

# FÅNGST AV KOLDIOXID

## EN ÖVERSIKT



1

## KÄLLA

- Förutsättningar för storskaligt infångande av koldioxid
- En översikt av tillståndet för 'Carbon Capture'-teknologier som verktyg för att förhindra utsläpp och minska koncentrationen av koldioxid i atmosfären **Men detta är ytterst rudimentärt**
- Jonas Grafström, Niclas Hvalgren och Martin Korpi
- Ratio (Näringslivets forskningsinstitut)





## ÄR DET EN PÅLITLIG KÄLLA?

- Ratio är ett fristående forskningsinstitut som forskar om hur företagandets villkor kan utvecklas och förbättras. De vetenskapliga kvalitetskraven är entydiga.
- Ratio har en unik profil som forskningsinstitut. Vår vetenskapliga kompetens - som förenar forskning om politik, marknader och företagande - ger en särskild förmåga att analysera, tolka och förklara samtidens problem och framtidens utmaningar. Det skapar förutsättningar för bättre politiska beslut. Stor vikt läggs vid att föra ut forskningens resultat i samhällsdebatten.
- Ratio tycker inte. Vi forskar.
- Författarna är nationalekonomer



## SAMMANFATTNING

Syftet är att ge en bild av möjligheterna till storskalig reduktion av koldioxid-utsläpp genom olika former av NET (Negative Emission Technologies). Enligt 2014 års basscenario från IPCC för maximalt 2°C uppvärmning måste de globala koldioxidutsläppen minska kraftigt och olika former av NET tas i bruk senast under åren 2030-2045. Utav de 113 scenarier associerade med utfall under 2°C förutsätter 107 av dessa en framgångsrikt och storskaligt upptagande av koldioxid både ur atmosfären och från utsläppskällor. Vår övergripande slutsats är att med nuvarande tekniska utvecklingen kommer 2 graders målet svårligen uppnås. För att nå måluppfyllnad behövs en kontinuerlig minskning av absoluta utsläpp, att en marknad skapas för koldioxid och en betydligt snabbare utvecklingstakt vad gäller NET, exempelvis genom ökat statligt R&D.





## SAMMANFATTNING

- De totala volymer som måste sugas upp direkt ur atmosfären och vid olika utsläppskällor uppgår enligt detta basscenario, trots antaganden om betydande absoluta minskningar av utsläpp, till ca 810 miljarder ton, motsvarande drygt 20 år av nuvarande årliga utsläpp
- Den CCS-teknik som antas i dessa scenarier är emellertid fortfarande på experiment- eller projektstadiet och de försöksprojekt som finns är förknippade med höga kostnader. Enligt Global CCS-institute är antalet anläggningar i drift globalt sett sammanlagt 17. Utöver dessa är fyra stycken under konstruktion och ytterligare 16 anläggningar är på planeringsstadiet.



## SAMMANFATTNING

- De tre metoder som huvudsakligen kommer beskrivas i föreliggande rapport är; infångning från utsläppspunkter (CCS), bioenergi med infångning (BECCS) och atmosfärisk infångning (DAC).
- Tidigare förutsägelser om koldioxidinfångning har konsekvent överskattat hur 'viable' teknologin är, dvs. både vad avser hastigheten i den grundläggande teknologiska utvecklings samt dess implementering.





## SAMMANFATTNING

- CCS består av tre mycket olika sektorer, vilket leder till enskilda riskprofiler som leder till olika investerings-case och utvecklings tidslinjer - lagring har långa ledtider jämfört med infångning, transport- infrastrukturen är inklämd mellan de två. Med nuvarande regelverk och politiska ramverk i hela Europa finns det betydande marknadsbarriärer och marknadsmisslyckanden som motverkar och förhindrar investeringar i CO<sub>2</sub>-transportinfrastruktur och lagringsplatser.



## SAMMANFATTNING

- Med nuvarande utsläppsnivåer verkar den budget som krävs för att begränsa uppvärmningen till 1,5°C sannolikt överskridas om ca. 5 år, och för att hålla uppvärmningen inom 2°C eller 3°C, sker detta om 20 respektive 55 år.
- Med tanke på de mycket låga internationella nivåerna av finansiering och politiskt stöd för de olika formerna av CCS-teknikerna, för närvarande, finns det potential för Sverige att få en betydande internationell inverkan och för att säkra en ledande ställning på detta område.





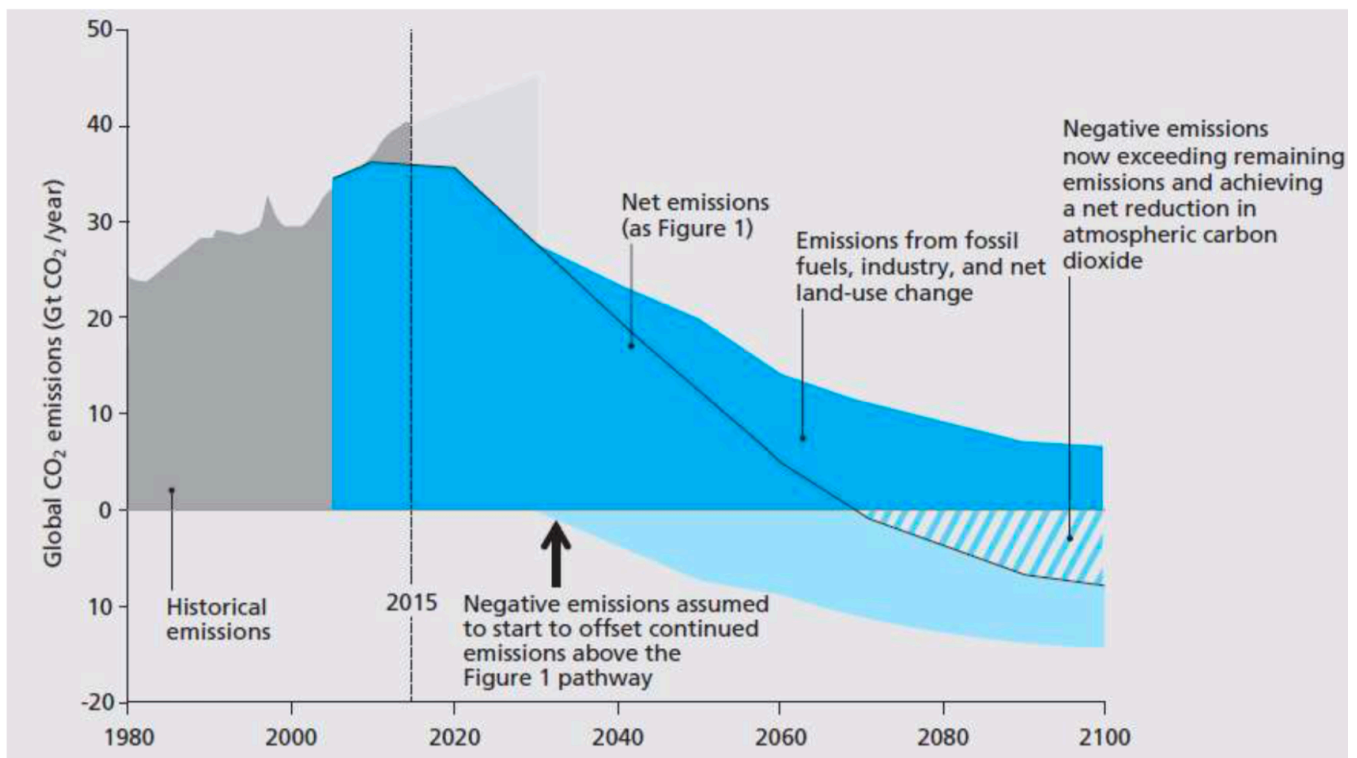
## SAMMANFATTNING

- Förutom enstaka projektstöd finns få incitament till att investera i CCS. Koldioxidskatt, eller att CCS inräknas i emissions trading (och att EU:s system börjar fungera) krävs för att privata investeringar ska ske. Uppenbara behov av statligt R&D stöd finns naturligtvis också.
- Enligt en nyligen publicerad uppföljning på Parisavtalet av länders vidtagna och planerade åtgärder, uppfyller inga av dessa länder ännu sina åtaganden, och befinner sig även långt ifrån måluppfyllnad. Detta samt att nyligen publicerad forskning ger vid handen att klimatförändringarna går betydligt snabbare än vad man tidigare trott, understryker att det är bråttom med att vidta åtgärder.

## VIKTIGT

- CCS innebär minskning av utsläpp från industri och förbränning.
- Användning av CCS innebär inte att mängden CO<sub>2</sub> minskar.
- Det finns teknik för detta, men den är inte speciellt utvecklad (DAC)
- För att minska CO<sub>2</sub>-halten måste man plantera fullvuxna träd, vilket ju är en omöjlighet
- Men skogarna är det enda som på sikt kan rädda klimatet





Figur 1. Inkludering av CO<sub>2</sub>-borttagning i IPCC-scenarier. Källa: EASAC policy report 35 (2018).

## INFÅNGNINGSBEHOV

- Den teknik som antas i dessa scenarier är fortfarande på experiment- eller projektstadiet och de försöksprojekt som finns är förknippade med höga kostnader.
- Detta trots att det ända sedan 1990-talets slut har lagts stora förväntningar på koldioxidinfångning
- Basscenariot förutsätter att de 195 länder som skrev under Parisavtalet är på väg att uppnå sina åtaganden, något som inte är fallet.
- Enligt en nyligen publicerad uppföljning uppfyller inga av dessa länder ännu sina åtaganden.



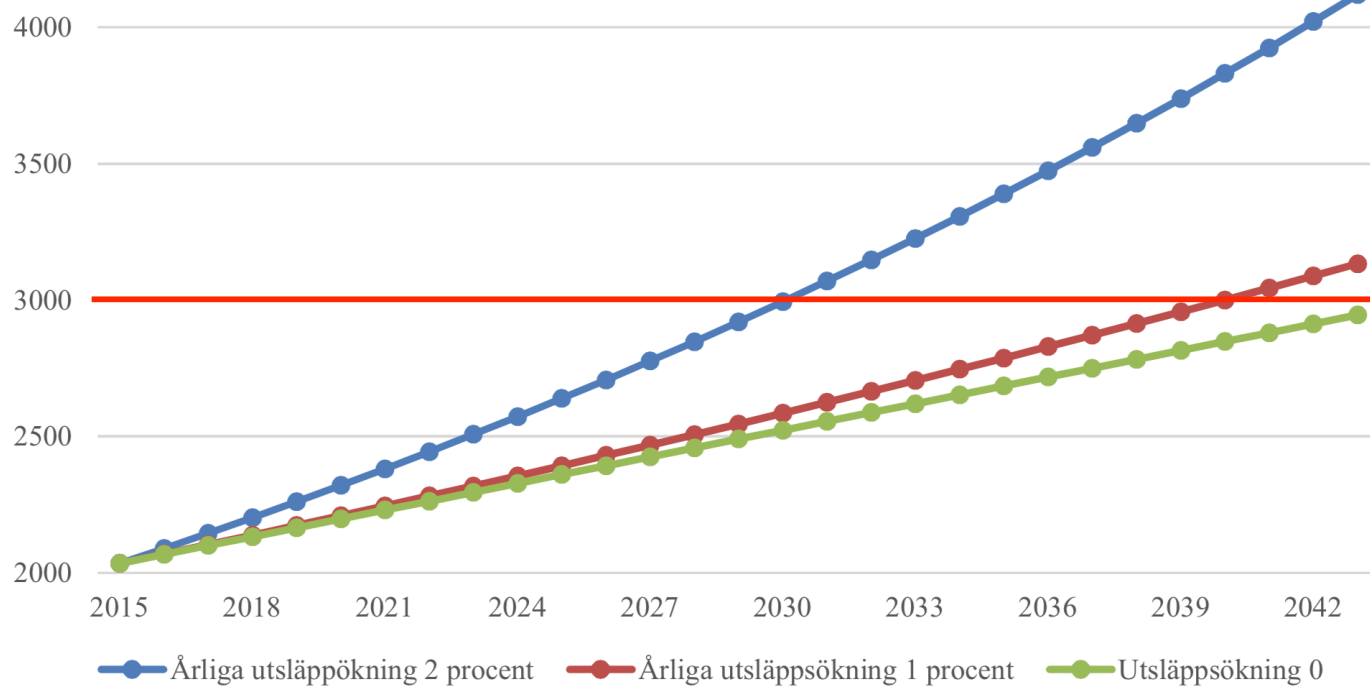
## VAD HÄNDER OM VI INTE NÅR MÅLEN?

- Samtidigt visar nyligen publicerad forskning att en i genomsnitt 2°C varmare planet - till följd av olika självförstärkande mekanismer - är associerat med stor risk för att klimatsystemet "tippar" mot en ny jämvikt omfattande 4-5 °C högre genomsnittstemperaturer samt havsnivåhöjningar på mellan 10-60 meter.
- Det är ännu ytterst osäkert i vilken utsträckning en 2°C varmare planet kan tänkas vara ett stabilt utfall, dvs utgöra någon form av ny planetär jämvikt



Per Flensburg

13

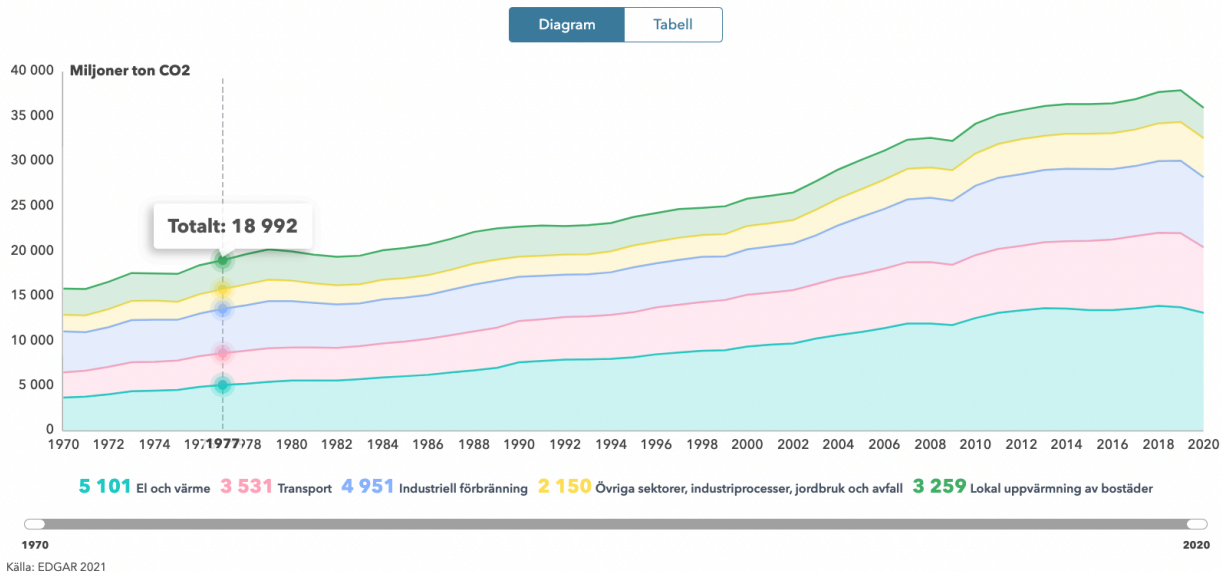


Figur 2 egna beräkningar av när koldioxidbudgeten överskrids baserat på IPCC uppskattningar, 3000 är taket som ej bör överskridas.



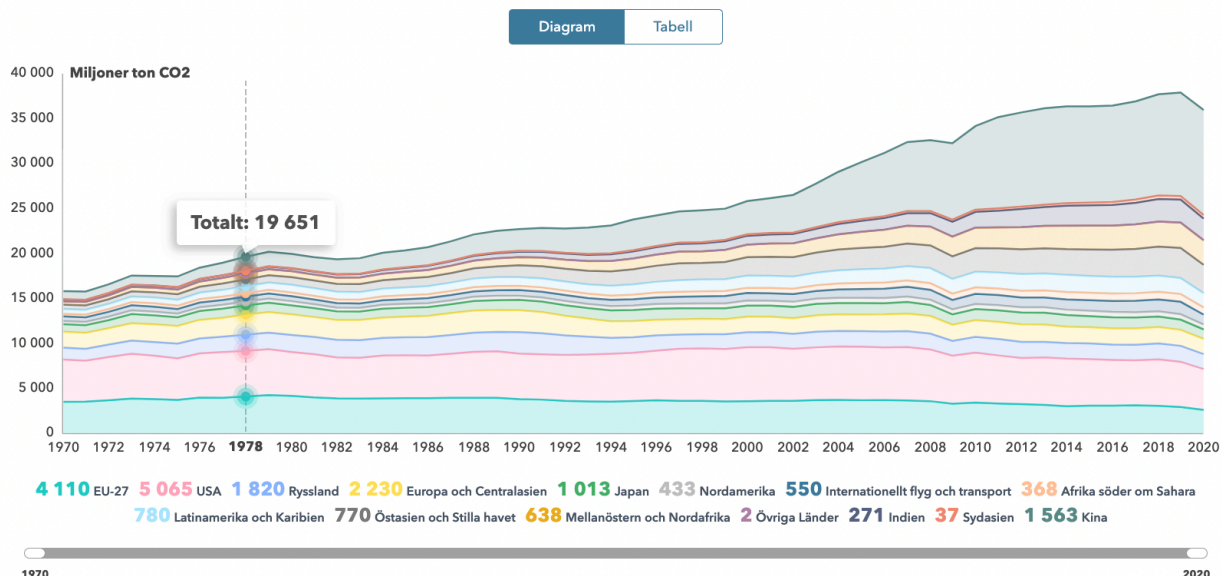
# NUVARANDE UTSLÄPP

Världens koldioxidutsläpp per sektor



# NUVARANDE UTSLÄPP, DETALJ

Världens koldioxidutsläpp





# MILJÖPÅVERKAN

- Ett sätt att illustrera miljöpåverkan är följande trefaktorsekvation:
  - $MS = B * R * T$
- MS = miljöskada.
- B = befolkningen
- R = rikedom (exempelvis BNP per capita)
- T = den teknik som används i produktionen.
- Om produktionstekniken blir mindre förorenande kan antingen fler människor, B, konsumera en lika stor mängd som tidigare utan en ökad miljöförstöring, eller samma mängd människor kan uppnå en högre BNP, R, utan någon förändring i den totala miljöpåverkan.



# VAD BETYDER DETTA?

- Världens nuvarande befolkning (B) är 7,5 miljarder (år 2017) och förväntas nå 9 miljarder omkring år 2040
- Världens BNP (R) beräknas, enligt Världsbanken (2016), växa med cirka 2,7 procent under 2017 och majoriteten av auktoritativa prognoser pekar på fortsatt global ekonomisk tillväxt under kommande årtionden.
- Mot bakgrund av dessa två faktum kommer den samlade framtida miljöpåverkan sannolikt vara mycket omfattande om inte tekniska förändringar kan bidra till att minska densamma
- Eller någon helt ny faktor dyker upp!





# PUNKTINFÅNGNING

- CCS står för "Carbon Capture and Storage" och den process som omfattas av detta begrepp består av tre steg:
- 1) avskiljning,
- 2) transport,
- 3) lagring.
- I avskiljningssteget tas gaserna ( $\text{CO}_2$ ) upp vid utsläppskällan. I transportsteget måste koldioxiden föras från den plats som gaser infångas till koldioxidlagret. Transport kan ske t.ex. med rörledning eller på annat sätt. Det tredje steget, lagring, sker främst i sedimentär berggrund.



# PUNKTINFÅNGNING

- CCS erbjuder en möjlighet att reducera utsläpp från fossil energi-produktion, och innebär därmed att man potentiellt kan undvika kostnader för att ersätta densamma.
- Andra industriprocesser som ger upphov till stora utsläpp, som inte lika enkelt som elproduktionen kan ersättas av koldioxidneutrala alternativ (såsom t.ex. cementproduktion) kan också modifieras för att fånga in utsläpp.
- Traditionell CCS fångar upp utsläpp vid utsläppskällan, dvs. där de produceras, men ger få möjligheter att minska koncentrationen av den koldioxid som redan är i atmosfären.





## PUNKTINFÅNGNING

- Teknik för infångning av koldioxid från utsläppskällan existerar redan idag.
- Kemiska metoder för att separera koldioxid från andra gaser kan i nuläget användas och koldioxiden går idag att fånga upp i olika stadier av en förbränningsprocess eller annan industriell process.
- Dock existerar ingen enhetlig process som passar alla tänkbara användningsområden och vilka metoder som kan utnyttjas vid ett specifikt kraftverk eller utsläppspunkt beror i hög grad på olika lokala förutsättningar



## PUNKTINFÅNGNING

- Förenklat kan infångningsprocesser i huvudsak kategoriseras efter var koldioxiden avskiljs från bränslet - s.k. *post-combustion*, där koldioxid avskiljs efter traditionell förbränning, och *pre-combustion*, där bränslet förbehandlas på olika sätt för att underlätta separationen eller på andra sätt göra kemisk separation onödig
- I post-förbränningsmetoder förs förbränningsprodukter genom ett rörsystem där koldioxiden löser sig i fasta eller flytande material
- Koldioxid kan bindas till både flytande ämnen som etanolamin eller olika fasta polymerer och keramiska ämnen. Genom upphettning, tillförande av vatten eller andra processer, frigör lösningsmedlet därefter ren koldioxid, som sedan kan transporteras och lagras eller användas



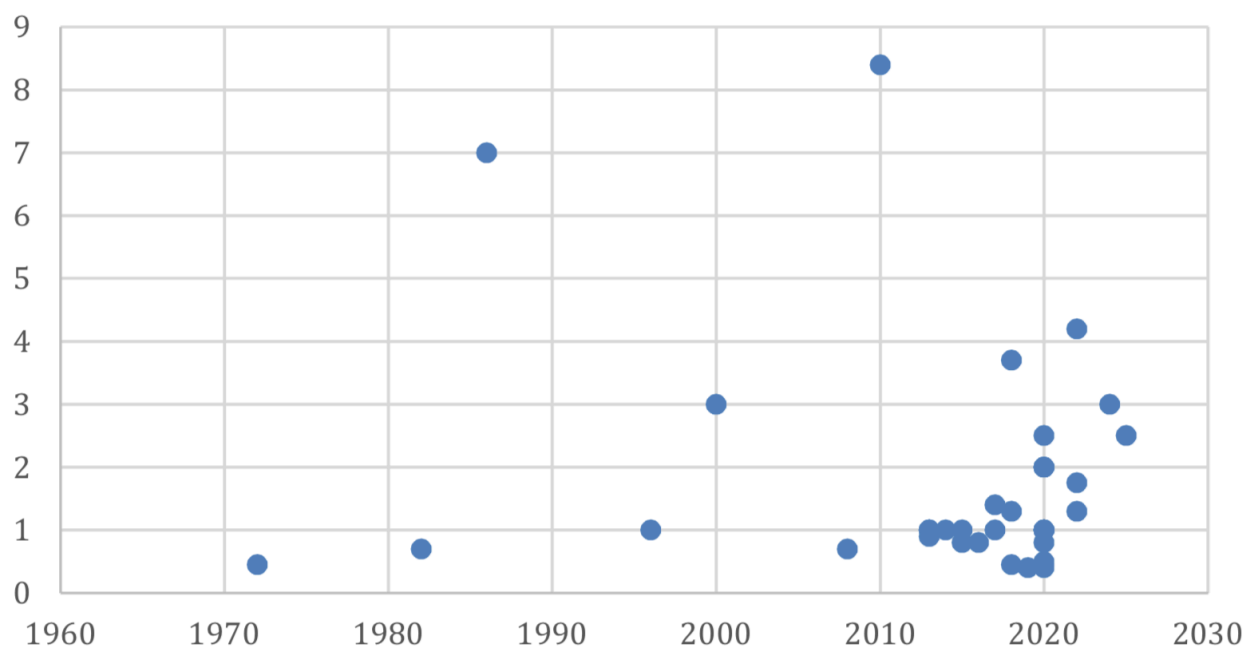


# PUNKTINFÅNGNING

- Gasifiering av kol- eller naturgasbränsle är en pre-förbränningsmetod, där kolväte innan förbränning spjälkas till en gas bestående av fria väte- och koldioxidmolekyler. Koldioxiden separeras därefter med hjälp av någon av lösningsmetoderna ovan, och den rena vätgasen används sedan som bränsle.
- Under s.k. Oxy-fuel combustion, ett tredje alternativ, förbränns bränsle i ren syrgas, och de enda kvarvarande förbränningsprodukterna från förbränning blir då vatten, svaveldioxid och partikulat (sot och aska). Dessa är relativt enkla att avskilja med existerande metoder, och mycket ren koldioxid som kan på detta sätt relativt enkelt transporteras



Capture capacity (Mtpa)



Figur 3 Koldioxidinfångningskapacitet på anläggning samt år taget i bruk, eller väntat färdigställande. Källa:

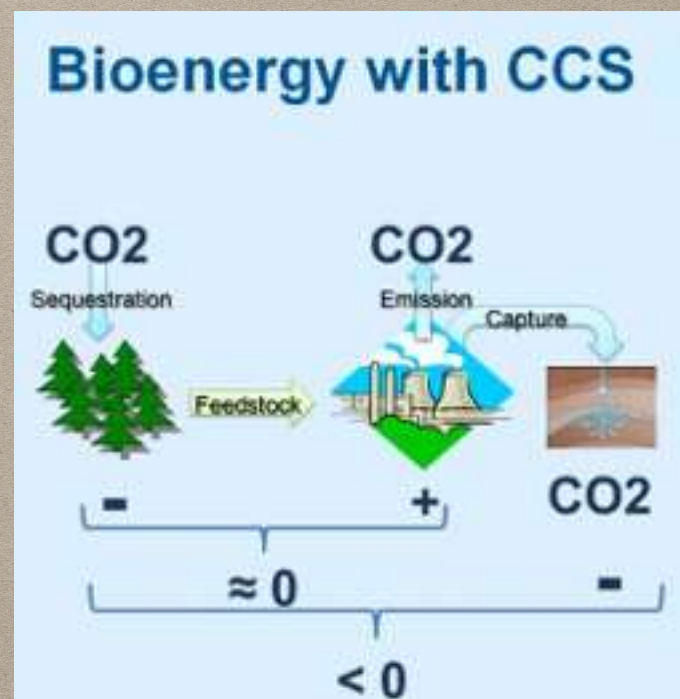


## BECCS - BIOENERGY WITH CARBON CAPTURE AND STORAGE

- Växter fångar in koldioxid ur atmosfären och lagrar denna i form av biomassa.
- Förbränning av biomassa ökar alltså inte CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfären, sett till hela kolcykeln, och bioenergi anses därför 'koldioxidneutralt'
- ECCS, vilket översatt till svenska ungefär motsvarar 'bioenergi med koldioxiduppfångning och lagring', minskar den atmosfäriska koldioxidkoncentrationen genom att avskilja och permanent lagra koldioxid från bioenergikraftverk genom CCS-metoder som beskrivs i sektionen ovan.



TEORETISKT ÄR BECCS EN ENKEL METOD FÖR ATT SKAPA DE NEGATIVA UTSLÄPP SOM FN:S KLIMATPANEL SER SOM NÖDVÄNDIG, DÅ VÄRME- OCH ELKRAFTVERK MED BIOBRÄNSLEN REDAN ÄR I UTBREDD DRIFT - SPECIELLT I SKANDINAVIEN DÄR FÖRBRÄNNING AV BIOBRÄNSLEN SOM SKOGSMATERIAL OCH AVFALL STÅR FÖR CIRKA 20 PROCENT AV ENERGIFÖRSÖRJNINGEN





## BECCS LÄGE

- Cirka 30 megaton CO<sub>2</sub>släpps årligen ut från svenska biokraftverk
- Sveriges totala nettoutsläpp uppgick 2016 till 53 miljoner ton megaton CO<sub>2</sub>
- Skulle dessa utsläpp fångas upp med olika former av CCS skulle detta innebära ett betydande steg mot svensk koldioxidneutralitet
- På global nivå är däremot situationen inte lika lovande. Cirka 4 procent av världens energiproduktion sker i dagsläget i moderna biokraftverk där BECCS potentiellt skulle kunna implementeras.
- För att nå effektiva negativa utsläppsnivåer med hjälp av BECCS kommer därför stora mängder ny bioenergi kapacitet behöva tillföras



## BECCS LÄGE

- Mycket storskalig kultivering av energigrödor såsom snabbväxande gräs- och trädtyper är därför nödvändigt.
- Nyttjandet av dessa grödor sannolikt hamna i konflikt med livsmedelsproduktion. T.ex. så finns uppskattningar på att det skulle krävas areal motsvarande betydligt större än Indien för att på detta sätt neutralisera nuvarande årliga utsläpp.
- Om åkermarker tas i bruk för produktion av biomassa kan förändrad markanvändning leda till bortfall av matproduktion vilket i sin tur påverkar dess pris. Forskare har även varnat för att om skog avverkas för att ge plats åt bio-energi grödor kan nettoutfallet istället bli negativt
- Endast en (1) aktiv fullskalig BECCS-liknande anläggning existerar i dag.





# DACCS - DIRECT AIR CARBON CAPTURE AND STORAGE

- Direkt infångning av koldioxid ur atmosfären genom en industriell process har länge varit möjlig
- Tekniken används i nischade processer såsom i livsuppehållande system för U- båtar och rymdfarkoster men har aldrig applicerats i stor skala
- Själva infångningsprocessen från luft liknar traditionella CCS-metoder
- Processen för att avskilja koldioxid från luft är betydligt mer energintensiv, och därmed också mer kostsam, än motsvarande process från förbränningsprodukter.
- Generellt stiger kostnaden för att separera ett ämne från en blandning ju lägre koncentrationen av ämnet är i ursprungsblandningen



## DACCS

- Koncentrationen av koldioxid i atmosfären är cirka 0,04 % vilket kan jämföras med cirka 4 % i utsläppsprodukter från naturgaskraftverk och upp emot 12 % från kolkraftverk
- På rent kemiska grunder innebär detta alltså att separation av koldioxid ur luften är jämförelsevis svårare än ur utsläpp.
- På grund av de mycket nischade användningsområden som tekniken hittills tillämpats på är faktiska kostnader dock i princip fortfarande okända
- Ett antal mindre start-up företag har de senaste året arbetat med att utveckla gångbara system för DACCS, och en del av dessa har även presenterat fungerande prototyper.







## DACCS - MÖJLIGHETER

- Trots att kostnader, på rent fysikaliska grunder borde bli relativt sett mycket högre för DACCS än för CCS lider branschen ännu inte av de stora problem som den senare brottas med.
- Transport- och energikostnader kan i fallet med DACCS minskas genom att anläggningar placeras nära lagringsplatser och där det även finns förutsättningar för billig energitillförsel (t.ex. på Island, som har tillgång till billig geotermal energi, eller heta områden som Sahara med ett överflöd av solenergi).
- En stor (möjlig) vinst ligger i att tekniken är enkel och småskalig till skillnad från CCS där projekten varit enorma

Tveksamt!



## DACCS - FRAMTID

- Mängden CO<sub>2</sub> som måste fångas in är enorm och det finns liten möjlighet till lönsamma investeringar eftersom ersättning för CO<sub>2</sub>-infångade saknas.
- Man kan dock inkludera negativa utsläpp i utsläpps rättshandel (att atmosfärisk infångning genererar nya rätter som kan säljas) eller att man på annat sätt monetärt ersätter för negativa utsläpp.
- Då tekniken för DACCS är lätt att producera skulle det snabbt kunna svara på ökade behov, i motsats till traditionell CCS. Därför är DACCS sannolikt den mest optimala av nu tillgängliga tekniker, åtminstone globalt sett.
- Negativt för DACCS är dock att tekniken ännu så länge är mer energiintensiv än CCS och BECCS.

Men DACCS bygger ju på samma teknik som CCS!



## LAGRING AV KOLDIOXID

- Lagring under jord
  - Tömnda gas och oljefält, men jordskorpan inte tät, seismisk aktivitet
  - Underjordiska saltvattenreservoarer, testat
- Djuphavslagring
  - Försurning av haven
- Enhanced Oil Recovery - EOR
  - Pumpa ned koldioxid i oljefält
- Industriella applikationer
  - Läsk- och ölindustri
  - Koldioxidneutrala bränslen kan framställas ur atmosfärisk koldioxid





## PRISUTVECKLING

- Pris på koldioxid mäts i CCS-sammanhang i kostnad per reducerat ton koldioxidutsläpp.
- De flesta processer är mycket invecklade, och hittills har kostnadsberäkningar oftast överskridits kraftigt.
- Den lägsta kostnaden för användande av CCS finns inom naturgas, ammoniak- och bioetanolproduktion.
- Kostnaden för förhindrade utsläpp av koldioxid varierar från 21,5 \$ per ton för gasbearbetning och bioetanolproduktion; cirka 78 \$ per ton för koleldad kraftproduktion; 89 \$ per ton för gaseldad kraftproduktion och upp till 124 \$ per ton för cementproduktion.

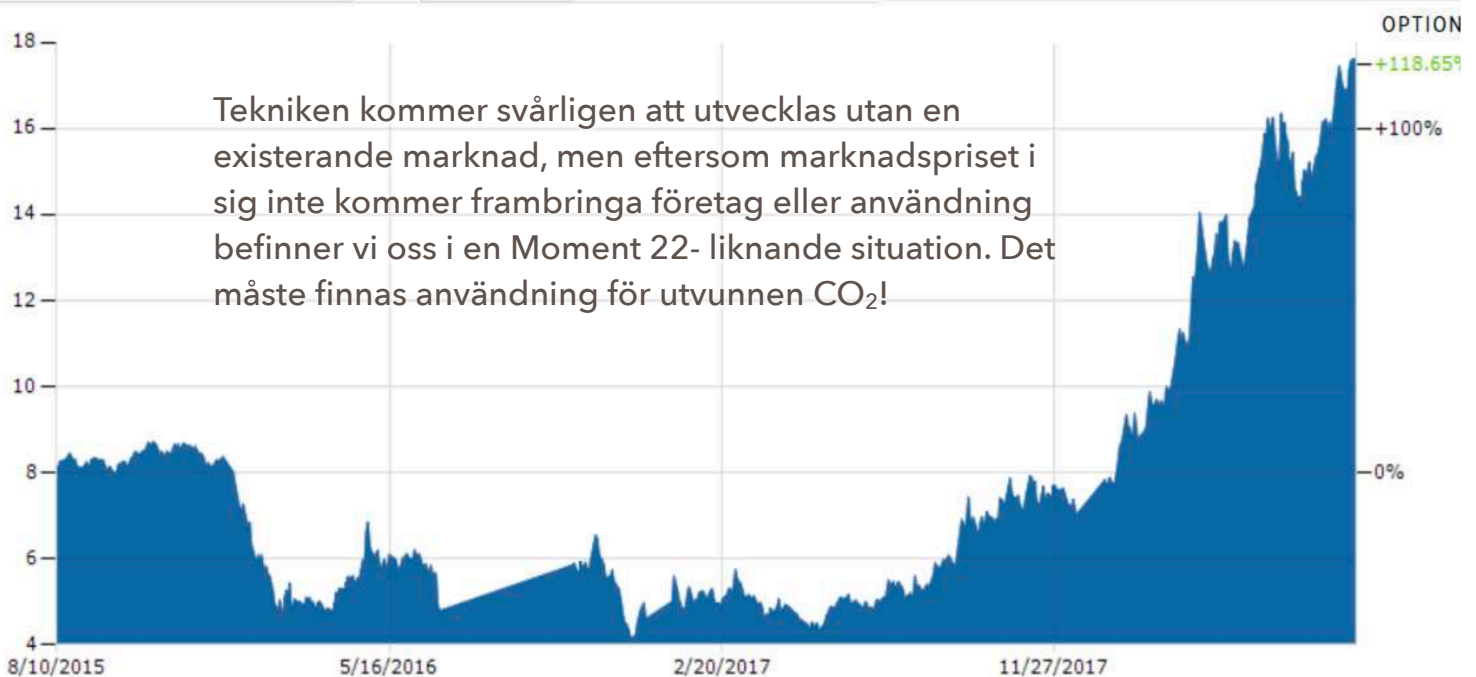


## PRISUTVECKLING

- Oberoende av kostnader är affärsmöjligheterna för att tillämpa CCS på många industriella applikationer potentiellt stor, eftersom det är en av de få komplementära metoder som i dagsläget finns tillgänglig för att uppnå stora utsläppsminskningar.
- Kostnaden för koldioxid inom det nuvarande EUETS-systemet ligger långt under alla beräknade kostnader i nuläget för CCS. Detta medför att kostnaden för att fånga upp ett ton koldioxid vida överstiger vad ett företag kan få betalt för insatsen.
- Problemet här ligger i att denna produkt (koldioxidreduktion) krävs för att vi kollektivt inte ska få ta potentiellt enorma kostnader i framtiden







4 Marknadspris på CO<sub>2</sub> i EUETS över en tremånadersperiod. Euro per ton. Källa Market insider 2018-08-09

## AVSÄTTNING FÖR KOLDIOXID

- **Kolfiber**, som kan ersätta aluminium och stål för att reducera vikten i bilar.
- **Petrokemikalier**, som gör olika produkter som kosmetika och plast.
- **Cement** och andra byggmaterial.
- **Öl och andra kolsyrade drycker**. Storbritannien fick under fotbolls-VM t.ex. ölbrist eftersom det inte hade tillräckligt med koldioxid (påverkan på klimatförändringarna skulle dock vara minimala i ölfallet).
- Med nuvarande regelverk och politiska ramverk i Europa finns det betydande marknadsbarriärer och marknadsmisslyckanden som motverkar investeringar i CO<sub>2</sub>- transportinfrastruktur och lagringsplatser.



## TRE VIKTIGA FRÅGOR

- Om jag utvecklar lagringskapacitet kommer infångningskapacitet att byggas?
- Kommer lagringsplatser finnas tillgängliga om jag bygger pipelines för transport?
- Kommer leveranser av CO<sub>2</sub> dyka upp efter att jag har byggt min lagringsplats?
- Alla dessa frågor måste besvaras jakande om det totala systemet ska fungera
- Därför behövs statligt stöd i initialskedet

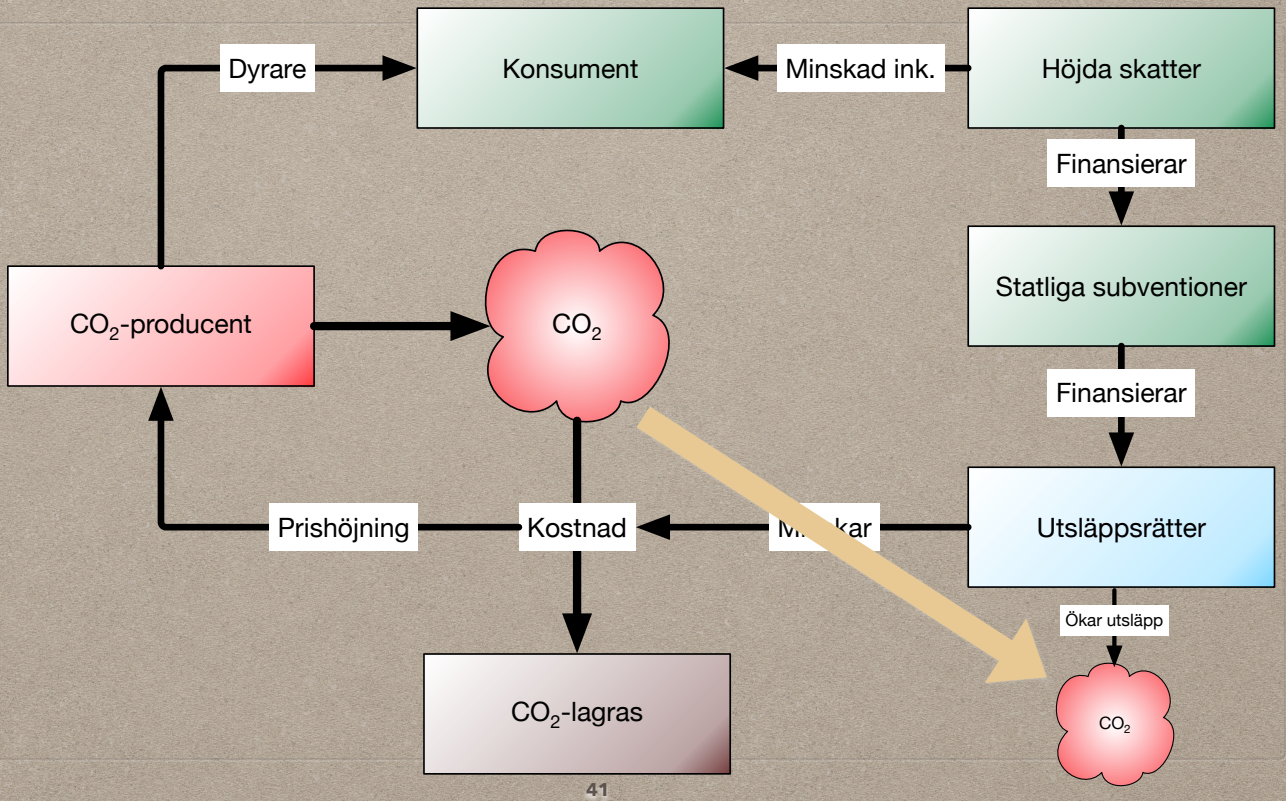


## Möjliga statliga insatser

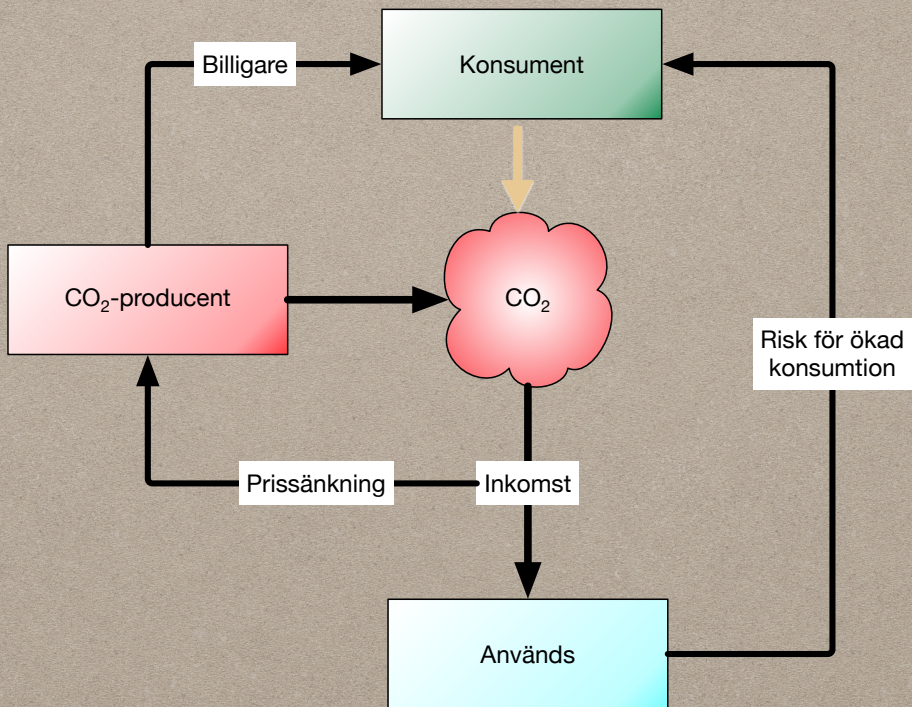
Typ av policyintervention	Möjlig policy
<b>Finansiella incitament</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Köplöften från staten</li><li>• Kapacitetsbetalningar</li><li>• Garantier för lagringskapacitet</li><li>• Central finansiering för transport och lagring</li></ul>
<b>Skatteincitament</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Skatteavdrag</li><li>• Riktade skatteavdrag till CCS sektorn</li></ul>
<b>Skapande av marknad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Köp av optioner för transport och lagring</li><li>• Leasing av lagringskapacitet</li><li>• Uppbyggnad av infrastruktur</li></ul>
<b>Kunskapsskapande</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• R&amp;D stöd</li><li>• Kunskapsspridningskampanjer</li></ul>



# LAGRING AV CO<sub>2</sub>



# ANVÄNDNING AV CO<sub>2</sub>





## FRAMTIDEN?

- Man riskerar att färre åtgärder för koldioxidreduktion genomförs i närtid, om tillräckligt många föreställer sig att CCS på sikt kommer att kunna lösa problemen.
- Tidigare förutsägelser om koldioxidinfångning har konsekvent överskattat utvecklingstakt och kommersialiseringspotential för teknologin bl.a. att den infrastruktur för transport och lagring som behöver byggas, är mycket dyr.
- Högre koldioxidskatt, och/eller att negativa utsläpp från CCS inräknas i existerande system krävs för att investeringar ska ske. EU:s system för detta har hitintills haft mycket begränsad inverkan på utsläpp.



## NYA TEKNIKER (FRÅN NY TEKNIK)

- Det håller på att utvecklas två nya tekniker att avskilja CO<sub>2</sub> från luften med hjälp av flytande metall.
- Metoden som forskare vid University of New South Wales har utvecklat ska inte ens behöva någon labbutrustning.
- Nyckeln är att värma upp en blandning av flytande metaller, som blir katalysatorn i den elektrokemiska koldioxidomvandlingen
- Forskarna bakom studien har värmt en legering av vismut och tenn, som smälter vid 139 grader
- I flytande form kan tenn, gallium och vismut användas som elektroder för att omvandla koldioxid till användbara biprodukter.





## NYA TEKNIKER (FRÅN NY TEKNIK)

- Forskarna vid RMIT University i Melbourne, Australien, har använt sig av en katalysator av flytande metall och nanopartiklar av grundämnet cerium. En elektrokemisk reaktion skiljer koldioxiden från syret.
- Den nya tekniken är relativt snabb och dessutom skalbar.
- Hittills har CO<sub>2</sub> bara omvandlats till ett fast material vid extremt höga temperaturer, vilket gör det industriellt otänkbart men genom att använda flytande metaller som katalysator är det möjligt att omvandla gasen till kol vid rumstemperatur, i en process som är effektiv och skalbar.
- Processen producerar också syntetiskt bränsle som en biprodukt, som också skulle kunna användas industriellt

