

Bilag 5 Baggrund for intern transport

Baggrundsnotat for Grøn Industrianalyse

Kontor/afdeling

Center for Energieeffektivisering

Dato

17-08-2021

J nr. 2021 - 491

/CHVA

Indledning

Dette bilag er et baggrundsdokument for Grøn Industrianalyse. Bilaget er udarbejdet af Viegand og Maagøe A/S, og fremsatte vurderinger er Viegand Maagøes egne hvis ikke andet fremgår.

Notat – Final Bilag 5

Projekt: Energistyrelsen
Emne: Grøn industrianalyse - Intern transport
Dato: 09.09.2021

1 Indledning

Energistyrelsen er i foråret 2021 påbegyndt arbejder med at vurdere, hvordan de "vanskelige" dele af industriens fossile energiforbrug kan omstilles. Analysen er delt i fire delanalyser, og beskæftiger sig med omstilling af forbruget til Højtemperaturprocesser, Mellem- og lavtemperaturprocesser, Raffinaderier og til Intern transport. De fire analyser er udarbejdet hver for sig, og rapporteret i fire selvstændige notater.

Dette notat er således en del af den samlede analyse og afdækker muligheder og barrierer for omstilling af det fossile energiforbrug i industriens Intern transport. Med intern transport forstås i denne sammenhæng mobile maskiner, hvis hovedformål ikke er transport.

Analysen er gennemført af Viegand Maagøe og har omfattet kortlægning af nuværende teknologier og anvendelsesområder med afdækning af muligheder for CO₂-reduktioner og barrierer herfor. Analysen af Intern transport bygger på et omfattende litteraturstudie samt en række tekniske dialoger med interessenter i de tre brancher byggeri (byggepladser), landbrug (inkl. maskinstationer) og fiskeri. Litteraturstudie og tekniske dialoger er gennemført i perioden maj-juli 2021. Resultaterne har været drøftet med Energistyrelsen undervejs i arbejdet med analysen.

Grøn omstilling af Intern transport anses normalt som vanskelig, da der anvendes en del specialmaskiner og udføres en del specifikke aktiviteter, som det er nødvendigt at finde specifikke løsninger for. Samtidig kommer den største del af CO₂ udledningen fra industriens interne transport netop fra disse tre brancher.

Analyserne har først og fremmest omhandlet muligheder for grøn omstilling af Intern transport gennem elektrificering via bl.a. batterier eller konvertering til alternative brændsler, herunder biobrændsler, men har også vurderet tilgrænsende aktiviteter, som fx energieffektivisering eller overvejelser om at løse transportudfordringerne med andre løsninger, som minimerer selve transportbehovet.

Nærværende notat sammenfatter analysen for Intern transport i industrien, og de bagvedliggende arbejder er medtaget som følgende bilag:

- Bilag A: Litteratur- og referenceliste

1.1 Energiforbrug og CO₂-udledning fra intern transport i 2015-2019

Med intern transport forstås i denne sammenhæng mobile maskiner, hvis hovedformål ikke er transport. Specifikt behandler analysen intern transport i brancherne byggeri, landbrug og fiskeri, fordi aktiviteter i netop disse tre brancher står for den største del af CO₂ udledningen fra industriens interne transport. Emissioner fra intern transport angår i denne sammenhæng emissioner fra fiskefartøjer, landbrugsmaskiner og maskiner på byggepladser, i alt svarende til op mod 1,3 mio. ton CO₂ per år i 2019.

Tabel 1 viser energiforbruget i PJ fordelt på anvendelser og type for de tre brancher. Det ses, at landbruget står for 9 PJ og ca. halvdelen af CO₂-udledningen, svarende til ca. 0,65 mio. ton CO₂ årligt, mens fiskeri og arbejdsmaskiner i bygge og anlægssektoren bruger ca. 4 PJ hver, og hver står for ca. en fjerdedel af CO₂-udledningen, svarende til ca.

0,3 mio. ton CO₂ årligt. Skovbrug og gartnerier bruger ca. 0,5 PJ og står for omkring 2-4 % af CO₂-udledningen, svarende til ca. 0,5 mio. ton CO₂ årligt, hvorfor det ikke vil blive behandlet yderligere i denne analyse.

Årligt energiforbrug For årene 2015- 2019	Landbrug (incl. maskinstationer) [PJ]	Arbejdsmaskiner bygge og anlæg [PJ]	Fiskeri [PJ]	Skovbrug og gartnerier [PJ]	Total [PJ]
Total	9,3	4,1	4,0	0,5	17,9
Diesel /Gasolie	9,0	4,0	4,0	0,5	17,5
Benzin	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
LPG	0,2	0,1	0,0	0,0	0,3
CO ₂ udledning - Ton CO ₂	Ca. 0,65 mio.	Ca. 0,3 mio.	Ca. 0,3 mio.	Ca. 0,5 mio.	1,3 mio.
CO ₂ udledning - Procent af total	Ca. 50%	20-25%	20-25%	Ca. 2-4%	100%

Tabel 1: Fordelingen af energiforbruget til intern transport i de forskellige brancher i industrien, fordelt på brændstoftype [kilde: Kortlægning af energiforbruget i industrien, energistatistik 2019 og Energi og klimafremskrivning 2021, samlede CO₂ udledning er af Energistyrelsen anslået til at være 1,3 mio. tons.]

Brændslet dækkes næste 100% af diesel, hvilket betyder, at det primært er dieselforbruget, der skal substitueres for at sikre en egentlig reduktion af CO₂-udledningen fra den interne transport i de tre brancher. De er således primært dieselmaskiner, der skal findes alternativer for, enten i form af nye teknologier eller andre drivmidler.

En omstilling af den interne transport, med udfasning af primært dieselforbruget, så den bliver CO₂-neutral vil skulle ske gennem en kombination af flere muligheder for effektivisering af selve transportarbejdet, effektivisering af maskinerne og omstilling til mere CO₂-neutral drivenergi. I analysen er hovedvægten lagt på undersøgelse af muligheder og barrierer for omstilling til og anvendelse af følgende teknologier og drivenergi:

- Batterier
- Biobrændsler og e-fuels i forbrændingsmotorer
- Biobrændsler og e-fuels i brændselsceller.
- Hybrider af de ovennævnte

Gennem litteraturstudiet har vi afdækket de teknologiske muligheder, og fundet eksempler på forskellige mere eller mindre markedsmodne teknologier og løsninger. Desuden har den faglige dialog med en række interessenter (eksperter, producenter og brugere af maskinerne), givet nyttig viden om teknologier og løsninger, der allerede i dag er tilgængelige eller på forskningsstadiet, herunder også barrierer for deres anvendelse. I Litteratur og referencelisten, afsnit 6, er der inkluderet en liste over de interessenter, som har deltaget i faglige dialoger.

Undervejs i arbejdet er der afsøgt mange forskellige teknologier for hver af de tre brancher, hvor ikke alle har været relevante og derfor ikke er blevet fulgt i analysen. For hver af de tre brancher vil rapporten derfor kun gennemgå de teknologier, som vurderes at være umiddelbart relevante for den specifikke branche. Notatet sammenfatter således de forhold, som er drøftet med interessenterne og den viden som er indhentet via eksempler, litteraturstudier m.m.

2 Metode for videns- og teknologikortlægningen

Analysen har kortlagt en række forskellige teknologiers potentiale for at medvirke til omstillingen af intern transport i de tre brancher. Teknologier forstås her relativt bredt, og omfatter både andre typer af motorer end forbrændingsmotorer og alternative brændsel/energibærere.

Gennem litteratursøgning og faglige dialoger er hver teknologi blevet analyseret ud fra tre parametre:

1. Egnethed til at løse den givne opgave,

2. Teknologisk modenhed
3. Effekt på reduktion af CO₂-udledningen.

Alle teknologier er vurderet for hver af de tre brancher hver for sig. Den samlede vurdering for den enkelte branche er således baseret på flere kilder, hvor muligt. I afsnittene nedenfor er det uddybet, hvordan de tre faktorer - egnethed, teknologisk modenhed og effekt på reduktion af CO₂-udledning - er vurderet. Ud over denne mere tekniske analyse er også andre barrierer for anvendelse af teknologierne i de tre brancher blevet vurderet som en del af analysen. Der gælder produktmæssige barrierer, økonomiske, videnskabelige og regulatoriske barrierer.

2.1 Vurdering af teknologiernes egnethed, teknologiske modenhed og effekt i forhold til reduktion af CO₂ emission

For at skabe et samlet overblik over vurderingen af de teknologier, der anvendes til intern transport i de tre brancher, gives for hver sektor et overblik over hvor egnet en teknologi er til de opgaver der skal løses i de forskellige brancher og hvor stor effekt den vil have for reduktion af CO₂-udledningen. Desuden er der angivet en samlet vurdering af de teknologiske modenheder. For hver branche er den samlede vurdering, som er baseret på analysen gennem litteraturstudie og faglige dialoger, opført i en tabel som den nedenstående.

I afsnit 4 er analysen for hver af de tre brancher og teknologier, beskrevet mere detaljeret, og dette skema tjener således alene til at skabe et hurtigt overblik. Skemaet herunder er blot et en illustration af elementerne i de opstillede skemaer, og indeholder således ikke en teknologi, som kan vurderes.

Eksempel på tabel		Batteri	Hybrid	Brændsels-celle	Biodiesel	LBG	Hydrogen
Egnethed (inkl Teknologisk modenhed)	Type 1 maskiner	x	x	x	x	X	x
	Type 2 maskiner	x	x	x	x	x	x
Effekt på CO ₂ emissioner							

Tabel 2 Eksempel på tabel for teknologisk modenhed og egnethed. De angivne teknologier og brændsler vil være specifikke relevante alternativer til teknologier og/eller brændsler som kan erstatte fossile forbrændingsmotorer for den enkelte branche

2.1.1 Vurdering af egnethed

De øverste rækker i skemaet angiver, hvor egnet en teknologi er til at udføre de relevante opgaver der er behov for i den givne branche. I skemaet er det en samlet vurdering af egnetheden, som dækker over flere mulige teknologier i den enkelte kategori. Den samlede vurdering er angivet med farverne grøn, gul, rød og hvid. Hvor grøn angiver at teknologien er meget velegnet, gul at den er middelegnet og rød at den vurderes ikke egnet eller ikke på et modenhedsstadium, hvor den findes egnet. Hvid angiver, at der ikke er tilgængelige data.

2.1.2 Vurdering af teknologisk modenhed

Den teknologiske modenhed er angivet ved et tal fra 0-4, det angiver, hvor teknologisk moden den pågældende teknologi er i forhold til de opgaver de skal løse i den pågældende branche.

I forbindelse med analysen af teknologierne er der gennemført en vurdering af, hvor sandsynligt det er at brugen af teknologien vil blive udbredt. Modenhedsstatus for teknologierne i dag vurderes ved at bruge modenhedsskalaen, som angivet nedenfor. Modenhedsskalaen begynder, hvor enkelte prototyper er i (forsøgs)drift og medtager altså ikke forsknings- og første del af udviklingsfasen.

Modenhedsskalaen:

0. Endnu ingen prototyper
1. Enkelte prototyper er i forsøgsdrift
2. Mange prototyper er i forsøgsdrift
3. Få eksempler på produkter af teknologien findes på marked / har været forholdsvis kort tid på det kommercielle marked.
4. Mange forskellige eksempler på konkurrencedygtige produkter af teknologien findes på marked / har været længe på marked

2.1.3 Vurdering af effekt i forhold til reduktion af CO2-udledning

Som et sidste led i analysen er der foretaget en vurdering af teknologiernes effekt til at reducere CO2-udledningen. Effekten til reduktion af CO2-udledningen er ligeledes indikeret med farverne, grøn, gul, rød og hvid. Her betyder grøn, at teknologien har en høj effekt, gul en mellem og rød en lav effekt på reduktion af CO2-udledningen. Hvid angiver, at der ikke er tilgængelige data.

2.2 Vurdering af barrierer

Som en integreret del af teknologikortlægningen er der blevet gennemført en barriereundersøgelse. Konkret betyder det, at der for hver teknologi i de tre brancher er gennemført en analyse af centrale barrierer for implementering af de givne teknologier som led i udfasning af primært dieselforbruget i de tre sektorer. Barriererne er dels Viegand Maagøes samlede vurdering ud fra litteraturstudierne og dels barrierer som er nævnt af de interessenter, der har deltaget i de tekniske dialoger. Litteraturlisten giver i høj grad et billede af, hvorvidt der skrives meget eller lidt om teknologien og hvilken type af omtale der findes. Dette kan danne grundlag for at vurdere, hvor tæt på markedsgennembrud en given teknologi er. Denne tilgang er specielt anvendelig, hvor der reelt ingen teknologiske barriere er i forhold til selve teknologien, men hvor barrieren i højere grad er accepten/troen på at det virker og at det er eller vil blive efterspurgt af markedet i dag og/eller i fremtiden. Litteraturlisten kan også anvendes til at vurdere, hvilket udviklings- og modenhedsstadium en given teknologi befinder sig på. Det kan vurderes at den befinder sig på et tidligt stadium, hvis der primært findes projektrapporter og videnskabelige artikler om teknologien, hvilket fx vurderes at være tilfældet for el/batteri-drevne fiskefartøjer.

Der er i rapporten under de enkelte brancher og teknologier fokus på de mest centrale barrierer, mens barrierer, som er mere generelle for enkelte teknologier eller brancher ikke som sådan er behandlet. Der er set på en række forskellige barrierer, så som tekniske og produktmæssige barrierer, økonomiske, videnskabelige og regulatoriske barrierer.

3 Generelt om teknologier - energibærere / brændsler

Der findes flere forskellige teknologier, energibærere og brændsler, som kan bidrage til omstilling af den interne transport i de tre brancher, som analysen omhandler. Konkret vil vi se på batterier, biobrændsler og e-fuels samt hybrider heraf. I dette afsnit gennemgår vi teknologierne på et overordnet niveau, mens vi i afsnit 4 vurderer dem konkret ift de tre brancher.

Når man skal vurdere deres effekt på reduktion af CO2-udledningen, vil det i princippet kræve, at man også undersøger, hvordan de er produceret, som fx om den el der bruges til opladning af batterier, stammer fra vedvarende energikilder eller er fossilt baseret. Det vil imidlertid ligge udenfor rammerne af denne analyse at forholde sig til dette, og vi forudsætter således i vores gennemgang af teknologierne, at de produceres under bæredygtige forhold.

3.1 Batterier

Virkningsgraden for et litium ion batteri er 90- 95%. Virkningsgraden fortæller om teknologiens effektivitet. For batteriet angiver den, hvor stor en andel af den elektricitet, der bliver tilført batteriet ved opladning, der kan "trækkes" ud af batteriet igen og anvendes. Anvendes et litium ion batteri sammen med en elmotor, som kan frembringe den ønskede kraft (fremdrift mv.), antages den samlede virkningsgrad at være ca. 85 - 90%.

Der findes flere forskellige batteriteknologier, men i analysen behandler vi kun de typer, som er særligt anvendelige for mobile enheder. For mobile teknologier er det primært litium-ion batteritypen, som er kommerciel tilgængelig og den dominerende teknologi i dag i mobile enheder. Der er forskellige typer af litium-ion batterier. På mellemlang sigt (5-10 år) kan solid state litiumbatteritypen give batterierne en øget energitæthed, der er 2-3 gange højere end i litium-ion teknologien i dag, men solid-state litium batterier er endnu på prototype-stadiet. Energitæthed er et mål for, hvor meget energi batteriet kan indeholde pr. volumenenhed (eller i nogen tilfælde vægtenhed). Jo højere energitæthed jo længere kan maskinen "arbejde" på en opladning med samme størrelse batteri, hvilket er en vigtig parameter i forhold til anvendelsesmulighederne. Kombineres solid-state batteriet med metal-luft teknologi forventes det, at der i fremtiden kan opnås en energitæthed i batterierne, der er 20-30 højere end den er i litium-ion batterier i dag. Denne teknologi findes i dag dog kun på udviklingsstadiet [1][143].

Teknologiudviklingen af batterier vil ske i bilindustrien, men vil kunne anvendes i de tre brancher til intern transport. En anden erfaring der kan nævnes er, at en maskine, der anvender batteri/elmotorer, generelt er billigere at vedligeholde end en dieseldrevet motor, bl.a. fordi batteri-elmotor-systemet har færre bevægelige dele og ikke udsættes for røggasser.

Barriere for batterier er den forholdsvis lave energitæthed, der kan betyde, at batteriet skal oplades med kortere mellemrum, end hvad der umiddelbart kan synes hensigtsmæssigt i forhold til dets brug.

3.2 Brændselsceller

Teknik

Brændselsceller producerer el ved kemiske reaktioner lig et batteris. Der udvikles altså ikke luftforureningskomponenter som partikler og NOx ved anvendelse af brændselsceller. Og der er ingen støj fra en brændselscelle.

En brændselscelle anvender hydrogengas, som kan leveres fra brændsler som fx ren hydrogen, ammoniak eller metanol. Når der ikke anvendes ren hydrogen, vil brændstoffet reformeres til en hydrogen-gas, før den ledes ind i brændselscellen.

Der er mange forskellige typer af brændselsceller, men i denne analyse ser vi primært på PEM-brændselsceller (PEM står for Proton Exchange Membrane eller Polymer Electrolyte Membrane). De fungerer ved relativt lave temperaturer, de er velegnede til anvendelse i mobile teknologier og PEM er den type brændselsceller, der forskes mest i, i verden. I analysen er der primært fokus på højtemperatur (HT) PEM BC, der har en arbejdstemperatur ved 160-180C. Dette, da analysen gennem teknisk dialog med eksperter og litteraturstudiet peger på, at PEM BC er mest moden i forhold til anvendelse i mobile teknologier. Vi ser specifikt på højtemperatur PEM BC, fordi de kan anvende metanol som brændsel, mens lav-temperatur PEM BC (60-120C) kræver, at der anvendes ren hydrogen. Og som det beskrives senere, er metanol betydelig nemmere at håndtere end hydrogen til de anvendelser, der er behov for i den intern transport.

HT-PEM-BC har i sig selv en virkningsgrad på 60%. De små, 5 til 25 kW, HT-PEM-BC systemer, der i dag er i drift, har en el-virkningsgrad på omkring 35%, idet der går en del energi til brændstofpumper og blæsere mm. På sigt forventes brændsel til el-virkningsgraden at komme op på 50% for de store systemer.. Brændsel til kraft-virkningsgraden er på samme niveau, da selve elmotoren, som brændselscellen driver, har en virkningsgrad på over 95%.

Modenhed og udvikling

Metanol PEM BC er allerede i drift i andre lande og i mobile transportmidler, og den teknologiske modenhed for selve PEM høj-temperatur-brændselscellen er, at den findes i almindelig drift. I forhold til maritime anvendelser er de dog stadig på prototype-stadiet. HT-PEM-BC til maritim brug er under udvikling (modenhedstrin 1-2).

Miljø

HT-PEM-BC har den fordel, at de er støjsvage og der er ingen lokalt skadelige emissioner fra dem.

Barrierer

Pris, levetid og de mest attraktive brændsler (hydrogen og metanol) forholdsvis lave energidensitet er stadig barrierer. Desuden er det en barriere, at det generelt er en relativ umoden teknologi, hvorfor der også mangler erfaringer, ikke mindst i forhold til anvendelse til intern transport. Det betyder, at investeringer i teknologierne vil vurderes at være mere usikre end investeringer i teknologier, hvor der er mange og lange driftserfaringer.

I dag er der primært fokus på pris og levetid i forhold til udvikling af selve HT-PEM-BC. Derudover arbejdes der også på mulighederne for lagring af metanol, idet metanol per energienhed fylder cirka det dobbelte af fossil diesel [133].

3.3 Biobrændsler og e-fuels

3.3.1 Flydende biodiesel

Flydende biodiesel kan være et alternativ til fossil diesel. De biobrændstoffer, der i dag er mest aktuelle til erstatning af fossil diesel, er HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), RME(FAME) (rapsmethylester (Fatty Acid Mehtyl Ester)) og rapsolie. Der er forskel i kvaliteten af disse brændstoffer, og på hvor stor justering af motoren og øvrige forholdsregler, der er nødvendige for at disse brændstoffer kan anvendes i dieselmotorer.

I analysen har vi kun undersøgt muligheden for at erstatte fossilt diesel med HVO, da der ingen problemer er rent teknisk og driftsmæssigt ved at erstatte fossil diesel en-til-en med 100% HVO, mens der er nogle udfordringer ved at anvende de øvrige.

Salgsfirmaet Bioexpress (der har deltaget i denne analyse) sælger primært HVO til busser i den kollektive trafik, og det er i høj grad til busser i kollektive trafik i Sverige, der siden 2008 har anvendt HVO (de leverer ca. 130 mio. liter/år). Der er altså lange driftserfaringer med HVO bl.a. i Sverige og Finland, der i det hele taget er betydelig længere fremme i forhold til anvendelse af biobrændsler i transportmidler end i Danmark .

Teknik

Ren HVO (HVO100) kan som sagt erstatte fossil diesel direkte, generelt, uden at der skal tages nogle forholdsregler. HVO overholder brændstofs kvalitetsstandarderne for diesel (EN590 og EN549).

Forskellen mellem HVO og fossildiesel er generelt små, og ikke noget der hindrer brugen af HVO som erstatning for fossildiesel. For flere parametre er det til fordel for HVO. Brændværdien pr. volumen er ca. 5% lavere for HVO end for diesel, mens brændværdien pr. vægt er ca. 2% højere for HVO end for diesel. I forhold til håndtering og opbevaring kan det nævnes, at HVO ikke kræver yderligere investeringer i eksisterende brændstofinfrastruktur, ikke kræver behov for ekstra vinter/kuldeforanstaltninger, og ikke ekstra vedligehold, hvorfor der dermed ikke er behov for yderligere investeringer i eksisterende vedligeholdelsesfaciliteter. Desuden kræver det heller ikke yderligere træning for servicepersonale eller forkorter serviceintervaller for motorolie. Forsøg med lagringsholdbarheden for HVO har vist, at HVO lagdeles efter ca. 10 år, mens fossil diesel lagdeles efter 2 år, hvilket altså betyder, at lagringsholdbarheden er væsentlig længere for HVO end for fossildiesel. Anvendes HVO i en forbrændingsmotor, vil motoren have samme virkningsgrad som ved anvendes af fossil diesel, hvilket betyder at brændsel til kraft-virkningsgraden er ca. 25-30%.

Klima og miljø

Drivhusgasudledningen pr. energienhed for HVO antages at være mellem 60-90% lavere end for fossildiesel, afhængig af oprindelse og produktionsmetoder. I alle de eksempler der er fundet i analysen, ligger reduktionen mellem 80 og 90%. Fx for den HVO, der er anvendt på byggepladser i Københavns Kommune antages CO₂-udledning at være 90% af fossildiesels, mens fx Q8 angiver at deres HVO100 har en udledning der er 85% lavere end for fossildiesel.

Derudover har forsøg vist at udledningen af partikler reduceres med 33%, CO med 23% og NO_x med 9%. Teknologisk institut er i dag involveret i et MUDP-projekt, hvor reduktion i emissionerne fra HVO undersøges. Endelig kan der være en lille fordel i forhold til støj for pga. det højere cetantal i HVO.

Oprindelse

I dag er råmaterialet til produktion af bæredygtig HVO, når det produceres af fx firmaet NESTE (stor, finsk HVO-producent, delvist ejet af den finske stat) primært fiske- og slagteraffald og brugt fritureolie. I det tilfælde opfylder HVO kriterierne for 2. generation biodiesel.

Der forventes en stor øget efterspørgsel efter bæredygtig HVO på forholdsvis kort sigt, hvorfor der forskes og udvikles i mulighederne for at anvende andre bæredygtige feedstocks. På kort sigt ses også på muligheden for at bruge lav-kvalitets affaldspladser, hvor affald samles op fra havene i Asien, som råmaterialer. Hvorvidt det vil kunne certificeres som bæredygtigt er ikke undersøgt i denne her analyse.

Barrierer

Tilgængeligheden af HVO for brugerne er i dag ikke helt så nem, som for fossildiesel, men det vurderes, at denne barriere vil være forholdsvis let at overkomme, da den eksisterende dieselinfrastruktur kan anvendes uden væsentlige moderationer. I dag er flere olieselskaber, fx Q8, OK, Cirkel K og YX, begyndt at tilbyde HVO100 til deres erhvervskunder.

Prisen er i dag en barriere for HVO, da HVO100 i Danmark koster ca. 5-8 kr./l (inkl. moms) mere end fossildiesel.

Usikkerhed over for det nye er også en barriere for udbredelsen af HVO, som er blevet nævnt af alle de aktører, som vi har haft tekniske dialoger med. Her nævnes især frygten for at miste motorgarantien, hvis der anvendes HVO. For at modvirke denne barriere tilbyder den finske producent NESTE en gratis forsikring i forbindelse med anvendelse med deres HVO, hvor de overtager garantien.

3.3.2 LNG/LBG

Flydende (fossil) naturgas (LNG) er metan. Betegnelsen LBG betyder her flydende metangas, der er produceret af biomaterialer. Det indbefatter således både "traditionel" biogas, der produceres ved biologisk (organisk) nedbrydning og metan, der er produceret på andre måder, fx ved termisk forgasning af fast biomasse ofte kaldet SNG (syntetisk naturgas). Den termiske forgasning giver mulighed for anvendelse af fast biomasse (fx træ), termisk forgasning er i dag stadig ikke i stor kommerciel drift [2].

LNG har væsentligt lavere partikel- og SOx emissioner end diesel, hvorfor den er fordelagtigt ift. at reducere lokal forurening. Anvendelse af LNG giver til gengæld kun en mindre reduktion i CO₂-udledninger sammenlignet med fossil diesel og der er en risiko for lækage af uforbrændt LNG (metan) fra motoren, hvilket kan udligne reduktionen i CO₂-udledning. Det muligt at erstatte LNG med LBG uden tekniske problemer, hvilket vil reducere CO₂-udledningen betydeligt i det LBG antages at have en CO₂ emission, der er nær nul, afhængigt af hvilken biomasse/ressource der er anvendt til produktion af den.

Barrierer

De væsentligste barrierer for udbredelse af LNG/LBG til transport er, at de ikke kan anvendes direkte i dieselmotorer. Desuden må LBG forventes at være dyrere end den fossile naturgas.

Endelig er en barriere for en egentlig udbredelse, at der ikke er en tilgængelig infrastruktur, hvilket også er påpeget som en af de største barrierer for biogas og hydrogen [143].

3.3.3 Hydrogen, metanol og ammoniak

Generelt for de tre brændsler er at de i dag anvendes i stor stil til andre anvendelser end transport, fx i den kemiske industri. Det vurderes dog, at 98% af det der sælges til andre anvendelser i dag (2021), er "sort", altså produceres ved stor anvendelse af fossile brændsler.

Der er imidlertid en del projekter i gang i forhold til produktion af bæredygtige versioner, og det forventes at de i høj grad vil produceres som e-fuels, hvor el anvendes til at producere hydrogen, der kan anvendes til at producere metanol og ammoniak. Der bevilliges i øjeblikket mange midler til P-t-X projekter i Danmark og internationalt, og det må

forventes at der herigennem vil blive udviklet på metoder til at producere bl.a. e-hydrogen, e-metanol og e-ammoniak.

3.3.3.1 Hydrogen

Hydrogen (brint) kan anvendes i både forbrændingsmotorer og brændselsceller. Den eneste udledning fra selve anvendelse af hydrogen i forbrændingsmotorer eller brændselsceller er vand/vanddamp.

Barrierer

Barrierer for anvendelse af hydrogen i intern transport er prisen, som dog må antages at blive reduceret sammen med førnævnte satsning på P-t-X, hvor det kan tages med i betragtningerne, at mange andre lande også investere store beløb udvikling af i hydrogenteknologier.

En anden barriere er, at hydrogen har en forholdsvis lav energidensitet (kWh/l). En yderligere barriere i dag er ligesom for biogas, udviklingen af en gas-infrastruktur der gør brændslet tilgængeligt [143] samt usikkerheden og de ekstra forholdsregler der skal tages ved håndtering af gas i forhold til ved håndtering brændsler, der er flydende ved stuetemperatur og atmosfærisk tryk.

3.3.3.2 Metanol

Metanol kan anvendes både i brændselsceller og i forbrændingsmotorer. Metanol kan bruges i benzinmotorer med forholdsvis små moderationer af motoren¹. I dieselmotorer er det et problem, at metanol ikke tænder lige så let som diesel. Dette kan løses ved at anvende en lille smule diesel til tænding. Disse motorer kaldes dual-fuel motorer og er fx aktuelle for store skibe [77]. I forhold til brændselsceller kan metanol ses som en hydrogen-bærer, idet metanol forholdsvis let afgiver hydrogen.

Et igangværende, større EU-projekt med deltagere fra 23 medlemslande, har til formål at sætte mere skub i anvendelse af hydrogen, herunder hører også metanol. De danske firmaer RE-integrate og Haldor Topsøe deltager i projektet. En del af projektet arbejder med grøn metanol, hvor CO₂ fra biogasproduktion anvendes. Der ses i projektet også på anvendelse af overskuds-CO₂ for papirproduktion og cementproduktion og fra biomasseafbrænding. DFDS er med i et projekt om anvendelse af metanol i skibene.

Barrierer

Hydrogen fremstillet på basis af reformeret metanol er i dag betydelig billigere end hydrogen købt som industrigas, men der er dog begrænsninger i forhold til anvendelsen, som beskrives under brændselsceller.

Metanol er flydende ved stuetemperatur og atmosfærisk tryk. Metanol er giftigt for mennesker at indtage og skal håndteres efter samme forholdsregler som benzin og diesel. Der er generelt stor erfaring med at håndtere og opbevare metanol. Disse erfaringer betyder, at metanol relativt let kan integreres i den nuværende infrastruktur for forsyning af brændstof til transportsektoren, og det vil være muligt, at bruge samme tankningsanlæg som til benzin på tankstationerne.

3.3.3.3 Ammoniak

Ammoniak kan anvendes i både forbrændingsmotorer og brændselsceller. Når ammoniak ses som et attraktivt brændsel, er det fordi det ikke indeholder kulstof. Derfor er der dels ikke brug for kulstof ved produktion og dels udledes der kun vand og nitrogen ved forbrænding af ammoniak. Der forskes intenst i anvendelsen af ammoniak i store skibe.

Der er stor erfaring med håndtering af ammoniak, fordi der er et stort forbrug af det til andre formål.

Barrierer

¹ Teknologisk Institut leder et EUPD-projekt, hvor de testes i 50 privatbiler i almindelig drift.

Ammoniak er flygtigt og meget giftigt, og en central barriere ift. ammoniak er netop sikkerhed pga. brandbarhed og toksicitet [141]. Der er skrappe sikkerhedskrav til opbevaring af gas eller flydende ammoniak, der er meget vanskelig eller næsten umuligt at opfylde ved brug i maskiner til intern transport i de tre sektorer. Der forskes i materialer, der kan binde ammoniak, så forbindelsen kan opbevares i et fast stof, for eksempel i form af piller.

4 Analyse og vurdering af muligheder og barrierer for omstilling af intern transport i byggeri, landbrug og fiskeri

I dette afsnit analyseres muligheder og barrierer for omstillingen af den interne transport i de tre sektorer efter den metode, som er beskrevet i afsnit 2. Analysen bygger på litteraturstudie og faglige dialoger med en række interessenter fra de tre brancher. Ud over analysen og vurderingen af de forskellige teknologiers egnethed, teknologiske modenhed og effekt til reduktion af CO₂-udledningen, er også en række eksempler på de enkelte teknologier, som analysen har afdækket, præsenteret.

Analyserne af de enkelte brancher indledes med en generel beskrivelse og den helt overordnede vurdering. Herefter gennemgås de enkelte teknologier, og endelig afsluttes hver branche med en liste over de afdækkede eksempler.

4.1 Omstilling af intern transport i byggeri

Intern transport i byggeriet er defineret som ikke-vejpgående mobile maskiner, der anvendes til bygge- og anlægsopgaver på byggepladser. De kaldes i det følgende arbejdsmaskiner. Dette inkluderer fx gravemaskiner, dumpere, kraner, lifte og mobile kraner. Stationære arbejdsmaskiner, der anvendes på byggepladsen, er ikke inkluderet i denne analyse.

I dag er de danske arbejdsmaskiner oftest drevet af traditionelle dieselmotorer. Det er dog allerede i dag en del producenter, der har serieproducerede små (<2,5 ton) eldrevne arbejdsmaskiner, som fx gravemaskiner, boremaskiner, mindre transport og læssemaskiner, og størrelsesgrænsen for kommercielle eldrevne arbejdsmaskiner flytter sig løbende opad. I dag er der enkelte eksempler på kommercielle 4-5 tons eldrevne arbejdsmaskiner [132], mens større el-drevne arbejdsmaskiner primært produceres som enkelt styks og kan ses som at være på prototypestadiet. Lifte er ikke omfattet af den forudgående beskrivelse af muligheder og begrænsninger for el-drift af arbejdsmaskiner, da det helt specifikt gælder for lifte, at der allerede i dag er kommercielle eldrevne/batteri-lifte med løftehøjde op til 43 m [123], hvilket vil kunne dække langt størstedelen af det behov der er for liftservice på byggepladser i Danmark.

Samtidig med at udviklingen af arbejdsmaskiner går mod at være mere CO₂-neutrale, har analysen også afdækket, at der er en tendens til øget fokus fra bygherre på emissionsfrie byggepladser. Dette foregår fx via det internationale by-samarbejde C40, og der er eksempler på emissionsfri byggepladser i både Oslo², København, Helsinki og Trondheim [4].

I en arbejdsgruppe, der er udsprunget af regeringens Klimapartnerskab for Byggeri, med deltagelse af bl.a. Vejdirektoratet, Københavns Kommune, DI Dansk infrastruktur (900 entreprenører er medlemmer) og DI Materialesektion (50 materieludlejere og 33 materielforhandlere er medlemmer), har DI foreslået, at der fra centralt hold stilles krav til at fossil- og emissionsfri arbejdsmaskiner skal anvendes i så stort et omfang som muligt. I 2020 anbefales krav som ses i **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**3. Samtidig anbefalede de, at arbejdsgruppen skulle opdatere anbefalingen årligt, næste gang i september 2021.

Materiel < 2,5 ton	Materiel > 2,5 ton
<ul style="list-style-type: none"> Alle maskiner under 2,5 ton skal anvende emissionsfri drivmidler. Alle lifte op til 28 meter skal anvende emissionsfri drivmidler. 	<ul style="list-style-type: none"> Alle øvrige maskiner skal, i det omfang de ikke kan anvende emissionsfri drivmidler, anvende bio-brændsel iht nyeste EU-norm, og gerne bæredygtighedscertificeret,

Tabel 3: Forslag til krav til materiel anvendt i byggeriet fremsat af DI i 2020.

² I Oslo kommune er det et krav at alle byggepladser skal anvende fossil og emissionsfri arbejdsmaskiner.

DI har vurderet, at de forslåede krav ville gøre byggeprojekterne 2-4% dyrere for bygherren. Jo mere jord det skulle flyttes i projekterne, jo tættere på 4% vil merudgiften være [130]. Kravene i forslaget fra DI kan ses som en status på, hvad der i 2020 var kommerciel tilgængeligt inden for arbejdsmaskiner. Forslaget om at det skal opdateres årligt kan forstås, som at branchen forventer mulighed for en hurtig udvikling inden for området. Da Vejdirektoratet ikke kunne støtte forslaget, blev der i stedet udarbejdet et forståelsespapir og gruppen aftalte at mødes årligt.

Fejl! Henvisningskilde ikke fundet. 4 angiver en opsummering af den teknologiske egnethed af en gruppe alternative energibærere inden for intern transport i bygge- og anlægsbranchen, samt deres effekt på CO₂-emissionen.

Byggeri		Batteri	Hybrid	Brændsels-celle	Biodiesel (HVO)	LBG/CBG	Hydrogen, metanol, ammoniak
Egnethed (Teknologisk modenhed)	Små maskiner	4	3	0	4	0	0
	Store maskiner	2-3	3	0-1	4	0	0
Effekt på CO ₂ emissioner							

Tabel 4 Forskellige alternative energibærers egnethed og effekt på energi- og emissionsoptimering (Effekt) for intern transport i byggeri.

4.1.1 Generelle barrierer

Generelt har alle de interessenter, der dels har deltaget i de tekniske dialoger for byggeri [130, 131, 132 og 135] og dels har deltaget i netværksmødet i for Samarbejdsforum for fossil- og emissionsfri arbejdsmaskiner i juni 2021³, peget på, at en barriere for øget anvendelse af mere CO₂-neutrale arbejdsmaskiner er, at der ikke er tilstrækkeligt mange bygherrer, der efterspørger det. Set fra entreprenørens og materieludlejers side er anskaffelse af en eldrevet arbejdsmaskine ca. 50 % dyrere end den tilsvarende dieselmotordrevne. Usikkerheden for om der vil være tilstrækkelig mange projekter (bygherrer), der efterspørger emissionsfri maskiner, betyder, at der er usikkerhed for, om investeringen kan betale sig, eller om det vil betyde økonomiske tab for dem.

Interessenterne har også påpeget, at det er en barriere for deres tilbøjelighed til at investere i el-drevent materiel, at de oplever, at danske bygherrer generelt kun efterspørger anvendelse af emissionfrit materiel som optioner, der kan gives i tilbud, men at denne option reelt ikke anvendes eller tillægges betydning i vurdering af tilbud. Det vurderes at ville fremme entreprenørernes tilbøjelighed til at investere i mere CO₂-neutralt materiel, hvis det blev sat som krav. Overordnede barrierer på et ikke-teknologi specifikt niveau er også blevet kortlagt af SINTEF i samarbejde med Skanska og Bellona i en undersøgelse af state-of-the-art inden for emissionsfrie byggepladser. Bemærk at undersøgelsen er norsk. Her opstilles en række centrale overordnede barrierer for omstillingen af intern transport i byggeriet⁽¹⁰⁸⁾.

SINTEF fremhæver:

- (manglende?) Viden og erfaring,
- teknologi og omkostninger,
- en høj investeringsomkostning for maskiner,
- høj pris på biodiesel,
- frygt for mindre driftstid,
- utilstrækkelig finansiering til udviklingsprojekter,
- mangel på krav i offentlige udbud,

³ Netværk der faciliteres af Københavns Kommune, formålet med netværket er at arbejde for fossil- og emissionsfri arbejdsmaskiner og på sigt byggepladser i byggeri- og anlæg inden 2030, netværket formål er at samarbejde, videndeling og gennemslagskraft i dialog med alle interesserede og pro-aktive aktører i hele værdikæden. Der er flere end 50 medlemmer af netværket fra hele værdikæden; maskinproducenter, maskinudlejere, entreprenører, bygherre, myndigheder, interesseorganisationer.

- h. mangel på klar definition af emissionsbegrænsninger i udbud og at udbud på nuværende tidspunkt er domineret af ydelseskrav.

Barrierer er også blevet kortlagt i samarbejde mellem DNV-GL og Energy Norway, the Norwegian District Heating Organization, ENOVA, the Federation of Norwegian Construction Industries (BNL), the Norwegian Contractors Association Oslo, Akershus and Østfold (EBAO), Climate Agency, City of Oslo and Nelfo [9]. De havde tre bud på tiltag der kunne hjælpe til at overkomme barriererne, hvilket var:

1. en fælles vidensdelingsdatabase,
2. en platform, der viser tilgængelighed for al fossilfri materiel og
3. værktøj til beregning af total emission fra byggepladser.

Desuden understreger en undersøgelse udført af den svenske Byggeindustri i 2014, at der er et behov for, at den offentlige sektor går i front for udviklingen gennem dialog med aktører, samt standardisering af emissionskrav [7].

4.1.2 Batteri og eldrift

Teknologi

Når der i dette afsnit skrives el-drift menes der oftest el-drift ved batterier. Men der er eksempler på arbejdsmaskiner der er eldrevne via ledning. I litteraturstudiet er der kun fundet enkelte eksempler på dette, men via de tekniske dia-grammer er det kommet frem, at der var flere på marked tidligere, men at det ikke rigtig blev populært.

Princippet i arbejdsmaskinerne er, at de er hydraulisk drevne, og det burde ikke gøre nogen forskel på hydraulikkens funktion om det er en dieselmotor eller et batteri via en elmotor, der forsyner hydraulikken

I dag er der et rimeligt udbud af eldrevne små arbejdsmaskiner (op til 2,5 tons) og lifte med løftehøjde op til 43 meter. Det forventes at inden for de næste 2 år vil der være mange eldrevne arbejdsmaskiner op til 5 tons på marked og inden for de næste 5-6 års tid vil der også være mange eldrevne arbejdsmaskiner op til 12 ton på markedet i Danmark [132].

I dag findes som sagt ikke serieproducerede store el-drevne arbejdsmaskiner, hvis der ses bort fra lifte. Der er umiddelbart ingen tekniske barrierer for, at store arbejdsmaskiner kan være el-drevne. Det er samme teknologi, som for de små, der kan bruges, og der er ifølge eksperter bedre plads til de store batterier på de store maskiner, end der er til de mindre batterier på de mindre maskiner. Men der kræves noget tid for med udgangspunkt i de løsninger, der bruges til de små maskiner, at bygge de store. Det tog cirka halvandet år fra der var en 1,5 tons eldrevne arbejdsmaskine kommercielt tilgængeligt til de 2,5 tons eldrevne arbejdsmaskiner var kommercielle. Og som sagt er der i dag enkelte eksempler på kommercielle 4-5 tons eldrevne arbejdsmaskiner [132], mens større, el-drevne arbejdsmaskiner primært produceres som enkelt styks og derfor vurderes at være på prototypestadiet. Udviklingen af de større maskiner sker, hvis der er efterspørgsel. Der er i dag stor efterspørgsel i fx Norge, men status er at de stadig udvikles eller produceres som enkelt styks. På forskellige messer ses i dag små eldrevne arbejdsmaskiner fra "alle" producenter [132], og det forventes, at der på næste store europæiske messe for arbejdsmaskiner i 2022 vil blive afsløret nye, større el-drevne arbejdsmaskiner fra flere procenter [131].

De eldrevne maskinerne er også fordelagtige ud fra et generelt emissionsperspektiv og ift. støj, hvilket er specielt vigtigt, når der arbejdes i bebyggede områder, samt indendørs eller tillukkede arbejdspladser som tunneller m.m. [4]. Der er eksempler på at der er givet tilladelse til at der arbejdes i en større del af døgnet i byer, hvis der bruges støjsvage eldrevne arbejdsmaskiner, hvilket kan medføre, at projekter kan gennemføres betydelig hurtigere, hvilket kan give bygherre og entreprenører en økonomisk fordel [118].

De kommercielt tilgængelige eldrevne maskiner angives i dag at koster ca. 50% mere i anskaffelse end det diesel-drevne alternativ [135,132,131]. For de ikke kommercielt tilgængelige er prisforskellen større. Men da de eldrevne er billigere i vedligehold og energiforbrug, forventes det at den ekstra investeringsomkostning for små, eldrevne maskiner er tjent hjem inden for 2-5 år.

Hvis eldrevne maskiner kan ses som et reelt alternativ til de dieseldrevne maskiner, er det nødvendigt, at de ikke har behov for at blive ladet op i løbet af en arbejdsdag (11 timer). Det kan de fleste i dag [132]. I den forbindelse har der været fokus på at minimere tomgangstider, hvilket vil sige, at motoren slukkes, når de ikke udfører en opgave. Dette vil spare på energien, dermed øges tiden mellem behov for opladning af batteriet. En sidegevinst er, at levetiden forøges, da tomgangstider slider unødigt på maskinerne.

Lift kan i dag fås eldrevne med løftehøjde til 25 m, hvilket vil dække størstedelen af behovet på danske byggepladser. Der er i dag også prototyper med løftehøjde op til 42 meter.

Ved batteridrift af arbejdsmaskiner er det nødvendigt, at opladningsinfrastrukturen er tilgængelig [4]. Det vil sige, at der er nødvendigt at den etableres samtidig med, at byggepladsen etableres. Og der skal etableres tilstrækkelige strømforsyningskapacitet til, at batterierne kan oplades forholdsvis hurtigt. Hvis ikke vil elforsyningen sandsynligvis leveres af dieselgeneratorer.

Hvis der ikke er netforbundet elforsyning i området, eller hvis der ikke kan leveres tilstrækkelig effekt via nettet i området, er en mulig løsning en form for "powerbanks", som kan have lageret en del el, og som enten kan erstatte elforsyning eller supplere effekten fra elforsyningen fra nettet, når der trækkes høj effekt når batterierne skal oplades forholdsvis hurtigt. Der er set eksempler på sådanne lade-containere udlejes i blandt andet Norge.

Barrierer

Tekniske barrierer

Større eldrevne maskiner findes endnu ikke kommercielt tilgængelige på markedet, men der er enkelte specialbyggede [2].

En anden teknisk barriere er, at maskinerne skal oplades, specielt hvis der ikke er batteri nok til en hel arbejdsdag er det et problem.

En barriere vurderes også at være, at der kan være situationer, hvor der ikke er mulighed for tilstrækkelige elforsyning til byggepladsen. Problemet kan være på alle byggepladser, men umiddelbart vurderes det, at de største problemer ses forhold til anlæg af broer og vejanlæg.

Økonomiske barrierer

Investeringsomkostningen af elektriske maskiner er påpeget som en central barriere af flere kilder [5].

En anden barriere for at entreprenører og udlejere anskaffer el-materiel der nævnes ofte, er manglende sikkerhed for at den eldrevne maskine efterspørges nok. At der ikke sættes krav, men blot bedes om en option i udbud, nævnes også som en barriere for at der tør sættes på det kommercielt tilgængelige for el-materiel.

Juridiske barrierer

Analysen har ikke afdækket nogle juridiske barrierer.

Videnskabelige barrierer

En barriere er desuden en begrænsning i praktisk erfaring på byggepladsen [4], og der er fare for, at der hos nogen vil være en generel modvilje mod det nye.

Eksempel

I dag er der mange eksempler på materieludlejere, der tilbyder eldrevne maskiner til byggeri [94109]. GSV udlejede maskiner i et emissionsfrit anlægsprojekt i samarbejde mellem Københavns Kommune, Radius og Nordkystens Entreprenør i 2020 [122].

Der findes mange producenter af mindre maskiner [97], hvorimod større maskiner primært er på stadiet, hvor der bygges en maskine ad gangen. For eksempel "håndbygger" Volvo i dag 12 tons maskiner ved at tage batterier fra

Teslabiler. Der er dog eksempler på enkelte større markedsmodne modeller, som Suncars 8 ton gravemaskine [113] og Pons 25 ton gravemaskine [101]. I øvrigt kan det nævnes, at en elektrificeret, mobil kran er indkøbt af et dansk vognmandsfirma [112].

Et typisk eksempel på en mindre entreprenørmaskine er en minigraver i 2 tons klassen fra JCB med 5 effektive arbejdstimer på en opladning og opladningstid på ned til 2 timer [88].

4.1.3 Hybrid

Teknologi

Der er i dag et vist udbud af diesel-/el(batteri)-hybrid arbejdsmaskiner på markedet. I en opgørelse fra DNV for 2018 udgør diesel-/el-hybrider omtrent 20% af de oplyste bæredygtige arbejdsmaskiner [9]⁴.

Diesel-/el hybrider kan ses som en overgangsteknologi, der giver mulighed for anvendelse af delvis el-drift, hvor der endnu ikke er rene el-drevne alternativer, eller hvor det ikke findes hensigtsmæssigt at skifte over til ren el-drift. I de sidste 10 år har der været et antal hybrider i drift i Norge og Sverige [99] og [100]. Der er mange forskellige eksempler på, hvorledes hybriderne er opbygget, og hvor stor del af energiforbruget batterierne kan dække. Hybriderne kan både være ved at supplere effekt i peak belastningssituationer, eller ved at give mulighed for øget drifttid. Derudover giver batteriet mulighed for optimal drift af dieselmotoren samt genvinding af energi ved fx bremsning [10]. I forhold til en ren dieselmaskine kan hybriden være hensigtsmæssigt i forhold til arbejde i zoner, hvor der er ønske om at begrænse støj og røg.

Barrierer

Mange af de samme som for el, men barriererne vil typisk vil de være mindre. For eksempel kræves det, at der er opladningsinfrastruktur tilgængelig og at opladningstiden indtænkes i arbejdsprocedurer, og da der er begrænset praktisk erfaring på byggepladserne med anvendelse af disse, vil der typisk være en vis uvilje imod at bruge dem.

Sammenlignet med rene forbrændingsmotorer må anskaffelsesprisen forventes at være betydelig højere, fordi de ikke produceres i stort antal. På sigt kan anskaffelsesprisen også forventes at være højere end for ren el – da der kræves to systemer – dels en forbrændingsmotor, dels et batteri og en elmotor.

Eksempel

I analysen er der fundet flere eksempler på diesel-/elhybrider. Det gælder især for hjullæssere og gravemaskiner i 2 tons klassen, men der findes dog også enkelte større maskiner. Således har producenten Deere en 53 ton hjullæsser på markedet [99] og Komatsu en gravemaskine på 37 ton [100].

4.1.4 Brændselsceller

Teknologi

I analysen er ikke fundet eksempler på anvendelse af brændselsceller i arbejdsmaskiner. Og de vurderes i dag ikke at være kommercielt tilgængelige. I et pilotprojekt i samarbejde mellem det norske forskningsinstitution SINTEF og NASTA, der er et norsk firma der importerer, sælger og servicere arbejdsmaskiner, benyttes brændselsceller sammen med batterier i en 30 tons gravemaskine [103]. Der findes andre anvendelser af hydrogen-brændselsceller i fx mindre gaffeltrucks, tung vejgående og maritim transport samt i personbiler [11].

Barrierer

Brændselsceller i byggemaskiner har ikke nået samme udviklingsstadium som batterier ift. kommercialisering. Idet teknologien i sig selv er moden, forventes dog en kommercialisering i nær fremtid [11], om det også beskrives i afsnit 3.2.

⁴ WackerNeuson har produceret 2/3 af diesel-/el-hybrider der findes i denne kilde, har i dialog angivet, at de har skiftet strategi og ikke længere vil udvikle på diesel hybrid arbejdsmaskiner men kun vil udvikle rene el-drevne maskiner

Eksempel

I analysen er der fundet et enkelt eksempel på et forsøg med brændselsceller i arbejdsmaskiner til byggeri, idet forskningsinstitutionen SINTEF i samarbejde med maskinudlejervirksomheden NASTA er i gang med at udvikle en brændselscelle-/batteri hybrid gravemaskine i 30 ton klassen [103].

4.1.5 Biodiesel (HVO)

Teknologi

Alle dieseldrevne arbejdsmaskiner kan anvende HVO100 i dag, idet der som beskrevet i afsnit 3 ikke kræves ombygning af motoren. De eksisterende dieseldrevne arbejdsmaskiner kan derfor umiddelbart overgå til HVO100.

Barrierer

Det vurderes ikke, at der er særlige tekniske eller praktiske barrierer for anvendelse af HVO100 i arbejdsmaskiner i byggeri. Som beskrevet i afsnit 3 er pris og produktionskapacitet af biodiesel centrale barrierer [141].

Eksempel

Der gives ingen eksempler, da det er alle eksisterende og alle nye dieseldrevne arbejdsmaskiner, som kan anvende HVO100.

4.1.6 LNG/LBG

Analysen har ikke kunne afdække eksempler på brugen eller udvikling af teknologien til arbejdsmaskiner i byggeriet.

4.1.7 Hydrogen, metanol og ammoniak

Analysen har ikke kunne afdække eksempler på brugen eller udvikling af teknologien til arbejdsmaskiner i byggeriet.

4.2 Samlet oversigt – byggeri

Tabellen opsummerer analysens kortlægning af ikke-fossile teknologier, deres anvendelse samt modenhed inden for byggeri. Der er tale om konkrete eksempler, som er blevet afdækket i analysen, og beskriver kort de forskellige teknologier, deres størrelse, hvem der producerer dem og hvor de anvendes. Endelig er også deres teknologiske modenhed vurderet. Der er tale om eksempler, der kan betragtes som en state-of-the-art reference, der er afdækket i analysen og tabellen er derfor ikke nødvendigvis en udtømmende liste.

Teknologier	Effekt	Producenter	Anvendelse	Teknologisk modenhed
Batteridrevne små maskiner (Minilæsser, minidumper, hjullæsser, gravemaskine – 2-5 tons klasse)	10-50 kW [114]	GSV (Wacker Neuson, JCB) [109], Volvo [92], Giant [85], JCB [88], Wacker Neuson [89] det vurderes at mere end 50% af producenterne kan levere	KK [118,119,120,121,122], , NCC [110], Radius [118,122], Buus Anlægsgartner A/S [111], Oslo Kommune, Helsinki Kommune, Trondheim Kommune [4]	4
Batteridrevne store maskiner (Gravemaskine, bæltekrant – 2,5 ton+ klasse)	50-200 kW [115]	Liebherr [87], PON (Caterpillar) [84]	Norsk byggeprojekt (pilot) [102]	2-3
Hybrid – Diesel/el (Gravemaskine, hjullæsser, beton mixer)	10-200 kW [114,115]	Deere [99], Komatsu [100], Liebherr [104], CIFA [105], Wacker Neuson [97]	NorBetong [106]	3
Hydrogen/el	ca. 200 kW [116]	Sintef, Nasta og Siemens [103]		1

Tabel 5 State-of-the-art overblik over grønne teknologier i intern transport i byggeri.

4.3 Omstilling af intern transport i landbruget

Intern transport i landbruget står for et energiforbrug på ca. 11 PJ, hvilket er ca. lige så meget som byggeri og fiskeri tilsammen. Langt størstedelen af denne energi består af dieselforbrug (se **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**). Sammenlignet med de samlede drivhusgasudledninger fra landbruget, inklusive metan og lattergas fra husdyrgødning og kvælstof i jorden, udgør dieselforbruget mindre end 10% af den samlede CO₂ ækvivalente udledning [49]. Og der har derfor været mere fokus på reduktion af andre emissionskilder.

I Regeringens Oplæg til grøn omstilling af landbruget fra april 2021 [47], er transportområdet således slet ikke nævnt. Fokus er i oplægget bl.a. på udtagning af lavbundslande, forskning i pyrolyse af biomasse, bioraffinering af græs til foder, støtte til økologisk landbrug samt en reduktion af kvælstofudledningen.

Intern Transport i landbruget, som analysen har fokus på, er forskellige markmaskiner og maskiner anvendt i og omkring selve landbrugsbygninger. Undtage er maskiner, som ikke er mobile. Der er inden for landbrug lavet en lang række effektiviseringer gennem årene, som har indirekte indflydelse på den interne transport, både teknologisk, med mere effektive maskiner og ift. arrondering, for at mindske behovet for kørsel og effektiv brug af jorden [140]. Desuden er robotteknologier kommet til hvilket giver mulighed for mere bæredygtig og effektiv drift af jorden til lettere opgaver som kortlægning, såning og fjernelse af ukrudt [20,34,35,38].

Der findes initiativer for fremme af energieffektivisering og grønnere teknologi. Bl.a. har Nykredit lavet et grønt maskinfinansieringsinitiativ, hvor der kan lånes til grønne maskinforbedringer og konverteringer til 0% rente. Denne lånemulighed gives til udvalgte maskiner og initiativer der er opført på den såkaldte "Nykredit-liste". Den indeholder en lang række initiativer, herunder især traditionelt maskineri med fokus på autostyringssystemer, sektionkontrol og automatisk start/stop og betragtes som et godt benchmark for grønne teknologier på markedet inden for landbrug. Det er altså primært energieffektivisering af de traditionelle metoder, der er tilgængelige. Udover styring og effektivisering ses også eksempler på droner til kortlægning af ukrudtsforekomster.

Der er altså primært et fokus på optimering og effektivisering i landbruget af både trækraft og funktionsmaskiner. Den grundlæggende trækraft er stadig domineret af dieselmotorer i de tunge markmaskiner som traktorer og mejetærskere, om end behovet for trækraften minimeres [37].

Analysen har derfor fokuseret på disse tunge maskiner. Stationære og bygningsnære maskiner medtages ikke i analysen da disse antages at være nemmere at elektrificere pga. tilkoblingsmulighed ved bygninger og mindre kapacitetsbehov. Der er i litteraturstudiet og gennem de faglige dialoger især fundet løsninger for traktorer og kun enkelte eksempler på mejetærskere.

Der findes eksisterende eksempler på el-, hybrid- og gastraktorer, det er dog kun hybrid- og gastraktoren der ses på markedet i dag. Desuden er biodiesel et alternativ der kan bruges sammen med eksisterende teknologi. El-traktorernes mangel på kapacitet til optimal kraft og driftstid gør at denne stadig er på et prototypestadie, og vil formentlig være det indtil solid-state batterier er udviklet, hvilket er vurderet at have lange udsigter [143]. Hybrid-traktoren er der delte meninger om. Således vurderes den egnet af Rambøll [12], men uegnet af SEGES [141]. Ifølge SEGES er hybrid-traktoren uegnet, da batterier ikke i betydelig udstrækning kan anvendes til at peak shave, da traktorer ofte køre med fuld belastning.

For hydrogen og biogas er infrastrukturen beskrevet som det centrale problem, især i landbruget som typisk er decentralt [143,142], selvom analysen har fundet et enkelt eksempel på en gasdrevet, hviderussisk mejetærsker. Ud fra et driftsmæssigt perspektiv er det den samlede vurdering, at kun biodiesel kan understøtte kapacitetskravene til de store maskiner i landbruget på nuværende tidspunkt.

Fejl! Henvisningskilde ikke fundet. 6 angiver en opsummering af den teknologiske egnethed af en gruppe alternative energibærere inden for intern transport i landbruget, samt deres effekt på CO₂-emissionen.

Landbrug		Batteri	Hybrid	Brændselscelle	Biodiesel	LBG/DBG	Hydrogen
Egnethed (Teknologisk modenhed)	Små maskiner	2	2	0	4	2	0
	Store maskiner	0	2	0-1	4	2-3	1
Effekt på CO ₂ emissioner							

Tabel 6 Forskellige alternative energibærers egnethed og effekt på energi- og emissionsoptimering (Effekt) for intern transport i landbruget.

Udover de generelle teknologityper, der er beskrevet i tabellen, er der fundet et eksempel på et el-traktor koncept med direkte kabeltilslutning til nettet, dette er dog kun på prototypestadie [44].

4.3.1 Batteri

Teknologi

Der er mange eksempler på prototyper af traktorer, som er drevet af batteri. Både producenter som Fendt, John Deere og Monarch har produceret fungerende prototyper [18,20,26].

Barrierer

Alle kilder peger mod en lav batterikapacitet som et centralt problem for både de tunge laster der kræves, samt den sæsonbetingede intensitet der kræver lange arbejdstider på op til 10-12 timer i marken [143,19,20]. Her er de ca. 4-5 timers driftstid der opnås med en opladning på en typisk el-traktor ikke nok [26,18].

Køling af batterier, bremses, motor m.m. er også nævnt som en central udfordring på Fendts prototype [18].

Eksempel

Fendt e100 Vario er en el-traktor med 50kW elmotor, 600 kg tungt batteri på ca. 100kWh og en driftstid på 4-5 effektive timer [28].

4.3.2 Hybrid**Teknologi**

Vores analyse viser, at der er lidt delte meninger om hybrid-teknologien. Rambøll vurderer diesel/el hybrid som mest relevante for traktorer [12]. SEGES vurderer derimod ikke hybridteknologien egnet for traktorer, idet der i landbruget køres med maksimal belastning i størstedelen af tiden, hvilket ikke giver mulighed for peak shaving og effektivisering ved brug af batterier til fremdrift, samtidig med at batteriteknologi ikke har nok kapacitet, hvis det bruges som primær trækraft [141]. Der er i dag udviklet flere diesel/el-hybrid traktorkoncepter, som dog alle er på prototypestadiet uden markedsførte produkter.

Barrierer

Øget vægt og investeringsomkostninger [12], samt minimal forbedring af virkningsgrad [141] og et stort kapacitetsbehov [143] er centrale barrierer for hybridtraktoren. Den øgede vægt er et problem for virkningsgraden men er også dårligt ift. pakning af jorden [36]. Virkningsgraden er ikke forbedret på samme måde som det er muligt i fx fiskeri da markmaskinerne typisk kører på maksimal belastning og derfor ikke har behov for peak shaving eller dynamisk belastning. Kapacitetsbehovet bunder i den lave energitæthed af lithium-ion batterier, der kræver meget store batterier for at understøtte det store behov for kraft og driftstid i marken, på samme måde som det ses ved ren batteriteknologi.

Eksempel

Fendt X concept er en prototype af en traktor, som er baseret på en markedsført diesel traktor model, hvori nogle af motorens cylindre er erstattet med en 130 kW elmotor og dermed giver mulighed for tilslutning af flere eldrevne funktionsmaskiner til traktoren samt optimering af drift af dieselmotoren for maksimal virkningsgrad [29].

4.3.3 Brændselsceller**Teknologi**

Hydrogen anvendt i brændselsceller har samme lagringsproblemer og lave energitæthed som batterier, til gengæld er det nemmere og hurtigere at lade hydrogen for markmaskiner sammenlignet med opladning af batterier. Det er også nemmere at lade hydrogen for markmaskiner sammenlignet med fiskerfartøjer, hvilket gør teknologien relevant for maskiner som traktorer [12]. New Holland udviklede i 2009 en hydrogenbrændselscelle prototype på ca. 80 kW som dog aldrig er blevet markedsført pga. driftstid på 1,5-2 timer på fuld tank [3042]. Analysen har ikke kunne afdekke andre markedsførte brændselscelledrevne maskiner inden for landbruget.

CNH Industrial har proklameret at de vil udvikle en mejetærsker, som er drevet af brændselsceller, som antages at være klar som prototype i 2025. Det fremgår dog ikke klart, hvorvidt brændslet bliver hydrogen eller metan [41].

Barrierer

Lagringskapacitet, hydrogeninfrastruktur og lille kommerciel tilgængelighed er centrale barrierer for udbredelse af brændselsceller i intern transport i landbruget [12] [142]. Hydrogen fylder mere og er tungere end diesel.

Eksempel

New Hollands NH2 hydrogen brændselscelle traktor blev udviklet i 2009, med en effekt på ca. 80 kW. Driftstiden var dog kun 1,5-2 timer, hvorfor traktoren aldrig er blevet markedsført [42].

4.3.4 Biodiesel (HVO)

Teknologi

Alle dieseldrevne markmaskiner kan anvende HVO100 i dag, idet der som beskrevet i afsnit 3 ikke kræves ombygning af motoren. De eksisterende dieseldrevne markmaskiner kan derfor umiddelbart overgå til HVO100.

Barrierer

Det vurderes ikke, at der er særlige barrierer for anvendelse af HVO100 i markmaskiner i landbruget. Som beskrevet i afsnit 3 er pris og produktionskapacitet af biodiesel de centrale barrierer [141].

Eksempel

Der gives ingen eksempler, da det er alle eksisterende og alle nye dieseldrevne markmaskiner, som kan anvende HVO100.

4.3.5 LNG/LBG

Teknologi

Der findes både gasmotorer samt dual-fuel motorer, der både kan anvende diesel og naturgas/biogas, disse findes dog primært i andre sektorer, fx i busser [12]. Studier henviser til Valtra som dual-fuel traktorproducent, disse er dog sidenhen forsvundet fra markedet [98]. New Holland forventer at markedsføre en 100% metandreven traktor i 2021 [39].

Producenten Gomselmash lancerede en gasdrevne mejetærsker i 2019 [40].

Barrierer

Tankningsinfrastruktur i Danmark er en central barriere for LBG/CBG, da distribution er begrænset af gasnettet [142]. Desuden er energitætheden af gas en central barriere, idet energiindholdet i CBG og LBG er lavere end i diesel, hvilket gør driftstiden for traktoren relativt kort. Ifølge tekniske dialoger er brug af LNG i landbruget udfordret af et større behov for udslip ved sikkerhedsventil, for fx lastbiler da disse køres med mere konstant belastning [142].

Eksempel

New Holland forventer at markedsføre et mindre antal af T6.180 Methane Power traktoren i 2021 som den første methan-traktor i verden. Traktoren er specificeret til 132 kW (180 hk). Der er monteret en ekstra gastank til forøgelse af driftstiden [39]. Gomselmash lancerede i 2019 en naturgasdrevet mejetærsker, specificeret til 260 kW (350 hk), 1800 liter brændselskapacitet og driftstid på 8-10 timer i marken [40].

4.3.6 Hydrogen, metanol og ammoniak

Analysen har ikke kunne afdække eksempler på brugen eller udvikling af anvendelse af metanol til markmaskiner i landbruget. For ammoniak har SEGES nævnt, at det kan være en lovende teknologi for traktorer, der kan bruges som brændstof i forbrændingsmotorer og produceres bæredygtigt på basis af brint fra elektrolyse [141]. Analysen har dog ikke kunne afdække andet herom. Derfor har afsnittet fokus på hydrogen.

Teknologi

Dette afsnit handler om hydrogen anvendt ved direkte forbrænding i en forbrændingsmotor. Teknologien er grundlæggende den samme som for diesel, men kræver dog at der tilføres lidt diesel, som kunne være biodiesel af typen HVO, for at antænde hydrogenen. I analysen er der fundet et eksempel på disse dual-fuel motorer, der kan forbrænde ren diesel eller både diesel og hydrogen samtidig. Motoren fungerer som en dieselmotor, hvor brændslet er en blanding af hydrogen og diesel og andelen af hydrogen er begrænset til 60% i det fundne eksempel.

Barrierer

Som beskrevet for brændselsceller, er også lagringskapacitet, hydrogeninfrastruktur og lille kommerciel tilgængelighed i lokalmiljøer de centrale barrierer for hydrogen [12] [142]. Den volumenbaserede energidensitet af hydrogen er

ca. 15% af diesel ved 700 bar, hvilket kræver meget mere plads. Desuden er den vægtbaserede densitet ca. 10% pga. lagringstankenes konstruktion. Se **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.** for data, og afsnit 0 og **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.** for redegørelse og diskussion af hydrogen som brændsel. Desuden er virkningsgraden for forbrænding af hydrogen væsentligt lavere end en brændselscelle, hvilket gør driftsomkostningerne mindre attraktive ift. brændselsceller.

Eksempel

New Holland har udviklet en prototype af en diesel/hydrogen dual-fuel-traktor [30,31]. Traktoren yder ca. 100 kW og har en tankkapacitet på ca. 11,5 kg hydrogen ved 350 bar. Motoren kan køre med 0-60% hydrogen, hvor den resterende del af brændslet er diesel.

4.4 Samlet oversigt – landbrug

Tabellen opsummerer analysens kortlægning af ikke-fossile teknologier, deres anvendelse samt modenhed inden for landbrug. Der er tale om konkrete eksempler, som er blevet afdækket i analysen, og beskriver kort de forskellige teknologier, deres størrelse, hvem der producerer dem og hvor de anvendes. Endelig er også deres teknologiske modenhed vurderet. Der er tale om eksempler, der kan betragtes som en state-of-the-art reference, der er afdækket i analysen og tabellen er derfor ikke nødvendigvis en udtømmende liste.

Teknologier	Effekt	Producenter	Anvendelse	Teknologisk modenhed
El traktor (Batteri)	50-500 kW [18,26,43]	Fendt [18,20], John Deere [26,43], Monarch [20]		2
El traktor (Kabel)	300 kW [44]	John Deere [44]		1
Diesel/el hybrid traktor	45-280 kW [16,29,46]	Multi Tool Trac [16], Fendt [29], Steyr [45], Landini [46]		2
Diesel/hydrogen dual-fuel forbrænding traktor	105 kW [31]	New Holland [31]		2-3
Hydrogen brændselscelletraktor	80 kW [42]	New Holland [42]		1
Gas traktor	130 kW [39]	New Holland [39]		3
Gas mejetærsker	260 kW [40]	Gomselmash [40]		2-3
Hybrid høstmaskine (skovbrug)	ca. 400 kW [27]	Logset [27]		3

Table 7 State-of-the-art overblik over grønne teknologier i intern transport i landbrug.

4.5 Omstilling af intern transport i fiskeri

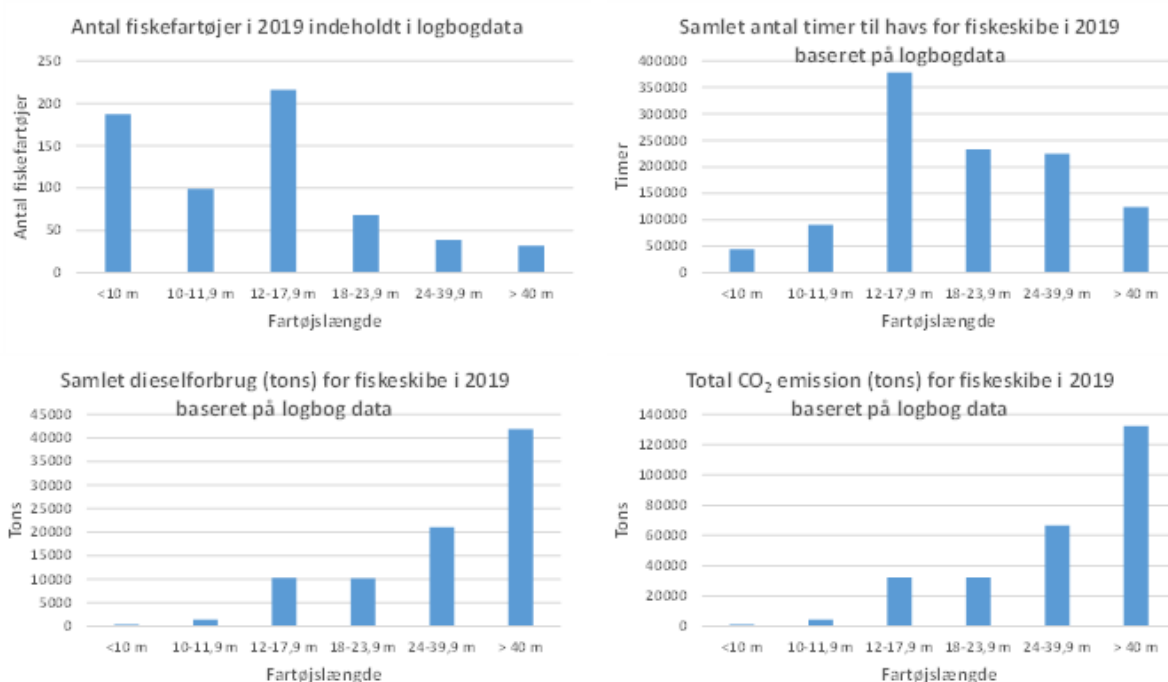
Intern transport i fiskeri defineres i analysen som kystnære og havgående fiskefartøjer og i mindre grad støttefartøjer til fiskefarme og boreplatforme. Dansk fiskeri er primært trawl-, not-, garn- og krogfiskeri, hvorfor der i analysen er fokus på disse fiskefartøjer. Fiskefarmenes brøndbåde og andrefartøjer er inkluderet i analysen, hvor oplysninger har været umiddelbart tilgængelige. Analysen viser at udvikling ikke sker i Danmark, men internationalt og specielt i Norge.

4.5.1 Den danske fiskeflåde

Et overblik over den danske fiskeflåde og dens bidrag til CO₂ emission fordelt på størrelser ses i Figur 1 [3] der er baseret på logbogsdata for danske fiskefartøjer⁵. Det ses at kun ca. 120 danske fiskeskibe er 18 meter eller længere, lidt over 200 fiskeskibe er mellem i længdeklassen 12-17 meter. Fiskefartøjer på under 12 m, er ikke automatisk registreret i logbogen og i flg [3] kan det antages, at kun lidt mere end 10 % af disse fiskefartøjer, er registreret i logbogen. Dermed er langt flest danske fiskefartøjer i denne størrelsesgruppe.

⁵ Fiskefartøjer på 12 m eller derover er forpligtede til at have udstyr installeret således at deres aktiviteter registreres elektronisk, fartøjer på under 12 m er ikke forpligtet til dette, det antages derfor at data logbogsdata for disse er ufuldstændige i forhold til timer på havet, dieselforbrug og CO₂ emission. I logbogsdata er der registreret 187 fiskeskibe <10m til sammenligning er der registreret 1616 i Danmarks statistik data, anvendes forholdstallet til at fremskrive CO₂ udledningen vil de stå for 4 % af udledningen og ikke 0,5% som Figur viser [3].

På trods af det relativt lille antal står de største fiskefartøjer (>40m) for ca. 50% af den samlede CO₂-udledning fra danske logbogsregistrerede fiskefartøjer, fiskefartøjer med længden 24-40m står for ca. 25% af udledningen, mens fartøjer fra 12-24 meter står for lidt under 25%. CO₂-udledningen fra fiskefartøjer på under 12 meter vurderes, at stå for omkring 4 % af den samlede CO₂-udledning fra de danske fiskefartøjer, idet kun ca. 10 % af de små fiskefartøjer, der er registreret i logbogen, medtages i vurderingen. Misforholdet imellem andel af CO₂ udledning og andel af flåde skyldes både forskellen i størrelse, men i høj grad også at de små fartøjer <12 m er betydeligt færre timer på havet end de store og mellemstore.



Figur 1 Antal fiskefartøjer, samlet antal timer til havs, samlet dieselforbrug og total CO₂- pr. fartøjslængde i 2019 beregnet ud fra Fiskeristyrelsens logbogdata [3].

Det antages i Fiskeristyrelsens logbogsdata [3], at fiskefartøjerne med længde på under 12 meter er kystfiskere, der fisker med garn og line, og som typisk kommer i havn hver dag, mens de større fartøjer er trawlere, der er på havet i længere perioder på en eller flere uger. I mellemstørrelsesgrupperne vil der kunne findes eksempler på begge typer.

Den traditionelle og dominerende fremdrift-teknologi i flåden af fiskefartøjer er i dag dieseldrevne, mekaniske forbrændingsmotorer. Desuden bestilles og leveres der diesel-elektriske hybrid-fartøjer, der har en eller flere dieselmotorer, der driver en generator der også kan drive skruen, eller hvor generatoren kan drives af hovedmotoren, er forholdsvis udbredte i de fleste fiskefartøjer. Dieselelektriske hybrider giver mulighed for en mere effektiv anvendelse af dieselmotorerne.

Flere og en stigende andel af de dieselelektriske hybrider har også installeret batterier for at kunne få en endnu mere effektiv drift og for i højere grad at kunne operere med dieselmotoren slukket i perioder. Batterier oplades, når der ikke er behov for dieselmotorens fulde effekt og kan forsyne de elektriske motorer, der dels anvendes til de mange operationer på fiskefartøjet, dels kan bidrage til fremdriften, hvorved driften af dieselmotoren kan optimeres.

I forhold til el- og hybridteknologier er der specielt fundet eksempler i norske publikationer og umiddelbart vurderes det, at udvikling især sker i Norge, hvor der bl.a. er igangsat et udviklingsprogram for grøn maritim industri i 2015. Men der er også eksempler på nye (eller bestilte) danske fiskefartøjer, der har batterier.

Det vurderes, at anvendelse af batterier i fiskefartøjer kan reducere dieselforbruget med mere end 30%. Det vurderes

at udviklingen i retning af diesel-hybrid drives af, at de vurderes at have en bedre økonomi end ren diesel samt forårsager mindre udledning af lokalt (sundheds)skadelige emissioner og støjer mindre. Ren batteridrift vurderes ikke som en realistisk løsning for alle typer af fiskeri inden for den nære fremtid, men kan være en mulighed på længere sigt (inden for de næste 10-5 år).

Brændselsceller er også en relevant teknologi, men inkludere flere barriere og mindre teknologisk modenhed end den batteridrevne løsning da de på nuværende tidspunkt stadig primært er på udviklings-/prototype stadie [2]. Det norske SINTEF er dog ved at udvikle en prototype af et batteri- og brændselscelledrevent fiskefartøj, hvor brændselscellerne skal anvende hydrogen, metanol, LNG/LBG eller ammoniak.

LNG anvendes i dag i mindre udstrækning og er et muligt fremtidigt maritimt brændsel. Der er enkelte eksempler på fiskekuttere der anvender LNG i dag. LNG-motorer har væsentligt lavere partikelforurening og SOx udledning. CO2 emissioner (fra LNG) er ikke væsentligt bedre end fra fossil diesel. LNG kan uden ændringer i motoren erstattes med LBG (liquid biogas), hvorved så CO2-udledningen også reduceres. LNG/LBG-motoren kan indgå i et hybrid system i kombination med elmotorer og batterier, som nævnt ovenfor for dieselhybrider.

I Danmark og internationalt ses generelt en større udvikling inden for skibe, der ikke er en del af fiskerisektoren. Både el-, hybrid-, gas- og brændselscelleteknologier er udviklet og anvendt på krydstogtskibe, færger, støttefartøjer m.m. [146]. Norge giver omtrent 50% støtte til bæredygtige investeringer i fiskeriet, hvilket har en stor positiv effekt på villigheden til at investere i de relativt dyrere løsninger sammenlignet med Danmark [148].

Fejl! Henvisningskilde ikke fundet. 8 angiver en opsummering af den teknologiske egnethed af en gruppe alternative energibærere inden for intern transport i fiskeri, samt deres effekt på CO2-emissionen.

Fiskeri		Batteri	Hybrid	Brændselscelle	Biodiesel	LBG/CBG	Metanol
Egnethed (Teknologisk modenhed)	Kystnære fartøjer	2	4	1	4	1-2	2-3
	Havgående fartøjer	0	4	1	4	1-2	2-3
Effekt på CO2 emissioner							

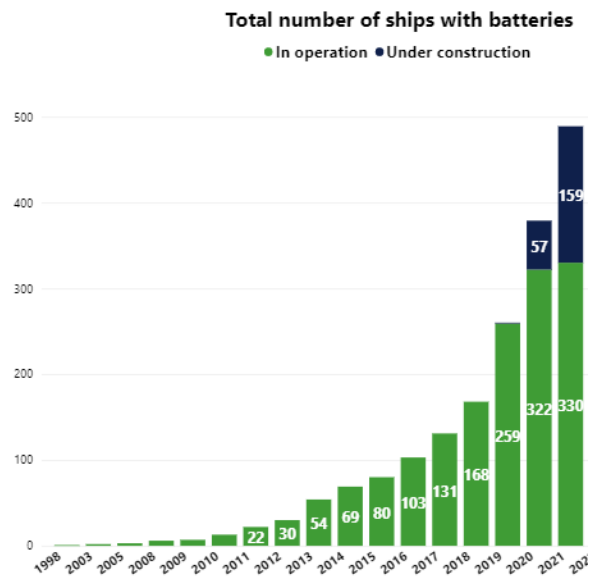
Tabel 8 Forskellige alternative energibærers egnethed og effekt på energi- og emissionsoptimering (Effekt) for fiskefartøjer

4.5.2 Batteri

Teknologi

Batteriteknologien har været tilgængelig i mange år, med det første batteridrevne registrerede fiskefartøj fra 2009 [65]. Udviklingen har været drevet af et ønske om en reduktion af lokalt skadelige emissioner samt energieffektivisering af fartøjer.

Figur Figuren viser udviklingen af fiskefartøjer med batterier fra 1998 til 2021 baseret på en opgørelse over interne projektdata af DNV [14]. Data er internationalt, men består primært af projekter i EU (23%) og Norge (40%).



Figur 2 Færdigbyggede og bestilte skibe med batterier [Fejl!
Henvisningskilde ikke fundet.]

Barrierer

De centrale udfordringer for en fuld elektrificering findes i kapaciteten og energitætheden i batterier sammenlignet med diesel. Status i dag er, at batteriteknologien pga. dens relativt lave energitæthed endnu ikke egner sig ved en fuld elektrificering. På kort til mellemlang sigt kan rene el/batterifartøjer være muligt for fartøjer, der anvendes til kystnære fiskeri, hvorimod fartøjer til ikke-kystnære fiskeri med større energibehov til transport og længere perioder væk fra land på kortsigt må kombineres med diesel/gas-motor i en hybridløsning [2]. Ligeledes er investeringsomkostningen i batteriet en væsentlig barriere [13].

Eksempel

Der findes ingen kommercielle, 100% elektriske fiskefartøjer. Der er dog udviklingsprojekter i gang i den kystnære fiskeindustri. GMV Zero er en 100% eldrevet prototype støttebåd til en norsk fiskefarm, der blev færdigbygget i 2018 [61].

4.5.3 Hybrid

Teknologi

Diesel/el hybridfartøjer opnår væsentlige energibesparelser, da dieselmotorerne har høj effektivitet i en forholdsvis lille belastnings område (80-100% af max) og tiden dieselmotoren arbejder uden for dens effektive driftsområde, kan mindskes betydeligt ved hybrid drift til fremdrift samt diverse eldrevne maskiner og værktøj på fartøjet, kan udliges af et batteri hvormed dieselmotoren kan drives ved en optimal virkningsgrad. Der ses på nuværende tidspunkt energibesparelser i omegnen af 10-25%, samt en nedgang i tomgangdrift på op til 75% [2].

I fiskeri benyttes diesel typisk til fremdrift til og fra fiskepladsen, hvor el benyttes til mindre intensiv fremdrift og andre energikrævende processer på båden for en optimal brændstoffeffektivitet. Denne teknologi er defineret som PTI/PTO (Power take-in/Power take-out). Forskellen ligger i om overskuddet fra hovedmotor støtter hjælpemotorer for effektiv udnyttelse af dieselgeneratoren (PTO) eller om der er installeret en elmotor på drivakslen som støtter hovedmotoren for øget fremdrift (PTI) [13]. PTI/PTO-teknologien kan sammenlignes med hybrid og plug-in hybridkonceptet kendt fra personbiler.

Hybridløsningen er på nuværende tidspunkt især anvendt i passagerskibe/færger og forsyningsfartøjer. Det er primært Norge der anvender batteriteknologi til søfart [14].

Barrierer

Der er ikke teknologiske barrierer ift. en delvis hybridisering af fiskeflåden. Der ses en stigende tendens til brug af diesel-elektriske hybridsystemer i fiskerfartøjer. Der er dog en kapacitetsbegrænsning i form af batteriets relativt lave energitæthed som medfører at de fleste ikke-kystnære fiskefartøjer ikke kan elektrificeres fuldstændig. Desuden er investeringsomkostningerne af batteriløsninger stadig væsentligt dyrere end en tilsvarende dieselløsning [13]. I en opgørelse fra Aarhus universitet antages hybrid-fartøjer først at være en rentabel investering i 2030 [3].

Eksempel

Et eksempel på en dansk hybrid trawler er 'Gitte Henning' [50]. Trawlfiskeri er den mest dominerende fiskeritype i Danmark [59]. Gitte Henning er en dansk flydetrawler med installeret batterikapacitet til genvinding af strøm fra trawls spil, samt aflastning af dieselmotorerne ved maksbelastning (peak shaving) Batterierne antages at resultere i en samlet energibesparelse på ca. 10% [70].

4.5.4 Brændselsceller

Teknologi

Brændselsceller med metanol som brændstof er en teknologi der har potentiale inden for fiskeri, men endnu ikke er kommercielt udbredt [2]. HT-PEM-BC, der anvender metanol anses for at være de mest relevante i forhold til fiskefartøjer.

Kombination af brændselsceller og batteri giver mulighed for, at brændselscellen kan producere konstant og i et område, hvor den er mest effektiv, idet batteriet kan oplades og aflades undervejs, når brændselscellens produktion ikke svarer til efterspørgsel efter energi på fartøjet. Dette kan give større energidensitet for både brændselscelle og batteri, hvorved teknologien bliver relevant for en større del af fiskeflåden.

HT-PEM-BC er i høj grad udviklet i Danmark af BlueWord Teknologi, DTU, Teknologisk Institut og Aalborg Universitet. De udvikles også i USA.

Der er pt et EUDP-projekt med Alfa Laval, Mærsk og Hafnia, hvor målet er at udvikle HT-PEM-BC-moduler med en kapacitet på 200 kW til maritimt brug. Projektet omfatter også på et senere tidspunkt, at de skal afprøves i testcenter. Der er stor interesse for at være med i demonstrationsprojekterne. Dette er brændselscellemodul tænk som hjælpe-kraftsystem til skibene og til brug til fremdrift når, der er brug for lav kraft til fremdrift. HT-PEM-BC har den fordel at de er støjsvage og der er ingen lokalt skadelige emissioner fra dem (emission af vand og CO₂). Derfor kan de være vigtige i forbindelse med indsejlingen til havne, når skibet ligger i havn, eller når der sejles i området, hvor det ikke er tilladt at have lokalforurenende emission. I forhold til fremdrift vil der på et tidspunkt blive lavet 800 kW systemer (altså af 4 af 200 kW systemer), der skal afprøves til fremdrift af mindre fartøjer. 200 kW modulerne er skalerbare idet flere kan sættes sammen. Men i forhold til at anvende metanol til skibsfremdrift, altså til at drive skruen direkte, vil man nok i første omgang satse på forbrændingsmotorer. Der forskes og udvikles også i, hvorledes høj kvalitet, højtemperatur spildvarmen kan udnyttes i maritime anlæg, fx i situationer hvor der er behov for opvarmning eller køling.

ZeroKyst er et norsk udviklingsprojekt fokuseret på hydrogen- og el-teknologi og infrastruktur. Fokus er på skibstransport generelt, dvs. på både fiskefartøjer, havbrugsbåde, færger m.m. Der blevet investeret 65 millioner norske kroner i projektet, som forventes afsluttet i 2024 [79].

Det vurderes at være realistisk at anvende HT-PEM-BC på fiskefartøjer på kort til mellemlang sigt. Der er ikke nogen problemer i forhold til sikkerhed, vedligehold eller andet. BWT er med i et stort HT-PEM-BC-demonstrationsprojekt. Desuden er der planer om at etablere en fabrik med en produktionskapacitet på 5000 enheder/år i drift i sommeren 2022. 5000 enheder svarer til en kapacitet på 75 MW (15 kW/ enhed). Målet er en årlig produktion på 750 MW.

I forhold til tankningssystem og tilgængelighed for metanol til maritimt brug, så findes metanol allerede ved alle større havne, hvorfor infrastrukturen som sådan ikke bør anses som en barriere.

Barrierer

Brændselscellen er tung og fylder og energitætheden af hydrogen, metanol eller ammoniak er et problem. Desuden er lagring i fartøjerne centrale problemer ved konverteringen til brændselsceller, der anvender hydrogen [2].

Eksempel

Inden for fiskeri specifikt er der kun fundet et enkelt udviklingsprojekt, nemlig et kystfiskefartøj med brændselsceller og batteri af Global Ocean Technology, hvor brændselscellen drives ved konstant optimal virkningsgrad og batteriet aflaster på samme måde, som det ses i en diesel-/elhybrid [50].

Der er på nuværende tidspunkt prototyper og udviklingsprojekter i gang inden for andre maritime områder. Færgeoperatøren Norled er ved at bygge et passerskib med hydrogen brændselsceller [58]. Havila planlægger eftermontering af 3,2 MW hydrogen brændselscelle kombineret med batteriteknologi på et af deres krydstogtskibe [60].

4.5.5 Biodiesel (HVO)

Teknologi

HVO100 biodiesel kræves ingen eller ubetydelig ombygning af motoren og brændslet kan her erstatte fossil diesel 1:1. HVO100 betragtes som det nemmeste kortsigtede alternativ til fossile brændsler, da brændslet kan anvendes direkte i nuværende teknologier [146][136].

Barrierer

Den primære barriere ved HVO100 er omkostningerne ved produktion af brændstoffet der giver en væsentligt højere markedspris end for fossil diesel som beskrevet i afsnit 3.

I en rapport fra Aarhus universitet [3] er skyggepriserne for konvertering fra diesel til metanol, biodiesel og hybrid i fiskefartøjer opgjort over en årrække fra 2020-2030. Her ses væsentlige omkostninger ved konvertering til HVO100. Resultatet er baseret på omkostningerne ved HVO100 som er omtrent 50% dyrere end fossil diesel med kun et lille estimeret fald i frem til 2030. På kort sigt vurderes det dog billigere at konvertere til biodiesel end diesel-/el hybrid.

Eksempel

Der gives ingen eksempler, da HVO100 kan anvendes i alle eksisterende dieselmotorer.

4.5.6 LNG/LBG

Teknologi

LBG og LNG kan anvendes med samme motor. I følge DNVs fremskrivninger i forbindelse med IMO's (International Maritime Organization) målsætning om reduktion af CO₂, NO_x, SO_x og partikel emissioner i 2050 [2], vil LNG dominere den maritime sektor i 2050.

Som beskrevet i afsnit 3 så er LNG et fossilt brændsel og har kun ca. 20% lavere CO₂ emission end diesel, og er derfor kun markant bedre ift. udledning af NO_x, SO_x og partikelforurening. For en væsentligt reduceret udledning af CO₂ er implementering af LBG nødvendig.

Lækage og tab af metangassen ifb. med bunkering (tankning) og drift af motoren er et centralt problem, da methan har ca. 25 gange større drivhuseffekt end CO₂. Desuden er der tab ifb. med drift af motoren, samt ved brug af sikkerhedsventil [146]

Barrierer

Den manglende infrastruktur til understøttelse af LNG/LBG nævnes som en central problemstilling, som kræver investeringer udover for et enkelte fartøj.

Eksempel

'Libas' er det første batteri og LNG-drevne fiskefartøj i Norge leveret i 2021. Fartøjet er pelagisk (flydetrawler), og er det første hybrid pelagiske skib, der er udstyret med en 350 m³ MAN Cyro LNG-tank, samt en 6000 kW MAN 6L51/60DF hovedmotor sammen med en 500 kWh batterisystem [60]. I 2018 skete den første bunkering af 40 m³ LBG på en LNG-tanker i Göteborg havn [62].

4.5.7 Hydrogen, metanol og ammoniak

Analysen har ikke kunne afdække eksempler på brugen eller udvikling af anvendelse af hydrogen eller ammoniak til fiskefartøjer. Afsnittet her omhandler derfor alene metanol.

Teknologi

Metanol kan håndteres som diesel / benzin, hvilket er en vigtig egenskab i forhold til anvendelse i fiskefartøjer.

Som tidligere nævnt forskes og udvikles en del i anvendelse af metanol i maritime dual-fuel motorer og bl.a. har Mærsk for nylig bestilt et metanol/dual-fuel skib [77]. Der er i analysen ikke fundet konkrete eksempler på metanol dual-fuel motorer i fiskefartøjer, men det vurderes ikke, at der er specifikke hindringer for at anvende metanol/diesel dual-fuel motorer i fiskefartøjer.

Metanol vurderes at være det mest sandsynlige brændsel i brændselsceller anvendt til fiskefartøjer på kort sigt [133].

I forhold til tankningssystem og tilgængelighed for metanol til maritimt brug, så findes metanol allerede ved alle større havne, da der her er mange anvendelser af metanol allerede i dag. I forhold til infrastruktur vurderes metanol derfor at have en fordel sammenlignet med hydrogen og ammoniak. Og det betyder også, at det vurderes forholdsvis let at igangsætte større anvendelse af metanol til maritime aktiviteter, herunder også for skibsfart, der ikke er så skemalagt som færgedrift.

Barrierer

Det vurderes ikke, at der er nogle barrierer, der er specifikke ift anvendelse af metanol i fiskeri, ud over de barrierer de er nævnt generelt for metanol.

4.6 Samlet oversigt - fiskeri

Tabellen opsummerer analysens kortlægning af ikke-fossile teknologier, deres anvendelse samt modenhed inden for fiskeri. Der er tale om konkrete eksempler, som er blevet afdækket i analysen, og beskriver kort de forskellige teknologier, deres størrelse, hvem der producerer dem og hvor de anvendes. Endelig er også deres teknologiske modenhed vurderet. Der er tale om eksempler, der kan betragtes som en state-of-the-art reference, der er afdækket i analysen og tabellen er derfor ikke nødvendigvis en udtømmende liste.

Teknologier	Effekt	Producenter	Anvendelse	Teknologisk modenhed
Brændselsceller	2000-3000 kW [60,68,69]	SINTEF (studie) [50], Ballard [55], Norled [58], Havila [60]	Færge [58], forsynings- skib [69], kryds- togtskib [60]	2-3
El		GMV [61]	Støttefartøj [61]	1
Diesel-/el hybrid (Trawl, langline, garn, brøndbåde)	500-4000 kW [2]		Trawl – Gitte Henning [70] m.fl. Langline – MS Geir, Østervold [2 m.fl. Garn – Angelsen Se- nior [66]	3-4 3-4 3-4

Tabel 9 State-of-the-art overblik over grønne teknologier i intern transport i fiskeri og andre skibe.

5 Sammenfatning

En del af industriens energiforbrug, som er vanskelig at omstille, anvendes til intern transport i sektorerne byggeri, landbrug og fiskeri. Samlet set udgør energiforbruget til intern transport ca. 18 PJ i 2019, svarende til en CO₂-udledning på ca. 1,3 mio. tons. Af de 18 PJ udgør diesel langt hovedparten af brændslet og en omstilling kræver således at der fokuseres på at finde og udvikle relevante teknologier, herunder brændsler/energibærere, som kan erstatte diesel.

Gennem litteraturstudie og faglig dialog med en række interessenter i de tre brancher, er der gennemført en analyse af relevante teknologier, som er vurderet ud fra deres egnethed, teknologiske modenhed og effekt ift reduktion af CO₂-udledning. For hver teknologi er der ligeledes gennemført en barriereanalyse, og listet en række eksempler på konkrete teknologier, som enten er på markedet eller findes som prototyper i forskellige stadier. En sammenfatning af de individuelle sektorer kan findes i introduktionen af de individuelle afsnit 4.1, 4.3 og 4.5. Dette afsnit giver en sammenfatning på tværs af sektorer samt en gennemgang af den overordnede udvikling.

Der findes flere forskellige teknologier, energibærere og brændsler, som kan bidrage til omstilling af den interne transport i de tre brancher. De mest relevante, som er behandlet i analysen, er batterier, brændselsceller, bio-brændsler og e-fuels samt hybrider heraf. Udviklingen af teknologierne sker primært internationalt. Især inden for byggeri og fiskeri, vurderes det, at der er stor fokus på udviklingen for tiden. Der er således en del litteratur om emnet fra Norge, ligesom der er et relativt stort marked og inkludering af krav til CO₂-lette transportmidler i offentlige udbud i Norge. For landbruget ses udviklingen primært hos de store internationale fabrikker af landbrugsmaskiner som John Deere, Fendt m.m. For byggeri ses der dog i Danmark stor aktivitet i forhold til forsøg på fremme af udvikling og implementering.

Af brændsler/energibærere/teknologier vurderes det, at det primært er anvendelse af batterier og biodiesel, samt hybrider heraf, som vil være mest relevant for en omstilling af den interne transport i de tre sektorer i den nærmeste fremtid.

Inden for både byggeri, landbrug og fiskeri ses en udvikling inden for elektrificering via batteridrift. Inden for landbrug og byggeri, er små eldrevne maskiner allerede kommercielt tilgængelige. Den væsentligste barriere for implementering af disse vurderes umiddelbart at være en relativt høj investeringspris, som sammen med manglende reel efterspørgsel på CO₂-lette løsninger i bl.a. udbud af opgaver, betyder at implementeringen ikke går så stærkt, som den rent tekniske kunne. For de store maskiner er det usikkert, om det er muligt at komme helt over på batteridrift på kort og mellemlang sigt. Her ses dog betydelig større muligheder inden for arbejdsmaskiner i byggeriet end i de andre sektorer. For de store maskiner er den primære barriere i dag, at batteri-teknologien ikke kan matche de krav, der er til kapacitet (kraft) og driftstid i de tre sektorer, hvilket også betyder, at der reelt ikke er rent elektrificerede maskiner tilgængelige på markedet i dag. På mellemlang sigt (5-10 år) forventes en udvikling af solid-state batterier med væsentlig højere energidensitet end den nuværende litium-ion batteriteknologi, hvilket vil kunne reducere denne barriere.

Anvendelse af biodiesel (HVO) er teknisk muligt, idet HVO kan anvendes direkte i eksisterende diesel-motorer uden behov for ombygning af motoren. Desuden kan HVO også indgå i den eksisterende diesel-logistik, og har kun 5% lavere energiindhold pr. volumen end fossil-diesel. I alle de tre sektorer er HVO derfor et reelt, teknisk alternativ til den fossile diesel. Barrieren for udbredelse af anvendelse af HVO er økonomisk. HVO er allerede på markedet, men prisen for HVO i Danmark er i dag ca. 5-8 kr./l (inkl. moms) dyrere end fossildiesel.

Endelig ses på tværs af brancherne også i høj grad en mulighed for anvendelse af hybrider af batteri(el) og biodiesel, som meget tilgængelige løsninger. Her udnyttes især bio-diesel til fremdrift, mens el bruges til maskinernes andre funktioner, men også at batteriet kan sikre, at dieselmotoren kan drives mere effektivt. Fordelen ved at anvende hybrider er bl.a., at biobrændslerne kan lagres på samme måde som fossildiesel og derfor transporteres med på fx fiskefartøjer eller indgå i landbrugsmaskiner, som har behov for lange og intense arbejdsdage, hvor batteriteknologien i dag ikke har kapacitet nok.

Ud over batterier og HVO arbejdes der med udvikling af forskellige andre teknologier og energibærere, som fx anvendelse af metanol, ammoniak og hydrogen. Her har analysen bl.a. fundet, at anvendelse af metanoldrevne brændselsceller i fiskefartøjer kan være en mulighed på mellemlang sigt. De eksempler, der er fundet i analysen, er listet under hver af de tre sektorer.

Endelige skal det nævnes, at der for alle tre sektorer ikke kun ses på muligheder for at omlægge til andre brændsler, men også på nye måder at løse opgaverne på. I landbruget arbejdes der fx med arrondering, så behovet for kørte kilometer og markarbejde reduceres. Inden for andre udnyttelse af energibærere, som fx biogas og hydrogen, er det mangel på infrastruktur, der hæmmer udviklingen og ikke så meget selve teknologien [143]. Når der arbejdes med udvikling og tiltag inden for intern transport i de tre sektorer, anbefales det derfor at se på udfordringen som en systemtransition, og ikke kun en teknologitransition.

Bilag A Litteratur- og referenceliste

- [1] EMSA, »Electrical Energy Storage for Ships,« DNV-GL, 2020.
 - [2] C. H. Gabrieli, »Alternative fuels and propulsion systems,« SINTEF, 2020.
 - [3] M. Winther og L. Martinsen, »Analyse af CO2 emissioner og økonomi ved grøn omstilling af fiskefartøjer,« Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 2021.
 - [4] B. B. Initiative, »Public Procurement of Zero-Emission Construction Sites,« European Commission, 2020.
 - [5] Bellona, »Zero Emission Construction sites,« 2019.
 - [6] DNV-GL, »Perspectives on Zero Emission Construction - Climate Agency, City of Oslo,« 2019.
 - [7] S. C. F. IVA, »Climate impact of construction processes,« 2014.
 - [8] SINTEF, »Utslippsfrie byggeplasser,« SINTEF akademisk forlag, 2018.
 - [9] DNV-GL, »Guide to arranging fossil- and emission-free solutions on building sites,« 2018.
 - [10] Østfold fylkeskommune, »Fossilfrie arbeidsmaskiner og kjøretøy,« 2017. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/arbeidsmaskiner/project-definition>.
 - [11] SINTEF, »30 tonns utslippsfri gravemaskin - Teknologistatus, kartlegging og erfaringer,« 2018.
 - [12] Ramboll, »Mulighetsrommet for alternativ teknologi på traktorer,« 2016.
 - [13] Fiskebåt, »Tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra fiskeflåten,« Grønt Kystfartsprogram, 2018.
 - [14] DNV-GL, »Alternative Fuels Insight Platform,« 2021. [Online]. Available: <https://afi.dnvgl.com/>. [Senest hentet eller vist den 25 May 2021].
 - [15] Energistyrelsen, »Teknologikatalog for fornybare brændstoffer,« Energistyrelsen, 2018.
-
16. <https://www.maskinbladet.dk/artikel/51393-elektrisk-traktor-kommet-i-marken> - 2016 - prototype elhybrid traktor i marken
 17. <https://landbrugsavisen.dk/avis/maskiner-p%C3%A5-el-og-uden-f%C3%B8rer> - 2020 - Klimaråd peger på elektrificeringspotentiale i landbrugets maskinpark
 18. <https://landbrugsavisen.dk/maskiner/klimar%C3%A5d-peg-er-udfordringerne-%C3%A6ngeventet-el-model> - 2020 - Klimaråd peger på elektrificeringspotentiale i landbruget, Fendt fremstiller batteri-drevet prototype
 19. <https://landbrugsavisen.dk/maskiner/klimar%C3%A5det-landbruget-kan-sk%C3%A6re-200000-ton-co2-p%C3%A5-maskinerne> - 2020 - Klimarådet: Landbruget kan skære 200.000 ton CO2 på maskinerne
 20. <https://www.greenbiz.com/article/electric-tractors-agribots-and-regenerative-agriculture> - 2020 - ACGO (Massey Ferguson, Fendt m.m.) udvikler elektriske og autonome landbrugsmaskiner i USA på prototypeniveau
 21. <https://www.theelectric.org/2020/08/25/electric-farming-equipment-is-an-energy-trend-to-watch/> - 2020 - El traktorer fordele samt barrierer i form af pris og kapacitet
 22. <https://www.idtechex.com/en/research-report/electric-vehicles-and-robotics-in-agriculture-2020-2030/717> - 2020 - Rapport omkring fremtidens landbrug, el, hybrid og autonomi
 23. <https://www.berlingske.dk/virksomheder/danfoss-satser-stort-paa-selvkoerende-traktorer-og-elektriske-skibe> - 2017 - Danfoss satser stort på selvkoerende traktorer og elektriske skibe
 24. <https://www.bevi.dk/> - 2021 - Producent af elektriske motorer, transmissionsenheder, frekvensomformere, viklingsmateriale, startudstyr
 25. <https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2018/12/Gradual-switch-from-diesel-to-gas-and-electricity-373914E/> - 2020 - El, hybrid, gas og brint i fremtidens landbrug
 26. <https://www.mondomacchina.it/en/sesam-the-john-deere-100-electric-c1646> - 2017 - John Deere elektrisk traktor prototype SESAM
 27. <https://www.logset.com/en/harvesters/logset-12h-gte-hybrid> - 2016 - Hybrid skovbrugsmaskine
 28. <https://www.fendt.com/dk/e100-vario> - 2020 - Fendt e100 Vario
 29. <https://www.fendt.com/dk/4663> - 2020 - Fendt X concept hybrid
 30. <https://fuelcellsworks.com/news/the-first-hydrogen-tractor-in-the-netherlands/> - 2020 - New Holland diesel/hydrogen dual-fuel tractor
 31. <https://h2dualpower.com/en/> - 2021 - New Holland H2 Dual Power hydrogen/diesel tractor produktkatalog
 32. <https://www.fendt.com/int/tractors> - 2021 - Traktor effekt
 33. <https://www.agrofossilfree.eu/da/home-dansk/> - 2021 - AgroFossilFree, EU projekt til udfasning af fossile brændsler i landbruget
 34. Ingeniøren, *Nye teknologier klæder robotter på til udelivet*, 4. juni 2021
 35. <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2019/maj/solcelledrevet-markrobot-kan-selv-saa-og-luge/> - 2019 - autonom markrobot til såning og lugning
 36. <https://www.nykreditleasing.dk/landbrug/gron-maskinfinansiering/#hvilke-maskiner-er-omfattet-af-gron-maskinfinansiering> - 2021 - Nykredit giver 0% rente lån til grønne maskiner i landbruget

37. https://www.landbrugsinfo.dk/public/b/a/d/bygninger_maskiner_nykredit_gron_maskinfinansiering - 2021 - SEGES liste over grønne maskiner Nykredit giver 0% rente lån til
38. <https://conpleks.com/innovation/danske-robotter-effektiviserer-landbrugssektoren-sportsverden-kommunale-arbejde/> - 2017 – Robotter til ukrudtsfjerning i udvikling
39. http://newhollandpresskit.btsadv.com/index.asp?c=&search=&mar- ket=INB&c=NH_PR02_Clean_Energy_Leader_INB&s=3469 – 2021 – methan (biogas) traktor markedsføres i 2021
40. <https://landbrugsavisen.dk/maskiner/hviderussere-lancerer-mejet%C3%A6rsker-p%C3%A5-gas> – 2019 – Hviderussisk mejetærsker på gas
41. <https://landbrugsavisen.dk/maskiner/cnh-topchef-vi-vil-vise-mejet%C3%A6rsker-med-br%C3%A6ndselscelle-i-2025> – 2019 – CNH Industrial proklamerer brændselscelle drevet mejetærsker prototype klar i 2025-2027
42. <https://newatlas.com/new-holland-nh2-hydrogen-powered-tractor/11171/> - 2009 – New Holland hydrogen brændselscelle traktor prototype
43. <https://www.deere.co.uk/en/agriculture/future-of-farming/> - 2021 – John Deere autonom eldreven traktor med 500 kW output
44. <https://electricvehicles.in/john-deere-gridcon-autonomous-electric-tractor/> - 2021 – John Deere GRIDCON, EI drevet traktor med kabelforbindelse til el nettet
45. <https://www.steyr-tractoren.com/en-distributor/agriculture/technologie/steyr-konzept> - 2021 - Steyr diesel/el hybrid koncept
46. <https://www.diesel-international.com/sustainability/landini-evolving-hybrid-rex4-awarded-by-eima-international/> - 2021 – Landini diesel/el hybrid koncept
47. https://fvm.dk/fileadmin/user_upload/FVM.dk/Faktaark_om_regeringens_landbrugsoplæg.pdf - 2021 - REGERINGSOP- LÆG TIL GRØN OMSTILLING AF LANDBRUGET
48. <https://dca.au.dk/vidensdeling/teknologi-og-fremtidens-planteavl/> - 2021 – AAU Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, teknologi
49. <https://gudp.lbst.dk/projekter/tema-sider/klima/> - 2021 - Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP) tema side om klima i landbruget
50. Rapport: »Analyse af CO2 emissioner og økonomi ved grøn omstilling af fiskefartøjer,« Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 2021, M. Winther og L. Martinsen, Overblik over danske flåde af fiskefartøjer, brugsmønstre mm.
51. *Report: Alternative fuels and propulsion systems for fishing vessels, SINTEF september 2020, Cecilia H Gabriellii and Sepideh Jafarzadeh.* September 2020, Rapporten giver overblik og indblik i forskellige teknologier og et overblik/status over i hvor mange og i hvilke typer skibe(i drift og bestilte) de forskellige tekniske løsninger findes medio 2020. udgangspunktet er norgem men overblikket medtager også en del skibe fra andre lande og viser global statistik.
52. <https://www.sintef.no/prosjekter/2020/elektrifisering-av-kystfiskeflaten-ved-bruk-av-batterier-og-brenselceller/> – 2020 – Udviklingsprojekt af batteri/brint hybrid til kystfiskeri
53. <http://www.emsa.europa.eu/publications/item/3895-study-on-electrical-energy-storage-for-ships.html> - May 2020 - Studie om elektriske lagre i skibe, har
54. <https://borsen.dk/nyheder/baeredygtig/fynsk-oliemilliardaer-kaster-sig-over-biobraendstof> – 2021 – Bunkervirksomhed vil levere biobrændsel fra Skagen
55. <https://www.ballard.com/about-ballard/newsroom/news-releases/2020/09/08/ballard-introduces-fuel-cell-industry-s-first-commercial-zero-emission-module-to-power-ships> – 2020 – Producent markedsfører kW til MW brændselscelle til fremdrift til skibstransport
56. <https://corvusenergy.com/segments/fishing-and-aquaculture/fishing-2/> – 2021 – Brændselsceller og batterilagring anvendt i skibe
57. <https://www.dnv.com/services/alternative-fuels-insight-128171-2021> – Stor maritim database for skibe og brændsler fra DNV projekter og partnere (afi.dnvgi.com/)
58. <https://www.norled.no/en/news/the-appearance-of-the-hydrogen-ferry-begins-to-take-shape/> – 2019 – Norsk færge sejler på 100% hydrogen brændselscelle fra 2021
59. https://fiskeriforening.dk/media/7154/fiskeri_i_tal_2020.pdf – 2020 – Data for dansk fiskeri
60. <https://www.rechargenews.com/transition/world-s-first-liquid-hydrogen-fuel-cell-cruise-ship-planned-for-norway-s-fjords/2-1-749070> – 2020 – 3,2MW Brændselscelle-/elhybrid eftermonteres på norsk krydstogtskib
61. <https://www.norwayexports.no/news/fish-vessels-go-electric/> – 2021 – Norske brøndbåde på LNG og diesel-/elhybrider samt elektriske støttefartøjer
62. <https://www.portofgothenburg.com/news-room/news/first-ever-bunkering-of-liquefied-biogas-in-sweden-at-the-port-of-gothenburg/> – 2018 – Første bunkering af LBG i Göteborg havn
63. https://ea-energianalyse.dk/wp-content/uploads/2020/02/1459_fuel_costs_production_distribution_infrastructure.pdf – 2020 – Opgørelse af brændselsomkostninger
64. <https://fiskerforum.dk/libas-er-foerste-batteri-og-lng-drevne-fiskefartoej-i-norge/>
65. <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/m-s-harto/> – 2009 – Første diesel-elektriske fiskerbåd leveret i 2009
66. <https://fiskerforum.com/worlds-largest-hybrid-fishing-boat-reaches-home/> - 2019 - Norsk hybrid garnfiskeri i Kroatien
67. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2014/bygger-hybrid-sjark/> – 2014 – diesel/el hybrid til fiskekutter
68. <https://www.equinor.com/en/magazine/battery-hybrid-supply-ship.html> – 2019 – Forsyningsfartøj sparer 30% energi på diesel/el hybrid
69. <https://www.ammoniaenergy.org/articles/viking-energy-to-be-retrofit-for-ammonia-fuel-in-2024/> – 2020 – Diesel-/elhybrid forsyningsfartøj erstatter dieselmotor med ammoniak brændselscelle i 2024
70. <https://saltship.com/newscollection/new-green-gitte-henning> – 2021 – Dansk pelagisk (flyde) trawler med diesel-/elhybrid samt energigenvinding
71. <https://www.marinelog.com/news/corvus-battery-solution-picked-for-advanced-hybrid-fishing-vessel/> - 2018 - Norsk langliner bestilles med batteri til hybrid drift
72. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35437> -2021- risiko ved at satse på LNG, risiko for lock-inn, metan udslip (ved LBG) anbefaling evt. gasformig så der lettere kan skiftes til kulstoffri brændsler
73. <https://theworldnews.net/no-news/trondheimsverft-starter-serieproduksjon-av-el-sjarker-pluss> 2020 - Trondheimsverft starter serieproduktion af el-diesel hybrid fiskekuttere efter 5 års test produktion

74. https://static1.squarespace.com/static/5f8ebc340af6823d97901fdc/t/6049f88eac649f5edaea0054/1615460495480/4_Skibs+design_konstruktion+og+byg.pdf – 2021 – Liste over skibsværfter
75. Alternative fuels and propulsion systems for fishing vessels Cecilia H Gabrieli, SINTEF Energy Research Sepideh Jafarzadeh, SINTEF Ocean, September 2020
76. <https://www.biopress.dk/PDF/dansk-konsortium-vil-udvikle-ammoniakmotorer-til-skibe/view> - 2020 - Udvikling af ammoniak forbrændingsmotorer til skibstransport
77. <https://www.euroinvestor.dk/nyheder/maersk-i-groen-satsning-underskriver-foerste-co2-neutrale-skib> 2021 Dual-fuel (metanol/diesel)skib. Mærsk annoncerer at de har underskrevet værftskontrakten for sit første CO2-neutrale skib, der efter planen skal være i søen senest i 2023.
78. <https://www.dnv.com/Publications/decarbonization-services-from-dnv-gl-189278> 2021 brochure fra DNV om muligheder for at decarbonisere skibsfarten
79. <https://www.tu.no/artikler/bedrifter-setter-av-65-millioner-kroner-til-a-utvikle-hydrogenelektriske-fiskebater/510438?key=YF6ia3hM> – 2021 – Zerokyst hydrogen projekt, 65 millioner NOK investeret i hydrogen teknologi og infrastruktur
80. <https://www.licitationen.dk/article/view/685524/nu-bliver-eldrevne-maskiner-testet> - 2019 - Test af 2 tons maskiner i indre by
81. <http://www.gronteknik.dk/artikel/110911-el-drevne-gummigeder-er-en-del-af-losningen-pa-klimakrisen> - 2020 - Boligminister og Klimapartnerskabet for byggeri og anlæg indvier el-gummiged
82. <https://www.theexplorer.no/solutions/mobile-fast-charger-helping-to-electrify-the-construction-industry/> - 2020 – Mobil oplader til elmaskiner på byggepladser markedsført
83. https://www.theexplorer.no/stories/architecture-and-construction/norway-is-greening-the-construction-industry/?qclid=Cj0KCQjw7pKFBhDUARIsAFUoMDZrdyxK-ksL9eG5XYZQDvmYO8Q2rTC-zeYuNoZEzmUOsMvFbiiKjo-aAgz4EALw_wcB - 2021 – Oslo vil være fossilfri på byggepladser i 2030
84. <https://www.constructconnect.com/blog/electric-dreams-will-heavy-construction-equipment-go-electric> - 2019 Producenter af el maskineri til byggepladser, primært små
85. <https://effektivtlandbrug.landbrugnet.dk/artikler/tema/ny-minilaesser-fra-giant-er-helt-elektrisk.aspx> - 2020 - Privat anlægsgartner investerer i støjfri elektrisk minilæsser
86. <https://dozr.com/blog/electric-construction-equipment> - 2020 - Amerikanske maskiner til byggeri – delvis el
87. <https://www.equipmentworld.com/equipment/article/14972807/liebherr-debuts-first-batterypowered-crawler-crane> - 2021 – Liebherr introducerer eldrevet stor bæltekran (250 tons)
88. <https://www.jcb.com/en-gb/campaigns/etech-range-2021> - JCB elektrisk maskinpark til byggeri
89. <https://www.wackerneuson.dk/en/products/zero-emission/> - Wacker Neuson elektrisk maskinpark til byggeri
90. <https://www.theexplorer.no/solutions/zero-emission-construction-machinery/> – 2020 – Norsk maskin producent elektrificerer maskinpark
91. <https://www.theexplorer.no/stories/energy/how-norway-helps-to-commercialise-environment-friendly-energy-technology/> – 2020 – Betonindustri elektrificeres med el-betonmixere
92. <https://www.volvoce.com/danmark/da-dk/entrenoermaskiner-as/about-us/revy/revy2-2017/volvo-ex02/> - 2019 – Volvo introducerer elektrisk maskinpark
93. <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/eldrevne-entrenoermaskiner-styrker-klimaet-og-nedbringer-byggetid?publiseringId=13559755&releaselid=13586842> - 2019 - GSV materieludlejning og Dansk Byggeri bakker op om elektrificering af byggebranchen
94. <https://www.licitationen.dk/article/view/697591/eldrevne-maskiner-styrker-klimaet> - 2020 – Dansk Byggeri støtter op om elektrificering af byggeri
95. <https://bygge-anlaegsavisen.dk/eldrevne-maskiner-er-endnu-ikke-svaret-paa-vores-problemer> - 2020 – Entreprenør satser på energibesparelser og effektivisering frem for elektrificering
96. <http://www.gronteknik.dk/artikel/112547-ncc-tester-elektriske-maskiner> - 2020 – NCC ser forretningsmæssige muligheder og teknologiske udfordringer i elektrificering
97. <https://www.wackerneuson.dk/da/produkter/zero-emission/> - 2021 – eksempler på små maskiner fra Wacker Neuson f.eks gravemaskine, mini dumpere, hjullæssere
98. <https://sites.google.com/site/arbejdsmaskiner/project-definition> - 2020 - Bæredygtige maskiner til byggeri, inklusiv hybrid løsninger
99. <https://www.deere.com/en/loaders/wheel-loaders/large-wheel-loaders/944k-wheel-loader/#viewTabs> – 2020 – 53 ton hjullæsser med diesel/el hybridmotor
100. <https://www.scantruck.dk/komatsu/hb365lc-3-hybrid> - 2020 - 37 ton gravemaskine med diesel/el hybridmotor
101. <https://www.electrive.com/2018/01/24/pon-electrifies-caterpillar-digger-cat-323f/> - 2018 - 25 ton gravemaskine eldrevet
102. <https://im-mining.com/2019/01/30/pon-brings-26-t-battery-electric-excavator-norway-construction-site/> - Stor eldrevne gravemaskine benyttes på norsk byggeplads
103. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2017/nasta-og-sintef-skal-utvikle-utslippsfrie-gravemaskiner/> - Brændselscelle-/batteri hybrid 30 ton gravemaskine i samarbejde mellem NASTA og SINTEF
104. <https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/618135/liebherr-brochure-truck-mixer-ETM-en.pdf> - 2020 - Liebherr elektrisk beton mixer katalog
105. <https://pdf.archiexpo.com/pdf/cifa-spa/truck-mixers-energia/151349-314041.html> - 2020 - CIFA elektrisk beton mixer katalog
106. <https://www.aggbusiness.com/ab9/news/norbetong-rolls-out-electric-powered-drums-concrete-trucks> - 2021 - Norbetong benytter hybrid beton mixere
107. <https://banke.pro/epto-systems/> - 2021 – Elektrohydrauliske systemer til byggeri fra Banke
108. <https://www.hiab.com/en/product-finder/loader-cranes/hiab/accessories/epto> - 2021 – Elektrohydrauliske systemer til byggeri fra Hiab
109. <https://www.gsv.dk/miljoenligt-materiel/> - 2021 – GSV emissionsfrit bygge materiel
110. <https://www.ncc.dk/medier/presserelease/c1484fdb2b3e30af/> - 2020 – NCC elektrificerer maskinpark
111. <http://www.gronteknik.dk/artikel/110765-ny-elektrisk-minilaesser-lofter-lydsvage-og-co2-neutrale-opgaver-i-byen> - 2020 - Anlægsgartner køber elektrisk minilæsser

112. <https://nyetider.nu/blog/slut-med-stoej-paa-byggepladsen/> -2021- stor kran indkøbt TVIS vognmandsforretning
113. <https://www.suncar-hk.com/en/reference-projects/electric-excavator> - 8 tons eldrevet gravemaskine
114. <https://compactequip.com/excavators/the-ultimate-mini-ex-overview-a-comprehensive-analysis-of-the-2021-compact-excavator-market/> - 2021 – Typisk effekt af små entreprenørmaskiner
115. <https://www.jcb.com/en-us/products/excavators> - 2021 - JCB heavy equipment data
116. <http://www.hitachiconstruction.com/products/zx300lc-6/> - 2021 – Data på gravemaskine som elektrificeres i [103]
117. <https://bellona.org/database-emission-free-construction-equipment-by-manufacturer> - 2021 - Emission-free machinery database (market and prototype)
118. <https://www.kk.dk/nyheder/elektriske-anlaegsmaskiner-skal-reducere-stoejgener> - 2019 - Københavns Kommune, Radius Elnet og Nordkysten afprøver for første gang elektriske anlægsmaskiner i Indre By
119. <https://www.kk.dk/nyheder/ud-med-dieselmaskinerne-koebenhavns-kommune-vil-feje-gaderne-paa-el> - 2021 - KK elektrificerer fejemaskine
120. <https://www.kk.dk/nyheder/nu-skal-gummigeden-vaere-groen> - 2019 - Som de første byer i verden går København og Oslo sammen om fælles indkøb af klimavenlige arbejdsmaskiner.
121. <https://finans.dk/erhverv/ECE11671988/koebenhavn-vil-kræve-miljøvenlige-maskiner-paa-byggepladser/?ctxref=ext> - 2019 - Københavns overborgmester ønsker en lovændring, så kommunerne kan kræve, at der bruges miljøvenlige maskiner ved C40 møde i KBH
122. https://www.licitationen.dk/article/view/685522/elmaskiner_er_vejen_frem_for_sjaellandsk_ledningsentreprenor - 2019 Entreprenørfirmaet Nordkysten er gået sammen med Københavns Kommune og Radius Elnet for at afprøve elektriske maskiner i praksis
123. <https://www.riwal.com/danmark/da/ekspertiser/elektriske-lifte> Eksempler på elektriske lifte arbejdshøjde fra 22 til 43 m
124. https://www.autonomie.net/publications/fuel_economy_report.html - 2020 - Input til transportmodeller, klassifikation af diverse køretøjer
125. <https://borsen.dk/sponsoreret/nu-er-der-fart-i-salget-af-gaslastbiler-frode-laursen-investerer-massivt-i-gron-transport> - 2021 - Stort indkøb af gas lastbiler i DK
126. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007116303240> - 2017 - Densitet af hydrogen ved lagring
127. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/fcm01r0.pdf> - 2001 - Hydrogen som brændsel i transport
128. <https://www.engineeringtoolbox.com/> - 2021 – Dataopslag for energi densitet m.m.
129. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/11/f27/fcto_fuel_cells_fact_sheet.pdf - 2015 - Brændselscelle virkningsgrad

Tekniske dialoger er gennemført med følgende:

130. Dansk Infrastruktur, Dansk Industri
131. Materialesektionen, Dansk Industri
132. Wacker Neusson Danmark
133. Blue World Technologies
134. Biofuel Express
135. GSV
136. Århus Universitet Institut for Miljøvidenskab - Atmosfæriske Emissioner
137. Teknik- og Miljøforvaltningen, Byens Udvikling, Center for Bydækkende strategier, Klima og byrum, Københavns Kommune
138. *Mulighed for dialog med vejdirektoratet efter 5. august 2021*
139. Henrik A. Fog A/S
140. SEGES Future Farming
141. SEGES Markteknik
142. New Holland Agriculture
143. Aarhus universitet, Institut for Elektro- og Computerteknologi
144. Gangergaardens Maskinstation
145. Egersund Group
146. Søfartsstyrelsen
147. KNN Energirådgivning
148. Selfa Arctic