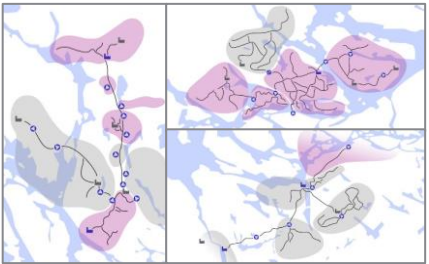




(Bio)-CCU

Erik Dahlén



PRODUCTION COLLABORATIONS

COMBINED HEAT AND POWER

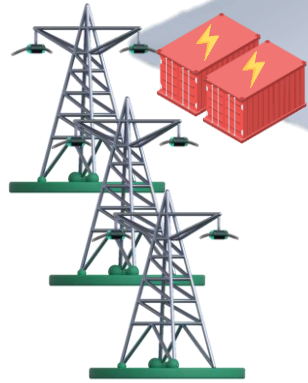


FUEL LOGISTICS

EXERGY AS A SERVICE



BALANCE SERVICES

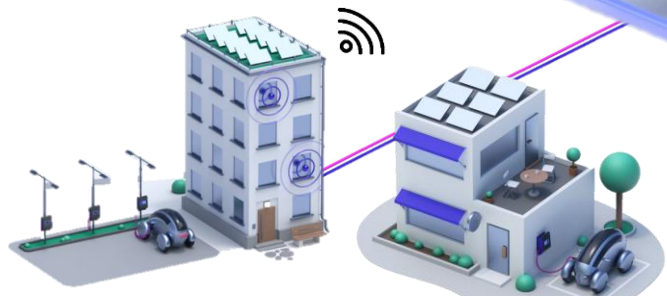


BECCS

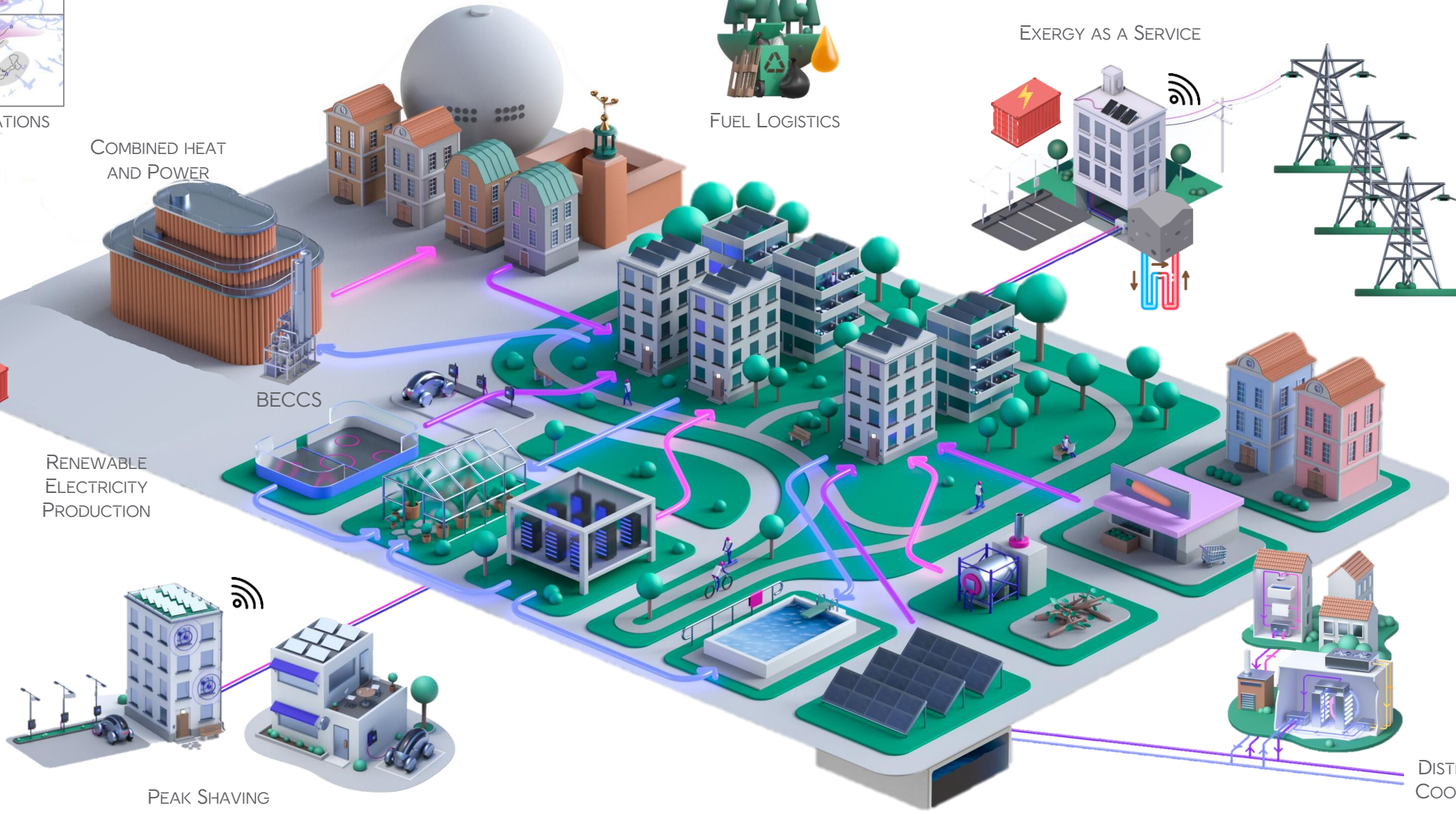
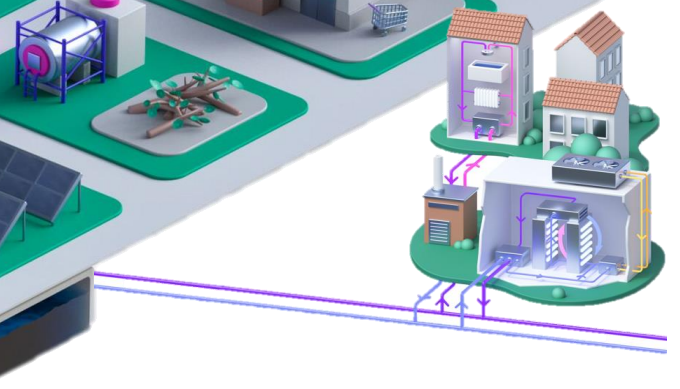
RENEWABLE ELECTRICITY PRODUCTION



PEAK SHAVING



DISTRICT COOLING



Research program

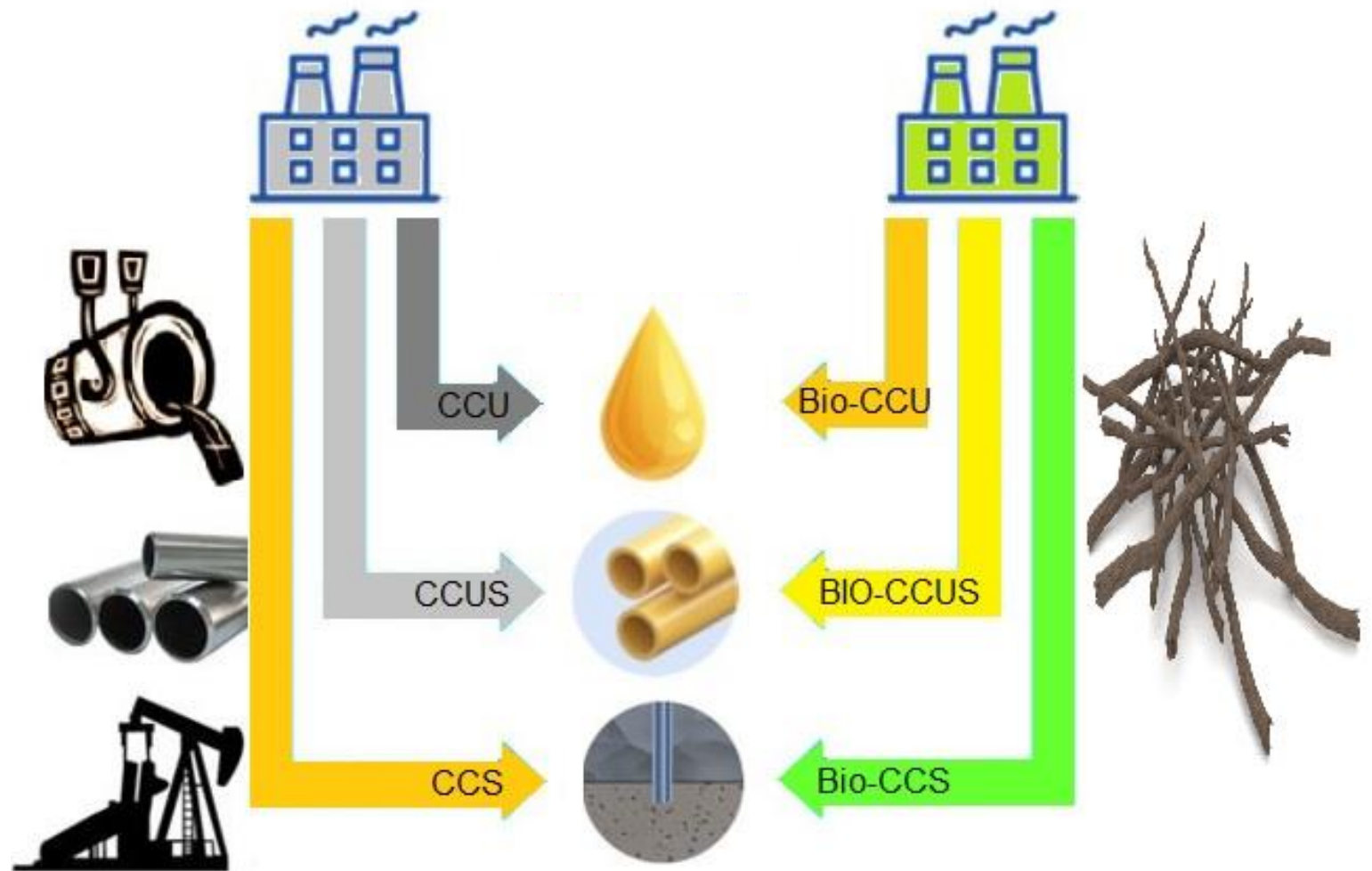
1. Proof of Concept
2. Evaluations
3. Fine Tunings
4. Dynamic model
5. CO₂ Quality
6. Flue gas Design
7. Dimensioning
8. Constructions
9. Environmental analyses
10. Utilization tech



Varför planeras så mycket CO₂-infångning nu?

- För att det behövs
- För att vi kan
- För att det finns en affär

- Reducera egna Scope 1, "hard to abate" emissioner (GHG protocol)
- Möjliggöra användning av infångad CO₂ i syfte att realisera substitutionseffekt
- Skapa negative utsläpp i syfte att motverka andras eller amortera på den historiska kol-skulden



Finansiering och definition

- Certifikat för permanent immobiliserad CO₂
Carbon Removal Certification Framework
- **Som molekyler**

Immobilisering av CO₂ i enlighet med ***EU Certification of Carbon Removals***

1. Permanent Carbon Removal
2. Carbon Farming
3. **Storage in Products**

*“the certification of carbon storage in products should initially be limited to harvested wood products or **materials for construction storing carbon for at least five decades**”*

Det är fortfarande kvar en förhandling mellan Europaparlamentet och Rådet, så vi kan inte vara säkra på utgången ännu.

Carbon removals: Parliament wants EU certification scheme to boost uptake

Press Releases [PLENARY SESSION](#) [ENVI](#) 21-11-2023 - 12:46

- Certification framework to ensure high quality carbon removals and counter greenwashing
- Need to distinguish between carbon removals, carbon farming and carbon storage in products
- Carbon removals needed to complement the top priority of reducing greenhouse gas emissions

Parliament has adopted its position on a new EU certification framework for technological and natural carbon removals to help achieve EU climate neutrality by 2050.

With 448 votes to 65 and 114 abstentions, MEPs agreed with setting up a system to improve the EU's capacity to quantify, monitor and verify carbon removals. It should help to increase their use, build trust with stakeholders and industry and counter greenwashing.

MEPs stress that the scheme must be in line with international standards and that a 'EU registry' must be set up to ensure transparency, provide information to the public, and to avoid the risk of fraud and double counting of carbon removals.

They also see a need to distinguish between the definitions, quality criteria and the rules on carbon removals, carbon farming and carbon storage in products, due to their differences and environmental impact.

Find more details about Parliament's position [here](#).

Quote

After the vote, rapporteur [Lidia Pereira](#) (EPP, PT) said: "Climate change is already so serious that we cannot rely solely on emissions reductions but also need to remove carbon. This tool makes this possible, as we are advancing with rules to regulate a market that has been plagued by greenwashing, lack of clarity and distrust. Certification will help attract private investment in carbon removal projects, thereby assisting us in our climate transition and furthering Europe's climate leadership."

Next steps

Parliament is now ready to start negotiations with EU member states.

Background

In April 2023, Parliament adopted a resolution on [Sustainable carbon cycles](#) saying that while the EU must always prioritise swift and predictable reductions of GHG emissions, carbon removals must play a growing role in achieving EU climate neutrality by 2050 to balance out emissions that cannot be eliminated.

This legislation responds to citizens' expectations concerning climate change and the environment as expressed in proposal 1(5) of the [conclusions of the Conference on the Future of Europe](#) where they call for the introduction of "a certification of carbon removals, based on robust, solid and transparent carbon accounting".

Argument för CCU

- Så länge vi gräver upp fossilt kol bör detta ersättas med återvunnet (istället för att stoppa ner det återvunna i geosfären)
- Det **behövs stora mängder kol**, till oerhört många ändamål, om vi gör BECCS (och DACCS) så måste vi gräva upp fossilt
- **Enklare affär** att komma igång med CCU (än CRF)
- Det är osäkert om det finns **plats att lagra** så mycket CO₂ som erfordras, potential är en sak och reellt lagringsutrymme något annat
- "Undvik ccs-affärer med olje- och gasbolag som samtidigt fortsätter att med oförminskad styrka utvinna fossila kolväten"



- De första bedömningarna som gjordes för 10-15 år sen var att det finns ett överflöd av lagringsutrymmen. Men nu när det blivit alltmer skarpa lägen, när koldioxid ska lagras, inser man att de första uppskattningarna var överoptimistiska.

Anders Hansson, bitr professor klimatteknik

Befintlig CCU-marknad



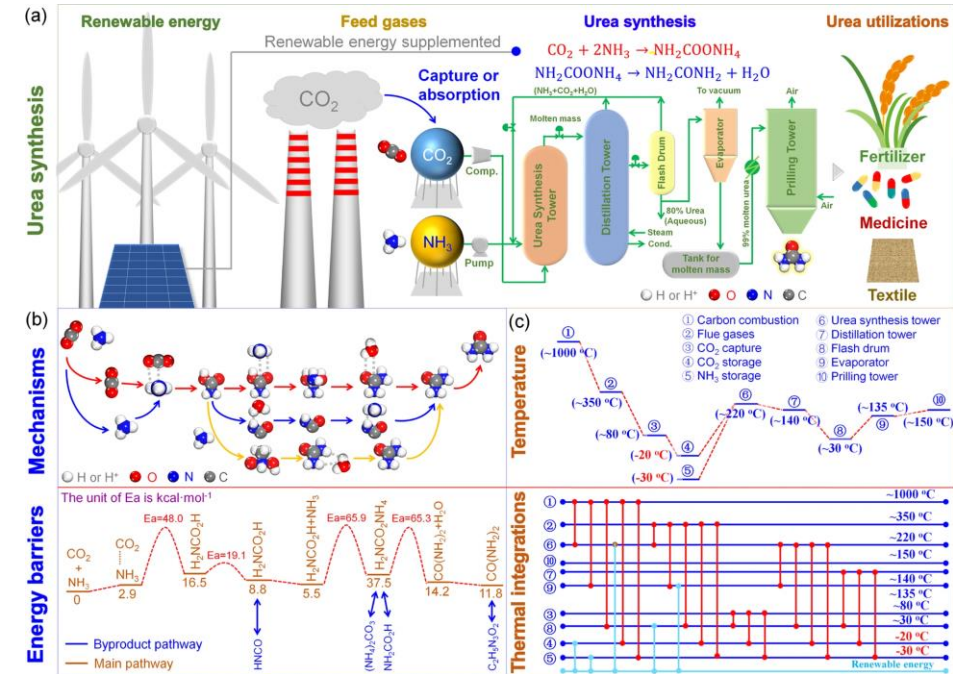
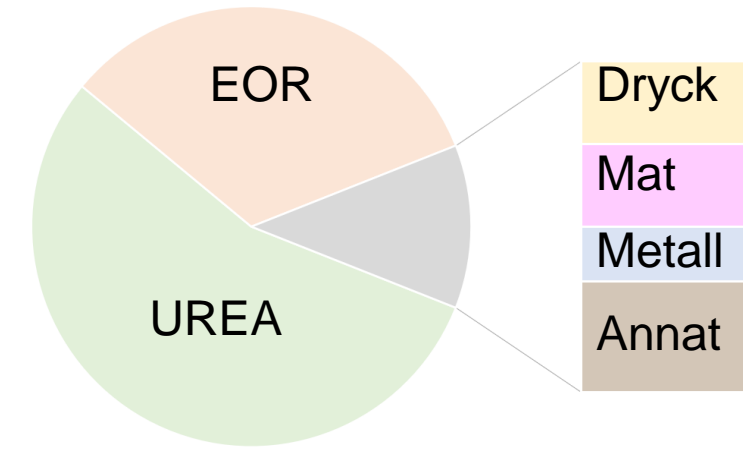
Globalt levereras ca 230 Mton CO₂/år (2015) som insatsvara till industrin

- I processen för att framställa urea ångreformerar fossil metan till CO₂ och H₂, varefter CO₂ och NH₃ ger slutprodukten (57 %)
- Vid utvinning av olja och gas kan CO₂ brukas som EOR, Enhanced Oil Recovery (34 %)
- Andra befintliga tillämpningar är exempelvis kolsyrade drycker, svetsning mfl ändamål

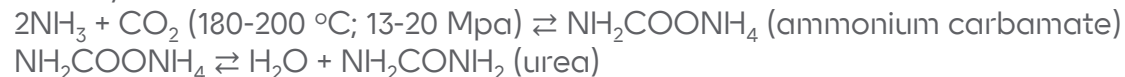
”Vid produktion av drivmedel utgör CO₂ flaskhalsen vid anskaffning av insatsvaror, inte vätgasen.”

Många CCU-produkter är idag dyrare än de konventionella alternativ de ska försöka ersätta

- Capex-/Opex-intensiv avskiljning av koldioxid
- Ofta resursintensiv produktifiering, inkl kompletterande behov av ämnen såsom H, N och O

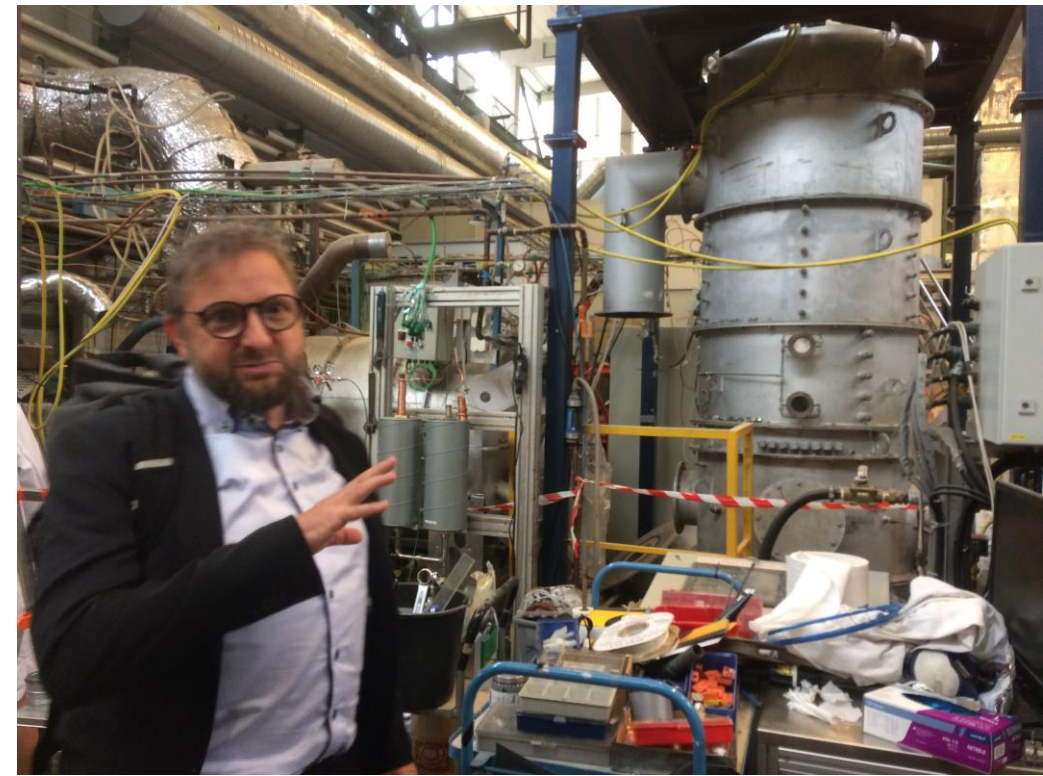


Urea synthesis

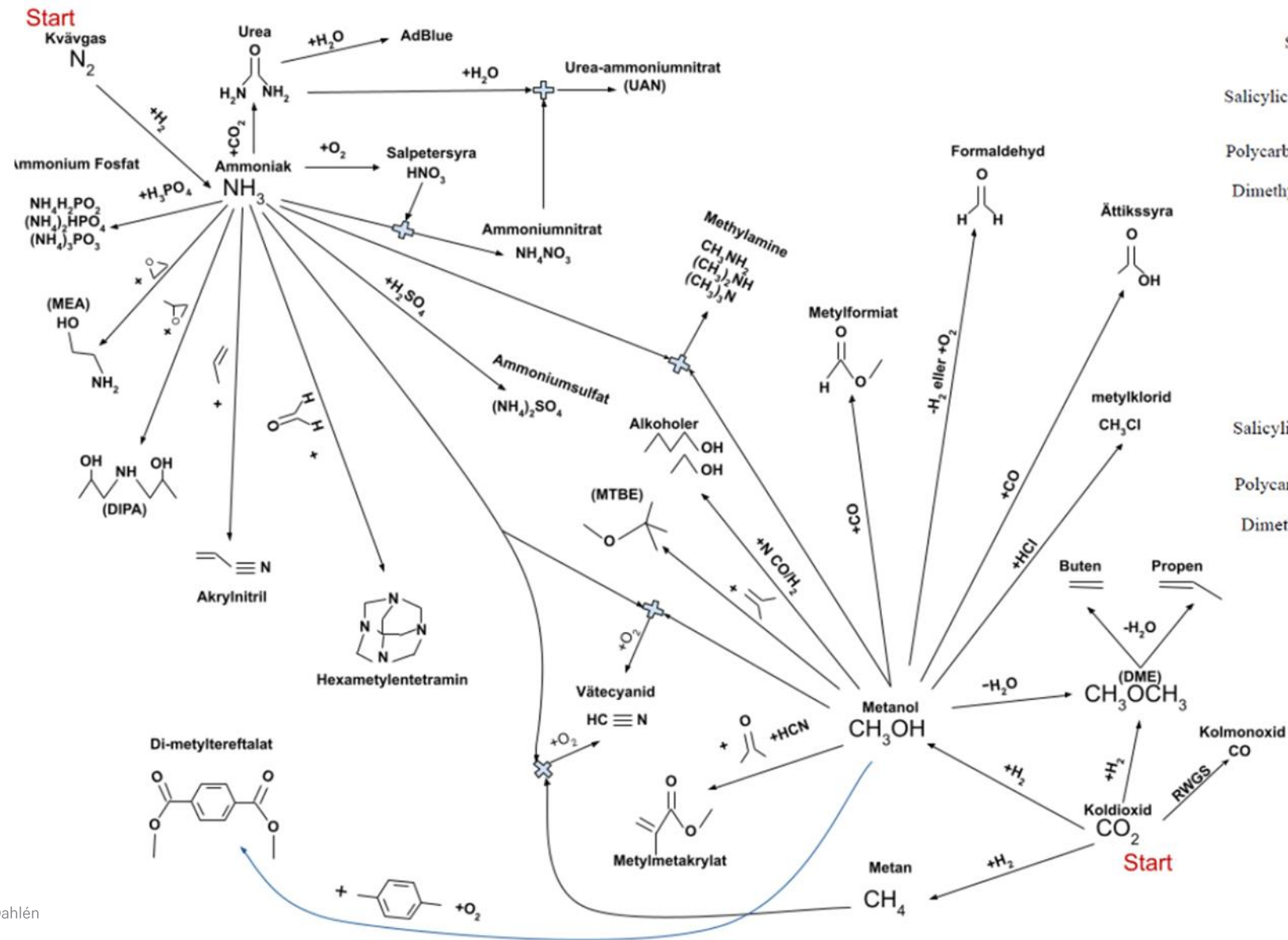


Alternativ till CCU

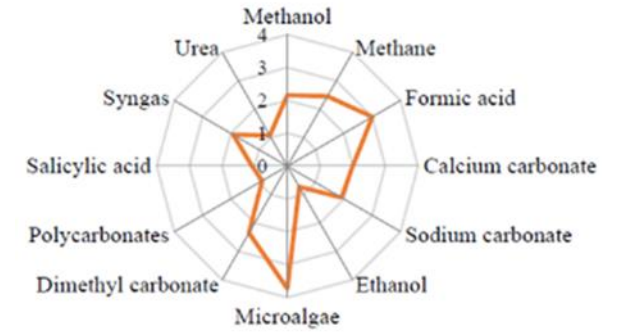
- i. I verksamheter där kol med korta cykeltider efterfrågas kan med termokemiska omvandlingar råvaran nyttjas direkt (utan sektorkopplad oxidation)
- ii. Förbränning av biogen råvara kan ersättas av andra termiska behandlingsmetoder, företrädesvis pyrolys
- iii. Fortsatt användning av det fossila i enlighet med "very hard to abate", där emissionerna hanteras med CRC:er



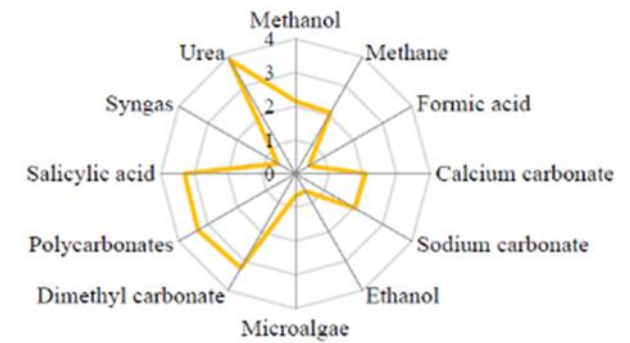
CCU(S)-produkter som eventuellt kommer nå marknaden



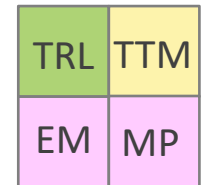
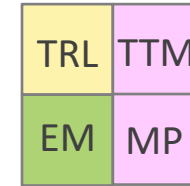
Engineering performance



Economic performance

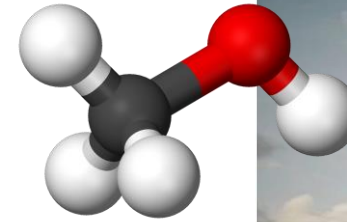
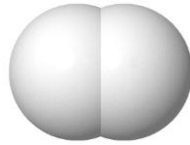


Analys av Bio-CCU-marknaden



Sjöfart

TRL	TTM
EM	MP



- 3 % av världens GHG-utsläpp
- Konservativ industri som historiskt rört sig långsamt
- Alla stora fraktföretag har omställning mer eller mindre aktivt på agendan:
 - Regleringar. Krav från IMO, vilka reglerar sjöfarten, att år från år sänka GHG-utsläppen.
 - Gröna transporter som premiumprodukt - liten men växande marknad (krav från IKEA, Nike mfl)
- ~100.000 stora fraktfartyg i världen
- För 40-50 % av flottan kommer det att löna sig att investera sig bort från fossildrift
- Vid all nybyggnation kommer flexibilitet byggas in
- De stora fartygen kostar idag mellan 200 miljoner och en miljard €
- Alla vill undvika Stranded Assets, såväl utgående som omogen teknik undviks
- Förväntad (teknisk) livstid är 30 år,
 - under denna tid kommer transitionen att ske.

Maersk moves deeper on methanol with up to 20 container ship newbuilds

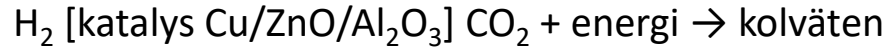
Confirmation of a fresh raft of neo-panamaxes is imminent as yards bid on a wave of feeder vessels

- Från CO₂-intensiv framdrift (fossila kolväten)
- Via CO₂-neutral framdrift
 - biodrivmedel
 - eFuels med bio-CCU
- Till CO₂-fri framdrift
 - vätgas
 - elektricitet (mindre fartyg)
 - ammoniak
 - kolbaserade drivmedel + carbon capture

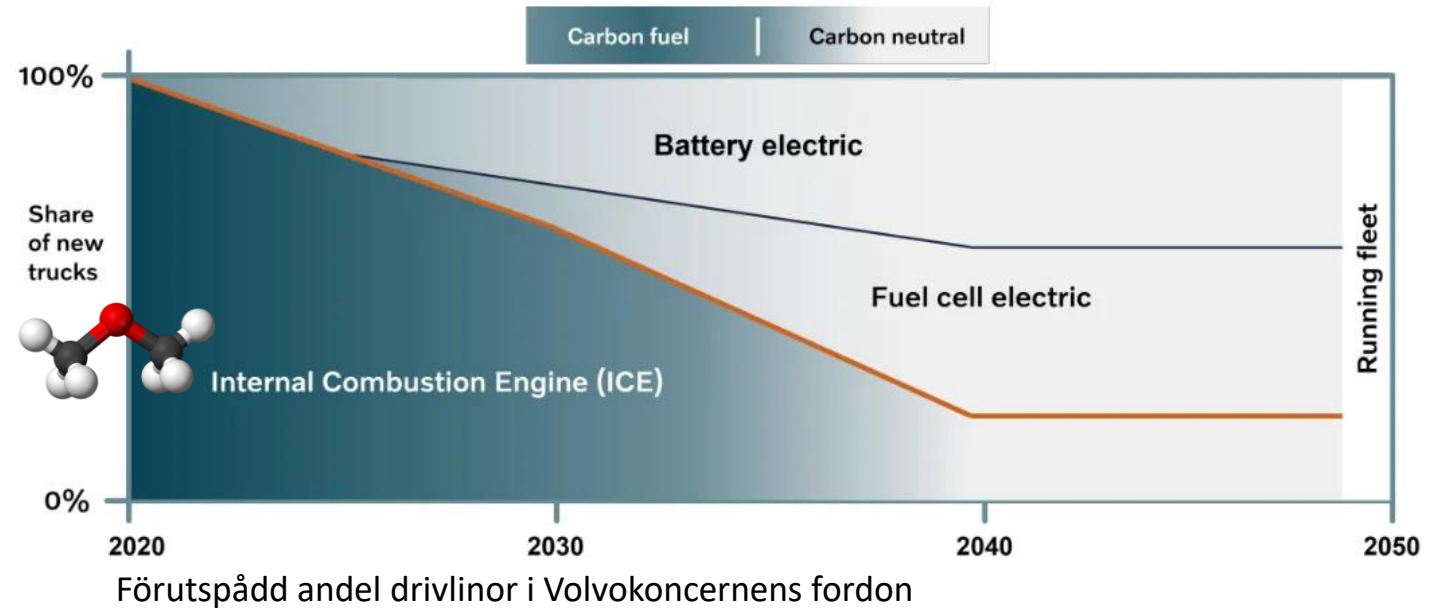
Väg- och flygtrafik (CCU)

- H₂ i sig eller som del av eFuels
- eFuels produceras syntetiskt med “väte, syre och någonting mer”.

- snabb implementering utan kostsamma utbyten
- Konceptet associeras med:



TRL	TTM
EM	MP



TRL	TTM
EM	MP



Lagen ReFuelEU Aviation, (en del av Fit for 55-paketet), antogs av Rådet i oktober 2023 och innebär en kvotplikt för inblandning av 2 % hållbart flygbränsle för SAF (Sustainable Aviation Fuel) från 2025 (6 % 2030, 70 % 2050) och för syntetiskt flygbränsle 1,2 % från 2030 (35 % 2050).

Kemiindustrin (CCU)

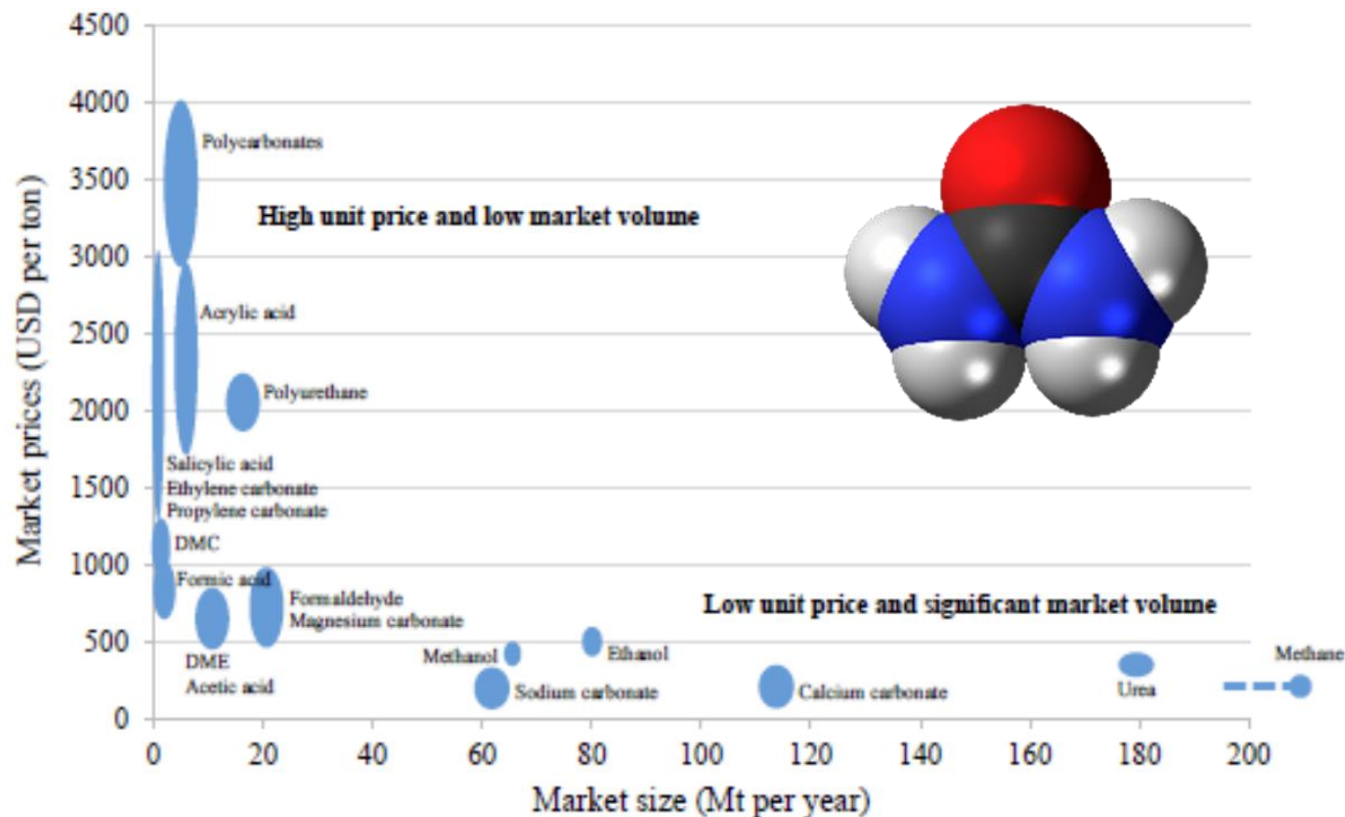
TRL	TTM
EM	MP

Metanol

- Metanol utgör en baskemikalie, (som råvara till andra kemiska produkter), vilken som mellanprodukt successivt kan ersättas med ickefossilt ursprung i syfte att minska det fossila avtrycket
- Efterfrågan är växande emedan betalningsviljan dimensioneras mot kostnaden att producera metanolen internt, från exempelvis egenrekvirerad bioråvara

Urea

Över 70 % av den urea som produceras globalt idag nyttjas för mineralgödsel. Resterande används för avgasrening, (Selective Catalytic Reduction (SCR)) och vattenrening, framställning av läkemedel, lim, harts, i textilier, garverier, som bindemedel i isolering, vid snö- och isröjning, vid metallbearbetning och för djurfoder. Efterfrågan är stor men urea produceras med fördel från $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$, vilket gör extern CCU lågintressant då ammoniakproduktionsprocessen själv genererar CO_2 via ångreformering av metan, varför denna punktutsläppskälla nyttjas för att vidare producera urea (intern CCU).



Källa: Recent advances in carbon dioxide utilization, 2020, Zhang et al

Bygg (CCUS)

Härdning av betong

- I syfte att bilda termodynamiskt stabila kalciumkarbonater
- Distribuerad och därmed svår storskalig marknad

TRL	TTM
EM	MP



Stål (legering)

- Istället för fossil koks
- I form av metan
- Marknaden är så pass liten att den sannolikt hellre kan tillfredsställas med biokol (?)
- (Loopa C med perovskitstruktur* (avser massugn))

TRL	TTM
EM	MP

Köldmedium

- Liten marknad
- Alltför höga krav på renhet

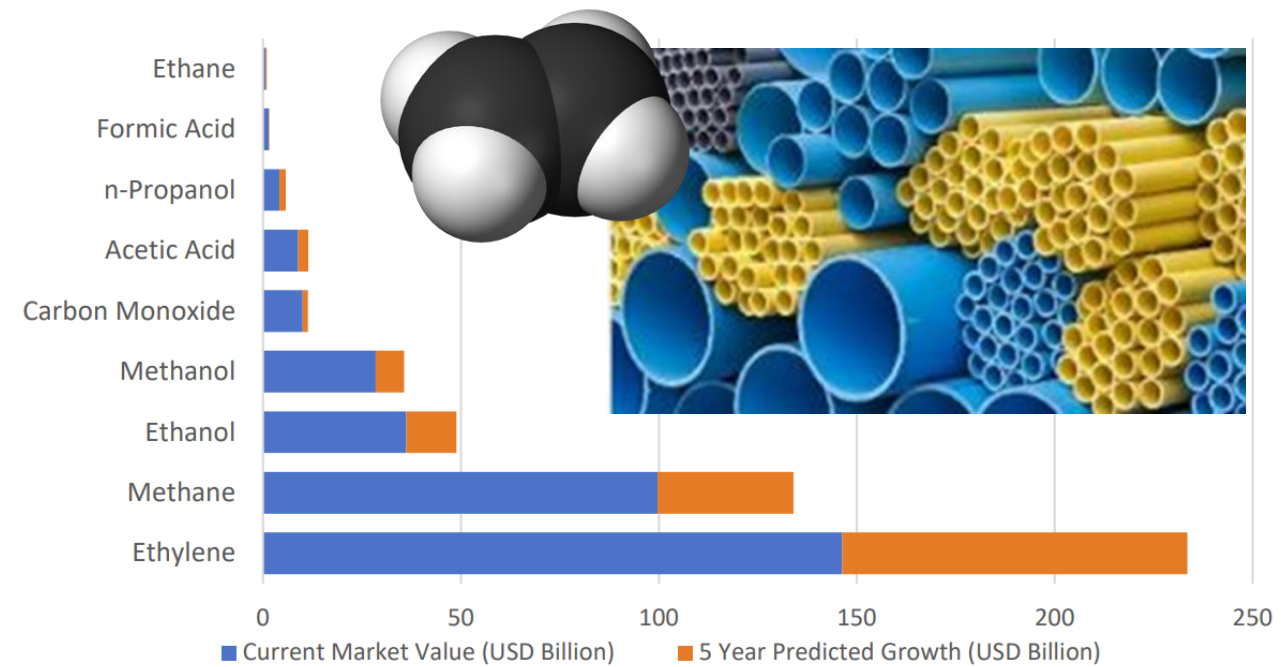
TRL	TTM
EM	MP



* För ståltilverkning i masugnar finns möjligheten att avskilja CO₂ medelst syrebärare med perovskitstruktur vilken har den mycket användbara egenskapen att mängden inbundet syre varierar genom förändring av fysikaliska stimuli, såsom temperatur eller syrets partialtryck. Vid 7-800 °C och riklig förekomst av CO₂ absorberas syre i gittret varvid primärt CO bildas, vilket loopas tillbaka till masugnen. Därefter frigörs syreatomer (som bildar syrgas) via en temperature swing och andelen syrevakanser i gittret ökar igen (alltså där en syreatom saknas). Även syrgasen används i processen.

Polymera konstruktionsmaterial (CCUS)

- Eten är den mest användbara råvarukemikalien för polymerproduktion och har ett betydande koldioxidavtryck på 1,73 ton CO₂ per producerat ton.
- $2\text{CO}_2 + 12\text{H}^+ + 12\text{e}^- \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(g) + 4\text{H}_2\text{O}$
- Att använda eCO₂RR (Electrochemical CO₂ Reduction Reaction) skulle minska betydande CO₂-utsläpp och överbrygga luckan mellan fossila och förnybara resurser.
- Om man specifikt inriktar sig på eten som intermediär kan det vara fördelaktigt att ytterligare öka lönsamheten genom att producera myr- eller ättiksyra som ett nästa steg, vilket har fördelen av enklare vätskegasseparering och för att undvika produktion av metan och etanol.
- Polymerbetong är speciellt lämpat för aggressiva medier, som t.ex. svavelvätebemängt spillvatten efter pumpstation.
 - Pga låg kostnad, god tillgänglighet och goda mekaniska egenskaper utgör **polyester** det vanligaste bindemedlet för polymerbetong (mer än 25 %). Emellertid har **epoxibaserat harts** överlägsen mekanisk styrka och kemisk beständighet, men kostar betydligt mer. Andra exempel är metylmetakrylat (MMA), styrenakryl, vinylacetatetylen (VAE), etylen-vinyl acetat (EVA), latex, polyvinyl acetat (PVA) och styren-butadienharts (SBR).



TRL	TTM
EM	MP

CCU - Livsmedel

Växthus

Mogen, befintlig, men begränsad och distribuerad marknad i Sverige, emedan tex Nederländerna använder 5-6,3 Mton CO₂/år, (IEA, 2019), främst från on-site naturgaseldade pannor.

TRL	TTM
EM	MP

Food grade, tillsatsämne E290

Kolsyra drycker, kolsyreis, skyddsatmosfär vid förpackning av mat, lösningsmedel, sterilisering samt för ta bort koffein.

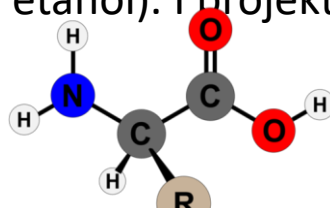
Marknaden är mycket liten.

TRL	TTM
EM	MP



Syntetiska proteiner för djurfoder (single-cell proteins)

I de pågående projekten i Europa produceras proteinerna med CO₂ tillsammans med organisk kolkälla (t.ex. biomassa, metan eller etanol). I projektet *SynoProtein* anges för Sverige till 0,7-1,5 Mton CO₂/år och i Europa 50-100 Mton/år!



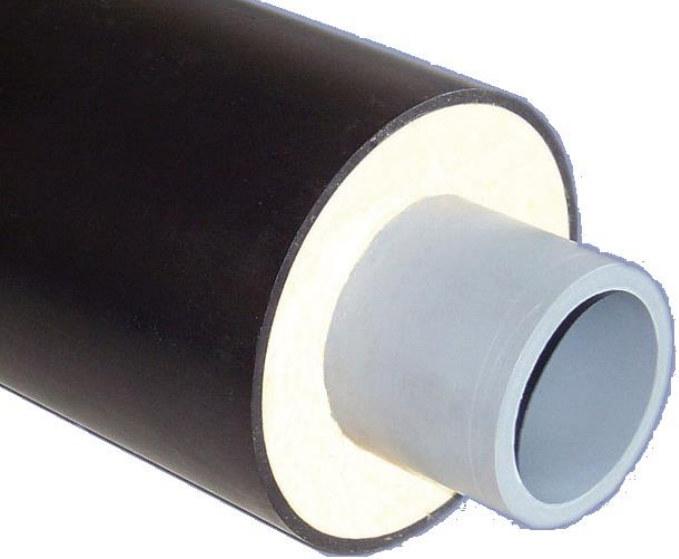
Algodling

För makroalger finns en betydande potentiell marknad i Europa: upp till 22 Mton/år enligt EU-projektet SeaMark. 2030 bedömer de att 8 Mton makroalger kommer produceras med CO₂-behov av 1-1,35 kg/kg alger. Vad avser mikroalger odlas de i syfte att ge en mängd olika produkter, såsom lipider, proteiner, kosttillskott, bränslen och bioråvara för direkt användning. Produktion och marknad är befintliga men CO₂-behovet lågt.

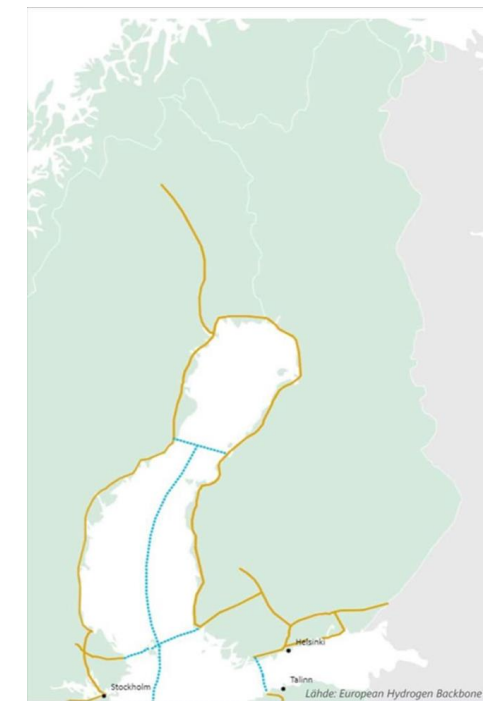
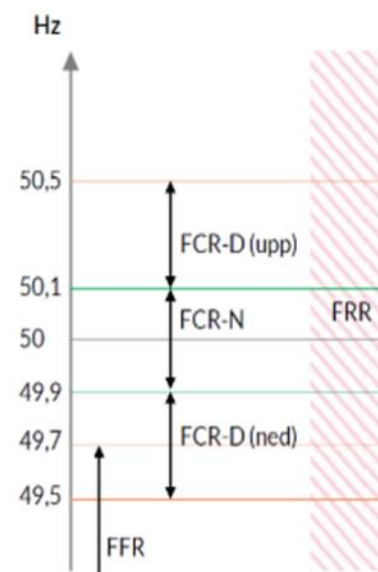
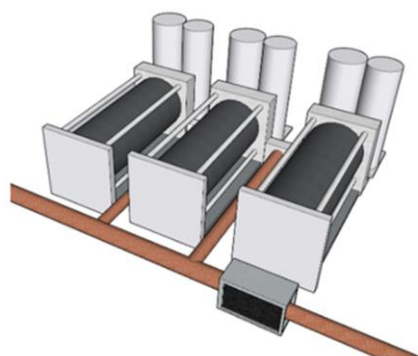
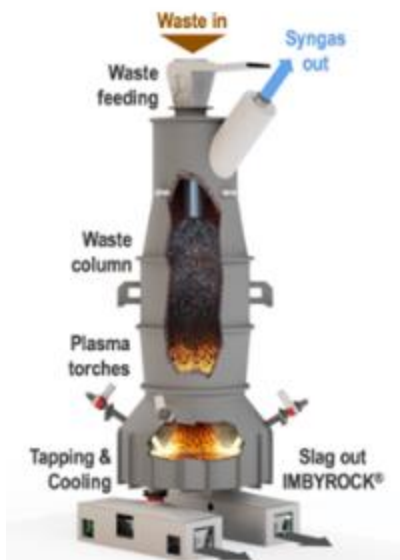
TRL	TTM
EM	MP

TRL	TTM
EM	MP





Vätgas: insatsvara och energibärare



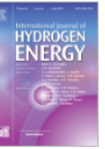
Flaskhalsar

Förutom el (och kanske vatten), även iridium mfl sällsynta metaller

PEM-elektrolys: mellan en anod av Ti och en katod av Ti/grafit med Pt finns ett polymermembran belagt med IrO₂ vilket isolerar mot e⁻ men släpper igenom H⁺.

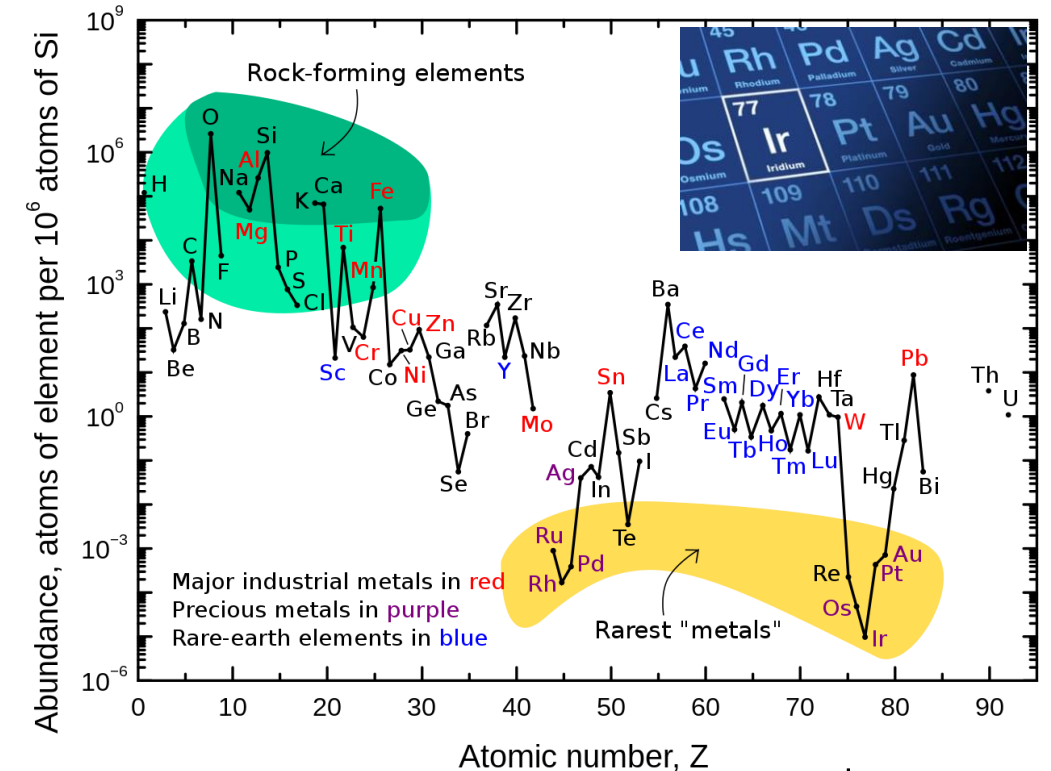
Det finns tydliga mål för utvecklingen av PEM till 2035*:

- Energy yield in the cell 70 → 75 %
- Iridium anode 20 → 4 g/m²
 - anode area for 1 MW anode is ~32 m², today requires ~650 g Iridium.
 - "Iridium 670 → 50 g/MW"
- Power density 30 → 80 kW/m²
- Current density 20 → 30 kA/m²
 - must be distributed very evenly over the entire surface
- Lifespan 10 → 20 years



Is iridium demand a potential bottleneck in the realization of large-scale PEM water electrolysis?

[Christine Minke](#), [Michel Suermann](#), [Boris Bensmann](#),
[Richard Hanke-Rauschenbach](#)



* Christine Minke et al,



Smoltek

<https://www.smoltek.com> › toge... ⋮

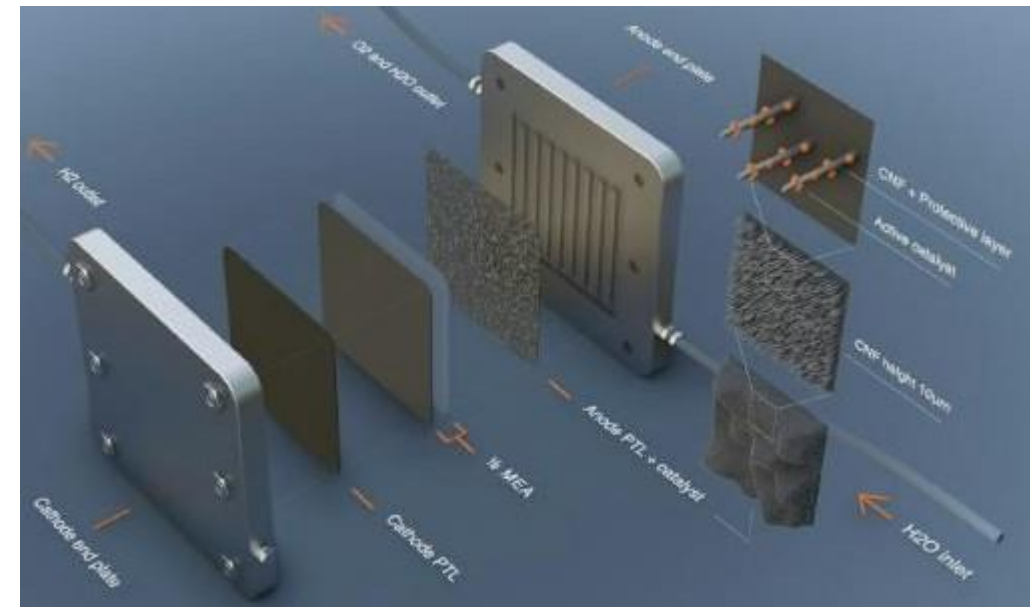
Together towards 0.1 mg iridium/cm²

23 okt. 2023 — Our solution for **reducing iridium** loading on the anode-side and at the same time keeping performance intact!

Q2 2023: "mycket lyckosamma testresultat avseende bolagets cellmaterial till elektrolysörer". Demonstratorer med endast 5 g Ir/m² sägs ge samma H₂-utbyte som ett standardmaterial med 25 g Ir/m². Förklaringen är bolagets unika nanostruktur. Dessutom visar livstidstester att materialet går att skydda mot korrosion.

- Iridium anode 25 → 4 g/m²

Nästa steg är att inleda trimning av ett antal tekniska parametrar i syfte att nå slutmålet om 1 g Ir/m².



- Iridiumpriset är idag 2 milj kr/kg och förväntas stiga till 8–10 milj kr/kg innan decenniet är slut, säger Ellinor Ehrnberg, vd för Smoltek Hydrogen.



This project has received funding from the European Union's Innovation Fund under grant agreement no 101051202.



Vid 5 g Ir/m² (i.s.f. 25) och iridiumpriset 2 milj kr/kg:

650 → 130 g Ir/MW

1.300 → 260 kkr/MW

Vid 5 g Ir/m² och iridiumpriset är 8 milj kr/kg:

650 → 130 g Ir/MW

5.200 → 1.040 kkr/MW

Om 1 g Ir/m² nås och iridiumpriset stiger till 10 milj kr/kg:

650 → 26 g Ir/MW

6.500 → 260 kkr/MW

~50 MWh erfordras för produktion av ett ton vätgas

1 MW under 7500 tim/år ger 7.500 MWh/år = 150 ton H₂/år

15 år = 2.250 ton: från 2900 till 116 kr iridium/ton H₂

Kalkylerad produktionskostnad: 30.000 kr/ton H₂

När iridiuminnehållets återvinningsvärde subtraherats och kostnaden för dyrare membran adderats framgår att **tillgången på iridium** är en svårare flaskhals än kostnaden.

Värdet av forskning och utveckling mot radikalt minskat behov av iridium i elektrolysörer som är lämpliga för stödtjänster återfinns primärt i möjligheten att skala upp produktionen i önskad takt. i andra hand återfinns en mer konkurrenskraftig ekonomisk kalkyl.

- Iridiumpriset är idag 2 milj kr/kg och förväntas stiga till 8–10 milj kr/kg innan decenniet är slut, säger Ellinor Ehrnberg, vd för Smoltek Hydrogen.



This project has received funding from the European Union's Innovation Fund under grant agreement no 101051202.



- Sektorkopplingar
- Permanent Carbon Removal
...men även CCU, primärt Drivmedel
...samt alternativa termiska behandlingsmetoder
- Bio...Avfall
- Elektricitet, Stödtjänster, Vätgas...

Tack för mig
Erik Dahlén

