

## TYRVI HYDROGENVERDIKJEDER

*Lokalt produsert hydrogen for lokal avsetting og tilstøtende behov og muligheter - hydrogenverdikjeder.*

### PROSJEKTPLAN:

I det følgende er prosjektet *TYRVI - Hydrogenverdikjeder* presentert. Dette er en revisjon av et tidligere foreslått forstudie som var utarbeidet med utgangspunkt i *TYRVI Veikart* presentert prosjektets partnere der opprinnelig fokus var vurderinger rundt etablering av en hydrogendrevet hurtigbåt som en sluttbruker av hydrogen. Denne aktiviteten utgår i denne prosjektbeskrivelsen. Denne reviderte prosjektplanen har et utvidet markedsfokus som vil adressere ulike behov og bruksområder rundt hydrogen.

Introduksjon av hydrogen som energibærer i stadig flere applikasjoner vil etablere verdikjeder som åpner opp for mange muligheter. Prosjektet vil evaluere slike og utrede hvordan disse kan utnyttes for å skape virksomhet.

Prosjektet TYRVI Hydrogenverdikjeder skal gjennomføre to delprosjekter:

***Delprosjekt A: Lokal produksjon av hydrogen***

***Delprosjekt B: Mulighetsvinduet - energibæreren hydrogen***

Prosjektet realiseres med tilskudd fra Modum Kommune samt bidrag og deltakelse fra parter aktører med et grensesnitt til ett eller flere av fokusområdene beskrevet i prosjektplanen. Disse er.:

- Glitre Energi AS
- Midtkraft AS
- Norsk Massehåndtering AS
- Skue Sparebank

InBallast AS er ansvarlig for gjennomføring av prosjektet.

---

Prosjekt.: 2021-008-A Rev.: 03 Dato: 17.11.2021

### InBallast AS

Kontaktperson:

Aage Bjørn Andersen

Email.:

aage.bjorn.andersen@inballast.com

Telefon.:

99233342

Utarbeidet av:

AABA/ TS/ TPA

Godkjent av:

AC

<b>1</b>	<b><u>TYRVI – HYDROGENVERDIKJEDER</u></b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><u>DELPROSJEKT A: LOKAL PRODUKSJON AV HYDROGEN</u></b>	<b>5</b>
2.1	INNLEDNING	5
2.1.1	BAKGRUNN	7
2.1.2	HYDROGENPRODUKSJON I MODUM	8
2.1.3	DELPROSJEKT A'S OMFANG OG ART	8
2.2	LOKAL PRODUKSJON AV HYDROGEN - ARBEIDSPAKKER	10
2.2.1	ARBEIDSPAKKENE - GENERELT	11
<b>3</b>	<b><u>MULIGHETSVINDU – ENERGIBÆEREREN HYDROGEN</u></b>	<b>12</b>
3.1	INNLEDNING	12
3.1.1	BAKGRUNN	13
3.1.2	VIRKSOMHET KNYTTET TIL HYDROGENVERDIKJEDER I MODUM	14
3.1.3	DELPROSJEKTET B'S OMFANG OG ART	15
3.2	MULIGHETSVINDU – ENERGIBÆEREREN HYDROGEN	16
3.2.1	ARBEIDSPAKKENE - GENERELT	16
<b>4</b>	<b><u>TYRVI – RAPPORTERING</u></b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b><u>TYRVI – UTREDNINGSTEAMET</u></b>	<b>18</b>

# 1 TYRVI – HYDROGENVERDIKJEDER

TYRVI - Hydrogenverdikjeder (TYRVI) tar utgangspunkt i lokal produksjon av hydrogen fra fornybar energi for lokal avsetning og evaluerer tilstøtende behov med påfølgende muligheter. Prosjektet skal produsere anbefalinger og konkludere.

*Nasjonale og internasjonale ambisjoner og avtaler om avkarbonisering treffer alle samfunnets sektorer og innebærer store utfordringer. Nye grønne energibærere skal erstatte de fossile. Denne overgangen krever omstilling som igjen åpner opp et stort mulighetsvindu.*

Grønt hydrogen er hydrogen framstilt ved elektrolyse ved bruk av fornybar energi. Råstoffet er altså vann og elektrisitet. Modum er en sentralt beliggende kraftkommune med kort avstand til kommende hydrogenmarkeder. Forutsetninger og muligheter til å etablere denne regionen som en sentral hydrogenaktør ligger vel til rette.

Dette initiativet er en forstudie som har til hensikt å demonstrere slike muligheter. Forstudiet inkluderer to hovedaktiviteter som er organisert i delprosjekter.:

## Delprosjekt A: Lokal produksjon av hydrogen:

- *Etablering av produksjonskapasitet for hydrogen lokalt for leveranse til regionale forbrukere.*
- *Vurderinger av nødvendig hydrogen infrastruktur inkludert distribusjon for et fremtidig hydrogenmarked.*

## Delprosjekt B: Mulighetsvinduet – energibæreren hydrogen

- *Hydrogenrelaterte markeder (lokalt/ regional/ nasjonalt)*
- *Hydrogenproduksjon, produkter og utnyttelse*
- *Virksomheter for produksjon/ leveranse av produkter/ tjenester relatert til hydrogen.*

Avkarboniseringsutfordringene har akselerert utvikling av batteriteknologier. Effektivitet, kapasitet og kostnadsreduksjoner har bidratt til en voldsom økning i batteridrevne applikasjoner og dermed behov for batterier. I Norge realiseres nå mange store etableringer som skal produsere batterier for disse markedene.

Imidlertid er batterier ubrukelige med mindre det finnes ladeenergi tilgjengelig der batteriene befinner seg.

I mange slike mobile applikasjoner utfordres det elektriske nettet/ infrastrukturen i relasjon til slike ladebehov allerede nå. For å avlaste nettet og/ eller eliminere nettavhengighet, etableres derfor hydrogendrevne ladeanlegg for batterier i mange og ulike applikasjoner.

Batterier har også store begrensninger spesielt som følge av begrenset energitetthet som gjør de mindre egnet jo større energibehovet er.

Behov for fossilfrie alternativer vokser kanskje spesielt i energikrevende applikasjoner. Produksjon av elektrisitet med basis i hydrogen benytter oftest brenselceller. Det vil være et forhold mellom bruksområder som kan benytte batterier og de der energien kan leveres fra brenselceller drevet av grønt hydrogen. For et visst antall produserte battericeller, vil det kunne være behov for en brenselcelle. Dette representerer en av mange fasetter i mulighetsvinduet rundt introduksjonen av hydrogen som energibærer.

Et annet perspektiv er mulighetene rundt oksygen som er et biprodukt fra elektrolytisk fremstilling av hydrogen. Dette markedet er økende og drives i Norge nå først og fremst av oppbygging av kapasiteter i fiskeoppdrettsnæringen.

I det etterfølgende presenterer det foreslåtte forstudiet. Aktiviteter som skal gjennomføres er organisert i arbeidspakker. Disse er beskrevet i større detalj i *TYRVI Arbeidspakker*.

## 2 DELPROSJEKT A: LOKAL PRODUKSJON AV HYDROGEN

Hydrogen kan forbrennes og skape energi uten at det medfører utslipp med miljøkonsekvenser. Denne energibæreren kan også produseres «grønt» uten noen utslipp ved bruk av fornybar energi.

Grønt hydrogen er altså et virkelig nullutslippsalternativ. Slikt grønt hydrogen er forventet etterspurt i økende grad i et perspektiv sammenfallende med myndighetenes ambisjoner rundt avkarbonisering drevet av insentiver og rammeverk i alle sektorer.

Som en del av prosjektet; TYRVI - Hydrogenverdikjeder, gjennomføres en generell vurdering av produksjon av hydrogen basert på elektrolyse og fornybar energi med utgangspunkt i kortreist-filosofien. Med det menes at den relative avstanden fra produsent til konsument ansees som et vesentlig kostnadselement først og fremst grunnet hydrogenets beskaffenhet og begrensninger i fasiliteter for distribusjon. Avstand mellom produksjon og forbruk bør derfor begrenses.

Delprosjekt A ser på hydrogenproduksjon fra ulike fornybar-kilder inkludert eksisterende vannkraft, eventuelt realisering av ikke utnyttede vannkraftressurser, solenergi og eventuelle andre fornybarkilder.

Utredningen skal vurdere hydrogenproduksjon både i mindre og større skala og i forhold til et innledende men økende behov over en tidslinje. Det kan tas utgangspunkt i produksjon ved eksisterende kraftanlegg i regionen, men vil kunne inkludere alternativer til dette som eventuelt anbefales i den generelle tilnærmingen til hydrogenproduksjonen.

### 2.1 Innledning

I en rapport utarbeidet av DNV i 2019 og benyttet som et av flere underlagsdokumenter for regjeringens strategi rundt hydrogen lansert i 2020, er rollen til hydrogen som energibærer summert opp slik.:

- Rundt 3% av verdens energikonsum blir brukt til å produsere hydrogen. Denne produksjonen er hovedsakelig basert på fossile energikilder, og har et høyt karbonfotavtrykk. Dette fotavtrykket kan reduseres betraktelig ved bruk av CCS (karbonfangst og lagring), eller ved å erstatte hydrogen fra fossilbasert produksjon med hydrogen fra vannelektrolyse basert på fornybar kraft.
- Hydrogen kan bidra til å avkarbonisere sektorer som ikke bruker hydrogen i vesentlig grad i dag. I Norge gjelder dette i første rekke transportsektoren, der hydrogen kan erstatte fossile drivstoff, for eksempel i tungtransport på vei og i maritim sektor. Dette forutsetter at hydrogenet er produsert med et lavt karbonfotavtrykk.
- Naturgassreforming vil i dag normalt være billigere enn vannelektrolyse for storskala hydrogen-produksjon. Krav til CCS og behov for store anlegg for å oppnå stordriftsfordeler begrenser imidlertid aktuelle steder for slik produksjon og gir større kompleksitet og kostnadsusikkerhet for nye anlegg. Begrensninger på produksjonslokalteter kan også medføre økte kostnader forbundet med transport og lagring av hydrogen.
- Vannelektrolyse er en meget modulær teknologi, og krever kun tilgang på kraft og vann. Vannelektrolyse er derfor velegnet for lokal produksjon. Dette kan unngå kostbar

transport og lagring, og gjør at vannelektrolyse kan være konkurransedyktig mot gassreformering.

- Transport og lagring av hydrogen krever at hydrogengassen trykkes, eller omdannes til eller syntetiseres til væskeform, f.eks. flytende hydrogen, ammoniakk eller metylsykloheksan. Slik tilstandskonvertering krever mye energi. Konvertering til væskeform krever energi tilsvarende minst 20% av energien til hydrogenet som blir konvertert.
- Transport av hydrogen i flytende form er mest aktuelt for større volum og lengre avstander, for å oppnå mer volumeffektiv transport sammenlignet med trykksatt hydrogen.
- Kostnad og karbonfotavtrykk for hydrogen benyttet hos sluttbruker avhenger av kostnadene og utslipp gjennom hele kjeden fra produksjon, via transport og lagring til endelig bruk. Ved vurdering av ulike alternativer må derfor kostnad, teknologimodenhet, og utslipp til hele kjeden vurderes, og avveies mot alternativer. For eksempel kan det være mer hensiktsmessig å frakte naturgass eller elektrisitet fram til lokal produksjon heller enn å frakte hydrogen.

I Regjeringens hydrogenstrategi («På vei mot lavutslippssamfunnet») legges det blant annet stor vekt på tidlig å etablere hydrogenverdikjeder.

(<https://www.regjeringen.no/contentassets/8ffd54808d7e42e8bce81340b13b6b7d/regjeringens-hydrogenstrategi.pdf>)

Denne strategien tar utgangspunkt i regjeringens ambisjoner om Norge i relasjon til klimautslipp:

- Norge skal bli et lavutslippssamfunn i 2050. Regjeringen har et mål om at klimagassutslippene i 2050 skal reduseres i størrelsesorden 90 og 95 pst. sammenlignet med 1990-nivå.
- Som en del av oppfølgingen av Parisavtalen, har Norge meldt inn et forsterket klimamål for 2030 om å redusere utslippene med 50% og opp mot 55 % sammenliknet med 1990.

Strategien konkluderer med at hydrogen som energibærer har betydelige potensialer til å;

- Bidra til å redusere utslipp, lokalt, nasjonalt og globalt.
- Skape verdier for norsk næringsliv gjennom etablering av hydrogenbaserte verdikjeder (produkter/ applikasjoner/ tjenester).

Det legges vesentlig vekt på initiativer som tilrettelegger for utvikling av et internasjonalt konkurransedyktig norsk næringsliv som kan ta posisjoner i de nye markedene som etableres ved innfasing av hydrogen som energibærer.

For at hydrogen skal være en utslippsfri energibærer, må det produseres uten utslipp. Altså vil nullutslippsløsninger basert på hydrogen måtte produseres ved elektrolyse basert på fornybar energi (grønt hydrogen).

I 2019 ble det estimert et fremtidig markedspotensial for hydrogen til nasjonal bruk i Norge på ca. 250 000 tonn H<sub>2</sub>/år i 2030. Av dette antas det at om lag 70% vil benyttes til ammoniakk/

metanolproduksjon mens det resterende 30%, rundt 75,000 tonn vil fordele seg på transport (vei og maritim), jernbane, anleggsektoren samt nye markeder ettersom barrierer relatert til bruk brytes ved bedre distribusjon og utvidede anvendelsesområder som følge av forbedringer i teknologier. Det kreves i dag omlag 50 – 55 kWh til å produsere ett kg H<sub>2</sub>. Dersom hele denne andelen skal produseres grønt ved elektrolyse, vil det kreve omlag 3,75 TWh.

Hydrogen vil også spille en vesentlig rolle i EU's European Green Deal. Denne legger til grunn at mesteparten av EU's reduksjonskrav relatert til klimagasser frem til 2050 skal komme fra fornybar elektrisitet, men altså ikke alt. Hydrogen antas å ville spille en vesentlig rolle for lagring av energi også i kombinasjoner med batterier. Spesielt ser man behov og potensialer for dette i produksjonsvariasjoner over døgn/ sesonger, innenfor transportsektoren samt som alternativ der elektrisk infrastruktur ikke er tilstrekkelig godt utbygget eller der dette ikke kan etableres kostnadseffektivt.

I 2018 anslo EU, i lys av visjonen om et klimanøytralt Europa, at energimiksen i 2050 vil bestå av om lag 15% hydrogen. Av andre er dette beregnet til 24%.

Fremtidig etterspørsel av hydrogen i Norge er usikker. Et av de store spørsmålene rundt dette, vil knytte seg til i hvilken grad hydrogenbaserte teknologier er konkurransedyktig mot alternative lav- og nullutslippsteknologier. Konkurransen til grønt hydrogen påvirkes av ulike variabler, deriblant prisutviklingen i elektrolyse- og brenselcelleteknologier men i dag, kanskje i større grad, av prisutviklingen av elektrisk energi. Dette vil igjen påvirke opptakshastigheten av denne nye energibæreren i de ulike markedene. På utsiden av disse parameterne vil insentiver også påvirke etterspørsel og derigjennom pris og igjen innfasingshastigheten i ulike sektorer.

### 2.1.1 Bakgrunn

Nesten alt hydrogen som produseres i dag, konsumeres av produsenten i industrielle prosesser. Det er derfor i svært liten grad utviklet infrastruktur/løsninger for hydrogen. Ved introduksjon av produkter og applikasjoner som i større grad knyttes til mobile bruksområder, er manglende infrastruktur antakeligvis et argument for å etablere produksjonskapasiteter i nærområder i forhold til der hydrogenet skal avsettes. Kanskje som følge av dette, ser vi at produsenter av elektrolyseanlegg for hydrogenproduksjon også lager modulære konsepter som kan produsere ganske begrensede volumer innledningsvis, men som kan utvides ettersom behovet øker. En ser også aktører som går i den andre retningen og utvikler store elektroder for elektrolyseanlegg for å utnytte mulige storskala potensialer som kanskje i noen tilfeller vil sette andre krav til distribusjon.

Kostnadene av grønt hydrogen vil reflektere råstoffene i hydrogenproduksjon; prisen på den elektriske energien man benytter, samt avskrivningene av produksjonssystemer som inngår. Dette inkluderer elektrolyseanlegg, kompressorer, tørke-/ renselanlegg og lagringssystemer (tanker). Investeringskostnadene knyttet til produksjonssystemer vil på sikt kunne favorisere sentral plassering av store hydrogen-produksjonsanlegg. Imidlertid, kan denne gevinsten spises opp av logistikk-kostnader dersom avstanden til markedet blir stor.

Pris på elektrisk energi vil i mange fremtidige hydrogenproduksjonsprosjekter være den vesentligste faktoren som kontrollerer prisen på sluttproduktet (hydrogen). I Norge er vannkraft i dag den mest konkurransedyktige fornybare produksjonsprosessen. Elektrolytisk hydrogenproduksjon er fritatt elavgift. Dersom hydrogenet kan produseres fristilt det elektriske nettet, er

den også fritatt for nettagift. Imidlertid kan kombinasjonsproduksjon i vannkraftverk der en produserer noe elektrisk energi levert til nett mens noe går til hydrogenproduksjon, falle inn under konsesjonsvilkår og kanskje være underlagt andre rammebetingelser/ avgifter. Fristilte solkraftverk for hydrogenproduksjon er i økende grad sett på som en kostnadseffektiv energileverandør til elektrolyse.

Fornybar energiproduksjon styres av døgn- og årstidsvariasjoner. Dette vil også ha en betydning for vurderinger og anbefalinger i relasjon til utbygging av hydrogenproduksjonsanlegg.

### 2.1.2 Hydrogenproduksjon i Modum

Modum er en kraftkommune med en rekke vannkraftverk operert og eid av ulike aktører

I Tabell 1 nedenfor presenteres en oversikt over noen av vannkraftverkene i Modum.

I en tidlig fase, presentert i TYRVI Veikart, er det gjennomført en vurdering av Dyrbakk som produksjonsanlegg for hydrogen tiltenkt avsetning ombord i hurtigbåten beskrevet i forstudiets hovedprosjekt (beskrevet i kapittel 2). I tillegg finnes det mulige ikke utnyttede vannressurser som kan vurderes utbygd for hydrogen-produksjon.

Kortreist behøver ikke å begrense seg til kommunenes grenser. Videre er manglende infrastruktur for distribusjon av hydrogen for utvidet kommersielt bruk ikke nødvendigvis et hinder som vil kreve store investeringer eller vil kreve lang tid å få på plass.

Tabell 1 Vannkraftanlegg i Modum kommune

Operatør	Navn	Fall	Ytelse (MW)	Produksjon (GWh)
Midtkraft	Ramfoss	23,6	30	190
Midtkraft	Dyrbakk	438	0,6	2,6
Glitre	Kaggefoss	74	88	612
Glitre	Geithusfoss	10	14	99
Midtkraft	Haugfoss	37	3,6	21
Glitre	Embretsfoss 4	16,3	71	362
Midtkraft	Kongsfoss	6	14	85

I tillegg til vannkraftproduksjon, planlegges det også etablering av kraftproduksjon fra sol (Vikersund Solpark). Denne vil kunne være i drift fra Q2 2022.

### 2.1.3 Delprosjekt A's omfang og art

Utredningene i dette delprosjektet inkluderer praktiske, tekniske, økonomiske og miljørelaterte forhold som kan påvirke beslutninger rundt vurderinger av etableringen av lokal hydrogenproduksjon. Arbeidet gjennomføres i arbeidspakker med utgangspunkt i anerkjente prinsipper for bærekraftig energiproduksjon.

Arbeidet skal resultere i anbefalinger med utgangspunkt i et produksjonsvolum som baserer seg på et overslag relatert til sannsynlig tilgjengelig energi fra eksisterende vannkraftverk eller som kan skapes ved utbygging av nye vannkraftverk, fra energi produsert fra sol, eventuelt fra andre fornybare kilder som arbeidet måtte identifisere.



Utredningen gjennomføres med sikte på å etablere et grunnlag for videre detaljerte vurderinger rundt etablering av hydrogenproduksjon i Modum kommune og/ eller i omkringliggende nærsoner.

Følgende hovedområder inngår i utredningen (se også punkt 2.2):

**1. Hydrogenproduksjon:**

- a. *Utrede muligheter for produksjon av grønt hydrogen i Modum kommune basert på;*
  - i. *Primært:*
    - 1. *Eksisterende vannkraft.*
    - 2. *Ny vannkraft.*
  - ii. *Sekundært:*
    - 1. *Solenergi.*
    - 2. *Eventuelle alternative fornybarkilder.*

**2. Produksjonsteknologi:**

- a. *Presentere og vurdere produksjonsteknologi basert på elektrolyse;*
  - i. *Konvensjonell og etablerte/ modne elektrolytiske prosesser for hydrogenproduksjon (PEM/ AEM/ alkalisk).*
  - ii. *Nyvinninger i elektrolyse i et perspektiv frem til 2025 og betydningen av slike.*

**3. Sluttprodukt og krav:**

- a. *Identifisere krav til sluttproduktet, grønt hydrogen, klar for leveranse;*
  - i. *Komprimering (trykk).*
  - ii. *Midlertidig lagring og arrangementer for videre bunkring til distribusjonsledd.*
  - iii. *Renhet (tørking/ rensing).*

**4. Tilleggsprodukter:**

- a. *Produksjon og leveranse av oksygen som et biprodukt av elektrolyseprosessen.*
  - i. *Håndtering (se 3 (i/ii)).*
  - ii. *Brukerkrav, kommersiell distribusjon av oksygen.*

**5. Distribusjonskanaler:**

- a. *Utrede mulige distribusjonskanaler;*
  - i. *Det vil gjøres en vil gjøre en begrenset vurdering av distribusjon av hydrogen. I dette inngår rammebetingelser relatert til sikkerhet, beredskap, krav til sertifisering samt krav til opplæring. Kanaler for distribusjon vil begrense seg til:*
    - 1. *Jernbane.*
    - 2. *Vei.*

**6. Økonomi:**

- a. *Utrede behov for investeringer, kostnader relatert til drift samt inntekter ved salg av grønt hydrogen og biprodukter med referanse til antatte hydrogenmarkeder;*
  - i. *Investeringer og driftskostnader:*
    - 1. *Basert på eksisterende teknologier.*
    - 2. *Nye identifiserte teknologier (begrenset til 2).*
- b. *Prosjektet vil identifisere pilot scenarioer for generell hydrogenproduksjon basert på identifiserte alternativer begrenset til 3 (størrelse (energitilgjengelighet, teknologiløsning) og utarbeide overslag over kostnader:*

- i. *Investeringskostnader.*
- ii. *Driftskostnader.*
- iii. *Produksjonspris for levert grønt hydrogen.*
- iv. *Inntekter:*
  1. *Vurderinger rundt forventet prising av hydrogen i et tidsperspektiv.*
  2. *Vurderinger av andre inntekstrømmer (biprodukt).*

## 2.2 Lokal produksjon av hydrogen - arbeidspakker

Utredningsarbeidet gjennomføres som et prosjekt organisert i 6 arbeidspakker (1/2/3/4/5/6), presentert i punkt 2.1.3 over og oppsummert i Tabell 2 nedenfor. Utredningsteamet som vil stå for gjennomføringen av arbeidet er presentert i kapittel 4.

Arbeidspakkene har brede felles kontaktflater og interagerer med hverandre. Arbeidspakkene og deres spesifikke utredningstemaer vil derfor gjennomføres i delvis parallell.

Innholdet i arbeidspakkene er presentert i Vedlegg 1. Utredningsteamet som vil stå for gjennomføringen av arbeidet er presentert i kapittel 4.

Delprosjekt A; Lokal produksjon av hydrogen, vil ha oppstart i november 2021 og vil tentativt gjennomføres innen utgangen av mars 2022.

Utredningen tar utgangspunkt i en ambisjon om realisering av hydrogenproduksjon basert på eksisterende kommersielle løsninger som kan leveres og igangsettes i et tidsvindu frem mot 2025. Videre skal utredningen evaluere sannsynlige innovasjoner innenfor elektrolyse som forventes tilgjengelig i et tidsvindu frem til 2028. Dette perspektivet reflekteres i alle arbeidspakkene der det er relevant. Denne delen av arbeidet vil sette søkelys på følgende;

- Tilgjengelige energiresurser i 2028 sammenliknet med 2025.
- Innovasjoner i elektrolyseteknologier inkludert metoder for komprimering og lagring.
- Endringer i krav/ behov for grønt hydrogen frem til 2028 (volum/ kvaliteter (trykk og lagringsformat).
- Utnyttelse av biprodukter (kapasiteter i ulike teknologier).
- Distribusjonssystemer for hydrogen inkludert standardisering av formater m.m.
- Betingelser knyttet til lønnsomhet i et tidsperspektiv tatt sannsynlige nyvinninger og markedsmessige forhold i betraktning.

Tabell 2 Organisering av utredningen, delprosjekt A

Arbeidspakke	Tittel	Team (se kapittel 5)
Arbeidspakke 1	Regional/ lokal hydrogenproduksjon	AC/ AABA/ TPA
Arbeidspakke 2	Produksjonsteknologi, kapasiteter og ytelse	TPA/ AABA/ EF
Arbeidspakke 3	Sluttprodukt og krav, produktet hydrogen (oksygen)	AABA/ AC/
Arbeidspakke 4	Tilleggsprodukter og utnyttelse av slike	AABA/ AC/ TPA
Arbeidspakke 5	Distribusjon	AC/ AABA/ TPA
Arbeidspakke 6	Økonomi	AABA/ TPA

### 2.2.1 Arbeidspakkene - Generelt

Utredningene i delprosjektet som gjennomføres i de respektive arbeidspakkene, vil basere seg generell kunnskap, tilgjengelige informasjon, rapporter samt andre relevante tilgjengelige utredninger.

### 3 MULIGHETSVINDU – ENERGIBÆREREN HYDROGEN

Ved introduksjon av grønt hydrogen som energibærer i et bredere perspektiv eksempelvis knyttet til avlastning av nett, erstatning for generatordrevet strømproduksjon eller mere samfunns-eksponerte applikasjoner som drift av ferjer, busser, biler, tog (se Figur 1) og til og med sykler, oppstår det mange behov som representerer ulike muligheter. Verdikjedene inkluderer.:

- Produksjon av hydrogen og mulige biprodukter av prosessen (oksygen) inkludert prosessering av disse produktene til akseptabel leveransestandard til kunde
- Videredistribusjon og lagring
- Forbruk gjennom applikasjoner.

Figur 1 Hydrogendrevne lokaltog er i drift i Tyskland



#### 3.1 Innledning

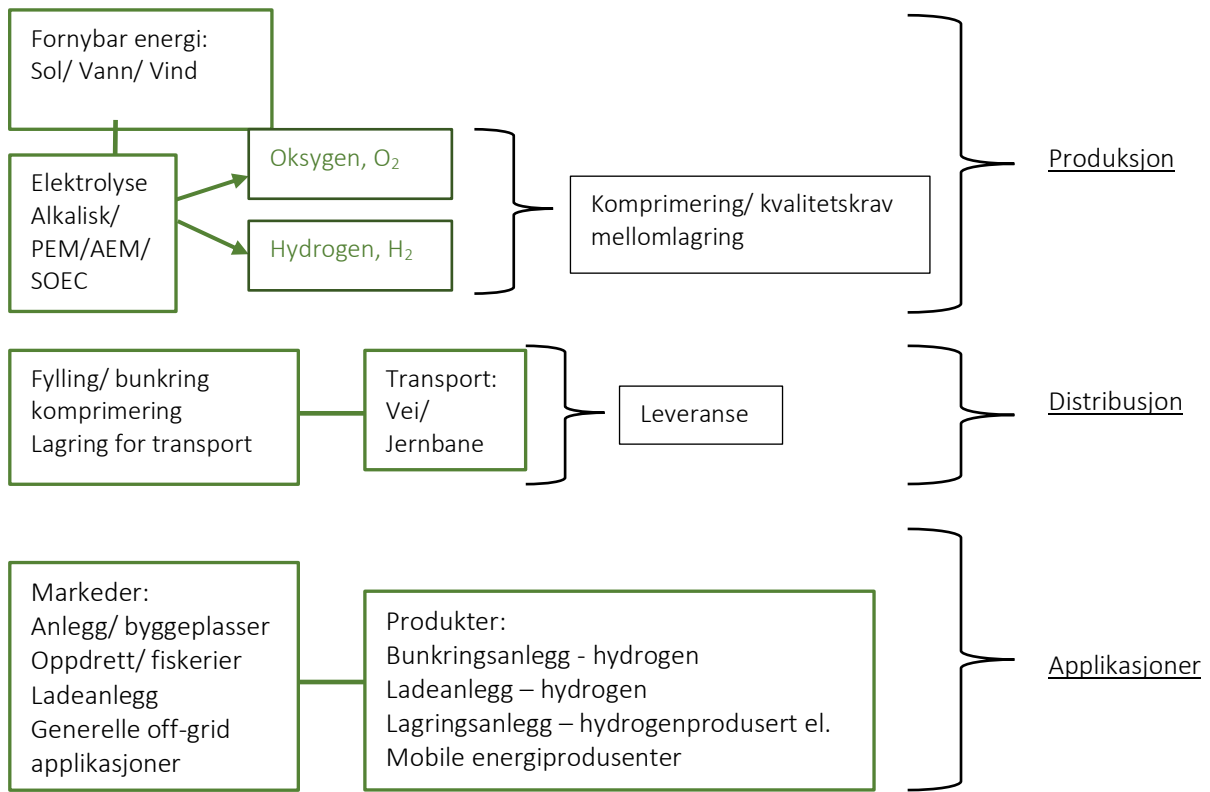
Mulighetsrommet representert av disse verdikjedene er illustrert skjematisk og i litt mere detalj i Figur 2. Verdikjedene er definerte som.:

- Produksjon
- Distribusjon
- Applikasjoner

Selv om hydrogen er en etablert energibærer, har dets bruk til nå vært begrenset til industrielle applikasjoner der hydrogenet har vært produsert av forbruker og avsatt ofte samlokalisert med produksjonen. Hydrogen har derfor i liten grad blitt distribuert i et «sivilt» marked. Selv om hydrogen har vært benyttet i mange ulike applikasjoner i godt over 100 år, oppfattes denne energibæreren kanskje som «ny» blant oss «menige». Samtidig har både historiske hendelser og

også ulykken ved hydrogenstasjonen ved Kjørbo i Bærum i 2019, kanskje bidratt til å begrense motivasjonen til en videre og bredere bruk.

**Figur 3 Hydrogen verdikjeder**



Dette har endret seg de siste årene først og fremst som følge av et stadig sterkere behov for å finne nullutslippsalternativer til fossile energibærere.

De aller fleste teknologier vi kjenner i dag og som benytter hydrogen eller benyttes i hydrogenproduksjon, er modne. Likeledes finnes det et godt regelverk både nasjonalt og internasjonalt som omfatter hydrogen i forhold til produksjon, distribusjon og lagring så vel som til transport. Tilsvarende er det et regel- og sertifiseringsregime som sikrer at applikasjonene som benytter hydrogen også er sikre. Unntaket her er maritim sektor.

Hydrogen er trygt. Imidlertid har det egenskapet som man må ta hensyn til ved bruk.

En viktig komponent ved innfasing av hydrogen i bredere markeder, er god formidling av kunnskap om hydrogen, den risikoen bruk av hydrogen kan representere samt de betingelser som gjelder for sikker bruk.

### 3.1.1 Bakgrunn

Industrien rundt hydrogen gjenspeiler de betingelser den har arbeidet under historisk. Eksempelvis har det i liten grad vært behov for transport og dermed er det ikke etablert gode systemer for hydrogeninfrastruktur. Kunnskapen om hydrogen er tung, men konsentrert innenfor de sektorer der den har vært etablert i og benyttet av.

Bruk av hydrogen vil etablere seg først som erstatningsalternativ til applikasjoner som i dag benytter fossile energibærere og i segmenter der batteriteknologi ikke er tilstrekkelig effektiv med tanke på energitetthet, men også i applikasjoner der batteriløsninger kan fungere, men der nettet ikke er tilstrekkelig dimensjonert. Eksempelvis vil hydrogenbaserte energiproduksjonsanlegg kunne etableres som ladestasjoner for batteribaserte elektriske brukere.

I et fremtidig utslippsfritt energisystem, er det uomtvistelig at batterier vil ha sin plass. Like uomtvistelig er det at hydrogen vil være en nødvendig energibærer og videre at begrensninger som inntreffer i et nettverk (eller der elektriske nett ikke er utbygget), vil kreve begge deler. Hydrogenet vil lade batteriinfrastruktur basert på brenselceller. Forholdstallet mellom hvor mange brenselceller det vil bli behov for eksempelvis per tusende battericelle, er usikkert. Det som ikke er usikkert er at behovet for brenselceller vil øke som følge av etablerte batteriinfrastrukturer og utvikling av nye produkter der nullutslipp er en forutsetning. Også slike nye produkter som vil avsette hydrogen, er en del av mulighetsvinduet.

### 3.1.2 Virksomhet knyttet til hydrogenverdikjeder i Modum

Ved etablering av TYRVI hydrogendrevet hurtigbåt og/ eller hydrogenproduksjon i Modum, kan det tilrettelegges for utvidet aktivitet i relasjon til hydrogenverdikjeder. Etablering av produksjon og avsetting av hydrogen vil bidra til å etablere kunnskap som kan utvikles til gode fagmiljøer som igjen kan danne grunnlaget for videre utvikling av verdikjedene og mulighetene som ligger i disse.

I Figur 2 er verdikjedene illustrert. Tradisjonell bruk av hydrogen som energibærer eller innsatsmiddel i industrielle applikasjoner, er tung som nevnt over og representerer modenhet og er etablert i disse litt lukkede fagmiljøene. Hydrogenets bredere inntog som energibærer i samfunnsapplikasjoner som nyttes av «menigmann» generelt, er imidlertid langt nærmere startgropen.

Dette historiske perspektivet er godt synlig i dagens hydrogendrevne markeder ved at ulike aktører typisk utvikler og produserer avgrensede komponenter som skal inn i en produkt-sammenheng.

Eksempelvis finnes det solide leverandører av teknologi for elektrolytisk produksjon av hydrogen, for lagring i tankanlegg, for rensing/ tørking, for komprimering, m.m. Imidlertid leverer disse stort sett produktene sine som isolerte komponenter. Ikke mange kan gjennomføre komplette systemleveranser inkludert nødvendige tilleggskomponenter/ utstyr for fullstendig fremstilling av hydrogen som salgbar vare (rent og komprimert). Komponenter nødvendige for dette, produseres typisk enkeltvis av andre leverandører eller må tilpasses basert på produkter tiltenk andre, men liknende applikasjoner.

Tilsvarende finner vi i forbindelse med brenselceller. Her finnes det et antall leverandører, men de lager kun selve brenselcellen og ikke ferdige systemer. Igjen, må slike nødvendige tilleggs-komponenter/ utstyr hentes fra andre leverandører med tilsvarende snever markedstilpassing. Slike vil kunne inkludere batteriløsninger, tankanlegg, grensesnitt mot bruker og kontroll- og overvåkingssystemer.

Et tidlig marked for hydrogenapplikasjoner er gjenspeilet av komponentleverandører snarere enn system- og produktleverandører. Her ligger det tilsynelatende et åpenbart integrasjonsbehov.

Disse manglende integrasjonene mellom komponenter og system til ferdig produkt som gjør hydrogenet direkte anvendbart i applikasjoner, reflekterer at løsningene er utviklet i slike litt lukkede industrielle miljøer for å løse interne industrielle utfordringer og ikke for et mere åpent marked.

Hydrogenapplikasjoner krever komponentintegrasjon. I den grad dette gjøres i dag, er dette nærmest prosjektspesifikt. Komponentintegrasjon synes å vokse frem som et interessant forretningsområde i seg selv.

Integrasjon vil være en vesentlig kapasitet i etableringer av hydrogenverdikjeder. I Norge finnes ikke gode integrasjonsmiljøer, noe som delvis gjenspeiler den tidlige fasen vi er i med tanke på implementering av hydrogendrevne applikasjoner. I kjølvannet av integrasjonsaktiviteter, vil det oppstå mange muligheter relatert til produksjonsrelatert virksomhet.

### 3.1.3 Delprosjektet B's omfang og art

Utredningene i dette delprosjektet inkluderer vurdering av mulighetsvinduet knyttet til industriell aktivitet assosiert med hydrogenproduksjon og bruk. Arbeidet gjennomføres i arbeidspakker med utgangspunkt i anerkjente prinsipper for bærekraftig teknologiutvikling og industrialisering.

Arbeidet skal resultere i konkrete anbefalinger med utgangspunkt i mulighetsrommet knyttet til produkter og tjenester innenfor rammene av energi- og hydrogensektoren.

Utredningen gjennomføres med sikte på å etablere et grunnlag for videre detaljerte vurderinger rundt etablering av hydrogenrelatert næringsvirksomhet utenom faktiske hydrogenproduksjon (utnyttelse av fornybar energi som omhandles i delprosjekt A) i Modum kommune og/ eller i omkringliggende nærsoner.

Følgende hovedområder inngår i utredningen.:

#### 7. Markedsvurderinger:

- a. *Etableringer av hydrogenverdikjeder i et perspektiv frem til 2030;*
  - i. *Norge.*
  - ii. *Norden.*
  - iii. *Europa.*
- b. *Applikasjoner, løsninger og behov;*

#### 8. Produksjon:

- a. *Vurdere produksjonsteknologier ved elektrolyse samt utrede kommersielle muligheter knyttet til dette;*
  - i. *Elektrolysører:*
    1. *Alkaliske.*
    2. *Polymer elektrolytt membran (PEM).*
    3. *Anion elektrolyttmembran (AEM).*
    4. *Fastoksid elektrolyse (SOEC).*
  - ii. *Rense/ tørke og kompresjonstrinn.*
  - iii. *Lagring ved produksjonsfasilitet.*

#### 9. Distribusjon:

- a. Lagringsarrangementer.
- b. Vei/jernbane.
- c. Distribusjonsknutepunkt.
- d. Standardisering.

#### 10. Applikasjoner:

- a. Transportsystemer– standardisert transportløsninger (vei/ jernbane).
- b. Energiforsyningsløsninger:
  - i. Mobile kraftverk – Brenselceller/batteriløsninger.
  - ii. Mobile ladestasjoner.
- c. Integrasjon:
  - i. Fornybar – elektrolyse – kompresjon – renhet – lagring.
  - ii. Brenselcelle – batterier – kontrollsystem.

### 3.2 Mulighetsvindu – Energibæreren hydrogen

Utredningsarbeidet gjennomføres som et prosjekt organisert i 4 arbeidspakker (7/8/9/10), presentert i punkt 3.1.3 over og oppsummert i Tabell 3 nedenfor. Utredningsteamet som vil stå for gjennomføringen av arbeidet er presentert i kapittel 4. Innholdet i arbeidspakkene er presentert i Vedlegg 1.

Arbeidspakkene har brede felles kontaktflater og interagerer med hverandre. Arbeidspakkene og deres spesifikke utredningstemaer vil derfor gjennomføres i delvis parallell.

Delprosjekt B; Mulighetsvindu – energibæreren hydrogen, vil ha en forventet oppstart i November 2021 og planlegges gjennomført tentativt innen utgangen av mars 2022.

Tabell 3 Organisering av utredningen

Arbeidspakke	Tittel	Team (se kapittel 5)
Arbeidspakke 7	Markeder - Veikart for hydrogen	AC/ AABA/ TPA
Arbeidspakke 8	Produksjon av grønt hydrogen	TPA/ AABA/ EF
Arbeidspakke 9	Distribusjonskjeder	AABA/ AC/
Arbeidspakke 10	Applikasjoner	AABA/ AC/ TPA
Arbeidspakke 11	Drivere, insentiver og omstillingstakt	AABA/ AC/ TPA

#### 3.2.1 Arbeidspakkene - Generelt

Utredningen i delprosjektet tar utgangspunkt i markedsvurderinger med referanse til type applikasjoner og oppredende behov i en tidslinje i scenarioene Norge, Norden og Europa.

Alle arbeidspakker som inngår i delprosjektet baserer seg på generell kunnskap, tilgjengelige informasjon, rapporter samt andre relevante tilgjengelige utredninger.



## 4 TYRVI – RAPPORTERING

Det skal etableres en hjemmeside for TYRVI. Denne vil presentere TYRVI prosjektbeskrivelse og fungere som en «oppslagstavle» som vi være åpen. Hjemmesiden vil være tilgjengelig i 12 måneder etter avsluttet prosjekt.

Prosjektet planlegger å etablere en referansegruppe. Denne vil ha medlemmer fra prosjekt-partnerne. Prosjektet planlegger regelmessig rapportering til referansegruppen.

Det skal leveres en åpen sluttrapport medio april 2022. Dersom partene ønsker deler av arbeidet holdt konfidensielt, vil dette avtales underveis. Dersom dette avtales, vil en fullstendig rapport leveres begrenset til de parter som avtaler konfidensialitet. Den åpne rapporten vil ikke inneholde konfidensielt materiale. Det vil også utarbeides en presentasjon. Presentasjon og åpen rapport vil legges ut på TYRVI sin hjemmeside.

## 5 TYRVI – UTREDNINGSTEAMET

Nedenfor er InBallasts utredningsteam representert.

Prosjektet vil etablere samarbeider med partnere og sponsorer som også vil bidra i arbeidet etter avtale.

### TYRVI– Forstudie Utredningsteam:



Andreas Cappelen  
Prosjektmedarbeider

**Andreas** er ingeniør, mekanisk konstruksjon og sivilingeniør, vann og miljøteknikk. Han har bred industriell og miljørelatert erfaring blant annet som prosjektingeniør fra oljesektoren, som rådgivende ingeniør i konsulentbransjen samt fra Det Norske Veritas (DNV) der han arbeidet med ulike miljø-relaterte tjenester og implementering av miljøkrav relatert til bygging/ drift av skip. Andreas har også bred erfaring fra vannberedskap og er engasjert av Vann- og Avløpsetaten, Oslo kommune, der han har arbeidet med overvåking av kritisk infrastruktur, risikovurdering og prioriteringsprogrammer for nettverks-oppraderinger.

I dette prosjektet skal Andreas arbeide i begge delprosjektene. I Andreas blir også sentral i forhold til bærekraftperspektivet samt de miljømessige vurderingene som inngår i utredningen. Han skal også bistå i etablering av rammebetingelser rundt hydrogen inkludert sikkerhet samy innhenting av data



Terje Paulsen  
Prosjektmedarbeider

**Terje** er ingeniør, elektro/ maskinteknikk og har lang industriell arbeidserfaring som fortrinnsvis innen produksjon og utvikling. Terje har arbeidet i Kongsberggruppen (Bennex AS) med sub-sea konstruksjoner, han har også bred produkt- utviklingserfaring fra ulike miljøteknologier inkludert vannbehandlings-systemer og energiproduksjonssystemer. Terje har arbeidet med «e-fuels» - nullutslippsenergibærere og utslippsfrie sambandsløsninger. Videre har han erfaring fra elkraft produksjon inkludert nettintegrasjon likestrøms-systemer, samt etablering av lukkede elektriske nettverk.

I dette prosjektet skal Terje arbeide i begge delprosjektene. Han skal bistå i innhenting av grunnlagsdata, analyse og med spesielt fokus på kostnadsanalyser.



Einar Fraas  
Prosjektmedarbeider

**Einar** er en elektroingenjør med lang og bred erfaring fra ulike teknologiutviklingsprosjekter. Dette inkluderer også utvikling av elektrokjemiske celler for alkalieindustri inkludert håndtering av hydrogen. Hans elektrokjemiske kompetanse inkluderer analyse så vel som utprøving i laboratoriet.

I dette prosjektet skal Einar bistå hovedsakelig i identifisering og vurdering av produksjonsteknologier. Han skal også bistå i relasjon til oksygenproduksjoner samt vurderinger av relevante applikasjoner



Aage Bjørn Andersen  
Prosjektleder

**Aage Bjørn** er ingeniør, marin teknologi og skipsbygging og sivilingeniør, skipsdesign. Aage Bjørn har også arbeidet med utvikling av maritime miljøregelverk (MARPOL/ internasjonale konvensjoner) og vært programdirektør for forgjengeren til NO<sub>x</sub>fondet (NOxRed Ordningen). I en periode var han utviklingsansvarlig for akutt beredskap mot oljeutslipp i oljeselskapenes beredskapsorganisasjon, NOFO. Han var også ansvarlig for utvikling og etableringen av Det Norske Veritas' (DNV's) miljøtjenester/ produkter til maritime kunder. De siste 15 årene har Aage Bjørn arbeidet med utvikling av miljøteknologi innenfor anvendelser i ulike sektorer med spesielt fokus på energi og vann. Senere prosjekter inkluderer vurderinger rundt hydrogen som nullutslipps energibærer og etablering av nullutslipps-samband på innlands vannveier. Aage Bjørn har også lang erfaring fra virkemiddelapparatet og ulike incentivordninger.

Aage Bjørn deltar i de ulike arbeidspakkene og vil fungere som prosjektleder.