



# Høgskulen på Vestlandet

## BAMM4000 - Bacheloroppgave

BAMM4000-O-2023-VÅR-FLOWassign

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	18-05-2023 00:00 CEST	<b>Termin:</b>	2023 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	01-06-2023 14:00 CEST	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave		
<b>Flowkode:</b>	203 BAMM4000 1 O 2023 VÅR		
<b>Intern sensor:</b>	(Anonymisert)		

### Deltaker

<b>Navn:</b>	Eduard Nikolai Helland
<b>Kandidatnr.:</b>	210
<b>HVL-id:</b>	588635@hvl.no

### Informasjon fra deltaker

**Antall ord \*:** 13826

**Egenerklæring \*:** Ja  
**Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt \*:** Ja

### Gruppe

**Gruppenavn:** Enmannsgruppe  
**Gruppenummer:** 16  
**Andre medlemmer i gruppen:** Deltakeren har innlevert i en enkeltmannsgruppe

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \*

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? \*

Nei



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Vurdering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i  
skipsfart

Assessment of Hydrogen and Ammonia as Fuel in  
Shipping

**Edvard Helland**

Høgskulen på Vestlandet  
Bachelor Maritime Management

Veileder: Egil Pedersen  
Innleveringsdato 01.06.2023

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## I. Forord

Bacheloroppgaven representerer mitt 8 semester ved deltidsstudium Maritime Management ved Høgskulen på Vestlandet vedsiden av turnusjobb på sjøen. Denne oppgaven har gitt meg mulighet å fordype meg i hensyn som må tas ved implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart. Arbeidet med utarbeidelsen av oppgaven har vært en spennende og lærerik prosess.

Jeg vil takke veileder for råd og tilbakemeldinger, og jeg vil rette en spesiell takk til min samboer for å være en god støttespiller gjennom hele prosessen. Både gjennom oppmuntrende ord og lese gjennom utkast. Videre vil jeg takke kollegaer, venner og familie for deres støtte og forståelse.

Bacheloroppgaven representerer et stort skritt i min akademiske og faglige utvikling, og jeg håper den kan bidra med noe verdifull innsikt og være til nytte for andre som er interessert i samme tema.

Edvard Helland

Bergen 01.06.2023

## II. Sammendrag

Oppgaven undersøker viktige hensyn som må tas for å kunne implementere hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten, og problemstillingen er dermed; «*hvilke hensyn må tas ved implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten?*». For å besvare denne problemstillingen er det også utarbeidet forskningsspørsmål som går på hvordan det maritime lovverket vil påvirke implementeringen, hvilke sikkerhetsaspekter som må vurderes, teknologiske utviklinger, og klima- og miljøpåvirkninger.

Alternative drivstoff har fått stor interesse de siste årene, og det finnes mye informasjon og forskning. Gjennom en litteraturstudie benytter oppgaven informasjonen som allerede er tilgjengelig til å svare på forskningsspørsmålene, og dermed også problemstillingen. Målet med oppgaven er å belyse hvilke hensyn som må tas ved en slik implementering.

Grunnet muligheten for at hydrogen og ammoniakk kan være nullutslippsdrivstoff er det forståelig at bransjen satser på dette. Imidlertid er det flere utfordringer som må tas hensyn til for at implementeringen av hydrogen og ammoniakk skal være aktuell i stor skala. Et eksempel på dette er at hydrogen og ammoniakk ikke er energikilder, men energibærere. Enkelt forklart vil det si at de er tilført energi for å lage energi, noe som gir et minus i totalregnestykket.

Resultatet av oppgaven kan bidra til en bedre forståelse av noen av hensynene som må tas i forbindelse med implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart, med fokus på maritimt lovverk, sikkerhetsaspekter, teknologiske utfordringer og de viktigste klima- og miljøpåvirkningene. I og med at oppgaven tar for seg disse temaene gir det også et innblikk i hva som vil være mulighetene og begrensningene ved hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart.

## Innholdsfortegnelse

<b>I. FORORD</b> .....	<b>2</b>
<b>II. SAMMENDRAG</b> .....	<b>3</b>
<b>III. TERMINOLOGI</b> .....	<b>6</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>9</b>
1.1 PROBLEMSTILLING.....	10
1.2. FORSKNINGSSPØRSMÅL.....	11
1.3. AVGRENSNING.....	11
1.4. DISPOSISJON.....	11
<b>2. KUNNSKAPSGRUNNLAG</b> .....	<b>12</b>
2.1. HYDROGEN.....	12
2.2. AMMONIAKK.....	14
2.3. MARITIMT LOVVERK OG SIKKERHETSASPEKT.....	16
2.4. TEKNOLOGISKE UTFORDRINGER.....	18
2.5. KLIMA OG MILJØPÅVIRKNING.....	19
2.6. MOTSTAND MOT ENDRING.....	20
<b>3. METODE</b> .....	<b>21</b>
3.1. LITTERATURSTUDIE.....	21
3.2. EVALUERING AV METODE.....	23
3.2.1. Fordeler og ulemper.....	24
3.2.2. Validitet og reliabilitet.....	24
<b>4. RESULTAT</b> .....	<b>26</b>
4.1. MARITIMT LOVVERK OG SIKKERHETSASPEKT.....	26
4.1.1. Hydrogen og ammoniakk som last.....	26
4.1.2. Klaseselskap.....	27
4.1.3. IMO.....	27
4.1.4. LNG.....	28
4.1.5. IGF Koden og IMO.....	28
4.1.6. Erfaringer med regelverk for hydrogen og ammoniakk.....	31
4.1.7. Sikkerhet.....	33
4.1.8. EU.....	34
4.1.9. Særpreg.....	34
4.2. TEKNOLOGISKE UTFORDRINGER.....	35
4.2.1. Retrofitting.....	36
4.2.2. Spesifikasjoner for ammoniakk.....	38
4.2.3. Spesifikasjoner for hydrogen.....	39
4.2.4. Produksjon og infrastruktur.....	40
4.3. KLIMA- OG MILJØPÅVIRKNING.....	41

<b>5. DISKUSJON .....</b>	<b>44</b>
5.1. MARITIMT LOVVERK OG SIKKERHETSASPEKT .....	44
5.2. TEKNOLOGISKE MULIGHETER OG UTFORDRINGER .....	45
5.3. KLIMA- OG MILJØPÅVIRKNING .....	47
5.4. ANDRE REFLEKSJONER .....	48
5.4.1. <i>Refleksjon rundt rapportene</i> .....	49
<b>6. KONKLUDERENDE MERKNADER .....</b>	<b>50</b>
6.1. ANBEFALING FOR VIDERE ARBEID .....	51
<b>REFERANSELISTE .....</b>	<b>52</b>

## Figurliste

FIGUR 1 – PRODUKSJONSPROSESS AV GRØNT OG BLÅTT HYDROGEN .....	14
FIGUR 2 – PROSEDYREN FOR "ALTERNATIV DESIGN IHT MSC.1/CIRC 1455).....	29
FIGUR 3 – PROSEDYREN FOR "ALTERNATIV DESIGN IHT MSC.1/CIRC 1455).....	29
FIGUR 4 – SJØFARTSDIREKTORATETS TOLKNING AV PROSESSEN FOR "ALTERNATIVE DESIGN" .....	30
FIGUR 5 – INSTALLERING AV BRENSSELCELLE I HENHOLD TIL MIDLERTIDIGE RETNINGSLINJER FRA MSC 105. ....	31
FIGUR 6 – DNV'S ESTIMERTE MODNINGSTID FOR TEKNOLOGI OG REGELVERK BASERT PÅ EU KOMMISJONENS TRL ....	32
FIGUR 7 – POTENSIELL UTSLIPPSREDUKSJON AV GHG MED TEKNOLOGIER SOM KAN BIDRA TIL AVKARBONISERING AV SKIPSFARTEN.....	35
FIGUR 8 – PLANLAGT SEILINGSRUTE FOR GRIEG STAR SIN L-KLASSE MED AMMONIAKK SOM DRIVSTOFF HVOR DET MÅ BUNKRES I HVER HAVN, BASERT PÅ 10-15 KNOP (FIGUR ER REKONSTRUERT FRA RAPPORTEN .....	36
FIGUR 9 – ILUSTRASJON AV WÄRTSILA SITT ARMS SYSTEM.....	37
FIGUR 10 – AMMONIAKK SETT OPP MOT KONKURRERENDE DRIVSTOFF .....	41
FIGUR 11 – PÅVIRKNINGSGRAD AV DE FORSKJELLIGE ARTENE .....	43

### III. Terminologi

ABS	American Bureau of Shipping
AEA	Ammonia Energy Association
ARMS	Ammonia Release and Mitigation System
BV	Bureau Veritas
CCC	Sub-committee on Carriage of Cargoes and Containers
CCS	Carbon Capture and Storage
CGA	Compressed Gas Association
CII	Carbon Intensity Indicator
CO <sub>2</sub>	Karbondioksid
COLREG	Convention of the International Regulations for Preventing Collision at Sea
EU	European Union
ETS	Emission Trading System
DNV	Det Norske Veritas
DWT	DeadWeight Tonnage
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Energy Efficiency eXisting Ship Index
FC	Fuel Cell
FPR	Fuel Prep Room
GHG	Green House Gas(es)
GHS	Globally Harmonized System of classification and labelling of chemicals



GWP	Global Warming Potential
H	Hydrogenatom
H <sub>2</sub> O	Vann
HSFO	Heavy Sulphur Fuel Oil
IBC code	International Code for the Construction and Equipment of ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk
ICE	Internal Combustion Engine
IEC	International Electrotechnical Commission
IGC code	The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk
IGF code	The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels
ISO	International Organization for Standardization
IMDG code	International Maritime Dangerous Goods Code
IMO	International Maritime Organization
ISM code	International Safety Management Code
LNG	Liquefied Natural Gas
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MGO	Marine Gas Oil
MSC	Maritime Safety Committee
MWh	Megawatt-hour
NH <sub>3</sub>	Ammoniakk
NIS	Norsk internasjonalt skipsregister

NO <sub>x</sub>	Nitrogenoksid
N <sub>2</sub> O	Dinitrogenoksid/lystgass
NSD	Norsk Senter for forskningsData
PPE	Personal Protective Equipment
RINA	Registro Italiano Navale
SCR	Selective Catalytic Reducton
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
SOLAS	Safety of Life at Sea
SO <sub>x</sub>	Sulphur Oxides
STCW	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
TCS	Tank Connection Space
TRL	Technological Readiness Level
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea
VLSFO	Very Low Sulphur Oil

## 1. Innledning

Skipsfart er en positiv og betydningsfull bidragsyter mot bærekraftig utvikling, og med den mest miljøvennlige og energieffektive formen for transport av store masser står skipsfart for om lag 90% av den globale handelen. Men selv om dette er den mest miljøvennlige transportformen, så gjør det økte fraktevolumet at CO<sub>2</sub> utslippene øker i takt, og på grunn av omfanget representerer næringen også flere klima- og miljømessige utfordringer. Ut fra globale CO<sub>2</sub> utslipp står internasjonal skipsfart for om lag 3% av verdens klimagass-utslipp, noe som kan høres lite ut, men totalt tilsvarer dette mange millioner tonn CO<sub>2</sub>. Dermed har skipsfart fortsatt et tydelig forbedringspotensial, og det jobbes kontinuerlig med å redusere utslipp og andre skadevirkninger fra skipsfarten både i Norge og internasjonalt (Bergens rederiforening , 2023); (Sjøfartsdirektoratet, 2023); (IMO (12), u.d.).

For å klare å kutte nok utslipp i tråd med IMOs målsetting bør øynene rettes mot alternative drivstoff til fossilt brensel. Her er hydrogen og ammoniakk to typer drivstoff med lave utslipp som muligens kan bli gode bidragsytere til reduksjon av store mengder utslipp i skipsfarten. Men det er ikke «bare» å skifte drivstoff uten videre. En implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff vil kreve store endringer i shippingbransjen, som blant annet vil inneholde endring i lovverk og reguleringer, utvikling av nye teknologier, og ombygging av de eksisterende flåtene (Øystese (1), 2020); (Øystese (2), 2020).

Denne litteraturstudien undersøker hvilke hensyn som bør tas ved implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten, og fokuset vil blant annet være på maritimt lovverk, sikkerhet, teknologiske utfordringer, og klima- og miljøpåvirkning. Ut fra litteraturen vil en kunne identifisere potensielle utfordringer ved de ulike fokusområdene ved en slik implementering.

Formålet med studien er å samle informasjon om hydrogen og ammoniakk som drivstoff for skipsfarten. Håpet er at oppgaven kan bidra med oppsummering av de viktigste funnene som foreligger i eksisterende litteratur, og eventuelt komme med anbefaling for videre forskning. De utvalgte rapportene for litteraturstudiet varierer i omfang og innhold og har naturligvis forskjeller, men også flere likheter.

## 1.1 Problemstilling

Bakgrunnen for valg av problemstillingen var primært interessen for hvordan en kan gjøre skipsfart mer bærekraftig med hensyn til klima og miljø, og grunnet mye fokus i media var hydrogen og ammoniakk to spennende alternative drivstoff som jeg ønsket å studere nærmere.

Oppgaven er basert på en litteraturstudie, og det er problemstillingen som definerer utgangspunktet da den avgrenser og konkretiserer temaet. Jeg har vært oppmerksom på, og åpen for at innsikten og kunnskapen jeg får gjennom utarbeidelsen av bacheloroppgaven kan medføre at problemstillingen både utvikles og endres underveis. Problemstillingen var i utgangspunktet:

*“Hva kreves for en realistisk overgang til hydrogen og ammoniakk i skipsfart i forhold til blant annet maritimt lovverk, lovverk for import/eksport, sikkerhet, økonomi og ombygging av eksisterende skip og installering i nybygg? Dette omfatter, men er ikke begrenset til:*

- *Sammenligning av hydrogen/ammoniakk med marint fossilt drivstoff.*
- *Hvordan håndtere hydrogen/ammoniakk.*
- *Hvordan mitigere brannfaren”.*

Underveis i prosessen fant jeg det nødvendig med konkretisering og forbedring fordi problemstillingen ble for bred og utfordrende. Problemstillingen omformulert til:

*«Hvilke hensyn må tas ved implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart?»*

## 1.2. Forskningsspørsmål

Som støtte til å svare på problemstillingen er det også utarbeidet noen forskningsspørsmål som skal hjelpe og lede oppgaven på riktig spor for å forsikre at problemstillingen blir besvart: Forskningsspørsmålene lyder som følger:

1. Hvordan vil maritimt lovverk påvirke implementeringen av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten, og hvilke sikkerhetsaspekter må vurderes?
2. Hvilke teknologiske utfordringer er knyttet til bruk av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart?
3. Hva er de viktigste klima- og miljøpåvirkningene ved bruk av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart?

## 1.3. Avgrensning

På bakgrunn av tidsbegrensning fant jeg det nødvendig å begrense omfanget av oppgaven, slik at den kunne fullføres innenfor tilgjengelig tid og ressurser. Oppgaven avgrenses mot innholdet i forskningsspørsmålene. Jeg ser dermed blant annet bort fra hvordan lovverket for import-/eksportlovverk vil påvirkes, andre fagområder som for eksempel marinteknisk synspunkt, og det økonomiske aspektet med kostnader og investeringer grunnet mye uklarhet enda. Oppgaven skiller ikke på ulike typer skip. Siden metoden er litteraturstudie, avgrenser dette også naturlig til å kun bruke det som er skrevet fra før, med mindre mulighet for å hente inn nye synspunkt underveis.

## 1.4. Disposisjon

Ved kunnskapsgrunnlaget vil det teoretiske fokuset til oppgaven bli forklart. Deretter er hovedformålet til metodekapittelet å reflektere rundt valgene som er gjort underveis i oppgaven, og hvordan dette påvirker datainnsamlingen og de innsamlede dataene. Det er gjort rede for valg av metode, fremgangsmåte og evaluering av metode med fordeler, ulemper og kritikk. Videre i resultatkapittelet presenteres en oppsummering av hovedfunnene. I diskusjonskapittelet er egne refleksjoner gitt. Avslutningsvis kommer jeg med en konkluderende merknader. For å forsikre meg om en rød-tråd gjennom oppgaven vil forskningsspørsmålene bli brukt som struktur i de kommende kapitlene.

## 2. Kunnskapsgrunnlag

Kunnskapsgrunnlagkapittelet gir leseren et innblikk i temaet som er valgt ved presentasjon av eksisterende teori, og definerer begreper og deres logiske relasjon i problemstillingen. Ved litteratursøk ble det dermed innhentet et overblikk over hva litteraturen sier noe om. Nøkkelordene som ble anvendt ved litteratursøkene var blant annet; hydrogen, ammoniakk, drivstoff og skipsfart - både på norsk og på engelsk, mer om dette i kapittel 3.

Innledningsvis vil teori om hydrogen og ammoniakk som alternative drivstoff presenteres, med blant annet egenskaper, produksjon, lagring og anvendelse. Videre presenteres teori tilhørende forskningsspørsmålene slik at leseren har et klart bilde av kunnskapsgrunnlaget.

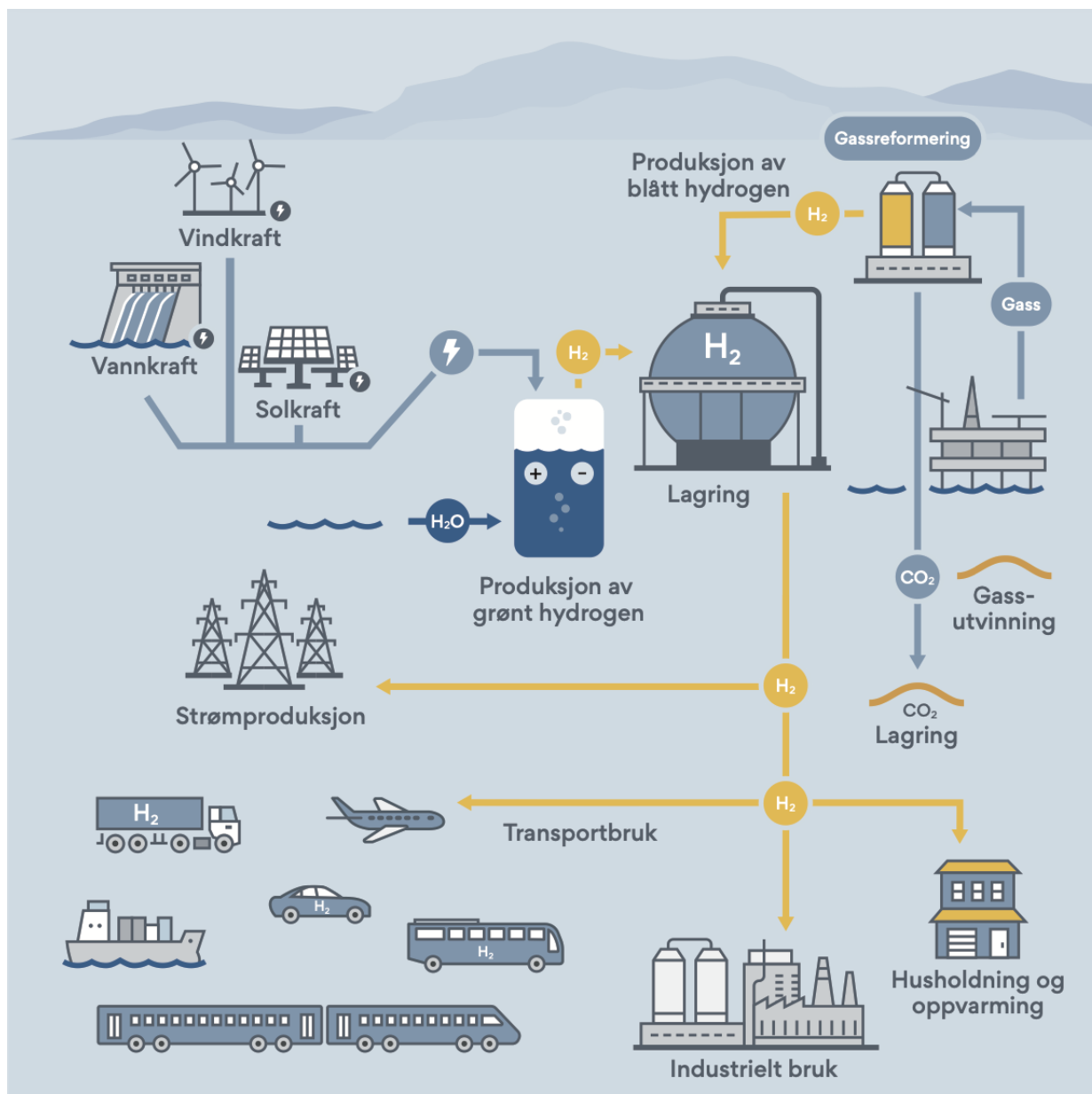
### 2.1. Hydrogen

Hydrogen er en veldig aktuell energibærer og kan potensielt bidra til store europeiske klimakutt. I det periodiske systemet har Hydrogen (H) atomnummer 1 og er det letteste og minste av grunnstoffene. Det at hydrogen er en energibærer og ikke en energikilde, betyr at det kan benyttes til å holde på energi for senere bruk eller lagring (Kofstad, Pedersen, & Kaland, 2023); (Egge, 2020). Ifølge Knut Hofstad er hydrogendrivstoff: «*drivstoff som inneholder hydrogen i enten flytende form (væske) eller som gass under trykk*» (Hofstad, Hydrogen drivstoff, 2020). Grunnen til at dette drivstoffet påstås å være utslippsfritt, er fordi at når det anvendes så bindes det til oksygen og danner vann ( $H_2O$ ) som hevdes å ikke ha miljømessig betydning. Varmeenergi blir utviklet når hydrogenet forbrennes når det anvendes som drivstoff, alternativt kan hydrogenet bli brukt i «*en elektrokjemisk prosess i brenselceller hvorved det gjennomgår en energiomforming til elektrisk energi og varmeenergi*» (Hofstad, Hydrogen drivstoff, 2020).

Som nevnt er hydrogen det minste og letteste grunnstoffet, og har høyt energiinnhold pr MJ/kg, men det har derimot lite energiinnhold pr MJ/L (volum), som vil si at en må frakte **mye**. Dette er fordi det vil kreve enorme mengder for å få ut tilsvarende energi som for eksempel fossilt brensel, som er mye mer energieffektivt. Hydrogen har med dette lav energitetthet pr MJ/L, og blir derfor ofte lagret som en komprimert gass i tank med trykk, eller nedkjølt til flytende form. Lagringen, og dermed også transporten, vil kreve tanker/containere som på grunn av sin utforming veier mye, og dette må tas i betraktning. Komprimert hydrogen kan også transporteres via rørledninger (Hofstad, 2020); (Øystese (1), 2020). Det er også viktig å være klar over at både produksjon og transport vil kreve infrastruktur som veinett, jernbane, rørnett, tanker/containere på skip, for at distribueringen skal gå rundt.

Hydrogen kan fremstilles fra ulike metoder, for eksempel fra fossilt, vannkraft og kjernekraft, sol og vind, ved hjelp av blant annet gass, kull og biomasse, og elektrisk generering. Dette vil igjen føre til reformering av metan, gassifisering, eller vann/elektrolyse alt ettersom hvilken metode en bruker, som gir hydrogen. Hydrogenet kan deretter blant annet brukes til konvertering til ammoniakk, eller bare direkte som bruk av hydrogen (DNV (), 2022). Med sistnevnte alternativ kan hydrogendrivstoff enten brukes «*direkte i en forbrenningsmotor eller indirekte ved å generere elektrisk energi i en brenselcelle for bruk i en elektromotor*» (Hofstad, Hydrogen drivstoff, 2020).

Det finnes ulike typer hydrogen å produsere, blant annet; grå, blå, og grønt. Grått hydrogen produseres fra fossile brensler som: kull, olje eller naturgass, og her er hydrogenet utslippsfritt, men produksjonen er skitten. Blått hydrogen produseres også fra fossile brensler, men her benyttes Carbon Capture and Storage (CCS) som gjør produksjonen klimavennlig. Her fanges karbondioksid (CO<sub>2</sub>) fra produksjonen, og deretter kan den transporteres tilbake for lagring der den kom ifra, på kontinentalsykkelen under havbunnen. Denne metoden er imidlertid fortsatt under utvikling. Grønt hydrogen produseres derimot fra fornybare energi, fra sol-, vind-, eller vannkraft, ved hjelp av elektrolyse, noe som gjør at denne produksjonen kan bli 100% utslippsfri. Selv om disse «typene» hydrogen har ulik produksjonsprosess kan de benyttes til de samme formålene. Fra Figur 1, kan en se hvordan grønt, - (til venstre i figuren) og blått, - (til høyre i figuren) hydrogen produseres (Norsk Klimastiftelse, 2021); (Egge, 2020).



Figur 1 – Produksjonsprosess av grønt og blått hydrogen – (Norsk klimastiftelse, 2021)

## 2.2. Ammoniakk

Ifølge prosjektleder for Grønn skipsfart i Norsk klimastiftelse, Kirsten Øystese, kan ammoniakk kutte store utslipp i skipsfart. Ammoniakk er hydrogen i bundet form, og det er med dette en kjemisk forbindelse (NH<sub>3</sub>) som består av tre hydrogenatomer (H) og ett nitrogenatom (N), og er dermed karbonfritt. Den kjemiske forbindelsen er fargeløs og giftig med en stikkende lukt.



Siden ammoniakk har et høyt innhold av hydrogen, er den også egnet som energibærer. Både hydrogen og ammoniakk er dermed energibærere, ikke energikilder. I forhold til hydrogen er ammoniakk mindre energikrevende å gjøre flytende, og det har høyere energitetthet. Ammoniakk har dermed ikke samme behov som hydrogen med nødvendigheten for oppbevaring i like store og tunge tanker, dette utgjør i sum at energitettheten er 50-100 prosent høyere for ammoniakk enn for hydrogen. Men sett opp mot fossile brensel så krever fortsatt ammoniakk større plass for lagring, for eksempel tre ganger så mye plass som dieselloleje (Pedersen B. , 2023); (Hofstad, 2023); (Øystese (1), 2020); (Øystese (2), 2020).

Det er flere måter å benytte ammoniakk, det kan for eksempel brukes som flytende drivstoff i en forbrenningsmotor, eller i brenselceller enten direkte eller indirekte. Ammoniakk som drivstoff er karbonnøytralt, men slipper derimot ut nitrogenoksid (NO<sub>x</sub>) ved bruk i forbrenningsmotor. Pr dags dato brukes ammoniakk i hovedsak som råstoff i gjødselproduksjon og andre kjemiske prosesser, men det er og under utvikling for å brukes som drivstoff for blant annet skip. For skipsfart vil dette være et gunstig drivstoff fordi at over lange distanser kreves det drivstoff med høy energitetthet, noe som gjør ammoniakk mer egnet enn blant annet trykksatt hydrogen og batteri (Hofstad, 2023); (Øystese (1), 2020); (Øystese (2), 2020).

På samme måte som med hydrogen er det produksjonsprosessen som vil avgjøre om sluttproduktet kan kalles utslippsfritt. Den mest utbredte typen i dag er grå ammoniakk som er produsert fra naturgass, og har dermed ikke utslippsfri produksjon. Blå ammoniakk er produsert fra naturgass, men med CCS, som dermed gjør produksjonen utslippsfri. Mens grønn ammoniakk blir produsert fra grønt hydrogen, som igjen kommer fra fornybar energi, og vil dermed ha en 100% ren produksjon uten utslipp (Hofstad, 2023). Grønn ammoniakk er dermed den som vil være foretrukket å benyttes som drivstoff til skipsfart. Både grønn ammoniakk og grønn hydrogen vil med dette være avhengig av lave strømpriser for at drivstofftypene skal være konkurransedyktig på pris (Øystese (1), 2020); (Øystese (2), 2020).

### 2.3. Maritimt lovverk og sikkerhetsaspekt

Når en ser på det maritime juridiske rammeverket vil det variere hvor mange lover, forskrifter og konvensjoner skip må følge ut fra hvilket flagg skipet har, hvilken last som bæres, og operasjonsområde; om en kun seiler norsk farvann, eller dersom en også seiler i internasjonalt farvann. Skip som operer i Norge må blant annet følge:

- Sjøloven
  - Rettsregler som angår skipsfart og sjøveistransport (Lovdata , 2023).
- Norsk internasjonalt skipsregister (NIS)
  - Et register for norsk flaggede fartøy som følger norsk lov også i internasjonalt farvann (Rabbevåg, 2020).
- Safety of Life at Sea (SOLAS)
  - En internasjonal konvensjon som setter krav for sikkerheten til fartøy; konstruksjon og utstyr (IMO (11), u.d.).
- International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)
  - En internasjonal konvensjon som setter krav til utslipp fra skip og består av seks annexer for å forhindre marin forurensning fra skip; annex 1: olje, annex 2: giftige væsker fraktet i bulk (for eksempel Ammoniakk), annex 3: skadelige substanser fraktet i pakket form, annex 4: kloakk, annex 5: avfall, annex 6 luftforurensning (SOx og NOx) (IMO (10), u.d.).
- International Safety Management Code (ISM-koden)
  - En kode laget med formål om å tilrettelegge for sikker drift av fartøy til sjøs; både ved hindring av personskader eller tap av menneskeliv, og unngå skade på miljøet (IMO (9), u.d.).
- International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW konvensjonen)
  - Internasjonal konvensjon for utdanning og opplæring, med hensikt å sette krav til kompetansen om bord, og dermed forsikre at det er tilstrekkelig kompetanse i enhver stilling om bord til enhver tid (IMO (8), u.d.).
- International Maritime Organization (IMO)
  - En FN organisasjon for regulering av den internasjonale skipsfarten (FN, 2023).

- The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF code)
  - Setter krav til maskineri, utstyr og systemer for å minimere risikoen for skip, mannskap og miljø for drivstoff med lavt flammepunkt (under 60 grader celsius) (IMO (2), 2023).
- International Code for the Construction and Equipment of ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC code)
  - Internasjonal kode for sikker frakt av farlige kjemikalier i bulk (IMO (3), u.d.).
- The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC – code)
  - Internasjonal kode for sikker frakt av flytende gasser i bulk (IMO (4), u.d.).
- United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)
  - Internasjonal havrettskonvensjon, beskriver kyststaters rettigheter for sine havområder (IMO (5), u.d.).
- International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG-koden)
  - Internasjonal kode med reguleringer for frakt av farlig last (IMO(6), u.d.).
- Convention of the international Regulations for Preventing Collision at Sea (COLREG)
  - Sjøveisreglene (IMO (7), u.d.)

Hvor omfattende regelverk et skip må følge vil også avhenge av DeadWeight Tonnage (DWT)/bruttotonnasje, skipstype, og type last. Et skip må også i henhold til SOLAS kap. II-1 Part A1, regulation 3.1 være godkjent av et classeselskap for å få lov til å seile. Slikt selskap skal sørge for beskyttelse og sikkerhet for skip og offshoreinstallasjoner. Det er skipseierne og operatørene som er ansvarlig for å sikre at skipene deres samsvarer med oppdaterte regelverk; som inkluderer både lover, regler, forskrifter og konvensjoner (IMO rules, u.d.); (EMSA, u.d.). Maritimt lovverk er i oppgaven slått sammen med sikkerhetsaspekt fordi lovverkene er for å sikre sikkerheten. Ved implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff vil det være nødvendig at regelverk tilsvarende dagens høye standard på nåværende fossilt drivstoff må være på plass. Sikkerhetsaspektet vil og være en viktig del av en slik implementering. Det må blant annet tas hensyn til sikkerhet ved lagring, brann- og eksplosjonsfare, personellsikkerhet (opplæring og sertifisering av mannskap), infrastruktur og operasjonell håndtering.

## 2.4. Teknologiske utfordringer

Den første dieselmotoren ble oppfunnet av Rudolf Diesel. Han fikk godkjent sitt første patent i 1892, og frem til 1897 ble den klassiske dieselmotoren utviklet. Mye av teknologien som i dag brukes for drivstoff er dermed basert på over 120+ år gammel teknologi, noe som kan tyde på hvor nødvendig det er å tenke alternativt. Men det kan og være positivt fordi en har lang erfaring, og kan dermed lære av feilene og eventuelt komme farer i forkjøpet ved implementering av nye drivstoff (Sarsten & Ellingsdalen, 2021).

Endel av det som vil være teknologiske utfordringer er allerede presentert i delkapittel 2.1 og 2.2 som går på egenskapene til bruk av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten, energitetthet, lagring, håndtering og transport. Delkapittel 2.3 om maritimt lovverk og sikkerhetsaspekt vil på en måte også være teknologiske utfordringer ut fra hvordan lovverket vil se ut. Andre aspekter som må tas hensyn til er infrastruktur, lagring og distribusjon, og ikke minst vurdering av ombygging av eksisterende flåte, design av nybygg og tilpasning av motorer, som må til for å muliggjøre overgangen.

Dagens teknologi og drivstoff er kjent for sjøfolk, både diesel, Liquefied Natural Gas (LNG) og elektrisk, men hydrogen og ammoniakk er et nytt fagfelt. Det er dermed nødvendig at det bygges opp kompetanse for å ivareta alle de andre nevnte sikkerhetsaspektene, spesielt viktig vil det være med personellsikkerhet for mannskapet som skal operere nærmest «faren». Hydrogen er for eksempel luktfri, fargeløs, eksplosjons- og brannfarlig, men ikke giftig. Mens ammoniakk er en giftig, fargeløs, eksplosjons- og brannfarlig- gass med stikkende lukt, noe som gjør at det er vel så viktig å få på plass regelverk både for lagring, og for håndtering gjennom hele verdikjeden og ombord på skip. Maritim industri har derimot allerede erfaring med ammoniakk som laster på skip, her vil det derfor være mulig å anvende noe av dette regelverket for mer effektiv implementering av bruken som drivstoff. Sikkerheshåndbok for både hydrogen og ammoniakk, og klasseregler for ammoniakk for drivstoff er også publisert, og er dermed mulig å benytte ved utforming av nytt regelverk, dette vil jeg se nærmere på i resultatkapittelet. Teknologiske utfordringer vil med dette være å få på plass alt nødvendig regelverk med tanke på sikkerhet for alle deler av verdikjeden, for

å overkomme utfordringene hydrogen og ammoniakk medfører (Hand, 2023); (Equinor, 2022); (Øystese (3), 2020); (Øystese (2), 2020).

## 2.5. Klima og miljøpåvirkning

Ved klima og -miljøpåvirkning vil det «grønne skiftet», eller en grønn omstilling være en naturlig introduksjon. Det grønne skiftet handler ifølge Regjeringen om å få til en omstilling til «*et samfunn hvor vekst og utvikling skjer innenfor naturens tålegrenser*» (Regjeringen, 2021), hvor en har «*mindre samlet miljøpåvirkning og betydelig lave klimautslipp*» (NHO, u.d.). Den grønne omstillingen omfatter ikke bare Norge, men globalt, og selvsagt også skipsfarten. For at den grønne omstillingen for skipsfarten skal bli vellykket, vil det være avgjørende at hele næringen er dedikert, både; rederier, verft, og utstyers- og tjenesteleverandører (Regjeringen, 2022).

Selv om skipsfarten er den mest miljøvennlige transportmetoden så må utslippene ned, både globalt og lokalt. I 2020 kom «Sulphur Cap», hvor grensen på svovel til drivstoff ble redusert til 0,5%. Dette gjorde at skip som tidligere kunne seile på Heavy Sulphur Fuel Oil (HSFO), enten måtte installere scrubbere, eller gå over på Very Low Sulphur Oil (VLSFO) for å møte «Sulphur Cap 2020» (DNV (1), 2020). FNs sjøfartsorganisasjon – IMO, har en ambisjon om at de totale drivhusgass utslippene fra internasjonal skipsfart minst må halveres innen 2050, og videre en ambisjon om 70% reduksjon av CO<sub>2</sub> «per transport work», sammenlignet med 2008 nivå (Øystese (1), 2020); (IMO, u.d.). Internasjonal luftfart-, og skipsfart er de eneste næringene som ikke er inkludert i Parisavtalen, hvor hovedmålet er å holde den globale oppvarmingen under 2 grader, og helst 1,5 grad. FN' sitt klimapanel sier og at for at det skal være en sjanse til å begrense den globale oppvarmingen, og holde den under 2 grader, må utslippene «*halveres frem mot 2030 og nå null rundt 2050*». Grunnen til at internasjonal luftfart- og skipsfart ikke er inkludert i denne avtalen er fordi ingen land har ansvar for å redusere utslipp fra skip som seiler mellom forskjellige land. Men prosjektleder for Grønn skipsfart i Norsk klimastiftelse, Kirsten Øystese mener vi ikke kan akseptere denne ambisjonen når vi allerede i dag kan se at det ikke vil være tilstrekkelig. En avkarbonisering av skipsfarten er en stor oppgave, men hun mener ambisjonsnivået må heves, og tempoet i omstillingen må opp (Buan, 2022); (Øystese (1), 2020). Dette er en side av saken, her vil det være andre som mener at klimautslippene til skipsfarten er uvesentlig i forhold til utslipp av

NO<sub>x</sub> og Svoveloksider (SO<sub>x</sub>) som forurensner luften. Alternative drivstoff må komme på banen og det må testes ut om dette kan være mulige løsninger for å fremskynde utslippsreduksjonene.

Skipsfarten har fra 1. januar 2023 fått introdusert nye/reviderte måle-indikatorer for karbonintensitet; Carbon Intensity Indicator (CII), og energieffektivitetsindekser; Energy Efficiency eXisting Ship Index (EEXI), Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), og Energy Efficiency Design Index (EEDI). Dette er verktøy som skal brukes til å både måle og vurdere energieffektiviteten og klimapåvirkningen som skipsfart har, og skal brukes til å redusere klimagassutslipp fra skip. I tillegg til disse, ble også Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) Part III obligatorisk fra 1. Januar 2023, som er en fartøyspesifikk plan for å forbedre energieffektiviteten til et skip. De nevnte indikatorene er introdusert som et bidrag for å klare å nå IMO sitt mål om utslippskutt innen 2050, og ambisjonen om nullutslipp, og vil føre til at flere rederier må gjøre tiltak for å få en god score på disse indeksene. Dette kan eksempel være at rederier må bygge om flåten til å kunne seile på alternativ drivstoff, eller bestille nye skip. Fra 2024 vil dataene som skipene har samlet med årlig rapportering av karbonintensitet (CII) gi skipet en karakter fra A-E. Rederiene må også legge frem planer (SEEMP) for «*hvordan energieffektiviteten gradvis skal bli bedre i takt med skjerpede krav*» (Sjøfartsdirektoratet, 2023).

## 2.6. Motstand mot endring

Ved en slik implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart som er nytt og ukjent, vil det naturligvis **kunne** føre til motstand mot endring. Dette er grunnet den generelle tanken enkelte har om frykten for det ukjente, hvor en går fra en sikker og gjerne komfortabel situasjon, til en tilstand preget av usikkerhet (Thorsvik, 2016). Dette vil være spesielt aktuelt for skipsfarten som i stor grad benytter seg av tradisjonelle metoder, som gjør at bransjen er seig å endre. En implementering av ny drivstoffteknologi kan føre med seg mye usikkerhet grunnet parallell utvikling av teknologi og regelverk, og kan dermed by på utfordringer for å få enkelte rederi med på laget. Det er dermed viktig å ta hensyn til dette for å få til en vellykket implementering.

Etter å ha gjennomgått relevant kunnskapsgrunnlag, gir dette et godt fundament for leseren til det som kommer senere i resultat og diskusjon. I det påfølgende kapittelet vil metoden for bacheloroppgaven bli beskrevet.

### 3. Metode

Ved utarbeidelse av en bacheloroppgave er det flere valg som må tas, problemstillingen er sammen med valg av metode to av de viktigste valgene en tar underveis som former oppgaven. Ved metodeteorien av oppgaven vil jeg reflektere rundt hvordan valgene jeg har tatt underveis kan ha påvirket dataene jeg sitter igjen med. I dette kapitlet vil jeg presentere valget mitt innen forskningsdesign for å besvare problemstillingen, fordeler og ulemper, og kritikk til «metoden».

#### 3.1. Litteraturstudie

Metodene som er mest omtalt er kvalitativ og kvantitativ metode. Kvalitativ metode kan for eksempel være intervju hvor en analyserer innsamlet data (empiri) som er ikke-tallfestbare, og kvantitativ metode kan for eksempel være spørreundersøkelse hvor en analyserer mål- og verifiserbare tall, som er tellbare data. Jeg har derimot valgt å utføre oppgaven min som en litteraturstudie (Larsen, 2017). En litteraturstudie kan sees på som en kvalitativ tilnærming av metode fordi data som ikke er tallfestet skal undersøkes og analyseres. Dette kan gi en dypere forståelse av en problemstilling innen et tema ved hjelp av eksisterende litteratur, ikke fra et intervju eller observasjonsstudium. Ved litteraturstudie er det litteraturen som studeres, altså det som er undersøkt og skrevet om tidligere, rundt en problemstilling eller et tema. Det omfatter allerede eksisterende kunnskap som er presentert i rapporter og artikler, og hentes ut ved å søke på nett og i databaser. Kunnskapen systematiseres, det vil si at den søkes etter, så blir den samlet inn, videre blir den vurdert og til slutt sammenfattet (Støren, 2013, ss. 16-17). Jeg definerer litteratur i denne oppgaven som eksisterende tekst fra artikler og rapporter på nett.

Hensikten med litteraturstudium er å bygge et grunnlag for å kunne uttale seg om et spesifikt tema, som i dette tilfelle er vurdering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart (Persson, 2021, s. 14); (Støren, 2013, s. 16). Til forskjell fra kvalitativ metode med intervju og kvantitativ metode med spørreskjema så bruker et litteraturstudie litteraturen en finner som datamateriale. Dermed er det søketreffene med artiklene og rapportene en finner som blir selve «datainnsamlingen» som skal analyseres og presenteres i resultatdelen, som igjen skal diskuteres opp mot problemstillingen (Pedersen & Reidunsdatter, 2018).

Selve prosessen begynte dermed med å velge ut hvilke dokumenter/rapporter som var nødvendige å inkludere, og det er gjort litteratursøk i databaser som: Research gate, EBSCO host, Google Scholar, og Google, hvor nøkkelordene i problemstillingen ble brukt som søkeord: hydrogen, ammoniakk, drivstoff og skipsfart ble anvendt på norsk og engelsk. Kombinerte søk ble også forsøkt brukt for å begrense søkene, som for eksempel, *vessel fuel AND hydrogen AND ammonia*, *vessel fuel AND hydrogen OR ammonia*. I stedet for stikkordet vessel fuel anvendtes også *ship*, *vessel*, *shipping*, og *maritime shipping*.

Siden temaet er veldig i vinden fulgte jeg også med på LinkedIn for publisering av nye rapporter angående hydrogen og ammoniakk på skip fra rederier, motorprodusenter, og andre store aktører. «Research rabbit» ble anvendt i startfasen for å holde styr med kilder, finne inspirasjon og tips til artikler med lignende innhold. Tabell 1 presenterer rapportene som jeg har benyttet meg av i resultatkapittelet.



### 3.2. Evaluering av metode

Når en velger metode er det også viktig at en har med evaluering av metoden, også kalt kritikk til metode. Her finnes det ulike kriterier for vurdering alt ettersom hvilken metode en velger. Typisk for kvalitativ og kvantitativ metode er å vurdere om empirien er gyldig, måles det en ønsker å måle? (validitet), og om empirien er pålitelig og troverdig (reliabilitet) (Jacobsen D. I., 2018). Men som litteraturstudie vil det også være relevant å se på autensitet (ekthet/opprinnelighet) som handler om at dokumentet er det det gir seg ut for å være, troverdighet, relevansen for problemstillingen, mens representativitet omhandler hvor representativt dokumentet er, og tolkning omhandler kildekritisk metode (Storsul, 2011). Det er som nevnt viktig med kildekritikk siden datainnsamlingen kun baserer seg på sekundærdata. Kildene bør dobbeltsjekkes før inkludering i oppgaven, for å forsikre seg om at det er en troverdig kilde/avsender (Kildekompasset, 2023). Siden jeg også har benyttet meg av Google-sin søkemotor hvor informasjonstilgangen er stor har det vært spesielt viktig å være selektiv ved valg av kilder.

Noe som kunne styrket besvarelsen og gitt et mer fullstendig svar på problemstillingen kunne vært å kombinere litteraturstudien, enten med kvalitativ metode med intervju, eller kvantitativ metode med spørreskjema. Men utforming av spørreskjema eller intervjuguide, gjennomføring og analyse av resultatene krever betydelig tid. På bakgrunn av dette, falt valget på en ren litteraturstudie grunnet begrenset tid, da oppgaven ble utarbeidet på deltid av en jobb hvor jeg har begrenset dekning, det er viktig å belyse at dette kan være en svakhet. Dersom jeg hadde valgt kvalitativ metode med intervju hadde det også vært flere etiske hensyn å ta i henhold til personvern, med meldeplikt til Norsk Senter for Forskningsdata (NSD) og samtykkeskjema ved opptak av intervju (Larsen, 2017). Mens ved litteraturstudie er det viktigste etiske hensynet at en ikke skal forsøke å stjele eller forvrengte andres verk ved å gjengi eksisterende litteratur uten kilde (Forsberg & Wengström, 2016).

### 3.2.1. Fordeler og ulemper

Fordeler kan være at en skal prøve å oppsummere kunnskapen og få «orden i kaoset», og med dette kan en si at «*hele puslespillet er mer verdifullt enn én brikke*». Videre trenger en ikke direkte tilgang på respondenter/informanter fordi andre har gjort det «for» deg, og en har stor informasjonstilgang på eksisterende litteratur. Dette gjør det tidsbesparende med datainnsamlingen i forhold til for eksempel intervju hvor en må velge utvalg, utarbeide intervjuguide, holde intervjuene, transkribere opptak, og deretter kode og analysere sitatene (Pedersen & Reidunsdatter, 2018).

Ulemper kan derimot være at en kun baserer seg på eksisterende litteratur, og kan dermed ikke ha egen vinkling i samme grad som ved intervju eller spørreundersøkelse, fordi en er avhengig av forfatteren sin vinkling. En annen ulempe er at eksisterende litteratur ikke alltid har den kvaliteten en er ute etter, og dermed er det igjen viktig å vise kildekritikk. Videre er det lett for at en driver «cherry-picking», hvor en leter etter bekræftelser på det en har tro på, og kan overse litteraturen som ikke representerer det en har tro på. Men så lenge en er bevisst på denne ulempen er det mulig å styre unna «cherry-picking», slik at en får argumenter fra begge sider av en sak, og dermed kan unngå å trekke feilslutninger (Pedersen & Reidunsdatter, 2018).

### 3.2.2. Validitet og reliabilitet

Siden dette er en litteraturstudie som kun baserer seg på informasjon som er skrevet av andre, så vil det ikke være like lett å vurdere evalueringskriteriene; validitet og reliabilitet, slik det er i kvalitativ metode med for eksempel intervju, eller kvantitativ metode med for eksempel spørreundersøkelse. Validitet handler om gyldighet, og om en måler det som skal måles. Jeg har derfor vært nøye i utformingen av problemstillingen slik at den passer best mulig til formen for undersøkelse jeg skulle gjennomføre, og har spurt meg selv om problemstillingen gir svar på det jeg ønsker å finne ut. For å kunne få mest mulig gyldige resultater måtte jeg også passe på at problemstillingen var målbar i forhold til teorien. Jeg syntes at endelig problemstilling er godt operasjonalisert og fornuftig i forhold til studiens formål, og ut fra mitt ståsted sikrer jeg den graden av validitet som er mulig. Reliabilitet handler derimot om pålitelighet og troverdighet, vi kan med dette si at studien må kunne være til å stole på. Da kommer vi igjen tilbake til viktigheten av kildekritikk for at studien skal troverdig, noe som er med på å sikre reliabilitet (Jacobsen, 2005).

<b>Tekstdata</b>	<b>Utgiver</b>	<b>Sider</b>	<b>Innhold</b>
<b>Ammonia Powered bulk carrier – Pilot report</b>	Grieg Star sammen med Green Shipping Program	82	En pilot rapport fra Grieg Star, med hjelp av blant annet DNV og Sjøfartsdirektoratet. De ser på mulighetene ved å retrofytte L-klassen til Grieg Star til å gå på Ammoniakk som drivstoff.
<b>EDF Europe Ammonia at Sea Summary</b>	Environmental Defense fund i samarbeid med Loyds register og Ricardo	7	En oppsummering av en studie som tar for seg miljøpåvirkningen til ammoniakk.
<b>Ammonia as a marine fuel safety handbook</b>	DNV i samarbeid med Green Shipping Program og Sjøfartsdirektoratet	25	Sikkerhetshåndbok for ammoniakk, gitt ut av DNV.
<b>Handbook for hydrogen fuelled vessels</b>	DNV i samarbeid med resten av MarHySafe	108	Komplett håndbok for hydrogendrevne fartøy av DNV.
<b>Maritime Forecast to 2050</b>	DNV	84	Rapport fra DNV som analyserer forskjellige teknologier og drivstoff som skipsfarten kan benytte fremover mot 2050, og flere scenarioer av hvordan skipsfarten kan se ut i 2050.

Tabell 1 – Tekstdata grunnlag for resultatkapittelet

## 4. Resultat

I dette kapitlet vil jeg forsøke å sammenfatte funnene som er gjort fra gjennomgangen av de utvalgte rapportene fra Tabell 1. Jeg vil trekke ut hva som er hovedessensen, og lage en sammenstilling av funnene hvor jeg vil se om jeg finner noen overordnede svar som gjelder for flere av rapportene, og hva forfatterne etter min vurdering kan enes om, med synspunkter og påstander som er felles, og eventuelt ulike (Støren, 2013, s. 43).

For å føre leseren strukturert gjennom resultatet fra litteraturstudien for å svare på følgende problemstilling; «*Hvilke hensyn må tas ved implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart?*», ser jeg det naturlig å strukturere også resultatdelen etter forskningsspørsmålene.

### 4.1. Maritimt lovverk og sikkerhetsaspekt

*Forskningsspørsmål 1: Hvordan vil maritimt lovverk påvirke implementeringen av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten, og hvilke sikkerhetsaspekter må vurderes?*

Skal klimamålene satt av IMO kunne oppnås vil bransjen sannsynligvis trenge flere hjelpemidler på veien. Når bransjen har gjennomgått endringer tidligere har lovverk stått i senter, det ser en på de internasjonale konvensjonene. Skipsfarten er en internasjonal næring og det vil være naturlig at et samlet internasjonalt regelverk er den enkleste måten å samkjøre bransjen. I dette delkapitlet vil jeg se på de utvalgte rapportene og ser hva de sier om lovverk og sikkerhet.

#### 4.1.1. Hydrogen og ammoniakk som last

Ammoniakk har eksistert i skipsfart i lang tid, riktignok ikke som drivstoff, men som last. Hydrogen har ikke samme fartstiden som ammoniakk i skipsfart, men blir transportert på land som last. I likhet med annen farlig last som fraktes i bulk er det regler for design, konstruksjon og utstyr for skipet gjennom IBC koden. Når det allerede foreligger kompetanse for hvordan en håndterer et produkt som last, vil det være enklere og mer effektivt å lage regelverk for hvordan håndtere det som drivstoff. Det er selvsagt noen forskjeller og andre komponenter en må ta hensyn til, men en

får også mye gratis. Forskjellene vil primært ligge i hvordan overføringen fra tankene og inn til forbrenningsmotor eller brenselcelle foregår, og selve funksjonen av forbrenningsmotoren eller brenselcellen.

#### 4.1.2. Klaseselskap

Klaseselskaper konkurrerer med hverandre for å være tidlig ute med å tilby regelverk, retningslinjer og støtte til rederier når det kommer ny teknologi, skipstyper eller dersom det er behov for endring. Det er derfor ikke overraskende at klaseselskaper er før IMO med å gi ut regler og retningslinjer for skip som bruker hydrogen og ammoniakk som drivstoff. Pr nå har Det Norske Veritas (DNV), Bureau Veritas (BV), American Bureau Association (ABS), Registro Italiano Navale (RINA) og Korean Register kommet ut med sine regler og retningslinjer for skip med ammoniakk som drivstoff (Atchinson, 2021). I tillegg har DNV kommet ut med «*handbook for hydrogen fuelled vessels*» (DNV (2), 2021). Felles for alle disse klaseselskapene er at de bruker IGF koden som mal når de lager disse reglene.

#### 4.1.3. IMO

Under utvikling av regelverk er det vel kjent at byråkratiet i IMO gjør forandringer og nyskaping tidkrevende. Derfor er det viktig at komiteene i IMO klarer å spare tid der det er mulig. Når de nå holder på med utviklingen av retningslinjer for ammoniakk og hydrogen som drivstoff, er det derfor viktig at de utnytter muligheten til å benytte seg av reglene som klaseselskapene har utarbeidet. IMO's Sub-committee on Carriage of Cargoes and Containers (CCC) møtes i 2023 til sitt 9. møte. På arbeidsplanen står det at de blant annet skal utvikle eller ferdigstille retningslinjer for skip som bruker hydrogen og ammoniakk som drivstoff. Når komiteen har ferdigstilt retningslinjene fremlegges de på neste Maritime Safety Committee (MSC) møte som et forslag for endring i IGF koden (IMO (1), 2022).

#### 4.1.4. LNG

Den maritime næringen har i lengre tid vært klar over at dagens drivstoff i form av Marine Gas Oil (MGO), HFO og VLSFO har for store negative klima- og miljøpåvirkninger til å kunne fortsette å være hoved-drivstoffet for næringen. Grunnet denne realiseringen ser næringen på muligheten for alternative energikilder til fremdrift av skipene.

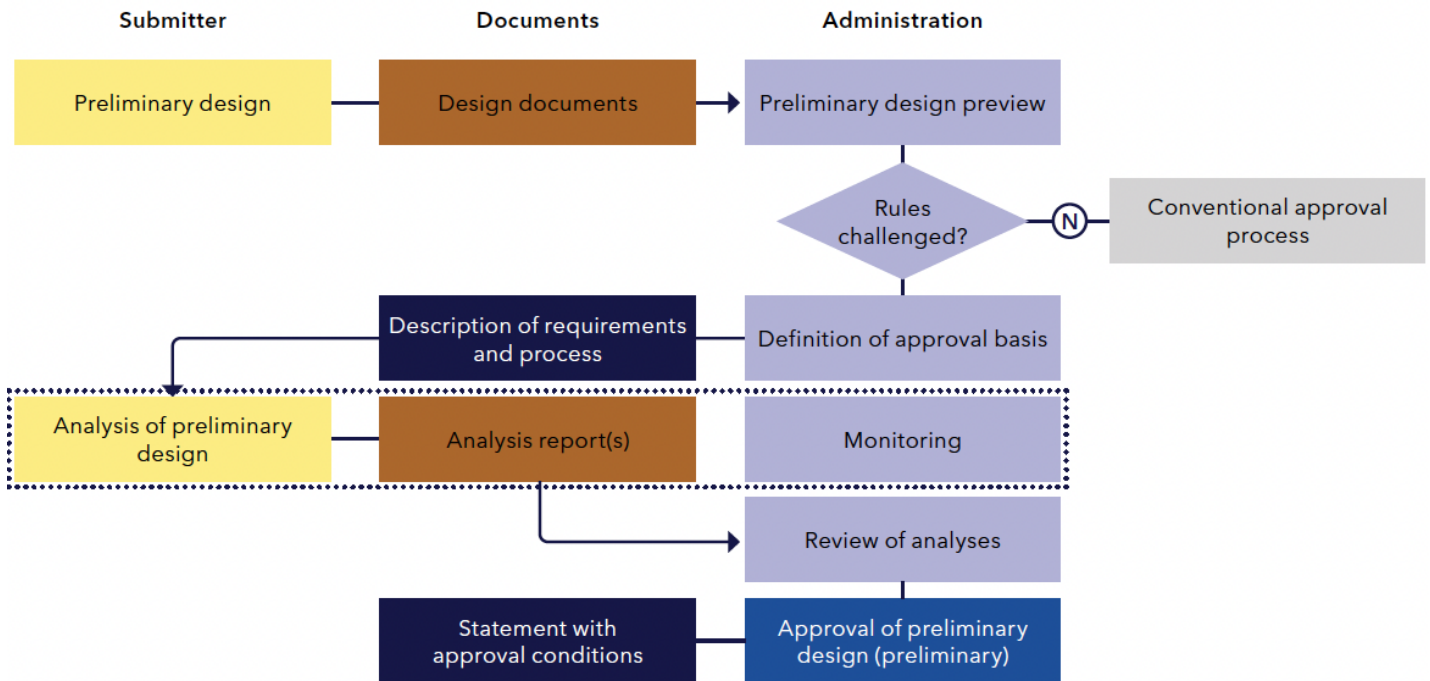
I løpet av 2000 tallet ble fokuset rettet mot LNG som et drivstoff som kunne være med å redusere utslippene av Green House Gasses (GHG). LNG var tidligere brukt som drivstoff av skipene som fraktet LNG, og det var lite regelverk som var spesifisert for denne typen drivstoff. Norge var en av de store påvirkerne i IMO for å produsere en standard for bruk av LNG, og andre drivstoff med lavt flammepunkt. Denne standarden heter IGF koden og setter krav til maskineri, utstyr og systemer for å minimere risikoen for skip, mannskap og miljø (IMO (2), 2023).

#### 4.1.5. IGF Koden og IMO

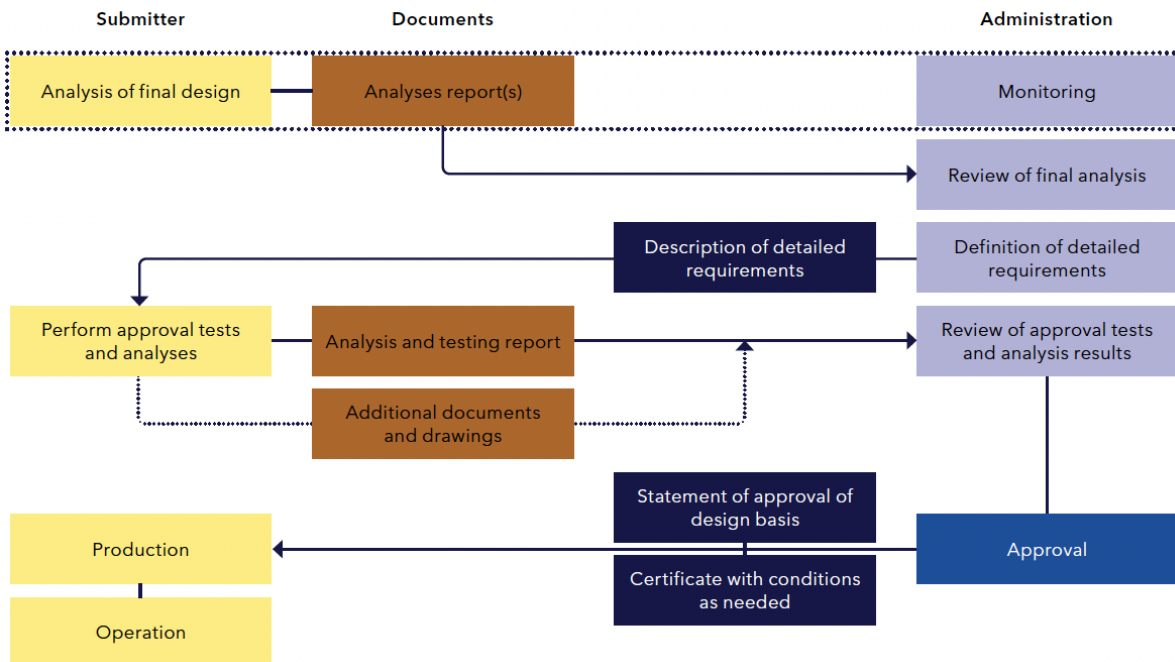
Noe som har gått igjen i alle rapportene utenom «EDF Ammonia at sea», er at IGF koden kun har spesifikke designkrav for LNG, og derfor søker rederi og skipsbyggere til flaggstaten ved hjelp av IGF koden del A seksjon 2.3 og SOLAS II-1/55 for å lage hydrogen- og ammoniakk-skip. Prosessen for godkjenning beskrives i IMO MSC.1/Circ. 1455. Dette er en tungvint prosess hvor skip som bygges til å gå på hydrogen og ammoniakk må gjennom prosessen beskrevet i Figur 4. Dette innebærer blant annet at en flaggstat kan akseptere reglene til classeselskap for å effektivisere «alternativ design» prosessen gjennom IGF koden del A seksjon 2.3. IMO må få på plass regulering i likhet med LNG slik at en har en godkjent standard for hele bransjen. «EDF Ammonia at sea» anbefaler derimot generelt at det implementeres klare retningslinjer, og regler på hvordan bruke disse drivstoffene på en måte som er sikker på for helse og miljø (Grieg Star, 2023); (Environmental Defense Fund, 2022); (Green Shipping Programme, 2021); (DNV (2), 2021); (DNV (3), 2022).

Figur 2 og 3 er hentet fra «handbook for hydrogen fuelled vessels», og her en ser en illustrasjon av prosedyren for få godkjenning til å bygge fartøy under «Alternativ design» ref IGF koden del A seksjon 2.3 og MSC.1/Circ. 1455. Følger en streken og pilene ser en at prosessen inneholder flere faser. Først en innledende fase, så en analyse av den innledende fasen, før en godkjenning av den

innledende fasen. Som en ser fra figurene er det en omfattende prosess, med mye analyse og kontroll. Hvert av punktene i disse figurene står nærmere forklart i håndboken DNV (2), 2021).

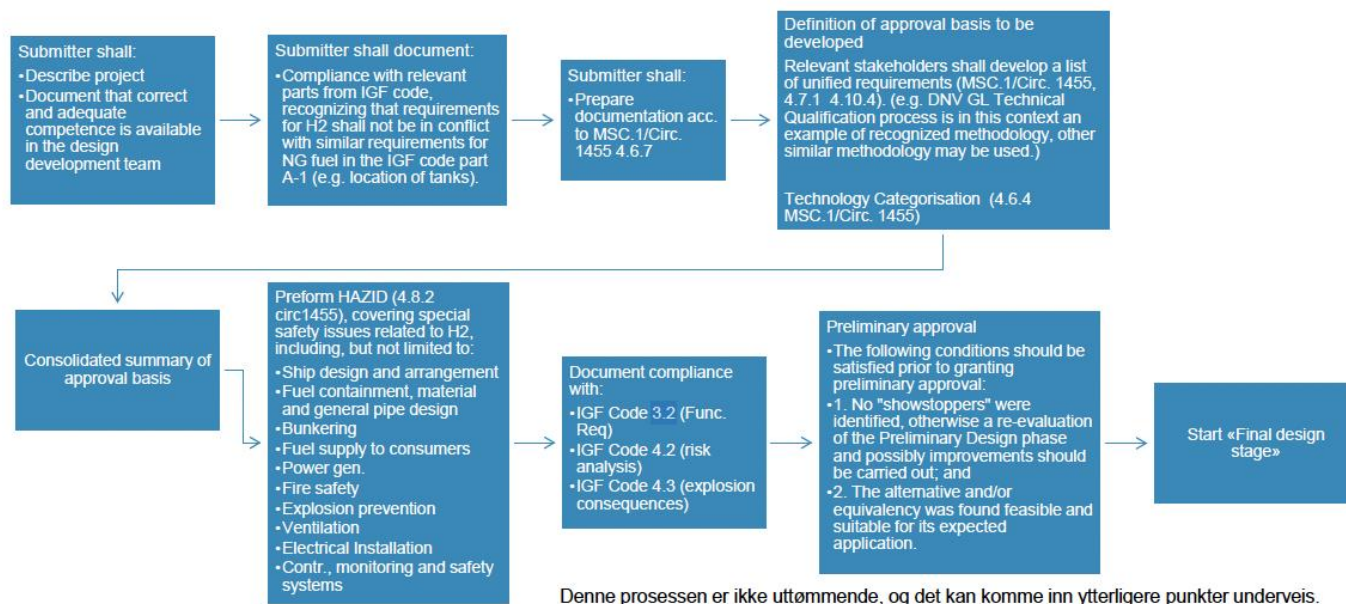


Figur 2 – Prosedyren for "Alternativ design iht MSC.1/Circ 1455) - (DNV (2), 2021)



Figur 3 – Prosedyren for "Alternativ design iht MSC.1/Circ 1455) - (DNV (2), 2021)

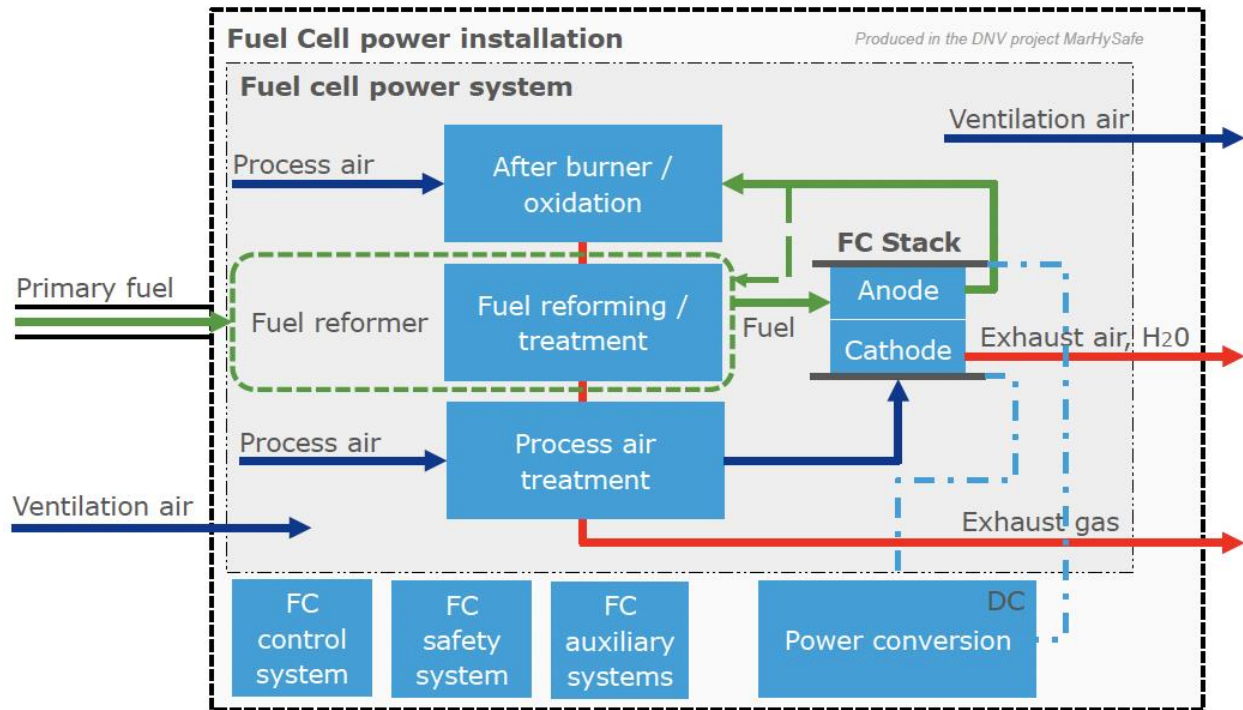
Figur 4 viser Sjøfartsdirektoratet sin tolkning av prosessen for «alternative design» med forklaring underveis.



Figur 4 – Sjøfartsdirektoratets tolkning av prosessen for "alternative design" - (DNV (2), 2021)

Det er planlagt fra IMO sin side at retningslinjer for brenselceller om bord på fartøy blir fast adoptert i IGF koden Kapittel E etter revisjon i 2028 (ref handbook for hydrogen fuelled vessels). Inntil den tid er det laget midlertidige retningslinjer for fartøy med brenselceller (ref MSC 105 2022). Figur 5 viser installering av brenselcelle i henhold til midlertidige retningslinjer fra MSC 105 (DNV (2), 2021).



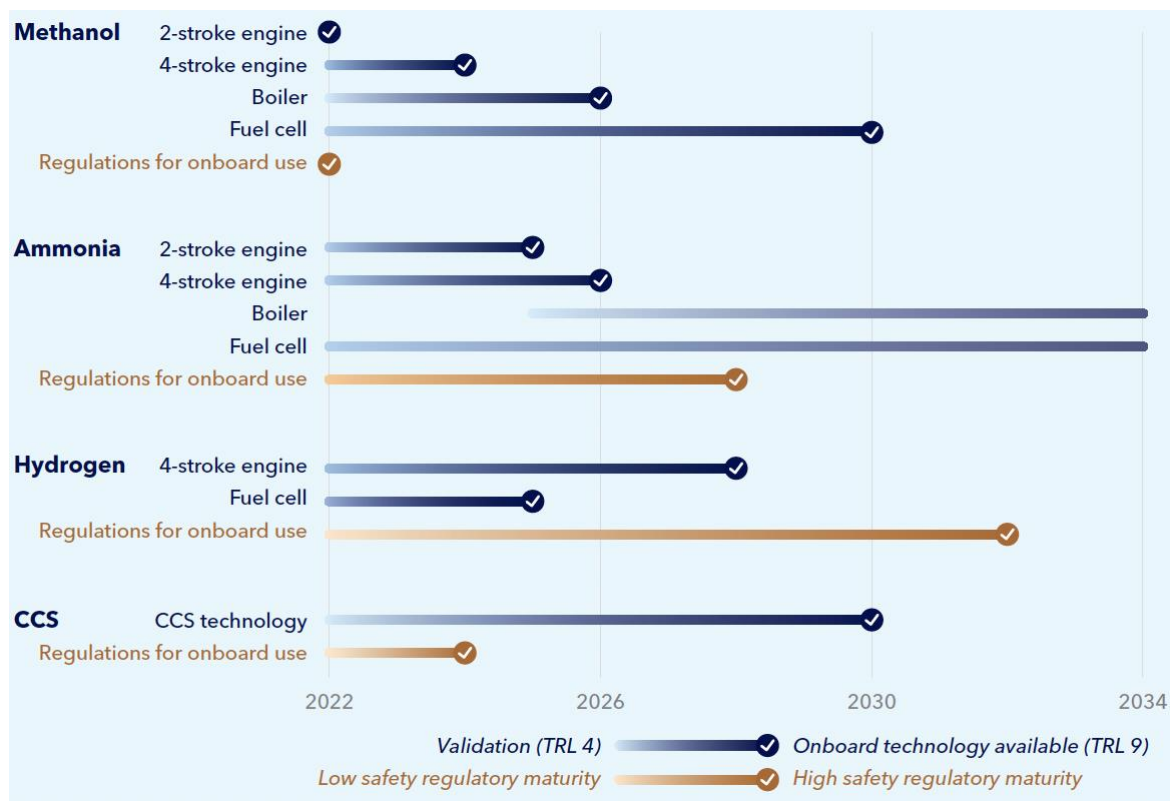


Figur 5 – Installering av brenselcelle i henhold til midlertidige retningslinjer fra MSC 105 (DNV (2), 2021).

#### 4.1.6. Erfaringer med regelverk for hydrogen og ammoniakk

Fra «Ammonia Powered Bulk Carrier – pilot report» finner vi at DNV brukte erfaringer med ammoniakk som kjølemiddel i fiskefryser, sammen med erfaringer gjort gjennom IGC koden med ammoniakk som last, til å lage retningslinjer for ammoniakk som drivstoff (Grieg Star, 2023).

«Maritime forecast 2050» og «Ammonia as a marine fuel – safety handbook» legger også til grunn at kjennskapen den maritime industrien har til ammoniakk som last og kjølemiddel, vil ferdigstille regelverket til ammoniakk hurtigere enn hydrogen. Figur 6, viser DNV sitt estimat på modningstid for teknologi og regelverk for hydrogen og ammoniakk, samt CCS. Skalaen for modenhet på teknologien baserer seg på European Union (EU) kommisjonens Technology Readiness Level (TRL) (DNV (3), 2021);(Green Shipping Programme, 2021).



Figur 6 – DNV's estimerte modningstid for teknologi og regelverk basert på EU kommisjonens TRL (DNV (3), 2022)

Sikkerheshåndboken til «Ammonia as marine fuel – safety handbook» sammenligner egenskapene til LNG og ammoniakk. Sikkerheshåndboken slår på bakgrunn av dette fast at på grunn av mange likhetstrekk vil det være nyttig å bruke samme sikkerhetsprinsipper for ammoniakk som for LNG. Under SOLAS har vi IGF- og IGC kodene, som sammen utgjør regler for sikker frakt av gasser med lavt flammepunkt og flytende gasser i bulk. De tillater bruken av cargo til drivstoff, men ikke giftige stoffer til drivstoff, som ammoniakk. Som tidligere nevnt er dette noe IMO jobber med å få på plass gjennom underkomitéen CCC (Green Shipping Programme, 2021).

Sikkerheshåndboken sier også at IGC koden kan være til hjelp for å designe drivstofftanker til ammoniakk, og drar frem sikkerhetsaspektene som gjelder for LNG som det kan dras nytte av for ammoniakk; segregation, double barriers, leakage detection, and automatic location of leakages. Siden ammoniakk er en såpass giftig og brann/eksplosjonsfarlig gass, må det ifølge sikkerheshåndboken gjøres vurderinger av hvert enkelt design i forbindelse med plassering av ventilering fra drivstofftanker, og fareområder for lekkasje (Green Shipping Programme, 2021).

I oppsummeringen til «EDF Ammonia at sea» forteller de at effekten av ammoniakk i miljøet må studeres selv om industrien har erfaring med ammoniakk som last. Det er grunnet nye utfordringer og spørsmål rundt bunkring, lagring, tilførsel og forbruk for forskjellige skipstyper, da ammoniakk er giftig for miljøet (Environmental Defense Fund, 2022).

#### 4.1.7. Sikkerhet

Som nevnt i delkapittel 4.1.6 kan flere av sikkerhetsreglene som gjelder for LNG være nyttig å ta med seg som sikkerhetsregler for ammoniakk. Det kan for eksempel ikke være ventilering eller nød ventilering av drivstoffsystemet nær mønstringsplass, luftinntak, og andre plasser der mannskap, eller andre naturlig oppholder seg. I og med at det er fare for forgiftning, og at ammoniakk uten vann fryser klær fast til hud, vil det være spesifikke krav til førstehjelp-stasjonene. Der må blant annet settes opp dekontaminerings-dusjer på minst følgende lokasjoner: bunkringsstasjon, utgang ved rom uten dobbelrør, utgang for drivstoff forberedende rom og maskinrom. Det anbefales også ved utganger til rom med ammoniakk rør. Sikkerhetshåndboken beskriver også passende Personal Protective Equipment (PPE) for bunkring og arbeid der eksponering er en risiko. Videre kreves det gassdeteksjonsalarm som måler rom og varsler om kontaminerte rom, samt alarm på dekk før utslipp gjennom tankventilering. Siden brennbarheten til ammoniakk i luft er mye lavere enn for LNG, uttrykker sikkerhetshåndboken også at det kan vurderes om IGF kodens krav om A60 grad på overbygg, som står mot tanker på dekk er nødvendig. Det er dermed mulig at dette kravet kan nedjusteres (Green Shipping Programme, 2021).

«Ammonia as marine fuel - safety handbook» ser på kravene til IGF koden for beskyttelse av tanker fra varme som relevant for ammoniakk tanker. Ammoniakk tanker bør segregeres fra høyrisiko områder for brann, som for eksempel maskinrom. Tanker på dekk må beskyttes med vanntåkesystem for kjøling (Green Shipping Programme, 2021).

«Handbook for hydrogen fuelled vessels» forklarer om brannkontroll og brannbeskyttelse i kapittel 9.8. Der sier de blant annet at en overordnet strategi må utvikles for brann og eksplosjon. Hovedmålet i strategien bør være å kontrollere brannen og forhindre eskalering til andre deler av fartøyet. Videre har håndboken flere anbefalinger for strategi, slukningsmiddel og faremomenter (DNV (2), 2021).

#### 4.1.8. EU

I følge «Maritime Forecast 2050» har EU en målsetning om å redusere utslipp med 55% innen 2030 (regnet ut fra 1990 nivå), og være klimanøytral innen 2050. Tradisjonelt har ikke skipsfarten vært inkludert i FN og EU mål, men i EU sin «Fit for 55 legislation» er det planlagt at shipping skal inkluderes i EU Emissions Trading System (ETS) fra 2024, og i 2025 vil Fuel EU maritime regulations bli introdusert. Noe som vil sette nye krav til rederi for utslipp, og vil nok være med på å tvinge næringen til å utvikle seg (DNV (3), 2022).

#### 4.1.9. Særpreg

En ting som skilte seg ut i «Ammonia Powered Bulk Carrier – pilot report» var at den inneholdt kritikk mot CII. De mener CII ikke er en tilstrekkelig måle-indikator fordi CII fokuserer på flåter, og ikke individuelle skip (Grieg Star, 2023). «Maritime Forecast 2050» rapporten nevnte CII og dens formål, og at der vil komme en revidert versjon i 2025, men kom ikke med noe kritikk (DNV (3), 2022).

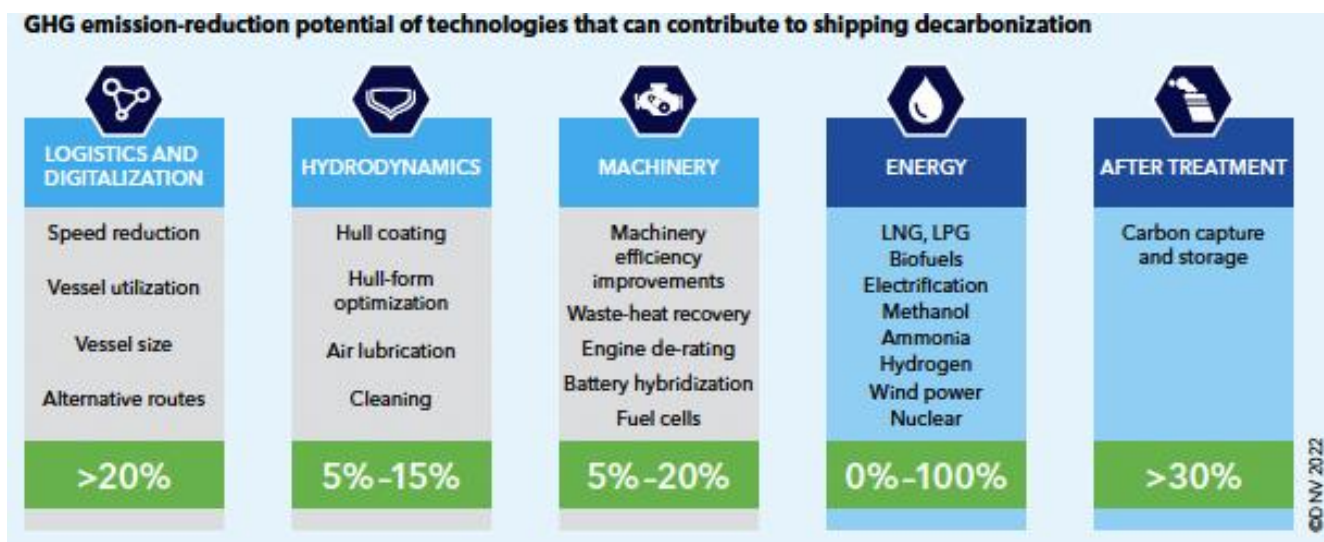
«Handbook for hydrogen fuelled vessels» er svært detaljert, teoretisk omfattende og beskriver metodologien i risikovurderingene. Den ramser også opp alle aktuelle standarder innen blant annet International Organization for Standardization (ISO), International Electrotechnical Commission (IEC), Compressed Gas Association (CGA) med fler, som beskriver regler og retningslinjer for hydrogen i andre industrier og bransjer. I forhold til sikkerhetshåndboken for ammoniakk er denne mye grundigere, og det som utgjør denne forskjellen er at «Handbook for hydrogen fuelled vessels» er en fullstendig håndbok (108s), mens «Ammonia as marine fuel – safety handbook» er «bare» en sikkerhetshåndbok (25s) (DNV (2), 2021).

## 4.2. Teknologiske utfordringer

*Forskningsspørsmål 2: Hvilke teknologiske utfordringer er knyttet til bruk av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart?*

«Maritime Forecast 2050» presenterer at utvikling av politikk og engasjement til interessenter (banker og befraktere) kommer til å drive rederi til å identifisere, evaluere og bruke teknologi, drivstoff og andre metoder for å avkarbonisere skip, kutte energiforbruk og møte andre miljøkrav. De forventer at forbrenningsmotorer forblir, men at integrering av Fuel Cell (FC) vil gi bedre effektivitet og redusere drivstoff forbruk. FC kan sammen med alternative drivstoff som hydrogen redusere og eliminere utslipp. Rapporten ser også en økning i interessen for å avkarbonisering skip, men her må teknologien utvikles først (DNV (3), 2022). I dette delkapittelet vil jeg se på de utvalgte rapportene og ser hva de sier om forskjellige teknologiske løsninger, utfordringer og hensyn som må tas i forbindelse med dem.

Figur 7 visualisere effekten av nullutslipp drivstoff sett opp mot andre teknologiske løsninger. Her ser vi at DNVs anslag viser at det er et enormt potensial i nullutslipp drivstoff.



Figur 7 – Potensiell utslippsreduksjon av GHG med teknologier som kan bidra til avkarbonisering av skipsfarten (DNV (3), 2022)

#### 4.2.1. Retrofitting

Fra “Ammonia Powered Bulk Carrier – pilot report” mener de at det vil være mulig å retrofytte Grieg Star sin L-Klasse til å gå på ammoniakk, men det vil være mer omfattende og kostbart enn antatt. Dagens tanker rommer 3185m<sup>3</sup> med VLSFO noe som gir ca. 67 dager seiling. Ved retrofitting benyttes en tank på 2000m<sup>3</sup> i cargohold 1 som gir ca. 15 dager seiling. Med et planlagt seilingsmønster som vist i Figur 8, med strekninger på 4700NM, 4915NM og 4810NM pr leg, må det da bunkres i hver havn (Grieg Star, 2023).

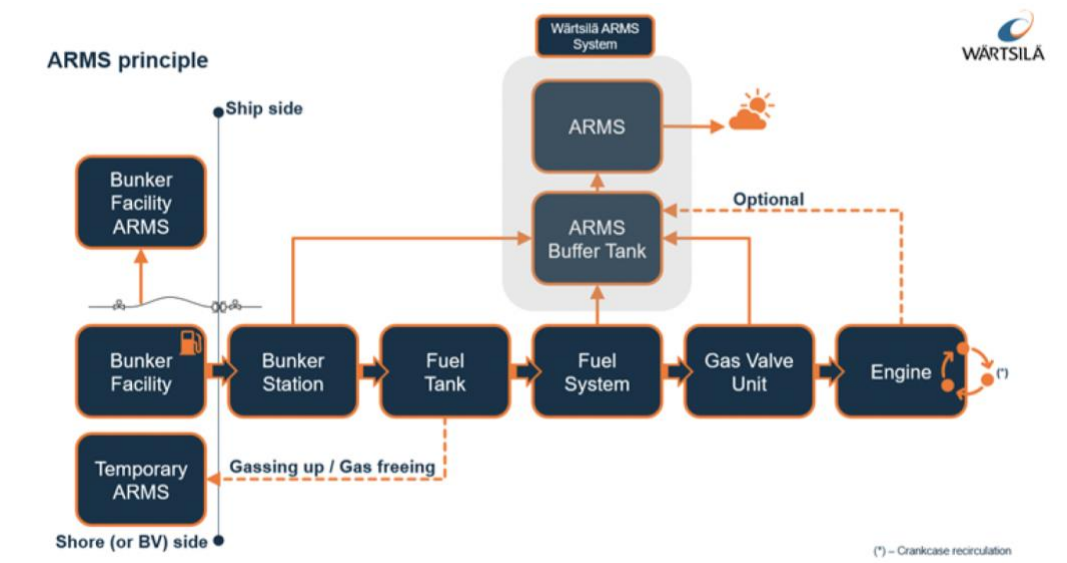


Figur 8 – Planlagt seilingsrute for Grieg Star sin L-klasse med ammoniakk som drivstoff hvor det må bunkres i hver havn, basert på 10-15 knop (figur er rekonstruert fra rapporten (Grieg Star, 2023))

Videre finner rapporten behov for at alle rom med mulighet for lekkasje må ha mekanisk ventilasjon, og at det trengs minimum 45x luft utskiftning pr time, og det vil kreves eget lensesystem, med lensebrønner i utsatte områder for lekkasjer. Dette går litt igjen fra det som ble observert i sikkerhetshåndboken for ammoniakk, med noe annen ordlyd (Grieg Star, 2023).

Trykkvedlikeholdssystem må benyttes for å sikre at trykket holder seg stabilt i tanken. Om trykket synker blir ammoniakken om til gass og en kan få det som kalles boil off. Om en får en boil off og den ventileres ut, blir det et direkte tap av drivstoff. I rapporten ønsker de å benytte seg av en «Boil off gas reliquefaction unit» som skal kjøle ned dampen slik at den blir flytende før den føres tilbake i tanken (Grieg Star, 2023).

Følgende avsnitt omhandler eksos fra ammoniakk, og vil være relevant for både teknologiske utfordringer, og klima- og miljøpåvirkning. Ved forbrenning av ammoniakk kan det slippes ut NOx og dinitrogenoksid/lystgass (N<sub>2</sub>O), hvor N<sub>2</sub>O har Global Warming Potential (GWP) på 300 ganger mer enn CO<sub>2</sub>. Dette kan bli en utfordring, men rapporten ser for seg at dette kan løses med dagens Selective Catalytic Reducton (SCR) også kalt scrubber teknologi, men det er ikke testet i fullskala enda. En slik rensing av eksosen vil utgjøre at ca.4% av ammoniakken må brukes til rensing, noe som vil kreve større lagringsplass, og vil dermed være en utfordring da mer lagringsplass vil oppta plass fra last og drivstoff til fremdrift. Men dette krever mer testing før en kan slå fast noe. Denne rapporten sier også at i henhold til klassekrav vil fartøyene trenge Ammonia Release and Mitigation System (ARMS). Her har Wärtsilä laget et system, se Figur 9. Selve ARMS systemet er godt forklart i rapporten side 47-48. Det er og en regel om at ingen utslipp skal ha høyere konsentrasjon enn 30 ppm pr klassekrav fra DNV for ammoniakk (Grieg Star, 2023).



Figur 9 – Illustrasjon av Wärtsilä sitt ARMS system (Grieg Star, 2023)

#### 4.2.2. Spesifikasjoner for ammoniakk

«Ammonia as marine fuel – safety handbook» tar opp en del sikkerhetshensyn som bør tas i betraktning, og endel av de vil sannsynligvis repeteres i lovverket til IMO når det kommer ut. Ifølge sikkerhetshåndboken for ammoniakk bør ventilering av tanker unngås, og det trengs et boil off gas management system, som nevnt i «Ammonia Powered Bulk Carrier – Pilot report». Det foreligger dermed barrierer både for tanker, håndtering av lekkasjer, og nød-ventilering. Når det kommer til type tanker og kompatibilitet mot bunkringsanlegg på land må det tas hensyn til trykk og temperatur. På grunn av ammoniakks korrosive egenskaper bør kravene i IGC koden brukes med tanke på materialer (Green Shipping Programme, 2021).

I «Ammonia as marine fuel – safety handbook» anbefales det at ammoniaktanken(e) bør plasseres unna lasteoperasjoner og overbygg, og at det må være dobbeltrør på alt som frakter ammoniakk. Der dette ikke er mulig kan det opprettes dedikerte områder som overvåkes for utslipp. Noen plasser må det være dedikert at en har tilgang til tanken og til systemet ellers, dette kalles Tank Connection Space (TCS) og Fuel Prep Room (FPR). Disse områdene må være gasstette mot andre områder, og materialet må kunne tåle de lave temperaturene til ammoniakk (Green Shipping Programme, 2021).

For å forhindre boil-off bør hele drivstoff systemet være designet for å tåle minst 18 bar. Det må også være en mulighet for å drenere hele systemet uten å slippe ut ammoniakk i luften. Ammoniakk har en viss eksplosjonsfare, men mindre enn metan (LNG). Det brenner dårlig i åpen luft, men kan være eksplosiv i lukkede rom. For å unngå unødvendig ventilering kan det opprettes soner, «toxic zones» der det er mulig å ventilere (Green Shipping Programme, 2021).



### 4.2.3. Spesifikasjoner for hydrogen

Hydrogen håndboken er en fullstendig håndbok som tar for seg hele prosessen til et hydrogenskip, fra planlegging til operasjon. Den har mange spesifikke anbefalinger for teknologien som benyttes og er svært detaljert (DNV (2), 2021). For at dette ikke skal bli for detaljert velger jeg å se på de store linjene.

Hydrogenfremdrift baserer seg pr dags dato på brenselceller. En protonutveksling membran brenselcelle produserer elektrisitet gjennom en elektrokjemisk prosess, som gjør kjemisk energi om til elektrisitet. Dette skjer ved at hydrogen og oksygen reagerer over en katalysator, og i enden av prosessen sitter en igjen med vann som igjen kan omdannes til hydrogen (DNV (2), 2021).

Før en går til verft og ber de bygge et hydrogenfartøy er det anbefalt og følge en oppskrift i håndboken. En ting som anbefales i håndboken er å lage en gjennomførbarhetsstudie som tar for seg operasjonelle, økonomiske, og tekniske spørsmål. Den bør også ta for seg alternative løsninger, for eksempel hybriddrift med to typer drivstoff (DNV (2), 2021).

Etter en godkjent gjennomførbarhetsstudie kan det lages en grov spesifisering. Dette er anbefalinger håndboken kommer med i delkapittel 5.2 «Outline specification». Det er en grov gjennomgang av ønsket kapasitet og type system. Temaene håndboken nevner er: redundans, sikkerhet, segregering og hydrogensystemet om bord. Håndboken kommer også med anbefalinger som for eksempel; fartøy som kun har hydrogen som fremdrift bør det ha to uavhengige energi omformere og drivstoff oppsamlere, mens fartøy som seiler med hybrid bør har to komplette og uavhengige drivstoffsystem (DNV (2), 2021).

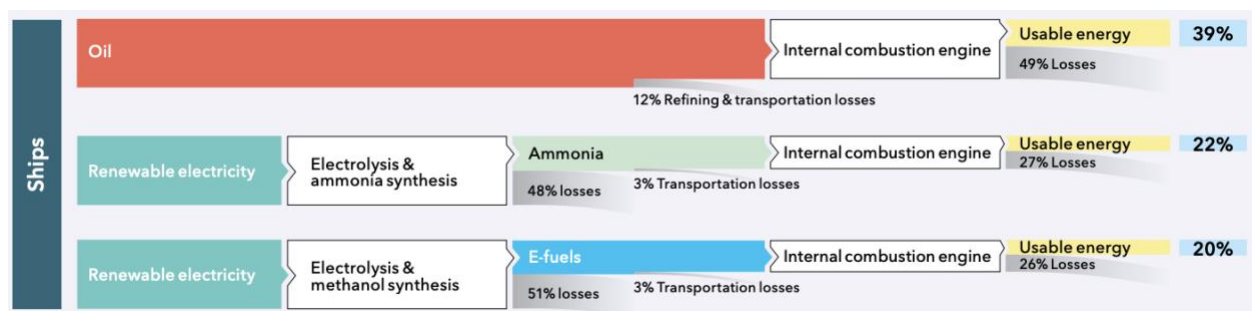
Ved bunkring av hydrogen må trykket på land-siden være større enn om bord. I håndboken er trykket om bord forespeilet 250bar. For å sikre at en har overtrykk på landsiden kan en bruke kompressorer for å øke trykket under overføring (DNV (2), 2021).

#### 4.2.4. Produksjon og infrastruktur

Rapporten «Maritime Forecast 2050» tar for seg en større del av forsyningskjeden enn de andre rapportene, og ser på hvordan drivstoffmarkedet kan se ut i 2050. Fremtidens drivstoffmarked vil være mangfoldig med flere energikilder og ha klar tilknytning til regional energi produksjon. Denne rapporten mener at generelle barrierer for overgang til ny type drivstoff blant annet er: økte investeringer, begrenset tilgang, mangel på global bunker infrastruktur, høye drivstoff kostnader, og behovet for større lagringsplass (DNV (3), 2022).

Når en bruker elektrisitet til å lage ammoniakk er det store energitap i produksjon, distribusjon og omdannelse ombord. Så lite som 22% av den elektriske energien brukt på land kommer ut som effekt i propellen, se Figur 10. De anslår at det trengs 26 MWh elektrisk energi på land for å erstatte 1 tonn fossilt brennstoff som tilsvarer 12 MWh. Den lave well-to-wake energi effekten av ammoniakk gjør at en må beregne økning i kapasitet av fornybar energi. Well-to-wake er et begrep som beskriver reisen til energien, og kan gi et mer helhetlig bilde av den totale klima- og miljøpåvirkningen fra skipsfarten. I tenkt mening er det fra oljebrønn (well) til kjølevann (wake), og hjelper å vurdere effekten av ulike drivstoffalternativer (DNV (3), 2022).

Rapporten kommenterer at avkarbonisering av skipsfarten ikke må føre til at utslippet forflytter seg fra skipsfart til andre sektorer. Et eksempel som nevnes er om det produseres ammoniakk med fossil kilde uten CCS. Det er stor tilgang på fossil energi, men for å kunne lage klima nøytral (blue) drivstoff av fossil energi, må det investeres stort i CCS infrastruktur (fra fangst til lagring). Mangelen på infrastruktur til CCS er en stor barriere for «blue fuels», og er dermed et hensyn som må tas. Pr år produseres det 176 MT Ammoniakk og 98 MT metanol til andre industrier, dette tilsvarer ca. 45% av årlig behov for maritim industri globalt energimessig. Her er det verdt å merke seg at mesteparten av denne produksjonen er fossil uten CCS. Grunnet produksjonen av ammoniakk er noe av infrastrukturen allerede tilgjengelig, men dette må skaleres opp om det skal tilpasses skipsfartens behov (DNV (3), 2022).



Figur 10 – Ammoniakk sett opp mot konkurrerende drivstoff (DNV(3), 2022)

### 4.3. Klima- og miljøpåvirkning

*Forskningsspørsmål 3: Hva er de viktigste klima- og miljøpåvirkningene ved bruk av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart?*

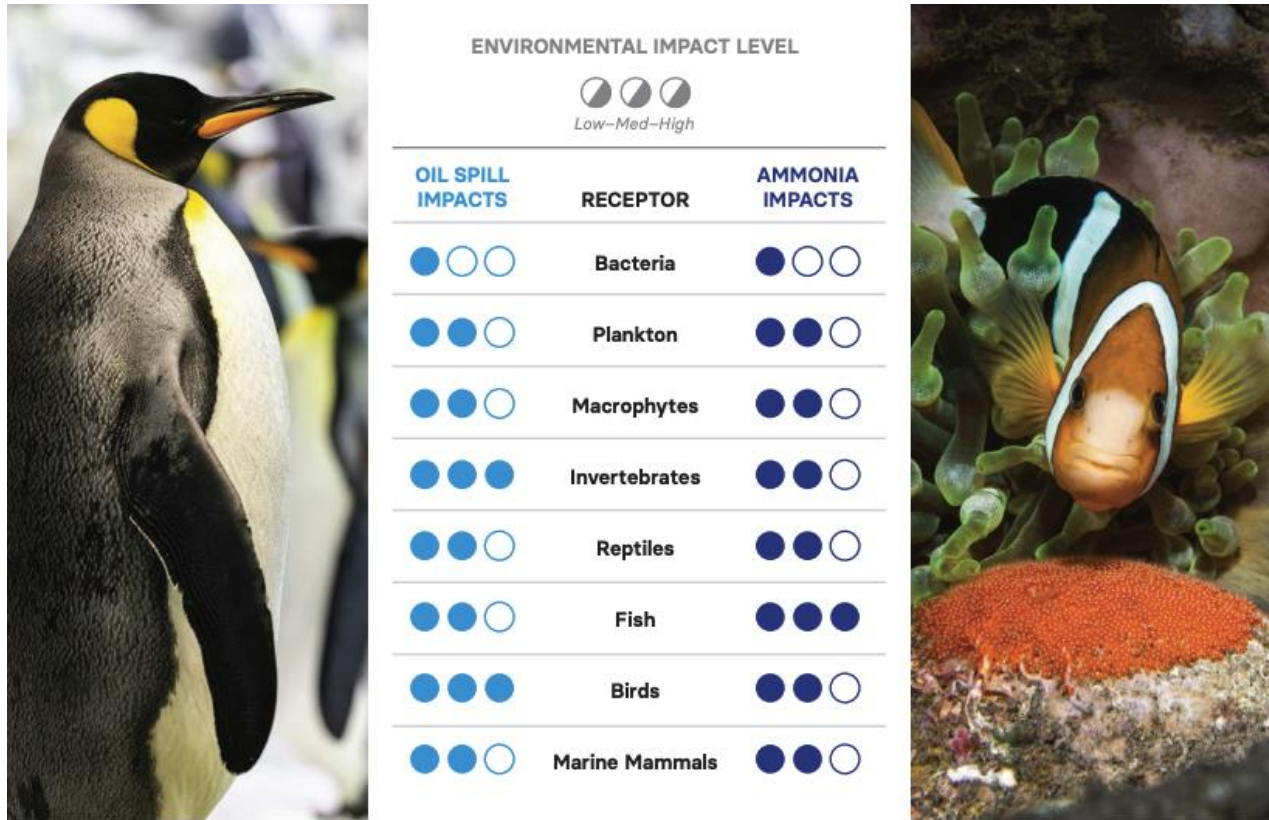
Maritim transport har et estimert utslipp på ca.1,056 millioner tonn CO<sub>2</sub> hvert år. Det betyr at næringen står for nesten 3% av det globale utslippet av drivhusgasser. Om næringen ble klassifisert som et land ville det vært på topp 10 for utslipp av klimagasser. I jakten på å nå klimamålene til IMO prøver næringen å finne nye drivstoff for å minimere påvirkningen på klima og miljø (Environmental Defense Fund, 2022).

«Ammonia Powered Bulk Carrier – pilot report» beskriver at ammoniakk er klassifisert som giftig for liv i vann med langvarig effekter. I tillegg kan forbrenning av ammoniakk i en motor produsere NO<sub>x</sub> og N<sub>2</sub>O. NO<sub>x</sub> er luftforurensende, mens N<sub>2</sub>O er en drivhusgass som er 300 ganger mer potent enn CO<sub>2</sub>. Rapporten ser også på retrofitting av fartøy som en mer miljøvennlig løsning enn å skrape fartøy tidlig for å bygge nye (Grieg Star, 2023).

Fra et sikkerhetsperspektiv fra «Ammonia as marine fuel – safety handbook» er det ønskelig at ammoniakk søl går over bord, og at ammoniakkdamp går ut under vannlinjen. Men ammoniakk er som nevnt klassifisert som giftig for liv i vann med langvarig effekt i henhold til Globally Harmonized System of classification and labelling of chemicals (GHS). Forbrenning av ammoniakk i en forbrenningsmotor kan skape utslipp av NO<sub>x</sub> og N<sub>2</sub>O. Det **antas** at dagens SCR teknologi kan håndtere NO<sub>x</sub>, men N<sub>2</sub>O må løses av maskin-fabrikantene for at ammoniakk skal være en løsning for zero emission fuel (Green Shipping Programme, 2021).

Håndboken for hydrogen forklarer innledningsvis om bakgrunnen for behovet for hydrogen som drivstoff, og at skipsfarten må redusere utslipp i henhold til IMO mål. Videre forklarer de at det er et økt fokus på luftforurensning (NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub>), og at European Environmental Agency anslår i underkant av 500 000 dødsfall i Europa årlig grunnet lokal luftforurensning (DNV (2), 2021).

«EDF Ammonia at sea» er en oppsummering av en studie fokusert på ammoniakkens påvirkning på det marine miljøet. Studien undersøker utslipp av ammoniakk i 8 forskjellige habitat og inkluderer 7 dyrearter. I studien finner de at elvemunninger, mangrover, og våtmark er spesielt utsatt for ammoniakktutslipp og at fisk er den mest utsatte arten i de områdene, etterfulgt av fugler og pattedyr i en lavere grad. Når studien sammenligner ammoniakktutslipp med oljeutslipp, finner de at ammoniakktutslipp ikke utreder seg i like stor grad og varer ikke like lenge. Et annet funn var at oljebaserte utslipp påvirker fugler og virvelløse dyr i størst grad, mens ammoniakk påvirker fisk i størst grad som vist på Figur 11 (Environmental Defense Fund, 2022).



Figur 11 – Påvirkningsgrad av de forskjellige artene (Environmental Defense Fund, 2022)

Sammendraget påpeker at dette er en initial studie, og at de anbefaler flere studier for å evaluere ammoniakk sin påvirkning på helse for menneskap, økning i nitrogenutslipp, potensiell påvirkning av ammoniakk utslipp på åpent hav, og potensiell påvirkning av ammoniakk utslipp på fugler, pattedyr og vannreptiler (Environmental Defense Fund, 2022).

«Maritime forecast 2050» forklarer i likhet med «Handbook for hydrogen fuelled vessels» om kravene som settes fra IMO. Men de forventer også at kravene skal strammes inn ytterlig under IMO revisjonen i 2023. Rapporten kommenterer også et økende press på skipsfarten om avkarbonisering fra interessenter som banker og frakteiere. I likhet med «Ammonia Powered Bulk Carrier – pilot report» og «Ammonia as marine fuel – safety handbook» kommenterer de også behovet for å løse NOx og N2O problematikken med ammoniakk (DNV (3), 2022).

I dette kapittelet har jeg presentert hovedfunnene fra litteraturstudiet. Neste steg er å gå videre til diskusjonskapittelet der jeg vil diskutere og tolke funnene.

## 5. Diskusjon

Diskusjonskapittelet er siste kapittel før konklusjonen, her vil jeg oppsummere og tolke resultatene, og komme med egne refleksjoner. Likt som de foregående kapitlene er diskusjonskapittelet også delt inn etter forskningsspørsmålene ut fra hvilke hensyn som må tas. Men også med inkludering av et eget delkapittel om andre refleksjoner, og mine refleksjoner om rapportene. Ordet «rapportene» vil i dette kapittelet bli brukt som en samlebetegnelse for utvalget av tekstdata fra tabell 1.

### 5.1. Maritimt lovverk og sikkerhetsaspekt

Ved lovverk angående ammoniakk er det enighet blant rapportene at det er mulig å benytte seg av regelverket til LNG med små justeringer. Dette gjør at regelverket for ammoniakk ligger bedre an enn regelverket til hydrogen. Ser en på de to forskjellige håndbøkene som er med i litteraturstudien vil en kanskje tenke at hydrogen håndboken er mye mer detaljert og innholdsrik. Men noe som skiller de, er at ammoniakk sikkerhetshåndboken kun trenger å referere til gjeldende regelverk i IGF koden, og nevner heller de små justeringene som bør tas hensyn til. Et hensyn som må tas her er at en ikke kan forvente at regelverket er ufeilbart. Når IMO kommer med sine retningslinjer vil det naturligvis være en sikkerhet for næringen, men det er også viktig å kontinuerlig se etter forbedringer.

En kan anta at de som er først ute med frivillig overgang til alternative drivstoff er motivert, kompetent og har ressurser. Deres motivasjon til å gjennomføre overgangen på en god og sikker måte er sannsynligvis veldig høy. Når, om, eller dersom det kommer til et punkt at rederier med lav motivasjon, kompetanse og ressurser tvinges over på alternative drivstoff ufrivillig, så må regelverket være av en slik standard at det er testet for snarveier og dårlige løsninger. Faren med en prematur overgang for skipsfarten til for eksempel ammoniakk uten at regelverket for giftig drivstoff er modnet, er at det kan skje unødvendige ulykker. Her må det jobbes videre med et omfattende regelverk som tar for seg alle skipstyper som er aktuelle, og som stiller like sterkt som dagens krav og regelverk til drivstoff. Samtidig er det viktig at regelverk ikke stopper utviklingen

som er nødvendig for at teknologien skal lykkes, her gjelder det å ha en god balanse, og god kommunikasjon mellom lovgivende myndigheter og produsenter.

Internasjonalt regelverk for hydrogen har en større utfordring da det ikke har noe særlig historie som last eller annen bruk i skipsfart. Dette gjør at det i stor grad må lages et regelverk fra bunn av. Men noe som hjelper er at det finnes mange standarder og retningslinjer for hydrogen på land. I tillegg har klasseselskapene vært tidlig ute og laget gode retningslinjer for hydrogen, som IMO kan benytte seg av når de utvikler sitt regelverk. Her gjelder det samme faremomentet som i forrige avsnitt, med ekstra trykk på at det er lite maritim erfaring med hydrogen.

## 5.2. Teknologiske muligheter og utfordringer

Alle rapportene nevner bakgrunnen for at en nå ser etter alternative drivstoff. Dagens drivstoff har for stor påvirkning på klima og miljø. For å kunne benytte oss av alternative drivstoff, må teknologien være tilgjengelig. Utviklingen pågår, og det er produsert fartøy som nytter seg av brenselceller til hydrogen, og det er testet ut forbrenningsmotorer med ammoniakk som drivstoff. Ett av de virkelig store spørsmålene når det kommer til teknologiske utfordringer er forbrenningen av ammoniakk. Som nevnt tidligere kan forbrenning av ammoniakk produsere drivhusgassen N<sub>2</sub>O og luftforurensing i form av NO<sub>x</sub>. Det er kommentert at det forventes at NO<sub>x</sub> utslippet kan håndteres av eksisterende SCR, og at motorprodusentene jobber for å finne ut av N<sub>2</sub>O utslippet. Her skulle det gjerne ha kommet frem tydeligere i hvilket omfang dette forekommer og om det faktisk kan løses eller ikke.

Grunnet stort trykk i lagring av hydrogen blir tankene som benyttes svært tunge. Dette er noe som kan gå ut over lastekapasitet sett på begrensninger i lastelinje konvensjonen. Det finnes forskjellige metoder for å lagre, transportere og bunkre hydrogen. For å sikre kompatibilitet bør det lages en bransjestandard på dette, slik at det ikke utvikles mange forskjellige metoder som ikke er kompatibel og en får en dårlig infrastruktur, det samme gjelder for ammoniakk.

Grønt hydrogen og ammoniakk refereres ofte til som e-fuel i rapportene. Det er fordi grønt hydrogen og ammoniakk lages med fornybar energi ved hjelp av vannelektrolyse. Rapporten «*Maritime Forecast 2050*» nevner det store energitapet dette medfører. Kort fortalt trenger en 26 MWh energi på land for å produsere energi tilsvarende 12 MWh som kan tas ut om bord. Dette minusregnestykket gjør at en konsekvent må bruke mer energi enn man får igjen, i tillegg må denne energien være fornybar for at det skal være nullutslipp drivstoff. Det er viktig at hele verdikjeden blir utslippsfri, for at en ikke bare flytter problemet til en annen del av verdikjeden. Ingen av rapportene går i dybden på hvor en skal finne denne ekstra energien, og hvem som skal ta kostnaden for dette. «*Maritime Forecast 2050*» nevner riktignok at prisen på energien til å produsere «electrofuels» vil avgjøre om det lønner seg.

Det er flere hensyn som tas som følge av dette. Et hensyn er at vi stadig bruker mer energi som mennesker, i tillegg skal menneskeheten globalt kutte utslipp. Det vil si at det skal benyttes fornybar energi til alt annet enn å produsere grønt hydrogen og ammoniakk også. Her må det studeres i hvilket omfang, og i hvilket tempo en klarer å utvikle og utvide infrastrukturen til fornybar energi, og hvilken effekt produksjonen av grønt hydrogen og ammoniakk vil ha i det puslespillet.

Et annet hensyn til avsnittet over er reliabiliteten til de fornybare energikildene. Siden de påvirkes av naturlige forhold som for eksempel sol, vind og regn vil de måtte være dimensjonert for å håndtere at deler av forsyningen ikke forekommer grunnet naturlige variasjoner, for eksempel tørke, lite nedbør mm. Dette vil påvirke energiprisen som igjen vil påvirke prisen på grønt hydrogen og ammoniakk. Her burde det undersøkes hvordan dette påvirker produksjon og pris, og se om andre stabile energikilder som atomkraft bør vurderes der det produseres grønt hydrogen og ammoniakk for å sikre stabil leveranse.



Areal er et knapphetsgode og dermed reises også spørsmålet om vi har nok areal til å bygge ut tilstrekkelig med fornybar energi, og om vi klarer å produsere nok til å dekke det stadig økende energibehovet. Vi har de siste årene også sett flere nyhetsartikler om en svakere fyllingsgrad i de norske vannmagasinene sammenlignet med tidligere, noe som gjør vann til en mer ustabil kilde (Aune & Endresem 2022);Flydal, 2022). Det reises også spørsmål om en klarer å skalere opp hydrogen og ammoniakk i tide til å erstatte fossilt drivstoff. Det er vanskelig å se for seg at vi klarer å finne en fullstendig erstatter for MGO men grøn hydrogen og ammoniakk vil nok kunne være en del av løsningen.

En løsning som ikke krever like stor plass i energiinfrastrukturen, er det «*Maritime Forecast 2050*» kaller «blue fuels». Blått hydrogen og ammoniakk produseres med fossil energikilde og CCS. Rapporten kommenterer at den teknologiske modenheten til CCS mangler, og i enda større grad gjør mangelen på infrastruktur at det er en lang vei å gå. Det å skulle skalere opp CCS infrastrukturen til å fange CO<sub>2</sub> i produksjon av energi og om bord fartøy, er sannsynligvis en like stor utfordring som å skalere opp fornybar energi. Igjen mangler rapportene informasjon som eksplisitt tar for seg hvordan dette kan løses.

### 5.3. Klima- og miljøpåvirkning

For hydrogen er klima- og miljøpåvirkningen i størst grad et problem under produksjon. Om produksjonen er klima og miljø nøytral så vil utslippet bestå av vann. En av farene ved hydrogen er dens eksplosivitet, så jeg tar med hydrogen også her fordi en ulykke eller brann involverende et hydrogenfartøy kan føre til store konsekvenser for fartøyet og dens last. Fartøyet i seg selv kan for eksempel frakte miljøfarlige stoffer som last.

Som nevnt i delkapitlet 5.2. har ammoniakk en mulig klima- og miljøpåvirkning da det kan slippe ut N<sub>2</sub>O og NO<sub>x</sub> ved forbrenning. «Ammonia Powered Bulk Carrier – pilot report» skriver at dette må løses for at ammoniakk skal kunne være et levedyktig utslippsfri drivstoff. Jeg skulle gjerne sett ett større fokus på denne problemstillingen da det er en stor barriere for ammoniakk som nullutslipps drivstoff.

En annen klima og -miljøpåvirkning ammoniakk har, er at det er giftig. Ifølge EDF sammendraget vil et potensielt utslipp av ammoniakk oppføre seg noe annerledes enn et oljeutslipp. Ammoniakk vil sannsynligvis ikke spre seg like mye, og fordampe fortere enn olje. Den store forskjellen er at ammoniakk påvirker fisk mer enn oljesøl. Fisk er en viktig ressurs for mennesker, både som mat og som biprodukt. Sammendraget kommenterer at det trengs mer forskning på utslipp av ammoniakk og hvordan det påvirker miljøet. Her må en finne ut i hvilket omfang det påvirker forskjellige fiskearter, og kanskje vurdere hvorvidt en kan bruke ammoniakk i spesielt utsatte områder og tidsrom, for eksempel områdene Lofoten og Vesterålen i gytesesongen for skrei.

#### 5.4. Andre refleksjoner

I starten av dette delkapitlet nevnte jeg at noen aktører sannsynligvis går frivillig for nye løsninger for alternativt drivstoff, mens andre går ufrivillig. Skipsfarten er en stor internasjonal bransje og en kan anta at det er mange ulike synspunkter, for eksempel på effekten bransjen har på klima og miljø. Dette ser jeg på som helt naturlig i en så stor bransje, spørsmålet er hvordan en får med seg alle på den nye retningen en har bestemt. Det kan nyttes økonomiske insentiver som for eksempel støtteordninger, og det kan nyttes tvang. Det jeg vil tro er en lur måte å gjøre det på, er å subsidiere teknologien og utviklingen, slik at den vil være mer tilgjengelig for hele bransjen, og ikke kun for de med ressurser.

Det er og verdt å merke seg at siden det her foregår en parallell utvikling av teknologi og regelverk så er dette noe som kan føre til motstand mot endring, fordi en slik implementering fører med seg mye usikkerhet. Dette kan spesielt gjelde for de som etter hvert «ufrivillig» må ta del i overgangen, og gjerne ikke har økonomi til at det kan oppstå problemer.

Både produksjon, lagring, transport og sikkerhet vil være en utfordring frem til fullstendig regelverk er på plass. Men for å kunne nå målene som er satt av IMO for 2030 og 2050, som mulig også kommer til å bli enda strengere ved årets IMO møte, så må drivstoffet i den maritime næringen endres, og øynene må rettes mot alternative drivstoff. Utfordringen er at mye fortsatt gjenstår både ved maritimt regelverk og teknologiske utfordringer for å få til en vellykket implementering.

Utgivelsen IMOs retningslinjer for ammoniakk og hydrogen vil være med å lette byrden på rederi og skipsbyggere når de skal retrofytte eller bygge nye fartøy som går på ammoniakk eller hydrogen.

#### 5.4.1. Refleksjon rundt rapportene

«Maritime Forecast 2050» er en oversiktsrapport, men mangler informasjon om hvordan energien skal komme til virke. Blant annet hvor krevende det sannsynligvis vil være for energiinfrastrukturen å måtte produsere energi til grønt hydrogen og ammoniakk, i tillegg til et stadig økende behov fra befolkningen. En annen «mangel» er detaljerte design-reguleringer for hydrogen og ammoniakk, og referer til at «shipbuilder» må bruke mye ressurser på risikovurderinger (prosesser for alternativ design).

«Ammonia as marine fuel - safety handbook» er en overordnet og grei sikkerhetshåndbok, den referer mye til IGF koden. Det denne sikkerhetshåndboken mangler er at den ikke tar hensyn til kursing og opplæring av personell. Om dette er noe som er tenkt tillagt i IGF kursene som foregår i dag, etter at IGF koden er oppdatert nevnes ikke. «Handbook for hydrogen fuelled vessels» er svært detaljert og det står hvordan det meste bør gjennomføres og løses. Det som mangler er muligens anbefalinger mot bransjen om hvilke løsninger og teknologier de bør samle seg om.

«Ammonia Powered Bulk Carrier - pilot report» er utgitt av et rederi, hvorav de fleste faktaene er hentet fra nøytrale parter som også går igjen i de andre rapportene (som for eksempel DNV). Det at denne rapporten også uttrykker kritikk til CII er naturlig siden rapporten kommer fra rederisiden. Det er viktig å ha i mente at dataene som er funnet når de lagde rapporten kan vinkles fordelsmessig uten å gå direkte på akkord med sannheten.

«EDF Ammonia at sea» sammendraget har derimot kun fokus på utslipp til natur og er ett sammendrag av en studie. Det er en studie på et ungt tema og en må belage seg på mer forskning før en kan trekke for store konklusjoner.

## 6. Konkluderende merknader

Gjennom denne bacheloroppgaven har jeg undersøkt problemstillingen; «*hvilke hensyn må tas ved implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten?*», med tilhørende tre forskningsspørsmål som omhandler hvordan det maritime lovverket vil påvirke implementeringen, hvilke sikkerhetsaspekter som må vurderes, teknologiske utviklinger, og klima- og miljøpåvirkninger.

Kapittel 2 presenterte kunnskapsgrunlaget om egenskapene til hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfarten, dens energitetthet, lagring, håndtering og transport. Deretter ble utvalgte rapporter gjennomgått og presentert i resultatkapittelet opp mot kunnskapsgrunlaget. Videre ble det lagt til egne refleksjoner om funnene fra resultatkapittelet (kap 4) i diskusjonskapittelet (kap 5), som sammen diskuteres opp mot problemstillingen og hensynene som må tas.

Metoden for oppgaven var litteraturstudie hvor jeg studerte fire ulike rapporter. En sikkerhetshåndbok for ammoniakk som drivstoff på skip, en rapport for ammoniakkdrevne skip fra et rederi, en håndbok for hydrogen som drivstoff på skip, og et sammendrag fra EDF om ammoniakk på skip med fokus på miljøhensyn. For å få til en vellykket implementering av hydrogen og ammoniakk som drivstoff i skipsfart vil det være avgjørende at alle nevnte barrierene innen maritimt lovverk og sikkerhetsaspekt, de teknologiske utfordringene, og klima- og miljøpåvirkningene blir tatt hensyn til.

Jeg har observert at det brister og bærer på flere ting. Som jeg diskuterte i forrige kapittel, er det flere store spørsmål som for øyeblikket står ubesvart. Det er med forbehold om at det kun sees opp mot de rapportene jeg har gjennomgått, og at dette temaet er kontinuerlig i utvikling som gjør at løsninger og svar kan ha kommet i løpet utarbeidelsen av oppgaven.

Det finnes flere hensyn som må tas med tanke på hydrogen og ammoniakk i skipsfart. To problem jeg vil trekke frem som store hensyn som må tas er utbyggingen av fornybar energi og utviklingen av CCS. Skal det kunne produseres nullutslipps hydrogen og ammoniakk i en større skala så må minst en av dem, helst begge, være på plass. For ammoniakk kommer i tillegg det ubesvarte spørsmålet om håndteringen av utslipp av N<sub>2</sub>O under forbrenning.

Et annet hensyn som tas opp mot energibehovet til grønt hydrogen og ammoniakk er at det krever mer energi enn det produserer. Det ble nevnt både i resultatdelen og diskusjonsdelen at 26MWh energi fra land, kune gir 12MWh om bord på grunn av energitap i produksjon, transport mm. Dette er ganske ulikt fra dagens drivstoff, og vil gjøre det vanskeligere å selge inn ammoniakk som erstatter.

### 6.1.      Anbefaling for videre arbeid

Avslutningsvis vil jeg for videre arbeid anbefale å se på økonomiaspektet av hydrogen og ammoniakk i skipsfart. Det vil naturligvis være essensielt å se på kostnaden ved overgang til alternative drivstoff, både på mikro og makro nivå. Det kan også gjøres undersøkelser og forskning på behovet for fornybar energi i produksjon av grønt hydrogen og ammoniakk, inkludert kostnader, relabilitet, og teknologiske løsninger. Et annet forslag er å gjøre en livssyklus analyse for å evaluere de totale klima- og miljøpåvirkningene av hydrogen og ammoniakk sammenlignet med fossilt. Videre vil forskning på teknologien som er nødvendig for at det skal lykkes være essensielt, med blant annet CCS og N<sub>2</sub>O utslipp. Til slutt er et forslag at det også bør gjøres videre studier på ammoniakkens påvirkning på det marine miljøet ved utslipp til sjø, inkludert dens påvirkning i på dyrelivet.

## Referanseliste

- Atchinson, J. (2021, september 29). *ABS publishes new guide for ammonia-fueled vessels*. Retrieved from ammoniaenergy.org: <https://www.ammoniaenergy.org/articles/abs-publishes-new-guide-for-ammonia-fueled-vessels/>
- Aune, R., & Endresen, T. L. (2022, mai 4). *Laveste fyllingsgrad i vannmagasinene på nesten tjue år*. Retrieved from nrk.no: <https://www.nrk.no/vestfoldogtelemark/lav-fyllingsgrad-i-vannmagasinene-kan-gi-hoye-strompriser-1.15952572>
- Bergens rederiforening . (2023). *Tiltak for mer miljøvennlige skipstransport*. Retrieved from rederiforeningen.no: <https://rederiforeningen.no/miljo/miljovennlig-skipstransport/>
- Buan, I. F. (2022, November). *INTERNASJONALT SAMARBEID FOR KLIMAET: KLIMATOPPMØTER OG PARISAVTALEN*. Retrieved from wwf.no: <https://www.wwf.no/klima-og-energi/klimaforhandlinger>
- DNV (1). (2020, Februar 07). *Sulphur Cap 2020 – HSFO carriage ban only weeks away*. Retrieved from dnv.com: <https://www.dnv.com/news/sulphur-cap-2020-hsfo-carriage-ban-only-weeks-away-166293>
- DNV (1). (2022). *Hydrogen Forecast to 2050 - Energy Transition Outlook 2022*. DNV.
- DNV (2). (2021). *HANDBOOK FOR HYDROGEN-FUELLED VESSELS*. DNV.
- DNV (3). (2022). *Maritime Forecast to 2050 - Energy Transition Outlook 2022*. DNV.
- DNV (4). (2022). *DNV Hydrogen Forecast 2022 to 2050*. DNV.
- Egge, H. (2020, april 2). *Hva er egentlig grått, grønt, blått og turkis hydrogen?* Retrieved from sintef.no: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/hva-er-egentlig-gra-gronn-bla-og-turkis-hydrogen/>
- EMSA. (n.d.). *Classification Societies*. Retrieved from emsa.eu: <https://www.emsa.europa.eu/inspections/90-classification-societies.html>
- Environmental Defense Fund. (2022). *Ammonia at sea*. Environmental Defense Fund .
- Equinor. (2022, februar 14). *Ammoniakk som drivstoff på et tankskip i global skipsfart*. Retrieved from grontskipsfartsprogram.no: <https://grontskipsfartsprogram.no/pilotprosjekt/ammoniakk-som-drivstoff-pa-et-tankskip-i-global-skipsfart/>
- Flydal, E. F. (2022, august 24). *NVE med nye magasin-tall: Lavere enn tidligere*. Retrieved from vg.no: <https://www.vg.no/nyheter/innenriks/i/MLM42r/nve-med-nye-magasin-tall-lavere-enn-tidligere>
- FN. (2023, april 03). *Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO)*. Retrieved from fn.no: <https://www.fn.no/om-fn/fns-organisasjoner-fond-og-programmer/den-internasjonale-sjoefartsorganisasjonen-imo>
- Forsberg, C., & Wengström, Y. (2016). *Att göra systematiska litteraturstudier : värdering analys och present*. Natur Kultur Akademisk.
- Green Shipping Programme. (2021). *Ammonia as a marine fuel - safety handbook*. Green Shipping Programme.

- Grieg Star. (2023). *Ammonia powered bulk carrier - Pilot report*. Grieg Star og Green Shipping Programme.
- Hand, M. (2023, April 23). *87% of seafarers say training needed for handling new fuels*. Retrieved from searade-maritime.com: <https://www.searade-maritime.com/ship-operations/87-seafarers-say-training-needed-handling-new-fuels>
- Hofstad, K. (2020, Juli 31). *Hydrogen drivstoff*. Retrieved from snl.no: <https://snl.no/hydrogendrivstoff>
- Hofstad, K. (2023, januar 26). *ammoniakk (energibærer)*. Retrieved from snl.no: [https://snl.no/ammoniakk\\_-\\_energibærer](https://snl.no/ammoniakk_-_energibærer)
- IMO (1). (2022, September 14-23). *Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers (CCC 8), 8th session, 14-23 September, 2022*. Retrieved from imo.org.no: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/CCC-8th-session.aspx>
- IMO (10). (n.d.). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. Retrieved from imo.org: [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- IMO (11). (n.d.). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. Retrieved from imo.org: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)
- IMO (12). (n.d.). *Fourth Greenhouse Gas Study 2020*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- IMO (2). (2023). *International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)*. Retrieved from imo.org.no: <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/igf-code.aspx>
- IMO (3). (n.d.). *IBC Code*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IBC-Code.aspx>
- IMO (4). (n.d.). *IGC Code*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/igc-code.aspx>
- IMO (5). (n.d.). *United Nations Convention on the Law of the Sea*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/ourwork/legal/pages/unitednationsconventiononthelawofthesea.aspx>
- IMO (7). (n.d.). *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs)*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/COLREG.aspx>
- IMO (8). (n.d.). *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/stcw-conv-link.aspx>
- IMO (9). (n.d.). *The International Safety Management (ISM) Code*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/ISMCode.aspx>

- IMO. (n.d.). *IMO's work to cut GHG emissions from ships*. Retrieved from imo.org:  
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>
- IMO(6). (n.d.). *The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*. Retrieved from imo.org: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/DangerousGoods-default.aspx>
- IMORules. (n.d.). *Regulation 3-1 - Structural, mechanical and electrical requirements for ships*. Retrieved from imorules.com: <https://www.imorules.com/GUID-CF6B8CED-95A4-48DC-98AC-82AA6B7BE643.html>
- Jacobsen, D. I. (2005). *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Høyskoleforlaget, 2. Utgave.
- Jacobsen, D. I. (2018). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?*. Latvia : Cappelen Damm AS.
- Kildekompasset. (2023). *Kildekritikk*. Retrieved from kildekompasset.no:  
<https://kildekompasset.no/kildekritikk/>
- Kofstad, P. K., Pedersen, B., & Kaland, T. (2023, januar 22). *hydrogen*. Retrieved from snl.no:  
<https://snl.no/hydrogen>
- Larsen, A. K. (2017). *En enklere metode*. Kanalveien 51, 5068 Bergen: Fagbokforlaget, 2 utgave.
- Liew, C. P. (2023, May 29). *Price the biggest challenge in adoption of alternative fuels: Eaglestar*. Retrieved from searade-maritime.com: <https://www.searade-maritime.com/sustainability-green-technology/price-biggest-challenge-adoption-alternative-fuels-eaglestar>
- Lovdata . (2023, april 25). *Lov om sjøfarten (sjøloven)*. Retrieved from lovdata.no:  
<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1994-06-24-39>
- McKinlay, C. J. (2021, August 10). *Route to zero emission shipping: Hydrogen, ammonia or methanol?* Retrieved from sciencedirect.com:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921022175?casa\\_token=O6mnnApucDkAAAAA:8KbcaEMAvKIA1Cq1GsprUocE2bK13qqkGuq-GyVzCi1G4SFBpfPAOB51vzAaeotOwsJlIT0](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921022175?casa_token=O6mnnApucDkAAAAA:8KbcaEMAvKIA1Cq1GsprUocE2bK13qqkGuq-GyVzCi1G4SFBpfPAOB51vzAaeotOwsJlIT0)
- NHO. (n.d.). *Grønt skifte: Begreper du må kunne*. Retrieved from nho.no:  
<https://www.nho.no/tema/energi-miljo-og-klima/artikler/gront-skifte-10-begreper-du-ma-kunne/>
- Norsk Klimastiftelse. (2021). *Hydrogen som klimaløsning*. Retrieved from tograder.no:  
[https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2021/03/2C\\_Temanotat\\_3\\_2021\\_Hydrogen.pdf](https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2021/03/2C_Temanotat_3_2021_Hydrogen.pdf)
- NTNU, SINTEF, & IFE. (n.d.). *Hydrogen i fremtidens lavkarbonsamfunn*. NTNU, SINTEF, IFE.
- Pedersen, A. G., & Reidunsdatter, R. J. (2018, Desember 19). *Litteraturstudie som metode*. Retrieved from youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=KF3PtpaDsm8>
- Pedersen, B. (2023, januar 12). *ammoniakk*. Retrieved from snl.no: <https://snl.no/ammoniakk>
- Persson, M. (2021). *Hvordan skrive en litteraturgjennomgang?* Postboks 508 Sentrum, 0105 Oslo: Universitetsforlaget AS.
- Rabbevåg, F. (2020, Oktober 01). *Norsk internasjonalt skipsregister*. Retrieved from snl.no:  
[https://snl.no/Norsk\\_internasjonalt\\_skipsregister](https://snl.no/Norsk_internasjonalt_skipsregister)



- Regjeringen . (2021, Desember 08). *Det grønne skiftet*. Retrieved from regjeringen.no:  
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/det-gronne-skiftet/id2879075/>
- Regjeringen. (2022, Mars 21). *Norsk maritim sektor kan bli en grønn omstillingsvinner*. Retrieved from regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norsk-maritim-sektor-kan-bli-en-gronn-omstillingsvinner/id2904854/>
- Route to zero emission shipping: Hydrogen, ammonia or methanol?* (2021, juli 1). Retrieved from sciencedirect.com:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921022175?casa\\_token=O6mnnApucDkAAAAA:8KbcaEMAvKIA1CqIGsprUocE2bK13qqkGuq-GyVzCi1G4SFBpfPAOB51vzAaeotOwSjIIT0](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921022175?casa_token=O6mnnApucDkAAAAA:8KbcaEMAvKIA1CqIGsprUocE2bK13qqkGuq-GyVzCi1G4SFBpfPAOB51vzAaeotOwSjIIT0)
- Sarsten, A., & Ellingsdalen, Ø. (2021, oktober 14). *Dieselmotor*. Retrieved from snl.no:  
<https://snl.no/dieselmotor>
- Sjøfartsdirektoratet. (2023, januar 17). *Nye miljøkrav for skip*. Retrieved from sdir.no:  
<https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/klimagassutslipp-fra-skip/>
- Sjøfartsdirektoratet. (2023). *Utslipp fra skip* . Retrieved from sdir.no:  
<https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/utslipp-fra-skip/>
- Støren, I. (2013). *Bare søk! Praktisk veiledning i å skrive litteraturstudier* . Laboremus Oslo AS: Cappelen Damm Akademisk.
- Storsul, T. (2011, mars 22). *Dokumentanalyse. Analyse av kvalitative data*. Retrieved from uio.no:  
<https://www.uio.no/studier/emner/hf/imk/MEVIT2800/v11/undervisningsmateriale/8dokumentanalyse.pdf>
- Thorsvik, J. (2016). *Hvordan organisasjoner fungerer*. Bergen: Fagbokforlaget, 3 utg.
- UIO. (2021, desember 31). *Ammoniakk*. Retrieved from mn.uio.no:  
<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/a/ammoniakk.html>
- Øysese (3), K. Å. (2020, januar 23). *Hele skipsfarten kan potensielt gå på grønn ammoniakk*. Retrieved from energiogklima.no: <https://energiogklima.no/meninger-og-analyse/debatt/hele-skipsfarten-kan-potensielt-ga-pa-gronn-ammoniakk/>
- Øystese (1), K. Å. (2020). *Grønn skipsfart: Utslippene må i null i 2050*. Retrieved from api.klimastiftelsen.no: [https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/01/NK1\\_2020\\_gronn\\_skipsfart.pdf](https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/01/NK1_2020_gronn_skipsfart.pdf)
- Øystese (2), K. (2020). *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*. Retrieved from api.klimastiftelsen.no: [https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/06/NK\\_notat\\_3\\_2020\\_Ammoniakk\\_kan\\_kutte\\_store\\_utslipp\\_i\\_skipsfart.pdf](https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/06/NK_notat_3_2020_Ammoniakk_kan_kutte_store_utslipp_i_skipsfart.pdf)