

Infångning och lagring av koldioxid (CCS)

Anders Lyngfelt

Innehåll

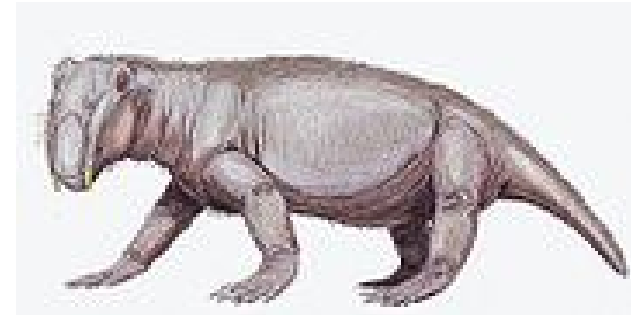
Lagring

Transport

Infångning

Kostnader ?

Bio-CCS (minusutsläpp)



Lystrosaurus

Koldioxidbudgeten

Vad innebär Parisavtalet? Hur mycket mer koldioxid kan vi släppa ut ??

Koldioxidbudget för max 1.5°C and 2°C (1 jan. 2018):

420 and 1120 Gton CO₂

Utsläpp idag c:a 40 Gton CO₂/år :

→ **10 - 30 år kvar med dagens utsläpp**

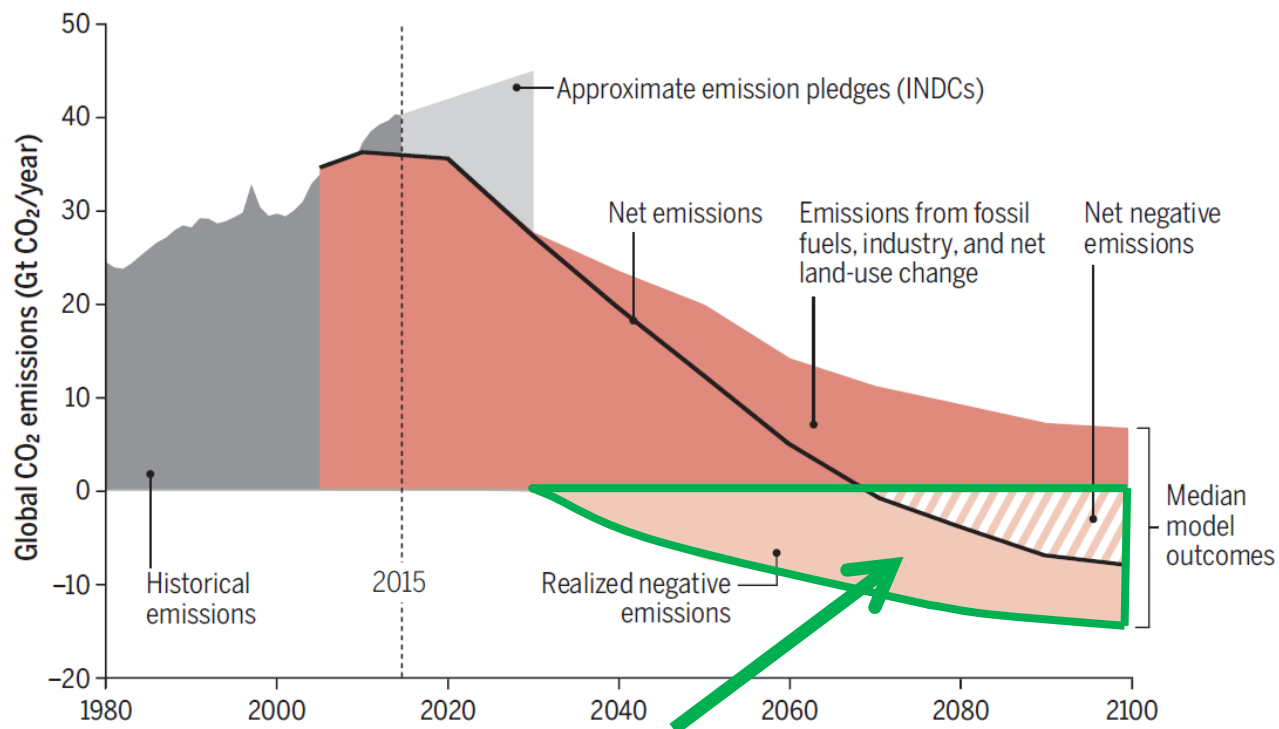


Minusutsläpp behövs för att nå klimatmålen

Ny Svensk klimatlag 2017:

Nollutsläpp senast 2045,
och därefter **minusutsläpp**

"Medelscenario" för 2-gradersmålet



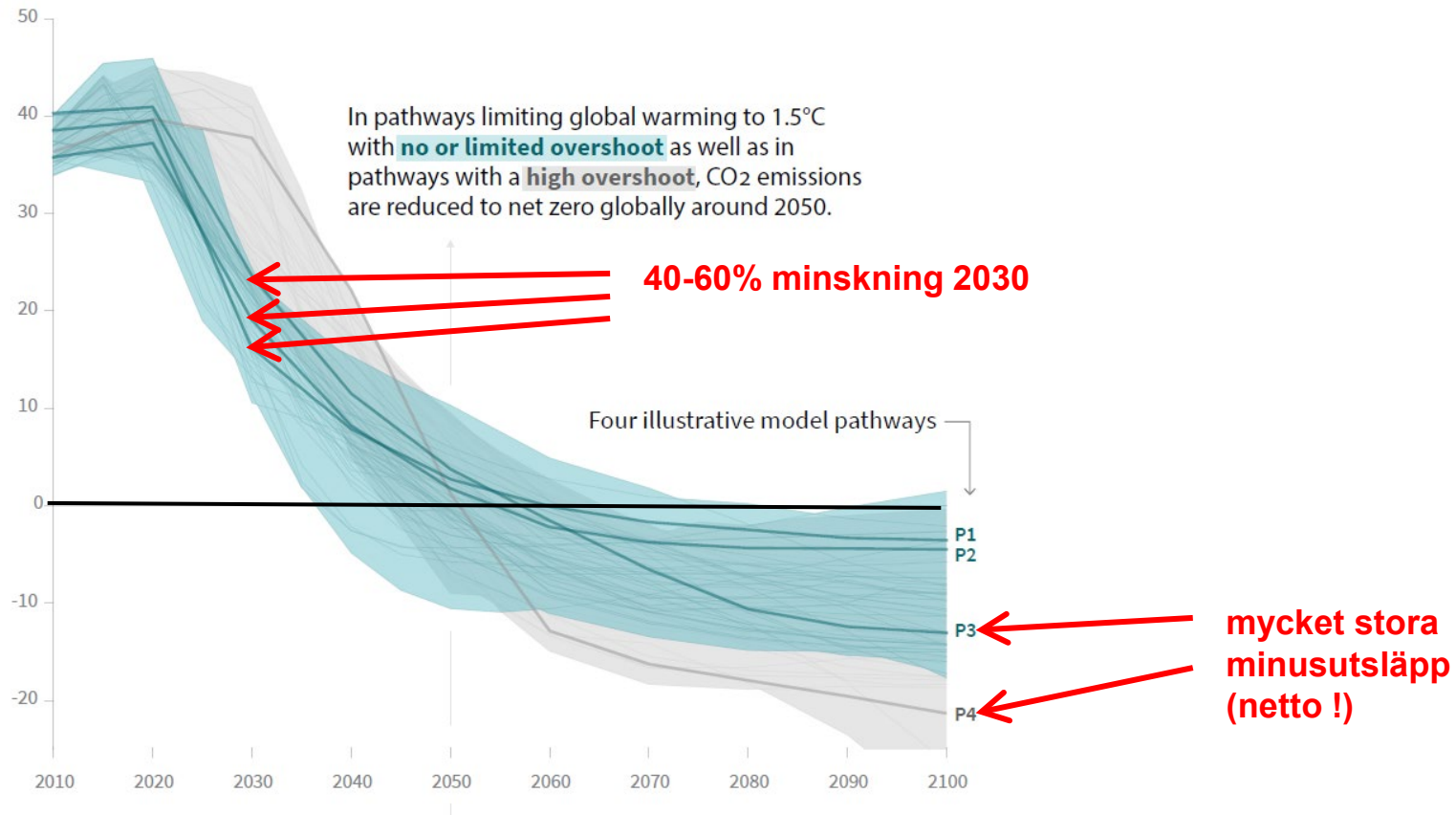
-700 Gt CO₂
nära 100 ton per människa

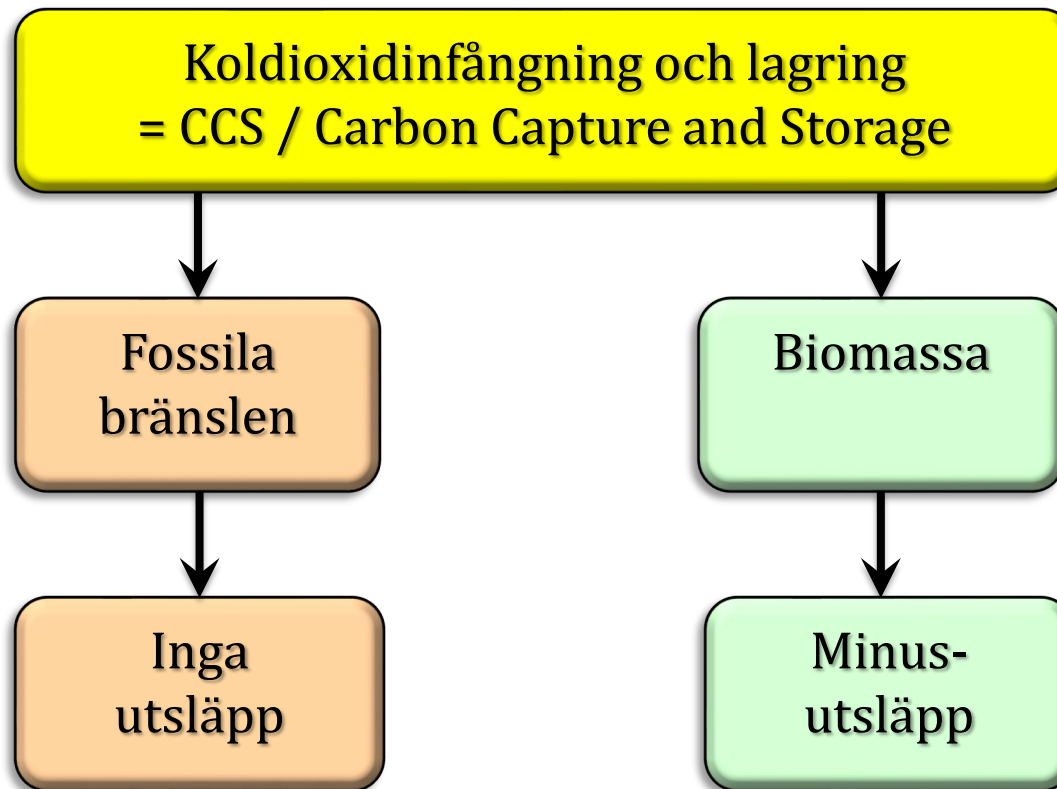
sciencemag.org **SCIENCE**

1,5-gradersmålet

Global total net CO₂ emissions

Billion tonnes of CO₂/yr





Vad är minusutsläpp?

Förbränning av
biomassa är
klimatneutral
dvs. **nollutsläpp**

0



Förbränning av
biomassa med
koldioxidinfångning
ger **negativa utsläpp**

—



Koldioxidlagring

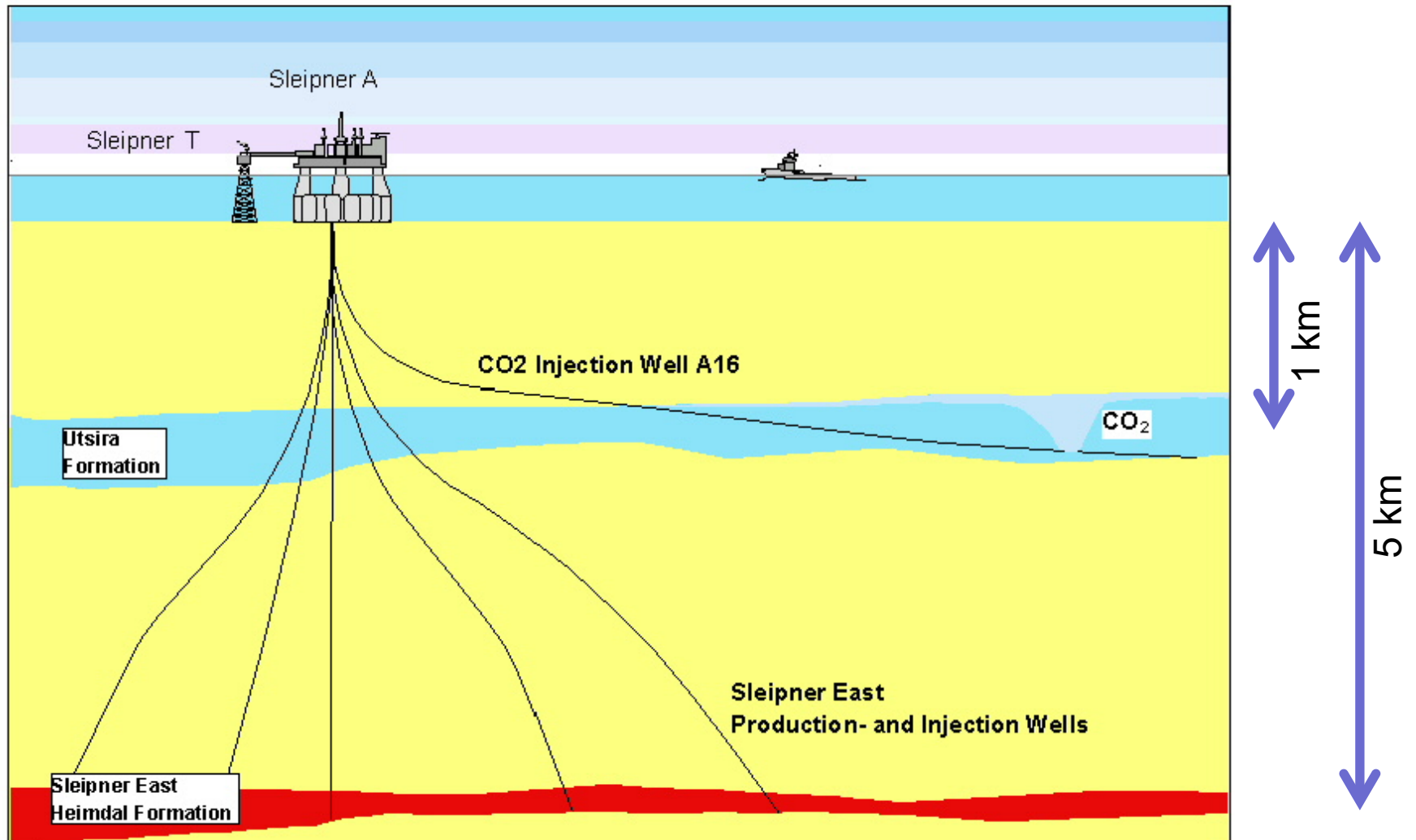
akviferer (vattenfylld porös sten bildad av packad sand)

naturgas- och oljefält

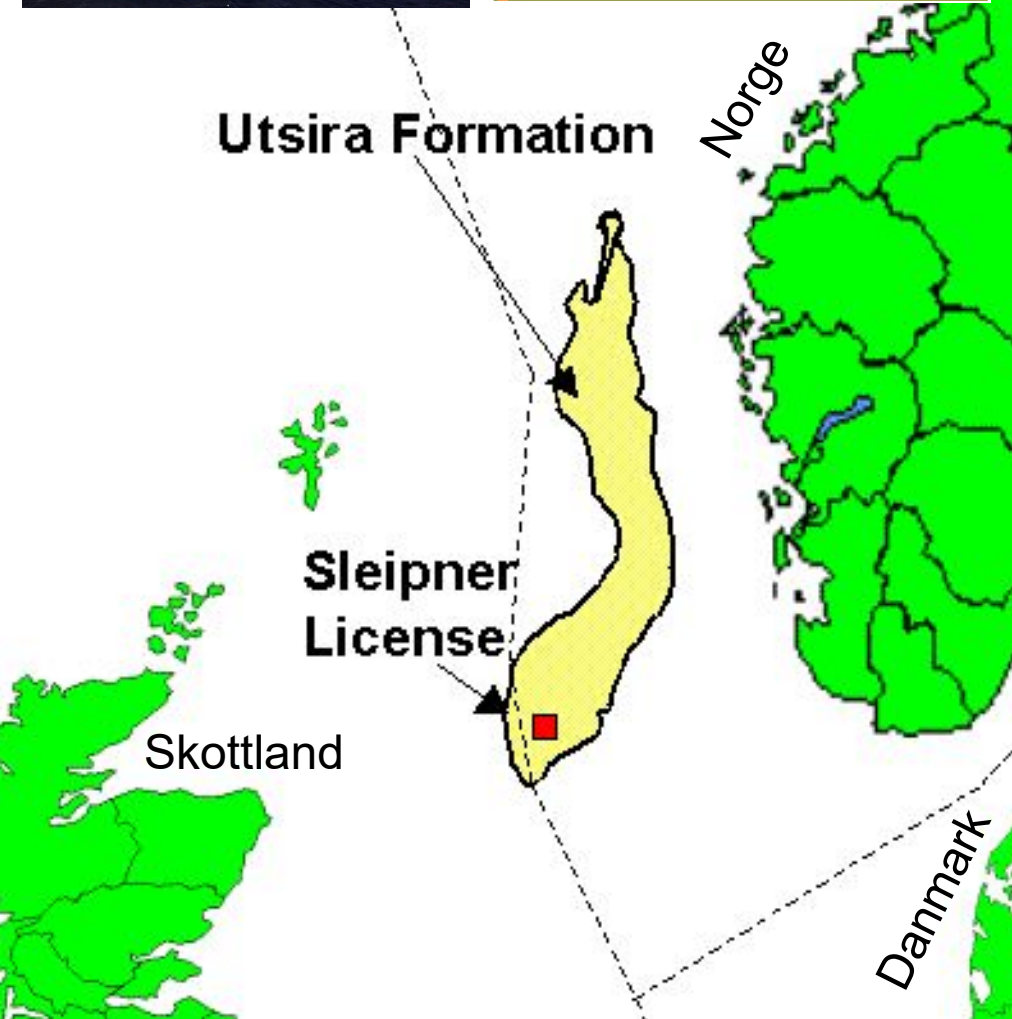
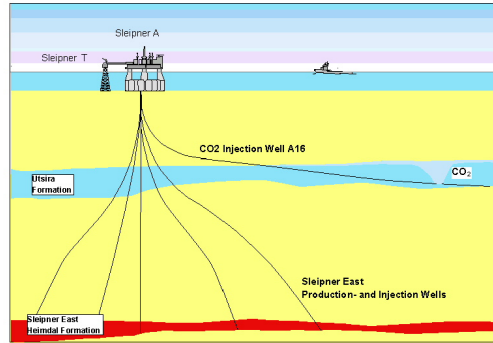
Sleipner gasplattform



SLEIPNER AQUIFER CO2 STORAGE



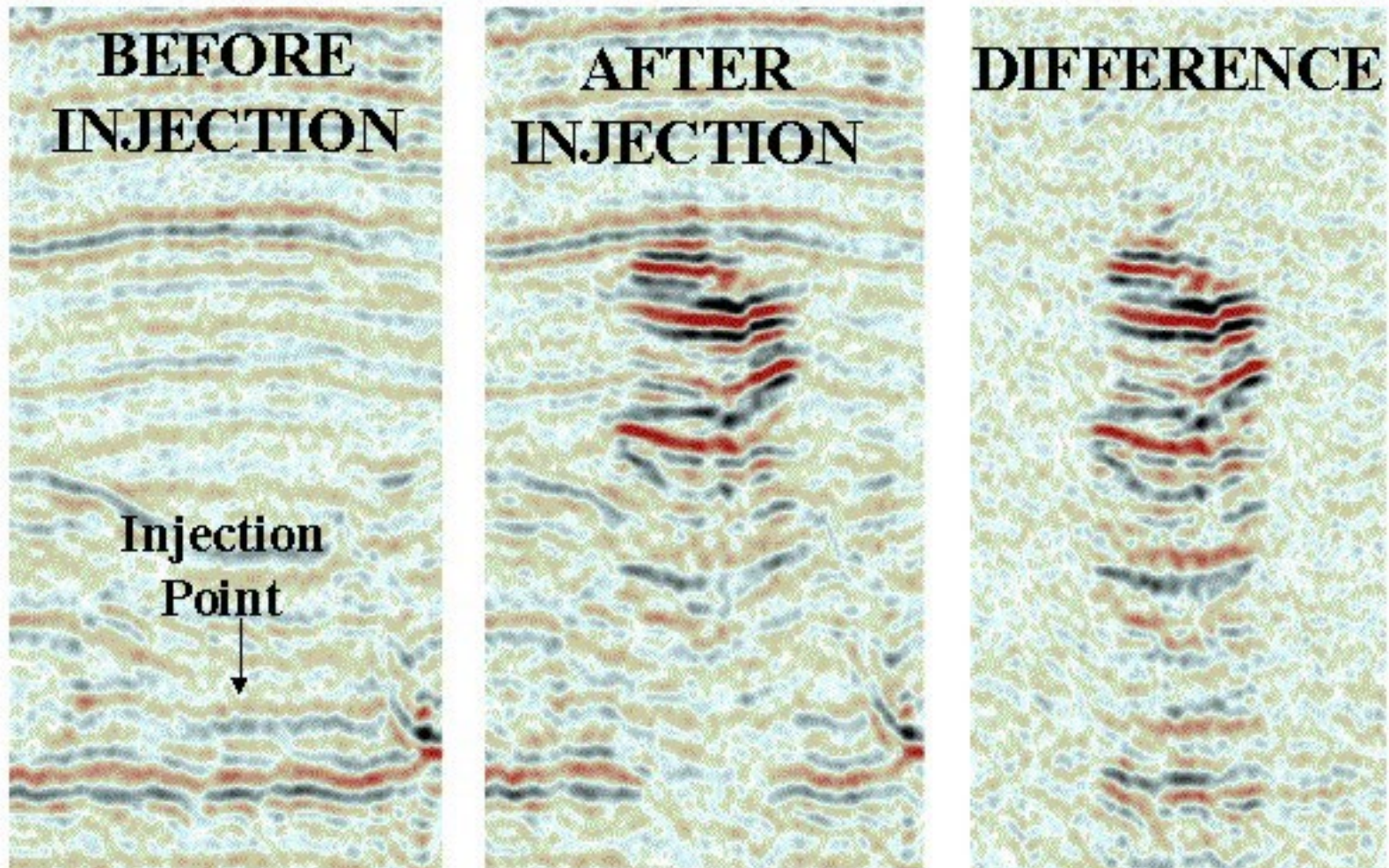
SLEIPNER AQUIFER CO2 STORAGE



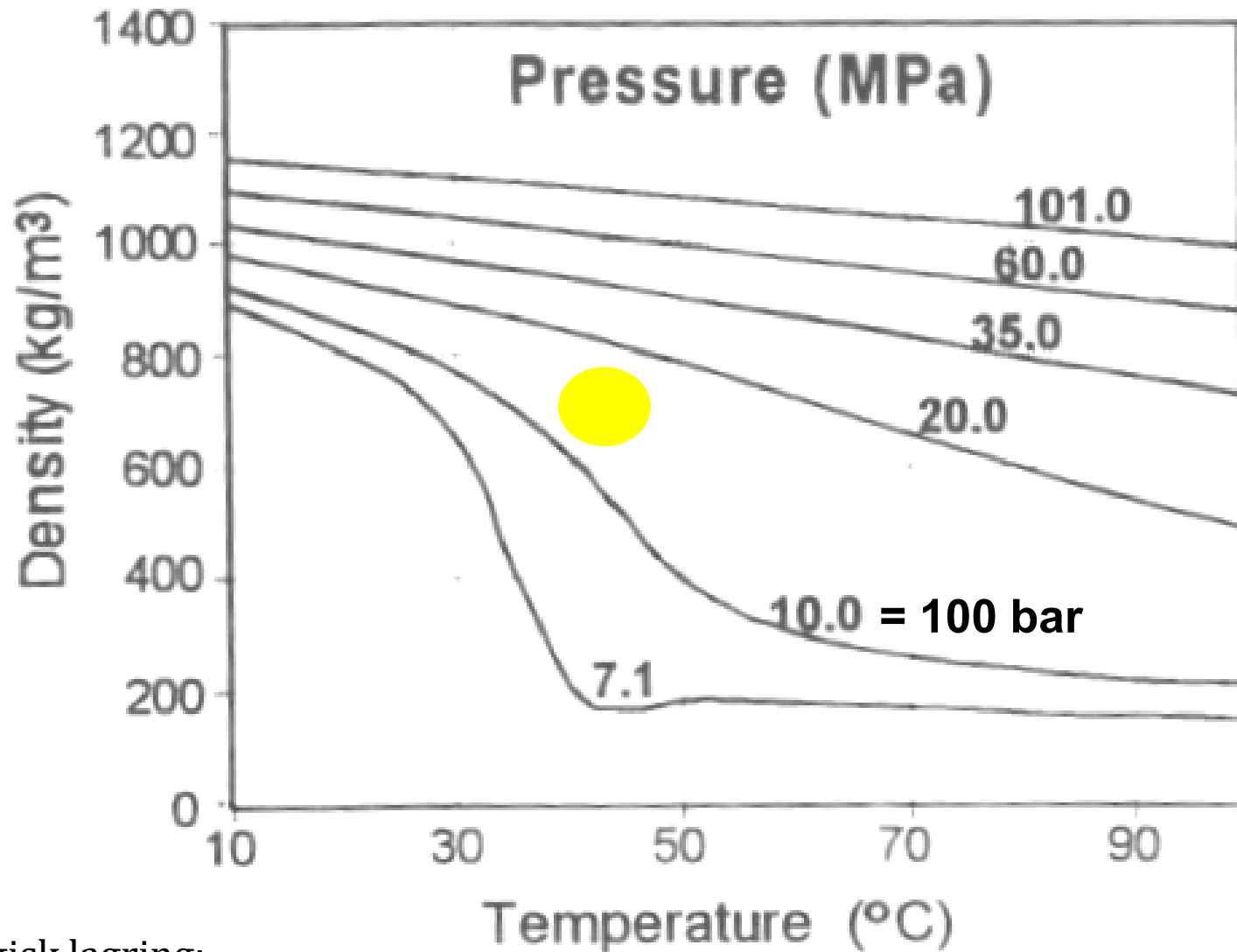
Lagring sedan 1996
1 miljon ton CO₂/år
(3% Norges utsläpp)

Area: 26 000 km²
Djup: 550 to 1500 m
Höjd: 200-300 m
Porositet: 30-40%

Seismisk undersökning av Utsira



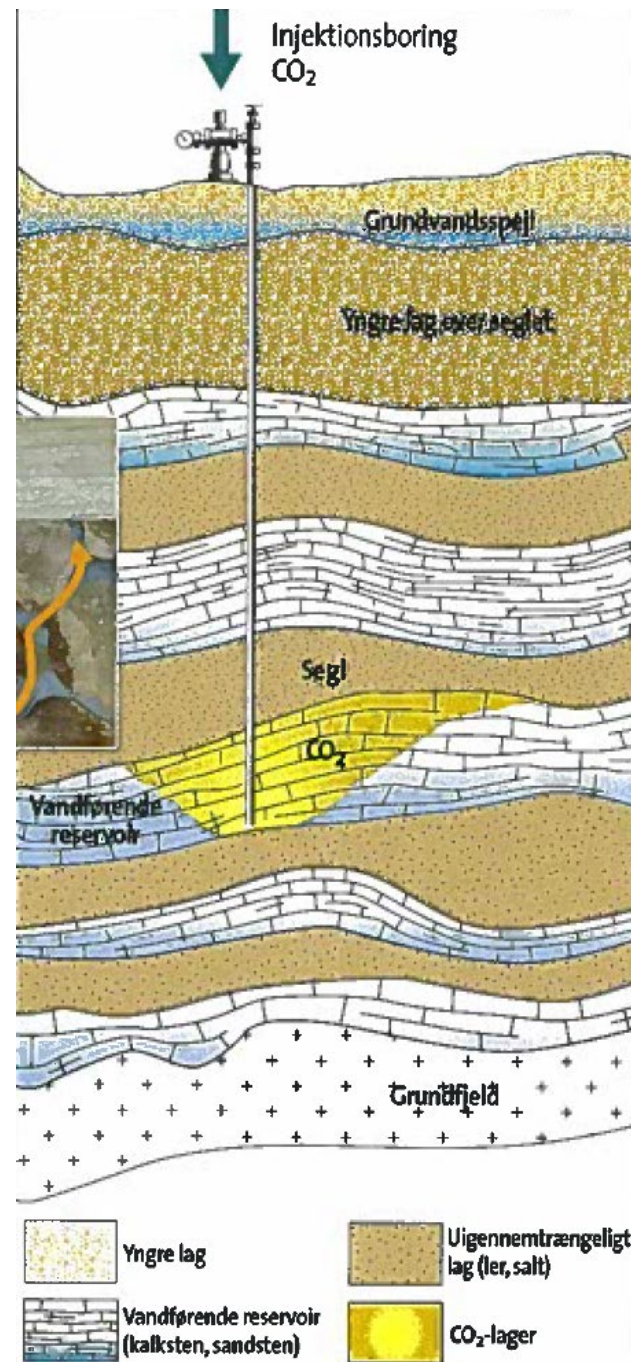
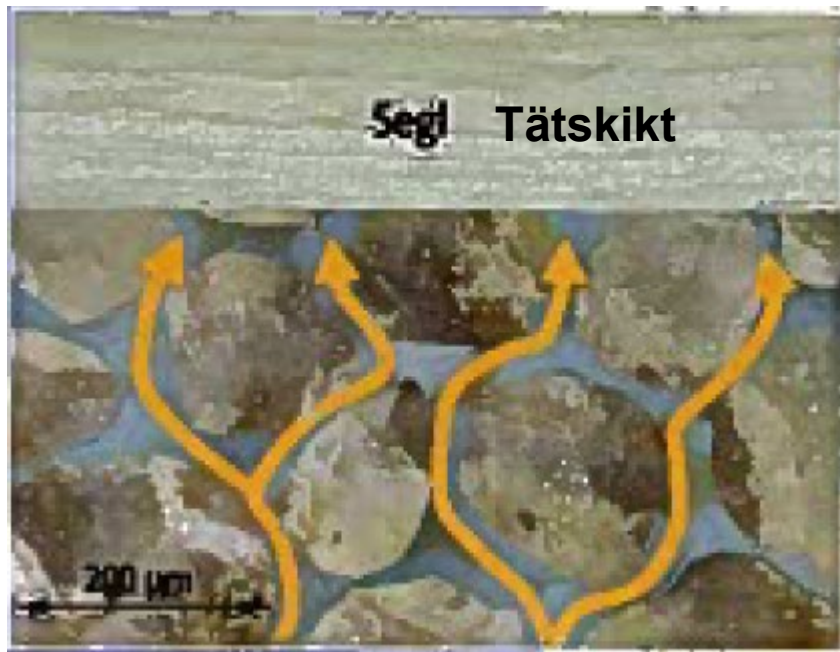
Koldioxid



Geologisk lagring:

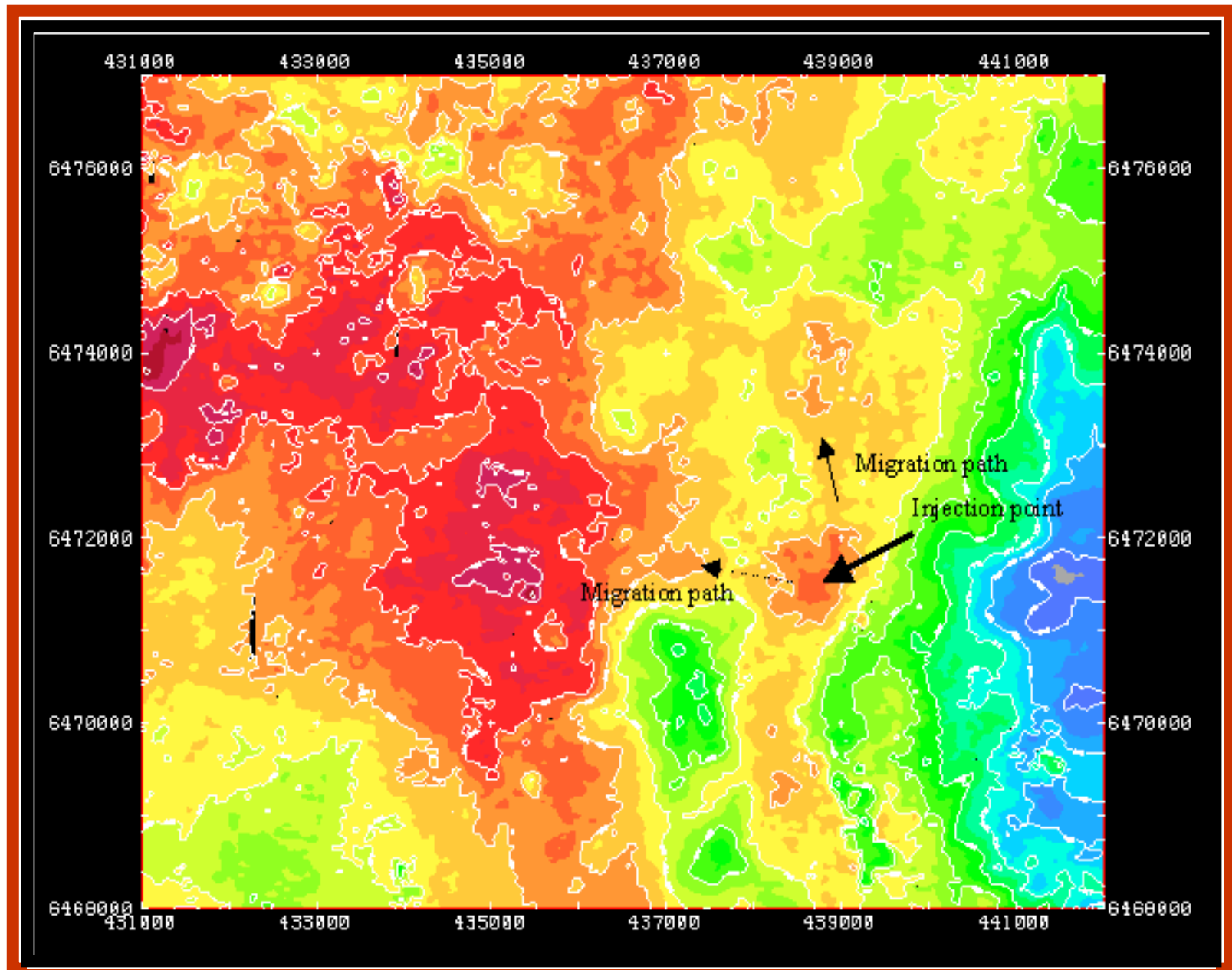
kritisk punkt 31°C, 74 bar

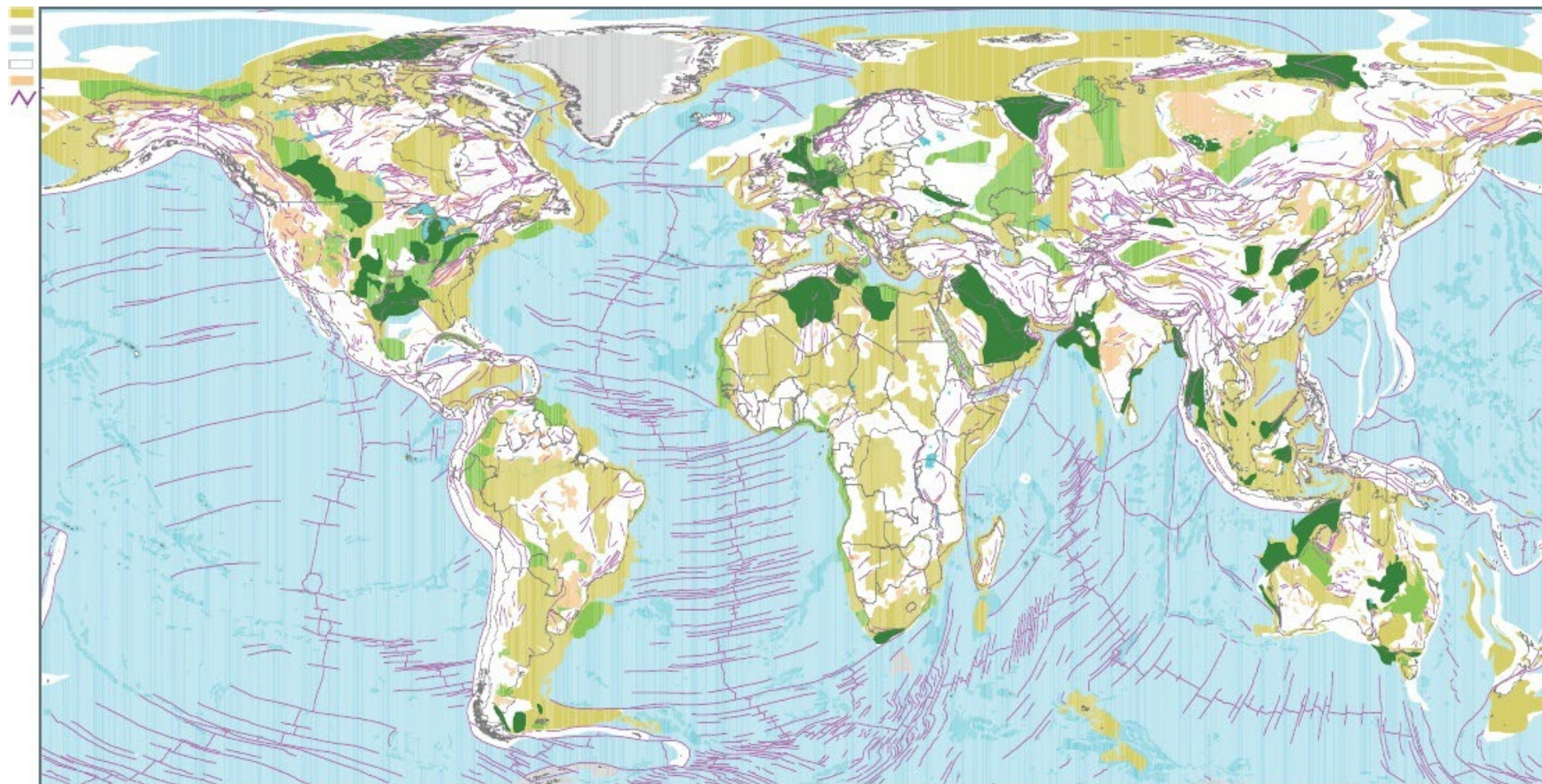
CO₂ är superkritisk, ($\rho < \rho(\text{saltvatten})$, normalt 600-700 kg/m³)



Tätskikt (caprock)
 Porös sandsten
 (vattenfylld)

Hur kommer koldioxid att röra sig under “taket” i Utsira?





World geological storage suitability

- Highly suitable, sedimentary basin or continental margin
- Suitable, sedimentary basin or continental margin
- Possible, sedimentary basin or continental margin

- No data
- Unsuitable, deep water
- Unsuitable, igneous rock
- Unproven

Main faults

Geologisk lagringspotential (enl. IPCC*):

1700 - 10 000 Gton CO₂

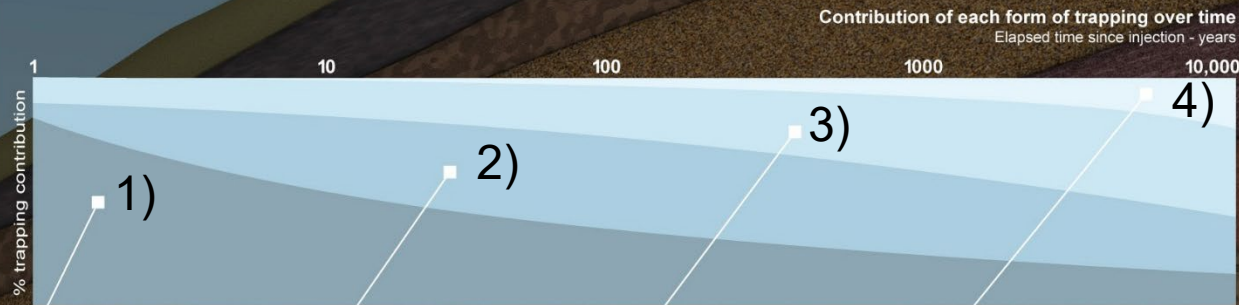
eller dagens globala utsläpp i

50 - 300 år

*Intergovernmental Panel on Climate Change

5 TRAPPING MECHANISMS

These trapping processes take place over many years at different rates from days to years to thousands of years, but in general, geologically stored CO₂ becomes more securely trapped with time.



Structural Trapping

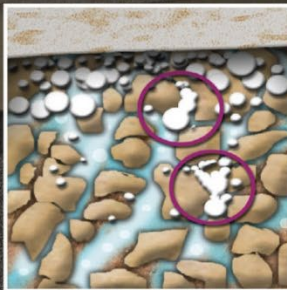
Once injected, the supercritical CO₂ can be more buoyant than other liquids that might be present in the pore space. The CO₂ will therefore percolate up through the porous rocks until it reaches the top of the formation where it meets, and is trapped by, an impermeable layer of cap-rock.

CAPROCK



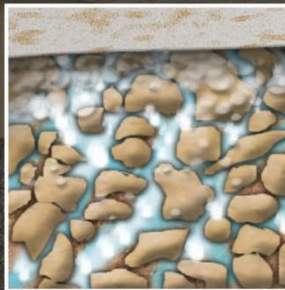
Residual Trapping

As the supercritical CO₂ is injected into the formation it displaces fluid as it moves through the porous rock. As the CO₂ continues to move, fluid again replaces it, but some of the CO₂ will be left behind as disconnected - or residual - droplets in the pore spaces which are immobile, just like water in a sponge.



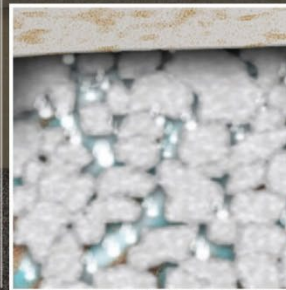
Dissolution Trapping

CO₂ in its gaseous and supercritical state dissolves in other fluids like the salt water or brine already present in the porous rock. Salt water with CO₂ is denser than surrounding fluids and sinks to the bottom of the rock formation over time, trapping the CO₂ even more securely.



Mineral Trapping

The final phase of trapping results from the fact that when CO₂ dissolves in water, it forms a weak carbonic acid. Over a long time, this weak acid can react with the minerals in the surrounding rock to form solid carbonate minerals, effectively binding CO₂ to the rock.

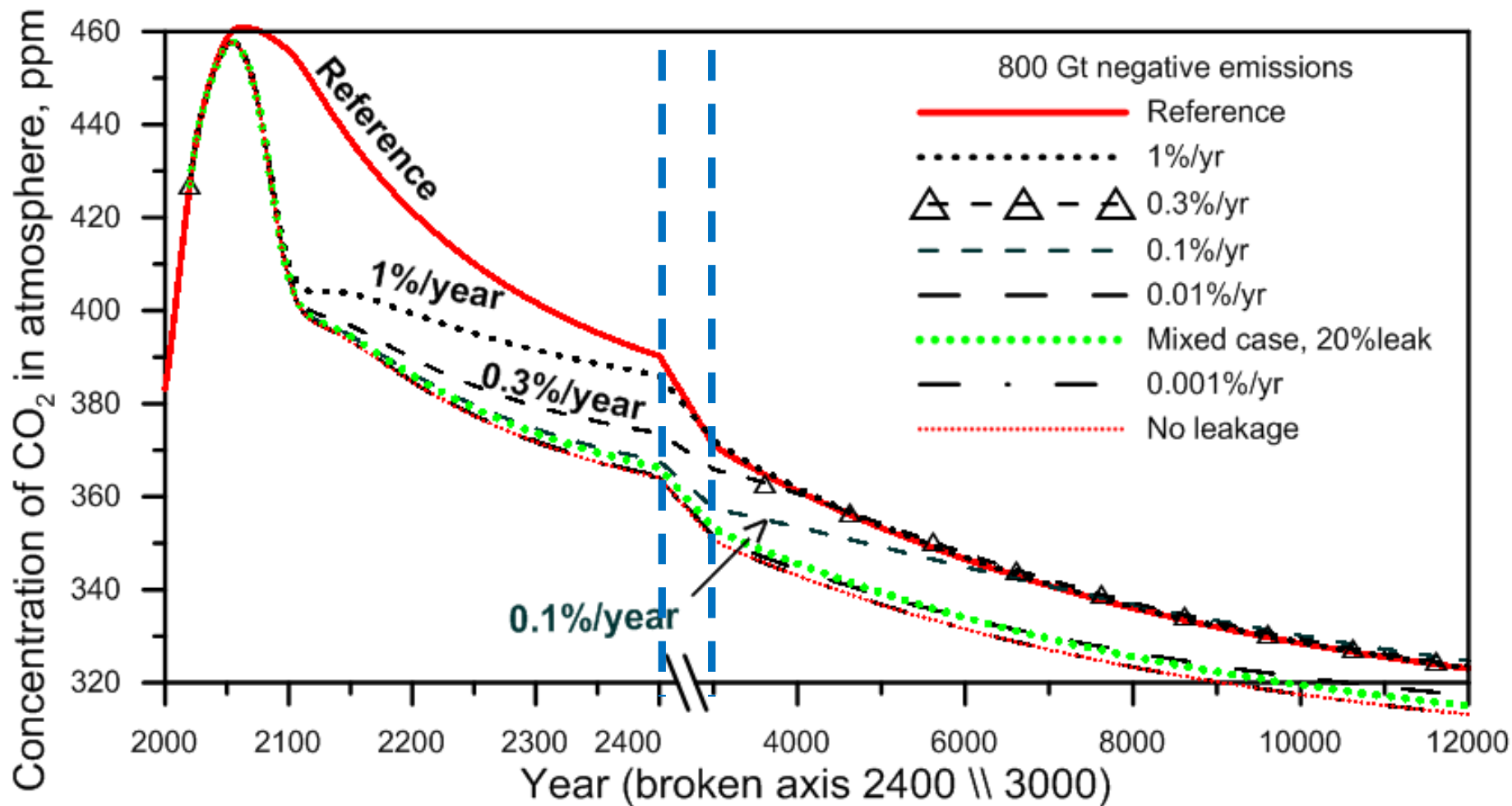


Hinder:

- 1) Tät bergart (tak), "caprock"
- 2) fastnar i porer
- 3) löser sig i vatten
- 4) reagerar med mineraler

Hur länge behöver koldioxiden lagras?

Olika stora läckage med 800 Gt minusutsläpp,
jämfört med referensfall utan minusutsläpp



Geologisk lagring: långsamt läckage ger ingen skillnad jämfört med inget läckage
Osäker lagring (skog, biokoks): meningsfull även om det läcker mycket (men ingen skillnad om 1000 år)

Läckage hantering av risk

- Noggrann förundersökning
- Övervakning
- Avsluta injektion
- Täta läcka, om möjligt
- “Depressurize”, alltså flytta CO₂ till annat ställe (inte särskilt dyrt)

Sista utväg: Fånga in CO₂ igen med negativa utsläpp (dyrare)

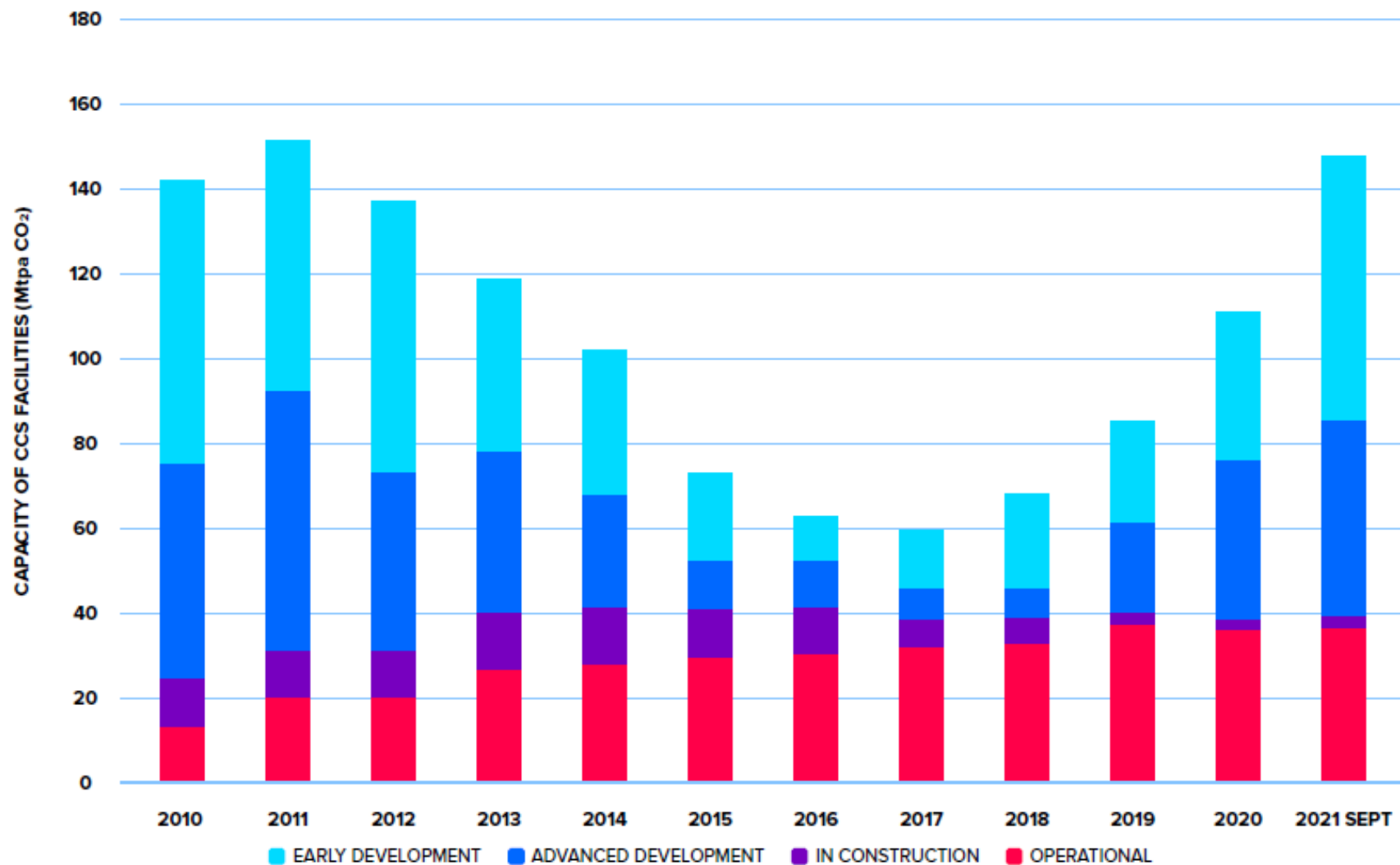
Men en mycket stor del av koldioxiden binds och kan inte läcka ut.



18 stora projekt, totalt 35 Mton CO₂/år
0,1% av globala utsläppen

15 projekt väntar på investeringsbeslut 2022
Kan ge ytterligare 35 Mton/år.

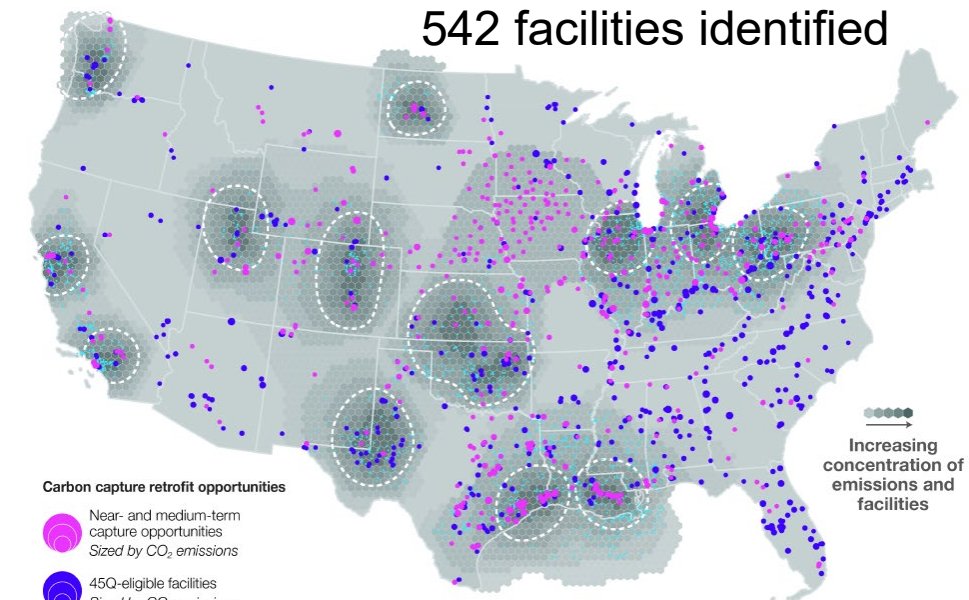
Global Status of CCS 2021 (Global CCS Institute)



Facilities that have not announced their capacity are not included in this chart

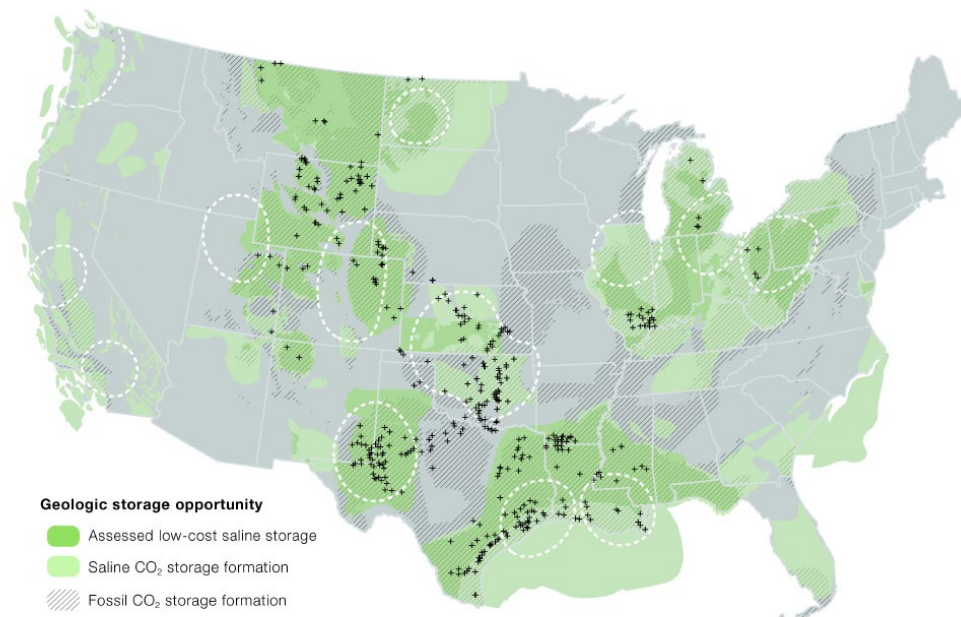


542 facilities identified



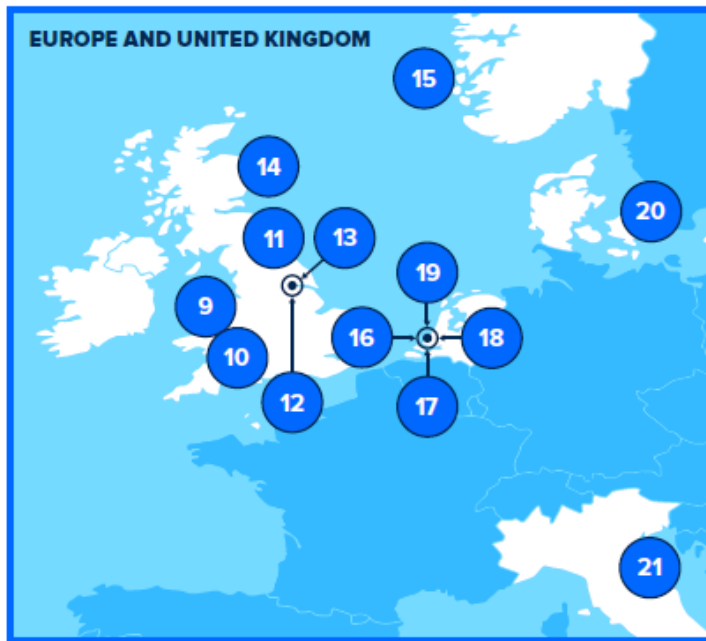
Carbon capture retrofit opportunities

- Near- and medium-term capture opportunities
Sized by CO₂ emissions
- 45Q-eligible facilities
Sized by CO₂ emissions
- Other industrial facilities



Geologic storage opportunity

- Assessed low-cost saline storage
- Saline CO₂ storage formation
- Fossil CO₂ storage formation
- Existing petroleum production site



CCS NETWORKS

		CAPACITY (Mtpa)	SECTOR													TRANSPORT			STORAGE				
			COAL FIRED POWER	NATURAL GAS POWER	FERTILISER PRODUCTION	HYDROGEN PRODUCTION	IRON AND STEEL PRODUCTION	ALUMINIUM PRODUCTION	CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PRODUCTION	CEMENT PRODUCTION	OIL REFINING	ETHANOL PRODUCTION	WASTE INCINERATION	BIOMASS POWER	DIRECT AIR CAPTURE	PIPELINE	SHIP	ROAD	DIRECT INJECTION	DEEP SALINE FORMATIONS	ENHANCED OIL RECOVERY	DEPLETED OIL AND GAS RESERVOIRS	VARIOUS OPTIONS CONSIDERED
9	HyNet North West	4.5 - 10.0																					
10	South Wales Cluster	9.0																					
11	Net Zero Teesside	0.8 - 6.0																					
12	Humber Zero	8.0																					
13	Zero Carbon Humber	Up to 18.3																					
14	Acom	5.0 - 10.0																					
15	Langskip	1.5 - 5.0																					
16	Antwerp@C	9.0																					
17	Porthos	2.0 - 5.0																					
18	Athos	1.0 - 6.0																					
19	Greensand	3.5																					
20	C4 Copenhagen	3.0																					
21	Ravenna Hub	Up to 4.0																					

SUM: up to 97 Mt/y

CO₂ pris Europa (ETS), €/ton



source: tradingeconomics.com

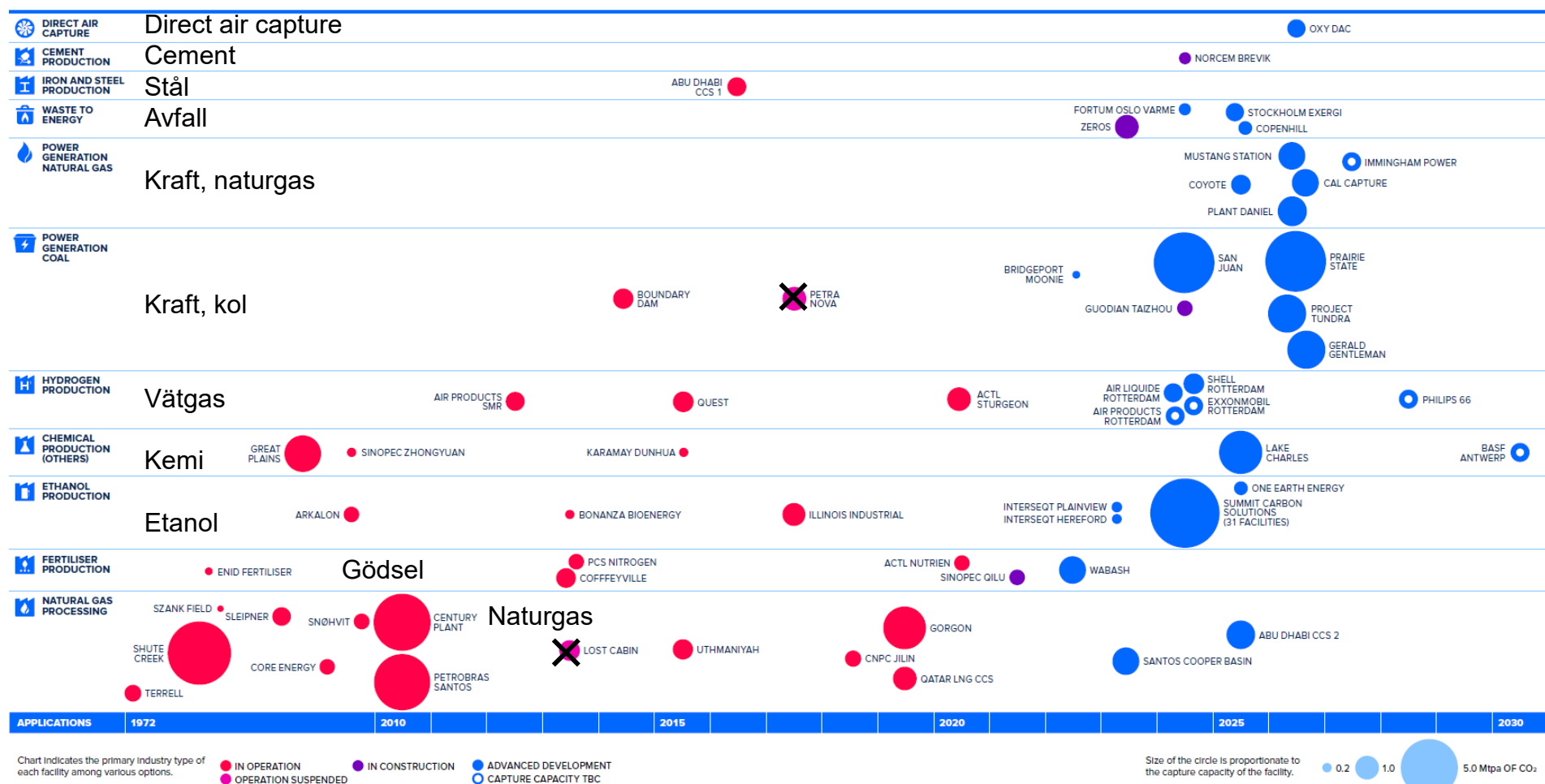


FIGURE 9 CCS PROJECTS BY SECTOR AND SCALE (BY CO₂ CAPTURE CAPACITY) OVER TIME



Transport

Pipelines för CO₂ i USA

- >300 mil
- transporterar 114 Mt/år CO₂
- statistik
 - Läckage lika vanligt som med pipelines för naturgas
 - Konsekvenser av läckage mycket mindre allvarliga

läckande naturgas



läckande koldioxid

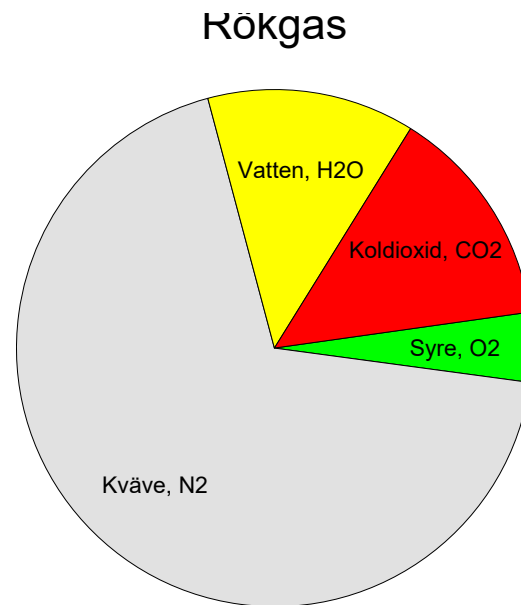
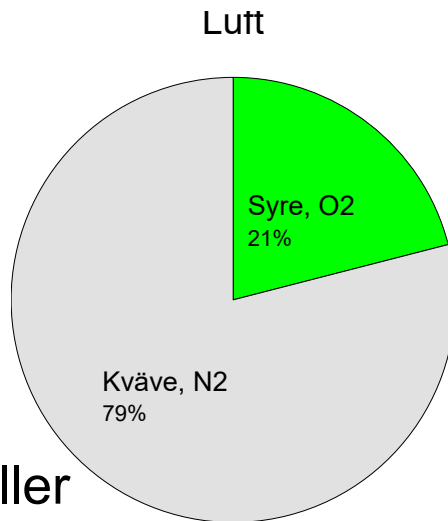


Förbränning

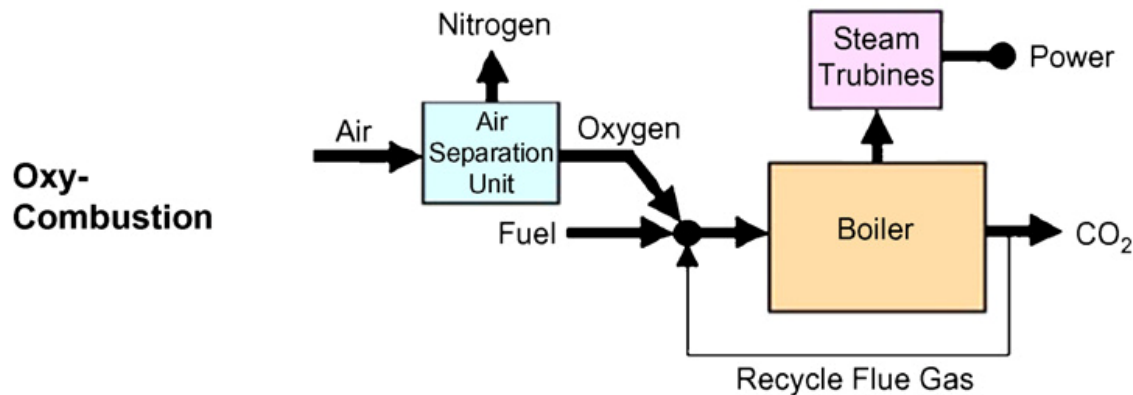
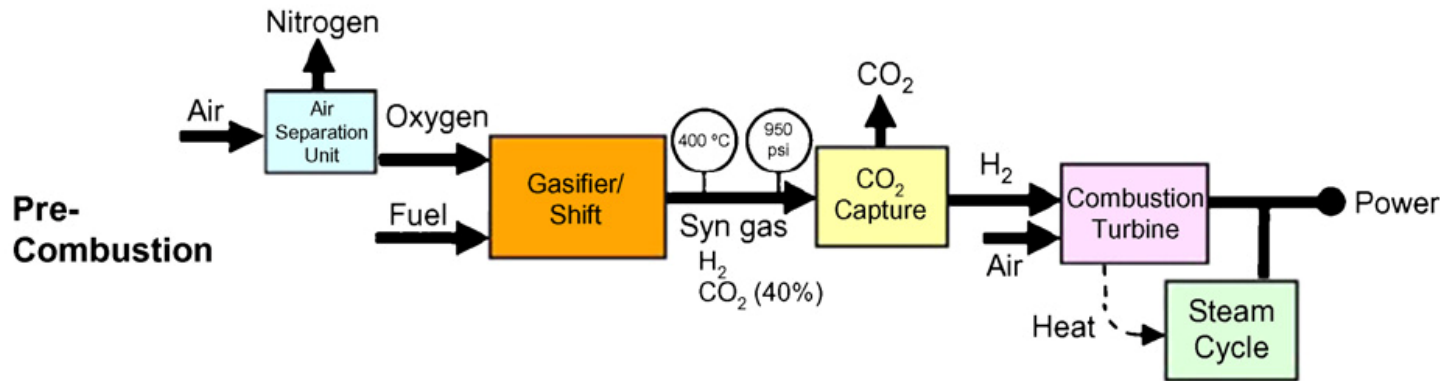
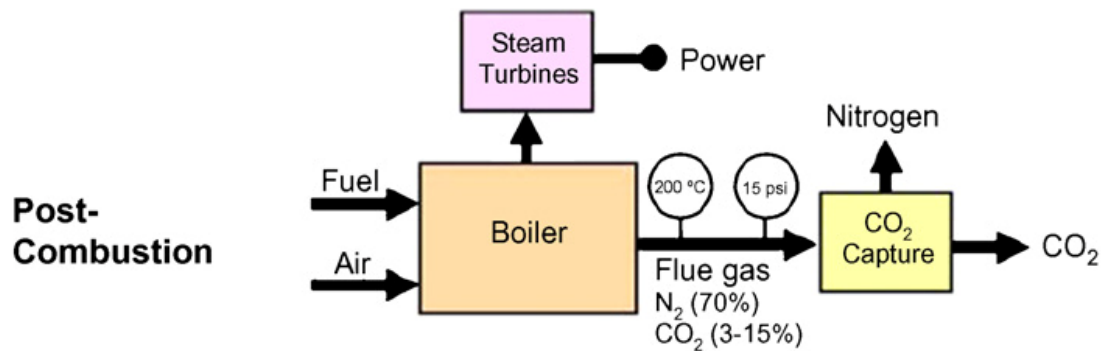
Luft innehåller
syre (O_2)
kväve (N_2)

Bränsle som innehåller
kol (C)
väte (H)

Vid förbränning reagerar C och H med O_2 till
 CO_2 (koldioxid) → **en växthusgas**
 H_2O (vatten/vattenånga)



***För lagring behövs komprimerad koldioxid, >95% renhet.
Därför behövs "infångning" av koldioxid.***



Ny teknik:

Kemcyklisk förbränning: metalloxidpartiklar överför syre från förbränningsluft till bränsle =>> rökgas av CO_2 / H_2O -gas (ingen gasseparation behövs)

Kraftverk med post-, oxy- eller precombustion

Minskad verkningsgrad: 10% -enheter

Relativ minskning i verkningsgrad:

Kol: 20-25%

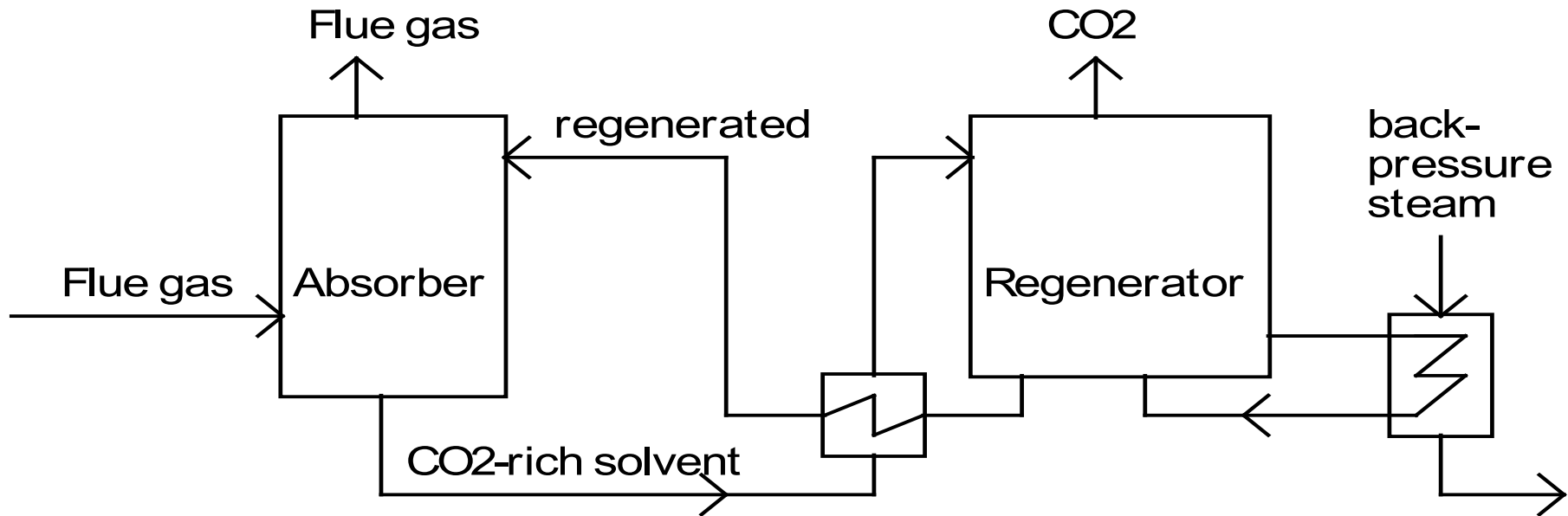
Naturgas: 15%

Kostnader (inklusive transport och lagring):

runt 1000 kr/ton CO₂

Postcombustion (dominerar helt)

Absorption av CO₂ med monoetanolamin (vanligast)



Unit 3, med CO₂-infångning

CO₂
stripper

Absorptions-
torn

kompression

Värmeväxlare
Regenerering
aminer

Boundary Dam, Canada. 115 MW_e

Kolkraftverk med CO₂-infångning:
1 Mton CO₂/år

I drift sedan oktober 2014.

Ägaren (Sask Power):

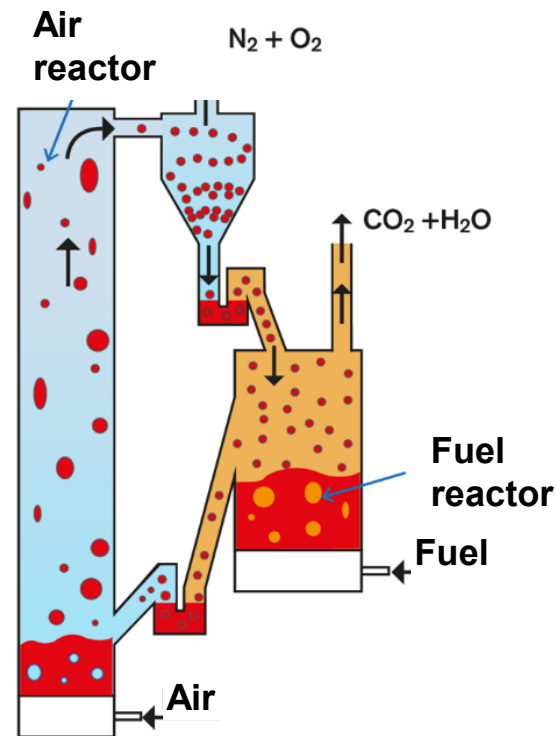
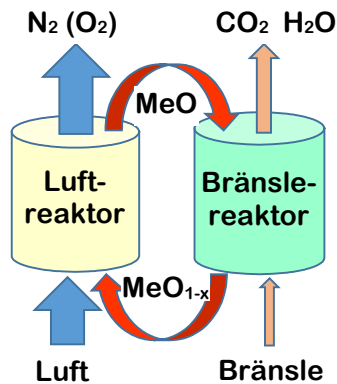
Nästa gång 1/3 av kostnaden:

45 \$/ton

**Petra Nova, Texas, kolkraftverk, >1 Mton/år
i drift januari 2017 – juni 2020**



Vad är kemcyklisk förbränning (CLC) ?



Två fluidiserade bäddar med ett bäddmaterial som cirkulerar.

Bäddmaterialet består av partiklar (sandstorlek) som transporterar syre från luft till bränsle:

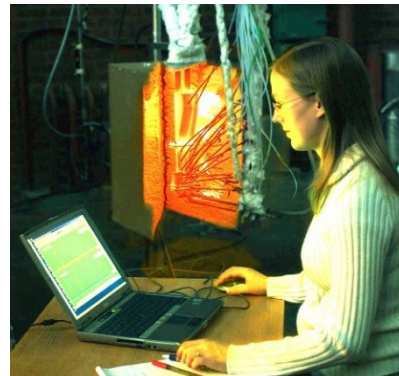
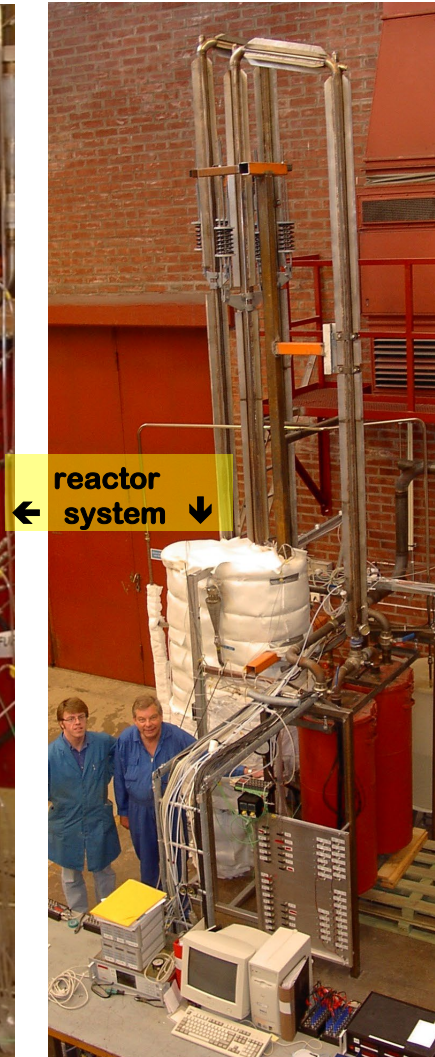
Syrebäraren!

Men fungerar det i praktiken?

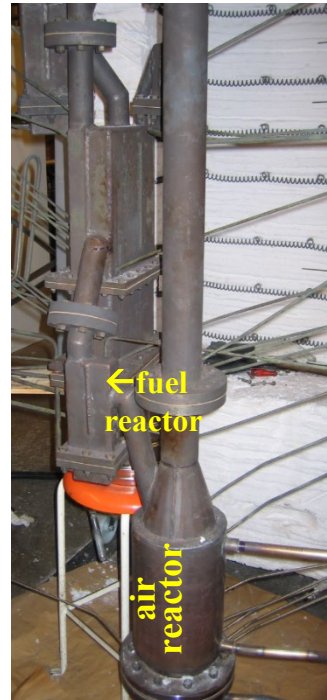
JÄ, DET FUNGERAR !



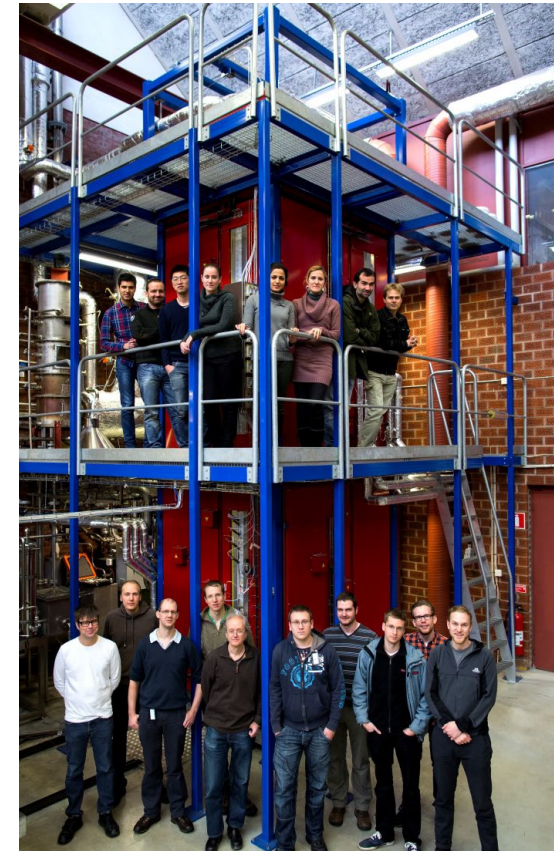
10 kW gas, 2003



300 W gas, 2004



10 kW fastbränsle, 2006



100 kW fastbränsle, 2011

Chalmers:
Total drifttid
med bränsle
4000 timmar

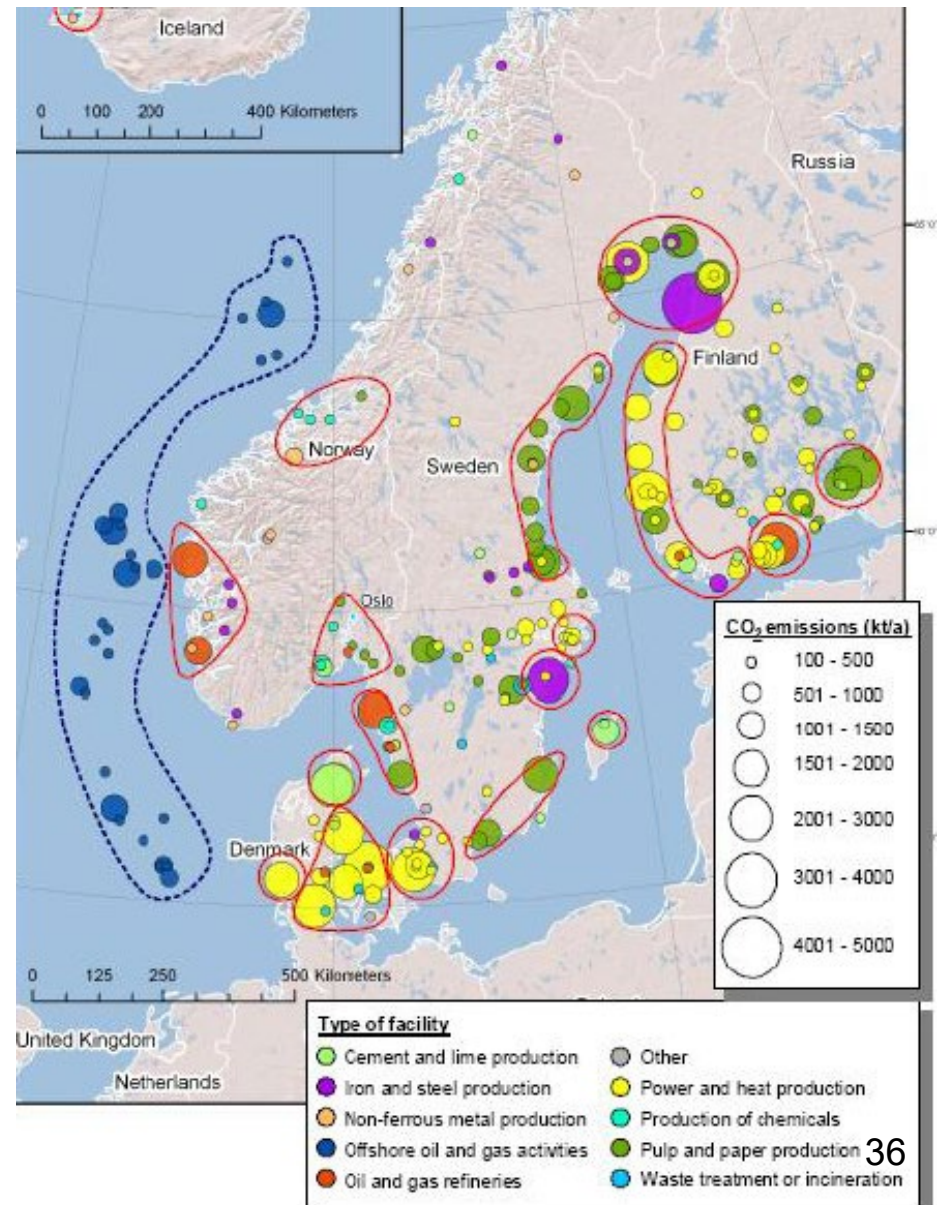
Status kemcyklisk förbränning:

- ✿ Demonstrerad i liten skala: 11 000 timmar i 49 anläggningar
- ✿ Metalloxider baserade på nickel, järn, koppar, mangan och ett antal kombinerade oxider (FeTiO_3 , CaMnO_3 osv) har använts, liksom kommersiella malmer (järn-, mangan- och ilmenitmalm).
- ✿ Kostnad med fasta bränslen uppskattad till 20 €/ton CO_2
- ✿ Verkningsgradsförlust med fasta bränslen, c:a 4%
- ✿ Billiga malmer lämpliga för fasta bränslen

Koldioxidinfångning och lagring i Sverige ??

Stora utsläppskällor:

- biobränsle
- järn/stål
- raffinaderier
- cement/kalk



- LANGSKIP PROJECT
- 3RD PARTY VOLUMES OF CO₂
- ALTERNATIVE STORAGE PROJECTS
- NORTHERN LIGHTS STORAGE SITE

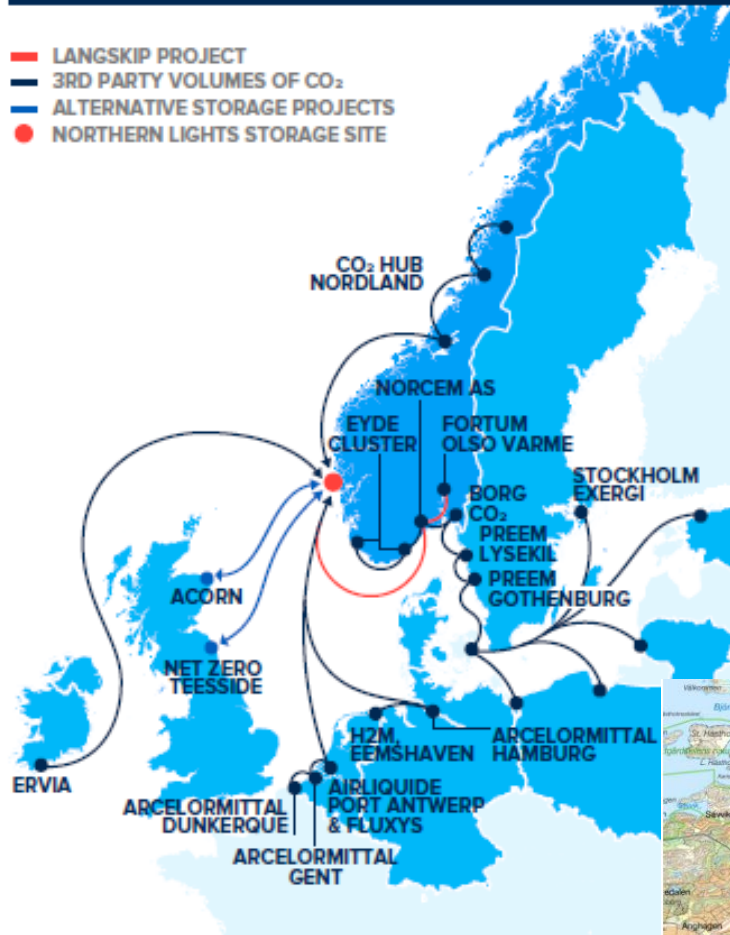


FIGURE 8 NORTHERN LIGHTS PROJECT – POTENTIAL SOURCES OF CO₂

CinfraCap, upp till 1.86 Mt/år

Göteborg Energi, Preem, St1, Renova och Göteborgs Hamn AB.



Sveriges inhemska fossila koldioxidutsläpp är:

43 Mton/år

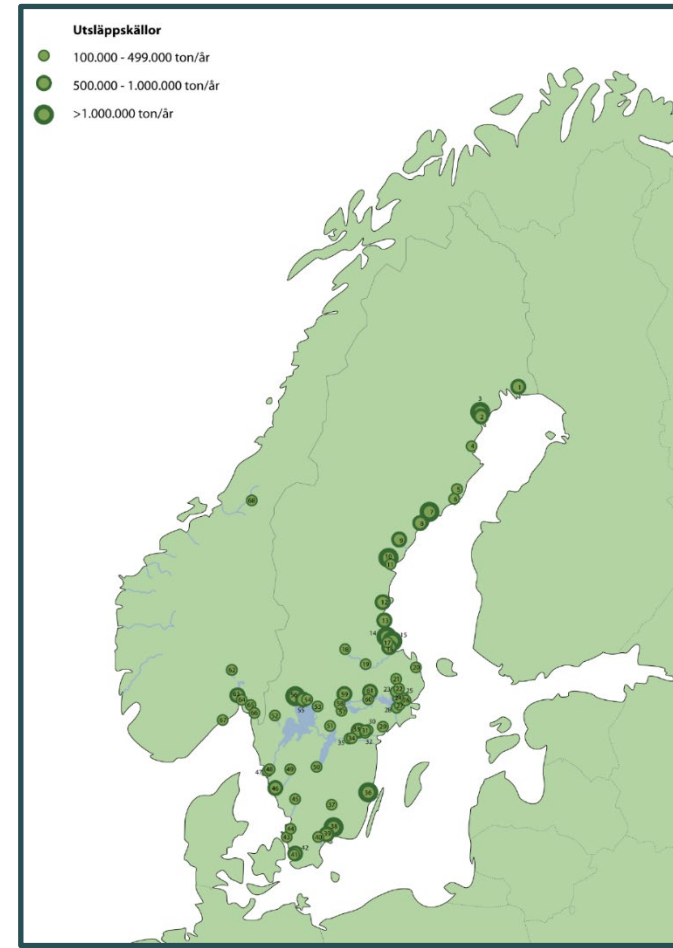
**Med stopp för fossila utsläpp plus negativa utsläpp kan
vi minska Sveriges utsläpp med närmare**

175%

**Möjligheter att lagra
koldioxid i Norden**

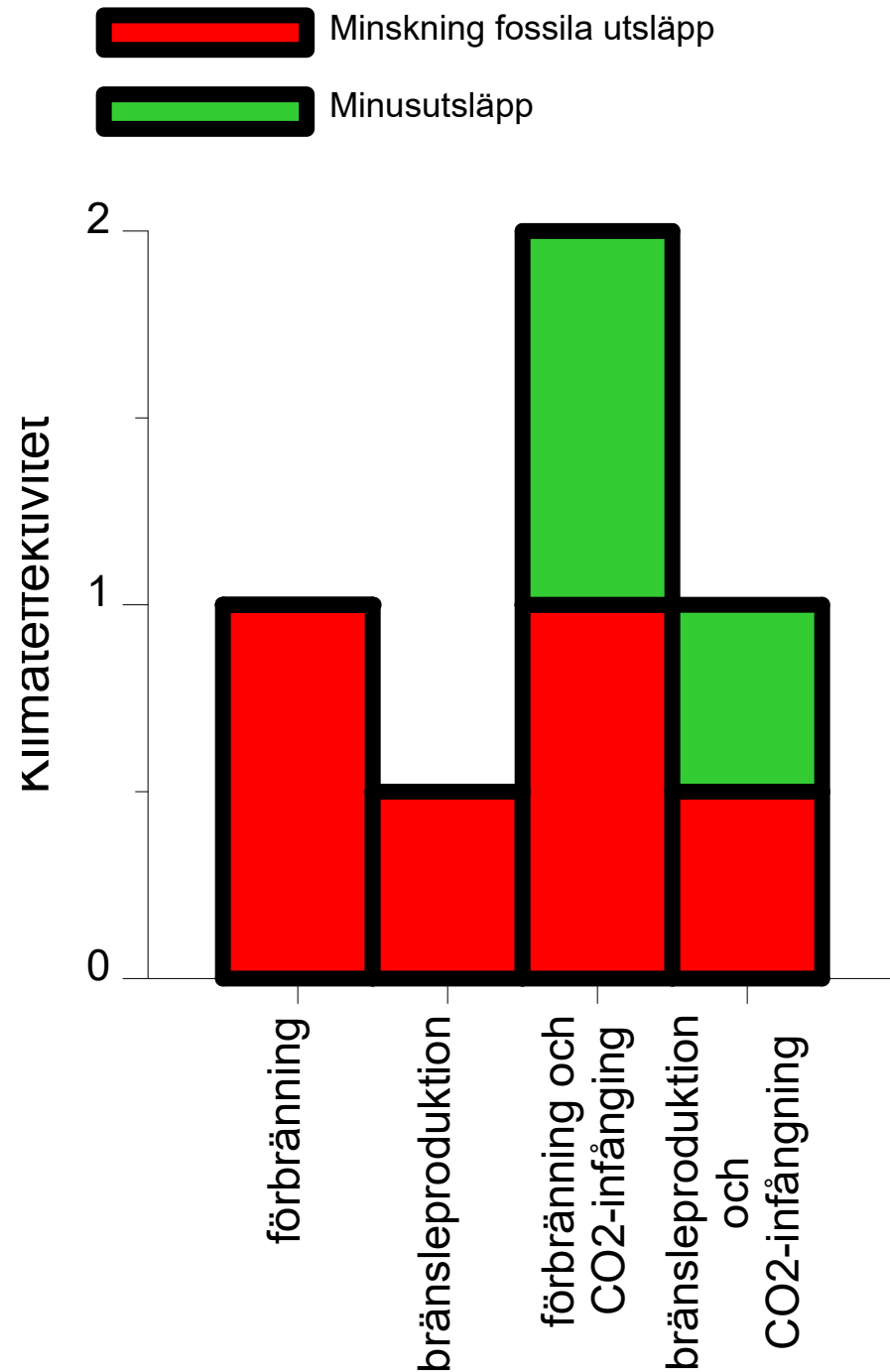


**Svenska koldioxidutsläpp
från biomassa (större
punktkällor): 31 Mton/år**



Klimateffektivitet.

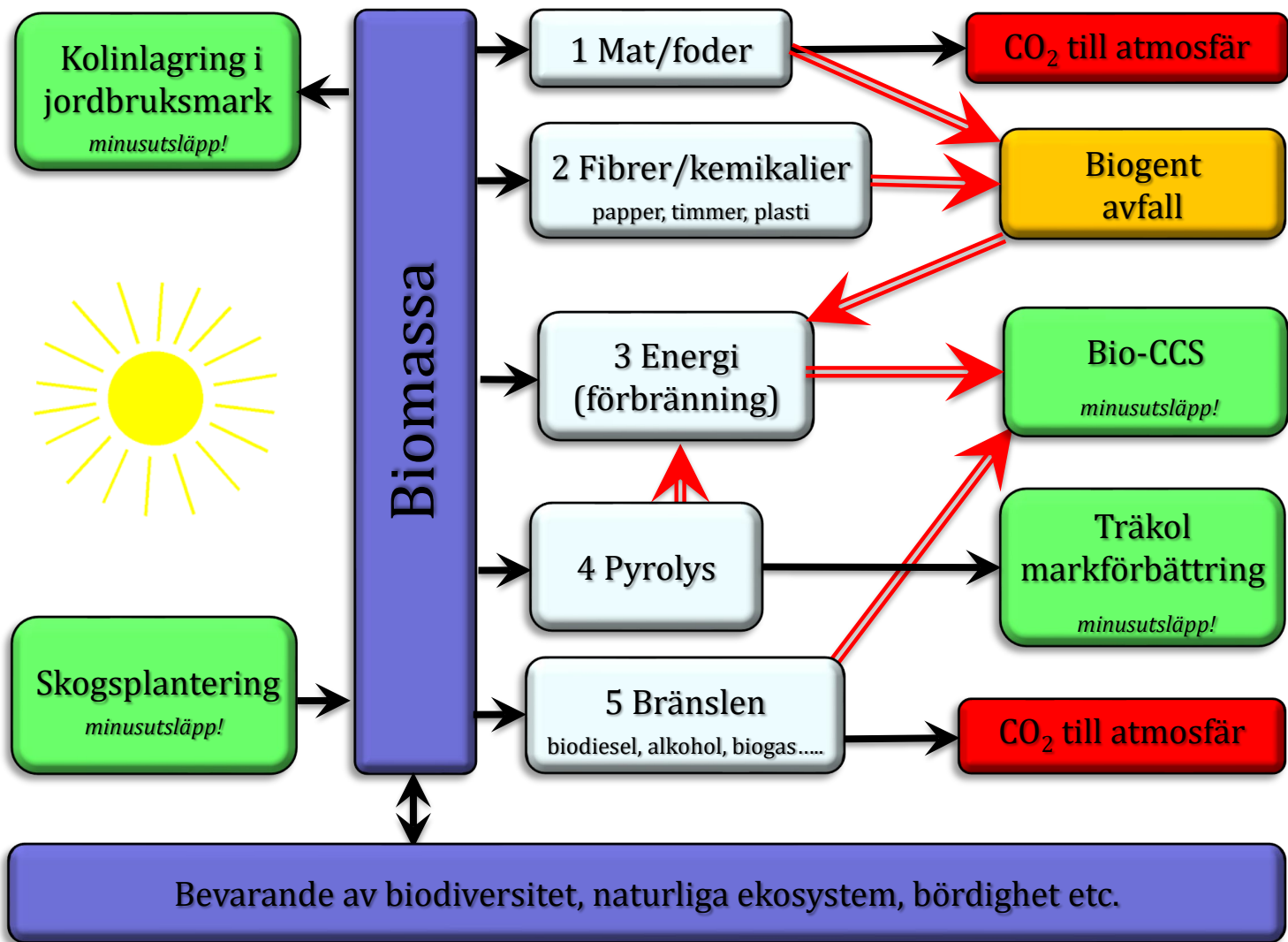
Biomassa är en begränsad resurs. Bör användas så effektivt som möjligt ur klimatsynpunkt.



Bio-CCS/BECCS
nyttiggörande
av "avfall" från
vår användning
av biomassa

Totalt uttag av
biomassa är 22
Gt/år
(fossila utsläpp är
35 Gt/år)

Av dessa 20 Gt
går 1/3 till
atmosfären som
utandning
(människor +
husdjur)
Idealt kan resten
användas för
negativa utsläpp.



Att klara klimatet med minusutsläpp kostar:

antag **800 Gton**

>> 100 ton/människa á c:a 1000 kr

= 100.000 kr/människa

Vem betalar ?

Enkel lösning

Dom som släpper ut betalar minusutsläppen.

Eftersom CO₂-budgeten snart är slut är det rimligt:

De som släpper ut betalar städkostnaden
alltså att fånga in koldioxiden från atmosfären.

Kostnad för detta alltså 1 kr/kg (1000 kr/ton)

Är inte 1 kr/kg orimligt dyrt ?

Nej, koldioxidintensiteten i globala ekonomin är bara 0,03 kg/kr

Alltså: 1 kr/kg motsvarar 3% av globala ekonomin

Men den *osynliga handen* skulle snabbt hitta massor med sätt att undvika avgiften. För det är normalt mycket billigare att inte släppa ut än att fånga in från atmosfären.



DN Debatt. "Så kan vi halvera Sveriges koldioxidutsläpp nu"

FÖRSLAG

Inför betalansvar för koldioxidutsläpp

Med ett betalansvar på de utsläpp som inte är med i EUs handelssystemet

(c:a 23 Mton CO₂),

kan **Sveriges utsläpp halveras** till låg kostnad:

- **2,30 kr/L bensin**
- **0.5% av BNP***
- **2300 kr/svensk**

**motsvarar ett par månaders tillväxt
(ej "förlorad" BNP, däremot
konsumtionsutrymme)*



DN DEBATT 16/3. 2020

Anders Lyngfelt, professor i energiteknik, och biträdande lektor Mathias Fridahl: Dagens klimatmål förutsätter att våra barn och barnbarn ska betala priset. Stora minusutsläpp krävs för att klara koldioxidbudgeten. Lösningen är enkel: Ett betalningsansvar som innebär att de som släpper ut koldioxid betalar för att ta bort den från atmosfären.

Vanliga missuppfattningar om CCS / Bio-CCS

Bio-CCS behövs inte: koldioxidbudgeten snart slut, kommer att överskridas

Biomassa behövs för annat: går att kombinera (dock inte fordonsbränslen)

Tekniken oprövad i stor skala:

- finns i stor skala, inget märkvärdigt, första kraftverk med CO₂-infångning på 70-talet

Osäker: nej mycket säker

Bio-CCS kräver "två ytterligare Indien":

- nej, vi kan använda den biomassa vi redan tar ut för minusutsläpp, och det finns nog utrymme för att öka uttaget

Bio-CCS behövs inte nu/ej prioritet: vi behöver börja så snart som möjligt

Dyrt: nej högst rimliga kostnader, bara ett par % av BNP behövs globalt

INTERNATIONAL CONFERENCE ON

NEGATIVE CO₂ EMISSIONS

MAY 22-24, 2018

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
GOTHENBURG, SWEDEN



2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON

NEGATIVE CO₂ EMISSIONS

JUNE 14-17, 2022

TACK!