

Infångning och lagring av koldioxid (CCS)

Anders Lyngfelt

Innehåll

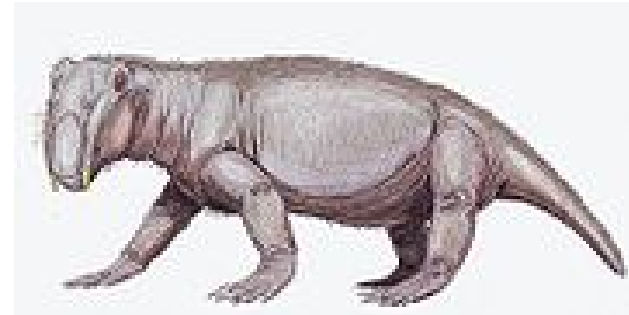
Lagring

Transport

Infångning

Kostnader ?

Bio-CCS (minusutsläpp)



Lystrosaurus

Koldioxidbudgeten

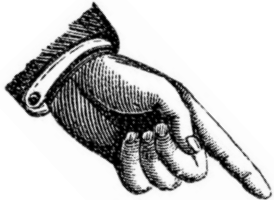
Vad innebär Parisavtalet? Hur mycket mer koldioxid kan vi släppa ut ??

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**

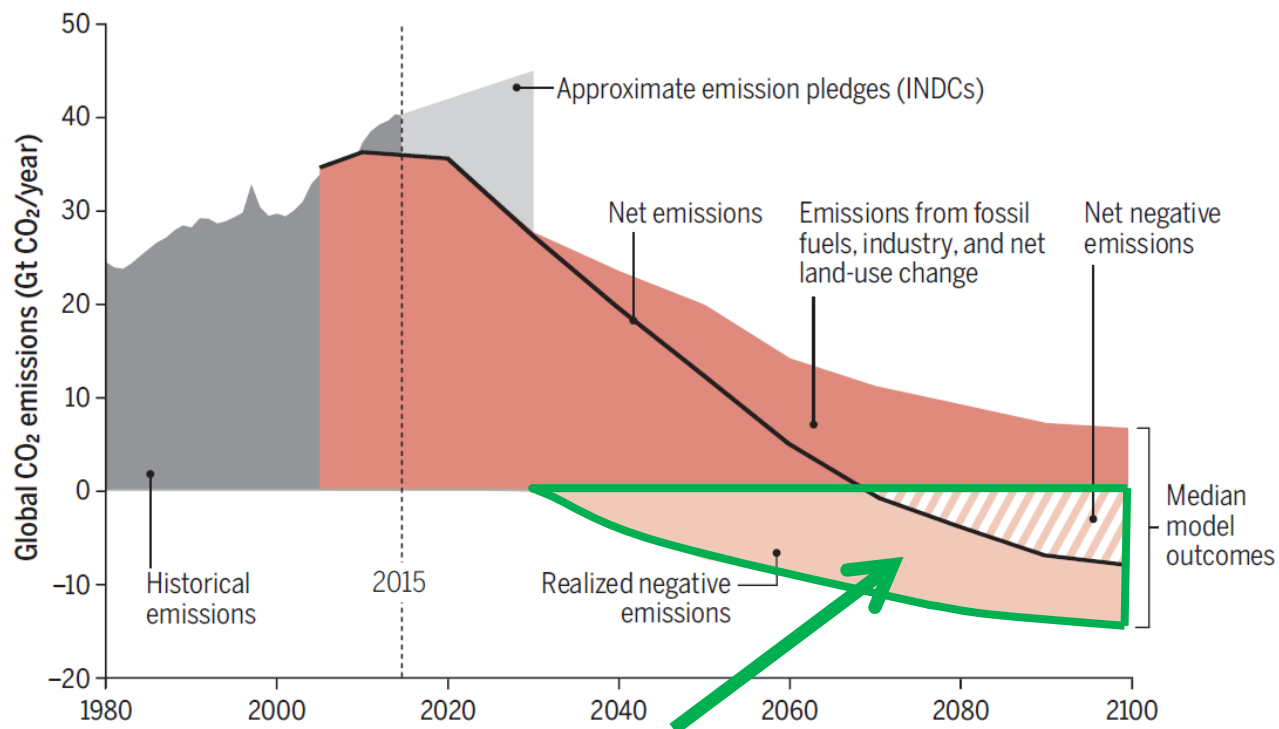


Minusutsläpp behövs för att nå klimatmålen

Ny Svensk klimatlag 2017:

Nollutsläpp senast 2045,
och därefter **minusutsläpp**

"Medelscenario" för 2-gradersmålet



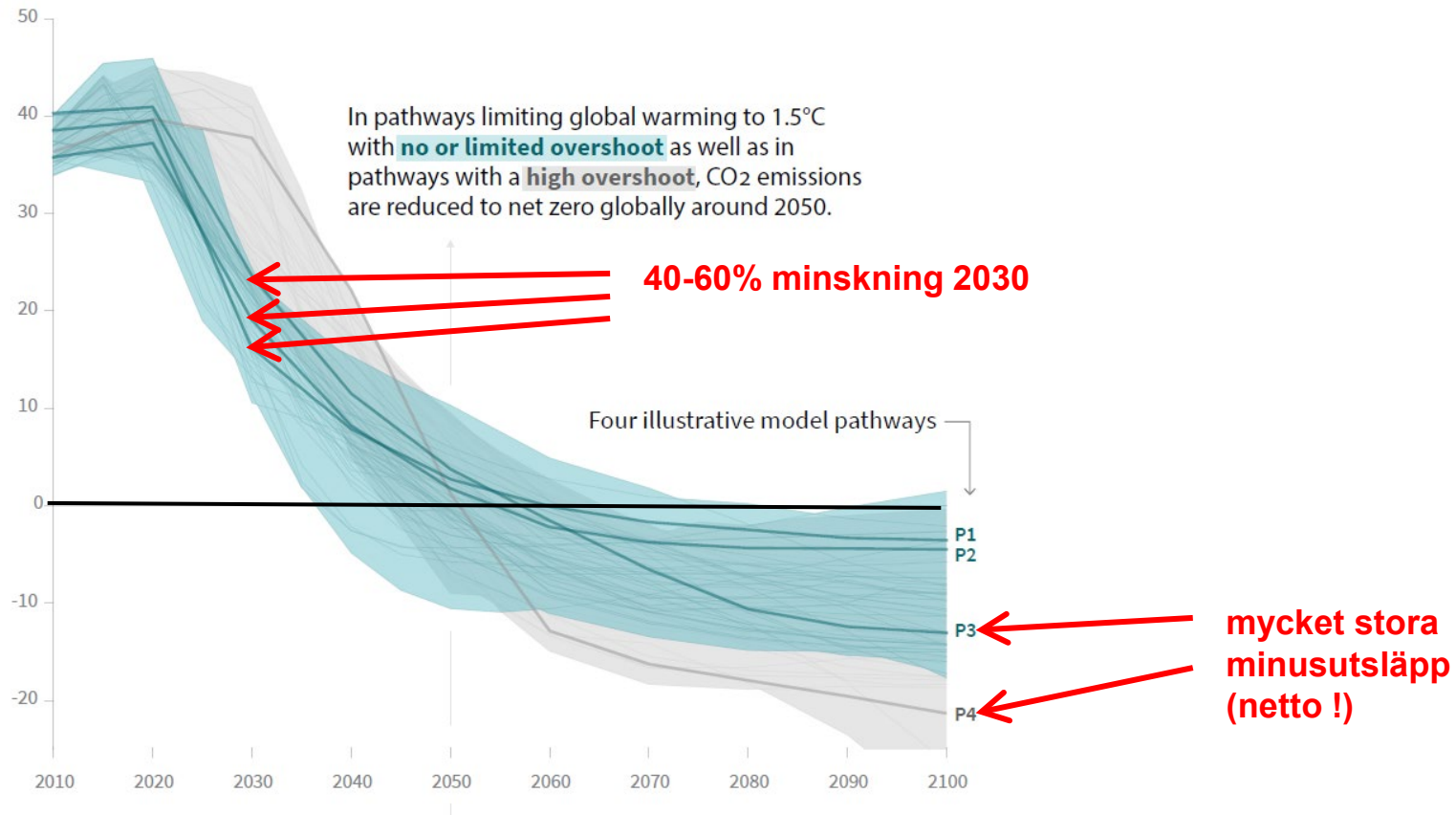
-700 Gt CO₂
nära 100 ton per människa

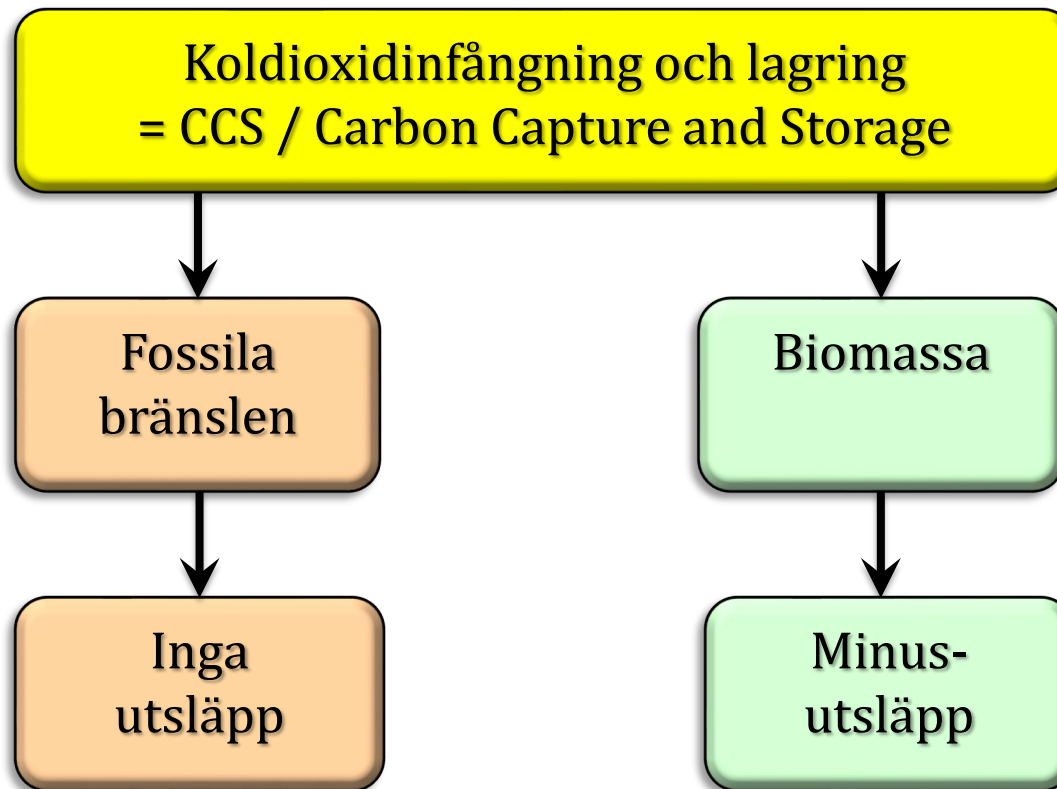
sciencemag.org **SCIENCE**

1,5-gradersmålet

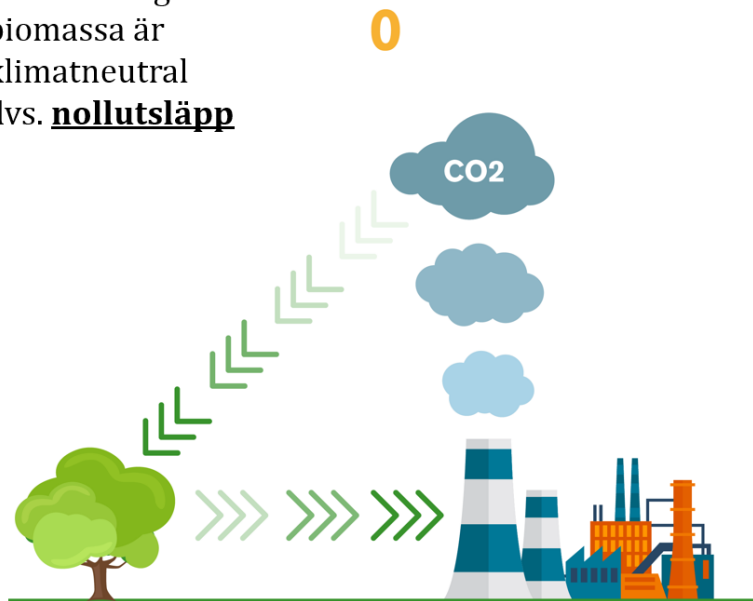
Global total net CO₂ emissions

Billion tonnes of CO₂/yr

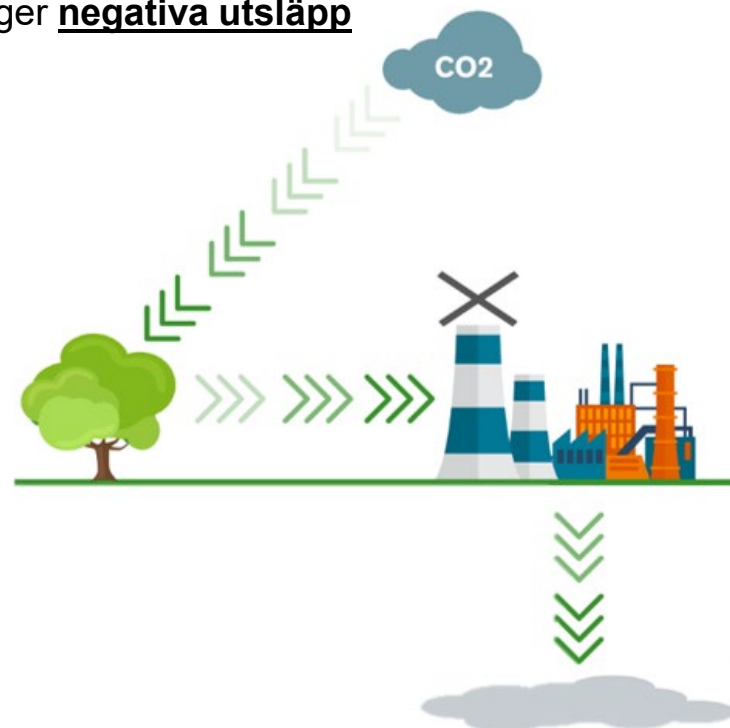




Förbränning av
biomassa är
klimatneutral
dvs. **nollutsläpp**



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



Koldioxidlagring

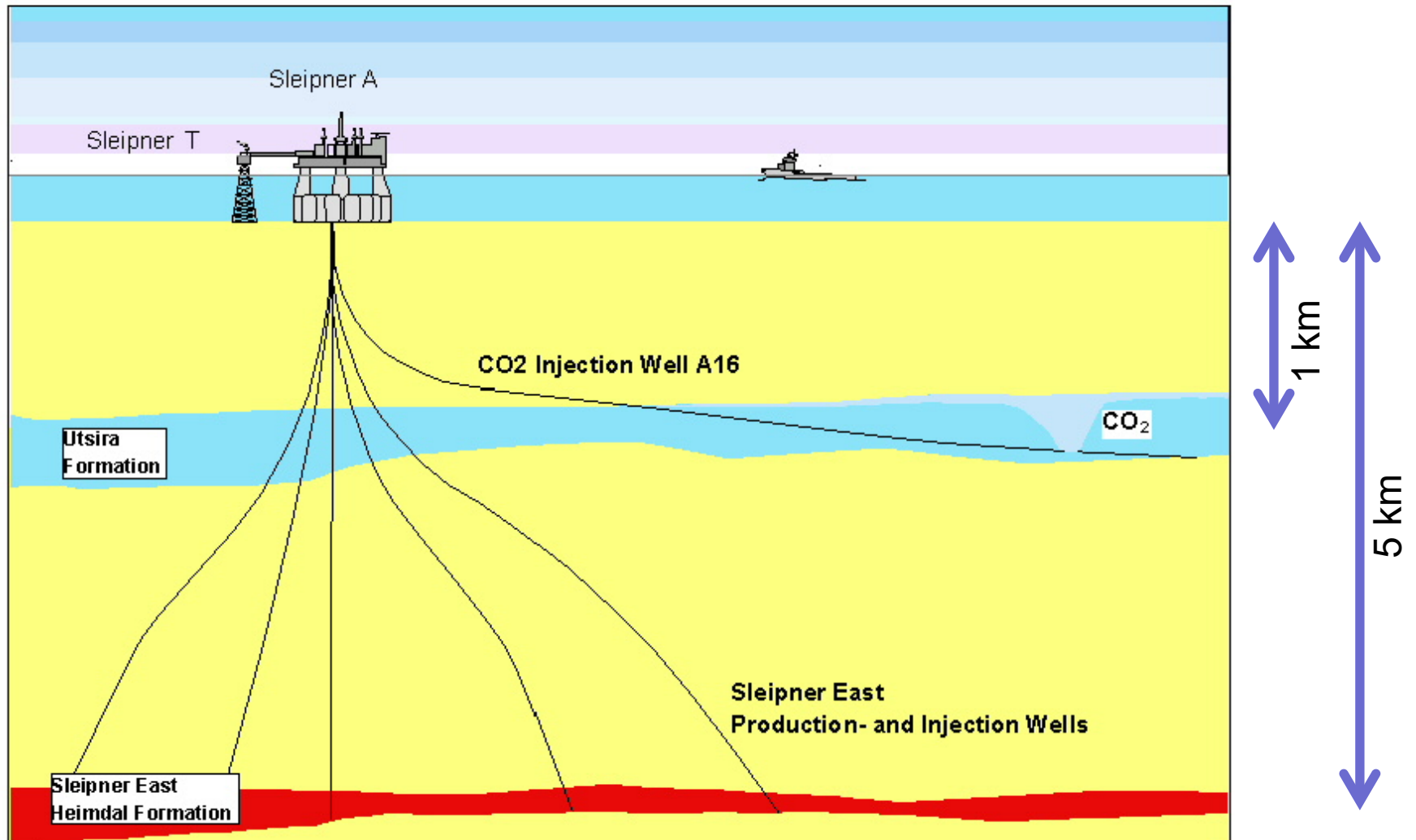
akviferer (vattenfylld porös sten bildad av packad sand)

naturgas- och oljefält

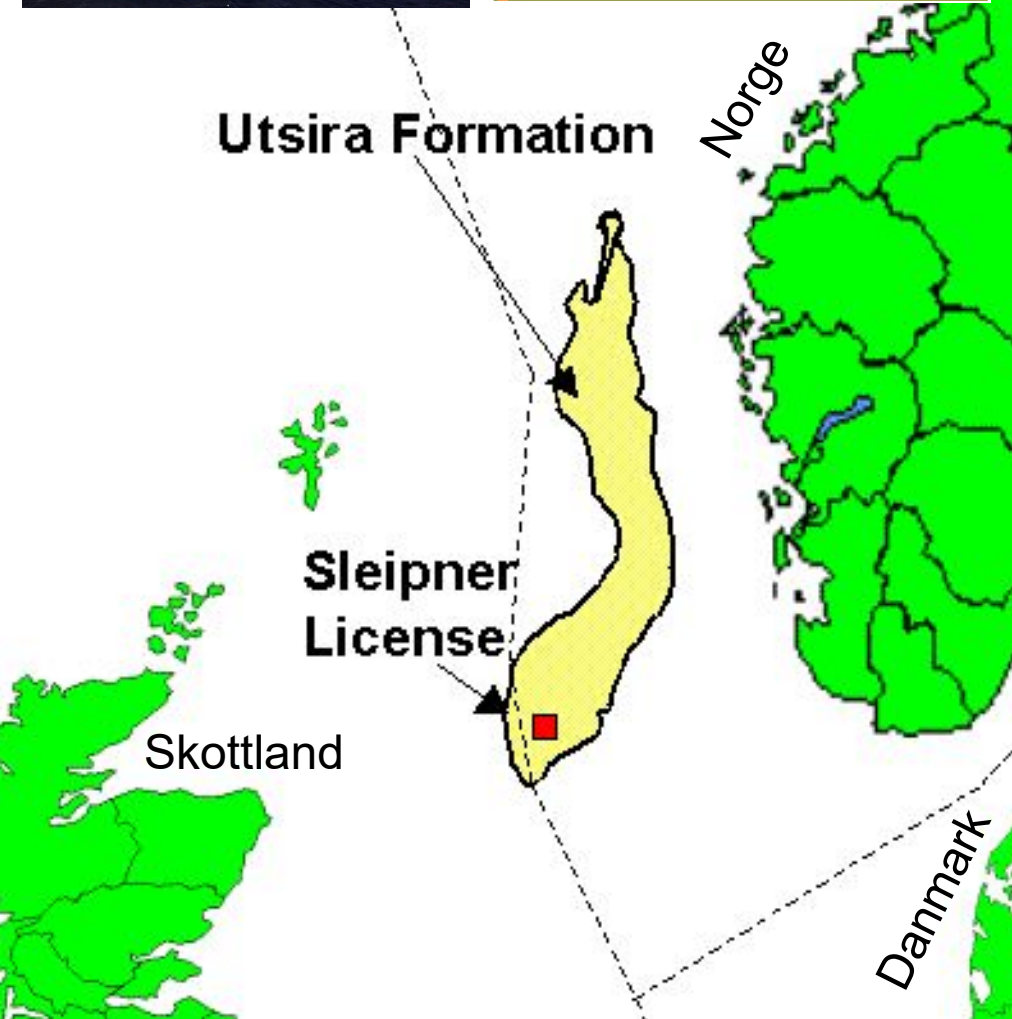
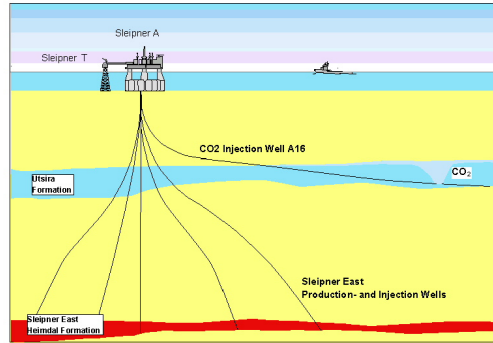
Sleipner gasplattform



SLEIPNER AQUIFER CO2 STORAGE



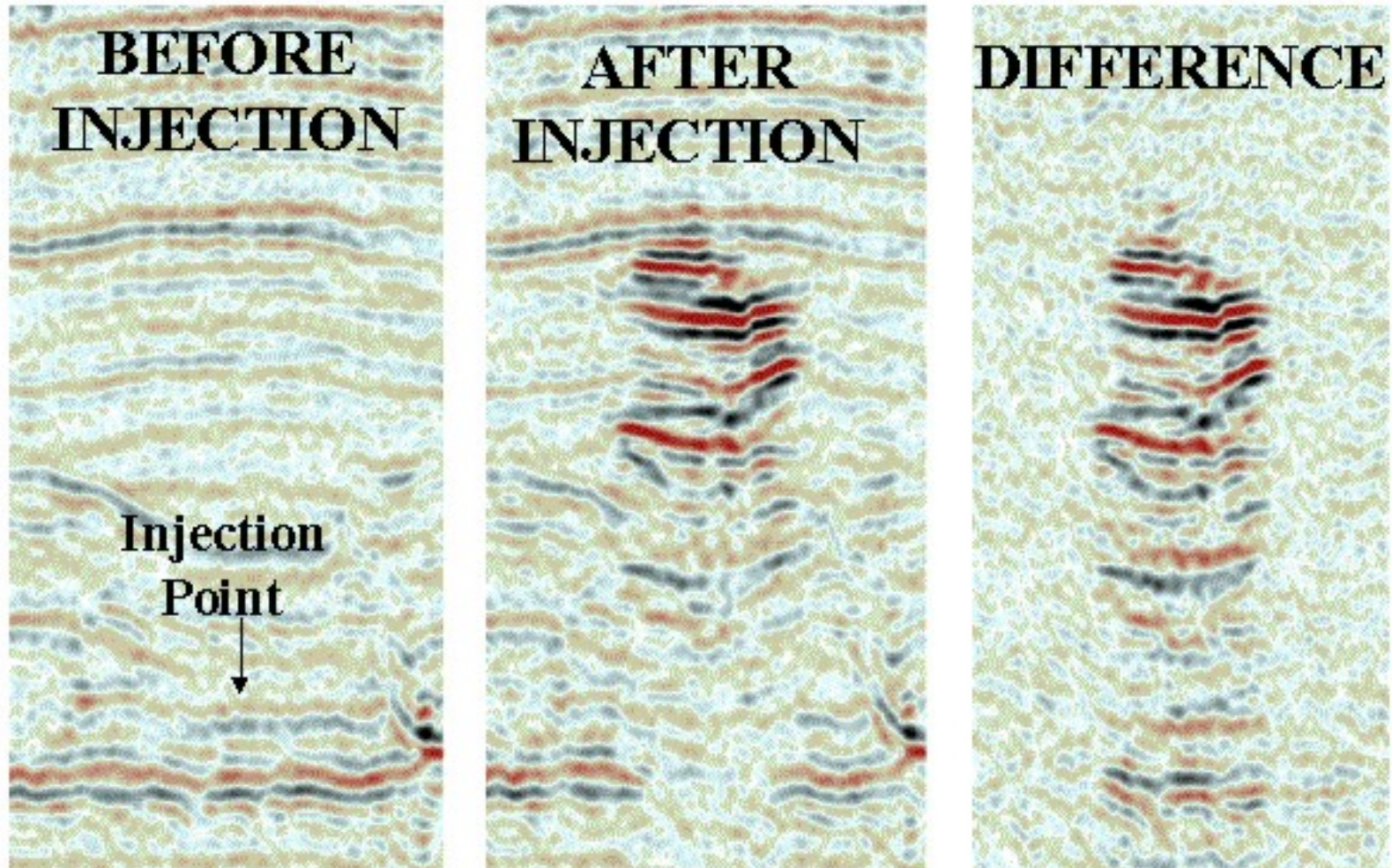
SLEIPNER AQUIFER CO2 STORAGE



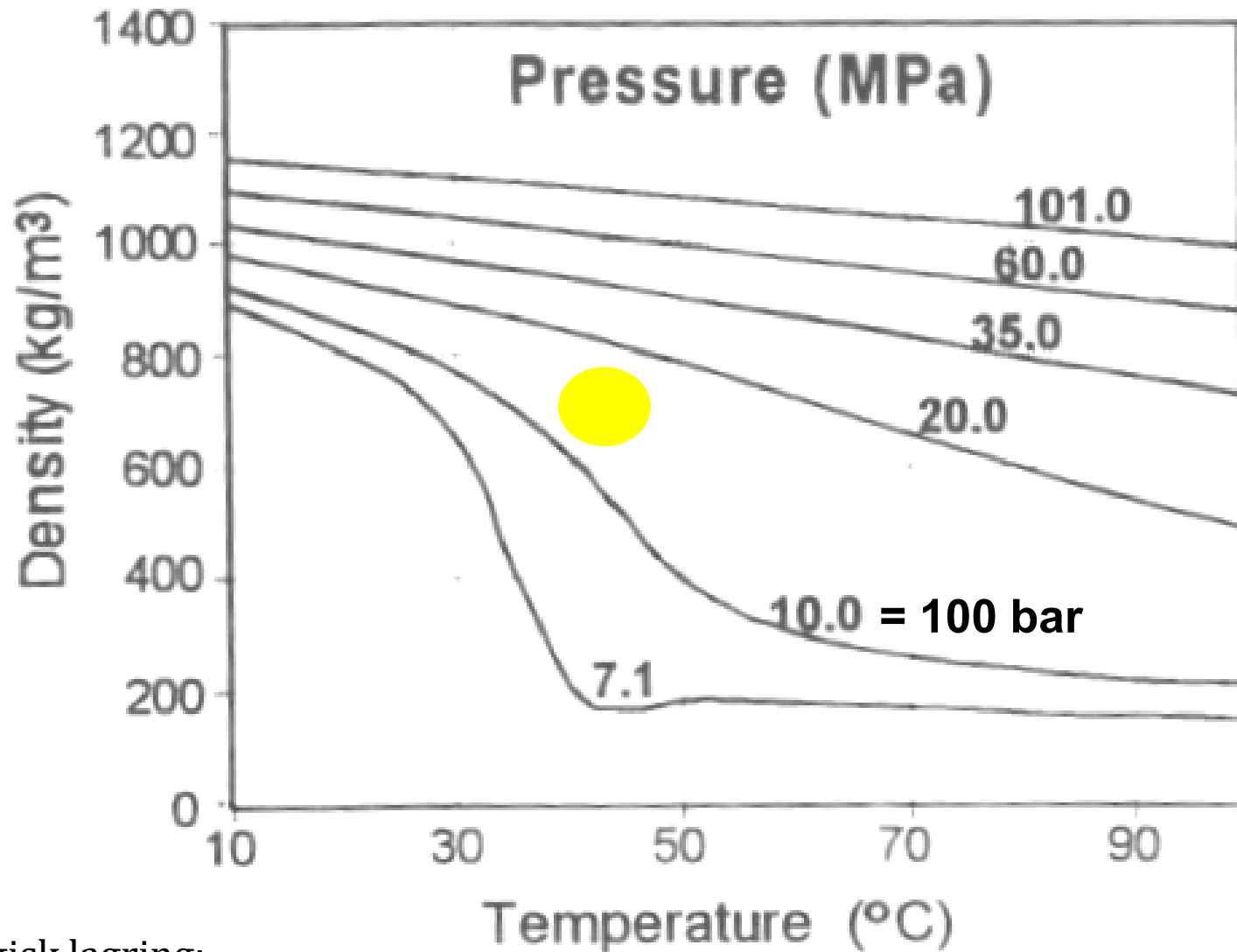
Lagring sedan 1996
1 miljon ton CO₂/år
(3% Norges utsläpp)

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

Seismisk undersökning av Utsira



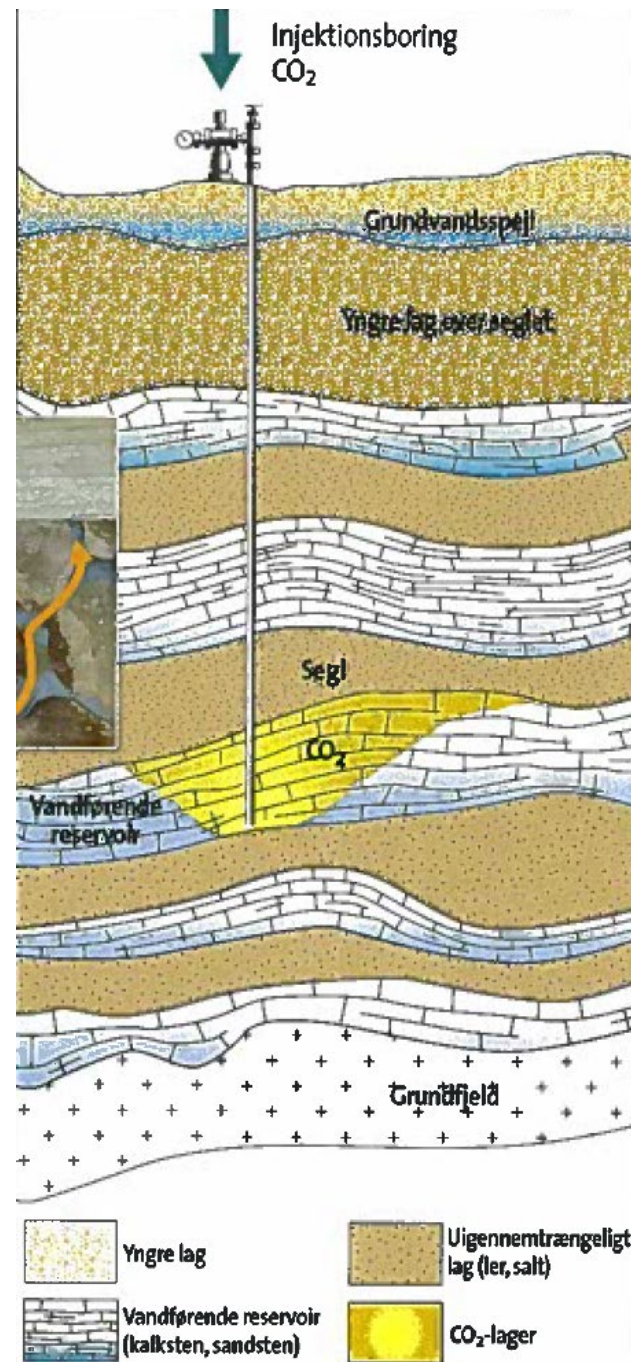
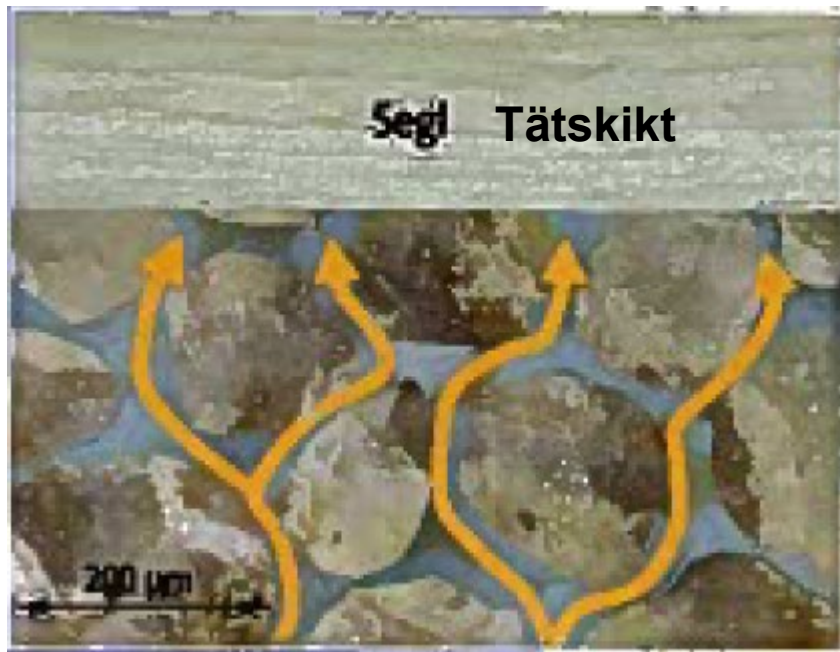
Koldioxid



Geologisk lagring:

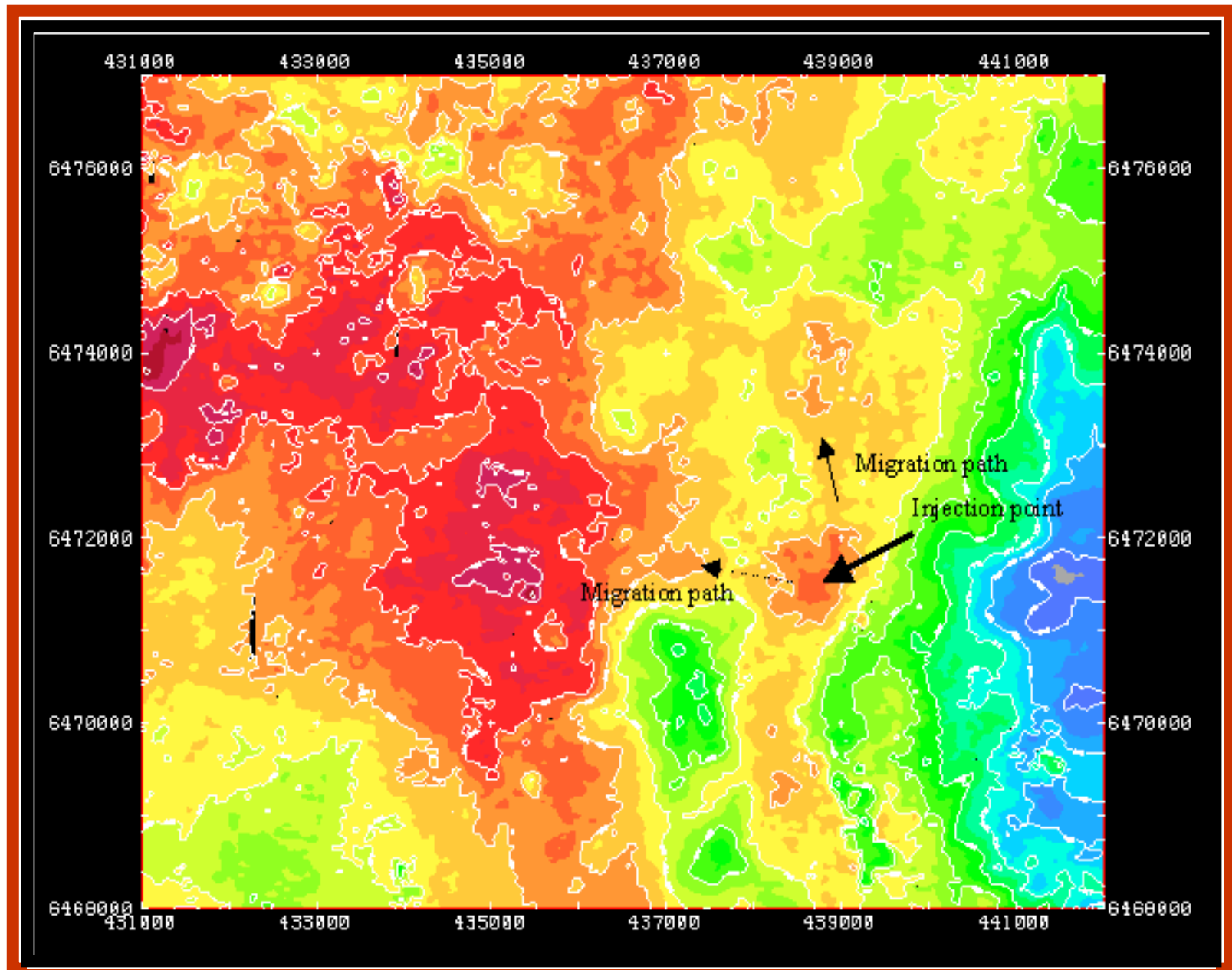
kritisk punkt 31°C, 74 bar

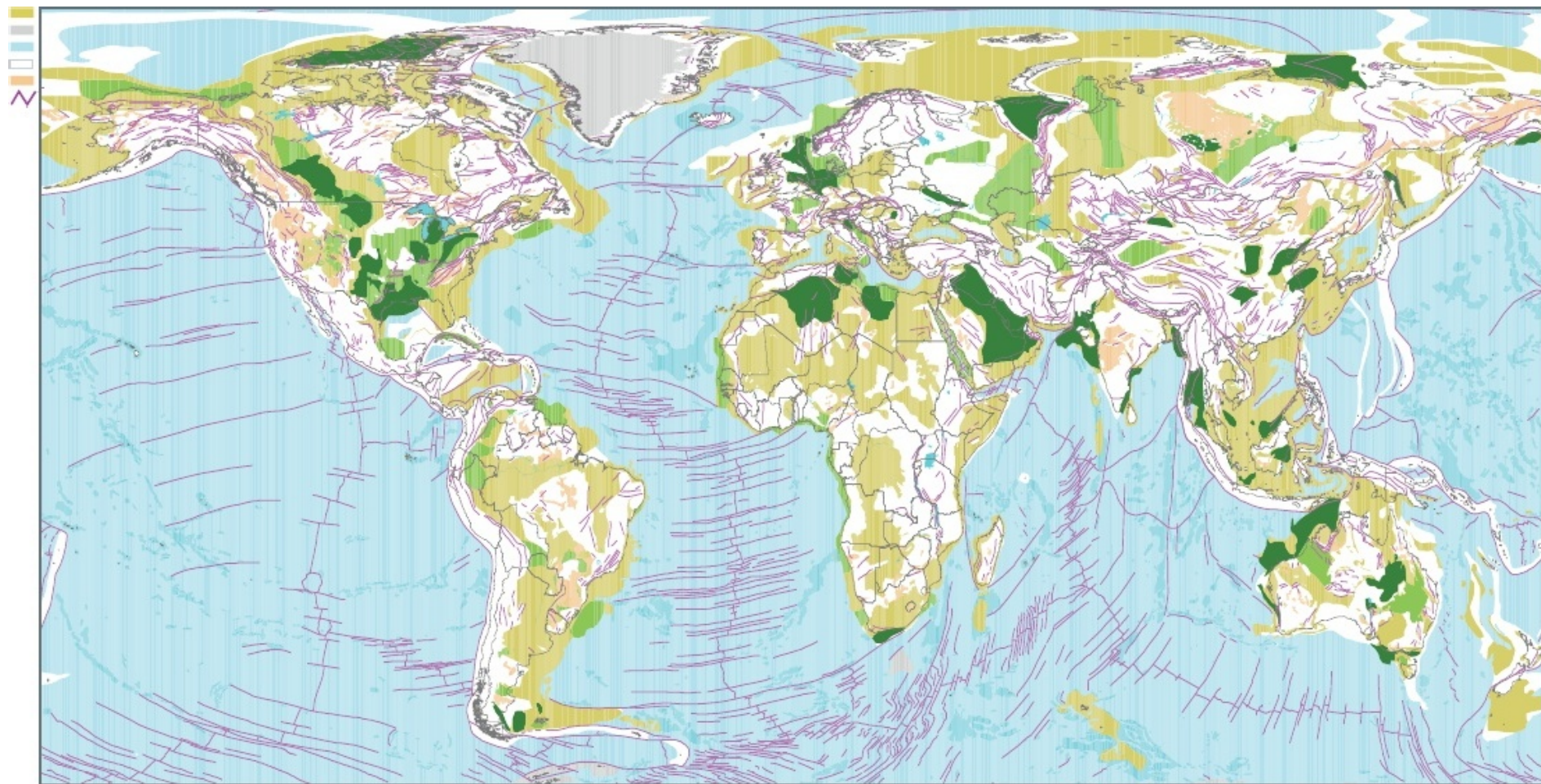
CO₂ är superkritisk, ($\rho < \rho(\text{saltvatten})$, normalt 600-700 kg/m³)



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

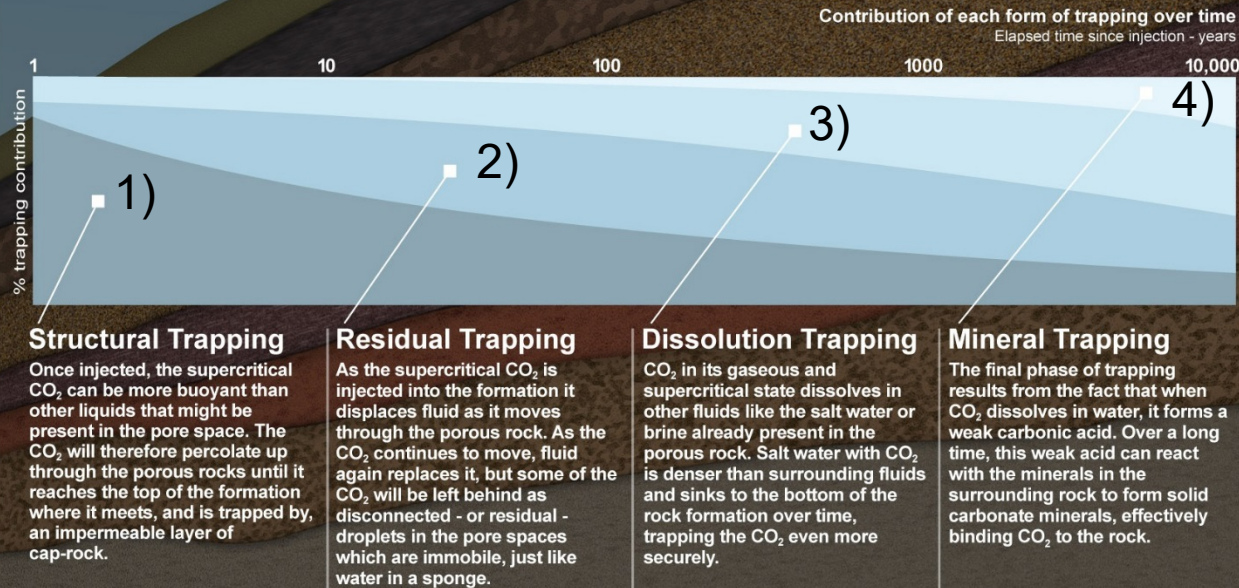
eller dagens globala utsläpp i

50 - 300 år

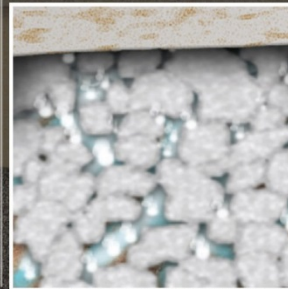
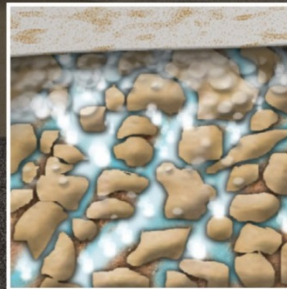
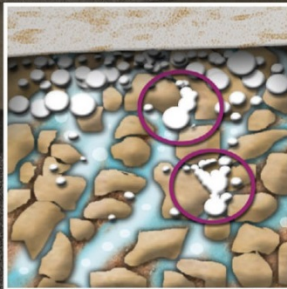
*Intergovernmental Panel on Climate Change

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.



CAPROCK

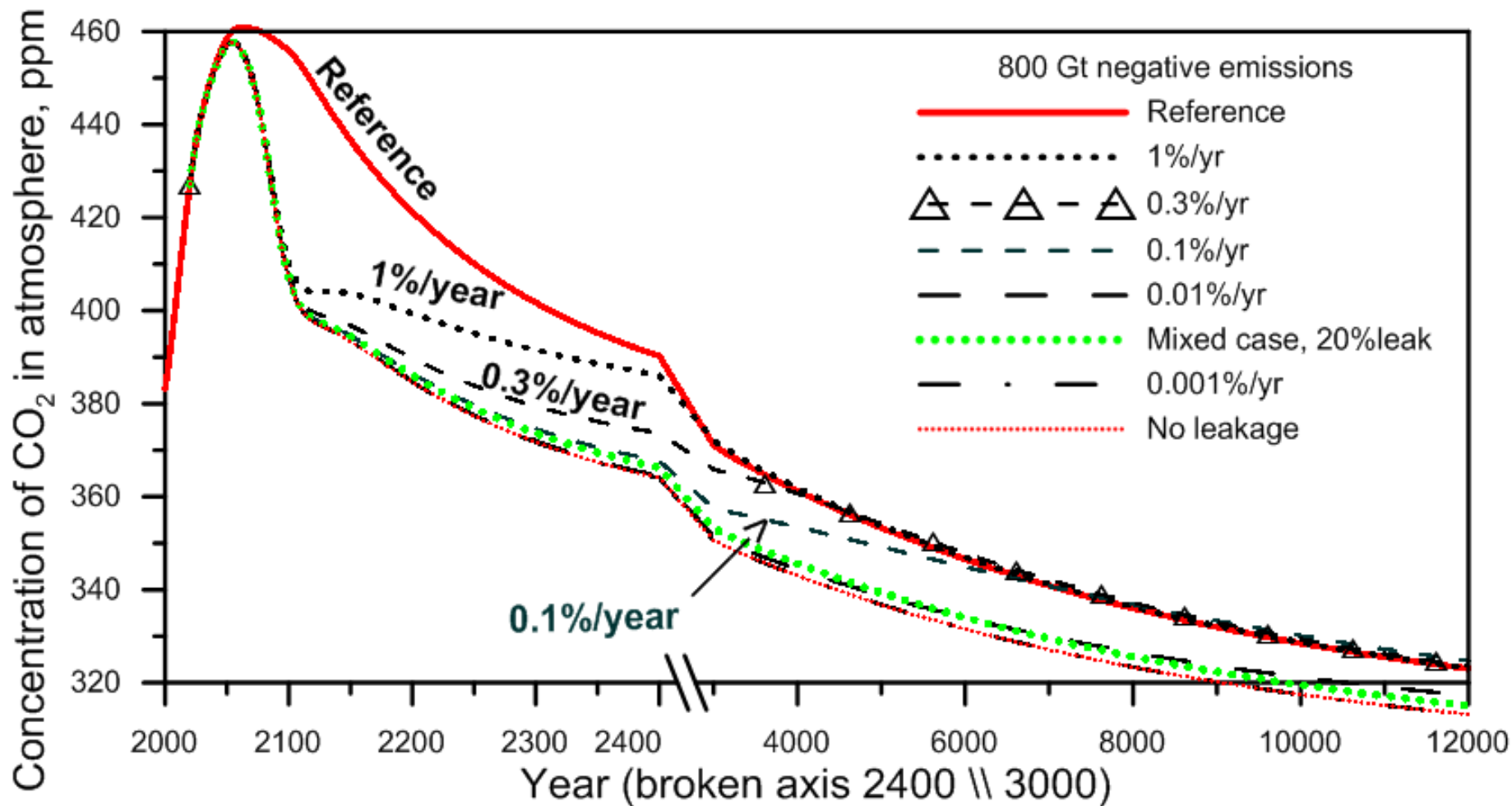


Hinder:

- 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

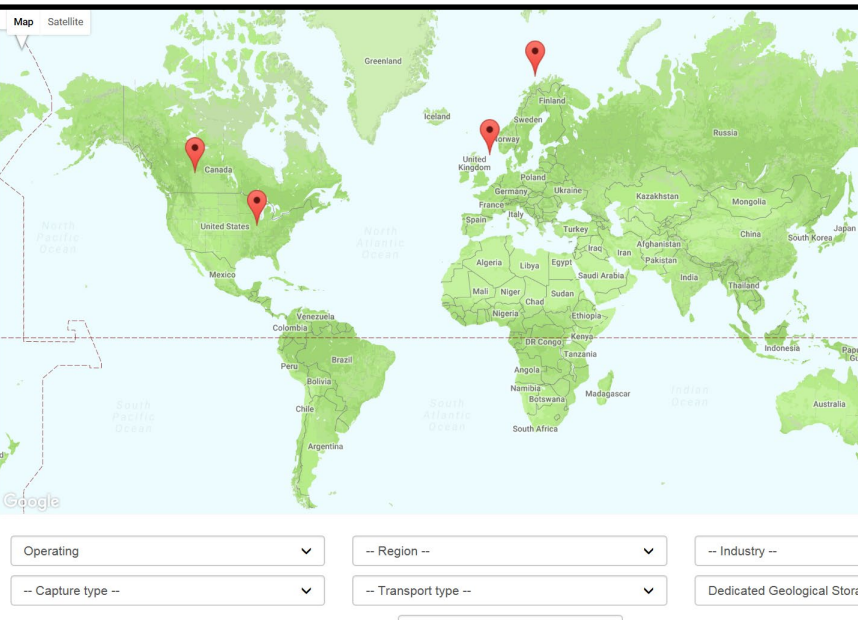
- Noggrann förundersökning
- Övervakning
- Avsluta injektion
- Täta läcka, om möjligt
- “Depressurize”, alltså flytta CO₂ till annat ställe (inte särskilt dyrt)

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

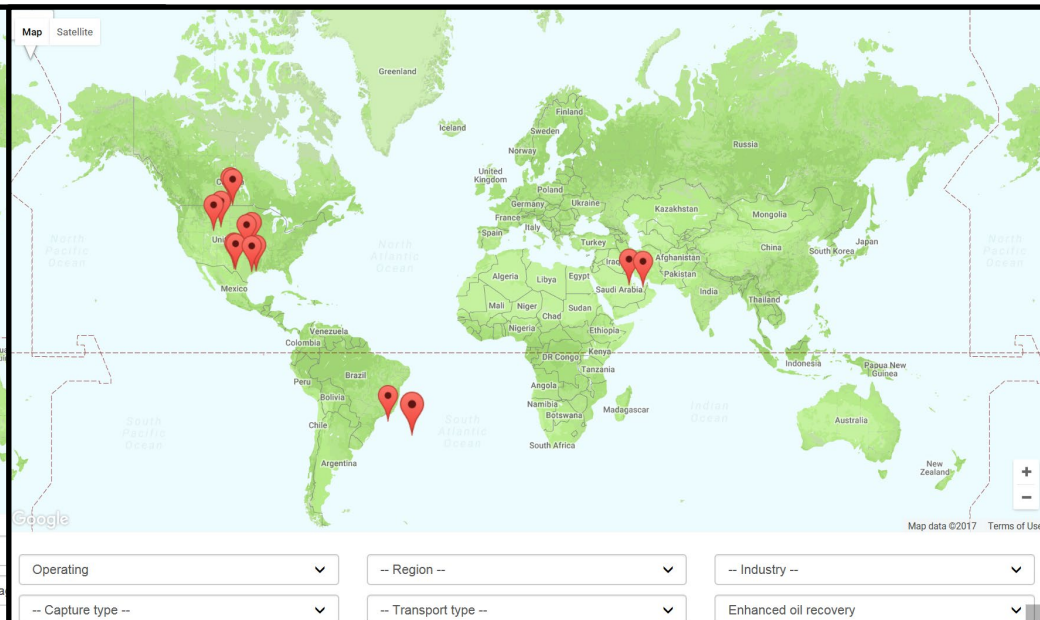
Men en mycket stor del av koldioxiden binds och kan inte läcka ut.

Storskalig koldioxidlagring idag

För klimatet



För ökad oljeutvinning



Totalt 30 Mton CO₂/år
C:a 0,1% av totala utsläppen
Ytterligare 10 Mton/år på gång.

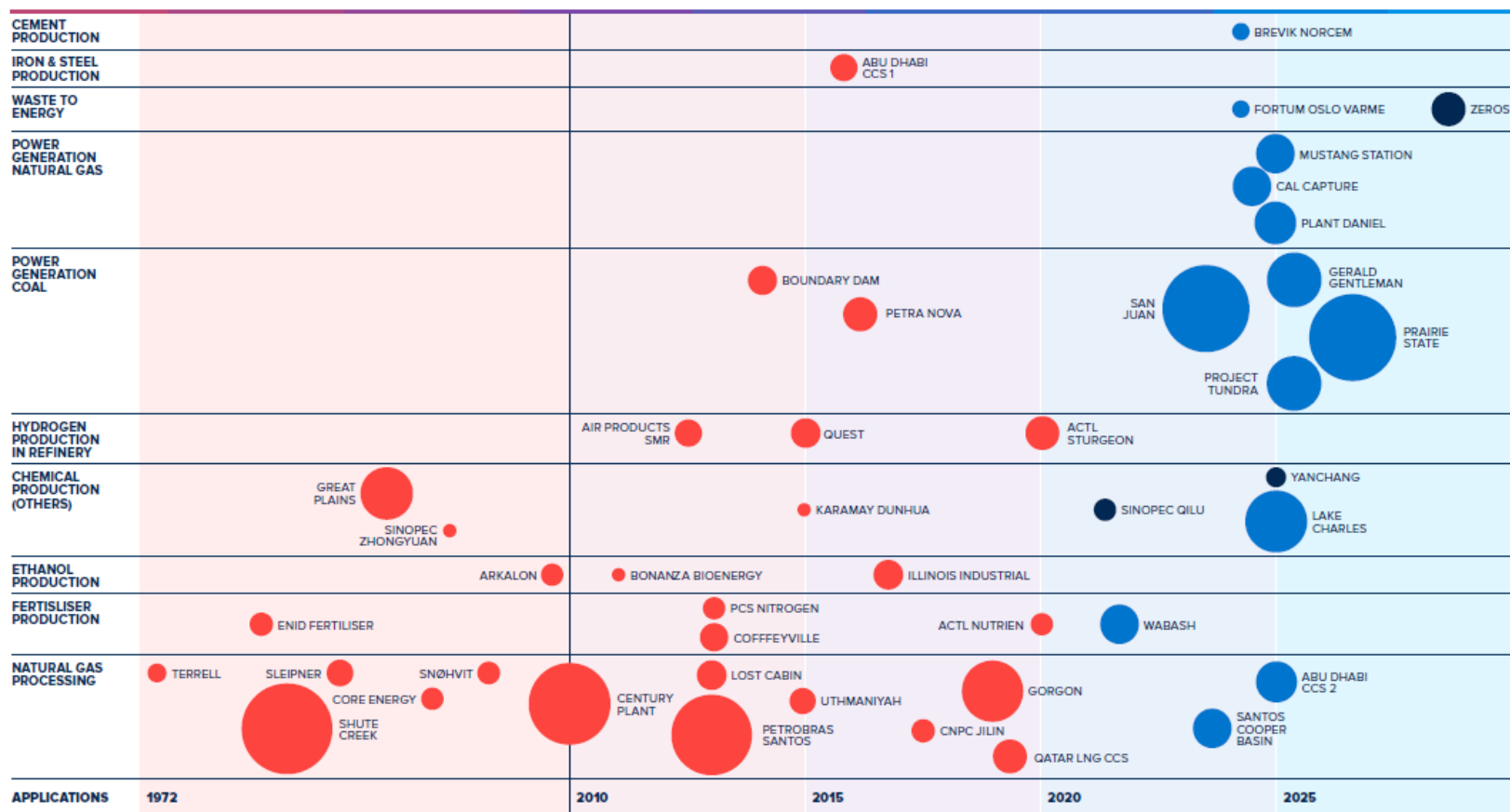
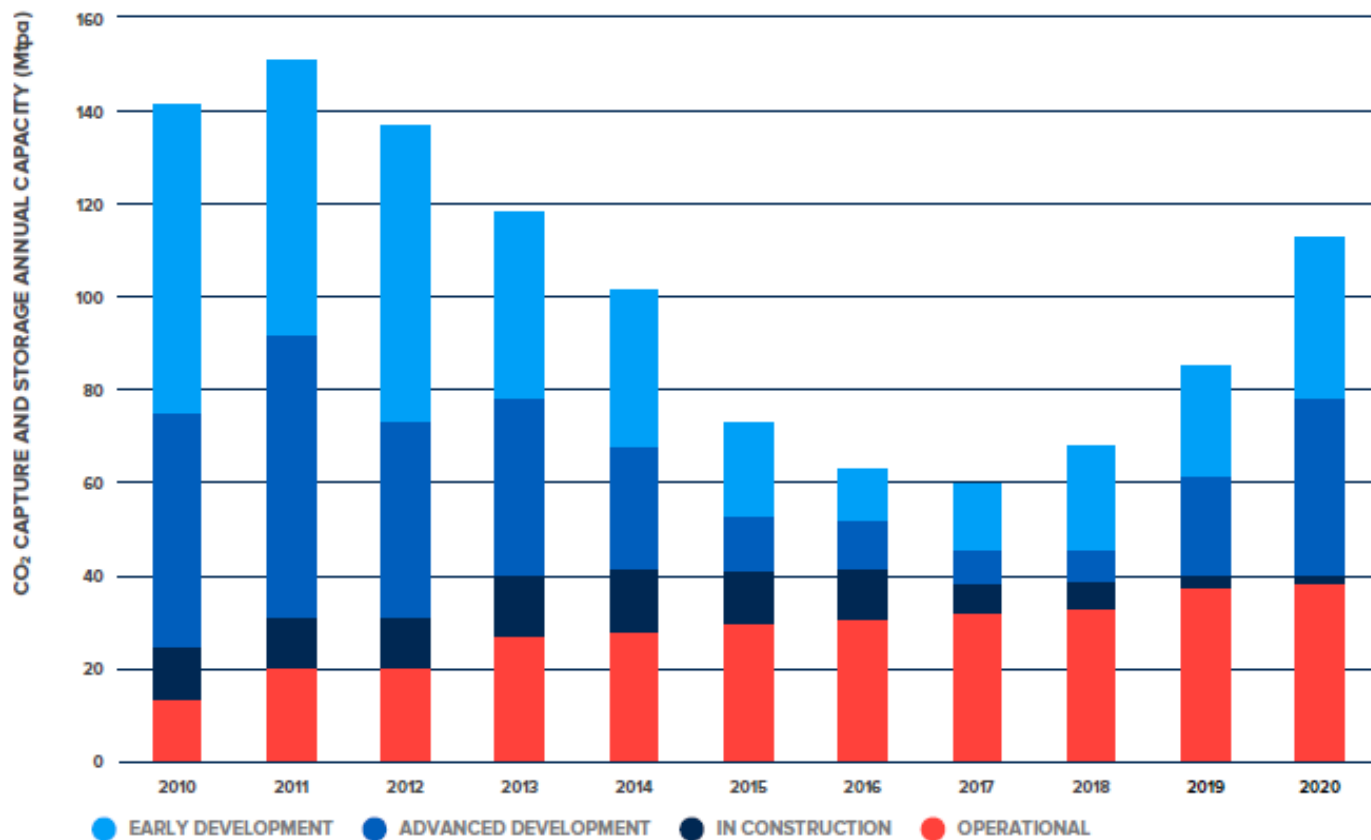


Chart indicates the primary industry type of each facility among various options.

● IN OPERATION
● IN CONSTRUCTION
● ADVANCED DEVELOPMENT

Size of the circle is proportionate to the capture capacity of the facility.





THE CAPACITY OF FACILITIES WHERE OPERATION IS CURRENTLY SUSPENDED IS NOT INCLUDED IN THE 2020 DATA.



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



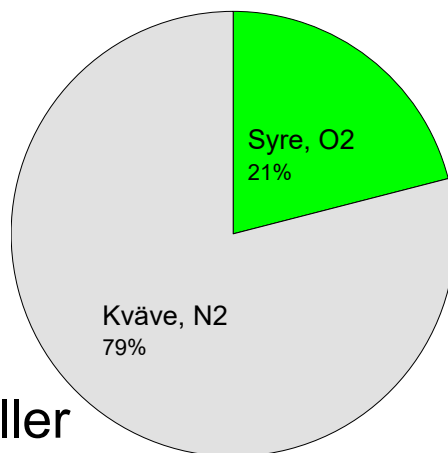
Förbränning

Luft innehåller
syre (O_2)
kväve (N_2)

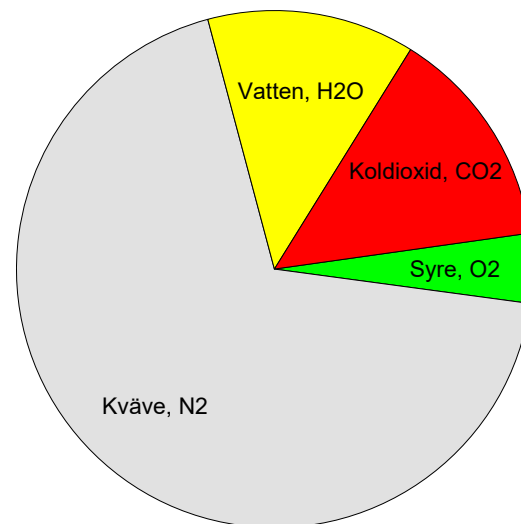
Bränsle som innehåller
kol (C)
väte (H)

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

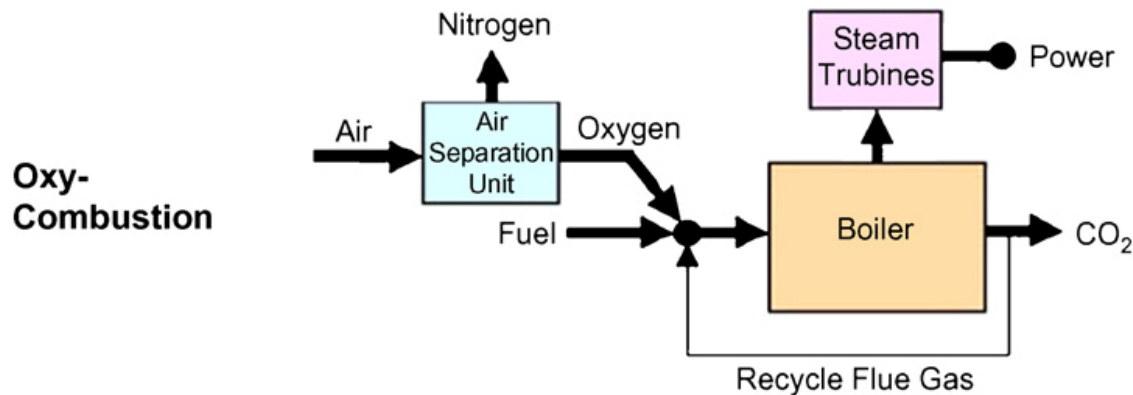
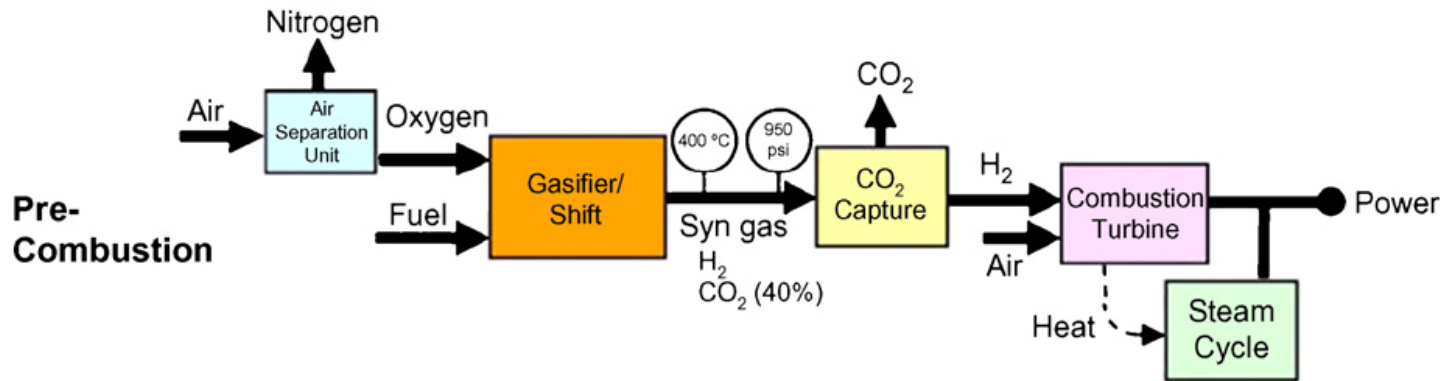
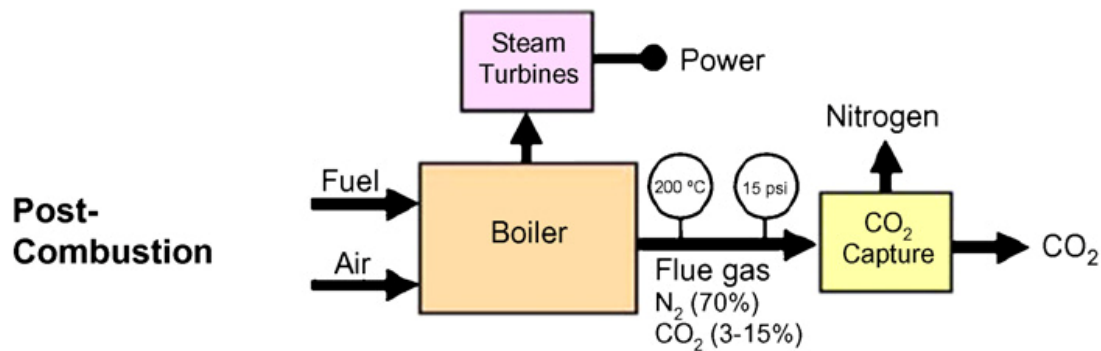
Luft



Rökgas



***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%

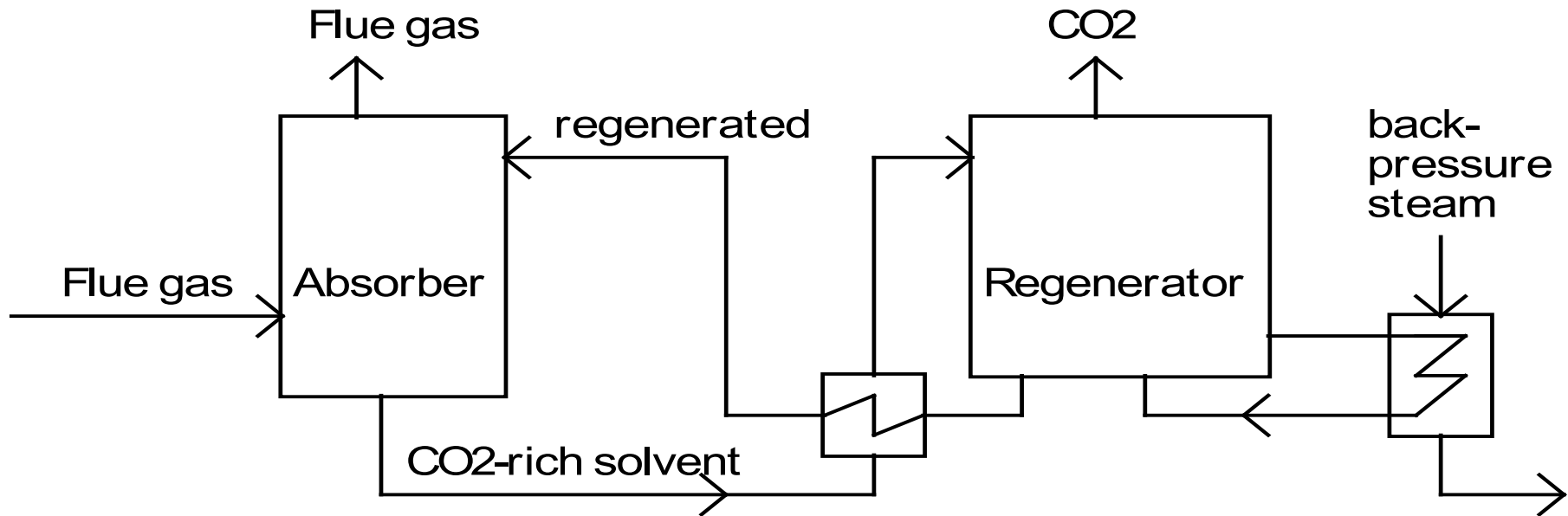
Naturgas: 15%

Specifika kostnader (inklusive transport och lagring):

500-1000 kr/ton CO₂

Postcombustion (dominerar helt)

Absorption av CO₂ med monoetanolamin (vanligast)



Unit 3, med CO₂-infångning

CO₂
stripper

Absorptions-
torn

SaskPower
Boundary Dam

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):

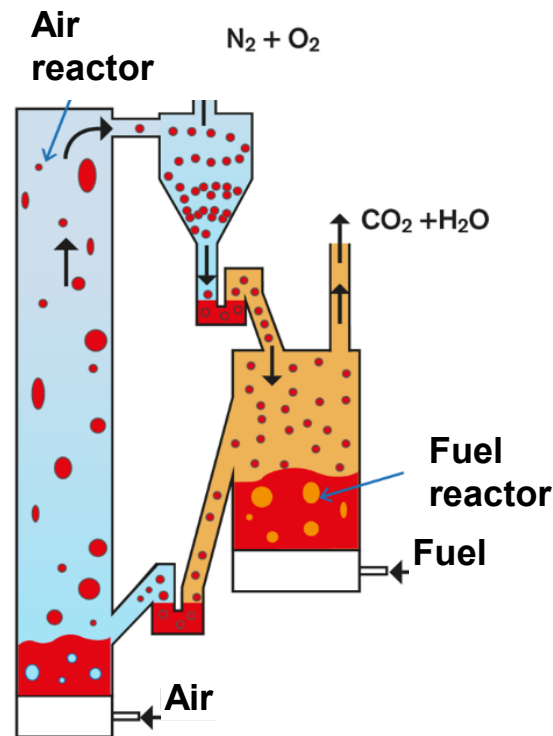
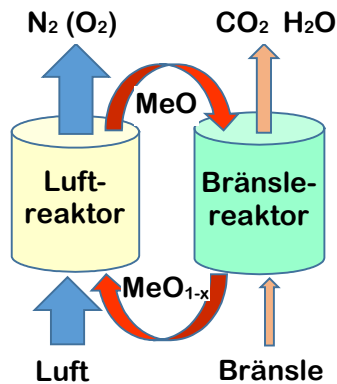
Nästa gång 1/3 av kostnaden:

45 \$/ton

**Petra Nova, Texas, kolkraftverk, >1 Mton/år
i drift sedan januari 2017**



Vad är kemcyklisk förbränning (CLC) ?



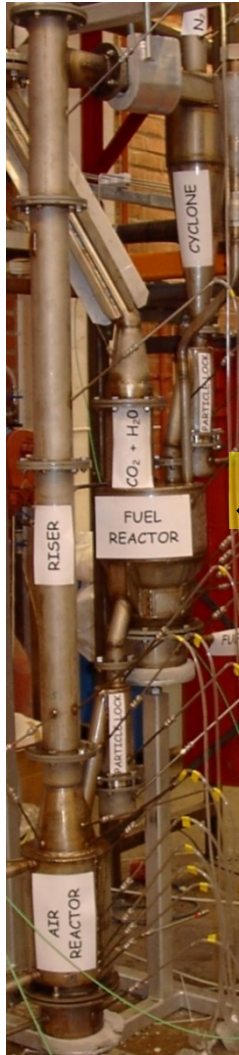
Två fluidiserade bäddar med ett bäddmaterial som cirkulerar.

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

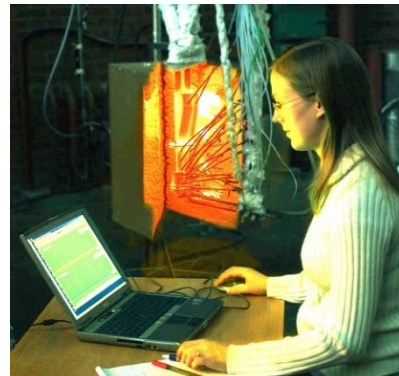
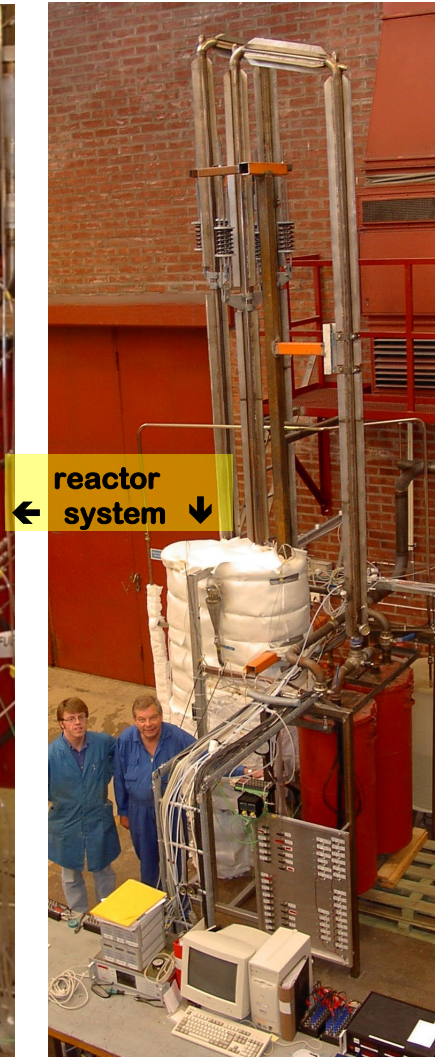
Syrebäraren!

Men fungerar det i praktiken?

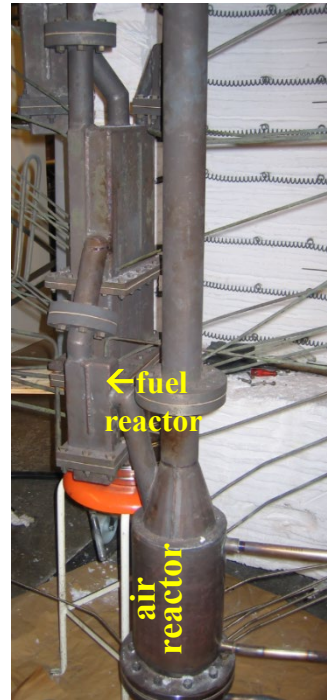
JÅ, DET FUNGERAR !



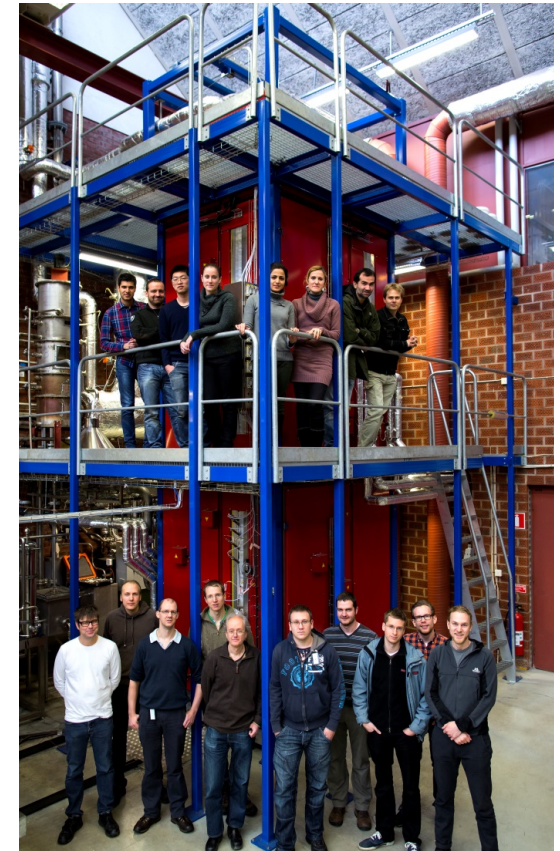
10 kW gas, 2003



300 W gas, 2004



10 kW fastbränsle, 2006



100 kW fastbränsle, 2011

Chalmers:
Total drifttid
med bränsle
4000 timmar

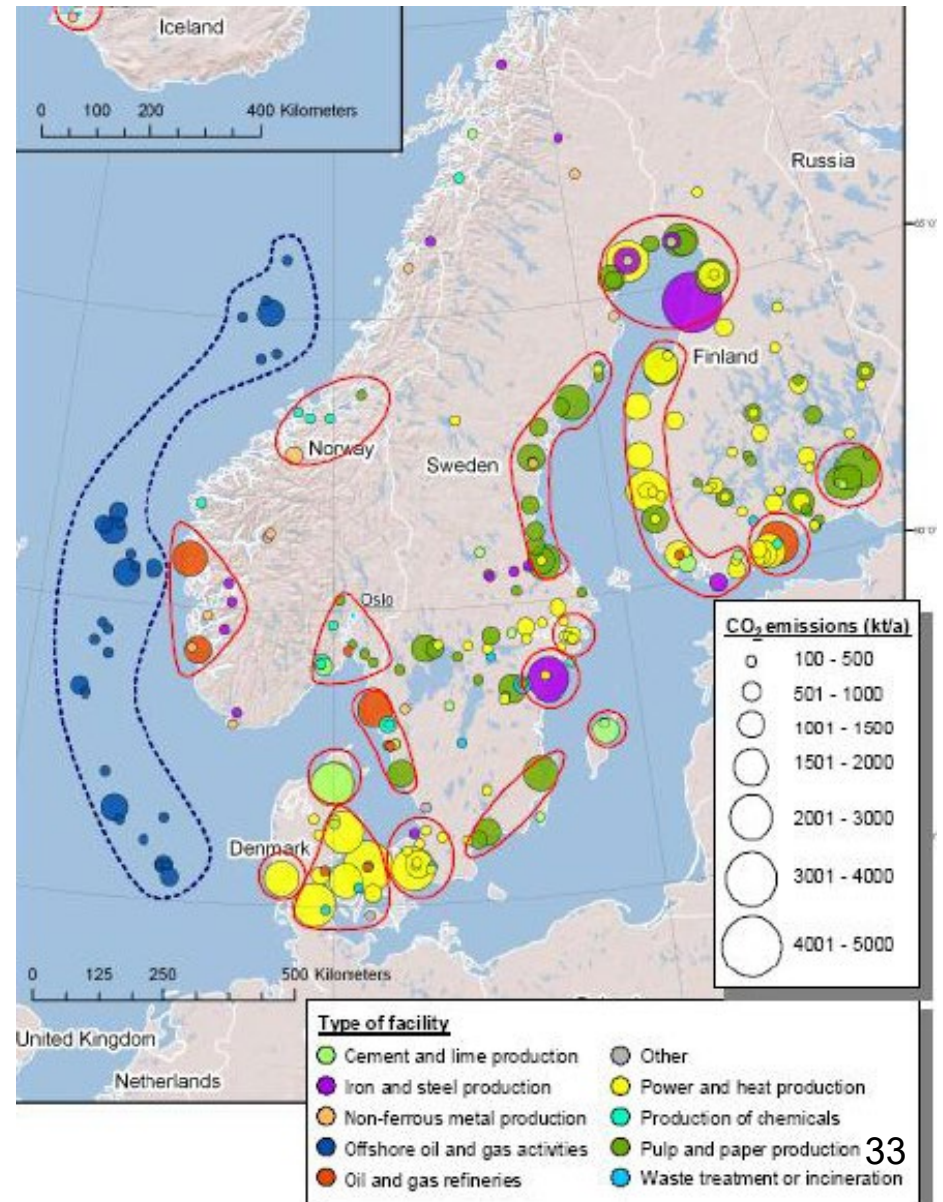
Status kemcyklisk förbränning:

- ✿ 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



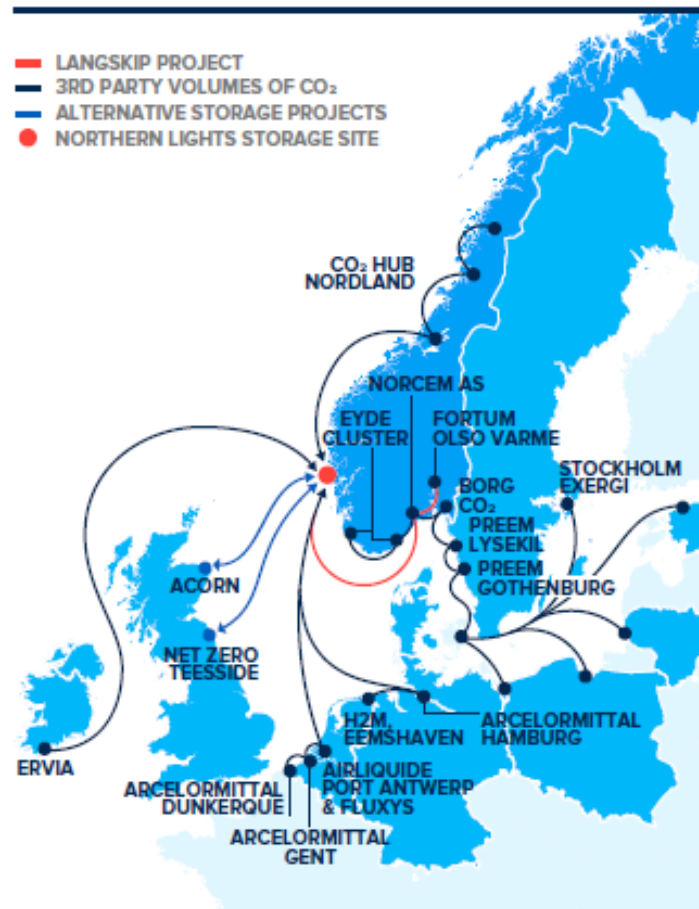


FIGURE 8 NORTHERN LIGHTS PROJECT – POTENTIAL SOURCES OF CO₂^h

Lagring – var?





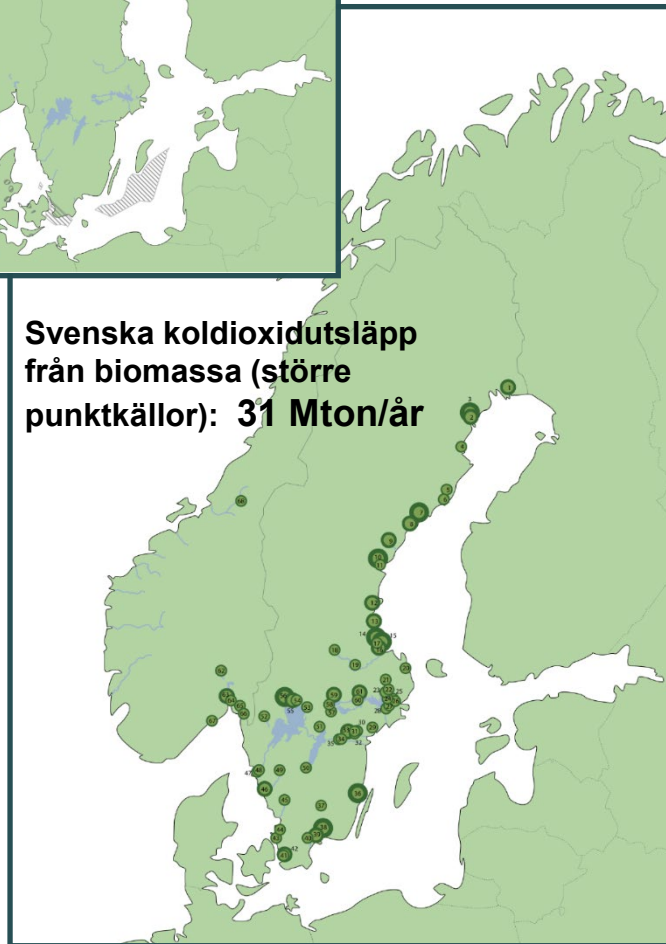
Sveriges inhemska fossila koldioxidutsläpp är:

43 Mton/år

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

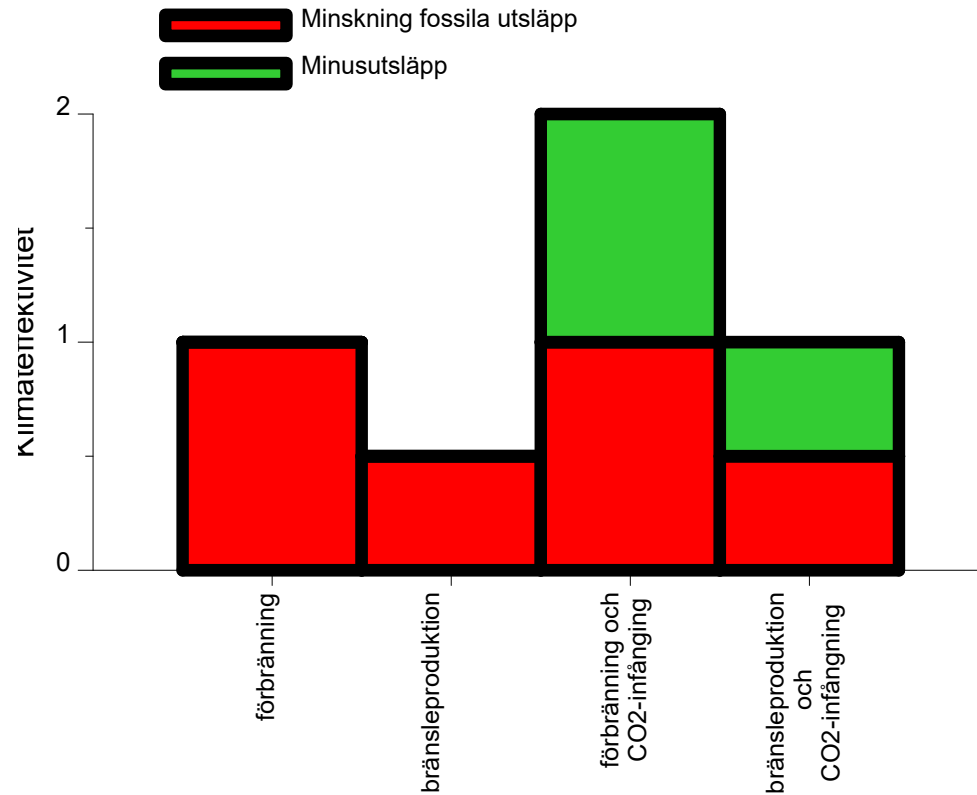
175%

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



Klimat effektivitet.

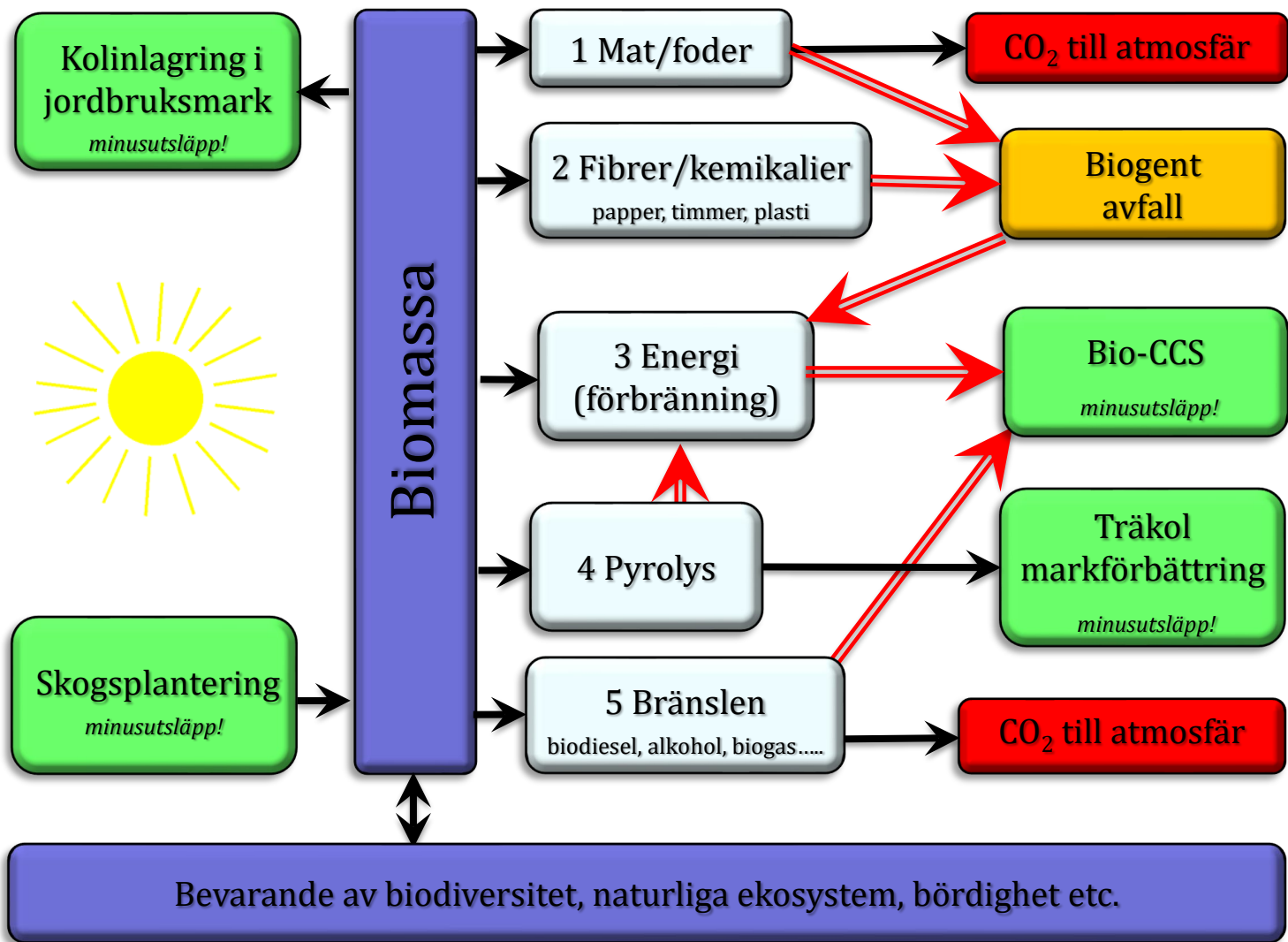
Biomassa är en begränsad resurs. Bör användas så effektivt som möjligt ur klimatsynpunkt.



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

Totalt uttag av
biomassa är 20
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.



Kostnad för Bio-CCS: ett exempel



Flygets klimatpåverkan motsvarar **1 ton/svensk**
(hälften koldioxid, hälften höghöjdseffekter)

Med biobränsle kostnad c:a **2400 kr (halva climateffekten)**

Krävs stora mängder biomassa, begränsad resurs:

Kan skada miljön
eller

hindrar annan användning av biomassan (mat, klimat etc.)

Dålig verkningsgrad: skog > flytande bränsle, 1 ton biogen koldioxid
släpps ut för att minska utsläppen med ½ ton

Negativa utsläpp med Bio-CCS

Kostnad **1000 kr (hela climateffekten)**

Inget behov av biomassa (finns utsläpp att fånga in)!

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

FÖRSLAG

Inför betalansvar för koldioxidutsläpp

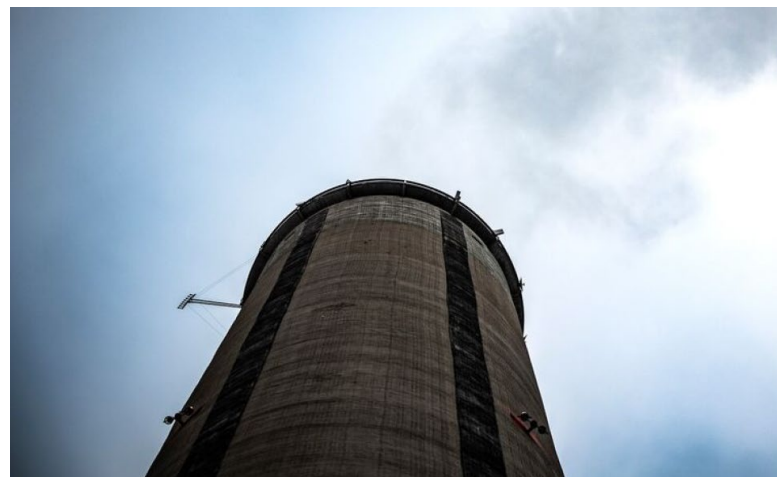
Med ett betalansvar på de utsläpp som inte är med i EUs handelssystemet

(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

~~MAY 12-15, 2020~~

New date: June 14-17, 2022

TACK!