



# Etablering av bærekraftig verdikjede for ammoniakk

Energibehov, krav og forretningsmodell

Fionn Iversen

Sjefsforsker, NORCE Energi


Direktør, Hyvalue Forskningscenter for Miljøvennlig Energi innen hydrogen og ammoniakk

26.04.2024

An aerial photograph of an offshore wind farm at dusk. The sky is a deep, dark blue, and the sea is a darker shade of blue. Several white wind turbines are visible, their three blades extending outwards. The turbines are arranged in a line, receding into the distance. The overall mood is serene and modern.

NORCE

**Lidenskap for kunnskap  
– sammen for bærekraft**



NORCE er et uavhengig  
forskningsinstitutt, som leverer  
forskning til offentlig og privat sektor,  
slik at det kan tas kloke og bærekraftige  
valg for fremtiden.



**950**

mnok



**750**

ansatte



**50**

nasjonaliteter



**75%**

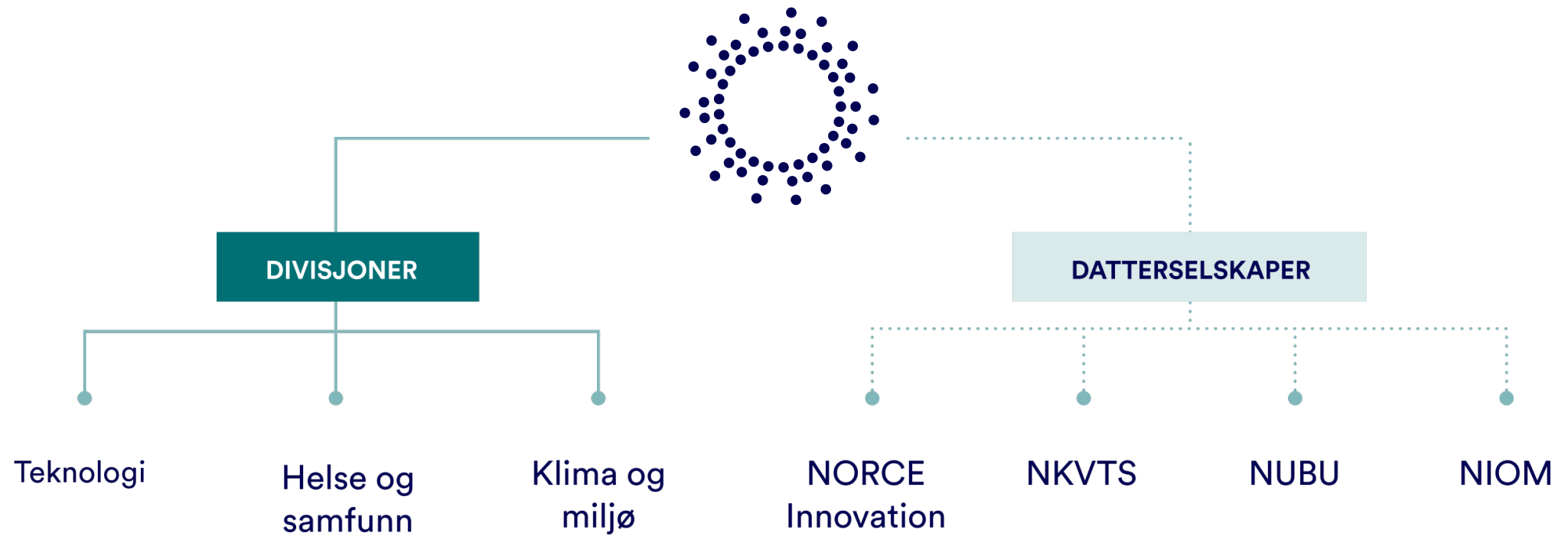
doktorgrad



# Lokalt forankret med globalt perspektiv

NORCE er nasjonalt ledende og representert langs hele norskekysten. Med stor lokal tilstedeværelse, åpner vi for tettere samarbeid med unike fag- og kompetansemiljøer, næringsliv og myndigheter.

# Slik er vi organisert



1

**Trygge og gode  
samfunn**

2

**Fremtidens energi**

3

**Klima- og  
miljørisiko**

4

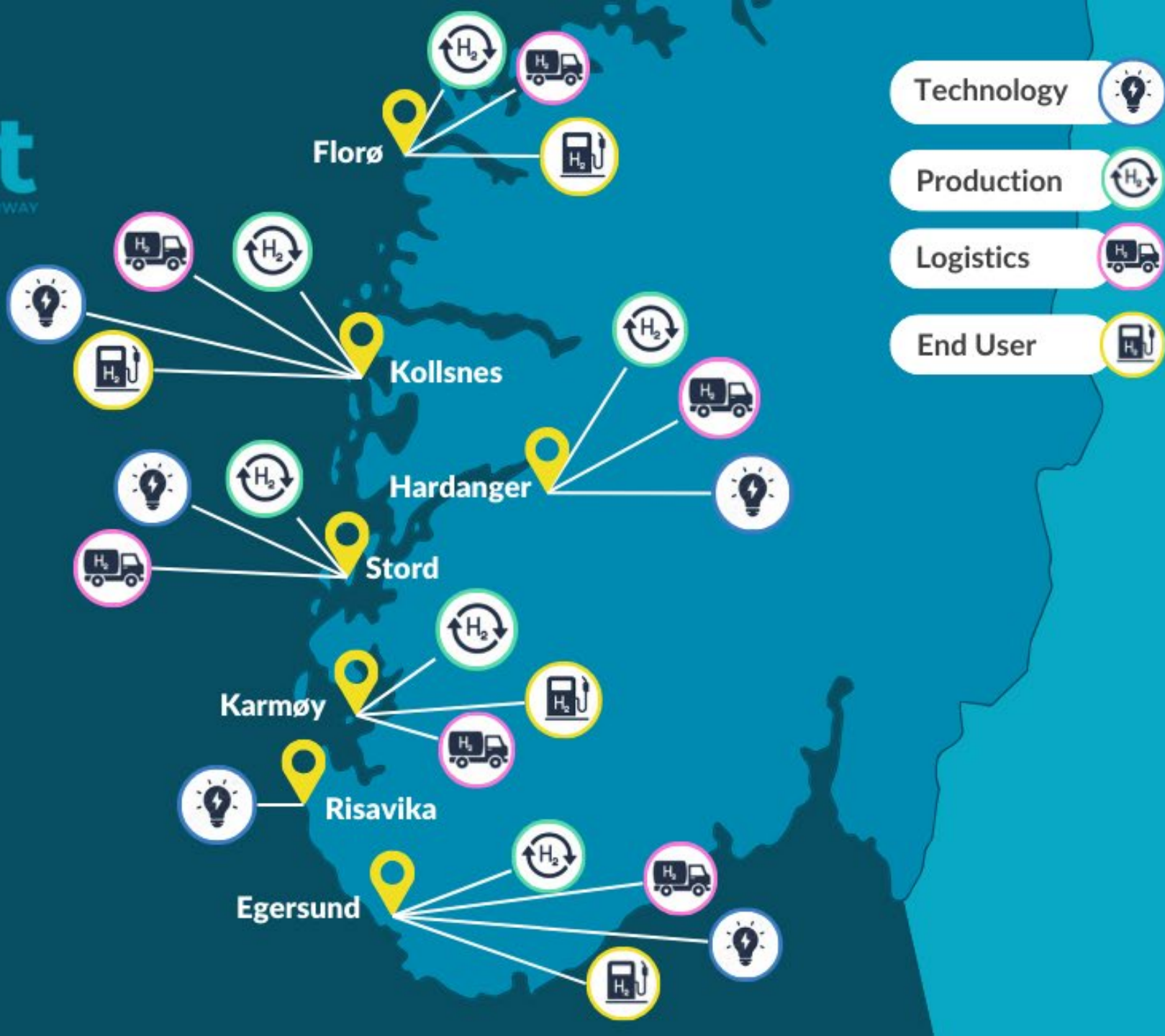
**Bærekraftig hav og  
kyst**





# HyCoast

HYDROGEN VALLEY IN WESTERN NORWAY





# Grønn / ren Ammoniakk

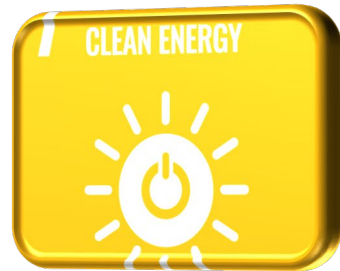
Verdikjede – hvorfor og hvordan?

# Hvorfor ren ammoniakk?

- Utslipp av klimagasser, som CO<sub>2</sub>, påvirker atmosfærens energibalanse
- Regelverk vil iverksettes som straffer utslipp av klimagasser til havs (EU, International Maritime Organisation)
- Det vil være behov for utslippsfrie alternativer til dagens drivstoff
- Ammoniakk kan produseres og brukes som drivstoff uten å forårsake utslipp av klimagassen CO<sub>2</sub>
- Ammoniakk egner seg som drivstoff til havs grunnet dens energitetthet per volum (sammenliknbart med fossile drivstoff)
- Ren ammoniakk vil kunne erstatte forurensende ammoniakk brukt i industrielle prosesser i dag, først og fremst til gjødsel (det vil også kunne komme krav om dette i framtiden)



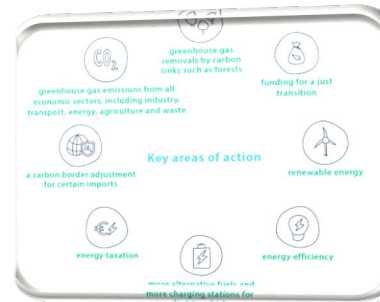
# Green shift for maritime transport



UN Sustainability goals



EU Green Deal



EU Fit for 55



UN world heritage fjords



Public ferries



# Energitapsbetraktninger

## PRODUKSJONSPROSESS

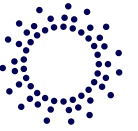
## ENERGIEFFEKTIVITET

Elektrolytisk produksjon av hydrogen <sup>[1]</sup> ( $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ )	65-75%
Produksjon av ammoniakk fra hydrogen <sup>[2]</sup> ( $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ )	50-55%
Effektivitet omgjøring (cracking) av $\text{NH}_3$ til $\text{H}_2$ <sup>[3]</sup>	<76%
Effektivitet kompresjon av $\text{H}_2$ for bruk i brenselcelle <sup>[3]</sup>	83-88%
Total effektivitet (Round Trip Efficiency-RTE) for ammoniakk til PEMFC brenselcelle <sup>[3]</sup>	11-19%
Total effektivitet (Round Trip Efficiency) for ammoniakk i forbrenningsmotor <sup>[3]</sup>	15-21%

1. The Hydrogen Economy, Micheal Ball and Martin Wietshcel, Cambridge University Press, 2009

2. European Association for Storage of Energy (EASE)

3. Giddey et al., Ammonia a a Renewable energy Transportation Media, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2017



# Energitapsbetraktninger

(Forbedringspotensiale)

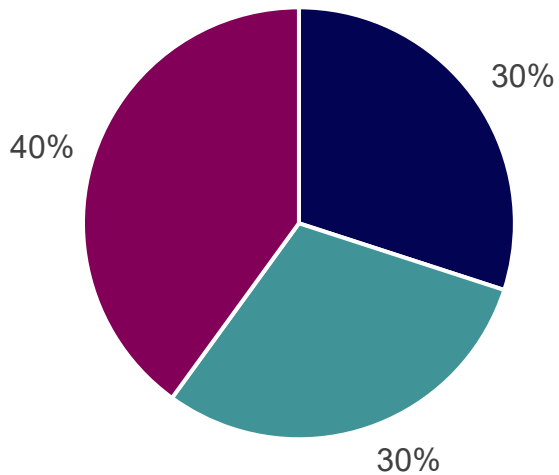
PROSESS	ENERGIEFFEKTIVITET [%]
Elektrolytisk produksjon av hydrogen <sup>[1]</sup> ( $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ )	65-75 (Forbedringspotensiale)
Produksjon av ammoniakk fra hydrogen <sup>[2]</sup> ( $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ )	50-55
Effektivitet omgjøring (cracking) av $\text{NH}_3$ til $\text{H}_2$ <sup>[3]</sup>	<76
Effektivitet kompresjon av $\text{H}_2$ for bruk i brenselcelle <sup>[3]</sup>	83-88
Total effektivitet (Round Trip Efficiency-RTE) for ammoniakk til PEMFC brenselcelle <sup>[3]</sup>	11-19
Total effektivitet (Round Trip Efficiency) for ammoniakk i forbrenningsmotor / gassturbin <sup>[3]</sup>	15-21 / 24-31

1. The Hydrogen Economy, Micheal Ball and Martin Wietshcel, Cambridge University Press, 2009
2. European Association for Storage of Energy (EASE)
3. Giddey et al., Ammonia a a Renewable energy Transportation Media, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2017

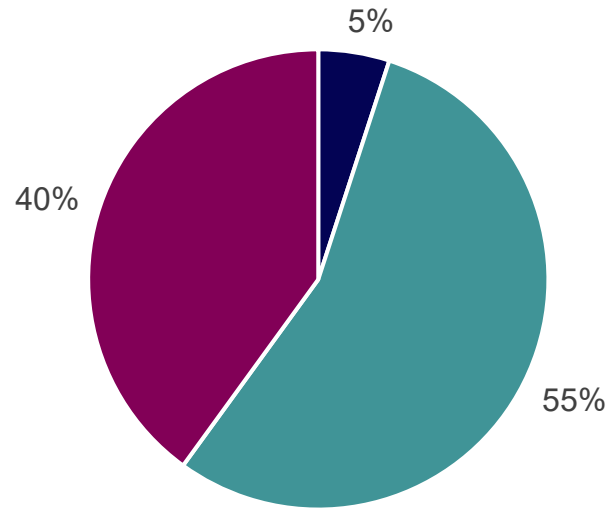


# Kvalitativ energieffektivitet for hydrogen og fossilbaserte drivstoff

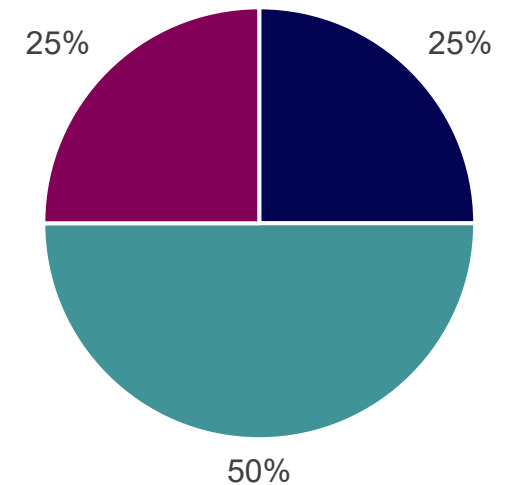
Green hydrogen



Natural gas\*



Oil\*



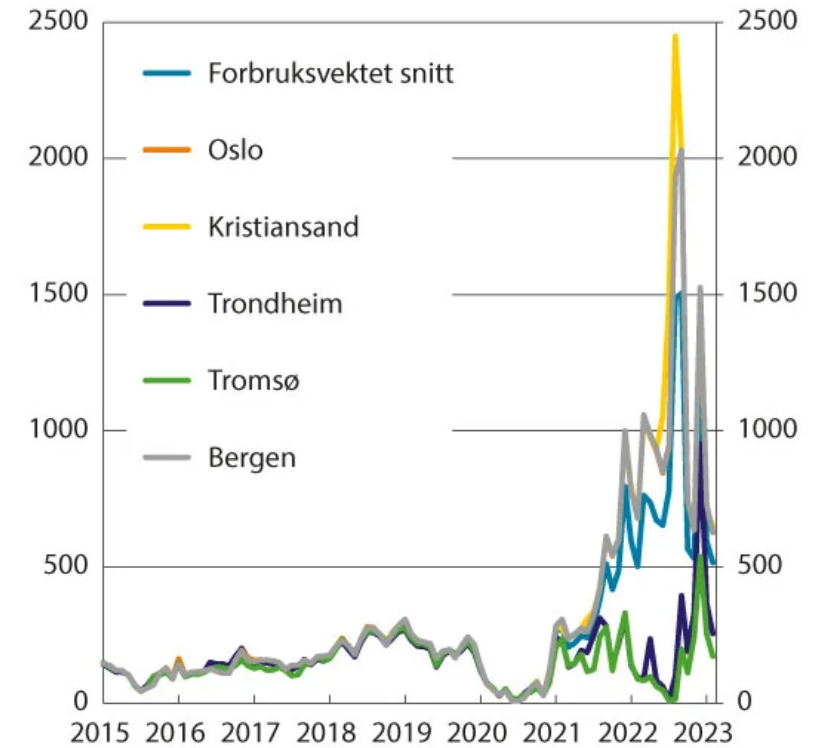
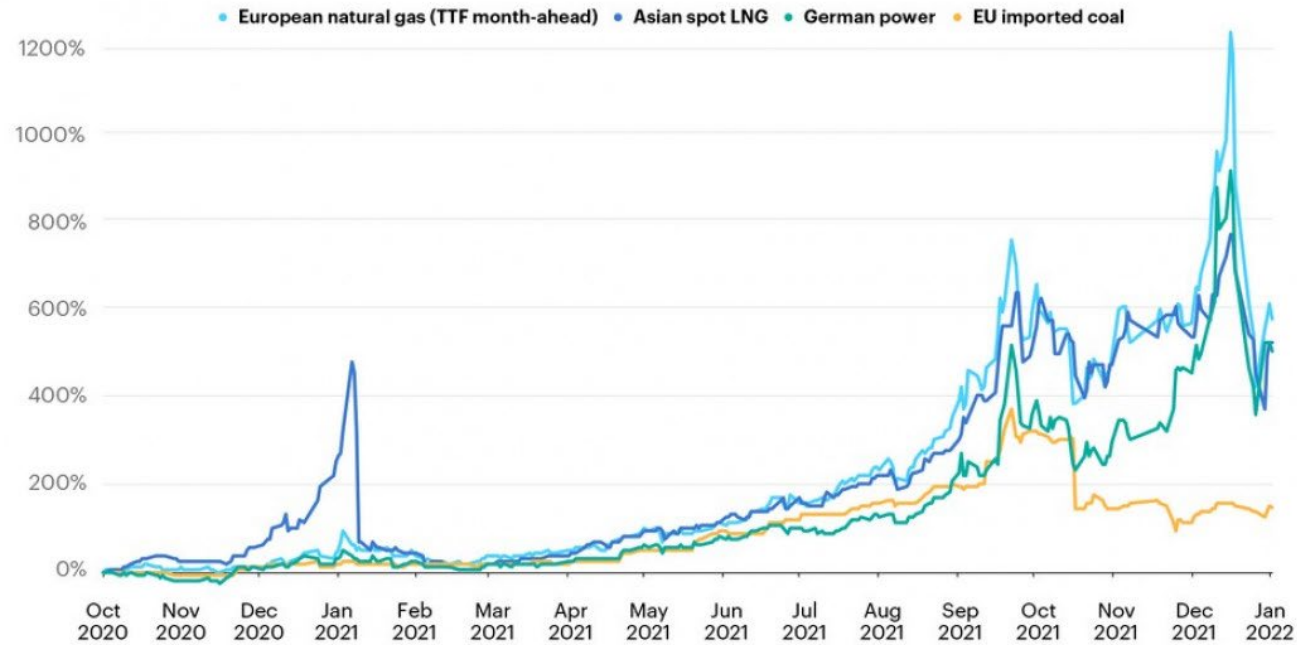
■ EROI   ■ Conversion energy loss (engine / fuel cell)   ■ Electrical energy produced

\*Worst case



# Energy and electricity prices

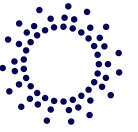
**Evolution of energy prices, Oct 2020-Jan 2022**  
IEA analysis



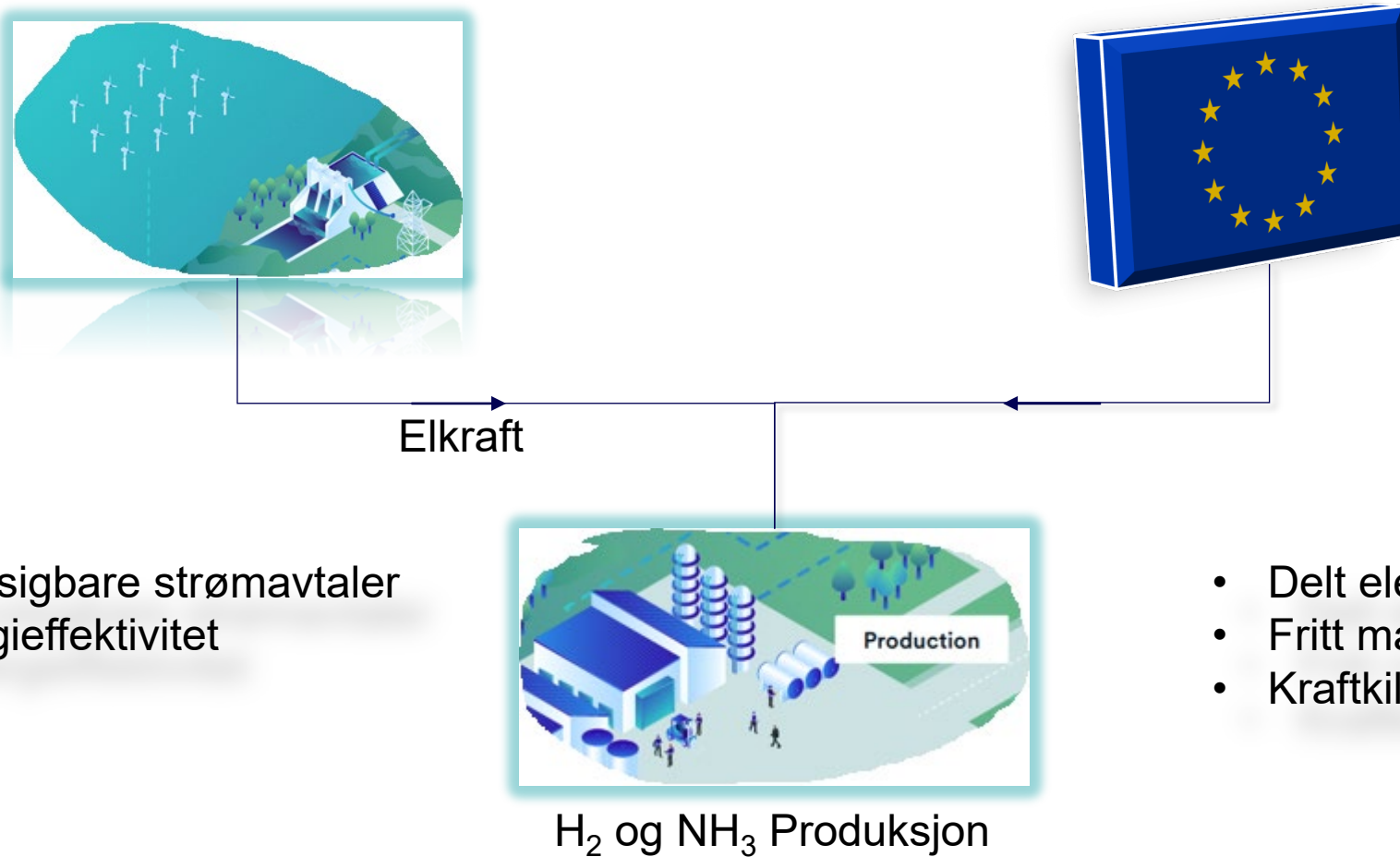
**Spotpriser i ulike prisområder i Norge (indeks 2015 = 100)**

Note: Spotpris i øre/kWh. Kilder: Nordpool og Norges vassdrags- og energidirektorat



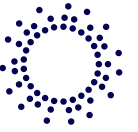


# Elkraft til produksjon



- Forutsigbare strømvtaler
- Energieffektivitet

- Delt elektrisk grid med Europa
- Fritt marked
- Kraftkilder med utslipp



# Effektivisering av produksjon – eksempler fra FME HyValue

- Task 1.1: Materials for H<sub>2</sub> Purification and Catalysis

Pascal D. C. Dietzel - UiB

2023: Infrastructure focus + hiring of PhD student



- Task 1.2: Green Hydrogen via Photocatalysis

Dhayalan Velauthapillai - HVL

2023: One active MSc student + hiring of PhD student and new MSc student starting



- Task 1.3: Green Ammonia via Direct Electrocatalysis

Vidar R. Jensen - UiB

2023: Three active PhD students + hiring of PhD student (formally in AmPEP)



- Task 1.4: Green Hydrogen from Innovative PEM Electrolysis

Jonathan Ø. Torstensen - HVL

2023: SusEN Catapult funded, active MSc student, electrolyser construction + hiring of PhD student



- Task 1.5: Turquoise Hydrogen from Methane Cracking

Zhixin Yu - UiS

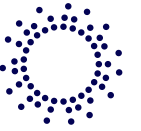
2023: Infrastructure focus, SEID cracking facility implemented at UiS, discussions with Elkem + hiring of PhD student



- Task 1.6: Feasibility Study: Offshore Wind-Based Production of Green Hydrogen and Ammonia
- Velaug Myrseth Oltedal - HVL

2023: Bachelor students (with TØI), active MSc student + new MSc starting





# Sikkerhet: Hva er nytt og hva er gammelt?

Gammelt (moden teknologi / prosess)

Produksjon av ammoniakk ved Haber Bosch fra hydrogen

Lagring av ammoniakk

Transport av ammoniakk

Nytt (ny teknologi / prosess)

Storskala produksjon av grønn hydrogen til ammoniakkproduksjon

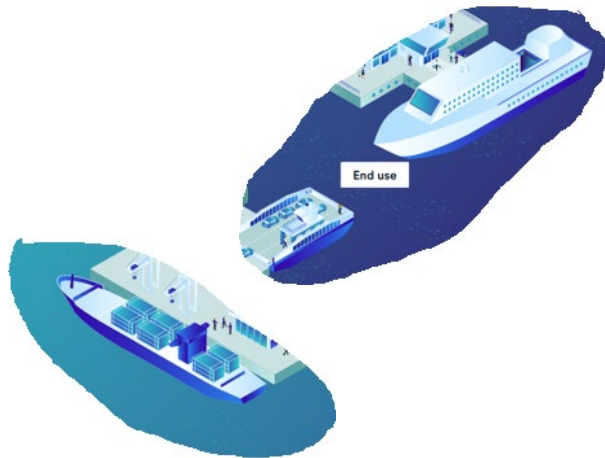
Bruk av ammoniakk som maritimt drivstoff



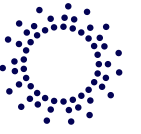
# Krav, klassifisering og tilsyn



Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB)  
Havtilsynet



International Maritime Organisation (IMO)  
Klassifisering (f.eks. DNV)  
Sjøfartsdirektoratet



# Forretningsmodell og kommersialitet

## Utfordringer

- Grønn hydrogen / ammoniakk i dag ikke konkurransedyktig et fritt marked
- Varierende kraftpris gir stor usikkerhet
- Nye prosesser må sikres og kvalifiseres
- Kundegrunnlag

## Løsninger og tiltak

Tilskudd fra EU og norske myndigheter (ENOVA) til oppstart

CO<sub>2</sub>-skatt trer i kraft på hav og land

Forutsigbare kraftavtaler (også statsstøtte / garanti?)

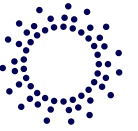
Deling av kommersiell risiko (eierskap)

European Hydrogen Bank (import til EU)

Utbygging av fornybar kraft

Senke energiforbruket i forsyningskjeden

Leverandøravtaler (økende kundegrunnlag nasjonalt / internasjonalt)



# Svar på spørsmål

**Spørsmål:**  $\text{NO}_x$  og  $\text{N}_2\text{O}$  (lystgass) er kraftige klimagasser. Disse gassene dannes ved forbrenning av ammoniakk. Hvor stort problem er dette for bruk av ammoniakk som drivstoff.

## Svar:

Bruk i brenselcelle: Ved bruk av hydrogen eller ammoniakk i brenselceller til produksjon av elektrisitet til drift av skip så genereres ikke  $\text{NO}_x$  eller  $\text{N}_2\text{O}$ . Dette er moden teknologi til å tas i bruk (leveres av Corvus Energy og Clara Venture Labs).

$\text{NO}_x$  fra forbrenning: Ved forbrenning av ammoniakk i forbrenningsmotor / gassturbin vil generere  $\text{NO}_x$ . Forskning og utvikling har pågått i lengre tid for å minimere dannelsen av  $\text{NO}_x$ . Det finnes løsninger for dette hvor man kan redusere  $\text{NO}_x$  med nær 99% ved prosessering av eksosen<sup>[4]</sup>.

$\text{N}_2\text{O}$  (lystgass) fra forbrenning: Forskning indikerer at  $\text{N}_2\text{O}$  dannes ved ufullstendig forbrenning av ammoniakk i forbrenningsmotor<sup>[5]</sup>. For å minimere ufullstendig forbrenning så må motordesign og regulering av prosessen være korrekt.

Optimalt design og regulering av forbrenningsprosessen for å oppnå fullstendig forbrenning er et av fokusene for utvikling av skipsmotor for bruk av ammoniakk i dag. Ved fullstendig forbrenning vil både  $\text{N}_2\text{O}$  og  $\text{NO}_x$  -dannelse være lav<sup>[5]</sup>. Wartsila jobber med utvikling av skipsmotor til ammoniakk med dette som fokus hos Sustainable Energy Catapult på Stord.

4. <https://ammoniaenergy.org/articles/ammonia-turbine-power-generation-with-reduced-nox/>

5. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c02549>

Takk for oss. Danke  
Merci. Gracias. Obrigado.

[norceresearch.no](http://norceresearch.no)

[@NORCEresearch](https://twitter.com/NORCEresearch)

NORCE