

## Teknologivurdering af udvalgte energiteknologier

### *Nr. 3 (2014): Produktion af metanol som bio-fuel/syn-fuel til transportsektoren*

#### Resumé

Teknologivurderingen har haft til formål, at vurdere bio-metanols<sup>1</sup> potentiale som biobrændstof til transportsektoren i forbindelse med grøn omstilling af det danske energisystem. En række studier, herunder først og fremmest CONCAWE-studiet, udpeger metanol som et særligt interessant brændstof set ud fra en wheel-to-wheel GHG-synsvinkel, da den kan produceres med en lav cost-of-energy. I modsætning til etanol, som har været meget i fokus verden over, synes metanol at være et underbelyst biobrændstof – både hvad angår produktion og end-use aspekter. Teknologivurderingen har belyst metanols potentiale på baggrund af følgende spørgsmål:

- Under hvilke forudsætninger kan metanol-produktion være energimæssigt og økonomisk interessant ifht. grøn omstilling af det danske energisystem?
- Hvad er fordele og ulemper ved eventuel dansk metanol-produktion/syntesegas sammenlignet med produktion af andre biobrændstoffer?
- Hvor moden er teknologien til produktion af metanol?
- Hvilke teknologi-spor og hvilke biomasser til metanol-produktion vil være bedst egnede i Danmark?
- Hvor på den internationale F&U-scene er man nået længst med at implementere egentlige metanol-fabrikker på basis af fornybare ressourcer, og hvor lovende ser disse erfaringer ud?
- Hvad er de største barrierer for en udbredelse af metanol som transport-brændstof på kort og på langt sigt?

Set i et overordnet perspektiv er der mange muligheder i at forgasse biomasse, producere syntesegas, og derefter producere brændstoffer til transportsektoren som enten metanol, DME, grøn benzin eller SNG. Teknologivurderingen viser, at der ikke er noget entydigt svar på hvilken af disse brændstoffer, der er mest energieffektiv at producere i praksis, men flere studier peger på metanol/DME eller SNG. De bedste bud på, hvad det koster, at producere metanol på basis af træ i Sverige peger på benzin-ækvivalent-priser, som ligger på niveau med, eller under, priserne for en sammenlignelig 2.G. bio-etanol. Disse bud er dog behæftet med meget stor usikkerhed, da anlæggene endnu ikke er bygget.

Gennemgangen af internationale studier omkring produktion af bio-metanol viser, at bio-metanol kan produceres i en række forskellige teknologi-spor. Det mest oplagte spor set ud fra et teknologimodningssynspunkt er gasificering af biomasse, ideelt på basis af træ/træflis, som er længst fremme i udviklingen. Dette spor er der stor interesse for i Sverige. Fra et dansk synspunkt er halm en mere

---

<sup>1</sup> I det følgende anvendes blot begrebet metanol, da alle aspekter på nær produktionen af metanol, er ens for bio-metanol såvel som metanol. I forhold til produktionen af metanol vil det fremgå af teksten, hvornår der er tale om metanol eller bio-metanol.

interessant feedstock, da halm-ressourcerne er større end skovressourcerne, halm-produktion og logistik allerede er sat i system, og evt. import af træ kan give ringere forsyningssikkerhed. Der er ikke identificeret forgasningsteknologier på den internationale scene, som problemfrit kan forgasse halm, bortset fra DONG Energy's Pyroneer-teknologi, som netop står overfor en modnings- og kommercialiseringsfase af deres 6 MW pilot-projekt på Asnæs-værket<sup>2</sup>. Både påtænkte svenske anlæg og anlægget i Asnæs viser, at skala-økonomi er et centralt aspekt, og at anlæggene skal være store for at realisere en tilfredsstillende økonomi.

Et andet interessant teknologi-spor i en dansk kontekst med en fremtidig stor vind-produktion er elektro-fuel-sporet. I dette spor produceres bio-metanol på basis af både biomasse og vind-elektricitet i kombination med CO<sub>2</sub> (fx fra opgraderet biogas) ved hjælp af elektrolyse og hydrogenering, hvormed kemien i processen udnyttes mere optimalt. I en situation med knaphed på biomasse kan denne løsning være særlig interessant. Denne teknologi er afhængig af, at flere teknologier modnes yderligere, herunder elektrolyse-teknologi<sup>3</sup>, og den har derfor længere udsigter. Et centralt aspekt er blandt andet en høj virkningsgrad af elektrolyse-teknologien samt rigelige mængder lav-pris strøm til elektrolyse-processen, hvor 80% af OPEX udgøres af omkostninger til el. Det danske CEESA-studie beskriver denne tilgang i et 2050-scenarie.

Ser man på den internationale scene for forskning- og udvikling i metanol som brændstof på basis af biomasse, så er Sverige længst fremme med en række store projekter, som er meget tæt på at blive realiseret. Umiddelbart synes SNG-sporet at have lidt højere prioritet, og at være lidt længere fremme, med store anlæg som GOBIGAS (100 MW) og Bio2G (200 MW) under opsejling<sup>4</sup>. Nogle af anlæggene sigter på at kunne lave både metanol og SNG i et fleksibelt set-up.

På længere sigt kan et bio-raffinaderi-koncept med udgangspunkt i bio-metanol være interessant, da metanol indgår som et basiskemikalie i en lang række produkter, herunder fx plastik, maling, opløsningsmidler, og FAME-biodiesel-typer. Af samme grund er (fossil-baseret) metanol et af de mest handlede kemikalier på verdensplan.

Der er et specifikt udviklingsbehov at adressere inden for dele af produktions-processen, nærmere bestemt efter forgasnings-processen og før metanol-syntesen, hvor støv- og røggrensning af produktgassen samt tar-reforming er et ømt punkt. Der er desuden behov for mere viden om metanol som motorbrændstof, herunder hvad grænsen er for iblanding af metanol i benzin til gængse Otto-motorer, men også hvor god virkningsgraden er. Dertil kommer andre forhold som blandbarhed, påfyldningsforhold, toxicitet, opbevaring, etc.

Ser man på de reguleringsmæssige aspekter af bio-metanol, så er situationen den, at EU i dag tillader 3% iblanding jf. EU's brændstofkvalitetsdirektiv. På kort sigt er der dermed ingen problemer med iblanding, men større iblandingsprocenter vil kræve ændringer af direktivet. Både EU's brændstofkvalitetsdirektiv og

---

<sup>2</sup> D. 30. okt. 2014 kunne man læse på Ingeniøren.dk, at DONG midlertidigt lukker Pyroneer-anlægget, dan man ikke har kunnet finde fornøden investorkapital til at skalere op. Ifølge DONG er der ikke noget galt med teknologien, men der er ingen efterspørgsel i markedet.

<sup>3</sup> For en gennemgang af modenhed og perspektiver for elektrolyse-teknologi se Energistyrelsens teknologivurdering nr. 1 "elektrolyse til brint".

<sup>4</sup> Disse anlæg har modtaget anseelig NER300-støtte fra EU Kommissionen for deres innovations- og opskaleringspotentiale.

VE-direktivet udgør de væsentligste rammebetingelser for en evt. udfoldelse af bio-metanols potentiale. Bio-metanol hører under kategorien "avancerede biobrændstoffer", som politisk ønskes fremmet af Kommissionen.

I forhold til end-use aspekterne, så er der ingen problemer med 3%-bio-metanol-blandinger, mens det er uklart, hvor grænsen for højere blandinger ligger for ikke-dedikerede motorer. I Kina synes M15 at udbredes i flere provinser, men det er uvist, hvilken indflydelse det har på køretøjerne. Blandt væsentlige ulemper ved metanol bør det fremhæves, at der er koldstartsproblemer i forbindelse med fase-separation af metanol-benzin, korrosion af materialer som metaller og nedbrydning af polymerer, risiko for aflejringer og defekter i brændstofsyste­met, samt smøringsproblemer. Derudover fremhæves metanols lave energi-indhold, som er ca. det halve af benzins. Derudover bør det fremhæves, at metanol er giftigt, hvilket ikke er et problem ved lavere iblandingsprocenter (fx 3%), men kræver særlig påfyldningsstruktur ved høje iblandingsprocenter.

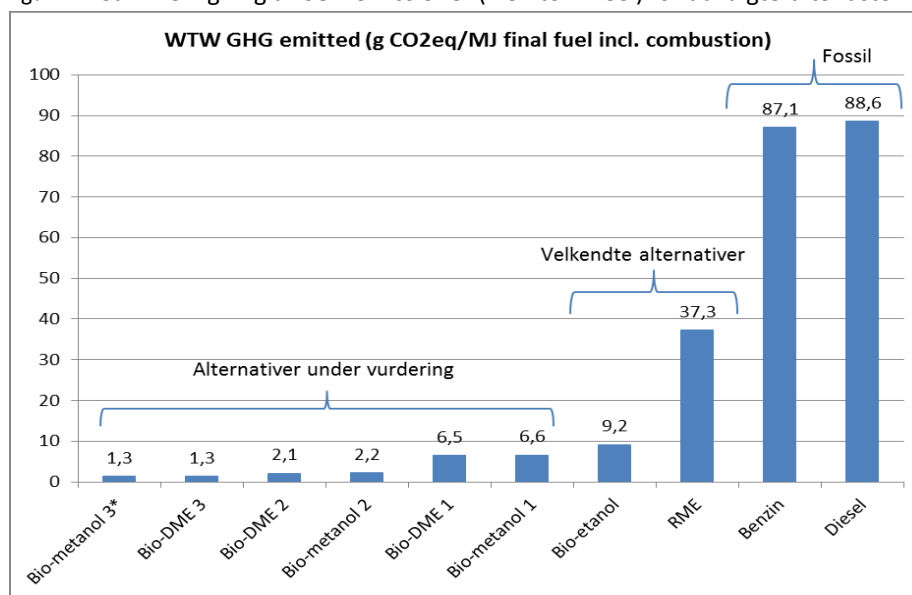
Sluttelig bør det nævnes, at metanol relativt nemt kan videreforarbejdes til DME, som er et lovende diesel-lignende brændstof. Haldor Topsøe er verdensførende indenfor metanol-syntese-teknologi og har desuden været med til at udvikle DME-baserede motorer sammen med Volvo.

## 1. Teknologiens relevans og indpasningspotentiale i et dansk energisystem

I forbindelse med den grønne omstilling af det danske energisystem er en af udfordringerne at finde teknologier og løsninger, der kan mindske afhængigheden af fossile brændsler i transportsektoren. Energistyrelsens energiscenarier<sup>1</sup> frem mod 2050 forudsætter, at elektrificering af bilparken vil komme til at spille en afgørende rolle, særligt i vind- og brint-scenarierne. Fælles for alle scenarierne er dog et behov for et mix af traditionelle og alternative brændstoffer på vejen frem mod 2050 indtil omstillingen er fuldt indfaset. For at få et indtryk af tempoet i udfasningen af køretøjer med traditionel forbrændingsmotor, så peger scenarierne på en kapacitet på 8-13 PJ i 2035 og 2-4 PJ i 2050 (bilag 1). Der kan derfor være god grund til at se på alternative drivmidler til brug i diesel- og Otto-motorer til disse køretøjer.

Teknologivurderingen ser på potentialet i at fremstille bio-metanol som et alternativt drivmiddel. På baggrund af en screening af biobrændstoffer i Energistyrelsens teknologikatalog om biobrændstoffer<sup>2</sup> og den seneste Well-to-Tank rapport<sup>3</sup> fra JCR/CONCAWE er bio-metanol (og herunder bio-DME) identificeret som særligt lovende. Det skyldes, at processerne til produktionen af brændstoffet iflg. CONCAWE har meget lave CO<sub>2</sub>-emissioner sammenlignet med andre biobrændstoffer (figur 1.1).

Figur 1.1: Sammenligning af CO<sub>2</sub>-emissioner (well-to-wheel) for udvalgte brændstoffer



Kilde: Baseret på WTT, app. 4a (2014)

Metanol er interessant af flere andre grunde: på produktions-siden kan metanolen produceres på basis af vedvarende energikilder som biomasse ved gasificering eller på basis af vind-elektricitet i kombination med CO<sub>2</sub> ved hjælp af elektrolyse og hydrogenning. I en situation med knaphed på biomasse er den sidste løsning særlig interessant. Derudover kan metanol forholdsvis billigt forarbejdes til dimethyl ether (DME), som kan erstatte diesel til tung transport. Metanol kan også anvendes i brændselsceller og metanol kan nemt lagres ifht. fx brint, som lagres under tryk. På internationalt plan er der en stigende interesse for metanols potentiale, og en række aktører peger i nyere undersøgelser på metanol som et ideelt drivmiddel – herunder fx det svenske energipanel under det Kungl. Vetenskabeliga Akademi (Energiutskottet)<sup>4</sup>, det danske CEESA-studie<sup>5</sup>, et nyere technology brief fra IRENA<sup>6</sup>, og ikke mindst nobelpristager i kemi George

Olah<sup>5</sup>, som har fundet en metode til at genanvende kulstof i CO<sub>2</sub> til produktion af metanol. Denne metode anvendes i praksis på et nyt, kommercielt anlæg på Island i dag<sup>7</sup>.

Til trods for at metanol på papiret ser ud til at være et energieffektivt drivmiddel, er der et begrænset kendskab til drivmidlets produktion og brug på enduse-siden. Metanol er betydeligt mindre udbredt som drivmiddel end etanol. Metanol kan ligesom etanol iblandes benzin i begrænsede mængder i overensstemmelse med gældende lovgivning i EU, USA og Kina. Således er loftet for iblanding af metanol i benzin 3 % i EU, 5 % i USA og 15 % i en række provinser i Kina, mens det er noget højere for etanol (tabel 1.1).

Tabel 1.1: Udvalgte brændstoffer til teknologivurderingen (Kilde: WTT app. 4a, 2014)

	Brændstof	WTT-proces	WTW GHG emis.*	End-user-aspekter
Fossil	Benzin	Conventional (COG1)	87,1	Standardiseret
	Diesel	Conventional (COD1)	88,6	Standardiseret
Kendte alternativer	RME	Esterification, meal and glycerine to biogas (ROFA4)	37,3	Drop-in <sup>a)</sup> , 7 %, diesel
	Bio-etanol	Simult. Saccharif. and co-ferment. (SSCF), wheat straw (STET1)	9,2	Drop-in EU <sup>a)</sup> : 10 % i benzin Drop-in USA <sup>b)</sup> : 15 % i benzin + FFV E85 og E100
Teknologi-vurderingens fokus	Bio-metanol 1	Syngas, farmed wood (WFME1)	6,6	Drop-in EU <sup>a)</sup> : 3 % i benzin Drop-in USA <sup>b)</sup> : 5 % i benzin Drop-in Kina <sup>d)</sup> : 0,3 % national og 15 % i visse provinser i benzin + FFV M85 og M100
	Bio-metanol 2	Syngas, waste wood via black liquor (WWWME2)	2,2	Som ovenfor
	Bio-metanol 3	Syngas, renewable electricity	1,3*	Som ovenfor
	Bio-DME 1	Syngas, farmed wood (WFDE1)	6,5	Dedikerede køretøjer, diesel
	Bio-DME 2	Syngas, waste wood via black liquor (WWWDE2)	2,1	Som ovenfor
	Bio-DME 3	Syndiesel, renewable electricity to syndiesel via methanol (RESD1)	1,3	Som ovenfor

a) EU's brændstofkvalitetsdirektiv (2009/30/EF), b) EPA, Fuels and fuel additives (2011), c) EPA, Modification to Octamix Waiver Regarding TXCeed (2012)<sup>8</sup>, d) Pers. Kom. Volvo fuel expert<sup>9</sup>

\* WTW oplyser ikke et GHG emis.-tal for denne brændstof. Her er antaget samme værdi som "Bio-DME 3"

Udviklingen i Kina er bemærkelsesværdig med et forholdsvis stort metanol-forbrug i transportsektoren<sup>10</sup>, og med udbredelsen af fuel-standarde for metanol i en lang række regioner (tabel 2.2). Årsagen til dette skulle ifølge iagttagere være et ønske om at gøre sig uafhængig af olieimport, samt det faktum at Kina har store kulforekomster, som forholdsvis billigt kan omdannes til metanol gennem reforming. Den kinesiske metanol er ikke en bio-metanol, men en fossilbaseret metanol, som dog stadigvæk er interessant ud fra et udviklings- og enduser-perspektiv.

<sup>5</sup> George Olah er ophavsmand til begrebet "methanol economy", og han og en række andre videnskabsmænd publicerede i 2006 en bog om dette emne.

Tabel 2.2: Regionale standarder for iblanding af metanol i benzin i Kina

Provins	Iblandingsforhold	Regional standard for iblanding med metanol i benzin
Shanxi	M5, M15	DB14/T 92-2008
Xinjiang	M5, M15	DB65/T 2811-2007
Liaoning	M15	DB21/T 1478-2006
Sichuan	M10	DB51/T 448-2004
Zhejiang	M15, M30	DB33/T 756.1-2009 (M15), DB33/T 756.2-2009 (M30)
Shaanxi	M15, M25	DB61/T 352-2004 (M15), DB61/T 353-2004 (M25)
Heilongjiang	M15	DB23/T 988-2005
Fujian	M15	DB35/T 919-2009
Gansu	M15, M30	DB62/T 1874-2009
Guizhou	M15	DB52/T 618-2010
Hebei	M15	DB13/T 1303-2010

Kilde: Chen et al. (2014)

I USA har man tidligere haft fokus på metanol til transportsektoren med Californiens metanol-program i 1980'erne og 90'erne<sup>11</sup>. Svenskerne har længe haft interesse for metanol-produktion og produktion af bio-SNG, da forgasning af træ er et oplagt teknologispør med udgangspunkt i det svenske naturressourcegrundlag og det svenske fokus på grøn omstilling af transport<sup>12</sup>. Energimyndigheden i Sverige gennemførte i den forbindelse en omfattende undersøgelse af muligheden for at introducere metanol som drivmiddel i 2006<sup>13</sup>. Undersøgelsen anbefalede blandt andet, at *"produktion av bio-metanol bör stimuleras parallellt med at bränslespecifikationerna ses över i syfte at tillåta högre halter av metanol"* (s. ii).

Fremstilling af metanol er en dansk styrkeposition med Haldor Topsøe som en global frontløber. Desuden har Haldor Topsøe spillet en aktiv rolle i at fremme DME i transportsektoren, hvor Volvo-trucks er langt fremme med en DME-model på det nordamerikanske marked<sup>14</sup>.

I forhold til rammevilkårene for indfasning af metanol som biobrændstof kan de foreslåede ændringer til EU's VE direktiv være med til at skabe en øget efterspørgsel efter avancerede biobrændstoffer, hvortil bio-metanol kan henregnes<sup>6</sup>. I det foreliggende udkast til direktivændringen lægges der op til et krav om at avancerede biobrændstoffer skal udgøre 0,5 % i 2020<sup>15</sup>.

Selvom der synes at være et interessant potentiale i metanol som biobrændstof, er der en række uafklarede spørgsmål, som bør undersøges. Teknologivurderingen kan ikke på fyldestgørende vis svare på de mere overordnede spørgsmål angivet her, men vil forsøge at afdække de mest teknologi-orienterede af dem:

- Under hvilke forudsætninger kan metanol-produktion være energimæssigt og økonomisk interessant ift. grøn omstilling af det danske energisystem?
- Hvad er fordele og ulemper ved eventuel dansk metanol-produktion/syntesegas sammenlignet med produktion af andre biobrændstoffer?
- Hvor moden er teknologien til produktion af metanol?
- Hvilke teknologi-spor og hvilke biomasser til metanol-produktion vil være bedst egnede i Danmark?
- Hvor på den internationale F&U-scene er man nået længst med at implementere egentlige metanol-fabrikker på basis af fornybare ressourcer, og hvor lovende ser disse erfaringer ud?
- Hvad er de største barrierer for en udbredelse af metanol som transport-brændstof?

<sup>6</sup> Tekstudkastet til direktivændringen specificere mere konkret hvad der skal til for at en biobrændstof kan betegnes som "avanceret". Specificeringen går primært på hvilke typer biomasse der anvendes i produktionen.

## 2. Modenhed af teknologien (state-of-the-art)

### 2.1 Teknologistade i dag (state-of-the-art)

#### Kort om metanol

Metanol er den simpleste af alle alkoholer, og kan karakteriseres som en flygtig, farveløs, brandbar væske<sup>16</sup>. Metanol opstår naturligt i forskellige bakterielle processer, og er almindeligt forekommende i naturen. Metanol kaldes ofte træsprit fordi det tidligere hovedsageligt blev produceret som et biprodukt ved destillering af træ. Det meste metanol der produceres i dag er produceret på baggrund af naturgas, men kan også fremstilles på baggrund af biomasse, kul, affald og sågar fra CO<sub>2</sub> ved hjælp af brint. Metanol er giftig og bør under ingen omstændigheder indtages. Selv mindre kvantiteter kan føre til blindhed og kritiske skader på central-nerve systemet. Ved spild nedbrydes metanol biologisk i naturen.

Tabel 2.1: Fakta om metanol

	<b>Metanol</b>
Trivialnavn	Træsprit
Forkortelse	MeOH
Molekyleformel	CH <sub>3</sub> OH
Massefylde	0,792 g/cm <sup>3</sup>
LHV	19,9 (MJ/kg)
EU klassifikation	Giftig

Metanol har - ligesom etanol - et lavere energiindhold end benzin målt i MJ/kg (tabel 2.1 og 2.2). Ifølge Ref5 kan virkningsgraden muligvis øges, hvis motoren optimeres til metanol. Der er ikke mange kilder og undersøgelser af metanols virkningsgrad i en benzinmotor, og det kunne derfor være formålstjenligt at få dette aspekt grundigt belyst.

Tabel 2.2: Fakta for metanol sammenlignet med andre typiske brændstoffer

	Density	LHV			C content	CO <sub>2</sub> emis. factor	
	(kg/m <sup>3</sup> )	MJ/kg	GJ/m <sup>3</sup>	kWh/kg	% m	g CO <sub>2</sub> /MJ	Kg CO <sub>2</sub> /kg
Benzin	745	43,2	32,2	12,00	86,5	73,4	3,17
Diesel	832	43,1	35,9	11,97	86,1	73,2	3,16
Biodiesel*	890	37,2	33,1	10,33	77,3	76,2	2,83
Metanol	793	19,9	15,8	5,53	37,5	69,1	1,38
DME	670	28,4	19,0	7,90	52,2	67,3	1,91
Etanol	794	26,8	21,3	7,44	52,2	71,4	1,91

\*Methyl-ester

Kilde: WTT, app. 4a (2014)

#### Erfaringer med metanol som alternativt drivmiddel

Metanol var et af de første alternative drivmidler til benzin og diesel i forbindelse med energikrisen i 70'erne, og den fik derfor stor bevågenhed i 80-90'erne i ren form (M100). Det var primært i USA, at der blev eksperimenteret med metanol (det californiske metanol-program)<sup>7</sup>, men også i Sverige havde man i 80'erne udvikling og flådeforsøg i gang under SMAB (Svensk Metanolutveckling AB) (Ref5).

<sup>7</sup> Det californiske metanol-program stoppede i sidste halvdel af 90'erne pga. faldende oliepriser, som ændrede på business-casen.

Svenskerne tog metanolen op til nye overvejelser med en gennemgang af litteratur, forskning og flådeforsøg sammenfattet i en rapport af Energimyndigheden i 2006. Denne undersøgelse så på problemer ifht. materialekompatibilitet, motorslitage, fase-separation, koldstart og generelle erfaringer fra flådeforsøg. Den så desuden på emissioner, iblanding i praksis, og hvordan man kunne gennemføre storskala-introduktion af metanol. En sammenfatning af erfaringerne i den svenske undersøgelse pegede på, at der med øget iblanding i benzin til biler, som ikke er dedikerede til alternative drivmidler, ville være øget slitage, materialeproblemer, og koldstartsproblemer. Den øvre grænse for iblanding med metanol blev ikke specificeret helt konkret, men man anbefalede at man lå under 10%.

Energistyrelsen har været i dialog med en brændstofekspert fra Volvo Car Corporation (Ref9) for at skaffe en ny vurdering af spørgsmålet, og her fremhæver Volvo en række lignende problemer med metanol. Det drejer sig særligt om koldstartsproblemer i forbindelse med fase-separation af metanol-benzin, korrosion af materialer som metaller og nedbrydning af polymerer, risiko for aflejninger og defekter i brændstofsystemet, samt smøringproblemer. Derudover nævnes problemet med metanols lave brændværdi. Overordnet anser Volvo i dag ikke metanol for "fit-for-purpose", og man sælger ikke biler på det kinesiske marked, som kan håndtere mere end 0,3% metanol jf. den nationale brændstofs-specifikation. Der er dog som tidligere nævnt flere provinser i Kina, hvor man i dag har mulighed for at køre på M15. Det har ikke været muligt at fremskaffe objektive informationer om de kinesiske erfaringer med metanol som brændstof, hvor fx Methanol Institute nævner en række gode erfaringer med metanol gennem de seneste 35 år<sup>17</sup>, ikke mindst i Kina, mens Ref4 nævner visse problemer med metanol i praksis i Kina – muligvis forstærket af, at der foregår en illegal iblanding af metanol med overskridelser af fuel-standarderne til følge.

### **Traditionel produktion af metanol - på basis af naturgas og kul**

Det skal kort nævnes, at produktion af metanol er en moden industriel proces, som praktiseres mange steder i verden i dag. Nogle af de største producenter af metanol er Kina, USA, Saudi Arabien, Iran og Rusland. Mange metanol-anlæg er etableret, hvor der er store naturgasforekomster, som har en afsides beliggenhed, som gør det dyrt at etablere et gasnet eller hvor det er dyrt at bygge øvrig gas-distribution<sup>8</sup>. Store moderne metanol-anlæg, som bl.a. Haldor Topsøe har specialiseret sig i, er relativt kapital-tunge og energiintensive, og består som hovedregel af tre proces-trin: Omdannelse af naturgas til syntesegas (reforming), metanol syntese, og derefter oprensning af metanolen. De fleste større anlæg anvender i dag en af to produktions-teknologier – enten en to-trins reforming eller auto-thermal reforming (ATR)<sup>18</sup>.

### **Produktion af bio-metanol**

Bio-metanol kan produceres på basis af en række teknologier, hvor de to hovedspor er 1) forgasning af biomasse med produktion af syntesegas og efterfølgende metanol-syntese, 2) elektrokemisk tilgang på basis af elektrolyse, katalytisk syntese og CO<sub>2</sub>. Den sidstnævnte tilgang er på lang sigt interessant, men der kræves mere viden og udvikling inden den kan tages i brug i stor skala<sup>9</sup>. Den beskrives derfor ikke her, men nyere studier kan findes i fx Nikoleris og Nilson (2012)<sup>19</sup>, Green Synfuels (2011)<sup>20</sup>, og CEESA-studiet (2011) (Ref4).

<sup>8</sup> Det gælder fx Tjeldbergodden-anlægget i Norge eller nogle af Methanex-anlæggene på Trinidad og New Zealand.

<sup>9</sup> Det eneste kendte reference-anlæg er Carbon Recycling International's anlæg på Island.



En gennemgang af litteraturen på området viser, at produktion af bio-metanol baseret på biomasse har været genstand for adskillige analyser siden 2001, hvor Hamelinck og Faaijs' studie<sup>21</sup> lagde grunden til mange af de efterfølgende studier (bilag 2). Hovedparten af studierne er baseret på teoretiske koncepter og modellering med Aspen Plus-software, som kan beregne kapaciteter og dimensionering i et vist omfang. Et begrænset udvalg af disse studier har været sat i værk med henblik på at undersøge feasibility for et konkret anlæg. Disse studier er bedømt til at være mest relevante og informative, fordi man her har indhentet detaljerede informationer om, hvad et anlæg koster at etablere (CAPEX), og hvad selve produktionen kommer til at koste (OPEX) (tabel 2.3).

Tabel 2.3: Cost-estimer for bio-metanol produktion på basis af forskellige studier

Studie	Anlægsstørrelse og anvendt teknologi	Produktionsomkostninger pr. liter metanol	Kommentar til studiet
Polygeneration (2011)	137 MWth, træ, metanol til benzin (TIGAS)	5 DKK/l 95 oktan bio-benzin med proces over metanol + forsyning af fjernvarme til 80 DKK/GJ og IRR på 10% (2011-priser).  Pris anlæg: 130 M euro +/- 30% (inkl. contingency and contractor margin). OPEX: 3% af CAPEX	Omkostninger baseret på indhentede tilbud fra leverandører + egne informationer
Ekbom og Henriksson (2012)	300 MW indfyret, træ/træflis	8 SEK/ benzin ækvivalent liter (2012-priser)  Pris anlæg: 5,1 Mia. SEK (2012-priser)  OPEX: 900 SEK/MWh el. 4980 SEK/ton (2012-priser)	Opsamling på flere svenske studier og tidl. Ekbom-studier
Värmland Metanol (2013)	Input 111 MWh træ/træflis, output 74 MWh metanol, (375 tons/døgn), biprodukt 15 MW varme evt. til fjernvarme	4 SEK/l metanol svarende til ca. 8 SEK./l benzinaekvivalent (2013-priser)	Projekteret fabrik med forventet start drift 2016.  Det har ikke været muligt at skaffe de bagved liggende studier til projektet.

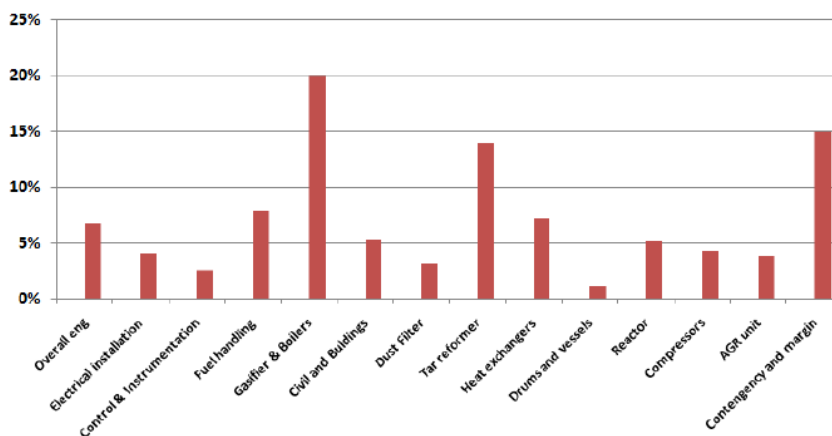
Et par overordnede observationer fra de tre udvalgte feasibility-studier er, at man forsøger at optimere produktion og økonomi gennem afsætning af spildvarme til fjernvarme. En anden observation er, at produktionspriserne pr. liter benzinaekvivalent er højere end benzinpriserne baseret på nugældende oliepriser, men ligger på linje med priserne for 1.G. og 2.G. bioethanol. En kort gennemgang af hver af studierne følger neden for.

### Polygeneration-studiet (2011)

Udgangspunktet for polygeneration-studiet<sup>22</sup> var en ide om at skabe et fleksibelt setup med flere indtjeningskilder og en høj virkningsgrad gennem produktion af transportbrændstof, udnyttelse af spildvarme, og evt. balancering af elsystemet. Studiet er gennemført af DONG og Topsøe, hvor man har regnet på et anlæg med 137 MW indfyret træflis til produktion af oktan 95 benzin og forsyning af varme til fjernvarmenettet. Her fandt parterne, at der kan produceres benzin på baggrund af Carbona-forgasning af træflis samt brug af Topsøe Integrated Gasoline Synthesis (TIGAS) til en pris på 5 DKK/l, og samtidig forsynes fjernvarme til 80 DKK/GJ med et afkast på 10% IRR. Det nævnes i studiet, at benzinen formentlig ville kunne afsættes til en betydeligt højere pris end 5 DKK/l. I forhold til designet af anlægget og en dekomponering af de forskellige omkostningselementer, fandt man, at de største udfordringer ved at modne polygeneration-konceptet er udviklingen af et "high temperature dust filter" samt en "tar

reformer”. De angivne usikkerheder omkring investeringsomkostningerne er høje (+/- 30%) og for nogle af komponenterne endda ekstremt høje. Det kan her nævnes, at Skive Fjernvarme ligeledes har undersøgt potentialet i metanol-til-benzin på deres anlæg ved brug af en TIGAS-proces<sup>23</sup>.

Figur 2.1: Dekomponering af omkostningerne for polygeneration-anlægget



Kilde: Polygeneration-studiet (2011)

### Ekbohm og Henriksson (2012)

Dette studie<sup>24</sup> er et forstudie gennemført med henblik på at undersøge muligheden for at etablere et bioraffinaderi i Värmland med fokus på biobrændstofproduktion. En del af motivationen for studiet er nogle markedsforskydninger i pulp&paper-industrien, som får branchen til at se sig om efter alternative muligheder. Afgrænsningen har været at se på cellulosebaserede råvarer og termisk forgasning som forudsat procesteknik. Desuden har man kun set på teknologi, der er kommerciel eller forventes kommercielt inden for en 10 årig periode. Investerings- og produktionsomkostningerne bygger på en række studier og estimater fra leverandører samt egne data, som er opdaterede til Q1 2012. I dette studie undersøges fire forskellige produktioner, nemlig metanol, DME, Fischer-Tropsch diesel samt SNG. Parterne regner sig frem til en metanol-pris på 8 SEK/l benzinaekvivalent (7,1 SEK/l DME eller 6,3 SEK/Nm<sup>3</sup> SNG). I forhold til metanol nævner studiet, at det er en begrænsning, at der er loft på 3% iblanding af metanol i benzinen, og at man ved regional afsætning derved hurtig vil løbe ind i et afsætningsproblem. Det fremgår også af studiet, at SNG-sporet har den højeste energieffektivitet.

### Värmlands Metanol (2013)

VärmlandsMetanol AB har til hensigt at bygge verdens første kommercielle anlæg til produktion af metanol på basis af forgasning af træ. VärmlandsMetanol AB har en længere forhistorie og blev skabt som ide i 2001 af organisationen Miljöcentrum (Ref19). I første omgang ejedes selskabet af Hagfors Kommune, LRF, Miljöcentrum samt to privatpersoner, hvor ideen var at bygge et pilotanlæg med en produktionskapacitet på 60.000 liter/døgn. Forstudier, VVM og risiko-analyse lå klar i 2002, hvor investeringsomkostningen blev opgjort til 600 mio. SEK. Det var på dette tidspunkt ikke muligt at få økonomien i projektet til at hænge sammen, da skala spillede en stor rolle. Det blev derfor besluttet i 2006 at skalere projektet betydeligt op til et fuldskala-anlæg på 100.000 tons/år. Yderligere studier gennemførtes i 2007 og 2008, og 20 ha mark blev opkøbt til et site. VVM påbegyndtes 2010 og er nu klar. Anlægget budgetteres med en afskrivningsperiode

på 25 år. Det har imidlertid været svært at rejse den fornødne kapital til projektet, som er projekteret til 3,5 mia. SEK. Status er pt. at ThyssenKrupp har fået en EPC-kontrakt på at opføre og indkøre anlægget, så snart man er klar, og anlægget skulle kunnet færdiggøres i løbet af tre år. Det der holder projektet tilbage lige nu, er ifølge VärmlandsMetanol AB at få sikkerhed for ”langsigtede og teknikneutrale spilleregler for beskatning af biobrændstoffer i Sverige”<sup>25</sup>. Et lignende anlæg under Rottnero AB står i nogenlunde samme situation, og fik ikke en ansøgt NER 300-støtte (Ref19), og derudover afventer anlægget i Norrtorp en endelig beslutning om at bygge, indtil en ændring af skattereglerne for biobrændstoffer i Sverige bliver tilstrækkeligt gunstige<sup>26</sup>.

### Sammenligning af bio-metanol-priser med priser på andre biobrændstoffer

Til sammenligning med de produktionspriser, der er fundet for metanol og biobenzin i de i tabel 2.3 omtalte studier, præsenteres priser på andre biobrændstoffer i tabel 2.4 for en sammenlignings skyld. Disse priser er uden afgifter og er produktionspriser ab fabrik, når man ser bort fra prisen på 1.G. bioethanol, som er en markedspris<sup>10</sup>. Priserne for 2.G. bioethanol er baseret på oplysninger fra Maabjerg Energy Concept. Det skal bemærkes, at der er stor usikkerhed omkring priserne på 2.G. biobrændstofferne, HVO og den avancerede biodiesel.

Tabel 2.4: Sammenligning af priser for bio-brændstoffer, medio september 2014

Brændstof	Kr./l	Kr./GJ
<b>Benzin</b>	<b>4,2</b>	<b>127,9</b>
Bio-metanol	8 SEK (2012/13-priser)	253,1
1.G. bioethanol	7,5	228,3
2.G. bioethanol	10,0	304,4
<b>Diesel</b>	<b>4,6</b>	<b>128,2</b>
1.G. biodiesel	6,7	186,8
HVO	8,6	239,8
2.G. biodiesel	8,6	239,8
Avanceret biodiesel	10,9	303,9

Kilde: Energistyrelsen på baggrund af data fra Platts og Energi- og Olieforums varebørs (2014)<sup>27</sup> på nær prisen på bio-metanol, som er baseret på kilder fra Värmlands Metanol (2013) og Ekbom og Henriksson (2012) jf. tabel 2.3

### Overvejelser omkring biomasse og logistik

Der er en lang række overvejelser omkring valg af biomasse og forhold som forsyningsikkerhed, bæredygtighed, miljøforhold, logistik, etc., som bør gøres i forbindelse med evt. produktion af metanol eller et andet drivmiddel. Det vil ikke være muligt at komme ind på dem alle her, men netop fordi teknologivurderingen ser specifikt på teknologien og mulige anlæg, så er det på sin plads at vurdere den logistiske vinkel i forhold til forsyningerne med biomasse, samt hvor store mængder biomasse der er til stede i landet. Det er afgørende for økonomien i produktionen, at håndteringen af hele produktionskæden er optimeret ud fra et logistisk synspunkt, og at forsyningerne er stabile og konkurrencedygtige.

Ser man for eksempel på placeringen af Maabjerg Energy Concept (MEC), som skal bruge 300.000 tons halm årligt til bio-ethanol-produktion<sup>11</sup>, så er halmpotentialet i området blevet undersøgt nøje. Maabjerg-anlægget ligger i et landbrugsområde, hvor man forventer at kunne hente halm inden for en radius af ca.

<sup>10</sup> Markedsprisen på 1.G. bioethanol svinger nogenlunde konstant med benzinprisen, blot på et højere niveau

<sup>11</sup> Denne produktion vil resultere i 80 mio. liter bio-ethanol.

50 km<sup>28</sup>. Parterne bag MEC-konsortiet har estimeret et landsdækkende ikke-udnyttet halmoverskud på 2 mio. tons, hvoraf de 1,5 mio. tons findes i Jylland. Parterne nævner dog også, at de har undersøgt markedet så langt væk som Polen, Tyskland, Frankrig og England for muligvis at supplere forsyningen med halm fra disse områder – ifølge MEC uden væsentlige meromkostninger, når halmen bliver briketteret. Parterne nævner desuden, at der vil blive etableret et halmlager med en kapacitet på 2400 tons (svarende til 65 timers drift), og at der vil blive etableret en række decentrale halmlagre med en samlet kapacitet på 150.000 tons.

I de oplysninger der findes om Värmlands Metanol AB-anlægget i Hagfors, nævnes det, at man forventer at hente træ i en radius af 150 km fra anlægget<sup>29</sup>. Der er tale om ret store mængder træ på grund af anlæggets størrelse, hvilket giver et indtag af træ på 1.100 tons/døgn (ved 50% vand) eller omkring 363.000 tons/år ved 8.000 driftstimer. Hele forsyningen af træ kan dækkes med biomasse fra Värmlands len, hvor potentialet ved bæredygtig hugst er opgjort til 1,7 mio. m<sup>3</sup> træ (Ref 24). I denne vurdering indgår, at der opsamles både stød og grenaffald fra træhugsten, hvilket ikke er en udbredt praksis i dag.

For at sætte ovenstående tal i perspektiv blev der ifølge ”+10 tons-planen” høstet 1,5 mio. tons tørstof i de danske skove i 2010 ud af en årlig produktion (tilvækst) på 2,4 mio. tons tørstof<sup>30</sup>. Med de foreslåede tiltag i planen vil skovproduktionen kunne øges med yderligere 0,75 mio. tons tørstof pr. år i 2020. En interessant pointe i +10-tonsen er, at landbrugsarealet er næsten 5 gange større end skovarealet, men producerer 11 gange så meget biomasse. Det anslås for eksempel at godt 2 mio. tons tørstof halm i 2009 kan øges til omkring 3 mio. tons tørstof i 2020 med de rette tiltag, hvilket er i tråd med en opgørelse fra AgroTech for Biogas Taskforce<sup>31</sup>. Samlet for al biomassen konkluderes det i planen, at der kan produceres 10 millioner tons ekstra biomasse (ca. 160-200 PJ<sup>12</sup>) frem til 2020 oven i de 20 mio. tons der produceres i dag, inden for rammerne af det eksisterende land- og skovbrug og uden at det påvirker foder- eller fødevarerproduktionen - hvis der gennemføres en række foreslåede tiltag.

Det største potentiale udpeges i planen til at være i den ”grønne biomasse”, som fx græs, roer o.l., med højt vandindhold egnet til biologisk omsætning. En udnyttelse af dette potentiale vil kræve ændringer i afgrødevalg, samt udvikling af høst- og lagrings- og konverteringsteknikker. En stor del af den grønne biomasse kan ved et alternativt afgrødevalg omstilles til en mere cellulose-baseret ”brun biomasse”, som fx pil, poppel eller andre vedplanter, som egner sig bedre til termokemisk omsætning. Derudover kan der plantes særlige flerårige græsser (fx elefantgræs), og så er der bedre udnyttelse af husdyrgødning til fx biogas.

## 2.2 Hvad driver udviklingen nu (F&U indsats på den internationale scene)

Produktion af metanol kan på sigt være interessant i en biorefinery-sammenhæng, hvor der afsættes metanol til flere markeder, som vil aftage og producere bio-baserede produkter. Jævnfør tabel 2.1 er der en stigende efterspørgsel efter metanol på det globale marked, som har oplevet vækstrater på ca. 10% om året i de seneste 5-10 år<sup>32</sup> (tabel 2.1). Det skyldes, at metanol har mange anvendelser og er et vigtigt kemikalie som anvendes i en lang række sammenhænge såsom fx formaldehyd og methyl tertiary-butyl

<sup>12</sup> Energi-indholdet i de forskellige biomassetyper varierer en del

ether (MTBE). Der sker særligt en vækst i metanol-produktionen i sammenhæng med energi-markedet, hvor tilsætning til benzin samt produktionen af metanol-baseret dimethyl ether (DME) har haft årlige vækstrater på over 20%. Metanol er desuden en vigtig komponent i visse typer biodiesel (FAME-typerne), og udgør i dag op mod 15% af biodiesel-indholdet på verdensplan<sup>33</sup>.

Tabel 2.1: Global produktion af metanol fordelt på slutprodukter, mio. tons

	2008	2009	2010	2011	2012	2013 est.	CAGR
<b>Supply</b>							
Capacity	59.014	67.454	76.478	86.777	95.459	99.263	11,0
Production	40.260	42.051	48.892	54.749	60.599	64.575	9,9
<b>Demand</b>							
Formaldehyde	15.160	14.163	16.284	17.589	18.410	19.316	5,0
Acetic acid	4.278	4.244	4.986	5.189	5.307	5.704	5,9
MTBE	6.985	6.749	7.265	7.673	8.169	8.521	4,1
Gasoline blending & combustion	3.091	4.903	6.158	7.143	8.311	9.224	24,2
Biodiesel	909	832	903	1.210	1.314	1.218	6,0
DME	1.824	3.338	3.977	4.297	4.557	4.734	21,0
Methanol-to-olefins	7	7	702	2.479	4.908	5.886	289,5
Others	8.174	7.806	8.657	9.151	9.621	9.972	na
Total demand	40.428	42.042	48.932	54.731	60.597	64.575	9,8

Kilde: Methanol Institute (2014)

Et nyt potentielt marked er skibsfart, hvor der eksperimenteres med metanol som erstatning for bunker fuel i skibsmotorer, bl.a. fordi emissionerne fra dette brændstof er ekstremt lave, og at man herved kan slippe for problemer med svovl-forurening<sup>34</sup>. Stena Lines i Sverige arbejder med test af metanol på et par af deres skibe, og viser stor interesse<sup>35</sup>. Endelig produceres der benzin på baggrund af naturgas-baseret metanol. Som det ses af tabel 2.1 har den største vækst for metanol fundet sted i "olefins", som er en gruppe af umættede kemiske stoffer (fx ethylen), der danner basis for produktion af plastik.

Langt størstedelen af den metanol der fremstilles på verdensmarkedet i dag er baseret på naturgas og i lidt mindre omfang på kul.

I forhold til bio-metanol er der i øjeblikket størst interesse for en udvikling i Sverige på basis af forgasning af træ. Forgasningsteknologien er udviklet over de sidste 20-30 år med henblik på at håndtere træ/træflis, og er effektiv til at håndtere denne type biomasse. Der er desuden nogle interessante restprodukter, fx black liquor, fra pulp&paper-industrien, som kan anvendes til metanol-fremstilling og derved opnås en meget høj virkningsgrad.

I en dansk sammenhæng er halm en mere oplagt biomasse, men forgasningsteknologien som normalt arbejder ved høj temperatur (850-900 C) har problemer med at håndtere de alkaliske forbindelser i halm, hvilket resulterer i at asken smelter og klumper sig sammen i anlægget. Forgasningsteknologien er mindre moden når alkaliske biomasser som halm (og til dels pil), skal håndteres. Pyroneer-teknologien har dette område som sit fokus, og udviklingen baseres her på en proces med lavere temperaturer, der kører i to trin (740-750 C og 650 C). Den grundlæggende ide med Pyroneer-teknologien er primært, at tilsætsfyre (alkaliske) biomasser på eksisterende kulkraft-anlæg, sådan som det er tilfældet med 6 MW pilot-anlægget ved Asnæs-værket.

## 3. Rammevilkår for teknologien i Danmark

### 3.1 Rammevilkår for teknologien i Danmark

Ifølge EU's brændstofkvalitetsdirektiv (2009/30/EF)<sup>36</sup> tillades det at iblande max. 3% metanol i benzinen i dag, mens den tilsvarende tilladte iblandingsmængde for etanol er max. 10%. Men førend man kan forholde sig til, om metanol er en interessant biobrændstof i en dansk kontekst, er det relevant at gøre status over situationen på biobrændstofområdet med henblik på målsætninger, rammevilkår, og nuværende produktion.

Som det fremgår af tabel 2.4 er biobrændstoffer i Danmark ikke konkurrencedygtige, når man ser på de gældende benzin- og diesel-priser. Som det også fremgår af tabel 2.4 er 1.G. biobrændstofferne typisk billigere end 2.G. biobrændstofferne, men fra dansk side er man mere interesseret i at fremme 2.G. biobrændstofferne ud fra et bæredygtighedshensyn. Dertil kommer et væsentligt argument om, at 2.G. biobrændstofferne tæller dobbelt jf. EU's VE-direktiv. I det følgende ridses det op, hvordan situationen ser ud nu og i de kommende år på biobrændstofområdet, og herunder, hvad er EU-målsætningerne, og hvad der er barrierer for fremme af biobrændstoffer i Danmark.

#### Reguleringsmæssige vilkår og produktion af biobrændstoffer i Danmark

Ser man på hvor stor en andel biobrændstoffer udgør af transportbrændstoffet i Danmark i dag, så er situationen den, at de af loven forpligtede selskaber har iblandet minimum 0,55% biobrændstoffer i 2010, 3% i 2011, og 5,75% i 2012<sup>13</sup> (regnet efter energiindhold)<sup>37</sup> ifbm. opfyldelse af VE-direktivets bæredygtighedskriterier. Dette opfylder olieselskaberne ved at anvende såkaldt E5-benzin og B7- diesel, som primært er baseret på 1.G. biobrændstoffer. Derudover anvendes der en vis mængde 2.G. biodiesel baseret på animalsk fedt (bl.a. fra danske DAKA), og endelig kører særlige flåder på høje iblandinger. For alle biobrændstoffer i Danmark gælder der pt., at de lempes for CO<sub>2</sub>-afgift (34 øre/l).

Danske producenter af biobrændstoffer har haft følgende omtrentlige produktion af biodiesel og bioethanol de seneste år (Ref36):

- Emmelev producerer ca. 100 mio. liter biodiesel (1.G.) baseret på raps.
- DAKA producerer ca. 55 mio. liter biodiesel (2.G.) baseret på slagteriaffald m.v.
- Inbicon har en produktionskapacitet på ca. 5 mio. liter bioethanol (2.G.) baseret på halm. I øjeblikket produceres der ikke kontinuert på dette anlæg (der produceres ifbm. forskning og udvikling).

Derudover er Maabjerg Energy Concept under planlægning med et 2. G. bioethanol-anlæg på basis af halm. Dette anlæg designes til en kapacitet på 80 mio. liter om året (svarende til ca. 2,7% af benzinsalget i Danmark målt efter energiindhold), og det forventes sat i produktion i 2017. Anlægget koster 2,2 mia. kr. at etablere (2013-priser). Der er endnu ikke truffet en "final investment decision" om etablering af anlægget.

#### Overvejelser omkring vejen frem mod 2020-målet for biobrændstoffer

Der er ikke energipolitisk taget endeligt stilling til hvorledes vejen frem mod 2020-målet for biobrændstoffer skal banes i Danmark. Der er i øjeblikket stor opmærksomhed omkring Maabjerg Energy

<sup>13</sup> Det samlede forbrug af biobrændstoffer udgjorde 8,5 PJ svarende til 203 Ktoe.

Concept (MEC), både af politiske grunde (landbrug, industri, beskæftigelse), men også fordi der efter Energistyrelsens faglige vurdering<sup>38</sup> er tale om et lovende projekt. Den faglige vurdering argumenterer bl.a., at 2. G. bioetanol er klimavenlige brændstoffer fremstillet på affald eller rester fra landbrug, hvor der ikke forekommer såkaldte ILUC-problemer, der er ingen konkurrence med fødevarer, og drivhusgasfortrængningen er meget høj. Dertil kommer en mulig "first-mover" effekt ved en tidlig etablering af anlægget. MEC-konsortiet har som det eneste danske projekt opnået støtte fra EU's NER300-pulje i 2014 til en støttesum på 290 mio. kr.

Et af de synspunkter, der er fremkommet fra MEC-konsortiet i den indledende forberedelsesfase, er behovet for vedtagelse af et iblandingskrav for avancerede biobrændstoffer på EU-plan, kombineret med, at Danmark sætter et mere ambitiøst iblandingskrav på 2,5%. I den forbindelse kan det oplyses, at EU's ministerråd har vedtaget et iblandingskrav på 0,5% i EU. Dette iblandingskrav forventes at skabe et vist markedstræk for 2. G. bioetanol, men iblandingskravet forventes først at træde i kraft i 2020. Skal der forinden skabes et markedstræk, vil det antageligt kræve et nationalt iblandingskrav omkring de 2-2,5%, som MEC-konsortiet anfører.

Som det første EU-land annoncerede Italien i oktober 2014 en biobrændstofpolitik, som sigter på et iblandingskrav på 0,6% avancerede biobrændstoffer i transportbrændstoffer i 2018 og 1% i 2022<sup>39</sup>. I den forbindelse er det værd at nævne, at det første kommercielle europæiske bioetanol-anlæg påbegyndte produktion på Crescentino-anlægget ved Torino i 2014. Dette anlæg anvender halm og energiafgrøden arundo donax som feedstock i en proces med enzymatisk forarbejdning. Anlægget er designet til en årlig produktion på 75 mio. liter.

### **Mulige tekniske barrierer ift. iblanding**

Energistyrelsen har henvendt sig til et af benzinselskaberne for at få en vurdering af, hvorvidt der er eventuelle barrierer forbundet med at iblande metanol i benzinen til markedet i Danmark. Ifølge Statoil<sup>40</sup> skulle det være forholdsvis uproblematisk at blande mindre mængder metanol med etanol og benzin under de gældende EU-regler om brændstofkvalitet, som sætter et loft for bio-metanol på 3%. Der vil ikke være problemer med at blande og opbevare metanolen, men basebenzinen vil potentielt skulle justeres, så den har den rette kvalitet, hvilket man må undersøge med raffinaderierne. Metanol i større blandinger som fx M85 og M100 kræver mere gennemgribende ændringer til den eksisterende infrastruktur. Statoil nævner, at der på grund af terminal-infrastrukturen i Danmark er forskel på om Statoil skal anvende metanol alene som selskab eller om hele branchen bliver pålagt at bruge metanol. I sidstnævnte tilfælde vil man kunne reducere omkostningen betragteligt. Benzinselskabernes brancheforening, Energi- og Olieforum (EOF)<sup>41</sup>, er på samme linje, og anser ikke iblanding med de nugældende tilladte mængder metanol som noget problem – det er generelt de samme foranstaltninger, der skal til for etanol såvel som for metanol. EOF nævner to barrierer, som væsentlige i forhold til en udbredelse af metanol, og det er EU's brændstofkvalitets-direktiv (og herunder den europæiske benzinstandard EN228) som sætter et loft på 3%, og derudover er det generelt svært for et enkelt selskab at gå alene i retning af, at promovere specielle biobrændstoffer ud over de national vedtagne retningslinjer, på grund af samarbejdet omkring fælles udnyttelse af terminal-infrastruktur i raffinaderi-branchen.

## 4. Teknologiens betydning i dansk kontekst i forhold til jobs og vækst

### 4.1 Danske virksomheders og videninstitutioners engagement i teknologiudviklingen

Der er en stor interesse for de teknologisor og teknologiprocesser, som er relateret til metanol-produktion eller andre synfuels, hvilket afspejles tydeligt i projekter under de danske F&U-ordninger (eksempelvis Polygeneration-studiet og GreenFuels-studiet). Forskningen og udviklingen retter sig ikke entydigt mod én type brændstof, men fælles for projekterne er et fokus på produktion af en produktgas, som derefter kan anvendes til flere typer drivmidler (metanol, DME, benzin, SNG). Det er særligt universiteterne og GTSerne, er spiller en stor rolle, men der er også en række mindre virksomheder og nogle få store, som spiller en aktiv rolle.

I tabel 4.1 og 4.2 er nævnt en række hovedaktører når det drejer sig om metanol-produktion. Da metanol-produktion omfatter en række proces-trin, vil der i praksis være en lang række underleverandører af følgeteknologier involveret i at etablere et anlæg. Her præsenteres kun en oversigt over aktørerne for de væsentligste og mest omkostningstunge teknologier, som er forgasning og metanol-syntese. De nævnte aktører i tabellerne tager udgangspunkt i en markedsundersøgelse gennemført i forbindelse med Norrtrop-studiet i Sverige for nylig, hvor der primært er set på store anlæg (300 MW). For forgasningsteknologierne er der tilføjet et par mindre danske spillere, som ikke nævnes i de internationale studier. Listen over aktører skal tages med det forbehold, at afgrænsningen af denne industri ikke er entydig.

I en dansk sammenhæng kan det fremhæves at Haldor Topsøe er en stor spiller på det globale marked i forhold til metanol-syntese, men også i forhold til andre relaterede processer som fx TIGAS-processen. I forhold til mindre forgassere kan Babcock og Wilcox Vølund samt Dall Energy nævnes, mens Pyroneer-teknologien endnu ikke er kommercialiseret.

Tabel 4.1: Producenter af proces-teknologi for metanol-syntese

Johnsson Matthey Davy Technologies Lmted.	USA
Topsøe	Danmark
Air Liquide (Lurgi)	Frankrig
Mitsubishi Gas Chemical	Japan
Casale	Schweitz
Linde Engineering	Tyskland
ThyssenKrupp UHDE	Tyskland
Casale	Schweiz

Kilde: modificeret efter Norrtrop-studiet (2013)

Tabel 4.2: Producenter af proces-teknologi inden for forgasning

Foster Wheeler	USA
Carbona Andritz	Østrig
Siemens	Tyskland
Linde Engineering	Tyskland
ThyssenKrupp UHDE	Tyskland
Valmet/Metso	Finland
Babcock & Wilcox Vølund	Danmark
(Pyroneer/DONG)	Danmark
(Et par mindre producenter)	Danmark (små anlæg, < 10 MW)

Kilde: modificeret efter Norrtrop-studiet (2013)



## 4.2 Teknologiuudviklingens indflydelse på jobs og vækst i Danmark?

En vurdering af mulige beskæftigelseseffekter fra en teknologiuudvikling til metanol-produktion er så godt som umulig, når man ikke har et konkret teknologispor, ikke har et defineret marked at levere til, og/eller ikke har et hjemligt anlæg for øje nu og her. I Norrtorp-studiet så man nærmere på mulige leverandører af teknologi til et stor-skala metanol-anlæg til en lokation i Sverige, og som det fremgår af tabel 4.1 og 4.2, så er ingen af hovedaktørerne, udover Haldor Topsøe, danske. Der vil formentlig alligevel være en vis beskæftigelseseffekt forbundet med en sådan teknologiuudvikling, også i Danmark, da man kan forestille sig at en række underleverandører vil blive inddraget i forløbet.

I forhold til varige jobs forbundet med selve driften af sådanne anlæg, anslog man i Norrtorp-studiet at anlægget ville kræve et personale i størrelsesordenen 150 personer til selve driften. Det står i modsætning til en beregning foretaget ifbm. Maabjerg Energy Concept, hvor der blev beregnet en samlet beskæftigelseseffekt på 1.250 fuldtidsjobs, herunder 130 jobs alene til transport (Ref 28).

Bilag 1: Kapacitet mekanisk energi i 2035 i transportsektoren

Scenario	Vind	Biomasse	Bio+	Brint	Fossil
Elbiler	5,8	5,5	0,3	5,8	5,5
Brintbiler	0	0	0	0	0
Etanolbiler	0	0	3,2	0	0
RMEbiler	0	0	2,5	0	0
Benzinbiler	7,9	8,2	7,7	7,9	17,2
Dieselbiler	9,0	9,0	9,0	9,0	0
Varebiler (el)	2,3	1,0	0	2,6	1,0
Varebiler (brint)	0	0	0	0	0
Varebiler (RME)	0	1,5	2,0	0	0
Varebiler(benzin)	1,6	1,3	1,8	1,2	8,8
Varebiler(diesel)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Lastbiler (RME)	1,7	1,7	1,7	0	0
Lastbiler-eltog	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Lastbiler (NG)	0	0	0	0	2,3
Lastbiler (SNG)	2,3	2,3	2,3	0	0
Lastbiler (brint)	0	0	0	3,7	0
Lastbiler(diesel)	10,3	10,3	10,3	10,6	12,0
Busser (el)	0,3	0	0	0,3	0
Busser (RME)	0	0,4	0,4	0	0
Busser (gas)	0	0	0	0	0,2
Busser (gas)	0,3	0,2	0,2	0,3	0
Busser(diesel)	1,7	1,7	1,7	1,7	2,1
MC (el)	0,1	0,1	0	0,1	0
MC (benzin)	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
Fly (biokerosen)	4,7	4,7	4,7	4,7	0
Fly(kerosen)	12,0	12,0	12,0	12,0	16,7
Tog (el)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Tog (diesel)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Skibe (RME)	1,1	1,1	1,1	1,1	0
Skibe(NG)	0	0	0	0	0,3
Skibe(SNG)	0,3	0,3	0,3	0,3	0
Skibe(diesel)	3,5	3,5	3,5	3,5	4,6
<b>Total</b>	<b>73,9</b>	<b>73,9</b>	<b>73,9</b>	<b>73,9</b>	<b>73,9</b>

Kilde: Energistyrelsen (2014)

Bilag 2: Relevante nyere studier med fokus på metanol-produktion identificeret i litteratursøgningen

Studie	Anlægsstørrelse og anvendt teknologi	Produktionsomkostninger pr. liter metanol	Kommentar til studiet
Hamelinck and Faaij (2001, 2006) (Ref 20)	400 MWth, HHV på 55%	8-12 \$/GJ (2001-prices)	Type studie: modellering med Aspen Plus software.
Weel & Sandvig (2007) <sup>42</sup>	200 MWth,	54 kr./GJ ved afsætning af el og varme og 130 kr./GJ uden afsætning varme	
Mignard and Pritchard (2008) <sup>43</sup>			Teoretisk studie
Clausen et al. (2010) <sup>44</sup>	Biomass + electricity,	14 euro/GJ (2010-priser)	Teoretisk studie
Amigun et. al. (2010) <sup>45</sup>	400 MWth, 2000 MWth	3,95 R/l, 2,89R/l (2010-priser)	Udgangspunktet er en sydafrikansk kontekst
NREL (2011) <sup>46</sup>	Entrained flow gasifier. Feedstock: poplar wood, less than 2 inches wood chip size, dried to 10% moist, 2.000 tons dry wood/day, annual prod. 160.000 liter, assumed 96% operation, further steps methanol to gasoline	15,73 dollars/GJ (2007-priser)	Modellering med Aspen Plus software og antagelse om n' te anlæg (dvs. moden teknologi). Bygger til dels på tidligere studie af etanol (Phillips et al 2007)  I modsætning til de andre studier ser dette på "biomass-to-gasoline via metanol.
Green Syn Fuels (2011) (Ref 19)	Electrolysis assisted gasification of biomass, 1.000 tons wood/day	120-147 USD/barrel oil equivalent . 120 \$ is for SOEC and 147 for AEC. (dvs. Ca. 4,0-5,0 kr/liter ved dollarkurs 5,4 og 160 liter olie pr. tønde)	Calculations based on Mignard and Pritchard 2008
Polygeneration (2011) (Ref 21)	137 MWth, træ, metanol til benzin (TIGAS)	5 DKK/l 95 oktan bio-benzin med proces over metanol + forsyning af fjernvarme til 80 DKK/GJ og IRR på 10% (2011-priser).  Pris anlæg: 130 M euro +/- 30% (inkl. contingency and contractor margin). OPEX: 3% af CAPEX	Omkostninger baseret på indhentede tilbud fra leverandører + egne informationer
Ekbom og Henriksson (2012) (Ref 23)		8 SEK/ benzin equivalent liter (2012-priser)	Opsamling på flere svenske studier og tidl. Ekbom-studier
Andersson et al. (2013) <sup>47</sup>	Pressurized entrained flow gasifier, wood, 8% moist, particle size 0,6-0,8 mm.	1,04-1,51 euro/benzin equivalent liter	Modellering med Aspen Plus. Udgangspunkt i eksisterende anlæg tilknyttet papirfabrik og derefter sammenligning med teoretisk stand-alone factory af samme størrelse
Norrtorp studiet 2013 <sup>48</sup>	350 MW indfyret, træ 50% vand, 1 mio. tons/år, 8.000 driftstimer/år, output 320.000 tons/år (960 tons/døgn)		Omkostninger baseret på indhentede tilbud fra leverandører + egne informationer
Värmland Metanol AB <sup>49</sup> (projekteret fabrik med forventet start drift 2016)	Input 111 MWh træ, output 74 MWh metanol, (375.000 liter/døgn), biprodukt 15 MW varme evt. til fjernvarme	Iflg. Ekbom et al. (2012): metanol produktionspris på 3,4 SEK/liter svarende til ca. 7 SEK/ benzin equivalent liter	Värmlands Metanol har offentliggjort populært materiale som oplyser produktionspris på 4 SEK/l, men har ikke villet svare på detaljerede spørgsmål om produktionspris, target-pris mm., da dette er fortroligt.

## Referencer:

- <sup>1</sup> Energiscenarier frem mod 2020, 2035 og 2050. Energistyrelsen, marts 2014.
- <sup>2</sup> Technology data for advanced bioenergy fuels. Danish Energy Agency. 2013.
- <sup>3</sup> Well-To-Tank Report version 4.a. JEC Well-To-Wheels analysis. 2014.
- <sup>4</sup> Biodrivmedel – nu og i fremtiden. Rapport från Energiutskottet. Kungl. Vetenskapakademien. April, 2013.
- <sup>5</sup> Coherent Energy and Environmental System Analysis (CEESA).  
<http://www.ceesa.plan.aau.dk/Publications/work+package+reports/> [tilgået 17-09-2014]
- <sup>6</sup> Production of bio-methanol. Technology brief. IRENA, January 2013.
- <sup>7</sup> Carbon Recycling International.  
[http://www.carbonrecycling.is/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14&Itemid=8&lang=en](http://www.carbonrecycling.is/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=8&lang=en) [tilgået 18-09-2014]
- <sup>8</sup> EPA announces decision for regulation of fule and fuel additives: Modification to octamix waiver regarding TXCeed.  
<http://www.epa.gov/otaq/fuels/registrationfuels/documents/420f12020.pdf> [tilgået 12-08-2014]
- <sup>9</sup> Personlig kommunikation med brændstofekspert fra Volvo Car Corporation, Lisa Jacobsson. [02-10-2014]
- <sup>10</sup> China's growing methanol economy and its implications for energy and the environment. Yang, C. and Jackson, B. Energy Policy 41 (2012) 878-884.
- <sup>11</sup> Fifteen years of fuel methanol distribution. California Energy Commission. Ward, P. and Teague, J. (1996)
- <sup>12</sup> Fossilfrihet på väg. SOU 2013:84. <http://www.regeringen.se/sb/d/17075/a/230739> [tilgået 12-08-2014]
- <sup>13</sup> INTROMET. Introduktion af metanol som drivmiddel. Slutrapport. Energimyndigheten, juni 2006
- <sup>14</sup> <http://www.volvotrucks.com/trucks/na/en-us/products/alternativefuels/Pages/alternative-fuel.aspx> [tilgået 12-09-2014]
- <sup>15</sup> Personlig kommunikation med Energistyrelsens jurist på området, Peter Willumsen. [13-08-2014]
- <sup>16</sup> Properties of methanol. Methanol Institute. <http://www.methanol.org/technical-information/properties-of-methanol.aspx> [tilgået 30-07-2014]
- <sup>17</sup> M15 methanol gasoline blends: 35 years of research and experience supports its use. Methanol Institute. March 2013. [http://fuels.developmentsite.biz/wp-content/uploads/2013/05/M15-Methanol-Gasoline-Blend-Experience-March-2013\\_docx.pdf](http://fuels.developmentsite.biz/wp-content/uploads/2013/05/M15-Methanol-Gasoline-Blend-Experience-March-2013_docx.pdf) [tilgået 29-07-2014]
- <sup>18</sup> Large scale methanol production from natural gas. Aasberg-Petersen, Stub Nielsen, Dubkjær og Perregaard. Haldor Topsøe, udateret.  
[http://www.topsoe.com/business\\_areas/methanol/~media/PDF%20files/Methanol/Topsoe\\_large\\_scale\\_methanol\\_p rod\\_paper.ashx](http://www.topsoe.com/business_areas/methanol/~media/PDF%20files/Methanol/Topsoe_large_scale_methanol_p rod_paper.ashx) [tilgået 29-07-2014]
- <sup>19</sup> Elektrobränslen – en kunskabsöversikt. Nikoleris, A. og Nilsson L.J. Lunds Universitet, 2012.
- <sup>20</sup> Green Synfuels. Economical and Technological Statement regarding Integration and Storage of Renewable Energy in the Energy Sector by Production of Green Synthetic Fuels for Utilization in Fuel Cells.  
<http://www.risoe.dk/rispubl/NEI/NEI-DK-5533.pdf> [tilgået 17-09-2014]
- <sup>21</sup> Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass. C. N. Hamelinck and A. P.C. Faaij, Universiteit Utrecht. September 2001.
- <sup>22</sup> Polygeneration. Report. Energinet.dk-edition, June 2011. Dong Energy
- <sup>23</sup> <http://www.skivefjernvarme.dk/media/520881/Nyt-dansk-projekt-om-pilotproduktion-af-ren-syntesegas-baner-vej-for-dansk-teknologi-til-forgasningsanlaeg-ENDELIGT.pdf> [tilgået 15-09-2014]
- <sup>24</sup> Potential för produktion af biodrivmedel vid bioraffinaderier i Värmland. Förstudie 2. Tomas Ekbohm og Andreas Henriksson. April 2012.
- <sup>25</sup> Personlig kommunikation med talsmand for VärmlandsMetanol AB, Lena Eriksson Sonebrink [06-08-2014]
- <sup>26</sup> Bioraffinaderi på is i väntan på rimliga skatteregler. <http://redir.opoint.com/?key=VeitfZqrleOFUdN4ADtn> [tilgået 18-09-2014]
- <sup>27</sup> Personlig kommunikation med Energistyrelsens specialist på området, Lisa Bjergbakke [17-09-2014]
- <sup>28</sup> Statusrapport. Forretningsplan 2.0. MEC.  
[http://www.maabjergenergyconcept.dk/media/1304/statusrapport2013\\_web.pdf](http://www.maabjergenergyconcept.dk/media/1304/statusrapport2013_web.pdf) [tilgået 18-09-2014]
- <sup>29</sup> World's first commercial scale biomethanol plant in Hagfors Sweden. August 2013.
- <sup>30</sup> Morten Gylling, Uffe Jørgensen og Niclas Scott Bentsen (2012): + 10 mio. tons planen – muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier, Frederiksberg, 2012.
- <sup>31</sup> Biomasse til biogasanlæg i Danmark – på kort og på lang sigt. AgroTech, april 2013.

- 
- <sup>32</sup> Methanol basics. Methanol Institute. <http://www.methanol.org/Methanol-Basics.aspx> [tilgået 25-07-2014]
- <sup>33</sup> The American Oil & Gas Reporter. <http://www.aogr.com/web-features/exclusive-story/u.s.-methanol-on-the-comeback> [tilgået 25-07-2014]
- <sup>34</sup> Methanol as a clean, low-emission alternative ship fuel. <http://www.spireth.com/> [tilgået 25-07-2014]
- <sup>35</sup> Personlig kommunikation med Maria Grahn, Energy & Environment, Chalmers University, september 2014.
- <sup>36</sup> Europa-parlamentets og Rådets Direktiv 2009/30/EF af 23. april 2009. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0030&from=EN> [tilgået 08-08-2014]
- <sup>37</sup> Dansk situationsrapport i henhold til direktiv 2009/28/EF, om fremskridtene med hensyn til fremme og anvendelse af energi fra vedvarende energikilder. Energistyrelsen. December, 2013.
- <sup>38</sup> Internt notat (J.nr. 6501/6507-1714). Energistyrelsen. Oktober 2014
- <sup>39</sup> Italy pushes ahead with next generation biofuels from waste. <http://www.bbc.com/news/science-environment-29618889> [08-12-2014]
- <sup>40</sup> Personlig kommunikation med Peter Rasmussen, fuel direktør i Staoil. [03-10-2014]
- <sup>41</sup> Personlig kommunikation med Michael Myging Jensen, Energi- og Olieforum. [30-10-2014]
- <sup>42</sup> Perspektiver for dansk ammoniak- eller methanolfremstilling, som led i et muligt fremtidens hydrogensamfund - et forstudie i optimal samproduktion af el, varme og brintbærere (ammoniak eller methanol) ud fra biomasse og eloverskud. Energinet.dk, projektnr. 2005-2-6422. Weel & Sandwig. September 2007.
- <sup>43</sup> On the use of electrolytic hydrogen from variable renewable energies for the enhanced conversion of biomass to fuels. D. Mignard and C. Pritchard. Chemical Engineering Research and Design, Vol 86, Issue 5, May 2008, pages 473-487
- <sup>44</sup> Technoeconomic analysis of a methanol plant based on gasification of biomass and electrolysis of water. L. R. Clausen, N. Houbak, B. Elmegaard. DTU, 2010.
- <sup>45</sup> Biomethanol production from gasification of non-woody plant in South Africa: Optimum scale and economic performance. B. Amigun, J. Georgens, H. Knoetze. Energy Policy 38 (2010) 312–322
- <sup>46</sup> Gasoline from Wood via Integrated Gasification, Synthesis, and Methanol-to-Gasoline Technologies. Steven D. Phillips, Joan K. Tarud, Mary J. Bidy, and Abhijit Dutta. Technical Report NREL/TP-5100-47594. January, 2011.
- <sup>47</sup> Techno-economic analysis of methanol production via pressurized entrained flow biomass gasification systems. Jim Andersson, Joakim Lundgren, Magnus Marklund. 2013.
- <sup>48</sup> Idestudie. Bioraffinaderi Norrortorp. September 2013.
- <sup>49</sup> <http://www.varmlandsmetanol.se/> [tilgået 18-09-2014]