany	3,6	38	56,1	81	19
Estonia	13,4	96	7,5	73	27
Ireland	1,4	31	2,6	93	7
Greece	2,9	38	1,2	28	72
Spain	3,6	32	17,6	71	29
France	3,9	50	53,5	55	45
Italy	2,5	24	6,3	26	74
Cyprus*	0,5	13	0	58	42
Latvia	27,1	78	13	91	9
Lithuania	13,7	88	8,1	78	22
Luxembourg	1	36	0,3	93	7
Hungary	5,9	77	6,1	48	52
Netherlands	1,6	46	1,2	76	24
Austria	13	50	18,7	73	27
Poland	5,8	81	37,2	87	13
Portugal	10,6	47	9,1	93	7
Romania	11,2	68	14,4	72	28
Slovenia	7,9	53	3,4	61	39
Slovakia	4	52	9,2	93	7
Finland	20,8	85	50,8	90	10
Sweden	19,3	57	72,1	92	8
United Kingdom	1	30	10	88	12
Norway	3,7	11	10,7	80	20
Switzerland	3,5	19	4,9	68	32

* roundwood production is less than 0.1 mill.ion m3

** no roundwood production

POTENSIALET FOR BIOMASSE TIL ENERGIFORMÅL

UMB har laget to ulike scenarier til grunn for sin analyse av det tekniske/ressursmessige potensialet i 2020, 2030 og 2050, fordelt fylkesvis (s 15, (Trømborg et al., 2012)):

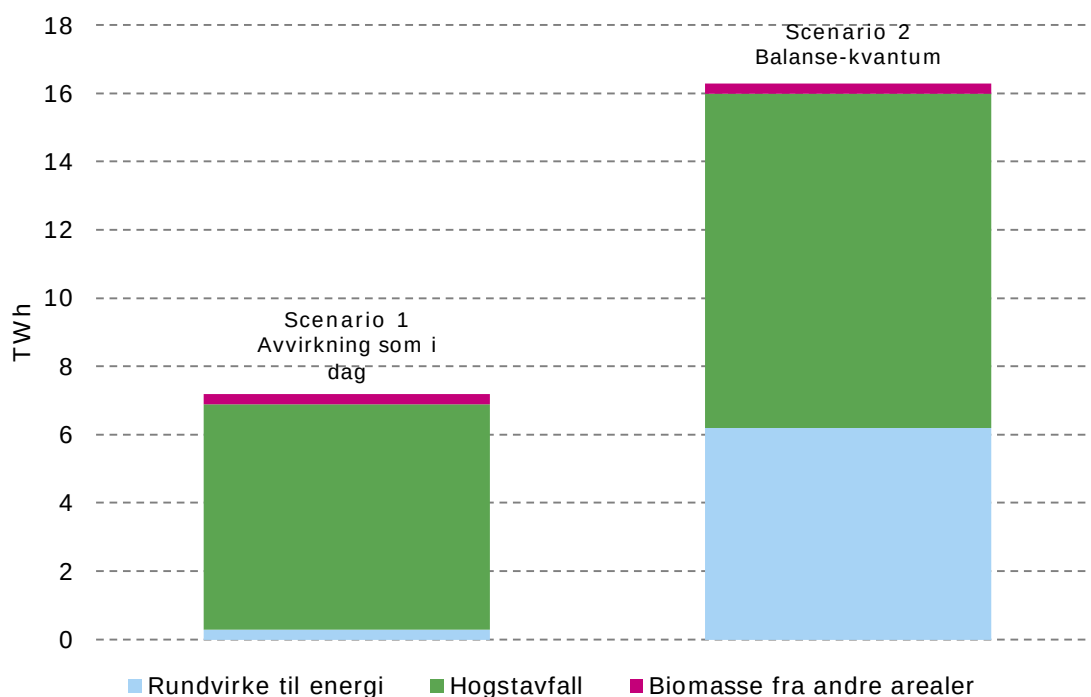
³³ "Production and consumption of wood in the EU27," 2012

³⁴ Rundvirke innebærer avvirkning av alt trevirke (industrielt rundvirke og ved) fra skog og fra trær utenfor skogen, inkludert trevirke fra naturlige-, avvirknings- og hogststap. Ved/energivirke: rundvirke som benyttes som brensel til formål som matlaging, oppvarming eller energiproduksjon. Dette inkluderer også flis produsert direkte fra rundvirke som benyttes som brensel. Industrielt rundvirke: inkluderer tømmer (brukt til produksjon av sagtømmer og finer), massevirke (brukt til fremstilling av papirmasse, sponplater og trefiberplater) og annet industrielt trevirke (inkluderer tømmer for produksjon av stolper, pæleverk, søyler eller gjerdemateriale).

- 1) Avvirkning som i dag (opptil 12 mill. m³). Dette er etter UMBs vurdering det mest sannsynlige scenariet, da det forutsettes at skogsindustriens forbruk av tømmer er den samme som i dag og det er lite som tyder på store endringer i markedet.
- 2) Avvirkning opptil balansekvantum (maks 17 mill. m³).

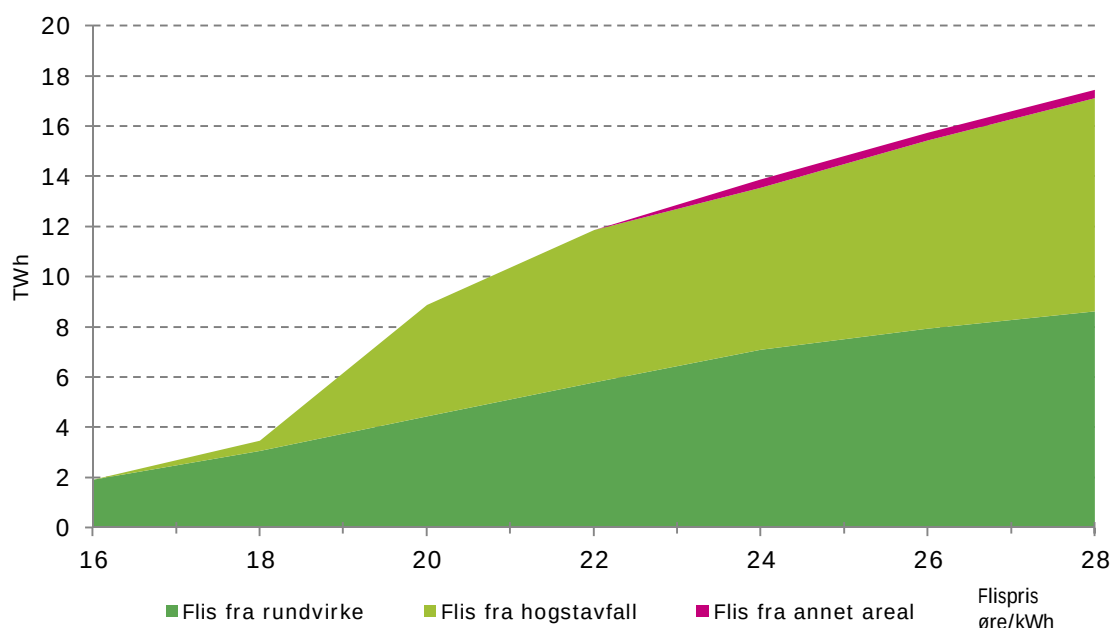
Figur 3-5 viser det samlede potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål i 2025, ved de to ulike scenariene forutsatt en flispris på 30 øre/kWh levert industritomt.

Figur 3-5 – Potensial for økt uttak av biomasse (i TWh) til energiformål i 2025 ^[2]



Dersom avvirkningen ikke øker (scenario 1) ligger potensialet i økt bruk av hogstavfall og re-allokering av massevirke som i dag går til treforedlingsindustrien. Det totale potensialet vil da være i overkant av 7 TWh/år i 2025. Dersom avvirkningen øker til balansekvantum (scenario 2) vil det totale potensialet være i overkant av 16 TWh/år i 2025.

Det faktiske tilbudet vil være en funksjon av kostnader for uthenting, bearbeiding, transport og lagring, og priser i markedet. UMBs analyser viser at tilgangen på flis fra hogstavfall er svært følsom for prisen. En flispris på 16 øre/kWh i scenario 1 gjør flis fra hogstavfall ulønnsomt, mens en pris på 20 øre/kWh gjør det lønnsomt å hente ut over 90 % av hogstavfallspotensialet. Estimert samlet tilgang på biomasse fra skog, i form av beregnet tilbud av energiflis levert industritomt ved ulike flispriser er vist i Figur 3-6. Ved en pris på 20 øre/kWh kommer omtrent halvparten av råstoffet fra hogstavfall og halvparten fra flis fra rundvirke. Ved flispriser under 20 øre/kWh vil det være lite tilbud av flis fra hogstavfall. Dagens forbruk av biomasse fra skog er ikke inkludert.

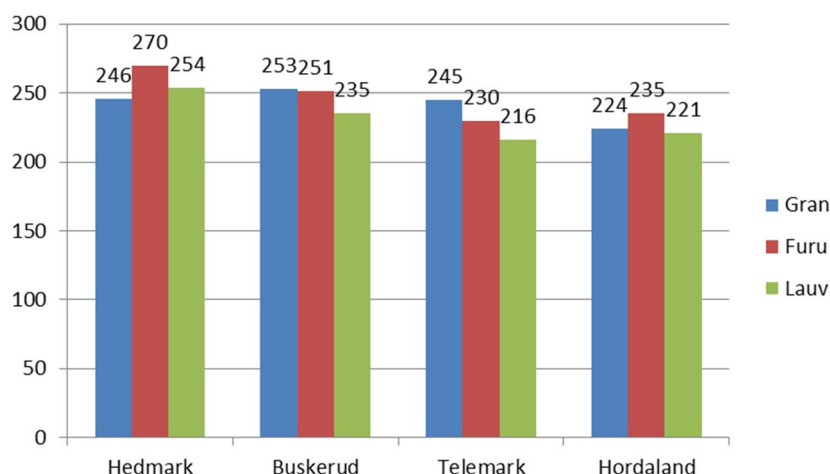
Figur 3-6 - Beregnet tilbud av energiflis fra skogråstoff i år 2020 ^[2]

Tømmer omsettes i et velfungerende marked hvor prisene bestemmes av rådende tilbud og etterspørsel. Det er en viss prisvariasjon mellom regionene, som påvirkes ved store endringer i tilbud eller etterspørsel. Et storskala biodrivstoffanlegg vil innebære en stor etterspørselsøkning i en region, og vil kunne drive prisene opp.

Figur 3-6 viser hvor mye energiflis (fra hogstavfall og rundvirke) som vil være tilgjengelig ved ulike priser, dvs. at skogeierne henter ut mer tømmer ettersom prisen stiger. Skulle prisen bli så høy som 28 øre/kWh, så vil uttaket nærme seg den miljømessige tålegrensen (=balansekvantum), illustrert i Figur 3-5. Potensialet ligger dermed mellom 7 TWh (ved 19-20 øre/kWh) og 16 TWh (26-27 øre/kWh) avhengig av prisen. UMB konkluderer med at et nivå på ca. 7 TWh vil være mest sannsynlig.

UMB har modellert prisseffekten i scenario 1 av å etablere et anlegg som forbruker 1 mill. m³ virke, i utvalgte regioner der det kan være relevant å lokalisere et slikt anlegg i 2020^[4]. Det er betydelige usikkerheter knyttet til forutsetningene lagt inn i modellen. De største usikkerhetene er knyttet til utvikling i massevirkemarkedene i Europa og energiprisen. Denne er styrende for bioenergiens konkurranseevne. Høyere elpris øker avvirkningsnivået, men ikke så mye at det alene vil kunne utløse avvirkning i nærheten av balansekvantum.

Modellresultatene gir regionale prisvariasjoner med omtrent samme mønster som observeres i markedet i dag, med generelt høyest priser i øst og lavere vestover i landet. Forskjellene er relativt moderate. Figur 3-7 viser prisvariasjonen mellom regioner og ulike typer virke.

Figur 3-7 – Modellsimulerte massevirkepriser levert anlegg i 2020, scenario 1. NOK/m³ [4]

Modellen viser også estimert prisendring og absolutte priser for ulike råstoffkvaliteter innen regionen, avhengig av hvilken råstoffmiks anlegget bruker. Til eksempel viser Figur 3-8 den estimerte prisøkningen for råstoffkvalitetene i for Buskerud.

Figur 3-8 – Modellert endring i pris som følge av biodrivstoffanlegg i Buskerud i 2020, scenario 1 [4]



20 øre er lagt inn som gjennomsnittspris for flis i prosjektets bedriftsøkonomiske analyser for de skisserte forretningskonseptene for norsk produksjon av biodrivstoff til luftfart.

3.1.2 Trebasert biomasse utenom produktiv skog

Utenom produktiv skog finnes en rekke andre arealer som ved rydding gir biomasse som kan brukes til biodrivstoffproduksjon. Dette er arealer knyttet til kulturbeite, kraftlinjer, kanter langs vei og jernbane o.l., bebygde områder og jordbruksområder. UMB anslår potensialet fra slike arealer til å utgjøre maksimalt 1,8 TWh per år.

Det er imidlertid en del utfordringer med å realisere dette potensialet, slik som lav biomassetetthet, spredte områder og høye driftskostnader. Bare en mindre del av potensialet er derfor økonomisk realiserbart.

3.1.3 Biomasse fra jordbruksarealer

Norge har lite jordbruksarealer og matvaresikkerhet er et viktig prinsipp i norsk jordbrukspolitikk. Det er derfor lite sannsynlig at man vil se noen betydelig grad av omlegging fra mat eller fôr til energivækster³⁵. Avfall i jordbruket, slik som halm og husdyrgjødsel, kan brukes i større grad, men spredt produksjon og høye transportkostnader gjør det til en lite konkurransedyktig ressurs i et større, industrielt anlegg for biodrivstoff. Halm og kornavrens utgjør en ressurs i størrelsesorden 1-3 TWh per år.

3.1.4 Avfall

Selv om den totale mengden avfall i Norge har økt jevnt i moderne tid, er dette i dag en lite tilgjengelig ressurs til biodrivstoffproduksjon ettersom det i stor grad allerede benyttes. Omlag 40 % av avfallet materialgjenvinnes og 20 % energigjenvinnes. Forbrenningen av avfall er omtrent doblet de siste 10 årene, mesteparten er husholdningsavfall (80 %) og i overkant av 20 % er industriavfall. Avfallsmengden fra industri går ned, mens den øker fra husholdninger og andre næringer.

Industrien vil stå for en langt mindre andel av avfallet i 2020 enn i dag, mens husholdningene, bygge- og anleggsnæringen og tjenesteytende næringer ventes å øke sine andeler av den samlede avfallsmengden vesentlig. Denne utviklingen skyldes dels at avfallsmengden fra industrien antas å øke mindre enn avfallsmengdene fra de tre andre kildene ved en gitt økonomisk vekst, og dels at industriens andel av brutto nasjonalprodukt (BNP) avtar.

Det er bygd ut flere fjernvarmeanlegg basert på avfall i Norge de siste årene, blant annet store kombinerte kraft-/varmeanlegg (CHP). I perioder har det vært vanskelig for flere av avfallsanleggene å få nok avfall til å utnytte sin kapasitet. Fordi veksten i avfallsmengden er begrenset i årene som kommer, og det er god kapasitet i eksisterende anlegg, er potensialet for avfall til biodrivstoffproduksjon i Norge vurdert som begrenset med de biomassemengdene slike anlegg krever. ^[4]

3.1.5 Bærekraft

Gjennomgangen over viser at det av landbaserte råstoff i hovedsak er skogressurser som er relevant for et storskala biodrivstoffanlegg i Norge. De mindre potensialene utgjøres av ulike typer avfall, noe som i liten grad er problematisk ut i fra et bærekraftsperspektiv. Bruk av avfall er effektiv ressursutnyttelse, så fremt ikke transporten er for omfattende slik at de totale utslippene for videre prosessering blir for høye.

Av de tre aspektene ved bærekraft – miljø, sosiale og økonomiske forhold – er det først og fremst det miljømessige som har relevans i forhold til bruk av råstoff fra norske skoger. Skogbruket er en moden næring som ikke vil endres betydelig med en økt etterspørsel etter råstoff til biodrivstoffproduksjon. Både produktene og driften i skogbruket vil være om lag de samme som i dag.

På miljøområdet er det spesielt klimateffekten som er viktig. Biodrivstoff til luftfart er et klimatiltak og det er derfor en forutsetning at de totale utslippene knyttet til framstilling og bruk av drivstoff reduseres sammenlignet med bruk av konvensjonelt fossilt drivstoff.

Videre kan det være konflikt mellom skogens ulike viktige funksjoner - herunder uttak av råstoff, skogen som karbonlager, skogens betydning for bevaring av biologisk mangfold og økosystemtjenester.

KLIMATEFFEKT

Store mengder CO₂ tas årlig opp i skogene. Hvor mye klimagasser som tas opp og lagres avhenger av skogens tilvekst og alder. I boreale skoger som i Norge er om lag tre fjerdedeler av karbonlageret i jordsmonnet og dødt plantemateriale, og en tredjedel i den levende biomassen.

³⁵ Energivækster er vekster som plantes eller sås med bioenergi som formål.

Volumet i norske skoger har økt de siste hundre år, spesielt på grunn av intensiv skogplanting etter andre verdenskrig. Tilveksten er økende og høyere enn uttaket, som er stabilt på om lag 40 prosent av tilveksten. Mye av skogen i Norge har nådd eller passert sin optimale vekstfase. Når skogen eldes og vokser saktere vil det årlige opptaket av CO₂ gå ned, samtidig som naturlig avgang øker, og en del av karbonet vil overføres til død biomasse. Usikkerheten er imidlertid stor hva angår vekstrate og CO₂-opptak i gammel skog, samt omkring stabiliteten av dette karbonlageret. Det er også forskjell mellom produksjons- eller kulturskog og naturskog. Førstnevnte er gjerne yngre, i sterkere vekst og tar derfor opp mer karbon, mens naturskogen gjerne er eldre og har mer av karbonet lagret i jordsmonnet.^[47]

De viktigste årsakene til menneskeskapte klimaendringer, er utslipp av CO₂ fra bruk av fossile energikilder og fra avskoging. Avskoging gir utslipp av karbon lagret i biomasse og jordsmonn. Et redusert skogareal vil også gi redusert årlig CO₂-opptak. Avskoging av enkeltarealer i Norge er i følge det nasjonale klimagassregnskapet lite, og knyttet til etablering av blant annet infrastruktur, bebyggelse, alpinanlegg og så videre i eksisterende skog.^[47]

All avvirkning fører til en midlertidig reduksjon i skogens karbonlager. Hvor lang tid det tar før karbonlageret er gjenopprettet avhenger av plantenes omløpstid og vekstforhold, slik som evt endret temperatur, nedbør og næringsstoffer.

Tilbakebetalingstiden ved bruk av skogressurser varierer ettersom hvilke kvaliteter som brukes (for eksempel hogstavfall eller rundvirke). Tilsvarende har det stor betydning hva skogressursen erstatter (substitusjonseffekten). En optimal utnyttelse av ressursen vil kunne redusere tilbakebetalingstiden. Slik som hvis mest mulig av treet brukes til varige treprodukter som fortsetter å lagre karbon, og som erstatter utslippsintensive produkter (for eksempel stål og betong), samtidig som hogst- og industriavfallet brukes til bioenergi som erstatter fossil energi.

Modellberegninger gjort av Norsk institutt for skog og landskap viser at gjennomsnittlig tilbakebetalingstid for biomasse fra norsk produksjonsskog³⁶ er rundt 90 år ved best mulig bruk av de ulike kvalitetene av virket, eller trolig lengre ved permanent økt avvirkning.^[45]

Andre forskningsresultater peker i retning av enda lengre tilbakebetalingstid. Holtsmark^[41] finner at hogst av norsk tømmer for energiformål kan gi en tilbakebetalingstid på 150 år, eller hele 230 år dersom det brukes til å produsere andregenerasjons biodrivstoff. Men, ved bruk av hogstavfall til biodrivstoff er vil tilbakebetalingstiden være langt kortere. Det er imidlertid store forskjeller i vekstforholdene i skog og mellom ulike treslag, noe som i liten grad gjenspeiles i modellene.

Metodene for å beregne denne effekten er i tidlig fase, og det er betydelig usikkerhet knyttet til resultatene. I dette prosjektet er det valgt en mulig metode for å synliggjøre usikkerheten knyttet til effekten av karbondjeld og tilbakebetalingstid for norsk skogsråstoff i som del av en livssyklusanalyse. Nærmere omtale av dette gis i kapittel 6.

ALBEDOEFFEKTEN

Albedoeffekten, som ble diskutert i kapittel 2.4, er spesielt relevant for våre breddegrader der det i vinterhalvåret normalt vil ligge snødekke. Hogstflater har en høyere albedo enn skog siden lyse overflater reflekterer mer stråling enn mørke. Dersom hogstflata er snødekt når det er høy innstråling, vil forskjellen være betydelig. Viktigheten av å inkludere albedo når klimaeffekt av biodrivstoff analyseres, er understreket i en lang rekke publikasjoner^[4].

Dersom en øker hogsten, vil det medføre et større hogstflateareal, noe som vil øke den totale albedoen og dermed gi en avkjølende effekt. Bright et al.^[29] har beregnet oppvarmingseffekten (både klimagasser og albedo er inkludert) som følge av økt hogst. De har forutsatt at den økte avvirkningen

³⁶ For en typisk granbestand på middels bonitet (G14)

brukes til produksjon av biodrivstoff. Beregningene deres viser at økt hogst har en avkjølende virkning i ca 50 år. Den akkumulerte effekten over 100 år er i studien tilnærmet lik null.

Bright et al.^[29] har også beskrevet at Fischer-Tropsch-produsert biodiesel fra boreal skog reduserer albedo klimaeffekten fra det modellerte systemet med minus 55 % relativt til totale klimagassutslipp. Her er også biogene CO₂-utslipp tilegnet en klimaeffekt.

Effekten av endret albedo i boreal skog i hovedsak skyldes snødekke i perioden mars – mai. Dersom klimaendringer fører til mindre snødekke i denne perioden, vil albedoeffekten bli betydelig redusert.^[4]

Ulike tiltak i skogen vil også kunne påvirke albedo mer indirekte. Tiltak vil kunne påvirke fordampningen fra skogen (evotranspirasjon³⁷). Økt fordampning vil kunne øke mengde lave skyer og dermed øke albedoen på toppen av atmosfæren (TOA). Gjennom utslipp av biogene flyktige organiske forbindelser som skaper sekundære organiske aerosoler (SOA), påvirker skogen TOA-albedoen gjennom kondensering og dråpeantall noe som igjen øker albedo og levetiden for skyer.^[4]

Imidlertid viser ny forskning, blant annet ved NTNU og CICERO Senter for klimaforskning at albedo-effekten er så stor at den kan oppveie en betydelig andel av utslippene knyttet til karbondioksid fra skogressurser.^[31]

BIOMANGFOLD OG ØKOSYSTEMTJENESTER

Norske skoger er viktige for bevaring av biomangfold og står for en rekke svært viktige økosystemtjenester³⁸ for individ og samfunn. Noen skogtyper har større betydning for disse formålene enn andre. Skog er leveområdet for om lag halvparten av norske rødlistearter, dvs. planter og dyr som er utrydningstruet eller forekommer sjelden.

Norsk institutt for naturforskning (NINA) finner at det ofte er en sammenheng mellom skogtypenes betydning for å bevare biomangfoldet og årlig CO₂-opptak pr arealenhet, samt (med noen unntak) også karbonlager pr arealenhet. Spesielt rik barskog og eldre løvskog med edelløvtrær har både stor verdi for biomangfoldet, som karbonlager og for opptak av CO₂ pr arealenhet. Bevaring av gammel skog er særlig gunstig for biomangfoldet så vel som for bevaring av karbonlageret i eldre løvskog med edelløvtrær. Rik barskog er viktig for både biomangfoldet og karbonlager pr arealenhet, men har stor interessekonflikt med skogbruk ettersom dette arealet vil være økonomisk drivverdigg. Gammel gran-skog, og til dels gammel furuskog, er svært viktige som karbonlager og noe mindre viktige for biomangfoldet. Her er det også stor interessekonflikt med skogbruk.^[38]

Det vil være en rekke variabler som avgjør hvilken effekt skogsdrift og meruttak av råstoff til biodrivstoffproduksjon vil ha på biomangfoldet, og på skogens evne til å levere økosystemtjenester. NINA peker på hvordan noen aktiviteter – slik som uttak av GROT og tynningsvirke i spesielt barskog, samt rydding av tilgroingsarealer kan være positivt også for biomangfoldet, mens det i rike skogstyper og nye områder (langt fra vei, bratte arealer osv.) vil kunne være negativt.^[27]

Koblingen mellom biodrivstoff og biodiversitet er også etablert i Fornybardirektivet, der bærekraftskriteriene ekskluderer råmaterialer fra arealer med høy biodiversitet, blant annet urskog, og andre uberørte, skogkledte områder, verneområder og naturreservater, samt gressletter med høy biodiversitet. Nasjonalstatene må også rapportere om eventuelle konsekvenser for biomangfold som en følge av produksjon og bruk av biodrivstoff.

Markeds- og driftsforhold i skogbruket og skogsindustrien tilsier at det er liten grunn til å anta at av-virkningen i 2020-25 vil være på et mye høyere nivå enn i dag. Uttaket vil gjøres hovedsakelig i pro-

³⁷ Evapotranspirasjon er den samlede fordampningen fra en vegetasjon. Den består av evaporasjon fra fysiske objekter (vannflater, jord og våte steiner) og transpirasjon fra de levende plantenes overflate

³⁸ Grunnleggende funksjoner naturen gir – slik som rensing av luft og vann, produksjon av planter og organismer, fordrøyning og håndtering av ekstremvær, opplevelser og rekreasjon for mennesker.

duksjonsskog som i dag. Selv om det i et slikt scenario ikke er grunn til å anta noen sterk økning i press på avvirkning, vil det også her være nødvendig å ha økt oppmerksomhet på biomangfold og økosystemtjenester, spesielt i takt med pågående klimaendringer

3.1.6 Konklusjon norsk, landbasert biomasse

Gjennomgangen i kapittel 3.1 viser at den langt viktigste kilden til råstoff i Norge er ressurser fra produktiv skog. I tillegg kan det være noe å hente fra andre skogkledte arealer og litt jordbruksavfall, men dette er svært små volum. Ettersom antatt uttak fremover er lavt sammenlignet med teknisk/ressursmessig potensial kan skogen betraktes som en langsiktig kilde til råstoff. Det er flere regioner i Norge med god nærhet til skogsråstoff, og med etablerte logistikk-kjeder.

Størrelsen på det økonomiske potensialet (volumet) avhenger av markedsprisene på flis. Potensialet vil ligge mellom 7 TWh (ved 19-20 øre/kWh) og 16 TWh (26-27 øre/kWh) avhengig av prisen. UMB konkluderer med at et nivå på ca. 7 TWh vil være mest sannsynlig.

I Norge i dag avvirkes skog i all hovedsak som råstoff til sagbruks- og treforedlingsindustrien der prisene er høyere enn til energiformål. Skogsavfall fra eksisterende skogindustri er en betydelig uutnyttet ressurs. Det er i følge UMB^[4], i perspektivet 2020/2025, liten grunn til å anta at prisene vil endre seg så mye at det kan bli en massiv økning i hogsten, eller at det vil være lønnsomt å avvirke kun til energiformål.

Som vi kommer tilbake til i teknologikapittelet, er en av de mest lovende konverteringsteknologiene for biodrivstoff basert på termokjemisk gassifisering og Fischer-Tropsch teknologi. Denne prosessen er allerede en teknologisertifisert rute for spesifikasjonene til Jet A-1. Dette er en teknologi som kan forgasse og konvertere lignin- og celluloseholdige råstoff. Skogsråstoff har dermed en teknologisk match.

Skogsråstoff kan være en bærekraftig ressurs, også til energiformål, dersom det avvirkes og brukes på en optimal måte. De beste kvalitetene kan fortsette å lagre karbon som del av varige treprodukter, mens lavere kvaliteter og hogstavfall kan gå til energiproduksjon. Nyere forskning tyder på at både karbondjeld/tilbakebetalingstid og albedo er faktorer som påvirker klimaeffekten av biodrivstoff basert på norsk skog. Det er imidlertid ingen etablert og omforent metodikk for å beregne dette i dag.

Det er en politisk målsetning i Norge å øke bruken av bioenergi, samt å bidra til å utvikle andregenerasjons biodrivstoffproduksjon. Skogsråstoff er nøkkelen til begge. Det er dermed grunn til å tro at det ikke vil bli lagt restriksjoner på bruk av skogsråstoff til biodrivstoffproduksjon, gitt at det oppfyller bærekraftskriteriene som også er lagt til grunn i dette prosjektet. Som det vil vises senere i rapporten gir bruk av skogressurser et bærekraftig biodrivstoff for luftfart, vurdert ut i fra bærekraftskriteriene og EUs retningslinjer for klimagassregnskap.

3.2 Marine biomasseressurser

Biodrivstoff kan produseres fra biomasse og planter i ferskvann og fra havet. Alger, enten mikroalger, små mikroorganismer, eller makroalger, tang og tare, er hurtigvoksende og har blitt foredlet til biodrivstoff. Det har også vært gjennomført testflygninger med biodrivstoff fra mikroalger. Avfall fra fiske- og annen havbruksindustri kan også være grunnlag for biodrivstoff, og da gjerne biogass.

Produksjon fra landbaserte resurser har ledet fram til en omfattende debatt om bærekraft, spesielt innen konkurranse om matressurser og arealbruksendringer. Alger har i teoretiske beregninger et stort potensial som biomasse for biodrivstoff. Alger har også muligheter for å bli en mer bærekraftig biomasse enn landbaserte resurser av følgende grunner^[6]:

- Biodrivstoffproduksjon fra alger trenger ikke å konkurrere med tradisjonelle matvekster
- Alger konverterer solenergi og karbondioksid ved hjelp av lite næringsstoffer til biomasse og vokser raskt
- Alger produserer i mange tilfeller mer biomasse per areal og volum enn landbaserte planter
- Mange typer alger kan vokse i saltvann, brakkevann og forurenset vann og legger i de fleste tilfeller mindre press på ferskvann enn andre biomasseressurser

- Alger kan benytte CO₂ fra røykgass i industri
- Produkter og kjemikalier fra alger kan ha mange bruksområder og benyttes til høyverdige produkter, f.eks. protein til fôr, spesialkjemikalier som Omega-3 og farmasøytiske kjemikalier

Biodrivstoff produsert fra alger har flere fordeler sammenlignet med biodrivstoff fra landbaserte planter og vekster. De viktigste fordelene for mikroalger er høy biomasseproduktivitet og muligheten for dyrking i dammer og fotoreaktorer på ikke dyrkbart landareal med bruk av saltvann eller avløpsvann. Til tross for gode muligheter for miljømessige og sosiale fordeler kan produksjon av biodrivstoff fra alger resultere i store behov for tilførsel av næringsstoffer, som også må være bærekraftig, hvis ikke kan det føre til store negative miljøkonsekvenser og skadevirkninger, som for øvrig er aktuelt for de fleste formene for energiproduksjon. ^[15]

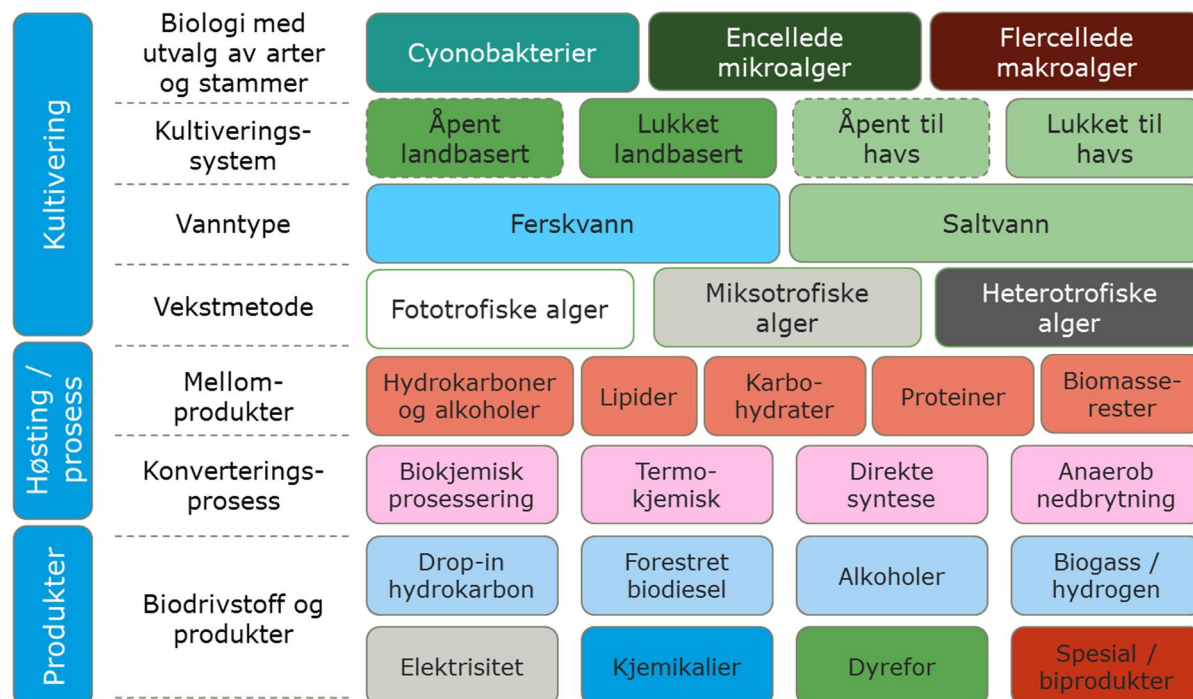
Makroalger (tang og tare) har også høy biomasseproduktivitet og høstes i dag til blant annet alginatproduksjon og mat. På global basis er marine makroalger blant de viktigste akvakulturprodukter med en samlet årsproduksjon på 14 millioner tonn, det meste i form av taredyrking i Kina. I stadig økende grad blir dyrking av makroalger integrert med akvakultur. Den økologiske begrunnelsen for å dyrke makroalger er først og fremst at disse algene effektivt binder næringssalter fra oppdrett av fisk og muslinger, men selve algebiomassen kan også utnyttes til biodrivstoff og en rekke formål. ^[23] Makroalger har andre utfordringer med storskala dyrking i havet med mange av de samme bærekraftsutfordringene som dyrking av landbaserte planter (biodiversitet, overgjødning etc.)

For å forstå bærekraftige biodrivstoff fra alger er det sentralt å forstå de enkelte trinnene som bygger opp om produksjonsprosessene. Et algeproduksjonssystem tilpasset biodrivstoff involverer ^[15]:

1. Kultivering av utvalgte stammer av alger
2. Innsamling av biomassen og tørking
3. Prosessering av algelipider, biomassen eller utskilte produkter
4. Raffinering videre til biodrivstoff

Produksjonen av biodrivstoff og energi fra alger er ikke en etablert industri og et stort antall produksjonsruter er foreslått, hvor et fåtall har blitt testet for Jet A-1. Algeindustrien er i startgroen når det gjelder storskala produksjon og fokuserer i dag på spesialprodukter i små mengder, sammenlignet med de store volumene som er aktuelt for biodrivstoff.

Figur 3-9 viser en generell oversikt over mulige trinn for alger til biodrivstoff. Ulike sammensetninger av kultivering og prosessering har resultert i mer enn 60 aktuelle ruter for alger til biodrivstoff.

Figur 3-9 – Ulike produksjonsruter og sluttprodukter fra alger © Rambøll^[15]

Produksjon av lønnsomt og konkurransedyktig biodrivstoff fra alger i stor skala krever en fundamental forståelse av alle aspekter innen algebiologi, genteknologi, sammensetningen av gener, og dermed forståelse for hva alger produserer, enten det er karbohydrater, lipider eller annen biomasse.

Det skilles normalt mellom mikro- og makroalger. Makroalger kalles også grovt for tang og tare, mens mikroalger er encellede planteplankton eller cyonobakterier som i dag lever fritt i havet eller i ferskvann, men som også kan produseres og kultiveres på land i kontrollerbare former.

3.2.1 Biodrivstoff fra mikroalger

Det eksisterer mer enn 40.000 typer alger og få har blitt kartlagt i detalj. Mikroalger kan produseres på mange ulike måter, f.eks. i åpne dammer som vist i Figur 3-10, eller fotobioreaktorer, vist i Figur 3-11 under, med kunstig eller naturlig belysning. De typer mikroalger som benyttes i kommersiell produksjon i dag er optimalisert for å vokse i områder med mildt klima og mye sol. Undersøkelser har vist at det hittil bare er produksjonssystemer med åpne dammer som gir muligheten for en økonomisk levedyktig drivstoffproduksjon, og da bare når produksjonskostnadene er på et minimum.

Figur 3-10 – Åpne dammer (raceway) for produksjon mikroalger © Sapphire Energy, New Mexico, USA



Klimaet og tilgangen på flatt land gjør at denne typen produksjon ikke egner seg i Norge. I Norge er fotobioreaktorer den mest aktuelle produksjonsmetoden. Fotobioreaktorer kan ha en høyere investeringskostnad enn åpne dammer, men kan ha andre fordeler som kontroll på algene, optimale driftsbedingungen for produksjon og minimal risiko for utilsiktet spredning. I dagens marked er prisen for flydrivstoff lavere enn for alternative produkter (OMEGA-3, farmasøytiske kjemikalier etc.). DNV KE-MA^[6], som har vært ansvarlig for delrapporten om marine ressurser, er av den oppfatning at det vil bli produsert lite eller ingen biomasse eller olje fra mikroalger til drivstoffproduksjon i Norge innen 2025-30. På den annen side har USA og Europa ambisiøse mål om algeoljeproduksjon som kan brukes til biodrivstoff. Forsvaret i USA sin forskningsavdeling, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), har som mål å utvikle konkurransedyktige algeoljer for biodrivstoff innen 2017 og EU Flightpath har som mål å etablere produksjon av 2,5 mill. liter algeoljer for biodrivstoff innen 2020.

Figur 3-11 – Dyrkning av mikroalger i fotoreaktorer La Jolla, CA, USA © CVSG & ExxonMobil



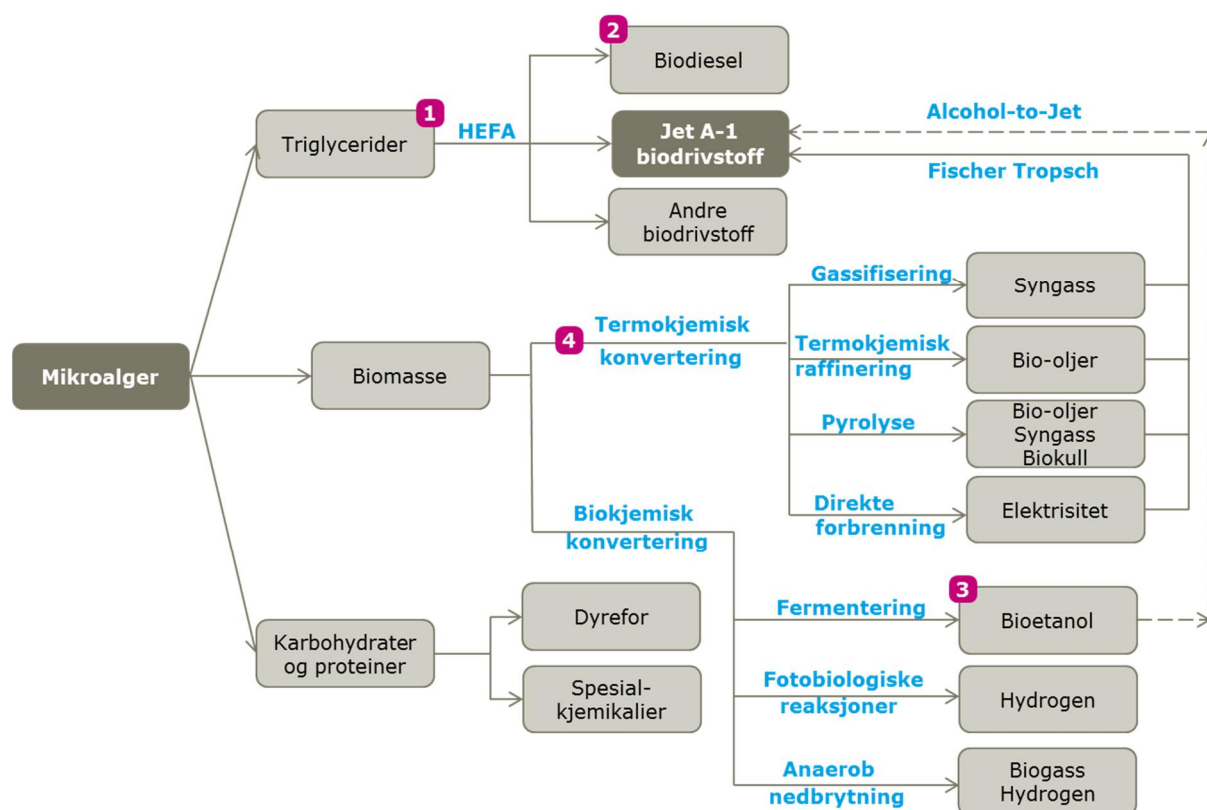
Figur 3-12 viser aktuelle rutene for Jet A-1 produksjon basert på mikroalger. Hvis biomasse fra alger skal benyttes til biodrivstoff er det mulig å benytte triglyserider, dvs. lipider og fettsyrer for videre behandling ved hjelp av HEFA-prosessen³⁹. Et annet alternativ er å gassifisere biomassen og benytte en termokjemisk prosess, eller å fermentere biomassen til alkoholer og deretter gå videre med AtJ.

³⁹ Teknologisertifisert, se kapittel 4.2.2 for mer informasjon. Alle prosessene, FT-SPK, AtJ-SPK og HEFA-SPK er beskrevet i detalj i kapittel 3.

Nummereringen i figuren henviser dessuten til de teknologiene som Forskningsrådet i USA har definert som de mest aktuelle og bærekraftige rutene:

1. Åpne dammer (Raceway) for drop-in hydrokarboner (f.eks. Jet A-1) og biprodukter
2. Åpne dammer (Raceway) for produksjon av fettsyrer og metyl-estere⁴⁰ (FAME) for innblanding i diesel
3. Fotobioreaktorer for direkte syntese til bioetanol.
4. Algebiomasse-prosessering (Whole-Cell Processing), som innebærer termokjemisk behandling og ikke utnyttelse av oljer eller sukker, men all biomasse.

Figur 3-12 – Biodrivstoff fra mikroalger ^[6]



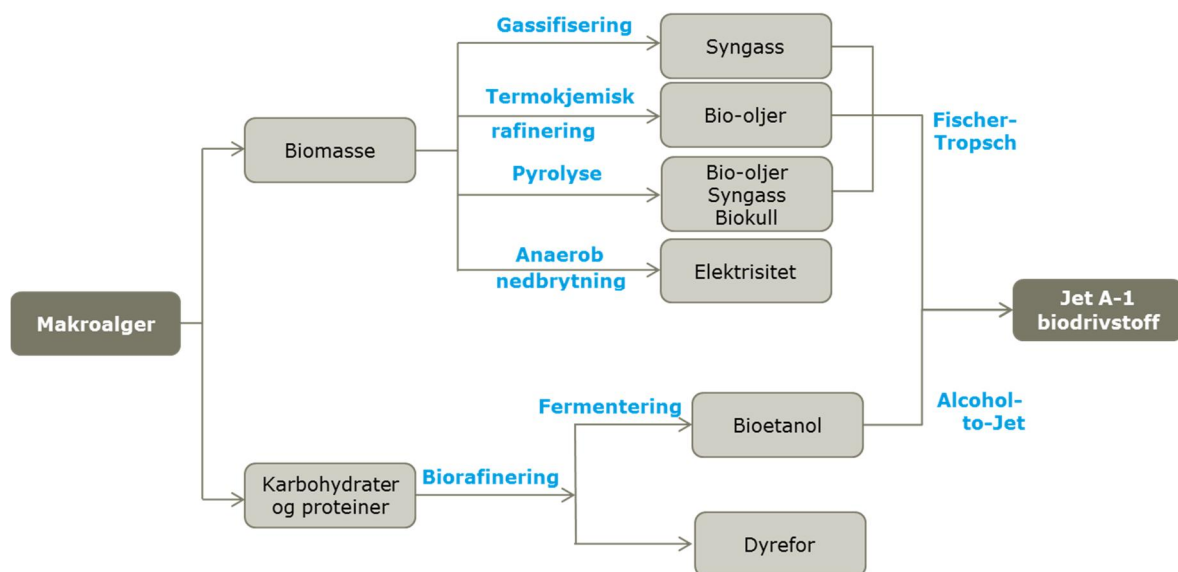
3.2.2 Biodrivstoff fra makroalger

Makroalger (tang og tare) er allerede en kommersiell viktig råvare globalt, også i Norge for alginat-produksjon. Forholdene langs Norges kyst egner seg for dyrkning av visse typer tang og tare. Som for mikroalger er det flere problemstillinger langs hele produksjonskjeden som må løses for at makroalger skal kunne dyrkes og prosesseres i industriell skala. De kommersielle aktørene i Norge fokuserer på å produsere etanol fra tang og tare. Etanol er derfor den mest sannsynlige energibæreren fra makroalger. Det er teknisk mulig å omdanne bioetanol til flydrivstoff i AtJ-prosessen. Ifølge aktører i Norge er det tidligst mulig med etanolproduksjon fra et bioraffineri basert på tang og tare i 2020. Selv om det i fremtiden er et potensial for en tang og tare industri i Norge, mener DNV KEMA at det er lite sannsyn-

⁴⁰ Fatty-acid methyl esters (FAME)

lig at makroalger blir et råstoff i kommersiell flydrivstoff innen 2025-30. Prosessen under viser hvordan makroalger kan prosesseres til biodrivstoff.

Figur 3-13 – prosessering av makroalger for biodrivstoff



3.2.3 Bærekraftig biodrivstoff fra alger

Under gjennomgåen en del hensyn av stor, middels og mindre betydning som må ivaretas for å etablere en storskala algeindustri, som må til for å produsere store volumer til biodrivstoff.

Momentene er delt inn i:^[15]

- Hensyn av stor betydning, som må håndteres godt,
- Hensyn med middels betydning, som bør overvåkes for å sikre at de ikke utgjør noen alvorlig trussel mot bærekraftaspekter
- Hensyn med mindre betydning, som kan ha et mindre fokus med god styring og gode tekniske løsninger

Hensyn av stor betydning

- Behov for vann, enten ferskvann eller saltvann, som trenges for kultivering og mengden av ferskvann som må blandes inn for å opprettholde nødvendige kjemiske forhold
- Tilførsel av næringsstoffer for god algevekst, nitrogen, fosfor og CO₂. Næringsstoffkilder kan inkludere jomfruelige kilder eller avfallsstrømmer, f.eks. kloakk eller røykgass.
 - o Forberedelse og transport av disse avfallsstrømmene for gjenbruk, resirkulering av næringsstoffer, produksjon av biprodukter, og bruk av fossile energibærere som kreves for å produsere nødvendig næringsstoffer påvirker alle energieffektiviteten til prosessen, utbytte fra massebalansen og klimagassutslipp
- Tilgang til land og lokaliteter med egnet klima for algestammene, nær vann og næringsstoffer, f.eks. nærhet til spillvarme, prosessindustri med røykgass og CO₂, eller vann og avløpsstrømmer med stort næringsinnhold fra landbruk, industri eller byer og tettsteder⁴¹
- Energitilbakebetaling for investeringer, dvs. algebiodrivstoff må inneholde mer energi per enhet enn det som kreves for prosessering og produksjon, noe som ikke er tilfelle for en del ruter som har vært testet i lab skala

⁴¹ DNV KEMA har regnet på noen i Norge^[6]

- Klimagassutslipp for algebiodrivstoffets livssyklus, dvs. utslippet må være lavere enn for fossilt og helst for andre biodrivstoff, og i dag er spredningen stor avhengig av utnyttelse av røkgass og bruk av biprodukter

Hensyn av middels betydning

- Vannbårne miljøgifter i kultiveringssystemer hvor det brukes røkgass eller kloakk som kilde for næringsstoffer, spesielt hvis dyrefôr og gjødselprodukter skal produseres som biprodukter
- Arealbruksendringer hvis beite og utmark skal omdisponeres til algedyrking da det kan påvirke klimagassregnskapet fra algebiodrivstoffet
- Luftkvalitet over livssyklusen, dvs. utslipp fra prosesseringsanlegg og eksos fra sluttbruk
- Effekter på lokalt klima med storskala installasjoner, f.eks. i fjorder eller til havs for Norges del
- Utslipp av dyrket alge til omgivelsene og påvirkning på lokale algearter
- Effekter på biodiversitet på land fra endringer i landskapet fra større installasjoner
- Utslipp av genmodifiserte alger med potensielle irreversible og utilsiktede effekter
- Avfall fra algeprosesseringen, i dag dumpes det f.eks. store mengder (150.000 tonn?) fra alginatproduksjonen i Norge
- Spredning av patogener (bakterier og mikroorganismer) hvis avløpsvann brukes som næringsstoffkilde
- Spredning av toksiner, dvs. uidentifiserte, ukjente eller uforventede toksiner som kan genereres i større volumer

Hensyn av mindre betydning

- Utilsiktede utslipp av prosessvann og spredning av næringsstoffer og kjemikalier til jord og omkringliggende vann
- Innsig av prosessvann til lokalt grunnvann hvis åpne dammer benyttes eller det er lekkasje fra frittstående fotoreaktorer pga. slitasje eller ekstremvær

Arbeidet med å definere bærekraftig biodrivstoff i USA, som er nylig presentert i rapporten *Sustainable Development of Algal Biofuels* fra Det Amerikanske Forskningsrådet, konkluderer med at dagens teknologi og vitenskap ikke kan oppskalere en bærekraftig algeproduksjon for å nå målene om en produksjon av 5 % av USA sitt behov for drivstoff.

Bærekraftig utvikling av algebiodrivstoff krever forskning, utvikling og demonstrasjon av følgende momenter:

- Utvelgelse av mer egnede algestammer og kultivering av algene for å maksimere biodrivstoff produksjon
 - o Lite er kjent om de mer enn 40.000 typer alger og få har blitt kartlagt i detalj.
 - o For norske forhold finnes det mange arktiske alger som enda ikke er testet
- Dokumentasjon og utvikling av ruter med et positivt energiregnskap, og energy return on investment (EROI) som er sammenlignbar med andre drivstoff for transport
- Bruk av avløpsvann og resirkulering av prosessvann, spesielt hvis ferskvann er benyttet
- Resirkulering av næringsstoffer

Figur 3-14 – Laboratorieprøver av mikroalger, © Sapphire Energy, New Mexico, USA



Andre faktorer som kan bety mye for utviklingen av algebiodrivstoff er at⁴²:

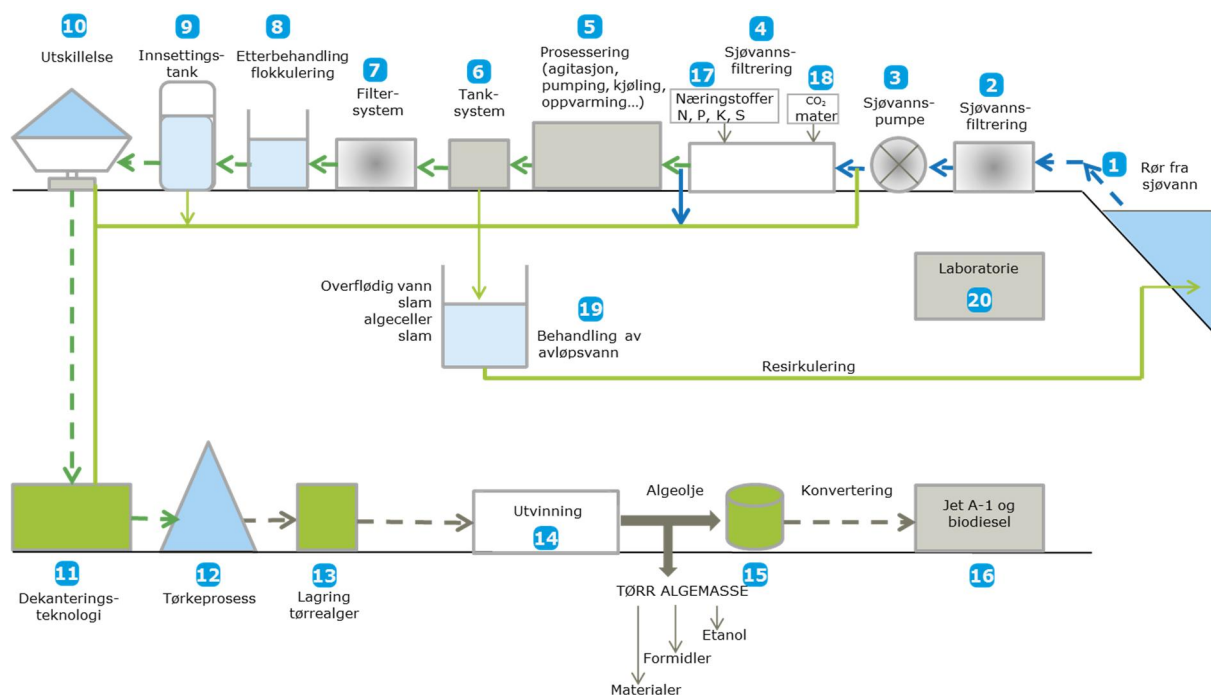
- Algeproduksjon kan nyte godt av høye inntekter fra spesialprodukter før en oppskalering og er essensielt for lønnsomheten til et bioraffineri med biodrivstoff som en delstrøm
- Flere pilot- og noen få demonstrasjonsanlegg har blitt bygget eller i en planfase, men det er ingen industriell skala for biodrivstoff produksjonsanlegg basert på alger
- Globalt satses det stort på forskning, utvikling og demonstrasjonsanlegg, spesielt i Nord-Amerika og Europa med mange oppstartsselskaper med ulike teknologier
- Lipid-rike alger har det beste potensialet som råstoff for biodiesel og Jet A-1

3.2.4 Norske forhold for algeproduksjon

Norge har en lang tradisjon med akvakultur og oppdrett som har vokst betydelig de siste 30-40 årene. Norge har fjorder og en skjermet kyst med øyer, naturlig tilgang på næringsstoffer og et godt utviklet regelverk for akvakultur, som riktignok er under tilpasning til storskala algedyrkning. Norge har dessuten mye spillvarme fra mange anlegg i nærheten av kyst, også med røykgass, som kan brukes til algeproduksjon.

DNV har identifisert mulige lokasjoner for mikroalgeproduksjon med hensyn på CO₂-behov. 33 industrielle anlegg i Norge har teoretisk sett nok CO₂ til 40 millioner liter algeoljer, og 8 anlegg med nok CO₂ for 200 mill. liter algeoljer, basert på 2 kg CO₂/kg alge. En hovedutfordring er tilgang på nok næringsstoffer, i tillegg til det som fins naturlig i havet, som kan pumpes inn i et system, som vist i Figur 3-15. Skissen viser et forslag til en produksjonsprosess for alger, primært mikroalger, til biodrivstoff som kan etableres langs norsk kyst og i eller ved norske fjorder. Næringsstoffer må tilsettes, og tradisjonelt brukes nitrogen og fosfor hvis man skal produsere til farmasøytisk industri. Det er imidlertid ikke nok av dette til storskala produksjon til biofuel. Nyere forskning viser at det mest sannsynlig kan brukes stoffer fra kloakk og avløpsvann eller avfallsprodukter fra industrien til biodrivstoffproduksjon. Utvinning av næringsstoffer fra bergarter og mineraler kan dessuten være en god mulighet i Norge.

⁴² [BFTP strateginotat 2010]

Figur 3-15 – Prosess for algeoljeproduksjon fra mikroalger ⁴³

Forskere og entreprenører har forsøkt å utvikle det store teoretiske potensialet alger har, med blandet resultat. Etter oljeprissjokket på 70-tallet grunnla myndighetene i USA et forskningsprogram for alger som analyserte mer enn 3000 arter, men programmet ble lagt ned i 1996 etter at Energidepartementet fastslo at kostnadene ville bli for høye og ikke konkurransedyktige i forhold til fossilt drivstoff. I 2006 startet riktignok flere program opp igjen og mye oppstartkapital har blitt investert i algeproduksjon de siste årene. Eksempelvis støtter eller har Chevron, ExxonMobile og Statoil egne algeprogram ^[68]. Det er nå mer enn 150 selskap og 60 laboratorium og forskningssentre som utvikler alger for ulike formål internasjonalt. Flere algeanlegg starter opp i 2013, og det er stor sannsynlighet for at det kun er et tidsspørsmål før algebiodrivstoff vil bli konkurransedyktige, bærekraftige, ha et positivt energiregnskap og ha en klimaeffekt bedre enn andre biodrivstoff.

Fram til alger blir produsert i større volum i Norge, sannsynligvis ikke før etter tidshorisonten for denne rapporten (2025), vil skog i Norge være et av de mest egnede råstoffene med supplerende import ved behov.

3.3 Import av råstoff

Prosjektet har hatt som et delmål å identifisere muligheter for import av råstoff og halvfabrikat, bioalkoholer for å produsere fornybar Jet A-1 i Norge. Import av ferdig produsert fornybar Jet A-1 har også vært et delmål. En egen arbeidspakke om import, utført av LMC International, har vurdert og sammenstilt potensialer og priser på bærekraftig råstoff for import til Norge i 2020. Arbeidspakken gir en omfattende og detaljert beskrivelse av dyrking, høsting og logistikk for de ulike råstoffene, samt markedsdriverne og internasjonale rammevilkår som påvirker tilgjengelighet og pris. Under gjengis kun de mest sentrale funnene. Prisestimatene for råstoff er lagt til grunn i de økonomiske modellene for beregnet produksjonskostnad av fornybar Jet A-1.

⁴³ Basert på skisser fra Cranfield University

Ettersom drivstoffet som utredes skal være bærekraftig har vi valgt å se bort fra råstoff som kan brukes som mat eller husdyrfôr, såkalt førstegenerasjons råstoff. Delrapporten fra LMC International omfatter også priser på slike, kun som et sammenligningsgrunnlag. Tabellen under viser de mest relevante andregenerasjons råstoff for biodrivstoff for luftfart.

Tabell 3-2 – Andregenerasjons råstoff for produksjon av biodrivstoff til luftfart ^[7]

Feedstock	Type	Origin
Forest biomass	S1 (harvest residues)	USA, Canada and EU
	S2 (saw mill processing residues)	USA, Canada and EU
	S3 (waste wood)	USA, Canada and EU
	Wood chips	USA
	Wood pellets/briquettes	USA
Agricultural residues	Straw	USA and EU
	Bagasse	Brazil
	Palm biomass	Indonesia/Malaysia
Energy crops	Grasses	USA and EU
	Short rotation coppice i.e. poplar	USA and EU
Non food oils	Camelina	USA and Canada
	Jatropha	Africa
Cellulosic ethanol	Semi products	USA and EU
Pyrolysis oil	Semi products	USA and EU

3.3.1 Trebasert biomasse

LMC International skiller mellom tre ulike typer trebasert biomasse;

S1 – Direkte fra primærkilden, i form av rundvirke, flis eller bark fra skog, trær fra energiplantasje, trær med kort vekstsyklus, tynningsvirke og hogstavfall, frukttrær etc fra jordbruk, rydding av arealer. S1 er den viktigste kilden til trebasert biomasse, står for 80 % av verdens forbruk.

S2 – Rester fra skogindustrien, består av sagmugg og flis, svartlut, annet treavfall fra industrien.

S3 – Treavfall ('Urban wood waste'), slik som trebaserte fraksjoner av kommunalt avfall, bygge- og rivningsvirke, andre typer treavfall.

Treavfall (S3) er normalt billigere enn primærvirke (S1), men de reneste fraksjonene er dyrere og har egne nisjemarkeder. De største fraksjonene er lavere kvalitets industri, bygge- og rivningsvirke, normalt med 12-25% fuktighet. Det største hinderet for bedre utnyttelse av S3-ressurser er for lav utsortering fordi markedene ennå er lite utviklet for dette råstoffet. Risiko for urenheter i massen, og regulatoriske begrensninger knyttet til forbrenning eller gassifisering legger også begrensninger. S3 blir derfor lite brukt i dag, men utgjør et stort potensiale.

LMC International sin analyse av det internasjonale markedet for trebasert biomasse viser at Nord-Amerika vil være den mest konkurransedyktige leverandøren internasjonalt, med sør-østregionen, nær de store urbane områdene spesielt i New England, som aller mest konkurransedyktig.

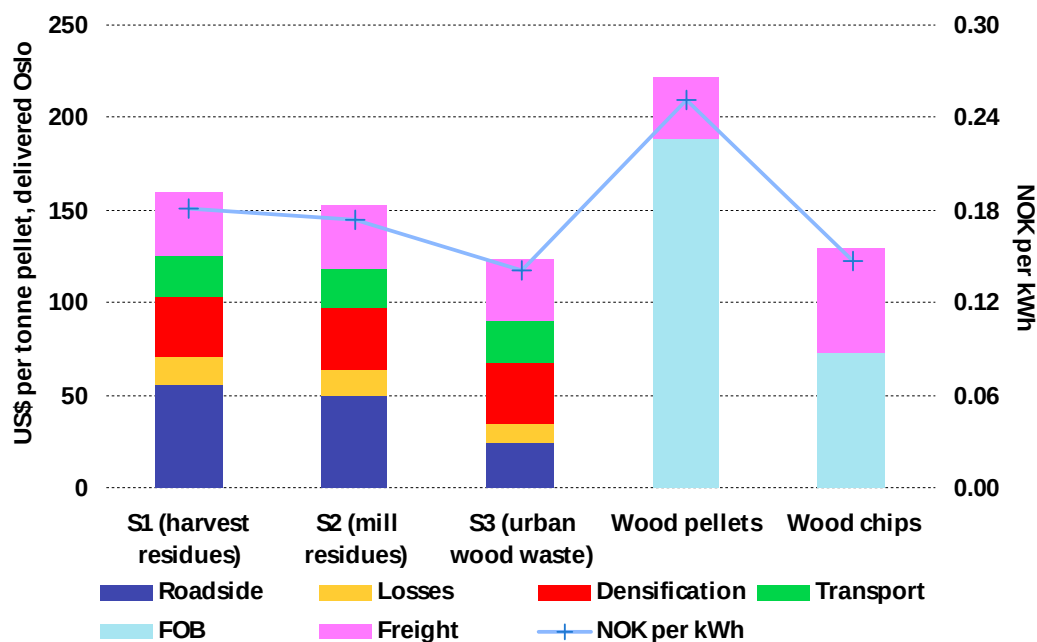
De laveste råstoffkostnadene vil være S3 og treflis, med estimert importpris til Oslo på hhv 14 øre/kWh og 15 øre/kWh. Markedsprisen på pellets og flis er langt høyere enn kostnadene ved å etablere en distribusjonsskjede, på grunn av et høyt påslag på omsetningsleddet. LMC International har derfor beregnet kostnaden ved å kjøpe råstoffet ved kilden og selv organisere flising/pelleting og transport. Prisene på dette oppgis separat utenfor kategoriene S1-3.

Det er mange millioner tonn S3 trebasert avfall deponert nær dypvannshavner langs østkysten av USA. Økende etterspørsel fra EU forventes å stimulere investeringer i brikettanlegg nær havnene.

Fra et bærekraftperspektiv vil det være store fordeler ved å bruke S3 råstoff. Bruk av avfall unngår konflikt med matproduksjon og arealbrukseffekter, og kan gi et langt bedre klimaregnskap for drivstoff enn ved førstegangs bruk av treråstoff. Det lagt inn incentiver for økt bruk av avfall til drivstoffproduksjon i EUs Fornybardirektiv. Det er imidlertid vanskelig å spore opprinnelsen til S3 avfall, og det kvalifiserer ikke i dag som et bærekraftig råstoff under det amerikanske Renewable Fuel Standard (RFS)^[50].

Figur 3-16 oppsummerer de viktigste trebaserte råstoffene, sett i forhold til kostnader.

Figur 3-16 – Trebasert biomasse levert Oslo i 2020 (priser inkl. transport) ^[7]



3.3.2 Jordbruksavfall og energivekster

Andre relevante kilder til celluloseholdig biomasse er jordbruksavfall og energivekster – planter som dyrkes spesifikt med tanke på energiproduksjon.

Det er i dag en rekke etablerte bruksområder for jordbruksavfall slik som:

- Halm som fôr til husdyr, eller som tilførsel av næringsstoffer når det blir liggende på jordene
- Palmekjernes skall til prosessvarme i palmeoljefabrikker
- Bagass fra sukkerrør som brensel for lokal elproduksjon

Jordbruksavfall brukes mye på opprinnelsesstedet, men i all hovedsak ved kilden og svært lite transporteres i dag selv over korte avstander. Det finnes mye slikt råstoff internasjonalt, og det er i dag en underutnyttet ressurs.

De viktigste regionene og ressursene er:

- I Nord-Amerika og EU vil det spesielt være snakk om halm fra korn, maisrester (stilk, blader, kjerne) og et mindre volum oljefrø-halm
- I Sør-Amerika utgjør bagass etter prosessering av sukkerrør et stort potensiale
- I Sør-Øst Asia er det betydelige ressurser fra avfall og biprodukter etter palmeoljeindustrien

Energievekster kan deles inn i to hovedkategorier:

- Gress, f.eks. «miscanthus» og «switchgrass»
- Tre- og krattavlinger med kort vekstsyklus

Den første kategorien forventes å dominere i USA og Canada, mens det i Europa er størst potensiale for den andre. En viktig grunn til at energivekster er spesielt interessant er at de kan dyrkes på marginale arealer som er lite egnet til annen, tradisjonell jordbruksproduksjon, og dermed unngå konflikt med matproduksjon.

Switchgrass i USA dyrkes hovedsakelig på marginale arealer som i sørøst. En rekke subsidieordninger er på plass for å utvikle disse.

Miscanthus har relativt høy etableringskostnad ettersom det dyrkes fra jordstokker (rhizomer). Både plantematerialet og plantingen er dyre og krever spesialmaskiner. Når den er etablert kan den høstes i 15- 20 år. Men, for å få gode nok avlinger til å drive kommersielt må ordinært jordbruksareal benyttes.

Tre- og krattavlinger med kort vekstsyklus er også i en utviklings- og tidlig kommersialiseringsfase. Også i Europa gis det i dag betydelige subsidier i mange land for å utvikle energivekster. Det største kostnadselementet er innhøsting, som utgjør 40-60 % av totale produksjonskostnader.

Dagens produksjon er ikke stor, men mer i form av forsøksdrift. Det knyttes imidlertid betydelige forhåpninger til at dette skal kunne spille en viktig rolle i fremtidig biomassetilgang.

LMC Internationals scenarier og framskrivninger anslår en mulig økning i total biomassetilgang fra disse to kategoriene på 40 % fra 2010 til 2020. Nord-Amerika vil være den største produsenten av begge kategoriene, og stå for nesten to tredjedeler av de estimerte leveransene i 2020. Det understrekes at det er stor usikkerhet rundt disse anslagene på grunn av umodne markeder.

Tabell 3-3 Fordeler og ulemper ved ulike biomasseråstoff ^[7]

	Advantages	Disadvantages
Woody biomass	Forest stock is growing, huge supplies potentially available	Relatively long lead time to bring supplies to market
	Large portion of supplies in US and EU already covered by various certification schemes	Lack of incentives available to collect residues
	Cost driven purely by collection and chipping as there is no alternative market for residues	Challenge to change existing forest management procedures
	Can be transported economically as chips up to 100km	Current lack of specialised collection technology which would lower costs
Straw	Relatively easy to collect compared with forest biomass	More limited supply volumes available
	Short lead time to market	Cost driven by demand from existing users which has driven prices up in some regions
Palm biomass	Relatively low cost feedstock	Scores less than 50% on GHG savings (JEC 2009)
	Short lead time to market	Cost is driven by demand from existing users (for electricity or mulch)
Bagasse	Short lead time to market	High cost once transport is included
	Low ex-mill cost	Cost is driven by its value as electricity
		Uneconomic to transport beyond 30 km unless pelletised
		Limited supplies available
Energy Crops		Large investment needed to increase supplies
	Generous producer subsidies on offer (BCAP in US, various subsidies in Europe)	Long lead times in bringing supplies to market
	Specific subsidies available for dedicated power generation in US and Europe	Production technology immature and yields still low
	Price is driven by production costs and available subsidies	Uneconomic to transport beyond 15-20km radius unless pelletised
	Low maintenance costs once established	Supply limited by the availability of marginal land
	Large potential for technology to lower costs in future	

LMC International anser jordbruksavfall som mindre lovende enn trebasert biomasse for import til en norsk produksjonsskjede for biodrivstoff. Jordbruksavfall omsettes i liten grad internasjonalt i dag, og dette vil neppe endre seg mye innen 2020. På tross av store potensialer ved opprinnelsesstedene, har dette markedet ikke blitt utviklet. Dette skyldes blant annet at pellets fra jordbruksavfall ikke kan brennes direkte i dampkjeler uten tilpasninger av kjelen. Lokalt jordbruksavfall fra Nord-Europa er imidlertid nokså konkurransedyktig på pris, såfremt effektive logistikk-løsninger kommer på plass.

Jordbruksavfall må komprimeres før frakt mens pelletsanleggene gjerne er lokalisert nær skogsområder, med lang avstand til de store jordbrukssentrene. Jordbruksavfall har dermed dårligere tilgang til slike anlegg, og mest sannsynlig vil en oppskalering av slik produksjon kreve investering i egne pelletsanlegg.

Palmekjernes skall er et produkt som allerede omsettes internasjonalt, og som heller ikke trenger komprimering. Dette er et billig alternativ til treflis og pellets. Prisen er imidlertid ikke stabil og fluktuere i takt med lokal el-pris, ettersom det brukes til el-produksjon i opprinnelseslandene. Ettersom palmekjernes skall stammer fra palme- og palmeoljeproduksjon, en industri det er knyttet betydelige bærekraftsutfordringer til, er det ikke et uproblematisk råstoff, selv om det i dag også finnes sertifiserte leveranser tilgjengelig i markedet.

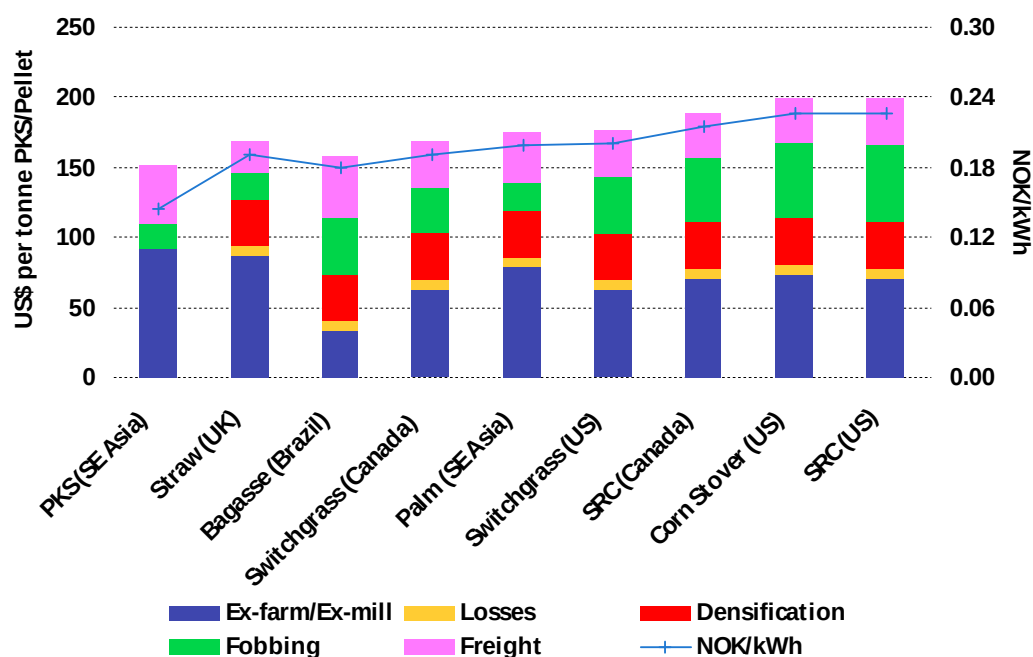
Selv om det dyrkes energivekster i Europa og USA er det etter LMC Internationals vurdering lite sannsynlig at dette vil være internasjonalt tilgjengelig innen 2020. I Europa har energivekster til nå gitt la-

ve avlinger når de dyrkes på marginale arealer. Energivekster har også den utfordringen at de kun er tilgjengelige i løpet av en relativt kort periode i året, rundt 90 dager ved høsting. Lagring for leveranser på helårsbasis vil være svært kostbart. Energivekster vil derfor måtte suppleres med andre råstoff ellers i året.

Det tekniske potensialet for bagass er stort, i tillegg til det som allerede utnyttes på stedet, og det har lave kostnad på ved sukkerrørmøllene. Men, avstanden til kysten er lang for de fleste av disse anleggene slik at logistikken blir svært dyr. Det er i tillegg mangel på komprimeringsanlegg.

Prisestimat for 2020 for ulike typene råstoff er oppsummert i Figur 3-17, med fordeling på de ulike kostnadselementene.

Figur 3-17 – Biomasse fra jordbruksavfall og energivekster, levert Oslo i 2020 (priser inkl. transport) ^[7]



3.3.3 Vegetabiliske oljer

Det globale markedet for vegetabiliske oljer er omfattende og komplekst, og inneholder en rekke ulike typer. Her trekker vi frem de variantene som kan være bærekraftige, dvs. de oljene som er minst krevende utfra et bærekraftperspektiv, såkalte «nye oljevekster» eller «non-food oils».

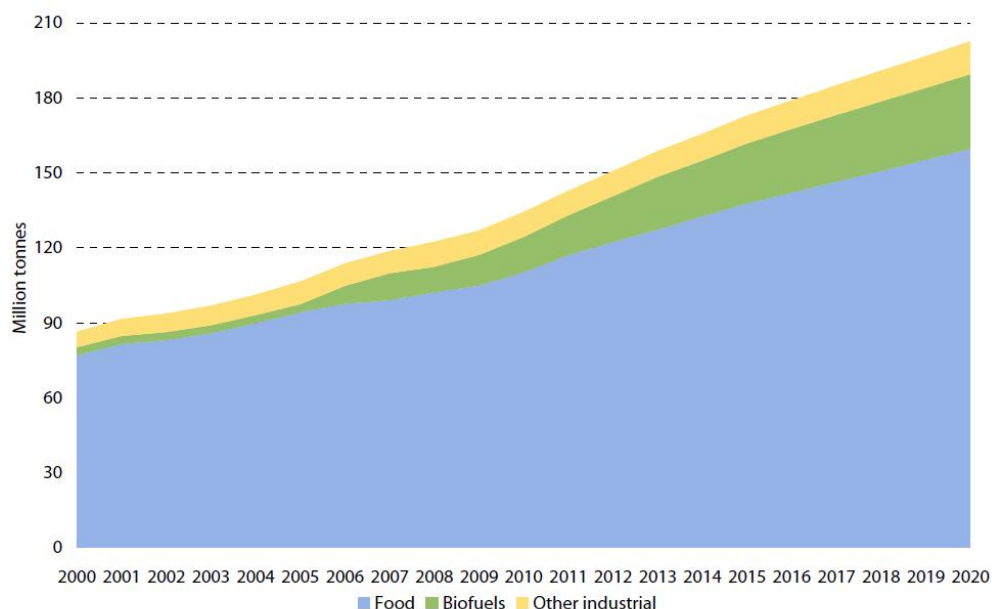
Vegetabiliske oljer kommer fra to ulike typer vekster, enten ettårige oljefrøvekster (soyabønner, raps, solsikke, jordnøtter, Camelina mfl.) eller flerårige oljevekster (palmer, Jatropha, kokosnøtt mfl.).

Ettårige oljefrøvekster vokser gjerne i rotasjon med andre avlinger, og frøene har god holdbarhet og kan lagres, transporteres og presses lenge etter at de høstes. Det kan produseres olje eller kan brukes til dyrefôr.

Flerårige oljevekster har ulike kvaliteter i forhold til ettårige. Oljepalmer gir både palmeolje (fra de ferske fruktklasene) og palmekjerneolje fra kjernen inne i frukten. Palmekjernen kan også kvernes til en type mel som kan brukes til dyrefôr. Kokosnøttpalmen gir olje og kopramel fra kokoskjernen. Både palme- og kokoskjerne kan lagres og fraktes. Palmeoljen, derimot, taper seg raskt, og må prosesseres rett etter høsting. Derfor har palmeplantasjer oftest egen presse på stedet. Både palme og kokosnøtter produserer i mer enn 20 år.

Palmeolje er normalt det billigste og tilgjengelig i størst volum. Ettersom oljene lett kan substituere hverandre følger prisene hverandre. Sammenlignet med andre jordbruksvarer har vegetabiliske oljer sett en sterk etterspørselsvekst de siste tiårene. Andre formål enn til mat står i dag for omlag 24% av totalt forbruk av vegetabiliske oljer.

Figur 3-18 – Framskrivning av globalt forbruk av vegetabiliske oljer ^[7]



CAMELINA

Camelina er et oljefrø i sennepfamilien. Det er robust, kan dyrkes på marginale arealer, tåler kaldt klima og har en kort vekstsesong. Camelina har 32 – 40 % oljeinnhold. Oljen brukes hovedsakelig til industrielt bruk, men er også brukbar til mat. Den krever lite innsatsfaktorer og kan dermed dyrkes til lavere kostnader enn Jatropha. De senere årene har det vært økt interesse for Camelina, spesielt i Nord-Amerika, med henblikk på biodrivstoff. Det regnes som en avling med lav risiko og lave investeringskostnader som kan dyrkes på marginale arealer. De siste fem årene har halvparten av verdens produksjon funnet sted i Nord-Amerika, og resten i Sentral- og Øst-Europa. I USA nådde produksjonen av Camelina toppen i 2009, basert på særskilte støtteprogrammer og spesielt på innkjøpskontrakter med forsvaret. Camelina's inntreden i drivstoffmarkedet i USA har vært drevet spesielt med tanke på jet-drivstoff, som del av forsvarets program for alternative drivstoff. En rekke utfordringer har imidlertid ført til at produksjonen i 2012 er langt lavere. Kongressens vedtak i mai 2012 om å forby forsvaret å kjøpe inn biodrivstoff til høyere kostnader enn det fossile stoppet etterspørselen etter Camelinaolje. Den største sluttbruker av Camelina regnes nå å være kosmetikkindustrien.^[7]

Figur 3-19 – Camelina © Neste Oil



Camelina har på lenger sikt et visst potensial som råstoff for biodrivstoff til luftfart. Men, tilbudet av camelinaolje avhenger av økt etterspørsel etter oljen i USA. Det er betydelig usikkerhet rund dette, og camelina har foreløpig ikke blitt godkjent av US Environmental Protection Agency til bruk i deres Renewable Fuel Standard. Prisen på oljen vil drives av bruken til biodiesel i USA.

JATROPHA

Jatropha er et lite tre som produserer frø som gir en ikke-spiselig olje. Den kan dyrkes på marginale arealer som ikke er egnet for annen jordbruksproduksjon. Den kan vokse i ulike klimasoner, trenger svært lite vann og tåler lange tørkeperioder. Utbyttet vil imidlertid stå i forhold til tilførsel av vann. Dyrkning og innhøsting er svært arbeidsintensiv og jatropha er der for sensitiv for lønnskostnader. Kun i land med svært lave lønninger vil jatropha-olje kunne være konkurransedyktig med andre oljer. Forventningene til Jatropha knyttes derfor også til å kunne ha positive sosiale effekter fordi det kan dyrkes og skape sysselsetting i de fattigere delene av Afrika og Asia.

På 2000-tallet har det vært betydelige investeringer i Jatropha med tanke på biodiesel. En av de største investeringene var et joint venture mellom BP og D1 Oils, som da sto for om lag 25% av verdens produksjon. I 2009 trakk BP seg imidlertid ut av prosjektet. Andre Jatropha-selskaper har også gått konkurs.

Jatropha er relativt sett rimelig sammenlignet med de andre oljene, men produksjonen vil trolig kun være konkurransedyktig i de fattigere delene av Afrika. Dette skaper igjen usikkerhet med tanke på storskala leveringssikkerhet.^[7]

LMC Internationals estimat er for vegetabiliske oljer oppsummeres i tabell Tabell 3-4. Denne viser at olje ligger relativt sett høyt i pris sammenlignet med andre potensielle råstoffer, og at de har betydelige utfordringer i forhold til bærekraft. For Camelina og Jatropha gjenstår det mye før de utgjør et stort og stabilt tilbud på verdensmarkedet.

Figur 3-20 – Jatropha © Neste Oil



Tabell 3-4 Vegetabiliske oljer til import til Oslo, 2020.^[7]

Feedstock	Origin	Delivered Oslo NOK / kWh	Availability	Sustainability
Soybean oil	Argentina	0,65	Millions of tonnes available for export	2% of world output certified RTRS sustainable
Palm oil	Malaysia	0,54	Millions of tonnes available for export	10% of world output certified RSPO sustainable ¹
Sunflower oil	France	0,69	More limited, EU is net importer	As all oil must comply with European standards
Rapeseed oil	Germany	0,70	More limited, EU is net importer	sustainability is not considered an issue
Jatropha oil	West Africa	0,64	Traded volumes negligible. Supply only guaranteed via own plantation investment	Potentially good but no certified material available as yet
Camelina oil	Canada	0,68	Potentially good but market development requires EPA approval for RFS2	Potentially good as grows well on marginal land

3.3.4 Halvfabrikater – Alkoholer

En produksjonsskjede av biodrivstoff til luftfart i Norge kan baseres på halvfabrikater, heller enn primærråstoff. 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 etanol som er interessant.

BUTANOL

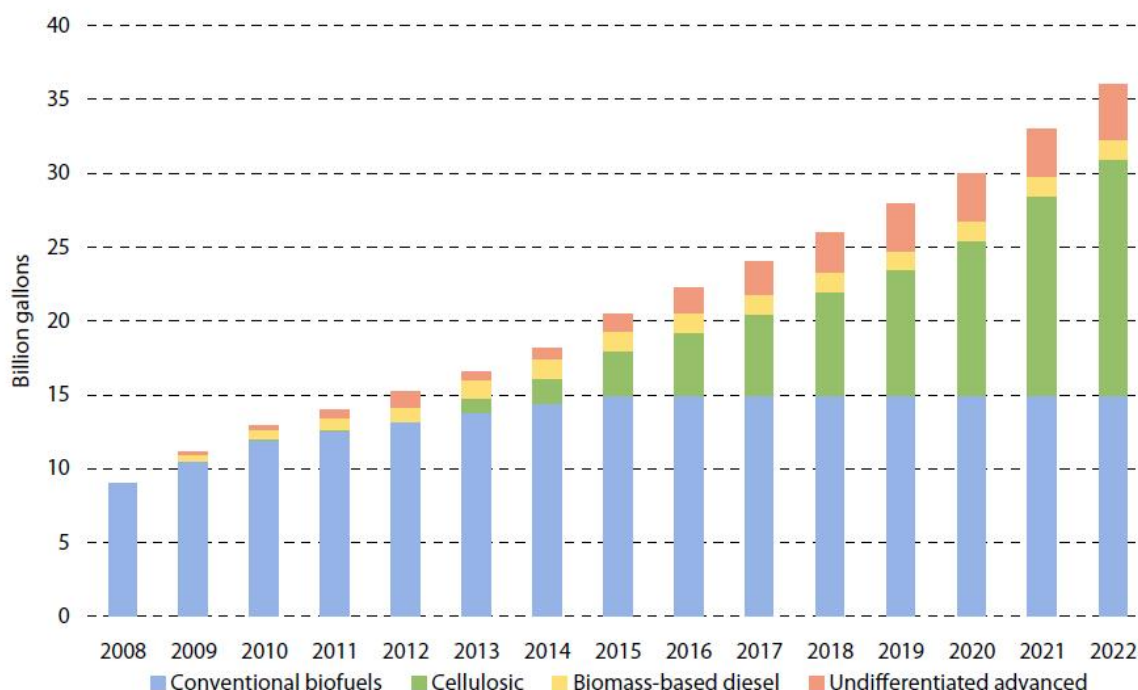
Butanol er en alkohol med fire karbonatomer. Det kommer i ulike strukturelle former eller isomerer, som alle har ulike fysiske og kjemiske egenskaper. Butanol ble først produsert under første verdenskrig gjennom fermentering.

Det er et stort marked for biobutanol i dag, spesielt til maling, i kjemikalieproduksjon og til 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 petroleumsbasert butanol. Bruk av billig avfall som råstoff kan være en av løsningene på dette.

CELLULOSEBASERT ETANOL

Etterspørselen internasjonalt etter cellulosebasert etanol drives av det amerikanske programmet Renewable Fuels Standards, som definerer volum biodrivstoff som må forbrukes hvert år i USA frem til 2022 (Figur 3-21). Dette gjelder for produsenter, forhandlere og importører. Målsetningene støttes opp av ulike virkemidler, slik som skattefradrag, lån og garantier.

Figur 3-21 – US Renewable Fuels Standard, spesifiserte andeler biodrivstoff i drivstofforbruket ^[7]



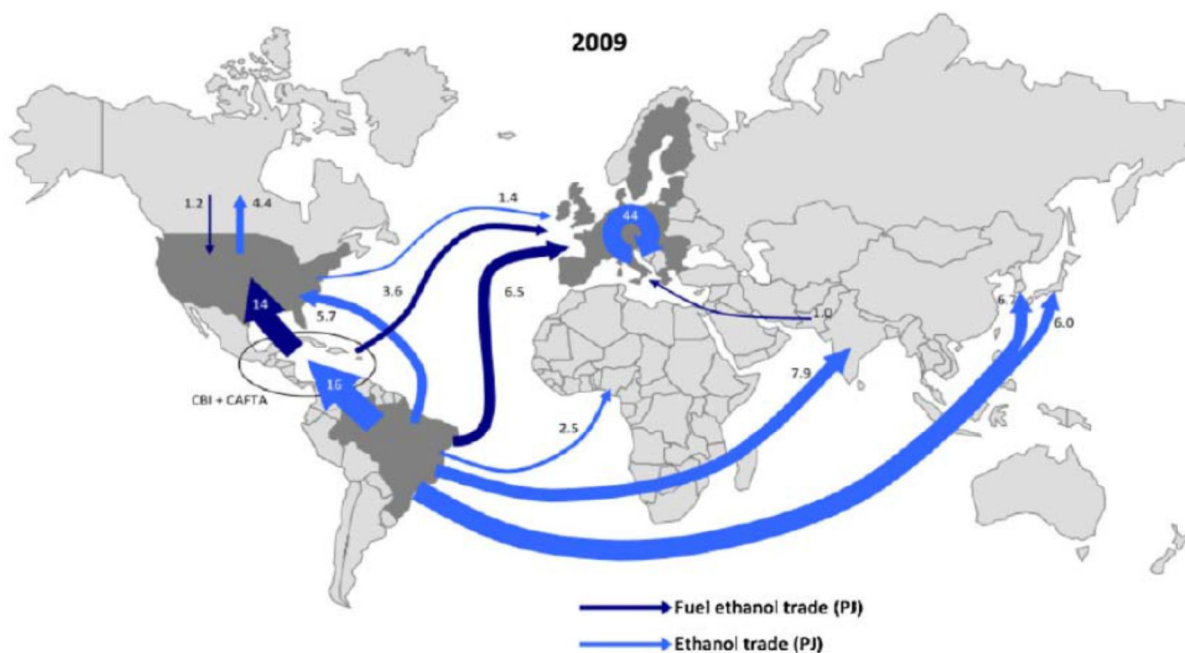
Det har imidlertid til nå vært svært lite cellulosebasert produksjon i USA, men produksjonskapasitet tilsvarende 600 mill. liter er nå underveis (Tabell 3-5). Noen av de største etanol- og petrokjemiske selskapene i USA står bak mye av den nye produksjonskapasiteten som kommer. De fleste produsentene har mottatt finansiell støtte fra føderale og statlige myndigheter. Mange av selskapene planlegger ytterligere inntekter fra biprodukter og ved å utvikle fermenteringskatalysatorer. De står dermed godt posisjonert til å levere betydelige, kommersielle volum til markedet.

Tabell 3-5 Ny produksjonskapasitet for cellulosebasert etanol i USA^[7]

Company	Plant	Capacity mn gals	Start-up	Raw material	Technology	Technology partner
POET	Emmetsburg	25	2013	Corn stover/ cobs	Hydrolysis	Novozymes
Abengoa Bioenergy	Hugoton	23	2013	Corn stover/ wheat straw	Hydrolysis	Dyadic
BlueFire Renewables	Lancaster/ Fulton	19	n/a	MSW/ Woody biomass	Hydrolysis	n/a
Mascoma	Kinross	20	2012	Woody biomass/ switchgrass	Hydrolysis	In-house
Vercipia	Highlands County	36	2015	Energy grasses	Hydrolysis	BP
ZeaChem	Boardman	25	2014	Woody biomass/ crop residue	Hydrolysis/ Thermochemical	In-house
Fulcrum Bioenergy	Reno	10	2014	MSW	Thermochemical	InEnTec
Enerkem	Pontotoc	10	2013	MSW	Thermochemical	In-house
INEOS Bio	Vero Beach	8	2013	MSW	Hydrolysis/ Thermochemical	In-house
DuPont	Vonore	0	2011	Corn stover	Hydrolysis	Genencor
Lignol	n/a	2	n/a	Woody biomass	n/a	n/a

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 bidrar til å sikre markedet. LMC International vurderer det slik at markedsprisen i USA dermed utgjør prisgulvet for disse produktene internasjonalt.

Figur 3-22 – Handel for bioetanol globalt i 2009 © Ecofys



På kort sikt antas biobutanol i hovedsak bli produsert fra mais, og en rekke maisbaserte etanolfabrikker bygger nå om for å kunne produsere butanol. Men på lengre sikt antas produksjonen å gå over på cellulose. Fremskrevne priser i 2020 levert til Oslo er sammenstilt i Tabell 3-6.

Tabell 3-6 – Markedspriser på biobutanol og cellulosebasert etanol, levert Oslo ^[7]

Feedstock	Origin	Delivered Oslo NOK / kWh	Delivered Oslo NOK / liter	Energy Content kWh / Liter
Bio-butanol ¹	NW Europe	0,82	6,9	8,44
Cellulosic ethanol ²	US Gulf	1,08	6,1	5,67

1. Basert på butanolpriser i 2011

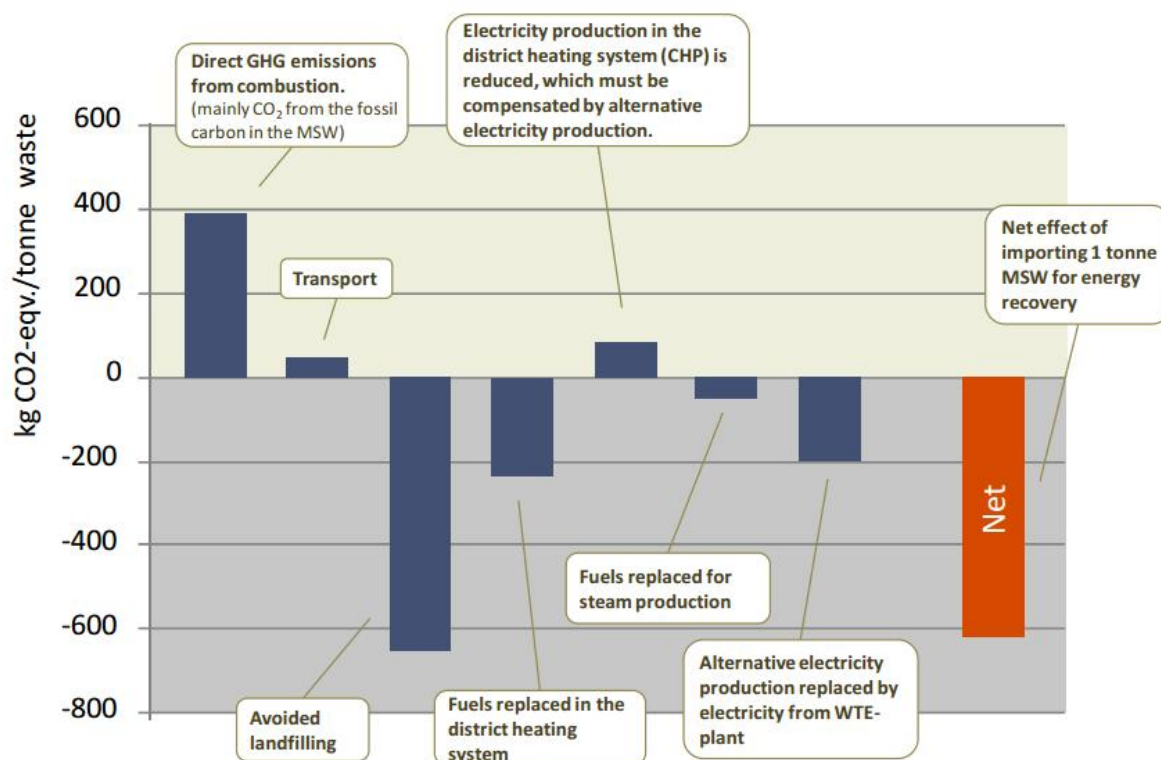
2. Basert på antagelsen om priser lik EPA taket på USD 3/gallon

3.3.5 Import av avfall

Avfall er også et mulig råstoff til import for produksjon av biodrivstoff til luftfart. Det pågår import til varmegjenvinningsanlegg i Norge i dag, blant annet fra Irland^[40] og Storbritannia^[30], samtidig som det eksporteres kommunalt avfall til Sverige fra Norge. Ettersom det stadig deponeres store mengder avfall i mange europeiske land, kan en slik handel være positiv både for bedre ressursutnyttelse og for klima.

En rapport utarbeidet for Avfall Norge undersøker klimaeffekten ved økt handel med kommunalt avfall i Europa fra land i Øst-Europa der avfallet ellers ville blitt deponert, til land (deriblant Norge) der restavfall forbrennes og varmegjenvinnes, og hvor potensielt kan være ledig kapasitet i varmegjenvinningsanleggene.^[26]

Den overordnede konklusjonen i undersøkelsen viser at dette ville bidratt til både å redusere klimagassutslipp og å øke andelen fornybar energi i Europa.

Figur 3-23 – Marginal effekt av import fra «deponeringsland» ^[26]

Figur 3-23 viser utslipp og reduksjon av klimagassutslipp ved eksport av ett tonn kommunalt avfall fra land hvor det ellers ville blitt deponert, til land hvor det forbrennes med energigjenvinning. Figuren viser gjennomsnittlige resultater for eksport og import til Norge, Danmark, Sverige, Tyskland, Nederland og Belgia. ^[26]

Undersøkelsen viser imidlertid også at det ikke vil være lønnsomt for forbrenningsanleggene å importere avfallet, da kostnaden ved dette er høyere enn ikke å utnytte kapasiteten i anlegget fullt ut. Det ville vært nødvendig med en subsidie på om lag 30 euro/tonn søppel for at en slik import til Norge skulle lønne seg, noe som tilsvarer en klimatiltakskostnad på rundt 50 euro/tonn CO₂. Det er mange ganger dagens kvotepris i det europeiske kvotemarkedet.

Overkapasiteten i norske forbrenningsanlegg og begrenset vekst i norskprodusert avfall gjør at det ikke er grunnlag for å basere norsk jetfuel-produksjon på dette. I andre land, med større befolkningsgrunnlag og tilhørende avfallsproblem er dette imidlertid et relevant råstoffgrunnlag for slik produksjon.

3.3.6 Konklusjon import

Basert på LMC International sin analyse av mulige, bærekraftige råstoff i 2020 er det pellets fra treavfall ('urban wood waste') og treflis fra USA som har *lavest kostnad*. Disse estimerer LMC kan leveres Oslo i 2020 til en kostnad på 14-15 øre/kWh, inkludert transportkostnader. Ingen av disse importeres til EU i dag, men det er rimelig å anta at dette vil komme på markedet som en konsekvens av etterspørsel drevet av Fornybardirektivet. Begge må antas være bærekraftige, og politikken som føres i Europa oppfordrer til bruk av avfall. Sertifiseringsordninger for biomasse er under utvikling. En nederlandske ordning, NTA8080, ble nylig godkjent av EU som en frivillig ordning som oppfyller kravene i Fornybardirektivet. Dette er en av de få som også passer for biomasse. Selv om trebasert biomasse er dekket av skogsertifiseringer i USA er det foreløpig uavklart om det tilfredsstiller EUs krav.

Det er en rekke andre råstoff som også estimeres til en pris i 2020 under dagens norske flispris på ca 20 øre/kWh.

Trebasert biomasse har *større potensial* enn jordbruksavfall og energivekster. Den eneste varianten som i dag importeres i noe betydelig volum til EU – palmekjernes skall – er det usikkert om er bærekraftig. Utfordringer knyttet til logistikk og bruk har gjort at det ikke har utviklet seg et internasjonalt marked for komprimert jordbruksavfall, og det er tvilsomt om dette vil ha endret seg mye til 2020.

Energivekster er under utvikling, men forsøk med miscanthus i EU har gitt dårlige resultater hva gjelder utbytte. Switchgrass i USA er mer lovende, og forventes hovedsakelig å bli brukt til produksjon av cellulosebasert etanol.

Vegetabiliske ikke-spiselige oljer ser ikke ut til å være et relevant råstoff på grunn av høye kostnader.

Biobutanol og cellulosebasert etanol antas i økende grad komme på markedet fremover mot 2020, og er egnet for konvertering til biodrivstoff til luftfart når konverteringsprosessen blir teknologisert.

Kommunalt avfall er et bærekraftig råstoff som potensielt er tilgjengelig for import fra Europa. Det er en politisk målsetning å øke bruken av avfall og det er incentiver i regelverket. Transportkostnadene til Norge kan imidlertid gi for høye kostnader for produksjon av drivstoffet. Ettersom det ikke vil være norsk restavfall tilgjengelig vil et vårt tenkte produksjonsanlegg måtte enten måtte håndtere ulike typer råstoff, eller baseres utelukkende på importert avfall.

3.4 Tilgang på bærekraftige ressurser i 2020

De mulige og potensielt tilgjengelige ressursene for en norsk produksjon av biodrivstoff til luftfart er gjennomgått i kapittel 3. I det videre diskuteres resultatene med henblikk på hva som er de best egnede råstoffene, og forholdet mellom tilbud og etterspørsel etter bærekraftig råstoff.

Råstoff for biodrivstoff blir gjerne delt inn i ulike generasjoner, som også biodrivstoffet blir inndelt etter. Det er som regel råstoffet som definerer hvilken generasjon et biodrivstoff tilhører. Ved vurdering av egnethet og bærekraft er målet så bærekraftig som mulig. Det er en glidende overgang mellom de ulike generasjonene, og en mer avansert generasjon er i mange tilfeller mer bærekraftig. Det er ikke mulig å konkludere med at et råstoff generelt er bærekraftig da det er ulikt for hvert enkelt råstoff, hver region og avhengig av hvordan hele verdikjeden er bygget opp for hver prosess. Det vil allikevel være slik at enkelte råstoff er mer utsatt for bærekraftsutfordringer enn andre. På et overordnet nivå vurderer denne rapporten bærekraft for enkeltråstoff, med nevnte forbehold.

Tabell 3-7 under viser en generell oversikt over ulike generasjoner av ressurser for biodrivstoff.

Tabell 3-7 – Første- til fjerdegenerasjons råstoff

1.-generasjons råstoff	Matvekster, korn, sukker, sivelse, planteoljer, dyrefett
	Klimaeffekt: Liten eller ingen
	Energibalanse: Liten til veldig god
2.-generasjons råstoff	Lignocellulose
	Klimaeffekt: Middels til høy (60-80 %)
	Energibalanse: Medium til god
3.-generasjons råstoff	Mikro og makroalger
	Klimaeffekt: Middels til høy
	Energibalanse: Negativ til (teoretisk) veldig god
4.-generasjons råstoff	Alger, mikroorganismer og mikrober (genmodifiserte), røykgass
	Klimaeffekt: >100 % med karbonfangst som ressurs og lagring
	Energibalanse: Negativ til teoretisk veldig høy, gjenvinning av spillvarme

3.4.1 De mest relevante råstoffene i 2020-25

Hvorvidt råstoffene som er beskrevet tidligere i dette kapitlet er egnet for produksjon av biodrivstoff til fly i Norge vil avhenge av parameterne satt opp innledningsvis i kapittel 3: Tilgjengelighet, egnethet for valgt konverteringsteknologi, kostnader, bærekraft og politiske rammevilkår.

Alle råstoffene som har vært vurdert i delutredningene og av Rambøll er oppsummert i Tabell 3-8. Dette omfatter både tradisjonelle jordbruksvarer som i dag utgjør de dominerende råstoffene til (førstegenerasjons) biodrivstoff, og etablerte råstoff som handles internasjonalt, men hvor (andrege-nerasjon) biodrivstoff utgjør et nytt bruksområde. I tillegg kommer nye vekster og organismer som foreløpig produseres i små volum, men som i 2020-25 kan utgjøre et potensial for (tredje- og fjerdegenerasjons) drivstoff.

Ettersom dette prosjektet har bærekraft som en hel sentral forutsetning har prosjektet lagt et føre-var-holdning til grunn ved vurdering av om råstoff er bærekraftige. Tabellen viser forenklet hvilke råstoff vi mener det ut i fra et bærekraftsperspektiv er fornuftig å vurdere videre i prosjektet, indikert ved grønn farge. Grønn farge betyr at råstoffet forventes å være bærekraftig, forutsatt miljømessig god og effektiv drift. Disse råstoffene kan også drives på en dårlig og lite bærekraftig måte. Det er store variasjoner mellom regioner og helt ned på enkeltlokalteter.

Rød farge betyr at det er usikkerhet knyttet til i hvilken grad råstoffet er bærekraftig. Det vil være slik at det blant disse også finnes bærekraftig, og sågar sertifisert råstoff. Men, ettersom det er vanskelig å garantere et råstoffs opprinnelse, og å sikre seg mot indirekte effekter, har vi valgt å behandle typen råstoff som helhet. Dette gjelder spesielt landbruksvarer som kan brukes til mat eller dyrefôr. Etterspørselen etter slike varer til drivstoffproduksjon kan påvirke matvarepriser og matsikkerhet internasjonalt, og det kan gi direkte eller indirekte arealbruksendringer. I dette prosjektet har vi derfor valgt å se bort i fra slike landbruksvarer, selv om det i markedet også er tilgjengelig sertifiserte, bærekraftige volumer. Jordbruksavfall anses derimot i utgangspunktet som bærekraftig. Et unntak er avfall fra svært problematiske avlinger, hvor bruk av avfall kan bidra til å gjøre avlingen mer attraktiv og dermed øke utbredelsen. Et eksempel er palmekjernes skall, som avfall fra palmeoljeproduksjon i Sørøst-Asia. En detaljert beskrivelse av det enkelte råstoffet og grad av bærekraft ved ulike dyrkingspraksis i ulike land gis i rapporten, *Import of Biomass and Bio Jet Fuel for Norwegian Aviation*, fra LMC International.

Hva slags rammevilkår de enkelte råstoffene er omfattet av og hvorvidt regelverk og eventuelle støtteordninger er utformet med den hensikt å stimulere eller redusere bruken av slikt råstoff har stor betydning for antatt fremtidig tilgjengelighet av råstoffet. Det er betydelig uforutsigbarhet i dette frem til 2020, ettersom støtteordninger avvikles og nye etableres med endrede politiske prioriteringer. I EØS-området dreies regelverket nå klart i retning av å begrense etterspørselen av førstegenerasjons råstoff til biodrivstoffproduksjon, samtidig som det oppfordres til bruk av blant annet avfall og alger. Hvordan råstoffene totalt sett kommer ut er imidlertid et resultat av politikk og virkemidler på ulike nivåer, og innen mange områder, slik som distrikts- og jordbrukspolitik, forskning, i tillegg til energipolitikk. I USA har Forsvaret spilt en betydelig rolle på etterspørselssiden gjennom å inngå store kontrakter om innkjøp av biodrivstoff. Det er ikke full konsistens i dag mellom insitamentene for å øke produksjon og bruk av biodrivstoff, og regelverk for å begrense negative konsekvenser på mennesker, miljø og klima. Det antas imidlertid at rammevilkårene for produksjon av biodrivstoff i 2020-25 i langt større grad vil nyansere og reflektere hva som er de mer bærekraftige råstoffene, både nasjonalt og for import.

Tabell 3-8 indikerer også hvilke råstoff som er best egnet til de konverteringsteknologiene som er mest lovende (se kapittel 4) for en norsk produksjonskjede for biodrivstoff til luftarten: 1) Termokjemisk prosessering og forgassing av restprodukter - Fischer-Tropsch hydrogenraffinert syntetisert parafinsk petroleum (FT-SPK) og 2) Alcohol-to-Jet (AtJ) der andregenerasjons bioetanol oppgraderes til Jet A-1.

FT-prosessen kan baseres på alle råstoff som inneholder hydrokarboner, både fossilt og fornybart, så vel som avfall. Bioalkoholer kan produseres på en rekke måter, både fra sukker og stivelse i matplanter, nedbrytning av alginat fra alger, men også fra lignocellulose fra skog og energivekster, så vel som restbiomasse fra treforedling og landbruk.

Tabell 3-8 – Egnethet for de mest relevante råstoff for import i 2020

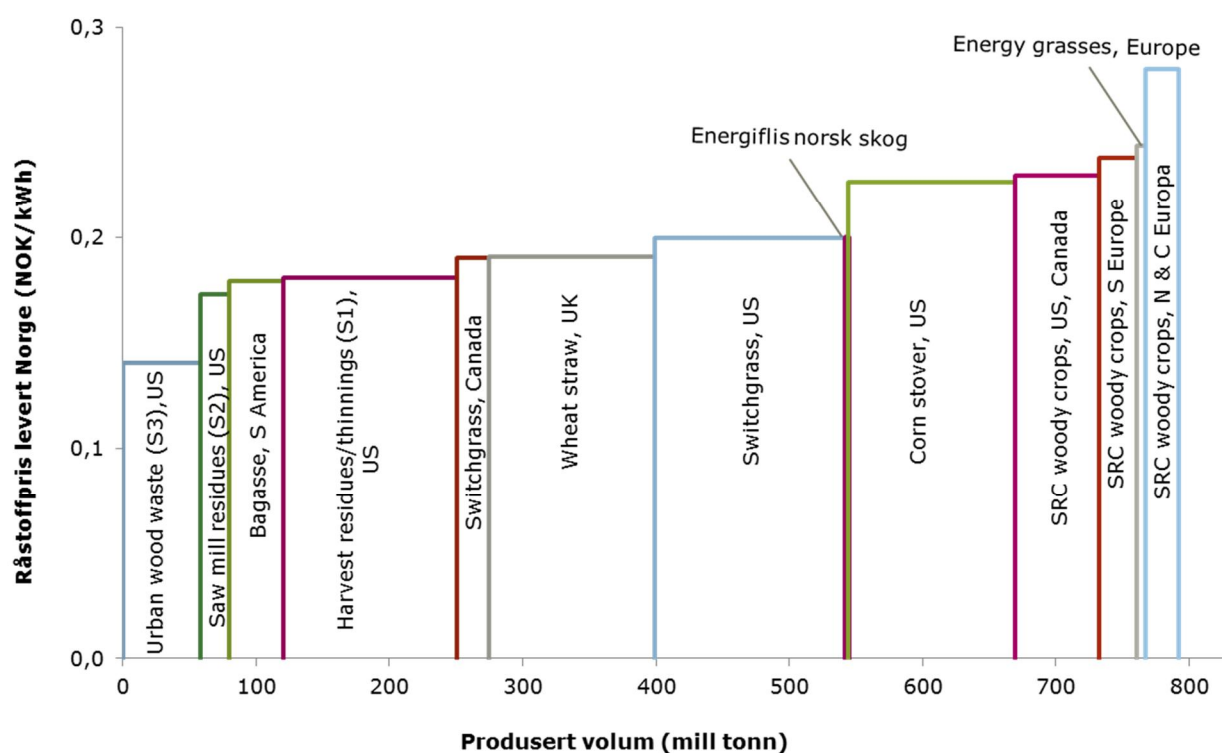
Råstoff	Egnethet for FT og AtJ	Bærekraft
Anhydrous cane ethanol, Brazil	Ja	
Avfall, import	Ja	
Avfall, Norge	Ja	
Bagasse, S America	Ja	
Bio-butanol, NW Europe	Ja	Avhengig av råstoff
Biomasse fra jordbruksarealer, Norge	Ja	Avfall
Bulk Raw Sugar, Brazil	Ja	
Camelina oil, Canada	Nei	
Cassava Chips, Thailand	Ja	
Cellulosic ethanol, US Gulf	Ja	
Corn starch (native), US	Ja	
Corn stover, US	Ja	
Corn, US	Ja	
Energiflis fra norsk skog (hogstavfall og rundvirke)	Ja	
Energy grasses, Northern Europe	Ja	
Feed Wheat, Rotterdam	Ja	
Glucose syrup, EU	Ja	
Harvest residues/thinnings (S1) - pelletised, US east coast	Ja	
Hydrous cane ethanol, Brazil	Ja	
Jatropha oil, West Africa	Nei	
Makroalger	Ja	
Mikroalger - olje	Nei	
Mikroalger - biomasse	Ja	
Mill.ing Wheat, US	Ja	
Palm biomass, SE Asia	Ja	
Palm kernel shell, SE Asia	Ja	
Palm oil, Malaysia	Nei	
Rapeseed oil, Germany	Nei	
Saw mill. residues (S2) - pelletised, US east coast	Ja	
Soybean oil, Argentina	Nei	
SRC ⁴⁴ woody crops, Baltic & Scandnavia	Ja	
SRC woody crops, US og Canada	Ja	
SRC woody crops, Central Europe	Ja	
SRC woody crops, Southern Europe	Ja	
Sunflower oil, France	Nei	
Switchgrass, Canada og US	Ja	
Urban wood waste (S3) - briquetted, Average for US	Ja	
Wheat starch (native), EU	Ja	

⁴⁴ SRC – Short rotation coppice

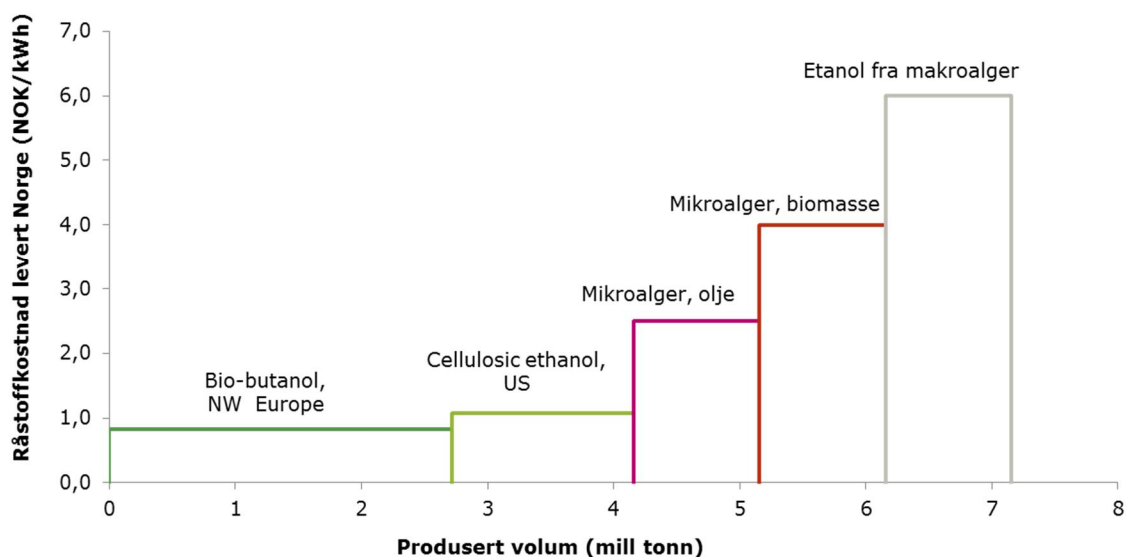
Wheat straw, UK	Ja	
Wood pellets, US, Georgia	Ja	

Denne gjennomgangen resulterer i et mindre utvalg råstoff som er relevante til produksjon av biodrivstoff til luftfart fra 2020-25. Figur 3-24 viser disse, rangert etter pris og produksjonsvolum. Her er kun bærekraftige råstoff med, som er egnet for valgt konverteringsteknologi, samt antatt produsert i minimum 1 millioner tonn per år på verdensbasis i 2020.

Figur 3-24 – Kostnadskurve relevant primærråstoff, med produksjonsvolum, 2020. ^{[4][7]}



Alkoholer og algeråstoff er presentert i kostnadskurven i Figur 3-25. For alger er det store usikkerheter knyttet til både priser og eventuelle volum tilgjengelig 2020/25, og volum er i figuren kun illustrativt og ikke estimer.

Figur 3-25 – Kostnadskurve bioalkoholer og algeråstoff 2020/25. ^{[7][6]}.

Totalt viser estimatene at det vil produseres betydelige mengder bærekraftig og egnet råstoff internasjonalt i 2020, og det til meget konkurransedyktige priser selv når transport til Norge er inkludert. Hvorvidt de faktisk blir tilgjengelige avhenger for flere av de billigste råstoffene av om det utvikles logistikk-kjeder lokalt for innsamling og komprimering.

3.4.2 Råstoffbehov og -tilgang

Bærekraftig råstoff vil være en flaskehals for bruk av bioenergi som klimatiltak i verden. Det er derfor ikke realistisk, om enn ønskelig, å anta en 100 % erstatning av fossilt drivstoff med biodrivstoff på mellomlang sikt. Norsk luftfart har i første omgang en målsetning om å redusere klimagassutslippene med 15 % innen 2020-25 ved innblanding av biodrivstoff.

For å nå dette målet er det behov for om lag 190 - 250 mill. liter biodrivstoff.⁴⁵ Dette innebærer behov for råstoff med et energiinnhold på 6-8 TWh⁴⁶. Alt biologisk nedbrytbart materiale fra landbruk, skogbruk, fiske, avfall m.m. kan brukes som råstoff til biodrivstoff. Dersom råstoffet er norsk skog⁴⁷ vil målsetningen eksempelvis innebære 2,7 – 3,6 mill. fastkubikkmeter.

Til sammenligning ville gjennomføring av tiltakene i transportsektoren fra Klimakur 2020⁴⁸ som forutsatte bruk av biomasse fra skogen, øke etterspørselen med i underkant av 6,6 millioner fastkubikkmeter, eller i underkant av 14 TWh. Det ble i 2010 brukt bioenergi i Norge tilsvarende 17 TWh totalt.^[4]

⁴⁵ Følgende faktorer er brukt: Utslippsreduksjon på 60 - 80 % fra biodrivstoffet sammenlignet med fossilt, et forventet forbruk på ca. 1000 mill. liter flydrivstoff i Norge i 2020. Konverteringsgrad fra biomasse til drivstoff er satt til 14 % på massebasis. Konverteringsgrad kan være opp mot 25 %, da vil råstoffbehov for å oppnå 15 % klimaeffekt være lavere.

⁴⁶ Energiinnhold = 5 kWh/kg. En høyere konverteringsgrad, som kan være opp mot 25 %, vil gi et lavere antall liter for å oppnå 15% klimaeffekt.

⁴⁷ Biomasse med ca. 50 % fuktighet

⁴⁸ F.eks. Biodiesel og bioetanol for landtransport, elektrifisering av biler og tog etc.

Med effektive industriklynger og bioraffineri med optimal bruk av alle bestanddeler i biomassen og effektive teknologier kan konverteringsgraden øke.

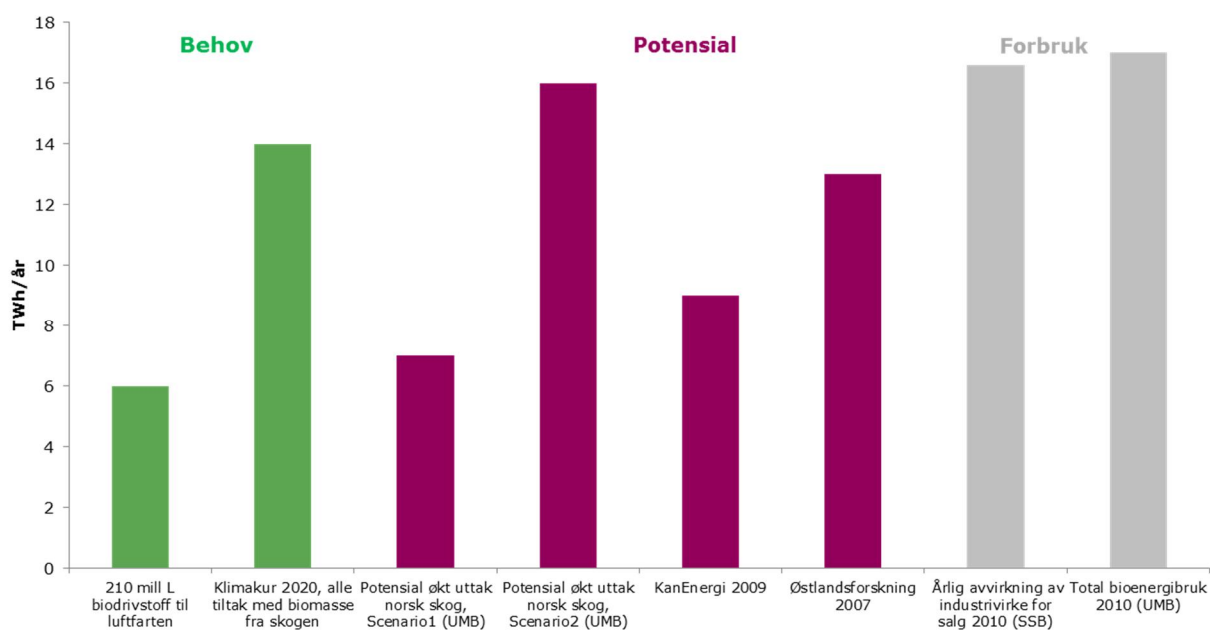
Endringer i disse forutsetningene vil gi et endret antall liter drivstoff, ikke minst vil en høyere konverteringsgrad, som kan være opp mot 25%, gi et lavere antall liter for å oppnå 15% klimaeffekt.

Til sammenligning ville det om alle tiltakene fra Klimakur 2020, som forutsatte bruk av biomasse fra skogen skulle gjennomføres, øke etterspørselen med i underkant av 6,6 millioner kubikkmeter, eller i underkant av 14 TWh.^[45] Dersom scenario 2 (avvirkning opptil balansekvantum) for økt avvirkning av norsk skog legges til grunn, og hele dette volumet brukes til biodrivstoff til luftfart, gir de samme forutsetningene som over et teoretisk potensial for å produsere om lag 360 millioner liter fornybar Jet A-1. Et mer realistisk avvirkningsnivå, om lag som dagens, ville ved disse forutsetningene gi om lag 152 mill. liter.

Det er vanskelig å estimere et realistisk potensial for biobrensler, fordi det er mange faktorer som påvirker et slikt tall. I Klimakur 2020 vises det til estimerte potensialer ut over dagens nivå på fra 9 TWh til kostnader under 30 øre/kWh^[62] til 10-15 TWh^[44]

Sammenlignet med biomassepotensialet fra norsk skog og dagens forbruk, vil råstoffbehovet for å oppnå 15 % klimaeffekt for norsk luftfart i 2020, satt til 210 mill liter biodrivstoff, se ut som i Figur 3-26.

Figur 3-26 – Biomassebehov sammenlignet med potensial fra norsk skog og dagens forbruk. ^{[45][44][4][42]}



Det kan se ut til at biodrivstoff til luftfart som samlet reduserer klimagassutslippene fra bransjen med 15 prosent vil beslaglegge en moderat andel av tilgjengelige ressurser.

3.4.3 Tilgang på bærekraftige råstoff i fremtiden

Tilgangen på bærekraftige ressurser endrer seg over tid basert på en rekke ulike forhold;

Teknologisk utvikling vil gi mer effektive konverteringsprosesser som gir større utbytte og dermed høyere klimagevinst per liter biodrivstoff. Det vil gjøre det mulig å bruke råstoff som i dag ikke gir lønnsomhet, eller som det teknologisk i dag er vanskelig å konvertere. Overgangen fra såkalt første- til andregenerasjon drivstoff er et eksempel på dette. Et annet eksempel er å ta i bruk karbonfangst

og lagring på biodrivstoffanlegg, noe som vil øke klimaeffekten av drivstoffet og bidra til å hente karbon ut av atmosfæren.

Økt kunnskap. Ettersom kunnskapen om konsekvensene av storskala produksjon og bruk av biodrivstoff i ulike sektorer øker, vil også stadig bedre metoder for å beregne og påvise sammenhenger bli tilgjengelige. Med bedre sertifisering og sporing av råstoff vil man kunne hensynta at bærekraft i stor grad kan være stedsspesifikk, slik at ressurser som dyrkes på en bærekraftig måte ett sted kan benyttes, selv om det andre steder ikke er bærekraftig.

Regelverksendringer. I de store markedene internasjonalt – som EU, USA og Japan – vil det bli lagt begrensninger på bruk av råstoff som ikke er bærekraftig og det vil bli økte krav om å dokumentere dette. Tilgangen på sertifisert råstoff vil bli en faktor som bestemmer potensialet. Produksjon og salg av tre- og papirprodukter, inkludert biomasse til energi, som er sertifisert å komme fra bærekraftig drevet skog dekket i 2010 om lag 27 % av den globale avvirkingen. Samme år var om lag 8% av de globale skogene sertifisert gjennom en av de internasjonale ordningene for skog (FSC, PEFC), noe som nesten er en tredobling siden 2004. Selv om dette viser en økt oppmerksomhet rundt dette, er fremdeles skogsertifiseringslandskapet fragmentert og med betydelige mangler. ^[7]

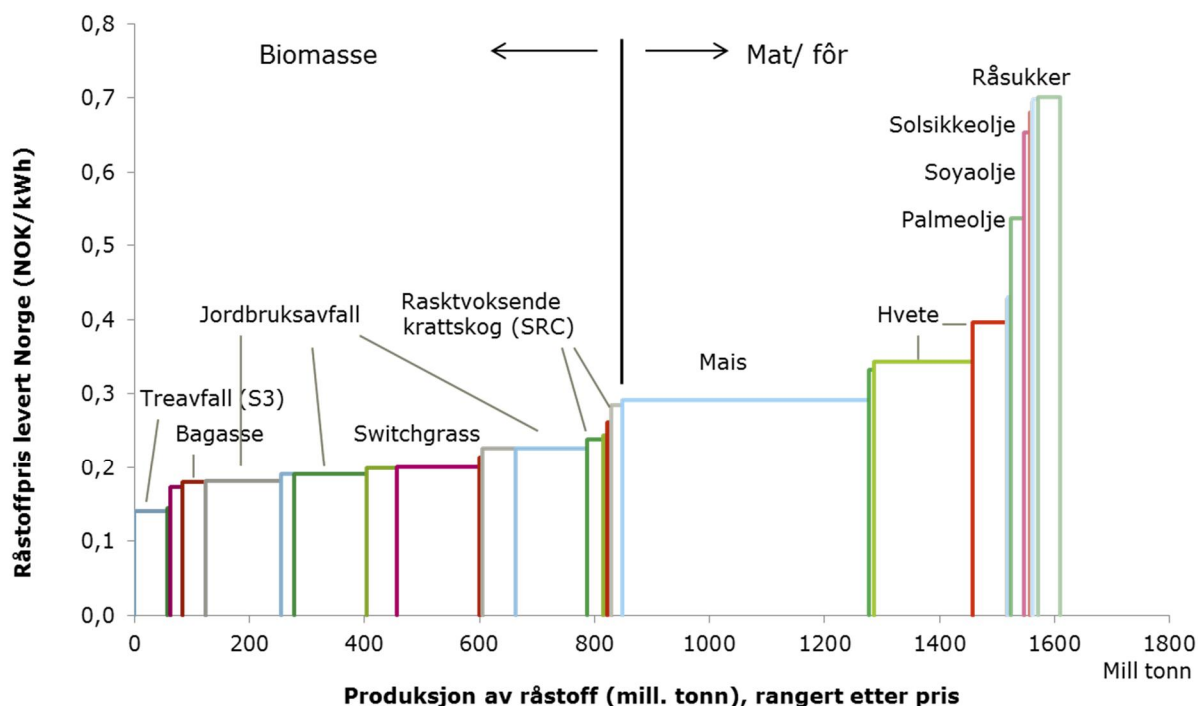
Tilsvarende er det sannsynlig at man med økt kunnskap og bedre metodikk vil gjøre endringer i regelverket for klimagassregnskap, slik at det i større grad gjenspeiler reell klimapåvirkning og skarpere skiller mellom gode og dårlige alternativer. Gitt at råstoffet er flaskehalsen kan sektorer der det er gode og kostnadseffektive alternativer penses over på disse, heller enn på bioressurser.

Ny og mer effektiv dyrkning av råstoff. Forbedringer og effektivisering i land- og skogbruk, nye avlinger og nye organismer, slik som alger, vil kunne gi større utbytte og nye typer råstoff. Kombinert med et godt styresett og arealplanlegging er dette en nøkkel internasjonalt til ultiøse et langt høyere potensial av bærekraftige ressurser enn hva som er tilgjengelig i dag. ^[43]

På lenger sikt vil også klimaendringene føre til endrede vekstforhold gjennom endrede temperaturer og nedbør. I noen regioner og for noen type vekster vil dette kunne føre til økt produksjon, mens det det motsatte vil være tilfellet andre steder eller for andre vekster. Mer ekstremvær vil kunne ramme produksjonen både i skog- og jordbruket.

Markedsforhold. Endrede markedsforhold kan gjøre at råstoff tilgjengelige som tidligere ble brukt i andre sektorer. Utvikling av logistikk-kjeder, som konsekvens av større etterspørsel, vil bidra til å gjøre råstoff tilgjengelig.

Figur 3-27 viser importråstoffene fra Tabell 3-8 rangert etter pris. Kombinasjonen av markedsforhold og teknologisk utvikling, som gjør det mulig og potensielt lønnsomt å konvertere celluloseholdig materiale gir en situasjon hvor biomasse som ikke konkurrerer med mat er mer konkurransedyktig på pris. Dersom dette er situasjonen fremover vil også markedet bidra til å pøse biodrivstoff over mot mer sosialt bærekraftige råstoff.

Figur 3-27 - Importert råstoff til Oslo rangert etter pris (NOK/kWh) ^[7]

Bioenergi har et betydelig potensial som klimatiltak, forutsatt bruk av bærekraftige råstoff og høy effektivitet langs hele verdikjeden. Dersom forholdene over spiller sammen på en god måte kan det gi økt tilbud av bærekraftige ressurser i 2020-25.

Kapittel 3 har gjennomgått og kartlagt at det vil være egnede, bærekraftige ressurser for prosjektets valgte produksjonskjeder for biodrivstoff til luftfart i 2020/25. Det er også på det rene at det er mange hensyn som må tas for å sikre bærekraft og best mulig klimaeffekt. Rammevilkårene for råstoffproduksjon og biodrivstoffproduksjon vil være i endring fremover, tilsvarende som også metodikk for å vurdere klimaeffekt og bærekraft. Den politiske målsetningen om økt bruk av biodrivstoff står fast i Norge, EU og internasjonalt.

I et slikt skiftende landskap må en økonomisk aktør forholde seg til eksisterende politikk og regelverk, og de endringer som er kjent og kommer på kortere sikt.

4. TEKNOLOGI OG PRODUKSJON: MULIGHETER OG BEGREN- NINGER I NORGE MOT 2020/25

For Norge er det mulig å etablere flere ulike verdikjeder for bærekraftig biodrivstoffproduksjon. Hovedspørsmålet som må besvares er hvilke fortrinn som eksisterer i Norge. Mange andre land har lavere råstoffkostnader og andre konkurranseforhold. Det er også mange store forskningsprogram som driver fram ny teknologi, f.eks. i EU, USA, men også Midtøsten, Australia og Sør-Amerika.

Den amerikanske nasjonale standarden, D7566 – 11 a – Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons, publisert juli 2009 oppdatert i 2011, angir to konverteringsruter og prosesser for syntetiserte drivstoff, for inntil 50 % innblanding (drop-in), for luftfart.

De to metodene er:

- 1. Fischer-Tropsch hydrogenraffinert syntetisert parafinsk petroleum (FT-SPK, 2009)*
- 2. Syntetisert parafinsk petroleum fra hydrogenraffinert estere og fettsyrer (HEFA-SPK, 2011)*

Andre metoder og høyere grad av innblanding kan bli sertifisert de neste årene. American Society for Testing and Materials (ASTM) har flere arbeidsgrupper som utreder alternative ruter, for eksempel ruter for alkoholer (Alcohol-to-Jet, AtJ).

Under listes de viktigste og mest sannsynlig gjennomførbare verdikjedene for produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart fram mot 2020/25.

- 1. Termokjemisk prosessering og forgassing av rest- og avfallsprodukter i tett tilknytning til treforedlingsindustri.*
- 2. Andregenerasjons bioetanol, primært fra skog med oppgradering av alkohol til Jet A-1*
- 3. Termokjemisk prosessering av husholdnings og industriavfall med høytemperatur gassifisering*
- 4. Tredjegerasjons bioetanol fra bærekraftig dyrket makroalger, med oppgradering av alkohol til Jet A-1*
- 5. Tredjegerasjons bioetanol fra mikroalger i fotoreaktorer i tilknytning til norsk energikrevende industri*

Alternativ 1-3 anses som mest realistisk å få etablert innen 2020/25. Alternativ 4 kan være aktuelt fra og med 2025, mens alternativ 5 først kan forventes etter 2030 i Norge.

4.1 Globale initiativ, forskningsprogram og mål for teknologiutvikling

4.1.1 Drivere og mål for teknologiutvikling

USA sitt Forsvarsdepartement (DoD⁴⁹) og deres føringer for større energiforsyningssikkerhet er den viktigste driveren for teknologiutvikling av biodrivstoffproduksjon for luftfart. DoD er også en av verdens største drivstoff-forbrukere. Amerikanske myndigheter har hatt store forskningsprogram i lang tid, f.eks. et forskningsprogram for alger som analyserte mer enn 3000 arter med alger på 70-tallet. De siste årene har det dessuten vært en omfattende subsidieordninger for bioetanol. De største fly og

⁴⁹ Department of Defense

flymotorprodusentene effektiviserer både flykropp, motorer og tester biodrivstoff, flere i samarbeid med DoD.

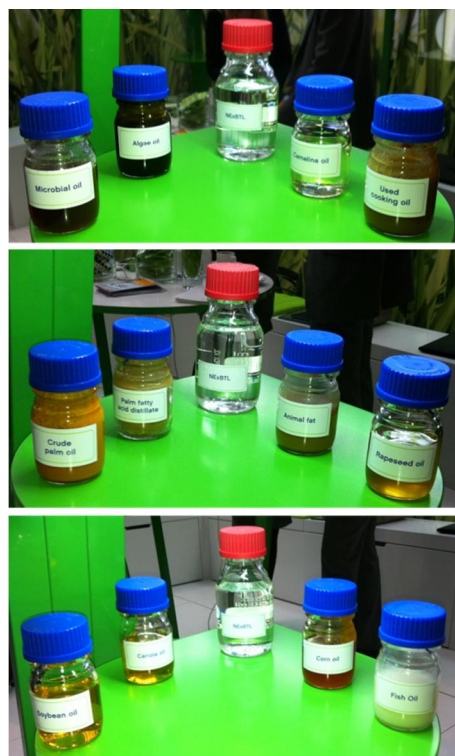
Luftforsvaret i USA har som mål å benytte biodrivstoff for 50 % av alle innenriksflygninger innen 2016. US Navy har en stor flyportefølje og bruker «Great Green Fleet» som slagord om å benytte biodrivstoff for 50 % av energibehovet innen 2020. Med dette følger det flere større forsknings- og testprogram og innkjøp av biodrivstoff basert på ulike råstoff og teknologier. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) har som mål å utvikle konkurransedyktig biodrivstoff basert på alger innen 2017^[54]. Ved utgangen av 2011 var 99 % av alle fly i luftforsvaret sertifisert for å benytte 50 % innblandet biodrivstoff, og ved utgangen av 2012 forventes det at alle fly er testet og sertifisert for biodrivstoff. I august 2011 ble det bevilget mer enn USD 510 mill. for å støtte produksjonsanlegg for biodrivstoff til luftfart. En av hovedårsakene til at DoD satser på biodrivstoff er forsyningssikkerhet.

En av de største nåværende produsentene av biodrivstoff for luftfart er Neste Oil. Neste Oil har tre anlegg hvor det produseres biodiesel, med navnet NExBTL, som kan videreforedles til Jet A-1:

- To anlegg i Porvoo Finland, med 190.000 tonn/år fra hvert anlegg, totalt 380.000 tonn/år siden 2007 og 2009, dvs. ca. 450 mill. liter totalt per år
- Verdens største biodieselforfineri i Singapore med 820.000 tonn/år siden november 2010, dvs. ca. 1 mrd. liter per år
- Europas største biodieselforfineri i Rotterdam, Nederland med en kapasitet på 800.000 tonn/år siden september 2011, også ca. 1 mrd. liter per år

I USA bygges for tiden Seattle-baserte AltAir Fuels, som samarbeider med Sustainable Oils, to bioraffinerier for produksjon av biodrivstoff til luftforsvaret i USA. Et anlegg starter opp nå i slutten av 2012 i Bakersfield California, og et annet er planlagt i Tacoma Washington i 2014. Sapphire bygger et produksjonsanlegg i New Mexico for alger hvor første fase er ferdig nylig (oktober 2012) og Sapphire skal oppskalere i 2013 til 5 mill. liter aleggolje på et 120.000 m² areal. Selskapet har fått bevilget mer enn USD 50 mill. fra amerikanske myndigheter, og har skaffet USD 85 mill. fra private investorer. Planen er å produsere 350 mill. liter med fornybar diesel og biodrivstoff for fly innen 2018 og videre 3500 mill. liter i 2025, se Figur 4-2 nedenfor.^[71]

Figur 4-1 – NExBTL og 12 prøver fra ulike biooljer Foto © Killingland



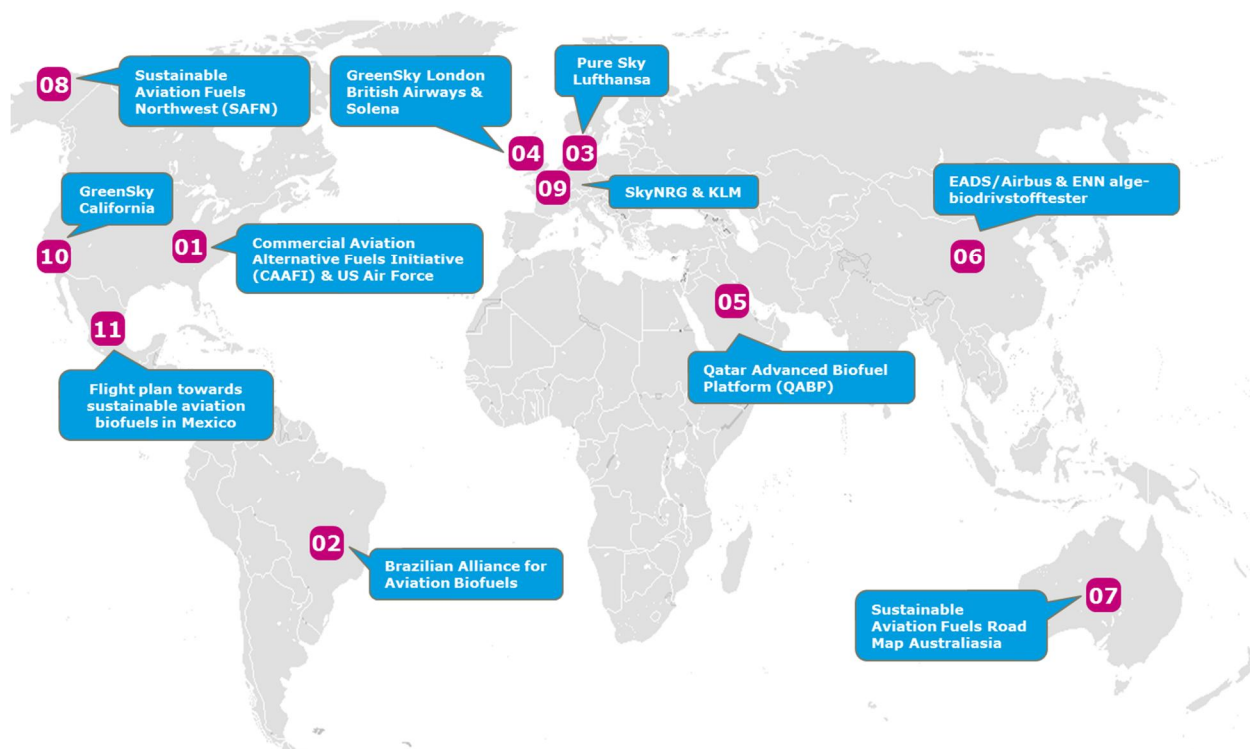
Figur 4-2 – Produksjon av alger for biodrivstoff New Mexico, © Sapphire



4.1.2 Globale initiativ

Figuren under viser noen utvalgte initiativ prosjektet legger vekt på da det er reelle testflygninger, bruk og produksjon av syntetisert biodrivstoff eller analyse av hele verdikjeden produksjon av biodrivstoff for luftfart i en bestemt region.

Figur 4-3 – Noen utvalgte globale initiativ for biodrivstoff til luftfart © Rambøll



1. Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI) & US Air Force
CAAFI og Luftforsvaret bidrar til mange initiativ i USA innen både FT-SPK, HEFA-SPK og

nye teknologier innen bl.a. alger. Med etablering av Fuel og Feedstock Readiness Level etablerer og demonstrer de en verdensledende metodikk for innføring av nye biodrivstoff.

2. **Brazilian Alliance for Aviation Biofuels**
Mål til BAAB er å fremme utviklingen av bærekraftige luftfart biodrivstoff med positiv karbon livssyklus og som er sertifisert i henhold til lokale og internasjonale drivstoffstandarder
3. **Pure Sky Lufthansa**
Eget testprogram for daglige kommersielle flygninger med biodrivstoff (Airbus A321) mellom Hamburg og Frankfurt i seks måneder i 2011. Første transatlantiske flygning til USA 12. januar 2012.
4. **GreenSky London British Airways & Solena**
Et termokjemisk anlegg har byggestart mot slutten av 2013 og planlagt full drift i 2015. Ved hjelp av en termokjemisk prosess gassifiseres avfall og biomasse til Fischer-Tropsch Jet A-1 og andre biprodukter.
5. **Qatar Advanced Biofuel Platform (QABP)**
QABP konsortiet har som mål å etablere verdens første større verdikjede for biodrivstoff til luftfart basert på alger. QABP består av Qatar Airways, Airbus, Qatar Petroleum, Qatar University Science and Technology Park og Rolls-Royce.
6. **Airbus & ENN alge-biodrivstofftester i Kina**
European Aeronautic Defence and Space Company (EADS), morselskapet til Airbus, er med på å utvikle produksjon av biodrivstoff fra alger. Målet er å teste ut algebasert Jet A-1 biodrivstoff i 2013 i kommersielle flygninger i Kina. ENN har utviklet et anlegg som produserer 10 tonn algebaserte olje per år.
7. **Sustainable Aviation Fuels Road Map Australiasia**
I Australia og New Zealand har prosjektet analysert hva som må til for å etablere en bærekraftig biodrivstoffindustri for kommersialisering av biodrivstoff. Prosjektet har analysert hele verdikjeden fra biomasseproduksjon, høsting, foredling, transport, infrastruktur og til sluttbruk for flyselskapene.
8. **Sustainable Aviation Fuels Northwest (SAFN)**
SAFN har gjennomført en kartlegging av hele verdikjeden for biodrivstoff for regionen i nord-vest i USA. Partnere har vært Alaska Airlines, The Boeing Company, Port of Seattle, Port of Portland, Spokane International Airport and Washington State University.
9. **SkyNRG & KLM testflygninger**
200 testflygninger mellom Amsterdam og Paris planlegges for et år fra september 2012 med biodrivstoff fra brukt frityrolje.
10. **GreenSky California**
Solena og har skrevet intensjonsavtale med flyplassene i San Francisco Bay Area for å levere FT-SPK fra avfall og biomasse.
11. **Flight plan towards sustainable aviation biofuels in Mexico⁵⁰**
På lik linje med SAFN, SAF Road Map Australiasia analyseres hele verdikjeden for å etablere produksjon av bærekraftig biodrivstoff i Mexico.

⁵⁰ Plan de vuelo hacia los biocombustibles sustentables de aviación en México

Både Enviro.aero og World Economic Forum har laget gode oversikter over globale initiativ. WE Forum sin oversikt, Global Aviation Biofuel Initiatives Database, inneholder en oversikt over testflyginger, pilot- og forskningsprosjekt i tillegg til andre initiativ for bærekraftig biodrivstoff for luftfart.

Databasen er basert på informasjon fra luftfartsindustrien og ble utviklet som en del av World Economic Forum sitt prosjekt Bærekraftig Transport, (Sustainable Transportation). Kunnskap og erfaring fra prosjektene har blitt benyttet til å etablere anbefalinger i rapporten, Sustainable Transportation Ecosystem (2012).

Prosjektene i databasen kan bli filtrert etter ett eller flere kriterier:

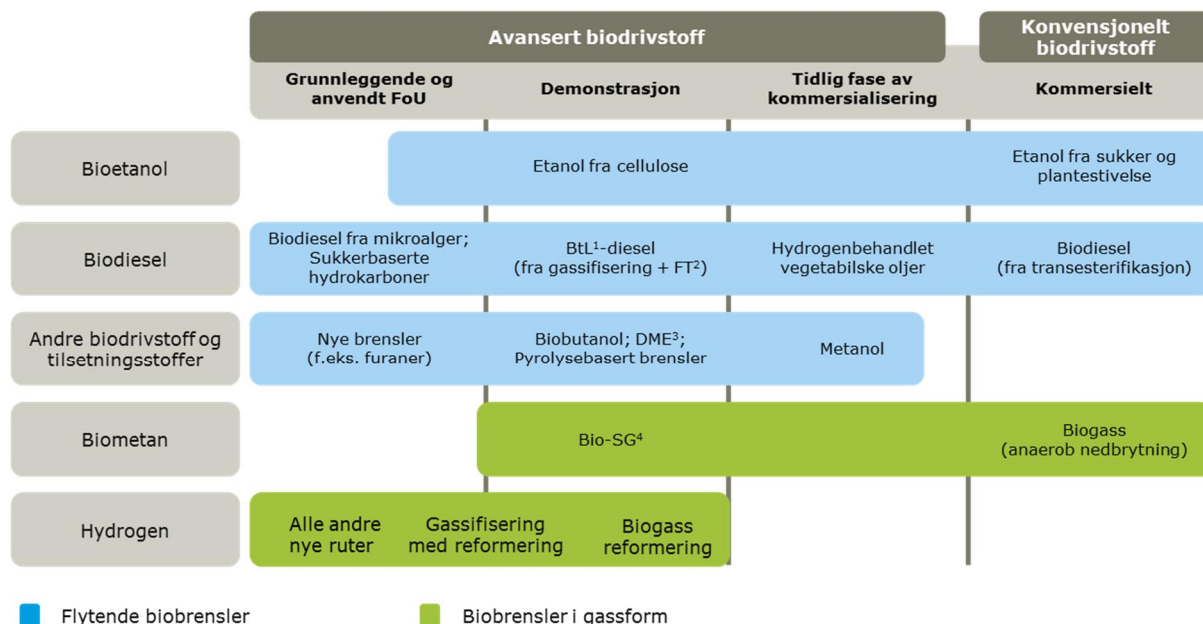
- Råstoff
- Type initiativ: pilotprosjekt, sluttbrukergruppe, fasilitator
- Trinn i utviklingen: kommersiell, mulighetsstudie, forskning
- Region: Afrika, Asia, Europa, Midtøsten, Nord-Amerika, Latin Amerika, globalt
- Interessenter involvert: råstoffleverandører, bioraffinerier, oljeselskap, flyprodusenter, flyplasser, flyselskap, finansielle institusjoner, statlige aktører, interesseorganisasjoner.

Listen fra WE Forum er også vedlagt.

4.1.3 Modenhet knyttet til Technology, Fuel og Feedstock Readiness Level

Mange publikasjoner identifiserer modenhet for biodrivstoff. Modenhet for teknologi eller biodrivstoff deles gjerne inn i generelle kategorier som grunnleggende FoU, demonstrasjon, tidlig kommersialisering og kommersiell teknologi, som IEA har gjort i figuren under.

Figur 4-4 – Teknologisk modenhet for ulike biodrivstoffteknologier knyttet til råstoff © IEA ETP



1. Biomasse til væskeform; 2. Fisher Tropsch; 3. Dimetyleter; 4. Biosyntetisk gass

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. Figur 4-5 viser en generell beskrivelse av TRL-skalaen.

For å forstå hvilke teknologier som er egnet for norske forhold bør TRL for produksjonsanlegg spesielt benyttes. Det relevante for biodrivstoff er *Fuel Readiness Level* (FRL) som er en metodikk for å fastslå hvor modent et biodrivstoff er. For biomasse brukes *Feedstock Readiness Level* (FSRL). Den 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.

Alle aktører som skal etablere eller forholde seg til produksjon av biomasse eller biodrivstoff bør forholde seg til disse skalaene. Modenhet kan også si noe om når ulike produksjonsnivå kan forventes, f.eks. mindre volum fra lab, pilotskala og mest interessant fullskala. En detaljert sjekkliste er lagt ved i vedlegg 2.

TRL og FRL brukes av flere statlige organer i USA, blant annet US Department of Defense, Federal Aviation Administration, US Department of Energy og NASA. Selskaper i USA som søker om støtte må presentere hvilket nivå teknologien er på, 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 metodikken. ERA-NET Plus fokuserer f.eks. sin støtte til TRL nivå 5 og oppover.

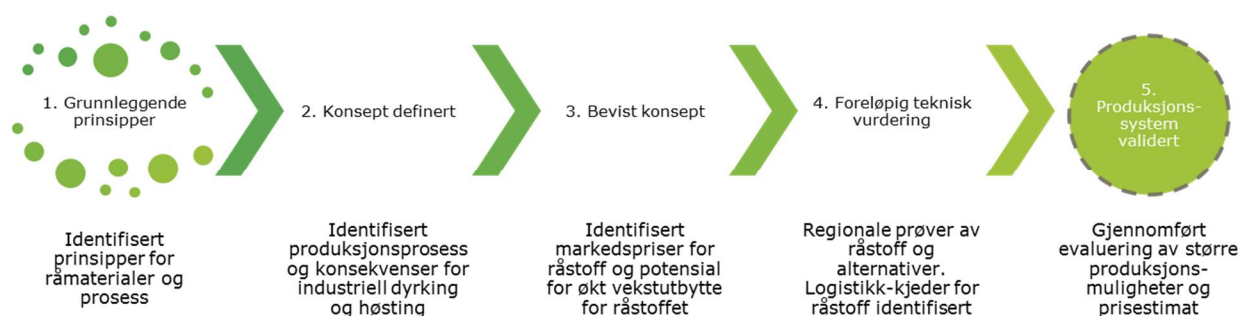
Nivåene for råstoffidentifisering og konverteringsteknologi går parallelt. Metoden er delt inn i fire hovedaktiviteter for råstoff og konverteringsteknologi for biodrivstoff:

1. Innledende evaluering
2. Eksperimentell testing
3. Før-kommersiell vurdering
4. Kommersiell anvendelse

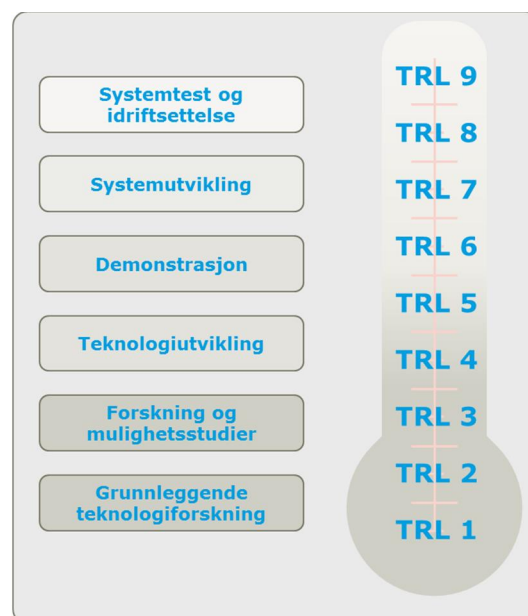
Disse fire hovedaktivitetene er delt inn i ni nivåer, mye tilsvarende som vist på Figur 4-5 over. Hvert nivå har flere underpunkter.

Figur 4-6 under viser de ulike trinnene og hva de innebærer for prosessen for validering og kommersialisering av bærekraftig råstofftilgang.

Figur 4-6 – Feedstock Readiness Levels, Level 1 – 5, © CAAFI



Figur 4-5 – Skala for teknologimodenhet, Technology Readiness Level (TRL)



Figur 4-7 – Feedstock Readiness Levels, Level 6 – 9 © CAAFI



Under vises også de parallelle nivåene for drivstoffet.

Figur 4-8 – Prosessvalidering for biodrivstoff, Fuel Readiness Level 1 – 5, ref. CAAFI



Videre er det fire nivåer før kommersiell fullskala drift. Nivå 6-8 innebærer en fullskala teknisk vurdering før sertifisering og godkjenning av drivstoffet. Drivstoffet skal testes på alle de ulike nivåene i ulike volum (se under).

Figur 4-9 – Prosessvalidering for biodrivstoff, Fuel Readiness Level 5 – 9, © CAAFI



Forhold som må håndteres for hvert av de ni FRL og FSRL-trinnene er delt inn i kategoriene:

1. Produksjon - Råstoff og ferdig biodrivstoff
2. Marked - Priser, dynamikk med andre bruksområder for råstoff og økonomisk risiko

3. Politikk - Virkemidler og regulatoriske ordninger
4. Råstofftilgang i forhold til modenhet for produksjonsanlegg

En del sentrale milepæler må oppnås for å etablere biodrivstoffproduksjon, spesielt for luftfart på grunn av de strenge tekniske kravene. Ikke minst for dokumentasjon av bærekraft er dette helt nødvendig. Under presenteres milepælene felles for Fuel Readiness og Feedstock Readiness Level. Produksjon innebærer både produksjon av råstoff i nødvendige volumer med tilhørende logistikk, samt produksjon av biodrivstoffet.

INNLEDENDE EVALUERING (PRELIMINARY EVALUATION), FRL/TRL 1 – 2.4

Milepæl, FRL 1 - Identifisert aktuell teknologi for type råstoff

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Grunnleggende prinsipper identifiseres	Identifisert potensielt råstoff for konverterings-teknologi	Identifisert potensielle produsenter, brukere og avfallsstrømmer	Identifisere regulatoriske krav for produksjon eller bruk av råstoff

Den innledende evalueringen må teste at egenskapene til drivstoffet oppfyller de strenge kravene gitt i standardene for flydrivstoff. Gjennom hele utviklingen av et biodrivstoff for luftfart må det testes for å bekrefte at det oppfyller kravene. For å kunne selge biodrivstoff må naturlig nok også en livssyklus-analyse gjennomføres som viser reduksjonen i forhold til fossilt drivstoff.

Milepæl, FRL 2 - Test av råstoffkvalitet for spesifikk teknologi

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Konsept identifisert	Arealbruk og konkurrerende arealbruk	Marked for alternative råstoff	Identifisere overordnede ressursforvaltningsplaner
Råstoff og tilhørende teknologi	Produksjonssystem og delprosesser	Potensielle biprodukter	Lage en plan for å håndtere krav
	Konsekvenser økt uttak	Avfallsstrømmer for salg	
		Innhøsting og logistikk	

EXPERIMENTAL TESTING, FRL/TRL 3

Milepæl, FRL 3 - Produksjon i lab skala

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Proof of concept	Bioengineering og kultivering for økt bærekraftig produksjon	Produksjonskostnader for råstoff	Identifisere utfordringer knyttet til sosiale forhold og eventuell motstand mot råstoffutnyttelse
Bevist produksjon		Mulighetsstudie for råstoffsektorer og økt utnyttelse	

EXPERIMENTAL TESTING, FRL/TRL 4 – 4.3

Milepæl, FRL 4 - Beregning av ytelse og utbytte av hoved- og bi-produkt fra prosess

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Innledende teknisk vurdering	Regionale prøver av råstoff og beregning av potensial for volumer	Identifisere bioraffinerier for målrettet råstoffutvikling og etterspørsel	Identifisere statlige støtteprogram
Systemytelse og integrasjonsstudier			Fastsette utfordringer knyttet til vern av ressurser og økologi

Det er flere standarder som må benyttes for testing av biodrivstoff for luftfart. De viktigste er laget av ASTM og standard D4054-09, *Guideline for the Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives*, beskriver hvordan nye drivstoff kan kvalifiseres og testes. ASTM-standarden for fossil Jet A/A-1, heter D1655, *Standard Specification for Aviation Turbine Fuels*. For syntetiserte drivstoff, enten fra biomasse eller ukonvensjonelle fossile kilder er navngitt D7566-11, *Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons*. Som nevnt tidligere er FT-SPK og HEFA-SPK blitt godkjent som syntetiserte innblandingskomponenter, beskrevet i vedlegg til D7566-11. Nye syntetiserte innblandingskomponenter vil bli sertifisert de neste årene, og det forventes at konverteringsruten Alcohol-to-jet vil bli sertifisert i løpet av 2013-2014 år.

EXPERIMENTAL TESTING, FRL/TRL 5 – 5.4

Milepæl, FRL 5 - Pilotanlegg og kommersiell testing

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Småskala produksjon demonstrert	Identifisere prisnivå i forhold til volumer	Identifisere maksimale markedsvolumer i forhold til pris	Forberede søknader for støtte
Oppskaleringmuligheter bevist			Send inn og få godkjent søknader
Pilot anleggs kapasitet demonstrert			

EXPERIMENTAL TESTING, FRL/TRL 6 – 6.4

Milepæl, FRL 6 - Full-skala teknisk vurdering og testing. Ytelse bekreftet for produksjonsanlegg og sluttbruk

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Testing ved autoriserte laboratorier	Oppskalering til fullskala produksjon	Tilknyttede tjenesteleverandører tilbakefører erfaring for oppskalering av produksjon og logistikk	Alle regulatoriske krav er oppfylt
Testing i motorer	Etablere planting og dyrking for å dekke etterspørsel		

Noe av de viktigste elementene for biodrivstoff for luftfart er testing av drivstoffet underveis i utviklingen. Dette må ikke undervurderes. Test av nye drivstoff i forhold til readiness-nivå kan brytes ned i følgende skritt

1. Innledende tester – f.eks. destillasjonskurve, fryse / flammepunkt, termisk stabilitet
 - i. **Mengde: 500 ml (FRL3)**
2. Testing av både rent og innblandet drivstoff (50/50 med standard jet A-1)
 - i. **Mengde: 40 liter (FRL4)**
 - ii. Tester for å bekrefte innledende resultater
 - iii. Andre tester inkluderer analytisk kjemisk (gass kromatografi), korrosjon, hydrogen, svovel, partikler etc.

3. Test av egenskaper for klar-til-bruk-drivstoff, inkludert toksiske egenskaper samt egnethet for kompatible materialer
 - i. [Mengde: 300 liter \(FRL 6.1\)](#)
4. Oksidasjon og påvirkning på forbrenningssiden i motorer
 - i. [Mengde: 10 000-15 000 liter \(FRL6.2\)](#)
5. Komponent, motor og utslippstester
 - i. [Mengde: 500-5 000 liter \(FRL 6.3\)](#)
6. Motor og flight-tester
 - i. [Mengde: 20 000 – 1 000 000 liter \(FRL 6.4\)](#)

De innledende testene av biodrivstoffet kan bli gjennomført hos et hvilket som helst akkreditert analytisk laboratorium. For mer avanserte tester kan forskningslaboratorium til forsvaret i USA, Air Force Research Lab (AFRL), eller i Europa være aktuelt. De ulike motorprodusentene, f.eks. Pratt & Whitney, GE, Rolls Royce kan bistå med «hot section testing», pkt. nummer 4 over.

COMMERCIAL DEPLOYMENT, FRL/TRL 7-9

Milepæl, FRL 7 - Sertifisering av biodrivstoffet, «Go or no-go» for kommersialisering

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Drivstofftype listet i henhold til internasjonale standarder	Kommersielle volumer levert til oppgraderingsanlegg, betaling for leveranser	Håndtere risiko for å redusere usikkerhet knyttet til råstofftilgang	Rapportere til støtteprogram Informere om virkninger av produksjonen

Milepæl, FRL 8 - Forretningsmodell godkjent, salg av biodrivstoff til kommersielle aktører

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Kommersialisering og ferdigstillelse av forretningsmodell	Oppfølging av produksjon av råstoff og systemeffektivitet Oppfølging av råstoff-fleksibilitet	Velfungerende marked etablert, justere forsyningskjeden i forhold til markedet for råstoff	Følge opp og dokumentere regulatoriske krav, evt. nye som har kommet eller kan komme

Milepæl, FRL 9 - Bærekraftig fullskala produksjon av biodrivstoff og bi-produkter

Aktivitet	Produksjon	Marked	Politikk: virkemidler
Bærekraftig fullskala produksjon etableres	Fullt spekter av tjenester etablert for suksessfull produksjon og leveranse av råstoff	Fungerende marked for bærekraftig ressurstilgang	Statlige og private støtteprogrammer fungerer med minimal forstyrrelse fra utilsiktede økonomiske, miljømessige og sosiale konsekvenser

Parallelt for biodrivstoffproduksjon er prosessen naturlig nok orientert rundt konverteringsprosessen og etablering av et anlegg.

Milepælene over viser samspillet mellom modenhet for råstoffproduksjon og teknologi, marked og håndtering av politiske virkemidler. Konverteringsprosessen er ofte såpass kompleks og kjernen i biodrivstoffproduksjonen er slik at en detaljert oversikt over modenhet for produksjonsanlegget kan være nyttig.

Videre i rapporten brukes TRL, FRL og FSRL for å definere modenhet.

4.1.4 Visjoner og planer støttet av forskningsprogram

Visjonene og planene er ambisiøse og langsiktige for å etablere biodrivstoffproduksjon for fly i Europa og USA, men også Sør-Amerika, Australia, Midt-Østen og Asia. I Europa er det flere både private og offentlig finansierte pågående prosjekter for å øke produksjonen av biodrivstoff til luftfart. Noen av de viktigste prosjektene er: Cleansky, ALFA-BIRD, BioTfuel, SWAFEA og EU Flight Path med benchmarking av teknologier.

Clean Sky Joint Technology Initiative

Clean Sky JTI er et av Europas største forskningsprosjekt med et budsjett på mer enn EUR 1.5 mrd., likt fordelt mellom EU Kommisjonen og industrien fra 2008 til 2013. Dette privatoffentlige samarbeidet (PPP, Private Public Partnership) har et fokus på fly og motorteknologi, mer enn drivstoff, selv om det er avhengigheter mellom motorteknologi og drivstoff. Clean Sky har som mål å framskynde teknologiske gjennombrudd for å nå de overordnede målene innen 2020:



- 50 % reduksjon i CO₂-utslipp ved drivstoffeffektivisering
- 80 % reduksjon i NO_x-utslipp
- Halvering av opplevd støy
- Etablere metodikk og prosesser for mer bærekraftig livsløp for drift, vedlikehold og utvikling av luftfart

Et revidert program forberedes for neste 5 års periode, Clean sky 2.

The Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI)

CAAFI har som mål å støtte utviklingen av alternative drivstoff til luftfart som har samme egenskaper eller bedre enn petroleumsbaserte drivstoff, både innen kostnader og miljø. Energiforsyningsikkerhet er et overordnet mål. CAAFI har dessuten utviklet et verktøy, en veiledning og en sjekklister for å identifisere hvor modent et drivstoff er for kommersialisering. Fuel Readiness Level og Feedstock Readiness Level er beskrevet i kap 4.1.3.



European Advanced Biofuels Flight Path Initiative

EU Kommisjonen, Airbus, Air France/KLM, British Airways, Lufthansa, Choren, Neste Oil, UOP, Biomass Technology Group (BTG) og andre representanter fra luftfartsindustrien og biodrivstoffindustrien lanserte EU Flight Path i 2011. Handlingsplanen definerer hvordan 2 millioner tonn, dvs. ca. 2500 millioner liter, med bærekraftig biodrivstoff skal benyttes i luftfart årlig i 2020 i EU.



EU Flight Path har altså et større fokus på biodrivstoffproduksjon en CleanSky, og ikke minst etablering av produksjonsanlegg da barrieren er stor for å etablere de første anleggene, både med tanke på teknologisk og økonomisk risiko, men også at det er tilgjengelig bærekraftig råstoff. Handlingsplanen har definert syv hovedpunkter:

1. Fasilitere utviklingen av standarder for drop-in biodrivstoff og sertifisering for bruk i fly
2. Samarbeide for å etablere bærekraftig sertifisering for hele verdikjeden
3. Skape enighet om kjøpsforpliktelser for en bestemt periode og kostnad
4. Promotere offentlige og private initiativ for å sikre at markedet etterspør og bruker biodrivstoff til fly
5. Etablere finansielle strukturer for å realisere produksjonsanlegg for andregenerasjons biodrivstoff

6. Akselerere målrettet forskning og utvikling for andre- og tredjegerasjons biodrivstoff, spesielt alger
7. Gjennomføre informasjonstiltak for den europeiske befolkningen med fordelene ved å erstatte fossilt drivstoff med bærekraftig biodrivstoff

Aktivitetene er delt opp i kort tidshorisont, middels og lang. Et av målene de neste 3 årene er å få etablert en serie anlegg, med fokus på et demonstrasjonsanlegg for Fischer Tropsch biodrivstoff på minimum 1,2 millioner liter Jet A-1. Signering av kontrakter for kjøp av biodrivstoff er også et viktig element. På lengre sikt, 4-7 år, er målet å få etablert et produksjonsanlegg for 2,5 mill. liter algeoljer. Et av de mange andre målene er å få involvert eksisterende raffineriindustri og etablere gode logistikk- og forsyningssystemer. Arbeidet med EU Flight Path er en del av SET-planen, Strategic Energy Technology Plan, for EU.

EU's 7. rammeprogram for forskning og utvikling⁵¹ er et viktig instrument for å finansiere produksjonsanlegg. 24. januar 2012 er det søknadsfrist for å søke om midler til et «pre-commercial scale» produksjonsanlegg som bør ha oppstart (commisioning) mot slutten av 2013, for å kunne søke om midler fra den EUR 83 mill. store potten. EU kommisjonen ønsker å støtte 3 anlegg og flere andre prosjekter med disse midlene. Alfa-bird er et prosjekt støttet av det 7. rammeprogrammet, og har pågått siden 2007.

Alternative Fuels and Biofuels for Aircraft Development (ALFA-BIRD)⁵²

ALFA-BIRD er et prosjekt delfinansiert av EU's 7. rammeprogram og er et FoU-prosjekt for å utvikle levedyktige tekniske

produksjonsteknologier og utvikle ulike biodrivstoff for en bærekraftig utvikling av luftfart. Forskningsprogrammet har hatt et totalbudsjett på EUR 9,8 mill. med EUR 6,8 mill. i støtte fra EU-kommisjonen og har pågått siden 2007 og sluttføres i 2012.



De tre drivstoffgruppene som har blitt undersøkt i detalj er:

- Parafiner med planteoljer og syntetiserte drivstoff (XtL, f.eks. biogas-to-liquid), i en kort til middels lang horisont (Fuel readiness level 7-9)
- Naftabasert drivstoff, som representerer nye produksjonsprosesser fra f.eks. kull og biomasse for en middels lang horisont (Fuel readiness level 3)
- Oksygenert drivstoff, som f.eks. komplekse alkoholer og furaner, i et langt perspektiv (Fuel readiness level 1)

12 forskjellige blandinger har blitt testet og programmet har identifisert fire drivstoff som har blitt testet videre. De fire typene er et referansedrivstoff fra Sasol, Fully Synthetic Jet Fuel (FSJF)⁵³, FT-SPK (produsert av Shell), en blanding av FT-SPK og 50 % naftabasert, og en blanding av FT-SPK med 20 % hexanol⁵⁴. Resultatene forventes presentert i løpet av første halvdel 2013 med en analyse av miljøpåvirkning og økonomi for drivstoffene.

Alfa-BIRD samarbeider med flere europeiske og internasjonale prosjekter. Utvalgte prosjekter er beskrevet under.

⁵¹ 7th Framework Programme for Research and Technological Development

⁵² <http://www.alfa-bird.eu-vri.eu/>

⁵³ Sannsynligvis basert på kull da Sasol har lang erfaring med Coal-to-Liquid Jet A-1

⁵⁴ Alkohol med seks karbonatomer

Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation (SWAFEA)

SWAFEA er en studie som ble etablert i

2009 av EU-kommisjonens Samferdselsdirektorat og Energidirektorat (Directorate General for Transport and Energy) for å utrede mulighetene og effekter av alternative drivstoff til luftfart. I slutten av 2011 ble flere rapporter offentliggjort.



Hovedrapporten konkluderer med følgende hovedpunkter

1. Hoveddriveren for en introduksjon av biodrivstoff i luftfart er klimagassutslipp
2. Økte priser for fossilt drivstoff åpner for alternativer, men priser for syntetisert Jet A-1 fra biomasse er ikke konkurransedyktig med fossilt drivstoff
3. Utviklingen av biodrivstoff går raskt, både med bruk av nye produksjonsteknologier, råstoff og oppskalering, men en stabilisering og reduksjon av utslipp vil sannsynligvis ikke oppnås før 2030 med et intensivt FoU-løp, også på nye råstoff som alger
4. Innblanding av syntetisert drivstoff med de samme egenskapene som fossilt og innenfor kravene i standardene er det eneste alternativet for luftfart pga. den omfattende infrastrukturen og utstyret som er etablert globalt
5. Biodrivstoff for luftfart har et betydelig potensial for å redusere klimagassutslipp
6. Den største barrieren er tilgang til store og bærekraftige volum av biomasse

SWAFEA anbefaler at forskning og utvikling for produksjonsanlegg samarbeider med landtransport og energibransjen da et produksjonsanlegg også produserer varme, elektrisitet og andre fraksjoner av biodrivstoff, f.eks. biodiesel.

European Biofuels Technology Platform (EBTP)

Målet til EBTP er å bidra til å:

- Utvikle konkurransedyktige og verdensledende verdikjeder for biodrivstoff
- Etablere av en sterk biodrivstoffindustri
- Akselerere bærekraftig utvikling av biodrivstoff i EU



Dette skal oppnås ved prosessledelse, prioritering og promotering av forskning, teknologiutvikling og demonstrasjonsprosjekter. EBTP har en styringsgruppe med medlemmer fra industri og forskning, og fire arbeidsgrupper innen: 1) biomasse og råstoff, 2) konvertering, 3) sluttbruk og 4) politikk og bærekraft.

Nordisk Energiforskning – Bærekraftige Biodrivstoff

Nordisk Energiforskning⁵⁵ støtter utviklingen av bærekraftig biodrivstoff gjennom Toppforskningsinitiativet, for tiden 30 MNOK. I mai 2010 fikk tre prosjekter godkjent søknadene ut i fra mer enn 30 søknader med mer enn 340 millioner i budsjett. Prosjektsøknadene kom fra Sverige, Finland, Norge, Danmark og Island. De tre prosjektene som fikk godkjent sine søknader er:



1. Susbiofuel – videreutvikling av prosesser for bioetanol fra lignocellulose med partnere fra flere nordiske institusjoner og selskap. Prosjektet har et budsjett på 12,5 MNOK og skal avsluttes i 2014.
2. HGBiofuels - videreutvikling av prosesser for bioetanol og butanol med partnere fra flere nordiske institusjoner og selskap. Prosjektet har et budsjett på 8 MNOK.
3. NORD-SYNGAS – videreutvikling av gassifiseringsteknologier for biomasse for Biomass to Liquid (BtL), hvor tett integrasjon med eksisterende papirindustri er et av målene. Prosjektet har et budsjett på 17 MNOK og skal avsluttes i 2013.

⁵⁵ Samtaler og informasjon fra Verena Hachmann, Programsekretær Bærekraftig Biodrivstoff

Forskningsrådet, satsing på andregenerasjon bio-drivstoff

I 2012 støtter RENERGI-programmet, som vil overtas av det nye ENERGIX-programmet, biodrivstoff-forskning

med ca. 20 mill. kroner. FoU innen biodrivstoff støttes også av Innovasjon Norges miljøteknologiordning og gjennom Transnova. Felles for prosjektene er at disse innebærer konverteringsprosesser rettet mot andregenerasjons biodrivstoff basert på trevirke og annen uspiselig biomasse.



Det jobbes med en lang rekke termokjemiske konverteringsprosesser innen alt fra forbehandling, til gassifisering, gassrensing og katalyse. Det jobbes også med sterksyrebasert hydrolyse og en kjemisk prosess som skal kunne omforme lignin til drivstoffkomponenter. På det biokjemiske området jobbes det med både etanol- og butanolfermenterende organismer og det forskes på en ny type hjelpeproteiner som skal kunne gjøre enzymatisk hydrolyse mer effektiv. Prosjekteierne er dels bedrifter, dels forskningsinstitusjoner og dels universiteter/høgskoler: Statoil, Weyland, LtL NOR, Bio-Oil, PFI, NTNU, SINTEF Energi, SINTEF Materialer og kjemi og UMB. En overordnet oversikt over de norske støtteordningene og forholdet mellom hver og en presenteres i kapittel 7.

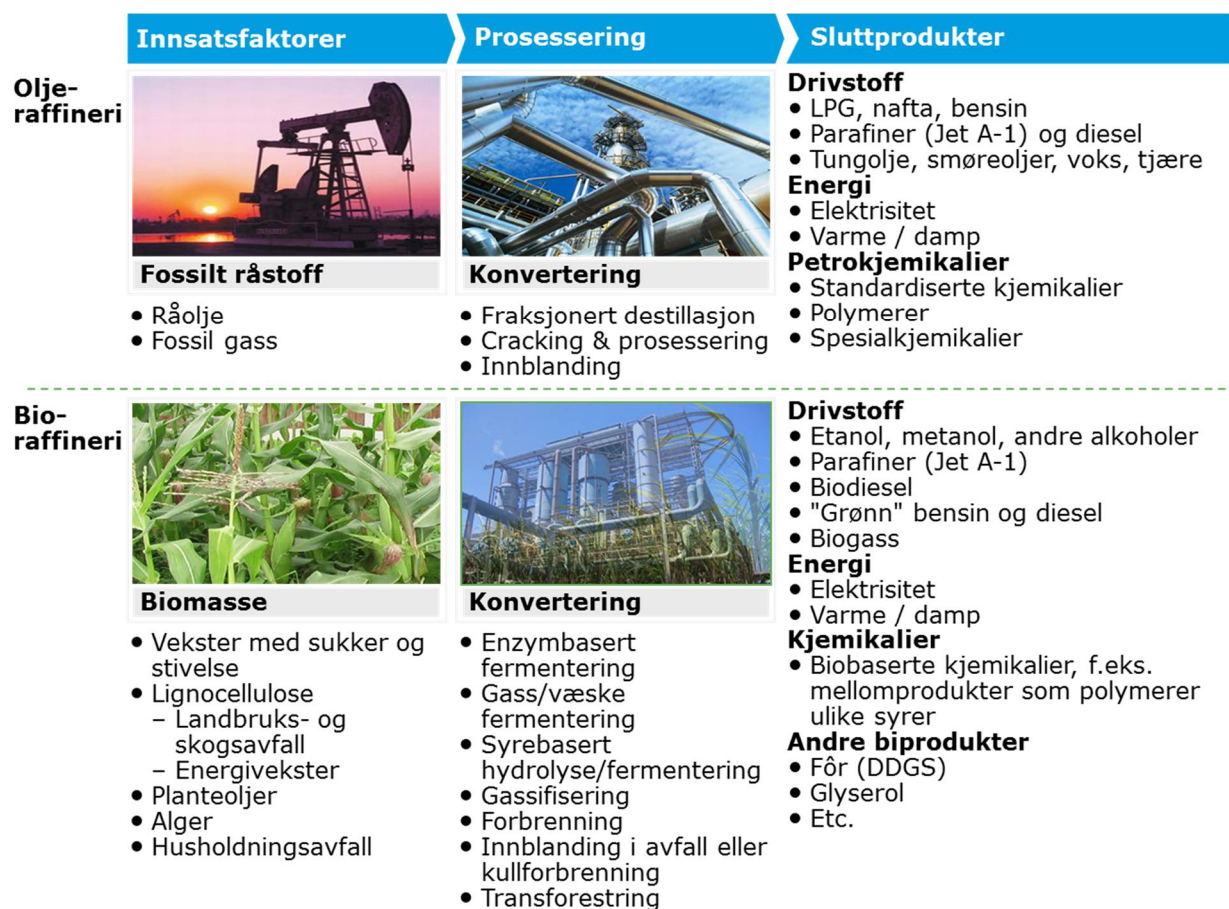
Andre initiativ som samarbeider med de over og har flere overlappende mål er: The Network of Excellence (ECATS), OPTFUEL, OMEGA, DREAM og AIREG. Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany er et eksempel på et nasjonalt initiativ. Disse initiativene forholder seg stort sett til teknologisertifiserte ruter for biodrivstoff som kan blandes inn inntil 50 % i fossilt drivstoff, men også drivstoff som enda ikke er sertifisert. Under beskrives eksisterende ruter og teknologier for produksjon av syntetisert Jet A-1 basert på biomasse.



4.2 Teknologisertifiserte konverteringsruter og prosesser

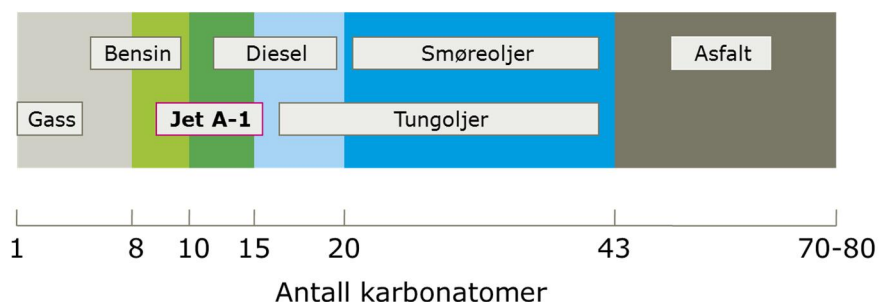
Jet A-1 kan syntetiseres fra naturgass, oljesand, kull og biomasse, i tillegg til på konvensjonelt vis fra råolje. Figuren under viser en oversikt over hovedforskjellene mellom fossilt drivstoff og biodrivstoff.

Figur 4-10 – Verdikjeder for fossil olje og bioraffineri © Rambøll



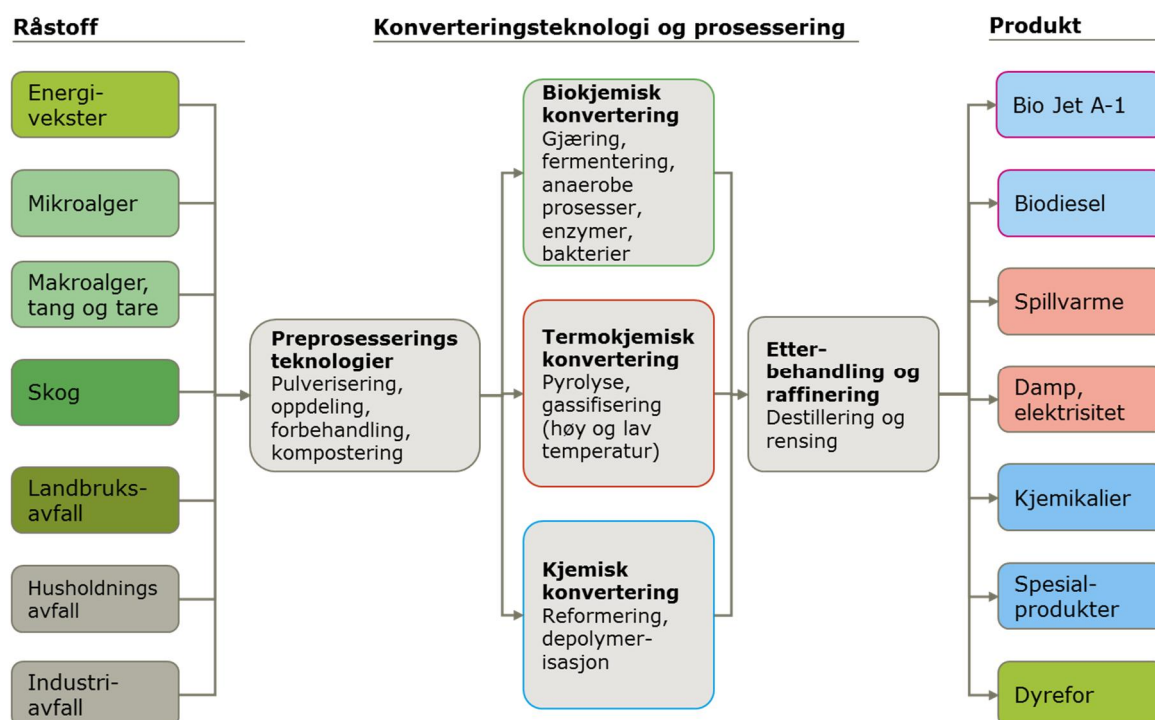
Drivstoff med Jet A-1 kvalitet må tilfredsstille ulike krav, for eksempel energitetthet, flammepunkt, frysepunkt, og viskositet. Egenskapene kan justeres ved hjelp av tilsetningsstoffer. Jet A-1 består hovedsakelig av karbonkjeder med 8 til 16 karbonatomer, dvs. parafiner. Figur 4-11 viser ulike drivstoff og en glidende overgang mellom ulike petroleumsprodukter.

Figur 4-11 – Ulike drivstoff og kategorier av produkter i forhold til antall hydrokarboner © Rambøll



Konverteringsteknologier deles gjerne inn i tre hovedkategorier: biokjemisk, termokjemisk og kjemisk, men kan også bestå av kombinasjoner av bio- og termokjemisk i ulike trinn i en prosess. Figuren under viser en overordnet skjematisk oversikt over mulige råstoff, konverteringsprosesser og sluttprodukter. Et integrert bioraffineri kan bestå av en eller flere konverteringsruter med bruk av flere typer råstoff og produsere et spekter av produkter. EU kommisjonens Joint Research Centre fastslår at integrerte bioraffineri kan være den beste løsningen for optimal utnyttelse av biomasse, både med tanke på energi, massebalanse og økonomi^[55].

Figur 4-12 – Generell oversikt over råstoff, konverteringsprosesser og sluttprodukter for biomasse © Ramboll



Den amerikanske nasjonale standarden, *D7566 – 11 a – Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons*,^[8] publisert juli 2011, angir to konverteringsruter og prosesser for syntetiserte drivstoff, for inntil 50 % innblanding (drop-in), for luftfart.

De to metodene er:

1. Fischer-Tropsch hydrogenraffinert syntetisert parafinsk petroleum⁵⁶ (FT-SPK)
2. Syntetisert parafinsk petroleum fra hydrogenraffinert estere og fettsyrer⁵⁷ (HEFA-SPK)

Andre metoder og høyere grad av innblanding kan bli sertifisert de neste årene. American Society for Testing and Materials (ASTM) har flere arbeidsgrupper som utreder alternative ruter, for eksempel syntetiserte parafiner som inneholder aromatiske⁵⁸ forbindelser (SKA⁵⁹) og ruter for alkoholer (Alcohol-to-Jet, AtJ). Andre forslag inkluderer pyrolyse og syntetisert bioteknologi. AtJ er mest sannsynlig den prosessen som vil bli sertifisert først av disse teknologiene, forventes innen 2013/2014.

Termokjemisk konvertering benytter en Fischer-Tropsch-prosess og kalles gjerne Biomass-to-Liquid (BtL). Biokjemiske prosesser kan bestå av å bryte ned biomasse til ulike sukkertyper, gjerne med ulike enzymer, og deretter gjære sukkeret til alkoholer for til slutt å hydrogenraffinere til biodrivstoff. Biokjemiske prosesser kan også bestå av ulike modifiserte mikroorganismer som konverterer biomasse direkte til alkoholer eller kjemikalier for biodrivstoff. Hydrogenraffinering av estere og fettsyrer er riktignok foreløpig den eneste biokjemiske ruten beskrevet i standarden D7655.

⁵⁶ Hydroprocessed synthesized paraffinic kerosine (SPK)

⁵⁷ Synthesized paraffinic kerosine produced from hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA-SPK)

⁵⁸ Hydrokarbon med dobbelt og/eller enkeltbindinger mellom karbonatomene

⁵⁹ Synthesized kerosenes containing aromatics (SKA)

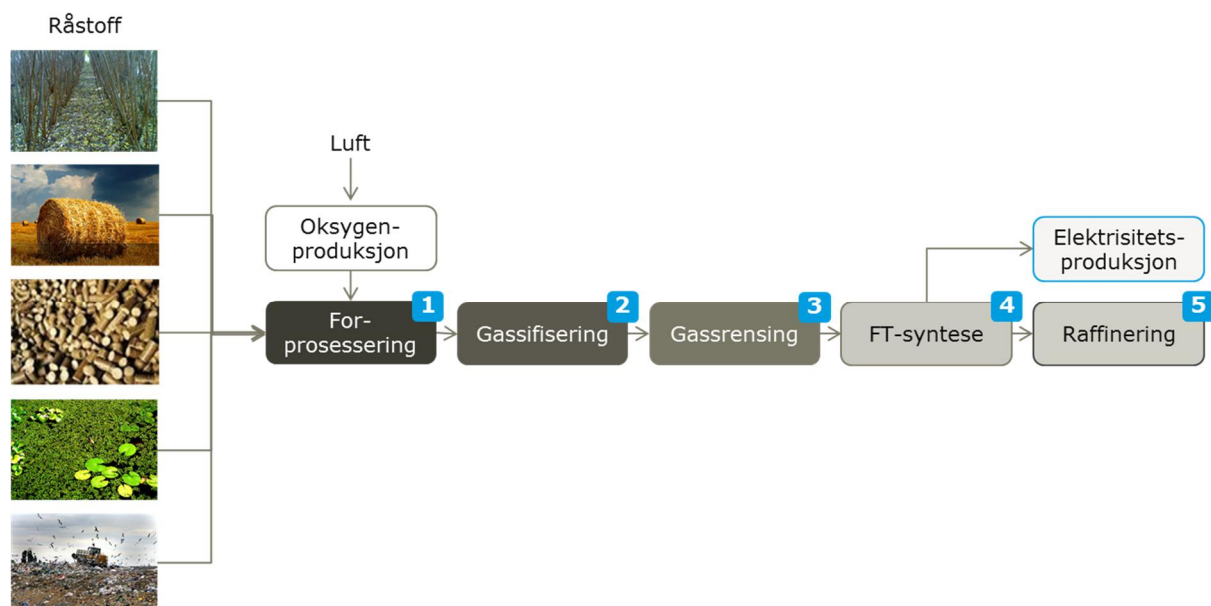
Konverteringsprosesser for biodrivstoff har ulike systemvirkningsgrader, både med hensyn på hydrokarbonutbytte, energieffektivitet, masse-, næringsstoff- og karbonbalanse. Termokjemiske prosesser har gjerne mye varmeoverskudd som kan selges direkte og/eller brukes til å produsere elektrisitet via en dampturbin. Biokjemiske prosesser har gjerne biprodukter som er mindre egnet for biodrivstoff, men som kan generere store inntekter som spesialprodukter. Noen prosesser innebærer en kombinasjon av biokjemiske og termokjemiske prosesser. Termokjemisk benyttes gjerne for de biokomponentene som ikke lar seg konvertere til drivstoff ved hjelp av kjente biokjemiske prosesser. Systemvirkningsgradene kan påvirkes av mange forhold, for eksempel kvalitet på biomasse og preprosesserte produkter, men også mange andre forhold.

4.2.1 Fischer Tropsch fornybar Jet A-1 (FT-SPK)

For FT-SPK, teknologisertifisert i 2009, bør syntesegassen bli produsert ved hjelp av en jern- eller koboltkatalysator i følge standarden D7566. Prosesseringen skal inneholde hydrogenering eller dehydrogenering, hydrokraking, eller hydrogenisomerisering. I tillegg kan raffinering prosessen inneholde polymerisering, isomerisering og fraksjonering.

FT-prosessen kan baseres på alle råstoff som inneholder hydrokarboner, både fossilt og fornybart, så vel som avfall. Figur 4-13 viser en oversikt over prosessen med fornybart råstoff samt avfall. 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 torrefisering⁶⁰ (røsting) eller pyrolyse⁶¹.

Figur 4-13 – Produksjonsprosess for biobasert Fischer-Tropsch SPK



Gassifisering av biomassen er neste steg i prosessen (steg 2, Figur 4-13), hvor biomasse konverteres til en brennbar gassmiks med høy energitetthet, kalt syntesegass. Syntesegassen inneholder hovedsakelig karbonmonoksid og hydrogen. Disse gassene er byggesteinene for all hydrokarbon-drivstoff. I tillegg inneholder syntesegassen noen uønskede stoffer som tjære, metan, karbondioksid, og syrebaserede gasser, som må fjernes i trinn 3. Det finnes i dag hovedsakelig tre forskjellige gassifiseringsteknologier og reaktorer:

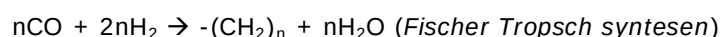
⁶⁰ Torrefisering: forbehandling av biomasse ved oppvarming i kort tid til (200-300 °C) i en atmosfære med lite oksygen for at fibre brytes ned og materialet kan kvernes enkelt før gassifisering (sintef)

⁶¹ Pyrolyse: forbehandling ved at biomassen brytes ned ved 500 °C i kun få sekunder med energirik pyrolyseolje som resultat

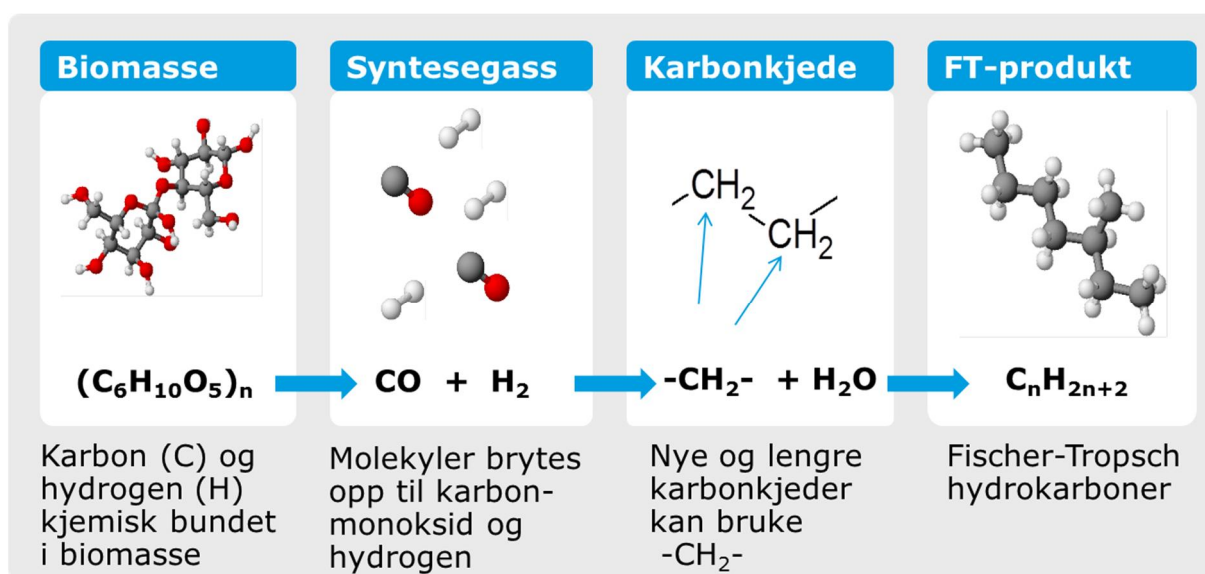
- Fluidized bed: Opererer under smeltepunktet til biomassens aske. Teknologien har stordriftsfordeler og lave kostnader. Likevel er teknologien forbundet med relativt lave virkningsgrader, og dårligere kvalitet på gassen som gjør at gassen må gjennom en mer omfattende rensing.
- Entrained flow gassifisering: En lovende teknologi for storskala konvertering av flere ulike typer biomassekvaliteter. Opererer over smeltepunktet til asken. 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 til høye investeringskostnader, hvilket betyr at teknologien er best egnet til høye volumer.
- Høytemperatur gassifisering ved hjelp av plasmafakler: En metode for gassifisering. Det er en lovende teknologi, hvor det planlegges flere anlegg, blant annet ett med byggestart i 2013 i London.

Som nevnt inneholder syntesegassen uønskede stoffer som må fjernes for å oppnå en høy virkningsgrad for hele verdikjeden samt en ren syntesegass. Dette gjøres i steg 3, og kan enten være termisk eller katalytisk destillasjon⁶², eller scrubbing⁶³. Som regel er det en kombinasjon av disse.

Når syntesegassen er fri for urenheter, går den videre til selve FT-prosessen (steg 4). Denne prosessen omdanner karbonmonoksid (CO) og hydrogen (H) til flytende hydrokarboner ved hjelp av en katalysator. Reaksjonsligningen er gitt nedenfor:



Figur 4-14 – Prosess for Fischer Tropsch-syntese og hydrokarboner © Rambøll



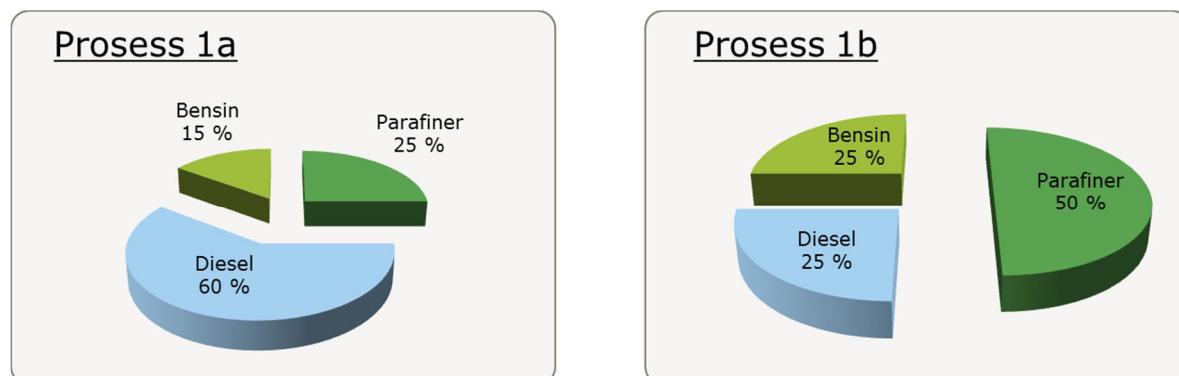
Katalysatorer av kobolt (Co) og jern (Fe) er aktuelle for kommersiell anvendelse i FT-prosessen^[3]; men også nikkel (Ni) og ruthenium (Ru) kan være mulig. Valg av katalysator er avhengig av blant annet syntesegassens komposisjon, hvilke sluttprodukter som ønskes, samt innhold av urenheter og vann. Jern og kobolt er de billigste og mest anvendte katalysatorene. Dersom jern blir benyttet vil prosessen ha en temperatur på ca. 350 °C, og vil normalt produsere mye olefiner sammenlignet med kobolt, som vil ha en større andel parafiner av sluttproduktet og en lavere temperatur (200 °C). Ulempen med kobolt som katalysator er at den er dyrere.

⁶² termisk eller katalytisk destillasjon: destillasjon ved hjelp av katalysatorer og/eller med tilførsel av varme

⁶³ Scrubbing: rensing av røygass, f.eks. med ulike kjemikalier

FT prosessen er svært eksoterm, dvs. med 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.

Figur 4-15 – Maksimering av ulike sluttprodukter fra en prosess, Shell NGtL



En FT-prosess med tilhørende raffinering i etterkant kan resultere i flere ulike produkter. Prosessen kan for noen teknologier optimaliseres for ulike produkter med tanke på hvilke markedspriser som er gjeldende for produktporteføljen. Et anlegg kan ha noe fleksibilitet for å øke andelen av et produkt i forhold til et annet. Figur 4-15 viser for eksempel fleksibiliteten til et av Shell sine GtL-anlegg basert på naturgass ^[56].

Produktene fra FT-bio-prosesser, i tillegg til parafiner som kan videreforedles til Jet A-1 fra prosessen, er i all hovedsak bensin og diesel. I tillegg er varme, elektrisitet og kjemikalier biprodukter som kan distribueres og selges videre, og øke lønnsomheten til produksjonsanlegget. Nafta, og ulike parafiner og smøremidler er eksempler på kjemikalier forbundet med prosessen. Forholdet mellom elektrisitet og termisk energi avhenger av energiprisene og om anleggets konfigurasjon tillater stor nok produksjon til at det kan lønne seg å eksportere energi. Dette vil igjen avhenge av nettinfrastrukturen rundt anlegget.

Det eksisterer mange ulike Fischer-Tropsch-prosesser, både for biomasse, avfall og fossile kilder som kull. Generelt kan noen overordnede styrker og svakheter med FT-oppsammes:

STYRKER FISCHER-TROPSCH:^[4]

- Kjent teknologi benyttet for Coal-to-Liquid og Gas-to-Liquid
- Et bredt spekter av potensielle produkter
 - o Prosessen kan produsere brensel både i gass- og væskeform, f.eks. hydrogen, alkoholer, dimetyleter (DME), bensin, diesel og parafiner (Jet A-1).
- Råstoff-fleksibilitet:
 - o Prosessen kan benytte de fleste typer fossile og organiske materialer, som avfall fra jordbruk og treforedling, papirproduksjon og husholdninger.
 - o Prosessen er også fleksibel i forhold kvaliteten på råstoffet hvor sammensetningen av syntesegassen blir relativt lik uavhengig av råstoffet.
- Relativt høy konverteringsfaktor for karbon
- Relativt lave driftskostnader, og for indirekte gassifisering er det lite eller ingen behov for ekstern hydrogentilførsel

UTFORDRINGER FISCHER-TROPSCH:^[4]

- Gassifiseringen av biomasse krever optimalisering, spesielt med tanke på reduksjon av tjære.
- Høy investeringskostnad på grunn av storskala drift for økonomisk optimalisering
- Gassifiseringsprosessen og dyre FT-katalysatorer kan ødelegges av forurensninger hvis ikke gassrensingen fungerer godt

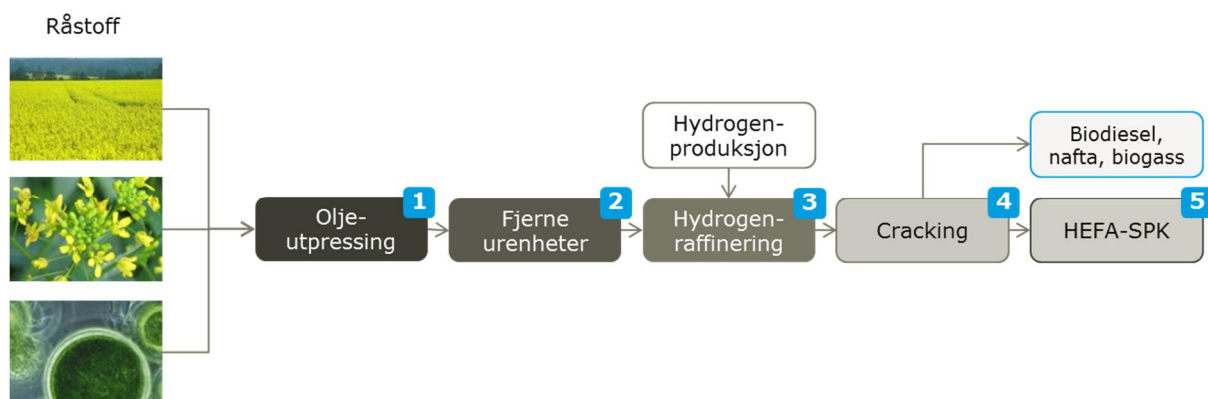
- Konkurransen om råstoff til bioenergi, avfallsforbrenning, papir og treforedlingsindustri, men mulighet for symbiose i en industriklynge med f.eks. bruk av treflis og annet avfall fra biomas-sebasert industri

4.2.2 HEFA fornybar Jet A-1

HEFA-SPK, teknologisertifisert i 2011, er typisk mono-, di- eller triglycerider, frie fettsyrer og fettsyreestere som har blitt hydrogenraffinert for å fjerne tilnærmet all oksygen. Prosesseringen skal inneholde hydrokracking, hydrogenisomerisering, isomerisering, fraksjonering eller en kombinasjon av disse og kan bestå av andre konvensjonelle raffineringprosesser.

HEFA-SPK, også referert til som Hydrotreated Renewable Jet (HRJ) eller Hydrotreated Vegetable Oil (HVO), kan bli produsert fra planteoljer eller fettsyrer ved hjelp av katalytisk hydrogenraffinering (hydrotreating). Figur 4-16 viser en forenklet oversikt over prosessen med 5 hovedtrinn. Trinn 2 i prosessen består av fjerning av oksygen, svovel og nitrogen ved hjelp av en katalysator til en hydrogenmettet og parafinrik væske med enkle karbonkjeder (nC_{15} - nC_{22}) som kan blandes inn i biodiesel uten mye videre raffinering. For å få HEFA-SPK må biooljene prosesseres videre.

Figur 4-16 – Prosess for HEFA-SPK fra ulike råstoff



Produksjonen av HEFA-SPK begrenses naturlig nok av mengden bærekraftig råstoff, men også tilgangen til hydrogen (trinn 3) og den nøyaktige sammensetningen av sluttprodukter. For Jet A-1 er fjerning av oksygen kritisk for å oppnå de samme egenskapene som fossil Jet A-1. De parafin-rike hydrokarbonene som kan brukes i biodiesel er for lange for Jet A-1 og må brytes opp til karbonkjeder nC_9 - nC_{15} (trinn 4, hydrogenisomerisering og cracking). Hydrogenraffineringen fører til at mellom 50-70 % av HEFA-oljene kan konverteres til Jet A-1, hvor restene består av biodiesel, bionafta og biogass. HEFA-SPK kan per i dag blandes inntil 50 % i fossil Jet A-1.

HEFA biodiesel og SPK produseres i dag av flere selskaper som kan blandes inn i fossile produkter. Biodiesel er det eneste HEFA-produktet som produseres kommersielt. Lufthansa har riktignok gjennomført et omfattende testprogram med mer enn 1500 flygninger basert på HEFA-SPK levert av Neste Oil.

STYRKER HEFA: ^[4]

- Et bredt spekter av mulige råstoff
- Relativt rent og høyverdig sluttprodukt med en kjemisk sammensetning mye likt Jet A-1

UTFORDRINGER HEFA: ^[4]

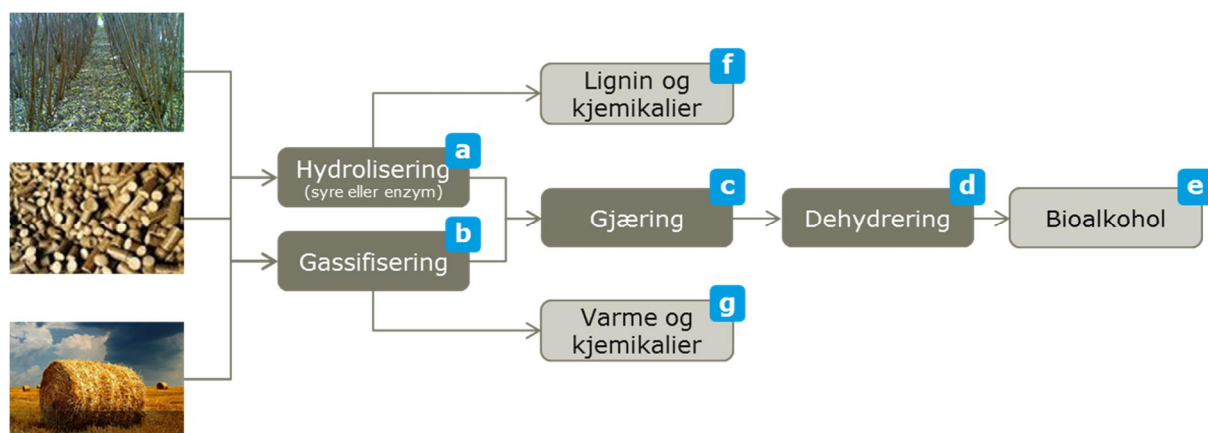
- Relativt høye investeringskostnader
- Høye råstoffkostnader, opp til 60-70 % av driftskostnadene
- Stort behov for kostbar eksternt produsert hydrogen

- o Energikrevende å fremstille og produseres i dag fra fossile energibærere, f.eks. naturgass
- Konkurranse om råstoff for biodieselproduksjon (omsetningspåbud for veitransport)
- Utfordringer med bærekraft og produksjon av store volumer, både globalt, men også i Norge
- Lavt utbytte av oljer (liter per vekstareal)

4.2.3 Bioalkohol til Jet A-1 (AtJ)

AtJ, Alcohol to Jet (AtJ-SPK), består av en prosess hvor alkoholer prosesseres til parafiner og Jet A-1. Prosessen er enda ikke teknologisertifisert av ASTM, men forventes å kunne bli sertifisert i løpet av 2013-2014. Prosessen inneholder ikke produksjon av alkoholen i seg selv. Produksjon av alkoholer er vist i Figur 4-17. AtJ-prosessen, som bruker alkohol som inputfaktor, er vist i Figur 4-18

Figur 4-17 – Prosess for produksjon av bioalkoholer fra lignocellulose



Bioalkoholer kan riktignok 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 energivekster, så vel som restbiomasse fra treforedling og landbruk. Som beskrevet i kapittel 3 analyseres ikke 1. generasjons biomasse videre, men teknologier og prosesser for bioalkohol fra andre og tredjegenerasjons biomasse beskrives under.

Prosessene inneholder normalt gjæring eller fermentering av biomasse som har blitt gassifisert eller hydrolisert. Lignocellulose kan f.eks. behandles ved hjelp av syre eller enzymer for å bryte opp fibre til sukkerarter som kan gjæres og dehydreres til alkoholer. Det finnes et stort antall måter å framstille flere hundre kjente typer alkoholer og det er ikke mulighet til å beregne alle muligheter i dette prosjektet. De viktigste alkoholene som kan benyttes for AtJ er foreløpig:

1. Bioetanol
2. Biobutanol
 - a. n-butanol, også kalt 1-butanol
 - b. Isobutanol, også kalt 2-methyl-1-propanol
3. Andre mer komplekse alkoholer, f.eks. heksanol (alkohol med seks karbonatomer)

Isobutanol er en annen alkohol som kan benyttes i en AtJ-prosess, med kjente teknologiutviklere^[3].

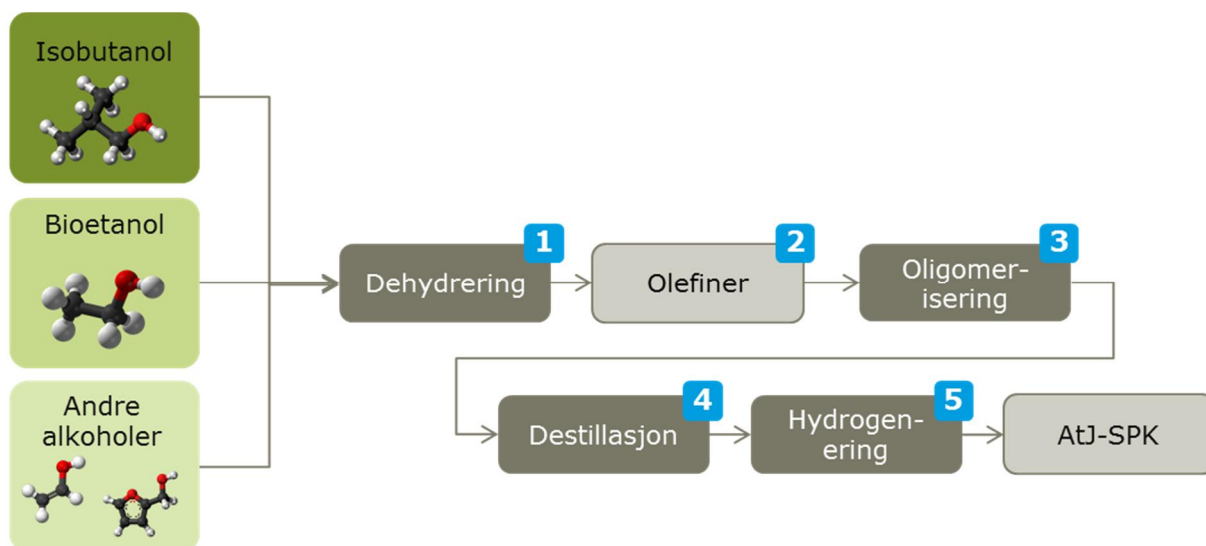
Ved produksjon av bioalkoholer fra biomasse, som for alle biodrivstoffprosesser, produseres det et stort antall biprodukter fra flere av prosessstrinnene. Figur 4-17 over viser at lignocellulose kan gassifiseres eller hydroliseres før gjæring med ulike biprodukter som ikke kan gjæres videre.

Figur 4-18 viser overordnet prosesseringen av bioalkoholer til AtJ-SPK. Det første skrittet innebærer en katalytisk dehydrering som resulterer i olefiner (hydrokarboner som inneholder en eller flere dobbeltbindinger) ved å fjerne vann. Det første trinnet benytter en katalysator ved temperaturer på 300-500 °C og det dannes i tillegg eter (to alkoholmolekyler reagerer og spalter ut vann). Det er en balan-

se mellom olefiner og eter, så det er viktig å optimalisere den kjemiske likevekten for maksimering av olefiner. Det finnes mange mulige katalysatorer, f.eks. fosforsyre, svovelsyre, aktivert aluminiumoksid, andre oksiderte metaller og kompositter i tillegg til zeolitter.

Olefiner er byggestenene for parafiner og gjennom flere komplekse prosesseringstrinn (3-5 i Figur 4-18) kan AtJ-SPK produseres. To kjente prosesser, Polynaphta™ og AlphaSelect™, konverterer enkle olefiner (C3-C5) til parafiner og bensin. ^[4]

Figur 4-18 – Alcohol-to-Jet prosess

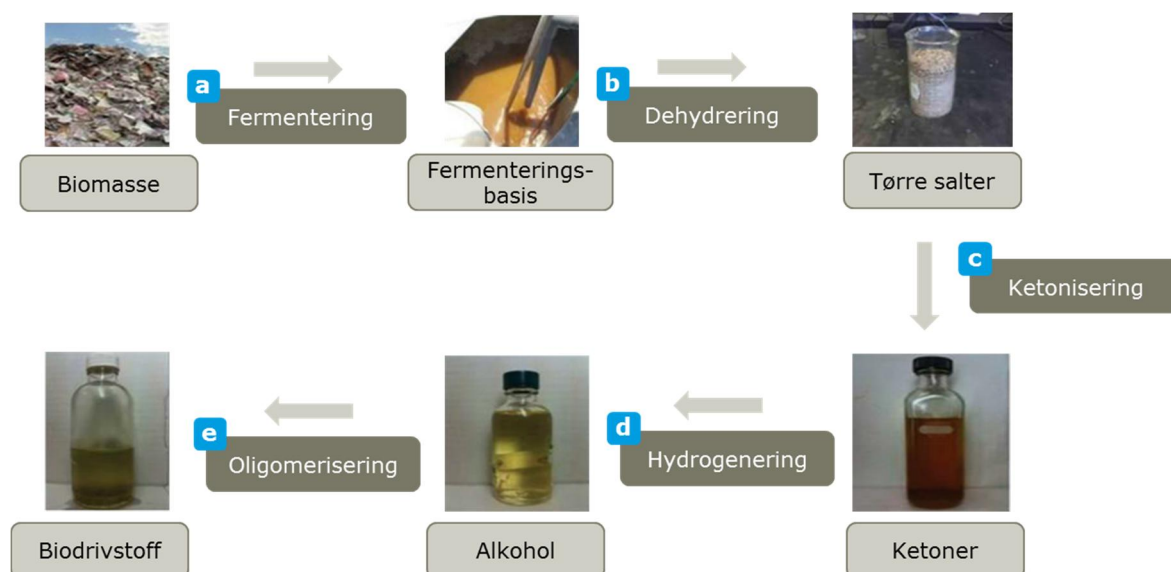


Alle prosesseringstrinnene for AtJ er kjente og velprøvde kommersielle teknologier benyttet i petrokjemisk industri. Produksjon av bioalkohol sammen med hele AtJ prosessen basert på biomasse er derimot umodent, men det eksisterer demonstrasjons- og pilotanlegg.

Det er et stort antall aktører involvert i bioalkoholproduksjon og bedrifter som har prosesser for AtJ samarbeider ofte med produsenter for bioalkohol. Det finnes et stort mangfold av ulike bioalkoholer.

Terrabon er et eksempel på en prosess hvor det etter planen skulle ha vært levert biodrivstoff for fly til det amerikanske forsvarsdepartementet. Terrabon med sin prosess MixAlco som vist under, gikk nylig konkurs (10. september 2012). Dette er bare et eksempel på en bransje som krever store aktører med langsiktig investeringsvilje, og at det vil foregå mye utvikling de neste årene før AtJ blir kommersialisert.

Figur 4-19 – Et eksempel på AtJ fra biomasse © Terrabon Mixalco



Under er en oversikt over noen styrker og svakheter med AtJ.

STYRKER AtJ: ^[4]

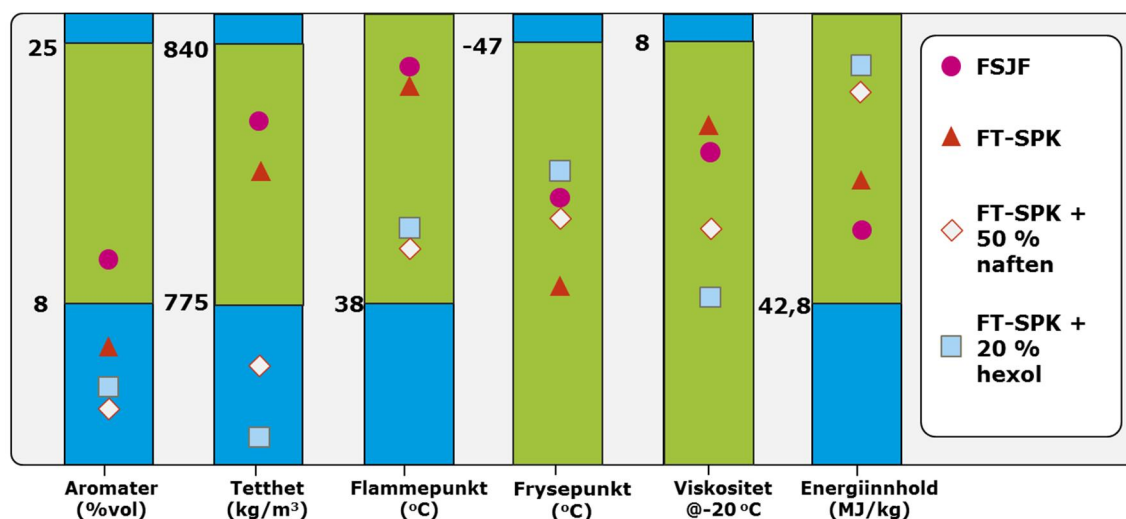
- Alle trinn for å konvertere alkohol til Jet A-1 er kommersielt tilgjengelig i petrokjemisk industri
- Stor fleksibilitet for råstoff (skog, avfall fra landbruk og avgasser fra industri, stivelse og sukker) og mange ulike alkoholer er tilgjengelig i relativt store volum
- Prosessen krever relativt lite tilførsel av hydrogen
- Ved fermentering er reaksjonene ofte meget ensidige med stor andel av enkelte og ønskede produkter

UTFORDRINGER AtJ ^[4]

- Kostnadene for alkoholproduksjon fra andregenerasjons råstoff 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 metanol, etanol og isobutanol for AtJ-prosessen
- 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

4.2.4 Konklusjon teknologier

Ved produksjon av biodrivstoff for luftfart må drivstoffet være innenfor spesifikasjonene spesifisert i standarder. Spesifikasjonene er både intervaller og maks/min-verdier. Figuren under viser noen syntetiserte drivstoff og hvor de befinner seg i forhold til krav for noen av verdiene. Det grønne området angir intervallene eller maks/min-verdier for syntetisert drivstoff.

Figur 4-20 – Illustrasjon av intervaller for minstekrav for syntetisert Jet A-1^[72]

Som figuren viser er noen av drivstoffene ikke innenfor kravene til standarden for syntetisert Jet A-1. Dette innebærer at drivstoffet og teknologien må utvikles videre. Figuren viser også at selv om drivstoffene er innenfor tillatte grenser kan variasjonen bety mye selv med noen få prosentpoeng. Hvis energiinnholdet eller tettheten er høyere kan et fly tanke mindre drivstoff eller fly lengre med samme mengde, og dermed spare både kostnader og utslipp, noe Lufthansa erfarte i sine testflygninger med HEFA-SPK. Erfaringene var at energiinnholdet var 1-2 % høyere, noe som kan bety mye med store volumer og fly som allerede er meget effektive og hvor det er lite å hente andre steder.

HEFA-SPK kan være en løsning for biodrivstoff på kort sikt. Drivstoffet ble teknologisertifisert i 2011 og teknologien er kommersielt tilgjengelig for biodiesel og kan forventes å bli konkurransedyktig for flydrivstoff. For norske forhold er det begrensede muligheter for dyrking av energivækster og de vokser sakte i et kaldt klima. HEFA-SPK kan produseres fra fettsyrer, dvs. også slakteavfall, men dette er tilgjengelig i små volumer. Biodrivstoffproduksjon til luftfart basert på frøoljer fra energivækster i Norge ansees ikke som mulig, annet i meget liten skala. I Norge er det dessuten en utfordring i forhold til bærekraft med de konfliktene det kan ha med arealbruksendringer for jordbruk.

FT-SPK basert på biomasse, eventuelt i samspill med fossil gass (metan) med eller uten karbonfangst, kan være en interessant mulighet for Norge. Klimaeffekten vil naturlig nok bli mindre med bruk av fossil gass, men kan være en løsning på kort sikt for å etablere et konkurransedyktig syntetisert drivstoff som i første fase er renere og med noe redusert klimaeffekt enn Jet A-1 fra råolje. Når biomasseuttak oppskaleres og fornybar hydrogen blir tilgjengelig i store volum kan anlegget baseres fullt og helt på syntesegass fra biomasse. En av hovedfordelene er at FT-teknologien er kommersielt tilgjengelig i stor skala for kull og fossil gass. Hvis utfordringene med gassifisering og rensing av syntesegass for biomasse blir videreutviklet kan biomassebasert FT-SPK bli kommersielt tilgjengelig for storskala industrielle anlegg. Flere forskningsprogram og pilotanlegg er etablert for å nå målene.

AtJ-SPK er en annen lovende teknologi for produksjon av fornybar og bærekraftig biodrivstoff til luftfart. Prosessen er for tiden i en prosess for å bli teknologisertifisert, forventet ferdig i 2013/14. Som for FT-SPK har AtJ fordelene med at det finnes et stort antall bioalkoholer fra mange ulike råstoffer. I tillegg er alle trinnene kjent fra petrokjemisk industri bevist i en industriell og kommersiell skala. Behovet for tilførsel av energikrevende og kostbart hydrogen er dessuten mindre enn for HEFA.

Andre alternative teknologiske ruter og prosesser som f.eks. direktefermentert pyrolyseolje, er fortsatt på et tidlig utviklingsstadium og har ikke blitt vurdert i detalj. Basert på teknologistudien og arbeidspakken innen teknologi, innspill fra referansegruppen og vurdering av biomassetilgang i Norge er FT-SPK og AtJ vurdert som de mest egnede for Norge.

Overordnede egenskaper ved drivstoffene er oppsummert i tabellen under.

Tabell 4-1 – Oversikt over produksjonsruter^[4]

	HEFA-SPK	FT-SPK	AtJ-SPK
Råstoff	Konvensjonelle oljevekster: soya, palmeolje, raps, kokosnøtt, mais	Lignocellulose fra energivekster, landbruk og treforedlingsindustri Avfall	Sukker: sukkerrør, sukkerroe, sirup, frukt
	Nye oljevekster: Jatropha, Camelina og saltplanter		Stivelse: mais, kassava, poteter og rotgrønnsaker
	Mikroalger		Lignocellulose: energivekster, landbruk og treforedlingsindustri
Produkter i tillegg til Jet A-1	Diesel, fraksjoner av propan, nafta og LPG, naturlige pesticider, bioplastikk, dyrefor, varme og andre kjemikalier	Diesel, bensin, nafta, kjemikalier (hydrogen, metanol)	<i>Fra sukker og stivelse:</i> Proteiner og fett
			<i>Fra lignocellulose:</i> Lignin og små mengder med protein
Teknologi-sertifisering	Sertifisert siden juli 2011, 50 % innblanding	Sertifisert siden september 2009, 50 % innblanding	Forventes å bli sertifisert i løpet av 2013/2014, også med muligheter for 100 % innblanding
Kommersialisering	Pilotanlegg er under bygging TRL: 5-6	Hoveddelen av anlegg er på pilot eller demonstrasjonsnivå TRL: 7-8	<i>Fra sukker og stivelse</i> Utvikling på pilot og demonivå TRL: 6-7
			<i>Fra lignocellulose:</i> Utvikling på pilot og demonivå TRL: 4-5

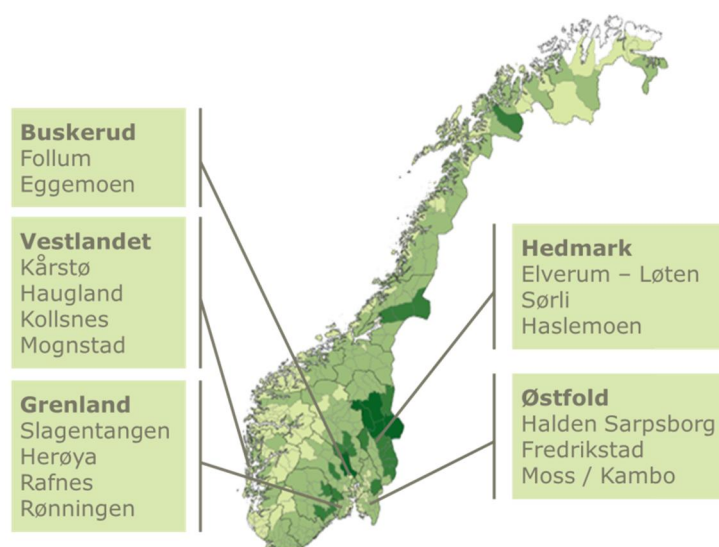
4.3 Lokaliseringsalternativer og logistikkutfordringer

Prosjektet har hatt som et delmål å identifisere mulig lokalisering for produksjonsanlegg for biomas-sebasert Jet A-1. Teknologiene basert på Fischer-Tropsch (FT-SPK) og raffinering av bioalkoholer, Alcohol-to-Jet (AtJ) har i kapittel 4.2 blitt identifisert som de mest egnede teknologiene for Jet A-1 i Norge. En arbeidspakke, gjennomført av Analyse & Strategi, har identifisert de mest aktuelle lokaliseringene med mulige logistikk-løsninger og tilhørende kostnader. Dette arbeidet har fulgt fasene i figuren under.

Figur 4-21 – Faser for identifisering av aktuelle lokaliteter^[5]

Gjennom et strukturert søk, se Figur 4-22, har det blitt identifisert fem områder, fire på Østlandet og ett på Vestlandet. Det er ikke utelukket at det finnes andre godt egnede lokaliseringer. Det har derfor vært et poeng å dokumentere metoden og kriteriene som er lagt til grunn for søket, slik at andre steder kan evalueres på samme måte.

Figur 4-22 – Søkeområder for etablering av produksjonsanlegg © Rambøll



Første fase av søket bestod av å identifisere viktige egenskaper ved et produksjonsanlegg for biodrivstoff. Disse har vært førende for hvilke krav som vil måtte stilles til en god lokalisering. Input fra arbeidspakkene innen teknologi og tilgjengelig bærekraftig biomasse har vært viktig i denne fasen. En stor usikkerhet knyttet til hvilke egenskaper et produksjonsanlegg vil ha har medført en tilsvarende usikkerhet knyttet til hvilke krav som stilles til en god lokalisering. Basert på forutsetninger om teknologivalg og råvarevalg ble det utarbeidet krav og kriterier fordelt på absolutte krav, økonomiske kriterier og øvrige kriterier. Listen under viser de viktigste kriteriene^[5]:

- Produksjonsteknologi
- Type råstoff
- Avstand til råstoffkilden
- Leveringssted for syntetisert Jet A-1

- Biprodukter
- Potensielle synergieffekter ved samlokalisering med annen næring og industri

Krav om opp i mot 200 mål med arealer, som kan antas å være tilgjengelig for industriformål, samt god tilgang til transportinfrastruktur er satt som absolutte krav. Arealer som i dag er regulert til landbruk, bolig og ulike naturvernformål har ikke blitt vurdert. Vurdering av arealer som kan komme i konflikt med strandsonen har blitt valgt bort. Valg av teknologi påvirker arealbehovet og et AtJ-anlegg vil muligens ha behov for et mindre areal enn et anlegg som skal produsere FT-SPK. En lokalisering må som et minimum ligge nært god vei, jernbane eller havn.

Transportkostnader og lagerkostnader er avhengig av avstand til uttaket av biomassen, nærhet til flyplasser eller tankanlegg, og nærhet til havn. Det er forutsatt at et anlegg i høy grad baseres på norsk landbasert biomasse, dvs. trevirke. Avstanden til råvarekilden er dermed mye viktigere enn nærhet til en flyplass. Det har blitt vurdert transportøkonomiske avveininger mellom nærhet til en norsk råvarekilde og nærhet til havn der importert biomasse kan losses. Et anlegg med stor importandel bør legges ved havn. Dersom importandelen er lav vil det være mindre relevant med nærhet til havn. God robusthet og fleksibilitet tilsier at anlegget bør ha enten havn, jernbane eller arealer som tillater store sikkerhetslager ved anlegget. Lokalisering nær en avtaker av spillvarme vil ha et kommersielt potensiale som forsvarer at man legger anlegget noe lengre unna råvarekilden.

Andre egenskaper ved lokalisering vil verken være absolutte krav eller kunne omregnes til en økonomisk konsekvens. I denne utredningen er det vurdert synergier fra samlokalisering med annen industri, sannsynlighet for nødvendige tillatelser til døgntkontinuerlig drift (støyforurensing) og trafikkbelastning på vei- og jernbaneinfrastruktur i Oslo.

Ut i fra dette ble sju søkeområder identifisert som sannsynlig for plassering av et produksjonsanlegg:

- Hedmark
- Buskerud
- Grenland & Vestfold
- Østfold
- Romerike
- Nord-Trøndelag
- Vestlandet

To av søkeområdene, Nord-Trøndelag og Romerike, ble lagt bort, hovedsakelig på grunn av utfordringer knyttet til råvaretilgang.

Ved hjelp av definerte søkestrategier, som primært fokuserte på de absolutte kravene til areal og infrastruktur, ble 2-6 aktuelle lokaliteter identifisert i hvert søkeområde. De aktuelle lokaliseringene i søkeområdet ble deretter vurdert i henhold til kriteriene definert innledningsvis, med særlig vekt på de økonomiske kriteriene. Etter denne evalueringen fremstod følgende lokaliteter som attraktive for de fem søkeområdene:

Søkeområde	Lokalitet
	
 Hedmark	 Elverum
 Buskerud	 Hønefoss
 Grenland & Vestfold	 Frierfjorden
 Østfold	 Fredrikstad
 Vestlandet	 Haugaland, Førresfjorden

Elverum og Hønefoss vurderes begge som gode lokaliseringer for et anlegg basert på norsk trevirke og termokjemiske teknologier som Fischer-Tropsch. Biomassen bør primært transporteres til anlegget med lastebiler. Transport av Jet A-1 bør foregå med tog fra Elverum og lastebil fra Hønefoss. Samlede logistikk-kostnader per liter Jet A-1 er estimert til 1,6 NOK/liter for Elverum og 1,7 NOK/liter for Hønefoss.

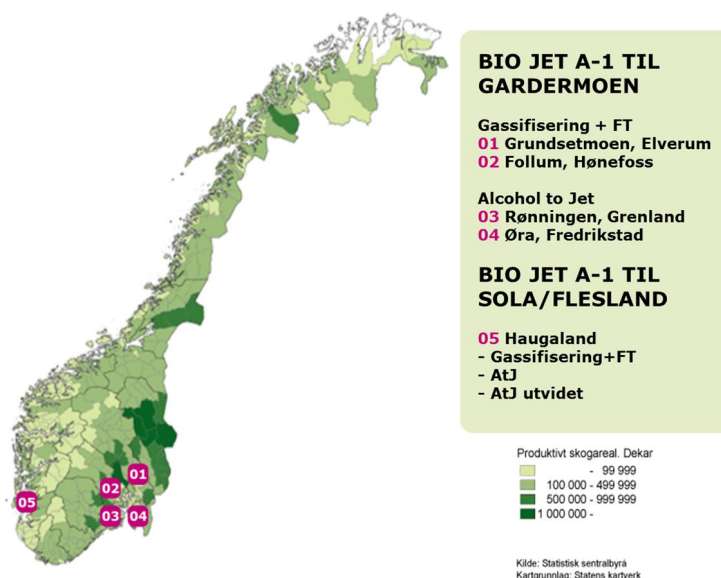
Frierfjorden og Fredrikstad vurderes som de mest aktuelle lokalitetene for et anlegg som skal oppgradere bioalkoholer Jet A-1. Ingen av stedene har 200 mål som er industriklare og tilgjengelige i dag, men de er likevel tatt med siden det er usikkerhet knyttet til arealbehovet for et alkoholbasert anlegg. Råvaren vil primært være etanol eller (iso)butanol, sannsynligvis importert med skip. Begge anlegg vil ligge direkte tilknyttet en dypvannskai. Jet A-1 transporteres med bil eller tog til Gardermoen. Alternativt kan den transporteres med skip til Sjursøya og derfra inngå i den eksisterende logistikk-løsningen for konvensjonell Jet A-1 fra Sjursøya til Gardermoen. Samlede logistikk-kostnader er beregnet til 0,7 NOK/liter for begge lokaliteter.

Haugaland ligger i Førresfjorden, 13 km sørøst for Haugesund. Haugaland vurderes som det beste alternativet blant flere gode alternativer på Vestlandet. Dette blant annet på grunn av sin sentrale plassering mellom de to viktigste flyplassene på Vestlandet: Sola og Flesland. Haugaland vurderes som aktuell lokalisering enten for et anlegg basert på FT-SPK eller AtJ.

Begge typer anlegg vil være basert på importert råstoff som primær råvarekilde. Både råvaretransport og Jet A-1-transport løses primært med skip. Samlede logistikk-kostnader vil være 1,8 NOK/liter for et anlegg basert på FT-SPK og 0,7 NOK/liter for et AtJ-anlegg.

Beregning av logistikk-kostnader gjøres i en logistikkmodell. Modellen omfatter transport av biomasse, lagring av biomasse, i tillegg til lagring og transport av Jet A-1. Rapporten dokumenterer hvilke terminalkostnader og fremføringskostnader som er lagt til grunn for ulike transporttyper. Modellen omfatter også lagerkostnader. Lagerkostnadene beregnes som summen av kostnader knyttet til drift av lageroperasjonen og kapitalkostnader.

Figur 4-23 – Konklusjoner lokalisering mulige produksjonsanlegg^[5]



4.4 Identifisering av verdikjeder for bærekraftig Jet A-1

4.4.1 Verdikjeder i Norge for biodrivstoff til luftfart

Integrerte bioraffineri regnes som den beste løsningen for en optimal utnyttelse av biomasse, både for produkter som biokjemikalier, biomaterialer, fôr og biodrivstoff. Bioraffineri med fokus på biokjemikalier er i dag kommersielt lønnsomme, mens bioraffinerier for energiformål og transport fortsatt utvikles og kan forventes å bli lønnsomme mot 2020^[55].

En eller flere av disse teknologiene kan samles i et bioraffineri eller en industriklynge. For noen av teknologiene kan ikke all biomassen benyttes til biodrivstoff, f.eks. er det ikke per i dag god teknologi for å lage bioetanol av all biomassen fra tømmer. Mye av biomassen går til spesialkjemikalier, fibre eller materialer, mens noe brennes eller prosesseres til biogass. For å maksimere produksjonen av bio-

drivstoff kan et FT-anlegg etableres i nærheten og utnytte den biomassen som er til overs, hvis ikke spesialkjemikalier produseres.

Mange andre land har lavere råstoffkostnader og andre konkurranseforhold enn i Norge. De viktigste og mest sannsynlig gjennomførbare verdikjedene for produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart fram mot 2020/25 i Norge er:

1. Termokjemisk prosessering og forgassing av rest- og avfallsprodukter i tett tilknytning til treforedlingsindustri.

Denne prosessen, som inneholder produksjon av syntesegass ved hjelp av en Fischer-Tropsch-prosess, kan produsere Jet A-1 i henhold til dagens drivstoffspesifikasjoner for fly. De fleste ledene i prosessen er etablert i stor skala i olje og gassindustrien, blant annet fra naturgass til flytende drivstoff. Det har blitt produsert flydrivstoff på denne måten fra kull helt siden 50-tallet. Hovedutfordringen er gassifisering av biomasse og rensing av gassen før syntesegassproduksjon. Rambøll anser det som meget lite sannsynlig at termokjemiske prosesser kan bli konkurransedyktige med Coal-to-Liquid og Gas-to-Liquid med dagens rammebetingelser annet enn der det lokalt kan finnes avfallsstrømmer som er tilnærmet gratis eller har en negativ kostnad, dvs. at produksjonsanlegget får betalt for et mottak. Flere initiativ og forskningsprogram, f.eks. EU Flight Path delfinansiert av EU's 7 rammeprogram, har som mål at luftfart skal bruke 2.500 millioner liter med bærekraftig biodrivstoff i 2020. Et mål er å etablere en serie med FT-anlegg, hvorav minimum et på 1,2 millioner liter Jet A-1, allerede innen 2015!

2. Andregenerasjons bioetanol, primært fra skog, med oppgradering av alkohol til Jet A-1

For å produsere Jet A-1 via bioalkohol må først alkoholen produseres og deretter raffineres videre til Jet A-1 via en prosess kalt Alcohol-to-Jet (AtJ). Fordelene med denne verdikjeden er at det produseres mangfoldige bioalkoholer i store volum globalt til relativt lave priser, men også mer bærekraftig andregenerasjons bioetanol fra skog. Bioetanol kan også produseres fra alger. Det er også mulig å bruke hybrid-teknologier, f.eks. med en kombinasjon av fermentering av gassifisert biomasse hvor sluttresultater er bioetanol. Både INEOS og Swedish Biofuels i samarbeid med Lanzatech benytter fermentering av gasser, enten røykgass eller biogass. Borregaard produserer i dag mer enn 20 millioner liter bioetanol fra norsk skog, og har antydnet muligheter til å oppskalere til opp mot 100 mill. liter hvis prisene på spesialkjemikalier går ned og bioetanol opp. Spesielt norsk gran er en ressurs som effektivt kan prosesseres til bioetanol på grunn av andelen C6-sukker som kan prosesseres. Alle trinnene i AtJ er kjent fra petrokjemisk industri, men er umodent for bioalkoholer til jetparafiner.

3. Termokjemisk prosessering av husholdnings og industriavfall med høytemperatur gassifisering

Avfall kan være en kilde til syntetisert drivstoff, hvor et miljøproblem potensielt kan løse et annet. Klimaeffekten til drivstoffet avhenger av LCA-analyser for avfall og andelen fornybar masse. Det har ikke vært mulig å regne detaljert på dette forretningskonseptet i studien, men prosjektteamet har fått innsikt i attraktive forretningskonsept, bl.a. i Storbritannia, hvor et anlegg for syntetisert drivstoff skal bygges fra slutten av 2013. I Norge er det bygget store anlegg for avfallsforbrenning, men mye avfall eksporteres til Sverige. Forretningskonseptet har blitt nedprioritert for detaljerte studier da råstoffet ikke er 100 % fornybart, det er stor konkurranse om ressursene, og det er en økende grad av resirkulering som kan føre til et lavere potensial for drivstoffproduksjon. Det er dessuten etablert stor forbrenningskapasitet i Norge den siste tiden. Det importeres også avfall fra Storbritannia til Norge for forbrenning.

4. Tredjegerasjons bioetanol fra bærekraftig dyrket makroalger, med oppgradering av alkohol til Jet A-1

På lengre sikt, i perioden fra og med 2025, kan biodrivstoff fra makroalger være en mulighet. Det finnes gode dyrkingsforhold for bærekraftige makroalger langs norsk kyst og i norske fjorder. Det eksisterer planer for et pilotanlegg for makroalgedyrking i Trondheimsfjorden i løpet av de neste 3-4 årene. Det eksisterer dessuten utviklet mikrobiologi for å omdanne alginat til sukker for al-

koholproduksjon.

5. Tredjegerasjons bioetanol fra mikroalger i fotoreaktorer i tilknytning til norsk energikrevende industri

Med mer forskning på arktiske alger som vokser fort i kalde forhold og med lite direkte lys kan dyrking av mikroalger i Norge bli en ny industri. Norge har en industri med hvor spillvarme og CO₂ fra olje- og gass samt metallindustri kan benyttes som innsatsfaktorer. Det har blitt identifisert 33 industrielle anlegg i Norge med teoretisk sett nok CO₂ til 40 millioner liter algeoljer, og 8 anlegg med nok CO₂ for 200 mill. liter algeoljer, basert på 2 kg CO₂/kg alge. En hovedutfordring er tilgang på nok næringsstoffer, i tillegg til det som fins naturlig i havet.

Alternativ 1-3 anses som mest realistisk å få etablert innen 2020/25. Alternativ 4 kan være aktuelt fra og med 2025, mens alternativ 5 først kan forventes etter 2030 i Norge. Dette er basert på analyser av modenhet for teknologiene, biodrivstoffet og råstoffet ved hjelp av metodikken for Technology, Fuel og Feedstock Readiness Level, en skala fra 1 til 9.

4.5 Presentasjon og begrunnelse for valg av forretningskonsept

For de mest egnede verdikjedene har det blitt identifisert to aktuelle forretningskonsept for videre økonomiske analyser og beregning av klimaeffekt. Økonomimodellen har estimert produksjonskostnader for to typer produksjonsanlegg. Forventede produksjonskostnader i NOK/liter for syntetisk biodrivstoff har blitt beregnet fram mot 2030. Livssyklusanalysene har vurdert klimaeffekt i forhold til fossilt drivstoff.

Forretningskonseptene har blitt definert så realistiske som mulig innenfor det detaljeringsnivå prosjekts rammer har tillatt, og med de usikkerheter som finnes når det gjelder antagelser om umoden teknologi og utvikling frem i tid.

Fem grunnleggende forutsetninger har styrt valget av forretningskonsept. For det første skal drivstoffet være bærekraftig, noe som utelukker en rekke råstoff og gjør transportvalg viktig gjennom hele verdikjeden. For det andre skal verdikjeden i hovedsak være norsk, noe som gjør at produksjonsteknologi og anlegg må være tilpasset norske forhold. For det tredje er målsetningen en bedriftsøkonomisk lønnsom produksjon, og forretningskonseptene er forsøkt bygget opp mest mulig økonomisk optimalt. For det fjerde skal teknologiene være forankret i norske fagmiljø og støttet av veletablerte finansinstitusjoner eller industriaktører, enten offentlige eller private. For det femte skal teknologien være så moden at det er sannsynlig å etablere en produksjon innen 2020/25. En viktig målsetning er å vise hvor stor avstanden er til fossil Jet A-1 pris da luftfartsbransjen ikke vil betale mer for drivstoff i forhold til fossil Jet A-1.

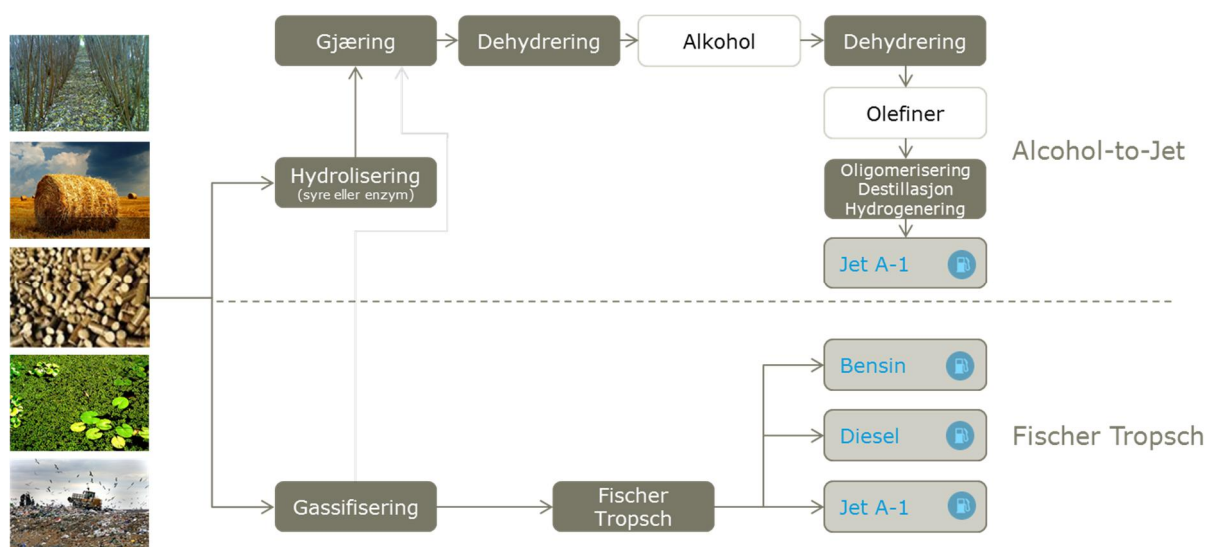
Litteraturstudiet, diskusjoner i referansegruppen og styringsgruppen, deltakelse på konferanser, direkte kontakt med ulike industriaktører, samt de fem arbeidspakkene innen teknologi, landbaserte norske ressurser, lokalisering, marine ressurser og import av råstoff danner grunnlaget for konklusjonene presentert under. Produksjonsanlegg som benytter enten FT-SPK eller AtJ basert på trevirke har blitt identifisert som mest egnet. Norske skogressurser er godt egnet for både FT-anlegg og kan benyttes som råstoff for bioetanol som kan benyttes i AtJ-anlegg.

Forretningskonseptene er følgende:

1. Termokjemisk prosessering og forgassing av restprodukter i tett tilknytning til treforedlingsindustri (Fischer Tropsch, FT-SPK)
2. Andregenerasjons bioetanol med oppgradering av alkohol til Jet A-1. Alcohol-to-Jet (AtJ) baseres på bioetanol produsert fra norsk andregenerasjons råstoff fra skog

Figuren under viser at mange av de samme råstoffene som er tilgjengelig i Norge kan både være basis for AtJ og Fischer Tropsch.

Figur 4-24 – Illustrasjon av mest aktuelle verdikjeder for Norge for FT-SPK og AtJ



4.5.1 Forretningskonsept med FT-SPK

FT-SPK er en teknologirute sertifisert siden 2011 av ASTM, og velges som forretningskonsept av flere grunner. En av hovedårsakene er at flere gassifiseringsreaktorer har blitt bevist i pilotanlegg, for produksjon av biodiesel. Olje og Gass-industrien har dessuten utviklet FT-anlegg for naturgass, tjæresand og andre fossile kilder, samt at SASOL har produsert FT-SPK kommersielt siden 1955 basert på kull.

FT-anlegg med visse teknologier kan gassifisere både avfall fra treforedling, industri og husholdning, mens andre FT-teknologier er mer sensitive til urenheter og bør baseres på et smalere råstoffsegment og ha mer preprosessering for optimal drift.

De fleste leddene i prosessen er etablert i stor skala i olje og gassindustrien, blant annet fra naturgass til flytende drivstoff, og det har blitt produsert flydrivstoff på denne måten fra kull helt siden 50-tallet. Hovedutfordringen er gassifisering av biomasse og rensing av gassen før syntesegassproduksjon. Flere initiativ og forskningsprogram, f.eks. EU Flight Path delfinansiert av EU's 7 rammeprogram, har som mål at luftfart bruker 2.500 millioner liter, med bærekraftig biodrivstoff i 2020, hvor et mål er å etablere en serie med FT-anlegg hvorav minimum et på 1,2 millioner liter Jet A-1 allerede innen 2015.

Det finnes mange ulike gassifiseringsteknologier og ulike FT-prosesser (katalysator, høy og lav temperatur etc.) Gassifisering ved hjelp av plasmafakler er dessuten en lovende teknologi ved at den kan gassifisere «alt».

Sintef har konkludert med at FT kan anses som den mest egnede teknologien for norske forhold ^[3]

Avfall kan være en kilde til syntetisert drivstoff, hvor et miljøproblem potensielt kan løse et annet. Klimaeffekten til drivstoffet avhenger av LCA-analyser for avfall og andelen fornybar masse. Det har ikke vært mulig å regne detaljert på dette forretningskonseptet i studien, men prosjektteamet har fått innsikt i attraktive forretningskonsept, bl.a. i Storbritannia, hvor et anlegg for syntetisert drivstoff etter planen skal bygges fra slutten av 2013. I Norge er det bygget store anlegg for avfallsforbrenning, men mye avfall eksporteres til Sverige. Forretningskonseptet har blitt nedprioritert for detaljerte studier da råstoffet ikke er 100 % fornybart, det er stor konkurranse om ressursene, det er en økende grad av resirkulering som kan føre til et lavere potensial for drivstoffproduksjon. Det er dessuten etablert stor forbrenningskapasitet i Norge den siste tiden. Det importeres også avfall fra Storbritannia til Norge for forbrenning.

4.5.2 Alcohol-to-Jet (AtJ)

For å produsere Jet A-1 via en bioalkohol må først alkoholen produseres og deretter raffineres videre til Jet A-1 via en prosess kalt Alcohol-to-Jet (AtJ). Fordelene med denne verdikjeden er at det produseres mangfoldige bioalkoholer i store volum globalt til relativt lave priser, men også mer bærekraftig andregenerasjons bioetanol fra skog. Bioetanol kan også produseres fra alger. Bioetanol produseres fra skog i Norge i dag av Borregaard, mer enn 20 millioner liter. Alle trinnene i AtJ er kjent fra petrokjemisk industri, men er umodent for bioalkoholer til jetparafiner.

AtJ er en rute som forventes å bli en teknologisertifisert rute av ASTM i 2013/14. Beregning av produksjonskostnadene vil kun beregne ruten fra alkohol til Jet A-1, og ikke i detalj alle teknologiene for å framstille alkoholer. Markedspriser for bioetanol er lagt til grunn som råstoff for AtJ i økonomimodelen.

Sintef har konkludert med at AtJ er den andre teknologiruten som er mest egnet for norske forhold ved bruk av andregenerasjons bioetanol fra skog.

AtJ har blitt valgt som forretningskonsept selv om ruten ikke er teknologisertifisert enda da det er sannsynlig at ruten blir sertifisert om kort tid. I tillegg er Rambøll overbevist om at Norge har et fortrinn med ekspertise og eksisterende produksjon av andre- og tredjegenerasjons bioetanol fra flere ulike teknologier. Noen ulike teknologier for bioetanol forankret i norske fagmiljøer er:

1. Borregaard, bioetanol fra lignocellulose
2. INEOS, bioetanol fra fermentering av FT-syntesegass, en hybridteknologi som kan gassifisere mange typer råstoff. INEOS har lang erfaring med eten og etylen
3. Statoil, forskningsinitiativ innen bioetanol fra makroalger
4. Weyland, bioetanol-teknologi fra lignocellulose

I tillegg er bioetanolmarkedet godt utviklet globalt, også med mye ekspertise i Norden (Dong Energy og Inbicon etc.) slik at et AtJ-anlegg kan baseres på importert bioetanol fra nærliggende regioner som Sverige og Finland, men også Brasil eller USA i en oppstartsfase. Dong Energy har demonstrert bioetanolproduksjon de siste 3 årene og har vist at teknologien kan oppskaleres til et fullskala anlegg. Isobutanol er definert som et mulig råstoff pga. at det er en forløper til et stort mangfold av kjemikalier, f. eks. parafiner (fornybar Jet A-1) og diesel, og kan da også benyttes i annen kjemisk industri.

4.5.3 Ruter som nedprioriteres for detaljert modellering

Flere ruter og teknologier har blitt vurdert og gjennomgått, f.eks. umodne teknologier som pyrolyse til Jet A-1 og mikrobial Jet A-1.

Et forretningskonsept med HEFA-SPK, Hydroprocessed Esters and Fatty Acids, har blitt vurdert og valgt bort selv om det er en teknologisertifisert rute. En av hovedårsakene til dette er at flere vekster som kan benyttes til HEFA biodrivstoff konkurrerer med matproduksjon, og/eller at det ikke er bærekraftig, f.eks. palmeolje. Det er dessuten lite egnet areal som kan benyttes til formålet i Norge. Produksjonen er arbeidsintensiv, spesielt ved dyrking og innhøsting. Arealet globalt er dessuten lite for HEFA-produksjon, og annet råstoff med høyere yield/produksjonsrate per landareal, bør benyttes for å kunne oppnå store volumer. I tillegg har mikro og makroalger blitt utredet som grunnlag for HEFA, FT og AtJ. Konklusjonen for HEFA fra oljevekster er at det ikke dyrkes eller kan dyrkes i et særlig omfang i Norge. Konflikter med matproduksjon og bærekraft er dessuten temaer som er framtrædende for HEFA.

Storskala mikroalgeproduksjon som råstoff for en eller flere teknologier (HEFA og FT) regnes heller ikke som gjennomførbart innen 2020/25 for Norge, men bioetanol fra makroalger kan sannsynligvis være mulig innenfor tidsrammen. Bioetanol fra makroalger regnes som det mest lovende fra nye biomasseressurser, hvor det forventes etablert et pilotanlegg i Norge for dyrking og høsting i 2015-20. Volumene fra makroalger vil dog sannsynligvis ikke nå betydelige volumer innen 2025 og storskala produksjon av alger vil bli aktuelt senere enn biomasse fra skog.

På lengre sikt, i perioden fra og med 2025, kan biodrivstoff fra makroalger være en mulighet. Det finnes gode dyrkingsforhold for bærekraftige makroalger langs norsk kyst og i norske fjorder. Det eksisterer planer for et pilotanlegg for makroalgedyrking i Trondheimsfjorden i løpet av de neste 3-4 årene og utviklingen innen mikrobiologi for å omdanne alginat til sukker for alkoholproduksjon har kommet langt.

Med mer forskning på arktiske alger som vokser fort i kalde forhold og med lite direkte lys kan dyrking av mikroalger i Norge bli en ny industri. Norge har en industri med hvor spillvarme og CO₂ fra olje- og gass samt metallindustri kan benyttes som innsatsfaktorer. Det har blitt identifisert 33 industrielle anlegg i Norge med teoretisk sett nok CO₂ til 40 millioner liter algeoljer, og 8 anlegg med nok CO₂ for 200 mill. liter algeoljer, basert på 2 kg CO₂/kg alge. En hovedutfordring er tilgang på nok næringsstoffer, i tillegg til det som fins naturlig i havet.

Det er viktig å legge merke til at det er behov for flere anlegg for å oppnå volum av en viss størrelse. Produksjonsanlegget i økonomimodellen tar utgangspunkt i et anlegg som produserer 50 mill. liter Jet A-1 og biprodukter. Det vil være behov for 8-10 slike anlegg for å produsere 230 mill. liter Jet A-1. I en innledende fase kan anlegg produsere andregenerasjons biodrivstoff fram til også tredjegerasjons drivstoff er kommersielt tilgjengelig.

Ulike biodrivstoff kan altså klassifiseres med betegnelsen «generasjon». Ofte følger denne klassifiseringen hvor bærekraftig drivstoffet er og hvor fokuset er på råstoffet. Førstegenerasjons biodrivstoff er karakterisert av at råstoffet konkurrerer med matproduksjon. Andregenerasjon er normalt et råstoff som ikke konkurrerer med mat, selv om det i noen tilfeller kan bruke de samme landarealene. Tredjegerasjons biodrivstoff har blitt «markedsført» som ikke en konkurrent til mat og mer bærekraftig da det ikke brukes ferskvann. Utfordringen er at makroalger (tang og tare) kan brukes til mat og habitatet til makroalger kan bli skadet på lik linje som for annen biomasse på land. Hvis næringsstoffer ikke blir produsert bærekraftig hjelper det ikke å dyrke makro og mikroalger effektivt.

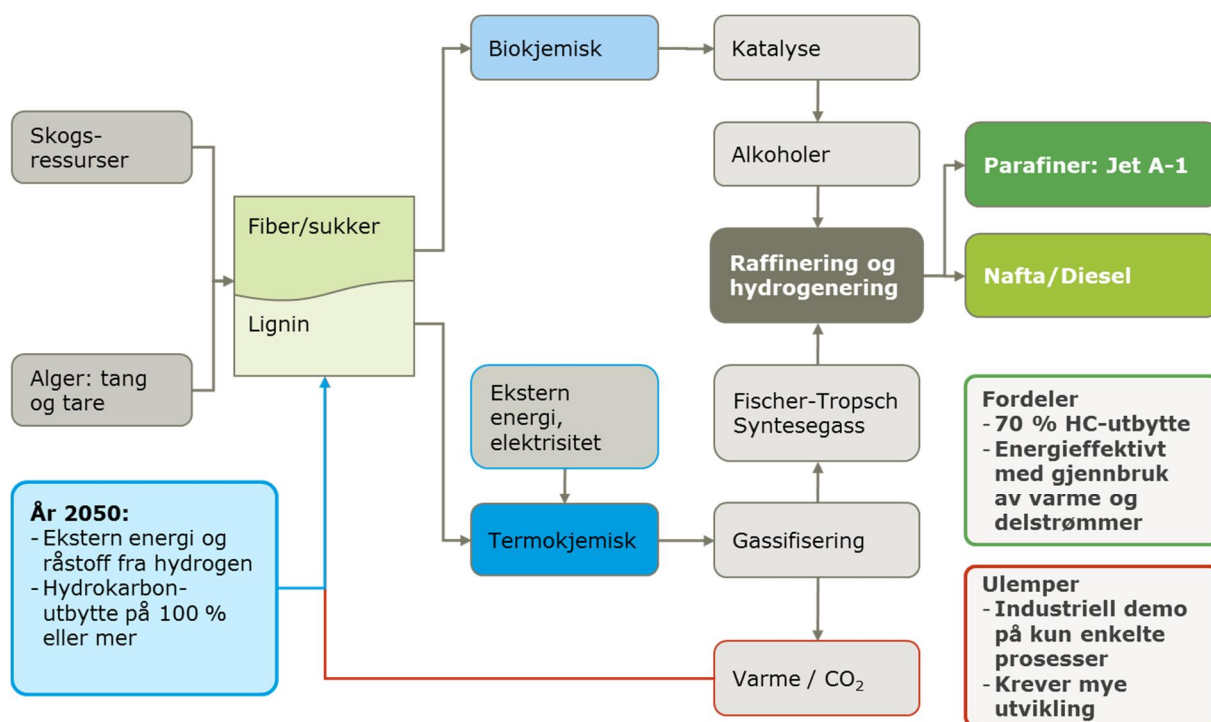
Fjerdegenerasjons biodrivstoff fokuserer på mikroorganismer hvor oljer, sukker eller til og med hydrokarboner blir produsert direkte. Fjerdegenerasjons biodrivstoff har kun behov for sol, et miljø eller en reaktor for vekst, i tillegg til næringsstoffer. Næringsstoffene kan f.eks. være røykgass fra metallindustri som fermenteres ved hjelp av mikrober.

Tabell 4-2 – Oversikt over første- til fjerdegenerasjons biodrivstoff

1.-generasjons biodrivstoff	Råstoff: Matvekster, korn, sukker, sivelse, planteoljer, dyrefett
	Konverteringsprosess: Fermentering, transesterifisering
	Klimaeffekt: Liten eller ingen
	Energibalanse: Liten til veldig god
2.-generasjons biodrivstoff	Råstoff: Lignocellulose
	Konverteringsprosess: Gassifisering, pyrolyse, hydrolyse og fermentering
	Klimaeffekt: Middels til høy (60-80 %)
	Energibalanse: Medium til god
3.-generasjons biodrivstoff	Råstoff: Mikro og makroalger
	Konverteringsprosess: Gassifisering, hydrolyse og fermentering
	Klimaeffekt: Middels til høy
	Energibalanse: Negativ til (teoretisk) veldig god
4.-generasjons biodrivstoff	Råstoff: Alger, mikroorganismer og mikrober (genmodifiserte), røykgass
	Konverteringsprosess: Direkteprodusert hydrokarbon, sukker eller oljer i mikroorganismene
	Klimaeffekt: >100 % med karbonfangst som ressurs og lagring
	Energibalanse: Negativ til teoretisk veldig høy, gjenvinning av spillvarme

Hvis norske fortrinn skal utnyttes fullt ut kan skogressurser og makroalger fra norske fjorder være en mulighet. Under vises et forslag og en skisse på hvordan f.eks. skog- og algeressurser kan leveres til et bioraffineri eller industriklynge og utnytte ressursene optimalt. En del av råstoffene kan behandles med biokjemiske prosesser og det som ikke kan behandles godt biokjemisk kan gassifiseres. Det termiske overskuddet kan tørke algeråstoffet. Makroalger produseres sannsynligvis i syklus i forhold til årstider og dermed kan skog jevne ut endringen i tilførsel av biomasse.

Figur 4-25 – Forslag til optimalt norsk bioraffineri fram mot 2030 og 2050

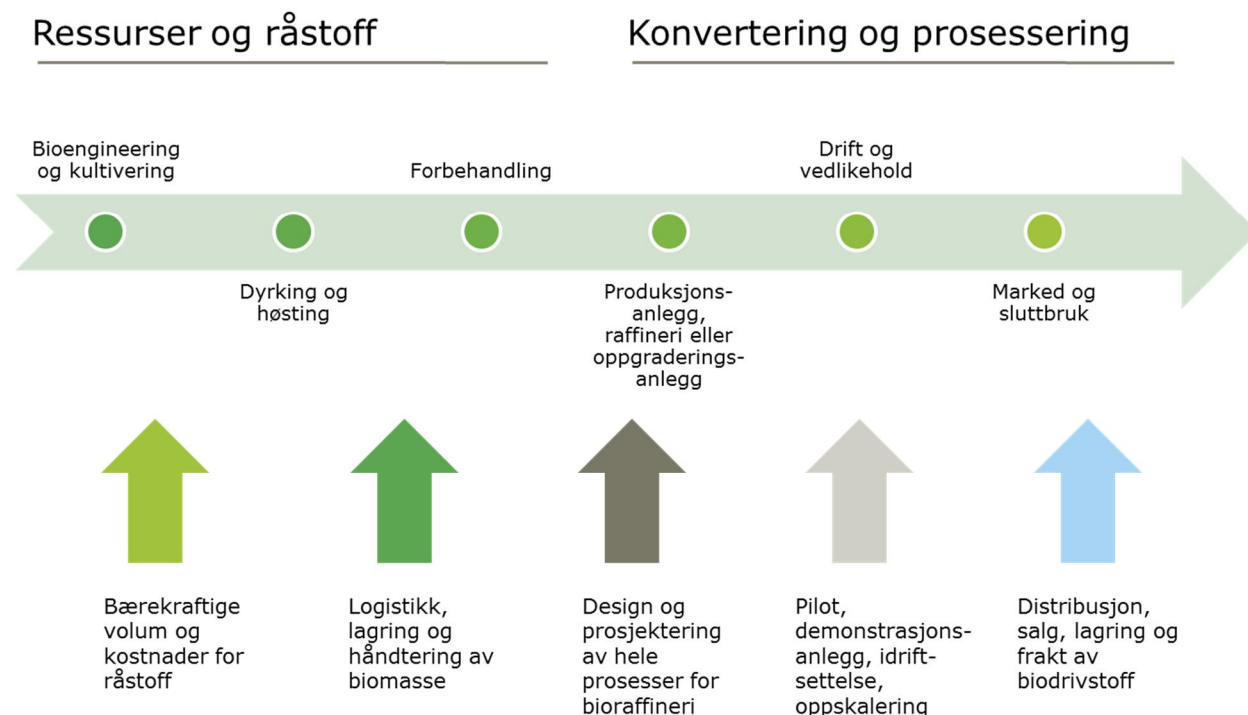


Fornybar elektrisitet fra vannkraft kan benyttes som ekstern energi for å maksimere utbyttet og konverteringsgraden til biomassen i stedet for at biomassen skal brukes til prosessvarme. Norske og nordiske industritomter i tilknytning til papirindustri og treforedling er meget godt egnet for demonstrasjonsanlegg og oppskalering med den eksisterende infrastrukturen som er etablert, og tilgjengelig biomasse.

4.5.4 Konklusjon verdikjeder for Norge

Figuren under viser noen av de største utfordringene oppstrøms og nedstrøms for et produksjonsanlegg for biodrivstoff.

Figur 4-26 – Verdikjede med utfordringer oppstrøms og nedstrøms for biodrivstoff © Rambøll



Prosjektet har identifisert følgende verdikjeder som mulige for bærekraftig biodrivstoffproduksjon i Norge hvor nummer 1 og 2 har blitt valgt ut for detaljerte analyser.

1. Termokjemisk prosessering og forgassing av restprodukter i tett tilknytning til treforedlingsindustri (FT-SPK)
2. Andregenerasjons bioetanol, primært fra skog, med oppgradering av alkohol til Jet A-1 (AtJ-SPK)
3. Termokjemisk prosessering av avfall med høytemperatur gassifisering, f.eks. ved hjelp av plasmafakler (FT-SPK)
4. Tredjegerasjons bioetanol fra bærekraftig dyrket makroalger, med oppgradering av alkohol til Jet A-1 (AtJ-SPK)
5. Tredjegerasjons bioetanol fra mikroalger i fotoreaktorer i tilknytning til norsk energikrevende industri (AtJ-SPK)

5. PRODUKSJONSKOSTNADER

For Fischer-Tropsch er produksjonskostnadene for fornybar Jet A-1 i 2012 estimert til å være på om lag 11 NOK/liter. Investeringskostnadene og råstoffkostnadene utgjør nærmere 90 % av de totale produksjonskostnadene. En vesentlig reduksjon av råstoffbehov kombinert med en sterk reduksjon av investeringskostnadene er essensielt for at Jet A-1 fra en FT-prosess i fremtiden skal kunne være kommersielt lønnsom. De foreløpige estimatene indikerer at teknologien vil kunne være lønnsom før 2025. Lønnsomhet i dette tilfellet innebærer at produksjonskostnadene for BioJet (FT) er lavere enn markedsprisen for Jet A-1. I det optimistiske scenariet er det kommersielle gjennombruddet estimert til å være i år 2021, hvor markedsprisen og produksjonskostnadene forventes å være Jet A-1 ca 7 NOK/liter.

Det er svært viktig å presisere at lønnsomhet for Fischer-Tropsch forutsetter salg av biproduktene som genereres gjennom produksjonsprosessen (biodiesel og nafta). Anlegget vil i tillegg også produsere varme. Inntektene fra et evt. varmesalg er imidlertid ikke inkludert i beregningene. Dette vil være avhengig av lokalisering av anlegget. Avsetningen på varmen vil øke lønnsomheten på anlegget ytterligere, og kommersielle gjennombruddet kan komme enda tidligere. Dagens produksjonskostnader (i 2012) uten salg av biprodukter er estimert til å være på 16 NOK/liter.

Produksjonskostnadene for Alcohol to Jet (AtJ) er i 2012 estimert til å være på 27 NOK/liter. Råstoffkostnadene alene utgjør over 90 % av disse. Fremtidig utvikling av prisen på bioetanol er derfor helt avgjørende for kommersialisering av Jet A-1 fra AtJ. Samtidig er det viktig at man også forbedrer utbyttefaktoren for antall liter Jet A-1 pr liter bioetanol anleggene forbruker. For AtJ-teknologien er det ikke funnet tilstrekkelig med informasjon som kan dokumentere inntektspotensialet for salg av biprodukter. Salg av biprodukter vil naturligvis kunne fremskynde det forventede kommersialiseringsgjennombruddet for AtJ.

5.1 Økonomimodell og forutsetninger

Basert på resultatene fra delutredningene er det foretatt estimater for de forventede produksjonskostnadene for Jet A-1 fra to hovedprosesser; Fischer-Tropsch prosess (FT) og Alcohol to Jet (AtJ), ref kap. 4.5 om valg av forretningskonsept. Kostnadstallene er supplert med tall fra rapporter funnet ved egne litteratursøk.

Beregningene er først fremst presentert i form av produksjonskostnader for fornybar Jet A-1 i NOK per liter. Produksjonskostnadene inkluderer både investeringskostnader (CAPEX) og driftskostnader (OPEX). I beregningene er det lagt til grunn et avkastningskrav på 7 % reelt før skatt. Avkastningskravet er regnet inn i investeringskostnaden og totale kostnader per liter produsert sammenliknes med markedsprisen for fossil Jet A-1. Lønnsomhet defineres her som punktet hvor antatt markedspris for fossilt flydrivstoff, dvs. Jet A-1, overgår kostnaden per liter produsert flydrivstoff basert på biomasse. I beregningene er det antatt at anlegget har en levetid 30 år. Alle tallene som presenteres er i norske 2012-kroner.

På de neste sidene gis det en oppsummering av resultatene fra de økonomiske beregningene. Den første delen viser resultatene for Fischer-Tropsch (FT), mens den andre delen viser resultatene for Alcohol to Jet (AtJ). I begge tilfellene er det forutsatt at anleggene optimaliseres for produksjon av Jet A-1. I tillegg vil begge anleggene produsere flere biprodukter. Ettersom tallgrunnlaget for bi-produkter er begrenset er det kun foretatt en enkel analyse av dette for et FT-anlegg. Produksjon og salg av bi-produkter vil imidlertid være svært avgjørende for lønnsomheten for anleggene.

USIKKERHET

Siden teknologien for å produsere fornybar Jet A-1 foreløpig er svært umoden har det vist seg vanskelig å finne detaljerte data. En hovedutfordring er knyttet til konverteringsfaktorer. Rambølls research har resultert i et relativt stort intervall for antall liter Jet A-1 man får produsert pr liter/kg råstoff. Valg av konverteringsfaktor gir store utslag på beregningene. En annen stor usikkerhetsfaktor er knyttet til kostnader. Det er i dag svært få anlegg som er bygget, og det finnes derfor lite informasjon om både investeringskostnader og driftskostnader. Virkelige tall fra eksisterende anlegg er også ofte taushetsbelagt av konkurransehensyn. Forutsetningene for disse vil gi store utslag i beregningene og resultatene som presenteres.

For øvrig er det også stor usikkerhet knyttet til fremtidige markedspriser på Jet A-1. Dette vil avhenge av hvordan den norske og internasjonale energipolitikken utvikler seg, og herunder hvordan etterspørselen etter konvensjonelt drivstoff utvikler seg i fremtiden. Dette vil igjen påvirke vurderingen av når fornybar Jet A-1 kan bli kommersielt lønnsomt.

Med utgangspunkt i de ovennevnte forholdene vil tallene som presenteres videre er være heftet med stor usikkerhet. En usikkerhetsfaktor på 50 % bør derfor legges til grunn. Det er ikke inkludert noen form for usikkerhet i estimatene, men utfallsrommet beskrives til dels ved hjelp av scenarier.

5.2 Forretningskonsept 1 – Fischer Tropsch Jet A-1

I beregningene for dette forretningskonseptet er det forutsatt at anlegget produserer 27 mill. liter Jet A-1. I tillegg vil anlegget produsere 12 mill. liter Biodiesel og 11 mill. liter Nafta. Anleggets totale produksjonskapasitet er vist i tabellen under.

Tabell 5-1 Forutsatt produksjonskapasitet for FT-anlegg

Produkt	Mill. liter
Jet A-1	27
Biodiesel	12
Nafta	11
SUM	50

INVESTERINGSKOSTNADER (CAPEX)

Kostnadstallene for FT-SPK fra biomasse i delutredningen om produksjonsteknologi^[3] refererer seg kun til ett anlegg. Dette er en studie utført for Arlanda Flyplass av Värmeforsk i 2009. Anlegget er imidlertid foreløpig ikke bygd, og foreligger kun på skissestadiet. For å kunne gjøre en vurdering av de forventede produksjonskostnadene har derfor Rambøll foretatt et utvidet litteratursøk for å finne kostnadstall for anlegg som produserer drivstoff basert på en FT-prosess.

Det meste relevante studiet på dette er utført av NorthWest-studien^[13]. Her har man tatt utgangspunkt i konvensjonelle FT-anlegg som produserer enten *Coal to liquid* (CtL) eller *Gas to Liquid* (GtL). Videre har studiet benyttet en nærmere definert multiplikasjonsfaktor for å beregne de forventede kostnadene for *Biomass to Liquid* (BtL). For de ulike anleggene som er vurdert er det benyttet en multiplikasjonsfaktor på mellom 1 og 3. Dette betyr at et BtL-anlegg basert på en FT-prosess antas å ha 1 til 3 ganger høyere investeringskostnader enn et konvensjonelt GtL- eller CtL-anlegg. I tabellen under er de beregnede kapitalkostnadene for disse anleggene vist, oppgitt i NOK/liter for hvert av dem. Tallene fra rapporten er omgjort til norske 2012-kroner.

Tabell 5-2 Investeringskostnader for FT-anlegg basert på konvensjonelle anlegg for CtL og GtL

Anleggstype	Capex levelised ⁶⁴ (NOK / liter)
200 ML Coal	2,7
2310 ML Coal	3,1
1155 ML Coal	4,9
8124 ML Gas	4,8
2031 ML Gas	4,8
90ML municipal biowaste	2,9
Nth plant	3,8
Gjennomsnitt	3,9

Gjennom samtaler med diverse aktører i markedet er det kommet tilbakemeldinger på at en investeringskostnad på 3,9 NOK/liter er noe lavt, og at den benyttede multiplikasjonsfaktoren som er benyttet av NorthWest derfor kan være for optimistisk. For å være på den konservative siden benyttes 5 NOK per liter i de videre beregningene.

I delutredninger fra SINTEF er kostnadstallene knyttet til Arlanda-prosjektet. Dette anlegget produserer 116 mill. liter *biodrivstoff* hvorav 62 mill. liter er Jet A-1. Investeringskostnaden for Arlanda-anlegget er anslått til å være på 3.5 mrd. NOK (2009-kroner). For Arlanda-studien er investeringskostnadene beregnet til å være på om lag 5 NOK. pr liter Jet A-1 (i 2012-kroner). I tabellen under er det vist hvordan investeringskostnadene for Arlanda-prosjektet fordeler seg.

Tabell 5-3 Fordeling av investeringskostnader Arlanda^[3]

Prosentvis fordeling av investeringskostnader	Fordeling
Gassifiseringsanlegg	28 %
Gassrensingsanlegg	13 %
FT-anlegg	28 %
Damp turbin	7 %
Luftseparasjonsanlegg	4 %
Andre anleggskostnader (BoP)	19 %
SUM	100 %

RÅSTOFFKOSTNADER

En annen viktig faktor for beregning av de totale produksjonskostnadene for Jet A-1 er råstoffbehovet, samt kostnader knyttet til innkjøp av dette. I forretningskonseptet er forutsatt at anlegget kjøper inn biomasse i form av oppkuttet og tørket flis (GROT) og massevirke. Potensialet og kostnadene for dette i Norge er utredet av UMB^[4]. En pris på 20 øre/kWh anses som et realistisk nivå, gitt visse forutsetninger. Dette inkluderer både transport- og terminalkostnadene. Hvordan kostnadene fordeler seg er vist i Tabell 5-4.

⁶⁴ CAPEX levelised er altså de totale investeringskostnadene i NOK/liter, med et avkastningskrav på 7 % reelt før skatt, og levetid 30 år.

Tabell 5-4 – Trevirkekostnad ^[4]

Enhetskostnader råstoff	kr per m ³	øre/kWh
Massevirke levert bilveg	200 - 250	10 - 12,5
Transport	30 - 80	1,5 - 4
Flising	50 - 80	2,5 - 3,5
Terminalkostnader	50 - 90	2,5 - 4,5
Sum	330 - 500	16,5 - 24,5

UMB har videre antatt et energiinnhold i råvaren på 5,3 kWh pr kg trevirke. Ved å gange energiinnholdet med prisen per energienhet vil råstoffkostnaden ligge på ca. 1 kr pr kg trevirke (tørt råstoff). Dette er lagt til grunn i de videre beregningene.

RÅSTOFFBEHOV

For å kunne beregne de totale råstoffkostnadene må også anleggets råstoffbehov beregnes. Per i dag finnes det svært lite offentlig tilgjengelig litteratur knyttet til dette. I SINTEFs utredning er det kun funnet ett prosjekt (Arlanda) der denne informasjonen er offentlig tilgjengelig. Her er råstoffbehovet på 432 mill. kg tørrstoff. Ut av dette får anlegget produsert 62 mill. liter Jet A-1. Dette gir en utbyttefaktor på 7,0 kg tørrstoff pr liter Jet A-1.

Utbyttefaktoren er for øvrig en svært viktig parameter for vurdering av produksjonskostnadene for teknologien. Gjennom egne litteratursøk er det funnet bevis for at utbyttefaktoren kan ligge i hele intervallet 5 til 11 kg tørrstoff pr liter Jet A-1. Det forventede råstoffbehovet vurderes derfor som svært usikkert. I de videre beregningene er det derfor valgt å benytte et konservativt anslag på råstoffbehovet. Utbyttefaktoren er derfor satt til 9 kg tørrstoff pr. liter Jet A-1.

ANDRE DRIFTSKOSTNADER

NorthWest-studien^[13] har også analysert øvrige (andre) driftskostnader for FT-anlegg. Andre driftskostnader er i den sammenheng sosiale og administrative kostnader, som lønn, energi, forsikring m.m.. Anslagene er at disse ligger i intervallet 0,6 til 1,8 NOK/liter. Ettersom anlegget skal bygges i Norge er det lagt til grunn at andre driftskostnader vil ligge noe høyere enn dette. I de videre beregningene er derfor 2,0 NOK/liter benyttet.

I tabellen under er det oppsummert hvilke forutsetninger som er lagt til grunn for å beregne produksjonskostnadene for Jet A-1.

Tabell 5-5 – Forutsetninger for beregning av produksjonskostnader

Kostnader og behov	kr per enhet	Enhet
Investeringskostnader	5	NOK per liter Jet A-1
Andre driftskostnader	2	NOK per liter Jet A-1
Råstoffkostnad	1	Kr per kg tørrstoff
Råstoffbehov	9	Kg tørrstoff per liter Jet A-1

5.2.1 Beregnede produksjonskostnader Jet A-1 Fischer-Tropsch

På grunnlag av de ovennevnte forutsetningene er produksjonskostnadene for Jet A-1 beregnet. Det er altså antatt at anlegget produserer 27 mill. liter Jet A-1. Råstoffbehovet er anslått til 9,0 kg tørrstoff pr liter biodrivstoff. Anlegget vil derfor ha et totalt råstoffbehov på 243 mill. kg. Prisen på råstoffet er forutsatt til å være 1 kr/kg. De totale råstoffkostnadene vil derfor være 243 mill. kr. Videre er det forutsatt at investeringskostnadene er på 5 NOK/liter, og andre driftskostnader er på 2 NOK/liter. De be-

regnede produksjonskostnadene for Jet A-1 vil dermed være på om lag 16 NOK/liter. Produksjonskostnadene vil fordele seg på følgende måte:

Tabell 5-6 – Beregnede produksjonskostnader for Jet A-1

	NOK / liter	Prosent
Investeringskostnader	5	31 %
Råstoff	9	56 %
Andre driftskostnader	2	13 %
Sum	16	100 %

5.2.2 Totale produksjonskostnader inklusive biprodukter

16 NOK/liter er altså den estimerte produksjonskostnaden for Jet A-1, og inkluderer ikke salg av bi-produkter. Ved å inkludere salget av biproduktene vil produksjonskostnadene kunne bli vesentlig lavere. Det er forutsatt at anlegget vil produsere 23 mill. liter biprodukter, hvorav 12 mill. liter er biodiesel og 11 mill. liter er Nafta.

Det forutsettes at biodieselen kan selges på det kommersielle markedet, til markedspris. Markedsprisen for biodiesel i 2012 er om lag 9 NOK/liter. Det er forutsatt at denne vil øke til om lag 10 kr i 2021. En illustrasjon av utviklingen av biodieselpriene er vist i figuren under. Tallene er hentet fra OECD-Fao Agricultural Outlook 2012.



Nafta benyttes til å produsere stoff for innblanding i bensin for å øke oktantallet, og som råstoff i petrokjemi-industrien. Rundt 60 prosent av naftaproduksjonen globalt benyttes til bensininnblanding. I de tilfeller hvor nafta selges eller transporteres som et ferdigprodukt (som er mest interessant for det prosjektet vi ser på) benyttes ca. 93 prosent i petrokjemi-industrien. Her konkurrerer Nafta med våtgass (etan) og LPG som innsatsvare.

Pga. sterk forventet vekst i etterspørselen etter etylen og begrenset tilgang på alternative innsatsfaktorer forventes det også vekst i etterspørselen etter nafta i årene framover. Etterspørselsveksten forventes hovedsakelig å komme i Midtøsten og Asia, hvor det meste av økningen i produksjonskapasiteten for etylen antas å komme. Etterspørselen i Europa forventes å gå ned i takt med nedbyggingen av produksjonskapasitet her.

I World Oil Outlook 2012 er dagens priser for Nafta vurdert til å være på om lag 3 NOK/liter. I de videre beregningene er dette lagt til grunn. Samtidig er det lagt til grunn en markedspris på biodiesel på 9 NOK/liter. Inntektene fra salg av biprodukter vil dermed være som følger:

Produkt	Markedspris	Volum	Inntekt
Biodiesel	9 NOK/liter	12 mill. liter	108 mill. NOK
Nafta	3 NOK/liter	11 mill. liter	33 mill. NOK

Ved å inkludere salg av biprodukter vil de totale kostnadene fordeles på følgende måte:

		Kostnad (mill. NOK)
Kapitalkostnader	Investeringskostnad: 1675 mill. NOK (Annuitet: 30 år, 7 %)	135
Råstoffkostnader		243
Andre driftskostnader		54
SUM kostnader		432
Salg av Biodiesel	12 mill. liter, markedspris 9 NOK/liter	-108
Salg av Nafta	11 mill. liter, markedspris 3 NOK/liter	-33
Netto kostnader		291
Produksjonskostnad Jet A-1	27 mill. liter	10,8

Ved å inkludere salg av biprodukter er altså de totale produksjonskostnadene for Jet A-1 estimert til å være ca. 11 NOK/liter i 2012.

FREMTIDIGE PRODUKSJONSKOSTNADER FOR JET A-1 BASERT PÅ BIOMASSE

Som det fremgår av beregningene over så utgjør investeringskostnadene og råstoffkostnadene hele 87 % av produksjonskostnadene. I vurderingen av fremtidige produksjonskostnader for Jet A-1 vil derfor disse bli tillagt mest vekt i den videre analysen.

Dagens råstoffbehov for et anlegg med produksjonskapasitet på 27 mill. liter er anslått til å være på 9,0 kg tørrstoff pr liter Jet A-1. For dette anlegget trenger man altså 243 mill. tonn tørket råstoff (flis). For å øke konkurransekraften til biobasert JetA-1 er det altså avgjørende at man på sikt forbedrer denne utvinningsfaktoren, dvs. at man får produsert flere liter Jet A-1 pr kg biomasse enn hva man får i dag.

Dette kan skje på flere måter. På det overordnede planet vil økt standardisering av produksjonsprosessene kunne effektivisere produksjonen av Jet A-1. Dette kan bl.a. være knyttet til utvikling av nye og mer effektive metoder for gassifisering. Dette er bl.a. nærmere beskrevet i Opdal (2006)^[22]. For de få anleggene som eksisterer i dag benyttes det gassifiseringsteknologi som primært er utviklet for

andre formål. Opdal (2006) trekker bl.a. frem en såkalt Fluid Bed Gasifier (FBG), som opprinnelig er designet for kullkraftverk. Fordelen med dette anlegget er det enkelt lar seg oppskalere. Ulempen er at denne prosessen vil føre til mange partikler i syntesegassen. Dette er uheldig, da syntesegasskvaliteten anses for å være en av de viktigste barrierene for implementering av BTL (biomass to liquid). Et annet eksempel er en såkalt Fixed Bed Gasifier. Hovedfordelen med denne er at den er relativt enkel å bruke rent teknologisk, men at den er problematisk å oppskalere til store anlegg. Et siste eksempel er en såkalt Entrained Bed Gasifier. Også denne er en velkjent teknologi, som er ofte brukt innen kullkraft. Hovedulempen med denne er høye kostnader knyttet til førbehandling.

Syntesegasskvaliteten er som nevnt en svært viktig faktor for produksjon av Jet A-1 fra biomasse. Syntesegassen må derfor renses for den videreføres til selve Fischer-Tropsch prosessen. Den komplette rensemetoden fra gassifisering til FT er imidlertid ennå lite utprøvd.

Teknologisk utvikling innen både gassifisering og rensing av syntesegass vil på sikt kunne bidra til å redusere produksjonskostnadene for Jet A-1 fra biomasse. Det vil både kunne øke utvinningsfaktoren i antall liter drivstoff per kg tørrstoff, men også redusere investeringskostnadene for anlegget i sin helhet.

I kapittel 4.2.1 (side 94) er det gitt en bredere beskrivelse av status for Fischer-Tropsch-teknologien (FT). FT har allerede vært benyttet i mange år i forbindelse med produksjon av ulike produkter og kjemikalier fra ikke-fornybare ressurser (kull og gass). FT er også en velkjent teknologi for å produsere drivstoff fra gass (*Gas to liquid*). Her finnes det allerede flere kommersielle anlegg. Derimot finnes det få anlegg (7-8 stk) som produserer drivstoff basert på biomasse (*Biomass to liquid*). Disse anleggene anses foreløpig for å være pilot- og demonstrasjonsanlegg.

IEA forventer at de totale kostnadene for FT biofuels har et kostnadsreduksjonspotensial på 10 til 15 % frem til 2015 og 20 % frem til 2030. Parallelt har bl.a. IEA Bioenergy estimert at kostnadene mellom det første og det tiende fullskala anlegget vil kunne reduseres med 15 til 20 % ^[57].

Ved en dobling av kumulativ installert kapasitet viser det seg at mange teknologier har en mer eller mindre konstant prosentvis nedgang i kostnadsnivået (spesifikke investeringskostnader, totale produksjonskostnader). For energiteknologier benyttes ofte energiproduksjonskostnader i forhold til kumulativ energiproduksjon og fanger dermed bredere for all læring og erfaring for teknologiene. Læringsrate⁶⁵ er definert som prosentvis kostnadsreduksjon ved hver dobling av kumulativ kapasitet eller energiproduksjon.⁶⁶

Denne rapporten har forsøkt å samle og analysere læringskurver fra flere ulike kilder og benytte disse til å si noe om sannsynlige gjennombrudd. Det er klart at forståelsen av teknologisk læring i litteraturen varierer, med hensyn på hvilke faktorer som påvirker mest, og at generaliseringen er på et meget høyt nivå i SRREN og IEA. Det er ingen tvil om at læringsrater for energiteknologier avhenger av mange ulike faktorer, f.eks. hvilket nivå teknologien ligger på i forhold til utbredelse i markedet, alle aspekter knyttet til arbeids- og materialkostnader, etterspørsel (også påvirket av intensiver) og læring i forhold til installasjon og prosjektstyring (påvirker produksjonskostnader). Det er derfor viktig og både se på læringsrater for investeringskostnader og produksjonskostnader.

I kostnadsmodellen er det forventet at investering i flere anlegg og effektivisering av prosessen vil føre til reduserte investeringskostnader og reduserte råstoffkostnader i fremtiden. Læringskurver er diskutert i mer detalj i vedlegget «Framskrivning av kostnader for biodrivstoff-produksjon».

For å estimere den fremtidige utviklingen av produksjonskostnader for Jet A-1 (FT) er det lagt til grunn 3 scenarier; *Basis*, *Optimistisk* og *Pessimistisk*. I basisscenariet er det forutsatt en reduksjon av

⁶⁵ Learning rate, LR

⁶⁶ Graden av utvikling (progress ratio, PR) brukes gjerne som et alternativ til læringsrate. PR defineres som $PR = 1 - LR$ (for eksempel en LR på 20 % tilsvarer en PR på 80 %) PR angir helningen til erfaringskurver

investeringskostnadene på 40 %. I det optimistiske scenariet er det forutsatt at disse kostnadene reduseres med 50 % i 2030. I det pessimistiske scenariet er det forutsatt en reduksjon på 30 %. Scenariene er vist i tabellen under.

Tabell 5-7 – Scenarier for reduksjon av investeringskostnader for Jet A-1

Scenario		2012	2020	2030
Basis	Investeringskostnad NOK/liter Jet A-1	5,0	4,1	3,0
Optimistisk	Investeringskostnad NOK/liter Jet A-1	5,0	3,9	2,5
Pessimistisk	Investeringskostnad NOK/liter Jet A-1	5,0	4,3	3,5

Vedrørende reduksjon av råstoffbehov er det i det optimistiske scenarioet er det lagt til grunn at råstoffbehovet vil reduseres til 5 kg/l i 2030. I basisscenariet er det lagt til grunn at råstoffbehovet reduseres til 6 kg/l frem mot 2030. I det pessimistiske scenarioet er det forutsatt at råstoffbehovet i 2030 er på 7 kg/l. Til sammenligning så er råstoffbehovet i Arlanda-studien vurdert til å være på 7 kg/l. I den sammenheng må det også legges til at Arlanda-studien ble utarbeidet i 2009. De ulike scenariene er vist i tabellen under.

Tabell 5-8 – Scenarier for utvikling av råstoffbehov FT

Scenario		2012	2020	2030
Basis	Kg tørrstoff pr liter Jet A-1	9,0	7,7	6,0
Optimistisk	Kg tørrstoff pr liter Jet A-1	9,0	7,2	5,0
Pessimistisk	Kg tørrstoff pr liter Jet A-1	9,0	8,1	7,0

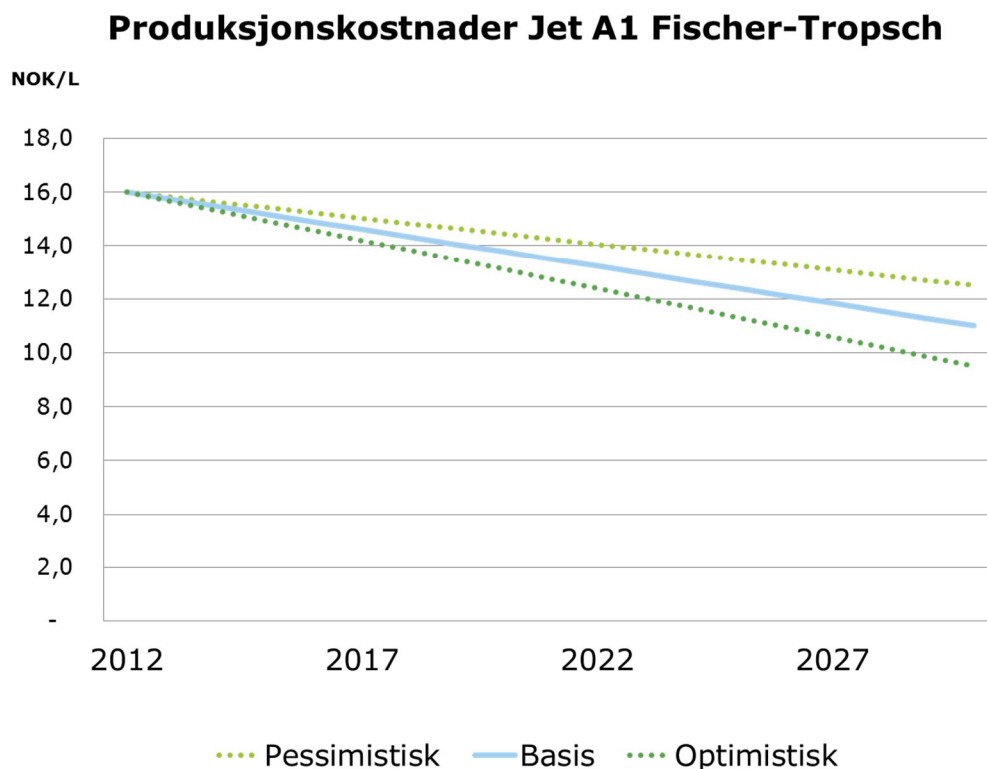
Vedrørende andre driftskostnader er det for alle scenariene forutsatt at disse holdes konstant på 2 NOK/liter frem mot 2030. Det er også forutsatt at råstoffkostnaden holdes konstant på 1 NOK/kg tørrstoff.

I tabellen under vises estimerte produksjonskostnader for Jet A-1 basert på de ulike scenariene for redusert råstoffbehov og reduserte investeringskostnader frem mot 2030. I basisscenarioet er de estimerte produksjonskostnadene for Jet A-1 redusert til 11 NOK/liter i 2030, mens i det optimistiske scenarioet er produksjonskostnadene estimert til 9,5 NOK/liter. Det er viktig å presisere at dette ikke inkluderer salg av biprodukter. Rambølls fremskrivninger på ca. 9-12 % reduksjon fra 2012-2030 ligger i den konservative enden i forhold til IEAs forventning om 10-20 % reduksjon innen 2035. De beregnede produksjonskostnadene inkl. salg av biprodukter er vist i neste delkapittel.

Tabell 5-9 – Produksjonskostnader FT i 2030

Scenario	2012	2020	2030
Basis	16	13,8	11
Optimistisk	16	13,1	9
Pessimistisk	16	14,4	12

Figur 5-1 – Utvikling av produksjonskostnader FT



FREMTIDIGE PRODUKSJONSKOSTNADER JET A-1 FRA FT INKLUSIVE SALG AV BIPRODUKTER

I basisscenariet ovenfor ble produksjonskostnadene i 2030 estimert til å være på 11 NOK/liter. Dette inkluderer altså ikke salg av biprodukter. I en FT-prosess vil det også bli produsert biodiesel og nafta. Markedsprisene for disse er i dag anslått til å være henholdsvis 9 og 3 NOK/liter. I vurderingen av de fremtidige produksjonskostnadene er de samme markedsprisene lagt til grunn. Dette er trolig en konservativ tilnærming, da det er sannsynlig at disse markedsprisene vil stige i fremtiden.

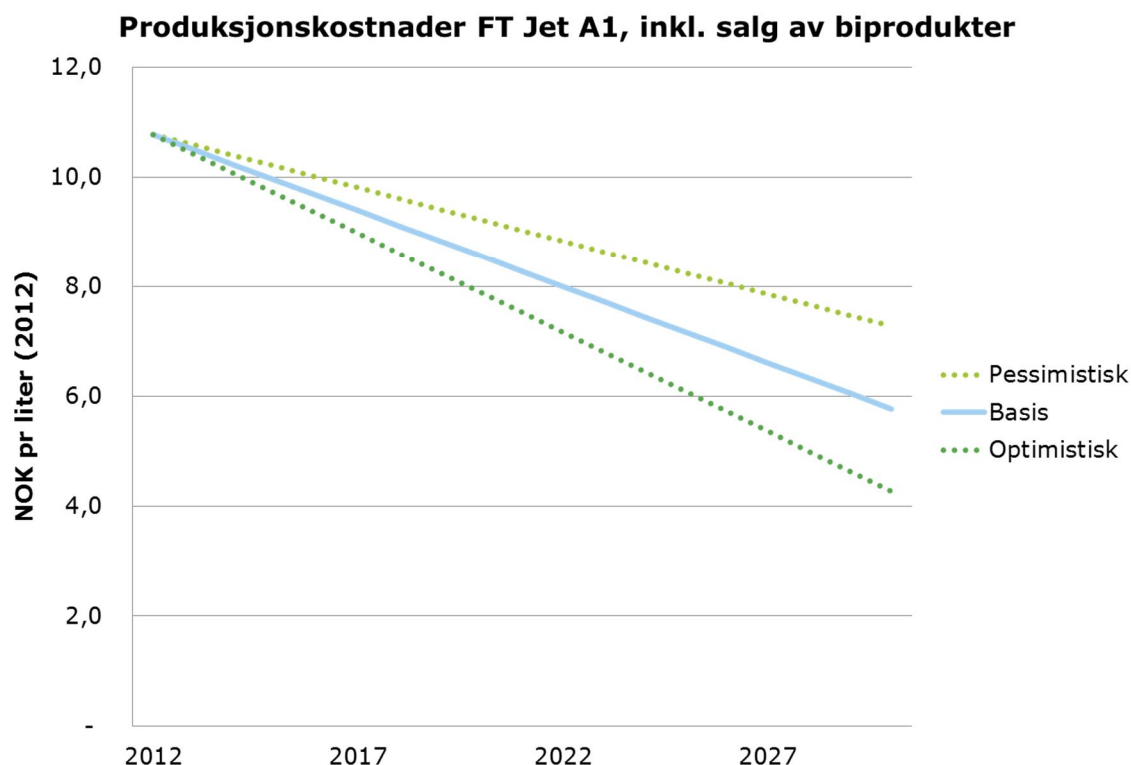
De totale inntektene fra salg av biprodukter vil være på 141 mill. NOK. Dette gir altså et fratrekk på – 5,2 NOK/liter for produksjonskostnadene for Jet A-1, ved en produksjonskapasitet på 27 mill. liter. I 2012 er produksjonskostnadene uten salg av biprodukter estimert til å være 16,0 NOK/liter. Ved å inkludere salg av biprodukter er produksjonskostnadene estimert til å være 10,8 NOK/liter. Ved å inkludere salg av biprodukter vil dermed produksjonskostnadene i 2030 reduseres som følger (basisscenario):

Tabell 5-10 – Fremtidige produksjonskostnader for Jet A-1 basert på FT med og uten salg av biprodukter

Scenario	2012		2030	
	Uten salg av bi-produkter	Inklusiv salg av biprodukter	Uten salg av bi-produkter	Inklusiv salg av biprodukter
Basis (NOK /liter)	16	10,8	11	5,8

Utviklingen av de estimerte produksjonskostnadene inklusiv salg av biprodukter er illustrert i figuren under.

Figur 5-2 Utvikling av produksjonskostnader til 2030

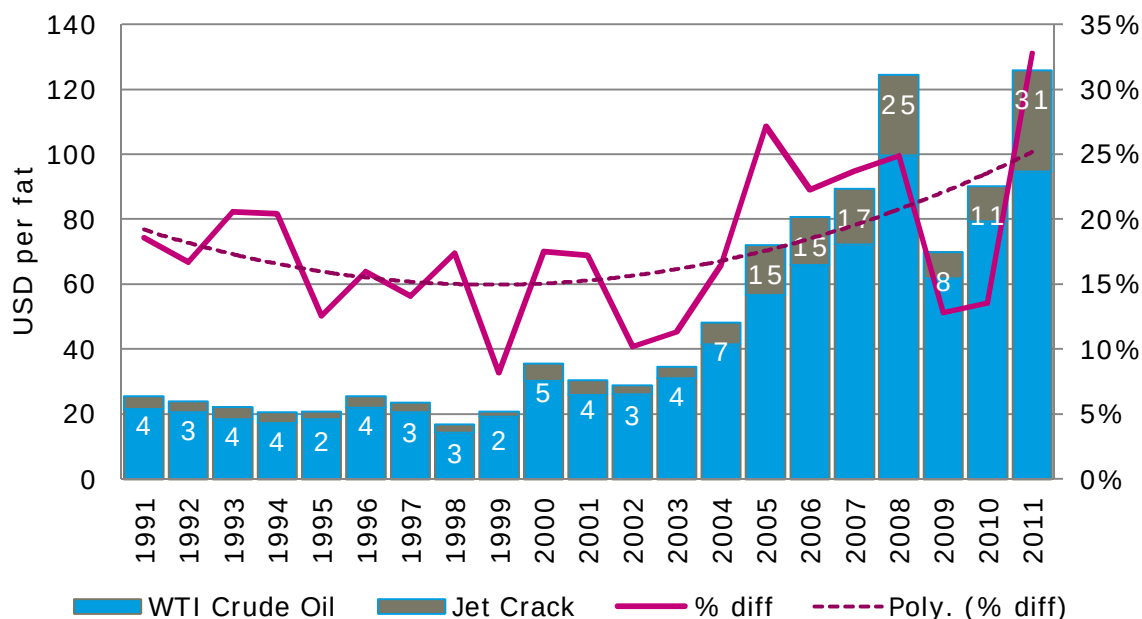


Dette illustrerer at i basisscenariet vil produksjonskostnadene reduseres til om lag 6 NOK/liter i 2030. Hvis det optimistiske scenariet legges til grunn kan produksjonskostnadene reduseres ned til om lag 4 NOK/liter i 2030. I det pessimistiske scenariet er produksjonskostnadene i 2030 estimert til å være om 7,5 NOK/liter.

For å kunne vurdere når denne teknologien kan bli kommersielt lønnsom må utviklingen av produksjonskostnadene sees i sammenheng med den forventede utviklingen av markedsprisen for Jet A-1. Utviklingen av markedsprisen for Jet A-1 vil blant annet avhenge sterkt av hvilke avgifter som ilegges fossile drivstoff. Som det fremgår av figuren under så er det en høy korrelasjon mellom markedsprisen på Jet A-1 og råoljeprisen. De siste 20 årene har disse hatt en korrelasjonsfaktor på 0,996. Jet A-1-prisen har ligget 18 % (-1 % / +15 %) over prisen for råolje i snitt for samme periode⁶⁷. Flyselskaper «hedger» og sikrer seg mot svingninger og betaler andre priser enn denne overordnede statistikken, men det viser en trend. Figur 5-3 viser avstanden mellom råoljepris og Jet A-1 (dollar per fat). De hvite tallene viser påslaget i dollar, mens høyre akse viser hva dette påslaget utgjør i prosent.

⁶⁷ <http://www.airlines.org/Pages/Annual-Crude-Oil-and-Jet-Fuel-Prices.aspx>

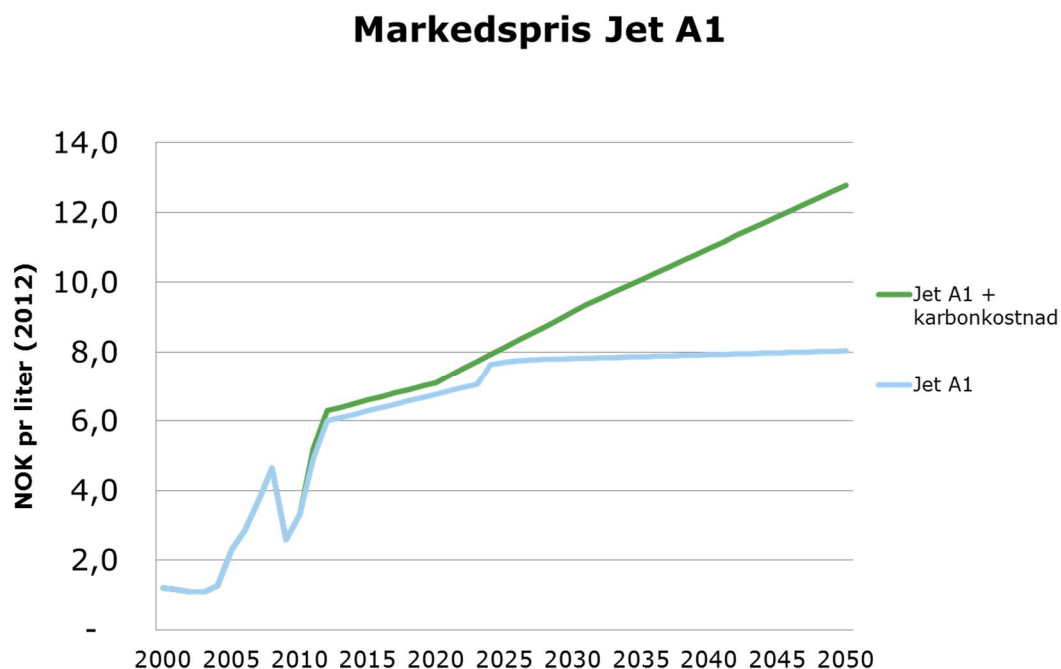
Figur 5-3 – Råoljepriser og tilleggskostnaden for raffinering av Jet A-1, USD



En sentral faktor som også illustreres i figuren over er at prisen på fossil Jet A-1 har hatt en gradvis økning over lang tid, noe som kan være positivt for innføring av biodrivstoff da produksjonskostnadene normalt er høye for ny teknologi og nye anlegg. Utfordringen er at biomasseleverandører også selger til varme og elektrisitetsproduksjon, og da er ofte oljeprisen marginalen for salgsprisen. Prisene reduseres normalt ved en økning i volum og ved flere og mer effektive anlegg. Et spørsmål er da om råstofftilgangen kan økes for å produsere store volum og hva resulterende priser vil bli.

I figuren under er det vist en illustrasjon av mulig utvikling av markedsprisen for Jet A-1 frem mot 2050. Tallene er hovedsakelig hentet fra NorthWest-studien. I tillegg er det inkludert kostnader knyttet til transport, lagring og andre avgifter (eksl. CO₂). Den blå linjen (Jet A-1) er den forventede utviklingen for Jet A-1 fra fossilt drivstoff. Denne utviklingen følger IEAs World Energy Outlook referansecenario for utviklingen av råoljeprisen. Den grønne linjen (Jet A-1 + karbonkostnad) er den totale markedsprisen for Jet A-1 når man inkluderer de forventede fremtidige karbonkostnadene på fossilt drivstoff. Karbonkostnadene er hentet fra prognosene til UK DECC (2010). Alle prisene i figuren er justert til norske 2012-kroner.

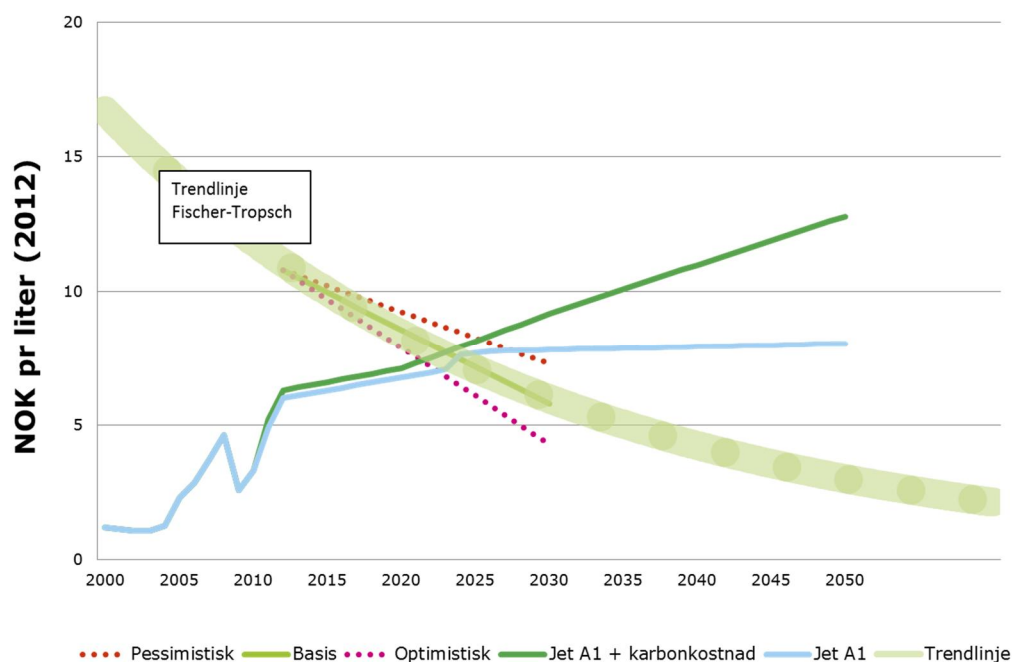
Figur 5-4 - Utvikling av markedspris for Jet A-1, IATA Economics og IEA



Figuren over viser at markedsprisen for Jet A-1 i 2012 er estimert til å være på litt over 6 NOK/liter. Det forutsettes videre at denne øker til om lag 7 NOK/liter i 2020, og videre til om lag 8 NOK/liter i 2025.

I basisscenariet for Fischer-Tropsch er det beregnet en forventet produksjonskostnad i 2025 på ca. 7 NOK/liter. Dette indikerer at teknologien trolig vil kunne være kommersielt tilgjengelig før 2025. Hvis det optimistiske scenariet legges til grunn er det estimert at produksjonskostnadene vil kunne være på nivå for markedsprisen for Jet A-1 i 2021 (ca. 7 NOK/liter). Hvis det pessimistiske scenariet legges til grunn vil produksjonskostnadene være på nivå med markedsprisen for Jet A-1 i år 2026 (ca. 8 NOK/liter). Dette er illustrert i figuren under. Den grønne tykke linjen er trendlinjen for utvikling av produksjonskostnadene for FT. Beregningene inkluderer salg av biprodukter. Hvis man utelukker salg av biprodukter vil ikke FT Jet A-1 kunne være kommersielt tilgjengelig før etter 2030.

Figur 5-5 – Prisutvikling og lønnsomhet for FT-syntetisert Jet A-1 2012-2030, inkl. salg av biprodukter (Alle priser i norske 2012-kroner)⁶⁸



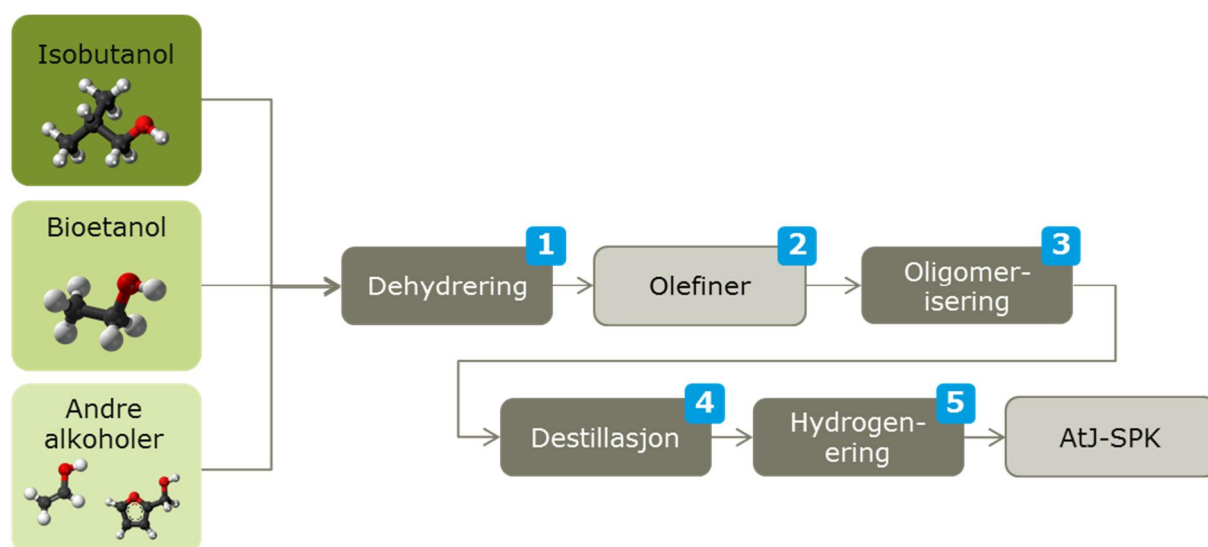
5.3 Forretningskonsept 2 – Alcohol to Jet (AtJ)

På tilsvarende måte som beskrevet i kapittelet for Fischer-Tropsch er det også gjort en beregning av de forventede produksjonskostnadene for Alcohol to Jet (AtJ). Også i dette tilfellet er det antatt at anlegget produserer 27 mill. liter Jet A-1.

I de videre beregningene er det forutsatt at anlegget kjøper inn ferdig produsert bioetanol til markedspris. I denne sammenhengen er bioetanol et halvfabrikat som f.eks. kan produseres fra norsk trevirke, basert på ulike produksjonsprosesser. Det tenkte anlegget som er lagt til grunn for beregningene vil derfor bestå av følgende hovedprosesser:

⁶⁸ Rambøll, Macfarlane, R.; Mazza, P., Allan, (2011), IEA (2012), UK Department of Energy & Climate Change (2010)

Figur 5-6 – Produksjonsprosess for AtJ



Produksjon av Jet A-1 fra bioetanol vil også resultere i flere bi-produkter. SINTEF-utredningen inneholder imidlertid ikke detaljer om disse og hvilke volumer som eventuelt er salgbare. I hvilken grad biproduktene påvirker den totale lønnsomheten i anlegget er derfor ikke blitt analysert.

INVESTERINGSKOSTNADER

AtJ er foreløpig ikke en sertifisert prosess for drivstoff til luftfart. Dette forventes å være på plass innen utgangen av 2014. Produksjonsmetodene for AtJ er imidlertid basert på velkjente teknologiske løsninger som i dag brukes i konvensjonelle anlegg i petroleumsektoren. Det forventes derfor ikke en vesentlig reduksjon i investeringskostnadene for denne type anlegg.

Fra FT-analysen ble det forutsatt at investeringskostnadene lå på om lag 5 NOK/liter. For AtJ er det forutsatt at disse er vesentlige lavere. Resultatene fra SINTEF-studien indikerte at disse kunne ligge under 1 NOK/liter. Som en konservativ tilnærming, er det i de videre beregningene lagt til grunn en investeringskostnad på 1 NOK/liter.⁶⁹

ANDRE KOSTNADER

I likhet med FT-caset så vil det også for AtJ legges til grunn at andre driftskostnader ligger på om lag 2 NOK/liter. Andre driftskostnader i den sammenheng er knyttet sosiale og administrative kostnader, energi, forsikring osv. For AtJ er energikostnadene noe høyere, da det forventes et større behov for innkjøp av elektrisitet. Til gjengjeld antas det at produksjonsprosessene er mer effektive, slik at man samlet sett har de samme driftskostnadene som ved FT. Dette er en forenkling som gir en konservativ tilnærming.

RÅSTOFFBEHOV

Det forutsettes at anlegget kjøper inn bioetanol. Bioetanolen prosesseres videre til Jet A-1 gjennom trinnene vist i Figur 5-6. Gjennom litteratursøk er det avdekket et nokså bredt intervall for hvor mye Jet A-1 man i dag får produsert pr liter bioetanol.

⁶⁹ Med investeringskostnader pr liter så er altså dette annuiteten av hele investeringsbeløpet dividert på antall liter drivstoff anlegget produserer (Levelised CAPEX).

Tabell 5-11 – Konverteringsfaktorer AtJ

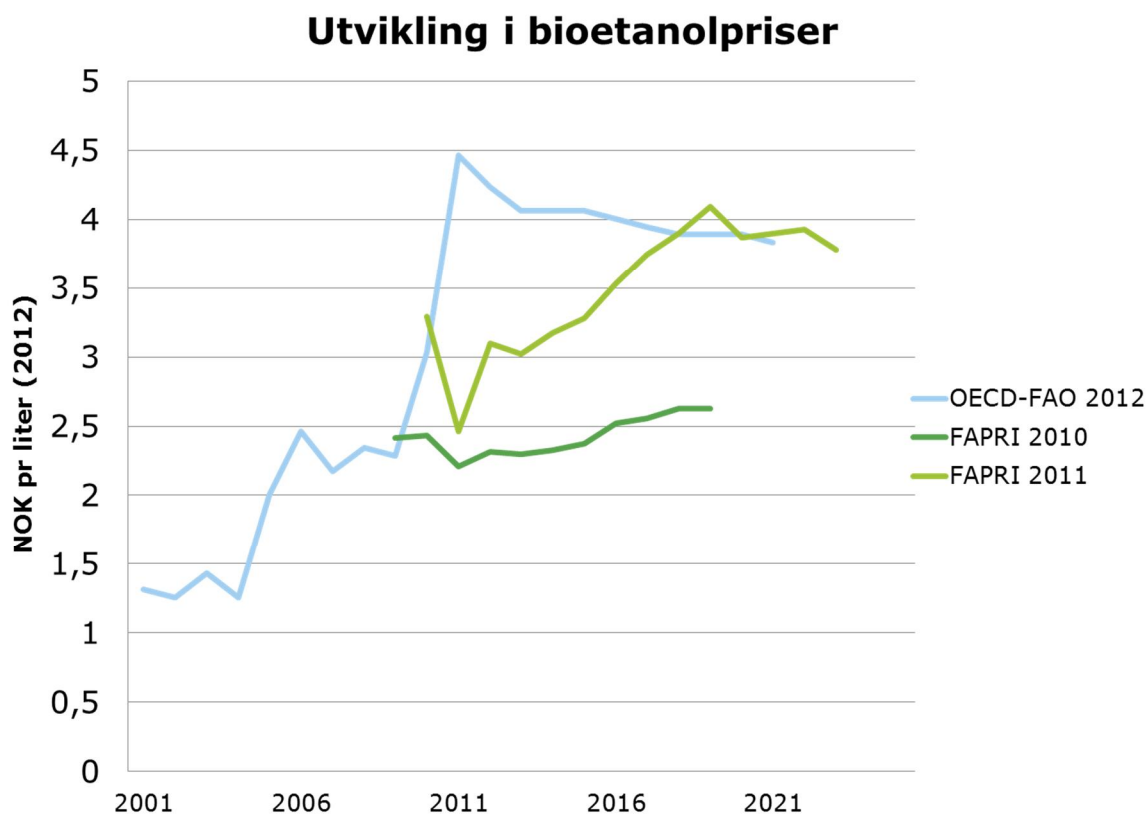
Konverteringsfaktorer	Maks	Min
Kg biomasse pr. liter etanol	3,8	1,4
Liter etanol pr. liter Jet A-1	7,7	2,3

Videre i beregningene er det lagt til grunn et råstoffbehov på 4 liter bioetanol pr liter Jet A-1. Dette er noe høyere enn hva som er lagt til grunn i LCA-analysen i kapittel 6.4. Som følge av usikkerheten i utbyttefaktoren er det altså i økonomiberegningene lagt til grunn et mer konservativt estimat.

RÅSTOFFPRIS

Råstoffbehovet og prisen på råstoffet (bioetanol) vil naturligvis være avgjørende for de totale produksjonskostnadene for Jet A-1. I forbindelse med utredningen er det gjort et forsøk på å estimere pris og antatt produksjon og etterspørsel av bioetanol. Det er svært krevende å gi gode prognoser for dette da sentrale momenter er svært usikre. Ikke minst gjelder dette usikkerhet knyttet til produksjonskostnader, etterspørsel i transportsektoren samt potensial for teknologiutvikling innen bioetanol. Det finnes imidlertid flere offentlige tilgjengelige prognoser. En av disse er FAPRI-prognosene fra 2011 ("FAPRI-ISU 2011 World Agricultural Outlook," 2011). Den viser deres antatte prisutvikling på vannfri bioetanol med utgangspunkt i priser fra det brasilianske markedet (reelle priser). Prognosene har blitt tydelig oppjustert fra året før ("FAPRI 2010 U.S. and World Agricultural Outlook," n.d.). Prognosen fra OECD – FAO fra 2012 er den nyeste tilgjengelige prognosen, og viser noe av den samme trenden som prognosene utarbeidet av FAPRI-ISU i 2011. I Figur 5-7 er konklusjonene fra de ulike studiene illustrert.

Figur 5-7 - Prognoser for markedspriser på bioetanol



De ovennevnte prognosene tilsier at prisen på bioetanol fra biomasse forventes å avta fra og med 2013-2014. I dag antas prisen å ligge på mellom 4- 4,5 NOK/liter. De ulike prognosene som er gjengitt over konkluderer med prisens toppunkt nås tidligere jo nyere prognosene er. Dette kan være en indikasjon på at teknologien for ligno-basert etanolproduksjon begynner å bli moden.

I de videre beregningene er det lagt til grunn at markedsprisen på bioetanol i 2012 er på 6 NOK/liter. Dette er noe høyere enn de ovennevnte markedsprisene. Til gjengjeld er det lagt til grunn at bioetanolen importeres til Norge, slik at produktet vil kunne ha høyere transportkostnader. Det er videre antatt at markedsprisen reduseres til 4 NOK/liter frem mot 2030. Denne utviklingen forutsetter en teknologisk utvikling innen produksjonen av bioetanol.

5.3.1 Beregnede produksjonskostnader Alcohol to Jet

Med en utbyttegrad på 4 liter bioetanol pr liter Jet A-1, samt en bioetanolpris på 6 NOK/liter er de totale produksjonskostnadene for AtJ beregnet for å være på hele 27 NOK/liter Jet A-1. Hvordan de ulike produksjonskostnadene fordeler seg er vist i tabellen under. Råstoffkostnaden (bioetanol) utgjør nærmere 90 % av de totale produksjonskostnadene.

Tabell 5-12 - Produksjonskostnader AtJ

Produksjonskostnader	NOK / liter
Investeringskostnader	1
Andre driftskostnader	2
Råstoffkostnad	24
Sum	27

FREMTIDIGE PRODUKSJONSKOSTNADER AtJ

De fremtidige produksjonskostnadene for AtJ vil først og fremst avhenge av utviklingen av prisen på bioetanol, samt utbyttefaktoren for hvor mange liter Jet A-1 man får ut pr liter bioetanol. Det er lagt til grunn at markedsprisen for bioetanol synker til 4 NOK/liter frem mot 2030. For utbyttegraden (råstoffbehovet) er det lagt følgende scenarier til grunn:

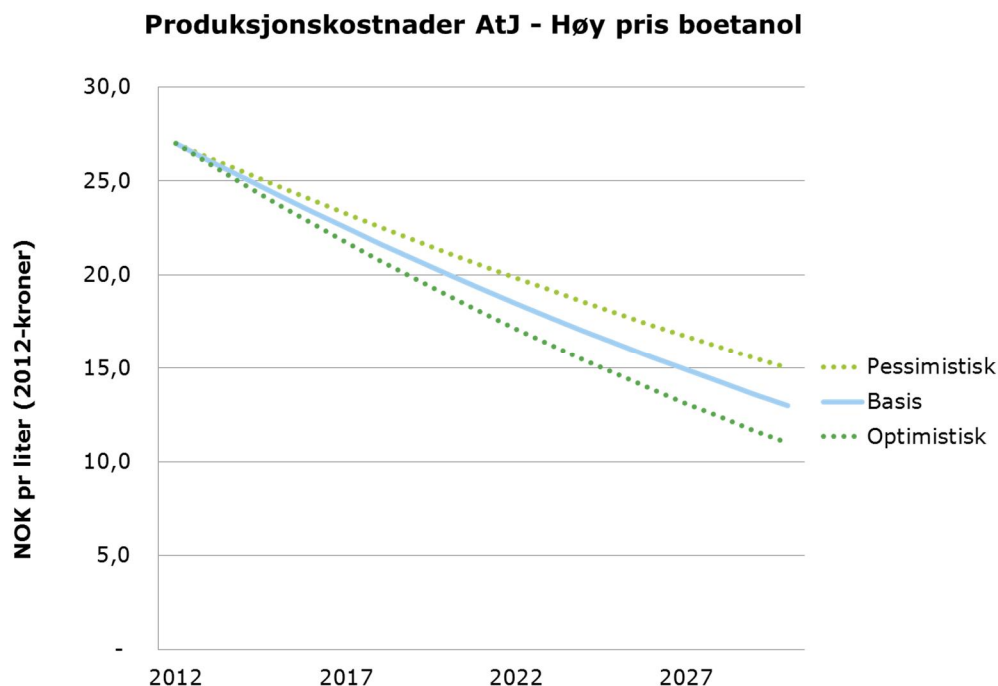
Tabell 5-13 – Utvikling av råstoffbehov

Råstoffbehov (l bioetanol pr l Jet A-1)	2012	2020	2030
Basis	4	3,3	2,5
Optimistisk	4	3,1	2,0
Pessimistisk	4	3,6	3,0

For investeringskostnader og andre kostnader er det forutsatt at disse er på samme nivå som i dag, altså på hhv. 1 NOK/liter og 2 NOK/liter. Dette følger av at prosessene for produksjon av AtJ består av konvensjonell teknologi, og at potensialet for ytterligere kostnadsreduksjon er begrenset.

I figuren under er de estimerte prognosene for utvikling av fremtidige produksjonskostnader illustrert.

Figur 5-8 – Utvikling i produksjonskostnader AtJ

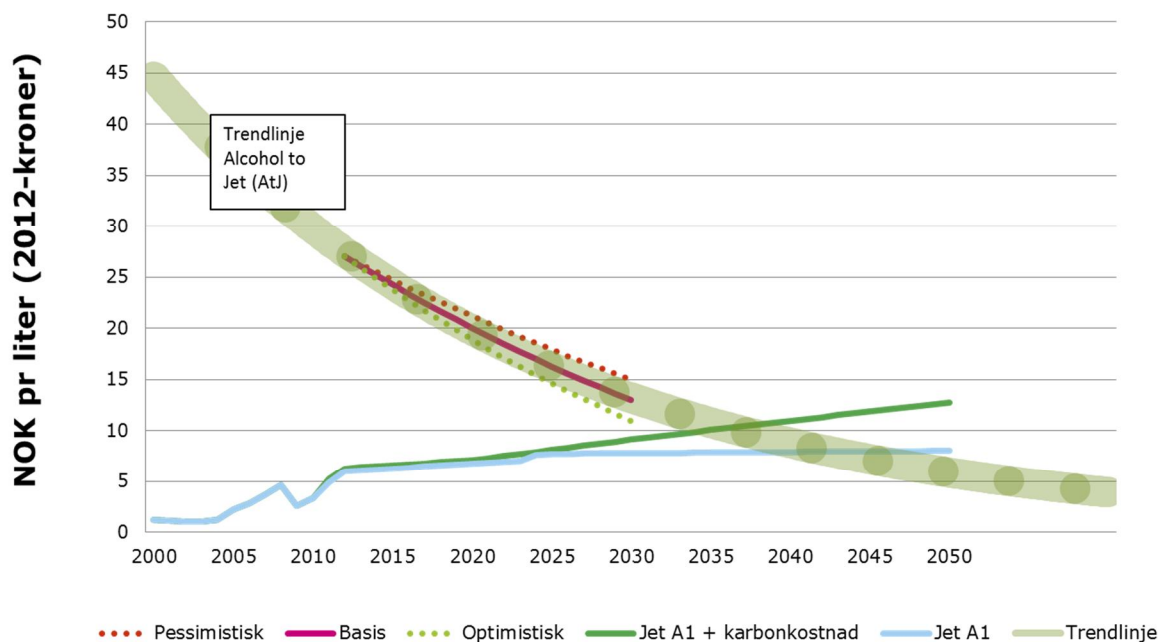


For AtJ vil biproduktene variere i forhold til hvilken prosess som velges da det er mange mulige alternativer. Basert på en valgt prosess må man foreta en dyptgående analyse av kjemisk sammensetning på biproduktene og tilhørende egenskaper for å finne ut hvilke markeder biproduktene kan selges i. Det har dermed ikke vært mulig å estimere inntekspotensialet for salg av biprodukter med foreliggende data, og følgelig kan det heller ikke beregnes en literpris fra AtJ-prosessen hvor biproduktene er medregnet.

Som det ble vist for Fischer-Tropsch, så har salg av biprodukter stor innvirkning på lønnsomheten for anlegget. Som følge av dette er de estimerte produksjonskostnadene for AtJ vurdert til å være langt høyere enn FT, og det kommersielle gjennombruddet forventes å være en del lengre frem i tid.

I figuren under er den forventede utviklingen av produksjonskostnadene for AtJ vist sammen med den forventede utviklingen av markedsprisen for Jet A-1. Den grønne trendkurven i figuren er den forventede utviklingen av produksjonskostnadene for AtJ. Kurven indikerer at teknologien trolig ikke vil være kommersielt lønnsom før etter 2030. Det er viktig å presisere at AtJ-teknologien er svært følsom for endringer bioetanol-prisen. Utvikling av denne vil helt være avgjørende for AtJ-teknologien skal kunne være kommersielt lønnsom. I tillegg vil altså salg av eventuelle biprodukter redusere de totale produksjonskostnadene.

Figur 5-9 – Utvikling for AtJ-produksjonskostnader 2012-2030, uten salg av biprodukter. (Alle priser i norske 2012-kroner)⁷⁰



5.4 Konklusjon produksjonskostnader

For Fischer-Tropsch er produksjonskostnadene i dag estimert til å være på om lag 11 NOK/liter. Investeringskostnadene og råstoffkostnadene utgjør nærmere 90 % av de totale produksjonskostnadene. En vesentlig reduksjon av råstoffbehov kombinert med en sterk reduksjon av investeringskostnadene er essensielt for at Jet A-1 fra en FT-prosess i fremtiden skal kunne være kommersielt lønnsom. De foreløpige estimatene indikerer at teknologien vil kunne være lønnsom før 2025. I det optimistiske scenariet er det kommersielle gjennombruddet estimert til å være i år 2021. Det er svært viktig å presisere at dette forutsetter salg av biproduktene som genereres gjennom produksjonsprosessen (bio-diesel og nafta). Anlegget vil i tillegg til dette også produsere varme. Inntektene fra et evt. varmesalg er imidlertid ikke inkludert i beregningene. Dette vil være avhengig av lokalisering av anlegget. Avsetningen på varmen vil kunne øke lønnsomheten på anlegget ytterligere, og det kommersielle gjennombruddet kan komme enda tidligere.

Produksjonskostnadene for Alcohol to Jet (AtJ) er i 2012 estimert til å være på 27 NOK/liter. Råstoffkostnadene alene utgjør over 90 % av disse. Fremtidig utvikling av prisen på bioetanol er derfor helt avgjørende for kommersialisering av Jet A-1 fra AtJ. Samtidig er det viktig at man også forbedrer utbyttefaktoren for antall liter Jet A-1 pr liter bioetanol anleggene forbruker. For AtJ-teknologien er det ikke funnet tilstrekkelig med informasjon som kan dokumentere inntekspotensialet for salg av biprodukter. Salg av biprodukter vil naturligvis kunne fremskynde det forventede kommersialiseringsgjennombruddet for AtJ.

Det er for øvrig viktig å presisere at de reduserte produksjonskostnadene forutsetter en bred satsning på fornybar Jet A-1, både i Norge og andre land, slik at det gradvis bygges flere pilot- og demonstrasjonsanlegg, og at kompetansen og erfaringene fra dette spres i bransjemiljøene. En nærmere beskrivelse av disse forutsetningene er gitt i vedlegget «Framskrivning av kostnader for biodrivstoffproduksjon».

⁷⁰ Rambøll, Macfarlane, R.; Mazza, P., Allan, (2011), IEA (2012), UK Department of Energy & Climate Change (2010)

5.5 Framtidsscenarier og teknologisk utvikling

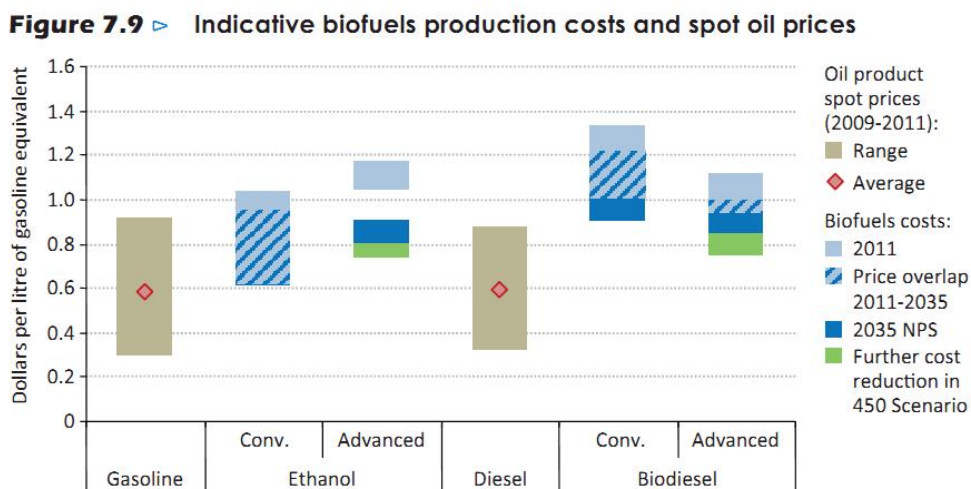
ANDRE SCENARIER OG ANALYSER

Flytende biodrivstoff stod for omtrent 2,7 % av global transportdrivstoff i 2010. Etanolindustrien tok seg opp som følge av økte oljepriser, med en 17 % produksjonsøkning i 2010. USA og Brasil stod for 88 % av global etanol produksjon. USA passerte i 2010 Brasil, og ble verdens ledende eksportør av etanol etter flere år som netto importør. EU er en hovedregion for biodieselproduksjon, men veksten avtar på grunn av økt konkurranse fra billig import. Innenfor produksjonen av avansert biodrivstoff har flere nye og raskt voksende markedsaktører kommet til, sammen med store flyselskap og tradisjonelle oljeselskap (REN21).

IEA har også utført en overordnet framskrivning av forventet produksjonskostnader for biodrivstoff, henholdsvis fossil, konvensjonell og avansert bioetanol og biodiesel. Disse prisene er globale og representerer ikke nødvendigvis alle regioner og type teknologier. Figuren under viser at gjennomsnittlig spotpriser for bensin og diesel har ligget på \$0,6 per liter.

For førstegenerasjons bioetanol forventer IEA at prisene reduseres fra ca. \$1 til 0,6 fram mot 2035. For «advanced biofuels» forventer IEA en prisreduksjon fra i underkant av \$1,2 per liter til overkant av \$0,8 per liter. Prisene er i bensinekvivalenter, dvs. i forhold til energiinnholdet til en liter bensin for å kunne sammenligne med oljepriser.

Figur 5-10 – IEA framskrivninger for produksjonskostnader for biodrivstoff



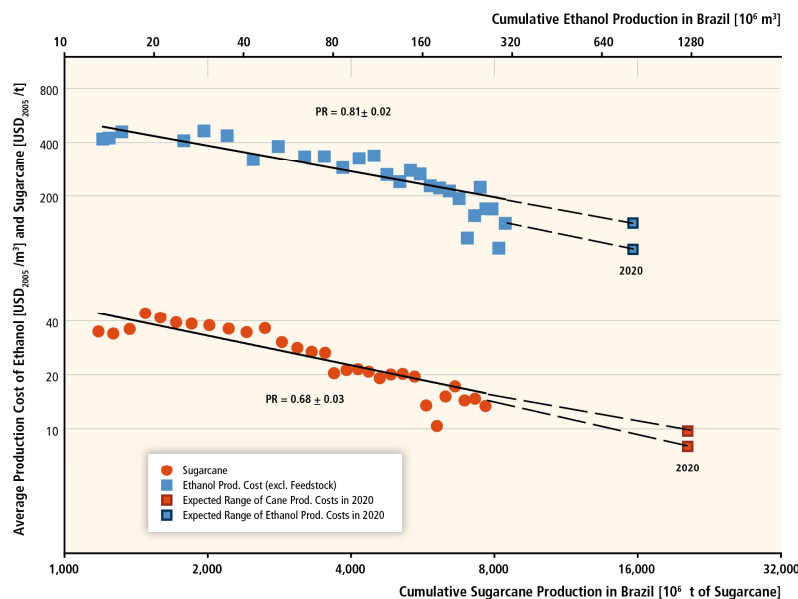
Notes: NPS = New Policies Scenario; Conv. = Conventional. The range of gasoline and diesel spot prices is taken from the monthly average spot price in the United States, Singapore and Rotterdam from 2009 to 2011. Biofuels costs are not adjusted for subsidies; cost variations can be even larger than depicted here, depending on feedstock and region.

Kostnadene for å produsere biodrivstoff er høyere enn fossile drivstoff, med noen unntak, f.eks. bioetanol i Brasil. Produksjonskostnader for biodrivstoff varierer mye fra region til region. Produksjonskostnadene avhenger mye av råstoffpriser, teknologi, jordarter og klima. I Brasil har bioetanol ofte lavere produksjonskostnad på grunn av gunstige jord- og klimaforhold for store avlinger. Etanol fra sukkerroer i Europa eller mais i USA er generelt sett dyrere enn etanol fra Brasil. Biodiesel fra soya-bønner og raps er de mest vanlige råstoffene for biodrivstoff og med fortsatt noe høyere produksjonskostnad enn fossil diesel. IEA anslår at biodrivstoff har et større potensial for kostnadsreduksjoner enn

fossilt drivstoff og antar 10-20 % mellom 2010 og 2035 for New Policies Scenario. Økte fossile oljepriser kan bidra til økt konkurransedyktighet for «advanced biofuels»⁷¹.

IEA opererer med generelle læringsrater World Energy Outlook og Energy Technologies Perspectives for energiteknologier (vann, vind, sol, bio, geotermisk, marint) og biodrivstoff, både for investerings- og produksjonskostnader. *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* (SRREN^[21]) fra FN's klimapanel har samlet sammen læringsrater fra svært mange kilder, både for de nevnte kategoriene av energiteknologier, men også for flere ulike varianter av energiteknologier og komponenter, i tillegg til ulike geografiske områder og ulike tidsrom. Les mer om læringsrater i vedlegget: «Framskrivninger av kostnader for biodrivstoff-produksjon».

Figur 5-11 – Eksempel på historiske læringskurver for biodrivstoff (IEA/SRREN)



IEA gir ingen god definisjon av hvilke investeringskostnader og produksjonskostnader som legges til grunn for læringsratene verken i ETP2010/12 eller WEO2010/12, men har en grundigere gjennomgang i ETP2008, kapittel 5 "Deployment and Technology Learning". SRREN^[21] har mer utdypende forklaringer på hva som legges til grunn for læringsratene og kostnadsparemetene, men hver teknologi har ulike komponenter med ulik læring og ulike kostnader. Det er svært utfordrende å sammenligne kostnader fra prosjekt til prosjekt innenfor hver kategori. I tillegg er det komplekst å sammenligne ulike biodrivstoffteknologier da de består av ulike investeringssammensetninger og ulike finansieringsløsninger.

Utvikling innen bioenergiteknologier, i følge IEA, dreier seg i hovedsak om pålitelighet, bærekraft, økonomisk levedyktighet og effektivitet for gassifisering og andre konverteringsteknologier. Andre utfordringer består av å øke effektiviteten og redusere utslippene i forbrenning. Det er avgjørende med teknologier som kan konvertere ressurser til homogene brensler, øke utbyttet fra restprodukter og avfall fra energivekster (avlinger kun for energiformål) samt å forbedre logistikk⁷². I Norge er høsting, produksjon og logistikk for bioenergiressurser, og alle typer avfall til energi et umodent område. Mange teknologiske løsninger kan importeres, men mye må tilpasses norske forhold gjennom FoU. SRREN^[21] angir læringsrater på ca. 15 % for produksjonskostnader for elektrisitet fra bioenergi, bio-gass- og flis-kostnader i EU fra 80-tallet til slutten av 90-tallet. Dette kan gi indikasjoner på mulige læringsrater for biodrivstoff, selv om det er flere ulikheter mellom elektrisitetsproduksjon og biodrivstoff.

Etanolproduksjon fra sukkerrør og mais i henholdsvis Brasil og USA hadde fra 1980 til 90-tallet læringsrater på ca. 20-30 % for produksjonskostnader, og noe høyere rater fram til 2005.

⁷¹ Oil market outlook, WEO2012 chapter 3

⁷² Energiinnholdet i bioenergi er mye lavere enn for bensin, diesel og kull samt at det ofte har en viss andel fuktighet som gjør at større volummessige andel må transporteres for å levere den samme energimengden som for fossile energibærere

6. KLIMAEFFEKT OG KLIMATILTAKSKOSTNADER

Resultatene fra livssyklusanalysene utført i denne studien viser at forretningskonsept 1 (FT-SPK) gir en reduksjon i klimaeffekt på 81 % i forhold til fossil Jet A-1, mens forretningskonsept 2 gir en reduksjon på 65 %. Begge oppfyller dermed Fornybardirektivets bærekraftskriterie på 60 % reduksjon for nye anlegg etter 2017.

Analysene er basert på EU's gjeldende retningslinjer for beregning av klimaeffekt fra biodrivstoff. EUs retningslinjer er godt forankret, men det er klart at ny forskning vil kunne endre disse, dersom for eksempel karbondjeld, albedoendringer og skogsforryngelse ved hogst regnes med. Resultatene innebærer derfor en viss grad av dynamisk usikkerhet.

Utførte sensitivitetsanalyser viser blant annet at en alternativ tilnærming til biogene utslipp, hvor disse ikke regnes som klimanøytrale, potensielt kan medføre betraktelig høyere klimaeffekt fra de analyserte forretningskonseptene. Samtidig vil andre forhold som albedoendringer og skogsforryngelse ved hogst, samt forventet framtidig teknologiutvikling, tale for en ytterligere reduksjon i klimaeffekt sammenlignet med fossil Jet A-1.

Tiltakskostnadene og utslippsreduksjonene ved implementering av et klimatiltak, f.eks. biodrivstoffproduksjon, kan variere mye avhengig av hvordan systemgrensene defineres, og hva som inkluderes i analysen. Rambøll har utført en livssyklusanalyse og en økonomisk analyse som tar for seg utslipp og økonomi for hele verdikjeden for biodrivstoff til luftfart i Norge. Systemgrensene som ligger til grunn i metodikken i Klimakur er mer begrenset.

Produksjonskostnaden i 2020 for FT Jet A-1 er estimert til å være 3,7 NOK/liter høyere enn markedsprisen for Jet A-1 med salg av biprodukter. Klimatiltakskostnaden beregnes ved at merkostnaden (kr) fordeles på antallet reduserte tonn klimagasser (omregnet til CO₂-ekvivalenter) dvs. at det vil kost 1460 kr å redusere utslippene fra luftfarten med bruk av fornybar Jet A-1 med 1 tonn CO₂ i 2020. Frem mot 2030 forventes det at produksjonskostnadene nærmer seg markedsprisen for Jet A-1. Klimatiltakskostnaden forventes derfor å være redusert til 468 NOK/tonn CO₂. Rambølls beregninger for 2020 viser en høyere klimatiltakskostnad enn estimatet fra Klimakur, mens de estimerte kostnadene i 2030 er på om lag samme nivå.

Dokumentasjon av klimabelastning og sannsynlige produksjonskostnader er sentrale forutsetninger for en eventuell satsing på norsk produksjon av biodrivstoff til luftfart. I begrepet bærekraft inngår flere forhold, herunder klimaeffekt og økonomisk levedyktighet. Livssyklusanalyser, eller Life Cycle Assessments (LCA), er det ledende metodiske verktøyet for å beregne klima- og andre miljøeffekter for produkter, tjenester og systemer. Prinsippet bak en livssyklusanalyse er at alle innsatsfaktorer, og deres tilknyttede miljøpåvirkninger, som inngår i et produkts livssyklus må medregnes i en helhetlig sammenligning av alternative produkter.

6.1 Livssyklusanalyser og forutsetninger

Livssyklusanalyser (LCA) er det ledende metodiske verktøyet for å beregne klima- og andre miljøeffekter for produkter, tjenester og systemer. Gjennomføring av LCA-analyser er definert gjennom flere av ISO-standardene i 14000 serien (herunder 14040 og 14044^{[58][59]}), og deles inn i fire faser, se Figur 6-1. SimaPro v7.3.3^[60] er benyttet som modelleringsverktøy i denne studien.

LCA-analyser gjennomføres vanligvis som en iterativ⁷³ prosess hvor foreløpige resultater kontinuerlig vurderes og modellen utbedres for å sikre at de største bidragene til ulike miljøeffekter blir dekket. Med

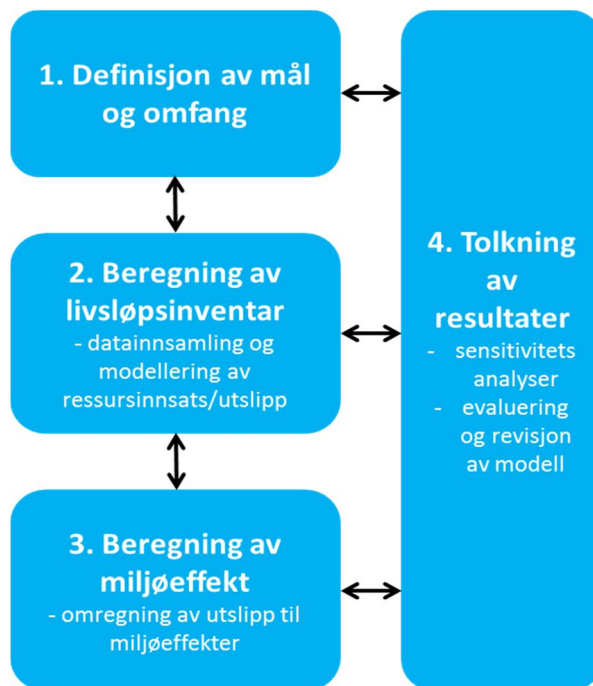
⁷³ Med iterativ menes en repeterende prosess hvor man utvikler modellen i flere steg

andre ord er det ønskelig å fokusere på de innsatsfaktorene og utslippene som utgjør mesteparten av totalen, mens det ikke nødvendigvis er fornuftig å bruke mye tid på detaljert modellering av forhold som uansett kun vil gi små utslag på de samlede resultatene. Sensitivitetsanalyser inngår som en del av denne prosessen. En slik tilnærming har også blitt benyttet i dette prosjektet.

Formålet med LCA-analysene har vært å fokusere på estimert klimaeffekt for de utvalgte forretningskonseptene ved å kvantifisere og drøfte disse.

LCA-analyser kan i prinsippet benyttes for alle kvantifiserbare miljøeffekter, men ettersom det i dette prosjektet er snakk om relativt nye, umodne teknologier, med et tidvis svært begrenset datagrunnlag, har prosjektgruppen valgt å fokusere på klimaeffekt. Rambølls vurdering har vært at datagrunnlaget på nåværende tidspunkt ikke rettferdiggjør en altomfattende, detaljert analyse hvor alle miljøkategorier er inkludert. Videre underbygges denne prioriteringen med at potensialet for redusert klimaeffekt er selve bakgrunnen for utredningen. Likevel, ettersom en livssyklusanalyse prinsipielt bør se på flere miljøkategorier for å unngå at beslutninger bidrar til å løse et miljøproblem mens andre miljøproblemer forsterkes, drøftes det kort senere i hvilken grad Rambølls modell gir store forskjeller i øvrige miljøkategorier for de ulike forretningskonseptene.

Figur 6-1 - Hovedfasene i en livssyklusanalyse



Klimaberegninger for biodrivstoff er et svært komplekst felt, hvor det fortsatt er mye usikkerhet knyttet til metodikk og datagrunnlag. Temaer som karbondjeld, arealbruksendringer (dLUC⁷⁴ og iLUC⁷⁵) og albedo diskuteres i fagmiljøer både nasjonalt og internasjonalt, og det finnes fortsatt ingen bred konsensus eller allmenn anerkjent metodikk for beregning av disse. Arbeidet vanskeliggjøres ytterligere ved at de ulike konverteringsteknologiene innebærer kompliserte prosesser, med et relativt begrenset datagrunnlag.

På bakgrunn av dette, samt prosjektets begrensede omfang, vil disse LCA-analysene kunne ansees som en «screening» hvor hovedformålet er å gjøre en overordnet vurdering av klimaeffekten av de ulike forretningskonseptene i forhold til hverandre, samt i forhold til fossil Jet A-1. Videre vil det være av interesse å se hvilke ledd i verdikjedene som bidrar i størst grad til drivstoffets klimagassutslipp, og herunder vurdere potensialet for forbedringer. Metodikken som er benyttet er i henhold til EUs retningslinjer for beregning av biodrivstoffs klimaeffekt, som beskrevet i Fornybarenergidirektivets Annex V^[33].

Det er i forkant av analysene gjennomført omfattende litteraturstudier for å kartlegge både potensielle datakilder til modellen, men også tidligere utførte analyser av biodrivstoff til luftfart, med tanke på å kunne sammenligne metodikk, data og resultater.

6.1.1 Systemgrenser, funksjonell enhet og allokering

Med systemgrense menes omfanget av inkluderte tjenester og produkter, både oppstrøms og nedstrøms, i det modellerte systemet. Analysene i denne utredningen er såkalte «Well-to-Wing»-analyser,

⁷⁴ dLUC: Direct Land Use Change

⁷⁵ iLUC: Indirect Land Use Change

som innebærer at hele verdikjeden fra dyrking og høsting av råvare fram til og med forbrenning i flymotoren inngår. Effekten av at enkelte utslipp har en relativt større klimaeffekt når disse skjer i høyere luftlag er ikke inkludert i denne studien. Selv om nyere forskning antyder at fossilt drivstoff har noe mer sot og partikler en biodrivstoff antas det at forbrenningen i flymotoren er lik for alle verdikjedene (ref. kapittel 6.3.4), og derfor ikke vil utgjøre en stor forskjell for sammenligningen av alternativene. Verdikjedene for hvert enkelt forretningskonsept er illustrert i kapittel 6.3 og 6.4.

I livssyklusanalyser beregnes og presenteres miljøeffekten til et system ut i fra en valgt funksjonell enhet (FE). Funksjonsenheten til et system viser til tjenesten eller produktet som systemet leverer, det vil si funksjonen systemet tjener. Valget av FE avhenger blant annet av formålet med analysen. For eksempel kan livssyklusanalyser av drivstoff ha en FE basert på fysiske enheter for drivstoffet (f.eks. kg, liter eller megajoule forbrent i motoren) eller basert på enheter for levert tjeneste (f.eks. personkilometer eller tonnkilometer)⁷⁶. Forskjellene mellom disse kan illustreres med et eksempel. Med FE lik 1 MJ forbrent drivstoff vil resultatene representere utslippene i framstillingen og forbrenningen av en megajoule drivstoff, mens med FE lik 1 personkilometer vil resultatene i tillegg inkludere alle andre innsatsfaktorer som skal til for å levere transporttjenester (for eksempel knyttet til drift og vedlikehold av transportmiddel). Sistnevnte FE vil således være mer relevant når man ønsker å analysere miljøeffekt av det å reise med fly, mens førstnevnte er mer relevant når man ønsker å analysere miljøeffekten av et drivstoff. Den funksjonelle enheten i denne studien er 1 megajoule (MJ) fornybar Jet A-1 forbrent i flymotor, da dette er en hensiktsmessig enhet for å oppnå analysenes formål, som er å sammenligne klimaeffekten av ulike verdikjeder for Jet A-1. Videre er valg av en slik funksjonell enhet i henhold til Fornybardirektivets retningslinjer^[33] for beregning av biodrivstoffs klimaeffekt, og forenkler således sammenligning med resultater fra andre livssyklusanalyser på alternative jetdrivstoff.

Ofte leverer en prosess mer enn ett produkt, og utslippene tilknyttet prosessen må derfor allokeres mellom de ulike produktene på en måte som legger til rette for en rettferdig fordeling. Det finnes mange ulike måter å gjøre dette på i LCA-analyser, og hvilken måte som er mest riktig avhenger blant annet av formålet med analysene og de aktuelle prosessenes karakter. Noen ulike former for allokering er:

- Energiallokering – fysisk allokering på grunnlag av produktenes energiinnhold (MJ)
- Masseallokering – fysisk allokering på grunnlag av produktenes masse (kg)
- Økonomisk allokering – allokering på grunnlag av produktenes verdi (NOK)

Økonomisk allokering kan være hensiktsmessig ettersom det er det økonomiske utbyttet som er motivasjonen for en gitt prosess eller aktivitet, og således at de produktene som er mest attraktive bør belastes størstedelen av utslippene forbundet med prosessen. Utfordringen med denne typen allokering er at verdien på produktene ikke vil være konstante over tid, i motsetning til de fysiske parameterne, og at resultatene derfor kun vil være gyldige på et gitt tidspunkt. Videre, ettersom denne studien har et tidsperspektiv fram mot 2020/2025, er det relativt stor usikkerhet knyttet til prisnivåer så langt frem i tid. I denne studien har det derfor blitt benyttet en kombinasjon av masse- og energiallokering.

6.1.2 Datagrunnlag

Ecoinvent-databasen⁷⁷, som ligger i Simapro, inneholder livssyklusdata for flere tusen materialer og prosesser og har dekket en stor del av databehovet i analysene. De fleste prosessene i Ecoinvent er basert på europeiske gjennomsnitt. Der hvor det har vært mulig, ved bruk av andre kilder (rapporter, artikler, o.l.), har disse datasettene blitt modifisert noe slik at de i større grad er representative for norske forhold. Sentrale parametere og antagelser som er benyttet i analysene er nærmere beskrevet

⁷⁶ En personkilometer er enheten for frakt av 1 person over 1 kilometer (eventuelt 2 personer over 0,5 kilometer, osv.), og tilsvarende for tonnkilometer.

⁷⁷ Versjon 2.2 fra mai 2010

i et eget notat, *Livssyklusvurderinger av Jet A-1 biodrivstoff for Fischer Tropsch og Alcohol to Jet prosesser basert på norske råstoff*^[12].

Når det gjelder modellering av forbrenning i flymotor har Ecoinvent-datasettet «Operation, aircraft, passenger, Europe/RER» blitt benyttet. Denne oppgir utslipp per personkm, men kan også brukes til å beregne utslipp per kg drivstoff. Datasettet er basert på europeiske gjennomsnittsverdier for interkontinentale flygninger. Basert på en energitetthet for Jet A-1 lik 43,2 MJ/kg har utslipp for 1 MJ drivstoff blitt beregnet.

Modellering av selve konverteringsprosessene, fra biomasse til Jet A-1, er ikke overraskende den delen av modellen hvor datagrunnlaget har vært tynnest. Ettersom dette er komplekse teknologier hvor det er begrenset med erfaringsdata, har fokus har vært på å fange opp de viktigste parameterne som påvirker biodrivstoffets klimaeffekt, for eksempel konverteringseffektiviteter (dvs. masse- og energibalans), energibehov og produksjonsutbytte, forholdet mellom ulike delstrømmer ut av anleggene og direkte utslipp på anleggene. Det bør også nevnes at det finnes mange ulike teknologier og valgmuligheter innenfor hver konverteringsrute, og at parameterne ovenfor kan variere betydelig ut i fra hvordan anleggene optimaliseres (f. eks. maksimere Jet A-1, maksimere nafta osv.).

6.1.3 Metode for beregning av klimaeffekt

I livssyklusanalyser betegnes gjerne klimaeffekt som *Global Warming Potential (GWP)*. I beregningen av et systems GWP regnes ulike klimagassutslipp (CO_2 , CH_4 , N_2O , osv.) om til CO_2 -ekvivalenter ut i fra deres respektive klimaeffekt. Her vil de ulike gassenes evne til å blokkere den langbølgede strålingen som jorda reflekterer være en viktig faktor, men tidsperspektivet er også viktig ettersom noen gasser lever lengre enn andre i atmosfæren. Det er vanlig å operere med en tidshorisont på 100 år (GWP_{100}), som også benyttes i Kyoto-protokollen. Med en slik tidshorisont er for eksempel metan (CH_4) en klimagass som har 25 ganger høyere klimaeffekt enn karbondioksid (CO_2), og derfor tilegnet en GWP-faktor lik 25 kg CO_2 -ekv. per kg CH_4 ^[32]. Ved en kortere tidshorisont vil metans GWP-faktor være høyere ettersom dette er en gass som brytes ned raskere enn CO_2 , og derfor har et relativt større bidrag dersom man kutter ned på tidshorisonten. Tilsvarende vil faktoren være lavere ved en lengre tidshorisont enn 100 år.

Det finnes flere ulike modeller for å omregne klimagassutslipp til faktiske klimaeffekter, og disse varierer noe med tanke på hvilke klimagasser som er inkludert, samt deres respektive GWP-faktorer. ReCiPe Midpoint (H) v1.07 er benyttet i denne studien, ettersom dette er en svært anerkjent og mye brukt metode i livssyklusanalyser.

6.1.4 Spesielle metodiske utfordringer

Klimaberegninger for biodrivstoff er utfordrende av flere årsaker. I tillegg til at det eksisterer relativt lite erfaringsdata på flere av konverteringsteknologiene og verdikjedene, er det fortsatt pågående diskusjoner omkring hvordan nøkkelaspekter ved biomasseproduksjon, som karbondjeld, albedoendringer og arealbruksendringer (direkte og indirekte), skal inkluderes i klimaberegninger. Grunnet denne uenigheten er det heller ingen anerkjent metodikk for å kvantifisere alle disse effektene, selv om flere ulike modeller er foreslått.

De store usikkerhetene knyttet til disse aspektene, i kombinasjon med deres potensielt avgjørende innvirkning på resultatene, gjør at det er vanskelig å trekke endelige konklusjoner omkring et biodrivstoffs faktiske klimaeffekt^[61].⁷⁸

Det er lite sannsynlig at fagmiljøene vil bli enige i løpet av de nærmeste årene, og i mellomtiden vil kommersielle aktører måtte forholde seg til dagens metodikk for beregning av klimaeffekt fra biodrivstoff (ref. Fornybardirektivet Annex V). Grunnet den potensielle signifikansen av disse metodiske usik-

⁷⁸ Dette gjelder for så vidt også andre bioenergisystemer, for eksempel produksjon av varme og elektrisitet

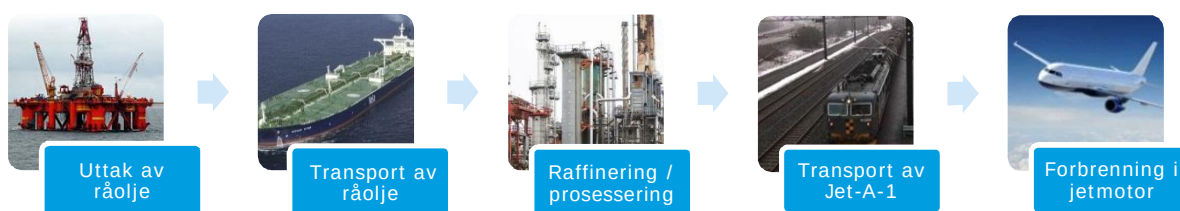
kerhetsmomentene er det viktig at klimaberegninger for biodrivstoff også drøfter disse, enten kvalitativt eller med sensitivitetsanalyser dersom det er mulig å kvantifisere usikkerhetene. Dette er avgjørende for at analysene skal kunne gi et riktig bilde av de teoretiske usikkerhetene som er knyttet til klimaeffekten av biodrivstoff, og dermed gjøre beslutningstakere i stand til å vurdere eventuell risiko for at det aktuelle biodrivstoffet i virkeligheten kan ha en høyere/lavere klimaeffekt enn det dagens metodikk antyder.

Karbongjeld og albedo er diskutert videre i kap. 6.5, ettersom disse er spesielt relevant i forhold til boreal skog.

6.2 Fossilt referansecase

Dagens fossile flydrivstoff (Jet A-1) består av parafiner og er laget ved raffinering av råolje i en destilleringsprosess. Jet A-1 som brukes i norske flygninger produseres for det meste i Norge, ved raffineriet på Slagentangen, hvor 90 % av råoljen kommer fra norsk sokkel^[12]. I denne studien har derfor norsk produksjon av Jet A-1, basert på råolje utvunnet i Nordsjøen, blitt lagt til grunn som et referansecase for klimaeffekt, og for å sammenligne med innkjøpspriser for Jet A-1. Figuren under viser verdikjeden for fossil Jet A-1.

Figur 6-2 - Verdikjede for referansecase for fossil Jet A-1



Et anlegg for biodrivstoff kan lokaliseres på flere egnede steder, og det er sannsynlig at raffineriet på Slagentangen også kan ta i mot parafiner for videre oppgradering til fornybar Jet A-1 som oppfyller de tekniske kravene.

Livssyklusdata for prosesser knyttet til oljeutvinning og raffinering, inkludert egne datasett for oljeproduksjon på den norske kontinentalsokkelen er godt dokumentert.⁷⁹ Der har derfor kun vært nødvendig med mindre endringer av transportdistanse for råoljetransport (fra Nordsjøen til Slagentangen) og benyttet elmiks i raffineringen (NORDEL) for å tilpasse datasettene til den aktuelle verdikjeden.

Råolje fra Nordsjøen transporteres til et raffineri på Slagentangen med lasteskip (ca. 500 km). Transport fra raffineri til mellomlagring på Sjørsøya (ca. 100 km) foregår med mindre transportskip, og den videre transporten fra mellomlagring til Gardemoen foregår med tog (ca. 100 km).

6.2.1 Livssyklusanalyser for referansecase

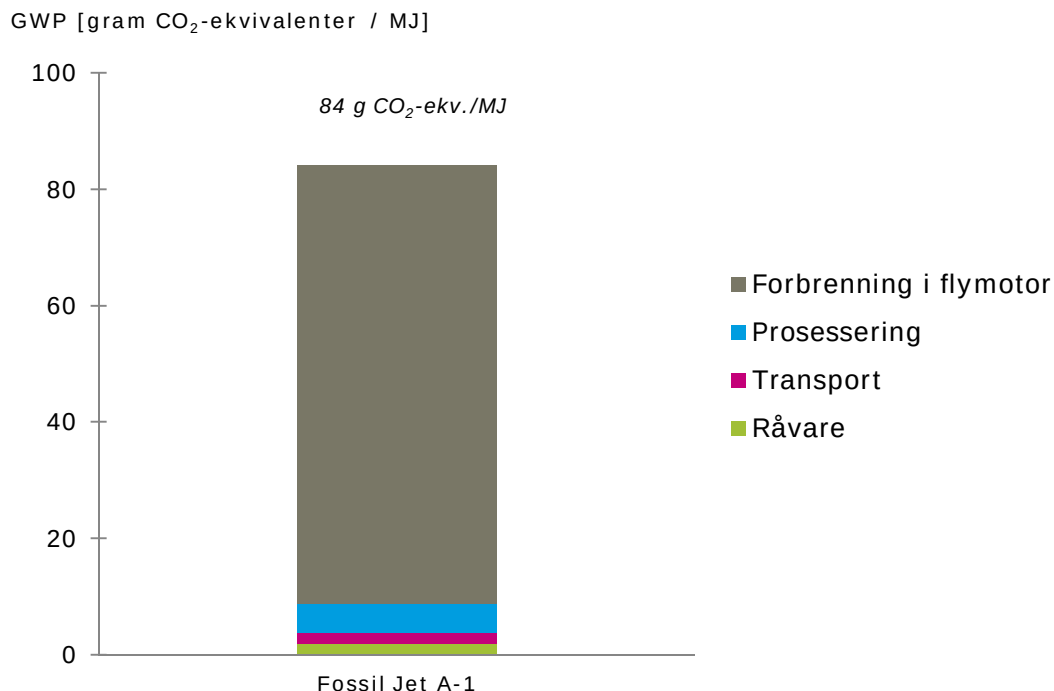
Figur 6-3 viser GWP-resultatene i gram CO₂-ekvivalenter per MJ forbrent drivstoff, for det fossile referansecaset.

Råvarekategorien representerer utslippene forbundet med leting og oljeproduksjon, mens prosesseringskategorien representerer utslippene forbundet med raffineringsprosessene som trengs for å produsere Jet A-1 fra råolje. Transportkategorien inkluderer transport av både råolje til raffineri og ferdig

⁷⁹ Selve Ecoinvent datasettene presenteres ikke detalj her, for det henvises de til Ecoinvents egne dokumentasjonsrapporter [66].

drivstoff fra raffineri til lufthavn, mens forbrenningen i flymotoren representerer de direkte utslippene i bruksfasen.

Figur 6-3 - Well-to-wing GWP-resultater for referansecase (fossil Jet A-1)



For fossil Jet A-1 produsert i Norge, gir LCA-modellen et resultat på 84 gram CO₂-ekvivalenter per MJ. Dette er noe lavere (ca. 5 %) enn Ecoinvents europeiske gjennomsnittsutslipp for fossilt Jet A-1, som primært er grunnet bruk av nordisk elmiks i alle underprosesser, men også at all uttak av råolje foregår i Nordsjøen. Europeiske raffinerier vil typisk ha råvareinput fra ulike oljeproduksjonssteder, noe som vil øke transportetappene.

Resultatene er også vist i tabellform, med både absolutte verdier for hver kategori samt deres respektive bidrag til drivstoffets totale klimaeffekt.

Tabell 6-1- Well-to-wing GWP-resultater for referansecase (fossil Jet A-1)

	Fossil Jet A-1				
	Råvare	Transport	Prosessering	Forbrenning i flymotor	Totalt
Absolutte verdier (g CO ₂ -ekv. / MJ)	2	2	5	75	84
Relative bidrag (%)	2 %	2 %	6 %	90 %	100 %

6.3 Forretningskonsept 1 – Fischer Tropsch Jet A-1

Et aktuelt forretningskonsept for norsk produksjon av biodrivstoff med Jet A-1-kvalitet er konvertering av norske skogsråvarer via gassifisering og Fischer-Tropsch-syntetisering. En slik konvertering blir også referert til som FT-SPK⁸⁰. Figuren under viser verdikjeden for dette forretningskonseptet.

Figur 6-4 - Verdikjede for Forretningskonsept 1 med FT-SPK



6.3.1 Avvirkning og transport av råvarer

Basert på vurderingene i arbeidspakken om norske skogsråvarer fra UMB har prosjektgruppen konkludert med at avfall fra treforedlingsindustri, massevirke og GROT⁸¹ er de mest relevante råvarene for norsk produksjon av biodrivstoff med tanke på bærekraft, pris og potensielt volum. Datagrunnlaget for beregningen av utslipp og innsatsfaktorer knyttet til avvirkning og transport av råvarene er hentet fra Ecoinvent-databasen og andre kilder^[12] hvor spesifikke forhold ved norsk skogsdrift, og for norske tresorter, er beskrevet.

Ettersom aktivitetene knyttet til avvirkningen er felles for både GROT og massevirke har miljøpåvirkningen fra disse blitt allokert ved hjelp av masseallokering, som resulterte i at GROT belastes for ca. 20 %, mens massevirke belastes med ca. 80 % av utslippene. GROT antas buntet i skogen for å sikre en mer effektiv transport (mer transportert mengde og lavere massetap). Gjennomsnittlig distanse fra hogstområde til skogsvei er satt til 600 m^[12], og transporten antas utført ved hjelp av traktor med tilhenger. Gjennomsnittlig transportdistanse fra skogsvei til anlegg er satt til 40 km^[12] der transporten forgår med tømmerbiler langs vei.

6.3.2 Konverteringsprosess

Det antas i denne studien at sortimentene av GROT og massevirke flises og tørkes ved ankomst på FT-SPK-anlegget, før den tørre flisen deretter benyttes som innsatsfaktor i produksjonen. Det er lagt til grunn at skogressursene har et fukttinnhold på 50 % ved høsting, og tørkes til 10 % før gassifiseringen. Det er videre forutsatt at 70 % av det totale råvarebehovet består av massevirke og følgende 30 % fra GROT, basert på vurderinger fra UMBs delutredning^[4].

FT-SPK -prosessen består av flere ulike steg, som er nærmere beskrevet i hovedrapporten. På grunn av et svært begrenset datagrunnlag ble det fokusert på de parameterne med antatt størst betydning for prosessens totale klimaeffekt. Både innsatsfaktorer (herunder råvarer og ekstern energi), direkte utslipp og resulterende produkter er forsøkt inkludert i modellen etter beste evne. En tilsvarende studie til denne studien for Arlanda flyplass, utført av Värmeforsk i 2009^[64] er benyttet som hovedkilde for nøkkeltall som effektiviteter, energibehov og utbyttmengder. Anlegget er antatt tilnærmet selvforsynt på elektrisitet og varme i form av forbrenning av deler av biomassen⁸². Videre er det antatt at anlegget leverer varme til nærliggende fjernvarmesystem, i tillegg til utbyttet fra raffineringsses-

⁸⁰ Fischer-Tropsch Syntetic Parafinic Kerosene

⁸¹ Hogstavfall i form av grener og topper (GROT)

⁸² Eksternt kraftbehov er i følge Arlanda- studien kun 8 % av totalt kraftbehov^[12]

sen (dvs. diesel, nafta og Jet A-1). Direkte utslipp fra selve prosesseringen (utenom intern energiproduksjon) er hentet fra Swanson et.al.^[12].

Basert på et utvalg publiserte rapporter og artikler^[12] om emnet, samt teoretiske beregninger utført av Rambøll, har Rambøll definert typiske intervaller for konverteringseffektiviteter for FT-SPK - prosessen. I modelleringen ble det benyttet gjennomsnittsverdier for disse intervallene. Disse er gjengitt i tabellene under for henholdsvis masse- og energikonverteringsgrader.

Tabell 6-2 – Masskonverteringsfaktorer for Forretningskonsept 1

Konverteringsgrad (massebasis)	η_1 Biomasse til FT-væsker	η_2 FT-væsker til Jet A-1	η_{TOT} Biomasse til Jet A-1
Typisk intervall	0,15 - 0,27	0,59 - 0,71	0,10 - 0,18
Benyttet verdi	0,21	0,65	0,14

Tabell 6-3 – Energikonverteringsfaktorer for Forretningskonsept 1

Konverteringsgrad (energibasis)	η_1 Biomasse til FT-væsker	η_2 FT-væsker til Jet A-1	η_{TOT} Biomasse til Jet A-1
Typisk intervall	0,39 - 0,62	0,58 - 0,72	0,23 - 0,45
Benyttet verdi	0,50	0,65	0,34

Noe av biomassen som går inn i anlegget benyttes til produksjon av elektrisitet og varme for intern bruk. Basert på effektivitetene over ble andelen biomasse til dette formålet estimert. Deretter ble standardprosesser i Ecoinvent for forbrenning av flis i kjel benyttet for å beregne direkte utslipp fra anlegget i forbindelse med energiproduksjon. Allokeringen av FT-SPK-prosessens totale utslipp, direkte og indirekte⁸³, er gjennomført på bakgrunn av sluttproduktenes energiinnhold. Dette ga en fordeling hvor produksjonen av Jet A-1 tilegnes 38 % av utslippene knyttet til anlegget.

6.3.3 Transport av Jet A-1 til Gardermoen

Det forutsettes en transportavstand fra prosesseringsanlegget til Gardemoen på 100 km, der transporten vil foregå med tankbiler langs vei. Disse opplysningene er basert på resultatene fra delutredningen utført av Analyse & Strategi^[5].

6.3.4 Forbrenning i flymotor

Forbrenningen av drivstoff i flymotoren er antatt lik som i det fossile referansecaset som beskrevet i kapittel 6.1.2. Begrunnelsen for en slik antagelse er at Jet A-1 standarden er svært streng, noe som medfører tilnærmet homogene produkter uavhengig av råvare og/eller produksjonsrute. Det kan imidlertid være mindre forskjeller mellom de ulike Jet A-1 produktene. For eksempel har Lufthansa i sitt omfattende testprogram identifisert en energitetthet for biobasert Jet A-1 som er 1-2 % høyere enn fossil Jet A-1. Da det foreløpig finnes lite tilgjengelig dokumentasjon på forbrenningstekniske erfaringer med syntetisk biobasert Jet A-1, forutsettes det i denne studien at all biomassebasert Jet A-1 forbrennes med like utslipp som fossil Jet A-1.

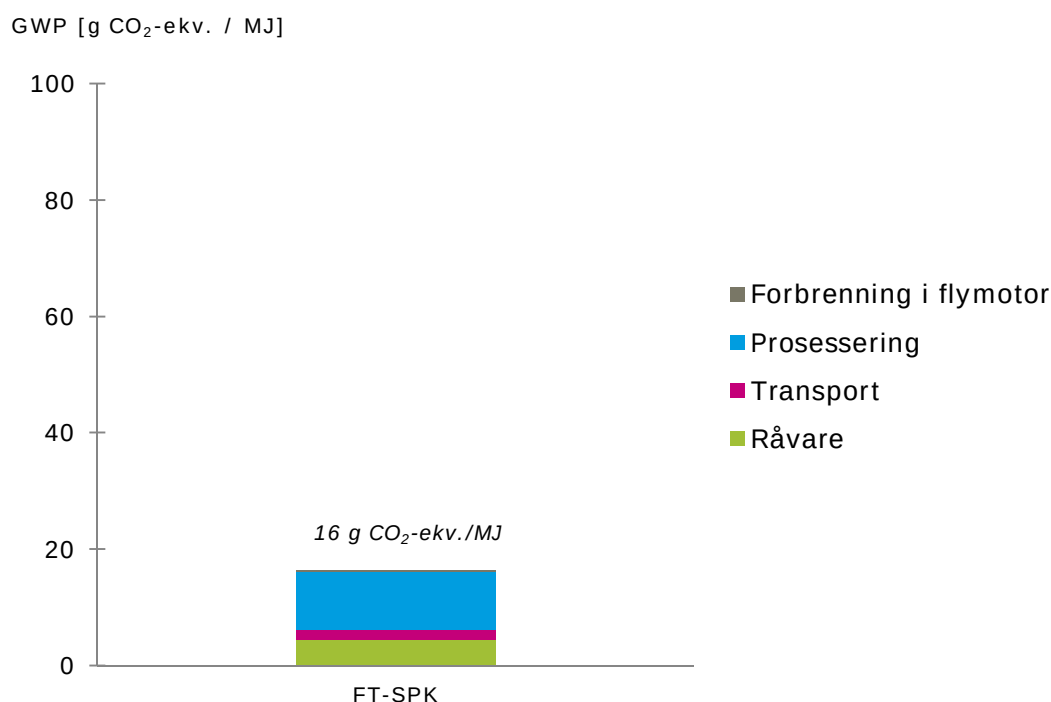
⁸³ Utslipp som skjer andre steder som følge av bruk av innsatsfaktorer

6.3.5 Livssyklusanalyser for forretningskonsept 1

Figurene under viser GWP-resultatene i gram CO₂-ekvivalenter per MJ drivstoff forbrent for biodrivstoff produsert som beskrevet i forretningskonsept 1.

Råvarekategorien representerer utslippene forbundet med avvirkning og flising av biomassen, mens prosesseringskategorien representerer utslippene forbundet med tørkingen av flis og konverteringen av flis til Jet A-1 i FT-SPK-prosessen. Transportkategorien inkluderer transport av både råvarer og ferdig drivstoff, mens forbrenningen i flymotoren representerer de direkte utslippene i bruksfasen.

Figur 6-5 - Well-to-wing GWP₁₀₀-resultater for Forretningskonsept 1 – Fischer Tropsch



Tabell 6-4 - Well-to-wing GWP₁₀₀-resultater for Forretningskonsept 1

	GWP ₁₀₀				
	Råvare	Transport	Prosessering	Forbrenning i flymotor	Totalt
Absolutte verdier (g CO ₂ -ekv. / MJ)	5	2	10	0	16
Relative bidrag (%)	28 %	10 %	61 %	1 %	100 %

Total GWP₁₀₀ for FT-SPK er beregnet til 16 gram CO₂-ekvivalenter per MJ. Dette tilsvarer en redusert klimaeffekt på 81 % i forhold til referansecaset med fossil Jet A-1. Resultatene viser dessuten at selve konverteringen av biomasse til biodrivstoff er den største bidragsyteren til biodrivstoffets samlede klimagassutslipp, mens råvareproduksjon også utgjør en betydelig andel. De samlede utslippene fra transport utgjør en relativt liten andel av drivstoffets totale klimaeffekt, mens bidraget fra forbrenningsfasen er tilnærmet null ettersom biogen CO₂ regnes som klimanøytralt i henhold til Fornybardirektivets retningslinjer.

6.4 Forretningskonsept 2 – Bioetanolanlegg med oppgradering ved Alcohol to Jet (AtJ)

Fornybar Jet A-1 via andregenerasjons bioalkoholer er det andre forretningskonseptet som har blitt identifisert som en godt egnet verdikjede for norske forhold. Analysen har beregnet klimautslipp og produksjonskostnader for konvertering av norske skogsråvarer, først til bioetanol og deretter videre oppgradering til Jet A-1 (Alkohol-to-Jet). Det er antatt at begge produksjonstrinn foregår på samme anlegg. Figuren under viser verdikjeden for dette forretningskonseptet.

Figur 6-6 - Verdikjede for Forretningskonsept 2: Bioetanol + AtJ



Ulike alkoholer kan brukes som basis for Jet A-1 drivstoffet, men de mest vanlige er metanol, etanol, og iso-butanol. Det er i denne studien valgt å gjøre analyse av bioetanol fra norske skogressurser, ettersom dette er en teknologi hvor Norge har mye kompetanse, blant annet gjennom Borregaard og Weyland, samt Statoil sitt forskningsinitiativ innen bioetanol fra makroalger. Det satses dessuten også på videre prosessering av bioetanol fra skogressurser til Jet A-1 i Sverige ved blant annet Swedish Biofuels.

6.4.1 Avvirkning og transport av råvarer

For avvirkning og transport av skogsråvarene gjelder samme antagelser som for Forretningskonsept 1 (ref. kapittel 6.3.1). Med andre ord at utslippene knyttet til produksjonen av GROT og massevirke er allokert med 20 % til GROT og 80 % til massevirke, gjennomsnittlig distanse fra hogstområde til skogsvei er 600 m og transportdistanse fra skogsvei til anlegg er 40 km langs vei.

6.4.2 Konverteringsprosess biomasse til bioetanol og oppgradering til Jet A-1

Eksisterende prosesser i Ecoinvent er benyttet for konvertering av biomasse til etanol. Disse prosessene tilsvarende svenske forhold og gjelder for bioetanol basert på svensk trevirke. Det er som i FT-SPK forutsatt at per kg råvare som kommer inn til konverteringsanlegget er 0,7 kg massevirke og 0,3 kg GROT, med utslippsallokeringene nevnt over.

Videreforedlingen av alkoholer til jetdrivstoff (AtJ) inkluderer flere prosesseringstrinn, som kan variere mellom ulike teknologier i forhold til hvilken teknologi som skal prosesseres, optimalisering av sluttprodukter og patenter til eierne av produksjonsanlegget. For AtJ-teknologiene finnes det svært lite tilgjengelig data, men prosessstegene er tilnærmet like de som benyttes i petrokjemien og Ecoinvent-data fra fossile raffineringprosesser er derfor benyttet for disse stegene.

Som for FT-SPK-prosessen ble det også her forsøkt definert typiske intervaller for konverteringseffektivitet. Datagrunnlaget her er vurdert som noe mer usikkert, og det viste seg vanskelig å finne fram til gode kilder for energikonverteringsgrader. Benyttet massekonverteringsgrad for biomasse til etanol (51 %) er basert på verdiene i Ecoinvent-datasettet for slik produksjon. Øvrige verdier er, som for Forretningskonsept 1, basert på en litteraturstudie av faglitteratur på området ^[12].

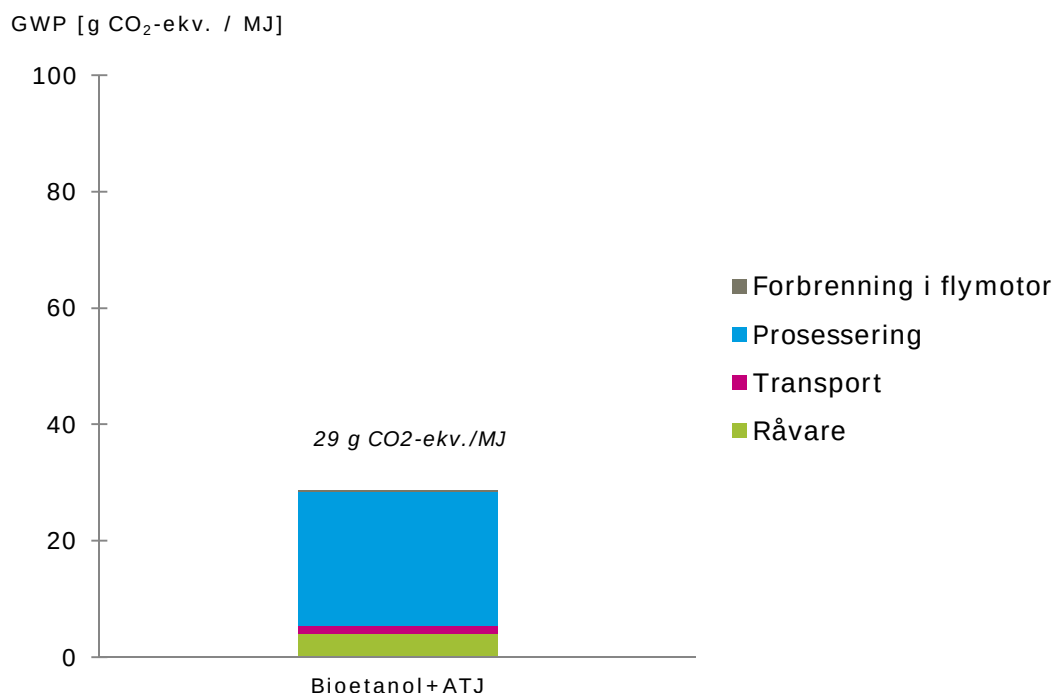
Tabell 6-5 - Masskonverteringsfaktorer for Forretningskonsept 2 (Bioetanol+AtJ)

Konverteringsgrad (massebasis)	η_1 Biomasse til etanol	η_2 Etanol til Jet A-1	η_{TOT} Biomasse til Jet A-1
Typisk intervall	0,21-0,57	0,12-0,44	0,03-0,25
Benyttet verdi	0,51	0,27	0,14

For forretningskonsept 2 for AtJ antas flere av forholdene å være like som for forretningskonsept 1 slik at sentrale elementer i prosessen kan sammenlignes. Transport av Jet A-1 til Gardermoen antas en transportavstand på 100 km, der transporten vil foregå med foregå med tankbiler langs vei. Forbrenningen i flymotor er antatt lik som i de øvrige verdikjedene (ref. kapittel 6.1.2 og 6.3.4).

6.4.3 Livssyklusanalyser for Forretningskonsept 2 (AtJ)

Råvarekategorien representerer som før utslippene forbundet med avvirkning og flising av biomassen. Prosesseringskategorien representerer her utslippene forbundet med konverteringen av flis, først til bioetanol, og deretter videre til Jet A-1 i AtJ-prosessen. Transportkategorien inkluderer transport av både råvarer og ferdig drivstoff, mens forbrenningen i flymotoren representerer de direkte utslippene i bruksfasen.

Figur 6-7 - Well-to-wing GWP₁₀₀-resultater for Forretningskonsept 2 (Bioetanol+AtJ)Tabell 6-6 - Well-to-wing GWP₁₀₀-resultater for Forretningskonsept 2 (Bioetanol+AtJ)

	GWP ₁₀₀				
	Råvare	Transport	Prosessering	Forbrenning i flymotor	Totalt
Absolutte verdier (g CO ₂ -ekv. / MJ)	4	2	23	0	29
Relative bidrag (%)	14 %	5 %	80 %	1 %	100 %

Total GWP_{100} for Jet A-1 drivstoff produsert via AtJ (basert på bioetanol fra norsk skog) er beregnet til 29 gram CO_2 -ekvivalenter per MJ. Dette tilsvarer en redusert klimaeffekt på 65 % i forhold til referansecaset med fossil Jet A-1. Som i tilfellet for FT-SPK (forretningskonsept 1) viser resultatene at selve konverteringen av biomasse til biodrivstoff er den største bidragsyteren til biodrivstoffets samlede klimagassutslipp. Råvareproduksjon, transport og forbrenning utgjør tilsvarende utslipp som for FT-SPK, og således er det utslippene forbundet med konverteringsprosessene som gjør at dette forretningskonseptet kommer dårligere ut klimamessig.

6.5 Diskusjon og sensitivitetsanalyser

BIOGENE CO_2 -UTSLIPP OG ALBEDOEFFEKT

Det mest vanlige i LCA-analyser har lenge vært å anse biogene CO_2 -utslipp, dvs CO_2 -utslipp med biogen opprinnelse, som klimanøytrale. Begrunnelsen er at den samme mengden CO_2 som slippes ut ved forbrenning vil bli absorbert i nye vekster, og således vil systemet være karbonnøytralt. Denne metodikken benyttes blant annet i Fornybardirektivets retningslinjer for klimaregnskap for biodrivstoff, samt i flertallet av gjennomførte LCA-analyser på biodrivstoff, og har derfor også blitt benyttet i denne studien.⁸⁴

De senere årene har det imidlertid oppstått diskusjon rundt denne praksisen, ettersom tidsaspektet også spiller en rolle for klimagassutslippenes faktiske bidrag til global oppvarming. Kritikken av dagens praksis går i hovedsak ut på at all CO_2 opptretilsvarende i atmosfæren, enten den er avfossil eller biogen opprinnelse, og at det for forbrenning av biomasse derfor bør skilles på karbonnøytralitet og klimanøytralitet. For eksempel vil hogst, og påfølgende forbrenning, av et tre i dag medføre utslipp som vil tilbringe mange tiår i atmosfæren før den samme mengden er absorbert i ny skog. I mellomtiden vil utslippene bidra til global oppvarming. Så selv om denne syklusen er karbonnøytral vil den ikke nødvendigvis være klimanøytral. Fenomenet kalles gjerne for karbongjeld, eller karbonets tilbakebetalingstid, og kan teoretisk ha stor påvirkning på et biodrivstoffs klimaeffekt, særlig dersom drivstoffet stammer fra saktevoksende biomasse, som for eksempel boreal skog.

Forskere ved NTNU og CICERO har modellert klimaeffekten fra biogene CO_2 -utslipp med en GWP_{biogen,CO_2} -faktor, for ulike vekster med ulik omløpstid⁸⁵. Denne GWP -faktoren vil også variere avhengig av hvilket tidsperspektiv som legges til grunn på klimagassutslipp i beregningene. Dersom vi antar at boreal skog har en gjennomsnittlig omløpstid på 100 år, samt forutsetter en tidshorisont på 100 år for klimagassutslipp (GWP_{100}), gir modellen en GWP_{biogen,CO_2} -faktor lik 0,43 [$kg\ CO_2$ -ekv/ kg biogen CO_2]. Det betyr at biogene CO_2 -utslipp fra biomasse med en omløpstid på 100 år vil ha en klimaeffekt tilsvarende 43 % av samme mengde utslipp av fossil CO_2 . Biomassevekster med kortere omløpstid vil i følge modellen ha en lavere klimaeffekt enn hva som er tilfelle for vekster med en lengre omløpstid, da de rasktvoksende vekstene vil avsette CO_2 -utslippene hurtigere. Slike typer vekster er derimot ofte tilknyttet andre utfordringer, for eksempel arealbruksendringer som kan gjøre at disse får en høyere klimaeffekt totalt sett.

Fagmiljøene er fortsatt ikke omforent om hvilken metodikk som representerer den beste måten å behandle karbongjeldproblematikken på, men ettersom metodikken som er presentert her utgjør et alternativ til den «tradisjonelle» betraktningen av biogene CO_2 -utslipp, hvor disse betraktes som klimanøytrale ($GWP_{biogen,CO_2} = 0$), mente prosjektgruppen at det var nyttig å også beregne biodrivstoffenes klimaeffekt med en slik GWP_{biogen,CO_2} -faktor for å illustrere noe av usikkerheten rundt biodrivstoffs faktiske klimaeffekt.

⁸⁴ I følge Bright et al. (2012) er denne praksisen så vanlig at 63 av 67 evaluerte studier i en gjennomgang av utførte LCA analyser av biodrivstoff ikke engang begrunner denne tilnærmingen.

⁸⁵ Med omløpstid, eller rotasjonstid, menes den tiden en vekst bruker på å oppnå den størrelsen den hadde da den ble høstet

Resultatene fra denne sensitivitetsanalysen viste at ved å benytte en $GWP_{\text{biogen,CO}_2}$ -faktor lik 0,43 endret biodrivstoffenes totale klimaeffekt seg drastisk, ettersom begge da også får en betydelig klimaeffekt i forbrenningsfasen, samt en kraftig økning i klimaeffekt fra konverteringsprosessene. Sistnevnte på grunn av den store interne energiproduksjonen basert på forbrenning av biomasse, som er tilstede i begge forretningskonseptene. Totalt resulterte forretningskonsept 1 (FT-SPK) i 85 gram CO_2 -ekvivalenter per MJ, mens forretningskonsept 2 (bioetanol+AtJ) endte på 98 gram CO_2 -ekvivalenter per MJ, ved bruk av denne faktoren. Det vil si en økning i klimaeffekt på henholdsvis 1 % og 17 % sett i forhold til referansecaset med fossil Jet A-1.

Det presiseres dog at metodikken som presenteres her kun utgjør et foreslått alternativ til den mer etablerte tilnærmingen hvor biogene CO_2 -utslipp regnes som klimanøytrale, og at inntil videre er det sistnevnte som benyttes i de politiske retningslinjer. Formålet med å beregne biodrivstoffenes klimaeffekt med en alternativ tilnærming i denne studien har vært å synliggjøre de teoretiske usikkerhetene knyttet til biodrivstoff som klimatiltak.

Det bør også nevnes at GWP -faktoren på 0,43, i fravær av mer spesifikke faktorer, er benyttet for alle deler av treet (inkludert GROT). Avhengig av hvordan man betrakter hogstavfall, som GROT, kan dette utgjøre en overestimering av GROTens karbondjeld. Dersom GROT kun ansees som et avfallsprodukt, videre, og ville blitt liggende i skogen å råtne dersom det ikke benyttes, ville GROTens reelle $GWP_{\text{biogen, CO}_2}$ -faktor vært betraktelig lavere. På den andre siden, dersom GROT i årene fremover kan forventes å bli en etterspurt vare for biodrivstoff- og andre bioenergiaktører kan det diskuteres om ikke denne også bør ta sin del av klimaeffekten ved at treet hogges.

Videre vil albedoendringer⁸⁶, som en følge av hogst, medføre en betydelig redusert klimaeffekt for biodrivstoff basert på trevirke fra boreal skog, ettersom lyse flater reflekterer mer av solinnstrålingen enn mørke flater. Imidlertid viser ny forskning, blant annet ved NTNU og CICERO Senter for klimaforskning at albedo-effekten er så stor at den kan oppveie en betydelig andel av oppvarmingseffekten som følger av biogene klimagassutslipp på kort til mellomlang sikt^[31]. Det er ikke gjennomført sensitivitetsanalyser i dette prosjektet der albedo-effekter er inkludert.

Det faktum at norsk skogsvolum har vært økende over lang tid vil også være et aspekt som kan tale til fordel for de aktuelle verdikjedene, dersom man forutsetter at hogsten vil føre til en foryngelse av skogen over tid. Dette fordi gammel skog har et lavere karbonopptak enn ung skog.

Skal klimaeffekten knyttet til selve skogbehandlingen trekkes inn i analysene, er det imidlertid ikke tilstrekkelig å se på de kortsiktige effektene av hogst knyttet til $GWP_{\text{biogen CO}_2}$, albedo og eventuelt andre faktorer (som f.eks. vanndamp). FNs klimapanel har knyttet 2 gradersmålet til det langsiktige stabiliseringsnivået av klimagasser i atmosfæren. Det avgjørende for å nå dette målet er å redusere og fase ut de antropogene utslippene - dvs. tilførselen av tidligere stabilt lagret karbon inn i det naturlige kretsløpet. Avskoging og fossile utslipp er eksempler på dette. Temporære utslipp i et rotasjonsskogbruk vil, i motsetning til fossile utslipp, ikke påvirke likevekten mellom CO_2 i hav, på land og i atmosfære når det stabiliseres om 100-300 år fram i tida. Livssyklusanalyser med et 100 årsperspektiv vil ikke fange opp denne grunnleggende forskjellen mellom fossile utslipp og temporære utslipp ved hogst. Standardmetodikken for LCA-analyser har imidlertid 100 år som tidsperspektiv.

Kort oppsummert er beregning av klimaeffekt ved bruk av boreal skog et svært komplekst felt hvor det fortsatt er mye uenighet og uavklart metodikk. Noen av disse momentene slår negativt ut for biodrivstoffene, sett i et klimaperspektiv, mens andre har positive effekter.

ØVRIGE SENSITIVITETSANALYSER

For å danne et bedre bilde av hvilke andre parametere resultatene er mest sensitive ovenfor, utover valgt $GWP_{\text{biogen,CO}_2}$ -faktor, ble det gjennomført sensitivitetsanalyser for begge forretningskonsept. Endringene av parametere som ble gjort er gjengitt i tabellen under.

⁸⁶ Ikke inkludert i analysene grunnet manglende metodikk for beregning av klimaeffekten fra disse

Tabell 6-7 - Parametere som ble studert i sensitivitetsanalysene

Parameter	Beskrivelse av endring
Transportdistanser	Dobling av transportdistanser, dvs: Skog til prosesseringsanlegg, fra 40 km til 80 km Prosesseringsanlegg til lufthavn, fra 100 km til 200 km
Benyttet elektrisitets- miks	Opprinnelig: Nordisk elmiks (170 g CO ₂ -ekv./kWh) Maks. verdi: Europeisk elmiks (502 g CO ₂ -ekv./kWh) Min. verdi: Norsk elmiks (13 g CO ₂ -ekv./kWh)
Konverteringsgrader i prosesseringen	Variert mellom maksimum- og minimumsverdiene i intervallene i Tabell 6-2, Tabell 6-3 og Tabell 6-5

Endring i transportdistanser ble valgt ut for å kunne vurdere hvor sensitivt drivstoffenes klimaeffekt er i forhold til lokasjon av anlegg. Effekten av å endre benyttet elektrisitetsmiks til henholdsvis norsk- og europeisk miks er interessant ettersom klimaeffekten fra de respektive elmiksene varierer stort. De analyserte anleggene er tenkt lokalisert i Norge og således vil noen kunne hevde at en norsk elmiks, med svært lave klimagassutslipp grunnet en høy andel fornybar kraft, bør benyttes. Samtidig er Norge en del av et nordisk elektrisitetsmarked hvor kraft utveksles på tvers av landegrensene, og prosjektgruppen har derfor konkludert med at nordisk elmiks bedre representerer de faktiske miljøkonsekvensene ved norsk elektrisitetsforbruk. I årene framover er det mulig at Norge og Norden i større grad vil bli en del av et felles europeisk elektrisitetsmarked, og ettersom denne studien har et tidsperspektiv fram mot 2020/2025, er konsekvensene av å benytte en europeisk elmiks også studert. Til sist ble også maksimum- og minimumsverdier for konverteringsgrader i prosesseringen brukt til å erstatte de opprinnelige konverteringsgradene. Begrunnelsen for å gjøre sensitivitetsanalyser på disse er at flere av dem er nokså usikre og vil avhenge av hvordan man optimaliserer anlegget. Dessuten viser resultatene at prosesseringen utgjør en betydelig andel av drivstoffets totale klimaeffekt.

Tabellen under viser endringene i prosent, relativt til total klimaeffekt i opprinnelig modell. Med andre ord representerer positivt fortegn en økning i klimagassutslipp.

Tabell 6-8 – Endring i GWP-resultater i sensitivitetsanalysene

Parameter		Forretningskonsept 1 (FT-SPK)	Forretningskonsept 2 (Bioetanol + AtJ)
Dobling av transport- distanser		+5 %	+5 %
Elektrisitets- produksjon	Norsk	÷ 7 %	÷ 19 %
	Europeisk	+14 %	+37 %
Konverterings- grad	Min	+25 %	+109 %
	Maks	÷ 17 %	÷ 35 %

Som tabellen over viser er det konverteringsgradene som gir størst utfall i sensitivitetsanalysene, mens endringer i hvilke energibærere som har blitt benyttet til elektrisitetsproduksjon også kan gi en relativt stor effekt på drivstoffets klimaeffekt. Det betyr blant annet at både innføringen av mer fornybar kraft (vind, vann, sol, osv) i elektrisitetsmarkedet, samt framtidig teknologiutvikling i teknologiene for produksjon av biobasert Jet A-1, utgjør et potensial for å redusere klimaeffekten forbundet med fornybar Jet A-1 produsert i de teoretiske forretningskonseptene.

ANDRE MILJØEFFEKTER

Selv om kun GWP-resultater er presentert i denne rapporten, gir modellen også resultater for andre miljøkategorier. Disse indikerer at det til dels kan være store forskjeller mellom drivstoffene (bl.a. for eutrofisering og utslipp av giftstoffer), men resultatene vil være svært sensitive for selv tilsynelatende små endringer modellen og har således relativt stor usikkerhet.

For eksempel har lik forbrenning i flymotoren for alle casene blitt lagt til grunn ettersom det har vært vanskelig å oppdrive spesifikk data for forbrenningen av de biobaserte drivstoffene (ref. kapittel 6.3.4). Erfaringer fra biodrivstoff til landbasert transport har imidlertid antydnet at det kan være utfordringer knyttet til andre miljøkategorier ved bruk av biodrivstoff, for eksempel i forbindelse med formasjon av partikler og toksisitet. Det er derimot ikke gitt at dette også vil gjelde for biobasert Jet A-1 ettersom slike drivstoff sannsynligvis vil ha en annen kjemisk sammensetning enn f. eks. biodrivstoff til kjøretøy.

Videre er det svært lite tilgjengelig informasjon om detaljene ved konverteringsteknologiene og deres respektive anlegg, hovedsakelig på grunn av at det kun er bygget et fåtall mindre pilotanlegg og ingen storskala anlegg med biomassebasert Jet A-1 produksjon. Prosjektteamet har, grunnet et begrenset budsjett og tidsramme, hatt fokus på å samle og kvalitetssikre data som først og fremst er viktig med tanke på klimagassberegninger⁸⁷, og har derfor valgt å ikke presentere de mer «usikre» resultatene for andre miljøkategorier i rapporten.

Det er dog viktig å minne på at det også finnes andre miljøutfordringer enn global oppvarming, og at det prinsipielt er viktig også å vurdere disse. Anbefalingen er derfor at andre miljøkategorier bør analyseres nærmere på et senere tidspunkt når et bedre datagrunnlag er tilgjengelig.

SAMMENLIGNING MED GWP-RESULTATER FRA ANDRE UTFØRT STUDIER

Det har i løpet av de siste årene blitt utført utallige LCA-analyser for biodrivstoff til veitransport. For biodrivstoff til luftfart derimot er det betraktelig færre LCA-rapporter offentlig tilgjengelig, særlig hva angår drivstoff basert på skogsråvarer.

Som nevnt tidligere er det dessuten fortsatt mye uavklart metodikk knyttet til livssyklusanalyser av bioenergisystemer. Samtidig er det vanskelig å få en komplett oversikt over benyttede data og øvrige detaljer ved de respektive modellene ut i fra det som er beskrevet i de publiserte rapportene. Ettersom man risikerer å sammenligne tall basert på noe ulike systemgrenser og forutsetninger, blir det dermed vanskelig å gjennomføre en direkte sammenligning av resultater fra ulike analyser. En slik sammenligning bør derfor alltid gjøres med omhu.

⁸⁷ For eksempel energibruk, konverteringsfaktorer, osv.

I tabellen under er noen tidligere utførte studier nevnt, samt konkrete GWP-resultater for disse.

Tabell 6-9 - GWP-resultater fra andre LCA analyser

	Fossil	FT-SPK	Bioetanol	Merknader
SWAFEA, 2011 <i>Environmental Impact Analysis Report</i>	84 g CO ₂ -ekv./MJ	10-12 g CO ₂ -ekv./MJ (avhengig av råvare)	-	Well-to-Wake ⁸⁸ Inkluderer dLUC, men ikke iLUC
Partner, 2010 <i>Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Alternative Jet Fuels</i>	88 g CO ₂ -ekv./MJ	12 g CO ₂ -ekv./MJ (hogst-avfall)	-	Well-to-Wake Inkluderer dLUC, men ikke iLUC
E4tech, 2009 <i>Review of the potential for biofuels in transportation</i>	88 g CO ₂ -ekv./MJ	5 g CO ₂ -ekv./MJ (hogst-avfall)	-	Well-to-Wake Inkluderer ikke dLUC eller iLUC
Omega, 2009 <i>Fuel-Cycle Assessment of Alternative Aviation Fuel</i>	85 g CO ₂ -ekv./MJ	13 g CO ₂ -ekv./MJ	-	Well-to-Wake
Bright og Strømman, 2009 <i>LCA of 2. generation bioethanols produced from Scandinavian boreal forest resources</i>	-	-	14-22 g CO ₂ -ekv./MJ	Well-to-Wheel ⁸⁹ Kun resultater for bioetanol, ikke Jet A-1

En sammenligning av resultatene i tabellen over med resultatene fra denne studien tyder på at det i mange tilfeller kan trekke de samme konklusjonene. Nemlig at GWP₁₀₀ er i størrelsesorden +/- 15 g CO₂-ekv. per MJ for FT-basert Jet A-1 av trevirke, og +/- 85 g CO₂-ekv. per MJ for fossil Jet A-1, når biogene CO₂-utslipp ikke medregnes.

For AtJ-basert Jet A-1 har prosjektgruppen ikke funnet tilsvarende LCA-analyser som det er naturlig å sammenligne med, men en sammenligning av analyser på bioetanol fra trevirke tyder på at en slik verdikjede vil ligge noe høyere enn FT-SPK (ref. tabellen over), noe som resultatene fra denne studien også antyder.

6.6 Klimatiltakskostnader

I 2010 leverte etatsgruppen Klimakur 2020 en utredning om mulige virkemidler og tiltak for å nå de norske klimamålsetningene i 2020.^[44]

Utredningen omfattet alle sektorer og en rekke ulike virkemidler og tiltak, samt kostnadene knyttet til gjennomføring av disse. Klimakur 2020 etablerte et grunnlag for å kunne sammenligne klimatiltakskostnader på tvers av sektorer, og utgjør fremdeles i dag det beste kunnskapsgrunnlaget for vurderinger av kostnadseffektivitet i klimatiltak.

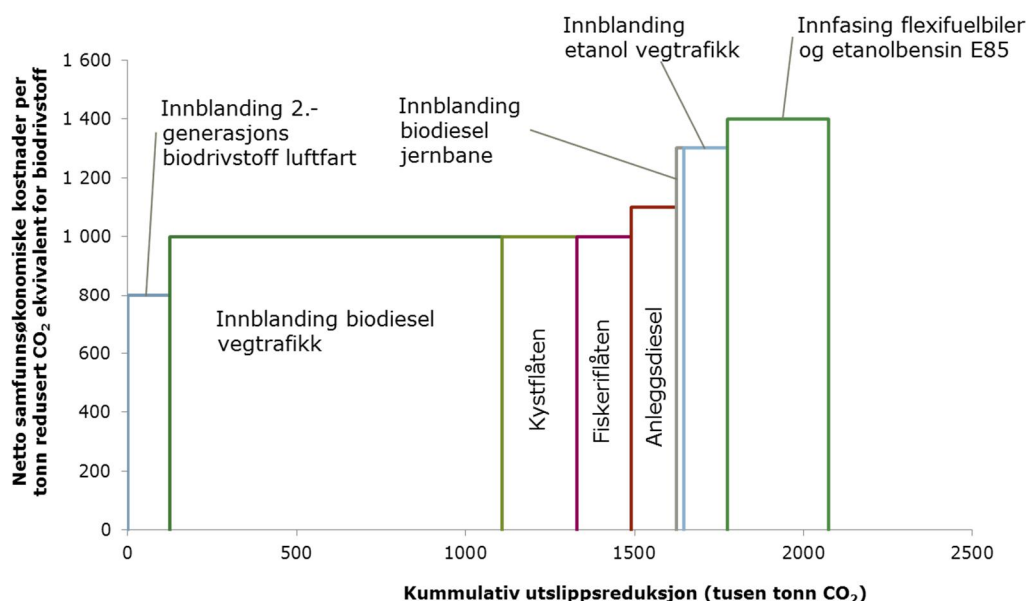
⁸⁸ Omfatter effekter ved utslipp i høyere luftlag

⁸⁹ Omfatter ikke forbrenning av drivstoff i motor

Innfasing av biodrivstoff var et viktig tiltak i transportsektoren i dette arbeidet. Også i luftfart ble det beregnet klimatiltakskostnader for dette, men basert på forutsetningen om at alt drivstoffet importeres. Det ble dermed kun brukt grove estimater av markedspris for biodrivstoff til luftfart som kostnadsdata.

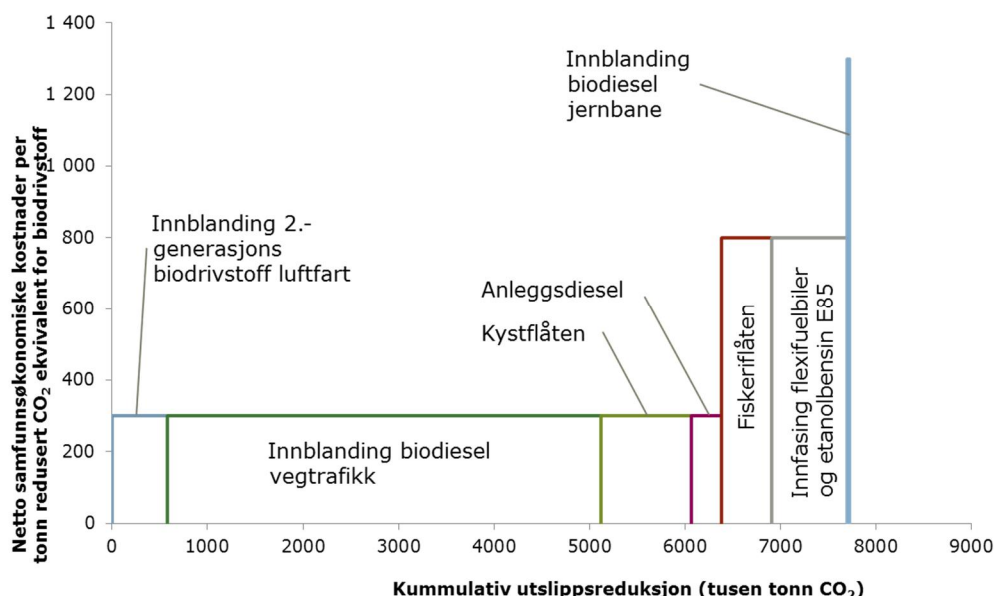
Figuren under viser beregningene som ble gjort for innblanding av biodrivstoff i transportsektoren i Norge. Biodrivstoff for luftfart ble beregnet til lavest netto samfunnsøkonomisk kostnad. Figuren viser et potensial på ca. 2 mill. tonn CO₂ i utslippsreduksjon ved innblanding av biodrivstoff i transportsektoren i 2020, hvorav 125.000 tonn for luftfart.

Figur 6-8 - Beregnet utslippsreduksjonspotensial og netto samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂ for biodrivstoff i 2020 © Klimakur2020



For 2030 beregnet Klimakur 3,8 mill. tonn CO₂ i utslippsreduksjon for basis ambisjonsnivå og 7,7 mill. tonn for høyt ambisjonsnivå. For basis og høyt ambisjonsnivå er volumene og prisene i prinsippet det samme i 2020, men i 2030 er både volumene høyere og prisene lavere. Under vises kostnadskurven for 2030, hvor luftfart har 580.000 tonn CO₂ i utslippsreduksjon fra biodrivstoff til en kostnad på 300 kr/tonn CO₂.

Figur 6-9 – Beregnet utslippsreduksjonspotensial og netto samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂ for biodrivstoff i 2030 © Klimakur2020



Beregningene må sees på som usikre, da produsert kvantum av fornybar Jet A-1 i 2020 og 2030 er svært usikkert.

6.6.1 Metode

I Klimakur 2020 er det beregnet klimagassutslipp innenfor Norges grenser, og framskrivning av disse ved bruk av ulike tiltak og virkemidler. Tiltak og virkemidler er beskrevet, og tilhørende kostnader er beregnet. Det ble i arbeidet med Klimakur 2020 utarbeidet en metodikk for vurdering og beregning av tiltakenes økonomiske konsekvenser og for potensielle utslippsreduksjoner, som også legges til grunn for beregningene her⁹⁰.

Tiltakskostnadene og utslippsreduksjonene ved implementering av et tiltak kan variere mye ettersom hvor man setter systemgrensene for hva som skal medregnes. Rambøll har utført en livssyklusanalyse og en økonomisk analyse som tar for seg utslipp og økonomi for hele verdikjeden for biodrivstoff til luftfart i Norge. Systemgrensene som ligger til grunn i metodikken i Klimakur er mer begrenset.

Tiltakskostnadene er definert som de merinntektene og merkostnadene som oppstår som en konsekvens av det aktuelle tiltaket. Dersom tiltaket innebærer en utvidelse av et eksisterende tiltak, er det kostnadene knyttet til denne utvidelsen som angis, og ikke de totale kostnadene knyttet til hele tiltaket.

Klimatiltakskostnaden beregnes ved at merkostnaden (kr) fordeles på antallet reduserte tonn klimagasser (omregnet til CO₂-ekvivalenter).

Alle kostnader er uten avgifter, slik at de kan sammenlignes over tid, det vil si at for eksempel luftfarts inntreden i det europeiske kvotesystemet ikke påvirker kostnadene som legges til grunn for 2020. Kostnadene oppgis i 2008-kroner som var basis for Klimakur.

Ettersom det er sammenligning med tiltakskostnadene i Klimakur som er hensikten med denne beregningen er det ikke gjort oppdateringer av forutsetninger eller metode, men Rambøll har etterstrebet en så lik beregningsmåte som mulig.

⁹⁰ «Metode for tiltaks- og virkemiddelanalyser (sektoranalyser) i Klimakur 2020,» Kjernegruppa i Klimakur 2020

6.6.2 Norsk scenario

Prosjektet har lagt til grunn et scenario i som tar utgangspunkt i en oppnådd klimaeffekt for norsk luftfart på 15 %, noe som tilsvarer om lag 190 – 250 mill. liter biodrivstoff i 2020 avhengig av teknologi, systemvirkningsgrader og råstoff. De økonomiske beregningene er gjort med tanke på et drivstoffanlegg på 50 mill. liter, hvorav 27 mill. liter til luftfart. Det er lagt til grunn et scenario for innfasing av biodrivstoff fra 27 mill. liter i 2020, økende til 200 mill. liter i 2030.

Volumet ser satt til et lavt nivå i 2020 (1 anlegg) ettersom IEA spår at det ikke vil være noe biodrivstoff til fly før i 2020 (se vedlegget «Framskrivninger av kostnader for biodrivstoff-produksjon»).

6.6.3 Reduksjon i klimagassutslipp

I Klimakur bygger beregninger for framtidige klimagassutslipp i 2020 og 2030 på SSBs utslippsregnskap for tidligere utslipp, fremskrevet med beregninger med bruk av data fra Avinors utredning «Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart.» Perspektivmeldingen 2009^[47] er brukt som grunnlag (referansebane) for å vurdere effekten av virkemidler og tiltak i Klimakur 2020.

Kun aggregerte utslippsfaktorer er brukt i SSBs nasjonale klimagassregnskap. Dvs. at utslipp i ulike luftlag, og i ulike faser av flyturen («Landing take-off cycle (LTO)», eller «cruise phase») er behandlet likt. Utslippsfaktoren for jet kerosene er 3,15 kg CO₂-ekv./kg drivstoff⁹¹.

Ved beregning av tiltakets bidrag til reduserte klimagassutslipp, tar Klimakur utgangspunkt i endringer i utslipp innenfor Norges grenser, i tråd med IPCCs retningslinjer for nasjonale klimagassregnskap. Reduserte utslipp i utlandet medregnes ikke, men dokumenteres som en del av rapporteringen. Det dokumenteres om dette skjer innenfor eller utenfor EUs kvotesystem. I Norge beregnes forbruk av drivstoff til innenriks flygninger som forskjellen mellom det totale forbruket av drivstoff for sivile flygninger og rapportert forbruk av drivstoff til innenriks flygninger. Ved beregning av utslippsreduksjoner ved bruk av fornybar Jet A-1 vil man derfor måtte bruke samme fordeling mellom drivstofforbruk til innenriks- og utenriks-flygninger for å skille ut andelen som brukes innenriks.

Klimagassutslipp fra utenrikstrafikken, dvs. fra norske lufthavner til første destinasjon i utlandet, var i 2010 på 1,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Samlede klimagassutslipp fra fossil Jet A-1 til innenriks og utenriks sivile formål solgt på norske lufthavner (inkl. lufthavner Avinor ikke opererer, bl.a. Rygge og Torp) er i størrelsesorden 2,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter⁹². Dvs. at fossil Jet A-1 brukt til innenriks flygninger tilsvarer ca. 1,1 millioner tonn CO₂-ekv, en andel på ca 45,8 % av det totale drivstofforbruket. Måååret for beregning av utslippsreduksjoner er 2020, men Klimakur-metodikken foreskriver en beregning også for 2030 dersom tiltaket ikke har full effekt i 2020.

Utslipp av alle de seks klimagassene som inngår i Kyotoavtalen, dvs. CO₂, N₂O, CH₄, HFK, PFK og SF₆ skal inkluderes i beregningene. Dette tilsvarer summen av klimagassene ganget med respektive klimaeffekter («Global warming potential»).

For klimagassutslipp fra transportsektoren i Klimakur 2020, skal kun utslipp fra drift av transportmidler inkluderes. Alle utslipp oppstrøms, dvs. utslipp fra produksjon av transportmidler, infrastruktur og produksjon av elektrisitet og drivstoff er ikke inkludert. Det er derfor kun utslipp fra selve forbrenningen av drivstoffet i flymotoren som skal medregnes.

Ettersom alle utslipp fra biodrivstoff med Klimakurs metodikk regnes som klimanøytrale, dvs. uten klimaeffekt, vil utslipp fra forbrukt fornybar Jet A-1 i dette tiltaket regnes som null.

⁹¹ Kilde: «Norwegian emission inventory 2011,» SSB

⁹² «Notat om utslippstallene for 2010», AVINOR 19.04.2012

Klimaeffekten som Totale reduksjoner i klimagassutslipp i forhold til referansebanen tilsvarer;

$$[\text{liter drivstoff til innenriks luftfart}] * [\text{CO}_2\text{-ekvivalenter/liter forbrukt drivstoff}]$$

Rambølls resultater er oppsummert i nedenstående tabell.

Tabell 6-10 - Resultater for utslippsreduksjoner ved tiltaksimplementering

	2020	2030
Antall produserte l fornybar Jet A-1	27 mill. l	200 mill. l
Redusere klimagassutslipp (tonn CO ₂ -ekv)	31 300 tonn	232 000 tonn
%-andel reduserte utslipp ift referansebanen	5 %	34 %

Tallene er basert på andelen drivstoff som forventes brukt til innenriks luftfart, som over er beregnet til 45,8 % av det totale forbruket i Norge i 2010.

Man kan anta at 54,2 % av produserte kvanta av biodrivstoffet vil brukes til utenriks flygninger. Disse flygningene vil være mellom stater, og dermed ikke medregnes i noe nasjonalt klimaregnskap, men vil like fullt gi reduserte klimagassutslipp. Basert på dagens rutetilbud, vil tiltaket primært gi utslippsreduksjoner innenfor Skandinavia og EU.

6.6.4 Kostnader

Merkostnaden for å implementere tiltaket er beregnet som differansen mellom antatt markedspris på fossil Jet A-1 i 2020 og 2030, og kostnaden ved å produsere biodrivstoffet, representert ved kostnad per liter biodrivstoff. Her er det kun lagt til grunn produksjonskostnadene for Fischer-Tropsch (FT), da tallgrunnlaget for Alcohol to Jet (AtJ) ikke er medregnet salg av biprodukter.

Forutsetningene for beregningene er de samme som er presentert i kap 5. Her ble det vist at de forventede produksjonskostnadene for FT i 2020 er estimert til å være på om lag 8,5 NOK/liter (2012-kroner). For å sammenligne dette med Klimakur er tallene omregnet til 2008-kroner. Den estimerte produksjonskostnaden i 2020 vil da være på om lag 7,8 NOK/liter. I tråd med Klimakurs metodikk for beregning av kostnaden ved innblanding av biodrivstoff for luftfart er det ikke lagt inn andre samfunnsøkonomiske kostnader.

Markedsprisen for Jet A-1 er i Klimakur er satt til om lag 4,1 NOK/liter. Denne prisen ble satt med utgangspunkt i en oljepris på om lag 400 kr/fat. Differansen mellom produksjonskostnadene for Jet A-1 og markedsprisen for Jet A-1 danner altså grunnlaget for den beregnede tiltakskostnaden. Med en produksjonskostnad på 7,8 NOK/liter i 2020 og en markedspris på 4,1 NOK/liter, vil merkostnaden være på 3,7 NOK/liter. I 2030 er produksjonskostnadene estimert til å være redusert til 5,2 NOK/liter. Merkostnaden da vil være 1,2 NOK/liter.

Tabell 6-11 - Merkostnader for F-T SPK NOK/liter, 2008-kroner

	2020	2030
Fischer-Tropsch (F-T SPK)	3,7	1,2

6.6.5 Resultater

Antall kg CO₂ pr liter Jet A-1 er på 2,53. Med en estimert merkostnad på 3,7 NOK/liter i 2020 vil dette gi en klimatiltakskostnad på 1 460 kr/tonn CO₂. Dette er da den beregnede tiltakskostnaden i 2020. For 2030 vil den estimerte klimatiltakskostnaden være på 468 kr/tonn CO₂.

Tabell 6-12 - Tiltakskostnader (NOK/tonn CO₂)

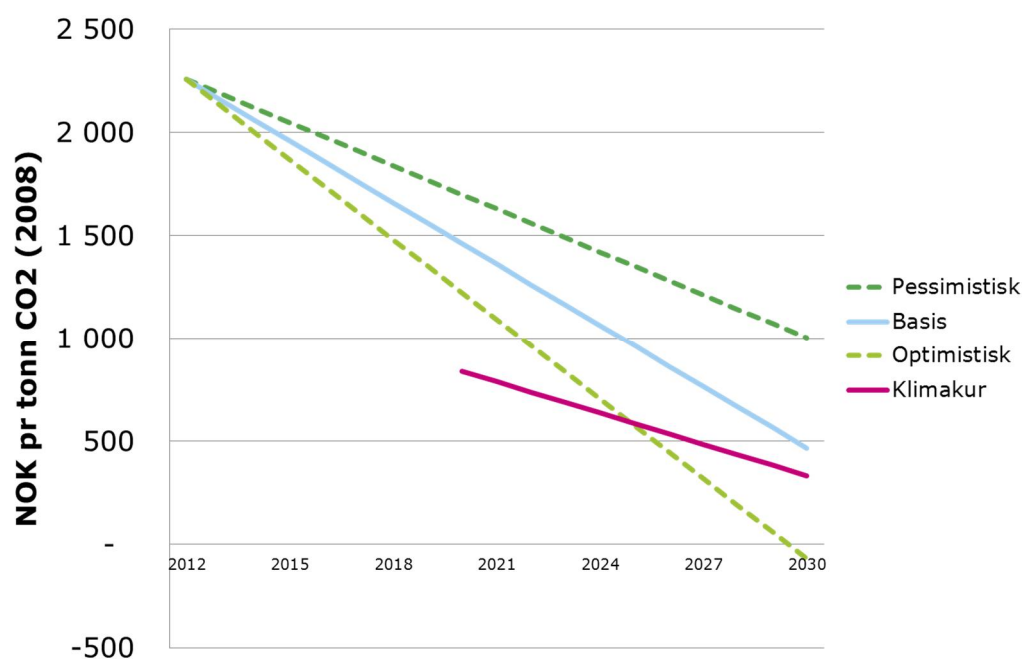
Prosesseringsteknologi	2020	2030
Fischer-Tropsch (F-T SPK)	1 460	468

I tabellen over er klimatiltakskostnaden beregnet ut på grunnlag av basisscenariet for teknologisk utvikling. I figuren under er også et optimistisk og pessimistisk scenario illustrert. Disse scenariene er nærmere beskrevet i kap.5.

Resultatene viser at i det optimistiske scenariet vil klimatiltakskostnaden kunne bli negativ rundt år 2030. Det presiseres at dette er beregnet ut i fra forutsetningene som ble lagt til grunn i Klimakur. Her er bl.a. markedsprisen for Jet A-1 satt til 4,1 NOK/liter. Dette er en del lavere enn dagens markedspriser for Jet A-1. Hvis dagens prognoser for utvikling av markedspris for Jet A-1 vil klimatiltakskostnaden kunne bli negativ allerede i år 2030 (optimistisk scenario), og gi en samfunnsøkonomisk gevinst.

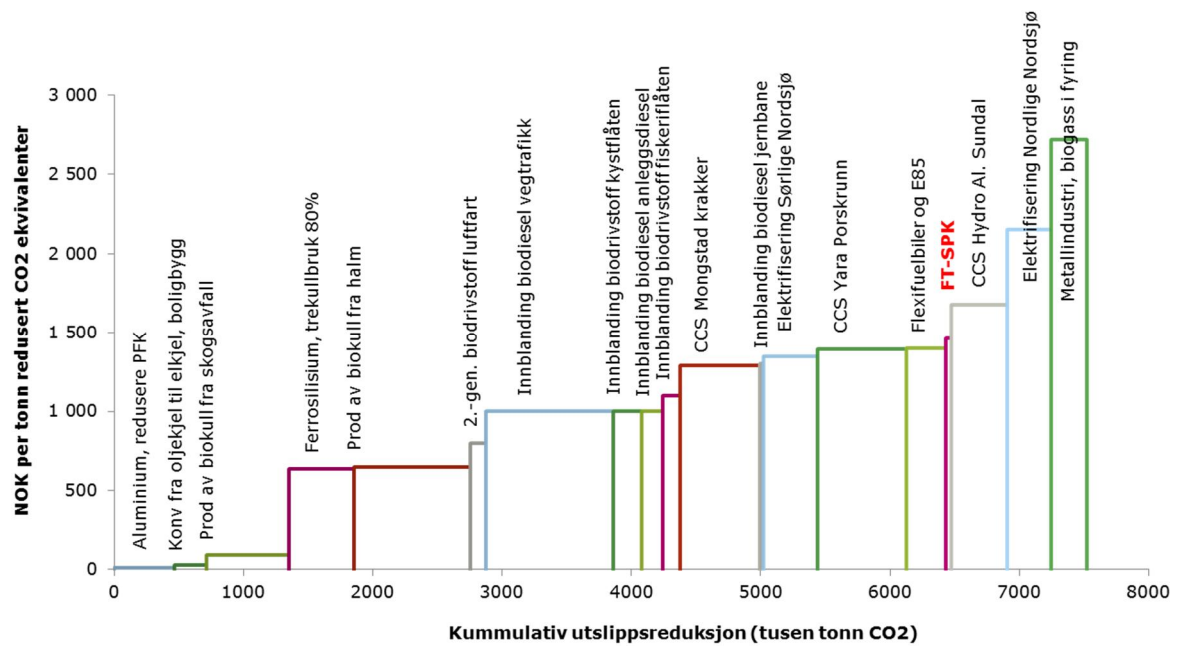
Til sammenlikning ble klimatiltakskostnadene for drivstoff til luftfart i Klimakur beregnet til å være hhv 839 NOK/tonn CO₂ i 2020 og 334 NOK/tonn CO₂ i 2030. Rambølls beregninger for 2020 er altså noe høyere enn hva som er beregnet i Klimakur, mens de estimerte kostnadene i 2030 er omtrent på samme nivå.

Figur 6-10 – Beregnede klimatiltakskostnader for drivstoff til luftfart (Fischer-Tropsch)



I figuren under er klimatiltakskostnaden for Fischer-Tropsch inkludert med et utvalg av øvrige klimatiltakskostnader for ulike teknologier.

Figur 6-11 - Utvalgte tiltakskostnader i 2020 Klimakur, inkl. Fischer-Tropsch (FT-SPK)



7. VEIEN VIDERE FOR BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART

Hele verdikjeden må vurderes for å etablere bærekraftig biodrivstoffproduksjon i Norge. EU, med blant annet Sverige som en viktig aktør, har utført egne SWOT-analyser for å identifisere muligheter, trusler, styrker og svakheter for biodrivstoffproduksjon i Europa. En av de største utfordringene for biodrivstoff er at man favner over flere byråkratiske og politiske ansvarsområder (energi, transport, hav- og landbruk, miljø og klima), som gjør det utfordrende med en konsistent politikk.

Dynamikken i det norske biomassemarkedet har de samme utfordringene som de europeiske, ettersom subsidieordningene har hatt liten fokus på videreforedling. Biodrivstoffproduksjon er avhengig av en sterk treforedlingsindustri, og omvendt. Treforedlingsindustrien har behov for avsetning for avfallsprodukter som flis for at trevirke ikke skal bli utkonkurert når papirindustrien ikke lenger etterspør treforedlingsavfall. Det er behov for en tett symbiose og industriklynger, som Sverige og Finland har klart å etablere i skogsindustrien, for å kunne utvikle norsk biomasseindustri.

En suksessfull innføring av bærekraftig biodrivstoff for luftfart er avhengig av hele verdikjeden, fra det bærekraftige råstoffet høstes og forvaltes, til det leveres til et effektivt bioraffineri og til slutt distribueres til et marked med en god betalingsvilje for biodrivstoffet slik at alle bærekraftskriterier blir oppfylt.

Biofuel Technology Platform har gjennomført en analyse av styrker, svakheter, muligheter og trusler for biodrivstoff i EU. Det er sentralt å forstå disse forholdene ved etablering av biodrivstoffproduksjon også for Norge pga. det tett integrerte markedet og mange felles politiske rammevilkår.

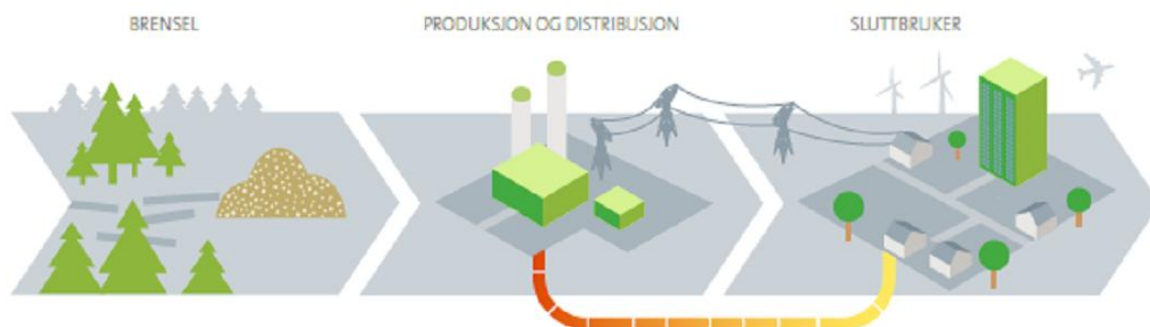
Figur 7-1 – SWOT-analyse av forhold for biodrivstoffproduksjon i EU © EBTP

Styrker • I EU27-landene er det et sterkt forsknings og utviklingsmiljø med sterke fagpersoner, forskningsinstitusjoner, og godt etablerte metoder og verktøy. • Godt samarbeid både innenfor EU og med land utenfor EU, for å overføre kompetanse og teknologi. • Finansiering med EU's 7 rammeprogram muliggjør utvikling av biodrivstoff både innenfor og utenfor EU. • Kritisk masse for effektivt FoU-samarbeid mellom industri og forskning • Politisk vilje og etterspørselen i markedet styrkes for en sikker og bærekraftig høsting av biomasse. • Biodrivstoff representerer i dag en av de største mulighetene for å redusere CO₂-utslipp fra transport, og den eneste for luftfart på kort og mellomlang sikt. • Biodrivstoff kan bidra til flere arbeidsplasser	Svakheter • Biodrivstoff favner over flere byråkratiske og politiske ansvarsområder (energi, transport, hav- og landbruk, miljø og klima) som gjør det utfordrende å ha en konsistent politikk • Biodrivstoff er avhengig av et stort mangfold av råstoff, prosesser og sluttprodukt med ulike egenskaper, og krav til håndtering og logistikk • Overordnede strategier mangler for sikker råstoff-forsyning • Dagens produksjonssystem er ikke tilpasset stor-skala distribusjon og håndtering av råstoff, spesielt lignocellulose • Dårlig konkurransedyktighet for biodrivstoff fra EU på grunn av høye råstoffkostnader. Dette gjelder i stor grad også Norge med de høyeste tømmerprisene globalt • Det mangler demonstrasjonsanlegg for å bevise andre- og tredjegerasjons biodrivstoff • I dag benyttes, og subsidieres, hovedsakelig førstegerasjons råstoff som konkurrerer med matproduksjon • Lavt utbytte for energivekster i flere Europeiske regioner
Muligheter • Gunstige politiske retningslinjer nedfelt i direktiver og regulativ, inkludert de siste energipakkene • Prioritering av forskning for biodrivstoff i det 7 rammeprogrammet, også for biodrivstoff til luftfart • Høy oljepris kan styrke konkurransedyktigheten til biomasse og biodrivstoff • Økende interesse fra industrien med økende investeringer, spesielt i veletablerte biodrivstoffteknologier • Sterk verdikjede fra leverandører av biomasse til sluttbruk av biodrivstoff i hele EU. • Biodrivstoff kan bidra til et mer bærekraftig landbruk	Trusler • For lang tid mellom teknologiutvikling og markedsimplementering • Sosial aksept for bruk av bioteknologi for kultivering av biomasse (?) kan hindre utviklingen av avanserte biodrivstoff • Konkurransen innen arealbruk og biomasseråstoff for kryssende formål og markeder innen mat, spesialkjemikalier, fiber, fôr og drivstoff • Høye investeringer er nødvendig for å nå målene i 2020 og 2030 • Et samordnet og langsiktig politisk rammeverk må etableres for å sikre forskning, utvikling og demonstrasjonsprosjekter og et stabilt investeringsklima for kapitalintensive produksjonsanlegg • Fossile oljepriser er uforutsigbare og sannsynligvis korrelert med råstoff og avfallsfraksjoner fra landbruket • Klimatiltakskostnader kan være høy for enkelte biodrivstoff i forhold til annen fornybar energi, inkludert bioenergi • Dagens produksjonsvolum er lavere enn målsetningen pga. begrenset tilgang til råstoff da det er konkurranse om landareal for andre formål

DYNAMIKKEN I DET NORSKE BIOMASSEMARKEDET

Skogsråstoff er etterspurt som råvare i flere verdikjeder. Skogen har i Norge vært basis for næringsutvikling både innen papirindustri, treforedling og energi (kraft/varme og drivstoff). Trendendringer, i form av økt aktivitet i en verdikjede, påvirker nødvendigvis andre. Treforedlingsindustrien har en tett symbiose med papirindustrien og delvis med varmemarkedet, og kan få en viktig støttespiller fra biodrivstoffindustri ved at flis kan selges til biodrivstoff når papirindustrien ikke lenger etterspør flis.

Figur 7-2 – Biovarme- og bioelektrisitetproduksjon i samspill med biodrivstoffproduksjon © Enova



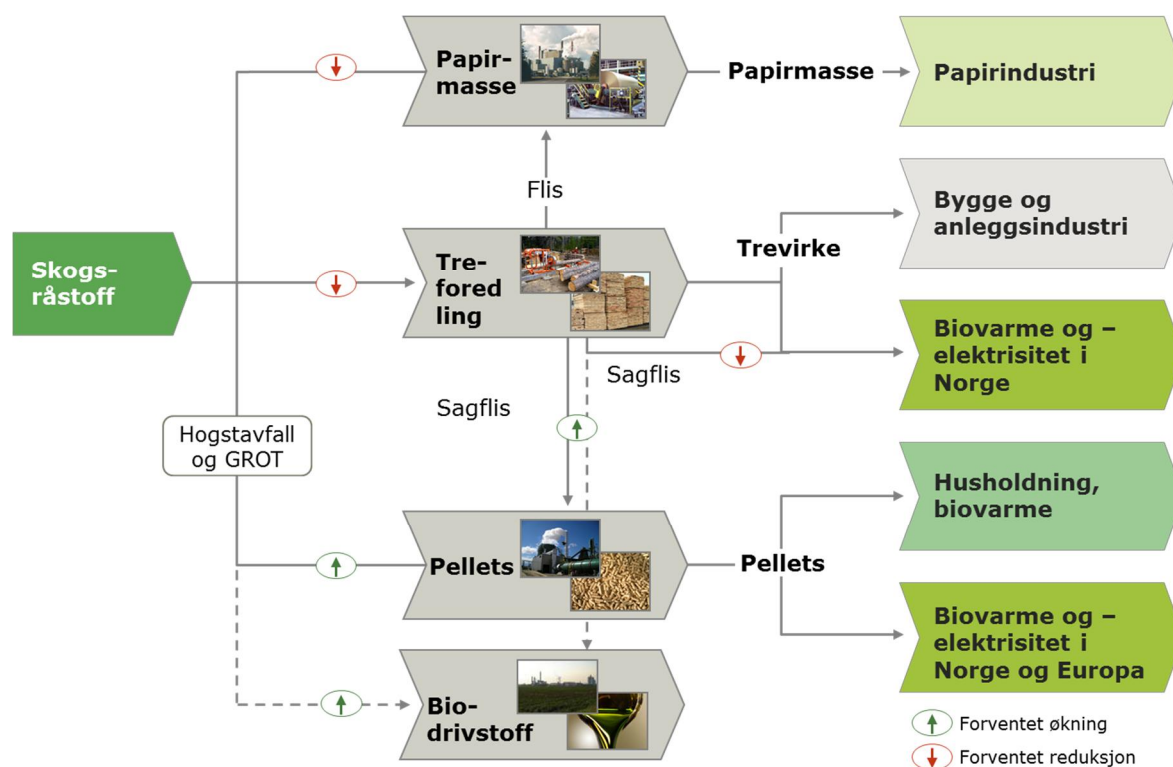
Hvis papirindustri legges ned kan treforedlingsindustrien risikere å ikke få avsetning av flis, som kan føre til dårligere økonomi for treforedlingsindustrien, som igjen kan føre til høyere trevirkepriser og dyrere fornybare byggematerialer. Med en lavere etterspørsel av flis kan dette i noen grad fanges opp av varmemarkedet som bioenergi. Restprodukter fra treforedling benyttes i dag både både til papirindustri, bygningsmaterialer, varme/el produksjon og til produksjon av foredlede bioenergi produkter som pellets og briketter.

Det er i dag en reell konkurranse mellom næringene om utnyttelse av skogsråstoff. Imidlertid har næringene utviklet seg slik at de i størst mulig grad utnytter hele tømmerstokken. Dette medfører at dersom en verdikjede reduseres/blir borte vil dette påvirke de andre verdikjedene.

Papirindustrien og treforedlingsindustrien i Norge er hardt presset, noe som har ført til flere nedleggelser av anlegg og som frigjør en større andel av skogsråstoff til andre formål. Hvorvidt disse frigjorte råstoffene vil bli brukt i biodrivstoff- og energimarkedet avhenger av om nedlagte anlegg erstattes med annen aktivitet og hvilke fraksjoner av skogsråstoff som blir tilgjengelig i tillegg til utviklingen av pris på elektrisitet. El-prisene styrer inntektsmulighetene for varmeprodusentene, samt fjern- og nærvarmeleverandører. For å redusere konkurransen med treforedlingsindustrien er trenden i varmemarkedet å etablere anlegg som primært bruker GROT. Biodrivstoffprodusenter basert på flis og lignocellulose kan dra fordel av nedleggelser i papirindustrien med lavere etterspørsel av flis, men hvis treforedlingsindustrien går veldig dårlig vil det ikke være flis tilgjengelig.

Figur 7-3 viser en illustrasjon av denne dynamikken for det norske trevirke og flismarkedet.

Figur 7-3 – Dynamikken i det norske biomassemarkedet © Rambøll Energi



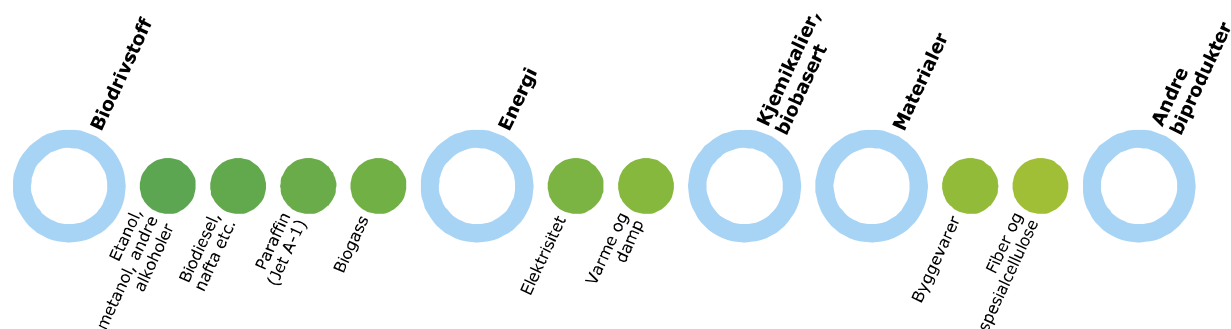
En hovedutfordring med dynamikken er at den er knyttet til oljeprisen ved at leverandører av pellets og flis selger biomassen til tett opp mot oljeprisen, mens brenselet har lavere energiinnhold. Eksempler på en utfordring er fjernvarmeselskaper som skal selge varme og baserer seg på flere energibærere.

Fyring av kullkraftverk med kull blandet med biomasse blir i økende grad benyttet fordi det reduserer CO₂-utslipp uten at eksisterende kullkraftverk trenger å modifiseres, samt at effektiviteten reduseres minimalt. Innblanding kan også gi verdi til bioavfall som ellers ikke ville ha blitt utnyttet, men kun brent eller deponert med tilhørende utslipp av f.eks. metan. Biomasse er et interessant alternativ for elektrisitetsproduksjon i områder hvor det er store mengder avfall fra jordbruk og skogsdrift. Bioressurser og flytende biodrivstoff omsettes i større grad på det åpne markedet, og utviklingen innen and-regenerasjons biodrivstoff for transport kan danne en konkurransesituasjon mellom de to bruksområdene (SRREN^[21]).

7.1 Utsikter for en bioøkonomi og et biomarked

Biomasse og bærekraftig råstoff er en begrenset ressurs og kan brukes til mange formål. Det er en stor grad av kompleksitet i et biobasert marked og for en bioøkonomi når samme råstoff kan bli både byggematerialer, bioplastikk, ingredienser i mat og drivstoff. Figuren under viser en illustrasjon av hva biomasse kan brukes til. Det er også mulig å bruke karbonet flere ganger, først til bygningskonstruksjoner eller andre funksjonelle materialer, deretter gjenvunnet til papir eller emballasje før prosessert til biodrivstoff.

Figur 7-4 – Muligheter for utnyttelse av biomasse © Rambøll



Når det gjelder biodrivstoff vil et bioraffineri kunne produsere flere ulike kvaliteter og ha en viss fleksibilitet i forhold til sluttprodukter. Det vil hele tiden være en optimalisering for lønnsom drift, og biodrivstoff til luftfart kan bli skadelidende hvis betalingsvilligheten er høyere for f.eks. landbasert transport. Energisektoren brenner biomasse til energiformål, både varme og elektrisitet, og konkurrerer dermed om de samme ressursene.

World Economic Forum (WEF) har hatt fokus på fleksible bioraffineri som også kan produsere biodrivstoff. WEF har organisert en samling med representanter fra luftfart og kjemisk industri for å utforske mulighetene for fleksible bioraffinerier som kan benytte et bredt spekter av råstoff, og som kan endre produksjonen av produkter og volum i forhold til etterspørsel ^[65]

Prosjektet har identifisert noen trender som kan ha større eller mindre betydning fram mot 2025. Disse er gjengitt i figuren under med en vurdering av hvilken effekt dette vil ha på biodrivstoff for luftfart, og hvor langt fram i tid det kan forventes å ha en større effekt. En full sirkel betyr stor effekt og lang tidshorisont.

Figur 7-5 – Trender og drivere som kan påvirke biodrivstoffproduksjon for luftfart © Rambøll

TREND/DRIVER	BESKRIVELSE	EFFEKT	HORISONT
Driver # 1	Omsetningspåbud for biodiesel kan øke til 5 % og senere 10 % avhengig av bærekraftskriterier, fornybarmål og klimamål for transportsektoren		
Driver# 2	Felles sertifikatmarked for elektrisitet med Sverige kan prioritere de mest lønnsomme prosjektene innen elektrisitetsproduksjon, også fra biomasse		
Trend # 1	Høy etterspørsel av biomasse i Europa på grunn av fornybarenergidirektivet eller framvoksende markeder, som kan føre til høyere priser, med olje som marginal pris		
Trend # 2	Konkurrerende eller alternativ bruk av biomasse for spesialprodukter er en trussel pga. tilgjengelighet i første omgang, men er fordelaktig for synergier og utvikling av et biomarked		
Trend # 3	Energiselskaper ser etter et tredje markedssegment med biodrivstoff, fyringsoljer og biogass som fornybar energi og spisslast i tillegg til elektrisitet fra vann og vind		
Trend # 4	Teknologiutvikling med termo- og biokjemiske konverteringsruter vil «ta av» pga. mange ulike initiativ, f.eks. fornybarenergidirektivet, EU Flight Path, US Bioeconomy strategy etc.		

En faktor som bidrar i motsatt/negativ retning er den negative utviklingen i finansmarkedene i Europa og faren for resesjon i flere land. Skjerpede krav til offentlig forvaltning og finansielle aktører reduserer subsidiebruk og finansiering av prosjekter med høy risiko slik som produksjonsanlegg innen ny teknologi.

I USA er det for tiden store mengder av biomasseressurser tilgjengelig sør-øst i landet som presser prisene ned. Dette kan være en mulighet for å starte med produksjon av biodrivstoff, men det kan også føre til at skogeiere heller lar skogen vokse en stund før trevirket hentes ut i påvente av høyere priser.

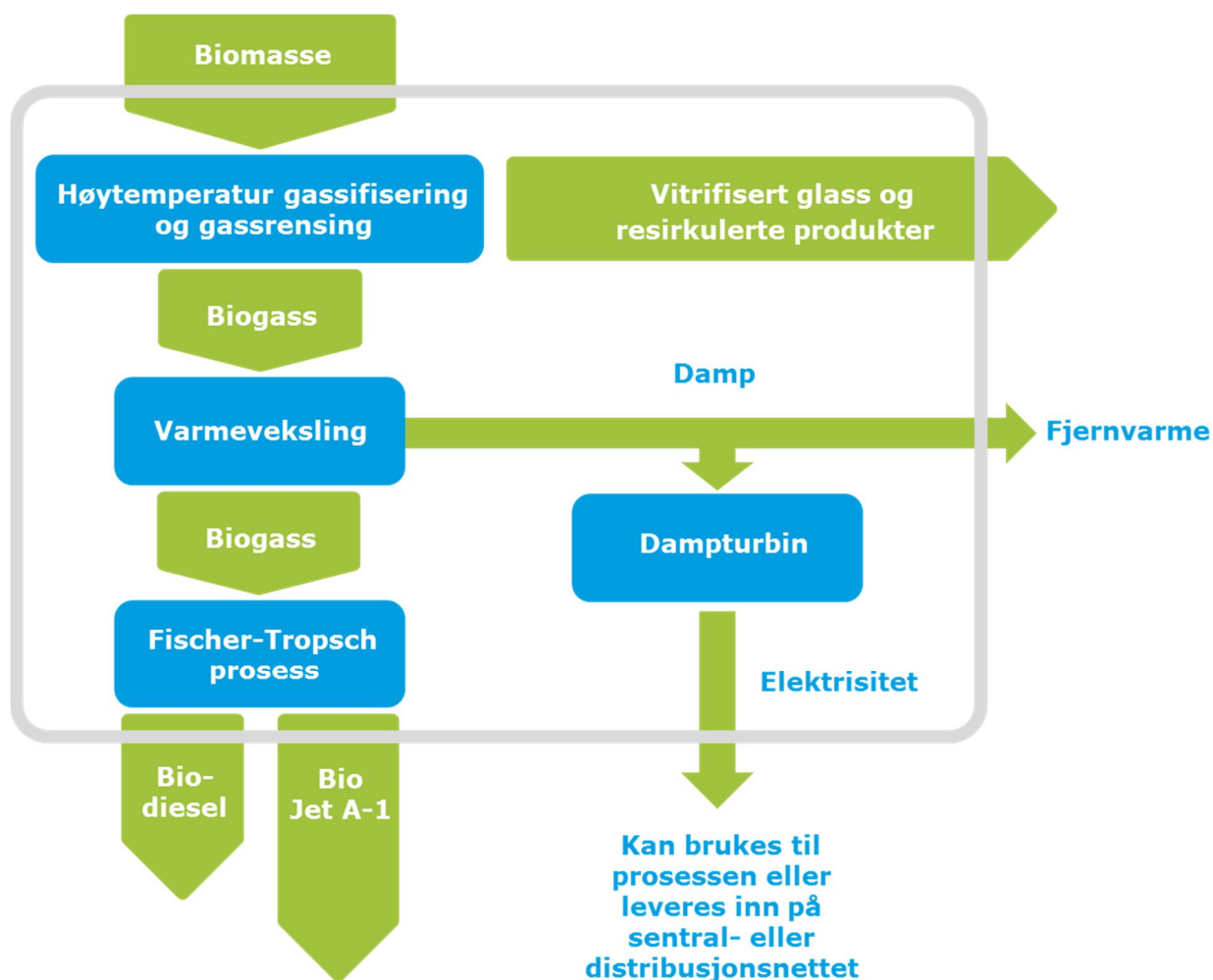
Tabellen under, basert på IEA og SRREN^[21], viser modenhet for ulike teknologier som benytter biomasse til enten varme, elektrisitet eller til transport. Flere av teknologiene er modne og kommersielt tilgjengelige i motsetning til andre- og tredjegerasjons biodrivstoff.

Tabell 7-1 – Oversikt over fornybare energiteknologier, modenhet og primær distribusjonsmetode – bioenergi

Fornybar energikilde	Fornybar energiteknologi	Primær energisektor	Teknologisk modenhet				Primær distribusjonsmetode	
			F&U	Demo, pilot	Tidlig kommersialisering	Sen kommersialisering	Sentralisert	Desentralisert
Bioenergi	Pellets, husholdning	Termisk				X		X
Bioenergi	Små og store kjeler (flis, pellets, bioolje)	Termisk				X	X	X
Bioenergi	Anaerobisk nedbrytning for biogass	Elektrisitet, termisk, transport				X	X	X
Bioenergi	Kombinert varme og elektrisitetsproduksjon (CHP)	Elektrisitet, termisk				X	X	X
Bioenergi	Innblanding i fossile elektrisitetsverk	Elektrisitet				X	X	
Bioenergi	Forbrenningsbasert elektrisitetsproduksjon	Elektrisitet				X	X	X
Bioenergi	Gassbasert elektrisitetsproduksjon	Elektrisitet			X		X	X
Bioenergi	Sukker og stivelsebasert avlinger for etanolproduksjon	Transport				X	X	
Bioenergi	Plantefrøolje, biodiesel	Transport				X	X	
Bioenergi	Lignocellulose, sukkerbasert biodrivstoff	Transport		X			X	
Bioenergi	Lignocellulose, syntesegassbasert drivstoff	Transport			X		X	
Bioenergi	Pyrolysebasert biodrivstoff	Transport		X			X	
Bioenergi	Vannlevende planter og algebasert biodrivstoff	Transport	X				X	
Bioenergi	Biogass for direkte oppvarming	Termisk				X	X	

Teknologiene for forbrenning av biomasse og elektrisitetsproduksjon fra bioenergi er godt utviklet. For å styrke konkurranseevnen til et bioraffineri bør det være en viss fleksibilitet både mtp. råstoff og sluttprodukter, både biobaserte, men også energi i form av varme og elektrisitet. Figuren under viser en skisse for et termokjemisk bioraffineri med biproduktene, fornybar varme og elektrisitet i tillegg til Jet A-1 og biodiesel. Dette illustrerer at biomassen kan utnyttes til mange ulike produkter, og at biomassen bør benyttes til flere formål samtidig for at man skal oppnå optimal utnyttelse!

Figur 7-6 - Biovarme- og bioelektrisitetproduksjon i samspill med biodrivstoffproduksjon © enviro.aero



Teknologien i illustrasjonen kan være godt egnet i tett tilknytning til f.eks. treforedlingsindustri eller papirindustri hvor avfallsprodukter kan utnyttes.

7.2 Etablering av en kommersiell industri

Det er to fundamentale utfordringer for biodrivstoff til luftfart og transportsektoren: skala for utbygging, og bredden i mulige bruksområder for biomasse. Utfordringen med oppskalering viser seg at selv for sertifisert biodrivstoff ligger kostnaden to til tre ganger høyere enn fossile drivstoff, som er for høyt til at flyselskap kan binde seg til større kjøpskontrakter. Bredden i bruksområder reiser spørsmål om i hvilken sektor biodrivstoff vil være utslagsgivende; i luftfart, andre transportsektorer, spesialkjemikalier eller polymerer og materialer, eller energisektoren som spisslast (f.eks. fyringsolje for fjernvarme).

Disse to utfordringene dekker hele verdikjeden, og gjør det svært vanskelig å tilrettelegge på en god måte for å få en rask utvikling innen biodrivstoffproduksjon. For å få til dette er det behov for et tett samarbeid og en helhetlig systemforståelse.

I forbindelse med den tidlige utviklingen av biodrivstoff til luftfart har sluttbrukeren, flyselskapene, vært aktive. Men, flyselskapene er ikke klare til å ta neste skritt i utviklingen, der de må garantere for kjøp av biodrivstoff. Når biodrivstoff utgjør opp mot en tredjedel av driftskostnadene i en hardt presset og konkurranseutsatt bransje kan ikke selskapene ta en høyere kostnad og risiko enn andre aktører.

Selv om både tilbud og etterspørsel etter fossilt drivstoff ser ut til å øke, og biodrivstoff har gode læringsrater med en reduksjon i produksjonskostnader, viser geopolitiske forhold at oljeprisen fort kan reduseres kraftig eller øke i løpet av en kort periode. Dette kan føre til store økonomiske utfordringer for biodrivstoffprodusenter og flyselskap som er bundet til kjøp av biodrivstoff.

- Distribusjon, fra raffinerier til rør og tankanlegg, er ofte kontrollert av fossile oljeselskap. Hvor attraktivt det er med drop-in biodrivstoff varierer i stor grad av balansen mellom tilbud og etterspørsel og økonomien til raffinerier oppstrøms. Hvis hele eller deler av denne infrastrukturen er eid av statskontrollerte aktører (f.eks. «drivstoffmonopolisten» ASA i Mexico eller flyplassoperatør Avinor i Norge) kan dette være en effektiv måte å få etablert omsetning av biodrivstoff da aktørene kan bli pålagt krav og det innebærer store volum, samt at det påvirker alle flyselskap likt
- Biodrivstoffraffinerier trenger en viss skala for å produsere drivstoff konkurransedyktig. Økonomien for noen teknologier er bedre utviklet enn andre. Bioraffinerier, enten med fokus på spesialkjemikalier eller biodrivstoff, har alternativer og en viss fleksibilitet for produksjon av ulike sluttprodukter som kan begrense investeringer dedikert for biodrivstoff til luftfart
- Råstoffkostnader drives også av større volum. Transportkostnader utgjør en stor andel for råstoff, og er en utfordring som må håndteres godt
- Det er behov for forskning i høyere konvertering av biomassen til biodrivstoff, dvs. mindre tap til prosessvarme og f.eks. økt bruk av fornybar elektrisitet

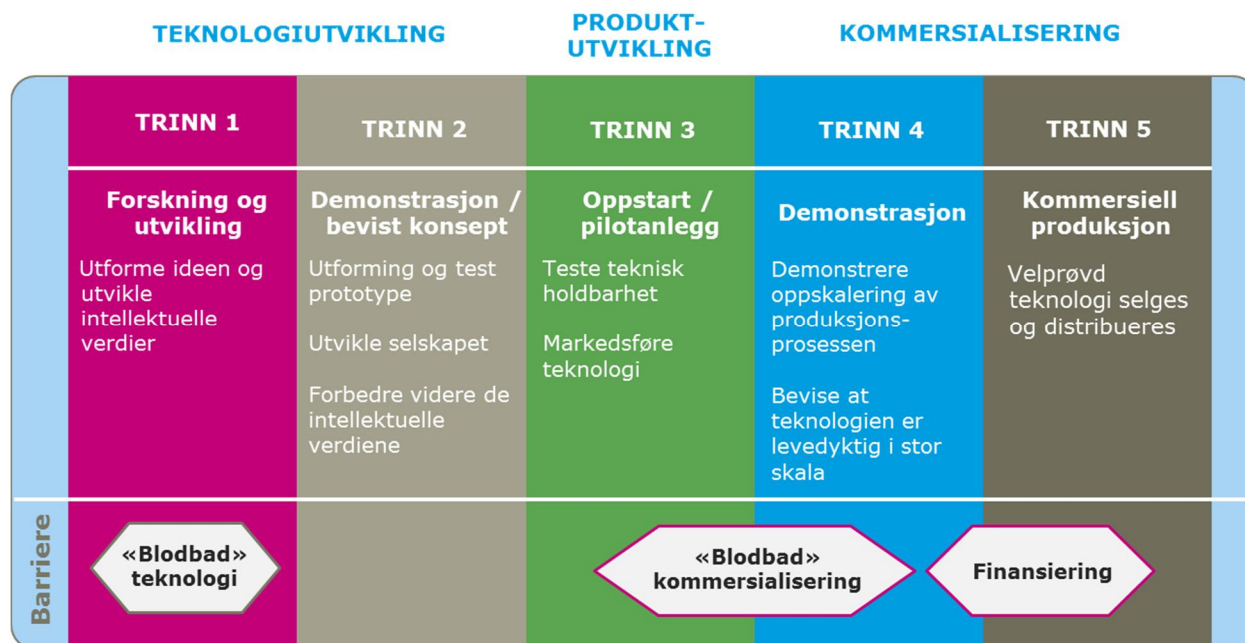
To grunnleggende spørsmål som myndighetene må legge til rette for at blir løst er:

- Vil det bli en viss etterspørsel av biodrivstoff?
- Vil luftfart, med helt egne krav til biodrivstoff, være den sektoren som vil bli prioritert i forhold til at man har begrensede ressurser?

Investorer, større industrielle aktører, selskap i skog-, hav- og landbrukssektoren, finansielle markeder, såkorns- og oppstartsfond etc. står ovenfor samme usikkerhet som biodrivstoffprodusenter og sluttbrukere.

7.2.1 Praktiske forhold for etablering

En av de største barrierene for å etablere et anlegg for biodrivstoff for FT-SPK, selv med demonstrert teknologi, er finansiering av det første fullskala anlegget. «Blodbadet», eller «valley-of-death» for kommersialisering er ofte den største utfordringen. Figuren under illustrerer at denne barrieren ofte ikke er et problem når teknologien er bevist eller demonstrert.

Figur 7-7 – Barrierer ved teknologi-, produktutvikling og kommersialisering ⁹³

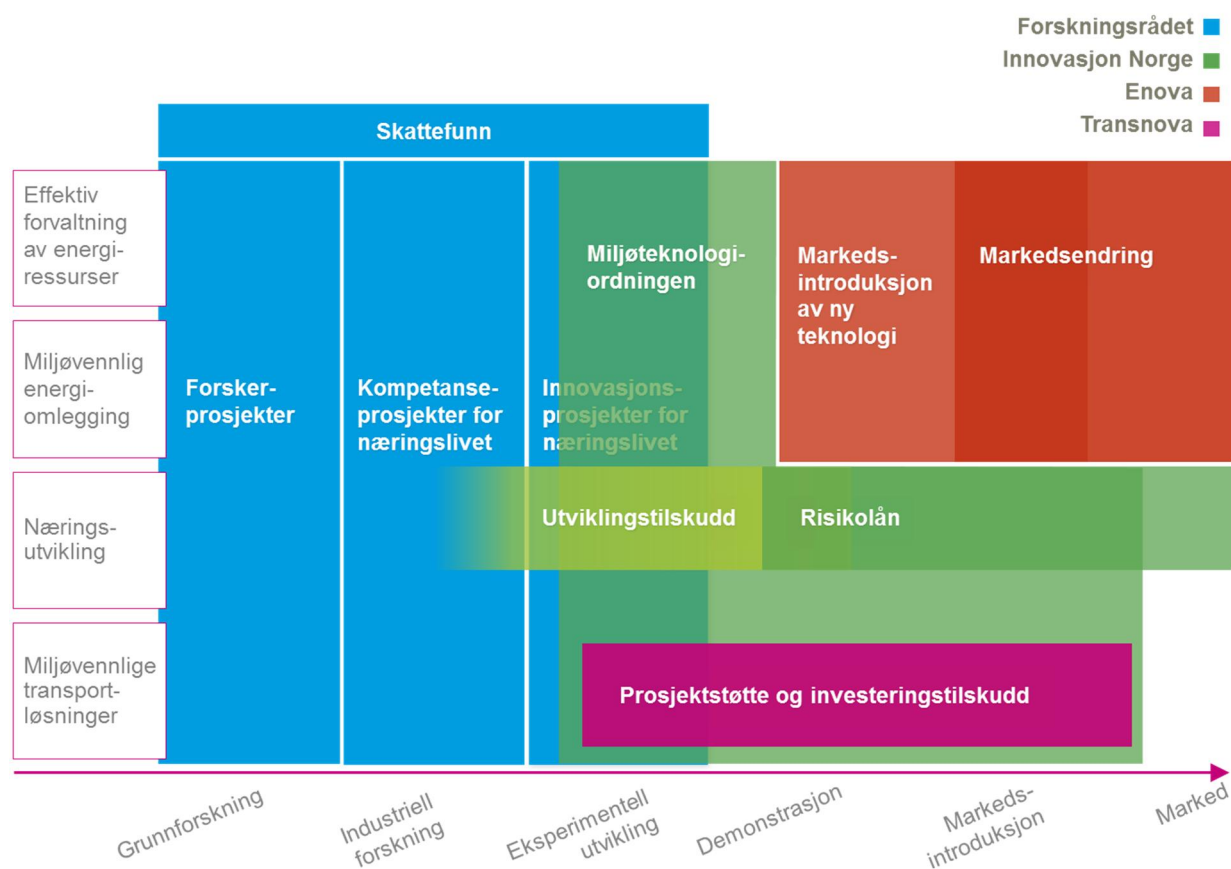
I virkeligheten er det, spesielt i tider med finanskriser og strenge krav til finansiering av prosjekter med høy risiko, meget vanskelig å få på plass finansiering til trinn 5. Dette er tilbakemeldingen fra alle industriaktører som prosjektet har vært i kontakt med.

I Norge støttes biodrivstoff innen ulike faser av utviklingen fra flere ulike forskningsprogram. Forskningsrådet støtter forskningsprosjekter, kompetanse- og innovasjonsprosjekter for næringslivet. Innovasjon Norge har miljøteknologiordningen, utviklingstilskudd og risikolån for teknologi som er klar for testing og demonstrasjon. Enova støtter markedsintroduksjon av teknologier. Transnova har midler for prosjektstøtte og investeringstilskudd.

Figur 7-8 viser en oversikt over de støtteordningene som kan gi støtte til bioenergi eller biodrivstoff til luftfart, både direkte og indirekte, for ulike trinn i utviklingen og kommersialisering.

⁹³ Bloomberg New Energy Finance

Figur 7-8 – Oversikt over støtteordningene i Norge © NFR / Innovasjon Norge / Enova / Transnova



En kanal for støtte som ikke er presentert i figuren er støtten til bruk av biomasse til energi og drivstoff i landbruket og skog eid av landbruket. Biodrivstoff for luftfart kan bli indirekte berørt av disse subsidiene, positivt eller negativt, avhengig av hvordan subsidiene er rettet i forhold til sluttbruk. Oversikt over støtte fra Statens Landbruksforvaltning er vist i vedlegg.

Norge har flere ulike støtterejimer for biodrivstoff, men mangler i stor grad risikovillig kapital og en langsiktig satsning for å bygge opp en ny generasjon bioindustri etter at papirindustrien har hatt en lang periode med nedgang, og treforedlingsindustrien har det økonomisk vanskelig. I dag er det teknologisk og økonomisk usikkerhet knyttet til bærekraftig biodrivstoffproduksjon, derfor er forutsigbare og langsiktige rammevilkår nødvendig for å redusere risiko og dermed realisere bærekraftig Jet A-1 som et miljøvennlig alternativ for norsk luftfart.

7.2.2 Bærekraftsertifisering

Flere ulike aktører kan sertifisere hele eller deler av en verdikjede for produksjon av biodrivstoff for luftfart. Bransjen har hatt utfordringer med troverdighet da det har vært forfalskninger av sertifikater. Det er fortsatt uklart hvilke bærekraftskriterier som vil gjelde for Norge fremover for både bioenergi og for biodrivstoff utover bærekraftskriteriene i Fornybarenergidirektivet. Det forventes at reviderte bærekraftskriterier vil være klare i løpet av 2013.

For biodrivstoff til luftfart er det i tillegg nødvendig med testing av drivstoffet som kan føre til høyere utviklingskostnader, lengre utviklingstid og mer koordinering enn for biodrivstoff av «lavere kvalitet».

7.3 Politiske rammebetingelser og drivere for energietterspørsel

EU-kommisjonen definerer de tre viktigste premissene som vil påvirke energietterspørselen og fornybarandelen, samt drive fram bedre og nye energiteknologier i et lengre perspektiv (Figur 7-9⁹⁴):

- Natur og miljø med klimaendringer, bevaring av artsmangfold og håndtering av forurensning
- Forsyningssikkerhet med tilgang til energi, fornuftig installert produksjons- og overføringskapasitet samt pålitelighet
- Energimarkedets utvikling med større grad av liberalisering, større grad av innovasjon og konkurranse samt effektivisering⁹⁵

Drivere for energietterspørsel og teknologiutvikling er forskjellig avhengig av utviklingsnivået for land og regioner. For utviklingsland og framvoksende økonomier har energitilgang blitt beskrevet som den viktigste driveren, mens energisikkerhet og miljøspørsmål er blitt fremmet som de viktigste i industri-land (SRREN^[21]).

Basert på litteraturstudien har de generelle driverne for biodrivstoffproduksjon blitt identifisert:

- Potensial, dvs. ressurs og kapasitetstilgang
- Regulatoriske rammevilkår, lover og forskrifter
- Økonomiske rammevilkår, subsidier og skattelette
- Alternativkostnader, lønnsomhet
- Infrastruktur, nett og overføringskapasitet
- Kompetanse og teknologi⁹⁶

Regulatoriske og økonomiske rammevilkår spiller en avgjørende rolle for økt utvikling og benyttelse av fornybare energiteknologier. Fornybare energiteknologier er i stor grad mer avhengig av regulatoriske og økonomiske rammevilkår enn konvensjonelle teknologier. De viktigste suksesskriteriene relatert til regulatoriske og økonomiske rammevilkår for fornybare energiteknologier i følge IEA, SRREN^[21] og REN21 er:

- Om bindende miljø- og klimamål avtales og holdes
- Stabile og garanterte subsidier fram til teknologien er konkurransedyktig
- Enkle og raske konsesjonsprosesser
- Investeringer i utvidelse og oppgradering av nettet, både for elektrisitet og fjernvarme

I tillegg har forholdene rundt aksept hos befolkningen for utbygging av nett og anlegg en økende betydning. Et annet element for fornybar energipolitikk og utvikling er næringsutvikling og potensialet for å skape nye eller utvide eksisterende industrier, og antall arbeidsplasser. Økonomisk har utviklingen av fornybar energi blitt sterkt hjulpet av statlige multi- og bilaterale utviklingsbanker gjennom de siste årene med finanskrisen. Det kom en større andel offentlige midler til fornybar energi fra utviklingsbanker enn gjennom stimuleringspakker fra regjeringer i 2010 (REN21).

Figur 7-9 – Oversikt over drivere og premisser for energisystemet og energiteknologier

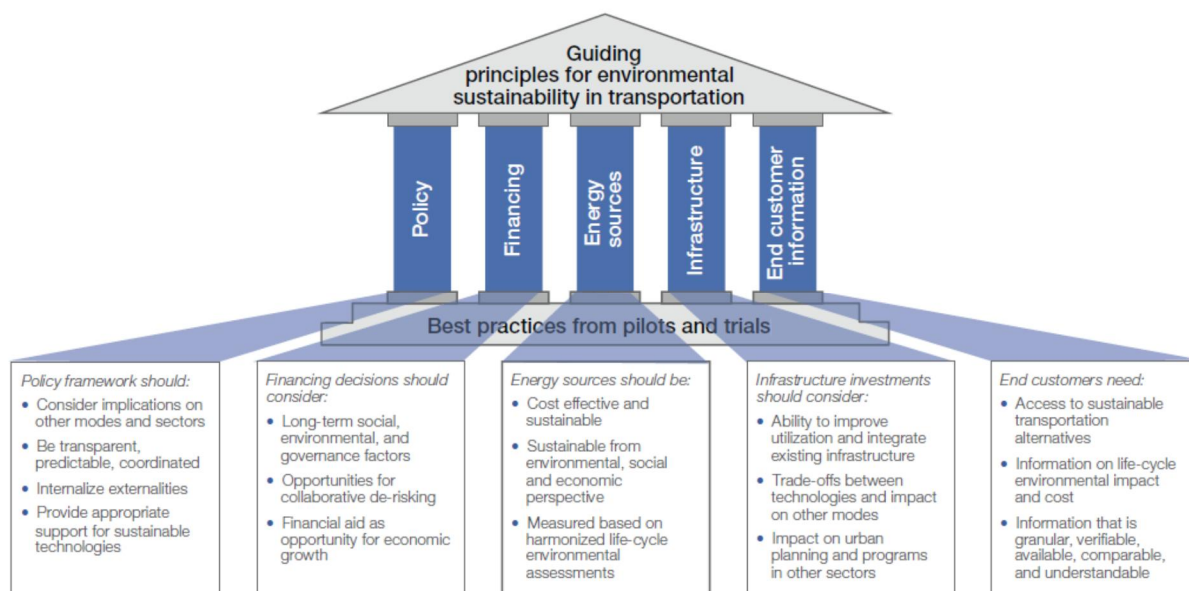


⁹⁴ Strategic Research Agenda for Europe's electricity networks of the future, European Commission, Directorate Energy, 2007

⁹⁵ Mindre energitap i alle ledd i energisystemet

⁹⁶ Tilgang på FoU-midler, materialteknologi og nye materialer som tåler høye temperaturer og har høy styrke, teoretisk forståelse av komponenter og systemer, modellering, gode IT-verktøy, forståelse av kultivering, høsting og bærekraftig ressursutnyttelse for optimal produksjon

Figur 7-10 – Oversikt over prinsipper for en bærekraftig utvikling i transportsektoren ref. World Economic Forum

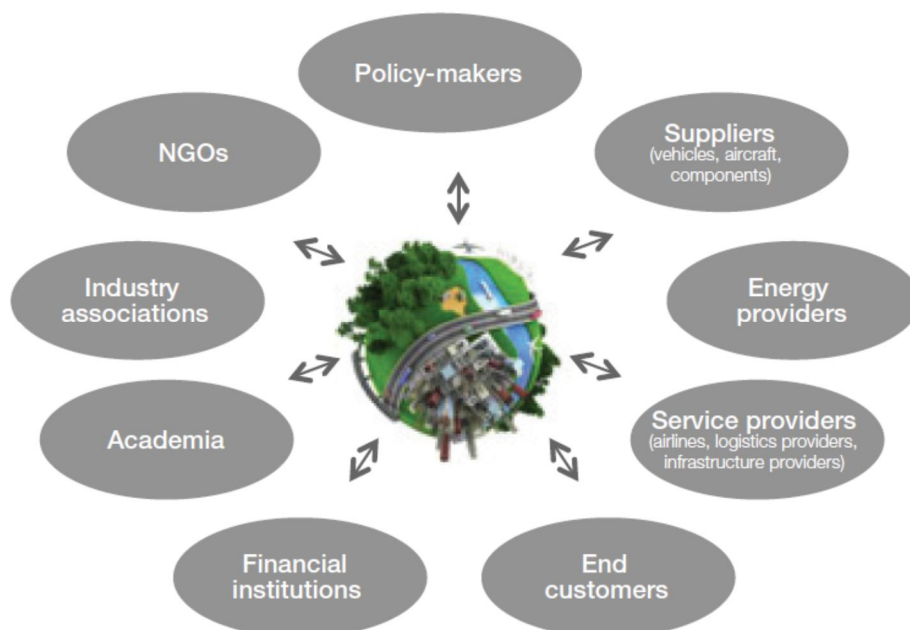


Erfaring med biodrivstoff for landtransport og luftfart viser at det er nødvendig med en helhetlig systemforståelse for å oppnå en bærekraftig transportsektor. Bruk av bioetanol og biodiesel for mindre personkjøretøy for landtransport kan føre til store reduksjoner i klimagassutslipp i forhold til fossile utslipp. Fordelingen av begrensede bioressurser påvirker tilgangen til luftfart, og det er ingen umiddelbare alternativer for luftfarten på kort og relativ lang sikt.

En annen utfordring for globale flyselskap er at bærekraftskriteriene varierer fra region til region. Biodrivstoff er dessuten tett integrert med politikk og virkemidler i andre sektorer, spesielt skog- og landbruk og energi. Markedsprisene for biodrivstoff er knyttet til råstoffpriser og volumer, men også fossilt drivstoff.^[65]

World Economic Forum anbefaler en rekke tiltak og handlinger som ulike interessenter bør følge opp for å etablere bærekraftig biodrivstoffproduksjon for luftfart. Figuren under viser de ulike interessentene.

Figur 7-11 – Interessenter inn mot et bærekraftig transportsystem © WEF



POLITIKERE OG BESLUTNINGSTAKERE

Forstå mulighetene for luftfartsbransjen

- Involvere hele bredden innen departementer og direktorat (Samferdsel, Miljø og Klima, Olje og Energi, Land- og skogbruk, Finans) for å skape forståelse for biodrivstoff for luftfart innen
 - o Forsyningssikkerhet for biodrivstoff ved utvikling av flere råstoffer
 - o Potensialet for nye arbeidsplasser gjennom teknologiutvikling og økonomisk vekst
 - o Oppfylle nasjonale utslippsmål
- Samarbeide med myndigheter og interessenter i hele verdikjeden i andre land, spesielt Sverige, Finland og Danmark for å dele og tilpasse god praksis for utvikling av verdikjeder, men spesielt storskala produksjonsanlegg som kan ha behov for råstoffer over landegrenser

Muliggjøre kostnadseffektiv tilpasning til biodrivstoff for flyselskap

- Harmonisere bærekraftskriterier mellom regioner, spesielt fordi det angår markedsbaserte tiltak, for å sikre at bærekraftig biodrivstoff oppfyller krav både i opprinnelseslandet og ved destinasjonsstedet på internasjonale flygninger
- Samarbeide med luftfartsindustrien for å sikre at regnskapsrutiner for biodrivstoff er praktisk og kostnadseffektive, f.eks. å basere skatt og avgifter på kjøpt biodrivstoff med liten klimaeffekt, heller enn benyttet mengde
- Gi incentiver til olje- og kjemiske selskaper til å fokusere på investeringer hvor det ikke er noen andre alternativer enn biodrivstoff, som innen i luftfart og for skipsfart

Styrke forretningsmodellen for biodrivstoff til luftfart

- Bidra med finansiell støtte som på sikt vil føre til helt privat finansiering, f.eks. samfinansiering, skattelettelser, lånegarantier, investeringstøtte, eller annen støtte, f.eks. tilgang på landareal, involvere militæret som en stor forbruker, forskning og utvikling, medeierskap i produksjonsanlegg for biodrivstoff til luftfart
- Bidra til å utvikle nye sertifiseringer for teknologi og konverteringsprosesser
- Vurdere om en andel av u-hjelp kan kanaliseres inn mot bærekraftig skogsindustri eller energigvekster på marginalt land som ikke kan brukes til jordbruk

LEVERANDØRER

Flyprodusenter: støtte til hele verdikjeden

- Støtte utvikling og produksjon via gjenkjøpsavtaler for sivil luftfart og luftforsvaret
- Samarbeide med myndigheter, flyselskap, energiselskap, landbrukssektor og academia for å sikre lokale økonomisk vekstmuligheter for bærekraftig biodrivstoff

ENERGITILBYDERE OG -SELSKAP

Olje- og kjemiselskaper bør bli mer involvert i biodrivstoff for luftfart med de samme aktivitetene som nevnt for flyprodusenter. Råstoffleverandører bør overvåke og følge opp bærekraftskriterier.

- Følge opp utviklingen av standarder for bærekraftskriterier (CEN og ISO)
- Samarbeide med myndigheter, flyselskap, energiselskap, landbrukssektor og academia for å sikre lokale økonomisk vekstmuligheter for bærekraftig biodrivstoff

TJENESTETILBYDERE

Flyselskap: fortsette som pådrivere for endring

- Samarbeide med andre interessenter i hele verdikjeden for å spre risiko innen investeringer og bidra til avtaler om kjøp og etterspørsel av bestemte volum for biodrivstoff
- Bidra til systemforståelse ved at optimal og bærekraftig biodrivstoff innebærer produksjonsanlegg som produserer flere produkter, både fornybar Jet A-1, biodiesel og spesialkemikalier

FINANSIELLE INSTITUSJONER

Private institusjoner: jobbe videre for å løse utfordringer med finansiering

- Samarbeide med andre interessenter i hele verdikjeden for å redusere risiko for alle aktører
- Støtte tidligfasefinansiering for både råstoff og biodrivstoffproduksjon i samarbeid med andre interessenter for fornybar Jet A-1

AKADEMIA/FOU

Fortsette med forskning og utvikling av eksisterende konverteringsruter for å redusere produksjonskostnader og utvide teknologimulighetene for biodrivstoff til luftfart.

INDUSTRIFORENINGER OG STANDARDISERINGSORGAN

Bør være et knutepunkt for interessenter og for deling av informasjon.

- Fortsette å støtte god praksis og støtte interessenter i alle ledd i verdikjeden

FRIVILLIGE INTERESSEORGANISASJONER

Være en konstruktiv samtalepartner for industrien og bidra til utviklingen for standarder innen bærekraft, for å unngå mulige framtidige uoverensstemmelser angående bærekraft

7.4 Hovedutfordringer og anbefalte tiltak for veien videre

I tabellen under vises en oppsummering av utfordringer for å etablere produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart, delt inn i dagens status, utfordringer og interessenter. For hver av de tre sistnevnte inndelingene oppsummeres hovedpunktene for

- Ressurskartlegging og forståelse
- Biomasse
- Biodrivstoff-produksjon og raffinering
- Teknisk godkjenning og bærekrafts-sertifisering

Tabell 7-2 – Oppsummering av utfordringer for å etablere produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart

	Ressurskartlegging og forståelse	Biomasse	Biodrivstoff-produksjon og raffinering	Teknisk godkjenning og bærekrafts-sertifisering
Status	- God forståelse for uttak, tilgjengelige volumer og priser for norsk biomasse - noe mindre grad forståelse for konkurranseforhold mot Sverige, og det svenske og europeiske biomarkedet	- Det er veletablerte logistikk-kjeder for papir og treforedlingsindustri - Store volum av skogsavfall fra hogst og treforedling er tilgjengelig, men lite brukt eller i noe grad eksportert - Stort potensial for bærekraftig marin biomasse fra makroalger	- Få etablerte biodrivstoff-anlegg, primært bioetanol for veitransport - Norske aktører importerer biodiesel for veitransport og er deleiere i utenlandske raffinerier - Veletablert fossil raffinerikapasitet i Norge som kan utnyttas for drop-in biodrivstoff	- Det er etablert rettspraksis for andre sektorer (bioenergi), og i noen grad for biodrivstoff, men ikke for biodrivstoff for luftfart i Norge - To teknologier (HEFA og FT) er teknologisert - Ingen biomasse eller biodrivstoff fra Norge er bærekrafts-sertifisert - Delvis enighet om bærekraftskriterier på flere områder
Utfordringer	- Nye utfordringer i biomassemarkedet som følge av nedleggelse av papirindustri og lave elektrisitetspriser. - Nye bærekraftskriterier kan sette nye eller endrede begrensninger for volum	- Høsting og transport av biomasse for de stabile volumene som et produksjonsanlegg trenger - Utvikle nye biomasseressurser med et større potensial, forbedre agronomistandarder og ytelse	- Sørge for at fornybar Jet A-1 er et prioritert sluttprodukt for et bioraffineri - Etablere optimale raffineriprosesser for utvalgte regionale og bærekraftige råstoffer - Bevise teknologisk modenhet for raffinering-prosesser - Tilgang til eksisterende infrastruktur, spesielt for ferdig drop-in biodrivstoff	- Bærekraftskriterier er ikke godt definert for alle aspekter - Bærekraftskriterier må fullføres internasjonalt, f.eks. via standardiseringsarbeid i CEN og ISO
Interesser	- Biomasseforvaltere - Skogseiere - Treforedlingsindustri - Finansinstitusjoner - Fornybar varme og fjernvarme-selskap	- Investorer - Myndigheter - Landbruks og skogsindustri - Lokale myndigheter og lokalsamfunn	- Investorer - Myndigheter - Raffineringsindustri - Luftfartsindustri	- Myndigheter - Interesseorganisasjoner - Landbruks og skogsindustri - Luftfartsindustri - Raffineringsindustri - Forskningsinstitusjoner

Rambøll har foreslått konkrete tiltak for å kunne møte ovenstående utfordringer. Disse er skissert i tabellen under.

Tabell 7-3 – Anbefalte tiltak for å etablere bærekraftig biodrivstoff for luftfart i Norge i 2025

#	Handling	Førende aktører	Tidsperiode
Marked			
1	Utvikle en nasjonal strategi og handlingsplan for bruk av biomasse til energi og transportformål, «rett ressurs til rett formål og rett tid»	Nasjonale myndigheter med energi, biomasse, raffineri og bærekrafts-ekspertise	2013
2	Etablere utvidete støtteordninger og andre tiltak for alle aktører i en verdikjede for bærekraftig biodrivstoff med fokus på oppskalering og kommersialisering	Nasjonale myndigheter i tett dialog med industriaktører	2013
3	Etablere risikoreduserende tiltak for bærekraftige råstoffprodusenter og fleksible bioraffinerier for å etablere et marked og håndtere finansiell risiko	Flyselskap, biodrivstoffprodusenter og investorer	2013 og kontinuerlig fram til 2020
Biomassetilgang			
4	Etablere kontrakter for tilgang til eksisterende biomasseressurser (nye kontrakter, f.eks. «skog- og biomassebank» som aktivt kan forvaltes av større skogforvaltere)	Produsenter av bærekraftig bioråstoff	2013
5	Kartlegge potensialet bedre for nye biomasseressurser, spesielt arktiske mikroalger og lokale makroalger for Norge sin del	Forskningsinstitusjoner, biomasseprodusenter	2013
6	Utvide dyrking og testing av de mest lovende nye biomassealternativene	Forskningsinstitusjoner, biomasseprodusenter	2014
Raffinering			
7	Identifisere de mest lovende lokalitetene for bærekraftig bioraffinerier	Biodrivstoffprodusenter i samarbeid med råstoffeiere og forvaltere, fossil raffineriindustri og myndigheter	2012 (pågående)
8	Begynne kommersialisering av teknologi når tilgjengelig bærekraftig råstofftilgang er kartlagt	Biodrivstoffprodusenter i samarbeid med råstoffeiere og forvaltere, flyselskap, fossil raffineriindustri og myndigheter	2015
9	Etablere tilgang til fossil raffineringskapasitet og infrastruktur på flyplasser.	Biodrivstoffprodusenter, flyselskap, flyplassseiere, fossil raffineriindustri og myndigheter	2016
10	Etablere demonstrasjonsanlegg for raffineringsskapasitet for umodne teknologier	Biodrivstoffprodusenter i samarbeid med forskningsinstitusjoner og myndigheter	2016
11	Utvikle biodrivstoff og tilhørende prosesser for reduserte produksjonskostnader, både innen biokjemisk og termokjemisk behandling av lignocellulose	Forskningsinstitusjoner, biomasse og teknologiutviklere	2013 (pågående)

#	Handling	Førende aktører	Tidsperiode
Sertifisering teknologi og bærekraft			
12	Etablere bærekraftskriterier for råstoff og verdikjeder for norske forhold som er harmonisert med standardiseringsarbeidet i CEN og ISO	Myndigheter og industri med finansiell støtte og deltakelse i Norsk Standard bioenergi-komité	2013
13	Ferdigstille teknologisertifiseringen av Alcohol-to-Jet	Luftfartsindustri, bioraffinerier og produsenter av bioetanol eller andre bioalkoholer	2013/14
14	Informere og spre kunnskap om bærekraftige verdikjeder i Norge	Luftfartsindustri, biodrivstoffprodusenter interesseorganisasjoner, miljøbevegelse	2013-2018

8. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Luftfart påvirker klima, miljøet og omgivelsene, som Figur 8-1 illustrerer. Luftfartsnæringen jobber aktivt med å redusere klimagassutslipp og effektivisere alle prosesser, både for å bli mer bærekraftig, så vel miljø som økonomisk og sosialt.

Figur 8-1 – Flygninger i luftrommet over Storbritannia © SWNS



De «eldste biodrivstoffene» kull, fossil olje og gass, er minst bærekraftige, selv om de er meget økonomisk lønnsomme i et kort perspektiv for noen utvalgte nasjoner, deriblant Norge.

De mest egnede verdikjedene for en helhetlig bærekraftig biodrivstoffproduksjon i Norge er bestemt ut i fra en samlet vurdering av antatt lønnsomhet, alle bærekraftsaspekter, teknologistatus og modenhet, produksjonsvolum samt andre praktiske forhold. Denne rapporten har identifisert følgende fem verdikjeder for bærekraftig biodrivstoffproduksjon i Norge.

1. FT-SPK med utnyttelse av restprodukter i tett tilknytning til treforedlingsindustri
2. AtJ med andregenerasjons bioetanol fra skog
3. FT-SPK av avfall med høytemperatur gassifisering, f.eks. plasmafakler
4. AtJ med tredjegerasjons bioetanol fra bærekraftig dyrkede makroalger
5. AtJ med tredjegerasjons bioetanol fra mikroalger i fotoreaktorer med utnyttelse av spillvarme og CO₂ fra olje- og gass samt metallindustri

Fischer-Tropsch (FT-SPK) og Alcohol to Jet (AtJ) utgjør etter Rambølls mening de mest lovende alternativene for norsk produksjon av biodrivstoff til luftfart i et tidsperspektiv fram til 2020/2025.

For å oppnå målet om en klimaeffekt på 15 % fra luftfart i 2020/25, dvs 190 – 250 mill. liter ved en klimaeffekt på 60-80 %, er det nok tilgjengelig bærekraftig biomasse i Norge for å levere dette basert på volumet som er definert som «balansekvantum». Utfordringen er i hvilken grad dette er bærekraftig for alle forhold.

Til sammenligning, dersom alle de foreslåtte tiltakene fra Klimakur 2020 som forutsatte bruk av biomasse fra skogen gjennomføres, vil etterspørselen øke med i underkant av 6,6 millioner kubikkmeter, som tilsvarer i underkant av 14 TWh.

For Fischer-Tropsch er produksjonskostnadene for fornybar Jet A-1 i 2012 estimert til å være ca 11 NOK/liter. Investerings- og råstoffkostnadene utgjør nærmere 90 % av de totale produksjonskostnadene. En vesentlig reduksjon av råstoffbehov kombinert med en sterk reduksjon av investeringskostnadene er essensielt for at fornybar Jet A-1 fra en FT-prosess i fremtiden skal kunne være kommersielt lønnsom. De foreløpige estimatene indikerer at teknologien vil kunne være lønnsom før 2025. Lønnsomhet i dette tilfellet innebærer at produksjonskostnadene for fornybar Jet A-1 (FT) er lavere enn markedsprisen for Jet A-1. I det optimistiske scenariet er det kommersielle gjennombruddet estimert til å være i år 2021, hvor markedsprisen og produksjonskostnadene forventes å være ca 7 NOK/liter.

Det er svært viktig å presisere at lønnsomhet for Fischer-Tropsch forutsetter salg av biproduktene som genereres gjennom produksjonsprosessen (biodiesel og nafta). Anlegget vil i tillegg også produsere varme. Inntektene fra et evt. varmesalg er imidlertid ikke inkludert i beregningene, da dette vil være avhengig av infrastrukturen der anlegget lokaliseres. Avsetningen på varmen vil øke lønnsomheten på anlegget ytterligere, og føre til at det kommersielle gjennombruddet kan komme enda tidligere. Dagens produksjonskostnader (i 2012) uten salg av biprodukter er estimert til 16 NOK/liter.

Produksjonskostnadene for Alcohol to Jet (AtJ) er i 2012 estimert til 27 NOK/liter. Råstoffkostnadene alene utgjør over 90 % av disse. Fremtidig utvikling av prisen på bioetanol er derfor helt avgjørende for kommersialisering av Jet A-1 fra AtJ. Samtidig er det viktig at man også forbedrer utbyttefaktoren for antall liter Jet A-1 pr liter bioetanol anleggene forbruker. For AtJ-teknologien er det ikke funnet tilstrekkelig med informasjon som kan dokumentere inntekspotensialet for salg av biprodukter. Salg av biprodukter vil naturligvis kunne fremskynde det forventede kommersialiseringsgjennombruddet for AtJ.

Som svar på de tre hovedspørsmålene konkluderer prosjektet som følger:

Dersom produksjon av fornybar Jet A-1 skal baseres på norsk råstoff vil det frem mot 2020-25 være norsk skog som er den viktigste råstoffkilden. Det vil også være mulig å supplere med importert råstoff til konkurransedyktige priser.

Drivstoffene som produseres i de to prosessene tilfredsstiller kravene i EUs bærekraftskriterier, som her utgjør definisjonen av bærekraft. Livssyklusanalysene viser en klimabesparelse på 81% for Jet A-1 fra en FT-prosess og 65% for en AtJ-prosess sammenliknet med fossil Jet A-1. Dette er bedre enn bærekraftskriterienes krav om 60 % klimateffekt.

I følge analysen er det teknisk og økonomisk mulig å tilrettelegge for produksjon av bærekraftig fornybar Jet A-1 i Norge innen 2020-25. Foreløpige analyser tilsier at man også kan produsere til konkurransedyktige priser, men det er da spesielt viktig at man får solgt biproduktene fra produksjonen. Estimaten er gjort på et overordnet nivå, og det vil være behov for mer detaljerte kalkyler basert på et spesifikt anlegg for å analysere lønnsomheten mer nøyaktig. Dagens teknologiske og økonomiske usikkerhet knyttet til slik produksjon gjør at forutsigbare og langsiktige rammevilkår er nødvendig for å redusere risiko, og dermed realisere bærekraftig Jet A-1 som et miljøvennlig alternativ for norsk luftfart.

Rambøll har i tabellen under foreslått en rekke tiltak for å etablere en bærekraftig produksjon av bi drivstoff til luftfart i Norge innen 2020/2025.

Tabell 8-1 – Anbefalte tiltak for å etablere produksjon av bærekraftig biodrivstoff for luftfart i Norge innen 2025

#	Handling	Førende aktører	Tidsperiode
Marked			
1	Utvikle en nasjonal strategi og handlingsplan for bruk av biomasse til energi og transportformål, «rett ressurs til rett formål og rett tid»	Nasjonale myndigheter med energi, biomasse, raffineri og bærekraftsekspertise	2013
2	Etablere utvidete støtteordninger og andre tiltak for alle aktører i en verdikjede for bærekraftig biodrivstoff med fokus på oppskalering og kommersialisering	Nasjonale myndigheter i tett dialog med industriaktører	2013
3	Etablere risikoreduserende tiltak for bærekraftige råstoffprodusenter og fleksible bioraffinerier for å etablere et marked og håndtere finansiell risiko	Flyselskap, biodrivstoffprodusenter og investorer	2013 og kontinuerlig fram til 2020
Biomassetilgang			
4	Etablere kontrakter for tilgang til eksisterende biomasseressurser (nye kontrakter, f.eks. «skog- og biomassebank» som aktivt kan forvaltes av større skogforvaltere)	Produsenter av bærekraftig bioråstoff	2013
5	Kartlegge potensialet bedre for nye biomasseressurser, spesielt arktiske mikroalger og lokale makroalger for Norge sin del	Forskningsinstitusjoner, biomasseprodusenter	2013
6	Utvide dyrking og testing av de mest lovende nye biomassealternativene	Forskningsinstitusjoner, biomasseprodusenter	2014
Raffinering			
7	Identifisere de mest lovende lokalitetene for bærekraftig bioraffinerier	Biodrivstoffprodusenter i samarbeid med råstoffeiere og forvaltere, fossil raffineriindustri og myndigheter	2012 (pågående)
8	Begynne kommersialisering av teknologi når tilgjengelig bærekraftig råstofftilgang er kartlagt	Biodrivstoffprodusenter i samarbeid med råstoffeiere og forvaltere, flyselskap, fossil raffineriindustri og myndigheter	2015
9	Etablere tilgang til fossil raffineringskapasitet og infrastruktur på flyplasser.	Biodrivstoffprodusenter, flyselskap, flyplasseiere, fossil raffineriindustri og myndigheter	2016
10	Etablere demonstrasjonsanlegg for raffineringskapasitet for umodne teknologier	Biodrivstoffprodusenter i samarbeid med forskningsinstitusjoner og myndigheter	2016
11	Utvikle biodrivstoff og tilhørende prosesser for reduserte produksjonskostnader, både innen biokjemisk og termokjemisk behandling av lignocellulose	Forskningsinstitusjoner, biomasse og teknologiutviklere	2013 (pågående)

#	Handling	Førende aktører	Tidsperiode
Sertifisering teknologi og bærekraft			
12	Etablere bærekraftskriterier for råstoff og verdikjeder for norske forhold som er harmonisert med standardiseringsarbeidet i CEN og ISO	Myndigheter og industri med finansiell støtte og deltakelse i Norsk Standard bioenergi-komité	2013
13	Ferdigstille teknologisertifiseringen av Alcohol-to-Jet	Luftfartsindustri, bioraffinerier og produsenter av bioetanol eller andre bioalkoholer	2013/14
14	Informere og spre kunnskap om bærekraftige verdikjeder i Norge	Luftfartsindustri, biodrivstoffprodusenter interesseorganisasjoner, miljøbevegelse	2013-2018

Bærekraftig biodrivstoffproduksjon for luftfart kan etableres i Norge, både andregenerasjons og tredjegerasjons, fram mot 2025. Dette krever en vilje og langsiktig satsing fra både industri og myndigheter, der unik norsk kompetanse innen bærekraftig skog og havbruk, biomasselogistikk, raffinering og distribusjon av drivstoff, både fra fossile ressurser, men også bioraffinerier, kan utnyttes.

Ballen ligger først og fremst hos myndighetene som må legge til rette for en langsiktig og forutsigbar utvikling, for å sørge for riktig benyttelse av begrensede biomasseressurser.

Figur 8-2 – Kursen er gitt, hvem blir med på en turbulent, men framtidsrettet reise? © CSIRO



9. LITTERATUR OG REFERANSER

9.1 Rapporter og dokumenter

- [1] Mosvold Larsen, O., *Tilbudssinnbydelse Prosjektledelse: Utredningsprosjekt Biodrivstoff til sivil luftfart i Norge*, Avinor, Oslo, 2011
- [2] Avinor, SAS, Norwegian, NHO Luftfart, Widerøe, *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart – Rapport 2*, Oslo, 07/2012, Web: <http://www.avinor.no>
- [3] 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
- [4] 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
- [5] Analyse og Strategi, Arbeidspakke 3 – Bærekraftig Biodrivstoff for Luftfart, *Mulighetsstudie lokalisering og logistikkanalyse for prosessanlegg for produksjon av biodrivstoff*, Oslo, 10/2012
- [6] DNV KEMA, Arbeidspakke 4 – Bærekraftig Biodrivstoff for Luftfart, *Marine ressurser for biodrivstoff til luftfart*, Høvik, 10/2012
- [7] LMC, *Import of Biomass and Bio Jet Fuel for Norwegian Aviation*, Arbeidspakke 5 – Bærekraftig Biodrivstoff for Luftfart, Oxford, England, 11/2012
- [8] ASTM Standard, *D7566 – 11 a – Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons*, 2011
- [9] ASTM Standard, *D4054 – 09 – Standard Practice for Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives*
- [10] ASTM, *Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems* (AFQRJOS), 2005
- [11] Rambøll, *Økonomimodell for beregning av produksjonskostnader og framskrivning*, Oslo, 12/2012
- [12] Rambøll, *Livssyklusanalyser av Jet A-1 biodrivstoff for Fischer Tropsch og Alcohol to Jet prosesser basert på norske råstoff*, Oslo, 12/2012
- [13] 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>
- [14] Graham, P. et al, *Flight path to Sustainable Aviation, Towards establishing a sustainable aviation fuels industry in Australia and New Zealand*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) and Sustainable Aviation Fuel Users Group (SAFUG), 05/2011
- [15] National Research Council, *Sustainable Development of Algal Biofuels*, The National Academies Press, Washington DC, USA, 10/2012, Web: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13437
- [16] Rosillo-Calle F., Thrän D., Seiffert M., Teelucksingh S., *The Potential Role of Biofuel in Commercial Air Transport – Biojetfuel*, IEA Bioenergy, Task 40 Sustainable International Bioenergy Trade, 09/2012, Web: <http://www.bioenergytrade.org>
- [17] Maniatis K., Weitz M., Zschocke A., *2 million tons per year: A performing biofuels supply chain for EU aviation*, EU Flight Path, 2011
- [18] IEA, *Bioenergy annual Report 2009*, 2009
- [19] IEA, *World Energy Outlook 2012*, 2012
- [20] IEA, *Energy Technology Perspectives 2012*, 2012
- [21] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SRREN)*, 2011
- [22] Opdal O.A., *Production of synthetic biodiesel via Fischer-Tropsch synthesis. Biomass-To-Liquids in Namdalen*, Norge, 2006.
- [23] Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI), *Path to Alternative Jet Fuel Readiness*, 20011
- [24] Rueness J., Steen H., *Dyrking og utnyttelse av marine makroalger*, UMB

- [25] ATCLASS Consortium. (2011). **Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policies**. Retrieved November 9, 2012, from http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2011/october/tradoc_148289.pdf
- [26] Avfall Norge. (2011). **Assessment of increased trade of combustible waste in the European Union**.
- [27] **Bioenergitiltak og effekter på biomangfold**, Nina-rapport 311/2007. (n.d.). Retrieved November 26, 2012, from <http://www.nina.no/archive/nina/PPPBasePdf/rapport/2007/311.pdf>
- [28] **Biofuels - RED Sustainability schemes**. (n.d.). Retrieved November 9, 2012, from http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/sustainability_schemes_en.htm
- [29] Bright et al. (2012). **Climate impacts of bioenergy: Inclusion of carbon cycle and albedo dynamics in life cycle assessment**. *Environmental Impact Assessment Review*, (doi: 10.1016/j.eiar.2012.01.002.).
- [30] **Britisk søppel skal varme Oslo-borgerne**. (n.d.). Retrieved November 27, 2012, from <http://www.aftenposten.no/bolig/Britisk-soppel-skal-varme-Oslo-borgerne-7008634.html>
- [31] CICERO. (2011). **Åpent landskap reflekterer sollys**. *Klima 4.*, November 16, 2012, from <http://www.cicero.uio.no/fulltext/index.aspx?id=9021>
- [32] 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**. *GCB Bioenergy*, 3(5), 413–426. doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01102.x
- [33] EUROPAPARLAMENTET OG DET EUROPEISKE RÅD, **EU Direktiv 2009/28/EF, Fornybardirektivet**, 2009, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DA:PDF>
- [34] Euractiv, **Carbon debt**, <http://www.euractiv.com/climate-environment/eu-bioenergy-policies-increase-c-news-515606>
- [35] European Commission COM(2012) 595, **DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources** (2012).
- [36] European Commission, Joint Research Centre, & Institute for Energy. (2011). **Estimate of GHG emissions from global land use change scenarios**, http://iet.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/scientific_publications/2011/technical_note_eu2481_7.pdf
- [37] European Commission: **Studies - Land Use Change**, http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/land_use_change_en.htm
- [38] Framstad, E., Stokland, J. N., Hylén, G., & NINA. (2011). **Skogvern som klimatiltak: Verdifulle skogtyper for biologisk mangfold og karbonlagring**.
- [39] German, L., Schoneveld, G., & CIFOR. (2011). **Social sustainability of EU-approved voluntary schemes for biofuels: Implications for rural livelihoods.**, http://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/WP75German.pdf
- [40] **Henter søppel fra Irland**. (n.d.). Retrieved November 27, 2012, from <http://www.nrk.no/nyheter/distrikt/ostfold/1.8121509>
- [41] Holtsmark, B. (2010). **Virkningene på klimagassutslipp ved økt bruk av biodrivstoff - en litteraturgjennomgang**. Rapport 44/2010. Retrieved November 13, 2012, from http://www.ssb.no/emner/01/04/10/rapp_201044/rapp_201044.pdf
- [42] Holtsmark, B., & SSB. (2010). **Use of wood fuels from boreal forests will create a biofuel carbon debt with a long payback time**, (637).
- [43] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2012). **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**.
- [44] Klif, NVE, Oljedirektoratet, SSB, Statens vegvesen. (2010). **Klimakur 2020: Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020**, <http://www.klimakur.no/>
- [45] Klima og forurensningsdirektoratet. (2011). **Skog som biomasseressurs**, (TA 2762).
- [46] Miljøverndepartementet St.meld. nr. 34 (2006–2007) **Norsk klimapolitikk** (2007).
- [47] Miljøverndepartementet. (2012). Meld. St. 21 (2011–2012) **Norsk klimapolitikk**, 21.
- [48] OED. **Nasjonal handlingsplan for fornybar energi i henhold til Direktiv 2009/28/EC.**, 2012, http://www.regjeringen.no/upload/OED/pdf_filer/22-konsesjonsrunde_2012/2012-0626_Handlingsplan_fornybardirektivet_250612.pdf
- [49] Production and consumption of wood in the EU27. (2012). Pressemelding Eurostat, Europa. Retrieved December 4, 2012, from http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-12-168_en.htm?locale=en

- [50] Renewable Fuel Standard (RFS) | Fuels and Fuels Additives | US EPA. (2011). Retrieved from <http://www.epa.gov/otag/fuels/renewablefuels/index.htm>
- [51] Stortinget. (2012, June 8). Innst. 390 S (2011-2012); Innstilling fra energi- og miljøkomiteen om norsk klimapolitikk. energi- og miljøkomiteen. Retrieved from <http://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Innstillinger/Stortinget/2011-2012/inns-201112-390/1/>
- [52] **The EU climate and energy package - Policies - Climate Action** - European Commission. (n.d.). Retrieved November 16, 2012, from http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm
- [53] Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources (2009).
- [54] **From Barracks to the Battlefield – CLEAN ENERGY INNOVATION AND AMERICA'S ARMED FORCES**, 2011, <http://www.pewenvironment.org/news-room/reports/from-barracks-to-battlefield-clean-energy-innovation-and-americas-armed-forces-85899364060>
- [55] Technology MAP SET-plan 2011 JRC, <http://setis.ec.europa.eu/setis-deliverables/technology-mapping>
- [56] Vertès, A.A., Quereschi, N., Blaschek, H.P., Yukawa, H., **Biomass to Biofuels – Strategies for Global Industries**, Wiley, 2010
- [57] IEA Bioenergy (2012); **The Potential and Role of Biofuels in Commercial Air Transport – Biojetfuel**
- [58] International Organization for Standardization, **ISO 14040:2006 Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework**, http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=37456
- [59] International Organization for Standardization, **ISO 14044:2006 Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines**, http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=38498
- [60] **PRé LCA Software**, <http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>
- [61] Ibenholt, K., **Biodrivstoff: hva er netto klimaeffekt? – en oversikt over nyere forskning**, Vista Analyse, Oslo, Norge, 03/2011
- [62] KanEnergi, **Biomasse – nok til alle gode formål?**, 2009
- [63] **The EU climate and energy package - Policies - Climate Action** - European Commission
- [64] Ekbo, T., Hjerpe, C., Hagström, M., Hermann, F., **Förstudie för biobaserat flygbränsle för Stockholm-Arlanda Flygplats**, Värmeforsk, 2009, Web: <http://www.varmeforsk.se/reports?action=show&id=2767>
- [65] WE Forum, Sustainable Transportation Ecosystem, <http://www.weforum.org/reports/sustainable-transportation-ecosystem-addressing-sustainability-integrated-systems-perspectiv>
- [66] Ecoinvent Centre – Swiss Centre for Life Cycle Inventories (<http://www.ecoinvent.ch/>), **List of Ecoinvent Reports**, (<http://www.ecoinvent.org/documentation/reports/>)

9.2 Internettssider

- [67] European Biofuels Technology platform (www.biofuelstp.eu), **Biofuels in Aviation - Feedstocks and conversion technologies**, Lastet ned: 05.12.2011, (Web: http://www.biofuelstp.eu/air.html#biofuel_tech)
- [68] Yale 360, Green Crude The Quest to Unlock Algae's Energy Potential, http://e360.yale.edu/feature/green_crude_the_quest_to_unlock_algaes_energy_potential/2582/
- [69] San Diego Center for Algae Biotechnology, <http://algae.ucsd.edu/>
- [70] Marketwatch, Wall Street Journal, <http://blogs.marketwatch.com/energy-ticker/2013/03/21/tesoros-algae-made-crude-is-drop-in-the-bucket-but-thats-still-a-big-deal/>
- [71] Sapphire, <http://www.sapphireenergy.com/>
- [72] Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany, <http://www.aireg.de/>
- [73] Nesteoil, news, <http://www.nesteoil.com/>
- [74] SLF Klimaprojekter, støtteordninger, <https://www.slf.dep.no/no/miljo-og-okologisk/klima/klimaprojekter>
- [75] SLF FoU, støtteordninger, <https://www.slf.dep.no/no/produksjon-og-marked/forskningsmidler/fou-prosjekter>

9.3 Intervju, møter eller samtaler

- [76] Mosvold-Larsen, O., Sjølander, J. (Avinor AS), *Intervju om framskrivninger for drivstoff-forbruk ved norske lufthavner*, Rambøll-notat, Oslo, 05.02.2012
- [77] Intervju og samtaler med SAS
- [78] Intervju og samtaler med Norwegian
- [79] Intervju og samtaler med NHO Luftfart
- [80] Befaring ved Borregaard Biorafineri 15. desember 2011
- [81] Befaring ved UMB, samtaler med ulike doktorgradstipendiater for biodrivstoff

9.4 Konferanser

- [82] World Biofuels Market, Rotterdam, 13.-15. mars 2012
- [83] Green Growth Forum, København, 27. mars 2012
- [84] Advanced Biofuel Conference, Brussel, 4.-5. desember 2012
- [85] EU FlightPath, Biofuels FlightPath 5th Workshop: "Upstream R&D and Innovation for Biofuels in Aviation" Milano, 18 Juni 2012, Konferanse i Milano,
- [86] Teknologisk Møteplass, Oslo, Forskningsrådet, KLIF, Innovasjon Norge, Enova, 14. juni 2012
- [87] Årsmøte NOBIO 26.04.2012, presentasjon av prosjektet og diskusjoner med deltakere
- [88] Algekonferansen 2012, Bodø
- [89] Zerokonferansen 2012, Oslo

VEDLEGG

1. VEDLEGG 1 REFERANSEGRUPPEMEDLEMMER

Firma/organisasjon	Navn	E-post
Avinor	Olav M. Larsen	Olav.Mosvold.Larsen@avinor.no
Borregaard	Klaus Neumann	klaus.neumann@borregaard.com
Cicero	Glen Peters	glen.peters@cicero.uio.no
Forskningsrådet	Anders Brattland	abr@forskningsradet.no
Nobio	Lars Løken Granlund	lars@nobio.no
NVE	Håvard Hamnaberg	hham@nve.no
Sintef	Judit Sandquist	judit.sandquist@sintef.no
Skogeierforeningen	Bjørn Evjen	bjorn.evjen@skog.no
Statoil	Marianne Waage Fougner	mwf@statoil.com
UMB	Erik Trømborg	erik.tromborg@umb.no
Uniol	Carl-Ivar Herskedal	carl-ivar.herskedal@uniol.no
Zero	Johannes Fjell Hojem	johannes@zero.no

Andre deltakere på referansegruppemøtene har vært

Firma/organisasjon	Navn	E-post
Analyse & Strategi	Kjell Ove Kalhagen	kjell.ove.kalhagen@analysestrategi.no
Analyse & Strategi	Kaj W. Halvorsen	kaj.w.halvorsen@analysestrategi.no
Biopharmia	Roald Flo	roald@biopharmia.no
DNV Kema	Sigrid Brynestad	sigrid.brynestad@dnv.com
Framtiden i våre hender	Guro Tajet	guri@framtiden.no
INEOS	Mangor Lien	mangor.lien@ineos.com
KLIF	Christine Maass	Christine.Maass@klif.no
KLIF	Hege Haugland	Hege.Haugland@klif.no
Norges Naturvernforbund	Holger Schlaupitz	hs@naturvernforbundet.no
Norsk Petroleumsinstitutt	Øystein Aadnevik	oystein.aadnevik@np.no
NOx Fondet	Geir Høibye	geir.hoibye@nox-fondet.no
NVE	Øivin Saanum	oes@nve.no
Samferdselsdepartementet	Malin Anitadatter Karlstad	Malin-Anitadatter.Karlstad@sd.dep.no
Sintef Energi	Berta Mata Guell	Berta.quell@sintef.no
Statens landbruksforvaltning	Jørn Lileng	Jorn.Lileng@slf.dep.no
Treklyngen Invest	Ole Petter Løbben	opl@viken.skog.no

2. VEDLEGG 2 TECHNOLOGY, FUEL & FEEDSTOCK READINESS LEVEL

Table 1. The *Feedstock Readiness Level* (FSRL) Tool and companion Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative® (CAAFI®) *Fuel Readiness Level* (FRL) Tool. The FSRL Tool provides a means of tracking progress of new feedstocks towards established production in the commercial sector that are linked to commercial-scale biofuels production - a complete supply chain systems context is implied. The FSRL Tool is comprised of four components: (1) *Production*, (2) *Market*, (3) *Policy - Program Support and Regulatory Compliance*, and (4) *Linkage to Conversion Processes*. The four FSRL Tool components are in parallel with the FRL tool components, including the readiness of the biofuel conversion process technology that will be utilized and the fuel testing and certification readiness. This approach provides an integrated way to demonstrate the mutual requirements of feedstocks and conversion technologies.

Modenhet for drivstoffproduksjon (Fuel Readiness Level, FRL)				Modenhet for råstoff (Feedstock Readiness Level, FSRL)			FSRL Components with Tollgates			
FRL Skala	Beskrivelse	Testing og sertifisering	Milepæl	Aktivitet	Skala	Beskrivelse	(1) Produksjon	(2) Marked	(3) Politikk - Virkemidler og regulatoriske ordninger	(4) Kobleling til konverteringsprosessen
1	Basic Principles		Feedstock and process basic principles identified	Preliminary Feedstock Evaluation	1	Basic Principles	Identify potential feedstock for a specific conversion technology	Identify current feedstock producers, feedstocks and coproduct users, and wastes	Identify regulatory requirements to producing a new feedstock ^a	Identify potential conversion technology to utilize feedstock
2	Concept Formulated		Feedstock and complete process identified		2,1	Concept Formulated	Estimate likely range of production environments and competing land uses	Assess feedstock market alternatives	Evaluate feedstock for compliance with regulatory requirements for likely production environments	Test feedstock quality for specific conversion technology
					2,2		Identify production system components	Identify potential coproducts	Estimate production impacts on multiple resources concerns ^b	
					2,3		Develop enterprise budget for potential feedstock	Identify waste disposal requirements	Formulate a plan including best practices to address regulatory requirements	

						2,4	Identify possible consequences of expanded production, articulate responses to trade-off's	Identify harvest techniques, post-harvest collection, transportation, and storage logistic options	Comply with any feedstock pre-importation regulations	
3	Proof of Concept		Small fuel sample available from lab - basic fuel properties validated	Feedstock Experimental Testing	3,1	Proof of Concept	Screen candidate genetic resources for feedstock yield	Estimate feedstock production costs	Determine potential for societal resistance to use of the candidate feedstock	Test feedstock in conversion process at the experimental bench-scale
					3,2		Screen candidate genetic resources for biofuel conversion potential	Evaluate current and alternative future scenarios for establishing a feedstock sector - feasibility study	Formulate a plan to address societal concerns	
4,1	Preliminary Technical Evaluation	Preliminary Specification of Properties	System performance and integration studies		4,1	Preliminary Technical Evaluation	Perform coordinated regional feedstock trials to determine potential for yield improvement and dependability of feedstock supply	Identify biorefiners for targeted feedstock market development and link feedstock producers to feedstock brokers to supply biorefineries	Identify Federal, state, or other special incentive programs ^c	Performance estimated for feedstock through a conversion process
					4,2		Compare performance of candidate feedstock with alternative feedstock choices	Identify specific alternatives for reducing production and supply uncertainties (i.e., contracts and loan	Develop conservation plan to address resource concerns for a feedstock production system	Determine conversion efficiency and unique effects on fuel properties

BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART

								guarantees)		
4,2			Entry criteria/specification properties evaluated		4,3		Implement agricultural extension and education programs to promote feedstock production	Implement education programs to establish interest in production and demand for feedstock purchase	Draft NEPA (EA or EIS) and other required permitting documents	Co-product production and utilization performance estimated
5,1			Laboratory production development		5,1		Define range of adaptation for feedstock and identify production uncertainties	Develop and refine post-harvest logistics and storage	NEPA documents, conservation plan, and other required permit applications submitted	
5,2		Process Validation	Subscale production demonstrated	Pre-commercial Feedstock Assessment	5,2	Production System Validation	Conduct on-farm, field-scale production cost trials and assess production impacts on resource concerns	Assess maximum market potential for feedstock and coproducts	NEPA documents, conservation plan, and other required permit applications approved	Pilot-scale testing
5,3			Scalability of production demonstrated		5,3		Establish partial budget costs and returns	Evaluate waste disposal and other costs	Prepare and submit service program applications	
5,4			Pilot plant capability enabled		5,4		Establish price points for feedstock market competitiveness with competing land uses	Develop feedstock offtake options and pathways to realizing market potential	Service program applications approved and payments received	Scaled-commercial testing

BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART

6,1	Full-Scale Technical Evaluation	Fit-for-Purpose Properties - ASTM Balloting Process	Fit for purpose properties evaluated		6,1	Full-Scale Production Initiation	Establish source material nurseries and begin feedstock production scale-up process	Ancillary service providers apply knowledge gained to advise producers and other supply chain participants	All regulatory compliance is complete	Performance confirmed for feedstock conversion and effects on fuel properties, engines, and components
6,2		Component/Rig Testing - OEM Review and Approval	Turbine hot section testing				Produce feedstock planting materials to meet demand	Determine feedstock production capacity when linked to market outlets - price and quantity		
6,3			Component/rig/emissions testing							
6,4		Engine/APU Testing - ASTM Research Report	Engine/APU testing							
7	Certification/Fuel Approval (Determine go or no-go)	Fuel Class Listed in International Fuel Specifications	Fuel class/type listed in international fuel standards	Feedstock Commercial Deployment	7	Feedstock Availability	Commercial-scale production and feedstock delivery to conversion facility - payments made for feedstock	Utilize risk management tools to reduce uncertainty of feedstock production	Continue service program participation as needed	Sustainable full-scale production of biofuel and co-products
8	Commercialization		Business model validated for production go-ahead - airline/military purchase agreements secured		8	Commercialization	On-going monitoring and research to improve production system performance while managing multiple resource concerns	Market established - make necessary adjustments to the supply chain as the feedstock market evolves ^d	Maintain regulatory compliance and make adjustments as needed	
9	Production Capacity Established		Full-scale plant operational		9	Sustainable Feedstock Production Capacity Established	Full array of private services support feedstock production sector - understanding of feedstock	Market functions to support sustainable feedstock production	Federal, state, and private programs function with minimal disruption from unintended economic,	

							sector evolves - make adjustments as commercial-scale bio-fuel production expands		environmental or social consequences	
--	--	--	--	--	--	--	---	--	--------------------------------------	--

^a Examples of considerations for regulatory compliance include pre-importation regulations, invasive species; gene escape; EPA Feedstock Certification for GHG reductions under the Energy Independence and Security Act and Renewable Fuel Standard 2; and NRCS conservation plan support.

^b Multiple natural resource concerns include the USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS) conservation planning framework SWAPAE+H (Soil, water, air, plant, animal, energy, plus human effects). Various decision tools are available to estimate feedstock production impacts on metrics of soil erosion, fuel use, pest risk assessment, and greenhouse gas emissions.

^c Examples of service agency programs include: USDA Farm Service Agency, Biomass Crop Assistance Program (BCAP); NRCS, Environmental Quality Incentive Program (EQIP); and Risk Management Agency, Crop Insurance Program.

^d Monitor and analyze market transactions, producer decisions, technical developments, and resource availability.

Authors: Jeffrey Steiner, USDA Agricultural Research Service, Beltsville, MD; Kristin Lewis, John A. Volpe, National Transportation Systems Center, Research and Innovative Technology Administration, U.S. Department of Transportation, Cambridge MA; Harry Baumes, USDA Office of Energy Policy and New Uses, Office of the Chief Economist, Washington, DC; and Nathan Brown, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

Version: August 8, 2011

3. VEDLEGG 3 KRAV TIL SYNTETISERT JET A-1 DRIVSTOFF

Property	Jet A or Jet A-1	
COMPOSITION		
Acidity, total mg KOH/g	Max	0.10
Aromatics: One of the following requirements shall be met:		
1. Aromatics, vol %	Max	25
2. Aromatics, vol %	Max	26.5
Sulfur, mercaptan, ^C mass %	Max	0.003
Sulfur, total mass %	Max	0.30
VOLATILITY		
Distillation		
Distillation temperature, °C:		
10 % recovered, temperature (T10)	Max	205
50 % recovered, temperature (T50)		report
90 % recovered, temperature (T90)		report
Final boiling point, temperature	Max	300
Distillation residue, %	Max	1.5
Distillation loss, %	Max	1.5
Flash point, °C	Min	38 ^F
Density at 15°C, kg/m ³		775 to 840
FLUIDITY		
Freezing point, °C	Max	−40 Jet A ^H −47 Jet A-1 ^H
Viscosity −20°C, mm ² /s ^I	Max	8.0
COMBUSTION		
Net heat of combustion, MJ/kg	Min	42.8 ^J
One of the following requirements shall be met:		
(1) Smoke point, mm, or	Min	25
(2) Smoke point, mm, and	Min	18
Naphthalenes, vol, %	Max	3.0
CORROSION		
Copper strip, 2 h at 100°C	Max	No. 1
THERMAL STABILITY		
2.5 h at control temperature of 260°C, min		
Filter pressure drop, mm Hg	Max	25
Tube deposits less than		3 ^K

4. VEDLEGG 4 PRODUSENTER AV BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART

Under vises en liste over de selskapene Rambøll har identifisert som produserer syntetisk Jet A-1 fra biomasse (og noen andre ukonvensjonelle råstoff som kull etc.). Produksjonen følger både sertifiserte og ikke sertifiserte ruter. Oversikten er ikke uttømmende og er sist oppdatert i mai 2012.

	A2BE Carbon Capture, LLC
	Air BP
	AltAir Fuels
	American Clean Coal Fuels
	Amyris
	Applied Research Associates
	Baard Energy
	Bell Bio-Energy, Inc.
	Biofuels Technology Enterprises
	BioPure Fuels
	BioPure Oil
	BioJet
	Byogy
	Clean Energy Fuels, Ltd
	Diversified Energy
	Dynamic Fuels, LLC

BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART


[EERC](#)

[Epic Aviation](#)

[Exponent](#)

[Gas Technology Institute](#)

[GE Aviation](#)

[General Atomics](#)

[Great Plains Oil & Exploration](#)

[Gevo, Inc.](#)

[JetE](#)

[Neste Oil](#)

[Pacific Northwest National Laboratories](#)

[Rentech](#)

[Sapphire Energy](#)

[Shell Aviation](#)

[SkyNRG](#)

[Solena Group](#)

[Swift Enterprises, Ltd](#)

[Solazyme](#)

[Sustainable Oils](#)

[Syntroleum](#)


[Terasol Energy, Inc.](#)

[Terrabon](#)


A Honeywell Company

[UOP](#)

[Velocys](#)

[WaterLand Holdings](#)

5. VEDLEGG 5 TESTFLYGNINGER

Noen utvalgte testflygninger siden 2008

Carrier	Aircraft	Partners	Date	Biofuel	Blend
virgin atlantic	B747-400	Boeing, GE Aviation	23 Feb 2008	Coconut & Ba- bassu	20% one engine
AIRBUS AN EADS COMPANY	A380	Airbus, Rolls-Royce, Shell	1 Feb 2008	Gas to Liquid (not biofuel)	50% one engine
AIR NEW ZEALAND	B747-400	Boeing, Rolls-Royce	30 Dec 2008	Jatropha	50% one engine
Continental Airlines	B737-800	Boeing, GE Aviation, CFM, Honeywell UOP	7 Jan 2009	Algae and Ja- tropa	50% one engine
JAL	B747-300	Boeing, Pratt & Whitney, Honeywell UOP	30 Jan 2009	Camelina, Ja- tropa, Algae blend	50% one engine
QATAR AIRWAYS القطرية	A340-600	Airbus, Shell	12 Oct 2009	Gas to Liquid (not biofuel)	50% four engines
KLM	B747-400	GE, Honeywell	23 Nov 2009	Camelina	50% one engine
UNITED	A319	Rentech	30 Apr 2010	Gas to Liquid (not biofuel)	40% two engines
TAM	A320	Airbus, CFM	23 Nov 2010	Jatropha	50%
interjet	A320	CFM, Safran, EADS, Air- bus, Honeywell	1 Apr 2011	Jatropha	27%
Honeywell	G450	Rolls-Royce, GulfStream	18 Jun 2011	Camelina	50% one

BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART

					engine
	B747-8F	GE, Honeywell	20 Jun 2011	Camelina	15% four engines
	B747-400	Boeing, PetroChina, Pratt & Whitney, Honeywell UOP	28 Oct 2011	Jatropha	50% one engine
	300 ER	Boeing	24 Jan 2012	Recycled Vegetable Cooking Oil	TBC
	787 Dreamliner	Boeing	17 Apr 2012	Used Cooking Oil	TBC
	E190	Embraer, Amyris, GE Aviation	19 Jun 2012	Sugarcane	TBC

Noen utvalgte testflyvninger med passasjerer siden 2011

Carrier	Aircraft	Flighpaths	Date	Feedstock (Supplier)	Notes
	B737	Amsterdam-Paris	22 Jun 2011	Used cooking oil (SkyNRG)	200 city pair flights from September 2011
	A321	Hamburg-Frankfurt	15 Jul 2011	Mix of feedstocks (Neste Oil)	1200 flights over a six-months period
	A321	Amsterdam-Helsinki	18 Jul 2011	Used cooking oil (SkyNRG)	
	A320	Mexico City-Tuxtla Gutierrez	21 Jul 2011	Jatropha (ASA)	
	B777	Mexico City-Madrid	1 Aug 2011	Jatropha (ASA)	
	A320	Madrid-Barcelona	3 Oct 2011	Camelina (ASA)	
	B757	Birmingham-Arrecife	6 Oct 2011	Used cooking oil (SkyNRG)	Dayly flights in early 2012 for six weeks
	A321	Toulouse-Paris	13 Oct 2011	Used cooking oil (SkyNRG)	Flight used 50% biofuel in each engine
	737-800	Houston-Chicago	7 Nov 2011	Algae (Solazyme)	40% biofuel domestic flight
	737s and Q400s	Seattle-Portland Seattle-Washington	9 Nov 2011	Used cooking oil (SkyNRG)	75 scheduled domestic flights powered by 20% biofuel
	777-200	Bangkok-Chiang Mai	22 Dec 2011	Used cooking oil (SkyNRG)	
	747	Frankfurt-Washington DC	12 Jan 2012	Mix of feedstocks (Neste OilMi)	Reduced CO2 emis-

sions by 38 tons					
	A320	Santiago-Concepcion, Chile	7 Mar 2012	Used cooking oil (SkyNRG)	Trial flight
	A330	Sydney-Adelaide, Australia	13 Apr 2012	Used cooking oil (Sky NRG)	Trial flight
	Q400	Toronto City-Ottawa	17 Apr 2012	Used cooking oil (Honey well/SkyNRG)	
	A320	Melbourne-Hobart	19 Apr 2012	Used cooking oil (SkyNRG)	
	Q400	Montreal-Toronto	18 Jun 2012	Camelina	
	A319	Toronto-Mexico City	18 Jun 2012	Used cooking oil (SkyNRG)	
	777	Mexico City-Sao Paulo	18 Jun 2012	Mix of feedstocks (ASA)	
	777	Amsterdam-Rio de Janeiro	19 Jun 2012	Used cooking oil (SkyNRG)	

6. VEDLEGG 6 GLOBALE INITIATIV

World Economic Forum oversikt

[Thai Airways Travel Green](#)

Project Objective:

Accelerate the development of sustainable aviation biofuel production in Thailand

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Demonstration

Region: Asia

[CALIN](#)

Project Objective:

Research biofuels with potential for commercialization

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Research

Region: Europe

[Sustainable Aviation Fuels User Group \(SAFUG\)](#)

Project Objective:

Accelerate the development of sustainable biofuels

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Demonstration

Region: Africa, Asia, Europe, Middle East, North America, Latin America, Global (all of the above)

[Sustainable Aviation Fuels Road Map Australasia](#)

Project Objective:

Pave way for commercialization of biofuels in Australia and New Zealand

Type of initiative: Facilitating Mechanism

Stage of development: Feasibility

Region: Asia

[European Advanced Biofuels Flight Path Initiative](#)

Project Objective:

Commercialization of aviation biofuels

Type of initiative: Facilitating Mechanism

Stage of development: Commercial Scale

Region: Europe

[Alfa Bird](#)

Project Objective:

Research biofuels with potential for commercialization

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Research

Region: Europe

[aireq](#)

Project Objective:

Introduction of biofuels for aviation in Germany

Type of initiative: Facilitating Mechanism

Stage of development: Commercial Scale

Region: Europe

[Finnair Amsterdam Helsinki](#)

Project Objective:

Accelerate the development of sustainable and affordable biofuels

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Demonstration

Region: Europe

[Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation \(SWAFEA\)](#)

Project Objective:

Provide guidance to policy makers on aviation sustainability issues

Type of initiative: Facilitating Mechanism

Stage of development: Research

Region: Europe

[Clean Sky Joint Technology Initiative](#)

Project Objective:

Facilitate development and implementation of sustainable technologies

Type of initiative: Facilitating Mechanism

Stage of development: Feasibility

Region: Europe

[Biologic & Process Technologies for Renewable Jet Fuel Program](#)

Project Objective:

Test the use of biofuels in turbo props

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Demonstration

Region: North America

[SkyNRG/KLM 200 Flights](#)

Project Objective:

Achieving 200 flights on biofuels

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Commercial Scale

Region: Europe

[CAAFI](#)

Project Objective:

Support the environmental sustainability of the aviation industry

Type of initiative: Facilitating Mechanism

Stage of development: Demonstration

Region: North America

[Virgin Australia](#)

Project Objective:

Eucalypt tree feedstock / pyrolysis technology

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Commercial Scale

Region: Asia

[Brazilian Alliance for Aviation Biofuels \(ABRABA\)](#)

Project Objective:

Scale up the commercial supply of aviation biofuels

Type of initiative: Facilitating Mechanism

Stage of development: Demonstration

Region: Latin America

[Masdar-Sustainable Bioenergy Research Centre](#)

Project Objective:

The viability of sustainable biofuel production as part of an integrated seawater agricultural system in Abu Dhabi and the potential for wider application and commercialisation

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Feasibility

Region: Middle East

[Joint Laboratory for Sustainable Aviation Biofuels](#)

Project Objective:

Conduct research on algae-based biofuels

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Demonstration

Region: Asia

[Interjet-Airbus](#)

Project Objective:

Conduct test flights using salicornia-based biofuels

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Demonstration

Region: North America

[Air China-Boeing](#)

Project Objective:

Conduct test flights using biofuels in China

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Demonstration

Region: Asia

[Sustainable Aviation Fuels Northwest \(SAFN\)](#)

Project Objective:

Develop a regional supply chain for biofuels

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Feasibility

Region: North America

[Plan de Vuelo, Mexico](#)

Project Objective:

Supply chain distribution

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Commercial Scale

Region: North America

[Jet Biofuel Value Chain Project \(Brazil\)](#)

Project Objective:

Evaluate feasibility of biofuel production from jatropha

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Feasibility

Region: Latin America

[GreenSky California](#)

Project Objective:

Produce sustainable aviation fuel at commercial scale

BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Commercial Scale

Region: North America

[Targeted Growth Canada](#)

Project Objective:

The consortium will demonstrate the use of camelina in turbo prop aircraft.

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Demonstration

Region: North America

[Agencia Estatal de Seguridad Aerea \(Spain\)](#)

Project Objective:

Develop a domestic aviation biofuel supply chain

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Feasibility

Region: Europe

[Romanian Camelina Value Chain Project](#)

Project Objective:

Develop a supply chain for camelina-based aviation biofuels

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Demonstration

Region: Europe

[Sea Green Project](#)

Project Objective:

Large-scale production of algae biofuels

Type of initiative: End User Action Group

Stage of development: Research

Region: Europe

[Qatar Advanced Biofuel Platform](#)

Project Objective:

Large-scale production of algae biofuels

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Demonstration

Region: Middle East

[Pure Sky](#)

Project Objective:

Demonstrate viability of long-term test flights

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Demonstration

Region: Africa, Asia, Europe

[GreenSky London](#)

Project Objective:

Produce sustainable aviation fuel at commercial scale

Type of initiative: Pilot Project

Stage of development: Commercial Scale

Region: Europe

Supporting Environment for Biofuels in Aviation – side 39 i følgende rapport har detaljert oversikt over 10 initiativ globalt:

http://www3.weforum.org/docs/WEF_MO_SustainableTransportationEcosystem_Report_2012.pdf

7. VEDLEGG 7 FRAMSKRIVNINGER AV KOSTNADER FOR BIODRIVSTOFF-PRODUKSJON

LÆRINGSRATER OG –KURVER: TEORI, BAKGRUNN OG BEGRENSNINGER

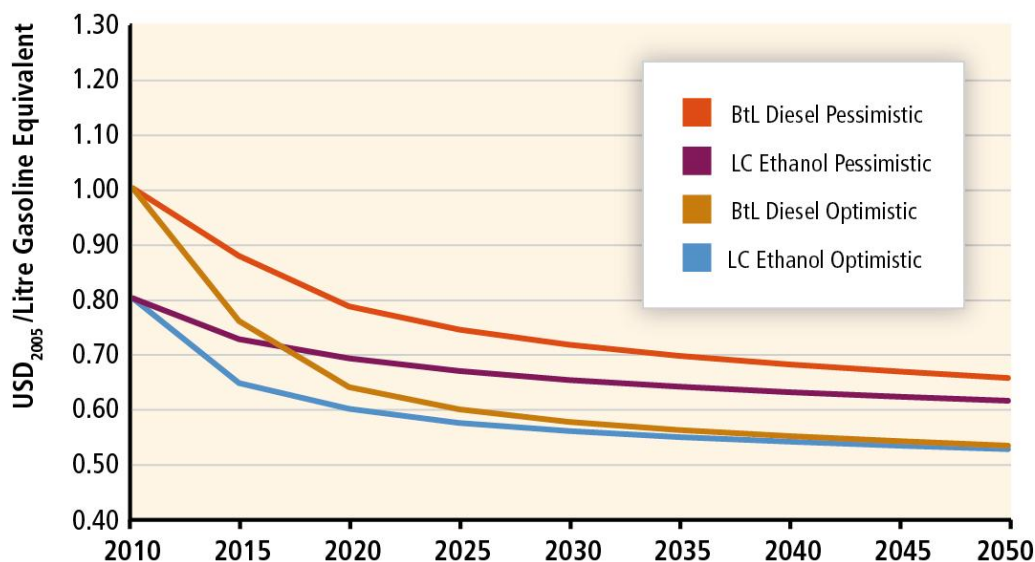
Teknologisk utvikling og gjennombrudd er avhengig av samspillet mellom forskning på teknologi, og industri- og markedsutvikling for teknologiene^[21]. Teknologisk læring er en nøkkelfaktor for alternativkostnadene for energiteknologiene. Mange av de konvensjonelle teknologiene som brukes i dag har hatt lang tid på å bli utviklet. De fleste fornybare energiteknologier og fossile energiteknologier med rensing har høyere produksjonskostnader, men har lavere klimagassutslipp og som oftest færre miljøkonsekvenser enn konvensjonelle teknologier. Mange av de nyere energiteknologiene er fortsatt umodne, men utviklingshastighetene er høye i forhold til for konvensjonelle teknologier. Det forventes at gapet mellom teknologiene blir mindre og mindre, og at det etter hvert kan lukkes helt, se Figur 5-11

I følge SRREN^[21] er de viktigste mekanismene for læring for kostnadsreduksjoner følgende:

- *Learning by searching*, som består av forbedringer fra forskning, utvikling og demonstrasjonsprosjekter (FoU&D), og ikke bare for innovasjon før kommersialisering
- *Learning by doing*, som består av forbedringer av produksjonsprosessen (for eksempel effektivisering av arbeidskraft, spesialisering av arbeidsoppgaver)
- *Learning by using*, som består av forbedringer basert på tilbakemeldinger fra brukere etter at teknologiene har blitt solgt i nisje markeder
- *Learning by interacting* ("spill-overs"), som består av en styrking av mekanismene nevnt over som følge av økt samhandling mellom alle aktører
- *Storskalafordeler*, både av installasjoners størrelse og antall inkludert masseproduksjon

Disse mekanismene kan skje samtidig i de ulike utviklingsstadiene eller styrke hverandre.

Figur 9-1 – Forventninger om prisreduksjoner for biodiesel (Fischer Tropsch) og bioetanol fra lignocellulose © SRREN^[21]

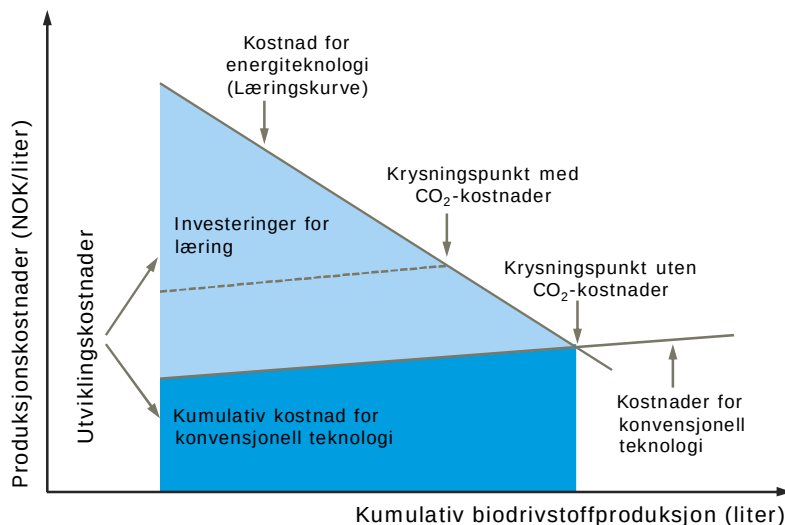


Note: BtL = Biomass-to-Liquids; LC = Lignocellulose

Erfaringskurver illustreres ofte som en rett linje i et logaritmisk diagram. Figuren under viser en skjematisk oversikt over et logaritmisk diagram hvor læringskurven synker og etter en viss tid vil krysse kostnader for konvensjonell teknologi.

IEA definerer utviklingskostnader for en teknologi som "de totale kostnadene for kumulativ produksjon som trengs for en ny teknologi å bli konkurranse-dyktig"⁹⁷. "Investeringer for læring" er definert som de ekstra investeringene som trengs for en ny teknologi. De alternative utviklingskostnadene for å bygge ut en viss mengde ny og dyrere (fornybar) energi er derfor lik utviklingskostnadene for ny teknologi minus kumulative kostnader for konvensjonell teknologi. Kostnadene for konvensjonell teknologi kan ha en flat, svakt stigende eller synkende kurve avhengig av brenselkostnader, etterspørsel og tilbud, økte faste kostnader eller lignende.

Figur 9-2 – Skjematisk oversikt over læringskurver (IEA/SRREN^[21])



Variable kostnader fra for eksempel drivstoff kan også inkluderes. Hvis variable kostnader inkluderes kan de totale alternative investeringskostnadene bli lavere for fornybar energi på grunn av unngåtte karbonkostnader⁹⁸. Figur 5-11 9-2 viser at kostnadene er lik arealet under læringskurven, beregnet opp til krysningsspunktet. Etter at krysningsspunktet nås kan de innovative teknologiene levere energi med lavere kostnader enn konvensjonelle teknologier. Med disse kostnadsbesparelsene kan verdien framover kompensere for de tidligere investeringene, men dette avhenger av internrente, oppfølging av klimamål og framtidig utvikling av konkurrerende teknologier (SRREN^[21]).

Det er ingen naturlov som sier at kostnadene følger en potensfunksjon, og man må vise forsiktighet ved ekstrapolering av historiske kurver for å framskrive forventede kostnader. Det er naturlig at det forekommer uventede endringer i kurvene eller større spredning i observasjonene som trendlinjene følger, for eksempel fra prisendringer, etterspørsel og lignende, se Figur 9-3 (ETP2010/REN21).

Politiske virkemidler har utvilsomt en påvirkning på læringsratene og kostnadsreduksjoner, men det ser ut til at det ikke er mulig å identifisere skift eller knekk i kurven som følge av statlig støtte. Det som heller ofte observeres med statlig støtte er at volumet øker, som igjen driver ned kostnaden noe som fører til at læringsraten holdes⁹⁹, og resulterer i at kostnadsreduksjonen akselereres i tid (SRREN^[21]).

Overstimulering av markeder, f.eks. på grunn av subsidier, kan også føre til økt etterspørsel og økte priser, som kan vises som en utflating eller stigning i læringskurvene. Disse effektene kan observeres for solceller, vind onshore og offshore for enkelte perioder, spesielt i perioden 2004-2009. Utflating og stigning kan forårsakes av prisøkninger, som kan forårsakes av flere effekter, f.eks.:

- Begrenset geografisk potensial ved at de beste områdene eller ressursene er utnyttet

⁹⁷ "Deployment costs represent the total costs of cumulative production needed for a new technology to become competitive with the current, incumbent technology."

⁹⁸ Andre eksterne miljø og helsekostnader kan også inkluderes, for eksempel partikkelutslipp, NO_x, SO₂, bruk av landareal og vann og lignende

⁹⁹ Læringskurven fortsetter i en rett linje i et logaritmisk diagram

- Økte priser for alternative teknologier, f.eks. konvensjonelle energiteknologier som gasskraft og pulverisert kull
- Variable vekslingsrater, f.eks. de fleste vindturbiner har blitt produsert i Europa og påvirkes av Euro og dollarkursen har sunket de siste årene.

Økte priser eller en utflating for en kort periode betyr på den annen side ikke at det ikke er en læring. Produksjonskostnader kan fortsatt falle, men det reflekteres ikke i markedsprisene. I velfungerende markeder vil prisene synke igjen på lengre sikt mot produksjonskostnadene, når produksjonskapasitet og tilbud har tatt igjen etterspørselen og en stabilisering finner sted. Læringskurver tillater framskrivninger av produksjonskostnader, men de er ikke en prognose for markedspriser og vil kun viselangsiktige trender.

Bruken av læringskurver har sine begrensninger da modellene har en tendens til å være veldig sensitive til små endringer i læringsratene. IEA og SRREN^[21] fokuserer mye på sensitivitet i scenario- og modellberegningene. Konklusjonen for læringskurver er at det er så mange forhold som påvirker tallene at det kun kan vurderes som trendlinjer i et langt perspektiv. Læringskurver for ulike teknologier kan sjelden sammenlignes og må brukes med forsiktighet.

SCENARIER OG FRAMSKRIVNINGER

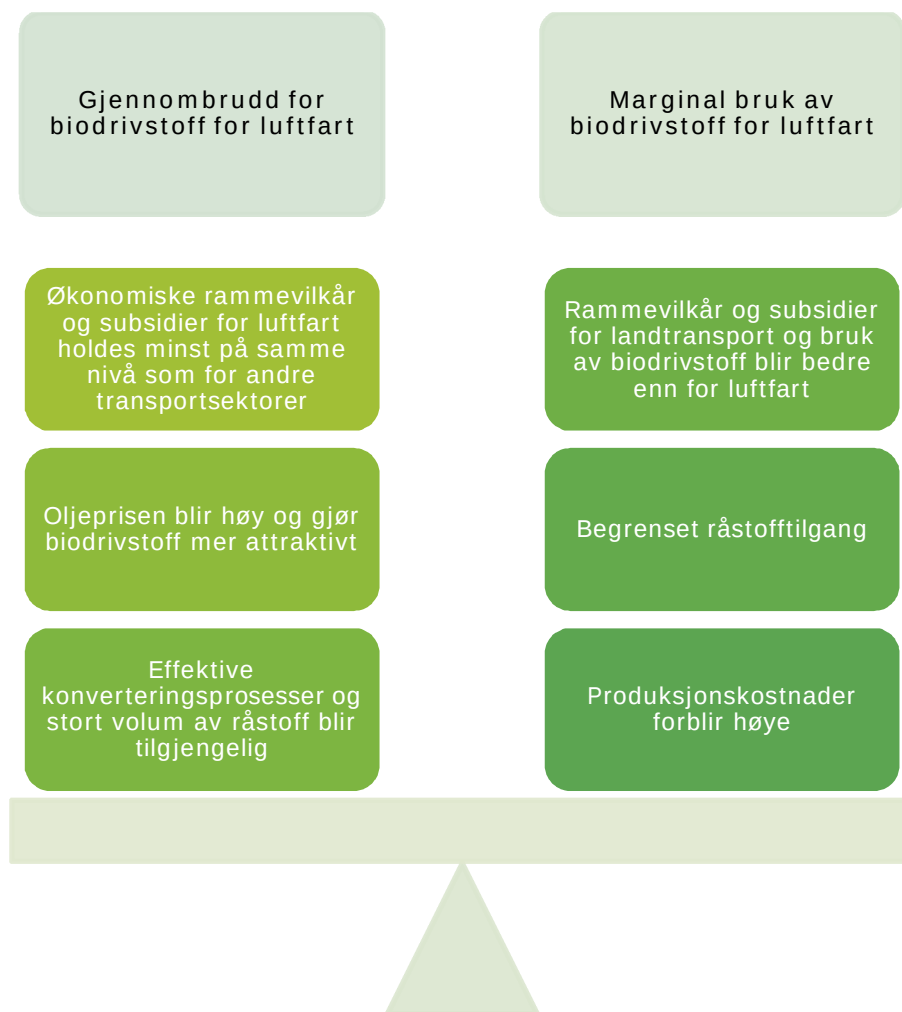
Forskning viser at enhetskostnadene ved en ny teknologi faller ved økt akkumulert produksjon. Dette er bl.a. nærmere redegjort for i Bye (2002)¹⁰⁰, der det bl.a. gis en generell beskrivelse av læringseffekter ved utvikling av grønne teknologier. Her vises det til at grunnene til reduserte enhetskostnader ved økt akkumulert produksjon både kan være knyttet til skalafordeler og teknologiske gjennombrudd. Graden av reduserte enhetskostnader vil også avhenge av konkurransesituasjonen for den gjeldende teknologien, samt om hvorvidt det finnes spillovereffekter. Med spillovereffekter menes at bedrifter lærer av hverandre, slik at en bedrifts produktivitet påvirkes av den utviklingen som skjer hos de andre bedriftene.

SCENARIER FOR BIODRIVSTOFF

Biodrivstoff for luftfart framover mot 2025 vil sannsynligvis følge en utvikling med marginal bruk. Dette bekrefter også scenariene til IEA. Figuren under viser at balansen kan tippe mot et gjennombrudd for biodrivstoff for luftfart hvis noen hovedfaktorer slår til.

¹⁰⁰ Bye T., Greåker M., Rosendahl, K. (2002); *Grønne sertifikater og læring*. SSB 2002/27

Figur 9-3 – Faktorer som avgjør bruk av biodrivstoff til luftfart



IEA har laget ulike scenarier for energieffektivisering, omlegging fra fossilt til fornybart og klimagassutslipp. Scenariene er basert på mål om reduserte klimagassutslipp. Energy Technology Platform 2012 skisserer tre ulike scenarier:

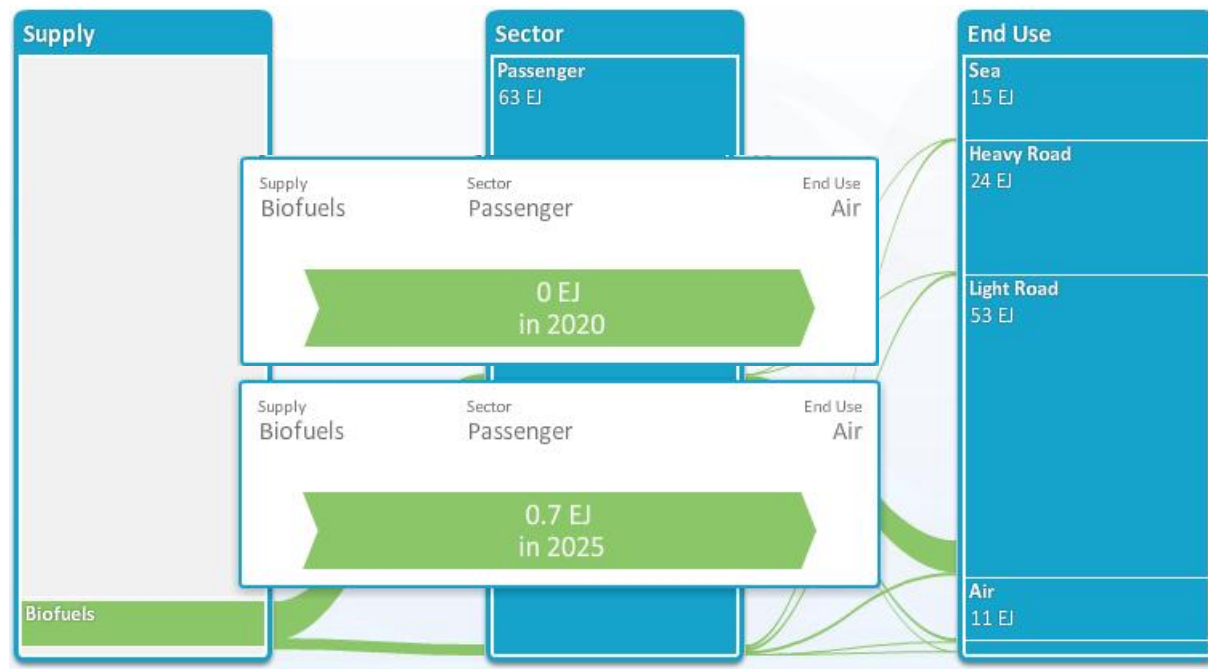
1. Seksgradersscenariet, 6 °C, (6 Degree Scenario, 6DS) er stort sett en videreføring av nåværende trender. I 2050 doubles etterspørselen av energi sammenlignet med 2009 og klimagassutslipp øker enda mer. Uten tiltak for å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren forventes at gjennomsnittstemperaturen globalt vil stige med seks grader
2. Firegradersscenariet (4DS) antar at nasjonale målsetninger begrenser utslipp og mer effektiv bruk av energi og drivstoff. Scenariet brukes som benchmark i ETP2012 ved sammenligning av ulike scenarier. 4DS er et ambisiøst scenarie som krever vesentlige endringer i politikk og teknologiutvikling.
3. Togradersscenariet er fokuset til ETP2012. Scenariet beskriver et energisystem som samsvarer med hva klimaforskning anser som 80 % sannsynlig for å begrense temperaturstigningen med to grader. Målet er å halvere CO₂-utslipp innen 2050 i forhold til 2009.

IEA mener at biodrivstoff totalt for transport vil måtte firedobles fra tilnærmet 52 Mtoe¹⁰¹ (millioner tonn oljeequivalenter) i 2009 til 205 Mtoe i 2025 for scenariet 2DS.

¹⁰¹ tilsvarer 610 TWh i energi, eller 2,2 EJ, dvs. $2,2 \cdot 10^{18}$ Joule

For luftfartsbransjen beregner IEA at det ikke vil være noe biodrivstoff til fly før 2020, men at forbruket vil øke fra 0 i 2020 til 17 Mtoe i 2025 og 70 Mtoe i 2050, se figuren under. 17 Mtoe i 2025 betyr ca. 20 mrd. liter Jet A-1 og 70 Mtoe tilsvarer omtrent 87 mrd. liter. Grovt regnet betyr dette ca. 13 % av all biodrivstoffproduksjon i 2020 og 30 % i 2050.

Figur 9-4 – Framskrivninger av biodrivstoff til luftfart i 2020 og 2025 © IEA ETP 2012



Fornybare energikilder er de raskest voksende energikildene fram mot 2030, i følge IEA (WEO 2012, side 65). Det er forventet at fornybar elektrisitet vil tredobles fra 2010 til 2035, og da bli på nivå med volumet av elektrisitet fra kull. Økningen kommer hovedsakelig fra vind og vannkraft. For biodrivstoff forventes det at det vil være en økning fra 1,3 millioner fat per dag i 2011 til 4,5 i 2035. 4,5 millioner fat per dag utgjør riktignok bare 5 % av oljeetterspørselen, gitt i energiinnhold. USA og Brasil forventes å fortsatt være de største produsentene, primært innen bioetanol, men produksjon fra Kina vokser kraftig.

Avanserte biodrivstoff, inkludert biodrivstoff fra lignocellulose, vil bli mer sentrale etter 2020 når de forventes å bli kommersielt tilgjengelig. IEA forventer at selv med kostnadsreduksjoner fra storskala og en økning i fossile priser, vil framskrivningene baseres på subsidier. Grunnen til dette er at for mange regioner og teknologier vil fornybar energi fortsatt i flere år være dyrere enn fossilt.

World Energy Outlook 2012 inkluderer antagelser og forutsetninger for luftfart, se figur under.

Figur 9-5 – Fornybar energi- og biodrivstoffproduksjon globalt for ulike scenarier ©WEO2012, IEA

	2010	New Policies		Current Policies		450 Scenario	
		2020	2035	2020	2035	2020	2035
Traditional biomass (Mtoe)	751	761	687	764	697	748	653
<i>Share of total biomass</i>	<i>59%</i>	<i>50%</i>	<i>37%</i>	<i>51%</i>	<i>40%</i>	<i>48%</i>	<i>29%</i>
Electricity generation (TWh)	4 206	6 999	11 342	6 648	9 627	7 443	15 293
Bioenergy	331	696	1 487	668	1 212	750	2 033
Hydro	3 431	4 513	5 677	4 390	5 350	4 658	6 263
Wind	342	1 272	2 681	1 148	2 151	1 442	4 281
Geothermal	68	131	315	118	217	150	449
Solar PV	32	332	846	282	524	376	1 371
Concentrating solar power	2	50	278	39	141	61	815
Marine	1	5	57	3	32	6	82
<i>Share of total generation</i>	<i>20%</i>	<i>25%</i>	<i>31%</i>	<i>23%</i>	<i>24%</i>	<i>28%</i>	<i>48%</i>
Heat demand (Mtoe)	337	447	604	429	537	461	715
Industry	207	263	324	258	308	263	345
Buildings* and agriculture	131	184	280	170	229	198	370
<i>Share of total production</i>	<i>10%</i>	<i>12%</i>	<i>14%</i>	<i>11%</i>	<i>12%</i>	<i>13%</i>	<i>19%</i>
Biofuels** (mboe/d)	1.3	2.4	4.5	2.1	3.7	2.8	8.2
Road transport	1.3	2.4	4.4	2.1	3.6	2.8	6.8
Aviation	-	-	0.1	-	0.1	-	0.8
Other***	-	-	0.0	-	0.0	-	0.6
<i>Share of total transport</i>	<i>2%</i>	<i>4%</i>	<i>6%</i>	<i>4%</i>	<i>5%</i>	<i>5%</i>	<i>14%</i>

* Excludes traditional biomass. ** Expressed in energy-equivalent volumes of gasoline and diesel. *** Other includes international bunkers.

Forventet etterspørsel i et scenarie, New Policies Scenario, antar at mer enn \$360 mrd. må bli investert i bioraffinerier globalt for å nå målene om 2,4 mill. fat per dag i 2020 og 4,5 i 2035. Av dette er da kun 100.000 fat per dag for luftfart, dvs. ca. 159 mill. liter globalt per dag. IEA forventer at 3 % av investeringene vil være rettet mot biodrivstoff for luftfart, dvs. \$12 mrd. To tredjedeler går på den annen side til bioetanol, og én femtedel går til avanserte biodrivstoff (bioetanol og biodiesel).

8. VEDLEGG 8 STØTTE TIL FORVALTNING AV SKOG FRA SLF

I jordbruket har Statens Landbruksforvaltning foreløpig ingen støtteordninger for biodrivstoff, men SLF holder akkurat nå på å lage en forskrift for støtte til transport av gjødsel til biogassanlegg. Dette vil bli gitt i form av kr/tonn husdyrgjødsel (15 kr ser det ut til – tilsvarer ca 8 øre/kWh etter en grov beregning). Den kan bli klar ila våren 2013.

På skog er dette de tilskuddsordningene SLF har som kan være aktuelle:

Energiflistilskuddet: skal være et bidrag til å nå regjeringens bioenergistrategi om en økt utbygging av bioenergi med 14 TWh innen 2020¹⁰².

Skogfond: Avsetting av skogfond er hjemlet i skogloven. Skogfondet består av midler som skogeierne plikter å sette av ved alt salg av tømmer og biobrensel. Hver skogeiendom har egen fondskonto, og skogfondsmidlene er knyttet til skogeiendommen. Skogfond kan brukes til ulike støttetiltak, her er det også mulighet for å få støtte til bioenergianlegg og -utstyr for varmeleveranse¹⁰³.

Nærings- og miljøtiltak i skog: Dette er en samlet ordning som gir tilskudd både til næringsutvikling og miljøtiltak i skog (NMSK). Her er "tiltak som har som mål å øke aktiviteten og ressursutnyttelsen i og fra skogen" satt som eget punkt det kan gis tilskudd til. Dette kan jo gi et indirekte uttak som senere kan brukes til bioenergi.

Får ikke disse tilskuddsordningene helt til å passe inn i figuren din. Flistilskuddet er jo tilskudd/støtte til å ta ut trevirke – vil ikke klassifisere dette som investeringstilskudd siden man får kr/kWh. Direkte-tilskudd/driftstilskudd kanskje? Skogfond er vel et slags investeringstilskudd, NMSK heller mer mot innovasjonsprosjekt.

Ellers har vi en del utviklingsprogram/FoU for å finne gode klimatiltak både i skog og jordbruket. De to siste består stort sett av forskningsprosjekter og forvaltes sammen med Forskningsrådet.

Utviklingsfondet for skogbruket har som formål å fremme forskning, utvikling, informasjon og opplæring innen skogbruket, samt andre tiltak av interesse for skogbruksnæringen. Fondets midler skal i første rekke støtte anvendt FoU-virksomhet med klare problemstillinger og mål. For eksempel Skogsflis i Mjøsen (skal utvikle, gjøre kjent og ta i bruk optimale løsninger for produksjon og logistikk av brenselssflis basert på avvirkningsrester (greiner og topper) fra avvirkningsoppdrag og smådimensjoner av fjellbjørk). <https://www.slf.dep.no/no/eiendom-og-skog/skogbruk/utviklingsprosjekter-skog>

Utviklingsprogram for klimatiltak i jordbruket: SLF jobber med å få tilskuddsordninger for å redusere klimagassutslipp på plass, men det er både komplekst, mangler kunnskapsgrunnlag og flere tiltak kan ha dobbeltsidige effekter ved at en positiv klimagevinst kan gi en dårlig miljøgevinst. Derfor videreføres nå "Klimaprogrammet" (i ny form fra 2013 – nå som "Klima- og miljøprogrammet"). Dette er et utviklingsprogram for støtte til økt kunnskap og formidling av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp i jordbruket. Det gis ikke støtte til rene forskningsprosjekter eller investeringsstøtte. Ved hjelp av dette programmet har tilskudd til transport av husdyrgjødsel til biogassanlegg blitt vedtatt^[74].

Forskningsmidler over jordbruksavtalen er årlige midler øremerket forskning fra jordbruksoppgjøret, primært forskning for å utvikle næringen.

Fondet for forskningsavgift på landbruksprodukter (FFL) er midler som samles inn fra landbruksproduksjo og som skal gå til innovasjon/utvikling og forskning for næringen.^[75]

¹⁰² <https://www.slf.dep.no/no/eiendom-og-skog/skogbruk/energiflistilskudd>

¹⁰³ <https://www.slf.dep.no/no/eiendom-og-skog/skogbruk/skogfond#skogfond-kan-brukes-til>